文部科学省　平成２２，２３年度　先導的大学改革推進委託事業

技術者教育に関する
分野別の到達目標の設定に関する調査研究
報　告　書

平成２４年４月

千　葉　大　学

文部科学省　平成２２，２３年度　先導的大学改革推進委託事業

技術者教育に関する
分野別の到達目標の設定に関する調査研究
報　告　書

平成２４年４月

千　葉　大　学

文部科学省　平成 22，23 年度先導的大学改革推進委託事業
「技術者教育に関する分野別の到達目標の設定に関する調査研究」

報　告　書

－　目　　次　－

はじめに　……5
１．工学と基幹分野について……１０
２．委託事業概要　……１７
３．技術者教育の現状と問題　……１９
４．技術者教育に関する分野別の到達目標の設定の考え方と全体構造について
　（全体のイメージ図と分野毎の科目や項目間の関連図）……２１
５．技術分野共通（知識・理解）の到達目標及び学修に当たっての配慮事項
　（１）数　　学　……３３
　（２）物　　理　……６０
　（３）化　　学　……７８
　（４）情報リテラシー　……８３
　（５）工学基礎　……８５
６．技術分野の到達目標及び学修に当たっての配慮事項
　（１）機械分野　……９１
　（２）電気・電子分野　……９８
　（３）建築分野　……１１０
　（４）土木分野　……１２１
　（５）化学分野　……１３５
　（６）バイオ分野　……１４６
　（７）情報・通信分野　……１５９
７．共通的な「汎用的技能」「態度・志向性」「総合的な学習経験と創造的思考力」の
　到達目標及び学修に当たっての配慮事項
　（１）汎用的技能（応用的能力）……２２２
　（２）態度・志向性（道徳的能力）　……２２４
　（３）総合的な学習経験と創造的思考力　……２２５
　（４）共通的な「汎用的技能」「態度・志向性」「総合的な学習経験と創造的思考力」
　…２２５
　（５）到達目標（学習成果）の企業での活用　……２３６
８．分野別の到達目標の大学の教育課程への有機的な盛り込み……２５０
９．参考となる論文・著書・授業やカリキュラムの良好事例・Web サイト……２５３
結　び　……２６０

参　考

Ⅰ．国際エンジニアリング連合：
「卒業生としての知識・能力と専門職としての知識・能力」……２６５
（International Engineering Alliance:Graduate Attributes and Professional Competencies　和訳）

Ⅱ．パブリックコメント募集及び報告書掲載Ｗｅｂサイト　……２８３
１．パブリックコメント募集 Web サイトの紹介
２．報告書などの活動成果の情報発信サイトの紹介

Ⅲ．調査研究会議開催状況　……２８９

はじめに

文部科学省は，「大学における実践的な技術者教育のあり方に関する協力者会議」（座長　谷口　功　熊本大学長）を平成 21 年 6 月に設置し，技術者教育の充実，実践的教育の必要性，求められる技術者像などについて検討を行い，平成 22 年 6 月に「大学における実践的な技術者教育のあり方」報告書が提示された．この報告書では，若い世代にモチベーションを高く持って目指してもらうために，できるだけ，夢のある技術者像を描くことを議論し，次のように定義した．「技術者」とは，国際的に Engineer として通用するものとし，「数学，自然科学の知識を用いて，公衆の健康・安全への考慮，文化的，社会的及び環境的な考慮を行い，人類のために設計，開発，イノベーション又は解決の活動を担う専門的職業人」としている．

この報告書を基に，文部科学省より，「求められる技術者像」に至る到達の程度を学習成果の観点から具体化しての学習成果評価指標に関して，大学における実践的な技術者教育での学生の共通的な到達目標（最低限の基準）を示すことを目標とする平成 22，23 年度先導的大学改革推進委託事業「技術者教育に関する分野別の到達目標の設定に関する調査研究」が公募された．本事業の公募後，千葉大学では，上記協力者会議委員及び同会議内「教育内容等に関するワーキンググループ」主査を務めた野口博大学院工学研究科長を中心に，本事業の分析を進め，協力者会議委員を中核とした全国の国立・私立大学の工学系の教職員を中心とした体制を組みつつ産業界等の意見を反映する枠組みを構築し，申請するに至り，平成 22 年 9 月に採択となった．

工学は理学との繋がりが一番近いが，最近では医学，薬学，農学，看護学などの各分野との連携が進み，さらには文科系の学問との連携にまで広がり，それらは「総合工学」や「社会工学」とも言われている．それに伴い，工学が扱う分野も，ものづくりの原点のハードの分野から，ソフトの分野，さらには仕組み，企画や発想を含むようになり，後者は革新的な技術開発に必須なものとなってきている．したがって，社会における工学には，「ものづくり」から「ことづくり」への転換の流れがあり，この流れの中で自主性を持って活躍できる技術者の養成が大学に求められてきているのが現状である．

本調査研究の背景となったのは，上記に示すように膨大となり，細分化されると同時に，都市環境や医工学，農学との連携，さらには総合工学などに見られるような学際領域や複合領域が生まれつつある工学の知識と技術の量を，共通分野と専門分野別に整理するとともに，実践的な技術者教育のあり方についての議論に基づき，「ものづくり」から「ことづくり」への転換のような工学に対する社会のニーズの変化に対応して，工学系の学生が教育内容として履修し，到達すべき目標を提示することが求められてきたからである．

日本学術会議の「大学教育の分野別質保証の在り方検討委員会」は，平成 22 年 7 月 22 日の回答で，「なぜ分野別の質保証なのか」に対し，「学士に共有されるべき，普遍的な意味を持つ者を涵養するという役割を担うことを前提として，各分野の教育における最低限の共通性の確保が課題である．分野での核となるものを明確化し，しっかりと保持するようにすべきである．」と述べられており，「専門教育と教養教育との組み合わせの最適化」については，「各大学は，分野の教育課程ごとに，教養教育と当該分野と，それぞれの教育理念のバランスに配慮した学習目標を具体的に定め，そしてそれ

を実現するために最適と考えられる方法で，科目区分としての「教養教育」と「専門教育」とを組み合わせてカリキュラムを編成すべきである．」と述べ，教養教育を，「民主主義社会を支える市民の育成」と捉えている．

本調査研究では，工学における伝統的な基幹分野として，機械，電気電子，建築，土木，化学，バイオ，情報・通信の７分野を対象とする．工学の分野を示すので，基幹分野名から「工学」の文字をあえて外した．基幹分野を複合する領域や新領域の分野については，これらの基幹分野での到達目標の設定の考え方を準用することで対応も可能と考えられるので，参考にしてほしい．

工学の知識と技術を，専門分野毎に異なる部分と共通する部分に分けて整理するとともに，実践的な技術者教育のあり方についての議論に基づき，工学に対する社会のニーズの変化に対応して，工学系の学生が大学での教育内容として履修し，到達すべき目標を，「コア」と「要望」（入れられる分野について）の２段階とする．「コア」は，基礎的で必修的なものと考え，「要望」はより高度で選択可能なものとして各大学の個性化に繋げる役割を有する．

「分野別の到達目標」は，各大学のカリキュラムの編成・実施の中に有機的に盛り込まれることで，実践的な技術者教育の一定の水準を確保することにつながることを意図した．言うまでもなく，各大学のカリキュラムはそれぞれが自主的・自律的に定めるべきものであるが，各大学が，この「分野別の到達目標」を参照し，理念・状況に即した自らの教育方針に基づき，学生が履修すべきカリキュラムの内容（広がり，深さ）を明確にし，独自の教育課程編成を行うことができるように到達目標をまとめた．従って本到達目標は，教育課程の検討の際の出発点として活用されることを望むものである．また，それをどのように肉付けをして，最終的にどのような具体的な教育課程を編成するかについては，各大学が評価し，到達目標の活用の度合いを判断するものである．なお，各大学における実際の教育課程の編成においては，大学の実情に即して教養教育とのバランスに配慮した学習目標を定めることが望ましい．

分野で基礎的で共通部分である「数学」，「自然科学（物理，化学，情報リテラシー等）」，「工学基礎」，そして分野別の「専門科目」，さらには分野共通部分として専門科目を横串で結ぶ「汎用的な技能」「態度・志向性」「総合的な学習経験と創造的思考力」については，国際的な理解を得，技術者教育の設定項目を国際標準に近づけることを目標に，以下のことを踏まえて整理を行なった．考え方の参照となる基準は，Tuning Texas, ABET, JABEE, 国際エンジニアリング連合（International Engineering Alliance,以降 IEA）の卒業生としての知識と能力（Graduate　Attributes）であり，これらと本研究の設定項目を比較し整理した．この整理から，Tuning Texas，ABET，JABEE，IEA の Graduate　Attributes は，それぞれ項目数は若干異なっており，またいくつかをまとめた項目になっている部分もあるものの，内容はほぼ同様な項目立てになっており，本研究の設定項目は国際性を担保していると考えられる．

なお，分野毎の到達目標を示す前に，「数学」，「自然科学（物理，化学，情報リテラシー等）」，「工学基礎」，分野別の「専門科目」，さらには分野共通部分の「汎用的な技能」「態度・志向性」「総合的な学習経験と創造的思考力」を縦軸とし，到達レベルの「コア」と「要望」を横軸にした一覧表を作成し，分野共通の項目はできるだけ統一した表現とし，分野別の専門科目の柱と，共通部分でも分野特有の表現をゴシック体の太字で区別して示した．

最近，工学の広い分野でデザイン能力の重要性が指摘されてきている．また，エンジニアリング・エコノミクスも学部卒業後，企業で活躍する上では，経営的な感覚として今後重要となろう．これらを分野毎に創成能力との関連で，より具体的な形での養成法が問われるが，今回の調査研究では，まだ具現化が十分ではない．各大学が教育課程を検討される際の課題としていただきたい．

本調査研究は，２年間という限られた時間の中で，限られたメンバーで行ったものであるので，それぞれの分野における到達目標としては十分ではないと考え，分野別の到達目標に関して広く一般から意見を募り，それらの意見を考慮することにより公平さの確保と透明性の向上を図り，大学にとって，より使いやすい分野別の到達目標の設定に反映していくために専門の Web サイトを構築してのパブリックコメント募集の手法を採用した．平成 23 年 7，8 月には，社会に広く開示して意見を求める分野共通部分の到達目標パブリックコメントの募集を行い，引き続き平成 23 年 12 月から平成 24 年 1 月にかけて，分野別到達目標のパブリックコメントの募集を行い，それぞれ分野共通部分で 94 件，分野別で 134 件のご意見を戴いた．また，日本学術会議を始め，各分野の学協会への紹介とヒアリングも行った．これらのパブリックコメントなどの意見を到達目標の見直しに反映し，その反映度については，分野ごとのまえがきでその分野の到達目標の位置づけとともに記した．

本調査研究での一つの特徴として，パブリックコメント募集の対象範囲である社会一般や学生にもわかりやすく記述する観点から，文章のみでなく，図解を活用して到達目標を構成する構造のイメージとしての可視化を図った．分野別（共通部分を含む）の到達目標設定で使用した能力項目間の相互関係を示すイメージ図や，数学，物理，化学などの基礎，および各専門分野での科目間の繋がりや社会での各科目の役割などを図で表現した．

本調査研究では，到達目標の作成の段階で複数の国際的な基準を参照したが，その代表的な基準である国際エンジニアリング連合(International Engineering Alliance, IEA）の「卒業生としての知識・能力と専門職としての知識・能力（Graduate Attributes and Professional Competency Profiles）」の翻訳作業を，文部科学省高等教育局専門教育課，日本技術者教育認定機構（JABEE）並びに日本技術士会からの要請・協力により，本調査研究の中に翻訳ワーキンググループを設置し，翻訳を行い，最終報告書の参考に収録した．

最後に，報告書は紙媒体でも作成したが，ほかの関連資料も含めて，Web サイトに掲載し，分野共通部分，各分野別，各項目別にもダウンロードできるように表現を工夫し，社会に広く広報することで，各大学などに参照して活用していただくこととした．

関連資料掲載Webサイト URL　：　http://hneng.ta.chiba-u.jp:8080/

なお，本到達目標は，上記で述べたように，到達目標として現段階で十分完成されたものとは考えておらず，また，関係者間での十分なコンセンサスを得られたものではないので，これを１つの材料として各大学における教育課程の編成に係る議論が進む一方で，さらに充実した分野別の到達目標を目指す検討が行われることを期待したい．

平成24年3月

平成22年度，23年度　文部科学省先導的大学改革推進委託事業
「技術者教育に関する分野別の到達目標の設定に関する調査研究」
代表者　　千葉大学大学院工学研究科　教授　　野　口　　博

調査研究体制（委員等）

1）分野別の到達目標の設定促進コア・メンバー

代表	野　口　　博	千葉大学大学院工学研究科	教　授	（建築・土木）
	岡　崎　　健	東京工業大学大学院理工学研究科工学系長・教授		（機　械）
	大　場　好　弘	山形大学有機エレクトロニクス研究センター長・教授		（化学・バイオ）
	篠　田　庄　司	中央大学理工学部	教　授	（情報・通信）
	岩　熊　ま　き	株式会社東京建設コンサルタント技師長		（化学・道徳・創造）
	工　藤　一　彦	芝浦工業大学学長室	シニア教授	（機　械）
	渡　邉　敏　正	広島大学大学院工学系研究科	教　授	（情報・通信・数学）
	小　澤　　哲	茨城大学大学院理工学研究科	教　授	（物　理）
	山　口　宏　樹	埼玉大学大学院理工学研究科長	教　授	（建築・土木）
	石　原　　修	横浜国立大学大学院工学研究院長	教　授	（電気・電子）

2）協　力　者

（機械，電気・電子，建築，土木,化学，バイオ，情報・通信，教育学等の有識者）

岡　　裕　和	茨城大学工学部	教　授	（数　学）
佐　藤　　勲	東京工業大学大学院理工学研究科	教　授	（機　械）
前　野　一　夫	千葉大学大学院工学研究科	教　授	（機　械）
佐　藤　之　彦	千葉大学大学院工学研究科	教　授	（電気・電子）
松　本　　聡	芝浦工業大学工学部	教　授	（電気・電子）
市　坪　　誠	国立高等専門学校機構 教育研究調査室長・教授		（建築・土木）
高　橋　　徹	千葉大学大学院工学研究科	教　授	（建築・土木）
宮　里　心　一	金沢工業大学環境・建築学部	教　授	（建築・土木）
宗　方　　淳	千葉大学大学院工学研究科	准教授	（建築・土木）
若　井　明　彦	群馬大学大学院工学研究科	教　授	（建築・土木）
渡　辺　真　理	法政大学デザイン工学部	教　授	（建築・土木）
井　原　敏　博	熊本大学大学院自然科学研究科	教　授	（化学・バイオ）
佐　藤　智　司	千葉大学大学院工学研究科	教　授	（化学・バイオ）
里　中　　忍	熊本大学工学部長	教　授	（化学・バイオ）
多賀谷　英　幸	山形大学大学院理工学研究科	教　授	（化学・バイオ）
中　村　嘉　利	徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部	教　授	（化学・バイオ）
湯　　不二夫	三菱レイヨン株式会社横浜先端技術研究所	主席技師	（化学・バイオ）
養王田　正　文	東京農工大学工学研究院	教　授	（化学・バイオ）
柏　崎　尚　也	東京電機大学理事	教　授	（情報・通信）
管　村　　昇	工学院大学学長補佐	教　授	（情報・通信）
杉　原　　明	工学院大学	教育開発課長	（情報・通信）
高　藤　大　介	広島大学大学院工学研究科	助　教	（情報・通信）
谷　口　秀　夫	岡山大学工学部長	教　授	（情報・通信）
牧　野　光　則	中央大学理工学部	教　授	（情報・通信）
深　堀　聰　子	国立教育政策研究所高等教育研究部　統括研究官		（教育）

3）IEA: Graduate Attributes and Professional Competencies 翻訳ワーキンググループ

代表	野口　博	千葉大学大学院工学研究科	教　授
	野澤庸則	大学評価・学位授与機構	客員教授
	田中弥生	大学評価・学位授与機構	准教授
	村田稔尚	公益社団法人日本技術士会国際委員会 IEA 対応 WG	技術士
	深堀聰子	国立教育政策研究所	統括研究官
	青島泰之	一般社団法人日本技術者教育認定機構(JABEE)	専務理事・事務局長
	高橋明子	一般社団法人日本技術者教育認定機構(JABEE)	国際部職員
	工藤一彦	芝浦工業大学学長室	シニア教授
	大場好弘	山形大学有機エレクトロニクス研究センター長	教　授
	篠田庄司	中央大学理工学部	教　授
	岩熊まき	株式会社東京建設コンサルタント	技師長

4）陪　席

内藤敏也	文部科学省高等教育局専門教育課	課長
神田忠雄	文部科学省高等教育局専門教育課	企画官（平成 23 年 3 月まで）
小谷直和	文部科学省高等教育局専門教育課	課長補佐
柿澤雄二	文部科学省高等教育局専門教育課	課長補佐
小暮聰子	文部科学省高等教育局専門教育課	科学・技術教育係長
松田直久	文部科学省高等教育局専門教育課	科学・技術教育係主任
児玉央子	文部科学省高等教育局専門教育課	科学・技術教育係主任

5）事務局

鈴木康仁	千葉大学工学系事務センター	事務センター長
菅野　仁	千葉大学工学部事務部	副事務長（平成 23 年 3 月まで）
天野千恵子	千葉大学工学系事務センター	副事務センター長（平成 23 年 4 月から）
永島　希	千葉大学工学系事務センター事業促進室	事務補佐員

１．工学と基幹分野について

１－１．工学（engineering）の定義

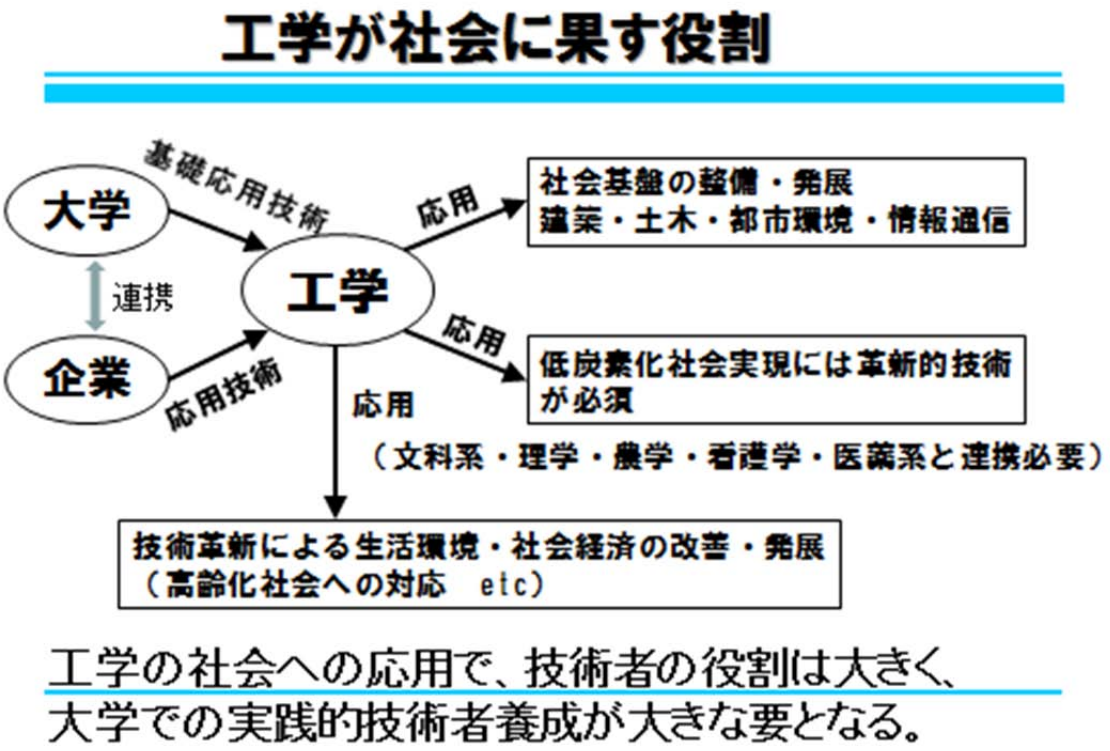
工学は，地球環境と共生し，文明の持続的発展と精神的に豊かな人間社会の構築を目指す実践的な学問であり，英語では“Engineering”，そして例えば，大辞林 第三版では，

「科学知識を応用して，大規模に物品を生産するための方法を研究する学問．広義には，ある物を作り出したり，ある事を実現させたりするための方法・システムなどを研究する学問の総称．〔「工学字彙」（1886 年）に英語 engineering の訳語として載る〕」[1]

と定義されている．

工学の対象範囲は，機械，自動車，ロボット，電気電子，半導体，エネルギー，通信，情報，材料，化学，建築，土木から，最近では，都市環境，医工学，さらには農学，薬学，看護学や文科系の学問との連携も進み，「総合工学」や「社会工学」などとも言われるような広がりを見せてきている．

- 近年では，安全から安心へ，地球温暖化の抑制，人口爆発に対応できる食糧増産や新エネルギーの創出，少子高齢化に伴う福祉・医療の充実など，山積する課題解決のために，工学の役割が期待されている．
- 工学の革新なくしては，将来の人類，地球は立ち行かなくなるともいえ，まさに地球や社会の未来を救う学問である．
- 工学は，人や社会と連携し，調和を保つことで，大きな力を発揮する．
- 資源に乏しく，食料なども輸入に大きく依存する我が国では，人間の生活に役立ち，精神的にも豊かにする革新的技術の開発が欠かせない．
- 工学が明日の人類と地球を救うべく，技術者・研究者は努力しなければならない



「工学」に関し，社会一般にも広く理解を深めていただく趣旨から，既往の辞書等に基づく説明・紹介を以下に示す．ただし，辞書等に基づく説明・紹介は，あくまでも本調査研究の結論としての主張ではない．

工学

１）「基礎科学を工業生産に応用して生産力を向上させるための応用的科学技術の総称，古くは専ら兵器の製作および取扱の方法を指す意味に用いたが，のち土木工学を，さらに現在では物質・エネルギー・情報などに関わる広い範囲を含む」[14]

２）エネルギーや自然の利用を通じて便宜を得る技術一般 [2]

３） 数学と自然科学を基礎とし，ときには人文科学・社会科学の知見を用いて，公共の安全，健康，福祉のために有用な事物や快適な環境を構築することを目的とする学問．（「工学における教育プログラムに関する検討委員会」による定義．1998 年 [3]

４）工学

元来は軍事技術のみを意味したが，18 世紀以降は非軍事面の技術（civil engineering）の発展とともに，エネルギーや資源を利用して便宜を得る技術全般を指すようになった．

civil engineering として最初に体系化が目指されたのは土木工学であり，産業革命を経て 19 世紀後半には機械工学，電気工学が確立し，その後多様化．機械工学，電気工学，化学工学，資源工学（採鉱，冶金など），建設工学（土木，建築など）の5大部門に分かれ，そのほか各部門に共通のものとして応用数学（品質管理，実験計画法など），労働科学，経営工学など，各部分の総合を要する新興の部門として原子力工学，制御工学，都市工学，宇宙工学などがあげられる．新しい観点から，エネルギー工学，情報工学，材料工学，人間工学，システム工学といった取り上げ方もある．[8]

５）工学

基礎科学を工業生産に応用するための学問．機械工学・土木工学・電子工学などのほか，人間工学などその研究方法を援用した自然科学以外の分野のものにもいう．[10]

６）科学者と技術者

科学者はあるがままの世界を研究し，技術者は見たこともない世界を創造する．
–セオドア・フォン・カルマン

Fung らは古典的な工学教科書 Foundations of Solid Mechanics の改訂版の中で，次のように書いている．

工学は科学と全く異なる．科学者は自然を理解しようとする．技術者は自然界に存在しないものを作ろうとする．技術者は発明を強調する．発明を具現化するには，アイデアを具体化し，人々が使える形で設計しなければならない．それは装置，道具，材質，技法，コンピュータプログラム，革新的な実験，問題の新たな解決策，既存の何かの改良である．設計は具体的でなければならず，形や寸法や数値が設定されていなければならない．新しい設計にとりかかると，技術者は必要な情報が全て揃っているわけではないことに気づく．多くの場合，科学知識の不足によって情報が制限される．そこで技術者は数学や物理学や化学や生物学や力学を勉強する．そうして工学における必要性から関連する科学に知識を追加することも多い．こうして engineering sciences(理工学) が生まれた．[4]

参考文献

1). 大辞林 第三版,三省堂
2). 平凡社『世界大百科事典』1988 年版【工学】
3). 「工学における教育プログラムに関する検討委員会」による 1998 年時点での定義
4). (2001) Classical and Computational Solid Mechanics, YC Fung and P. Tong. World Scientific.
5). Category:工学，http://ja.wikipedia.org/wiki/Category:%E5%B7%A5%E5%AD%A6
6). 土木学会．“土木学会とは”．土木学会概要. 2008 年 3 月 19 日閲覧
7). 電気通信大学の情報通信学科の HP での学科の説明から
http://www.ice.uec.ac.jp/gakka/cgakka.html
8). 百科辞典マイペディア，2010 年 5 月
9). 大辞林 第二版，三省堂
10). ディジタル大辞泉，小学館

11). 知恵蔵 2011
12). マイナビ進学
13). ASKII.jp ディジタル用語辞典
14). 広辞苑　第五版，岩波書店
15). ウィキペディア・フリー百科事典，http://ja.wikipedia.org/wiki/

１－２．工学の基幹分野

本調査研究では，工学における伝統的な基幹分野として，機械，電気電子，建築，土木，化学，バイオ，情報・通信の７分野を対象とする．工学の分野を示すので，基幹分野名から「工学」の文字をあえて外したが，ここでは，工学を付けて示し，どのような分野なのか，既往の辞書等に基づいて説明・紹介する．ただし，辞書等に基づく説明・紹介は，あくまでも本調査研究の結論としての主張ではない．

基幹分野を複合する領域や新領域の分野については，これらの基幹分野での到達目標の設定の考え方を準用することで対応も可能と考えられるので，参考にしてほしい．

なお，第６章の，分野別の到達目標の紹介の前に，その分野の概要や分野での柱の設定の考え方，到達目標のあり方，パブリックコメントの反映の経緯などを，まえがきとして示してあるので，参照してほしい．

１）機械工学

機械を対象とする学問の総称で，その働きを理解し，設計，製作するために必要な事項などを研究する．機械力学，機構学，材料力学，水力学，流体力学，熱力学，機械設計など基礎的な研究と，熱機関，水力機械，自動車，計測，自動制御など応用に関する研究とに分かれる．[8]

機械の開発・設計・製作・運転に関して研究する工学の一分野．基本部門として，材料力学・機械力学・流体力学・熱力学・制御工学などがあり，広い応用部門をもつ．[10]

機械工学（きかいこうがく，英語: mechanical engineering）は力学を対象とする工学の一分野である．熱力学，機械力学，流体力学，材料力学の四力学を基礎とした機械の安全設計，製作のための技術を学ぶ他，より広義には，機構学，制御工学，経営工学，材料工学(金属学)，そして近年のコンピュータ化に対応したハードウェア及びソフトウェア技術全般を研究対象としている．[15]

２）電気電子工学

２)－１電気工学

電気および磁気現象に関連した諸現象についての応用技術を研究する学問．電気化学，電気回路，電気計測，照明，電熱，回転機械などの各種電気機器，電気鉄道，発送電関係の諸施設などが対象とされる．[8]

電気や磁気現象を動力・熱・光・通信などのエネルギー源として利用する理論と応用を研究する工学の一分野．[10]

電気工学（でんきこうがく）は，電気や磁気，光（電磁波）の研究や応用を取り扱う工学分野である．電気磁気現象が広汎な応用範囲を持つ根源的な現象であるため，通信工学，電子工学をはじめ，派生した技術でそれぞれまた学問分野を形成している．電気の特徴として「エネルギーの輸送手段」としても「情報の伝達媒体」としても大変有用であることが挙げられる．この観点から，前者を「強電」，後者を「弱電」と二分される．[15]

２)－２　電子工学

電子伝導，およびその現象を応用する装置・技術についての学問．エレクトロニクス．[8]

電子の性質を利用する技術をまとめてこう呼ぶ．日本語では電子工学の用語を当てる．広義には，真空内または固体内で電子が示す現象を直接利用する各種の電子部品(電子管，半導体，磁性体，誘電体などを用いた素子や部品)とそれに関連する技術，それらの部品を応用するシステムや機器(コンピューター，通信機器，テレビ，VTR など)とその技術をすべて含む．狭義には，電子部品や素子と，それに関する技術のみを指すことが多い．(荒川泰彦　東京大学教授　　／ 桜井貴康　東京大学教授)[11]

電子工学（でんしこうがく），もしくはエレクトロニクス（英: Electronics）は，科学およびテクノロジーの一分野であり，様々な媒体や真空における電子の動きを制御して利用する．電子の流れを制御することで，情報を処理し，機器を制御する．電気工学と対比させた場合，電気工学は発電，送電，

電力の制御や応用を扱う．リー・ド・フォレストが三極管を発明した 1906 年ごろ，電気工学から電子工学が派生した．三極管は電気信号を増幅可能な初の機械的でない能動素子である．1950 年ごろまで，この分野は無線工学とほぼ同義であり，無線送信機と受信機，それらに使用する真空管を初めとする電子管についての設計や理論的研究が中心だった．

今日のエレクトロニクス機器のほとんどは半導体素子を使って電子を制御する．半導体素子とそれに関連する工学は物理学と関係が深く，より応用に近い電子回路の設計や構築は電気工学と関係が深い．[15]

３）建築学

建築学（けんちくがく）とは，建築物の設計や歴史などについて研究する学問である．構造や材料などの工学的な側面と，デザインや建築史について研究する芸術的・文化的な側面を持つ．

かつての建築家があらゆる課題を各自解決する必要があったように，建築学は総合的学問であったが，建築と一口に言ってもその応用範囲は，広大かつ多岐にわたる．構造的側面，芸術的側面はもとより，都市計画などにおいては，人間社会におけるライフスタイル，ひいては，精神的分野にまで踏み込んだ形で計画され実施される．すなわち，構造分野においては，数理的解釈を必要とする理科学的知識を必要とし，芸術分野においては，精神論的解釈が求められる．またその両者を高い次元において両立させるための総合力が不可欠である．

そのためいわゆる建築学といわれる分野の知識以外にも，機械工学，電子工学，土木工学，精神論，社会学，法学，経済学，語学，環境学，エコロジー分野など，多岐にわたる知識を広く浅く知る必要がある，特殊な学問である．その学問的性質上，現代では完全な分業化が進んでおり，それぞれの分野に特化している．[5]

建築に関する学問の総称．構造・材料・環境・計画・意匠などの専門分野がある．三省堂「大辞林 第二版」[9]

４）土木工学

土木工学（どぼくこうがく，英語：civil engineering）とは，良質な生活空間の構築を目的として，自然災害からの防御や社会的・経済的基盤の整備のための技術（土木技術）について研究する工学である．[6]

土木工学で扱う対象は，主に，河川，ダム，トンネル，道路，橋梁，港湾，空港，鉄道，廃棄物処理，上中下水道などであり，これらは総称して「土木構築物」と呼ばれる．

研究分野は以下に示すように，多様な課題に対して細分化されている． このため，1 人の技術者がこれら全てに精通することは難しく，その分野を専門とする技術者に分かれて実務を担い，各分野内でもさらに，計画や調査，設計，施工，維持管理，見積積算，災害防止などの各分別ごとに従事する者に分かれる．

土木施設の設計や施工について研究・理論づけをする学問．構造力学，土質力学，水理学，材料力学等の基礎工学を含めて，鉄道，橋梁(きょうりょう)，道路，上下水道，河川，港湾，都市計画などに関する技術を研究する．[8]

道路や鉄道，港湾，上下水道・発電など社会基盤となる施設の建設と維持管理，河川・海岸の利用と保全，洪水・地震などに対する防災と自然環境の維持などを，工学的な観点から追究する学問．研究領域は，環境に配慮した社会基盤の整備の技術を修得し，建物や交通機関を支える地盤や護岸・砂防などの技術，河川水や海水の流れの仕組み，景観論について学ぶ「環境分野」，人々の暮らしに配慮した都市機能の整備や都市デザインの手法を学び，多様な構造物の設計・施工技術なども研究する「都市計画分野」，土木建設物の資材・工法・施工・管理の方法を修得し，建設の一連の手順や手続きを総合的に学ぶ「建設・経営分野」などがある．

カリキュラムの例を挙げると，1 年次では物理学や数学，化学の基礎科目や測量実習，情報処理演習など土木工学の研究方法と関連諸学を学ぶ．2・3 年次以降は，土木工学の応用・関連分野（例：水理学，土質力学，土木計画学）を幅広く学ぶ．また土木材料や構造，水質，土質などの実験と検証，測量や設計，製図の技術を修得する．3 年次以降は研究室に所属して研究を行い，最終的に卒業研究をまとめる．[12]

５）化学工学

化学工業における生産技術的な面を研究する工学の一分野．化学工業における生産工程（製造プロセス）は伝熱，蒸留，乾燥，分離など各種の単位操作の有機的結合からなる．この単位操作およびそれを行わせる化学装置の理論・設計・運転などについての研究を行うのが狭義の化学工学とされ，広義にはこれに，酸化・還元，塩素化，加水分解，重合などの各種単位反応（単位工程）についての研究も含めていい，物質収支，エネルギー収支，物理的・化学的平衡，物質およびエネルギーの移動速度や反応速度，経済収支などが研究の中心．[8]

化学工業における製造上の計画や製造装置の設計などに関する研究を行う工学の一分野．[10]

化学工学（英語 : chemical engineering）とは，化学工業において必要とされる様々な装置や操作についての研究を行う工学の一分野である．

化学工学は，製造に関して工業化学と両輪をなす学問である． 工業化学が「どんなものを作るか」を学ぶものであるのに対し，化学工学が「どうやって作るか」すなわち化学製品の製造の仕組みをオーガナイズする方法を学ぶ学問であると位置づけられる．

化学工業において製品を製造するには，研究室で得られた化学的知見のみでは不十分である． まず，適切な反応器を設計することと，それに対し適切な形態の原料を適切な順序で供給し，適切な温度に管理し，適切な時間反応させる必要がある． さらに得られた生成物から目的とする物質を分離，精製したり，残った原料を回収，再利用することも必要となる． 反応器や蒸留塔など装置内の温度，圧力，内容量などが常に安全な数値を示すよう，プロセスの制御を行う知識も必要となる． また，工業製品は販売を前提しているものであるから低コストの製造が出来るか否かが重要となる． 廃棄物の排出に関し，規制をクリアして環境に対する配慮を行うことも重要である．化学の教育だけでは，「どんなものを作るか」は学べるが，化学工学の教育が欠如すると上記の化学製品の製造の仕組みをオーガナイズし，経済性や環境負荷に対する配慮までを実践することはできない．

化学プラントを設計し，安全に運転するためには，機械工学の知識だけでも不十分である．化学反応によってどのくらいの熱が発生するかが分からなければ，反応器の大きさや材質，肉厚などを決められない．また，反応後の物質から製品を分離する際も，どんな操作で分離すればよいかも化学を学んだものでなければ決められない．

このように対象としている製品の製造工程を総合的に見て，最適な反応装置や分離装置を設計，選定し，最適な反応や分離の条件や手順を決定して，それを連続的に運転するための知識を深めていくことを目的としている．化学工学は，従来化学機械学とよばれていたことからも，実験室における化学と，工業プラントにおける機械工学の橋渡しをする学問であるとみなすとわかりやすい．[15]（一部，表現を加筆修正した．）

６）バイオ工学（生物工学）

生物工学（せいぶつこうがく）は，生物学の知見を元にし，実社会に有用な利用法をもたらす技術の総称である．バイオテクノロジー（英語: biotechnology）とも呼ばれる．また，特に遺伝子操作をする場合には，遺伝子工学と呼ばれる場合もある．

具体的には醸造，発酵の分野から，再生医学や創薬，農作物の品種改良など様々な技術を包括する言葉で，農学，薬学，医学，歯学，理学，獣医学，工学と密接に関連する．金融経済市場などで，これらを取り扱う企業活動などを説明する際に頻用される言葉である．

分子生物学や生物化学などの基礎生物学の発展とともに，応用生物学としての生物工学も，近年めざましい発展を遂げており，クローン生物など従来 SF に登場した様々な空想が現実のものとなりつつある．

また，クローン技術や遺伝子組み換え作物などでは，倫理的な側面や自然環境との関係において，多くの議論が必要とされている分野でもある．遺伝子操作および細胞融合は，生物多様性に悪影響を及ぼす恐れがあるとの観点から「遺伝子組換え生物等の使用等の規制による生物の多様性の確保に関する法律」（遺伝子組換え生物等規制法，遺伝子組換え規制法）によって規制されている．

現在，日本では，バイオテクノロジー人材の供給過剰が深刻な社会問題になっている．[15]

バイオテクノロジー

生物の行う化学反応，あるいはその機能を工業的に利用・応用する技術．遺伝子の組み換え，細胞融合や酵素を扱う技術が含まれ，発酵・新品種育成・環境浄化などに利用．生命工学．生物工学．[10]

７）情報・通信

７)－１　情報工学

情報工学（じょうほうこうがく，英語：information engineering）はコンピュータとその応用について考える学問である．数学，論理学，工学にその起源を持つ．1970 年代から学問の分野として成立し，手法や用語が確立された．

「情報工学」は工学の一分野であり，「情報科学」や「コンピュータ科学」は理学の一分野である．情報工学は，数理科学，基礎科学，コンピュータ科学の上に構築されたコンピュータ工学やソフトウエア工学ならびにそれらの応用を重視する学問である．

情報工学とは「情報」を工学的に利用するための学問分野である．

情報の発生（データマイニング，コンピュータグラフィックスなど），情報の伝達（コンピュータネットワークなど），情報の収集（コンピュータビジョン，検索エンジンなど），情報の蓄積（データベース，データ圧縮など），情報の処理（コンピュータ工学，コンピュータ科学，ソフトウェア工学）を扱う総合的な工学分野といえる．

また情報工学を，物理現象を支配している原理や法則や社会・経済活動を情報という観点から捉え，コンピュータ上の設計手順に変換することにより自動化する方法を創出する学問分野とする見方もあり，これは英語でいうコンピューティング（computing）に相当する．なお，コンピューティングの教育プログラムは，国際的には，コンピュータ科学，情報システム，ＩＴの教育プログラムの分野を意味し，工学教育プログラムとはみなされず，コンピュータイング教育プログラムとみなされている．

学科名としては，京都大学（工学部）および大阪大学（基礎工学部）に，1970 年初めて，情報工学科が登場する．同年，東京工業大学には情報科学科が，また，電気通信大学および山梨大学には計算機科学科が，金沢工業大学には情報処理工学科が設立された．

情報工学は Computer Science と訳すことが多い．日本の大学の「情報工学科」で英語名を information engineering とするところは，2007 年時点で，8/33 程度である．information engineering を掲げる例に，ケンブリッジ大学の Information Engineering Division がある[15]．

７)－２　通信工学

電気信号によって音声や画像を伝達する技術を研究する学問．[10]

以下は，電気通信大学の情報通信学科の HP での学科の説明からの引用である．[7]

未来の情報通信技術を創造していく人材に求められる，情報工学，通信工学，電子工学に関連した以下のような科目を幅広く学習することができます．

１）情報を最適に取り扱うためには，符号化や暗号化あるいは情報圧縮の知識が重要です．本学科では，その基礎となる情報理論を早いうちから学び，符号理論・暗号理論等の科目も選択できます．
２）そうした符号などを実際に実現するためにはコンピュータが重要な役割を果たします．本学科では，コンピュータのソフトウエアやハードウエアの基礎についても初歩から丁寧に学びます．
３）実際のシステムやネットワークにおいて，情報は電波や光や音などの波動を媒体として伝えられます．このため，波動を自由に扱える技術も重要です．本学科ではその基礎となる電磁気学や光工学や音響工学などについても深く学習します．
４）情報を自由に加工したり，伝えるために必要となるアナログ及びディジタルの回路技術，信号処理技術をはじめ，計算機システムや通信システムなどについても学習していきます．
５）これからの情報通信が対象としている，文字，数字，音声，画像すべてを含んだマルチメディア情報の取り扱いについても幅広く学びます．そうした情報を利用することで，世界中の人々が言語や文化の壁を越えてコミュニケーションすることが可能になって行くことでしょう．

通信工学（つうしんこうがく）は，数理科学（離散数学を含む），自然科学（主に物理学），情報理論（シャノンのコミュニケーションの数学的理論とその発展），符号理論，暗号理論，ネットワーク理論，電磁波理論，光エレクトロニクス，信号処理，音声処理，画像処理，コンピュータの理論と技術（ソフトウエアとハードウエアを含む）などの上に築かれた情報通信ネットワーク，システム，構成要素，通信方式・符号化方式，通信機器・運用方式などを扱う工学である．情報通信工学ともいう[15]．

２．委託事業概要

（１）事業期間

平成２２年９月１日～平成２４年３月３１日

（２）事業の具体的方法等

１）実施方法（アプローチ方法）及び分析手法

①分野別の到達目標（共通的な到達目標を含む）導入に向けた基礎調査

・「大学における実践的な技術者教育のあり方に関する協力者会議報告（平成２２年６月）」に基づき，産業界，学協会，大学関係者など幅広く意見を聞き，多様なカリキュラム環境である各大学に使いやすく柔軟な構造を有する分野別到達目標（共通的な到達目標を含む）の調査.

・産業界，学協会，大学関係者からのヒアリング（産業界の求める人材，技術者のキャリアパスについて調査を行い把握し，整理する.）

・工学系学部を対象とした質問紙調査を，専用Ｗｅｂサイトにおいて広範囲にかつ継続的に行う.

上記の調査検討結果に基づき，実践的な技術者教育の分野別到達目標の指標（共通的な到達目標を含む）についての設定促進方法や課題等を特定する.

②分野別の到達目標（共通的な到達目標を含む）の設定促進のための技術者像の検証

・工学系各種資格試験（技術士，数学統一試験，物理試験）などの試験分析を行う.
（工学系数学統一試験，技術士１次試験，物理試験，米国プロフェッショナルエンジニアリング資格１次試験などを参考にしつつ，個別の知識がどのように役立つのか，歴史，社会，自然と関連付けて体系的に整理する.）

・汎用的技能（応用的能力），態度・指向性（道徳的能力）総合的な学習経験と創造的思考力の養成方法については，定型化された科目で養成するものではなく，多様な要請方法が想定しうるので大学での先導的良好事例を調査し，整理する.

上記の検証・整理により，求められる技術者像と習得すべき知識を整理し，各高等教育機関において技術者教育のカリキュラムを構築する上で模範となる，分野別の到達目標（共通的な到達目標を含む）を設定する.

③分野別の到達目標（共通的な到達目標を含む）の点検評価方法の設定

・分野別の到達目標（共通的な到達目標を含む）を先導的に実施している大学の現地調査により，点検評価方法についての良好事例を調査し，整理する.

・工学系教育環境について実態調査を行う.

上記の方法により，工学系教育者の意見を専用Ｗｅｂサイト上で集約・整理し，分野別の到達目標（共通的な到達目標を含む）の評価方法の構築を行う.

④分野別の到達目標（共通的な到達目標を含む）の開発

汎用的技能（応用的能力），態度・指向性（道徳的能力）総合的な学習経験と創造的思考力を踏まえ，

・初年度に共通部分の到達目標を開発する.

・翌年度に技術分野別の到達目標を開発する.

技術者教育の共通部分及び技術分野別の到達目標設定の促進を行う.

⑤パブリックコメント募集の実施

本事業の実施に際し，パブリックコメント募集のための専用Ｗｅｂサイトを構築し，大学の工学系学科，学協会，産業界を始め，広く一般からも継続的に意見を募り，それらの意見を考慮することにより，公平さの確保と透明性の向上を図り，使いやすい分野別の到達目標（共通的な到達目標

を含む）の設定促進に反映した.

２）国際エンジニアリング連合(International Engineering Alliance, IEA）の「卒業生としての知識・能力と専門職としての知識・能力（ＧＡ ＆ ＰＣ)」の翻訳

本調査研究では，到達目標の作成の段階で複数の国際的な基準を参照したが，その代表的な基準である国際エンジニアリング連合(International Engineering Alliance, IEA）の「卒業生としての知識・能力と専門職としての知識・能力（Graduate Attributes and Professional Competencies)」の翻訳作業を，文部科学省高等教育局専門教育課や公益社団法人日本技術士会，JABEE などからの要請・協力により本調査研究に翻訳 WG を設置し，翻訳を行い，報告書の参考に収録した.

３）報告書の情報発信

報告書は紙媒体でも作成したが，ほかの関連資料も含めて，専用の Web サイトに掲載し，分野共通部分，各分野別，各項目別にもダウンロードできるように表現を工夫し，社会に広く広報することで，各大学などに参照して活用していただくこととした.

３．技術者教育の現状と問題

技術者教育の現状と問題に関して，協力者会議による「大学における実践的な技術者教育のあり方」の報告書の骨子を紹介しておく．

３－１　背景

(1)何故，技術者養成の充実が求められているのか

20 世紀の経済発展の原動力となってきた我が国の技術者であるが，今日，技術の創造は， 経済，外交，安全保障，健康・福祉，エネルギー，環境，防災，都市問題等の社会的課題との関係を深めており，自然科学の知識とその応用力等を駆使して複合的に絡み合う課題を解決でき，社会の変化に対応できる質の高い技術者の養成ニーズが高まっている．

(2)何故，実践的な教育が必要なのか(現在の技術者教育の問題点)

大学において，講義などの編成に技術の視点が不足し断片的になっている．すなわち個別の知識がどのように役立つのか，歴史・社会・自然との関連でどのような意味を持つのかを示しつつ体系立てた知識として教えられていない場合がある．技術者は，基礎知識や専門知識を用いて社会・産業の現実問題に応える研究開発や設計，製品の製造等を行うことが期待されており，技術者の養成には，必要な基礎学力を明確にし，現場，現物，現実を踏まえ，自然科学等の知識を適切に応用できるようにする実践的な教育が重要である．

３－２　技術者について

(1)技術者の定義

「技術者」とは，国際的に Engineer として通用するものとし，「数学，自然科学の知識を用いて，公衆の健康・安全への考慮，文化的，社会的及び環境的な考慮を行い，人類のために設計，開発，イノベーション又は解決の活動を担う専門的職業人」と定義する．

(2)求められる技術者像

我が国においては，少子高齢化が進み 2050 年には人口の半分が非生産人口になるとの推計もあり，社会の発展のためには，技術創造，技術革新をもたらす資質をもつ技術者の育成が強く求められる．

近年，伝統的な技術分野からハードとソフトが融合したメカトロニクス，機能材料，感性価値創造などの新しい技術分野の需要が生まれていることも注目される．

技術者は，変化する多様なニーズに応えられる基礎力，与えられた問題，未知の問題に対応できる汎用的技能が求められる．従って，論理的思考能力の基礎となる数学，自然科学の知識を確実に身につけていることが不可欠である．

３－３　これからの実践的な技術者教育のあり方

(1)分野別の学習成果評価指標設定の促進（「求められる技術者像」に至る到達の程度を学習成果の観点から具体化）

技術者のキャリアパスを踏まえた上で，各段階で達成され身につけるべき知識，資質・能力の評価指標(学習成果評価指標)が分野毎に産学共同で整備されることが期待される．

(2)実践的な技術者教育における分野別の到達目標設定の促進

大学において学生が到達すべき目標は，大学における実践的な技術者教育での学生の共通的な到達目標(最低限の基準)を示す「分野別の到達目標」としてスピーディかつオープンに策定されるべきである．

(3)実践的な技術者教育の分野別の到達目標に盛り込むべき主な内容，留意点

（イ） 知識・理解

（ロ） 汎用的技能，態度・志向性，総合的な学習経験と創造的思考力

（ハ）（ロ）を踏まえた，実践的な技術者教育の分野別の到達目標（分野共通部分）

（4）「分野別の到達目標」の設定方法

「分野別の到達目標」はスピーディかつオープンに設定されるべきである．

① 実践的な技術者教育の「分野別の到達目標」は，大学における技術者教育修了生の共通的な到達目標（最低限の基準）を示すもので，各大学が編成するカリキュラムの参考となるものである．

② 実践的な技術者教育の特質上，実践的な技術者教育の「分野別の到達目標」は，各技術分野に共通する部分と技術分野ごとに異なる部分とによって構成される（技術分野ごとには，専門工学も含む）枠組みを示す．

③ 「分野別の到達目標」を踏まえ，各大学はそれぞれ，自らの教育方針に基づき，学生が履修すべきカリキュラムの内容（広がり，深さ）を明確にする．

④ 【I 知識・理解】の項では，科目名を示し，それぞれ学生の到達すべき学習成果を，その内容，水準が明らかになるよう留意しつつ，点検可能な行動特性の形式で「到達目標」に示す．その際，個別の知識がどのように役立つのか，その知識の意味を歴史・社会・自然と関連付けて体系的に理解するための配慮事項を，「学修に当たっての配慮事項」に示す．

⑤ 分野共通的な横串としての【II 汎用的技能】【III 態度・志向性】【IV 総合的な学習経験と創造的思考力】は，【I 知識・理解】と関連するものの， 定型化された科目で養成されるものではなく多様な養成方法が考えられるため，科目名は示さず，学生の到達すべき学習成果を「○○することができる」といった点検可能な行動特性の形式で「到達目標」に示す．また，「学修に当たっての配慮事項」にいくつかの養成方法の事例を示す．

⑥ 到達目標の設定では，到達目標の達成度を評価するためのアセスメントの方法，アセスメント結果のデータからの達成度の評価（解釈）の基準と方法も必要となる．

4. 技術者教育に関する分野別の到達目標の設定の考え方と全体構造について

4－1. 分野別の到達目標の設定の考え方

本調査研究では，工学における伝統的な基幹分野として，機械，電気電子，建築，土木，化学，バイオ，情報・通信の７分野を対象とする．工学の分野を示すので，基幹分野名から「工学」の文字をあえて外した．基幹分野を複合する領域や新領域の分野については，これらの基幹分野での到達目標の設定の考え方を準用することで対応可能と考えられる．

工学の知識と技術を，専門分野毎に異なる部分と共通する部分に分けて整理するとともに，実践的な技術者教育のあり方についての議論に基づき，工学に対する社会のニーズの変化に対応して，工学系の学生が大学での教育内容として履修し，到達すべき目標を，「コア」と「要望」(入れられる分野について)の２レベルでまとめた．「コア」は，必修的なものと考え，「要望」はより高度なもので選択可能とし，これによって各大学の個性化に対応できるものとした．

「分野別の到達目標」は，各大学のカリキュラムの編成・実施の中に有機的に盛り込まれることで，実践的な技術者教育の一定の水準の確保につながる．この「分野別の到達目標」は，各大学がこれを参照することにより，理念・状況に即した自らの教育方針に基づき，学生が履修すべきカリキュラムの内容(広がり，深さ)を明確にし，独自の教育課程編成を行うことを支援するものである．到達目標は，教育課程の検討の際の出発点であり，それにどのように肉付けをして，最終的にどのような具体的な教育課程を編成するかは各大学が自主的に判断すべきものである．なお，各大学における実際の教育課程の編成においては，大学の実情に即して教養教育とのバランスに配慮した学習目標を定めることが望ましい．

4－2. 専門分野別の到達目標の一覧表（到達目標記述のための文書の様式）

到達目標については，各専門分野別に，技術者教育において育成すべき知識・能力とその到達目標を，次の頁に示す表４－１の一覧表の形式と，これをさらに詳細に箇条書きにしたものを作成した．この一覧表には，左側の縦軸に育成すべき知識･能力の項目が並び，各項目に関する到達目標を各項目の右側に，達成度レベル別に「コア」と「要望」の２レベルで示してある．ここで，表４－1の縦軸の３，４，５の到達目標については分野共通であるので，各専門分野別の到達目標の箇条書き版には，「１．基礎」(分野固有の基礎を設定している場合)，および「２．専門分野」の内容のみを記述してある．

また，箇条書き版には，「学修に当たっての配慮事項」も付記してある．

表４－１　技術者教育において育成すべき知識･能力とその到達目標の一覧表の様式

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">育成すべき知識･能力</td><td colspan="4">到達目標</td></tr>
<tr><td colspan="2">コ　　ア</td><td colspan="2">要　　望</td></tr>
<tr><td rowspan="3">1.基礎</td><td>1-1.数学</td><td rowspan="3">自然科学の法則を工学問題に適用し，解くことができる.
単位で表された数値が実感で理解できる.</td><td>微分･積分，微分方程式，線形代数，複素関数の基礎知識や概念を数学的問題に適用できる.</td><td rowspan="3">自然科学の法則を工学問題に適用し，解いた結果の分析により，問題解決に必要な課題の構造を明らかにすることができる.
単位で表された数値が実感で理解できる.</td><td>微分･積分，微分方程式，線形代数，複素関数の基礎知識や概念を工学問題に適用し，問題解決に必要な分析をすることができる.</td></tr>
<tr><td>1-2.物理学等自然科学
(物理，化学，情報リテラシー，地学，生物)</td><td>力学，電磁気学，熱力学等の自然科学の知識や概念を工学問題に適用できる.</td><td>力学，電磁気学，熱力学等の自然科学の知識や概念を工学問題に適用し，問題解決に必要な分析をすることができる.</td></tr>
<tr><td>1-3.工学基礎</td><td>基幹工学(機械工学概論，電気･電子工学概論等)，工学基礎実験･計測，数値解析等の基礎知識を工学問題の実験や解析に適用できる.</td><td>基幹工学(機械工学概論，電気･電子工学概論等)，工学基礎実験･計測，数値解析等の基礎知識を工学問題に適用し，問題解決に必要な分析をすることができる.</td></tr>
<tr><td>2. 専門分野</td><td>2-1.専門分野</td><td colspan="2">当該分野の知識と概念を工学問題に適用できる.</td><td colspan="2">当該分野の知識と概念を工学問題に適用し，問題解決に必要な分析をすることができる.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3.汎用的技能(応用的能力)</td><td>3-1.課題発見･解決力，論理的思考力</td><td colspan="2">課題発見，情報の収集と分析，課題解決，などの手法を用い，当該分野の工学問題の課題を挙げ，その問題の構造を分析できる.</td><td colspan="2">課題発見，情報の収集と分析，課題解決，などの手法を用い，当該分野の工学問題の課題を挙げ，その問題の構造を分析し，複数の解を提案し，その中から最良の解を選ぶことができる.</td></tr>
<tr><td>3-2.コミュニケーション･スキル</td><td colspan="2">他人の意見を分析･理解できるとともに，自らの意見を論理的な文書や口頭説明として整理し，まとめることができる.

英語等の外国語を用いて日常的な意見交換ができる.</td><td colspan="2">他人の意見を分析･理解し，自らの意見を論理的な文書や口頭説明として整理し，これを相手の理解力を考慮して評価し，まとめることで，相手に自分の意見を納得させることができる.

英語等の外国語を用いて実務に関する意見･情報の交換ができる.</td></tr>
<tr><td rowspan="4">4.態度･志向性(道徳的能力)</td><td>4-1.チームワーク，自己管理力，リーダーシップ，チャンスを活かす能力</td><td colspan="2">自分に与えられた仕事を実行するために，やるべき事を分析し，自己の体調･時間を管理できる.
同分野の専門家であるチームメンバーと意見交換を行い，チーム内での自らのなすべき行動を分析し，これを実行することができる.</td><td colspan="2">自分のやるべき事を評価･認識し，自己の意欲･体調･時間･予算を管理することでこれを実行できる.
同分野あるいは異分野の専門家のチーム作業において，なすべき行動を評価･実行できるとともに，リーダーとしてメンバーに働きかけることができる.</td></tr>
<tr><td>4-2.倫理観</td><td colspan="2">技術者倫理の基本原則を一般的な問題に適用できる.</td><td colspan="2">技術者倫理の基本原則を用いて実務の場でとるべき倫理的行動を考えることができる.</td></tr>
<tr><td>4-3.市民としての社会的責任</td><td colspan="2">社会･健康･安全･法律･文化･環境などに関する知識を，一般的な問題の解決の際に適用できる.</td><td colspan="2">社会･健康･安全･法律･文化･環境などについての考慮を実務の場に適用し，とるべき行動を考えることができる.</td></tr>
<tr><td>4-4.生涯学修力</td><td colspan="2">自主的に生涯にわたって学修する必要性と方法を理解している.</td><td colspan="2">自主的に生涯にわたって学修する必要性と方法を理解し，それを実際の活動に適用し，意欲を持って実行している</td></tr>
<tr><td>5.総合的な学習経験と創造的思考力</td><td>5.創成能力
(システム設計)</td><td colspan="2">各種の外的･内的制約条件と，問題解決のために解くべき課題を挙げ，この課題を整理･分析して，制約条件下で課題を解決できる最適解を評価･提案できる.</td><td colspan="2">各種の外的･内的制約条件と，問題解決のために解くべき課題を挙げ，制約条件下で課題を解決できる最適解を見出し，これに基づいて，複合的な工学的問題の創造的解決を図ることができる.</td></tr>
</table>

（知識・能力項目の分類）

表４－1の一覧表で示す，技術者教育において育成すべき知識・能力の項目としては，中央教育審議会答申が提示している下記のような学士力の項目を採用した．

(1)　基礎
　１－１　数学
　１－２　物理学等自然科学
　１－３　工学基礎
(2)　専門分野（５～６つの柱を立てる）
(3)　汎用的技能（応用的能力）
　３－１　課題発見・解決力，論理的思考力
　３－２　コミュニケーション･スキル
(4)　態度・志向性（道徳的能力）
　４－１　チームワーク，自己管理力，リーダーシップ，チャンスを活かす能力
　４－２　倫理観
　４－３　市民としての社会的責任
　４－４　生涯学修力
(5)　総合的な学習経験と創造的思考力
　５　　創成能力（システム設計）

ここで，上記の　(2)専門分野　において育成すべき知識･能力は，基幹の７つの専門分野別にこれらを５から６つの柱に分け，柱毎に中身を階層化し，階層毎に，各専門分野独自の到達目標を示した．

これらの項目は，Tuning Texas（下記 Web 頁参照）　のキーコンピテンシー，
http://www．thecb．state．tx．us/index．cfm?objectid=D7579EDC-D4F7-2827-DED05888388D5CC5,
ABET　（Accreditation Board for Engineering and Technology）や JABEE (Japan Accreditation Board for Engineering Education：日本技術者教育認定機構)の認定基準，国際エンジニアリング連合（International Engineering Alliance，IEA）の卒業生としての知識･能力（Graduate Attributes：下記 Web 頁参照），
http://www．washingtonaccord．org/IEA-Grad-Attr-Prof-Competencies-v2．pdf,
等の国際標準的な基準の項目とは，次頁の表４－２に示すようにほぼ対応しており，国際的な担保が得られるものと考えられる．

表４－２ 本調査研究の到達目標の知識･能力の項目と，他の各種基準における目標の比較･対応

	Tuning Texas のKey Compitencies（ABETのCriteriaと1対1に対応）	ABETのCriteria	JABEE 2012年基準の学習教育到達目標	Int. Engng. Alliance の Graduatte Attributes	技術者教育に関する分野別の到達目標（本調査研究）における育成すべき知識･能力
1	Mathematics, Science & Engineering	(a)数学,科学,工学の知識の応用能力	(c)数学、基礎科学 (d)専門応用	1 工学知識	1-1:数学、1-2:物理、化学、情報リテラシー、 1-3:工学基礎（基幹工学の基礎、数値計算） 2:専門分野
2	Experiments	(b)実験を計画･実施し、得られたデータの解釈･分析をする能力	(d)工学リテラシー	4 調査･研究	1-3:工学基礎（工学基礎実験･計測）
3	System Design（デザイン作業の後半：解の設計）	(c)各種制約下でニーズに合致するシステム要素,プロセスのデザイン能力	(e)デザイン能力	3 工学デザイン/問題解決	5:創成能力
4	Multidisciplinary Teams	(d)学際的なチームでの活動能力	(i)チーム活動能力	9 個人およびチームワーク	3-1:チームワーク、リーダーシップ）
5	Engineering Problems（デザイン作業の前半：問題特定、プロマネ）	(e)工学的問題の特定･定式化･解決能力	(d)専門応用 (e)デザイン能力 (h)プロマネ	2 課題分析 11 プロマネと財務	4-1:論理的思考力、課題発見解決力(プロマネを含む)
6	Professinal and Ethical Responsibility	(f)職業的･倫理的責任の理解	(b)倫理	8 倫理	4-2:倫理観
7	Communication	(g)効果的コミュニケーション能力	(f)コミュニケーション	10 コミュニケーション	3-2:コミュニケーションスキル
8	Global Inpact of Engineering Solution	(h)工学的解決が地球/経済/環境/社会に及ぼす影響の理解に必要な幅広い教育	(b)社会的責任	7 環境と持続性	4-3:技術者ならびに市民としての社会的責任
9	Life-long Learning	(i)生涯学習の必要性と、そのための必要能力の認識	(g)自主的･継続学習	12 生涯継続学習	4-4:生涯学習力、自己管理力
10	Contemporary Issues	(j)現代の課題に関する知識	(a)地球的視点	6 技術者と社会	4-3:技術者ならびに市民としての社会的責任
11	Engineering Tools（工学リテラシー）	(k)工学問題解決に必要な技術、技能、各種の新しい工学ツールを使える能力	(d)工学リテラシー	5 最新のツールの活用	1-3:工学基礎（工学基礎実験･計測）

（到達目標の達成度レベル）

前頁の表 4-2 より，本調査研究で取り上げた大学 4 年間の技術者教育で修得すべき知識･能力の種類は，主要な国際的基準とほぼ同じであることがわかる．しかし，技術者教育の質保証に関する認定機関（ABET や JABEE）では，各教育機関の独自性を尊重し，卒業時に習得すべき学習目標として必要な知識･能力の項目のみを示し，それぞれの達成度レベルに関しては，国際的に学士として認められる水準（国際的同等性）としており，具体的な達成度の水準は明示しておらず，実際的な評価水準は，ピアレビュー審査に任されている．これに対し，Tuning Texas の目標や国際エンジニアリング連合（International Engineering Alliance）の Graduate Attributes では，各知識・能力が大学卒業時にどのくらいのレベルで育成されているべきか，が具体的に記述されている．

今回の調査研究では，各大学における技術者教育の質と国際的同等性を確保するため，専門分野別に到達目標の達成度レベルを示すこととし，具体的には下記の方針で各目標の達成度レベルを記述した．

(1) 知識に関しては，修得すべき科目名とそのレベルを示すための内容を規定する．
(2) 能力に関しては，達成すべき目標を「～できる」という形で例示的に設定する．
(3) 上記(1)(2)における到達目標毎の達成度レベル表現は，Tuning Texas でも採用されているブルーム・タキソノミーの認知過程次元における「学びの深さ」の指標を用いて表わす．

図 4-1 には，改訂版ブルーム・タキソノミーの認知過程次元における「学びの深さ」の指標（記憶する，理解する，適用する，分析する，評価する，創造する）を，また表 4-3 にはこれらの６つの指標の示すレベルの定義と事例を示す．このブルーム・タキソノミーは，授業と評価の指針となるよう教育目標を分類し明確に叙述する枠組であり，学生が何をどこまで達成したかを調べる手段としても有効である．

本調査研究報告では，この改訂版ブルーム・タキソノミーの６つの指標を用いて，技術者教育の国際的同等性を保つために必要なレベルを念頭に，各知識・能力に関して到達すべき目標レベルを，表 4-4 に示すように統一的・客観的な形で設定している．この到達目標では，「コア」と「要望」の２つのレベルを設定した．「コア」は基礎的で必修的な目標であり，「要望」は選択的なより高度なレベルの目標である．

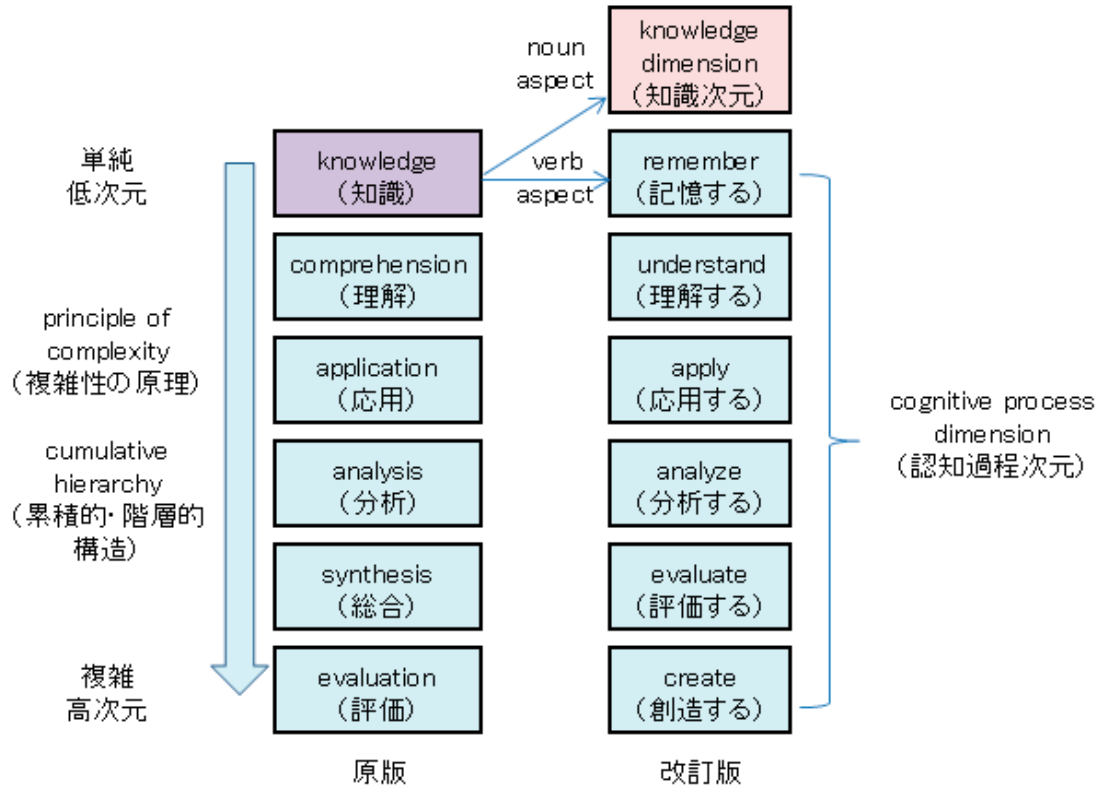


図4－1　改訂版ブルーム・タキソノミー

この図は，教育目標の分類学（Taxonomy of educational objectives：学びの深さの多様な次元を語る共通言語を提供する試み）であり，Anderson, L. , & Krathwohl, D. (Eds.): “A taxonomy for learning, teaching, and assessing: revision of Bloom’s taxonomy of educational objectives”, New York, Longman Publishers, (2001). p. 310の”Summary of the structural changes from the original framework to the revision” より作成.

表４－３　認知過程次元のカテゴリーの定義と事例

認知過程のカテゴリー	事例
１．**記憶する**(remember)：長期的記憶から適切な知識を回復すること．	
1．1 **認知する**(recognizing)	歴史上の重要な出来事が起きた年月日を知っていること．
1．2 **思い出す**(recalling)	歴史上の重要な出来事が起きた年月日を思い出すこと．
２．**理解する**(understand)：説明的なメッセージ（口頭，記述，図表によりコミュニケーションを含む）から意味を構築すること．	
2．1 **解釈する**(interpreting)	重要なスピーチや文書について，言い換えること．
2．2 **例示する**(exemplifying)	絵画の多様な様式について，事例を挙げること．
2．3 **分類する**(classifying)	観察・報告された精神障害について，分類すること．
2．4 **要約する**(summarizing)	ビデオテープに描写された出来事の要約を記すこと．
2．5 **推論する**(inferring)	外国語を学習する際，事例から文法の法則を推論すること．
2．6 **比較する**(comparing)	歴史的な出来事を現代的な状況と比較すること．
2．7 **説明する**(explaining)	18 世紀フランスにおける重要な出来事の原因を説明すること．
３．**適用する**(apply)：特定の状況のなかである手順を遂行したり活用したりすること．	
3．1 **遂行する**(executing)	二桁以上の整数と整数の割り算を行うこと．
3．2 **導入する**(implementing)	ニュートン第二法則を適用する状況を判断すること．
４．**分析する**(analyze)：事象を構成要素に分割し，各要素が互いに，あるいは構造全体や目的とどのような関係性にあるのかを判断すること．	
4．1 **区別する**(differentiating)	数学の文章題で，妥当な数値と妥当でない数値を区別する．
4．2 **整理する**(organizing)	歴史的記述に関する証拠を，特定の歴史的解釈を立証したり，反証したりする証拠として組み立てる．
4．3 **原因とみなす**(attributing)	ある評論の著者の主張を，政治的立場の観点から判断すること．
５．**評価する**(evaluate)：基準や標準にもとづいて判断をすること．	
5．1 **点検する**(checking)	ある科学者の結論が観察されたデータにもとづくものなのか判断すること．
5．2 **批評する**(critiquing)	ある問題を解決する方法として，二つの方法のうち最良のものはどちらかを判断すること．
６．**創造する**(create)：要素を一貫性のある，機能的な全体を構成するように結合させること．要素を新しいパターンや構造に再編すること．	
6．1 **生み出す**(generating)	観察された現象を説明する仮説を生み出すこと．
6．2 **計画する**(planning)	ある歴史のテーマについて，研究論文を計画すること．
6．3 **製作する**(producing)	ある目的のために，ある生き物のために生態系を作ること．

出典）Anderson, L．W．　and Krathwohl, D．R．（2001）．　pp．30-31 より作成．

本到達目標で採用している，改訂版ブルーム・タキソノミーに基づく，各知識・能力項目の到達目標のレベルを示すための「学びの深さ」は，各知識・能力項目毎に，技術者教育の国際的同等性を保つために必要なレベルを念頭に，表４－４のように設定した.

表４－４　到達目標のレベル

知　識・能力項目	コ　　ア	要　　望
１．基礎	適用する	分析する
２．専門分野	適用する	分析する
３．汎用的技能（応用的能力） ３－１．　課題発見・解決力，論理的思考力	分析する	評価する
３－２．コミュニケーション･スキル	分析する	評価する
４．態度･志向性（道徳的能力） ４－１．チームワーク，自己管理力， リーダーシップ，チャンスを活かす能力	分析する	評価する
４－２．倫理観	一般的（定型的）問題に適用する	実務問題に適用する
４－３．市民としての社会的責任	一般的（定型的）問題に適用する	実務問題に適用する
４－４．生涯学修力	理解する	適用する
５．総合的な学習経験と創造的思考力 ５　創成能力（システム設計）	評価する	創造する

４－３. 知識･能力項目間の関係を示すイメージ図と分野毎の科目や項目間関連図

本調査研究での分野別（共通部分を含む）の到達目標設定で使用した知識・能力項目（表 4-1 の縦軸の項目）の相互関係を示すイメージを図 4-2 に示す.

また，数学，物理，化学などの基礎，および各専門分野での科目間の繋がりや社会での各科目の役割などを表す図は，基礎での各科目・各分野の到達目標の章に示す.

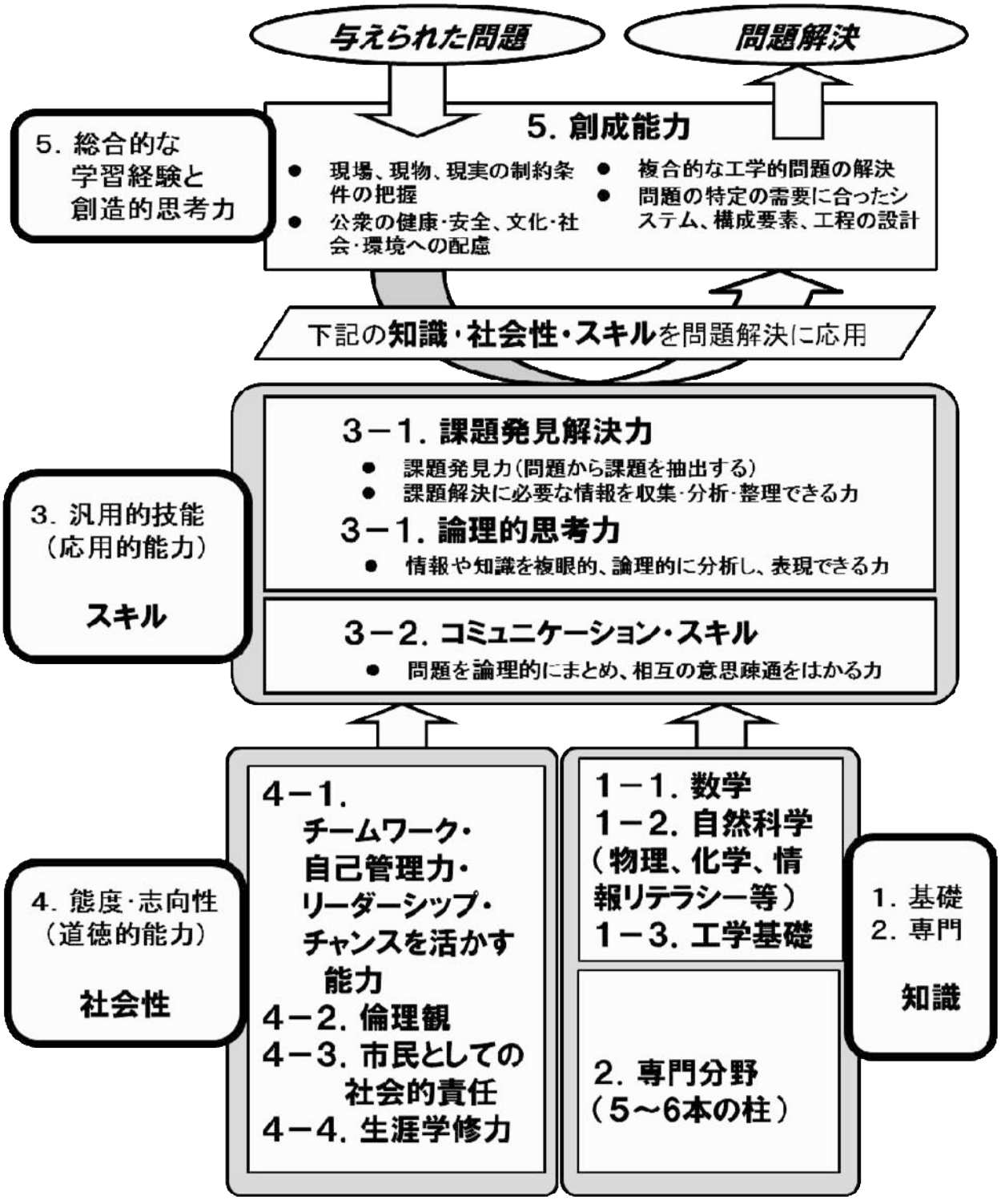


図4－2 技術者教育において育成すべき知識・能力の相互関係

４－４．パブリックコメント募集の趣旨

各大学が，本調査研究での「分野別の到達目標」を参照し，理念・状況に即した自らの教育方針に基づき，学生が履修すべきカリキュラムの内容を明確にし，独自の教育課程編成を行うことを支援するためには，各大学が参照しやすい柔軟な構造を有する分野別の到達目標を設定することが求められる．

そのために，専用の Web サイトを構築し，パブリックコメントの募集を共通部分と分野別に分けて行った．大学などの工学系学科，学協会，産業界を始め，広く一般からも意見を募り，それらの意見を考慮することにより公平さの確保と透明性の向上を図り，大学にとって使いやすい分野別の到達目標（共通的な到達目標を含む）の設定に反映させた．

パブリックコメント募集は，共通部分を平成２３年７月から８月にかけて行い，総数９４件の意見を得た．また，分野別についても，平成２３年１２月から平成２４年１月にかけて行い，総数１３４件の意見を得た．

そのほか，次のような学協会への紹介と意見募集も行った．

日本学術会議，JABEE，日本技術士会，日本工学教育協会，国立大学５３工学系学部長会議，関東工学教育協会関東地区学部長等会議，学位授与機構，分野別の代表的な各学協会等の窓口．

このような多数の意見を到達目標の見直しに役立てるために，分野別の WG で審議し，全体会議でそれらの整合性を図った．

４－５．「汎用的技能」「態度・志向性」「総合的な学習経験と創造的思考力」育成法

【３．汎用的技能】【４．態度・志向性】【５．総合的な学習経験と創造的思考力】に関する資質･能力は分野共通的な横串であり，【１．２．知識・理解】と関連するものの，定型化された科目で育成されるものではなく，多様な育成方法が考えられる．

そこで本調査研究では，第７章４）にこのような資質･能力育成のための教育プログラムを体系的に設計するための方法論と，国内外におけるいくつかの良好事例を示した．

５．技術分野共通（知識・理解）の到達目標及び学修に当たっての配慮事項

１．数　　学

２．物　　理

３．化　　学

４．情報リテラシー

５．工学基礎

５－１．数学

５－１－１．まえがき

本報告は，技術者教育に共通する数学分野に焦点を当て，学士課程教育において身に付けるべき知識やその理解，およびこれらを具体的事例に適用する能力（ここでは，運用力と呼ぶことにする）について，範囲とレベルを項目や到達目標の形で，学修に当たっての配慮事項とともに提示する．

技術者教育における数学分野で最も共通性の高い，微分積分，線形代数，常微分方程式，確率・統計，の４分野（共通基礎４分野）については，コア（必ず履修すべき項目で，必須事項）と要望（できれば履修させたい項目）に分けて，到達目標及び学修に当たっての配慮事項とともに提示する．一方，ベクトル解析，複素解析，偏微分方程式，フーリエ解析，確率過程／待ち行列理論，離散数学，最適化手法，数値計算，なる８分野（専門指向型８分野）については，技術者教育の専門分野毎に必要性や履修すべき項目が異なってくる傾向が強い．そのため，これらについては，コア，要望の区別をすることなく，項目，到達目標および学修に当たっての配慮事項を提示することを基本方針とする．なお，複素解析と離散数学については一部要望項目を表記する．また，項目は場合によっては，大項目とそれを構成するいくつかの小項目に分割した形で記載する．

技術者教育における学士課程での数学教育に求められる教育内容（数学の分野や項目）について，これらの関連性（教育順序）をある程度は考慮して列挙している．ただし，各大学の諸事情に応じて順序を変更することは当然あり得る．また，ここに提示する数学の分野は授業科目を意味するものではない．授業科目への割り当て（具体的なカリキュラムやシラバス作成作業）に際しては，必要に応じて分割，統合して割り当てることも可能である．何年次にどのような数学分野のどこまでの範囲を割り当てるか，なども各大学の教育方針やスタッフなどの諸事情に応じて決まるものである．図５－１と図５－２には，共通基礎４分野および専門指向型８分野の大まかな順序関係や関連性を示している．

当プロジェクトは，ここに記載する数学分野と項目および到達目標を，いわば技術者教育の数学に関するコアカリキュラムとして定着させることを目指している，と言っても過言ではない．JABEE などを「教育プログラムの認定」とすれば，本報告の内容は「具体的な教育コンテンツ認証の基礎」という意味合いを有する．

本報告の数学分野と項目，到達目標などを共通ターゲットとした厳格な評価手法が確立されれば，日本の技術者教育における数学に関する質保証を強力に後押しすることができるものと考えられる．

なお，共通基礎４分野については，本報告書記載のコアの項目および当該の到達目標をほぼそのまま試験の範囲とその到達目標として，EMaT（工学系数学統一試験）が，広島大学と山口大学を運営母体として毎年 12 月に全国規模で実施されている．2003 年（平成 15 年）の開始以来 2012 年で 10 回目となり，既に約 10 年間工学系数学教育における質保証を具体的に推進してきている．

本報告の第１の目的は，技術者教育における数学教育への貢献である．しかしながら，実は，目的はもう一つある．技術者教育の数学分野とは異なる分野（仮にここでは，非数学的分野と呼ぶことにする）の教育に携わっている教員の方々が，技術者教育としての数学にさらなる関心を持つことを後押しすることである．あくまで一般的傾向であるが，当該分野での数学の重要性は認識しながらも，具体的にどのような数学分野や項目をいかなるレベルまで履修することが必要か，についての関心が

それほど高いとは考え難い．非数学的分野に関わる教員は技術者教育に関わる教員の 90%以上と判断できる．本報告は，その教員の方々が当該分野の教育の一環として，数学教育のあり方を考える場合のたたき台となることも意図している．

その際には，技術者教育における数学共通基礎４分野の重要性に留意されたい．一つの専門分野を履修した学生が卒業後も同じ専門分野に関わるとは限らない．当人の意志で専門分野が変わる場合もあれば，そうでない場合，たとえば就職した企業自体が方向を転換すること，もある．専門分野に必要な数学の教育内容は，共通基礎４分野全部，および専門指向型８分野から適宜選択した数学分野や項目により構成されるが，後者は専門分野への依存性が強く，専門分野が変わればそれに応じて分野に必要な専門と数学に関する教育内容は変化する．したがって，普遍性の高い教育内容は共通基礎４分野の数学であり，専門分野変更に対する技術者の対応力，柔軟性の源となる．これらはこれからの人材が具備しておくべき能力であり，技術者教育における共通基礎４分野の数学の重要性を主張する根拠である．

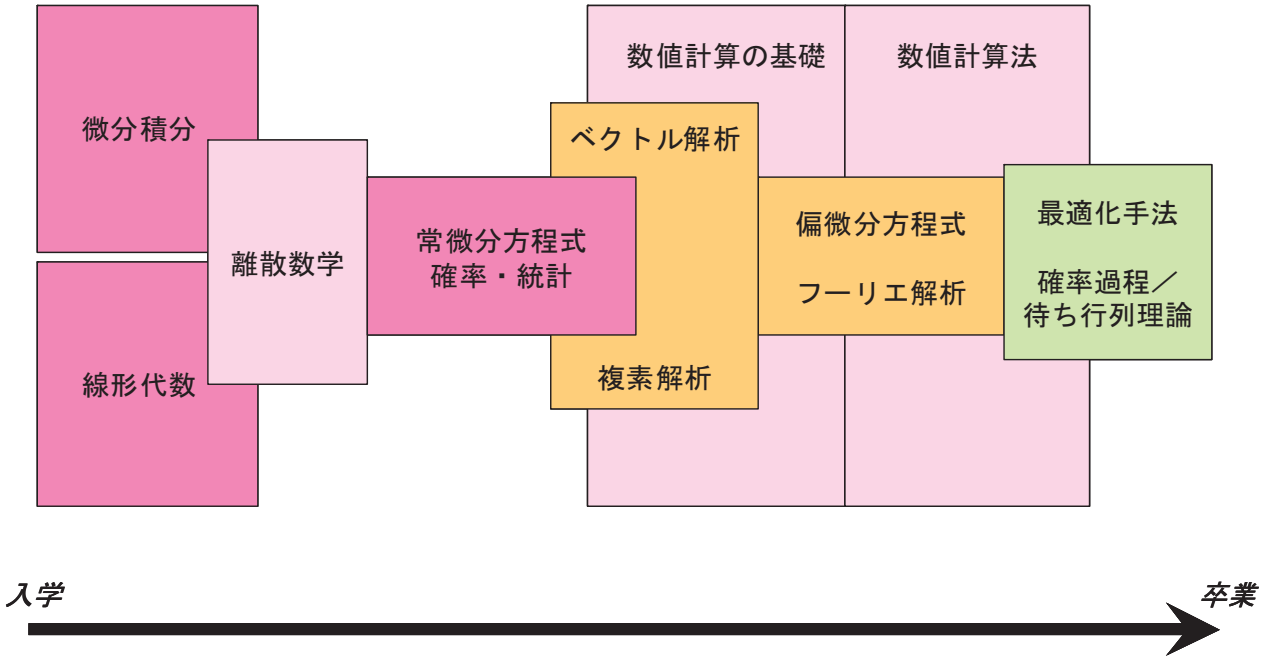


図５－１　共通基礎４分野および専門指向型８分野の大まかな順序関係

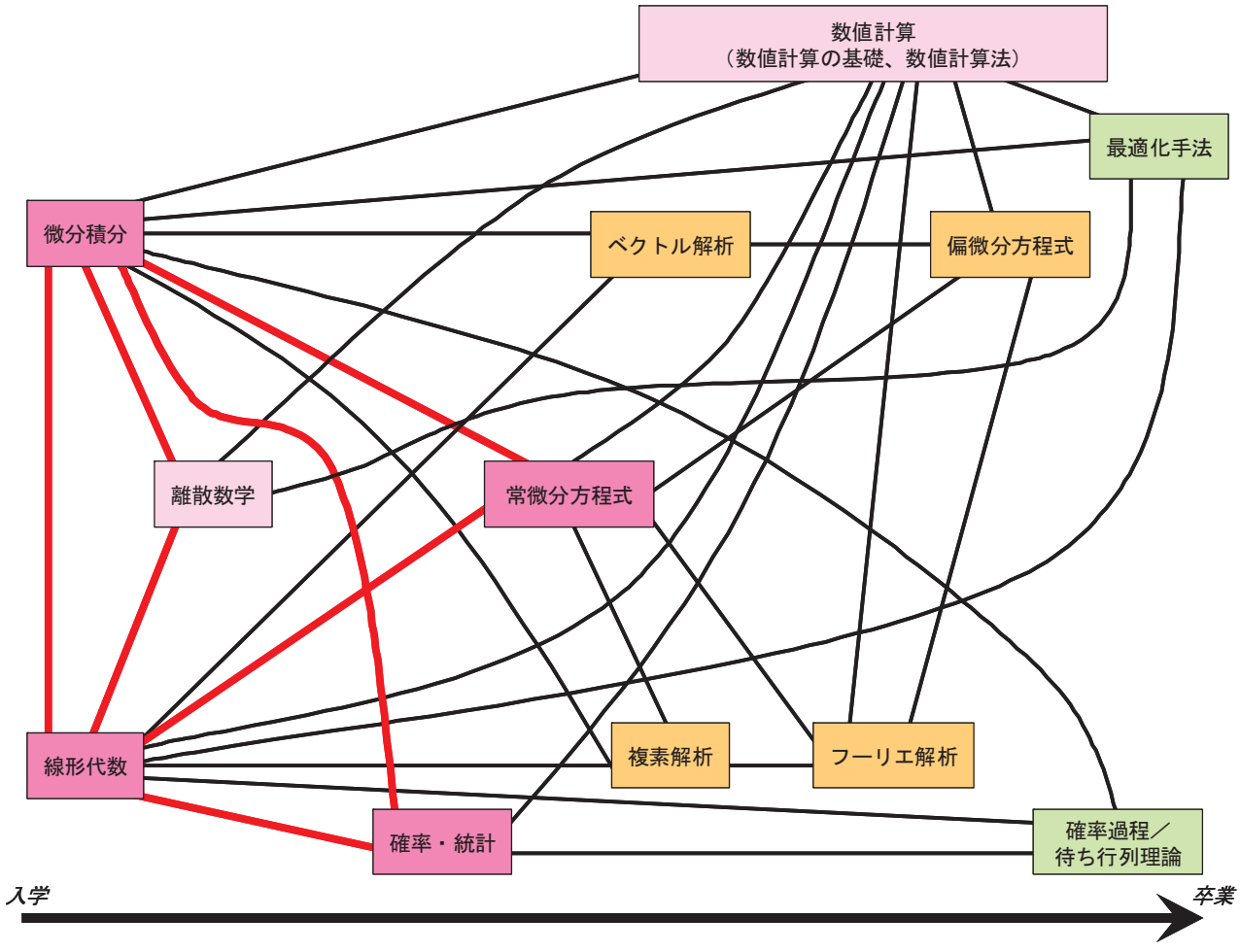


図５－２　共通基礎４分野および専門指向型８分野の大まかな関連性

５－１－２．数学の到達目標及び学修に当たっての配慮事項

技術者教育における数学の到達目標と学修に当たっての配慮事項は，次の１２分野について示す．

Ⅰ．共通基礎４分野について

１．「微分積分」
２．「線形代数」
３．「常微分方程式」
４．「確率・統計」

Ⅱ．専門指向型８分野について

５．「ベクトル解析」
６．「複素解析」
７．「偏微分方程式」
８．「フーリエ解析」
９．「確率過程／待ち行列理論」
１０．「離散数学」
１１．「最適化手法」
１２．「数値計算」

Ⅰ．技術者教育における基礎数学　－共通基礎４分野－

１．「微分積分」

（１）数列とその極限，関数の極限，関数の連続性

【要望】エプシロン・デルタ論法の考え方

到達目標

【コア】

・極限の概念を理解し，数列の極限を求めることができる．
・関数の極限を理解し，不定形の極限を含む関数の極限を求めることができる．
・関数の連続，不連続の概念を理解する．

【要望】

・エプシロン・デルタ論法の考え方は，近似の精度・誤差の問題と一体のものであることを理解する．

学修に当たっての配慮事項

【コア】

・具体的な事例等を通じて，数列の極限，関数の極限および関数の連続性の概念を理解させ，極限の概念が微分法，積分法の基礎となることを理解できるよう配慮する．

【要望】

・エプシロン・デルタ論法の考え方を習得するにあたっては，具体的な例を通じて収束の様子を感覚的につかめることができるよう配慮する．

（２）基本的な関数の導関数，合成関数と逆関数の微分

【要望】導関数で表される物理量，現象記述の観点から見た関数の役割

到達目標

【コア】

・導関数の概念を理解し，多項式，有理関数，三角関数，指数・対数関数，逆三角関数の導関数並びにそれらの高階導関数を求めることができる．
・関数の積の微分法則，合成関数の微分法則，逆関数の微分法則を活用できる．

【要望】
・速度や加速度など，導関数で表される基本的な物理量を理解する．
・指数関数は成長と減衰の解析，三角関数は円運動や振動の解析それぞれに有用であることを理解する．

学修に当たっての配慮事項
・具体例から導関数の概念を理解させる．また，種々の関数の導関数計算にも習熟させ，具体的な事例に活用できるよう配慮する．

（３）関数の極値と最大・最小，およびロールの定理，平均値の定理，テイラーの定理，テイラー展開

【要望】コーシーの平均値の定理，ロピタルの法則と不定形の極限

到達目標

【コア】
・関数のグラフの概形を描くことができる．
・関数の極値や最大・最小を求めることができる．
・ロールの定理，平均値の定理，テイラーの定理を理解し，関数の近似式を求めることができる．
・簡単な関数のテイラー展開を求めることができる．

【要望】
・平均値の定理の応用として，関数の増減表が書ける根拠を理解する．
・平均値の定理の拡張としてコーシーの平均値の定理を理解する．
・ロピタルの法則などを用いて不定形の極限値を求めることができる．

学修に当たっての配慮事項
・微分の利活用により，極値や最大・最小などの関数の挙動を把握できるように，かつ関数の別表現（級数展開）や近似に習熟するように配慮する．

（４）基本的な関数の不定積分，置換積分，部分積分，部分分数展開

到達目標
・不定積分の基本的性質を理解し，多項式，有理関数，無理関数，指数・対数関数，三角関数の不定積分を求めることができる．
・部分積分を（複数回も含む）利用して不定積分計算ができる．
・適切な変数変換を行い，不定積分計算ができる．
・部分分数展開を利用して有理関数の不定積分計算ができる．

学修に当たっての配慮事項
・種々の積分に習熟させ，幅広い応用事例に活用できるよう配慮する．

（５）定積分，微分積分の基本定理，図形の面積と曲線の長さ

【要望】広義積分，数値積分，簡単な１階微分方程式

到達目標

【コア】
・定積分と図形の面積の関係（積和の極限であること）を理解する．
・定積分の基本的性質および不定積分との関係を理解し，種々の定積分を求めることができる．
・定積分の計算が微分の逆演算に帰着できることを理解する．
・曲線で囲まれた図形の面積を求めることができる．
・関数のグラフとして表された曲線やパラメータ表示された曲線の長さを求めることができる．

【要望】
・不連続な関数の定積分や無限区間での定積分の拡張概念を理解する．
・台形公式やシンプソン公式などの数値積分法を理解し，具体的な数値計算ができる．
・簡単な１階微分方程式について，立てることと解くことの意味を理解する．

学修に当たっての配慮事項

【コア】
・定積分の意味や不定積分との関係を理解できるように，また具体的な事例を通じて，種々の図形の面積や様々な曲線の長さを求めることに習熟するように，配慮する．

【要望】

・具体的事例によって，広義積分の概念を理解し，かつ数値積分法に習熟するよう配慮する．等速運動や等加速度運動の解析などを通して微分と積分相互の関連を理解する．
・具体的事例によって，微分積分と微分方程式の相互の有機的関係が理解できるよう配慮する．

（６）多変数関数に関する基本的な概念

到達目標

・多変数関数の連続性の定義を理解し，簡単な関数のグラフの概形を描くことができる．

学修に当たっての配慮事項

・具体的な事例を通じて，多変数関数の連続性の概念を理解させ，関数の挙動を把握できるよう配慮する．

（７）偏導関数，全微分，合成関数の偏微分

【要望】２変数関数に対するテイラーの定理

到達目標

【コア】

・偏導関数の定義と意味を理解する．
・１変数関数の微分公式を多変数関数に適用して，偏導関数並びに高階偏導関数を計算できる．
・全微分の意味および合成関数の偏微分規則を理解し，具体的事例に適用できる．

【要望】

・２変数関数に対するテイラーの定理を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・種々の関数の偏微分に習熟させ，具体的な事例に活用できるよう配慮する．

（８）偏微分の応用

到達目標

・簡単な多変数関数の極値を求めることができる．
・曲面の接平面を求めることができる．
・陰関数の導関数を求めることができる．
・簡単な条件付き極値問題を解くことができる．

学修に当たっての配慮事項

・偏微分の利活用により，多変数関数の極値や曲面の接平面，陰関数の導関数などを求めることができること，および簡単な条件付き極値問題を解くことができることを理解し，応用に習熟するよう配慮する．

（９）多重積分，累次積分，積分変数の変換

到達目標

・多重積分と面積および体積の関係を理解する．
・累次積分を利用して多重積分が計算できる．
・極座標変換などを利用して，多重積分の計算ができる．

学修に当たっての配慮事項

・具体例によって，多重積分と累次積分の関係，座標系の変換などに習熟させ，幅広い応用事例に活用できるよう配慮する．

（10）多重積分の応用

到達目標

【コア】

・曲面で囲まれた立体の体積を求めることができる．

【要望】

・線積分の意味と基本的性質を理解し，具体例に適用できる．

学修に当たっての配慮事項

【コア】

・具体的な事例を通じて，様々な立体の体積計算に習熟するよう配慮する．

【要望】

・具体例を通じて，線積分を理解し，かつその扱いに習熟するよう配慮する．

(11) 【要望】無限級数

・無限級数の定義と基本的性質を理解する．
・正項級数や絶対収束級数の収束性を理解し，具体例に対して収束判定ができる．
・べき級数（整級数）の収束性，連続性，項別微分，項別積分，およびテイラー級数への展開を理解し，具体的事例に対して級数展開ができる．

学修に当たっての配慮事項

・具体的事例を通じて，種々の応用に習熟するよう配慮する．

２．「線形代数」

（注）要素を実数に限定するか，複素数まで含めるか，によって以下の各項目はコアと要望に分けられる．したがって，ここでは個別の項目についてコア，要望という区別は明示しない．項目毎に，必要に応じて両者を選択することになる．ただし，「ジョルダンの標準形」だけは例外とし，これは実行列，複素行列いずれについても要望とする．

【コア】

・要素がすべて実数であるベクトル，行列，行列式を対象とする．

【要望】

・要素が複素数であるベクトル，行列，行列式を対象とする場合を扱う．共役複素数を要素とする転置行列（随伴行列）やエルミート行列（実対称行列の一般形）が出現する．また，内積保存性に関して，直交行列の一般化としてユニタリ行列も現れる．

（１）行列と行列式，正則行列と逆行列

到達目標

・行列に関する和や積などを計算できる．
・行列式の意味や性質を理解し，簡単な行列の行列式を計算できる．
・行列が正則であるための種々の条件を理解し，与えられた行列が正則であるかどうか判定できる．
・逆行列の意味や性質を理解すると共に，簡単な正則行列の逆行列を求めることができる．

学修に当たっての配慮事項

・行列や行列式の使用例や計算事例を通じて，正則性や逆行列の意味を理解し，かつ正則性判定や逆行列計算にも習熟するよう配慮する．

（２）行列式，逆行列，行列の階数，行列の基本変形，連立一次方程式の解法

到達目標

・連立方程式の係数行列についての行列式や逆行列と解の関係を理解する．
・行列の階数の概念を理解する．
・行列の基本変形（掃き出し法など）を利用して具体的な行列の階数や逆行列を求めることができる．
・連立方程式の係数行列の正則性や階数と解の関係を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・連立方程式の係数行列についての行列式や逆行列と解の関係を理解し，行列の基本変形を通じて，連立一次方程式の解法原理を理解すると共に，処理手順にも習熟するよう配慮する．

【要望】

・実際に連立一次方程式を解くための数値計算法として，LU 分解法を理解するよう配慮する．

（３）ベクトル空間（線形空間）と部分空間，基底と次元，内積

到達目標

・ベクトル空間（線形空間）の定義を理解し，与えられた集合が指定された演算に関してベクトル空間をなすか判定できる．
・一次独立（線形独立）と一次従属（線形従属）の概念を理解できる．
・ベクトルによって張られる（生成される）部分空間の概念を理解できる．

・与えられたベクトル空間の基底と次元を求めることができる.
・内積の定義を理解し，与えられた基底から正規直交基底を構成する手法を理解し，かつ実際に構成操作を実行することができる.

学修に当たっての配慮事項

・具体的な事例を通じて，ベクトル空間の基底や次元などを理解すると共に，基底の正規直交化にも習熟するよう配慮する.

（４）線形写像と表現行列

到達目標

・線形写像の概念を理解する.
・線形写像の核と像を求めることができる.
・線形写像とその表現行列との関係を理解する.

学修に当たっての配慮事項

・具体例を通じて，線形写像の概念と表現行列の関係を理解できるよう配慮する.

（５）固有値と固有ベクトル，行列の対角化

到達目標

・固有値と固有ベクトルの定義や性質および実用上の重要性を理解し，簡単な行列の固有値と固有ベクトルを計算できる.
・行列が対角化可能であるための条件を理解し，対角化可能な行列を対角化することができる.
・２次形式の標準形を求めることができる.

学修に当たっての配慮事項

・具体的事例により，固有値，固有ベクトルの役割および行列の対角化を理解し，かつその処理手順にも習熟するよう配慮する.

【要望】

・実際に固有値を求めるための数値計算法として，行列の３重対角化（ハウスホルダー変換など）と２分法，固有ベクトルを求めるための数値計算法として逆反復法などを理解するよう配慮する.また，大規模疎行列の数値計算法への橋渡しも考慮することが望ましい.

（６）【要望】行列の３角化，ジョルダンの標準形と基底ベクトル，ケーリー–ハミルトンの定理と最小多項式

到達目標

・行列の３角化とベクトル空間の直和分解の関係を理解する.
・正方行列が適当な正則行列（とその逆行列）を乗ずることによりジョルダンの標準形に変換できることを理解する.
・正方行列とその特性多項式および最小多項式の関係を理解する.

学修に当たっての配慮事項

・線形微分方程式あるいは連立微分方程式などを例として用いながら，その解と固有値や固有ベクトルさらにはジョルダンの標準形との関連性が理解できるよう配慮する.

３．「常微分方程式」

（１）常微分方程式に関する基礎的な概念

到達目標

・常微分方程式の立て方とその意味，現象との関係，方程式の解の物理的な意味や幾何学的な性質，などの概念，および一般解や初期値問題などといった用語を理解している.

学修に当たっての配慮事項

・工学の諸分野における基礎的現象からの定式化の過程，および得られた方程式などの具体的な事例を通じて，常微分方程式の意味することや基礎的概念，および用語などを理解できるよう配慮する.

（２）１階常微分方程式

到達目標

【コア】
・（同次形からの変換も含む）変数分離形の１階常微分方程式を立て，かつ具体的に解くことができる．
・１階線形（変数係数）常微分方程式を立て，かつ具体的に解くことができる．
・形式的に公式を適用して解を得るだけでなく，解の増減や挙動などを調べることができる．
【要望】
・完全微分形の常微分方程式を立て，完全微分形の判定をし，かつ具体的に解くことができる．
・ベルヌーイ型，リッカチ型，レグランジェ型，クロレー型などの微分方程式を具体的に解くことができる．

学修に当たっての配慮事項
・現象から当該常微分方程式への定式化，解の挙動の把握，および方程式を具体的に解くこと，などに習熟するよう配慮する．

（３）２階同次（斉次）線形微分方程式の解の重ね合わせと解の１次独立性

到達目標
【コア】
・同次（斉次）微分方程式における解の重ね合わせの原理を理解する．
・解の１次独立性を理解し，ロンスキ行列式がその判定基準を与えることを理解する．
【要望】
・一般に階数が３以上の同次（斉次)線形微分方程式についても，同様の性質や判定法があることを理解する．

学修に当たっての配慮事項
・多くの事例を通じて，解の重ね合わせ原理，ロンスキ行列式による解の１次独立性判定が理解できるよう配慮する．

（４）２階定数係数同次(斉次)線形微分方程式

到達目標
・２階定数係数同次(斉次)線形微分方程式を立て，その一般解を求めることができる．

学修に当たっての配慮事項
・工学的現象から当該常微分方程式への定式化，及びそれらを具体的に解くことに習熟するよう配慮する．

（５）２階定数係数非同次(非斉次)線形微分方程式

到達目標
・非同次(非斉次)方程式の特殊解を求めることができる．
・非同次(非斉次)方程式を立ててその一般解を求め，初期値問題を解くことができる．
・「うなり」や「共鳴」などの現象に対応する解が現れることを理解できる．

学修に当たっての配慮事項
・「うなり」や「共鳴」などの具体的な現象から当該常微分方程式への定式化を通じて，これらの関係を理解すると共に，方程式を具体的に解くことにも習熟するよう配慮する．

（６）【要望】２階変数係数線形微分方程式

到達目標
・ロンスキ行列式による解の１次独立性判定，定数変化法やダランベールの階数低下法，特解と同次(斉次)方程式の一般解の和としての一般解，など定数係数の場合と同様に解くことができることを理解し，具体的に解を求めることができる．
・オイラー型，リッカチ型の微分方程式を具体的に解くことができる．
・べき級数（または整級数）展開法：係数が解析的であることの定義および級数展開により解析的な形式解を得る手法を理解し，具体的に解を求めることができる．

学修に当たっての配慮事項
・工学的現象と当該常微分方程式の関係を理解し，かつ具体的な解法手順に習熟するよう配慮する．べき級数展開法については，具体例を多数用いて，初等的関数のべき級数展開，収束半径，正則点などの意味が十分に理解できるよう配慮する．

（７）【要望】正規型連立１階線形微分方程式と高階線形微分方程式

到達目標

・具体的現象を正規型連立１階線形微分方程式として定式化でき，かつ高階線形微分方程式が連立１階線形微分方程式として表現できることを理解する．

・２元連立方程式の解の１次独立性の判定法，およびその解法が行列の固有値方程式の解法に帰着されることを理解し，具体的な解法手順を実施することができる．

学修に当たっての配慮事項

・具体例を用いて，２元正規型連立１階線形微分方程式の解法に関して，一般解がベクトルの１次独立性に対応すること，解法が行列の固有値方程式の解法になることなど，線形代数との関連性が理解できるよう配慮する．できれば，次元数が３以上の場合にも同様の関係があることを伝えて，今後の学習の方向性を提示する．

（８）【要望】相空間と定性的解法

到達目標

・微分方程式（特に非線形微分方程式）の解の挙動と相空間，軌道，臨界点（または平衡点）などの概念を理解する．

・力学や電気などの分野における典型的な線形微分方程式または非線形微分方程式について，相空間として解の挙動を把握することができる．

学修に当たっての配慮事項

・時間と速度の関係が時間経過とともにどのように変化していくか，などわかりやすい実例を用いて，相空間，軌道，臨界点などの概念の理解と共に，これらにより微分方程式の意味を把握することが容易になる，ということが理解できるよう配慮する．

（９）【要望】微分，積分，微分方程式の数値計算法

到達目標

・ニュートン法などによる微係数の数値計算法，シンプソン法などによる積分の数値計算法，オイラー・コーシー法やルンゲ・クッタ法などによる微分方程式の数値解法を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・当該項目の理論的解説の後に続く形で，実際に数値的に計算する場合の具体的な手法を説明することで，数値計算法への橋渡しとなるよう配慮する．

４．「確率・統計」

（１）確率と事象の独立性

到達目標

・事象，確率とその基本的性質，条件付き確率，事象の（確率的）独立性の意味を理解している．

学修に当たっての配慮事項

・多くの具体的事例を通じて，これらの基本的な概念を理解できるよう配慮する．

（２）確率変数と確率分布関数

到達目標

【コア】

・確率変数の概念，および確率変数と確率分布関数や確率密度関数の関係を理解している．

・期待値（平均）と分散および標準偏差の意味を理解し，これらの計算ができる．

・確率変数の分布を表現する方法として，モーメント（積率）およびモーメント母関数を知っている．

・２変数確率分布に関して，同時確率分布，周辺確率分布，条件付確率分布，および確率変数の独立性を理解している．

・２つの確率変数に関する期待値と分散，共分散，相関係数を理解している．

【要望】

・２つの確率変数の和が従う分布およびその確率密度を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・具体的な事例を通じて，確率変数，確率分布，確率密度をはじめとする各種の関数や統計量などの意味や関係を理解できるよう配慮する．また，実例によって，これらの統計量の計算法にも習熟するよう配慮する．

（３）代表的な確率分布

到達目標

【コア】

・離散分布として，２項分布，ポアソン分布を具体例とともに理解している．また，これらを利用して確率計算ができる．
・連続分布として，一様分布，指数分布，正規分布を具体例とともに理解している．また，これらを利用して確率計算ができる．

【要望】

・大数の法則，多項分布，超幾何分布を具体例とともに理解している．
・２項分布の極限と正規分布，および中心極限定理の関係を理解している．
・２次元正規分布を理解している．

学修に当たっての配慮事項

・具体的な事例を通じて，離散分布，連続分布とこれらの応用例（具体的な確率計算手法も含めて）を理解できるよう配慮する．

（４）標本と母集団，および統計量の分布

到達目標

・標本の平均と分散，母集団の平均と分散，および母集団分布の意味を理解している．
・正規分布による近似（正規母集団），および正規分布の重ね合わせを理解している．
・推定，検定で用いる様々な統計量が従う分布（正規母集団に対する標本分布：平均の分布，カイ２乗分布，Ｆ分布，ｔ分布）の意味と役割を理解している．

学修に当たっての配慮事項

・具体的な分布と推定（または検定）の組合せ事例を通じて，推定や検定といった統計操作における各種分布の役割を理解できるよう配慮する．

（５）点推定

到達目標

・モーメント法と最尤推定法の考え方を理解し，推定値を求めることができる．

学修に当たっての配慮事項

・具体的な事例を通じて，推定値計算法に習熟するよう配慮する．

（６）区間推定

到達目標

・母集団が正規分布に従うとき，母分散が既知，未知いずれの場合にも母平均の信頼区間を求めることができる．

学修に当たっての配慮事項

・具体的な事例を通じて，母平均の信頼区間の考え方を理解し，具体的な計算法に習熟するよう配慮する．

（７）仮説検定

到達目標

【コア】

・危険率（有意水準），帰無仮説，対立仮説，片側検定，両側検定の意味を理解している．
・母集団が１つでしかも正規分布に従うとき，母分散が既知，未知いずれの場合にも母平均に関する検定を行うことができる．

【要望】

・正規母集団に対する母分散に関する検定を行うことができる．
・２つの正規母集団に対して，分散の比や平均の差に関する検定を行うことができる．
・カイ２乗分布と適合度および独立性の関係を理解し，実際にこれらの検定を行うことができる．

・線形回帰モデル（最小２乗法）と相関係数の関係，および標本回帰係数の計算法を理解している．

学修に当たっての配慮事項

【コア】

・具体的な事例を通じて，母平均に関する検定の手法に習熟するよう配慮する．

【要望】

・実例を通して，母分散検定をはじめとする各種検定法に習熟するよう配慮する．

Ⅱ．技術者教育における基礎数学　－専門指向型８分野－

５．「ベクトル解析」

（１）ベクトルの代数

(a) ベクトル，スカラー，ベクトルの和と差，ベクトルの成分，ベクトルのスカラー倍

到達目標

・ベクトルとスカラーを区別できる．また，空間の幾何学的ベクトルの和とスカラー倍について理解し，その成分表示ができる．

(b) 内積とその成分表示

到達目標

・内積とその成分表示および幾何的意味を理解し，具体的に計算できる．また，ベクトル a のベクトル b 方向の成分が計算できる．

(c) 外積とその成分表示

到達目標

・外積とその成分表示および幾何的意味を理解し，具体的に計算できる．

(d) スカラー３重積，ベクトル３重積

到達目標

・内積と外積を利用して，平行四辺形の面積や平行六面体の体積が計算できる．

学修に当たっての配慮事項

・具体的な事例を通じて，幾何的かつ物理的イメージを持つことができるように配慮する．

（２）ベクトル関数の微分積分

到達目標

・ベクトル関数の微分および積分の定義を理解し，具体的な関数について計算できる．
・微積分の多くの公式がベクトル関数についても成り立つことを理解し，利活用できる．

学修に当たっての配慮事項

・速度，加速度などの典型的事例を通じて，ベクトル関数の微分積分の計算に習熟するように配慮する．

（３）スカラー場，ベクトル場

(a) スカラー場，ベクトル場

到達目標

・スカラー場とベクトル場の概念を理解し，それぞれの例を挙げることができる．

(b) スカラー場の勾配，等位面，３次元の勾配ベクトル，方向微分係数

到達目標

・スカラー場の勾配，方向微分係数およびそれらの幾何的意味を理解し，具体的な対象について計算できる．

(c) スカラー場のラプラシアン

到達目標

・スカラー場のラプラシアンの定義を理解し，具体的な対象について計算できる．

(d) ベクトル場の発散，回転，回転操作，回転の重ね合わせ，角速度

到達目標

・ベクトル場の発散と回転の定義を理解し，具体的な対象について計算できる．
・種々のベクトル等式を導出できる．

学修に当たっての配慮事項

・単なる計算ツールとして数式を覚えるのではなく，幾何的および物理的イメージをもてるように配慮する．

（４）線積分，面積分，体積分

(a) 線積分

到達目標

・スカラー場およびベクトル場の線積分を理解し，勾配場の線積分は，経路に依らず始点と終点のみで決まることを理解する．また，具体的な対象について計算できる．

(b) 面積分

到達目標

・スカラー場およびベクトル場の面積分を理解し，具体的な対象について計算できる．

(c) 体積分

到達目標

・空間内の体積分の意味を理解し，具体的な対象について計算できる．

学修に当たっての配慮事項

・多くの計算事例を通じて，諸概念に習熟するよう配慮する．必要に応じて電磁場・流体現象・力学などの工学分野への応用に配慮する．

（５）ガウスの発散定理，ストークスの定理

(a) ガウスの発散定理

到達目標

・ガウスの発散定理の意味を理解し，具体的な対象についてそれらを利用した計算ができる．

(b) ストークスの定理

到達目標

・ストークスの定理の意味を理解し，具体的な対象についてそれらを利用した計算ができる．

(c) 発散，回転，渦なしの場，速度ポテンシャル，渦，発散のない場

到達目標

・発散は「泉の源」であること（極限による表現式）を理解する．

・回転は「渦の源」 であること（極限による表現式）を理解する．

(d) グリーンの定理，グリーンの公式

到達目標

・ガウスの発散定理を用いてグリーンの公式を導くことができる．

(e) ベクトルポテンシャル，ヘルムホルツの定理

到達目標

・ベクトルポテンシャルの存在条件やヘルムホルツの定理を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・電磁気や流体のイメージを援用して，定理の内容を直観的に把握できるよう配慮する．数式的意味は「領域内部の情報を境界上の情報に置き換える公式」であることを理解させる．

（６）直交曲線座標表示

(a) 極座標，平面極座標，直交座標，円柱座標，直交曲線座標表示の基本ベクトル

到達目標

・直交曲線座標表示の基本ベクトルと元々の直交座標の基本ベクトルの間に成り立つ関係式を導出できる．

・具体的なスカラー場とベクトル場を直交曲線座標で表現できる．

(b) 直交曲線座標の勾配，ラプラシアン，発散，回転

到達目標

・場の量（勾配，ラプラシアン，発散，回転）の各種の微分演算が，どのように表現されるかを導出できる．

(c) 直交曲線座標の線積分

到達目標

・線要素がどのように表現されるかを理解し，具体的な対象について線積分が計算できる．

(d) 直交曲線座標の面積分

到達目標

・面要素がどのように表現されるかを理解し，具体的な対象について面積分が計算できる．

(e) 直交曲線座標の体積分

到達目標

・体積要素がどのように表現されるかを理解し，具体的な対象について体積分が計算できる．

学修に当たっての配慮事項

・代表的な例として，極座標と円柱座標の２つを取り扱う．

（7）その他

到達目標

・ガウスの発散定理，ストークスの定理に関して，微分形式の概念による統一的記述を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・多くの計算事例を通じて，微分形式の概念を理解するよう配慮する．必要に応じて電磁場などの工学分野への応用に配慮する．

６．「複素解析」

（1）複素数と複素平面

(a) 複素平面，複素数の極座標表示（極形式）

到達目標

・複素平面と複素数の極座標表示（極形式）について理解する．

(b) オイラーの公式，ド・モアブルの定理，べき乗計算，複素数の n 乗根

到達目標

・オイラーの公式およびド・モアブルの定理を理解し，べき乗計算，複素数の n 乗根，複素数列の極限など種々の計算に応用できる．

(c) 複素数列の極限，複素数列の発散と収束，複素数列の級数

到達目標

・複素数列の極限，複素数列の発散と収束，複素数列の級数を理解し，オイラーの公式およびド・モアブルを利用して，複素数列の極限などの計算に応用できる．

【要望】(d)～(h) の項目は専門分野での必要性に応じて，適宜，取捨選択する．

(d) リーマン球面，無限遠点

到達目標

・リーマン球面および無限遠点とは何かを理解し，リーマン球面上の円を理解する．

(e) コーシーの判定法

到達目標

・コーシーの判定法とは何かを理解し，それを利用して複素数列の収束性を判定できる．

(f) コーシーの乗積級数

到達目標

・コーシーの乗積級数は級数どうしの積であることを理解する．

(g) 一次変換（メービウス変換）

到達目標

・一次変換はリーマン球面上の円を円に写す（円・円対応）ことを理解する．

(h) 鏡像の原理

到達目標

・円に関する鏡像の原理とは何かを理解する．

学修に当たっての配慮事項

・複素数を高等学校で十分に学んでいないことを念頭におきながら，具体的な事例に活用できるよう配慮する．

（2）初等関数

(a) 基本的な複素関数（指数関数・三角関数・対数関数・累乗関数など）

到達目標

・基本的な複素関数（指数関数・三角関数・対数関数・累乗関数など）の定義および性質を理解し，関数値および関数値の変化を求めることができる．

学修に当たっての配慮事項
・独立変数を虚軸方向に変化させたときの複素関数の振る舞いに留意する．
・初等関数は複素数の世界で考えると，わかりやすく見通しがよくなることを意識させる．
・対数関数や累乗関数は多価性をもつため，一価関数との違いに留意する．

（３）正則関数

(a) 複素関数の正則性，コーシー・リーマンの関係式，調和関数

到達目標
・複素関数の正則性の意味を理解し，コーシー・リーマンの関係式による判定ができる．
・正則関数の実部・虚部がともに調和関数であり，一方を与えると他方が定まることを理解する．

(b) 複素関数の基本事項（極限値，連続性，導関数，微分可能性，特異点）

到達目標
・複素関数の基本事項（極限値，連続性，導関数，微分可能性，特異点）を理解する．

【要望】(c) の項目は専門分野での必要性に応じて，適宜，取捨選択する．

(c) ド・ロピタルの定理

到達目標
・ド・ロピタルの定理を理解し，具体的な不定形の極限が計算できる．

学修に当たっての配慮事項
・具体的な事例通じて，各種の概念および計算に習熟できるよう配慮する．

（４）複素積分

(a) 複素関数の積分

到達目標
・複素関数の積分の定義を理解し，パラメータ表示を設定して具体的な積分が計算できる．

(b) コーシーの積分定理

到達目標
・コーシーの積分定理について理解し，それを用いて積分路の変形ができる．

(c) コーシーの積分公式

到達目標
・コーシーの積分公式(正則関数の積分表示)を理解し，それを利用して複素積分の計算ができる．

(d) 正則関数の積分，不定積分

到達目標
・不定積分とは何かを理解し，正則関数の不定積分が存在することを理解する．

【要望】(e)～(k) の項目は，専門分野での必要性に応じて，適宜，取捨選択する．

(e) 2 次元グリーンの公式の複素形式

到達目標
・2 次元グリーンの公式の複素形式の導出を理解する．
・平面図形の面積や重心などの計算に応用できる．

(f) モレラの定理

到達目標
・モレラの定理を理解する．

(g) コーシーの評価式

到達目標
・コーシーの積分公式を利用してコーシーの評価式を導出できる．

(h) 一致の定理

到達目標
・一致の定理の主張を理解する．

(i) 最大値の原理

到達目標

・最大値の原理の主張を理解する.

(j) リウヴィルの定理

到達目標

・リウヴィルの定理の主張を理解する.

(k) 代数学の基本定理

到達目標

・リウヴィルの定理を応用して，代数学の基本定理の主張および証明を理解する.

学修に当たっての配慮事項

・具体的な計算事例を通じて，複素積分に関わる諸概念に習熟するように配慮する.

（５）テイラー展開・ローラン展開

(a) テイラー展開とその収束半径

到達目標

・正則関数のテイラー展開とその収束半径について理解し，具体的な関数についてそれらを求めることができる.

(b) 孤立特異点，ローラン展開

到達目標

・孤立特異点の定義とその分類（除去可能な特異点，極，真性特異点）を理解する．さらに，具体的な対象について，極の位数を求めることができる.

・孤立特異点のまわりの円環領域でのローラン展開について理解し，具体的な関数についてそれを求めることができる.

【要望】(c)，(d)，(e) の項目は，専門分野での必要性に応じて，適宜，取捨選択する.

(c) リーマンの定理

到達目標

・リーマンの定理の主張を理解する.

(d) ワルエルシュトラスの定理

到達目標

・ワルエルシュトラスの定理の主張を理解する.

(e) ピカールの定理

到達目標

・ピカールの定理の主張を理解する.

学修に当たっての配慮事項

・具体的な計算事例を通じて，テイラー展開およびローラン展開に習熟するよう配慮する.

（６）留数・留数定理とその応用

(a) 留数

到達目標

・孤立特異点における留数の概念を理解し，具体的にそれを求めることができる.

(b) 留数定理

到達目標

・留数定理を使って種々の複素積分の計算ができる.

・留数定理を応用して，ある種の実関数の定積分を求めることができる.

【要望】(c)～(g) の項目は，専門分野での必要性に応じて，適宜，取捨選択する.

(c) 偏角の原理

到達目標

・偏角の原理の主張を理解する.

(d) ルーシュの定理

到達目標
・ルーシュの定理の主張を理解する.

(e) 部分分数展開，無限乗積

到達目標
・有理型関数の定義を理解し，有理型関数の部分分数展開を理解する.
・無限乗積とは何かを理解し，正則関数の無限乗積表示を理解する.

(f) ジョルダンの補助定理

到達目標
・ジョルダンの補助定理を理解する.

(g) 有理関数の積分，多価関数（分数べき関数，対数関数）の積分

到達目標
・留数定理を利用して，具体的な関数の積分が計算できる.

学修に当たっての配慮事項
・具体的な計算事例を通じて，幅広い応用事例に活用できるよう配慮する.

（７）解析接続

(a) 解析接続

到達目標
・解析接続とは何かを理解し，その典型的な手法を理解する.

(b) ガンマ関数とベータ関数

到達目標
・ガンマ関数とベータ関数それぞれの複素積分表示を理解する.

(c) リーマンのゼータ関数

到達目標
・リーマンのゼータ関数の定義を理解し，全複素平面へ解析接続されることを理解する.

学修に当たっての配慮事項
・具体的な例を通じて，解析接続の概念に習熟するよう配慮する.
・専門分野での必要性に応じて，適宜，取捨選択する.

（８）等角写像

(a) 正則関数の等角性

到達目標
・正則関数の等角性を理解する.

【要望】(b)，(c)の項目は，専門分野での必要性に応じて，適宜，取捨選択する.

(b) 等角写像

到達目標
・等角写像の具体的な実例を理解する.

(c) リーマンの写像定理

到達目標
・リーマンの写像定理の主張を理解する.

学修に当たっての配慮事項
・正則関数の実部・虚部の物理的意味を明らかにし，必要に応じて電磁場・流体現象などの工学分野への応用に配慮する.

（９）境界値問題

(a) 境界値問題

到達目標
・正則関数を用いて，２次元ラプラス方程式のディリクレ問題とノイマン問題を解くことができる.

学修に当たっての配慮事項

・具体的な計算事例を通じて，境界値問題に習熟するよう配慮する．

７．「偏微分方程式」

（１）偏微分方程式に係る諸概念

(a) 偏微分可能性，偏導関数，偏微分方程式

到達目標

・偏微分方程式の意味するところを理解する．

(b) 偏微分方程式の種々の特徴と分類

到達目標

・偏微分方程式の種々の特徴とそれに基づく分類（線形と非線形，準線形と半線形，同次と非同次）を理解する．

(c) 偏微分方程式の階数

到達目標

・偏微分方程式の階数を理解する．

(d) 特性曲線と（楕円型，双曲型，放物型）２階線形偏微分方程式

到達目標

・特性曲線および２階線形偏微分方程式の３つの型（楕円型，双曲型，放物型）を理解する．さらに，ラプラスの方程式，波動方程式，熱伝導方程式がそれぞれの代表例であることを理解する．

(e) 偏微分方程式の初期値問題，境界値問題，初期値・境界値問題，および問題の適切性

到達目標

・偏微分方程式を対象として設定される条件（初期条件，境界条件）とそれに応じた各種の問題（初期値問題，境界値問題，初期値・境界値問題）を理解できる．さらに，各々の問題の適切性の意味を理解する．

(f) 偏微分方程式の古典解および広義解

到達目標

・偏微分方程式の古典解および広義解の概念を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・各専門分野での必要性の程度に応じて適宜，取捨選択して取り扱う．その際には，具体例を用いて概念の把握を促進する．

（２）重要な偏微分方程式

到達目標

・以下の偏微分方程式の導出を理解し，方程式の表す現象を理解する．
・1 次元および高次元熱方程式---熱伝導，拡散
・1 次元波動方程式---弦の振動，音波，電磁波，水面波
・2 次元ラプラス方程式---静電場，2 次元渦なし流れ，粘性流体の遅い流れ，弾性体の応力場
・ポアソン方程式---電荷密度分布の静電場，2 次元渦あり流れ
・ヘルムホルツ方程式---膜の振動，粘性流体の遅い流れ
・マックスウェル方程式--電磁気学の基本方程式
・連続の方程式---各種の物理量の保存則を表す方程式
・シュレディンガー方程式---量子力学の基本方程式
・ナビエ・ストークス方程式--非圧縮性粘性流体の運動方程式
・オイラー方程式--完全流体の運動方程式

学修に当たっての配慮事項

・各専門分野での必要性の程度に応じて適宜，取捨選択して取り扱う．

（３）偏微分方程式の典型的な性質

到達目標

・以下の偏微分方程式の性質を理解する．
・熱伝導方程式--無限伝播性，平滑化効果，最大値原理，比較定理

・波動方程式--有限伝播性，エネルギー保存則，依存領域，影響領域，ホイヘンスの原理
・ラプラスの方程式--最大値原理，比較定理，球面平均の定理

学修に当たっての配慮事項
・各専門分野での必要性の程度に応じて適宜，取捨選択して取り扱う．

（４）偏微分方程式の求積法

(a) 特性曲線の利用

到達目標
・特性曲線を利用して，簡単な１階偏微分方程式を解くことができる．

(b) 線形方程式に対する重ね合わせの原理とその利用

到達目標
・線形方程式に対する重ね合わせの原理を理解し，これを解法に利用することができる．

(c) 変数分離法の利用

到達目標
・変数分離法を用いて各種の問題（熱方程式・波動方程式・シュレディンガー方程式の初期値・境界値問題，ラプラスの方程式の境界値問題など）を解くことができる．

(d) ストークスの波動公式の利用

到達目標
・1 次元波動方程式の解を与えるストークスの波動公式の導出を理解し，これを利用して具体的な初期値問題を解くことができる．

(e) 1 次元熱方程式の初期値問題とフーリエ変換

到達目標
・フーリエ変換を利用して，1 次元熱方程式の初期値問題を解くことができる．

学修に当たっての配慮事項
・各専門分野での必要性の程度に応じて適宜，取捨選択して取り扱う．

（５）偏微分方程式の数値解法（差分法と有限要素法）

(a) 差分法の計算原理

到達目標
・差分法の計算原理を理解する．

(b) 前進差分，後退差分，中心差分

到達目標
・前進差分，後退差分，中心差分の意味するところを理解し，偏微分方程式を離散化して差分方程式に変形できる．

(c) 変分問題と変分法

到達目標
・変分問題とその解法である変分法の意味するところを理解する．

(d) 有限要素法の計算原理

到達目標
・有限要素法の計算原理を理解する．

(e) 有限要素法のアルゴリズム

到達目標
・有限要素法の標準的なアルゴリズムを理解する．また，具体的な微分方程式（１次元常微分方程式，２次元ラプラス方程式やポアソン方程式など）の境界値問題に対して，有限要素法を用いた解析法を理解する．

学修に当たっての配慮事項
・具体的な例題を用いながら，解法の原理と操作を十分理解できるように配慮する．

８．「フーリエ解析」

（１）フーリエ級数，複素フーリエ級数

(a) フーリエ級数，フーリエ係数

到達目標

・フーリエ級数，フーリエ係数の意味するところを理解する．

(b) 周期関数のフーリエ級数展開

到達目標

・具体的な周期関数のフーリエ級数展開を行うことができる．

(c) 正弦級数展開，余弦級数展開

到達目標

・具体的な関数の正弦級数展開，余弦級数展開を行うことができる．

(d) オイラーの公式，ド・モアブル（de Moivre）の公式，複素フーリエ級数

到達目標

・具体的な周期関数の複素フーリエ級数を求めることができる．

学修に当たっての配慮事項

・具体的な計算事例を通じて，フーリエ級数展開について習熟するよう配慮する．

（２）フーリエ級数の基本的性質

(a) フーリエ級数の各点収束，ディリクレの条件

到達目標

・フーリエ級数の各点収束に関する定理（ディリクレの条件）を理解し，これを通じてフーリエ級数の適用性の広さを理解する．また，その定理を応用して無限級数の値を求めることができる．

(b) フーリエ級数のギブス（Gibbs）現象

到達目標

・フーリエ級数のギブス（Gibbs）現象を理解する．

(c) フーリエ級数の項別微分および項別積分

到達目標

・フーリエ級数の項別微分および項別積分に関する定理を，具体的な対象について正しく適用できる．

(d) 最良近似問題，平均２乗誤差，フーリエ級数の最終性，ベッセル（Bessel）の不等式

到達目標

・最良近似問題を解くことができる．また，ベッセル（Bessel）の不等式の意味するところを理解する．

(e) パーセバル（Parseval）の等式

到達目標

・パーセバル（Parseval）の等式の適用条件を理解し，これを用いて無限級数の値を求めることができる．

学修に当たっての配慮事項

・具体的な計算事例を通じて，フーリエ級数の収束，微分，積分およびその他の基本性質について習熟するよう配慮する．

（３）フーリエ級数の適用例

(a) 微分演算，積分演算

到達目標

・フーリエ級数展開を用いることにより，微分，積分の演算は代数的操作に置き換わることを理解する．

(b) 変数分離法

到達目標

・変数分離法を用いて，熱方程式，波動方程式の初期値・境界値問題およびラプラスの方程式の境界値問題を解くことができる．

学修に当たっての配慮事項

・典型的な例を通じて，偏微分方程式の古典的解法である変数分離法に習熟するよう配慮する．

（４）フーリエ変換・フーリエ逆変換の収束と性質

(a) フーリエの積分公式

到達目標

・フーリエの積分公式の（形式的な）導出を理解する．

(b) フーリエ変換，フーリエ逆変換（反転公式）

到達目標

・フーリエ変換およびフーリエ逆変換（反転公式）の意味するところを理解する．

(c) フーリエ余弦変換，正弦変換

到達目標

・フーリエ余弦変換，正弦変換の意味するところを理解する．また，具体的な対象について，これらの変換が計算できる．

(d) 線形性，周波数シフトの定理，たたみこみ定理（重ね合わせの原理）

到達目標

・線形性，周波数シフトの定理，たたみこみ定理（重ね合わせの原理）などのフーリエ変換の諸性質を理解する．

(e) 微分演算，積分演算

到達目標

・フーリエ変換を用いることにより，微分，積分の演算は代数的操作に置き換わることを理解する．

(f) フーリエ変換および逆変換の収束に関する定理（ディリクレの条件）

到達目標

・フーリエ変換および逆変換の収束に関する定理（ディリクレの条件）を定積分の計算に応用できる．

(g) パーセバル（Parseval）の等式と定積分への応用

到達目標

・パーセバル（Parseval）の等式を定積分の計算に応用できる．

(h) デルタ関数

到達目標

・デルタ関数の定義と性質について理解し，デルタ関数のフーリエ変換が計算できる．

(i) 自己相関関数，パワースペクトル

到達目標

・自己相関関数，パワースペクトルを理解する．

(j) サンプリング定理

到達目標

・サンプリング定理の意味と適用条件を理解する．

(k) ウィーナー・ヒンチン（Wiener-Khintchine）の定理

到達目標

・ウィーナー・ヒンチン（Wiener-Khintchine）の定理の意味と適用条件を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・具体的な計算事例を通じて，フーリエ解析に関わる各種の性質および操作について習熟するよう配慮する．

（５）一般化フーリエ級数

(a) 関数の内積，ノルム

到達目標

・関数の内積，ノルムを理解する．

(b) 直交関数系，関数（正弦関数，余弦関数，複素系の指数関数）の直交性

到達目標

・直交関数系，正弦関数および余弦関数の直交性，複素系の指数関数の直交性を理解する．

(c) フーリエ級数の平均２乗収束

到達目標
・フーリエ級数の平均２乗収束を理解する．

学修に当たっての配慮事項
・フーリエ級数の一般化を n 次元ユークリッド空間のアナロジーにもとづいて理解するよう配慮する．

（６）離散フーリエ変換

(a) 離散フーリエ変換，離散フーリエ逆変換

到達目標
・離散フーリエ変換および離散フーリエ逆変換の意味するところを理解する．

(b) 高速フーリエ変換

到達目標
・高速フーリエ変換のアルゴリズムを理解する．

(c) 周期関数のサンプリング定理

到達目標
・周期関数のサンプリング定理の意味と適用条件を理解する．

(d) 離散コサイン変換

到達目標
・離散コサイン変換の意味するところを理解する．

学修に当たっての配慮事項
・コンピュータを用いた数値計算事例を利活用して，これらの考え方と計算法の理解を深めるように配慮する．

（７）ラプラス変換，逆変換

(a) ラプラス変換，ラプラス逆変換の定義

到達目標
・ラプラス変換およびラプラス逆変換の定義とその意味するところを理解する．

(b) ラプラス変換の収束条件

到達目標
・ラプラス変換が収束する条件を理解する．

(c) 基本的な関数のラプラス変換

到達目標
・ラプラス変換の定義にもとづいて，基本的な関数のラプラス変換の計算ができる．

(d) ラプラス変換の基本的性質，部分分数展開および留数定理によるラプラス（逆）変換

到達目標
・ラプラス変換の基本的性質を利用して，あるいは部分分数展開および留数定理を利用して，種々のラプラス（逆）変換の計算ができる．

(e) 単位関数，デルタ関数および周期関数のラプラス変換

到達目標
・単位関数およびデルタ関数のラプラス変換が計算でき，それを応用して周期関数のラプラス変換の計算ができる．

学修に当たっての配慮事項
・具体的な計算事例を通じて，ラプラス変換および逆変換に習熟するよう配慮する．

（８）ラプラス変換の有用な性質

(a) ラプラス変換の線形性，移動法則，およびたたみこみ定理

到達目標
・ラプラス変換の有用な性質である線形性，移動法則，およびたたみこみ定理を理解する．

(b) 微分演算，積分演算

到達目標

・ラプラス変換を用いることにより，微分，積分の演算は代数的操作に置き換わることを理解する．

学修に当たっての配慮事項
・具体的な計算事例を通じて，ラプラス変換および逆変換の性質や操作に習熟するよう配慮する．

（９）ラプラス変換の適用例

(a) 線形定数係数常微分方程式の初期値問題

到達目標
・線形定数係数の常微分方程式の初期値問題をラプラス変換を利用して解くことができる．

(b) 積分方程式の初期値問題および境界値問題

到達目標
・積分方程式の初期値問題および境界値問題への応用について理解する．

学修に当たっての配慮事項
・学系，電気回路系，制御系など，各専門分野での具体的な活用事例を用いてラプラス変換を応用する能力を向上させるように配慮する．

９．「確率過程／待ち行列理論」

(1) 確率変数，確率分布（離散確率分布，連続確率分布）

到達目標
・組合せ確率に基づいた古典的確率論の基礎事項，および確率変数の基本概念を理解する．また，測度論など高度に数学的な概念を用いることなく，‘確率’のもつ本質的なイメージを直感的に掴む．

(2) 多変量確率変数，畳込みと極限定理

到達目標
・具体的に確率分布関数が与えられた場合に，平均，分散，各種モーメントを計算することができる．さらに分布の畳込み演算や特性関数を計算することができる．

(3) ポアソン過程（計数過程としての確率過程，到着時間分布による特徴づけ），再生過程（再生関数と再生定理，年齢と寿命による特徴づけ）

到達目標
・ポアソン過程や再生過程の基本的性質を理解する．また，再生関数や到着時間間隔分布に関する種々の結果，さらにはこれらの確率過程の極限における性質を導出することができる．

(4) マルコフ過程（コルモゴロフ方程式，極限推移確率，無限状態マルコフ過程，有限状態マルコフ過程）

到達目標
・マルコフ性を理解する．さらに，マルコフ過程における推移確率の計算，極限推移確率の計算を行うことができる．

(5) 待ち行列理論：トラフィック理論と待ち行列

到達目標
・不確実な現象を確率変数や確率過程によって記述するためのモデル化ができる．

(6) 待ち行列理論の基礎（リトルの公式，待ちの評価量，確率分布，確率過程，確率モデル）

到達目標
・待ち行列理論の基礎（リトルの公式，待ちの評価量，確率分布，確率過程，確率モデル）を理解する．

(7) マルコフ連鎖，再生型確率過程

到達目標

・代表的な確率過程（マルコフ連鎖，再生型確率過程）を理解する．

(8) 出生死滅過程における待ち行列システム，マルコフ過程における待ち行列システム，M/G/1 待ち行列システム（ポラチェック－ヒンチンの公式），M/M/S 待ち行列システム

到達目標

・代表的な待ち行列システムを解析することができる．

学修に当たっての配慮事項

・様々な例を用いることにより，確率過程の本質的な意味や様々な待ち行列システムの理解を深めるように配慮する．

10．「離散数学」

(1) 数列，級数，不等式（算術平均，幾何平均，調和平均）

到達目標

・数列，級数，不等式などの基礎的事項を理解する．

(2) 集合，関数（写像）

到達目標

・集合や関数（写像）などの基礎的事項を理解する．

(3) 整数（整数の性質（整列可能定理），最大公約数とユークリッド互除法，素数，剰余類と有限群）

到達目標

・整数の基本的性質やユークリッド互除法を理解し，ユークリッド互除法を使用して最大公約数を求めることができる．

(4) 基本的証明法（数学的帰納法，背理法，鳩の巣原理，包除原理）

到達目標

・数学的帰納法などの基本的な証明の方法や原理を理解し，各証明法を適用できる．

(5) 順列・組合せ，２項定理

到達目標

・順列・組合せや集合分割の個数などの数え上げの基礎を理解する．

(6)【要望】集合と整数の分割（集合と自然数の分割，カタラン数）

到達目標

・集合と整数の分割の基礎を理解する．

(7)【要望】母関数（数列や組合せ個数と母関数）

到達目標

・基本となる数列や組合せの個数と母関数の関係を理解する．

(8) 漸化式または差分方程式

(8-a) 展開解法，特性方程式解法

到達目標

・漸化式または差分方程式の解法を理解し，実際に解くことができる．

(8-b)【要望】母関数解法

到達目標

・漸化式または差分方程式の解法を理解し，実際に解くことができる．

(9) ２項関係（半順序関係，同値関係，商集合）

到達目標

・２項関係を理解する．

(10) 代数系

(10-a) 群，環，体，束（モジュラー束，分配束，ブール束））

到達目標

・群，環，体，束などの代数系の基礎を理解する．

(10-b)【要望】整数剰余と有限代数系（有限体，有限環，有限群），中国剰余定理

到達目標

・整数剰余のなす有限代数系の基礎を理解する．

(11) 数理論理

(11-a) 集合と論理，命題論理，推論規則，論理関数（標準形，充足可能性）

到達目標

・数理論理の基礎を理解する．

(11-b)【要望】述語論理

到達目標

・数理論理の基礎を理解する．

(12) グラフ理論

(12-a) グラフ，次数，パス，サイクル，木（根付木，順序木），切断点と橋，２点連結性，２辺連結性，いくつかの基本的なグラフ，ハミルトンパスとオイラーパス，連結性とメンガーの定理（関連性の説明），点または辺の彩色，平面性，グラフと行列

到達目標

・グラフ理論の基礎を理解する．

(12-b)【要望】グラフの連結性とメンガーの定理（詳細説明），マッチング，最短パス，最小全域木，最大フロー

到達目標

・グラフ・ネットワークの基礎的定理とアルゴリズムを理解する．簡単な実例に対してアルゴリズムを適用して解を求めることができる．

(13) 離散確率

(13-a) 事象，確率変数，平均（期待値とその線形性），分散，（正規，２項，幾何，ポアソン，一様）確率分布

到達目標

・離散確率の基礎を理解する．

(13-b)【要望】確率的方法，ランダム化戦略

到達目標

・離散確率を利用した命題証明方法を理解する．

(14)【要望】ラテン方陣とブロックデザイン

到達目標

・ラテン方陣とブロックデザインの基礎を理解し，簡単な例題を解くことができる．

学修に当たっての配慮事項

・情報分野，通信分野などの離散的な事項や事象を扱う数学的基礎としての重要性を認識させるとともに，演習などを十分に行なわせることで，必要に応じて自在に使いこなせる能力（運用力）を身に付けさせるように配慮する．

11．「最適化手法」

・数理計画：離散最適化（グラフ・ネットワーク，動的計画法，分枝限定法，整数計画法，近似アルゴリズムとメタ戦略），線形計画法（単体法，双対性，２次計画法），非線形計画（ニュートン法，逐次２次計画法，ホモトピー法，等），等

・計算機での数理計画演習

到達目標

・最適化すべきシステムを数学モデルとして表現できる．加えて，各種の最適化手法，ヒューリスティック解法を理解し，具体的問題に適用して解決できる．
・組合せ最適化問題の特徴と数学的表現を理解する．
・種々の最適化手法とヒューリスティック解法の構成と特徴を理解する．
・身近な問題を組合せ最適化問題として定式化する方法を身につける．
・具体的問題に適用して解決できる．

学修に当たっての配慮事項

・具体例で概念を把握させ，また，多くの具体的問題への適用を通じて，定式化と手法の扱いに習熟させる．

12．「数値計算」

（1）数値計算の基礎

・数値計算の基礎：数値表現と誤差および計算量（級数，多項式），連立一次方程式（ガウスの消去法，ＬＵ分解，ガウス・ザイデル法），曲線推定（ラグランジュ補間，Hermite 補間，スプライン補間，最小２乗法），非線形方程式（２分法，ニュートン法），常微分方程式（差分方程式，オイラー法，ルンゲクッタ法，１階または２階の初期値問題，２階の境界値問題），積分（台形則，シンプソン則，ロンバーグ積分則），偏微分方程式（拡散方程式，波動方程式，ラプラス方程式）
・計算機での数値計算演習

到達目標

・数値誤差と計算量の概念を理解し，これらの見積りができる．
・連立一次方程式の基本的解法を理解し，これらを使用することができる．
・関数近似や補間の概念を理解し，曲線の推定ができる．
・非線形方程式の基本的解法を理解し，解を求めることができる．
・常微分方程式の数値解法の基本を理解し，初期値問題や境界値問題を解くことができる．
・積分の数値解法の基本を理解し，数値積分ができる．
・代表的な偏微分方程式を数値計算によって解くことができる．

学修に当たっての配慮事項

・実際にプログラムを作成して演習問題を解くことで，基本的な数値計算法を理解し，基本的計算法が身に付くように配慮する．

（2）数値計算法

連立一次方程式（SOR 法，共役勾配法，疎行列技法），常微分方程式（多段法，予測子－修正子法），固有値（相似変換法（ヤコビ法），ベクトル反復法（べき乗法），実対称行列，ハウスホルダー変換と三重対角化，実係数非対称行列，ヘッセンベルグ行列と QR 法，固有ベクトルの算出），積分（ガウス積分則），有限要素法，離散フーリエ変換，モンテカルロ法

到達目標

・種々の連立一次方程式の解法および大規模問題の解法の基礎を理解し，これらを使用することができる．
・常微分方程式の種々の数値解法を理解し，それらを使用して方程式を解くことができる．
・固有値計算の基本的手法を理解し，実際に計算に使用することができる．
・積分の種々の数値解法を理解し，数値積分ができる．
・様々な数値計算法を理解し，それらを使って，問題を解くことができる．

学修に当たっての配慮事項

・実際にプログラムを作成して演習問題を解くことで，各種の数値計算法を理解し，各種の計算手法が身に付くように配慮する．

５－２．物理

５－２－１．まえがき　　－何をどこまで－

当該調査研究は，理工系学部教育の質の担保を目的として，具体的に「何をどこまで」教えるべきかについて抜本的な検討を行うことにある．これは，産業構造・生産体制が急速に変化しつつある国際社会において，工業立国としての我が国の将来を議論する上で重要な研究テーマであり，また，「もの（ハード)」作りから「こと（ソフト・仕組み・企画)」作りへと重心をシフトしつつある社会ニーズと関係して，工学の内容自体が大きく変化しつつある現代において，極めてタイムリーな問題提起である．

しかし，対象を「物理学」に限定して「何をどこまで」教えるべきかという問いを発するとき，立場によって様々な考え方があるので，そのいくつかを紹介しよう．

物理学は，アリストテレス，デモクリトスのギリシャ自然哲学から始まり，ガリレオの実験・観測による研究手法の導入，ニュートンの微積分学による解析手法の確立を経て，17 世紀中ごろに精密科学としての体裁を整えた．その後，この手法は，熱，電磁気，原子分子，素粒子など，広範な自然現象の記述に適用され，多大な成果を得た．20 世紀に入って，力学的自然観から量子力学的自然観への展開があったものの，自然を数学的に記述することによって，自然を理解しようとする立場は一貫して不変である．この精密科学としての「自然哲学」が物理学であるという認識は，欧米では，広く受け入れられており常識的である．従って，欧米では，物理学で何を教えるべきであるかは，既に決まっており，「理工系大学の物理学で何をどこまで教えるべきか」という問題提起すら不自然である．これは，歴史的に見て，物理学が欧米の学者によって創られたことと関係し，現代欧米人の学術活動にその歴史が脈々と影響し続けているためである．実際，欧米の多くの理工系学部のカリキュラムでは，数学と物理学の教育に，極めて多くの時間が投入されている．

これに対し，我が国では，明治以来，完成した欧米の物理学を輸入することに努めた．その際，物理学の「哲学」よりも「知識」が重視され，その「知識」を工学に応用することが緊急の課題であった．このため，本来の物理学とは体裁を異にする「工学のための物理学」又は「物理学的な工学」が作られた．物理学の中から，工学上都合のよい「知識」を選択し，その応用に重点をおいた教育を行うことが現在の工学カリキュラムの基本になっている．これは，明治以来，欧米に追い付き追い越せと急速な工業化を行った際に，極めて効果的に機能した．しかし，これは，欧米の大学教育と比べて特異であり，「木を見て森を見ない」危険性があることに，注意すべきであろう．我が国が工業化に成功したとはいえ，実は，欧米人が見つけた知識を，主に民生産業に適用したに過ぎないという性格が強く，まったく新しい原理的な発見・発明に基づく技術開発は極めて少ない．アジア発展途上国の追い上げの中で，我が国の明治以来の工学教育の継続の是非が問われていると言えよう．

そこで，当該調査研究では，先ず「物理学を構成する科目間の関連」を示し，物理学の全体像を見せることにした．これは，工学の専門分野に必要な物理学の要素（項目）を選択する上で，また，「木を見ることで森をも見せる」新しい工学基礎教育を模索する上で便利に利用できるであろう．次に，物理学の構成科目ごとに，教えるべき内容を具体的に精査し，十数項目にまとめ上げた．そして，それらの項目が工学教育の中でどの程度採用されているかについて，「コア項目」（基本的な必修項目）と「要望項目」（より高度な発展的項目）にレベル分けしつつ，工学の専門分野ごとに現状を調査した．最後に，これらの調査結果から得られた結論を将来への展望とともにまとめてある．

５－２－２．物理学の構成

物理学は，いくつかの分野（要素的科目）から構成されている．それらは互いに関係している．これらを図５－３，表５－１，表５－２に示す．工学のカリキュラムを考える上で，この関係に留意することが重要である．ただし，図中に含まれる科目名を工学のカリキュラム中にそのままの形で取り込む必要はない．

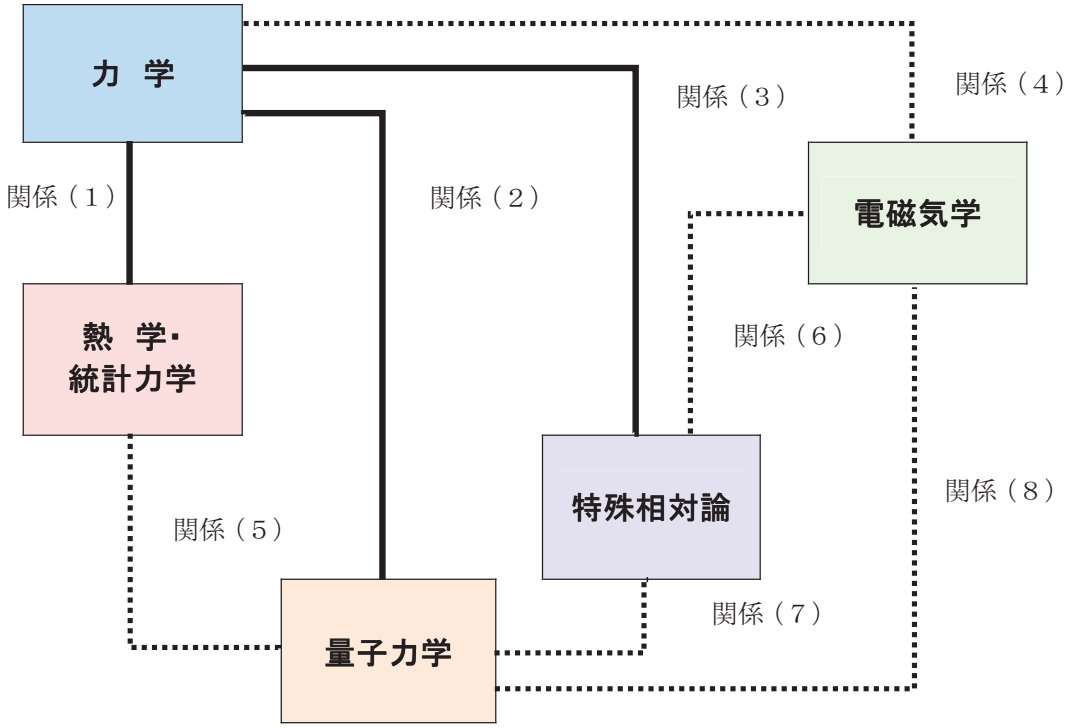


図5－3　物理学を構成する科目とその関係

表5－1　　物理学を構成する科目とその関係の説明

関　係	内　容　的　関　連	教　育　上　の　関　連
（1）	力学の表現形式（微積分学：因果を記述する形式）を使って，熱力学・統計力学が記述されていること（熱現象の力学的世界観）を示している．	左記の理由により，すべての科目に先立って「力学」から物理学の学習を開始すべきである．
（2）	量子力学がニュートン力学をある意味で修正することによって形成されたこと，ハミルトン形式による力学の記述が量子力学で必修であること．	左記の理由により，解析力学（ハミルトン形式）を量子力学に先立って学習することが好ましい．
（3）	ニュートン力学の時空間の概念を修正して，特殊相対論が形成された．相対論的力学の体系は，ニュートン力学をその一部に含んでいる．	特殊相対論を電磁気学との関連で位置づける立場もあるが，左記の理由により力学との関連を重視すべきである．
（4）	場の物理量の関係も微積分学で記述される．電磁気学の言葉であるベクトル解析は，ベクトルの微積分学である．	目に見えない電気量の関係よりも力学量の関係の方が分かりやすいので，先ずは「力学」の記述形式に習熟することが重要である．
（5）	多体系の量子力学の分野で統計力学(フェルミ統計，ボーズ統計）の概念が必要となる．	量子力学の初歩の段階では，これを考慮する必要はない．
（6）	電磁気学が特殊相対論の要請を満たしている．電磁気学が4元形式で記述できる．	電磁気学及び特殊相対論の初歩の段階では，これを考慮する必要はない．
（7）	シュレーディンガー方程式を導くために，相対論的力学の公式 $E=mc^2$ から導かれる関係式（Einstein–Compton の関係式）が使われる．この関係は，相対論的量子力学を意味しない．	Einstein–Compton の関係式を $E=mc^2$ から導かない場合には，この関係を配慮する必要はない．
（8）	量子電磁気学（第2量子化）を学習する場合に重要になる関係である．	量子力学の初歩の段階では，これを考慮する必要はない．

表5－2　数学・物理学・工学の連携の現状

科目	学習内容・到達目標	主要項目	工学分野との関連・応用例	数学との関連
力学	広義の力学は，力学と解析力学からなる．力学は，以下の3つに分類して階層的・積み上げ的な学習が必要である．(1)1質点の力学：質点の位置の時間変化に関する法則(運動法則)とその数学的な記述・解析(微積分法，ベクトル解析)に習熟すること．運動量，エネルギー，角運動量などの物理量の定義と意味を理解でき，その時間変化に関わる法則の誘導・応用ができること．(2)質点系及び連続体の力学：質点系全体としての運動法則及び運動量，角運動量などの諸量の時間変化に関わる法則の誘導・応用ができること．質点系の連続体近似式として，波動方程式を理解でき，その応用ができること．(3)剛体の力学：慣性モーメントなどの諸量に習熟し，剛体の運動方程式を使って剛体の運動を解析できること．解析力学は，量子力学を学ぶ上で不可欠であり，ラグランジュ形式とハミルトン形式による記述に習熟する必要がある．ラグランジュ関数やハミルトン関数で系の力学的状態の時間発展が記述できることを理解し，簡単な系での計算ができること．	(1)時間・質量・位置・速度・加速度・力の概念とそれらの関係(運動法則)，(2)運動方程式(微分方程式)の解法，(3)運動量・角運動量・エネルギー保存則，(4)波動の表式と波動方程式，(5)剛体の運動方程式，(6)ラグランジュ及びハミルトンの方程式	力学は，物体の運動や力のつり合いに関係する工学分野において，その解析の基礎を提供している．力学の記述方法は微積分学であり，微積分学は因果関係を記述する学問体系であるという意味で，力学の記述方法(力学的自然観)は多くの自然科学・社会科学の基礎となっている．典型的な応用例に，機械工学(機械部品の運動性能の解析)，材料力学(機械部品の強度や歪の解析)，土木工学(橋梁，ダム等の強度や振動解析)，建築工学(建物の強度や振動解析)，地盤工学(地盤解析)，スポーツ工学(器具の開発，スキーやゴルフの力学)がある．	微分積分法は古典力学の記述言語であり，ベクトル値関数の微分・積分は必要不可欠となる．運動方程式を解くことは微分方程式の初期値問題に相当する．その典型的な例として変数分離形や定数係数線形微分方程式の解法は必須である．質点系の力学や剛体の力学との関連では行列やテンソルの概念も必要である．また，現象記述という立場から偏微分の概念を身につけることは波動方程式や解析力学を理解するために有用である．
電磁気学	電荷間に働く力の法則(クーロンの法則)，電流の間に働く力の法則，ファラデーの電磁誘導の法則などの実験法則が理解できること．また，それらが電場と磁場の概念の導入によって，より根本的・統一的に記述できることを理解すること．静電場・静磁場の空間分布に関する法則(ガウスの法則，ビオ・サバールの法則)を使って，簡単な系における電場や磁場の計算ができること．電場・磁場中の荷電粒子の運動が記述できること．電場や磁場の空間的分布及びその時間変化を記述するマックスウェルの方程式(積分形式及び微分形式)に習熟し，それから電磁波の波動方程式や光の屈折の法則などを導けること． また，これとは別に，現象論的法則(オームの法則，キルヒホッフの法則，ジュールの法則など)及び理論(交流理論，回路理論など)に習熟し，簡単な系での計算ができること．各種物理量(電場，磁場，電位，電流，電荷など)の定義と単位に習熟し，電磁現象の計算が正しくできること．	(1)クーロンの法則，(2)電場と電位の関係式(3)ガウスの法則，(4)ビオ・サバールの法則，(5)ローレンツ力，(6)マックスウェル方程式，(7)電磁物理量の定義とその単位，(8)電気・磁気に関する現象論的法則及び理論(キルヒホッフの法則，交流理論など)	電磁気学は，電気・磁気に関係する工学分野において，解析の基礎を提供している．電磁気学は「場の物理学」であり，「物の物理学」である力学と対照的である．その意味で，電磁気学の記述方法は力学と並んで重要であるが，微積分学で記述するという意味では，力学と同様に因果的記述方法である．典型的な応用例に電気工学(発電機やモーターの特性解析)，電子工学(各種電子部品の性能解析)，プラズマ工学(プラズマの時空間解析)，通信工学(電磁波解析)，計算機工学(デジタル信号解析)，光学部品(レンズ，回折格子，光ファイバー等)の設計がある．	電磁気学の基礎原理であるマックスウェル方程式は，多変数の微分積分法であるベクトル解析の諸概念を用いて記述される．ガウスの発散定理やストークスの定理は，局所的な変化を寄せ集めれば大域的な変化になるという微分積分学の基本定理の1例にすぎない． 電気電子の集中定数回路の基本方程式はキルヒホッフの電流則(第一法則)と電圧法則(第二法則)またはそれらの等価表現，ならびに枝特性(素子特性)で記述され，枝特性の線形性や非線形性により，回路方程式は線形や非線形方程式となり，キャパシタやインダクタが含まれるとき，微分方程式で記述される．また，分布定数線路からなる回路の回路方程式は偏微分方程式で記述される．回路では線形代数学，微分方程式論，複素関数論，演算子法，数値解析が有用である．
熱学・統計力学	熱や温度に関するマクロな法則(熱力学第1，第2法則)を理解し，それを使って様々な熱力学現象(エンジン，エネルギー変換など)の解析ができること．熱力学諸量(温度，熱，エントロー，内部エネルギー，比熱，エンタルピーなど)の定義とその単位に関する事項に習熟して，熱力学的状態の変化を定量的に記述することができ，その数値の計算が正しくできること．可逆変化と非可逆変化の区別が理解でき，熱力学的諸量の変化は準静過程(可逆過程)で計算することを納得すること．準静過程の意味とその意義を認識できること． また，これとは別に，系の熱力学的状態やその変化を，系を構成する原子分子の運動学からミクロ的に説明する理論(分子運動論)やミクロ的な状態の出現確率から系のマクロ的物理量を計算する理論(統計力学)に習熟すること．力学の枠組みで，熱現象の多くが記述できることを納得し，その計算が正しくできること．	(1)熱力学第一，第二法則，(2)熱力学諸量(温度，熱，エントロー，内部エネルギー，比熱，エンタルピー)，(3)可逆・不可逆変化，(4)カルノーサイクル，(5)熱機関，(5)分子運動論，(6)カノニカル分布，(7)状態和，(8)熱伝導，(9)拡散現象，(10)揺らぎ	熱学・統計力学は，熱や温度に関係する工学分野において，解析の基礎を提供している．巨視的・現象論的な解析では，熱力学で十分な場合が多いが，現象を微視的な立場から第一原理的に理解するためには，統計力学が有効である．統計力学は熱平衡状態のみならず，過渡現象や揺らぎをも解析の対象とすることができる．微積分学を使った因果的な記述のほかに確率論な記述が特徴的である．典型的な応用例は，内燃工学(エンジンの特性解析)，化学工学(反応速度解析)，原子力工学(エネルギー変換解析)，物性工学(相転移，熱特性の解析)がある．	熱力学に現れる物理量は一般に多変数関数であり，力学や電磁気学と同様に基礎となる数学は微分積分学である．偏微分を扱うときは固定する独立変数の認識が特に重要であり，多変数関数の微小変化量を表す全微分の概念も必須である．熱伝導や拡散などの物理現象を理解するためには偏微分方程式や確率論も必要となる．
特殊相対論	運動を記述する座標系に絶対的なものがなく，すべての慣性系は対等であること(相対性原理)と光の速度が座標系に依存しないこと(光速の絶対性)からローレンツ変換式を導出できること．ローレンツ変換式から相対論的な速度の合成則を導出できること．ローレンツ変換式を使って，時間の遅れ，空間の収縮を計算でき，時空間の概念を相対論的に把握できること．その結果，相対論的効果を伴う現象(例えば宇宙線の寿命の増大など)を定量的に記述できること． 相対論的時空間は，絶対的時空間に基づくニュートン力学と矛盾するので，ローレンツ変換に対して共変性を有する相対論的力学の必要性を認識できること．相対論的力学の主要な関係式に習熟し，それを使って，簡単な事象(質量とエネルギーの変換など)の計算ができること．相対論的力学はニュートン力学を修正してつくられたものであること，従って，相対論的力学は，光速に対して十分小さい速度においては，ニュートン力学と一致することを数式的に理解できること．	(1)古典的な時間と空間の概念，(2)ガリレイ変換と特殊ローレンツ変換，(3)相対論的速度の合成則，(4)時間の遅れ，(5)空間の収縮，(6)ミンコフスキー空間，(7)相対論的力学の主要な関係式の導出とその応用，(8)4元形式による特殊相対性理論の表式	特殊相対論は，高速(光速に近い速度)で運動する粒子に関係する工学分野において，解析の基礎を提供している．典型的な応用例として，粒子線工学(中性子線，電子線，ポジトロンなどによる各種分析機器の設計)，原子炉工学(炉内反応解析)，宇宙工学(電離層解析)，高エネルギー工学(核融合反応解析)，各種加速器の設計・特性解析がある．	特殊相対論の初歩は特別な数学は必要とせず，中学生レベルの数学知識で，簡単に理解できる．がしかし，電磁気学との関連などより深い理解を得るためには偏微分や座標変換，テンソル解析などの数学が必要である．
量子力学	原子・分子・電子の挙動(黒体輻射，比熱，原子の安定性，原子スペクトル，光電効果など)の記述において，古典物理学(ニュートン力学，電磁気学)が破綻し，これらの実験事実を説明するために，様々な仮説(量子仮説)やモデル(ラザフォードモデル，ボーアモデル)が導入された歴史的経緯を把握し，その個々について，数式的な説明ができること．Einstein-Comptonの関係式をたよりに，自由粒子に関するシュレーディンガー方程式が導出できること．一般的な系におけるシュレーディンガー方程式の立て方及びその解(波動関数)の解釈(ボルンの確率解釈)・利用方法(物理量の期待値の計算法)に精通すること．シュレーディンガー方程式を使って，1次元箱形ポテンシャル，調和振動子，水素原子，Kronig-Pennyモデルなど比較的簡単な系の量子的挙動を解析できること．古典力学と量子力学の類似点(Ehrenfestの定理など)・相違点(不確定性原理など)の由来を数式的に把握でき，量子力学の理論体系と古典力学のそれとの関係が理解できること．	(1)黒体輻射と量子仮説，(2)原子スペクトルとボーアモデル，(3)光電効果と光量子仮説，(4)Einstein-Comptonの関係式，(5)シュレーディンガー方程式とボルンの確率解釈，(7)箱形ポテンシャル，調和振動子，水素原子 など簡単な系の量子力学的解析	量子力学は，光や粒子(電子，中性子，ポジトロンなど)と物質の相互作用や原子間・分子間相互作用に関係する工学分野において，解析の基礎を提供している．典型的な応用例として，半導体工学(電気特性解析)，金属工学(電気特性・熱特性解析)，化学工学(光化学反応解析，触媒反応解析)，原子力工学(核反応解析)，粒子線工学(粒子線と物質との反応解析)，レーザー工学(レーザー発振解析)，電子物性工学(光電特性，仕事関数，蛍光特性など各種電子物性解析)がある．	量子力学を記述する数学として複素数は不可欠である．そして，線形代数学は量子力学と密接な関係があり，特に固有値，固有ベクトル，正規直交基底，シュミットの直交化，エルミート行列の対角化などの概念を必要とする．関数空間における固有値問題を扱うフーリエ解析も有用な道具として利用される．シュレーディンガー方程式を解くためには，線形偏微分方程式の初期境界値問題の古典的解法である変数分離法が使われ，定数係数線形常微分方程式の解法も必須である．

５－２－３．物理の到達目標と学修に当たっての配慮事項

物理の到達目標と学修に当たっての配慮事項は，次の５科目について示す．

１．「力学」
２．「電磁気学」
３．「熱学・統計力学」
４．「特殊相対論」
５．「量子力学」

１．「力学」

(1) 力学に関する基礎的な概念

到達目標

1-1）空間（位置），時間，質量に関する古典的（非相対論的）概念とその数学表現（座標系，ベクトルなど）を理解でき，それらを数量的に表現するための単位（基本単位）に習熟する．

1-2）位置の時間微分は速度であること，速度の時間微分は加速度であることを理解でき，これらのベクトル量を具体的に計算できる．

1-3）全ての力学的物理量の単位は，物理法則を介して，基本単位の組合せで構成できること．また，全ての物理量は次元を持つことが理解でき，次元解析に応用できる．

1-4）物理量とその時間微分の物理量の関係を見つけることで，自然の運動学が記述できることが理解できる．

学修に当たっての配慮事項

・人間が，空間，時間，質量に関する概念を取得した経緯を知り，力学的な自然認識・記述のメカニズムを理解できるよう配慮する．

(2) 運動の第１法則（慣性の法則）

到達目標

2-1）慣性の概念を理解でき，慣性の法則が慣性系で成立することが説明できる．

2-2）恒星に張り付いた座標系は慣性系であり，それに対して等速度で運動する系も慣性系であることを理解できる．

学修に当たっての配慮事項

・「慣性系の概念は，惑星の運動の記述と密接に関係していること」が理解できるように工夫する．

(3) 運動の第２法則（運動方程式）

到達目標

3-1）運動の第２法則の意味を理解でき，それは，力の定義式又は慣性質量の定義式にもなり得ることが説明できる．

3-2）運動方程式は微分分方程式であることを理解でき，簡単な系（空気抵抗力を含む放物体，空気抵抗力を含む振動体など）の初期値問題が解ける．

3-3）力学の記述法の特徴は因果律にあることを理解でき，その決定論的な記述形式の持つ意味と問題点を指摘できる．

学修に当たっての配慮事項

・微分方程式の一般的解法は存在しないので，分類学的処方がとられる．変数分離法と定数係数線形微分方程式の２つのパターンについて，微分方程式が解けるよう，必要十分な数学的能力の付与に努力する．

(4) 第３法則（作用・反作用の法則）

到達目標

4-1）力が作用するためには，最低限２つの物体が必要であることを理解でき，それらの物体に働く力の関係（作用・反作用の法則）が説明できる．

学修に当たっての配慮事項

・大学レベルの力学は公式を暗記することではなく，少数の基本原理から，全ての力学現象を統一的に説明することを目指す．具体例の解析を通して，これが理解できるよう工夫する．これは，

力学全般に関する配慮事項である．また，他の物理学の科目においても，同様である．

(5) 運動量とその保存則

到達目標

5-1) 運動量の定義と意味を理解でき，その時間変化に関わる法則（運動量の変化と力積の関係）が誘導でき，それを衝突問題などの説明に応用できる．

5-2) 運動量が保存するための条件を理解でき，それを衝突問題などの説明に応用できる．

学修に当たっての配慮事項

・運動量の時間変化の表式は，運動方程式による並進運動の記述と数学的に同値であることが理解できるよう工夫する．

(6) 角運動量とその保存則

到達目標

6-1) 角運動量の定義と意味を理解でき，その時間変化に関わる法則（角運動量の変化と力のモーメントの関係）が誘導でき，それを回転運動の解析に利用できる．

6-2) 角運動量が保存するための条件を理解でき，角運動量保存則を使って，等速円運動やケプラーの法則を説明できる．

学修に当たっての配慮事項

・角運動量や力のモーメント（トルク）はベクトル量であり，ベクトルの外積の演算で計算できる．ベクトルの外積に関する補足説明を行う．

(7) エネルギーとその保存則

到達目標

7-1) 位置エネルギーの定義と意味を理解でき，力の場の表現式からそれを具体的に計算できる．

7-2) 位置エネルギーが定義できる必要十分条件を理解でき，それを数学的に表現できる．

7-3) 位置エネルギーと力の関係：積分形式（線積分）と微分形式（微分演算子）に習熟し，それらが数学的に同等であることを説明できる．

7-4) 保存系の運動方程式を時間で積分することにより，エネルギー保存則を導くことができる．

学修に当たっての配慮事項

・線積分，偏微分，演算子に関する数学的な知識を確認しながら，必要に応じてそれらについて予備的な説明を行う．

(8) 質点系の力学

到達目標

8-1) 質点系における全運動量の定義と意味を理解でき，その時間変化に関わる法則が誘導でき，それが保存するための条件を説明できる．

8-2) 質点系の重心点の定義と意味を理解でき，その時間変化に関わる法則が誘導できる．

8-3) 質点系における全角運動量の定義と意味を理解でき，その時間変化に関わる法則が誘導でき，それが保存するための条件を説明できる．

学修に当たっての配慮事項

・質点系の全体的な並進運動と回転運動は，それぞれ，全運動量と全角運動量の時間変化を記述する式で表現することが理解できるように工夫する．

(9) 波動方程式と波動の表式

到達目標

9-1) 質点系の運動方程式の連続体近似から，波動方程式が導ける．それから自由空間での解（平面波解）を導くことができる．

9-2) 波を特徴づけるパラメータ（波数，角振動数など）が理解でき，それらと速度の関係式を波動現象の説明に利用できる．

9-3) 波の重ね合わせの原理より，波の干渉や回折の現象を説明できる．

学修に当たっての配慮事項

・１次元空間中の波動現象からの類推で，２次元空間，３次元空間中の波動の挙動が理解できるよう工夫する．

(10) 剛体の運動方程式

到達目標

10-1) 剛体の定義を理解でき，その概念を導入する意義を説明できる．

10-2) 質点系の全運動量に関する方程式から，剛体の並進運動を記述する方程式を誘導できる．

10-3) 質点系の全角運動量に関する方程式から，剛体の回転運動を記述する方程式を誘導できる．

10-4) 慣性モーメントなどの諸量に習熟し，簡単な場合（回転軸の方向が一定）について，剛体の運動方程式を使って剛体の運動を解析できる．

学修に当たっての配慮事項

・慣性モーメントの計算には，重積分の知識が必要なので，その補足説明を行う．

(11) ラグランジュ形式の力学

到達目標

11-1) 一般化座標，一般化速度，ラグランジュ関数の意味を理解でき，ラグランジュの運動方程式がニュートンの運動方程式と同等であることを，簡単な系で確かめることができる．

学修に当たっての配慮事項

・ラグランジュの運動方程式を変分原理で導くなどの厳密な取扱いは避け，実例を使って，この形式に習熟するなど応用的観点を重視する．これらの学習内容とレベルは専門科目との関連で，適宜，取捨選択する．

(12) ハミルトン形式の力学

到達目標

12-1) 一般化座標，一般化運動量，ハミルトン関数の意味を理解でき，ハミルトンの運動方程式がニュートンの運動方程式と同等であることを，簡単な系で確かめることができる．

学修に当たっての配慮事項

・ハミルトンの運動方程式を変分原理で導くなどの厳密な取扱いは避け，実例を使ってこの形式に習熟するなど応用的観点を重視する．これらの学習内容とレベルは専門科目との関連で，適宜，取捨選択する．

２．「電磁気学」

(1) クーロンの法則

到達目標

1-1) 電荷間に働く力の法則（クーロンの法則）とその重ね合わせの原理が理解できる．

1-2) クーロン力のポテンシャルとして，電位の概念が理解でき，複数点電荷・連続電荷分布によるクーロン電位が計算できる．

1-3) 電場の概念が理解でき，複数点電荷・連続電荷分布によるクーロン電場が計算できる．

1-4) 電荷，電場，電位の単位に習熟し，それらの具体的な数値が計算できる．

学修に当たっての配慮事項

・力学の「力とポテンシャルの関係」が「電場と電位の関係」と同様であることに留意させる．重ね合わせの原理の説明には，ベクトルの積分計算に関する補足説明が必要である．

(2) ガウスの法則

到達目標

2-1) ガウスの法則（積分形式）に習熟し，対称性のよい電荷分布について，この法則より電場が計算できる．

2-2) ガウスの定理を理解でき，ガウスの法則の積分形式からその微分形式を導ける．

学修に当たっての配慮事項

・面積分・体積分の一般的な計算方法を学習し，一般的な閉曲面でこの法則が成立することが理解できるよう工夫する．

(3) ビオ・サバールの法則

到達目標

3-1) 電流素間に働く力の法則（ビオ・サバールの法則）とその重ね合わせの原理が理解でき，電流

分布から磁場（磁束密度）が計算ができる．
3-2）電流，磁場・磁束密度の単位に習熟し，それらの数値が具体的に計算できる．
学修に当たっての配慮事項
・微小ベクトルの外積とその積分に習熟し，ベクトル量としての磁場の計算ができるよう工夫する．

(4) ローレンツ力

到達目標
4-1）荷電粒子が電場と磁場から受ける力（ローレンツ力）を理解でき，簡単な系におけるローレンツ力及び荷電粒子の運動が計算できる．
4-2）ローレンツ力とビオ・サバールの法則から，電流間に作用する力の法則が誘導できる．
学修に当たっての配慮事項
・電荷に作用する力として，電場と磁場の役割の相違点を定量的に把握する（例えば，テレビの電子線の走査に磁場が使われる理由など）．

(5) ファラデーの電磁誘導の法則

到達目標
5-1）ファラデーの電磁誘導の実験から，磁場が時間的に変化すると電場が渦状に生成されることを理解でき，それを数学的に表現できる．
学修に当たっての配慮事項
・ストークスの定理，アンペールの法則について補足説明を行い，この法則の微分形式と積分形式での記述が同等であることが理解できるよう工夫する．

(6) マックスウェル方程式

到達目標
6-1）電場や磁場の空間的・時間的変化を記述するマックスウェルの方程式が発見された歴史的な経緯を理解できる．とりわけ，変位電流の意義について説明できる．
6-2）マックスウェル方程式に習熟し，それから電磁波の波動方程式を導き，電磁波の伝播速度が光速と一致することから，光が電磁波であることを理解できる．
学修に当たっての配慮事項
・マックスウェルの方程式は積分形式のみならず微分形式でも理解できるようにすべきである．微分演算子に習熟することは，量子力学の学習の準備という意味で重要である．

(7) 電気・磁気に関する現象論的法則及び理論

到達目標
7-1）現象論的法則（オームの法則，キルヒホッフの法則，ジュールの法則など）及び理論（交流理論，回路理論など）に習熟し，簡単な系での計算や回路設計ができる．
7-2）交流のインピーダンス，アドミッタンスなどの諸量に精通し，それを使って回路の特性を表現できる．
学修に当たっての配慮事項
・これらの学習内容とレベルは専門科目との関連で，適宜，取捨選択する．

3．「熱学・統計力学」

(1) 熱力学第１法則

到達目標
1-1）エネルギーの保存則が熱現象を伴う場合にも成立するようにするために，内部エネルギーという概念が導入された経緯を理解でき，その数学表現に習熟する．
1-2）気体の比熱の意味を理解でき，それを使って理想気体の内部エネルギーを表現できる．
学修に当たっての配慮事項
・内部エネルギーは抽象的な概念なので分かりにくい．理想気体の内部エネルギーを数値計算するなどして，理解を深めるよう工夫する．

(2) 熱機関

到達目標
2-1) 熱力学的状態が少数の熱力学変数によって指定されること，及び，熱力学変数は系の平衡状態でのみ意味を持つことが理解でき，具体的な系(例えば，理想気体)の熱力学的状態の指定ができる．
2-2) 熱力学的状態の変化を考察するために，準静過程の概念が導入されることを理解でき，準静過程の意味と役割を説明できる．
2-3) 準静的等温過程と準静的断熱過程の組合せで構成されるカルノー機関の動作の詳細（温度変化，熱の出入り）が理解でき，熱効率が計算できる．
2-4) カルノーサイクルは可逆過程であることが理解でき，その逆運転の結果を説明できる．
学修に当たっての配慮事項
・カルノー機関の動作の詳細を数値計算するなどして理解を深めるよう工夫する．

(3) 熱力学第２法則
到達目標
3-1) クラジウスの原理とトムソンの原理を理解でき，両者が等価であることを説明できる．
3-2) 可逆変化と非可逆変化の区別を理解でき，非可逆変化と熱力学第２法則との関連を説明できる．
3-3) エントロピーの定義と意味を理解でき，簡単な系（例えば，理想気体）のエントロピーが計算できる．
3-4) エントロピーを使って，熱力学第２法則を表現できる．
3-5) エントロピーの微視的な解釈が理解でき，これより熱力学第２法則を説明できる．
学修に当たっての配慮事項
・熱力学は，現象論的な経験法則であることが理解できるよう配慮する．エントロピーは抽象的な概念なので分かりにくいので，簡単な系において具体的にその数値を計算するなどして理解を深めるよう工夫する．

(4) 熱力学諸量
到達目標
4-1) その他の熱力学諸量（自由エネルギー，エンタルピーなど）の定義とその意味を理解でき，熱力学的状態の変化を定量的に記述できる．
4-2) 自由エネルギーを使って熱力学の第２法則を記述できる．
4-3) 熱力学諸量の単位に習熟し，数値の計算が正しくできる．
学修に当たっての配慮事項
・これらの熱力学諸量は抽象的な概念なので分かりにくいので，簡単な系において具体的にその数値を計算するなどして理解を深めるよう工夫する．

(5) 分子運動論
到達目標
5-1) 系の熱力学的状態やその変化を，原子分子の運動学からミクロ的に説明する理論（分子運動論）に習熟し，簡単な系（例えば，理想気体）の記述に応用できる．
学修に当たっての配慮事項
・計算機シミュレーションと組合せて学習し，理解を深めることが好ましい．

(6) 統計力学
到達目標
6-1) ミクロ的な状態の出現確率から系のマクロ的物理量を計算する原理を理解できる．
6-2) ミクロカノニカル分布，カノニカル分布，グランドカノニカル分布について，状態和の計算方法が理解でき，それから各種の熱力学諸量が計算できる．
学修に当たっての配慮事項
・これらの学習内容とレベルは専門科目との関連で，適宜，取捨選択する．

(7) 過渡現象（熱伝導・拡散）
到達目標

7-1）熱伝導に関するフーリエの法則が理解でき，簡単な系の解析に応用できる．
7-2）熱伝導方程式が理解でき，簡単な系の解析に応用できる．
7-3）拡散方程式が理解でき，簡単な系の解析に応用できる．
7-4）ミクロ及びマクロの立場から熱伝導・拡散現象が理解できる．
学修に当たっての配慮事項
・計算機シミュレーションと組合せて学習し，理解を深めることが好ましい．これらの学習内容とレベルは専門科目との関連で，適宜，取捨選択する．

４．「特殊相対論」

(1) 時空間の概念

到達目標
1-1）人間が時間と空間の概念を取得した経緯を学習し，時間と空間の古典的（ニュートン的）概念が説明できる．
1-2）時間と空間の古典的概念が破綻する実験事実（光速が座標系に依存しない）を学び，新しい時空間の概念の導入が必要であることが認識できる．
学修に当たっての配慮事項
・物理学は実験事実をできる限り簡単な数学表現で記述することを目指し，そのためには既成概念の修正が必要な場合があることを強調する．

(2) ローレンツ変換

到達目標
2-1）運動を記述する座標系に絶対的なものがなく，全ての慣性系は対等であること（相対性原理）と光速が座標系に依存しないこと（光速の絶対性）からローレンツ変換式を導出できる．
2-2）座標系の相対速度が光速とくらべて十分小さい場合には，ローレンツ変換式はガリレイ変換式と一致することを示すことができる．
学修に当たっての配慮事項
・一般的な相対速度に関するローレンツ変換式は複雑なので，特殊ローレンツ変換式（相対速度の方向をｘ軸方向とする形式）に限って学習する．

(3) 相対論的速度の合成則

到達目標
3-1）ローレンツ変換式から相対論的な速度の合成則を導出でき，いかなる速度も光速を超えることがないことが理解できる．
3-2）座標系の相対速度が光速とくらべて十分小さい場合には，相対論的速度の合成則は古典力学（ニュートン力学）の速度の合成則と一致することが理解できる．
学修に当たっての配慮事項
・一般的な相対速度に関する速度の合成則は複雑なので，特殊ローレンツ変換式（相対速度の方向をｘ軸方向とする形式）の場合に限って学習する．

(4) 時間の遅れ・空間の収縮

到達目標
4-1）ローレンツ変換式を使って，時間の遅れ・空間の収縮を計算でき，時空間の概念を相対論的に把握できる．
4-2）時間の遅れ・空間の収縮を，ミンコフスキー空間中で幾何学的に把握できる．
4-3）相対論的効果を伴う現象（例えば，宇宙線の寿命の増大など）を定量的に記述できる．
学修に当たっての配慮事項
・一般的な相対速度に関する公式は複雑なので，特殊ローレンツ変換式（相対速度の方向をｘ軸方向とする形式）の場合に限って学習する．

(5) 相対論的力学

到達目標
5-1）相対論的時空間は，絶対的時空間に基づく古典力学（ニュートン力学）と矛盾するので，ロー

レンツ変換に対して共変性を有する相対論的力学の必要性を認識できる.
5-2) 相対論的力学の公式に習熟し，それを使って，簡単な事象（質量とエネルギーの変換など）の計算ができる.
5-3) 光速に対して十分小さい速度を取扱う場合には，相対論的力学はニュートン力学と一致することを数式的に理解できる.

学修に当たっての配慮事項
・これらの学習内容とレベルは専門科目との関連で，適宜，取捨選択する.

(6) 相対論的力学の 4 元形式

到達目標
6-1) 相対論的力学の 4 元形式による記述に習熟し，簡単な事象（相対論的運動方程式による運動の解析など）の説明に応用できる.

学修に当たっての配慮事項
・これらの学習内容とレベルは専門科目との関連で，適宜，取捨選択する.

５.「量子力学」

(1) 黒体輻射と量子仮説

到達目標
1-1) 黒体のスペクトルの実験結果の説明において，古典物理学が破綻し，量子仮説が導入された経緯を理解でき，量子仮説の意味を説明できる.

学修に当たっての配慮事項
・エネルギー等分配則，振動のモード，状態密度，ボルツマン因子など，関連する事項について補足説明が必要である.

(2) 原子スペクトルとボーアモデル

到達目標
2-1) 原子スペクトルの実験結果の説明において，古典物理学が破綻し，ボーアモデルが導入された経緯を理解でき，ボーアモデルの意味を説明できる.

学修に当たっての配慮事項
・古典的発光のメカニズムとの相違が分かるように工夫する.

(3) 光電効果と光量子仮説

到達目標
3-1) 光電効果の実験結果の説明において，古典物理学が破綻し，光量子仮説が導入された経緯を理解でき，光量子仮説の意味を説明できる.

学修に当たっての配慮事項
・波のエネルギーと粒子のエネルギーの相違が分かるように工夫する.

(4) 電子線回折と物質波（ド・ブロイ波）仮説

到達目標
4-1) 物質波（ド・ブロイ波）仮説が導入された経緯を理解でき，電子線回折の実験結果が説明できる.

学修に当たっての配慮事項
・電子線回折については，演示実験・計算機シミュレーション又はそのビデオを見せるなどして，実感的に理解できるよう工夫する.

(5) Einstein-Compton の関係式

到達目標
5-1) Einstein-Compton の関係式は，「粒子性に関する物理量」と「波動性に関する物理量」の関係であることを理解でき，これを使って電子の波長や光子の運動量が計算できる.

学修に当たっての配慮事項
・電子顕微鏡中の電子，紫外線，Ｘ線，ガンマ線など，具体的にこの関係を使って，波動性と粒子

性に関する理解を深める．

(6) シュレーディンガー方程式とボルンの確率解釈

到達目標

6-1) Einstein-Compton の関係式から，シュレーディンガー方程式を導くことができる．

6-2) 一般的な系におけるシュレーディンガー方程式の立て方が分かる．

6-3) シュレーディンガー方程式の解（波動関数）の求め方が分かる．

6-4) 波動関数の解釈（ボルンの確率解釈）が理解でき，波動関数の利用方法（物理量の期待値の計算法）が分かる．

学修に当たっての配慮事項

・関数空間，関数のノルム，関数の直交性など，三角関数を例に，波動関数のベクトル的な取扱いに配慮する．6-3) においては，シュレーディンガー方程式の定常解の重ね合わせで，時間的に変動する状態を記述できる点を強調し，定常解を求める意義を明確にする．

(7) シュレーディンガー方程式の応用

到達目標

7-1) シュレーディンガー方程式を使って，１次元箱形ポテンシャル中での固有状態を計算できる．

7-2) シュレーディンガー方程式を使って調和振動子，水素原子，Kronig-Penny モデルなど，比較的簡単な系の量子的挙動を解析できる．

7-3) 古典力学と量子力学の類似点（Ehrenfest の定理など）・相違点（不確定性原理など）の由来を数式的に把握でき，量子力学の理論体系と古典力学のそれとの関係が理解できる．

学修に当たっての配慮事項

・シュレーディンガー方程式の数式的な取り扱いは，主に 1 次元系で行い，特殊関数を必要としない範囲でこれを学習する．その類推から，水素原子など特殊関数の知識が必要となる系を理解する．また，必要に応じて，特殊関数に関する補足説明を行う．計算機シミュレーションと組合せて学習し，理解を深めることが好ましい．これらの学習内容とレベルは専門科目との関連で，適宜，取捨選択する．

５－２－４．各項目の採用状況の専門分野別調査

前節では，物理学を構成する科目ごとに具体的な学習項目を抽出し，それらについて，学習の到達目標を設定した．そして，現状の工学教育において，それらの学習項目がどの程度採用されているかを調査した．本節では，その調査結果を紹介する．学習項目の採用の程度は，工学の専門分野によって異なるので，コア項目（基本的な必修項目）は濃灰色，要望項目（より高度な発展的項目）は薄灰色，不要項目は空欄（白）で示した．ここで示した色分けは，あくまで標準的な例を示しているにすぎない．大学の個性・特徴の出し方によって，これと異なる場合が起こり得る．

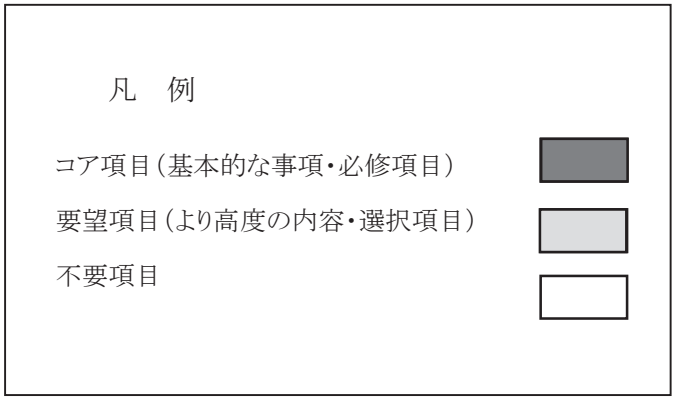


表5－3 力 学

項目	到達目標	機械	電気・電子	建築	土木	化学	バイオ	情報・通信
1） 力学に関する基礎的な概念	1-1）空間（位置），時間，質量に関する古典的（非相対論的）概念とその数学表現（座標系，ベクトルなど）を理解し，それらを数量的に表現するための単位（基本単位）に習熟する．	■	■	■	■	■	■	■
	1-2）位置の時間微分は速度であること，速度の時間微分は加速度であることを理解し，これらのベクトル量を具体的に計算できる．	■	■	■	■	■	■	■
	1-3）全ての力学的物理量の単位は，物理法則を介して，基本単位の組合せで構成できること．また，全ての物理量は次元を持つことが理解でき，次元解析に応用できる．	■	■	■	■	■	■	■
	1-4）物理量とその時間微分の物理量の関係を見つけることで，自然の運動学が記述できることが理解できる．	■	■	■	■	■	■	■
2） 運動の第1法則(慣性の法則)	2-1）慣性の概念を理解し，慣性の法則が慣性系で成立することが説明できる．	■	■	■	■	■	■	■
	2-2）恒星に張り付いた座標系は慣性系であり，それに対して等速度で運動する系も慣性系であることが理解できる．	■	■	■	■	■	■	■
3） 運動の第2法則(運動方程式)	3-1）運動の第２法則の意味を理解でき，それは，力の定義式又は慣性質量の定義式にもなり得ることが説明できる．	■	■	■	■	■	■	■
	3-2）運動方程式は微分分方程式であることを理解し，簡単な系（空気抵抗力を含む放物体，空気抵抗力を含む振動体など）の初期値問題が解ける．	■	■	■	■	■	■	■
	3-3）力学の記述法の特徴は因果律にあることを理解し，その決定論的な記述形式の持つ意味と問題点を指摘できる．	■	■	■	■	□	□	■
4） 第3法則(作用･反作用の法則)	4-1）力が作用するためには，最低限２つの物体が必要であることを理解し，それらの物体に働く力の関係（作用・反作用の法則）が説明できる．	■	■	■	■	■	■	■
5） 運動量とその保存則	5-1）運動量の定義と意味を理解し，その時間変化に関わる法則（運動量の変化と力積の関係）が誘導でき，それを衝突問題などの説明に応用できる．	■	■	■	■	■	■	■
	5-2）運動量が保存するための条件を理解でき，それを衝突問題などの説明に応用できる．	■	■	■	■	■	■	■
6） 角運動量とその保存則	6-1）角運動量の定義と意味を理解し，その時間変化に関わる法則（角運動量の変化と力のモーメントの関係）が誘導でき，それを回転運動の解析に利用できる．	□	■	■	■	■	■	■
	6-2）角運動量が保存するための条件を理解でき，角運動量保存則を使って，等速円運動やケプラーの法則を説明できる．	■	■	■	■	□	□	■
7） エネルギーとその保存則	7-1）位置エネルギーの定義と意味を理解し，力の場からそれを具体的に計算できる．	■	■	■	■	■	■	■
	7-2）位置エネルギーが定義できる必要十分条件を理解し，それを数学的に表現できる．	■	■	■	■	■	■	■
	7-3）位置エネルギーと力の関係：積分形式（線積分）と微分形式（微分演算子）に習熟し，それらが数学的に同等であることを説明できる．	□	■	■	■	■	■	■
	7-4）運動方程式を時間で積分することにより，エネルギー保存則を導くことができる．	■	■	■	■	■	■	■
8） 質点系の力学	8-1）質点系における全運動量の定義と意味を理解し，その時間変化に関わる法則が誘導でき，それが保存するための条件を説明できる．	■	■	■	■	■	■	□
	8-2）質点系の重心点の定義と意味を理解し，その時間変化に関わる法則が誘導できる．	■	■	■	■	■	■	□
	8-3）質点系における全角運動量の定義と意味を理解し，その時間変化に関わる法則が誘導でき，それが保存するための条件を説明できる．	■	■	■	■	□	□	□
9） 波動方程式と波動の表式	9-1）質点系の運動方程式の連続体近似から，波動方程式が導ける．それから自由空間での解（平面波解）を導くことができる．	■	■	■	■	■	■	□
	9-2）波を特徴づけるパラメータ（波数，角振動数など）が理解でき，それらと速度の 関係式を波動現象の説明に利用できる．	□	■	■	■	■	■	□
	9-3)波の重ね合わせの原理より，波の干渉や回折の現象を説明できる．	■	■	■	■	■	■	□
10） 剛体の運動方程式	10-1）剛体の定義を理解し，その概念を導入する意義を説明できる．	■	■	■	■	■	■	■
	10-2）質点系の全運動量に関する方程式から，剛体の並進運動を記述する方程式を誘導できる．	■	■	■	■	□	□	■
	10-3）質点系の全角運動量に関する方程式から，剛体の回転運動を記述する方程式を誘導できる	□	■	■	■	□	□	□
	10-4）慣性モーメントなどの諸量に習熟し，簡単な場合（回転軸の方向が一定)について，剛体の運動方程式を使って剛体の運動を解析できる．	■	■	■	■	□	□	□
11） ラグランジュ形式の力学	11-1）一般化座標，一般化速度，ラグランジュ関数の意味を理解し，ラグランジュの運動方程式がニュートンの運動方程式と同等であることを，簡単な系で確かめることができる．	■	■	□	□	□	□	■
12） ハミルトン形式の力学	12-1）一般化座標，一般化運動量，ハミルトン関数の意味を理解し，ハミルトンの運動方程式がニュートンの運動方程式と同等であることを，簡単な系で確かめることができる．	□	□	□	□	□	□	□

表5－4　電磁気学

項目	到達目標	機械	電気・電子	建築	土木	化学	バイオ	情報・通信
1）クーロンの法則	1-1）電荷間に働く力の法則（クーロンの法則）とその重ね合わせの原理が理解できる.	■	■		■	■	■	
	1-2）クーロン力のポテンシャルとして，電位の概念が理解でき，複数点電荷・連続電荷分布によるクーロン電位が計算できる.	■	■			■	■	
	1-3）電場の概念が理解でき，複数点電荷・連続電荷分布によるクーロン電場が計算できる.	■	■			■	■	
	1-4）電荷，電場，電位の単位に習熟し，それらの具体的な数値が計算できる.	■	■		■	■	■	
2）ガウスの法則	2-1）ガウスの法則（積分形式）に習熟し，対称性のよい電荷分布について，この法則より電場が計算できる.	■	■			■	■	
	2-2)ガウスの定理を理解し，ガウスの法則の積分形式からその微分形式を導ける.	■	■					
3）ビオ・サバールの法則	3-1）電流素間に働く力の法則（ビオ・サバールの法則）とその重ね合わせの原理が理解でき，電流分布から磁場（磁束密度）の計算ができる.	■	■			■		
	3-2）電流，磁場・磁束密度の単位に習熟し，それらの数値が具体的に計算できる.	■	■					
4）ローレンツ力	4-1）荷電粒子が電場と磁場から受ける力（ローレンツ力）を理解し，簡単な系におけるローレンツ力及び荷電粒子の運動が計算できる.	■				■	■	
	4-2）ローレンツ力とビオ・サバールの法則から，電流間に作用する力の法則が誘導できる.	■	■					
5）ファラデーの電磁誘導の法則	5-1）ファラデーの電磁誘導の実験から，磁場が時間的に変化すると電場が渦状に生成されることを理解し，それを数学的に表現できる.	■	■					
6）マックスウェル方程式	6-1）電場や磁場の空間的・時間的変化を記述するマックスウェルの方程式が発見された歴史的な経緯を理解する. とりわけ，変位電流の意義について説明できる.	■	■					
	6-2）マックスウェル方程式に習熟し，それから電磁波の波動方程式を導き，電磁波の伝播速度が光速と一致することから，光が電磁波であることを理解する.		■					
7）電気・磁気に関する現象論的法則及び理論	7-1）現象論的法則（オームの法則，キルヒホッフの法則，ジュールの法則など）及び理論（交流理論，回路理論など）に習熟し，簡単な系での計算や回路設計ができる.	■	■				■	
	7-2）交流のインピーダンス，アドミッタンスなどの諸量に精通し，それを使って回路の特性を表現できる.	■	■					

表5－5　熱学・統計力学

項目	到達目標	機械	電気・電子	建築	土木	化学	バイオ	情報・通信
1）熱力学第1法則	1-1）エネルギーの保存則が熱現象を伴う場合にも成立するようにするために，内部エネルギーという概念が導入された経緯を理解し，その数学表現に習熟する.	■	■			■	■	
	1-2）気体の比熱の意味を理解し，それを使って理想気体の内部エネルギーを表現できる.	■	■		■	■	■	
2）熱機関	2-1）熱力学的状態が少数の熱力学変数によって指定されること，及び，熱力学変数は系の平衡状態でのみ意味を持つことが理解でき，具体的な系（例えば，理想気体）の熱力学的状態の指定ができる.	■	■			■	■	
	2-2）熱力学的状態の変化を考察するために，準静過程の概念が導入されることを理解でき，準静過程の意味と役割を説明できる.	■	■			■		
	2-3）準静的等温過程と準静的断熱過程の組合せで構成されるカルノー機関の動作の詳細（温度変化，熱の出入り）が理解でき，熱効率が計算できる.	■	■			■		
	2-4）カルノーサイクルは可逆過程であることが理解でき，カルノー機関の逆運転の結果を説明できる.	■	■			■	■	
3）熱力学第2法則	3-1）クラジウスの原理とトムソンの原理を理解し，両者が等価であることが説明できる.	■	■			■	■	
	3-2）可逆変化と非可逆変化の区別を理解し，非可逆変化と熱力学第2法則との関連が説明できる.	■	■			■	■	
	3-3）エントロピーの定義と意味を理解し，簡単な系（例えば，理想気体）のエントロピーが計算できる.	■	■		■	■	■	
	3-4）エントロピーを使って，熱力学第2法則を表現できる.	■	■			■	■	
	3-5）エントロピーの微視的な解釈が理解でき，これより熱力学第2法則が説明できる.	■	■			■	■	
4）熱力学諸量	4-1）その他の熱力学諸量（自由エネルギー，エンタルピーなど）の定義とその意味を理解し，熱力学的状態の変化を定量的に記述できる.	■	■			■	■	
	4-2）自由エネルギーを使って熱力学の第2法則を記述できる.		■			■	■	
	4-3）熱力学諸量の単位に習熟し，数値の計算が正しくできる.	■	■			■	■	
5）分子運動論	5-1）系の熱力学的状態やその変化を，原子分子の運動学からミクロ的に説明する理論（分子運動論）に習熟し，簡単な系（例えば，理想気体）の記述に応用できる.	■	■			■	■	
6）統計力学	6-1）ミクロな状態の出現確率から系のマクロ的物理量を計算する原理を理解する.	■	■				■	
	6-2）ミクロカノニカル分布，カノニカル分布，グランドカノニカル分布について，状態和の計算方法が理解でき，それから各種の熱力学諸量が計算できる.		■					

表5－6　特殊相対論

項目	到達目標	機械	電気・電子	建築	土木	化学	バイオ	情報・通信
1） 時空間の概念	1-1） 人間が時間と空間の概念を取得した経緯を学習し，時間と空間の古典的（ニュートン的）概念が説明できる．	■	■		■	■	■	
	1-2） 時間と空間の古典的概念が破綻する実験事実（光速が座標系に依存しない）を学び，新しい時空間の概念の導入が必要であることが認識できる．	■	■			■	■	
2） ローレンツ変換	2-1） 運動を記述する座標系に絶対的なものがなく，全ての慣性系は対等であること（相対性原理）と光速が座標系に依存しないこと（光速の絶対性）からローレンツ変換式を導出できる．	■	■			■	■	
	2-2） 座標系の相対速度が光速とくらべて十分小さい場合には，ローレンツ変換式はガリレイ変換式と一致することを示すことができる．	■	■			□	□	
3） 相対論的速度の合成則	3-1） ローレンツ変換式から相対論的な速度の合成則を導出でき，いかなる速度も光速を超えることがないことが理解できる．	■	■			□	□	
	3-2） 座標系の相対速度が光速とくらべて十分小さい場合には，相対論的速度の合成則は古典力学（ニュートン力学）の速度の合成則と一致することが理解できる．	■	■			□	□	
4） 時間の遅れ・空間の収縮	4-1） ローレンツ変換式を使って，時間の遅れ・空間の収縮を計算でき，時空間の概念を相対論的に把握できる．	■	■			□	□	
	4-2） 時間の遅れ・空間の収縮を，ミンコフスキー空間中で幾何学的に把握できる．	■	■					
	4-3） 相対論的効果を伴う現象（例えば，宇宙線の寿命の増大など）を定量的に記述できる．	■	■					
5） 相対論的力学	5-1） 相対論的時空間は，絶対的時空間に基づく古典力学（ニュートン力学）と矛盾するので，ローレンツ変換に対して共変性を有する相対論的力学の必要性を認識できる．	■	■					
	5-2） 相対論的力学の公式に習熟し，それを使って，簡単な事象（質量とエネルギーの変換など）の計算ができる．	■	■					
	5-3） 光速に対して十分小さい速度を取扱う場合には，相対論的力学はニュートン力学と一致することを数式的に理解できる．	■	■					
6） 相対論的力学の4元形式	6-1） 相対論的力学の4元形式による記述に習熟し，簡単な事象（相対論的運動方程式による運動の解析など）の説明に応用できる．	□	□					

表５－７　量子力学

項目	到達目標	機械	電気・電子	建築	土木	化学	バイオ	情報・通信
1） 黒体輻射と量子仮説	1-1） 黒体のスペクトルの実験結果の説明において，古典物理学が破綻し，量子仮説が導入された経緯を理解し，量子仮説の意味を説明できる．	■	■			■	■	
2） 原子スペクトルとボーアモデル	2-1） 原子スペクトルの実験結果の説明において，古典物理学が破綻し，ボーアモデルが導入された経緯を理解し，ボーアモデルの意味を説明できる．	■	■			■	■	
3） 光電効果と光量子仮説	3-1） 光電効果の実験結果の説明において，古典物理学が破綻し，光量子仮説が導入された経緯を理解し，光量子仮説の意味を説明できる．	■	■			■	■	
4） 電子線回折と物質波（ド・ブロイ波）仮説	4-1） 物質波（ド・ブロイ波）仮説が導入された経緯を理解し，電子線回折の実験結果が説明できる．	■	■			■	■	
5） Einstein-Comptonの関係式	5-1） Einstein-Comptonの関係式は，粒子性に関する物理量と波動性に関する物理量の関係であることを理解でき，これを使って電子の波長や光子の運動量が計算できる．	■	■			□	■	
6） シュレーディンガー方程式とボルンの確率解釈	6-1） Einstein-Comptonの関係式から，シュレーディンガー方程式を導くことができる．	■	■			□	□	
	6-2） 一般的な系におけるシュレーディンガー方程式の立て方が分かる．	■	■			□	□	
	6-3） シュレーディンガー方程式の解（波動関数）の求め方が分かる．	■	■			□	□	
	6-4） 波動関数の解釈（ボルンの確率解釈）が理解でき，波動関数の利用方法（物理量の期待値の計算法）が分かる．	■	■			□	■	
7） シュレーディンガー方程式の応用	7-1） シュレーディンガー方程式を使って，1次元箱形ポテンシャル中での固有状態を計算できる。	■	■			□	■	
	7-2） シュレーディンガー方程式を使って調和振動子，水素原子，Kronig-Pennyモデルなど，比較的簡単な系の量子的挙動を解析できる．	■	■				□	
	7-3） 古典力学と量子力学の類似点（Ehrenfestの定理など）・相違点（不確定性原理など）の由来を数式的に把握でき，量子力学の理論体系と古典力学のそれとの関係が理解できる．	■	■			□	□	

５－２－５．理論物理・実験物理・計算物理

共通分野「物理学」に関する当該調査研究報告の冒頭（1.何をどこまで）で，「物理学は，アリストテレス，デモクリトス等のギリシャ自然哲学から始まり，ガリレオの実験・観測による研究手法の導入，ニュートンの微積分学による解析手法の確立を経て，17 世紀中ごろに精密科学としての体裁を整えた．その後，この手法は，熱，電磁気，原子分子，素粒子等，広範な自然現象の記述に適用された．20 世紀に入って，力学的自然観から量子力学的自然観への展開があったものの，自然を数学的に記述することによって，自然を理解しようとする立場は一貫して不変である」と書いた．この記述に基本的な間違いはないが，20 世紀の後半にコンピュータが出現すると，以下に述べるように拡張的に解釈されるようになった．これは，非線形の問題などでは，一般的に，方程式の解が既存の初等関数・特殊関数を使って表現できないことと関係し，数学的な記述に限界があることが明らかになった結果であり，また，物理学の研究対象を「物質」以外に「人間・社会現象」をも包含させようとする動向の結果でもある．

いかなる工学分野においても，「自然のしくみ」の理解が基本である．理解してそれを応用しようとする立場である．ここで，人間も生物の一種であり，生物は自然の一部であるという意味で，人間の活動（社会現象）も自然の一部であると考える立場がある．人間・社会現象（その多くは非線形現象）をも物理学の研究対象とする立場を「シナジェティックス」という．「理解すること」は「記述すること」と同義である．記述の仕方によって，現代の物理学は，理論物理，実験物理，計算物理に分類される．図５－４に示すように，「自然のしくみの記述の仕方」には，（１）数式による方法（理論物理学），（２）実験データによる方法（実験物理学），（３）計算機による方法（計算機シミュレーション）がある．これは互いに相補的な関係にあり，これらの 3 つの方法を総合的に運用することで，物質や人間・社会現象の非線形的な性質をも理解しようとすることが，現代の物理学の基本的な考え方になっている．従来の物質を対象とする物理学を「ハードな物理学」，対象に人間・社会現象を含む物理学を「ソフトな物理学」と呼ぶ場合もある．理論物理の発展は数学の発展と関係し，実験物理と計算物理の発展は，実験装置や計算機の発達を介して工学の発展に依存している．このように，数学・物理学・工学は密接に関係しながら発展し続けているのが現状である．「物理学の３つの形態」及び「物理学のソフト化」に十分に配慮しながら，今後の工学教育について様々な創意工夫を行うべきであろう．なお，数学・物理学・工学の連携の現状を 63 ページの表に示した．

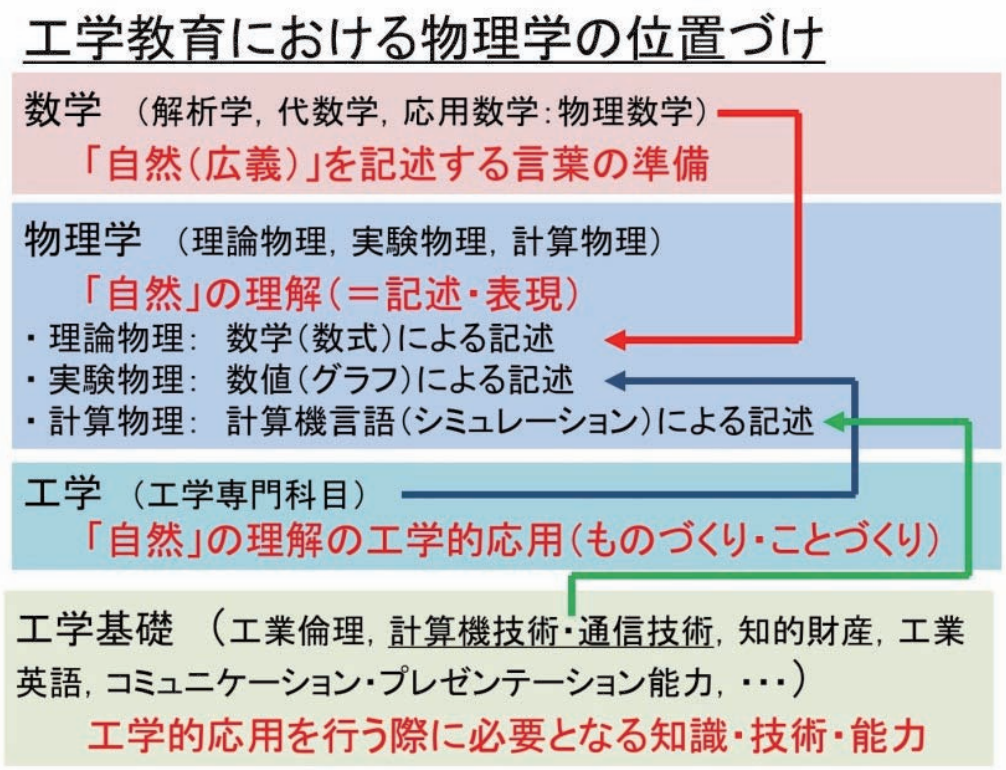


図５－４　工学教育における物理学の位置づけ

５－２－６．共通分野「物理学」に関する調査研究の結言

物理学は，ギリシャの自然哲学に起源を持ち，その後の発展過程は，人間が自然を理解する試みの連続であり，様々な方法の発見や手法の創成があった．そして，現在でも，その発展が進行している．自然を理解するために行った「人間の思考の創意工夫」が，物理学の歴史に凝縮している．そのため，物理学の学習目的として，（１）自然現象を理解するための方法自体の習得，（２）「思考する」ことのトレーニングの場，などの意義を重要視する考え方がある．物理学を精密科学としての「自然哲学」と捉えるこの考え方は，欧米の大学では広く受け入れられており，「個々の自然現象の理解」と同時に「思考の仕方」の習得が物理学の重要な学習目的になっている．

これに対して，我が国では，出来上がった物理学を輸入し，それを工学に応用することに努めた結果，工学教育では，物理学の「自然哲学」としての側面は無視され，専ら工学上都合のよい知識だけを選択し，その応用に特化する教育が為されている．即ち，「工学の道具」としての物理学という考え方である．これは，我が国独自のものであり，現在の工学カリキュラムの基本になっている．このカリキュラムは，明治以来，欧米に追い付き追い越せと急速な工業化を行った際に，自ずと出来上がった形と思われるが，欧米の大学教育のそれと比べて極めて特異あり，物理学に関しては「木を見て森を見ない」教育になっている．我が国が工業化に成功したとはいえ，実は，欧米人が見つけた知識を，単に工学に応用したにすぎない例が多く，原理的な発見・発明に基づく新技術開発は極めて少ない．現在，アジア発展途上国の追い上げのなかで，我が国の明治以来の工学教育の質的な転換が問われている．

原理的な発見・発明に基づく新技術開発は，「新しいものを作り出そうする強い意欲」と「それを可能にする知識」と「そのために深く考える姿勢」と「多くの試行錯誤的な努力」と「試行錯誤の際，多く候補から正しい試行を選択できる良き工学的感性」によって生み出される．従って，我が国の理工系教育の抜本的な改革は，（１）いかにして，新しいものを作り出そうする強い意欲を持たせることができるか，（２）いかにして，新しいものを生み出す基礎となる知識を習得させるか，（３）いかにして，深く考える姿勢を育成できるか，（４）試行錯誤的な不断の努力を行う人間をどのように育てられるか，（５）多くの候補の中から正しい試行を選択できる良き工学的感性をどのように育成できるか，これらの問いに解を与えることによって達成できると思われる．

時間的制約から，当該調査研究では（２）に重点を置いて検討を行い，ここにその報告書をまとめることになったが，これを基礎に，それ以外の教育要素（１），（３），（４），（５）についても研究が進展し，我が国の工学教育の将来像がより明確になることを期待したい．

物理学との関連でこれを行うアイディアを以下に述べて，共通分野「物理学」に関する調査研究からの提言としたい．

（Ⅰ）専門の工学に必要な物理学の「知識」を習得することと同時に「物理学の自然理解の方法自体」の学習にエネルギーを投入し，深く考える力を育成すること．

（Ⅱ）具体的には，理論物理，実験物理，計算物理で採用されている多くの具体的な手法の個々について，いかなる仕組みで自然が記述されているかその原理が理解できる工学カリキュラムを開発すること．とりわけ，「物理実験」，「計算機シミュレーション」をこの観点から再構成すこと．

（Ⅲ）理論物理，実験物理，計算物理の手法を連動して運用し，総合的に自然を理解する姿勢を育成すること．これを工学的開発に応用できること．

（Ⅳ）物質を対象とする「ハードな物理学」，対象に人間・社会現象を含む「ソフトな物理学」のそれぞれについて，「工学への応用」，「工学との連携」を強化すること．

（Ⅴ）物理学の知識に基づいて，新しい工学的創造を生み出す「ブレインストーミング演習」を工学教育のカリキュラムに導入すること．この際，学生間及び教員・学生間のコミュニケーションの仕方に工夫を凝らし，工学的感性の育成に資すること．これができる教員を育成すること．

５－３．化学

５－３－１．まえがき

文部科学省が平成２１年６月に設置した「大学における実践的な技術者教育のあり方に関する協力者会議」（座長　谷口　功　熊本大学学長）で検討した，技術者教育の充実，実践的教育の必要性，求められる技術者像等について，平成２２年６月「大学における実践的な技術者教育のあり方」報告書が提出された．この報告書を，文部科学より，大学における実践的な技術者教育での学生の共通的な到達目標（最低限の基準）を示す事を目標とする平成２２年，２３年度先導的大学改革推進委託事業「技術者教育に関する分野別の到達目標の設定に関する調査研究」が公募された．千葉大学の野口博大学院工学研究科長を中心に上記の協力者会議委員を中核とした全国の国立・私立大学の工学系の教職員や企業の技術者による体制を構築し，申請を行い，採択された．

本調査研究の背景として，技術者教育の主な受け皿である企業活動の国際化や複合化がある．学問分野として工学は，理学，医学，薬学，看護学，農学等との融合分野の発展が加速し，更に経済学，社会学，心理学等のいわゆる文科系学問との連携が進み，従来の工学から総合工学的要素が強くなりつつある．

本報告書は，技術者教育において基礎的で共通部分である「自然科学（物理，化学，情報リテラシー等)」に含まれている化学の教育に焦点をしぼり，学士課程において学習すべき知識や理解およびこれらを具体的課題に適応する能力について，その範囲とレベルを，項目や到達目標，学修に当たっての配慮事項を提示するものである．

技術者教育において学士課程での共通的な化学分野の教育のうち，どの学生も学ぶ事が大切である４分野「原子の構造」「化学結合の仕組み」「化学反応と反応速度」「無機化合物と有機化合物」「物質の状態」について提示するものである．学士課程教育において身につけるべき知識や理解，およびこれらを具体的事例に適用する能力について，その範囲と要求レベルを，具体的な項目や到達目標の形で，学修に当たっての配慮事項とともに提示する．

これらの知識と能力の修得は相互に関連しており，また数学および物理学とも密接な関係にある．これらの関係をイメージ化したものを図５－５に示す．

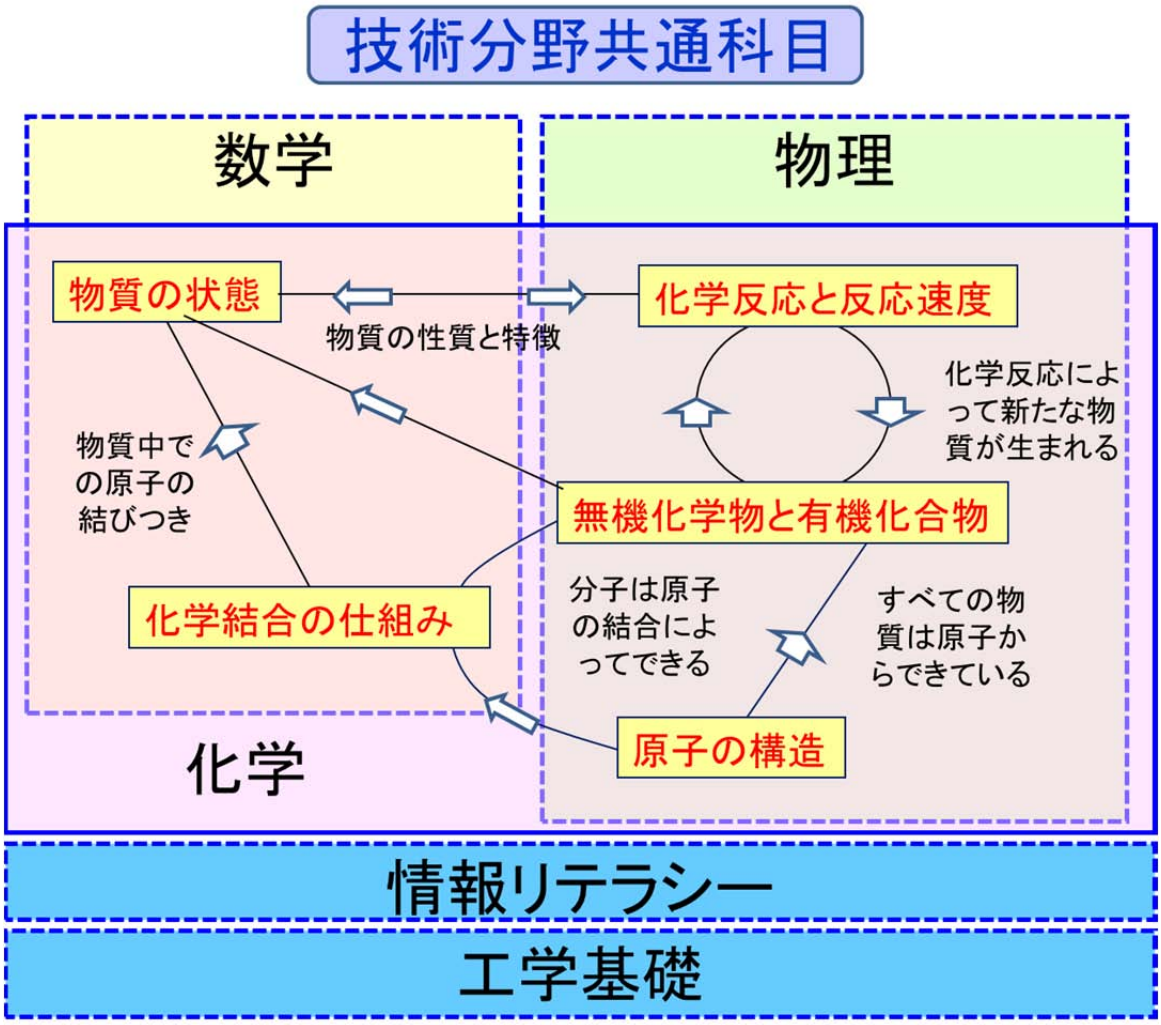


図5－5　共通化学科目間関連図

また，平成２３年７月，８月に実施した技術者教育の共通分野としての化学に対するパブリックコメント募集に対して，大学の工学系学部・学科，学協会，産業界などの方々から１８件（２１項目）のご意見を頂きました．これらの意見を基に再度精査検討し，反映させるべきと判断したご意見を取り入れて改訂した．

共通部分としての化学分野の到達目標は，必ず履修すべき分野，項目から成り，全ての技術者教育を行う上で学んで欲しい内容であると位置づけられる．分野ごとに専門が進化している現代においても，上記の基本的な事項を理解し応用する力を有する事は全ての技術者に求められるものである．これ以外の項目に関しては，カリキュラムのゆとりに応じてそれぞれの大学，学部，学科において設定すべきものであり，それらはそれぞれの大学ごと或いは学科ごとのカリキュラムの特色として捉えられるべきものである．本報告の分野と項目，到達目標などを用いた厳格な評価手法が確立されれば，日本の技術者の化学に関する質保証を強力に後押しすることができるものと考えられる．

この報告書は第一段階のたたき台であり，これからも学協会，企業の方々など関係する方々と協議を継続し，より良い学士課程における化学教育の確立を目指して鋭意努力すべきたたき台として利用して頂ければ幸いである．

５－３－２．化学の到達目標及び学修に当たっての配慮事項

化学の到達目標と学修に当たっての配慮事項は，次の５分野について示す．
１．「原子の構造」
２．「化学結合の仕組み」
３．「化学反応と反応速度」
４．「無機化合物と有機化合物」
５．「物質の状態」

１．「原子の構造」

(1) 原子の構造

到達目標
・原子の大きさが分かる．
・原子を構成する三つの粒子が理解できる．
・電子の性質と電子殻の概念が分かっている．
学修に当たっての配慮事項
・物質を構成する基本的粒子である原子が，どのような物でも共通する三つの粒子（陽子，電子，中性子）から構成されていることを量子化学的基礎に立脚して理解できるよう配慮する．

(2) 原子の種類

到達目標
・原子の種類について理解し，元素と原子の関係が説明できる．
・元素の周期的な性質変化と周期表を説明できる．
学修に当たっての配慮事項
・原子の構造と種類およびそれぞれの特徴を把握し，原子が集まってできている身の周りにある全ての物質が，原子によって出来ていることを理解できるよう配慮する．

２．「化学結合の仕組み」

(1) 原子の結びつき

到達目標
・金属元素と非金属元素の違いが分かり，その種類と量を説明できる．
・原子間の結合の概念が説明できる．
・原子の混成軌道が説明できる．
・金属元素を特徴づける自由電子の概念が分かり金属結合からなる物質を把握できる．
・イオンの概念が説明でき，イオン結合を理解している
学修に当たっての配慮事項
・物質が，原子のどのような結びつきによってつくられているかを理解できるよう配慮する．

(2) 原子の結合

到達目標
・原子が結合してできる分子について化学式を作ることが出来る．
・電子を共有する化学結合について電子対の概念を説明できる．
・σ結合とπ結合の概念が理解できる．
・水分子の形と水素結合の概念が分かっている．
・モルの概念を把握し，分子の質量が計算できる．
学修に当たっての配慮事項
・化学式で表わすことができる分子が，原子のどのような結びつきによってできるのか，また物質量の概念を理解できるよう配慮する．

３．「化学反応と反応速度」

(1) 化学反応

到達目標

・身の回りの化学反応の例を示せ，物質を作り出す化学反応が理解できる．
・物質の生成・分解に関わる化学反応が理解できる．
・化学反応における反応座標と活性化エネルギーの概念が理解できる．
・化学反応について，化学反応式を導くことができる．
・化学反応式における係数と物質量の関係を把握している．
・エネルギーの出入りを化学反応式で表すことができる．
・化学反応に関する速度論と平衡論が理解できる．

学修に当たっての配慮事項

・新たな物質を作り出す化学反応がどのように起きているかを把握し，その概念が，多様な反応に活用できることを理解できるよう配慮する．

(2) 酸化と還元

到達目標

・酸化と還元が定義できる．
・電子の動きから酸化と還元が定義できる．
・酸化剤と還元剤の概念と具体例が分かっている．
・電池の基本的なしくみが理解できる．

学修に当たっての配慮事項

・自然界で起きる酸化や還元などの現象が，電子が深くかかわって起きていることを理解できるよう配慮する．

(3) 反応速度

到達目標

・化学反応式から化学反応速度式を定義できる．
・反応次数が理解できる

学修に当たっての配慮事項

・化学反応が進行するときの速度が，反応物の濃度変化で定義されていることを理解できるよう配慮する．
・核化学について基礎的理解ができるよう配慮する．

４．「無機化合物と有機化合物」

(1) 無機化合物と有機化合物

到達目標

・空気や水，生命体そして生活用品など身近に存在する物質の性質の違いが理解できる．
・無機物質と有機物質の特徴を理解しそれらの違いが説明できる．

学修に当たっての配慮事項

・生命体を含む多様な物質が，有機化合物からなる有機物質と無機化合物からなる無機物質に分けられ，それぞれの特徴が二つの分類に活用できることを理解できるよう配慮する．
・ＤＮＡなども有機物質であることを理解できるよう配慮する．

(2) 無機物質と有機物質

到達目標

・身近な無機物質と有機物質が，どのような元素から構成されているか説明できる．
・無機物質と有機物質の化学反応の違いを把握し，無機物質からも有機物質が得られることを理解できる．

学修に当たっての配慮事項

・無機物質と有機物質がそれぞれの特徴に合った化学反応を起こし，新しい物質を作り出すことに活用できることを理解できるよう配慮する．

５．「物質の状態」

(1) 物質

到達目標

・物質を化学の目で見，物体と物質の違いを理解できる．
・物質は元素でできていることと純粋な物質と混ざった物質の違いを把握できる．
・色々な物質の密度の違いが理解できる．
・融点と沸点の概念が分かり，沸点を利用して混合物を分けることが理解できる．

学修に当たっての配慮事項

・物質の物理的特性の違いが，身近な物質の性質の違いを把握することに活用できることを理解できるよう配慮する．

(2) 物質の状態

到達目標

・気体，液体，固体の集合状態の違いが説明できる．
・温度によって変化する物質の状態と粒子の運動との関係が理解できる．
・熱と温度の違いと，エネルギーを加えると状態が変化する事が理解できる．
・熱力学法則から物質の安定な状態とその変化が理解できる．

学修に当たっての配慮事項

・物質を構成する粒子の集合状態の違いが，物質の状態の決定に活用できることを理解できるよう配慮する．

(3) 気体と溶液

到達目標

・気体の圧力と体積の関係についてボイルの法則が説明できる．
・気体の温度と体積の関係についてシャルルの法則が説明できる．
・気体や固体の溶液への溶解する現象を理解できる．
・溶液の濃度が説明できる．

学修に当たっての配慮事項

・物質の物理的性質が，気体や溶液などの状態を決め，身近な現象の把握に活用できることを理解できるよう配慮する．

(4) 酸と塩基

到達目標

・酸と塩基およびその強さの概念が理解でき，酸性と塩基性の見分けが出来る．
・中和の概念と塩について理解できる．

学修に当たっての配慮事項

・酸と塩基の性質が，身近な物質の性質の把握に活用できることを理解できるよう配慮する．

(5) 光

到達目標

・光の波長とエネルギーの関係が理解できる．
・光の三原色と物が見えるしくみが分かる．
・蛍光と発光について理解できる．
・物質の色について説明できる．

学修に当たっての配慮事項

・光の特徴とその理解が，光が物質に及ぼす現象の把握に活用できることを理解できるよう配慮する．

５－４．情報リテラシー

５－４－１．まえがき

技術者教育における共通基礎科目としての情報リテラシーの開講コマ数は，ほとんどの大学では半期，週１コマ，２単位程度の重み付けであろう．しかし，今日のような情報化社会においては「リテラシー」の文字通り，「読み書きそろばん」的位置付けとして，情報リテラシーは重要である．ただ，今日的であるが故に情報リテラシーを取り巻く環境は日進月歩であり，何を持って「先導的」とするかは非常に難しい課題である．

日本の大半の大学では 1980 年代から「現代の読み書きそろばん」として情報処理教育が行われ，1990 年代半ばからは文科系の学生へも必修化する動きが広がった．その後高等学校でも情報が必修化され，2000 年代に入ると一般家庭へも急速にパソコンが普及し，今や「読み書きそろばん」的意味での情報処理教育はその必要がないほどに若者のスキルは高いともいえる．ただ，ネットワーク犯罪や著作権問題など，別の意味での教育の必要性が高まっていることも事実であり，情報リテラシー教育の重点が社会における情報倫理へとシフトしてきていると言える．

本プロジェクトでは，工学系全般の学生を対象とする「リテラシー」として，情報の基礎となるデジタルデータの仕組みを理解し，情報ネットワークの仕組みとセキュリティ・犯罪と法律などに触れ，更にこれらを支えるプログラムの端緒に触れることを念頭に，これら 3 つの項目を柱として位置付けてキーワードを抽出し，到達目標を設定した．電気・情報系の学科向けとしては食い足りないと感じる面もあるかもしれないし，一部の学科ではプログラミングの必要性を感じないかもしれない．しかし，工学系の学生として身につけておくべき最低線を「先導的」観点から位置付けたものとご理解頂ければ幸いである．

パブリックコメントで得られたご意見の内容も，ご意見を寄せて頂いた有識者のフィールドによって実に様々であった．そこで，上述のように，工学系全般の学生を対象としていることを念頭に全体を再考し，基本的に取り入れる方針で調整を行った．図５－６に，情報リテラシーにおける学習内容の相関図を示す．

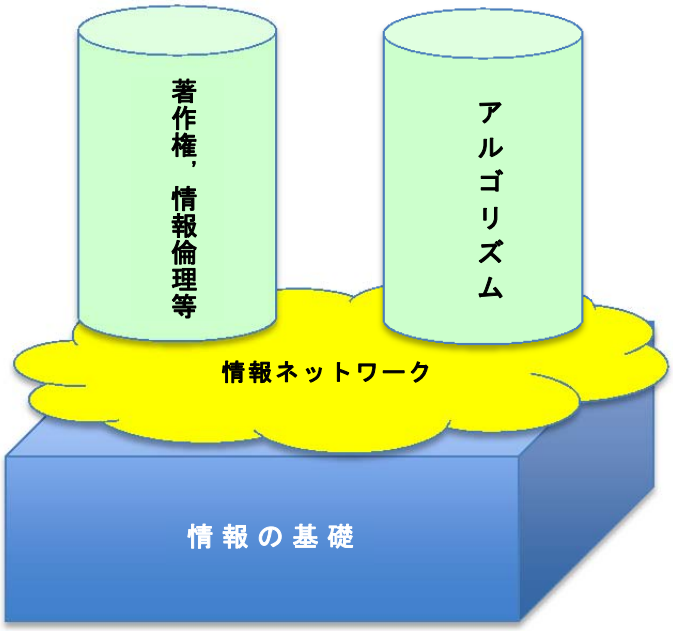


図５－６　情報リテラシーにおける学習内容の相関図

５－４－２．情報リテラシーの到達目標と学修にあたっての配慮事項

情報リテラシーの到達目標と学修に当たっての配慮事項は，次の３分野について示す．
１．「情報の基礎」
２．「情報ネットワーク」
３．「アルゴリズム」

１．「情報の基礎」

＜キーワード＞情報，データ，基数，2 進法，文字コード，組込みシステム，バーコード，QR コード，IC タグ，電子商取引

到達目標
・コンピュータで何ができるのか，社会でどのように使われているのかを理解する．
・情報とデータの違い，デジタルデータとその表現を理解する．
・基数位取り記法と基数変換の仕組みを理解し，演算できるようになる．

学修に当たっての配慮事項
・情報という言葉の技術的な意味とそれを処理するための数理的な背景について，日常生活でコンピュータがどのように使われているかを対比させながら理解できるように配慮する．

２．「情報ネットワーク」

＜キーワード＞インターネット，プロトコル，著作権，知的財産権，ネット犯罪，賠償責任，情報セキュリティ，プライバシー，情報発信

到達目標
・情報伝達システムの考え方について理解する．
・インターネットの仕組みを理解し，実践的に使用できるようになる．
・著作権，知的財産権などについて正しく理解し，民法，刑法との関連についても把握する．
・情報セキュリティの必要性，様々な脅威の実態とその対策について理解する．
・個人情報とプライバシー保護の考え方について理解し，正しく実践できるようになる．
・インターネットを用いた犯罪例などを知り，それに対する正しい対処法を実践できる．

学修に当たっての配慮事項
・日常生活で用いているインターネットに代表されるネットワーク利用に潜む様々な危険性について正しく理解し，知らぬ間に法を犯す危険性，損害賠償責任があることを認識して，ネットワーク時代の正しい処世術を身につける．

３．「アルゴリズム」

＜キーワード＞マークアップ言語，タグ，プログラム言語，アルゴリズム，プログラミング，論理的思考

到達目標
・構造的文書の作成法，文書の構造とタグなどについて理解し，記述することができる．
・コンピュータにおける初歩的な演算の仕組みを理解する．
・高級言語を用いた簡単なプログラムについて理解し，自分でプログラミング出来る．

学修に当たっての配慮事項
・通常の文書とプログラミング言語の類似点と相違点について理解し，様々なプログラムが日常生活で用いられていることを認識しながら演習することができるように配慮する．

５－５．工学基礎

５－５－１．まえがき

「工学基礎」では，国内の大学の工学部カリキュラムにおける工学基礎教育関連データを収集して参照し，工学基礎の到達目標とキーワードを列挙した上で，〔到達目標〕と〔学修に当たっての配慮事項〕を抽出してまとめている．その基本方針は以下の通りである．

1)「工学基礎」を一括りとせず，適切に分類する．

2)大学や学科によって扱いが異なるであろうものは避け，できるだけ共通性のある必要最低限を抽出する．

基本方針1)の分類については，当初，以下に示すように5分野として整理し，それぞれに細分化された項目に分けて到達目標と学修に当たっての配慮事項を示して，パブリックコメントを募集した(2011 年 7-8 月)．

1. 基幹工学の基礎　　(機械工学基礎，電気・電子回路)
2. 工学基礎実験・計測　　(基礎的原理・現象，実験・計測・分析方法，考察・レポート作成)
3. 数値解析　　(数値解析法の基礎，アルゴリズム，プログラミング)
4. 科学技術英語　　(プレゼンテーション・コミュニケーション，リーディング，ライティング)
5. 技術者倫理　　(技術者倫理の基本と実践，情報倫理，環境倫理)

工学基礎のパブリックコメントには合計 10 件の意見が寄せられている．その中で文言の修正や追加に関する意見3件，および内容の追加に関する意見3件については基本的に最終版に反映させた．また，「数値解析」と「数値計算」の違いに関する重要な指摘があり，「数値解析」は必要に応じて分野別専門基礎に入れることとし，「工学基礎」ではあくまで「数値計算」として扱うことに修正した．さらに，その後の全体検討の結果，「科学技術英語」と「技術者倫理」については「社会人基礎力」に，工学系の能力として含めることとし，「工学基礎」からは外している．したがって，工学基礎の到達目標については，最終的に以下の分類にて示している．

1. 基幹工学の基礎　　(機械工学基礎，電気・電子回路)
2. 工学基礎実験・計測　　(基礎的原理・現象，実験・計測・分析方法，考察・レポート作成)
3. 数値計算　　(数値計算法の基礎，アルゴリズム，プログラミング)

パブリックコメントには，その他「科学技術史や人文社会系などの教養教育をどう扱うか」，「地学や生物について示さないのか」といった意見も寄せられたが，上記の基本方針2)に基づき，対応しないこととした．さらに，「どこまで細分化した到達目標を示すか？」といった本質的な指摘もあったが，今後，本報告書における到達目標を原案として精査していく必要があり，課題として残すこととする．

５－５－２．工学基礎の到達目標と学修に当たっての配慮事項

工学基礎の到達目標と学修に当たっての配慮事項は，次の３分野について示す．

１．「基幹工学の基礎」
２．「工学基礎実験・計測」
３．「数値計算」

１．「基幹工学の基礎」

(1) 機械工学基礎

到達目標

・機械，生産に関して重要となる基礎的な力学（材料力学，流体力学，熱力学など）に関して，その概要を理解する．
・ものづくりの観点から，設計，生産，運用，安全の方針などについて考えることかできる．

学修に当たっての配慮事項

・機械工学の基礎が，自ら専門とする工学分野に関係し，活用できることを理解するよう配慮する．

(2) 電気・電子回路

到達目標

・電気回路を構成する基本要素，電源，電圧，電流，抵抗，インダクタ，キャパシタなどの特徴を理解し，簡単な交流回路の計算ができる．
・電子回路を構成するダイオード，トランジスタなどの電子デバイスの原理，および簡単な電子回路の動作を説明できる．

学修に当たっての配慮事項

・電気回路および電子回路の基礎が，自ら専門とする工学分野に関係し，活用できることを理解するよう配慮する．

２．「工学基礎実験・計測」

(1) 基礎的原理・現象

到達目標

・物理，化学，情報，工学についての基礎的原理や現象を，実験を通じて理解できる．

学修に当たっての配慮事項

・物理，化学，情報，工学の理解にとって，実験的アプローチが重要な役割をなすことを理解するよう配慮する．

(2) 実験・計測・分析方法

到達目標

・基礎的原理や現象を理解するための実験手法，実験手順，実験データ処理法等について理解する．
・実験装置や測定器の操作，および実験器具・試薬・材料の取扱いに慣れ，安全に実験を行うことができる．
・実験データの分析，誤差解析，有効桁数の評価，整理の仕方，考察の進め方について理解し，実践できる．

学修に当たっての配慮事項

・共同実験における基本的ルールを理解し，自ら考えて実験に主体的に関わることの重要性を理解するよう配慮する．

(3) 考察・レポート作成

到達目標

・実験テーマの内容を理解し，実験・測定結果の妥当性評価や考察等，論理的な説明ができる．
・実験ノートの記述，および実験レポートの作成の方法を理解し，実践できる．

学修に当たっての配慮事項

・教科書，文献等の調査や期限内のレポート作成など，計画的・継続的に自己学習することの重要性を理解するよう配慮する．

３．「数値計算」

(1) 数値計算法の基礎

到達目標

・様々な工学の問題を解決する上で，数値計算法がどのように利用されるかを理解し，応用できる．
・数値計算では，演算量，計算誤差，解の収束性と安定性，解法の高速性や並列性などの観点が重要であることを理解する．

学修に当たっての配慮事項

・実社会における工学的課題解決に計算機を利活用するという目的と必然性を明確にし，基礎知識の習得や最新の計算機事情の理解ができるよう配慮する．

(2) アルゴリズム

到達目標

・行列や関数などに関する種々の問題を，計算機を用いて数値的に解くための代表的な計算アルゴリズムとその数学的原理を理解する．
・基本的アルゴリズムを理解し，技術者として必要な問題を解くためのアルゴリズムを，データ構造の設計も含め，自身で構築できる．

学修に当たっての配慮事項

・情報リテラシーとの関連において，数値計算アルゴリズムを理解するよう配慮する．

(3) プログラミング

到達目標

・逐次処理による計算のプログラムフローを示し，プログラム化することができる．
・適当なプログラム言語を用いて，簡単な数値計算を行うプログラムを作成できる．
・オブジェクト指向言語の趨勢を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・具体的な問題を実際にプログラム化することを通じて，数値計算プログラムを理解するよう配慮する．

６．技術分野の到達目標及び学修に当たっての配慮事項

１．機械分野

２．電気・電子分野

３．建築分野

４．土木分野

５．化学分野

６．バイオ分野

７．情報・通信分野

６－１．機械分野

６－１－１. まえがき

本項では，機械関連分野の大学学部レベルでの教育課程で学ぶべき内容とその達成目標を，学修にあたっての配慮事項とともに提示している．機械分野の教育課程に含めるべき内容のみならず，その修了生に求められる知識，能力の標準的レベルを規定している点で，JABEE 等の認定基準より一歩踏み込んだものである．

機械分野は，機械および機械システムの設計・製作や運転，あるいは機械を含む社会の健全な発展に必要な学問領域である．対象がきわめて広範囲にわたることから，力学を中核とする工学の一分野であるものの,機械工学に含まれる学問領域は多岐にわたる.したがって機械関連分野の教育課程も，課程ごとの軸足の置き位置によって，様々なバリエーションが想定される．本項で提示する学修内容と達成目標は，これらの機械関連分野の教育課程の共通部分に相当する部分のみを抽出してまとめてある．

本項では，機械関連分野の修了生に求められる能力を，複数の機械要素・機器を組み合わせて新しい機能を生み出す機械システムの概念を理解し，要求される条件を満足させながらそれを創造できることと設定した．この能力を養成するため，材料力学，機械力学，流体力学，熱力学（いわゆる４力学）として体系化されている基礎力学と，その基盤となる力学を中心とした物理学，微積分・線形代数・確率統計といった数学の修得に加えて，機械システムを形作る機械材料・機械要素，これらを組み合わせて要求に合致した機能を作り出すための制御・メカトロニクス，さらに実際にこれらを形にするための生産・加工についての知識と応用能力の修得を求めている．その上で，様々な制約条件を最適化して要求される機械システムを設計し，それを他者に伝えるための製図・デザインの能力とスキルと，機械材料・機械要素・機械システムの特性を把握し合理的に考察できる実験・解析能力の修得を求める．こうして身に付けた知識と能力を総合することによって，社会の要求する機械システムの概念を理解し，それを応用展開できる能力を養成することとしている．

これらの知識と能力の修得は相互に関連しており,教育課程の進行につれて順次履修すべきである．科目群の相互関連と履修順序のイメージを図６－１に示す．

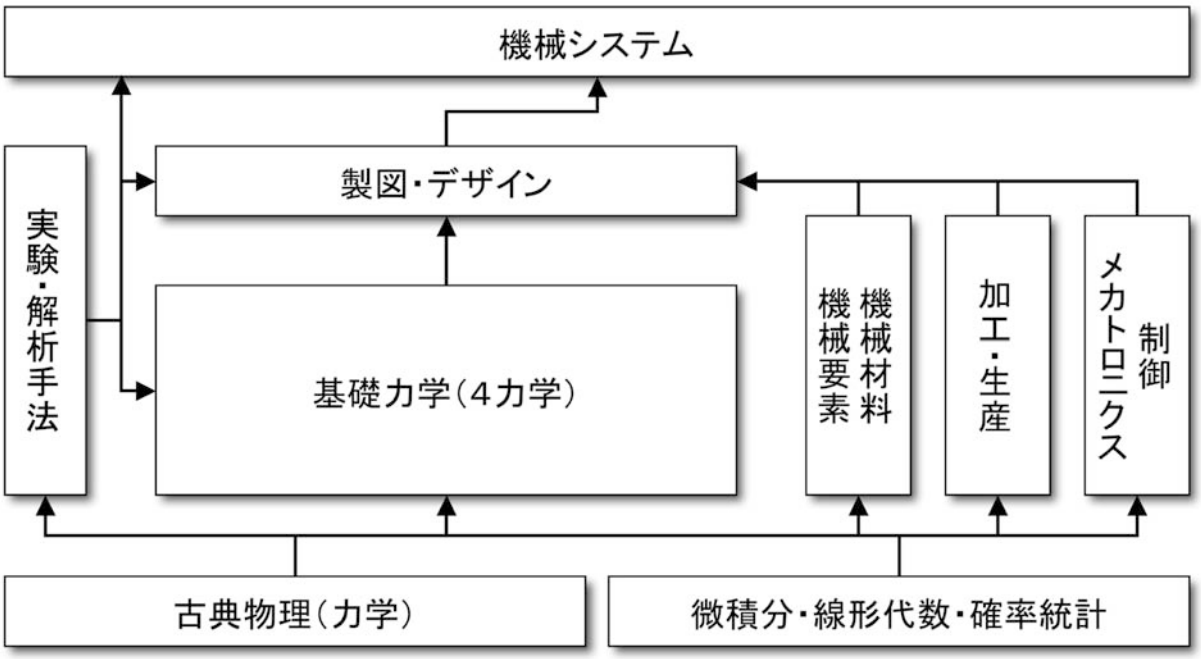


図６－１　機械分野の科目間の関連

ただし，この図における分野の名称は，必ずしも科目名称に対応している必要はなく，例えば，機械システムの概念の理解と応用展開を，学士論文研究（卒業研究）の中で涵養することもあり得る．また，複数の科目によってここに示した能力を養成することも，教育課程の選択肢の一つである．さらに，個々の教育課程の特色に応じて，これ以外の知識，能力を涵養する科目が含まれることを妨げるものではない．

本項で提示した教育内容と到達目標，学修にあたっての配慮事項の中間まとめ案に対して，平成 23 年 12 月 1 日から平成 24 年 1 月 17 日の期間，パブリックコメントを募集し，11 件のコメントを頂戴した．これらのコメントの指摘にしたがって「コア」「要望」双方のレベルを微調整するとともに，一部の配慮事項の記述の改訂を行った．ただし，機械分野の教育内容の大枠については肯定的なご意見が多かったことから，この部分は中間まとめ案から変更しなかった．

学修内容の到達目標は，機械工学のように成熟した分野においても，科学技術の進展と社会の要請の変化に応じて時代とともに変化していくものと考える．今回の取りまとめ結果を契機として機械分野の教育内容に対する意識が高まり，活発な議論と不断の見直しを通して工学教育としての質の向上につながることを期待する．

6－1－2. 機械分野　（技術者教育において育成すべき知識・能力と，その到達目標）

育成すべき知識・能力		到達目標			
		コア		要望	
1.基礎	1-1.数学	自然科学の法則を工学問題に適用し，解くことができる． 単位で表された数値が実感で理解できる．	微分・積分，微分方程式，線形代数，複素関数の基礎知識や概念を数学的問題に適用できる．	自然科学の法則を工学問題に適用し，解いた結果の分析により，問題解決に必要な課題の構造を明らかにすることができる．． 単位で表された数値が実感で理解できる．	微分・積分，微分方程式，線形代数，複素関数の基礎知識や概念を工学問題に適用し，問題解決に必要な分析をすることができる．
	1-2.物理学等自然科学 （物理，化学，情報リテラシー，地学，生物）		力学，電磁気学，熱力学等の自然科学の知識や概念を工学問題に適用できる． **力の釣り合いと合成，質点の力学，仕事とエネルギーの概念を理解し，工学問題に適用できる．**		力学，電磁気学，熱力学等の自然科学の知識や概念を工学問題に適用し，問題解決に必要な分析をすることができる． 力の釣り合いと合成，質点の力学，仕事とエネルギーと摩擦の概念を適用して，問題解決に必要な分析をすることができる．
	1-3.工学基礎		基幹工学（機械工学概論，電気・電子工学概論等），工学基礎実験・計測，数値解析等の基礎知識を工学問題の実験や解析に適用できる．		基幹工学（機械工学概論，電気・電子工学概論等），工学基礎実験・計測，数値解析等の基礎知識を工学問題に適用し，問題解決に必要な分析をすることができる．
2. 専門分野	**2-1-a.基礎力学-材料力学**	**材料力学・機械力学・流体力学・熱力学（4力学）の知識を習得し，実際の問題に関連づけて適用できる．**		**4力学の知識を複合的に組み合わせて，光学や分子論等，応用工学問題の解決方法を分析できる．**	
	2-1-b.基礎力学-機械力学				
	2-1-c.基礎力学-流体力学				
	2-1-d.基礎力学-熱力学				
	2-2.機械材料・機械要素	**材料と機械要素の特性についての知識を習得し，実際の問題に関連づけて適用できる．**		**材料と機械要素の特性の知識を用いて，用途・部位に適した材料・機械要素を分析・選択できる．**	
	2-3.加工・生産	**素材の加工・生産方法についての知識を習得するとともに，その制約を理解し，実際の問題に適用できる．**		**材料の特性，要求される精度等の制約を勘案して，適切な加工・生産方法を分析・選択できる．**	
	2-4.制御・メカトロニクス	**制御理論の基礎とセンサ・アクチュエータ等のメカトロニクスの基礎知識を習得し，実際の問題に適用できる．**		**制御理論とメカトロニクスの知識を機械システムに適用して，機械システムを分析できる．**	
	2-5.製図・デザイン	**要求条件を満足する機械を設計し，それを図面で表すことができる．**		**様々な制約条件を最適化して機械システムをデザインし，それを図面で表すことができる．**	
	2-6.機械システム	**複数の機械要素・機器を組み合わせて新しい機能を生み出す機械システムの概念を習得し，実際の機械システムへ適用できる．**		**社会の要求する機能を発現する機械システムを考案したり具現化展開する方策を分析できる．**	
3.汎用的技能（応用的能力）	3-1.課題発見・解決力，論理的思考力	課題発見，情報の収集と分析，課題解決，などの手法を用い，当該分野の工学問題の課題を挙げ，その問題の構造を分析できる．		課題発見，情報の収集と分析，課題解決，などの手法を用い，当該分野の工学問題の課題を挙げ，その問題の構造を分析し，複数の解を提案し，その中から最良の解を選ぶことができる．	
	3-2.コミュニケーション・スキル	他人の意見を分析・理解できるとともに，自らの意見を論理的な文書や口頭説明として整理し，まとめることができる． 英語等の外国語を用いて日常的な意見交換ができる．		他人の意見を分析・理解し，自らの意見を論理的な文書や口頭説明として整理し，これを相手の理解力を考慮して評価し，まとめることで，相手に自分の意見を納得させることができる． 英語等の外国語を用いて実務に関する意見・情報の交換ができる．	
4.態度・志向性（道徳的能力）	4-1.チームワーク，自己管理力，リーダーシップ，チャンスを活かす能力	自分に与えられた仕事を実行するために，やるべきことを分析し，自己の体調・時間を管理できる． 同分野の専門家であるチームメンバーと意見交換を行い，チーム内での自らのなすべき行動を分析し，これを実行することができる．		自分のやるべき事を評価・認識し，自己の意欲・体調・時間・予算を管理することでこれを実行できる． 同分野あるいは異分野の専門家のチーム作業において，なすべき行動を評価・実行できる．とともに，リーダーとしてメンバーに働きかけることができる．	
	4-2.倫理観	技術者倫理の基本原則を一般的な問題に適用できる．		技術者倫理の基本原則を用いて実務の場でとるべき倫理的行動を考えることができる．	
	4-3.市民としての社会的責任	社会・健康・安全・法律・文化・環境などに関する知識を，一般的な問題の解決の際に適用できる．		社会・健康・安全・法律・文化・環境などについての考慮を実務の場に適用し，とるべき行動を考えることができる．	
	4-4.生涯学修力	自主的に生涯にわたって学修する必要性と方法を理解している．		自主的に生涯にわたって学修する必要性と方法を理解し，それを実際の活動に適用し，意欲を持って実行している．	
5.総合的な学習経験と創造的思考力	5.創成能力（システム設計）	各種の外的・内的制約条件と，問題解決のために解くべき課題を挙げ，この課題を整理・分析して，制約条件下で課題を解決できる最適解を評価・提案できる．		各種の外的・内的制約条件と，問題解決のために解くべき課題を挙げ，制約条件下で課題を解決できる最適解を見出し，これに基づいて，複合的な工学的問題の創造的解決を図ることができる． **与えられた問題や課題を解決するために必要な機能・機構，および制御方法を考案し，プロトタイプを製作することによって設計にフィードバックできる．**	

６－１－３．機械分野の到達目標と学修に当たっての配慮事項

機械分野の到達目標と学修に当たっての配慮事項は，次の基礎分野 1 科目，専門分野 6 科目について示す．

Ⅰ．基礎
１．「物理学等自然科学」
Ⅱ．専門分野
１．「基礎力学」（a. 材料力学，b. 機械力学，c. 流体力学，d. 熱力学）
２．「機械材料・機械要素」
３．「加工・生産」
４．「制御・メカトロニクス」
５．「製図・デザイン」
６．「機械システム」

Ⅰ．基礎

１．「物理学等自然科学」

【コア】

＜キーワード＞力の釣り合い，力の合成・分解，力のモーメント，重心と分布力，運動の法則，質点の運動，剛体の運動，仕事とエネルギー，運動量と力積

到達目標

・物体に作用する力とモーメントを実際の現象と関連づけて説明できる．
・物体の運動と作用する力の関係を実際の現象と関連づけて説明できる．
・仕事とエネルギーの概念を実際の現象と関連づけて説明できる．

【要望】

＜キーワード＞摩擦，ダランベールの原理，ラグランジュの運動方程式

到達目標

・摩擦力の概念を実際の現象と関連づけて説明できる．
・物体の運動と作用する力の関係を微分方程式として定式化できる．

学修にあたっての配慮事項

・基本的に古典物理の力学の体系に基づく知識であるが，機械分野における学修では，現実の「もの」との対応関係を考慮して知識を実際の問題に応用できること．

Ⅱ．専門分野

１．「基礎力学」

1-a. 材料力学

【コア】

＜キーワード＞引張・圧縮・せん断応力とひずみ，弾性と塑性，組合せ応力・多軸応力，真応力と真ひずみ，降伏条件と塑性構成式，ねじりと曲げ，座屈，ひずみエネルギーとエネルギー原理

到達目標

・単純な形状の材料に作用する力と変形の関係を説明できる．
・単純な形状の材料内の応力分布を予測でき，最大応力の発生位置を求めることができる．
・材料に作用する力と破壊の発生を説明できる．

【要望】

＜キーワード＞熱応力・衝撃応力，応力集中，構造強度

到達目標

・材料の形状と応力分布の関係を説明できる．
・部品間の相互作用によって生じる応力と変形の関係を説明できる．
・動的な荷重によって生じる応力の概要を説明できる．

・温度分布などの力以外の要因に基づく応力の発生と変形の関係を説明できる.

学修にあたっての配慮事項

・材料と構造体の健全性の観点から，材料に働く力と変形の関係を把握できること.

1-b. 機械力学

【コア】

＜キーワード＞自由振動，強制振動，過渡振動，共振，減衰振動，１自由度振動系，２自由度振動系，動吸振器

到達目標

・１自由度系の自由振動，強制振動，過渡振動について説明できる.
・共振現象について説明できる.
・２自由度系の自由振動と強制振動について説明できる.

【要望】

＜キーワード＞自励振動，多自由度振動系，連続体の振動，非線形振動，モード解析

到達目標

・多自由度系の過渡振動について説明できる.
・非線形振動系の概念を実際の現象と関連づけて説明できる.
・構造体の振動特性について説明できる.

学修にあたっての配慮事項

・振動の抑制と利用の観点から，振動現象の基本学理とその制御方法を理解すること.

1-c. 流体力学

【コア】

＜キーワード＞流体の諸特性，静止流体の力学，質量，運動量とエネルギーの保存，層流と乱流，相似則，理想流体，粘性流体，境界層，抗力と抵抗，渦運動，流体機械

到達目標

・静止流体の作用力を説明できる.
・流体の流れを支配する保存則を説明できる.
・層流と乱流の違い，遷移条件を説明できる.
・流体の流れに関する相似則を説明できる.
・理想流体の流れを説明できる.
・粘性流体の流れを説明できる.
・境界層ならびに流れが固体壁に及ぼす摩擦と圧力の作用を説明できる.
・容積式流体機械とターボ式流体機械を説明できる.

【要望】

＜キーワード＞圧縮性流体の力学，運動量モーメントの法則，翼と翼列，流体機械（ポンプ，送風機，圧縮機，水車，風車），速度ポテンシャルと流れ関数

到達目標

・圧縮性流体の流れを説明できる.
・翼のまわりの流れと抗力・揚力の関係，および遠心力による流体駆動の原理を説明できる.
・ターボ式の全ての流体機械，および容積式のポンプと圧縮機の原理と用途分類を説明できる.

学修にあたっての配慮事項

・連続体力学とエネルギー工学の両面から，流体の運動とその定式化を理解すること.

1)-d. 熱力学

【コア】

＜キーワード＞状態量と状態変化，状態方程式，熱力学の第一・第二法則，エントロピー，エクセルギーとエネルギー有効利用，熱サイクル，物質の混合，相変化，熱移動（熱伝導，対流伝熱，放射伝熱），熱交換器

到達目標

・平衡状態における状態量と状態変化を説明できる.
・熱力学の第一法則（エネルギーの保存）を説明できる.
・熱力学の第二法則（熱力学的最大効率）を説明できる.

・不可逆性とエントロピー増加の関係を説明できる.
・熱エネルギー変換の概念と方法を説明できる.
・熱エネルギーの質を説明できる.
・物質の混合に伴う状態変化を説明できる.
・相変化を伴う熱移動を説明できる.
・熱移動と温度の関係を説明できる.
・熱交換の概念と熱交換器の基礎特性を説明できる.

【要望】

＜キーワード＞燃焼，開いた系の熱力学，分子運動論，統計熱力学，熱エネルギー機器

・燃焼による熱エネルギー生成について説明できる.
・物質伝達や反応を含む開いた系の釣り合いについて説明できる.
・熱力学を分子運動の視点から説明できる.
・熱力学に関わるマクロ量を統計的な立場から説明できる.
・熱エネルギー機器（ボイラ，タービン，熱交換器など）の基本特性を熱力学を用いて説明できる.

学修にあたっての配慮事項

・エネルギー変換と機器の温度制御を，平衡熱力学的な見地と現象論的な立場から考えることができるよう理解すること.

２.「機械材料・機械要素」

【コア】

＜キーワード＞材料の強度と許容応力，材料の構造と組織，工業材料の性質・機能，破壊，機械要素

到達目標

・材料の強度と許容応力と破壊の関係を説明できる.
・材料の構造・組織と強度の関係を説明できる.
・工業材料の性質を説明できる.
・機械要素の特性と規格を説明できる.

【要望】

＜キーワード＞疲労・クリープ，腐食防食・環境強度，トライボロジー

到達目標

・材料の疲労とクリープ挙動を説明できる.
・使用過程での材料の特性変化を説明できる.
・材料の界面特性を説明できる.

学修にあたっての配慮事項

・機械の設計にあたって，適切な材料と機械要素を選択し，その特質にあわせた設計を行うための知識を習得すること.

３.「加工・生産」

【コア】

＜キーワード＞切削法，工作機械，精密加工，マイクロ・ナノ加工，表面加工，塑性加工，接合，アセンブリ

到達目標

・各種加工法の特徴を説明できる.
・工作機械の種類と特徴を説明できる.
・接合，組み立て方法の概要を説明できる.

【要望】

＜キーワード＞創成運動，金型，ラピッドプロトタイピング，生産管理，品質保証，資源・環境管理，安全管理

到達目標

・工作機械の創成運動を説明できる.
・金型の役割と特徴を説明できる.
・生産管理や品質管理の概念を説明できる.

学修にあたっての配慮事項

・部品の要求精度や形状，材料に合わせて適切な加工方法が選択でき，それらを組み立てるための

方法が考察できること.

４.「制御・メカトロニクス」

【コア】

＜キーワード＞伝達関数，フィードバック制御，過渡応答，周波数応答，位相補償，安定性，根軌跡，PID 制御，センサ，アクチュエータ，電気・電子回路

到達目標

・伝達関数の概念および制御系の応答ならびに安定性を説明できる.
・望ましい特性を持つ基本的なフィードバック制御系を設計できる.
・メカトロニクスで用いられるセンサおよびアクチュエータの原理や特性を説明できる.
・メカトロニクスの基本となる基礎的な電気・電子回路を設計できる.

【要望】

＜キーワード＞サーボ系設計，組込マイコン制御，状態方程式，可制御・可観測，レギュレータ，オブザーバ，ロバスト制御，パターン計測・画像計測

到達目標

・基本的な制御機器を設計できる.
・現代制御理論と画像計測手法を説明できる.

学修にあたっての配慮事項

・メカトロニクスの動作・制御系の概念とその制約を理解した上で，基本的なシステムを設計できること.

５.「製図・デザイン」

【コア】

＜キーワード＞設計手法，規格・標準，展開図法，CAD/CAM/CAE，システム設計

到達目標

・適切な設計手法で規格・基準に合致した部品の設計ができ，その結果を図面に表すことができる.
・CAD ツールを使用して基本的な製図ができる.
・部品を複合したシステムの設計ができる.

【要望】

＜キーワード＞設計情報管理，品質工学，ライフサイクルアセスメント

到達目標

・設計情報を共有するための概念を説明できる.
・様々な制約を最適化して機械システムの設計ができる.
・製品の社会影響を考察できる.

学修にあたっての配慮事項

・要求に合致した部品・製品を，材料，加工・組み立て方法，コストなどの各種の制約の下で最適化して設計する概念を習得すること.

６.「機械システム」

【コア】

＜キーワード＞産業機器・装置，化学プラント，流体機械，熱機器，内燃機関，動力システム，交通機械

到達目標

・機械システム，プラント等の基本構成と特徴を説明できる.

【要望】

＜キーワード＞ロボティクス，情報・メディア機器，医療・福祉・バイオ機器，資源・環境システム，宇宙機器・システム，

到達目標

・人々の生活を豊かにする機械システムの概念を説明できる.

学修にあたっての配慮事項

・機械を組み合わせて要求される機能を発揮する機械システムの概念を習得するとともに，機械システムによって発現させうる新たな機能を考察できること.

６－２．電気・電子分野

６－２－１．まえがき

工学における伝統的な基幹分野の一つとして，電気電子分野についての到達目標の設定の考え方を記す．電気電子分野の到達目標と学修は，各大学のカリキュラムの編成・実施の中で，基本となるカリキュラム構成であり，有機的に盛り込まれることで，実践的な電気電子分野技術者教育の一定の水準を確保することにつながるものとなる．それは教育課程の検討の際の出発点であり，最終的にどのような具体的な教育課程を編成するかについては，各大学に任せられるべきものであるが，電気電子分野としての最低の基準を示すものである．

電気電子分野では，その細分である電気(電力)工学，情報メカトロニクス，エレクトロニクス，コンピュータ工学，情報通信工学などの専門特化された工学部分の知識・能力として，工学基礎を拡大し，応用し，創造的に組み立てられた種々の専門的知識と方法の体系と理論的枠組みを行うものである．ここでいう工学基礎とは，工学的概念や原理・原則を含む基礎理論，モデルと方法，数理科学的方法，計測，実験法などの知識をさしている．なかでも電気電子分野における基礎としては，数学，物理，化学，情報リテラシー，工学基礎を骨子とする．数学には微分積分，微分積分方程式，解析学，線形代数，複素関数，関数論，確率・統計，数値計算を含んでいる．物理には力学(機械，熱，流体)，統計力学，量子力学 ，相対論・量子論を含み，化学では無機・有機化学，物理化学，生化学・生物学をふくんでいる．また情報リテラシーとして，実験・演習，電気数学，数値解析，信号・情報処理，最適化を含むものとする．

電気電子分野の基幹となるべき６科目は：１「回路理論」，２「電磁気学」，３「測定・計測・制御」，４「物性・材料・デバイス」，５「エレクトロニクス」，６「電気エネルギー」．ただし５と６はいずれか一方の選択を認めるものである．まず1「回路理論」は電気回路，電気機器，電子回路，パワーエレクトロニクス，電子デバイス，電力システム等幅広い応用についての入り口であり，２「電磁気学」は電磁波，発電変電送電等の基礎となり，３「測定・計測・制御」では回路理論や電磁気理論を応用した具体的な事例に対して物理量の計測について理解し，システム制御につながる．４「物性・材料・デバイス」においては電気電子材料，電子物性，半導体，電子デバイスにつながっていく．５「エレクトロニクス」では電気電子回路，パワーエレクトロニクス，電気機器の基礎を抑えて，６「電気エネルギー」では発電変電送電，高電圧，電力システム，施設管理，電気法規にまでかかわっていく．

パブコメによって多くの意見が寄せられた．多くは大学人のものからであり，少数として企業人からのコメントが寄せられた．記述に対するコメントはほとんどのコメントが貴重なもので，積極的に取り入れて修正を加えた．また，個別の基幹科目内容に対するもののほかに全体的なコメントも含まれていた．たとえば，最近の新しくできた複数の分野にまたがる横断的な内容を扱う学科（例えば電気電子情報工学科など）にとっては，カリキュラムの変更だけでは，コアで規定された学習教育内容全てに対応できない場合が出てくるといった指摘もなされた．企業の方からは，企業での品質問題に関連して，測定・計測・制御 で扱われる「ばらつき」問題に対するコメントをいただき，『測定，計測はとても大切であり，カリキュラムに含まれていることはすばらしいことである』とのコメントも含まれていた．また，電気主任技術者免状を取得しようとする者には必須であっても，そうではない電気・電子工学科卒業者には必ずしも必須の内容ではない項目についての指摘も含まれていた．

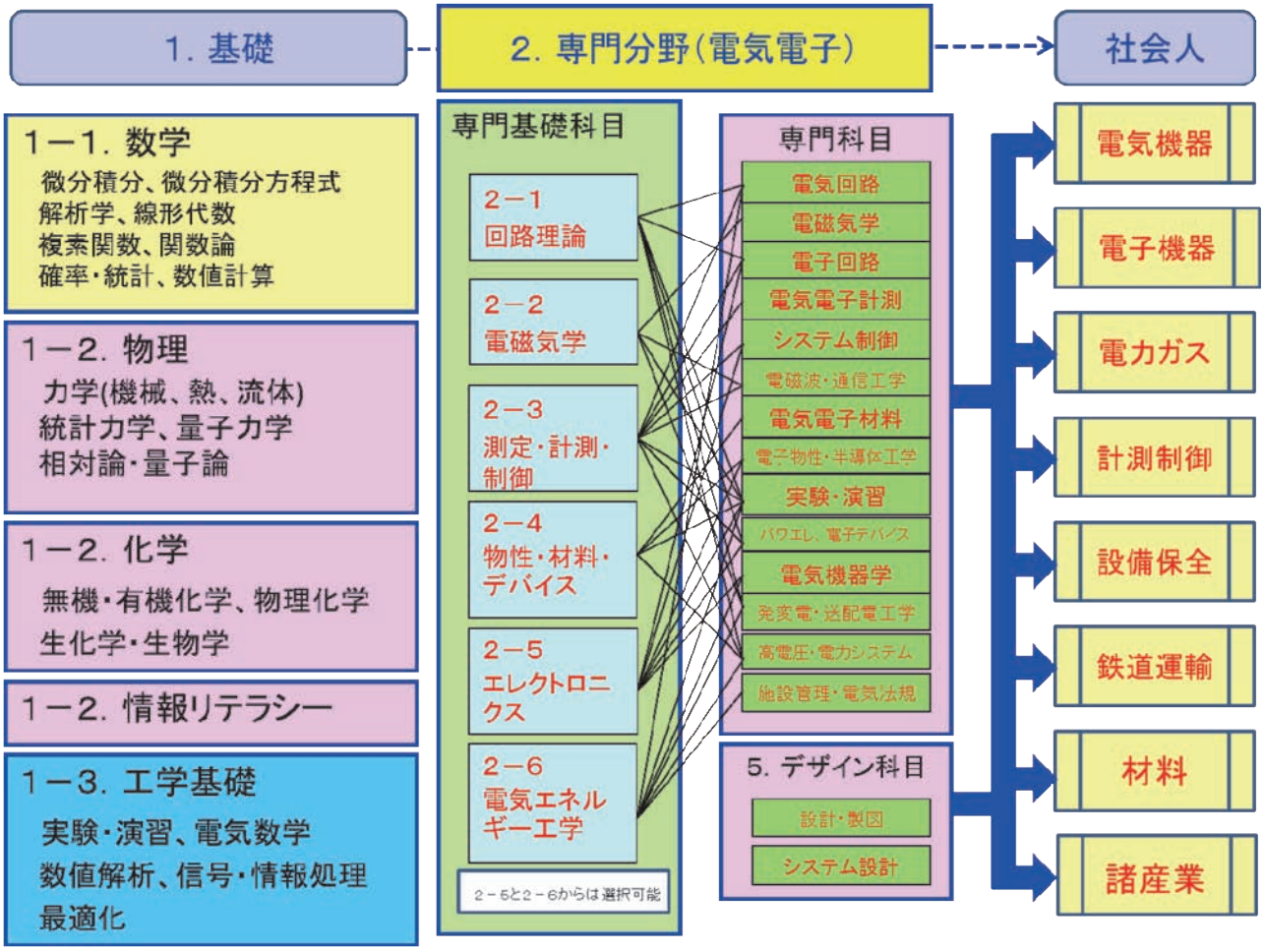


図６－２　電気・電子分野　科目間関連図

6－2－2. 電気・電子分野　（技術者教育において育成すべき知識・能力と，その到達目標）

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">育成すべき知識・能力</th><th colspan="4">到　達　目　標</th></tr>
<tr><th colspan="2">コ　ア</th><th colspan="2">要　望</th></tr>
<tr><td rowspan="3">1.基礎</td><td>1-1.数学</td><td rowspan="3">自然科学の法則を工学的な問題に適用し，解くことができる．
単位で表された数値が実感で理解できる．</td><td>微分方程式，積分方程式，線形代数，複素関数の基礎知識や概念を数学的問題に適用できる．</td><td rowspan="3">自然科学の法則を工学的な問題に適用し，解いた結果の分析により，問題解決に必要な課題の構造を明らかにすることができる．
単位で表された数値が実感で理解できる．</td><td>微分方程式・積分方程式・線形代数・複素関数の知識や概念を工学問題に適用し，問題解決に必要な分析をすることができる．</td></tr>
<tr><td>1-2.物理学等自然科学
（物理，化学，情報リテラシー，地学，生物）</td><td>力学，電磁気学，生化学等の自然科学の知識や概念を工学問題に適用できる．</td><td>自然科学の知識や概念を工学問題に適用し，問題解決に必要な分析をすることができる．</td></tr>
<tr><td>1-3.工学基礎</td><td>基幹工学，工学基礎実験・計測，数値解析等の基礎知識を工学問題の実験や解析に適用できる．</td><td>基幹工学，工学基礎実験・計測，数値解析等の基礎知識を工学問題に適用し，問題解決に必要な分析をすることができる．</td></tr>
<tr><td rowspan="6">2. 専門分野
2-5と2-6は選択することができる</td><td>2-1.回路理論</td><td colspan="2">直流ならびに交流の定常状態における回路現象を理解し，さらに等価回路に基づく基本方程式や過渡現象について，定常状態との比較から理解し,知識と概念を工学問題に適用できる．</td><td colspan="2">回路現象の知識を工学問題の解決に適用できるとともに，定常状態や過渡現象等の専門分野の基礎知識を有し，電気電子分野の知識と概念を工学問題の解決に適用し，問題解決に必要な分析をすることができる．</td></tr>
<tr><td>2-2.電磁気学</td><td colspan="2">電荷・電流・電場（電界）・磁場（磁界））の関係を数式を用いて理解し，電磁波及び電磁現象を体系的に理解し，知識と概念を工学問題に適用できる．</td><td colspan="2">電磁気現象に関する知識を工学問題の解決に適用できるとともに，支配方程式等の専門分野の基礎知識を有し，問題解決に必要な分析をすることができる．</td></tr>
<tr><td>2-3.測定・計測・制御</td><td colspan="2">計測の基本的な概念を理解し，各種計測機器の原理と使用法を理解する．また，制御系とブロック線図の概念を理解し，フィードバック制御の原理を理解し，制御系の基本特性と安定性について適用できる．</td><td colspan="2">各種計測機器の原理の理解を基礎として，実際の適用に対して適切な計測システムを構築するための分析ができる．また，制御に関する理解を基礎として，実際の制御系において所与の性能を実現するために必要な分析を行うことができる．</td></tr>
<tr><td>2-4.物性・材料・デバイス</td><td colspan="2">コンピュータや携帯電話では，半導体を用いた固体デバイスが用いられていることを理解し，固体デバイスの機能の基礎となる電子物性を履修し，固体の性質と，固体を構成する原子を結びつける力を理解し，知識と概念を工学問題に適用できる．</td><td colspan="2">半導体デバイスは電気電子情報工学に関連するあらゆる分野のハードウェアの中で中心的な役割を果たしており，情報化社会を支えていることを理解するように配慮し，問題解決に必要な分析をすることができる．</td></tr>
<tr><td>2-5.エレクトロニクス</td><td colspan="2">電子回路を構成する際に用いる代表的な電子デバイスの機能，特性について理解し，それらを用いた基本的な回路を設計できる．また，オペアンプを用いた基本的な回路の設計ができる．</td><td colspan="2">電子デバイスを用いた各種回路，オペアンプを応用した各種回路について，回路の設計に必要となる分析ができる．</td></tr>
<tr><td>2-6.電気エネルギー工学</td><td colspan="2">水力発電・火力発電・原子力発電の概要を理解し，送・配電系統の特徴，高電圧現象の基礎を理解し，知識と概念を工学問題に適用できる．</td><td colspan="2">電気エネルギーの発生から消費にいたる過程で必要となる電気エネルギー変換の知識を工学問題の解決に適用できるとともに，発電，変電，送配電，電気エネルギーの有効利用において必要となる機器等の専門分野の基礎知識を有する．</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3.汎用的技能
（応用的能力）</td><td>3-1.課題発見・解決力，論理的思考力</td><td colspan="2">課題発見，情報の収集と分析，課題解決，などの手法を用い，電気電子分野の工学問題の課題を挙げ，その構造を分析できる．

電気・電子工学に関する問題について，その論理構造を分析し，その結果を踏まえて解決に向けて取り組むことができる．</td><td colspan="2">課題発見，情報の収集と分析，課題解決，などの手法を用い，電気電子分野の工学問題の課題を挙げ，その構造を分析し，複数の解を提案し，その中から最良の解を選ぶことができる．</td></tr>
<tr><td>3-2.コミュニケーション・スキル</td><td colspan="2">他人の意見を分析・理解できるとともに，自らの意見を論理的な文書や口頭説明として整理し，まとめることができる．
英語等の外国語を用いて日常的な意見交換ができる．

グラフ，回路図，ブロック線図など，電気・電子工学に特有の表現方法を用いて，技術的な知見や結果をやり取りすることができる．</td><td colspan="2">他人の意見を分析・理解し，自らの意見を論理的な文書や口頭説明として整理し，これを相手の理解力を考慮して評価し，まとめることで，相手に自分の意見を納得させることができる．

英語等の外国語を用いて実務に関する意見・情報の交換ができる．</td></tr>
<tr><td rowspan="4">4.態度・志向性
（道徳的能力）</td><td>4-1.チームワーク，自己管理力，リーダーシップ，チャンスを活かす能力</td><td colspan="2">自分に与えられた仕事を実行するために，やるべき事を分析し，自己の体調・時間を管理できる．
同分野の専門家であるチームメンバーと意見交換を行い，チーム内での自らのなすべき行動を分析し，これを実行することができる．

チームで取り組む課題の中から，電気・電子工学に関連する課題を認識し，その解決を通してチームに貢献することができる．</td><td colspan="2">自分のやるべき事を評価・認識し，自己の意欲・体調・時間・予算を管理することでこれを実行できる

同分野あるいは異分野の専門家のチーム作業において，なすべき行動を評価・実行できるとともに，リーダーとしてメンバーに働きかけることができる．</td></tr>
<tr><td>4-2.倫理観</td><td colspan="2">技術者倫理の基本原則を一般的な問題に適用できる．

電気・電子工学が関連する倫理問題を理解し，それを踏まえて適切な行動を取ることができる</td><td colspan="2">技術者倫理の基本原則を用いて実務の場でとるべき倫理的行動を考えることができる．</td></tr>
<tr><td>4-3.市民としての社会的責任</td><td colspan="2">社会・健康・安全・法律・文化・環境などに関する知識を，一般的な問題の解決の際に適用できる．

電気・電子工学と，社会・健康・安全・法律・文化・環境などの関係を理解し，それを踏まえて適切な行動を取ることができる．</td><td colspan="2">社会・健康・安全・法律・文化・環境などについての考慮を実務の場に適用し，とるべき行動を考えることができる．</td></tr>
<tr><td>4-4.生涯学修力</td><td colspan="2">自主的に生涯にわたって学修する必要性と方法を理解している．

電気・電子工学に関する最新の技術情報を入手する方法を理解し，それを活用して必要な知見を得ることができる．</td><td colspan="2">自主的に生涯にわたって学修する必要性と方法を理解し，それを実際の活動に適用し，意欲を持って実行している．</td></tr>
<tr><td>5.総合的な学習経験と創造的思考力</td><td>5.創成能力（システム設計）</td><td colspan="2">各種の外的・内的制約条件と，問題解決のために解くべき課題を挙げ，この課題を整理・分析して，制約条件下で課題を解決できる最適解を評価・提案できる．

電気・電子工学に関する複合的な技術課題に対して，種々の制約条件を考慮して，具体的な解決方法を提案し，実行に向けて取り組むことができる．</td><td colspan="2">各種の外的・内的制約条件と，問題解決のために解くべき課題を挙げ，制約条件下で課題を解決できる最適解を見出し，これに基づいて，複合的な工学的問題の創造的解決を図ることができる．</td></tr>
</table>

６－２－３．電気・電子分野の到達目標と学修に当たっての配慮事項

電気・電子分野の到達目標と学修に当たっての配慮事項は，次の６科目について示す．

１．「回路理論」
２．「電磁気学」
３．「測定・計測・制御」
４．「物性・材料・デバイス」
５．「エレクトロニクス」
６．「電気エネルギー」

１．「回路理論」

１）回路素子

＜キーワード＞ＬＣＲ，電力，電力量

【コア】

到達目標

・回路要素の働き・作用を理解できるようになる．
・ＬＣＲ，電力，電力量（エネルギー）．独立電源，従属電源，入力（励振）と出力（応答），線形・非線形の概念，時不変，時変の概念

学修に当たっての配慮事項

・素子の電圧電流特性について，物理的な意味と関連付けて理解できるように配慮する．

２）回路法則

＜キーワード＞キルヒホップの法則，オームの法則

【コア】

到達目標

・キルヒホップの法則，オームの法則，グラフ理論の用語
・線形回路網の概念と，それに関するテブナンの定理，相反性，双対性，供給電力最大の法則

学修に当たっての配慮事項

・等価表現が回路から立てられるか，なぜ必要十分かを正確に理解させることが最重要である．

３）直流回路

＜キーワード＞直流回路，抵抗器，電圧源・直列，並列，等価回路

【コア】

到達目標

・直流回路について回路方程式が立てることができるようになる．また，回路方程式の解法を理解し解けるようになる．
・抵抗器と電圧源・(電流源）からなる回路の解析法の例
・直列，並列，ΔＹ変換，等価回路の概念

学修に当たっての配慮事項

・回路方程式の概念やその解法を修得させるとともに，これらが交流回路にも拡張可能なことを理解できるように配慮する．

４）ＬＣを含む簡単な回路の過渡現象

＜キーワード＞一次微分方程式，定常状態，過渡状態

【コア】

到達目標

・回路の一次微分方程式を立て，その解法と物理的解釈
・一般解と特殊解の意味と，定常状態と過渡状態の意味の理解
・状態変数の意味，状態方程式

学修に当たっての配慮事項

・簡単な直流回路を例に，回路に関する基本的な定理を理解させるとともに，それを実際の解析に

利用させるように配慮する．

５）インピーダンス

＜キーワード＞等価インピーダンス

【コア】

到達目標

・複素数の概念の導入

・インピーダンスの概念の導入，等価インピーダンス

学修に当たっての配慮事項

・インピーダンスの概念を直流回路の抵抗と対比させながら理解させるように配慮する．

６）交流回路特有の現象

＜キーワード＞共振現象，等価回路，変圧器，三相回路

【コア】

到達目標

・共振現象などの交流回路特有の現象の理解

学修に当たっての配慮事項

・周波数を変化させた場合に，交流回路特有の諸現象が生ずることを，回路方程式をもとに理解させるように配慮する．

【要望】

到達目標

・２端子対回路，等価回路

・変圧器（結合インダクタ）の基本的性質，三相回路

７）ひずみ波

＜キーワード＞フーリエ級数，実効値

【コア】

到達目標

・フーリエ級数，フーリエ積分

学修に当たっての配慮事項

・複素フーリエ級数とフーリエ積分についての学士レベルの数学的知識と計算力が不可欠であるが，物理的理解にも配慮する．

【要望】

到達目標

・ひずみ波の実効値，ひずみ波電力，周波数特性（振幅特性，位相特性）

８）ラプラス変換

＜キーワード＞回路関数

【要望】

到達目標

・微分方程式のラプラス変換による解法，ラプラス変換による回路解析，回路関数（駆動点関数，伝達関数）

学修に当たっての配慮事項

・ナイキスト線図/安定判別法，ボード線図/安定判別法との比較検討をさせる配慮をする．

９）分布定数回路

＜キーワード＞特性インピーダンス

【要望】

到達目標

・分布定数線路概念の導入（特性インピーダンス，伝搬定数），波動の概念，伝搬，反射，定在波，回路の周波数は規模に応じて，分布定数回路としての取り扱いが必要となることと，その基礎的性質や解析法の基礎を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・集中定数回路と対比して，相違点や特徴的な性質を物理的に理解できるように配慮する．

２．「電磁気学」

１）静電場

＜キーワード＞電荷，電場，クーロンの法則，ガウスの法則，電気双極子，ガウスの定理，ストークスの定理，ポアソンの方程式

【コア】

到達目標

・電荷が作る電場をクーロンの法則にもとづいて理解する．
・ガウスの法則を適用して，点電荷，線電荷，面電荷がつくる電場を求めることができるようになる．
・電場と静電ポテンシャルの関係．電気双極子．静電場の微分法則として，ガウスの定理，ストークスの定理，ポアソンの方程式を理解し，応用できるようになる．

学修に当たっての配慮事項

・電荷，電場，電位などの物理的概念を，数学的基礎事項をふまえながら理解する．ベクトル解析の基礎に習熟し，ガウスの定理，ストークスの定理などを理解する．静電場に関する基礎法則の積分形・微分形を理解する．静電場に関する演習問題を解く力を身につける．

２）導体と絶縁体

＜キーワード＞導体，絶縁体，鏡像法，電気容量，コンデンサー

【コア】

到達目標

・導体と絶縁体について学び，導体のまわりの静電場を鏡像法に基づき求めることができる．電気容量，コンデンサー，静電場のエネルギー

学修に当たっての配慮事項

・ベクトル解析，線積分，面積分，体積積分などの事項を，数学的表現法とあわせて十分に理解し，数学的表現法とあわせて十分に理解することが大切である．

３）磁場と定常電流

＜キーワード＞定常電流，電荷の保存則，オームの法則，ビオ・サバールの法則，磁気双極子，アンペールの法則

【コア】

到達目標

・定常電流と電荷の保存則，オームの法則を理解する．
・電気伝導のミクロな機構，磁場中の電流に働く力，運動する荷電粒子に働く力，電流の作る磁場（ビオ・サバールの法則)，磁気双極子，アンペールの法則，アンペールの法則の応用，ベクトルポテンシャル

学修に当たっての配慮事項

・電場と対比しながら，磁場の性質を理解する．ビオ・サバールの法則とアンペールの法則と電磁誘導の法則を物理的かつ数学的な両面から理解し，簡単な電磁現象の説明や計算ができるように配慮する．

４）電磁誘導

＜キーワード＞ファラデーの発見，起電力

【コア】

到達目標

・ファラデーの発見（電磁誘導)，運動する回路に生じる起電力，電磁誘導の一般法則

学修に当たっての配慮事項

・電磁誘導の法則を理解し，簡単な電磁現象の説明や計算ができるように配慮する．

５）静磁場のエネルギー

＜キーワード＞自己，相互インダクタンス，インピーダンス

【コア】

到達目標

・自己インダクタンス，相互インダクタンス，静磁場のエネルギー，振動電流，複素インピーダンス

学修に当たっての配慮事項

・電磁気の観点からインダクタンスを理解し，回路理論とのつながりを気づくように配慮する．

６）マクスウェルの方程式

＜キーワード＞変位電流，マクスウェルの方程式，ポインティングベクトル

【コア】

到達目標

・変動電流と電荷の保存 ，変位電流，マクスウェル方程式，

学修に当たっての配慮事項

・ガウス，アンペール，ファラデーの法則が，変位電流の導入により，マックスウェル方程式になることを学ぶ．

【要望】

・電磁場のエネルギー，ポインティングベクトル

７）電磁波

＜キーワード＞放射と伝搬，ローレンツ変換

【要望】

・電磁波の放射と伝搬，平面波・球面波，一定の速度で運動する点電荷のポテンシャル，ローレンツ変換

学修に当たっての配慮事項

・マクスウェルの方程式にもとづいて，電磁波の伝搬現象を理解する．

８）物質中の電磁場

＜キーワード＞誘電体，磁性体

【要望】

・誘電体，磁性体，物質中のマクスウェルの方程式

・誘電体中の振動電場・電磁波，導体と電磁波

学修に当たっての配慮事項

・マクスウェルの方程式を使って，物質中の電磁波の基本的な性質を理解できるように配慮する．

３．「測定・計測・制御」

１）計測一般

＜キーワード＞誤差，ノイズ，統計処理

【コア】

到達目標

・計測の基本的な概念を理解する． 測定値に対する代表的な統計処理の方法とその性質について理解し，簡単な例について，実際に統計処理を実行できる．計測における雑音や誤差について理解し，これらを考慮した基礎的な事例について，計測が実行できる．

学修に当たっての配慮事項

・数学で取り扱った内容を基礎に，実際の測定データを処理するための基礎事項が習得できるように配慮する．

２）指示計器

＜キーワード＞指示計器，動作原理，使用方法

【コア】

到達目標

・代表的な指示計器について，その動作原理と性質について理解し，具体的な事例に対して適切な指示計器を選択できる．

・指示計器を実際に使用して簡単な計測が行える．

学修に当たっての配慮事項

・講義と実験を連携し，実際に測定を行う体験を積ませるように配慮する．

３）計測用素子

＜キーワード＞計測用電子デバイス

【コア】

到達目標

・物理量の計測に利用できる代表的な電子デバイスの性質について理解し，具体的な事例に対して適切な電子デバイスを選択できる．

・計測用の電子デバイスを用いて簡単な計測を行うことができる．

学修に当たっての配慮事項

・講義と実験を連携し，代表的な計測用電子デバイスに関する実験的な体験を積ませるように配慮する．

４）ディジタル計測

＜キーワード＞ディジタル計測，標本化，量子化

【コア】

到達目標

・ディジタル計測の原理と留意点について理解する．

・ディジタル計測における標本化と量子化に関する性質に配慮して，簡単な事例について適切にディジタル計測を行うことができる．

学修に当たっての配慮事項

・講義と実験を連携し，ディジタル計測における配慮事項に関して実験的な体験を積ませるように配慮する．

５）波形観測

＜キーワード＞オシロスコープ

【要望】

到達目標

・オシロスコープの原理を理解する．オシロスコープを使用して，波形や波形に関する物理量の測定を行うことができる．

学修に当たっての配慮事項

・オシロスコープを実地に操作して測定を行う体験を積ませるように配慮する．

６）制御の基礎

＜キーワード＞ブロック線図，伝達関数，応答

【要望】

到達目標

・制御系とブロック線図の概念について理解し，簡単な事例についてブロック線図を描くことができる．伝達関数について理解し，簡単な事例について，制御系の時間応答および周波数応答を求めることができる．

・状態方程式の概念を理解し，簡単な事例について状態方程式を立てることができる．簡単な状態方程式から，制御系の応答を求めることができる．

学修に当たっての配慮事項

・講義と演習を組み合わせ，実例について解析する体験を積ませるように配慮する．回路理論で修得した伝達関数の概念との共通性を意識させるように配慮する．

７）フィードバック制御

＜キーワード＞フィードバック制御安定性

【要望】

到達目標

・フィードバック制御の原理について理解する．フィードバック制御系の安定性の概念と，代表的

な安定判別の方法を理解する．簡単なフィードバック制御系について，基本特性と安定性を考察できる．

学修に当たっての配慮事項

・講義と演習を組み合わせ，実例について解析する体験を積ませるように配慮する．物理的な意味を理解させるように配慮する．

８）物理量の計測とセンサ

＜キーワード＞物理現象計測センサ

【要望】

到達目標

・物理現象の数値化と計測方法に関する理解.
・国際単位系，物理現象計測とセンサの構成，各種センサの原理

学修に当たっての配慮事項

・具体的な例を示しながら，物理現象を数値化する系の仕組みを理解させる様に配慮する

９）誤差とデータ処理

＜キーワード＞系統誤差，誤差伝搬

【要望】

到達目標

・計測されたデータの誤差の扱いとデータ解析の手法の理解.
・誤差の発生原因とその抑制
・系統誤差と誤差伝搬，フィルタリングと推定

学修に当たっての配慮事項

・理論的な理解のみではなく，より具体的，実践的な理解が進む様に，また，システム設計に於いて誤差の発生を抑えることも意識させる．

４．「物性・材料・デバイス」

１）電子物性

＜キーワード＞固体デバイス，カノニカル（ギブス）分布，マクスウェル分布関数，フェルミ－ディラック統計，ボーズ－アインシュタイン分布関数，スピンと軌道，原子の結合，結晶構造，LED，半導体レーザ

【要望】

到達目標

・半導体を用いた固体デバイスについて理解をする．
・固体デバイスの機能の基礎としての電子物性を理解する．
・カノニカル（ギブス）分布，マクスウェル分布関数，フェルミ－ディラック統計，ボーズ－アインシュタイン分布関数，スピンと軌道，原子の結合，結晶構造，LED，半導体レーザ

学修に当たっての配慮事項

・コンピュータや携帯電話では，半導体を用いた固体デバイスが用いられていることを理解する．
・パソコンから入力された情報は，固体光デバイスによって光信号となり，地球の裏まで運ばれることを理解する．
・固体デバイスの機能の基礎となる電子物性を履修し， 固体の性質は，固体を構成する原子を結びつける力，すなわち凝集力によって決まることを理解する．
・固体の多くは結晶という規則正しい原子配列を持つことを学び，固体の中の電子には，自由に動ける電子と動けない電子とがあり，さらに特定のエネルギーのみが許されることを学ぶ.
・原理を学び，半導体デバイスや各種の電気電子材料の性質に対する理解を深める．

２）半導体工学

＜キーワード＞シリコン結晶，半導体のキャリア，ＰＮ接合，ＭＯＳ電界効果トランジスタ

【要望】

到達目標

・半導体とシリコン結晶

・半導体のキャリア
・ＰＮ接合
・ＭＯＳ電界効果トランジスタ

学修に当たっての配慮事項

・半導体デバイスは電気電子情報工学に関連するあらゆる分野のハードウェアの中で中心的な役割を果たしており，情報化社会を支えていることを理解する．
・半導体デバイスの動作原理，特性および応用の基礎を理解する．
・半導体の特性(バンド構造・キャリア統計・キャリアの振舞い等)について学び，さらに，半導体デバイスの基礎となる pn 接合について理解する．

３）電子デバイス

＜キーワード＞バンド構造，キャリヤ，ショットキー障壁ダイオード，バイポーラトランジスタ，M
電界効果トランジスタ，大規模集積回路

【要望】

到達目標

・エネルギーバンド構造
・半導体のキャリヤと電気伝導
・ショットキー障壁ダイオード
・バイポーラトランジスタ
・MOS 型電界効果トランジスタ
・大規模集積回路

学修に当たっての配慮事項

・半導体デバイスに代表される各種電子デバイスが，情報処理や通信を支える重要な要素であることを理解する．
・バイポーラトランジスタ BJT および MIS 型電界効果トランジスタ MISFET の動作，および，集積回路の基礎について理解する．
・他のデバイスとして，太陽電池，パワーデバイス等についても理解する．

５．「エレクトロニクス」

１）電子デバイス

＜キーワード＞電子デバイス，パラメータ

【コア】

到達目標

・電子回路を構成する際に用いる代表的な電子デバイスの機能，特性について理解し，用途に応じて適切な電子デバイスを選択できるようになる．
・電子デバイスの特性を表す代表的なパラメータの意味を理解し，簡単な回路の設計に応用できる．

学修に当たっての配慮事項

・講義と実験を連携し，代表的な計測用電子デバイスに関する実験的な体験を積ませるように配慮する．

２）増幅回路

＜キーワード＞トランジスタ，増幅回路

【コア】

到達目標

・バイポーラトランジスタ，電界効果トランジスタを用いた代表的な増幅回路について理解し，簡単な設計ができる．
・簡単な増幅回路を実際に構成し，実験を行うことができる．

学修に当たっての配慮事項

・講義と実験を連携し，代表的な増幅回路に関する実験的な体験を積ませるように配慮する．

３）発振回路

＜キーワード＞発振回路，発振条件

【コア】

到達目標

・増幅回路に帰還を施すことにより発振回路を実現できることを理解し，簡単な発振回路の設計ができる．

・代表的なパルス発振回路の回路構成と動作原理を理解し，簡単なパルス発振回路を設計できる．

・簡単な発振回路を実際に構成し，実験を行うことができる．

学修に当たっての配慮事項

・講義と実験を連携し，代表的な発振回路に関する実験的な体験を積ませるように配慮する．

４）オペアンプ回路

＜キーワード＞オペアンプ，増幅回路，発振回路，フィルタ回路

【コア】

到達目標

・オペアンプを用いた基本的な増幅回路，発振回路，フィルタ回路の回路構成を理解し，簡単な回路の設計ができる．

・簡単なオペアンプ回路を実際に構成し，実験を行うことができる．

学修に当たっての配慮事項

・講義と実験を連携し，代表的なオペアンプ回路に関する実験的な体験を積ませるように配慮する．

５）通信の基礎

＜キーワード＞変調，ディジタル通信

【コア】

到達目標

・振幅変調，周波数変調，パルス幅変調などの代表的な変調方式の原理と特徴を理解する．

・ディジタル通信の基礎的事項について理解する．

学修に当たっての配慮事項

・講義と実験を連携し，実験的な体験を通じて理解させるように配慮する．

６）論理回路

＜キーワード＞論理回路，順序回路

【要望】

到達目標

・基本的な論理回路，順序回路の機能と動作について理解する．

・与えられた仕様を満たす簡単な論理回路を構成できる．

学修に当たっての配慮事項

・講義と実験を連携し，実験的な体験を通じて理解させるように配慮する．

７）電子計算機

＜キーワード＞電子計算機

【要望】

到達目標

・電子計算機の基本的構成について理解する．

学修に当たっての配慮事項

・パソコンの構成などの身近な実例に即して，理解させるように配慮する．

６．「電気エネルギー」

１）発変電工学

＜キーワード＞水力発電・火力発電・原子力発電，発電機，監視制御設備，自然エネルギー，分散型電源，力貯蔵

【コア】

到達目標

・水力・火力・原子力発電などの集中発電方式の原理と得失について理解する．自然エネルギーに

よる代表的な発電方式，分散電源の代表的な方式の原理と得失について，代表的な電力貯蔵方式の原理と，電力システムにおける電力貯蔵の必要性について理解する．電力の発生に用いる電気機器の原理について理解する．

学修に当たっての配慮事項

・現代社会における電気エネルギーの重要性とこれを支える理論と機器について基礎知識を修得させる．
・電力と地球環境，低炭素化社会実現のため必要な技術を理解させる．

２）送配電工学

＜キーワード＞送・配電線特性，電力系統，送電方式，中性点接地方式，送電容量・短絡容量，過電圧と絶縁，電力システムの運用と制御，誘導・電波障害

【コア】

到達目標

・発電所で発電した電力を需要家まで送るための電力システムの構成について，交流送電の基本的特性として有効電力，無効電力，電圧，位相差の関係を理解する．電力システムにおける各種障害と保護について理解する．直流送電の特徴と応用例について理解する．電力の品質とその改善策について理解する．
・変圧器や半導体電力変換装置などの送配電に関係する主要な機器の機能と原理について理解する．

学修に当たっての配慮事項

・電力システムにおける各種事項と，電気回路や電磁気学などの基礎理論に関して学んだ事項との関連性を意識させながら，体系的に理解させるように配慮する．電気機器や半導体電力変換装置など，電力システムの要素技術に関して学んだ事項との関連性も意識させながら体系的に理解させるように配慮する．

３）高電圧工学

＜キーワード＞高電圧現象・高電圧大電流・高電圧機器，雷現象・過電圧高，電圧絶縁試験

【要望】

到達目標

・高電圧に関連する諸現象とその発生，計測，応用について，また大電流に関連する諸現象と，その発生，計測，応用について理解する．電磁環境問題の基礎的事項について理解する．

学修に当たっての配慮事項

・高電圧，大電流に関して，電気回路や電磁気学などの基礎理論との関連を理解させるとともに，応用までの主要事項を体系的に理解させるようにする．

４）電力応用

＜キーワード＞モータ，発電機，変圧器，半導体電力変換器，照明

【要望】

到達目標

・電気エネルギーを調整，制御するための代表的な機器について，機能と原理を理解する．
・電力を機械エネルギーや光などの他の形態のエネルギーに変換して利用するための代表的な機器について機能と原理を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・電気回路や電磁気学などの基礎理論との関連を理解させるように配慮する．
・機械工学や照明などの関連する技術分野とのかかわりについても意識させるように配慮する．

５）電気施設管理と電気法規

＜キーワード＞電力需給計画，電気施設，電気関係法令，電気主任技術者制度

【要望】

到達目標

・電力の安定供給を実現するための法や制度について基本的事項を理解する．
・電気の安全な利用を実現するための法や制度について基本的な事項を理解する．
・電力の安定供給や，電気の安全な利用のための法や制度の必要性を理解させる．

学修に当たっての配慮事項

・電気主任技術者免許取得に必要な基礎事項を理解させる．

６－３．建築分野

６－３－１．まえがき

古来「衣食住」と言われるように，建築は人間の生活にとってなくてはならない根源的な空間を創造するための学問領域である．その学習内容は極めて幅広く，人文科学系から理工学系まで幅広くホーリスティックな素養が求められる．更に日本においては自然災害が多発し，特に地震災害による被害が建築物に対して甚大な影響を及ぼし，人々の生活を危うくすることから，工部大学校の時代より建築構造学を重要視し，諸外国では別学科となっている構造工学分野も一通り学習することが課せられている．

さらに建築分野においては一級建築士の受験資格取得と学部教育の内容が連関していること，JABEE のみならず UIA（国際建築家連合）基準との同等性を確保し，将来的な国際建築士への道程もにらみながらの教育が行われていることから，これらの外部要因との整合性を取りつつ，技術者教育として望ましい姿を提示すべく，検討を加えた．

これらのことを踏まえ，建築分野を以下の 5 つに細分類し，それぞれに対して学習到達目標を設定した．すなわち，

計画・設計（建築計画・設計，都市計画・設計，人間環境）
歴史・意匠（歴史・芸術・人文科学，（環境保全・修復））
環境（室内環境，環境保全・修復）
構造・材料（技術）
構法・施工（コスト，施工・構法）

の 5 分野である．括弧内は UIA， JABEE の分野別要件（2012）に準拠した分類である．環境保全・修復は 2 分野にまたがっていると考えられるため，歴史・意匠の方を更に括弧書きとして区別してある．

建築計画における各種施設計画については，4 年間のカリキュラムにおいて全てのビルディングタイプについて学習することは到底不可能であり，担当教員の専門分野に応じた取捨選択があってしかるべきであるし，他の科目についても，此処に示された文言だけで言い尽くすことができているとは考えないで頂きたい．学修にあたっての配慮事項に記述してあるように，基本的な理念を踏まえて学習することが望ましい．

パブリックコメントでは日本社会の変化も踏まえた深い議論も寄せられたが，規定の制度理解だけでなく学習対象とする施設の存在意義と理念を踏まえて学習することの重要性を「学修にあたっての配慮事項」に記載した．上述のように基本的な理念を押さえ，各種ビルディングタイプの存在意義を考えながら学習すれば，道を誤ることはないと考えている．

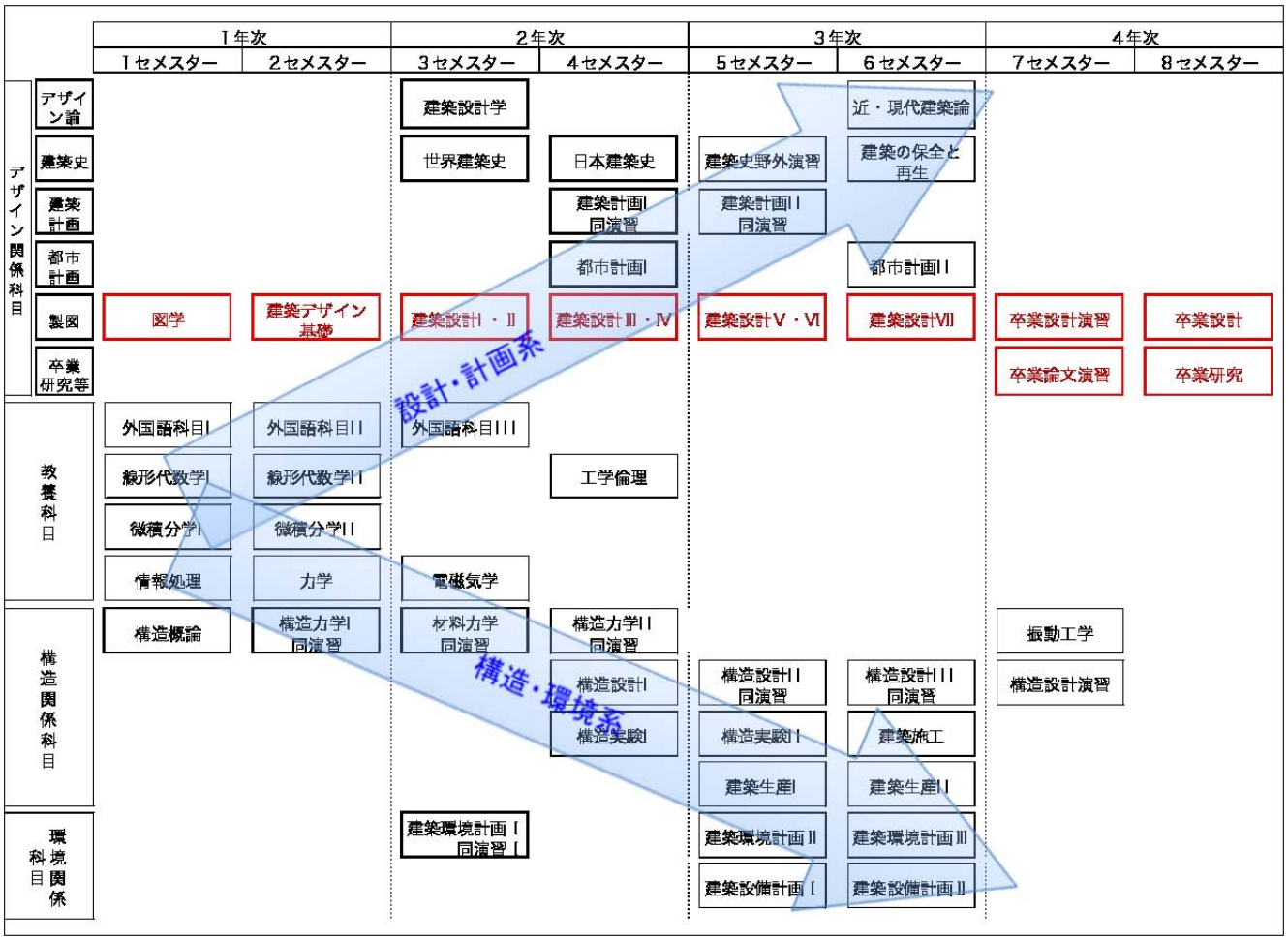


図6－3 建築分野科目間関連図

6－3－2. 建築分野　（技術者教育において育成すべき知識・能力と，その到達目標）

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">育成すべき知識・能力</th><th colspan="4">到　達　目　標</th></tr>
<tr><th colspan="2">コ　ア</th><th colspan="2">要　望</th></tr>
<tr><td rowspan="3">1. 基礎</td><td>1-1. 数学</td><td rowspan="3">自然科学の法則を工学問題に適用し，解くことができる．
単位で表された数値が実感で理解できる．</td><td>微分・積分，微分方程式，線形代数，複素関数の基礎知識や概念を数学的問題に適用できる．</td><td rowspan="3">自然科学の法則を工学問題に適用し，解いた結果の分析により，問題解決に必要な課題の構造を明らかにすることができる．
単位で表された数値が実感で理解できる．</td><td>微分・積分，微分方程式，線形代数，複素関数の基礎知識や概念を工学問題に適用し，問題解決に必要な分析をすることができる．</td></tr>
<tr><td>1-2. 物理学等自然科学
(物理，化学，情報リテラシー，地学，生物)</td><td>力学，電磁気学，熱力学等の自然科学の知識や概念を工学問題に適用できる．</td><td>力学，電磁気学，熱力学等の自然科学の知識や概念を工学問題に適用し，問題解決に必要な分析をすることができる．</td></tr>
<tr><td>1-3. 工学基礎</td><td>基幹工学(機械工学概論，電気・電子工学概論等)，工学基礎実験・計測，数値解析等の基礎知識を工学問題の実験や解析に適用できる．</td><td>基幹工学(機械工学概論，電気・電子工学概論等)，工学基礎実験・計測，数値解析等の基礎知識を工学問題に適用し，問題解決に必要な分析をすることができる．</td></tr>
<tr><td rowspan="5">2. 専門分野*</td><td>2-1. 計画・設計
(建築計画・設計，都市計画・設計，人間環境)</td><td colspan="2">美観上，及び技術上の諸要求，都市の設計・計画及びそのプロセス，人間と建物，建物相互，及び周辺環境の空間の関係を把握する．</td><td colspan="2">美観上，及び技術上の諸要求，都市の設計・計画及びそのプロセス，人間と建物，建物相互，及び周辺環境の空間の関係を適切に把握し，それに適合した建築物の設計・計画能力を有する．</td></tr>
<tr><td>2-2. 歴史・意匠
(歴史・芸術・人文科学，(環境保全・修復))</td><td colspan="2">建築の歴史・理論，及び関連する芸術，工学及び人文科学ならびに建築物の保全，修復に関する知識を持つ．</td><td colspan="2">建築の歴史・理論，及び関連する芸術，工学及び人文科学ならびに建築物の保全，修復に関する十分な知識を持ち，実践に結びつけることができる．</td></tr>
<tr><td>2-3. 環境
(室内環境，環境保全・修復)</td><td colspan="2">快適で安全な室内環境を得るための建物性能，技術，環境保全及び生態学的持続可能性の重要性に関する知識を持つ．</td><td colspan="2">快適で安全な室内環境を得るための建物性能，技術，環境保全及び生態学的持続可能性の重要性に関する十分な知識を持ち，正しく用いることができる．</td></tr>
<tr><td>2-4. 構造・材料
(技術)</td><td colspan="2">建築物が成り立つために必要な構造力学，構造計画，施工技術，調査技術その他関連する技術を正しく理解する．</td><td colspan="2">自然災害，人為災害に対して安全であるような建築物の実現のための構造計画，構造解析学，防災計画に関する知識を持ち，正しく用いることができる．</td></tr>
<tr><td>2-5. 構法・施工
(コスト，施工・構法)</td><td colspan="2">建築施工原理の包括的理解に基づく建築構法に関する知識を持つ．</td><td colspan="2">建築施工に関連する産業，予算，法的制約を整理し，統合的な設計及び工事費管理をする能力を持つ．</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3. 汎用的技能
(応用的能力)</td><td>3-1. 課題発見・解決力，論理的思考力</td><td colspan="2">課題発見，情報の収集と分析，課題解決等の手法を用い，当該分野の工学問題の課題を挙げ，その問題の構造を分析できる．

建築学ならびに自然科学の分野において課題を理解し，解決のための方策を検討できる．</td><td colspan="2">課題発見，情報の収集と分析，課題解決等の手法を用い，当該分野の工学問題の課題を挙げ，その問題の構造を分析し，複数の解を提案し，その中から最良の解を選ぶことができる．

建築学分野の諸問題において課題を抽出し，解決のための方策を検討して，適切に解決ができる．</td></tr>
<tr><td>3-2. コミュニケーション・スキル</td><td colspan="2">他人の意見を分析・理解できるとともに，自らの意見を論理的な文書や口頭説明として整理し，まとめることができる．
英語等の外国語を用いて日常的な意見交換ができる．

適切な書式方法によって建築設計図面を用意できる．</td><td colspan="2">他人の意見を分析・理解し，自らの意見を論理的な文書や口頭説明として整理し，これを相手の理解力を考慮して評価し，まとめることで，相手に自分の意見を納得させることができる．
英語等の外国語を用いて実務に関する意見・情報の交換ができる．

効果的な工学的プレゼンテーションツールを用いて，建築学分野の研究者と意見交換が出来る．</td></tr>
<tr><td rowspan="4">4. 態度・志向性
(道徳的能力)</td><td>4-1. チームワーク，自己管理力，リーダーシップ，チャンスを活かす能力</td><td colspan="2">自分に与えられた仕事を実行するために，やるべき事を分析し，自己の体調・時間を管理できる．
同分野の専門家であるチームメンバーと意見交換を行い，チーム内での自らのなすべき行動を分析し，これを実行することができる．

共同作業において，他者と意見交換を行い，共同作業が行える．</td><td colspan="2">自分のやるべき事を評価・認識し，自己の意欲・体調・時間・予算を管理することでこれを実行できる．
同分野あるいは異分野の専門家のチーム作業において，なすべき行動を評価・実行できるとともに，リーダーとしてメンバーに働きかけることができる．

建築学の分野の異なる専門を有するメンバーとチームを組み，メンバーとして有効に寄与できる．</td></tr>
<tr><td>4-2. 倫理観</td><td colspan="2">技術者倫理の基本原則を一般的な問題に適用できる．

現代社会，環境・経済と施主の利益相反について考察できる．</td><td colspan="2">技術者倫理の基本原則を用いて実務の場でとるべき倫理的行動を考えることができる．

建築物と建築学が現代社会，環境・経済に及ぼす影響に関する考察に基づき，技術者として採るべき方策を導くことができる．</td></tr>
<tr><td>4-3. 市民としての社会的責任</td><td colspan="2">社会・健康・安全・法律・文化・環境等に関する知識を，一般的な問題の解決の際に適用できる．

現代社会，環境・経済と建築，建設産業との関連についての基礎知識を持つ．</td><td colspan="2">社会・健康・安全・法律・文化・環境などについての考慮を実務の場に適用し，とるべき行動を考えることができる．

建築物と建築学が現代社会，環境・経済に及ぼす影響を考察できる．</td></tr>
<tr><td>4-4. 生涯学修力</td><td colspan="2">自主的に生涯にわたって学修する必要性と方法を理解している．

建築学の継続的な深化と発展を認識し，その知識とスキルを学修する必要性を意識できる．</td><td colspan="2">自主的に生涯にわたって学修する必要性と方法を理解し，それを実際の活動に適用し，意欲を持って実行している．

建築学の継続的な深化と発展を認識，しその知識とスキルを意欲を持って学修し続ける．</td></tr>
<tr><td>5. 総合的な学習経験と創造的思考力</td><td>5. 創成能力
(システム設計)</td><td colspan="2">各種の外的・内的制約条件と，問題解決のために解くべき課題を挙げ，この課題を整理・分析して，制約条件下で課題を解決できる最適解を評価・提案できる．

設計の目的と概念を理解し，創案することができる．</td><td colspan="2">各種の外的・内的制約条件と，問題解決のために解くべき課題を挙げ，制約条件下で課題を解決できる最適解を見出し，これに基づいて，複合的な工学的問題の創造的解決を図ることができる．

デザイン手法を駆使して，実際の課題の要求に合致した建築物を設計できる．</td></tr>
</table>

*2-1.～5.の各(　)内はJABEEの建築分野別要件(2012)による．

６－３－３．建築分野における到達目標と学修に当たっての配慮事項

建築分野の到達目標と学修に当たっての配慮事項は，次の５科目について示す．
１．「計画・設計」（建築計画・設計，都市計画・都市設計，人間環境）
２．「歴史・意匠」（歴史・芸術・人文科学，（環境保全・修復））
３．「環境」（室内環境，環境保全・修復）
４．「構造・材料」（技術）
５．「構法・施工」（コスト，施工・構法）

１．「計画・設計」

１）設計（設計製図，デザインスタジオ）

【コア】

＜キーワード＞作図，基本図，詳細図，透視図，平行透視図，模型，デッサン，CAD，設計

到達目標

・製図の基礎を理解する．
・平面図，立面図，断面図の意味を理解し，作図することができる．
・平面詳細図，断面詳細図，矩計図などの詳細図の意味を理解し，作図することができる．
・1 点透視，2 点透視，3 点透視の各透視図法を理解し，作図することができる．
・アイソメトリック，アクソノメトリックの図法を理解し，作図することができる．
・ケント紙，スチレンペーパーなどを用いて 3 次元空間を構成する
・ケント紙，スチレンペーパーなどを用いて単位的な建築空間を作成する
・ケント紙，スチレンペーパーなどを用いて建築模型を作成する
・鉛筆や木炭などを用いたデッサンの基礎的な表現を理解し，表現することができる．
・鉛筆などを用いて実際の建築などをスケッチすることができる．
・CAD の基本的な機能を理解し，基本形状の作図ができる．
・CAD の基本的な機能を理解し，建築図面の作図ができる．
・住宅など小規模な建築の設計を通じて，設計とは何かを理解する．
・学校，美術館など公共的な建築の設計を行なう．
・複合的な建築の設計を行なう．

【要望】

＜キーワード＞フィールドサーベイ，構造設計・設備設計と対応した建築設計

到達目標

・実際の建築を実測し，図面化する方法を学ぶ．
・構造設計と設備設計に対応した建築設計を行なうことができる．

学修にあたっての配慮事項

・製図，模型制作，デッサン，ＣＡＤの学習はそれぞれが建築設計というホーリスティックな営為に到達するための重要な手段であることを理解した上で個々の学習を行なう．

２）都市計画

【コア】

＜キーワード＞都市計画史，近代都市計画，都市計画論，都市基本計画，都市計画法

到達目標

・近代以前の都市計画の概要を知る．
・産業革命による都市問題の発生とその解決のための近代都市計画の施策について理解する．
・現在の都市計画の理念とその概要および現在の都市問題について理解する．
・都市基本計画の理念とその概要について理解する．
・土地利用計画の概要について理解する．
・都市交通計画の概要について理解する．
・公園緑地計画の概要について理解する．

・都市施設計画の概要について理解する.
・地区計画の理念とその概要について理解する.
・都市計画法の概要について理解する.

学修にあたっての配慮事項

・各単元の個別的な授業内の順序および重みづけは担当教員の判断による.

3）建築計画

【コア】

＜キーワード＞建築計画，住宅計画，集合住宅計画，各種建築計画

到達目標

・人体寸法や空間の基本寸法について理解する.
・動線という概念を理解し，動線計画について学ぶ.
・バリア・フリーの理念および，ユニバーサル・デザイン野を基本理念を理解する.
・規模計画の基本について学ぶ.
・住宅計画の平面計画，断面計画，配置計画にともなう基本理念について学ぶ.
・集合住宅計画の平面計画，断面計画，配置計画にともなう基本理念について学ぶ.
・保育園幼稚園こども園などの乳幼児施設の平面計画，断面計画，配置計画にともなう基本理念について学ぶ.
・学校建築の平面計画，断面計画，配置計画にともなう基本理念について学ぶ.

【要望】

＜キーワード＞建築法規との連関，各種建築計画

到達目標

・用途地域，建蔽率，容積率，道路斜線，隣地斜線などの建築計画に関係する都市計画規制の基本概念を理解する.
・コミュニティ施設の平面計画，断面計画，配置計画にともなう基本理念について学ぶ.
・図書館の平面計画，断面計画，配置計画にともなう基本理念について学ぶ.
・博物館・美術館の平面計画，断面計画，配置計画にともなう基本理念について学ぶ.
・劇場・ホールの平面計画，断面計画，配置計画にともなう基本理念について学ぶ.
・オフィスビルの平面計画，断面計画，配置計画にともなう基本理念について学ぶ.
・庁舎建築の平面計画，断面計画，配置計画にともなう基本理念について学ぶ.
・病院・クリニックの平面計画，断面計画，配置計画にともなう基本理念について学ぶ.
・高齢者福祉施設の平面計画，断面計画，配置計画にともなう基本理念について学ぶ.

学修にあたっての配慮事項

・ハードビル法を暗記するのではなく，理念を学ぶ.
・個数規模と空間規模について学ぶ.
・建築法規の授業と関連して学習することが望ましい.
・住宅に関する設計課題と併行して学習することが望ましい．住宅が建築空間の基本という意識をもつ.
・これらのさまざまな建築型に関する建築計画に関しては，設計課題と併行して学習することが望ましい．建築計画は計画者が施設を平均化するための方法論ではなく，個別的な**【要望】**をどのように施設計画に反映させるかのための手段であることを実際の設計行為を通じて学習する．たとえば高齢者福祉施設について学ぶ場合でも，既定の制度理解だけでなく，それが高齢者が住むための施設であることすなわち高齢者の住まいであるという原点に立ち返る姿勢がのぞまれる.

2.「歴史・意匠」

1）世界建築史

【コア】

＜キーワード＞古代ギリシャ文明，古代ローマ，初期キリスト教，ビザンチン，ロマネスク，ゴシック，ルネサンス，バロック

到達目標

・古代ギリシャ建築とオーダーの概念，西洋の建築伝統の成立としてのその重要性，歴史的プロセ

スの意義について理解する.
・古代ローマの建築の歴史と特徴（オーダーとアーチの組み合わせ，ボールト，円蓋，軸を基本とした計画），性格と意義を理解する.
・初期キリスト教建築とビザンチン建築の歴史と特徴（内部性，表面の溶解，オーダーの衰退等），性格と意義を理解する.
・古代文明滅亡後に築かれた建築文化の一つであるロマネスク建築の歴史と特徴，性格と意義を理解する.
・中世ヨーロッパに開いた花とも解釈できるゴシック建築の歴史と背景，その特徴，性格と意義を理解する.
・ヨーロッパ各地におけるルネサンス建築の歴史的な背景と成熟の過程，特徴，性格と意義を理解する.
・ミケランジェロにその萌芽を持つバロック建築の歴史的な背景と成熟の過程，特徴，性格と意義を理解する.

【要望】

＜キーワード＞古代文明における建築，イスラム建築，新古典主義建築，歴史主義建築，アジア建築

到達目標

・メソポタミア，エジプト，インド，東南アジア，アメリカ，中国とその文化圏における都市の出現とそれに伴った建築の発展について，理解する.
・古代文明に築かれた建築文化であるイスラム建築の歴史と特徴，性格と意義を理解する.
・啓蒙思想や革命精神を背景として興った新古典主義の建築様式について，その背景と特徴を理解する.
・西洋の過去の建築様式を復古的に用いて設計された歴史主義建築の成立の背景と特徴を理解する.
・独特の風土・気候に合わせて発展したアジアの建築様式について概観し，その特徴を理解する.

学修にあたっての配慮事項

・図集や写真，模型などを通じ，可能であれば現地で実例に触れ，スケール感やテクスチャ，架構のあり方などを実感するように心がける.

２）日本建築史

【コア】

＜キーワード＞先史・古代の建築，古代の建築，中世の建築，近世の建築

到達目標

・竪穴式住居，高床式倉庫，伊勢神宮などの例を取り上げ，先史時代の建物，神社建築の形式について理解する.
・法隆寺をはじめとする奈良時代の建築，平安時代の社寺建築，都城のプラン，住宅（寝殿造）の形式について理解する.
・大仏様，禅宗様，和様の様式を理解し，中世の社寺建築の特徴を理解する.
・城郭建築，御殿（書院造），武家屋敷，寺院，霊廟，茶室，数寄屋造，民家と町屋などの形式，特徴を理解する.

【要望】

＜キーワード＞近代

到達目標

・幕末から明治に架けて独特の発展をした日本の近代建築を概観し，その特徴を理解する.

学修にあたっての配慮事項

・図集や写真，模型などを通じ，可能であれば現地で実例に触れ，スケール感やテクスチャ，架構のあり方などを実感するように心がける.

３）近代建築史

【要望】

＜キーワード＞モダニズム建築，建築家の系譜，ポストモダン建築とその後

到達目標

・アーツアンドクラフト運動，アールヌーボーなどを経て機能主義建築，インターナショナルスタイル建築へとつながる流れを理解する.
・モダニズム建築を先導したライト，ミース，コルビジェの三大巨匠をはじめとする建築家の系譜

について理解する.
・モダニズム建築への反動として現れた，ポストモダン建築を概観し，その後の建築運動を理解する.

学修にあたっての配慮事項

・図集や写真，模型などを通じ，可能であれば現地で実例に触れ，スケール感やテクスチャ，架構のあり方などを実感するように心がける．設計分野とすることも可.

4）都市史

【要望】※都市計画の項で触れている.

5）保全と再生

【要望】

＜キーワード＞歴史的建築物の保全，街並み保存，既存建築物のコンバージョン，再生

到達目標

・西欧における古建築の保存に関する議論と実態を整理し，問題点を考察する.
・日本における古建築の保全と再生とは何か．その歴史的展開と現状について整理し，考察を行う.
・町並みの保全，集落の保全，歴史的景観の保全について，実例を通して理解し，問題点を考察する.
・既存建築の Conversion について実例を通して理解し，課題を考察する.

学修にあたっての配慮事項

・歴史建築の正当性，構造安全性，地球環境問題などとも関連づけながら，グローバルな視点を養うことが望まれる.

3.「環境」

【コア】

＜キーワード＞ 建築と環境，風土，人間の感覚知覚，太陽，視覚，測光量，昼光照明，昼光率計算，人工照明，色彩，聴覚，音環境の指標，音の干渉と定在波，遮音，騒音，音響計画，残響時間計算，熱環境の指標，定常伝熱，日射による熱取得，放射熱伝達，熱貫流，防暑・防寒設計，省エネルギー性能，湿度，定常透湿計算，空気質，換気と通風，自然換気，環境問題

到達目標

・地域の気候や風土と建築環境の関わり，地域環境の特徴の捉え方を理解する.
・感覚とウェーバーフェヒナーの法則を理解する.
・太陽軌道と時刻法，日射の特徴，太陽定数，太陽位置図，方位による壁面の直達日射量の違い，日影の特徴，日影図と日影時間図を，複合日影を理解する.
・視覚の仕組み，明視の 4 条件，グレアの特徴と対処法を理解する.
・光束，照度，輝度，光束発散度，距離の逆二乗則，均等拡散面の概念を理解する.
・天空の種別，昼光率の概念，窓の種別と特徴，窓の位置と室内照度分布の関係，日射遮蔽の手法を理解する.
・立体角投射率，立体角投射率の法則，直接昼光率の計算法を理解する.
・光源や照明器具の特徴，照明方式，逐点法と光束法による照明計算方法を理解する.
・表色系，色彩の効果，色彩調和の理論を理解する.
・聴覚の特徴，音の心理属性を理解する.
・音波の物理的性質，音の物理的指標，デシベル尺度の加減算，オクターブバンド，音の伝播と減衰を理解する.
・音の干渉，定在波，共鳴，固有周波数について理解する.
・遮音の概念，壁体の遮音の特徴，透過損失の計算方法，床衝撃音と室間音圧レベル差を理解する.
・ラウドネス，等ラウドネス曲線，騒音の概念と評価法，騒音対策，規制値を理解する.
・吸音と残響および残響時間の概念，吸音材の特徴，空間設計と残響時間の関係，音声の明瞭性，音の特異現象を理解する.
・吸音力，残響時間の計算法を理解する.

・温熱環境の 6 要素の特徴，熱環境の体感指標を理解する．
・定常伝熱の仕組み，伝熱の諸指標，断熱材，対流熱伝達，熱貫流率，熱損失計算法を理解する．
・日射による熱の取得を理解する．
・放射による熱伝達計算を理解する．
・熱貫流計算，熱損失係数の算出法を理解する．
・建築物の防暑設計と防寒設計，熱容量を理解する．
・エネルギー消費量，性能指標，再生可能エネルギー利用の要点を理解する．
・湿度の捉え方，空気線図，結露の原理と対策，壁体の防湿を理解する．
・定常透湿計算法を理解し，計算できるようになる．
・室内空気汚染源，環境基準を理解する．
・換気計画，換気方式，必要換気量計算，通風計画を理解する．
・重力換気，風力換気を理解する．
・地球環境問題，都市環境問題の存在を把握し，考察できるようになる．

【要望】

＜キーワード＞太陽位置の計算，日射量計算，ソーラーシステム，採光手法，照明計算，波動音響学，音響測定法，電気音響設備，非定常伝熱，非定常透湿計算，換気計算，空調設備，給排水設備，電気設備，防災設備

到達目標

・太陽位置の計算法を理解する．
・日射による熱量計算法を理解する．
・ソーラーシステム，太陽熱冷暖房・給湯システムを理解する．
・窓装置，窓装備，窓材料の特徴，昼光利用システムを理解する．
・間接昼光率計算法，線光源による直接照度，面光源による直接照度計算法を理解する．
・波動方程式，波動音響，を理解する．
・騒音計の使い方，騒音測定と残響時間の測定法を理解する．
・電気音響設備について理解する．
・非定常熱伝熱とその計算方法を理解する．
・非定常透湿計算法を理解し，計算できるようになる．
・換気力学，換気計算法を理解する．
・空調方式，熱搬送方式，換気設備を理解する．
・給水設備，排水設備，衛生器具を理解する．
・受配電設備，非常電源設備，輸送設備，情報通信設備，配線を理解する．
・避難誘導設備，消火設備について理解する．

学修にあたっての配慮事項

・建築環境工学・環境設備学は，建築空間における望ましい環境を成立させるための技術を学ぶものである．学習に当たって配慮すべき事項は，建築の建つ地域の自然環境や建築自体が周囲に及ぼす影響，その地域の歴史的な建築物における環境面での工夫や技術，建築を使用する人の性別や年齢・文化的な背景の違いが環境知覚に及ぼす影響・建築の利用目的に応じて求められる建築性能の違い，地球環境問題を背景として現在の建築環境に求められている目標である．

４．「構造・材料」

１）構造力学・材料力学

【コア】

＜キーワード＞力のつりあいとモーメントの概念，支点，節点，反力の理解，部材の伸縮，応力，ひずみ，トラスの原理と静定トラスの解法，部材断面力（軸力，せん断力，曲げモーメント），断面に関する量，せん断変形量とせん断応力度分布，モールの応力円，静定梁（単純梁，片持ち梁）の解法，静定骨組（片持梁型，単純梁型，3 ヒンジ骨組）

到達目標

・構造物が自立するための条件である「力がつりあう」とはどういうことなのか，モーメントの概念と併せて理解する．
・構造物と支点のモデル化，接点の概念を理解し，架構の安定・不安定の判断ができるようになる．

・圧縮または引張力を受ける部材の伸縮量を求めるために必要な応力とひずみの概念を理解する．
・いくつかのトラス構造物を例に，節点法，切断法とクレモナ法によりトラス構造を解けるようになる．
・せん断力と曲げモーメントの概念を理解するとともに，応力図（軸力図，せん断力図，曲げモーメント図）の描き方を理解する．
・重心，断面一次モーメント，断面二次モーメント，断面係数などの意味と計算方法を理解する．
・断面内でのせん断力分布について理解するとともにせん断弾性係数の意味を理解し使用できるようになる．
・簡単な平面応力の正方形・モールの応力円・主応力正方形・最大剪断応力正方形を描くことができる．
・集中荷重および分布荷重のかかる単純梁と片持梁の解き方を理解し，応力図が描けるようになる．
・片持梁型，単純梁型，3 ヒンジ骨組に代表される静定骨組を取り上げ，その解き方を理解する．静定骨組の応力図の描き方を理解する．

【要望】

＜キーワード＞仮想仕事法による変形の計算，静定ラーメンの変形，応力法と不静定ラーメンならびに不静定トラス，変位法とたわみ角法，固定法，マトリクス法

到達目標

・代表的な変形計算法である仮想仕事法の原理について学び，これによる静定トラスと静定ラーメンの変形計算法を身に付ける．
・仮想仕事法による変形計算法を身に付けるとともに，モールの定理による計算法を会得する．
・応力法の原理について学び，これによる不静ラーメン，不静定トラスの解法を身につけるほか，固定端モーメントについての理解を深める．
・変位法の特徴やたわみ角法の意義を理解し，これらを用いて不静定ラーメンを解けるようになる．
・固定法の特徴と意義を理解するほか，いくつかの条件の下での不静定ラーメンの固定法による解法を学習する．
・マトリクス法の原理と簡単な応用例を知り，コンピュータによる骨組み解析の原理を理解する．

学修にあたっての配慮事項

・実際の構造物との対応を，そのモデル化の過程と共に理解し，変形の様子などとも並行しながら身につけるようにする．

２）各種構造

【コア】

＜キーワード＞鉄筋コンクリート構造の原理，鉄筋コンクリート構造の設計，鉄骨構造の原理，鉄骨構造の設計

到達目標

・コンクリートの特性と配筋の考え方を理解する．
・鉄筋コンクリート構造物に掛かる力の概要と設計の考え方を理解する．
・建築構造用鋼材の性質を理解し，鉄骨構造の基礎を身につける．
・鉄骨構造に掛かる力の概要と設計の考え方を理解する．

【要望】

＜キーワード＞鉄筋コンクリート：梁の設計，柱の設計，せん断補強，床の設計，基礎の設計，保有水平耐力，鉄骨構造：引張材の設計，圧縮材の設計，曲げ材の設計，軸力と曲げの同時載荷，機械式接合と継ぎ手，溶接接合と柱梁接合部，柱脚の設計，鋼コンクリート合成構造

到達目標

・梁に掛かる力と配筋の考え方を理解し，鉄筋量を算定することができる．
・柱に掛かる力と配筋の考え方を理解し，鉄筋量を算定することができる．
・せん断補強の考え方を理解し，鉄筋量を算定することができる．
・床に掛かる力と配筋の考え方を理解し，鉄筋量を算定することができる．
・基礎の種類と設計の思想を理解し，鉄筋量を算定することができる．
・ごく稀に発生する地震に対する二次設計の考え方を理解し，保有水平耐力の算定法を身につける．
・許容応力度の考え方と引っ張り材の設計法を理解する．
・座屈現象を理解し，圧縮材の設計法を理解する．

・主に曲げを受ける部材の設計を理解する．
・軸力と曲げが同時に載荷される部材の設計と局部座屈現象を理解する．
・ボルト接合と高力ボルト接合の原理を理解し，主に曲げを受ける継ぎ手の設計ができる．
・溶接接合の原理と種類，設計法の基本を理解し，柱梁接合部の設計ができるようになる．
・鉄骨構造における柱脚の形式と収め方，設計の考え方を理解する．
・鋼コンクリート合成構造の考え方を理解し，合成梁の設計ができるようになる．

学修にあたっての配慮事項

・実例や地震被害例などを通じて，どのような原理に基づいているのかを体感しながら理解する．

３）建築材料

【コア】

＜キーワード＞建築材料の種類と選択，セメントの水和反応と混和剤，骨材，コンクリートの性質

到達目標

・構造形式に応じて適切な建築材料を選択することの重要性を理解する．
・セメントの水和反応について理解し，混和剤の役割を学ぶ．
・骨材の役割，物理的性質，有害物質について理解する．
・種々のコンクリートの性質と利用のされ方を理解し，適切に選択することができるようになる．

【要望】

＜キーワード＞コンクリート：強度，弾性と塑性，乾燥収縮とクリープ，耐久性，調合

・構成材が強度に及ぼす影響，材齢にともなう強度変化，試験条件が及ぼす影響，各種引張強度，組み合わせ応力における強度について理解する．
・複合材料としての弾性係数に関する複合則，コンクリートの応力ひずみ曲線を理解する．
・コンクリートの乾燥収縮とクリープのメカニズム，影響要因を理解し，予測式を使えるようになる．
・コンクリートの耐久性について，鉄筋の腐食と耐久性，コンクリートの中性化，アルカリ骨材反応，凍結融解による劣化，コンクリートの化学的浸食などを理解する．
・調合によって性質が変わることを理解し，要求性能に応じた選択をすることができるようになる．

学修にあたっての配慮事項

・実例や地震被害例などを通じて，どのような原理に基づいているのかを体感しながら理解する．

４）基礎地盤工学

【要望】

＜キーワード＞土の基本的性質，地盤調査，液状化，地盤沈下，基礎の形式

到達目標

・土粒子の組成と粒径分類を通じて，土の基本的な性質を理解する．
・地盤調査の必要性と方法を理解し，その評価ができるようになる．
・地盤の液状化のメカニズムと条件を理解し，液状化危険度の判定を行う事ができる．
・地盤沈下のメカニズムと条件を理解し，地盤沈下量の推定を行う事ができる．
・建物基礎の形式を知り，適切な選択ができるようになる．

学修にあたっての配慮事項

・実例や地震被害例などを通じて，どのような原理に基づいているのかを体感しながら理解する．

５）振動工学

【要望】

＜キーワード＞地震と地震動の仕組み，質点の振動方程式，地震応答スペクトル，塑性ヒンジと崩壊形

到達目標

・日本近傍で起こる地震の仕組みと地震波の伝播，地震動評価について理解する．
・質点系の振動方程式を理解し，数値計算できるようになる．
・加速度，速度，変位の各応答スペクトルの意味を理解し，適切に用いることができるようになる．
・構造物の弾塑性応答と保有耐力，崩壊モードとその意義について正しく理解する．

学修にあたっての配慮事項

・実例や地震被害例などを通じて，どのような原理に基づいているのかを体感しながら理解する．

５.「構法・施工」

１）建築構法

【コア】

＜キーワード＞構法とディテール，屋根の構法，開口部・外壁の構法，躯体の構法，各部の構法，RC 壁式構造の構法，RC フレーム構造の構法

到達目標

・著名建築物で用いられているディテールの収まりを学ぶことを通じて，建築各部と全体，モジュラーコーディネーション，近代建築のエッセンスを修得する．
・各種屋根構法，民家の小屋組，桟瓦の成立，近代建築と陸屋根などを学ぶことを通じて屋根の構法を理解する．
・各種開口部とその性能，建具とその収まり，カーテンウォール構法，ダブルスキンファサードなどを学ぶことを通じて，開口部と外壁の構法を理解する．
・木造在来軸組工法の具体例を通じて，躯体の構法を理解する．
・木造在来軸組工法の具体例を通じて，各部の構法を理解する．
・主に低層構造物で用いられる RC 壁式構造の具体例を通してその構法を理解する．
・主に中高層で用いられる柱・梁式構造の具体例を通じて RC フレーム構造の構法を理解する．

【要望】

＜キーワード＞超高層建物の構法，内装・設備の構法，オフィスビルの構法

到達目標

・超高層建物の具体例を通じて，その構法を理解する．
・主に集合住宅の具体例を通じて内装と設備の構法を理解する．
・オープン・ビルディング，システムズ・ビルディング，コンバージョンなどの実例を通じて，それらの構法を理解する．

学修にあたっての配慮事項

・実例の写真や模型を通じて具体的に体感し，身につけることが望ましい．

２）建築施工

【要望】

＜キーワード＞建築生産のシステムと契約方式，設計と施工の関係，建設業の実態，建築工事の概要，施工準備，仮設工事，基礎・地下工事，躯体工事，仕上げ工事，設備工事，品質保証とアフターサービス，現場見学

到達目標

・発注者，設計者，工事監理者，施工者の役割及び工事受注の仕組みを理解する．
・設計と施工の関係，役割分担を企画から完成までの流れに沿って理解する．
・日本の建設産業及び建設業の実態を各種経済指標を通して理解する．
・鉄筋コンクリート造のビルを例に，着工から竣工までの施工の流れの概略を理解する．
・着工段階の諸手続き，諸官庁への申請，現地調査と施工計画を理解する．
・具体例に基づき仮設工事の内容及び考え方を理解する．
・山留め工事，杭地業工事，土工事を含めた GL より下の部分の工事］の要点を理解する．
・主に鉄筋コンクリート造における施工方法と管理方法について要点を理解する．
・工種別仕上げ工事について概略を理解する．
・多種にわたる設備工事の概要と建築工事との関連を理解する．
・建築工事における品質保証の考え方，現行の保証体制，アフターサービスの実態を理解する．
・工事中の状態，仮説計画及び仮設物の実態，現場で働く監督，作業員を観察しながら建築生産の実態をつかむ．

学修にあたっての配慮事項

・実社会での契約関係など，実例に基づいて実感し，身につけることが出来るように配慮する．現場見学も取り入れる．

６－４．土木分野

６－４－１. まえがき

土木分野では，国内の大学の土木系学科カリキュラムにおける専門教育関連データを参照するとともに，国立高専機構での検討成果である「モデルコアカリキュラム（試案)」Ver.3（建設・建築系分野）を参照して，[キーワード].［到達目標]，[学修に当たっての配慮事項］の抽出を試みた．その上で，複数の大学の複数の専門教員から寄せられた意見を反映させ，精度・信頼度の向上を図っている．

土木分野技術者教育での専門分野の分類については，土木学会における土木技術検定試験（兼土木学会認定２級土木技術者資格審査）での専門問題の大分類，および JABEE 認定基準・個別基準「分野別要件（勘案事項）の内容」に記載された土木工学の主要分野として掲げられている，以下の６分類を主要分野として適用した．

１．土木材料・施工・建設マネジメント　（土木材料学，施工学）
２．構造工学・地震工学・維持管理工学　（構造力学，鋼構造・橋梁工学，地震工学）
３．地盤工学
４．水工学
５．土木計画学・交通工学（測量学，土木製図，土木計画学，交通工学）
６．土木環境システム

到達目標は，必ず修得すべき項目からなる「コア」と，できれば修得させたい項目からなる［要望］に分けている．コアについては，上記の（　）内に示したように，主要分野１，２，５では項目に細分化した上で，キーワード，到達目標，学修に当たっての配慮事項を示し，要望については主要分野ごとにまとめてキーワード，到達目標を示した．なお，本研究調査では，JABEE 基準における土木分野別要件に倣い，上記６主要分野のうち最低３分野以上を含むことを要件として，土木技術者教育に多様性をもたせることを前提としている．このため，コアの選択に当たっては，主要分野ごとに考えての必修項目を挙げており，６分野全てを総合した場合には極めて多くのコアを示したと言える．この問題も含め，土木学会の関連委員会に意見紹介をした上で，2011 年 12 月から 2012 年 1 月にかけてパブリックコメントを募集した．

土木分野のパブリックコメントには合計 14 件（27 項目）の意見が寄せられている．その中でキーワードや到達目標の内容・記述に関する具体的な指摘は 16 項目であり， 12 項目について修正を行って最終版に反映させた．一方，到達目標の設定そのものに関わる意見も数多く寄せられた．具体的には，「到達目標の設定」の意義，位置付けと JABEE との関連，今後の審議方法，「分野別」の分野の分け方や身に付けるべき能力の分け方等，内容は多岐にわたり，合計 11 項目に及ぶ．しかし，本調査研究は，従来型分野に限定して調査研究を進めたものであり，「到達目標は，教育課程の検討の際の出発点であり，それにどのように肉付けをして，最終的にどのような具体的な教育課程を編成するかについては，各大学が自主的に判断する」という観点に立っている．土木分野に限って言えば，土木学会に教育企画・人材育成委員会 技術者の質保証調査小委員会や技術者教育プログラム審査委員会があり，今後は関連する学協会等において，国際的教育質保証の観点から，参考標準となる分野別の到達目標設定や評価方法の審議，基礎や各能力に関する到達目標の土木分野としてのカスタマイズや精査，等を実施することが望ましい．

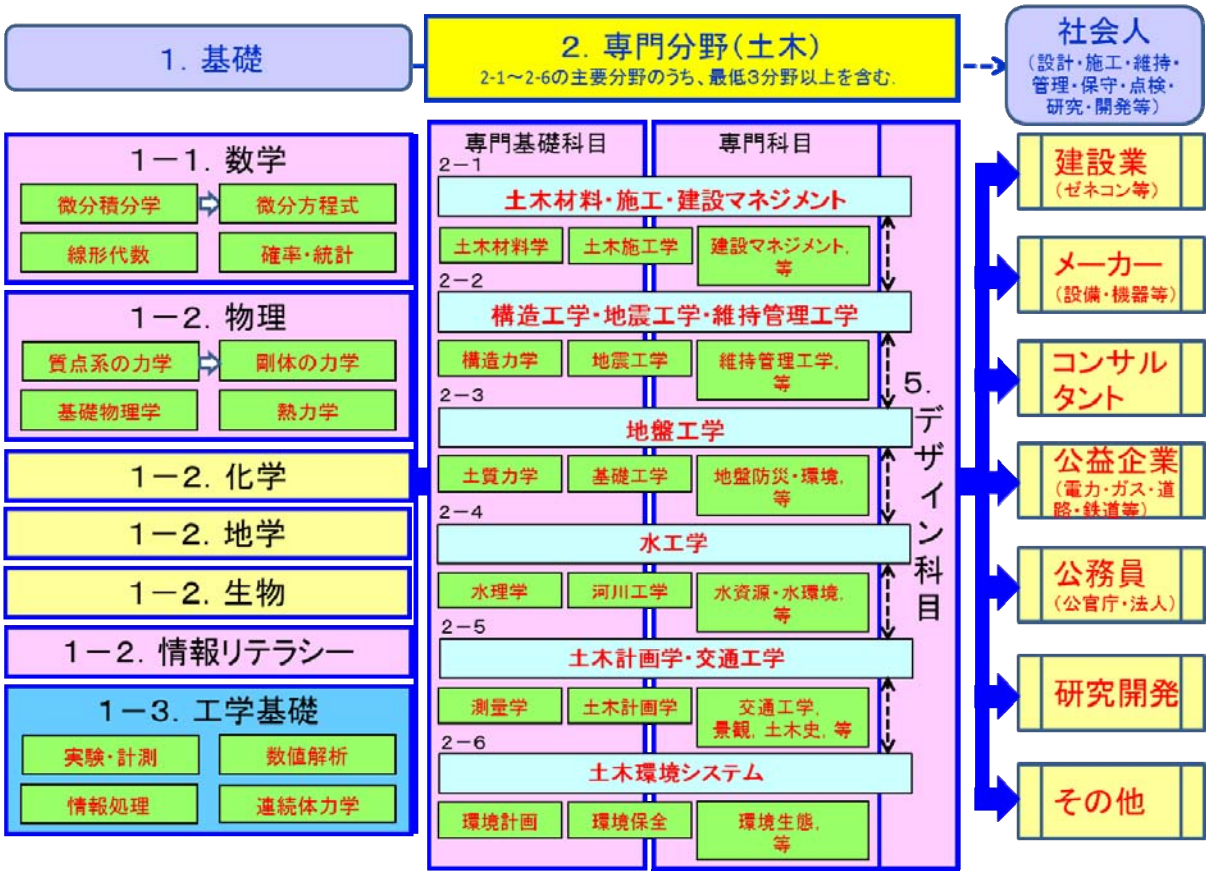


図６－４　土木分野科目間関連図

6－4－2. 土木分野　（技術者教育において育成すべき知識・能力と，その到達目標）

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">育成すべき知識・能力</th><th colspan="4">到達目標</th></tr>
<tr><th colspan="2">コ　ア</th><th colspan="2">要　望</th></tr>
<tr><td rowspan="3">1.基礎</td><td>1-1.数学</td><td rowspan="3">自然科学の法則を工学問題に適用し，解くことができる.
単位で表された数値が実感で理解できる.</td><td>微分・積分，微分方程式，線形代数，複素関数，確率・統計の基礎知識や概念を数学的問題に適用できる.</td><td rowspan="3">自然科学の法則を工学問題に適用し，解いた結果の分析により，問題解決に必要な課題の構造を明らかにすることができる.
単位で表された数値が実感で理解できる.</td><td>微分・積分，微分方程式，線形代数，複素関数，確率・統計の基礎知識や概念を工学問題に適用し，問題解決に必要な分析をすることができる.</td></tr>
<tr><td>1-2.物理学等自然科学
(物理，化学，情報リテラシー，地学，生物)</td><td>力学，電磁気学，熱力学等の自然科学の知識や概念を工学問題に適用できる.</td><td>力学，電磁気学，熱力学等の自然科学の知識や概念を工学問題に適用し，問題解決に必要な分析をすることができる.</td></tr>
<tr><td>1-3.工学基礎</td><td>基幹工学(機械工学概論，電気・電子工学概論等)，工学基礎実験・計測，数値計算等の基礎知識を工学問題の実験や解析に適用できる.</td><td>基幹工学(機械工学概論，電気・電子工学概論等)，工学基礎実験・計測，数値計算等の基礎知識を工学問題に適用し，問題解決に必要な分析をすることができる.</td></tr>
<tr><td rowspan="6">2. 専門分野
2.1から2.6の主要分野のうち，最低3分野以上を含む.</td><td>2-1.土木材料・施工・建設マネジメント</td><td colspan="2">土木材料や施工法等に関連した土木工学の知識と概念を工学問題に適用できる.</td><td colspan="2">土木材料や施工法，さらには建設マネジメントの知識と概念を工学問題に適用し，問題解決に必要な分析をすることができる.</td></tr>
<tr><td>2-2.構造工学・地震工学・維持管理工学</td><td colspan="2">構造力学，橋梁工学，地震工学等に関連した土木工学の知識と概念を工学問題に適用できる.</td><td colspan="2">構造工学や地震工学，さらには維持管理工学の知識と概念を工学問題に適用し，問題解決に必要な分析をすることができる.</td></tr>
<tr><td>2-3.地盤工学</td><td colspan="2">地盤工学に関連した土木工学の知識と概念を工学問題に適用できる.</td><td colspan="2">地盤工学の知識と概念を工学問題に適用し，問題解決に必要な分析をすることができる.</td></tr>
<tr><td>2-4.水工学</td><td colspan="2">水工学に関連した土木工学の知識と概念を工学問題に適用できる.</td><td colspan="2">水工学の知識と概念を工学問題に適用し，問題解決に必要な分析をすることができる.</td></tr>
<tr><td>2-5.土木計画学・交通工学</td><td colspan="2">測量学，土木製図，土木計画学等に関連した土木工学の知識と概念を工学問題に適用できる.</td><td colspan="2">土木計画学や交通工学の知識と概念を工学問題に適用し，問題解決に必要な分析をすることができる.</td></tr>
<tr><td>2-6.土木環境システム</td><td colspan="2">土木環境システムに関連した土木工学の知識と概念を工学問題に適用できる.</td><td colspan="2">土木環境システムの知識と概念を工学問題に適用し，問題解決に必要な分析をすることができる.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3.汎用的技能(応用的能力)</td><td>3-1.課題発見・解決力，論理的思考力</td><td colspan="2">課題発見，情報の収集と分析，課題解決，などの手法を用い，土木工学分野の工学問題の課題を挙げ，その問題の構造を分析できる.</td><td colspan="2">課題発見，情報の収集と分析，課題解決，などの手法を用い，土木工学分野の工学問題の課題を挙げ，その問題の構造を分析し，複数の解を提案し，その中から最良の解を選ぶことができる.</td></tr>
<tr><td>3-2.コミュニケーション・スキル</td><td colspan="2">他人の意見を分析・理解できるとともに，自らの意見を論理的な文書や口頭説明として整理し，まとめることができる.

英語等の外国語を用いて日常的な意見交換ができる.</td><td colspan="2">他人の意見を分析・理解し，自らの意見を論理的な文書や口頭説明として整理し，これを相手の理解力を考慮して評価し，まとめることで，相手に自分の意見を納得させることができる.

英語等の外国語を用いて実務に関する意見・情報の交換ができる.</td></tr>
<tr><td rowspan="4">4.態度・志向性(道徳的能力)</td><td>4-1.チームワーク，自己管理力，リーダーシップ，チャンスを活かす能力</td><td colspan="2">自分に与えられた仕事を実行するために，やるべき事を分析し，自己の体調・時間を管理できる.

同分野の専門家であるチームメンバーと意見交換を行い，チーム内での自らのなすべき行動を分析し，これを実行することができる.</td><td colspan="2">自分のやるべき事を評価・認識し，自己の意欲・体調・時間・予算を管理することでこれを実行できる.

同分野あるいは異分野の専門家のチーム作業において，なすべき行動を評価・実行できるとともに，リーダーとしてメンバーに働きかけることができる.</td></tr>
<tr><td>4-2.倫理観</td><td colspan="2">技術者倫理の基本原則を一般的な問題に適用できる.</td><td colspan="2">技術者倫理の基本原則を用いて実務の場でとるべき倫理的行動を考えることができる.</td></tr>
<tr><td>4-3.市民としての社会的責任</td><td colspan="2">社会・健康・安全・法律・文化・環境などに関する知識を，一般的な問題の解決の際に適用できる.</td><td colspan="2">社会・健康・安全・法律・文化・環境などについての考慮を実務の場に適用し，とるべき行動を考えることができる.</td></tr>
<tr><td>4-4.生涯学修力</td><td colspan="2">自主的に生涯にわたって学修する必要性と方法を理解している.</td><td colspan="2">自主的に生涯にわたって学修する必要性と方法を理解し，それを実際の活動に適用し，意欲を持って実行している.</td></tr>
<tr><td>5.総合的な学習経験と創造的思考力</td><td>5.創成能力(システム設計)</td><td colspan="2">各種の外的・内的制約条件と，問題解決のために解くべき課題を挙げ，この課題を整理・分析して，制約条件下で課題を解決できる最適解を評価・提案できる.</td><td colspan="2">各種の外的・内的制約条件と，問題解決のために解くべき課題を挙げ，制約条件下で課題を解決できる最適解を見出し，これに基づいて，複合的な工学的問題の創造的解決を図ることができる.</td></tr>
</table>

６－４－３．土木分野の到達目標と学修に当たっての配慮事項

土木分野の到達目標と学修に当たっての配慮事項は，次の主要６分野について示す．
１．「土木材料・施工・建設マネジメント」
２．「構造工学・地震工学・維持管理工学」
３．「地盤工学」
４．「水工学」
５．「土木計画学・交通工学」
６．「土木環境システム」

１．「土木材料・施工・建設マネジメント」

１－ａ　土木材料学

【コア】

＜キーワード＞鉄鋼，セメント，骨材，混和材料，コンクリート，配合設計，鉄筋コンクリート，はり，単鉄筋長方形断面，構造設計，プレストレストコンクリート，実験

到達目標

・土木材料の特徴・分類を説明できる．
・鉄鋼の特徴を説明できる．
・セメントの製造方法を説明できる．
・ポルトランドセメントの特徴を説明できる．
・混合セメントの特徴を説明できる．
・混和材料（混和材，混和剤）の特徴を説明できる．
・セメントの規格・試験を説明できる．
・コンクリートの特徴を説明できる．
・コンクリート用骨材を説明できる．
・コンクリートの水セメント比と細骨材率を説明できる．
・コンクリートのワーカビリティーとコンシステンシーを説明できる．
・フレッシュコンクリートの性能を説明できる．
・硬化コンクリートの性能を説明できる．
・コンクリートの劣化の種類と，耐久性能を説明できる．
・コンクリートの配合設計を説明でき，かつ計算できる．
・コンクリートの製造・施工・品質管理を説明できる．
・複合材料としての鉄筋コンクリート構造を説明できる．
・限界状態と安全係数を説明できる．
・限界状態設計法と許容応力度設計法を説明できる．
・使用限界状態と終局限界状態を説明できる．
・コンクリートに生じるひび割れの特徴を説明できる．
・コンクリートの変形特性を説明できる．
・各材料の設計用値を説明できる．
・荷重の種類と構造解析を説明できる．
・曲げモーメントを受ける単鉄筋長方形断面のはり部材について，使用限界状態に対して設計できる．
・曲げモーメントを受ける単鉄筋長方形断面のはり部材について，終局限界状態に対して設計できる．
・せん断を受ける単鉄筋長方形断面のはり部材について，使用限界状態に対して設計できる．
・プレストレストコンクリートの概要を説明できる．
・プレストレストコンクリートの基礎（使用限界状態・終局限界状態など）を説明できる．
・プレストレストコンクリートの設計概念を説明できる．
・骨材の単位容積質量試験について理解し，器具を使って実験できる．
・細骨材と粗骨材のふるい分け，密度，吸水率，表面水率試験について理解し，器具を使って実験できる．

・コンクリートのスランプと空気量試験について理解し，器具を使って実験できる．
・コンクリートの強度試験について理解し，器具を使って実験できる．
・鉄筋コンクリートはりの曲げ試験について理解し，器具を使って実験できる．

学修に当たっての配慮事項

・計画的，経済的に土木構造物を建設・維持管理すべく，使用目的に応じ適切な土木材料を選定できるように配慮する．また，コンクリートの材料特性を踏まえた上で，鉄筋コンクリート構造物を設計できるように配慮する．

1－b　施工学

【コア】

＜キーワード＞施工管理，建設機械，土工，基礎工，コンクリート工，トンネル工

到達目標

・品質管理，原価管理，工程管理，安全衛生管理，環境管理の仕組みを説明できる．
・建設機械の概要を説明できる．
・土工の目的と施工法を説明できる．
・基礎工の種類別に目的と施工法を説明できる．
・コンクリート工の目的と施工法を説明できる．
・トンネル工の目的と施工法を説明できる．
・開削工法，シールド工法およびＮＡＴＭ工法の原理と種類を説明できる．

学修に当たっての配慮事項

・土木工事において指導監督を行うべく，その心構えに配慮する．

【要望】

＜キーワード＞特殊コンクリート，複鉄筋，T 形断面，付着力，定着力，軸力，偏心力，柱，一般構造細目，建設マネジメント

到達目標

・特殊コンクリートの種類と特徴を説明できる．
・複鉄筋コンクリートはりを説明できる．
・T 形断面の鉄筋コンクリートはりを説明できる．
・付着力および定着力を説明できる．
・軸方向力を受ける部材を説明できる．
・軸力と曲げを受ける部材を説明できる．
・偏心を受ける部材を説明できる．
・柱の構造細目について説明できる．
・一般構造細目を説明できる．
・ライフサイクルコストやリスクコントロールを考慮した，構造物の計画・設計・施工・維持管理を説明できる．

２．「構造工学・地震工学・維持管理工学」

2－a　構造力学

【コア】

＜キーワード＞トラス，はり，ラーメン，柱，荷重，支点反力，軸力，曲げモーメント，せん断力，断面２次モーメント，応力，ひずみ，曲率，たわみ，断面設計，安定・不安定，座屈，静定・不静定，エネルギー原理，仮想仕事の原理，不静定骨組構造物の解法

到達目標

・骨組構造物の種類や，骨組構造物に作用する荷重の種類について理解している．
・静定構造物を支える支点や対応する反力を理解し，それらを力のつり合い条件より計算できる．
・骨組構造部材の断面諸量（断面積，断面２次モーメント，断面係数など）を理解し，それらを計算できる．
・トラスの種類，安定性，トラスに作用する荷重を説明でき，トラスの部材力の意味を理解している．
・節点法や断面法を用いて，トラスの部材力を計算できる．
・トラスに生ずる部材応力から，簡単なトラス部材の断面設計ができる．

・はりの支点の種類，対応する支点反力，はりに作用する荷重の種類を理解し，はりの特性について説明できる．
・はりの断面に作用する内力としての断面力（曲げモーメント，せん断力），断面力図（曲げモーメント図，せん断力図）について理解し，説明することができる．
・支点条件や荷重条件の異なるはりについて，その断面力を計算し，断面力図を描くことができる．
・はりにおける変位・変形に関する基本仮定を理解し，はり内部の応力（曲げ応力，せん断応力）とひずみについて説明でき，それらを計算できる．
・はり内部の応力状態を理解し，その応力から簡単なはりの断面設計ができる．
・はりにおける応力・荷重関係，応力・変形関係，変形・変位関係を理解し，それらを用いて，はりのたわみの微分方程式を導くことができる．
・はりのたわみの微分方程式に関して，その幾何学的境界条件と力学的境界条件を理解し，微分方程式の境界値問題を解いて，たわみやたわみ角を計算できる．
・ラーメンの種類やその特性について理解している．
・ラーメンの支点反力，断面力（軸力，せん断力，曲げモーメント）を計算し，その断面力図（軸力図，せん断力図，曲げモーメント図）を描くことができる．
・圧縮力を受ける柱の分類（短柱・長柱）を理解し，各種支持条件に対する Euler 座屈荷重を計算できる．
・偏心圧縮柱の応力状態を説明できる．
・柱の細長比と座屈荷重の関係から，柱の基本的な設計を理解している．
・骨組構造物の安定性，静定・不静定の物理的意味を理解し，不静定次数を計算できる．
・構造力学における仕事やひずみエネルギーの概念を理解している．
・仮想仕事の原理など，骨組構造物に対するエネルギー原理を理解し，静定・不静定骨組構造物の支点反力，断面力（図），変位を計算できる．
・応力法や変位法など，不静定骨組構造物の解法を理解している．

学修に当たっての配慮事項

・解法のみにとらわれることなく，どうしてそうなるか等，解いた結果の力学的意味を自分なりに考えることで，背景にある力学原理の構成や構造物の力学挙動のイメージを掴めるよう配慮する．また，構造設計との関連において，構造力学の役割や重要性が理解できるよう配慮する．

2－b　鋼構造・橋梁工学

【コア】

＜キーワード＞鋼材，鋼構造，橋梁，設計基準，設計法，設計荷重，接合，鋼桁橋

到達目標

・鋼材の力学的性質，鋼構造物の種類およびその特徴を理解し，説明できる．
・橋梁の構成，種類およびその特徴を理解し，説明できる．
・各種設計基準に基づく設計法（許容応力度設計法，終局状態設計法等）の概要を理解し，安全率，許容応力度などについて説明できる．
・橋梁に作用する設計荷重の分類（死荷重，活荷重，その他の荷重）について理解している．
・橋梁の各種部材の設計法を理解し，簡単な例題に対し計算できる．
・接合の定義・機能・種類を説明でき，特に溶接と高力ボルト接合などについて理解している．
・鋼桁橋の設計の概要，特徴，手順を理解し，簡単な例題に対し計算できる．

学修に当たっての配慮事項

・社会基盤構造物の一つとして重要な橋梁について，実作品を参照しつつ，その構造力学的特徴を実感させるとともに，鋼橋の設計の考え方を概観できるようする．また，構造力学の知識と実際の構造設計法との関連を十分に説明し，両者のギャップを埋めるよう配慮する．

2－c　地震工学

【コア】

＜キーワード＞地震，マグニチュード，震害，防災，減災，地盤振動，耐震設計，振動解析，固有振動数，振動モード

到達目標

・地球の構造を理解し，地震発生メカニズムや直下型・海溝型などの地震の種類について説明できる．

・地震活動やマグニチュードなどについて説明できる.
・地震による構造物の被害と対策，防災，減災について理解している.
・地盤振動の基礎，および震害と地盤との関係を理解している.
・地震被害との関連で耐震設計法の変遷を理解し，現行の耐震設計法の基本的考え方を説明できる.
・構造物の振動解析モデルについて理解している.
・１自由度系の自由振動・強制振動解析を行うことができ，その特性を説明できる.
・多自由度系の振動を理解し，簡単な例題について固有振動数と振動モードを求めることができる.

学修に当たっての配慮事項

・日本はたびたび大きな地震に見舞われ，多大な被害を被ってきたことを念頭に，防災・減災の考え方や耐震設計の重要性を実感できるように配慮する.

【要望】

＜キーワード＞影響線，主応力，熱応力，幾何剛性，弾塑性，有限要素解析，耐荷力，板，局部座屈，合成桁，合成床版，耐久性，維持管理工学，耐震補強

到達目標

・はりの支点反力や断面力の影響線の意味とその利用法を理解し，簡単なはりの影響線を求めることができる.
・移動荷重に対するはりの最大せん断力，絶対最大せん断力，最大曲げモーメント・絶対最大曲げモーメントなどを，影響線を応用して計算できる.
・トラスの部材力の影響線を描き，応用することができる.
・相反作用の定理を理解し，はりの変形，影響線などに応用できる.
・構造物内部の応力状態を主応力と主軸によって説明できる.
・構造物内に生ずる熱（温度）応力について，その発生のメカニズムが説明ができ，簡単な例題に対して解析ができる.
・はりの有限変位理論の考え方を理解し，幾何剛性など，幾何学的非線形問題について説明できる.
・鋼材の弾塑性特性を理解し，鋼構造物の塑性設計など，材料非線形問題について説明できる.
・有限要素解析の基本的な考え方を理解し，簡単な例題に対し既存ソフトウエアを使って構造解析ができる.
・座屈理論と耐荷力曲線の関係を理解し，柱の設計ができる.
・板の座屈理論を理解し，局部座屈に対する設計法を説明できる.
・合成桁と非合成桁の特徴を理解し，合成桁の曲げ応力算定法や耐荷力算定法の基本を理解している.
・合成床版を説明できる.
・構造物の耐久性と維持管理の重要性について理解し，橋梁の維持管理法について概略を説明できる.
・既存橋梁構造物の耐震補強法について理解し，その考え方を説明できる.

３.「地盤工学」

【コア】

＜キーワード＞地盤（成因，地層，分布），土の構造（単粒・ハチの巣・綿毛構造，土粒子，間隙水，間隙空気），基本的物理量（土の密度・単位体積重量，間隙比，間隙率，飽和度，含水比，体積含水比，土粒子の密度・比重，相対密度），粒径，粒度，粒径加積曲線（有効粒径，均等係数，曲率係数），コンシステンシー（液性限界，塑性限界，塑性指数，液性指数，コンシステンシー指数），工学的分類（日本統一分類法，塑性図），締固め特性（締固め曲線，最適含水比，最大乾燥密度，材料による違い），水頭（ベルヌーイの定理，エネルギー保存則），ダルシーの法則，透水係数，室内透水試験（定水位，変水位），透水量の計算（流線網，浸潤線），透水力（浸透力），浸透流による破壊現象（クイックサンド，ボイリング，パイピング），フィルダム，地盤内応力（土被り圧，有効応力，全応力，静水圧，過剰間隙水圧，有効応力の原理），圧縮，圧密，体積圧縮係数，圧密理論（テルツァーギの一次元圧密理論），標準圧密試験，圧密係数，圧縮指数，時間係数，圧密沈下量，圧密先行荷重・圧密降伏応力，正規圧密・過圧密，過圧密比，圧密沈下時間，一次圧密，二次圧密，せん断，モールの応力円，クーロンの破壊規準，モール・クーロンの破壊規準，排水条件，ダイレイタンシー，間隙水圧，直接せん断

試験（一面せん断試験），三軸圧縮試験，載荷過程（等方圧密，有効拘束圧，背圧，軸差応力，せん断），一軸圧縮試験，鋭敏比，強度定数（粘着力・せん断抵抗角），せん断強さ，各種の土のせん断特性（砂質土，粘性土），液状化，液状化強度曲線，FL 法，土圧，静止土圧，主働土圧，受働土圧，土圧理論（ランキン土圧，クーロン土圧），地震時土圧（物部・岡部の式），支持力，浅い基礎・直接基礎（特徴，テルツァーギの支持力式，支持力係数，偏心荷重・傾斜荷重，接地圧，即時沈下と圧密沈下，許容沈下量），深い基礎・杭基礎（特徴，施工法，先端支持力，周面摩擦力），斜面安定問題・安定解析，全体安全率，半無限斜面仮定，円弧すべり，分割法，簡便法（フェレニウス法）

到達目標

・土の成因，構造などについて説明できる．
・土の基本的物理量について説明できる．
・土の粒径・粒度分布を説明できる．
・土のコンシステンシーを説明できる．
・土の工学的分類について説明できる．
・土の締固め特性について説明できる．
・ダルシーの法則について説明できる．
・透水係数と透水試験について理解し，透水量の計算ができる．
・流線網による浸透流解析を理解し，その計算ができる．
・透水力（浸透力）について説明できる．
・浸透力による各種の破壊現象を説明できる．
・地盤内応力（自重や上載荷重による応力増加）を理解している．
・有効応力の原理について説明できる．
・圧密について理解し，標準圧密試験を説明できる．
・圧密理論を理解し，圧密沈下量や圧密沈下時間について説明でき，一次元圧密計算ができる．
・正規圧密と過圧密の概念を理解し，圧密先行荷重（圧密降伏応力）から過圧密比を計算できる．
・二次圧密について説明できる．
・土のせん断試験と排水条件について説明できる．
・砂質土と粘性土のせん断特性を説明できる．
・モール・クーロンの破壊規準を理解している．
・三軸試験や一軸試験などの各種のせん断試験の考え方と手順を説明できる．
・砂の液状化について説明できる．
・ランキン土圧やクーロン土圧を理解している．
・構造物に作用する土圧や地震時の土圧について理解している．
・基礎の種類について理解し，浅い基礎・深い基礎の支持力について理解している．
・浅い基礎に関するテルツァーギ支持力式について理解している．
・斜面安定と全体安全率の概念を理解している．

学修に当たっての配慮事項

・地盤工学系領域は，土の力学的性質および地盤の力学的挙動を理解するための領域である．実務的な要請に基づく材料力学の一応用分野としての発展が，同領域の学問としての体系化の背景にあるが，現在では地盤環境保全（廃棄物処分，地下水汚染，地上緑化等），地盤環境利用（地熱利用等）などの課題を含めた学際領域，すなわち地盤環境工学的項目を同領域に含めることが多い．

【要望】

＜キーワード＞土の化学的性質，粘土の活性度，路盤・路床，ＣＢＲ，土中水の特徴と分類，現場透水試験，成層地盤の異方透水性，毛管現象，サクション，凍上，地盤内応力の増加とそれに伴う地盤の変形，長方形等分布荷重，帯状荷重，台形帯状荷重，ブシネスク式，各種の近似計算法，圧力球根，極限解析，上界・下界法，有限要素解析，単純せん断試験，リングせん断試験，ベーンせん断試験，応力径路，ひずみ軟化・ひずみ硬化，ピーク強度・残留強度，限界状態理論，カムクレイモデル，繰返し載荷，動的変形特性，地盤改良工法，擁壁，水抜き孔，土留め矢板，トンネル，埋設管・地下構造物，深い基礎・杭基礎の支持力式，ネガティブ・フリクション，群杭，ケーソン，標準貫入試験，コーン貫入試験，スウェーデン式貫入試験，物理探査，摩擦円法，テイラーの安定図表，盛土，切土，法面工，地すべり，がけ崩れ，落石・岩盤崩壊，土石流，

砂防対策，汚染物質の移流・拡散，地盤の浄化，廃棄物の処分と活用，構造・地質，岩石分類，地殻変動，変成作用，プレートテクトニクス，地震，断層，火山

到達目標

・路盤・路床およびＣＢＲの概念について説明できる．
・地盤改良について説明できる．
・毛管現象と凍上について説明できる．
・深い基礎の支持力とネガティブ・フリクションについて理解している．
・カムクレイモデルならびに限界状態理論の概要について理解している．
・半無限斜面を仮定した安定解析や円弧すべり機構を仮定した安定解析ができる．
・斜面防災を扱う上で必要な各種の基礎的事項について理解している．
・地盤環境問題を扱う上で必要な各種の基礎的事項について理解している．
・実務において地盤工学にかかわる諸課題を解決するために広く応用されている地質学の各種の基礎的事項について理解している．

４．「水工学」

【コア】

＜キーワード＞単位系，密度，比重，表面張力，粘性，静水圧（表現，強さ，作用方向，測定方法（マノメーター)），水圧機（パスカルの原理），全水圧（平面と曲面）の大きさと作用点，浮力，アルキメデスの原理，浮体の安定，流体の連続式，完全流体の運動方程式（Eulerの運動方程式)，エネルギー保存則（Bernoulliの定理)，エネルギー保存則（Bernoulliの定理）とその応用（オリフィス，ピトー管，ベンチュリーメータ)，運動量保存則の誘導と応用（曲がった管に作用する力，ゲートや堰に作用する外力，平板にあたる次元噴流，管路に作用する外力，ノズルに作用する力，管の急拡の損失水頭)，抗力，比エネルギー，フルード数，常流と射流，限界水深(ベスの定理，ベランジェの定理)，跳水現象，刃形堰（四角堰，三角堰，台形堰)，広頂堰，潜り堰，層流と乱流，円管内の層流の流速分布（ハーゲン・ポアズイユの法則)，流体摩擦（レイノルズ応力，混合距離）平均流速を用いた基礎方程式，摩擦抵抗による損失水頭の実用公式，ムーディー図，形状損失水頭，単一管路，バイパス管路，分岐管路・合流管路，サイフォンの原理，管網計算，開水路流れの基礎方程式，開水路の等流（平均流速公式，限界水深，等流水深)，水理特性曲線，一様水路における不等流と背水曲線，模型実験と流れの相似則，河川の分類と流域地形，河川流れと河道形状，水の循環，降雨特性，蒸発散，流出過程，流況曲線，流域平均雨量，流出解析法（合理式，単位図法，タンクモデル，貯留関数法，キネマティクウェイブ法)，水文量の確率分布曲線と再現期間，水害，都市型水害と内水処理，河道計画，洪水対策，渇水状況と降水変化，水資源，河川堤防の役割，波の基本的性質，波速，群速度，波力，波圧，海浜流，屈折，回折，浅水変形，砕波，沖波

到達目標

・水工学の歴史と対象とする分野について説明できる．
・水工学で用いる単位系，水の基本的な性質（密度，比重，表面張力，粘性）について説明できる．
・静水圧の表現，強さ，作用する方向，測定方法（マノメーター） について説明できる．
・水圧機（パスカルの原理)，平面と曲面に作用する全水圧の大きさと作用点を計算できる．
・浮力とアルキメデスの原理について理解し，浮体の安定を計算できる．
・流体力学の基礎となる，連続の式について理解し説明ができる．
・完全流体の運動方程式（Eulerの運動方程式）について説明できる．
・エネルギー保存則（Bernoulliの定理）の誘導について説明できる．
・ベルヌーイの定理の応用（オリフィス，ピトー管，ベンチュリーメータ） の計算ができる．
・ベルヌーイの定理の応用（自然現象，河川工学など） について説明できる．
・運動量保存則の誘導 について理解し説明ができる．
・運動量保存則の応用（曲がった管に作用する力，ゲートや堰に作用する外力，平板にあたる次元噴流，管路に作用する外力，ノズルに作用する力，管の急拡の損失水頭）の計算ができる．
・流体中の構造物に作用する抗力の計算ができる．
・比エネルギー，フルード数，常流と射流，限界水深(ベスの定理，ベランジェの定理)，跳水現象

について説明できる．
・刃形堰（四角堰，三角堰，台形堰），広頂堰，潜り堰について説明できる．
・層流と乱流，円管内の層流の流速分布（ハーゲン・ポアズイユの法則）について説明できる．
・流体摩擦（レイノルズ応力，混合距離）について説明できる．
・平均流速を用いた基礎方程式，摩擦抵抗による損失水頭の実用公式，ムーディー図について理解し説明ができる．
・管水路の摩擦以外の形状損失水頭について理解し説明ができる．
・単一管路，バイパス管路，分岐管路・合流管路の流れの計算ができる．
・サイフォンの原理を用いた計算，管網計算ができる．
・開水路流れの基礎方程式について理解し説明ができる．
・開水路の等流（平均流速公式，限界水深，等流水深）について説明できる．
・水理特性曲線と水理学的に有利な断面について説明できる．
・一様水路における不等流と背水曲線について理解し説明ができる．
・模型実験と流れの相似則について説明できる．
・文明社会と河川の利用，河川の管理と整備について説明できる．
・河川の分類と流域地形，河川における流れ作用と河道形状について説明できる．
・水の循環，雨が降る仕組み，我が国の降雨特性について説明できる．
・蒸発散，流出過程，流況曲線について説明できる．
・水文量の観測方法を説明でき，流域平均雨量を計算できる．
・流出解析法（合理式，単位図法，タンクモデル，貯留関数法，キネマティクウェイブ法）について説明できる．
・水文量の統計的性質，確率分布曲線と再現期間について説明できる．
・水害の特性とその変遷，河道計画の策定，河道およびダムによる洪水対策について説明できる．
・都市型水害と内水処理の対策について説明できる．
・近年の渇水状況と降水の変化，日本及び世界の水資源の現況について説明できる．
・河川堤防の役割，波の基本的性質について説明できる．
・海岸災害の種類と現状，海岸保全技術の歴史と現状を説明できる．
・海洋・海岸構造物の種類と機能を説明できる．
・分散の式を用いて，波長の計算ができる．
・代表波(有義波高・周期)の説明ができ，計算ができる．
・気象条件から波浪推算ができる．
・海岸近くの流れと水理現象を説明できる．
・海岸構造物の設計における波の変形の取り扱い方法を説明できる．

学修に当たっての配慮事項
・水系領域は，水の物理的性質および静水力学と流体力学の基礎理論を学び，各種の水際構造物の設計を行うための計算理論を学ぶ領域である．
・水理分野は，開水路と管水路の流れの理論，開水路の非定常流れの理論について説明できること．
・河川分野は，川の流れの基本的性質を理解し，流出量や水文量が計算でき，治水・利水・環境に関する河川の諸問題について説明できること．
・海岸分野は，波の基本的性質について説明できること．

【要望】

＜キーワード＞開水路，河床形態，限界掃流力，掃流砂量公式，浮遊砂量公式，河床変動，感潮河川

到達目標
・開水路における非定常流の基礎方程式について理解し説明ができる．
・河床形態，限界掃流力，掃流砂量公式，浮遊砂量公式，河床変動について説明できる．
・河口部における水理現象について説明できる．

５．「土木計画学・交通工学」

５－ａ　測量学

【コア】

＜キーワード＞距離測量，トランシット測量，角測量，トラバース測量，三辺測量，平板測量，三角測量，水準測量，面積と体積の計算，地形測量，路線測量，写真測量，リモートセン

シング，GPS 測量，誤差論，測量で使う数学，実習

到達目標

・測量に関する，目的，方法および法律による分類を説明できる．
・測量体系（国家基準点等）を説明できる．
・平坦地および傾斜地の距離測量を説明でき，器具を使って測量し，その結果から計算できる．
・巻尺の種類と特性を理解し，測量結果から計算できる．
・光波・電波による距離測量を説明できる．
・トランシット測量と角測量について，器械を据え付けて，取扱うことができる．
・単測法，倍角法および方向法を説明でき，測量結果から計算できる．
・トラバース測量と三辺測量について，種類，手順および方法を説明し，器械を据え付けて，取扱うことができる．
・結合トラバースや閉合トラバースを計算できる．
・平板測量について，器械を据え付けて，取扱うことができる．
・アリダードによる間接水準測量を説明できる．
・三角測量について，原理と三角網の種類を説明できる．
・四辺形鎖および単列三角鎖を計算できる．
・水準測量について，器械を据え付けて，取扱うことができる．
・昇降式および器高式による直接水準測量を説明でき，測量結果から計算できる．
・三角区分法，座標法，倍横距，シンプソン法則や台形法則による面積計算を説明でき，測量結果から計算できる．
・断面法や点高法による体積計算を説明でき，測量結果から計算できる．
・等高線の性質を理解し，地形図を説明できる．
・地形測量の方法を説明できる．
・単心曲線，緩和曲線および縦断曲線の測設を説明でき，測量結果から計算できる．
・写真測量の原理（特殊点，ひずみ，縮尺など）や方法と撮影について説明できる．
・比高の測定を説明でき，測量結果から計算できる．
・計測プラットフォーム，計測センサー，放射･反射の理論を説明できる．
・衛星データを説明できる．
・測量に用いる座標系を説明できる．
・GPS 測量の原理と方法を説明でき，測量結果から計算できる．
・有効数字，数値の丸め方を説明でき，これを考慮した計算できる．
・測量における誤差の種類を説明でき，これを考慮した計算できる．
・最小二乗法の原理を説明でき，これを考慮した計算できる．

学修に当たっての配慮事項

・各種測量の目的，性質，手順，および器械や器具の構造を理解し，その基礎的な知識を習得するとともに，取り扱える技能を有するように配慮する．

5－b　土木製図

【コア】

＜キーワード＞図の書き方，CAD，土木製図の規約，設計製図

到達目標

・製図用具の種類を説明できる．
・線と文字の種類を説明できる．
・平面図形と投影図の書き方を説明できる．
・CADハードウエアの種類と機能を理解し,設計した構造物をCADソフトウエアで描くことができる．
・図形要素の作成と修正ができる．
・画層の管理を説明できる．
・図面を出力（印刷）できる．
・図の配置，尺度，表題欄，寸法と寸法線の規約を説明できる．
・与えられた条件を基に設計計算できる．

学修に当たっての配慮事項

・構造物の製図に必要な図法と規約を理解し，また製図用具や CAD を用いて，指針を基に設計と製図を行えるように配慮する．

5－c　土木計画学

【コア】

＜キーワード＞計画の体制，国土・地域・都市の考え方，国土計画の変遷，地域計画の変遷，日本の国土・地域・都市計画の関連法規，地域・都市計画の手続き（策定），土地利用計画，交通と交通施設の計画，公園緑地の計画，防災と景観整備の計画，都市整備の手法，性能指標，確率統計と統計的処理，現象分析と多変量解析，最適化手法，評価

到達目標

・計画の意義と計画学の考え方を説明できる．
・計画の目的論と目標設定を説明できる．
・国土と地域の定義を説明できる．
・全国総合開発計画・国土形成計画の変遷について説明できる．
・大ロンドン計画について説明できる．
・地方圏と過疎地域の計画について説明できる．
・近代都市の特徴と課題について理解し，近代都市計画（西欧と日本）の思想および理念と実際について説明できる．
・全国総合開発計画・国土形成計画の系譜について説明できる．
・都市計画法における地区区域・地区計画および都市施設・開発について説明できる．
・都市計画制限と開発許可について説明できる．
・土地利用計画と交通計画について説明できる．
・国勢調査などの既存のデータや人口と社会経済指標（計画フレーム）を説明できる．
・総合計画とマスタープランについて説明できる．
・区域・地区と土地利用計画を理解し，用途地域の建築規制（建蔽率・容積率・用途規制）について説明できる．
・地域･都市交通計画の基本概念について説明できる．
・交通量調査，交通実態調査，交通需要推計（段階推計法）について説明できる．
・軌道と新交通システムについて説明できる．
・緑化と環境整備（緑の基本計画）について説明できる．
・公園緑地の種類と役割について説明できる．
・風景，景観と景観要素について説明できる．
・都市の防災構造化について説明できる．
・土地区画整理事業について説明できる．
・市街地開発・再開発事業について説明できる．
・二項分布，ポアソン分布，正規分布（和・差の分布），ガンベル分布，同時確率密度関数について説明できる．
・重回帰分析，線形計画法とその図解法，シンプレックス法と双対性，および費用便益分析について考え方を説明できる．

学修に当たっての配慮事項

・国土・地域・都市の各計画の歴史を理解し，今後の土地利用・交通・防災に関する計画を立案できるように配慮する．また，都市計画と交通計画に必要な統計計算ができるように配慮する．

5－d　交通工学

【コア】

＜キーワード＞交通計画，交通調査，交通需要予測，ボトルネック，OD 表，トリップ，交通事故，交通静穏化，信号制御

到達目標

・道路の種類，計画と整備，管理について説明できる．
・交通流，交通量の特性，交通容量について説明できる．
・パーソントリップ調査や四段階推計法について説明できる．
・都市交通問題の現状とそれを解決するための交通施策を説明できる．

学修に当たっての配慮事項

・自動車交通にとどまらず，すべての交通体系の実態分析，需要予測，計画と評価，および運営に関する手法・理論が身につくように配慮する．

【要望】

＜キーワード＞最小二乗法の重み，測量の誤差伝搬

到達目標

・最小二乗法の応用（重み・条件付き）を説明できる．
・測量の誤差伝搬の法則を説明できる．

６．「土木環境システム」

【コア】

＜キーワード＞地球環境問題，地球温暖化，ヒートアイランド，オゾン層破壊，酸性雨，熱帯林減少，砂漠化，土壌劣化，野生生物の種の減少，海洋汚染，化学物質の管理，有害物質の越境問題，物質循環，地球資源問題，環境容量，環境と人の健康，水の循環，水質指標，水質汚濁（発生源と移動過程）原単位，発生負荷，水域生態系と水質変換過程（自浄作用，富栄養化，生物濃縮等），水質汚濁防止と水質管理計画（施策，法規等），水道計画（基本計画，給水量，水質，水圧等），水道施設（取水・導水・浄水・送水・配水・給水等），浄水の単位操作（凝集，沈澱凝集，濾過，殺菌等）下水道の役割と現状，汚水処理，下水道の基本計画と施設計画，生物学的排水処理の基礎(好気的処理)，下水処理施設の設計，廃棄物（発生源，収集・処理・処分，減量化・再資源化，対策（施策，法規等)），環境影響評価（指標と基準)，リスクアセスメント，ライフサイクルアセスメント，環境科学（溶解度，化学平衡，反応速度，熱力学等)，生命資源とその獲得，生態系の構造と機能，生物多様性，生態系の保全手法と施策，微生物（定義，エネルギー獲得機構，増殖速度，収率，酵素反応速度，自由エネルギー等)，土壌汚染（現状，浄化と修復，対策）

到達目標

・地球環境問題の歴史を理解している．
・地球温暖化，ヒートアイランド現象，オゾン層の破壊，酸性雨，熱帯林の減少，砂漠化・土壌劣化，野生生物の種の減少，海洋汚染を説明できる．
・化学物質の管理，有害物質の越境問題，開発途上国の環境問題を説明できる．
・物質循環，地球資源問題，環境容量を理解している．
・環境と人の健康との関わりを理解している．
・過去に生じた公害の歴史とその内容（環境要因と疾病の関係）を理解している．
・水の物性，水の循環を理解している．
・水質指標を説明できるとともに，水質汚濁の現状を理解している．
・水質汚濁物の発生源と移動過程を説明でき，原単位，発生負荷を含めた計算ができる．
・水域生態系と水質変換過程（自浄作用，富栄養化，生物濃縮等）を説明できる．
・水質汚濁の防止対策・水質管理計画（施策，法規等）を理解している．
・水道の役割・種類とともに，水道計画（基本計画，給水量，水質，水圧等）を説明でき，これに関する計算ができる．
・水道施設（取水・導水・浄水・送水・配水・給水等）を理解している．
・浄水の単位操作（凝集・沈澱凝集，濾過・殺菌等）を説明できる．
・下水道の役割と現状，汚水処理の種類を理解している．
・生物学的排水処理の基礎(好気的処理)を理解している．
・下水道の基本計画と施設計画，下水道の構成を説明でき，これに関する計算ができる．
・下水処理施設の設計を説明できるとともに，計算ができる．
・廃棄物の発生源と現状を理解している．
・廃棄物の収集・処理・処分，減量化・再資源化を理解している．
・廃棄物対策（施策，法規等）を理解している．
・環境影響評価の目的，その現状（事例など）を理解している．
・環境影響指標，各種基準・目標の設定根拠を理解している．
・リスクアセスメント，ライフサイクルアセスメントを理解している．
・環境科学における，溶解度，化学平衡，反応速度を理解し，計算ができる．
・生態工学における，生命資源と資源の獲得を理解している．
・生態系の構造と機能を説明できる．
・生物多様性の危機を理解している．

・生態系の保全手法，自然生態系を守るための施策を理解している．
・微生物の定義（分類，構造，機能等）を説明できる．
・微生物のエネルギー獲得機構，微生物の増殖速度，収率を理解している．
・微生物の酵素反応速度，自由エネルギーを理解している．
・物質循環と微生物の関係を理解している．
・土壌汚染の現状を理解している．
・土壌の浄化と修復方法，土壌汚染対策を理解している．

学修に当たっての配慮事項

・環境系領域は，地球環境問題，公害に関する基礎知識を習得し，これらと社会基盤整備事業の関連を理解する領域である．なかでも，上水，下水に関する学習内容では，基礎知識を習得し，浄水や下水処理の設計ができる．さらに各種問題に対する環境影響評価を理解し説明ができる．

【要望】

＜キーワード＞大気汚染（発生源，人体・動植物への影響，気象，濃度予測，除去方法，防止対策（施策，法規等)），悪臭，音の基礎（音波，音圧，波長等)，騒音（発生源，人体への影響，伝播と予測，測定と計算，評価，防止対策）

到達目標

・大気汚染，悪臭の現状と発生源を説明できる．
・大気汚染による人体・動植物への影響を理解している．
・大気汚染と気象を理解している．
・大気汚染物質の濃度予測や除去方法を理解している．
・大気汚染の防止対策（施策，法規等）を理解している．
・音の基礎（音波，音圧，波長等）を説明できる．
・騒音の発生源と現状，評価を説明できる．
・騒音による人体への影響を理解している．
・騒音の伝播と予測を説明でき，計算できる．
・騒音の測定方法と計算方法を理解し，測定値から騒音評価ができる．
・騒音の防止対策（施策，法規等）を理解している．

６－５．化学分野

６－５－１．まえがき

本報告書は，社会が求める実践的技術者教育における分野別の化学分野のカリキュラムに焦点をしぼり，学士課程において修得すべき知識や理解およびこれらを具体的課題に適応する能力について，その範囲とレベルを，項目や到達目標，学修に当たっての配慮事項を提示するものである．

技術者教育における化学を基本とする学科で学ぶ技術者教育分野で，専門分野として確立し最も共通性の高い，有機化学，無機化学，物理化学，分析化学，化学工学，反応工学の６分野について，コア（必ず履修すべき分野，項目で，必須事項）と要望（できれば履修させたい分野，項目）に分けて，到達目標を提示した．

平成23年12月から平成24年1月まで行ったパブリックコメントの募集で85件の意見を頂いた．これらに対してはそれぞれの専門の方々の意見を取り入れる形で項目の入れ替え，キーワードの改訂などを行った．パブリックコメントを考慮した結果，キーワード及び配慮事項はコアと要望で区別すべきでないとの結果に至った．そこで今回の報告書では，到達目標はコア，要望を分けて提示するが，それ以外の項目である分野，項目，到達目標及び学修に当たっての配慮事項は区別する事なく提示する．当初はコアと要望でキーワードを分けていたが，両方に同じキーワードを登場させ，コアで概念をしっかりと理解し課題解決に適用できるとし，要望ではコアの能力を発展させ課題解決に必要な解析ができるとした．

学士課程での化学教育に求められる教育内容（分野や項目）を，項目の関連性（教育順序）をある程度は考慮して列挙している．ただし，各大学や学科の諸事情に応じて順序を変更することは当然あり得る．また，分野は教育科目を意味するものではない．教育科目への割り当て（すなわち，カリキュラムやシラバス作成）に際しては，必要に応じて分割，統合して割り当てることも可能である．どの学年に，どの分野をどの範囲まで割り当てるか，なども各大学の教育方針やスタッフなどの諸事情に応じて決まるものである．

当プロジェクトは，ここに記載する分野と項目を，いわば技術者教育の化学に関するコアカリキュラムとして定着させることを目指している．JABEE などを「教育プログラムの認定」とすれば，本報告の内容は「具体的な教育コンテンツの基礎的な提言」という意味合いを有する．

改訂版ブルーム・タキソノミーに基づいた「学びの深さ」に基づいて，一覧表で示した学修内容の到達目標は，コアでは必要項目を理解した上で応用する事ができ，要望では関連する課題の解決するための分析する事ができるとした．6分野毎のコアと要望を詳細に記載した箇条書き版では，出来るだけ具体的に「　　できる」と言った表現を用いた．

本報告の分野と項目，到達目標などを共通ターゲットとした厳格な評価手法が確立される事が大切である．到達目標と評価が揃う事で，PDCAが可能となり，世界をリードする日本の技術者教育を世界に示す事ができ，日本の化学工業に関連する産業を担う技術者の質保証を強力に後押しすることができるものと考えられる．

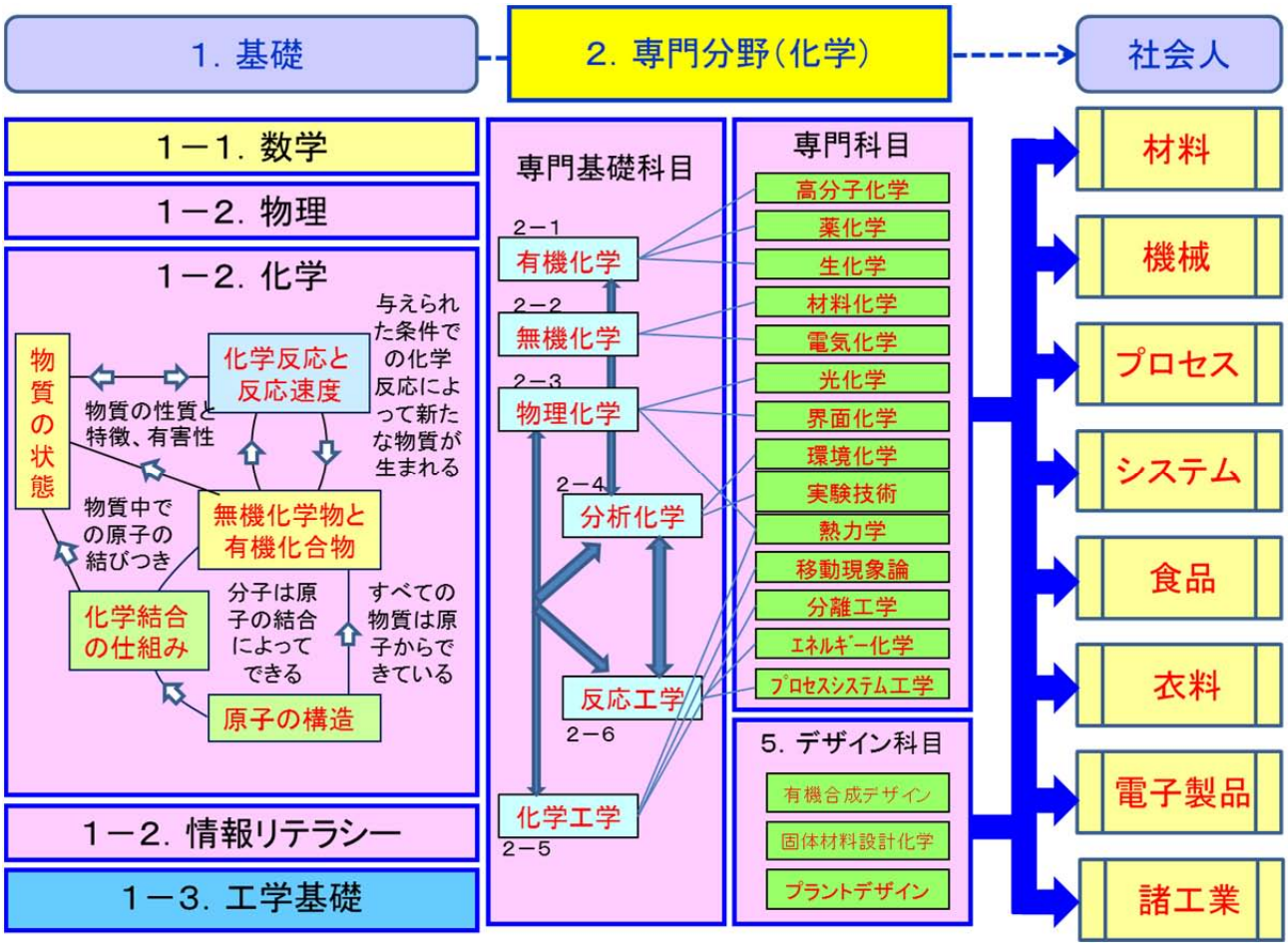


図６－５　化学分野科目間関連図

6－5－2. 化学分野　（技術者教育において育成すべき知識・能力と，その到達目標）

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">育成すべき知識・能力</th><th colspan="4">到達目標</th></tr>
<tr><th colspan="2">コ　ア</th><th colspan="2">要　望</th></tr>
<tr><td rowspan="3">1.基礎</td><td>1-1.数学</td><td rowspan="3">自然科学の法則を工学問題に適用し，解くことができる．
単位で表された数値が実感で理解できる．</td><td>微分・積分，微分方程式，線形代数，複素関数の基礎知識や概念を数学的問題に適用できる．</td><td rowspan="3">自然科学の法則を工学問題に適用し，解いた結果の分析により，問題解決に必要な課題の構造を明らかにすることができる．
単位で表された数値が実感で理解できる．</td><td>微分・積分，微分方程式，線形代数，複素関数の基礎知識や概念を工学問題に適用し，問題解決に必要な分析をすることができる．</td></tr>
<tr><td>1-2.物理学等自然科学
（物理，化学，情報リテラシー，地学，生物）</td><td>力学，電磁気学，熱力学，生化学等の自然科学の知識や概念を工学問題に適用できる．</td><td>力学，電磁気学，熱力学等の自然科学の知識や概念を工学問題に適用し，問題解決に必要な分析をすることができる．</td></tr>
<tr><td>1-3.工学基礎</td><td>基幹工学（機械工学概論，電気・電子工学概論等），工学基礎実験・計測，数値解析等の基礎知識を工学問題の実験や解析に適用できる．</td><td>基幹工学（機械工学概論，電気・電子工学概論等），工学基礎実験・計測，数値解析等の基礎知識を工学問題に適用し，問題解決に必要な分析をすることができる．</td></tr>
<tr><td rowspan="6">2. 専門分野</td><td>2-1.有機化学</td><td colspan="2">有機化学を構造と結合，官能基と化学的性質との関係から理解し，それらの知識と概念を工学問題に適用できる．</td><td colspan="2">有機化学の知識を工学問題の解決に適用できるとともに，高分子化学，薬化学，生化学等の専門分野の基礎知識を有し工学的課題の問題解決に必要な分析をすることができる．</td></tr>
<tr><td>2-2.無機化学</td><td colspan="2">無機化学を元素毎に周期表を用いて理解し，さらに化学的性質との関係を体系的に理解すると共に，それらの知識と概念を工学問題に適用できる．</td><td colspan="2">無機化学の知識を工学問題の解決に適用できるとともに，材料化学，電気化学等の専門分野の基礎知識を有し工学的課題の問題解決に必要な分析をすることができる．</td></tr>
<tr><td>2-3.物理化学</td><td colspan="2">熱力学と化学平衡論を理解し，さらに物質の三態と相変化について，気体の状態方程式，液体における分子間力および固体の結晶構造や界面現象の点から理解すると共に，それらの知識と概念を工学問題に適用できる．</td><td colspan="2">物理化学の知識を工学問題の解決に適用できるとともに，光化学，界面化学等の専門分野の基礎知識を有し工学的課題の問題解決に必要な分析をすることができる．</td></tr>
<tr><td>2-4.分析化学</td><td colspan="2">酸塩基反応，錯形成反応，沈殿反応，酸化還元反応などの溶液内化学反応をもとにした分離，定量法および基礎的な機器分析法について，体系的に理解すると共に，それらの知識と概念を工学問題に適用できる．</td><td colspan="2">分析化学の知識を工学問題の解決に適用できるとともに，環境化学，実験技術等の専門分野の基礎知識を有し工学的課題の問題解決に必要な分析をすることができる．</td></tr>
<tr><td>2-5.化学工学</td><td colspan="2">物質収支とエネルギーについて収支計算ができ，流体や熱輸送に関わる流動状態や伝熱の理解とその測定，さらに分離操作における気・液平衡や蒸留手法などについて理解すると共に，それらの知識と概念を工学問題に適用できる．</td><td colspan="2">化学工学の知識を工学問題の解決に適用できるとともに，熱力学，移動現象論，分離工学等の専門分野の基礎知識を有し工学的課題の問題解決に必要な分析をすることができる．</td></tr>
<tr><td>2-6.反応工学</td><td colspan="2">化学反応速度を定量的に解析する方法を習得し，発熱あるいは吸熱により反応温度が変化する非等温反応や気固，気液反応の速度解析と反応器設計の概念を理解すると共に，それらの知識と概念を工学問題に適用できる．</td><td colspan="2">反応工学の知識を工学問題の解決に適用できるとともに，エネルギー化学，プロセスシステム工学等の専門分野の基礎知識を有し工学的課題の問題解決に必要な分析をすることができる．</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3.汎用的技能
（応用的能力）</td><td>3-1.課題発見・解決力，論理的思考力</td><td colspan="2">日常生活の中にも化学に立脚する事は多い．
課題発見，情報の収集と分析，課題解決，などの手法を用い，化学分野の工学問題の課題を挙げ，その問題の構造を分析できる．</td><td colspan="2">課題発見，情報の収集と分析，課題解決，などの手法を用い，化学分野の工学問題の課題を挙げ，その問題の構造を分析し，複数の解を提案し，その中から最良の解を選ぶことができる．</td></tr>
<tr><td>3-2.コミュニケーション・スキル</td><td colspan="2">他人の意見を分析・理解できるとともに，自らの意見を論理的な文書や口頭説明として整理し，まとめることができる．
英語等の外国語を用いて日常的な意見交換ができる．

理工系作文技法を修得し，適切な書式方法によって工学的プレゼンテーション資料を用意できる</td><td colspan="2">他人の意見を分析・理解し，自らの意見を論理的な文書や口頭説明として整理し，これを相手の理解力を考慮して評価し，まとめることで，相手に自分の意見を納得させることができる．
英語等の外国語を用いて実務に関する意見・情報の交換ができる．</td></tr>
<tr><td rowspan="4">4.態度・志向性
（道徳的能力）</td><td>4-1.チームワーク，自己管理力，リーダーシップ，チャンスを活かす能力</td><td colspan="2">自分に与えられた仕事を実行するために，やるべき事を分析し，自己の体調・時間を管理できる．
同分野の専門家であるチームメンバーと意見交換を行い，チーム内での自らのなすべき行動を分析し，これを実行することができる．</td><td colspan="2">自分のやるべき事を評価・認識し，自己の意欲・体調・時間・予算を管理することでこれを実行できる．
同分野あるいは異分野の専門家のチーム作業において，なすべき行動を評価・実行できるとともに，リーダーとしてメンバーに働きかけることができる．</td></tr>
<tr><td>4-2.倫理観</td><td colspan="2">技術者倫理の基本原則を一般的な問題に適用できる．

化学物質が持つリスクや法規制・知的財産権などの枠組みを理解し，環境・経済と工学の相反について考察・適用できる．</td><td colspan="2">技術者倫理の基本原則を用いて実務の場でとるべき倫理的行動を考えることができる．

化学とそれを生み出す化学技術が現代社会，環境・経済に及ぼす影響を理解し，技術者として倫理的判断能力に基づいて探るべき方策に適用できる．</td></tr>
<tr><td>4-3.市民としての社会的責任</td><td colspan="2">社会・健康・安全・法律・文化・環境などに関する知識を，一般的な問題の解決の際に適用できる．

現代社会，環境・経済と工学との関連についての基礎知識を有し，エンジニアとして物質・プロセス等の安全性を理解・適用できる．</td><td colspan="2">社会・健康・安全・法律・文化・環境などについての考慮を実務の場に適用し，とるべき行動を考えることができる

化学とそれを生み出す化学技術が現代社会，環境・経済に及ぼす影響を化学技術者としての安全性，信頼性に基づいて理解・適用でき，化学記号をもとに専門家以外にも平易な解説ができる．</td></tr>
<tr><td>4-4.生涯学修力</td><td colspan="2">化学エンジニアとして自己認識が出来，自主的に生涯にわたって学修する必要性と方法を理解している．</td><td colspan="2">自主的に生涯にわたって学修する必要性と方法を理解し，それを実際の活動に適用し，意欲を持って実行している．

工業化学分野の継続的な深化と発展を理解し，その知識とスキルを適用できる．</td></tr>
<tr><td>5.総合的な学習経験と創造的思考力</td><td>5.創成能力（システム設計）</td><td colspan="2">各種の外的・内的制約条件と，問題解決のために解くべき課題を挙げ，この課題を整理・分析して，制約条件下で課題を解決できる最適解を評価・提案できる．

有機化合物及び無機化合物の合成手法の知識を修得し，設計の目的と概念を理解・分析し，適用できる．</td><td colspan="2">各種の外的・内的制約条件と，問題解決のために解くべき課題を挙げ，制約条件下で課題を解決できる最適解を見出し，これに基づいて，複合的な工学的問題の創造的解決を図ることができる．

デザイン手法を理解・分析し，実際の課題の要求に合致した有機・無機化合物の合成法を創造し，化学実験装置を設計できる．</td></tr>
</table>

６－５－３．化学分野の到達目標と学修に当たっての配慮事項

化学分野の到達目標と学修に当たっての配慮事項は，次の６科目について示す．

１．「有機化学」
２．「無機化学」
３．「物理化学」
４．「分析化学」
５．「化学工学」
６．「反応工学」

１．「有機化学」

有機化学を構造と結合から理解し，官能基と化学的性質との関係を理解できるようにする．

１）混成軌道と共有結合及びアルカン

＜キーワード＞アルカン，シクロアルカン，命名法，混成軌道

到達目標

【コア】

・有機化学を学ぶ上で周期表や，他元素と１４属である炭素原子との違いを理解できる．
・SP^3，SP^2，SP 混成軌道およびσ結合とπ結合を理解できる．
・アルカン，シクロアルカンの構造と立体化学がわかる．

【要望】

・SP^3，SP^2，SP 混成軌道の概念を理解できる．

学修に当たっての配慮事項

・有機化学を学ぶ上で周期表を理解し，他元素と炭素との違いを理解させる．SP３，SP２，SP の混成軌道の概念および共有結合を理解できるよう配慮できる．更にアルカン，シクロアルカンの構造と立体化学を理解できるように配慮する．

２）ハロゲン化アルキルと求核置換反応

＜キーワード＞立体化学，ハロゲン化アルキル

到達目標

【コア】

・有機化合物の立体化学の概念として，分子の対称性やキラリティー，ジアステレオマー，ラセミ体の概念を理解できる．
・第１級，第２級，第３級ハロゲン化アルキルの違いを理解できる．
・求核置換反応による求核剤と脱離基が理解できる．

【要望】

・ハロゲン化アルキルを用いた SN１，SN２反応の違いならびに脱離反応の概念を理解できる．

学修に当たっての配慮事項

・有機化合物の立体化学の概念を理解できる．第１級，第２級，第３級ハロゲン化アルキルの違いを理解した上で，ハロゲン化アルキルを用いた SN１，SN２反応の違いならびに脱離反応概念を理解できるように配慮する．

３）アルケン・アルキンの反応と反応機構

＜キーワード＞アルケン，アルキン，求電子付加反応，共役ジエン，ラジカル反応

到達目標

【コア】

・アルケンおよびアルキンの命名法および構造と反応性を理解でき，求電子付加反応の機構がを理解できる．
・カルボカチオンの種類（第１級，第２級，第３級）と安定性の概念を理解できる．

【要望】

・ラジカル付加機構を理解できる．
・共役ジエンへの求電子付加反応を理解できる．

学修にあたっての配慮事項

・アルケン，アルキンの命名法と構造式との関連を理解し，さらに求電子付加反応の機構を理解し，カルボカチオンの種類（第１級，第２級，第３級）と安定性の概念を理解できるように配慮する．

４）芳香族化合物の性質と反応

＜キーワード＞芳香族化合物，芳香族求電子置換反応，求核アシル置換反応

到達目標

【コア】

・芳香族化合物の命名法および構造とヒュッケル則と芳香族性を理解できる，電子求引性基と供与性基による置換基効果を理解できる．

・置換フェノールの酸性の強さや置換ベンゼンの反応性が理解できる．

【要望】

・芳香族求電子置換反応および反応機構を理解でき，求核アシル置換反応を理解できる．

学修にあたっての配慮事項

・芳香族化合物の命名法と構造式との関連を理解し，さらに求電子置換反応の機構を理解する．芳香族求電子置換反応に対する置換基効果を理解できるように配慮する．

５）官能基の性質とその反応

＜キーワード＞アルコール，フェノール，アルデヒド，ケトン，エーテル，エポキシド，カルボン酸，カルボニル，アミン，チオール，スルフィド

到達目標

【コア】

・アルコール，アルデヒド・ケトン，エポキシド，カルボン酸およびアミン化合物の命名法および構造，性質を理解できる．

・カルボン酸及び誘導体の酸性度に関する置換基効果及び反応性の大きさを理解できる．

【要望】

・アルコールとエーテルそしてアルデヒドとケトンの製造法及び反応を理解できる．

・アミン及びアミン誘導体の塩基性及び製造方法を理解できる．

・チオールとスルフィドの合成と反応性，カルボニルの置換反応，縮合反応を理解できる．

学修にあたっての配慮事項

・様々な置換基の科学的な性質を理解し，他置換基への変換方法及び種々の反応の機構を理解できるように配慮する．

６）有機金属

＜キーワード＞金属カルボニル，グリニャール試薬，有機金属

到達目標

【コア】

・金属カルボニル，フェロセン，グリニャール試薬などの有機金属が理解でき，遷移金属を含む有用有機金属触媒が理解できる．

【要望】

・産業で用いられている有機金属触媒を理解でき応用できる．

学修にあたっての配慮事項

・金属カルボニル，フェロセン，グリニャール試薬などの重要な有機金属に関して理解させる．パラジウムなど有用な有機金属触媒に関して十分に理解できるように配慮する．

２．「無機化学」

無機化学を元素毎に周期表を用いて理解し，化学的性質との関係を体系的に理解できるようにする．

１）電子配置と分子軌道，元素の周期性

＜キーワード＞化学結合，電子配置，分子軌道，元素の周期性

到達目標

【コア】

・無機化学を学ぶ上で周期表，原子状態の電子配置，殻および族の概念を理解し，化学結合を理解

できる．
・無機分子の分子軌道及び立体構造の概念を理解できる．
学修にあたっての配慮事項
・無機化学を学ぶ上で原子の構造と元素の周期性を理解する．原子状態での電子配置の概念とK,L M,N 殻の概念を理解し，更に VSEPR 則に基づいて無機分子の立体構造について理解させ，無機分子の分子軌道及び立体構造について理解させる．

２）酸・塩基，酸化還元，典型元素，結晶構造

＜キーワード＞酸・塩基の概念，酸化還元，結晶構造，格子エネルギー

到達目標

【コア】

・酸・塩基の価電子，規定度，酸解離定数，水素イオン指数などを用いて酸および塩基の定義及び強さを理解でき，酸化・還元および族ごとに典型元素の性質を理解できる．

【要望】

・結晶構造の概念を基本とし格子エネルギーを理解できる．

学修にあたっての配慮事項

・規定度，酸解離定数，水素イオン指数などを用いて酸塩基を理解させる．酸化・還元反応を理解させ，典型元素について十分に理解するように配慮する．

３）遷移元素と錯体と錯体の立体化学

＜キーワード＞遷移元素，錯体，配位子

到達目標

【コア】

・無機化合物を学ぶ上で重要な遷移元素を理解し，錯体および配位子の概念を理解できる ．
・錯体の命名，結合様式や化学式の記述法を学び，その立体化学を理解できる．

学修にあたっての配慮事項

・無機化合物を学ぶ上で重要な遷移元素を理解し，さらに錯体の命名や化学式の記述法を学ぶ．錯体の結合様式や立体構造を理解できるように配慮する．

４）錯体の磁性と色，d－d 遷移と置換基活性，逆配位

＜キーワード＞磁性，電子移動，配位子場，d－d 遷移，置換活性・不活性，逆配位

到達目標

【コア】

・錯体の磁性についての基本概念を理解でき，錯体の色と d－d 遷移の概念と配位子の違いによる軌道エネルギーの変化について理解できる ．
・配位子場理論を理解できる．

【要望】

・電子移動の概念および置換活性・不活性を理解できる．
・レアメタルの実情を理解でき，工業的課題を分析できる．
・金属の d 電子が配位子の空軌道に配位する逆配位を理解できる．

学修にあたっての配慮事項

・錯体の磁性についての基本概念を理解させる．配位子場理論を理解したうえで錯体の色がｄ－ｄ遷移から生じている事，配位子により軌道エネルギーレベルが変化する概念を理解させるように配慮する．配位子場理論を理解したうえで，金属の d 電子が配位子の空軌道に配位する逆配位について理解できるように配慮する．

３．「物理化学」

原子，電子，エネルギーなどの基本概念に基づき様々な自然現象が物質の物理的な原理によって説明できることを学ぶ．熱力学と反応速度論を理解し，さらに物質の三態と相変化について，気体の状態方程式，液体における分子間力および固体の結晶構造や界面現象の点から理解する．

１）熱力学

＜キーワード＞熱力学第一法則，熱力学第二法則，内部エネルギー，エントロピー，エンタルピー，

ギブス自由エネルギー

到達目標

【コア】

・エネルギーの保存及び熱力学の第一，第二と第三法則を理解でき，熱力学量変化について基本的な計算ができる．

・内部エネルギーとエンタルピーの概念を身に付け，ギブスの自由エネルギーの概念を理解できる．

【要望】

・内部エネルギーとエンタルピーおよびギブスの自由エネルギーに基づく計算ができる．

学修にあたっての配慮事項

・熱力学の基本項目の理解につとめ，熱から仕事，仕事から熱のようなエネルギー変換を取り扱う事が多い事を理解させるとともに，熱力学量変化について基本的な計算ができるように配慮する．

２）化学反応論

＜キーワード＞相平衡，反応速度，速度定数

到達目標

【コア】

・化学反応が平衡に達する理由や反応における最終的な組成及び相平衡について相転移と相図が理解できると共に，化学平衡の原理を理解でき，初歩的計算ができる．

・内部エネルギーとエンタルピーの概念を身に付け，ギブスの自由エネルギーの概念を理解できる．

【要望】

・反応速度，速度定数及びその温度依存性に基づく計算ができる．

学修にあたっての配慮事項

・化学反応が平衡に達する理由や反応における最終的な組成に関する理解をすすめ，相平衡，化学平衡について初歩的計算が出来るように配慮し，さらに速度定数についてその意味を把握できるように配慮する．

３）気体の状態方程式

＜キーワード＞状態方程式，平均自由行程，分子運動論

到達目標

【コア】

・気体分子運動論を理解し，理想気体と実在気体の違いについて把握すると共に，状態方程式や気体の分子運動論，気体の状態方程式が理解できる．

【要望】

・圧力と体積の関係を表す状態方程式や平均自由行程などの計算ができる．

学修にあたっての配慮事項

・液体や固体の状態と対比させながら，気体分子運動論を理解し，理想気体と実在気体の違いについて把握すると共に，圧力と体積の関係を表す状態方程式や平均自由行程などの計算が出来るように配慮する．

４）液体における分子間力

＜キーワード＞分子間力，蒸気圧，沸騰

到達目標

【コア】

・液体において分子間に働く凝集力などの分子間力・束一性とその特性，蒸気圧や沸騰の概念が理解できる．

【要望】

・水を例に会合などの物理的状態を理解できる．

学修にあたっての配慮事項

・液体において分子間に働く凝集力とその特性について，蒸気圧や沸騰，そして会合などの物理的状態を把握させながら理解するように配慮する．

５）固体の結晶構造および構造化学

＜キーワード＞結晶構造，界面現象，固体の電気的・磁気的性質，分光学

到達目標

【コア】

・固体中の原子，分子が三次元的に積み上げられた結晶構造を理解でき，その種類や性質を把握してＸ線回折法の概念を理解できる．

・量子化学的な考え方に基づいて原子・分子の構造を理解・応用できる．

【要望】

・固体表面における界面現象，固体の電気的，磁気的性質を理解できる．

学修にあたっての配慮事項

・固体中の原子，分子が三次元的に積み上げられた結晶構造について，その種類や性質を把握し，結晶構造の解析法とそれに関連する諸特性の意味を理解し，計算等の応用ができるように配慮する．

４．「分析化学」

物質の化学的な分離，検出などの方法について学ぶ．酸塩基反応，錯形成反応，沈殿反応，酸化還元反応などの溶液内化学反応をもとにした分離，定量法について，体系的に理解できるようにする．

１）単位，器具，濃度，測定値の取扱い

＜キーワード＞定性分析，定量分析，濃度の概念，PH の概念，精確さの概念

到達目標

【コア】

・定性分析と定量分析の基礎および分析に用いる器具や分析に関する単位を理解し，ｐＨについて理解できる．

・溶液と濃度，単位についての概念を理解できる．

・溶液と濃度の概念を理解できる．

【要望】

・溶液と濃度の計算ができる．

・精確さの概念を理解・応用できる．

学修にあたっての配慮事項

・定量分析に関する器具などを含む基礎知識を理解し，得られた測定値に関する取扱までを理解させる．分析に関する単位を理解し，溶液と濃度の概念を十分に理解するように配慮する．

２）酸塩基反応と錯形成反応

＜キーワード＞中和滴定，酸解離，キレート，HSAB 則，錯形成

到達目標

【コア】

・酸，共役塩基，塩基および共役酸の性質を理解でき，酸解離定数や中和滴定等の概念および中和滴定や重量分析を理解し応用できる．

・錯形成反応，キレートに関する基本的概念を理解できる．

【要望】

・錯形成反応，キレートに関する計算ができる．

・錯形成反応の選択性に関する HSAB 則を理解できる．

学修にあたっての配慮事項

・酸および塩基に関する基礎知識を理解し，酸解離定数，中和滴定等の概念を理解させる．溶液と濃度並びに濃度の定義を十分に理解させ，さらに錯形成反応の平衡論，錯形成に関する選択性に関する HSAB 則の概念を理解するよう配慮する．

３）沈殿平衡反応と酸化還元反応

＜キーワード＞液液分配，イオン交換，溶解度積，酸化還元電位，終点決定試薬，電極電位，ネルンストの式

到達目標

【コア】

・液液分配（溶媒抽出），イオン交換，沈殿平衡に関して難溶性沈殿の溶解度，溶解度積等の概念を

理解し，沈殿平衡を含む溶液内平衡の取扱を理解できる．
・酸化還元電位と平衡定数，酸化還元滴定曲線と終点決定試薬を理解し，電極電位とネルンストの式及び酸化還元反応を理解できる．

【要望】

・酸化還元電位と平衡定数，酸化還元滴定曲線と終点決定試薬及び電極電位とネルンストの式及び酸化還元反応に基づく計算と応用ができる．

学修にあたっての配慮事項

・物質収支式及び電荷収支式，質量作用則を理解し，平衡滴定および化学種の平衡濃度を理解し，計算できるよう配慮する．化学的分析法と操作条件を平衡論に基づいて理解できるよう配慮する．

4）機器分析

＜キーワード＞有機分析，無機分析，表面分析

到達目標

【コア】

・UV，IR，NMR，LC・GC・MS・TLC・AAS・ICP・XPS・STM などの各種機器分析装置の概念・原理が理解できる．
・検量線および標準の意義を理解できる．
・簡単な化合物の構造決定ができる．

【要望】

・機器分析の結果を用いて有機及び無機化合物の組成及び構造を特定できる．

学修にあたっての配慮事項

・物質の定性・定量に必要な UV，IR，NMR，LC・GC・MS・TLC・AAS・ICP・XPS・STM などの各種機器分析装置について，それぞれの概念や原理を理解し，それぞれの装置の特徴を利用して化合物の組成と構造の特定が行えるように配慮する．

5．「化学工学」

化学プロセスで必要とされる単位操作について学ぶ．物質収支とエネルギーについて収支計算ができ，流体や熱輸送に関わる流動状態や伝熱の理解とその測定，さらに分離操作における気・液平衡や蒸留手法などについて理解できるようにする．

1）物質収支とエネルギー収支

＜キーワード＞単位と次元，理想気体，実在気体，化学量論，物質収支，エネルギー収支

到達目標

【コア】

・単位と次元がわかり，実在気体の P-V-T 関係や理想気体の法則と化学プロセスとの関わりが理解できる．

【要望】

・物質とエネルギーの移動現象を理解するように物質収支やエネルギーの収支の計算ができ，化学反応式と化学量論を理解できる．

学修にあたっての配慮事項

・化学反応（化学結合の組換え）に関する知識だけではなく，物質とエネルギーの移動現象を理解するように入口と出口における収支計算ができるように配慮する．

2）流動と流体輸送

＜キーワード＞流量と流速，レイノルズ数，流体輸送，所要動力

到達目標

【コア】

・輸送管内の流動状態，流量と流速の測定法を理解した上で流量と流速が計算でき，レイノルズ数から流動状態を判定できる．

【要望】

・流体輸送に関するエネルギー収支や流体輸送のための所要動力が計算できる．

学修にあたっての配慮事項

・化学原料を効率よく輸送するための基礎として，輸送管内の流動状態が理解でき，輸送時の物質

が持つエネルギーがどのように損失するか理解でき，その損失量を計算ができ，輸送機器の基本設計ができるように配慮する．

３）伝熱と熱交換器

＜キーワード＞伝導伝熱，対流伝熱，放射伝熱，熱交換器

到達目標

【コア】

・伝導伝熱と対流伝熱および，伝熱に関するフーリエ式がわかり，管内層流および乱流における熱伝達が理解できる．

【要望】

・物質が持つエネルギー（熱）を理解でき，熱交換器の熱的設計ができる．化学反応に伴なう発熱と吸熱を理解し，反応温度を制御するために行う除熱と給熱計算ができる．

学修にあたっての配慮事項

・化学原料を効率よく処理するための基礎として，物質が持つエネルギー（熱）回収や損失しないような保温などについてエネルギーの移動を理解でき，収支計算ができるように配慮する．

４）物質分離と蒸留

＜キーワード＞単蒸留，フラッシュ蒸留，連続蒸留，蒸留装置，ガス吸収

到達目標

【コア】

・生成物を効率よく分離回収するための基礎として，単蒸留，水蒸気蒸留，減圧蒸留およびガス吸収が理解でき，平衡分離と速度差分離の違いを理解できる．

・蒸留における気－液平衡関係を理解し，理論段数がわかる．

【要望】

・反応物から生成物を効率よく得るための分離操作を理解するための基礎として，分子の平衡関係を利用する平衡分離と移動速度の差を利用する速度差分離に大きく分類できることを理解し，蒸留では気-液平衡関係が理解でき，理論段数を計算できるように配慮する．

６．「反応工学」

化学反応プロセスを効率よく進めるためには化学反応の速度を知り，それに基づいた反応器の設計が必要である．化学反応速度を定量的に解析する方法を習得し，発熱あるいは吸熱により反応温度が変化する非等温反応や気固，気液反応の速度解析と反応器設計を学ぶ．

１）化学反応速度と速度解析

＜キーワード＞素反応，非素反応，定常状態近似，律速段階近似法

到達目標

【コア】

・素反応と非素反応及び量論関係を理解できる．

・定常状態近似法および律速段階近似法を理解できる．

【要望】

・素反応および非素反応について速度式を導出・計算できる．

・定常状態近似法および律速段階近似法に基づき計算できる．

学修にあたっての配慮事項

・素反応および非素反応について速度式を導出し，反応率を基に関係する成分の量的関係を計算できるように近似法を理解し応用できるように配慮する．

２）反応器設計

＜キーワード＞回分反応器，流通式反応器，連続槽型反応器，管型反応器，リサイクル反応器

到達目標

【コア】

・回分反応器および流通式反応器を理解できるとともに連続槽型反応器，管型反応器およびリサイクル反応器の概念と基礎を理解できる．

【要望】

・反応器の形式に応じて適用すべき設計式を選択できる.

学修にあたっての配慮事項

・反応器の形式に応じて適用すべき設計式が選択でき各種反応器を用いて得られた反応データから設計式中のパラメータが決定できるように配慮する.

3）反応系と気固反応

＜キーワード＞複合反応，非等温反応器，気固触媒反応，気固反応

到達目標

【コア】

・複合反応および非等温反応系を理解できる.

・気固触媒反応および気固反応の概念を理解し応用できる.

【要望】

・複合反応および非等温反応系の理解に基づき設計式および反応器設計ができる.

学修にあたっての配慮事項

・複合反応や非等温反応式を理解し，設計式を作成し反応器設計ができるように配慮し，さらに気固反応や気固触媒反応の概念を理解してその応用ができるように配慮する.

4）気液反応と流通反応器

＜キーワード＞流通反応器，液体混合，反応速度式，気液反応，気液固触媒反応

到達目標

【コア】

・流通反応器の液体混合の概念を理解できる.

・気液反応および気液固触媒反応の概念を理解できる.

【要望】

・流通反応器の液体混合に基づき反応速度式を導出できる.

・気液反応および気液固触媒反応の概念に基づき設計式を作成して反応器設計ができ応用できる.

学修にあたっての配慮事項

・気固反応や気液固触媒反応を理解し，設計式を作成して反応器設計ができるように配慮し，さらに流通反応における液体混合を理解し，反応速度式を応用できるように配慮する.

６－６．バイオ分野

６－６－１．はじめに

本報告書は，社会が求める実践的技術者教育における分野別のバイオ分野のカリキュラムに焦点を絞り，学士課程において修得すべき知識や理解およびこれらを具体的課題に適用する能力について，その範囲とレベルを示し，項目，到達目標，学修にあたっての配慮事項を具体的に提示するものである．

技術者教育において，バイオ分野は比較的新しい分野であり，かつ現在もその枠組みが拡大しつつある．日本においては，古くからは発酵工学という微生物利用分野があったが，1970 年代に日本分子生物学会が設立されたのを皮切りに新たな潮流が生まれ，1980 年代には遺伝子工学を利用した工業的物質生産技術が開発され，バイオという新たな分野の確立を見た．その後も，医学，農学，薬学やそれらの学際領域と連携し，他の工学分野の先端技術を取り込みながら，急激な技術の広がりを見せている．情報技術を取り込み，生物についての高速解析を可能にするバイオインフォマティクスや，生物機能を模倣して構造物やデバイスに生かすバイオミメティクス，なども本分野の対象となるであろう．

これらの領域については将来的に組み込む必要があると考えるが，本報告では，最も共通性が高く，専門分野として確立している，有機・無機化学，物理化学，生化学，分子生物学，細胞・微生物学，生物化学工学，の６専門分野に焦点を当てている．これらについては，コア（必ず履修する）と要望（できれば履修させたい）に分けて，到達目標および学修に当たっての配慮事項とともに提示し，配慮事項についてはコアと要望に区別することなく記載する．コアの到達目標は，基礎概念をしっかりと理解し，それを課題解決に適用できること，要望の到達目標は，コアをさらに発展させて課題解決に向けた解析ができることである．

学士課程でのバイオ教育に求められる教育内容を，項目の関連性（教育順序）をある程度は考慮して列挙している．ただし，各大学の諸事情に応じて順序を変更することは当然あり得る．また，専門分野は教育科目を意味するものではない．教育科目への割り当て（すなわち，カリキュラムやシラバス作成）に際しては，必要に応じて分割，統合して割り当てることも可能である．どの学年に，どの専門分野をどの範囲まで割り当てるか，なども各大学の教育方針やスタッフなどの諸事情に応じて決まるものである．

当プロジェクトは，ここに記載する分野と項目を，いわば大学における技術者教育のバイオに関するコアカリキュラムとして定着させることを目指している．JABEE などを「教育プログラムの認定組織」とすれば，本報告の内容は「具体的な教育コンテンツの基礎的な提言」という意味合いを有する．

本報告の分野と項目，到達目標などを共通ターゲットとした厳格な評価手法が確立されれば，日本の技術者のバイオ分野に関する質保証を強力に後押しすることができるものと考えられる．

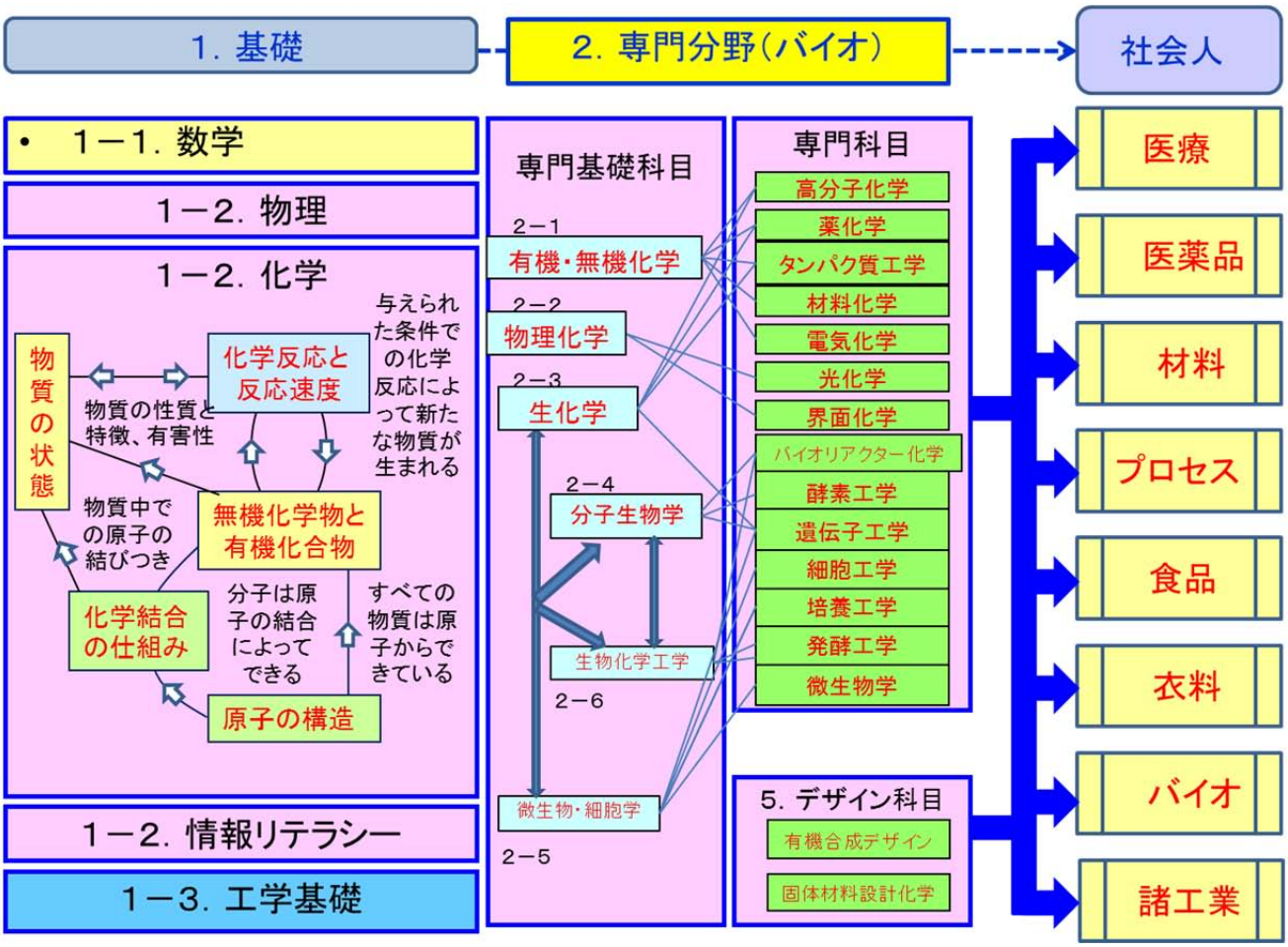


図６－６　バイオ分野の科目間関連図

6－6－2. バイオ分野一覧表　（技術者教育において育成すべき知識・能力と，その到達目標）

育成すべき知識・能力		到達目標			
		コア		要望	
1.基礎	1-1.数学	自然科学の法則を工学問題に適用し，解くことができる． 単位で表された数値が実感で理解できる．	微分・積分，微分方程式，線形代数，複素関数の基礎知識や概念を数学的問題に適用できる．	自然科学の法則を工学問題に適用し，解いた結果の分析により，問題解決に必要な課題の構造を明らかにすることができる． 単位で表された数値が実感で理解できる．	微分・積分，微分方程式，線形代数，複素関数の基礎知識や概念を工学問題に適用し，問題解決に必要な分析をすることができる．
	1-2.物理学等自然科学 （物理，化学，情報リテラシー，地学，生物）		力学，電磁気学，熱力学，生化学等の自然科学の知識や概念を工学問題に適用できる．		力学，電磁気学，熱力学等の自然科学の知識や概念を工学問題に適用し，問題解決に必要な分析をすることができる．
	1-3.工学基礎		基幹工学（機械工学概論，電気・電子工学概論等），工学基礎実験・計測，数値解析等の基礎知識を工学問題の実験や解析に適用できる．		基幹工学（機械工学概論，電気・電子工学概論等），工学基礎実験・計測，数値解析等の基礎知識を工学問題に適用し，問題解決に必要な分析をすることができる．
2. 専門分野	**2-1.有機・無機化学**	**有機化学を構造と結合，官能基と化学的性質との関係から理解し，それらの知識と概念を工学問題に適用できる． 無機化学を元素毎に周期表を用いて理解し，さらに化学的性質との関係を体系的に理解すると共に，それらの知識と概念を工学問題に適用できる．**		**有機化学の知識を工学問題の解決に適用できるとともに，高分子化学，薬化学，生化学等の専門分野の基礎知識を有し，工学的課題の問題解決に必要な分析をすることができる． 無機化学の知識を工学問題の解決に適用できるとともに，材料化学，電気化学等の専門分野の基礎知識を有し，工学的課題の問題解決に必要な分析をすることができる．**	
	2-2.物理化学	**熱力学と化学平衡論を理解し，さらに物質の三態と相変化について，気体の状態方程式，液体における分子間力および固体の結晶構造や界面現象の点から理解すると共に，それらの知識と概念を工学問題に適用できる．**		**物理化学の知識を工学問題の解決に適用できるとともに，光化学，界面化学等の専門分野の基礎知識を有し，工学的課題の問題解決に必要な分析をすることができる．**	
	2-3.生化学	**生命を構成する物質の構造と化学的特性を理解する．また，生命活動における物質，エネルギー代謝の基本的原理を理解すると共に，それらの知識と概念を工学問題に適用できる．**		**重要な物質・エネルギー代謝に関わる分子や酵素を理解する．分子生物学，生物工学，細胞工学，遺伝子工学等の専門分野の基盤となる生化学の知識を有し，工学的課題の問題解決に必要な分析をすることができる．**	
	2-4.分子生物学	**遺伝子の複製と転写，翻訳までの一連の経路を理解し，それに基づく遺伝子組み換え技術の基礎を修得する．原核生物における，遺伝子発現制御機構に関わる因子や配列を知る．さらに，遺伝子解析技術の基礎を理解すると共に，それらの知識と概念を工学問題に適用できる．**		**真核生物における遺伝子発現制御機構とそれに関わる因子や配列を理解する．遺伝子組み換えによるタンパク質生産技術と様々な遺伝子解析技術を理解できる．知識を有し，工学的課題の問題解決に必要な分析をすることができる．**	
	2-5.細胞・微生物学	**生物の分類を細胞の構造等から理解する．産業に利用されている代表的な微生物を知る．細胞の増殖，分化及び細胞間情報伝達機構の基礎に関する知識を与える．微生物の培養の基礎を理解すると共に，それらの知識と概念を工学問題に適用できる．**		**微生物の多様性とその特徴を理解する．動物，植物細胞の構造をい理解し，細胞内での物質の移動等に関する知識をあたえる．細胞の増殖，分化，及び細胞間情報伝達機構をそれらに関わるタンパク質や分子から理解し，工学的課題の問題解決に必要な分析をすることができる．**	
	2-6.生物化学工学	**バイオ化学プロセスで必要とされる物質やエネルギー収支の計算ができ，流体や伝熱，分離操作および蒸留手法等の単位操作，バイオリアクターの設計や酵素利用に必要な基礎知識を理解すると共に，それらの知識と概念を工学問題に適用できる．**		**生物化学工学の知識を工学問題の解決に適用できるとともに，バイオリアクター工学，酵素工学等の専門分野の基礎知識を有し，工学的課題の問題解決に必要な分析をすることができる．**	
3.汎用的技能（応用的能力）	3-1.課題発見・解決力，論理的思考力	**日常生活の中にもバイオ化学に立脚する事は多い． 課題発見，情報の収集と分析，課題解決，等の手法を用い，バイオ化学分野の工学問題の課題を挙げ，その問題の構造を分析できる．**		**課題発見，情報の収集と分析，課題解決，等の手法を用い，バイオ化学分野の工学問題の課題を挙げ，その問題の構造を分析し，複数の解を提案し，その中から最良の解を選ぶことができる．**	
	3-2.コミュニケーション・スキル	他人の意見を分析・理解できるとともに，自らの意見を論理的な文書や口頭説明として整理し，まとめることができる． 英語等の外国語を用いて日常的な意見交換ができる． **理工系作文技法を修得し，適切な書式方法によって工学的プレゼンテーション資料を用意できる**		他人の意見を分析・理解し，自らの意見を論理的な文書や口頭説明として整理し，これを相手の理解力を考慮して評価し，まとめることで，相手に自分の意見を納得させることができる． 英語等の外国語を用いて実務に関する意見・情報の交換ができる． **英語等の外国語を用いバイオ化学分野の研究者と実務に関する意見・情報の交換ができる．**	
4.態度・志向性（道徳的能力）	4-1.チームワーク，自己管理力，リーダーシップ，チャンスを活かす能力	自分に与えられた仕事を実行するために，やるべき事を分析し，自己の体調・時間を管理できる． 同分野の専門家であるチームメンバーと意見交換を行い，チーム内での自らのなすべき行動を分析し，これを実行することができる．		自分のやるべき事を評価・認識し，自己の意欲・体調・時間・予算を管理することでこれを実行できる． 同分野あるいは異分野の専門家のチーム作業において，なすべき行動を評価・実行できるとともに，リーダーとしてメンバーに働きかけることができる．	
	4-2.倫理観	技術者倫理の基本原則を一般的な問題に適用できる． **化学物質が持つリスクや法規制・知的財産権等の枠組みを理解すると共に生命に関する畏敬の念を持ち，生命倫理の考え方を身に付ける．専門用語や理論を理解し，一般論として，環境・経済と工学の相反について考察・適用できる．**		技術者倫理の基本原則を用いて実務の場でとるべき倫理的行動を考えることができる． **バイオ化学とそれを生み出す化学技術が現代社会，環境・経済に及ぼす影響を理解し，技術者として倫理的判断能力に基づいて探るべき方策に適用できる．**	
	4-3.市民としての社会的責任	社会・健康・安全・法律・文化・環境等に関する知識を，一般的な問題の解決の際に適用できる． **現代社会，環境・経済と工学との関連についての基礎知識を有し，エンジニアとして物質・プロセス等の安全性を理解・適用できる．**		社会・健康・安全・法律・文化・環境等についての考慮を実務の場に適用し，とるべき行動を考えることができる． **バイオ化学とそれを生み出す化学技術が現代社会，環境・経済に及ぼす影響を化学技術者としての安全性，信頼性に基づいて理解・適用でき，化学記号をもとに専門家以外にも平易な解説ができる．**	
	4-4.生涯学修力	**バイオエンジニアとして自己認識が出来，自主的に生涯にわたって学修する必要性と方法を理解している．**		自主的に生涯にわたって学修する必要性と方法を理解し，それを実際の活動に適用し，意欲を持って実行している． **工業バイオ化学分野の継続的な深化と発展を理解し，その知識とスキルを適用できる．**	
5.総合的な学習経験と創造的思考力	5.創成能力（システム設計）	各種の外的・内的制約条件と，問題解決のために解くべき課題を挙げ，この課題を整理・分析して，制約条件下で課題を解決できる最適解を評価・提案できる． **有機化合物及び無機化合物の合成手法の知識を修得し，設計の目的と概念を理解・分析し，適用できる．**		各種の外的・内的制約条件と，問題解決のために解くべき課題を挙げ，制約条件下で課題を解決できる最適解を見出し，これに基づいて，複合的な工学的問題の創造的解決を図ることができる． **デザイン手法を理解・分析し，実際の課題の要求に合致した有機・無機化合物の合成法を創造し，化学実験装置を設計できる．**	

６－６－３．バイオ分野の到達目標と学修に当たっての配慮事項

バイオ分野の到達目標と学修に当たっての配慮事項は，次の６科目について示す．

１．「有機・無機化学」
２．「物理化学」
３．「生化学」
４．「分子生物学」
５．「細胞・微生物学」
６．「生物化学工学」

１．「有機・無機化学」

有機化学を構造と結合から理解し，官能基と化学的性質との関係を理解できるようにする．
無機化学を元素毎に周期表を用いて理解し，化学的性質との関係を体系的に理解できるようにする．

１）混成軌道と共有結合及びアルカン・アルケン・アルキンの反応と反応機構

＜キーワード＞アルカン，シクロアルカン，命名法，混成軌，アルケン，アルキン，求電子付加反応，共役ジエン

到達目標

【コア】

・有機化学を学ぶ上で周期表や，他元素と１４属である炭素原子との違いを理解する．
・アルカン，シクロアルカンの構造と立体化学がわかる．
・アルケンおよびアルキンの命名法および構造と反応性を理解でき，求電子付加反応の機構を理解できる．

【要望】

・ＳＰ^3，ＳＰ^2，ＳＰ混成軌道の概念およびσ結合とπ結合を理解する．
・カルボカチオンの種類（第１級，第２級，第３級）と安定性の概念を理解でき，共役ジエンへの求電子付加反応を理解できる．

学修に当たっての配慮事項

・有機化学を学ぶ上で周期表を理解し，他元素と炭素との違いを理解させる．ＳＰ^3，ＳＰ^2，ＳＰの混成軌道の概念および共有結合の理解するよう配慮する．更にアルカン，シクロアルカンの構造と立体化学を理解するように配慮する．
・アルケン，アルキンの命名法と構造式との関連を理解し，さらに求電子付加反応の機構を理解し，カルボカチオンの種類（第１級，第２級，第３級）と安定性の概念を理解できるように配慮する．

２）ハロゲン化アルキルと求核置換反応

＜キーワード＞立体化学，ハロゲン化アルキル

到達目標

【コア】

・有機化合物の立体化学の概念として，分子の対称性やキラリティー，ジアステレオマー，ラセミ体の概念を理解する．

【要望】

・第１級，第２級，第３級ハロゲン化アルキルの違いを理解した上で，ハロゲン化アルキルを用いたＳＮ１，ＳＮ２反応の違いならびに脱離反応の概念を理解できる．

学修に当たっての配慮事項

・有機化合物の立体化学の概念を理解する．第１級，第２級，第３級ハロゲン化アルキルの違いを理解した上で，ハロゲン化アルキルを用いたＳＮ１，ＳＮ２反応の違いならびに脱離反応概念を理解できるように配慮する．

３）芳香族化合物の性質と反応

＜キーワード＞芳香族化合物，芳香族求電子置換反応，求核アシル置換反応

到達目標

【コア】

・芳香族化合物の命名法および構造とヒュッケル則と芳香族性を理解できる，電子吸引性基と供与性基による置換基効果を理解できる．

【要望】

・芳香族求電子置換反応および反応機構を理解でき，求核アシル置換反応を理解できる．

学修に当たっての配慮事項

・芳香族化合物の命名法と構造式との関連を理解し，さらに求電子置換反応の機構を理解する．芳香族求電子置換反応に対する置換基効果を理解できるように配慮する．

4）官能基の性質とその反応

＜キーワード＞アルコール，フェノール，アルデヒド，ケトン，エーテル，エポキシド，カルボン酸，カルボニル，アミン，チオール，スルフィド

到達目標

【コア】

・アルコール，アルデヒド・ケトン，エポキシド，カルボン酸およびアミン化合物の命名法および構造，性質を理解でき，アルコールとエーテルそしてアルデヒドとケトンの製造法及び反応を理解できる．

【要望】

・カルボン酸及び誘導体の酸性度に関する置換基効果及び反応性の大きさ並びに反応性，アミン及びアミン誘導体の塩基性及び製造方法を理解できる．

・チオールとスルフィドの合成と反応性，カルボニルの置換反応，縮合反応を理解できる．

学修に当たっての配慮事項

・様々な置換基の科学的な性質を理解し，他置換基への変換方法及び種々の反応の機構を理解できるように配慮する．

5）電子配置と分子軌道，元素の周期性

＜キーワード＞化学結合，電子配置，分子軌道，元素の周期性

到達目標

【コア】

・無機化学を学ぶ上で周期表を理解し，原子状態の電子配置，殻および族の概念を理解し，化学結合を理解できる．

【要望】

・無機分子の分子軌道及び立体構造の概念を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・無機化学を学ぶ上で原子の構造と元素の周期性を理解する．原子状態での電子配置の概念と K,L,M,N 殻の概念を理解し，更に VSEPR 則に基づいて無機分子の分子軌道及び立体構造について理解させる．

6）酸・塩基，酸化還元，典型元素，結晶構造

＜キーワード＞酸・塩基の概念，酸化還元，結晶構造，格子エネルギー

到達目標

【コア】

・規定度，酸解離定数，水素イオン指数などを用いて酸および塩基の定義及び強さを理解でき，酸化・還元および属ごとに典型元素の性質を理解できる．

（要望事項）

・結晶構造の概念及び格子エネルギーを理解できる．

学修に当たっての配慮事項

・規定度，酸解離定数，水素イオン指数などを用いて酸塩基を理解させる．酸化・還元反応並びに酸化還元電位の十分に理解させる．典型元素について十分に理解するように配慮する．

7）遷移元素と錯体と錯体の立体化学

＜キーワード＞遷移元素，錯体，配位子，錯塩

到達目標

【コア】

・無機化合物を学ぶ上で重要な遷移元素を理解し，錯体および配位子の概念を理解できる．

【要望】

・錯体の命名，結合様式や化学式の記述法を学び，その立体化学および錯塩を理解できる．

学修に当たっての配慮事項

・無機化合物を学ぶ上で重要な遷移元素を理解し，さらに錯体の命名や化学式の記述法を学ぶ．錯体の結合様式や立体構造を理解できるように配慮する．

２．「物理化学」

原子，電子，エネルギーなどの基本概念に基づき様々な自然現象が物質の物理的な原理によって説明できることを学ぶ．熱力学と反応速度論を理解し，さらに物質の三態と相変化について，気体の状態方程式，液体における分子間力および固体の結晶構造や界面現象の点から理解する．

１）熱力学

＜キーワード＞熱力学第一法則，熱力学第二法則，内部エネルギー，エンタルピー，ギブス自由エネルギー

到達目標

【コア】

・エネルギーの保存について理解でき，熱力学の第一，第二と第三法則を理解でき，熱力学量変化について基本的な計算ができる．

【要望】

・内部エネルギーとエンタルピーの概念を身に付け，ギブスの自由エネルギーの概念を理解できる．

学修に当たっての配慮事項

・熱力学の基本項目の理解につとめ，熱から仕事，仕事から熱のようなエネルギー変換を取り扱う事が多い事を理解させるとともに，熱力学量変化について基本的な計算ができるように配慮する．

２）化学平衡論

＜キーワード＞相平衡，反応速度，速度定数

到達目標

【コア】

・化学反応が平衡に達する理由や反応における最終的な組成に関する理解を行い，相平衡について相転移と相図が理解でき，化学平衡の原理を理解でき，初歩的計算ができる．

【要望】

・反応速度の概念および速度定数とその温度依存性を理解できる．

学修に当たっての配慮事項

・化学反応が平衡に達する理由や反応における最終的な組成に関する理解をすすめ，相平衡，化学平衡について初歩的計算が出来るように配慮し，さらに速度定数についてその意味を把握できるように配慮する．

３）気体の状態方程式

＜キーワード＞状態方程式，平均自由行程，分子運動論

到達目標

【コア】

・理想気体と実在気体の違いについて把握すると共に，状態方程式や気体の分子運動論，気体の状態方程式が理解できる．

【要望】

・気体分子運動論を理解し，圧力と体積の関係を表す状態方程式や平均自由行程などの計算ができる．

学修に当たっての配慮事項

・液体や固体の状態と対比させながら，気体分子運動論を理解し，理想気体と実在気体の違いにつ

いて把握すると共に，圧力と体積の関係を表す状態方程式や平均自由行程などの計算が出来るように配慮する．

４）液体における分子間力

＜キーワード＞分子間力，蒸気圧，沸騰

到達目標

【コア】

・液体において分子間に働く凝集力などの分子間力とその特性，蒸気圧や沸騰の概念が理解できる．

【要望】

・水を例に会合などの物理的状態を理解できる．

学修に当たっての配慮事項

・液体において分子間に働く凝集力とその特性について，蒸気圧や沸騰，そして会合などの物理的状態を把握させながら理解するように配慮する．

５）固体の結晶構造

＜キーワード＞結晶構造，界面現象，固体の電気的・磁気的性質

到達目標

【コア】

・固体中の原子，分子が三次元的に積み上げられた結晶構造を理解でき，その種類や性質を把握してＸ線回折法の概念を理解できる．

【要望】

・固体表面における界面現象，固体の電気的，磁気的性質を理解できる．

学修に当たっての配慮事項

・固体中の原子，分子が三次元的に積み上げられた結晶構造について，その種類や性質を把握し，結晶構造の測定法とそれに関連する諸特性の意味を理解し，計算等の応用ができるように配慮する．

３．「生化学」

生命活動を化学のことばで解き明かす物質の化学について学ぶ．生体分子について生化学に基づいて理解し，生化学が広い生命の科学の一部であることを理解し，生化学とそこから生まれた生物工学の基礎を学ぶ．

１）核酸の構造と性質・機能

＜キーワード＞ヌクレオチド，ヌクレオシド，ＤＮＡ，ＲＮＡ，セントラルドグマ，突然変異，リボザイム

到達目標

【コア】

・核酸の構造と性質がわかり，関連して遺伝情報の流れであるセントラルドグマが理解できる．

【要望】

・突然変異の誘発を化学的に理解でき，ＤＮＡとＲＮＡの様々な高次構造が理解できる．

学修に当たっての配慮事項

・ＤＮＡとＲＮＡの化学構造と機能をベースにでセントラルドクマを学修し，生命の物質性を意識させるように配慮する．遺伝的多型とその表現型としての個性の関連を理解させる．さらに，リボザイム，ＲＮＡi などの非翻訳ＲＮＡの重要性についても理解させる．

２）アミノ酸およびタンパク質の構造と性質・機能

＜キーワード＞アミノ酸，タンパク質，pI，高次構造，抗体

到達目標

【コア】

・アミノ酸の構造と性質，およびタンパク質の生体内での役割がわかり，タンパク質高次構造形成の推進力と特徴が理解できる．

【要望】
・ペプチドの固相合成法およびアミノ酸配列決定法を理解し，抗体やヘモグロビンなどの代表的タンパク質の構造と機能を理解できる．

学修に当たっての配慮事項
・タンパク質の高次構造形成を主鎖，および側鎖間の相互作用の観点から理解できるようにする．ペプチドの固相合成，およびアミノ酸配列決定法の化学を理解させる．ヘモグロビンの酸素結合におけるアロステリック効果，抗体の Fab，Fc 領域などの構造的特徴を理解させる．

3）酵素とそのはたらき

＜キーワード＞ビタミン，補因子，補酵素，補欠分子族，阻害反応，Michaelis-Menten の式

到達目標
【コア】
・触媒反応や所在による酵素の分類がわかり，酵素反応の基質特異性や補因子の作用を化学的に理解できる．
【要望】
・酵素反応速度論と活性測定法がわかり，酵素阻害や触媒活性制御が理解できる．

学修に当たっての配慮事項
・酵素反応を，求核反応，プロトン・電子移動反応などの連続した特定の化学反応として理解させる．さらに，反応速度論を理解し，その上で Michalis-Menten 式を用いて酵素活性測定法を理解させる．

4）糖質や脂質の構造と生体内での役割

＜キーワード＞グルコース，単糖類，二糖類，多糖類，貯蔵多糖，構造多糖，糖タンパク，リン脂質，コレステロール，リポタンパク

到達目標
【コア】
・糖類と脂質の基本構造と役割を理解し，それらがエネルギー源，生体構成成分，および生理活性物質として種々の生理機能に関わっていることがわかる．
【要望】
・糖タンパク，糖脂質の構造や役割が理解できる．

学修に当たっての配慮事項
・脂質や糖質の多様な分子構造とそれぞれの機能的特徴を理解させる．糖がタンパク質や脂質に結合することでそれぞれの分子を安定化したり，糖鎖の関与する分子認識が，細胞間の情報伝達を担っていることを理解させる．

5）物質代謝とエネルギー代謝

＜キーワード＞高エネルギー化合物，解糖，TCA サイクル，酸化的リン酸化，電子伝達系，光合成

到達目標
【コア】
・生物に含まれる物質の代謝機構について理解し，糖質，脂質からエネルギーを取り出す仕組みやアミノ酸の代謝機構などについて基本概念がわかり，解糖および発酵反応や TCA サイクルが理解できる．
【要望】
・電子伝達と酸化的リン酸化，脂肪酸やアミノ酸の代謝や分解が理解できる．

学修に当たっての配慮事項
・生物が物質やエネルギーを代謝して，その生命活動を維持していることを定量的概念を含めて理解できるように配慮する．

6）生化学実験法

＜キーワード＞紫外・可視分光光度法，赤外分光光度法，蛍光分光光度法，質量分析法，NMR，HPLC，ゲル電気泳動法，CE，ＤＮＡ，ペプチド自動合成

到達目標
【コア】

・分光学的手法の基本原理を理解し，生体分子の分離・精製法としてのクロマトグラフィーとゲル電気泳動法の動作原理が理解できる．

【要望】

・分光学的手法，および分離・精製法の的確な選択ができ，分光学データを解析することができる．

学修に当たっての配慮事項

・種々の分光学的手法，および分離・精製の原理を理解させる．データチャートを正しく解析できるようにさせる．対象とする生体関連化学物質の構造，性質を考慮した上で適切な分離・精製，分析手法が選択できるようにさせる．

４．「分子生物学」

生命の基本である遺伝の基礎を理解し，遺伝子の複製，転写，翻訳から機能発現までの一連のメカニズムについて勉強する．さらに遺伝子工学について，その原理を理解し，基本的な実験技術を修得する．

１）遺伝とＤＮＡ

＜キーワード＞遺伝とメンデルの法則，遺伝子，ＤＮＡの複製，ＤＮＡの修復，ＤＮＡの組換え

到達目標

【コア】

・遺伝の基本法則であるメンデルの法則を理解する．核酸の生化学の知識を基にＤＮＡの複製の原理を理解する．

【要望】

・ＤＮＡの複製のメカニズムとそれに関わる分子（酵素）を理解する．ＤＮＡの修復と組換えを知る．

学修に当たっての配慮事項

・生命の基本である遺伝について，ＤＮＡの複製という視点から分子レベルで理解できるようにする．

２）転写と翻訳

＜キーワード＞ＲＮＡの分類，遺伝暗号，転写，翻訳，エキソンとイントロン，タンパク質の翻訳後修飾と輸送，タンパク質分解

到達目標

【コア】

・遺伝子のＤＮＡ配列情報からタンパク質の合成までの一連の経路を理解できる．原核生物細胞における転写，翻訳のメカニズム及びそれに関与する分子を知る．

【要望】

・真核生物における転写，翻訳のメカニズム及びそれに関与する分子を知る．タンパク質の翻訳後修飾や輸送のメカニズムを理解する．

学修に当たっての配慮事項

・遺伝子という設計図から生命が構築される基本原理を理解できるようにする．細胞内におけるタンパク質合成と分解について学ぶようにする．

３）遺伝子発現の調節

＜キーワード＞オペロン，プロモーター，転写制御因子，転写制御配列，翻訳調節

到達目標

【コア】

・原核生物細胞における遺伝子発現調節機構及び翻訳調節機構を理解する．

【要望】

・真核生物細胞における遺伝子発現調節機構及び翻訳調節機構を理解する．主要な転写制御因子，転写制御配列を知る．

学修に当たっての配慮事項

・様々な遺伝子が必要なときに必要なだけ転写，翻訳されるメカニズムを理解できるようにする．特に，遺伝子組換えによる物質生産の基盤となる知識を与える．

４）染色体とゲノム

＜キーワード＞染色体，クロマチン，セントロメアとテロメア，遺伝子多型，エピジェネティックス，トランスポゾン

到達目標

【コア】

・染色体，クロマチンの構造と特徴を理解する．細胞分裂に伴う染色体の分配機構を知る．トランスポゾンを知る．

【要望】

・染色体，クロマチンを構成する要素を知る．一塩基多型（ＳＮＰ）などの遺伝子多型を理解する．エピジェネティックスを知る．

学修に当たっての配慮事項

・真核生物の核内においてゲノムがどのように収納され，転写翻訳にされているかの基礎を理解させる．特に医療や細胞工学での基礎となる情報を与える．

５）遺伝子組換え技術

＜キーワード＞形質転換，制限酵素と遺伝子修飾酵素，ベクター，クローニング，ｃＤＮＡ，組換え蛋白質の生産，動物細胞，植物細胞の遺伝子組み換え

到達目標

【コア】

・遺伝子組換えの基本的な原理を理解し，大腸菌を用いた有用タンパク質の生産方法が分かる．

【要望】

・遺伝子組み換えに用いられる種々の酵素や技術を理解し，動物や植物の遺伝子組換えが分かる．

学修に当たっての配慮事項

・大腸菌を用いた遺伝子組換えタンパク質生産を理解できるようにし，動物や植物の遺伝子組み換えに関する知識を与える．

６）遺伝子解析技術

＜キーワード＞電気泳動，ＤＮＡシークエンス，ハイブリダイゼーション，ＰＣＲ，Real time ＰＣＲ，ＤＮＡマイクロアレイ，次世代ＤＮＡシークエンサー

到達目標

【コア】

・電気泳動，ハイブリダイゼーション，ＰＣＲ，ＤＮＡシークエンスなどの基本的遺伝子解析技術を理解する．

【要望】

・Real time ＰＣＲ，ＤＮＡマイクロアレイ，ＤＮＡシークエンサーなどについて知り，新しい遺伝子解析技術が理解できる．

学修に当たっての配慮事項

・電気泳動，シークエンス，ハイブリダイゼーションといった遺伝子解析技術の基礎を理解できるようにし，様々な応用技術に関する知識を与える．

５．「微生物・細胞」

生物の分類とそれらの違いを生命の最小単位である細胞レベルで理解する．微生物，細胞の構造，代謝，増殖機構を学ぶ．

１）生物の分類と微生物の多様性

＜キーワード＞真核生物，真正細菌，古細菌，二名法，細胞の構造，ウイルスの特徴，微生物の分類，微生物の多様性と極限環境微生物，工業利用微生物，病原性微生物

到達目標

【コア】

・生物及び微生物の分類を理解し，代表的な微生物（大腸菌，パン酵母）とウイルスの特徴を知る．真核生物と原核生物の違いを理解する．

【要望】

・工業的に利用されている種々の微生物の特徴を知る．様々な環境で生育する微生物の特徴を理解する．病原性微生物を知る．

学修に当たっての配慮事項

・生命の最小単位である細胞から生物を理解できるようにし，構造や分子レベルでの分類方法を教える．さらに，様々な微生物の分類と特徴に関する知識を与える．

２）微生物の構造と代謝

＜キーワード＞微生物細胞の構造，微生物の増殖，微生物の培養，微生物のスクリーニングと育種，醗酵生産に関わる代謝

到達目標

【コア】

・微生物細胞の構造と増殖を理解し，微生物の培地や培養方法の基礎を知る．

【要望】

・様々な発酵の代謝機構を知る．有用微生物の探索と育種方法を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・微生物の構造と増殖機構から培養方法の原理を理解する．さらに発酵生産に利用されている微生物の特徴と新規微生物のスクリーニング方法に関する基礎知識を与える．

３）細胞の構造と特徴

＜キーワード＞動物細胞の構造，植物細胞の構造と代謝，細胞内小器官，細胞膜器官，細胞内物質移動，細胞骨格

到達目標

【コア】

・動物細胞と植物細胞の特徴と違いを知る．細胞を構成する細胞内小器官などの構成要素を理解する．

【要望】

・植物細胞の２次代謝物生産を知る．細胞内の小器官や要素の間の関係や物質，タンパク質の移動などを理解する．

学修に当たっての配慮事項

・動物細胞と植物細胞の構造的特徴を理解できるようにする．細胞内におけるタンパク質などの物質の移動などに関する知識を与える．

４）細胞内，細胞間情報伝達

＜キーワード＞ホルモンとインターロイキン，リガンドと受容体，セカンドメッセンジャー，タンパク質リン酸化，神経情報伝達

到達目標

【コア】

・細胞内，細胞間情報伝達の基本的メカニズムを理解する．細胞膜と細胞内の受容体を知る．セカンドメッセンジャーとタンパク質リン酸化の意味を理解する．

【要望】

・代表的なホルモン，インターロイキン，受容体，セカンドメッセンジャーを知る．神経情報伝達を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・細胞間の相互の情報伝達及びそれに続く細胞内の情報伝達のメカニズムを理解できるようにする．代表的な細胞間，細胞内情報伝達に関わる分子について教える．

５）発生，分化，細胞機能

＜キーワード＞細胞周期，アポトーシス，免疫，血球細胞の分化，生殖細胞，組織，器官，がん細胞の特徴

到達目標

【コア】

・細胞周期と細胞分化の基本的原理を理解する．アポトーシスを知る．がん細胞の特徴を知る．

【要望】
・細胞周期を制御する因子を知る．代表的な組織や細胞の機能を知る．
学修に当たっての配慮事項
・細胞の増殖から分化までの一連の基礎的なメカニズムを理解できるようにする．代表的な細胞や組織の機能に関する知識を与える．

６．「生物化学工学」

バイオプロセスで必要とされる物質とエネルギーの収支について計算ができ，流体や伝熱さらに分離操作における気・液平衡や蒸留手法などの単位操作について学ぶとともに，バイオリアクターの設計や酵素および微生物の工業的利用に必要な基礎知識について理解できるようにする．

１）収支と速度

＜キーワード＞物質収支，エネルギー収支，反応速度，移動速度
到達目標
【コア】
・多量の原料を生物機能により効率よく変換するための基礎として，単位と次元がわかり，収支と速度の概念を理解できる．
【要望】・物質とエネルギーの移動現象を理解するように物質やエネルギーの収支の計算ができ，反応速度と移動速度を理解できる．
学修に当たっての配慮事項
・多量の原料を効率よく生物的に変換するための基礎として物質とエネルギーの移動現象を理解させる．化学反応式と化学量論を理解した上で，物質収支，エネルギー収支，反応速度と移動速度について理解できるように配慮する．

２）流動と流体輸送

＜キーワード＞流量と流速，レイノルズ数，流体輸送，所要動力
到達目標
【コア】
・輸送管内の流動状態が理解でき，流量と流速の測定法がわかって流量と流速が計算でき，レイノルズ数から流動状態がわかる．
【要望】
・流体輸送に関するエネルギー収支や流体輸送のための所要動力が計算できる．
学修に当たっての配慮事項
・多量の原料を効率よく輸送するための基礎として，輸送管内の流動状態が理解でき，輸送時の物質が持つエネルギーがどのように損失するか理解でき，その損失量を計算ができるように配慮する．

３）伝熱と熱交換器

＜キーワード＞伝導伝熱，対流伝熱，放射伝熱，熱交換器
到達目標
【コア】
・伝導伝熱と対流伝熱および，熱に関するフーリエ式がわかり，管内層流および乱流における熱伝達が理解できる．
【要望】
・物質が持つエネルギー（熱）を如何に効率よく回収できるかまたは損失しないように保温できるかのエネルギーの移動を理解でき，熱交換器の熱的設計ができる．
学修に当たっての配慮事項
・多量の原料を効率よく処理するための基礎として，物質が持つエネルギー（熱）を如何に効率よく回収できるかまたは損失しないように保温できるかのエネルギーの移動を理解でき，収支計算ができるように配慮する．

４）物質分離と蒸留

＜キーワード＞単蒸留，水蒸気蒸留，減圧蒸留，気液平衡

到達目標

【コア】

・反応物から生成物を効率よく得るための分離操作を理解するための基礎として，単蒸留，水蒸気蒸留，減圧蒸留が理解でき，分子の平衡関係を利用する平衡分離と移動速度の差を利用する速度差分離がわかる．

【要望】

・蒸留における気－液平衡関係がわかり理論段数が計算できる．

学修に当たっての配慮事項

・反応物から生成物を効率よく得るための分離操を理解するための基礎として，分子の平衡関係を利用する平衡分離と移動速度の差を利用する速度差分離に大きく分類できることを理解し，蒸留では気-液平衡関係が理解でき，理論段数を計算できるように配慮する．

５）バイオリアクター設計

＜キーワード＞酵素反応速度式，微生物反応速度式，バイオリアクター，設計方程式

到達目標

【コア】

・バイオリアクターの分類と特徴，バイオリアクター内の物理現象および酵素や微生物反応プロセスがわかり，バイオリアクターの設計に必要な基礎知識がわかる．

【要望】

・酵素や微生物を用いた均相系及び固定化系の反応速度論とバイオリアクターの設計方程式の基礎を理解できる．

学修に当たっての配慮事項

・バイオリアクターの形式に応じて適用すべき設計方程式が選択でき，各種バイオリアクターを用いて得られた反応データから設計方程式中のパラメータが決定できるように配慮する．

６）酵素工学

＜キーワード＞機能改変，架橋反応，固定化酵素

到達目標

【コア】

・酵素の抽出法・精製法や化学的改変の基本的原理や方法と固定化がわかる．

【要望】

・酵素の架橋反応と分解や修飾，酵素の固定化法および固定化酵素の性能変化と利用が理解できる．

学修に当たっての配慮事項

・酵素の化学的改変方法に関する基本的原理と方法論および工業的利用について理解できるように配慮する．

７）微生物の工業的応用

＜キーワード＞発酵，バイオ製品，微生物制御，微生物的処理

到達目標

【コア】

・有機酸やアミノ酸の代謝，アルコール，有機酸およびアミノ酸発酵がわかり，種々の工業分野への応用を理解している．

・セルロースの糖化，アルコール発酵など，エネルギーや資源への応用について理解している．

【要望】

・微生物を用いた廃水や汚染物質の処理工学，発酵・腐敗・病原微生物を制御する技術を理解できる．

・微生物や酵素によるバイオマス資源変換の特徴と課題が理解できる．

学修に当たっての配慮事項

・微生物機能を食品，医薬品や化学製品製造分野および廃棄物処理分野へ応用した場合の有効性と問題点について理解できるように配慮する．

６－７．情報・通信分野

６－７－１．まえがき

本報告は，技術者教育における情報・通信分野に焦点を当て，学士課程教育における教育カリキュラムのうち，コアカリキュラムと要望カリキュラムを提示する．すなわち，学士課程教育において身に付けるべき知識や理解，およびこれらを具体的事例に適用する能力（ここでは，運用力と呼ぶことにする）について，その範囲とレベルを，項目や到達目標の形で，学修に当たっての配慮事項とともに提示する．コアカリキュラムは，必ず履修すべき分野，項目からなり，必須の分野・項目である．要望カリキュラムは，できれば履修させたい分野・項目からなる．コアカリキュラムに含ませたいが，コアカリキュラムの内容が過多になることを避ける意味もあって，要望カリキュラムに含ませているものが多数ある．各々を，到達目標及び学修に当たっての配慮事項とともに記載している．

本報告の狙いと意義，および記載の形式について

【コアカリキュラムの作成方針】

コアカリキュラムは，どの大学の学士課程教育においても必ず含むべき内容であり，ここでの多様性や曖昧性は極力避けるべきである．むしろ詳細に分野，項目，到達目標を記述しておくことが望ましい．要望カリキュラムは選択の可能性を持っている．各大学の教育方針，スタッフ，その他の要因を考慮して選択することになる．また，コアカリキュラム，要望カリキュラム以外にも選択肢は残っている．この辺りの選択肢に各大学の独自性，多様性，といった教育機関としての自主性は発揮できる．

学士課程での情報・通信分野の教育に求められる教育内容（分野や項目）の記載に当たっては，項目の関連性（教育順序）をある程度は考慮して列挙している．ただし，各大学の諸事情に応じて順序を変更することは当然あり得る．また，分野は教育科目を意味するものではない．教育科目への割り当て（すなわち，カリキュラムやシラバス作成）に際しては，必要に応じて分割，統合して割り当てることも可能である．どの学年に，どの分野をどの範囲まで割り当てるか，なども各大学の教育方針やスタッフなどの諸事情に応じて決まるものである．図６－７に分野，項目等のおおまかな教育順序と関連性を示す．

【J07 と国際標準化】

情報分野における専門教育のためのカリキュラムとして，情報処理学会，情報処理推進機構（IPA）などが中心となって策定し提案している，情報専門教育カリキュラム標準（J07）がある．これは，IEEE-CS と ACM が共同開発した CC2001-CC2005 を土台とし，かつその国際基準としての整合性を維持しながら日本の情報専門教育状況を反映させている．具体的には，コンピュータエンジニアリング領域（CE），ソフトウェアエンジニアリング領域（SE），情報システムエンジニアリング領域（IS），インフォメーションテクノロジーエンジニアリング領域（IT），コンピュータ科学エンジニアリング領域（CS）（これら５領域の詳細は後述）の各領域について，カリキュラム標準（知識体系と最低限押さえておくべき項目をコアとして指定したもの）を示したものである．最小限押さえるべき分野（学習域，単元），項目（トピック），到達目標，および実施順序などが含まれている.また，時間数や実施年次なども規定した標準カリキュラム案も提示されている．分野，項目，および授業時間数については，日本の現状を考慮して，CC2005 などの指定よりは少なくなっているが，それでもそれぞれの領域について必要な分野，項目が含まれ，そのための授業時間数が割り当てられている．

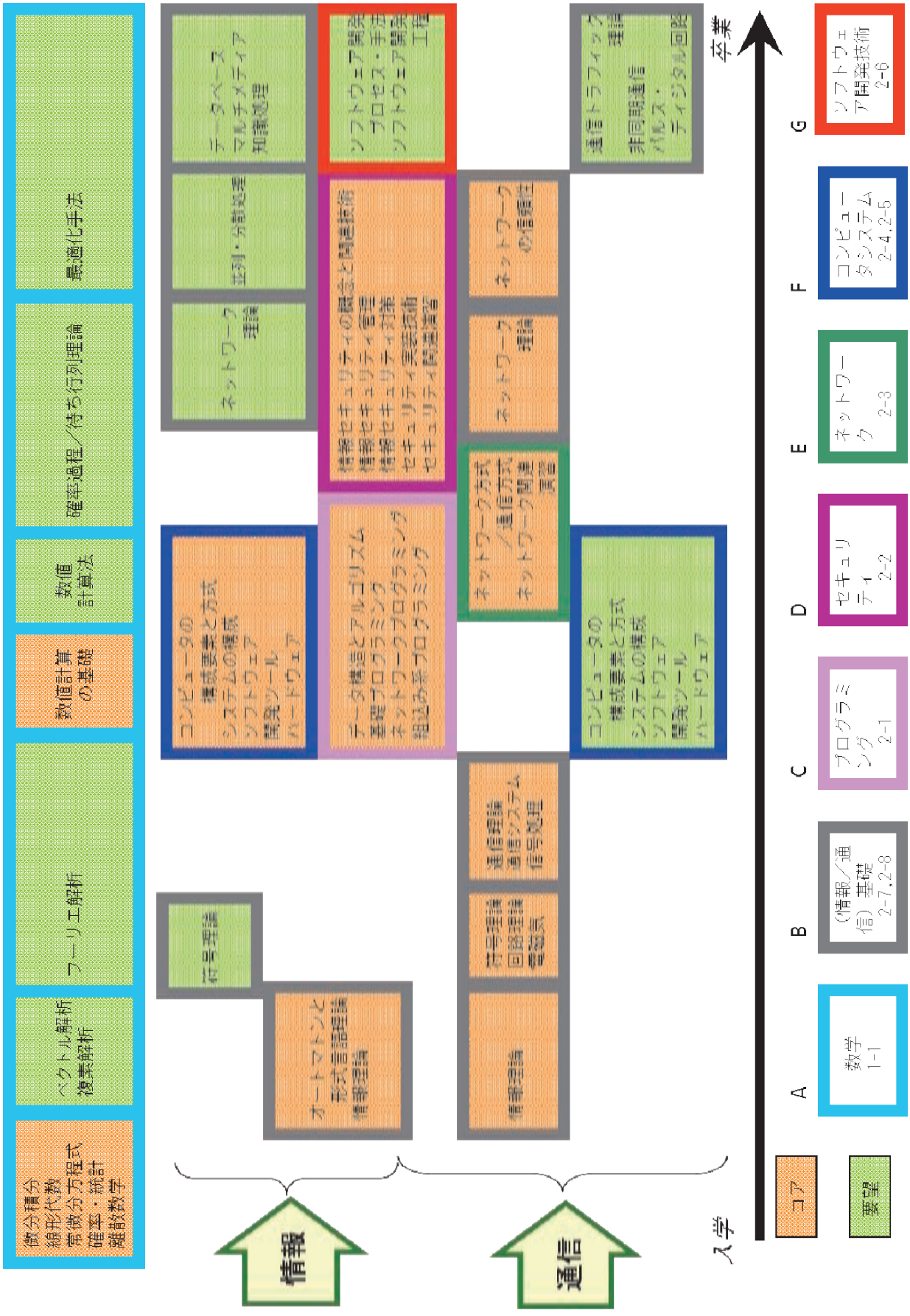


図6－7　情報･通信分野関連性

6－7－2. 情報・通信分野 （技術者教育において育成すべき知識・能力と，その到達目標）

<table>
<tr><th colspan="2" rowspan="2">育成すべき知識・能力</th><th colspan="4">到　達　目　標</th></tr>
<tr><th colspan="2">コ　ア</th><th colspan="2">要　望</th></tr>
<tr><td rowspan="3">1. 基礎</td><td>1-1. 数学A1，A2</td><td rowspan="3">自然科学の法則を工学問題に適用し，解くことができる．
単位で表された数値が実感で理解できる．</td><td>情報分野，通信分野などの離散的な事項や事象を扱う数学的基礎として離散数学の基礎事項および数値計算の基礎を理解し，必要に応じて工学問題に適用できる．</td><td rowspan="3">自然科学の法則を工学問題に適用し，解いた結果の分析により，問題解決に必要な課題の構造を明らかにすることができる．
単位で表された数値が実感で理解できる．</td><td>複素解析，ベクトル解析，フーリエ解析，確率過程，待ち行列論，最適化手法，数値計算など，情報・通信分野に必要な数学的基礎を理解し，必要に応じて工学問題に適用できる．</td></tr>
<tr><td>1-2. 物理学等自然科学
(物理，化学，情報リテラシー，地学，生物)</td><td>物理学等の自然科学の知識や概念を理解し，工学問題に適用できる．</td><td>ハードウェア，ソフトウェア，開発ツール，コンピュータの基本構成を理解し，ソフトウェアやシステムの設計・開発に適用できる．</td></tr>
<tr><td>1-3. 工学基礎</td><td>基幹工学（機械工学概論，電気・電子工学概論等），工学基礎実験・計測，数値解析等の基礎知識を工学問題の実験や解析に適用できる．</td><td>基幹工学（機械工学概論，電気・電子工学概論等），工学基礎実験・計測，数値解析等の基礎知識を工学問題に適用し，問題解決に必要な分析をすることができる．</td></tr>
<tr><td rowspan="8">2. 専門分野

※()内のA～Gは，図6-7-1に示す入学から卒業までの学習段階</td><td>2-1. プログラミング（C）</td><td colspan="2">ソフトウェア作成の基礎となるデータ構造，アルゴリズムの設計と解析に関する基礎的知識を理解し，プログラミングの基本的手法を自在に使うことができる．</td><td colspan="2">データ構造とアルゴリズム，プログラミング（ソフトウェア，ネットワーク，組み込み），数式処理ソフトウェア，科学技術計算ライブラリなどの知識と利用方法を理解し，工学問題の解決に適用できる．</td></tr>
<tr><td>2-2. セキュリティ（D）</td><td colspan="2">情報セキュリティの概念（機密性，完全性，可用性）を理解し，認証技術を含め理解する．コンピュータおよびネットワークのセキュリティ管理の基本的な考え方を実習等を含めて理解する．</td><td colspan="2">情報セキュリティにおける認証，セキュリティ対策に対する個々の技術を理解し，実際に適用することができる．将来的な脅威に対してセキュリティを保つ基礎知識を理解する．</td></tr>
<tr><td>2-3. ネットワーク（E）</td><td colspan="2">階層型通信プロトコル間の機能分担や各機能を実現する上での技術的課題とその解決法を理解する．さらに演習を通してコンピュータネットワーク要素技術の機能や役割を理解する．加えて，具体的な機能や仕組みを実装でき，これらを工学問題に適用できる．</td><td colspan="2">コンピュータネットワークの知識と概念を理解し，これらを工学問題の解決に適用し，問題解決に必要な分析をすることができる．ネットワーク方式／通信方式等の基礎知識を有し，かつ理解する．</td></tr>
<tr><td>2-4. コンピュータシステム（情報）（F1）</td><td colspan="2">ハードウェア，ソフトウェア，開発ツール，コンピュータの基本構成を理解する．プロセッサを中心としたハードウェアの知識と概念を理解し，これらを工学問題の解決に適用し，開発できる．また，オペレーティングシステムを中心としたソフトウェアの知識と概念を理解し，これらを工学問題の解決に適用し，開発できる．</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>2-5. コンピュータシステム（通信）（F2）</td><td colspan="2"></td><td colspan="2">ハードウェア，ソフトウェア，開発ツール，コンピュータの基本構成を理解する．プロセッサを中心としたハードウェアの知識と概念を理解し，これらを工学問題の解決に適用し，開発できる．また，オペレーティングシステムを中心としたソフトウェアの知識と概念を理解し，これらを工学問題の解決に適用し，開発できる．</td></tr>
<tr><td>2-6. ソフトウェア開発技術 （G）</td><td colspan="2"></td><td colspan="2">プロジェクトマネージメントへの橋渡しとして，開発工程モデルに関する知識を獲得すると共に，実際の開発工程を経験することでソフトウェアライフサイクルプロセスなどの理解を深める．また，ソフトウェア開発の工程における，要求分析，設計（仕様記述，ソフトウェアアーキテクチャ），実装（コーディング），評価（テスト）について，演習などを通して必要な知識と技術を身に付けることができる．</td></tr>
<tr><td>2-7. 情報基礎（B1）</td><td colspan="2">情報分野の基礎として情報理論およびオートマトンと形式言語理論の必須事項を理解し，文字列処理（プログラミング）への適用を理解する．</td><td colspan="2">データベース，並列・分散，マルチメディア，知識処理の知識と概念を理解し，これらを情報・通信分野における工学問題に適用できる．</td></tr>
<tr><td>2-8. 通信基礎（B2）</td><td colspan="2">通信分野の基礎として情報理論，符号理論，通信理論，回路理論，電磁気，信号処理の必須事項を理解し，通信処理への適用を理解する．</td><td colspan="2">通信トラッフィック理論，非同期通信やパルス・ディジタル回路を理解し，これらを情報・通信分野における工学問題に適用できる．</td></tr>
<tr><td rowspan="2">3. 汎用的技能（応用的能力）</td><td>3-1. 課題発見・解決力，論理的思考力</td><td>課題発見，情報の収集と分析，課題解決，などの手法を用い，情報・通信分野の工学問題の課題を挙げ，その問題の構造を分析できる．</td><td colspan="2">課題発見，情報の収集と分析，課題解決，などの手法を用い，情報・通信分野の工学問題の課題を挙げ，その問題の構造を分析し，複数の解を提案し，その中から最良の解を選ぶことができる．</td></tr>
<tr><td>3-2. コミュニケーション・スキル</td><td>他人の意見を分析・理解できるとともに，自らの意見を論理的文書や口頭説明として整理し，まとめることができる．
英語等の外国語を用いて日常的な意見交換ができる．

情報・通信分野のみならず，自らの意見・情報を口頭説明・プレゼンテーションする方法，討論の約束事，を理解し，実際の場で適用できる．</td><td colspan="2">他人の意見を分析・理解し，自らの意見を論理的文書や口頭説明として整理し，これを相手の理解力を考慮して評価し，相手に自分の意見を納得させることができる．
英語等の外国語を用いて実務に関する意見・情報の交換ができる．

情報・通信分野のみならず，自らの意見・情報を相手の理解力に応じた内容で口頭説明・プレゼンテーションする方法，相手に自分の意見・情報を納得させるための討論の手法，を理解し，実際の場で状況を分析しながら適用できる．</td></tr>
<tr><td rowspan="4">4. 態度・志向性（道徳的能力）</td><td>4-1. チームワーク，自己管理力，リーダーシップ，チャンスを活かす能力</td><td>自分に与えられた仕事を実行するために，やるべき事を分析し，自己の体調・時間を管理できる．
同分野の専門家であるチームメンバーと意見交換を行い，チーム内での自らのなすべき行動を分析し，これを実行することができる．</td><td colspan="2">自分のやるべき事を評価・認識し，自己の意欲・体調・時間・予算を管理することでこれを実行できる．
同分野あるいは異分野の専門家のチーム作業において，なすべき行動を評価・実行できるとともに，リーダーとしてメンバーに働きかけることができる．</td></tr>
<tr><td>4-2. 倫理観</td><td>技術者倫理の基本原則を一般的な問題に適用できる．

コンピュータやネットワークが持つリスク，法規制や知的財産権などの枠組み，および専門用語や理論を理解し，一般論として，環境・経済と工学の相反について考察できる．</td><td colspan="2">技術者倫理の基本原則を用いて実務の場でとるべき倫理的行動を考えることができる．

コンピュータやネットワークが持つリスク，法規制や知的財産権の枠組，および専門用語や理論を理解し，実務の場で環境・経済と工学の相反に基づいて，とるべき倫理的行動を考えることができる．</td></tr>
<tr><td>4-3. 市民としての社会的責任</td><td>社会・健康・安全・法律・文化・環境などに関する知識を，一般的な問題の解決の際に適用できる．

情報・通信分野の技術者の実務に付随する社会・健康・安全・法律・文化・環境などの諸問題の内容・重要性およびそれに伴う責任を理解でき，一般的な問題にこれを適用できる．</td><td colspan="2">社会・健康・安全・法律・文化・環境などについての考慮を実務の場に適用し，とるべき行動を考えることができる．

情報・通信分野の技術者の実務に付随する社会・健康・安全・法律・文化・環境などの諸問題の内容・重要性，それに伴う責任を理解し，適用して，実務の場でとるべき行動を考えることができる．</td></tr>
<tr><td>4-4. 生涯学修力</td><td>自主的に生涯にわたって学修する必要性と方法を理解している．

情報・通信分野の広範な技術革新の可能性の中で技術者として活躍して行くために，自主的に生涯にわたって学修する必要性を理解し，そのために必要な情報や知識を獲得する方法を理解している．</td><td colspan="2">自主的に生涯にわたって学修する必要性と方法を理解し，それを実際の活動に適用し，意欲を持って実行している．

情報・通信分野の広範な技術革新の可能性の中で技術者として活躍して行くために，自主的に生涯にわたって学修する必要性を理解し，そのために必要な情報や知識を獲得する方法を理解し，その実行意欲を持ち，実際に実行している．</td></tr>
<tr><td>5. 総合的な学習経験と創造的思考力</td><td>5. 創成能力（システム設計）</td><td>各種の外的・内的制約条件と，問題解決のために解くべき課題を挙げ，この課題を整理・分析して，制約条件下で課題を解決できる最適解を評価・提案できる．

ハードウェアまたはソフトウェアに関する知識，および設計の目的と概念を理解し，それを設計に適用できる．</td><td colspan="2">各種の外的・内的制約条件と，問題解決のために解くべき課題を挙げ，制約条件下で課題を解決できる最適解を見出し，これに基づいて，複合的な工学的問題の創造的解決を図ることができる．

デザイン，システム設計にあたり，実現に必要な知識，想定方法などに対して，境界領域が存在し，他分野の知識や技術が必要であることを理解する．デザイン手法を駆使し，実際の課題の要求に合致したハードウェアまたはソフトウェアの開発ができる．</td></tr>
</table>

【情報・通信分野と育成人材像】

本プロジェクトは，学士課程教育における技術者教育のカリキュラム（特にコアカリキュラム）に焦点を当てている．また，「情報・通信分野」は，情報分野と通信分野を対象分野としている．情報・通信分野が想定する育成人材像のイメージを図６－８に示す．通信分野は，伝達すべき情報の扱い，通信ソフトウェア設計，ネットワーク制御など，情報分野と深く関係する一方で，信号処理，通信理論，電磁波工学，電気・電子機器設計，などといった，必ずしも情報分野と関連性が大きいとは言えない分野も含み，通信分野独自の教育内容を有する．

本プロジェクトでは情報分野の広さも合わせた判断に基づき，情報分野を構成する５領域のうちの CE と SE を中核領域とし CS の一部を基礎として含む形で，情報分野と通信分野の共通的コアカリキュラム（情報・通信分野のコアカリキュラム）を構成する．その内容は情報分野に含まれる．策定に当たっては，IPA の情報処理技術者試験の試験要綱を下敷きにし，基本情報技術者試験レベルを原点として，IT パスポート試験レベルおよび応用技術者試験レベルを一部取り込みながら，確かな基礎力と実践力の養成を最優先事項としている．情報処理技術者試験の試験要綱は，J07 さらには CC2005 などをベースにしており，実務能力試験範囲としての体裁を整えながらも内容としては国際的標準との整合性が考慮されている．

これに加えて，情報分野としては，IS，IT の一部を取り込んでコアカリキュラムを構成する．一方，通信分野については，上述の独自の教育内容を追加してコアカリキュラムを構成している．図２はこのような人材像のイメージを当該分野との関連性として図示したものである．IS,IT いずれも実務が深く関係し，学士課程教育での実践力養成には重要である．その一方で，その所掌分野が広く，かつ実務システムを扱う必要性が高いため，学士課程教育への取り込みには限界がある．CS は残り４領域の基礎をなす．このような背景から，CE，SE を中核としてコアカリキュラムを構成している．提案コアカリキュラムは，今後（たとえば大学院などで），CE，IS，SE，IS，IT，CS の各領域あるいは通信分野などにおけるより高度な内容に踏み込んで行くための基礎力養成ベースとなることを意図している．

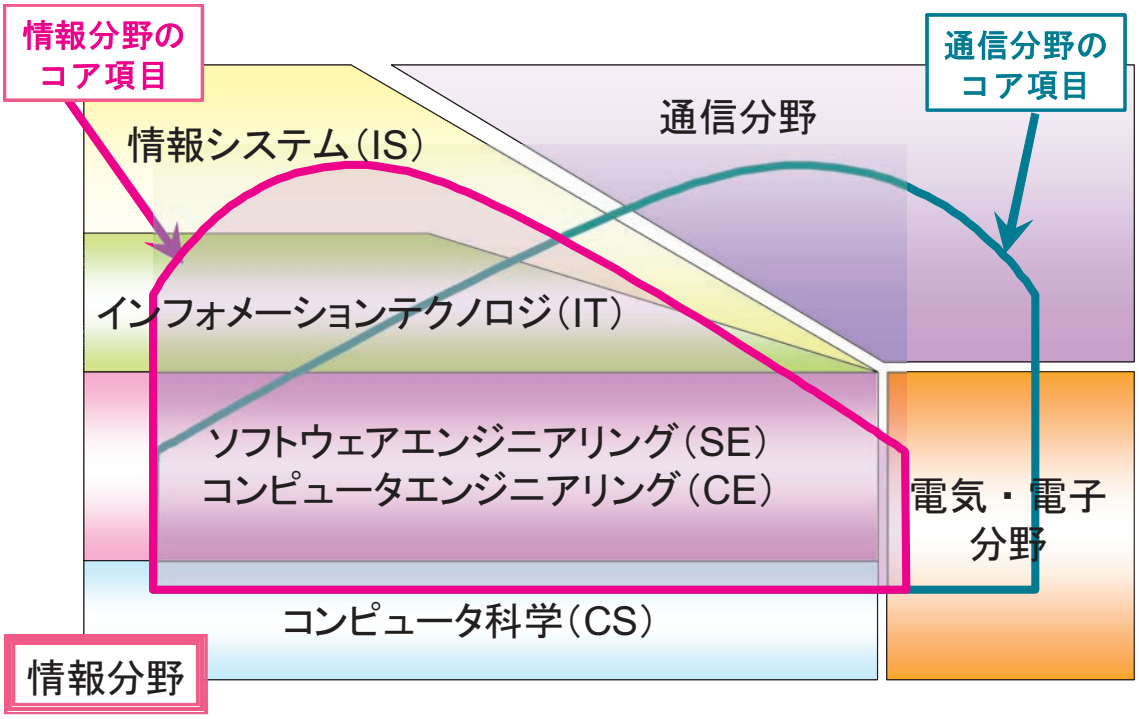


図６－８　情報専門教育カリキュラム標準 J07(*) と当プロジェクト
「情報・通信分野」コアカリキュラムの関連性イメージ
＊：情報処理学会情報処理教育委員会 J07 プロジェクト連絡委員会編

【コアカリキュラムの教育への取込み】

本プロジェクトの目的から，コアカリキュラムとしての分野や項目，および到達目標の設定までを扱い，授業時間や授業実施学年，授業の厳格な実施順序，などまでの設定は記載していない．現状でのカリキュラム策定におけるこれらの設定に際しては，本報告書と共に，必要に応じて上記のCC2005やJ07などを参考に決定していくことで対応できるものと考えられる.提案するコアカリキュラムは，各大学の現状カリキュラムの調査結果と今後予想される社会情勢を踏まえ，上記人材を育成するコアカリキュラムとしてのあるべき姿を想定して選定されたものである．そのため，その中に記載の分野あるいは項目について，現状では教えていない大学（または，教える環境が整っていない大学）が存在することは十分予想できる．そのような大学には提案するコアカリキュラムを含む方向に進めて行くことを要望するものである．

当プロジェクトは，ここに記載する分野と項目を，いわば技術者教育の情報・通信分野に関するコアカリキュラムとして定着させることを目指している，と言っても過言ではない．JABEEなどを「教育プログラムの認定」とすれば，本報告の内容は「具体的な教育コンテンツ認証の基礎」という意味合いを有する．本報告の分野と項目，到達目標などを共通ターゲットとした厳格な評価手法が確立されれば，日本の技術者の情報・通信分野における質保証を強力に後押しすることができるものと考えられる．

【J07における５領域についての概略説明】

----------コンピュータエンジニアリング領域（CE: computer engineering）----------

人材の育成方針：組込みスキル標準（ETSS）（企業が大学教育に期待するスキル分布とほぼ同じ）を持つ技術者．卒業後も持続的に成長していくことができ，かつ技術者としての倫理観を有する人材．

分野：日本の各地域において活躍でき，コンピュータを組込みシステムを応用した製品開発に応用できる能力．単にソフトウェアのみでなくハードウェアの技術も含む．たとえば，通信技術，情報処理技術，制御技術，OSなどのプラットフォーム技術，ソフトウェア開発技術（システム要求定義，ソフトウェア作成，など）など．

----------ソフトウェアエンジニアリング領域（SE: software engineering）----------

人材の育成方針：プログラミング言語の習得にとどまらず，開発ライフサイクルや開発に必要なマネジメントやコミュニケーション，チームダイナミックスなどの能力を身に付ける.情報処理推進機構（IPA）によるITスキル標準（ITSS），組込みスキル標準（ETSS），情報システムユーザースキル標準（UISS）などに準拠する．

分野：ソフトウェア構築やソフトウェア設計，検証と妥当性確認，開発マネジメントといったソフトウェアエンジニアリングに必要な実践的技術およびマネジメント能力．

----------情報システム領域（IS: information systems）----------

人材の育成方針：情報システムの作成または活用についての専門知識と能力を持ち，広い視野でシステムをまとめあげることができる人材を育成する．

目的や分野：ISの基礎的な概念を理解すること，ISの学問と研究とは何かを理解すること，IS専門家としての実践的なスキル（技術的な側面と社会的側面）を身に付けること．戦略的要素としてのIS，IS開発の標準，ISの実現とアウトソーシング，知的作業と情報技術，問題解決と経営意志決定，システムとITの概念，組織と情報システム，OSの相互運用とシステム統合，アルゴリズム展開による問題解決，トップダウン実装による問題解決など．

----------インフォメーションテクノロジー領域（IT: information technology）----------

人材の育成方針：情報処理推進機構（IPA）によるITスキル標準（ITSS）の「ITスペシャリスト」「カスタマサービス」「ITサービスマネージメント」，情報システムユーザースキル標準（UISS）の「ISオペレーション」「ISアドミニストレータ」などに，また，情報処理技術者試験のテクニカルエ

ンジニア試験区分「ネットワーク」「システム管理」「情報セキュリティ」などに該当する人材を育成する．

目的や分野：ネットワーク，データベース，セキュリティ，プラットフォーム構築，Web，システム管理やメンテナンス，システムインテグレーションなどの情報技術を身につける．その際には，これらの基礎技術に関する基礎，概念の理解も含められる．

----------コンピュータ科学領域（CS: computer science）----------

人材の育成方針：コンピュータを用いたシステムのモデル化および設計に，数学的な基礎，アルゴリズムの諸原理および情報科学の諸理論を応用する能力，あるいは様々な複雑性を有するソフトウェアシステムの構築に，設計や開発の諸原理を応用する能力，を持った人材の育成．

目的や分野：情報とコンピュータの理論的系統的な扱いを主として，情報の諸分野の基礎としての役割を担う能力を養成する．より具体的な対象分野としては，離散構造，プログラミングの基礎，アルゴリズム，アーキテクチャと構成，ネットワークコンピューティング，ソフトウェア工学，などである．

６－７－３．情報・通信分野の到達目標と学修に当たっての配慮事項

情報・通信の到達目標と学修に当たっての配慮事項は，次の１０分野について示す．

１．「情報に関する数学」（Ａ１）
２．「通信に関する数学」（Ａ２）
３．「情報基礎」（Ｂ１）
４．「通信基礎」（Ｂ２）
５．「プログラミング」（Ｃ）
６．「情報セキュリティ／ネットワークセキュリティ」（Ｄ）
７．「コンピュータネットワーク」（Ｅ）
８．「〔情報〕コンピュータシステム」（Ｆ１）
９．「〔通信〕コンピュータシステム」（Ｆ２）
１０．【要望】　「ソフトウェア開発技術」（Ｇ）

※ 微分・積分，線形代数，常微分方程式，確率・統計は共通基礎に含ませているので，ここでは記載しない．

１．「情報に関する数学」（Ａ１）

１－１．【コア】離散数学

(1) 数列，級数，不等式（算術平均，幾何平均，調和平均）

到達目標

・数列，級数，不等式などの基礎的事項を理解する．

(2) 集合，関数（写像）

到達目標

・集合や関数（写像）などの基礎的事項を理解する．

(3) 整数（整数の性質（整列可能定理），最大公約数とユークリッド互除法，素数，剰余類と有限群）

到達目標

・整数の基本的性質やユークリッド互除法を理解し，ユークリッド互除法を使用して最大公約数を求めることができる．

(4) 基本的証明法（数学的帰納法，背理法，鳩の巣原理，包除原理）

到達目標

・数学的帰納法などの基本的な証明の方法や原理を理解し，各証明法を適用できる．

(5) 順列・組合せ，２項定理

到達目標

・順列・組合せや集合分割の個数などの数え上げの基礎を理解する．

(6)【要望】集合と整数の分割（集合と自然数の分割，カタラン数）

到達目標

・集合と整数の分割の基礎を理解する．

(7)【要望】母関数（数列や組合せ個数と母関数）

到達目標

・基本となる数列や組合せの個数と母関数の関係を理解する．

(8) 漸化式または差分方程式

(8-a) 展開解法，特性方程式解法

到達目標

・漸化式または差分方程式の解法を理解し，実際に解くことができる．

(8-b)【要望】母関数解法

到達目標

・漸化式または差分方程式の解法を理解し，実際に解くことができる．

(9) ２項関係（半順序関係，同値関係，商集合）

到達目標

・２項関係を理解する．

(10) 代数系

(10-a) 群，環，体，束（モジュラー束，分配束，ブール束）

到達目標

・群，環，体，束などの代数系の基礎を理解する．

(10-b)【要望】整数剰余と有限代数系（有限体，有限環，有限群），中国剰余定理

到達目標

・整数剰余のなす有限代数系の基礎を理解する．

(11) 数理論理

(11-a) 集合と論理，命題論理，推論規則，論理関数（標準形，充足可能性）

到達目標

・数理論理の基礎を理解する．

(11-b)【要望】述語論理

到達目標

・数理論理の基礎を理解する．

(12) グラフ理論

(12-a) グラフ，次数，パス，サイクル，木（根付木，順序木），切断点と橋，２点連結性，２辺連結性，いくつかの基本的なグラフ，ハミルトンパスとオイラーパス，連結性とメンガーの定理（関連性の説明），点または辺の彩色，平面性，グラフと行列

到達目標

・グラフ理論の基礎を理解する．

(12-b)【要望】グラフの連結性とメンガーの定理（詳細説明），マッチング，最短パス，最小全域木，最大フロー

到達目標

・グラフ・ネットワークの基礎的定理とアルゴリズムを理解する．簡単な実例に対してアルゴリズムを適用して解を求めることができる．

(13) 離散確率

(13-a) 事象，確率変数，平均（期待値とその線形性），分散，（正規，２項，幾何，ポアソン，一様）確率分布

到達目標

・離散確率の基礎を理解する．

(13-b)【要望】確率的方法，ランダム化戦略

到達目標

・離散確率を利用した命題証明方法を理解する．

(14)【要望】ラテン方陣とブロックデザイン

到達目標

・ラテン方陣とブロックデザインの基礎を理解し，簡単な例題を解くことができる．

学修に当たっての配慮事項

・情報分野，通信分野などの離散的な事項や事象を扱う数学的基礎としての重要性を認識させるとともに，演習などを十分に行なわせることで，必要に応じて自在に使いこなせる能力（運用力）を身に付けさせるように配慮する．

１－２．【コア】数値計算の基礎

・数値計算の基礎：数値表現と誤差および計算量（級数，多項式），連立一次方程式（ガウスの消去法，ＬＵ分解，ガウス・ザイデル法），曲線推定（ラグランジュ補間，Hermite 補間，スプライン補間，最小 2 乗法），非線形方程式（２分法，ニュートン法），常微分方程式（差分方程式，オイラー法，ルンゲクッタ法，１階または２階の初期値問題，２階の境界値問題），積分（台形則，シンプソン則，ロンバーグ積分則），偏微分方程式（拡散方程式，波動方程式，ラプラス方程式）

・計算機での数値計算演習

到達目標

・数値誤差と計算量の概念を理解し，これらの見積りができる．
・連立一次方程式の基本的解法を理解し，これらを使用することができる．
・関数近似や補間の概念を理解し，曲線の推定ができる．
・非線形方程式の基本的解法を理解し，解を求めることができる．
・常微分方程式の数値解法の基本を理解し，初期値問題や境界値問題を解くことができる．
・積分の数値解法の基本を理解し，数値積分ができる．
・代表的な偏微分方程式を数値計算によって解くことができる．

学修に当たっての配慮事項

・実際にプログラムを作成して演習問題を解くことで，基本的な数値計算法を理解し，基本的計算法が身に付くように配慮する．

１－３．【要望】ベクトル解析

（１）ベクトルの代数

(a) ベクトル，スカラー，ベクトルの和と差，ベクトルの成分，ベクトルのスカラー倍

到達目標

・ベクトルとスカラーを区別できる．また，空間の幾何学的ベクトルの和とスカラー倍について理解し，その成分表示ができる．

(b) 内積とその成分表示

到達目標

・内積とその成分表示および幾何的意味を理解し，具体的に計算できる．また，ベクトル a のベクトル b 方向の成分が計算できる．

(c) 外積とその成分表示

到達目標

・外積とその成分表示および幾何的意味を理解し，具体的に計算できる．

(d) スカラー３重積，ベクトル３重積

到達目標

・内積と外積を利用して，平行四辺形の面積や平行六面体の体積が計算できる．

学修に当たっての配慮事項

・具体的な事例を通じて，幾何的かつ物理的イメージを持つことができるように配慮する．

（２）ベクトル関数の微分積分

到達目標

・ベクトル関数の微分および積分の定義を理解し，具体的な関数について計算できる．
・微積分の多くの公式がベクトル関数についても成り立つことを理解し，利活用できる．

学修に当たっての配慮事項

・速度，加速度などの典型的事例を通じて，ベクトル関数の微分積分の計算に習熟するように配慮する．

（３）スカラー場，ベクトル場

(a) スカラー場，ベクトル場

到達目標
・スカラー場とベクトル場の概念を理解し，それぞれの例を挙げることができる．

(b) スカラー場の勾配，等位面，３次元の勾配ベクトル，方向微分係数
到達目標
・スカラー場の勾配，方向微分係数およびそれらの幾何的意味を理解し，具体的な対象について計算できる．

(c) スカラー場のラプラシアン
到達目標
・スカラー場のラプラシアンの定義を理解し，具体的な対象について計算できる．

(d) ベクトル場の発散，回転，回転操作，回転の重ね合わせ，角速度
到達目標
・ベクトル場の発散と回転の定義を理解し，具体的な対象について計算できる．
・種々のベクトル等式を導出できる．
学修に当たっての配慮事項
・単なる計算ツールとして数式を覚えるのではなく，幾何的および物理的イメージをもてるように配慮する．

（４）線積分，面積分，体積分
(a) 線積分
到達目標
・スカラー場およびベクトル場の線積分を理解し，勾配場の線積分は，経路に依らず始点と終点のみで決まることを理解する．また，具体的な対象について計算できる．

(b) 面積分
到達目標
・スカラー場およびベクトル場の面積分を理解し，具体的な対象について計算できる．

(c) 体積分
到達目標
・空間内の体積分の意味を理解し，具体的な対象について計算できる．
学修に当たっての配慮事項
・多くの計算事例を通じて，諸概念に習熟するよう配慮する．必要に応じて電磁場・流体現象・力学などの工学分野への応用に配慮する．

（５）ガウスの発散定理，ストークスの定理
(a) ガウスの発散定理
到達目標
・ガウスの発散定理の意味を理解し，具体的な対象についてそれらを利用した計算ができる．

(b) ストークスの定理
到達目標
・ストークスの定理の意味を理解し，具体的な対象についてそれらを利用した計算ができる．

(c) 発散，回転，渦なしの場，速度ポテンシャル，渦，発散のない場
到達目標
・発散は「泉の源」であること（極限による表現式）を理解する．
・回転は「渦の源」 であること（極限による表現式）を理解する．

(d) グリーンの定理，グリーンの公式
到達目標

・ガウスの発散定理を用いてグリーンの公式を導くことができる．

(e) ベクトルポテンシャル，ヘルムホルツの定理

到達目標

・ベクトルポテンシャルの存在条件やヘルムホルツの定理を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・電磁気や流体のイメージを援用して，定理の内容を直観的に把握できるよう配慮する．数式的意味は「領域内部の情報を境界上の情報に置き換える公式」であることを理解させる．

（６）直交曲線座標表示

(a) 極座標，平面極座標，直交座標，円柱座標，直交曲線座標表示の基本ベクトル

到達目標

・直交曲線座標表示の基本ベクトルと元々の直交座標の基本ベクトルの間に成り立つ関係式を導出できる．

・具体的なスカラー場とベクトル場を直交曲線座標で表現できる．

(b) 直交曲線座標の勾配，ラプラシアン，発散，回転

到達目標

・場の量（勾配，ラプラシアン，発散，回転）の各種の微分演算が，どのように表現されるかを導出できる．

(c) 直交曲線座標の線積分

到達目標

・線要素がどのように表現されるかを理解し，具体的な対象について線積分が計算できる．

(d) 直交曲線座標の面積分

到達目標

・面要素がどのように表現されるかを理解し，具体的な対象について面積分が計算できる．

(e) 直交曲線座標の体積分

到達目標

・体積要素がどのように表現されるかを理解し，具体的な対象について体積分が計算できる．

学修に当たっての配慮事項

・代表的な例として，極座標と円柱座標の２つを取り扱う．

（７）その他

到達目標

・ガウスの発散定理，ストークスの定理に関して，微分形式の概念による統一的記述を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・多くの計算事例を通じて，微分形式の概念を理解するよう配慮する．必要に応じて電磁場などの工学分野への応用に配慮する．

１－４．【要望】複素解析

（１）複素数と複素平面

(a) 複素平面，複素数の極座標表示（極形式）

到達目標

・複素平面と複素数の極座標表示（極形式）について理解する．

(b) オイラーの公式，ド・モアブルの定理，べき乗計算，複素数の n 乗根

到達目標

・オイラーの公式およびド・モアブルの定理を理解し，べき乗計算，複素数の n 乗根複素数列の極限など種々の計算に応用できる．

(c) 複素数列の極限，複素数列の発散と収束，複素数列の級数

到達目標

・複素数列の極限，複素数列の発散と収束，複素数列の級数を理解し，オイラーの公式およびド・モアブルを利用して，複素数列の極限などの計算に応用できる．

【要望】(d)～(h) の項目は専門分野での必要性に応じて，適宜，取捨選択する．

(d) リーマン球面，無限遠点

到達目標

・リーマン球面および無限遠点とは何かを理解し，リーマン球面上の円を理解する．

(e) コーシーの判定法

到達目標

・コーシーの判定法とは何かを理解し，それを利用して複素数列の収束性を判定できる．

(f) コーシーの乗積級数

到達目標

・コーシーの乗積級数は級数どうしの積であることを理解する．

(g) 一次変換（メービウス変換）

到達目標

・一次変換はリーマン球面上の円を円に写す（円・円対応）ことを理解する．

(h) 鏡像の原理

到達目標

・円に関する鏡像の原理とは何かを理解する．

学修に当たっての配慮事項

・複素数を高等学校で十分に学んでいないことを念頭におきながら，具体的な事例に活用できるよう配慮する．

（２）初等関数

(a) 基本的な複素関数（指数関数・三角関数・対数関数・累乗関数など）

到達目標

・基本的な複素関数（指数関数・三角関数・対数関数・累乗関数など）の定義および性質を理解し，関数値および関数値の変化を求めることができる．

学修に当たっての配慮事項

・独立変数を虚軸方向に変化させたときの複素関数の振る舞いに留意する．
・初等関数は複素数の世界で考えると，わかりやすく見通しがよくなることを意識させる．
・対数関数や累乗関数は多価性をもつため，一価関数との違いに留意する．

（３）正則関数

(a) 複素関数の正則性，コーシー・リーマンの関係式，調和関数

到達目標

・複素関数の正則性の意味を理解し，コーシー・リーマンの関係式による判定ができる．
・正則関数の実部・虚部がともに調和関数であり，一方を与えると他方が定まることを理解する．

(b) 複素関数の基本事項（極限値，連続性，導関数，微分可能性，特異点）

到達目標

・複素関数の基本事項（極限値，連続性，導関数，微分可能性，特異点）を理解する．

【要望】(c) の項目は専門分野での必要性に応じて，適宜，取捨選択する．

(c) ド・ロピタルの定理

到達目標

・ド・ロピタルの定理を理解し，具体的な不定形の極限が計算できる．

学修に当たっての配慮事項

・具体的な事例通じて，各種の概念および計算に習熟できるよう配慮する．

（４）複素積分

(a) 複素関数の積分

到達目標

・複素関数の積分の定義を理解し，パラメータ表示を設定して具体的な積分が計算できる．

(b) コーシーの積分定理

到達目標

・コーシーの積分定理について理解し，それを用いて積分路の変形ができる．

(c) コーシーの積分公式

到達目標

・コーシーの積分公式(正則関数の積分表示)を理解し，それを利用して複素積分の計算ができる．

(d) 正則関数の積分，不定積分

到達目標

・不定積分とは何かを理解し，正則関数の不定積分が存在することを理解する．

【要望】(e)～(k) の項目は，専門分野での必要性に応じて，適宜，取捨選択する．

(e) 2 次元グリーンの公式の複素形式

到達目標

・2 次元グリーンの公式の複素形式の導出を理解する．

・平面図形の面積や重心などの計算に応用できる．

(f) モレラの定理

到達目標

・モレラの定理を理解する．

(g) コーシーの評価式

到達目標

・コーシーの積分公式を利用してコーシーの評価式を導出できる．

(h) 一致の定理

到達目標

・一致の定理の主張を理解する．

(i) 最大値の原理

到達目標

・最大値の原理の主張を理解する．

(j) リウヴィルの定理

到達目標

・リウヴィルの定理の主張を理解する．

(k) 代数学の基本定理

到達目標

・リウヴィルの定理を応用して，代数学の基本定理の主張および証明を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・具体的な計算事例を通じて，複素積分に関わる諸概念に習熟するように配慮する．

（５）テイラー展開・ローラン展開

(a) テイラー展開とその収束半径

到達目標

・正則関数のテイラー展開とその収束半径について理解し，具体的な関数についてそれらを求めることができる．

(b) 孤立特異点，ローラン展開

到達目標

・孤立特異点の定義とその分類（除去可能な特異点，極，真性特異点）を理解する．さらに，具体的な対象について，極の位数を求めることができる．

・孤立特異点のまわりの円環領域でのローラン展開について理解し，具体的な関数についてそれを求めることができる．

【要望】(c)，(d)，(e) の項目は，専門分野での必要性に応じて，適宜，取捨選択する．

(c) リーマンの定理

到達目標

・リーマンの定理の主張を理解する．

(d) ワルエルシュトラスの定理

到達目標

・ワルエルシュトラスの定理の主張を理解する．

(e) ピカールの定理

到達目標

・ピカールの定理の主張を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・具体的な計算事例を通じて，テイラー展開およびローラン展開に習熟するよう配慮する．

（６）留数・留数定理とその応用

(a) 留数

到達目標

・孤立特異点における留数の概念を理解し，具体的にそれを求めることができる．

(b) 留数定理

到達目標

・留数定理を使って種々の複素積分の計算ができる．
・留数定理を応用して，ある種の実関数の定積分を求めることができる．

【要望】(c)～(g) の項目は，専門分野での必要性に応じて，適宜，取捨選択する．

(c) 偏角の原理

到達目標

・偏角の原理の主張を理解する．

(d) ルーシュの定理

到達目標

・ルーシュの定理の主張を理解する．

(e) 部分分数展開，無限乗積

到達目標

・有理型関数の定義を理解し，有理型関数の部分分数展開を理解する．
・無限乗積とは何かを理解し，正則関数の無限乗積表示を理解する．

(f) ジョルダンの補助定理

到達目標

・ジョルダンの補助定理を理解する．

(g) 有理関数の積分，多価関数（分数べき関数，対数関数）の積分

到達目標

・留数定理を利用して，具体的な関数の積分が計算できる．

学修に当たっての配慮事項

・具体的な計算事例を通じて，幅広い応用事例に活用できるよう配慮する．

（７）【要望】解析接続

(a) 解析接続

到達目標

・解析接続とは何かを理解し，その典型的な手法を理解する．

(b) ガンマ関数とベータ関数

到達目標
・ガンマ関数とベータ関数それぞれの複素積分表示を理解する.

(c) リーマンのゼータ関数

到達目標
・リーマンのゼータ関数の定義を理解し，全複素平面へ解析接続されることを理解する.
学修に当たっての配慮事項
・具体的な例を通じて，解析接続の概念に習熟するよう配慮する.
・専門分野での必要性に応じて，適宜，取捨選択する.

（８）等角写像

(a) 正則関数の等角性

到達目標
・正則関数の等角性を理解する.

【要望】(b)，(c)の項目は，専門分野での必要性に応じて，適宜，取捨選択する.

(b) 等角写像

到達目標
・等角写像の具体的な実例を理解する.

(c) リーマンの写像定理

到達目標
・リーマンの写像定理の主張を理解する.
学修に当たっての配慮事項
・正則関数の実部・虚部の物理的意味を明らかにし，必要に応じて電磁場・流体現象などの工学分野への応用に配慮する.

（９）【要望】境界値問題

(a) 境界値問題

到達目標
・正則関数を用いて，２次元ラプラス方程式のディリクレ問題とノイマン問題を解くことができる.
学修に当たっての配慮事項
・具体的な計算事例を通じて，境界値問題に習熟するよう配慮する.

１－５.【要望】フーリエ解析

（１）フーリエ級数，複素フーリエ級数

(a) フーリエ級数，フーリエ係数

到達目標
・フーリエ級数，フーリエ係数の意味するところを理解する.

(b) 周期関数のフーリエ級数展開

到達目標
・具体的な周期関数のフーリエ級数展開を行うことができる.

(c) 正弦級数展開，余弦級数展開

到達目標
・具体的な関数の正弦級数展開，余弦級数展開を行うことができる.

(d) オイラーの公式，ド・モアブル（de Moivre）の公式，複素フーリエ級数

到達目標
・具体的な周期関数の複素フーリエ級数を求めることができる.
学修に当たっての配慮事項
・具体的な計算事例を通じて，フーリエ級数展開について習熟するよう配慮する.

（２）フーリエ級数の基本的性質

(a) フーリエ級数の各点収束，ディリクレの条件

到達目標

・フーリエ級数の各点収束に関する定理（ディリクレの条件）を理解し，これを通じてフーリエ級数の適用性の広さを理解する．また，その定理を応用して無限級数の値を求めることができる．

(b) フーリエ級数のギブス（Gibbs）現象

到達目標

・フーリエ級数のギブス（Gibbs）現象を理解する．

(c) フーリエ級数の項別微分および項別積分

到達目標

・フーリエ級数の項別微分および項別積分に関する定理を，具体的な対象について正しく適用できる．

(d) 最良近似問題，平均２乗誤差，フーリエ級数の最終性，ベッセル（Bessel）の不等式

到達目標

・最良近似問題を解くことができる．また，ベッセル（Bessel）の不等式の意味するところを理解する．

(e) パーセバル（Parseval）の等式

到達目標

・パーセバル（Parseval）の等式の適用条件を理解し，これを用いて無限級数の値を求めることができる．

学修に当たっての配慮事項

・具体的な計算事例を通じて，フーリエ級数の収束，微分，積分およびその他の基本性質について習熟するよう配慮する．

（３）フーリエ級数の適用例

(a) 微分演算，積分演算

到達目標

・フーリエ級数展開を用いることにより，微分，積分の演算は代数的操作に置き換わることを理解する．

(b) 変数分離法

到達目標

・変数分離法を用いて，熱方程式，波動方程式の初期値・境界値問題およびラプラスの方程式の境界値問題を解くことができる．

学修に当たっての配慮事項

・典型的な例を通じて，偏微分方程式の古典的解法である変数分離法に習熟するよう配慮する．

（４）フーリエ変換・フーリエ逆変換の収束と性質

(a) フーリエの積分公式

到達目標

・フーリエの積分公式の（形式的な）導出を理解する．

(b) フーリエ変換，フーリエ逆変換（反転公式）

到達目標

・フーリエ変換およびフーリエ逆変換（反転公式）の意味するところを理解する．

(c) フーリエ余弦変換，正弦変換

到達目標

・フーリエ余弦変換，正弦変換の意味するところを理解する．また，具体的な対象について，これらの変換が計算できる．

(d) 線形性，周波数シフトの定理，たたみこみ定理（重ね合わせの原理）

到達目標

・線形性，周波数シフトの定理，たたみこみ定理（重ね合わせの原理）などのフーリエ変換の諸性質を理解する．

(e) 微分演算，積分演算

到達目標

・フーリエ変換を用いることにより，微分，積分の演算は代数的操作に置き換わることを理解する．

(f) フーリエ変換および逆変換の収束に関する定理（ディリクレの条件）

到達目標

・フーリエ変換および逆変換の収束に関する定理（ディリクレの条件）を定積分の計算に応用できる．

(g) パーセバル（Parseval）の等式と定積分への応用

到達目標

・パーセバル（Parseval）の等式を定積分の計算に応用できる．

(h) デルタ関数

到達目標

・デルタ関数の定義と性質について理解し，デルタ関数のフーリエ変換が計算できる．

(i) 自己相関関数，パワースペクトル

到達目標

・自己相関関数，パワースペクトルを理解する．

(j) サンプリング定理

到達目標

・サンプリング定理の意味と適用条件を理解する．

(k) ウィーナー・ヒンチン（Wiener-Khintchine）の定理

到達目標

・ウィーナー・ヒンチン（Wiener-Khintchine）の定理の意味と適用条件を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・具体的な計算事例を通じて，フーリエ解析に関わる各種の性質および操作について習熟するよう配慮する．

（５）一般化フーリエ級数

(a) 関数の内積，ノルム

到達目標

・関数の内積，ノルムを理解する．

(b) 直交関数系，関数（正弦関数，余弦関数，複素系の指数関数）の直交性

到達目標

・直交関数系，正弦関数および余弦関数の直交性，複素系の指数関数の直交性を理解する．

(c) フーリエ級数の平均２乗収束

到達目標

・フーリエ級数の平均２乗収束を理解する．

学修に当たっての配慮事項
・フーリエ級数の一般化を n 次元ユークリッド空間のアナロジーにもとづいて理解するよう配慮する．

（６）離散フーリエ変換

(a) 離散フーリエ変換，離散フーリエ逆変換

到達目標
・離散フーリエ変換および離散フーリエ逆変換の意味するところを理解する．

(b) 高速フーリエ変換

到達目標
・高速フーリエ変換のアルゴリズムを理解する．

(c) 周期関数のサンプリング定理

到達目標
・周期関数のサンプリング定理の意味と適用条件を理解する．

(d) 離散コサイン変換

到達目標
・離散コサイン変換の意味するところを理解する．
学修に当たっての配慮事項
・コンピュータを用いた数値計算事例を利活用して，これらの考え方と計算法の理解を深めるように配慮する．

（７）ラプラス変換，逆変換

(a) ラプラス変換，ラプラス逆変換の定義

到達目標
・ラプラス変換およびラプラス逆変換の定義とその意味するところを理解する．

(b) ラプラス変換の収束条件

到達目標
・ラプラス変換が収束する条件を理解する．

(c) 基本的な関数のラプラス変換

到達目標
・ラプラス変換の定義にもとづいて，基本的な関数のラプラス変換の計算ができる．

(d) ラプラス変換の基本的性質，部分分数展開および留数定理によるラプラス（逆）変換

到達目標
・ラプラス変換の基本的性質を利用して，あるいは部分分数展開および留数定理を利用して，種々のラプラス（逆）変換の計算ができる．

(e) 単位関数，デルタ関数および周期関数のラプラス変換

到達目標
・単位関数およびデルタ関数のラプラス変換が計算でき，それを応用して周期関数のラプラス変換の計算ができる．
学修に当たっての配慮事項
・具体的な計算事例を通じて，ラプラス変換および逆変換に習熟するよう配慮する．

（８）ラプラス変換の有用な性質

(a) ラプラス変換の線形性，移動法則，およびたたみこみ定理

到達目標
・ラプラス変換の有用な性質である線形性，移動法則，およびたたみこみ定理を理解する．

(b) 微分演算，積分演算

到達目標

・ラプラス変換を用いることにより，微分，積分の演算は代数的操作に置き換わることを理解する．

学修に当たっての配慮事項

・具体的な計算事例を通じて，ラプラス変換および逆変換の性質や操作に習熟するよう配慮する．

（９）ラプラス変換の適用例

(a) 線形定数係数常微分方程式の初期値問題

到達目標

・線形定数係数の常微分方程式の初期値問題をラプラス変換を利用して解くことができる．

(b) 積分方程式の初期値問題および境界値問題

到達目標

・積分方程式の初期値問題および境界値問題への応用について理解する．

学修に当たっての配慮事項

・力学系，電気回路系，制御系など，各専門分野での具体的な活用事例を用いてラプラス変換を応用する能力を向上させるように配慮する．

１－６．【要望】確率過程／待ち行列理論

(1) 確率変数，確率分布（離散確率分布，連続確率分布）

到達目標

・組合せ確率に基づいた古典的確率論の基礎事項，および確率変数の基本概念を理解する．また，測度論など高度に数学的な概念を用いることなく，‘確率’のもつ本質的なイメージを直感的に掴む．

(2) 多変量確率変数，畳込みと極限定理

到達目標

・具体的に確率分布関数が与えられた場合に，平均，分散，各種モーメントを計算することができる．さらに分布の畳込み演算や特性関数を計算することができる．

(3) ポアソン過程（計数過程としての確率過程，到着時間分布による特徴づけ），再生過程（再生関数と再生定理，年齢と寿命による特徴づけ）

到達目標

・ポアソン過程や再生過程の基本的性質を理解する．また，再生関数や到着時間間隔分布に関する種々の結果，さらにはこれらの確率過程の極限における性質を導出することができる．

(4) マルコフ過程（コルモゴロフ方程式，極限推移確率，無限状態マルコフ過程，有限状態マルコフ過程）

到達目標

・マルコフ性を理解する．さらに，マルコフ過程における推移確率の計算，極限推移確率の計算を行うことができる．

(5) 待ち行列理論：トラフィック理論と待ち行列

到達目標

・不確実な現象を確率変数や確率過程によって記述するためのモデル化ができる．

(6) 待ち行列理論の基礎（リトルの公式，待ちの評価量，確率分布，確率過程，確率モデル）

到達目標

・待ち行列理論の基礎（リトルの公式，待ちの評価量，確率分布，確率過程，確率モデル）を理解する．

(7) マルコフ連鎖，再生型確率過程

到達目標

・代表的な確率過程（マルコフ連鎖，再生型確率過程）を理解する．

(8) 出生死滅過程における待ち行列システム，マルコフ過程における待ち行列システム，M/G/1 待ち行列システム（ポラチェックーヒンチンの公式），M/M/S 待ち行列システム

到達目標

・代表的な待ち行列システムを解析することができる．

学修に当たっての配慮事項

・様々な例を用いることにより，確率過程の本質的な意味や様々な待ち行列システムの理解を深めるように配慮する．

１－７．【要望】数値計算法

連立一次方程式（SOR 法，共役勾配法，疎行列技法），常微分方程式（多段法，予測子－修正子法），固有値（相似変換法（ヤコビ法），ベクトル反復法（べき乗法），実対称行列，ハウスホルダー変換と三重対角化，実係数非対称行列，ヘッセンベルグ行列と QR 法，固有ベクトルの算出），積分（ガウス積分則），有限要素法，離散フーリエ変換，モンテカルロ法

到達目標

・種々の連立一次方程式の解法および大規模問題の解法の基礎を理解し，これらを使用することができる．
・常微分方程式の種々の数値解法を理解し，それらを使用して方程式を解くことができる．
・固有値計算の基本的手法を理解し，実際に計算に使用することができる．
・積分の種々の数値解法を理解し，数値積分ができる．
・様々な数値計算法を理解し，それらを使って，問題を解くことができる．

学修に当たっての配慮事項

・実際にプログラムを作成して演習問題を解くことで，各種の数値計算法を理解し，各種の計算法が身に付くように配慮する．

１－８．【要望】最適化手法

・数理計画：離散最適化（グラフ・ネットワーク，動的計画法，分枝限定法，整数計画法，近似アルゴリズムとメタ戦略），線形計画法（単体法，双対性，２次計画法），非線形計画（ニュートン法，逐次２次計画法，ホモトピー法，等），等
・計算機での数理計画演習

到達目標

・最適化すべきシステムを数学モデルとして表現できる．加えて，各種の最適化手法，ヒューリスティック解法を理解し，具体的問題に適用して解決できる．
・組合せ最適化問題の特徴と数学的表現を理解する．
・種々の最適化手法とヒューリスティック解法の構成と特徴を理解する．
・身近な問題を組合せ最適化問題として定式化する方法を身につける．
・具体的問題に適用して解決できる．

学修に当たっての配慮事項

・具体例で概念を把握させ，また，多くの具体的問題への適用を通じて，定式化と手法の扱いに習熟させる．

２．「通信に関する数学」（Ａ２）

２－１．【コア】離散数学

(1) 数列，級数，不等式（算術平均，幾何平均，調和平均）

到達目標

・数，級数，不等式などの基礎的事項を理解する．

(2) 集合，関数（写像）

到達目標

・集合や関数（写像）などの基礎的事項を理解する．

(3) 整数（整数の性質（整列可能定理），最大公約数とユークリッド互除法，素数，剰余類と群）

到達目標

・整数の基本的性質やユークリッド互除法を理解し，ユークリッド互除法を使用して最大公約数を求めることができる．

(4) 基本的証明法（数学的帰納法，背理法，鳩の巣原理，包除原理）

到達目標

・数学的帰納法などの基本的な証明の方法や原理を理解し，各証明法を適用できる．

(5) 順列・組合せ，２項定理

到達目標

・順列・組合せや集合分割の個数などの数え上げの基礎を理解する．

(6) 【要望】集合と整数の分割（集合と自然数の分割，カタラン数）

到達目標

・集合と整数の分割の基礎を理解する．

(7) 【要望】母関数（数列や組合せ個数と母関数）

到達目標

・基本となる数列や組合せの個数と母関数の関係を理解する．

(8) 漸化式または差分方程式

(8-a) 展開解法，特性方程式解法

到達目標

・漸化式または差分方程式の解法を理解し，実際に解くことができる．

(8-b) 【要望】母関数解法

到達目標

・漸化式または差分方程式の解法を理解し，実際に解くことができる．

(9) ２項関係（半順序関係，同値関係，商集合）

到達目標

・２項関係を理解する．

(10) 代数系（群，環，体，束（モジュラー束，分配束，ブール束））

到達目標

・群，環，体，束などの代数系の基礎を理解する．

(11) 数理論理

(11-a) 集合と論理，命題論理，推論規則，論理関数（標準形，充足可能性）

到達目標

・数理論理の基礎を理解する．

(11-b)【要望】述語論理

到達目標

・数理論理の基礎を理解する．

(12) グラフ理論

(12-a) グラフ，次数，パス，サイクル，木（根付木，順序木），切断点と橋，２点連結性，２辺連結性，いくつかの基本的なグラフ，ハミルトンパスとオイラーパス，連結性とメンガーの定理（関連性の説明），点または辺の彩色，平面性，グラフと行列

到達目標

・グラフ理論の基礎を理解する.

(12-b)【要望】グラフの連結性とメンガーの定理(詳細説明), マッチング, 最短パス, 最小全域木, 最大フロー

到達目標

・グラフ・ネットワークの基礎的定理とアルゴリズムを理解する. 簡単な実例に対してアルゴリズムを適用して解を求めることができる.

(13) 離散確率

(13-a) 事象, 確率変数, 平均(期待値), 分散, (正規, 2項, 幾何, ポアソン, 一様)確率分布

到達目標

・離散確率の基礎を理解する.

(13-b)【要望】確率的方法, ランダム化戦略

到達目標

・離散確率を利用した命題証明方法を理解する.

(14)【要望】ラテン方陣とブロックデザイン

到達目標

・ラテン方陣とブロックデザインの基礎を理解し, 簡単な例題を解くことができる.

学修に当たっての配慮事項

・情報分野, 通信分野などの離散的な事項や事象を扱う数学的基礎としての重要性を認識させるとともに, 演習などを十分に行なわせることで, 必要に応じて自在に使いこなせる能力(運用力)を身に付けさせるように配慮する.

2－2.【コア】数値計算の基礎

・数値計算の基礎:数値表現と誤差および計算量(級数, 多項式), 連立一次方程式(ガウスの消去法, LU分解, ガウス・ザイデル法), 曲線推定(ラグランジュ補間, Hermite 補間, スプライン補間, 最小 2 乗法), 非線形方程式(2分法, ニュートン法), 常微分方程式(差分方程式, オイラー法, ルンゲクッタ法, 1階または2階の初期値問題, 2階の境界値問題), 積分(台形則, シンプソン則, ロンバーグ積分則), 偏微分方程式(拡散方程式, 波動方程式, ラプラス方程式)

・計算機での数値計算演習

到達目標

・数値誤差と計算量の概念を理解し, これらの見積りができる.
・連立一次方程式の基本的解法を理解し, これらを使用することができる.
・関数近似や補間の概念を理解し, 曲線の推定ができる.
・非線形方程式の基本的解法を理解し, 解を求めることができる.
・常微分方程式の数値解法の基本を理解し, 初期値問題や境界値問題を解くことができる.
・積分の数値解法の基本を理解し, 数値積分ができる.
・代表的な偏微分方程式を数値計算によって解くことができる.

学修に当たっての配慮事項

・実際にプログラムを作成して演習問題を解くことで, 基本的な数値計算法を理解し, 基本的計算法が身に付くように配慮する.

2－3.【要望】ベクトル解析

(1) ベクトルの代数

(a) ベクトル, スカラー, ベクトルの和と差, ベクトルの成分, ベクトルのスカラー倍

到達目標

・ベクトルとスカラーを区別できる. また, 空間の幾何学的ベクトルの和とスカラー倍について理解し, その成分表示ができる.

(b) 内積とその成分表示

到達目標

・内積とその成分表示および幾何的意味を理解し，具体的に計算できる．また，ベクトル a のベクトル b 方向の成分が計算できる．

(c) 外積とその成分表示

到達目標

・外積とその成分表示および幾何的意味を理解し，具体的に計算できる．

(d) スカラー３重積，ベクトル３重積

到達目標

・内積と外積を利用して，平行四辺形の面積や平行六面体の体積が計算できる．

学修に当たっての配慮事項

・具体的な事例を通じて，幾何的かつ物理的イメージを持つことができるように配慮する．

（２）ベクトル関数の微分積分

到達目標

・ベクトル関数の微分および積分の定義を理解し，具体的な関数について計算できる．

・微積分の多くの公式がベクトル関数についても成り立つことを理解し，利活用できる．

学修に当たっての配慮事項

・速度，加速度などの典型的事例を通じて，ベクトル関数の微分積分の計算に習熟するように配慮する．

（３）スカラー場，ベクトル場

(a) スカラー場，ベクトル場

到達目標

・スカラー場とベクトル場の概念を理解し，それぞれの例を挙げることができる．

(b) スカラー場の勾配，等位面，３次元の勾配ベクトル，方向微分係数

到達目標

・スカラー場の勾配，方向微分係数およびそれらの幾何的意味を理解し，具体的な対象について計算できる．

(c) スカラー場のラプラシアン

到達目標

・スカラー場のラプラシアンの定義を理解し，具体的な対象について計算できる．

(d) ベクトル場の発散，回転，回転操作，回転の重ね合わせ，角速度

到達目標

・ベクトル場の発散と回転の定義を理解し，具体的な対象について計算できる．

・種々のベクトル等式を導出できる．

学修に当たっての配慮事項

・単なる計算ツールとして数式を覚えるのではなく，幾何的および物理的イメージをもてるように配慮する．

（４）線積分，面積分，体積分

(a) 線積分

到達目標

・スカラー場およびベクトル場の線積分を理解し，勾配場の線積分は，経路に依らず始点と終点のみで決まることを理解する．また，具体的な対象について計算できる．

(b) 面積分

到達目標

・スカラー場およびベクトル場の面積分を理解し，具体的な対象について計算できる．

(c) 体積分

到達目標

・空間内の体積分の意味を理解し，具体的な対象について計算できる．

学修に当たっての配慮事項

・多くの計算事例を通じて，諸概念に習熟するよう配慮する．必要に応じて電磁場・流体現象・力学などの工学分野への応用に配慮する．

（５）ガウスの発散定理，ストークスの定理

(a) ガウスの発散定理

到達目標

・ガウスの発散定理の意味を理解し，具体的な対象についてそれらを利用した計算ができる．

(b) ストークスの定理

到達目標

・ストークスの定理の意味を理解し，具体的な対象についてそれらを利用した計算ができる．

(c) 発散，回転，渦なしの場，速度ポテンシャル，渦，発散のない場

到達目標

・発散は「泉の源」であること（極限による表現式）を理解する．

・回転は「渦の源」であること（極限による表現式）を理解する．

(d) グリーンの定理，グリーンの公式

到達目標

・ガウスの発散定理を用いてグリーンの公式を導くことができる．

(e) ベクトルポテンシャル，ヘルムホルツの定理

到達目標

・ベクトルポテンシャルの存在条件やヘルムホルツの定理を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・電磁気や流体のイメージを援用して，定理の内容を直観的に把握できるよう配慮する．数式的意味は「領域内部の情報を境界上の情報に置き換える公式」であることを理解させる．

（６）直交曲線座標表示

(a) 極座標，平面極座標，直交座標，円柱座標，直交曲線座標表示の基本ベクトル

到達目標

・直交曲線座標表示の基本ベクトルと元々の直交座標の基本ベクトルの間に成り立つ関係式を導出できる．

・具体的なスカラー場とベクトル場を直交曲線座標で表現できる．

(b) 直交曲線座標の勾配，ラプラシアン，発散，回転

到達目標

・場の量（勾配，ラプラシアン，発散，回転）の各種の微分演算が，どのように表現されるかを導出できる．

(c) 直交曲線座標の線積分

到達目標

・線要素がどのように表現されるかを理解し，具体的な対象について線積分が計算できる．

(d) 直交曲線座標の面積分

到達目標

・面要素がどのように表現されるかを理解し，具体的な対象について面積分が計算できる．

(e) 直交曲線座標の体積分

到達目標
・体積要素がどのように表現されるかを理解し，具体的な対象について体積分が計算できる．
学修に当たっての配慮事項
・代表的な例として，極座標と円柱座標の２つを取り扱う．

（７）その他
到達目標
・ガウスの発散定理，ストークスの定理に関して，微分形式の概念による統一的記述を理解する．
学修に当たっての配慮事項
・多くの計算事例を通じて，微分形式の概念を理解するよう配慮する．必要に応じて電磁場などの工学分野への応用に配慮する．

２－４．【要望】複素解析

（１）複素数と複素平面

(a) 複素平面，複素数の極座標表示（極形式）
到達目標
・複素平面と複素数の極座標表示（極形式）について理解する．

(b) オイラーの公式，ド・モアブルの定理，べき乗計算，複素数の n 乗根
到達目標
・オイラーの公式およびド・モアブルの定理を理解し，べき乗計算，複素数の n 乗根，複素数列の極限など種々の計算に応用できる．

(c) 複素数列の極限，複素数列の発散と収束，複素数列の級数
到達目標
・複素数列の極限，複素数列の発散と収束，複素数列の級数を理解し，オイラーの公式およびド・モアブルを利用して，複素数列の極限などの計算に応用できる．

【要望】(d)～(h) の項目は専門分野での必要性に応じて，適宜，取捨選択する．

(d) リーマン球面，無限遠点
到達目標
・リーマン球面および無限遠点とは何かを理解し，リーマン球面上の円を理解する．

(e) コーシーの判定法
到達目標
・コーシーの判定法とは何かを理解し，それを利用して複素数列の収束性を判定できる．

(f) コーシーの乗積級数
到達目標
・コーシーの乗積級数は級数どうしの積であることを理解する．

(g) 一次変換（メービウス変換）
到達目標
・一次変換はリーマン球面上の円を円に写す（円・円対応）ことを理解する．

(h) 鏡像の原理
到達目標
・円に関する鏡像の原理とは何かを理解する．
学修に当たっての配慮事項
・複素数を高等学校で十分に学んでいないことを念頭におきながら，具体的な事例に活用できるよう配慮する．

（２）初等関数

(a) 基本的な複素関数（指数関数・三角関数・対数関数・累乗関数など）
到達目標

・基本的な複素関数（指数関数・三角関数・対数関数・累乗関数など）の定義および性質を理解し，関数値および関数値の変化を求めることができる．

学修に当たっての配慮事項

・独立変数を虚軸方向に変化させたときの複素関数の振る舞いに留意する．
・初等関数は複素数の世界で考えると，わかりやすく見通しがよくなることを意識させる．
・対数関数や累乗関数は多価性をもつため，一価関数との違いに留意する．

（３）正則関数

(a) 複素関数の正則性，コーシー・リーマンの関係式，調和関数

到達目標

・複素関数の正則性の意味を理解し，コーシー・リーマンの関係式による判定ができる．
・正則関数の実部・虚部がともに調和関数であり，一方を与えると他方が定まることを理解する．

(b) 複素関数の基本事項（極限値，連続性，導関数，微分可能性，特異点）

到達目標

・複素関数の基本事項（極限値，連続性，導関数，微分可能性，特異点）を理解する．

【要望】(c) の項目は専門分野での必要性に応じて，適宜，取捨選択する．

(c) ド・ロピタルの定理

到達目標

・ド・ロピタルの定理を理解し，具体的な不定形の極限が計算できる．

学修に当たっての配慮事項

・具体的な事例通じて，各種の概念および計算に習熟できるよう配慮する．

（４）複素積分

(a) 複素関数の積分

到達目標

・複素関数の積分の定義を理解し，パラメータ表示を設定して具体的な積分が計算できる．

(b) コーシーの積分定理

到達目標

・コーシーの積分定理について理解し，それを用いて積分路の変形ができる．

(c) コーシーの積分公式

到達目標

・コーシーの積分公式(正則関数の積分表示)を理解し，それを利用して複素積分の計算ができる．

(d) 正則関数の積分，不定積分

到達目標

・不定積分とは何かを理解し，正則関数の不定積分が存在することを理解する．

【要望】(e)～(k) の項目は，専門分野での必要性に応じて，適宜，取捨選択する．

(e) 2 次元グリーンの公式の複素形式

到達目標

・2 次元グリーンの公式の複素形式の導出を理解する．
・平面図形の面積や重心などの計算に応用できる．

(f) モレラの定理

到達目標

・モレラの定理を理解する．

(g) コーシーの評価式

到達目標

・コーシーの積分公式を利用してコーシーの評価式を導出できる．

(h) 一致の定理

到達目標
・一致の定理の主張を理解する．

(i) 最大値の原理

到達目標
・最大値の原理の主張を理解する．

(j) リウヴィルの定理

到達目標
・リウヴィルの定理の主張を理解する．

(k) 代数学の基本定理

到達目標
・リウヴィルの定理を応用して，代数学の基本定理の主張および証明を理解する．
学修に当たっての配慮事項
・具体的な計算事例を通じて，複素積分に関わる諸概念に習熟するように配慮する．

（５）テイラー展開・ローラン展開

(a) テイラー展開とその収束半径

到達目標
・正則関数のテイラー展開とその収束半径について理解し，具体的な関数についてそれらを求めることができる．

(b) 孤立特異点，ローラン展開

到達目標
・孤立特異点の定義とその分類（除去可能な特異点，極，真性特異点）を理解する．さらに，具体的な対象について，極の位数を求めることができる．
・孤立特異点のまわりの円環領域でのローラン展開について理解し，具体的な関数についてそれを求めることができる．

【要望】(c)，(d)，(e) の項目は，専門分野での必要性に応じて，適宜，取捨選択する．

(c) リーマンの定理

到達目標
・リーマンの定理の主張を理解する．

(d) ワルエルシュトラスの定理

到達目標
・ワルエルシュトラスの定理の主張を理解する．

(e) ピカールの定理

到達目標
・ピカールの定理の主張を理解する．
学修に当たっての配慮事項
・具体的な計算事例を通じて，テイラー展開およびローラン展開に習熟するよう配慮する．

（６）留数・留数定理とその応用

(a) 留数

到達目標
・孤立特異点における留数の概念を理解し，具体的にそれを求めることができる．

(b) 留数定理

到達目標
・留数定理を使って種々の複素積分の計算ができる．
・留数定理を応用して，ある種の実関数の定積分を求めることができる．

【要望】(c)～(g) の項目は，専門分野での必要性に応じて，適宜，取捨選択する．

(c) 偏角の原理

到達目標

・偏角の原理の主張を理解する．

(d) ルーシュの定理

到達目標

・ルーシュの定理の主張を理解する．

(e) 部分分数展開，無限乗積

到達目標

・有理型関数の定義を理解し，有理型関数の部分分数展開を理解する．

・無限乗積とは何かを理解し，正則関数の無限乗積表示を理解する．

(f) ジョルダンの補助定理

到達目標

・ジョルダンの補助定理を理解する．

(g) 有理関数の積分，多価関数（分数べき関数，対数関数）の積分

到達目標

・留数定理を利用して，具体的な関数の積分が計算できる．

学修に当たっての配慮事項

・具体的な計算事例を通じて，幅広い応用事例に活用できるよう配慮する．

（７）【要望】解析接続

(a) 解析接続

到達目標

・解析接続とは何かを理解し，その典型的な手法を理解する．

(b) ガンマ関数とベータ関数

到達目標

・ガンマ関数とベータ関数それぞれの複素積分表示を理解する．

(c) リーマンのゼータ関数

到達目標

・リーマンのゼータ関数の定義を理解し，全複素平面へ解析接続されることを理解する．

学修に当たっての配慮事項

・具体的な例を通じて，解析接続の概念に習熟するよう配慮する．

・専門分野での必要性に応じて，適宜，取捨選択する．

（８）等角写像

(a) 正則関数の等角性

到達目標

・正則関数の等角性を理解する．

【要望】(b)，(c)の項目は，専門分野での必要性に応じて，適宜，取捨選択する．

(b) 等角写像

到達目標

・等角写像の具体的な実例を理解する．

(c) リーマンの写像定理

到達目標

・リーマンの写像定理の主張を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・正則関数の実部・虚部の物理的意味を明らかにし，必要に応じて電磁場・流体現象などの工学分野への応用に配慮する．

（９）【要望】境界値問題

(a) 境界値問題

到達目標

・正則関数を用いて，２次元ラプラス方程式のディリクレ問題とノイマン問題を解くことができる．

学修に当たっての配慮事項

・具体的な計算事例を通じて，境界値問題に習熟するよう配慮する．

２－５．【要望】フーリエ解析

（１）フーリエ級数，複素フーリエ級数

(a) フーリエ級数，フーリエ係数

到達目標

・ フーリエ級数，フーリエ係数の意味するところを理解する．

(b) 周期関数のフーリエ級数展開

到達目標

・具体的な周期関数のフーリエ級数展開を行うことができる．

(c) 正弦級数展開，余弦級数展開

到達目標

・具体的な関数の正弦級数展開，余弦級数展開を行うことができる．

(d) オイラーの公式，ド・モアブル（de Moivre）の公式，複素フーリエ級数

到達目標

・具体的な周期関数の複素フーリエ級数を求めることができる．

学修に当たっての配慮事項

・具体的な計算事例を通じて，フーリエ級数展開について習熟するよう配慮する．

（２）フーリエ級数の基本的性質

(a) フーリエ級数の各点収束，ディリクレの条件

到達目標

・フーリエ級数の各点収束に関する定理（ディリクレの条件）を理解し，これを通じてフーリエ級数の適用性の広さを理解する．また，その定理を応用して無限級数の値を求めることができる．

(b) フーリエ級数のギブス（Gibbs）現象

到達目標

・フーリエ級数のギブス（Gibbs）現象を理解する．

(c) フーリエ級数の項別微分および項別積分

到達目標

・フーリエ級数の項別微分および項別積分に関する定理を，具体的な対象について正しく適用できる．

(d) 最良近似問題，平均２乗誤差，フーリエ級数の最終性，ベッセル（Bessel）の不等式

到達目標

・最良近似問題を解くことができる．また，ベッセル（Bessel）の不等式の意味するところを理解する．

(e) パーセバル（Parseval）の等式

到達目標

・パーセバル（Parseval）の等式の適用条件を理解し，これを用いて無限級数の値を求めることができる．

学修に当たっての配慮事項

・具体的な計算事例を通じて，フーリエ級数の収束，微分，積分およびその他の基本性質について習熟するよう配慮する．

（３）フーリエ級数の適用例

(a) 微分演算，積分演算

到達目標

・フーリエ級数展開を用いることにより，微分，積分の演算は代数的操作に置き換わることを理解

する．

(b) 変数分離法

到達目標

・変数分離法を用いて，熱方程式，波動方程式の初期値・境界値問題およびラプラスの方程式の境界値問題を解くことができる．

学修に当たっての配慮事項

・典型的な例を通じて，偏微分方程式の古典的解法である変数分離法に習熟するよう配慮する．

（4）フーリエ変換・フーリエ逆変換の収束と性質

(a) フーリエの積分公式

到達目標

・フーリエの積分公式の（形式的な）導出を理解する．

(b) フーリエ変換，フーリエ逆変換（反転公式）

到達目標

・フーリエ変換およびフーリエ逆変換（反転公式）の意味するところを理解する．

(c) フーリエ余弦変換，正弦変換

到達目標

・フーリエ余弦変換，正弦変換の意味するところを理解する．また，具体的な対象について，これらの変換が計算できる．

(d) 線形性，周波数シフトの定理，たたみこみ定理（重ね合わせの原理）

到達目標

・線形性，周波数シフトの定理，たたみこみ定理（重ね合わせの原理）などのフーリエ変換の諸性質を理解する．

(e) 微分演算，積分演算

到達目標

・フーリエ変換を用いることにより，微分，積分の演算は代数的操作に置き換わることを理解する．

(f) フーリエ変換および逆変換の収束に関する定理（ディリクレの条件）

到達目標

・フーリエ変換および逆変換の収束に関する定理（ディリクレの条件）を定積分の計算に応用できる．

(g) パーセバル（Parseval）の等式と定積分への応用

到達目標

・パーセバル（Parseval）の等式を定積分の計算に応用できる．

(h) デルタ関数

到達目標

・デルタ関数の定義と性質について理解し，デルタ関数のフーリエ変換が計算できる．

(i) 自己相関関数，パワースペクトル

到達目標

・自己相関関数，パワースペクトルを理解する．

(j) サンプリング定理

到達目標

・サンプリング定理の意味と適用条件を理解する．

(k) ウィーナー・ヒンチン（Wiener-Khintchine）の定理

到達目標

・ウィーナー・ヒンチン（Wiener-Khintchine）の定理の意味と適用条件を理解する.

学修に当たっての配慮事項

・具体的な計算事例を通じて，フーリエ解析に関わる各種の性質および操作について習熟するよう配慮する.

（５）一般化フーリエ級数

(a) 関数の内積，ノルム

到達目標

・関数の内積，ノルムを理解する.

(b) 直交関数系，関数（正弦関数，余弦関数，複素系の指数関数）の直交性

到達目標

・直交関数系，正弦関数および余弦関数の直交性，複素系の指数関数の直交性を理解する.

(c) フーリエ級数の平均２乗収束

到達目標

・フーリエ級数の平均２乗収束を理解する.

学修に当たっての配慮事項

・フーリエ級数の一般化を n 次元ユークリッド空間のアナロジーにもとづいて理解するよう配慮する.

（６）離散フーリエ変換

(a) 離散フーリエ変換，離散フーリエ逆変換

到達目標

・離散フーリエ変換および離散フーリエ逆変換の意味するところを理解する.

(b) 高速フーリエ変換

到達目標

・高速フーリエ変換のアルゴリズムを理解する.

(c) 周期関数のサンプリング定理

到達目標

・周期関数のサンプリング定理の意味と適用条件を理解する.

(d) 離散コサイン変換

到達目標

・離散コサイン変換の意味するところを理解する.

学修に当たっての配慮事項

・コンピュータを用いた数値計算事例を利活用して，これらの考え方と計算法の理解を深めるように配慮する.

（７）ラプラス変換，逆変換

(a) ラプラス変換，ラプラス逆変換の定義

到達目標

・ラプラス変換およびラプラス逆変換の定義とその意味するところを理解する.

(b) ラプラス変換の収束条件

到達目標

・ラプラス変換が収束する条件を理解する.

(c) 基本的な関数のラプラス変換

到達目標

・ラプラス変換の定義にもとづいて，基本的な関数のラプラス変換の計算ができる．

(d) ラプラス変換の基本的性質，部分分数展開および留数定理によるラプラス（逆）変換

到達目標

・ラプラス変換の基本的性質を利用して，あるいは部分分数展開および留数定理を利用して，種々のラプラス（逆）変換の計算ができる．

(e) 単位関数，デルタ関数および周期関数のラプラス変換

到達目標

・単位関数およびデルタ関数のラプラス変換が計算でき，それを応用して周期関数のラプラス変換の計算ができる．

学修に当たっての配慮事項

・具体的な計算事例を通じて，ラプラス変換および逆変換に習熟するよう配慮する．

（8）ラプラス変換の有用な性質

(a) ラプラス変換の線形性，移動法則，およびたたみこみ定理

到達目標

・ラプラス変換の有用な性質である線形性，移動法則，およびたたみこみ定理を理解する．

(b) 微分演算，積分演算

到達目標

・ラプラス変換を用いることにより，微分，積分の演算は代数的操作に置き換わることを理解する．

学修に当たっての配慮事項

・具体的な計算事例を通じて，ラプラス変換および逆変換の性質や操作に習熟するよう配慮する．

（9）ラプラス変換の適用例

(a) 線形定数係数常微分方程式の初期値問題

到達目標

・線形定数係数の常微分方程式の初期値問題をラプラス変換を利用して解くことができる．

(b) 積分方程式の初期値問題および境界値問題

到達目標

・積分方程式の初期値問題および境界値問題への応用について理解する．

学修に当たっての配慮事項

・力学系，電気回路系，制御系など，各専門分野での具体的な活用事例を用いてラプラス変換を応用する能力を向上させるように配慮する．

２－６．【要望】確率過程／待ち行列理論

(1) 確率変数，確率分布（離散確率分布，連続確率分布）

到達目標

・組合せ確率に基づいた古典的確率論の基礎事項，および確率変数の基本概念を理解する．また，測度論など高度に数学的な概念を用いることなく，‘確率’のもつ本質的なイメージを直感的に掴む．

(2) 多変量確率変数，畳込みと極限定理

到達目標

・具体的に確率分布関数が与えられた場合に，平均，分散，各種モーメントを計算することができる．さらに分布の畳込み演算や特性関数を計算することができる．

(3) ポアソン過程（計数過程としての確率過程，到着時間分布による特徴づけ），再生過程（再生関

数と再生定理，年齢と寿命による特徴づけ）

到達目標

・ポアソン過程や再生過程の基本的性質を理解する．また，再生関数や到着時間間隔分布に関する種々の結果，さらにはこれらの確率過程の極限における性質を導出することができる．

(4) マルコフ過程（コルモゴロフ方程式，極限推移確率，無限状態マルコフ過程，有限状態マルコフ過程）

到達目標

・マルコフ性を理解する．さらに，マルコフ過程における推移確率の計算，極限推移確率の計算を行うことができる．

(5) 待ち行列理論：トラフィック理論と待ち行列

到達目標

・不確実な現象を確率変数や確率過程によって記述するためのモデル化ができる．

(6) 待ち行列理論の基礎（リトルの公式，待ちの評価量，確率分布，確率過程，確率モデル）

到達目標

・待ち行列理論の基礎（リトルの公式，待ちの評価量，確率分布，確率過程，確率モデル）を理解する．

(7) マルコフ連鎖，再生型確率過程

到達目標

・代表的な確率過程（マルコフ連鎖，再生型確率過程）を理解する．

(8) 出生死滅過程における待ち行列システム，マルコフ過程における待ち行列システム，M/G/1 待ち行列システム（ポラチェックーヒンチンの公式），M/M/S 待ち行列システム

到達目標

・代表的な待ち行列システムを解析することができる．

学修に当たっての配慮事項

・様々な例を用いることにより，確率過程の本質的な意味や様々な待ち行列システムの理解を深めるように配慮する．

２－７．【要望】数値計算法

連立一次方程式（SOR 法，共役勾配法，疎行列技法），常微分方程式（多段法，予測子－修正子法），固有値（相似変換法（ヤコビ法），ベクトル反復法（べき乗法），実対称行列，ハウスホルダー変換と三重対角化，実係数非対称行列，ヘッセンベルグ行列と QR 法，固有ベクトルの算出），積分（ガウス積分則），有限要素法，離散フーリエ変換，モンテカルロ法

到達目標

・種々の連立一次方程式の解法および大規模問題の解法の基礎を理解し，これらを使用することができる．
・常微分方程式の種々の数値解法を理解し，それらを使用して方程式を解くことができる．
・固有値計算の基本的手法を理解し，実際に計算に使用することができる．
・積分の種々の数値解法を理解し，数値積分ができる．
・様々な数値計算法を理解し，それらを使って，問題を解くことができる．

学修に当たっての配慮事項

・実際にプログラムを作成して演習問題を解くことで，各種の数値計算法を理解し，各種の計算法が身に付くように配慮する．

２－８．【要望】最適化手法

・数理計画：線形計画法（単体法，（弱）双対定理，相補定理，主双対法），非線形計画法（最急降下法，（準）ニュートン法，ペナルティ関数法，（逐次）２次計画法，ホモトピー法），離散最適化（グラフ・ネットワーク，動的計画法，分枝限定法，（線形）整数計画法），近似アルゴリズム

（貪欲法，モンテカルロ法（ランダム法），近傍探索法，緩和法，分割法，部分列挙法），メタ戦略（局所探索（反復改善）法，アニーリング法，タブー探索法，遺伝アルゴリズム）
・計算機での数理計画演習

到達目標

・最適化すべきシステムを数学モデルとして表現できる．加えて，各種の最適化手法，ヒューリスティック解法を理解し，具体的問題に適用して解決できる．
・離散最適化問題の特徴と数学的表現を理解する．
・種々の最適化手法とヒューリスティック解法の構成と特徴を理解する．
・身近な問題を離散最適化問題として定式化する方法を身につける．
・具体的問題に適用して解決できる．

学修に当たっての配慮事項

・具体例で概念を把握させ，また，多くの具体的問題への適用を通じて，定式化と手法の扱いに習熟させる．

３．「情報基礎」（Ｂ１）

３－１．【コア】オートマトンと形式言語理論

オートマトンと形式言語：有限オートマトンと正規言語，プッシュダウンオートマトンと文脈自由言語，チューリング機械と計算可能性，計算量理論

到達目標

・プログラミング言語とその処理系の基礎理論として直接的に関わり深いばかりでなく，広くコンピュータサイエンスの基礎的な素養として欠かせないオートマトンと形式言語理論を題材として，そのものの考え方と用語を学ぶ．
・各種オートマトン・形式言語の定義や概念を理解する．
・基本的な証明手法を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・具体例から一般化，というステップに沿って，概念や証明の意味することを理解させるように工夫する．

３－２．【コア】情報理論

シャノン理論，マルコフ情報源，自己情報量，エントロピー，相互情報量，平均相互情報量，情報源符号化，通信路符号化定理，誤り訂正・検出符号

到達目標

・ディジタル情報メディア伝送の基礎理論を理解し，情報源符号化，通信路符号化の具体な構成方法を習得する．
・通信システムのモデルを理解する．
・情報量の定義，基本的な情報源とその性質を理解する．
・基本的な情報源符号化法を理解する．
・情報量とひずみの性質を理解する．
・基本的な誤り訂正符号の構成法を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・通信システムのモデルに関する解説を通して情報理論の基礎を理解させる．

３－３．【要望】符号理論

・ブロック符号：復号誤り，線形符号，パリティ検査，最小距離と最小重み，ブロック復号，シンドローム，ハミング符号
・巡回符号：巡回符号の導入，生成多項式，BCH 符号化，BCH 符号の復号，リード・ソロモン符号
・畳込み符号：畳込み符号の導入，有限状態記述，最尤復号（ビタビアルゴリズム）
・符号理論の応用：通信系・記録系，QR コード
・反復的復号：LDPC 符号，ターボ符号

到達目標

・通信路符号の誤り訂正・検出の基本的考え方を理解する．

・ブロック符号の概念（復号誤り，線形符号，パリティ検査，最小距離と最小重み，ブロック復号，シンドローム，ハミング符号）を理解する．
・巡回符号の概念（巡回符号の導入，生成多項式，BCH 符号化，BCH 符号の復号，リード・ソロモン符号）を理解する．
・畳込み符号の概念（畳込み符号の導入，有限状態記述，最尤復号（ビタビアルゴリズム））を理解する．
・符号理論の応用（通信系・記録系，QR コード）を理解する．
・反復的復号（LDPC 符号，ターボ符号）を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・数学的知識が必要となるため最小限の復習を行いながら，具体例を提示して各符号化をより理解できるように配慮する．

３－４．【要望】ネットワーク理論

・最短パス，最大フロー，最小コストフロー，等

到達目標

・最短パスの算出法を理解する．
・最大フロー最小カット定理を理解する．
・最大フロー問題解法（Ford-Fulkerson 法）を理解し，これを利用して問題を解くことができる．
・最小コストフロー問題解法を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・例題や演習を用いることにより，問題とその解法を理解できるように配慮する．

３－５．【要望】データベース

リレーションとリレーションスキーマ，リレーショナルデータモデル，リレーショナル代数，正規化，正規形，一貫性制約，正規化理論，データベースセキュリティ（暗号化，利用者認証，データベースアクセス制御，ログの取得，アカウント管理，パスワード管理，外部媒体の利用制御，不正アクセス検知）

到達目標

・リレーショナル・データベース構築の際に要求される様々な事項とその解決方法について，基本的な考え方を理解する．また基礎的概念である集合論・ 述語論理などとの関連について理解する．さらに，データベースのセキュリティ対策のあらましを理解する．
・リレーションとリレーションスキーマの概念を理解する．
・一貫性制約の概念とその背景を理解する．
・関係代数及び関係論理の概念と背景を理解する．
・関係の正規化とその背景を理解する．
・データベースに対する不正アクセス，不正利用，破壊などの脅威に対する対策のあらましを理解する．

学修に当たっての配慮事項

・データベース構築の必要性を理解させる．また，“関係”という数学的バックグラウンドをもつデータベースモデルを用いるメリットを理解させるように配慮する．さらに，実例を通じて，データベースセキュリティの必要性，重要性を認識させる．

３－６．【要望】並列・分散処理

並列処理と分散処理の機能と形態，システム構成（プロセッサとメモリ，演算と通信，オペレーティングシステム），プログラムの実行制御（スケジューリング，メモリの形態），同期機構（セマフォ，排他制御，テストアンドセット命令，同時実行性制御），プロセス間通信（共有メモリ，メッセージ），ファイルシステム，分散アルゴリズム，システム化技術，分散オブジェクト，電子メール，Web サービス等

到達目標

・分散処理を実現している基盤技術（ハードウェア構成とその基本構成）を理解するとともに，その上位にある技術を理解する．

・分散システムの基本構成（プロセッサとメモリ，演算と通信，オペレーティングシステム）について理解する．
・分散処理を実現している基盤技術（通信プリミティブ，整列化，認証とアクセス制御，クライアントサーバモデル，ソケット API，遠隔手続き呼び出し（RPC），分散ファイルシステム）について理解する．
・分散処理を実現する上位レベルの技術（分散アルゴリズム，システム化技術，分散オブジェクト，電子メール，Web サービスなど）について理解する．

学修に当たっての配慮事項

・基本的な分散システムの例題プログラムを用いた演習により，理解を深めるよう配慮する．

３－７．【要望】マルチメディア

1. マルチメディア技術

到達目標

・コンピュータにおける文字，音声，画像などの仕組み，それらを統合して取り扱う方法を理解する．
・情報の圧縮，伸張の目的，代表的な特徴を理解する．

(1) マルチメディア（Web コンテンツ，ハイパメディア，ストリーミング，オーサリング環境，PDF）

到達目標

・情報のディジタル化，文字，音声，画像などの複数のメディアの統合，インタラクティブ性などマルチメディアの特徴を理解する．また，複数のメディアを編集，統合するオーサリングなど，マルチメディアを取り扱う方法を理解する．

(2) 音声処理 PCM（Pulse Code Modulation：パルス符号変調），MIDI，WAV（Waveform Audio Format），MP3）

到達目標

・音声データのディジタル化の仕組み，代表的な音声ファイル形式の特徴を理解する．

(3) 静止画処理（JPEG，GIF，PNG，BMP，TIFF，Exif（Exchangeable Image File Format））

到達目標

・光の 3 原色（Red，Green，Blue），色の 3 原色（Cyan，Magenta，Yellow），画素（ピクセル），解像度，階調など，コンピュータにおける画像表現の基本的な仕組み，代表的な静止画ファイル形式の特徴を理解する．

(4) 動画処理（MPEG，QuickTime，AVI）

到達目標

・フレーム，フレームレートなど，コンピュータにおける動画表現の仕組み，代表的な動画ファイル形式の特徴を理解する．

(5) 情報の圧縮・伸張（JPEG，MPEG，ZIP，LZH，圧縮率，可逆圧縮，非可逆圧縮，MR（Modified Read），MMR（Modified Modified Read））

到達目標

・メディアの種類に応じた圧縮・伸張方法が利用されること，圧縮の目的（効率的なデータ保存，ネットワーク負荷の軽減），代表的な圧縮方式の特徴を理解する．また，用途に応じて適切な圧縮方式を選択することを理解する．

2. マルチメディア応用（CG，CAD，シミュレータ，テレビゲーム，AR（Augmented Reality：拡張現実感），ビデオオンデマンド）

到達目標

・マルチメディアシステムの特徴，VR（Virtual Reality：バーチャルリアリティ），インターネット放送，ノンリニア画像編集システムなどのマルチメディア応用の例を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・メディア処理に関する基礎的な知識および技術を身につけるとともに，マルチメディア応用まで理解できるよう配慮する．

３－８．【要望】知識処理

論理と知識表現（命題論理，述語論理，導出原理，意味論），推論と論理プログラミング，ファジー集合・推論，探索法，ニューラルネットワーク，等

到達目標

・推論とは何かを命題論理や述語論理の枠組みを用いて理解する．
・人工知能に関する問題をグラフとして表現し，解の探索アルゴリズムを適用できる．
・各種のヒューリスティック探索アルゴリズムを理解し，それによって解を求めることができる．
・命題論理式や述語論理式を用いて論理的な言明を表現できる能力を修得する．
・導出原理(resolution principle)に基づいた自動推論の仕組みを理解する．
・チョムスキーの生成文法を理解し，それにより言語の構文記述ができる能力を得る．
・文脈自由文法の構文解析法を理解し，それを適用できる能力を修得する．
・論理型プログラミング言語 Prolog を学び，プログラムを書く能力を修得する．
・Prolog を用いて言語の構文解析や変換アルゴリズムを記述できる能力を修得する．
・日本語の構文・意味解析を例に取り，適切な枠組みを用いれば知的な情報処理が簡潔な方法で実現できることを理解する．

学修に当たっての配慮事項

・具体例によって，命題論理や述語論理の枠組み，および導出原理，ヒューリスティック探索アルゴリズムなどの理解を助けるように配慮する．また，演習によって Prolog プログラミングに習熟させる．時間をかけて，構文や意味の解析の基礎を理解させるよう配慮する．

４．「通信基礎」（Ｂ２）

４－１．【コア】情報理論

シャノン理論，マルコフ情報源，自己情報量，エントロピー，相互情報量，平均相互情報量，情報源符号化，通信路符号化定理，誤り訂正・検出符号

到達目標

・ディジタル情報メディア伝送の基礎理論を理解し，情報源符号化，通信路符号化の具体な構成方法を習得する．
・通信システムのモデルを理解する．
・情報量の定義，基本的な情報源とその性質を理解する．
・基本的な情報源符号化法を理解する．
・情報量とひずみの性質を理解する．
・基本的な誤り訂正符号の構成法を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・通信システムのモデルに関する解説を通して情報理論の基礎を理解させる．

４－２．【コア】通信理論

（連続・離散）情報の伝送，変復調方式，サンプリング，多重化方式，誤り検出・訂正，信号同期方式，符号化とディジタル伝送，無線通信，等

到達目標

・信号伝送の基本となる知識および技術を理解し，実際にどのように応用されているかを理解する．
・フーリエ級数展開及びフーリエ変換の原理を理解する．
・変調技術を理解する．
・多重化技術を理解する．
・実際の通信への応用方法を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・基本的な用語を理解し，通信方式に関する技術文書などの内容が把握できるように配慮する．

４－３．【コア】符号理論

ブロック符号：復号誤り，線形符号，パリティ検査，最小距離と最小重み，ブロック復号，シンドローム，ハミング符号
巡回符号：巡回符号の導入，生成多項式，BCH 符号化，BCH 符号の復号，リード・ソロモン符号
畳込み符号：畳込み符号の導入，有限状態記述，最尤復号（ビタビアルゴリズム）
符号理論の応用：通信系・記録系，QR コード
反復的復号：LDPC 符号，ターボ符号

到達目標

・通信路符号の誤り訂正・検出の基本的考え方を理解する．
・ブロック符号の概念（復号誤り，線形符号，パリティ検査，最小距離と最小重み，ブロック復号，シンドローム，ハミング符号）を理解する．
・巡回符号の概念（巡回符号の導入，生成多項式，BCH 符号化，BCH 符号の復号，リード・ソロモン符号）を理解する．
・畳込み符号の概念（畳込み符号の導入，有限状態記述，最尤復号（ビタビアルゴリズム））を理解する．
・符号理論の応用（通信系・記録系，QR コード）を理解する．
・反復的復号（LDPC 符号，ターボ符号）を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・数学的知識が必要となるため最小限の復習を行いながら，具体例を提示して各符号化をより理解できるように配慮する．

４－４．【コア】ネットワークの信頼性

・確率・統計を利用した信頼性評価，単一システムと２重システム
・ネットワークの連結確率
・障害を考慮した通信網設計手法

到達目標

・確率・統計を利用したシステムの信頼性，単一システムや２重化システムについて理解する．
・ネットワークの連結確率などを用いた，システムやネットワークの信頼性解析法を理解する．
・障害を考慮した通信網設計手法について理解する．

学修に当たっての配慮事項

・確率・統計とネットワークの信頼性の両視点からゆっくりと時間をかけて説明し，これらの関係を理解させるように配慮する．

４－５．【コア】ネットワーク理論

・最短パス，最大フロー，最小コストフロー，等

到達目標

・最短パスの算出法を理解する．
・最大フロー最小カット定理を理解する．
・最大フロー問題解法（Ford-Fulkerson 法）を理解し，これを利用して問題を解くことができる．
・最小コストフロー問題解法を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・例題や演習を用いることにより，問題とその解法を理解できるように配慮する．

４－６．【コア】通信システム

・無線通信／移動体通信
電波伝搬，マルチパス伝送路，ダイバーシチ，ＰＤＣ，スペクトル拡散とＣＤＭＡ，直交周波数分割多重（ＯＦＤＭ），ＰＡＮ／ＢＡＮ，等
・光通信システム
・画像通信システム／音声通信システム

到達目標

・移動通信システムで採用されている CDMA 方式の基本技術であるスペクトラム拡散に関する知識を習得する．技術の全体を把握すると共に，実際にどのようにシステムに応用されているかについ

ても理解し，次世代の高速無線通信方式で用いられるOFDM伝送技術について基礎知識を習得する．また，セル構成法，無線リンク設計法，アクセス技術，制御技術などの原理も理解する．
・スペクトラム拡散の原理を理解する．
・CDMA 方式の原理を理解する．
・OFDM 伝送技術の原理を理解する．
・高速無線通信方式で用いられている信号伝送技術の原理を理解する．
・セル構成技術の原理を理解する．
・送信電力と周波数配置に関する無線リンクの設計法について理解する．
・チャネル構成やネットワーク構成から接続制御の仕組みを理解する．
・移動通信システムの実例を通して技術目標の違いと固有の技術を認識する．

学修に当たっての配慮事項

・基本的な専門用語を理解することとともに，無線通信／移動通信に関する技術文書の内容が把握できるようになることにも配慮する．

４－７．【コア】回路理論

直流回路（回路素子，オームの法則，キルヒホフの電流・電圧法則，重ね合わせの理，電力），交流回路（正弦波交流，キャパシタ・インダクタの交流特性，正弦波定常解析，複素インピーダンス／アドミタンス，共振，電力），回路の諸定理（重ね合わせの理，テブナン／ノートン等価回路，相反定理，Δ－Ｙ変換，ブリッジ回路，整合，電力），回路の定常解析（節点解析，網目解析，その他の解析：閉路解析／カットセット解析／混合解析），相互結合素子回路（相互誘導，理想変成器，制御電源），２端子対回路（アドミタンス行列，インピーダンス行列，ハイブリッド行列，４端子行列），回路の周波数特性（ひずみ波，フィルタ），回路の過渡現象解析（ラプラス変換，節点解析，網目解析）

到達目標

・直流回路と電力に関して解析ができる．
・基礎的な交流回路の性質を理解するとともに，複素数を用いた交流回路の 記号的計算法により正弦波の励振と応答の関係を説明できる．
・初等的な回路について節点方程式，閉路方程式などの回路方程式を立てることができる．
・時間的に変化する電源に対する回路電流・電圧の応答について基本的な知識がある．
・記号ｊω による交流回路の計算方法とインピーダンスの定義を，数学的な論理に基づいて説明できる．
・キルヒホッフの法則をアルゴリズムとして厳密に表現する方法を理解する．
・一般線形回路網の解法を説明でき，重ねの理，テブナンの定理やノートンの定理などの回路の重要定理を理解し，応用することができる．交流回路における共振回路および電力を理解する．
・初等的な回路について節点方程式，閉路方程式などの回路方程式を立てることができる．
・相互誘導素子の定義を理解するとともに，素子の電圧・電流特性を把握し，KVL 方程式や KCL 方程式などの回路方程式に適切に組み込むことができる．
・4 端子回路網の各種パラメータの物理的意味を理解し，その応用方法を説明できる．
・ひずみ波交流回路の計算法が説明できる．
・過渡現象を理解し，計算することができる．
・ラプラス変換の手法を理解し，過渡現象問題を解くことができる．
・分布定数回路の基礎を理解し，計算することができる．

学修に当たっての配慮事項

・講義と並行して宿題および演習によって回路計算に習熟するとともに，関連する解析および設計の問題を解く能力の涵養を目指す．

４－８．【コア】電磁気

電場とクーロンの法則，ベクトル表示，ガウスの法則，静電場と電位，導体と静電場，定常電流と直流回路，誘電体と静電場，電流の周りの磁場，時間的に変化する場，物質の磁気的性質，電場・磁場のエネルギー，マクスウェルの方程式

到達目標

・電磁気現象について直感的に理解する．数学(微分積分学，微分方程式，ベクトル解析)を基に，静電磁界から電磁波まで電磁気学の基本的な現象全般を広く取り扱うことができる．
・電磁界の性質および場の概念を理解する．
・実験的に知られている電磁界に関する法則の数学表現を理解する．
・電磁波がマクスウェルの方程式によって記述されることを理解する．
・製品の設計などで利用される計算電磁気学について，その基本を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・専門用語の英語表現，電磁気学で重要な数値や単位表現にも慣れるよう配慮する．

４－９．【コア】信号処理

ビット誤り率，信号とスペクトル，確率過程，マッチドフィルタ，帯域通過変調，ディジタル変調方式，フラットフェージング通信路，周波数選択性通信路と等化，非線形等化

到達目標

・ディジタル通信システムの基礎（ビット誤り率）を理解し，信号解析法（信号とスペクトル，確率過程，マッチドフィルタ等）を理解する．
・帯域通過変調とディジタル変調方式を理解する．
・高速通信における符号間干渉の発生原理を理解する．
・符号間干渉を低減する等化技術（線形等化，非線形等化）の仕組みを理解する．

学修に当たっての配慮事項

・ディジタル通信システムの基礎（変調方式と符号間干渉）を理解させる．

４－１０．【要望】通信トラフィック理論

・トラフィック量，単位，呼量
・呼の生起・終了，呼の生起分布と保留時間分布
・トラフィック解析の基本モデル：待ち行列モデル
・待ち行列理論のための基礎知識：リトルの公式，ポワソン過程と指数分布
・出生死滅過程における待ち行列
・離散時間マルコフ連鎖，待ち行列モデルの系内客数分布，マルコフの定理
・指数サービスをもつ FCFS 待ち行列の待ち時間分布，M/G/1 の待ち時間分布

到達目標

・通信トラフィックの基礎（トラフィック量，単位，呼量）を理解する．
・呼の生起・終了，および呼の生起分布と保留時間分布を理解する．
・待ち行列モデルを理解する．
・待ち行列理論のための基礎知識（リトルの公式，ポワソン過程と指数分布）を理解する．
・出生死滅過程における待ち行列を理解する．
・離散時間マルコフ連鎖を理解し，待ち行列モデルの系内客数分布を理解する．
・待ち時間分布（指数サービスをもつ FCFS 待ち行列，M/G/1 等）を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・システムの定量的な評価を行うことにより問題解決の指針を与えるための数学的道具であることを理解するとともに，通信ネットワークの実情を把握できることを実感するように配慮する．

４－１１．【要望】非同期通信

基盤技術，分散アルゴリズム，システム化技術，同期通信と非同期通信，CCS の構文，CCS のラベル付き遷移，構造化操作的意味論，強双模倣，合同関係，弱双模倣，名前渡しと π 計算，束縛された通信，π 計算の操作的意味論，π 計算の双模倣等価性と問題点，非同期 π 計算

到達目標

・R. Milner によって提案された並行計算の形式的モデルの概略を理解する．並行・分散処理における問題の解決の基礎となる理論的な基礎知識を得る．
・並行・分散計算における並行性，通信，同期などの基礎概念を理解する．
・双模倣等価等の等価性理論の意義と内容を理解する．
・名前渡し通信の形式的記述を理解する．
・非同期メッセージ通信の形式的記述を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・実例を多用して，非同期通信や並行処理の概念の理解を促進するように配慮する．

４－１２．【要望】パルス・ディジタル回路

パルスの波形と周波数成分，線形回路のパルス応答，パルスの伝送，ＭＯＳトランジスタ，パルス操作回路（クリッパ，リミッタ，クランパ，シュミットトリガ），パルス発生回路

到達目標

・パルス波の性質，半導体素子のスイッチング特性，パルス発生・操作回路，論理回路設計などの各構成要素の動作と解析法を理解すると共に解析法を適用することができる．
・パルス波の性質，伝搬について理解する．
・半導体素子のスイッチング特性を表現できる．
・マルチバイブレータ，リミッター等の簡単なパルス発生・操作回路の動作を解析できる．
・ＭＯＳゲート等の基本的な論理素子の機能と特性について理解する．
・簡単な論理回路の動作を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・実際にパルス発生・操作回路などの動作解析を行なうことによって，理解を深め，解析法に習熟させる．

５．「プログラミング」（Ｃ）

５－１．【コア】データ構造とアルゴリズム

到達目標

・ソフトウェア作成の基礎となるデータ構造，アルゴリズムの設計と解析に関する基礎的知識を理解し，基本的手法を自在に使うことができる．

(1) データ構造と基本アルゴリズム

計算量評価の基礎，計算機内でのデータ表現，基本データ構造（配列，リスト，スタック，キュー，等），ヒープ，ソーティング，探索，グラフの基本アルゴリズム（BFS，DFS）

到達目標

・ソフトウェア作成の基礎となるデータ構造，アルゴリズムの設計と解析に関する最も基礎的知識を身につける．
・コンピュータの仕組みとプログラミングの基礎知識を理解する．
・データ構造，プログラム言語の基礎知識を理解する．
・アルゴリズム設計の基礎知識を理解する．
・プログラム作成さらにはシステム設計の基礎知識を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・プログラム作成において使用メモリ量と計算時間の見積りが重要であり，データ構造がその理論的基礎となることを十分に理解させるよう配慮する．また，プログラム作成におけるデータ構造の実際の姿を提示して，実用的役割を認識させる．

(2) アルゴリズムの設計と解析

基本的設計手法（貪欲法，分割統治法，動的計画法，枝刈り探索法（縮小法）），互いに素な集合の扱い，最小木（Prim 法，Kruskal 法），最短パス（Dijkstra 法，Warshall-Floyd 法），最大フロー（Ford-Fulkerson 法，Dinic 法）とその応用，最小コストフロー，計算量理論（NP 完全性，多項式還元性），近似解法と発見的解法

到達目標

・ソフトウェア作成の基礎となるデータ構造，アルゴリズムの設計と解析についてより一層進んだ内容を理解する．
・データ構造とアルゴリズム設計に関する基礎知識全般を理解する．
・アルゴリズムの効率（処理速度，メモリ使用量）解析のための基礎知識を理解する．
・アルゴリズム効率化のためのデータ構造設計に関する基礎知識を理解する．
・効率的プログラムさらには効率的システムの設計に関する基礎知識を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・理論的内容部分については，実例や単純な場合を扱うことにより，一般化の理解を支援するように配慮する．また，理論に偏ることなく，プログラム作成の基礎としての実用的役割を重視する．

５－２．【コア】基礎プログラミング

1. プログラミング

到達目標

・プログラミング作法，コーディング基準を修得し，適用できる．
・プログラム言語の文法の基本的な表記法を修得し，適用できる．

(1) プログラミング（インデンテーション，ネストの深さ，命名標準，使用禁止命令，プログラムの機能性・効率性・使用性・保守性の向上）

(a) プログラミング作法とコーディング基準

到達目標

・プログラミング作法とコーディング基準の目的，効果，種類を理解する．また，プログラミング作法とコーディング基準を守らない場合に起こる弊害を理解する．

(b) プログラム構造（モジュール分割，独立性，メインルーチン，サブルーチン）

到達目標

・プログラムの信頼性，保守性の観点から基本的なプログラム構造を理解する．

(c) データ型（整数型，実数型，論理型，文字型，抽象データ型，構造型）

到達目標

・プログラム言語で使用される代表的なデータ型を理解する．

(d) Web プログラミング

到達目標

・Web サーバと Web クライアントの基本的な仕組みを理解し，Web サーバ，Web クライアントにおけるプログラミングの役割と基本的な作成方法を理解する．

(2) 文法の表記法

到達目標

・プログラム言語の構文を定義するために，BNF などのメタ言語を使用することを理解する．

学修に当たっての配慮事項

・高い効率性，高い信頼性，高い保守性を保持するプログラムを作成する基本構造を理解するよう配慮する．

2. プログラム言語

到達目標

・プログラム言語の種類，特徴，基本的な記述方法を修得し，適用する．
・C，COBOL，Java，アセンブラ言語のプログラム作成方法を修得し，適用する．
・表計算ソフトの活用方法を修得し，適用する．

(1) プログラム言語（手続型言語，オブジェクト指向言語，スクリプト言語）

(a) プログラム言語の変遷と分類

到達目標

・プログラム言語は，機械語，アセンブラ言語，高水準言語と発展してきたこと，プログラム言語の分類を理解する．

(b) 手続型言語（Fortran，COBOL，PL/I，Pascal，BASIC，C）

到達目標

・代表的な手続型言語の特徴，基本的な記述方法を理解する．

(c) オブジェクト指向言語（Java，C++）

到達目標

・代表的なオブジェクト指向言語の特徴，基本的な記述方法を理解する．

(d) スクリプト言語（Perl，PHP，Python，Ruby）

到達目標

・代表的なスクリプト言語の特徴，基本的な記述方法を理解する．

(2) C の知識と技術

到達目標

・C のプログラムの作成方法の基本を修得し，適用できる．
・演算処理，制御処理，文字処理などを行うプログラムの作成方法を修得し，適用できる．
・ライブラリ関数の利用方法を修得し，適用できる．
・ファイル処理を行うプログラムの作成方法を修得し，適用できる．

(a) C の基本的なプログラム（main 関数，printf 関数，標準出力，注釈，ヘッダ など）

到達目標

・C の基本的なプログラムを作成できる．

(b) 数値の計算（四則演算子，変数，式，整数の計算，型変換（キャスト），実数の計算，データ型のビット幅，増分演算子，減分演算子，比較演算子 など）

到達目標

・四則演算を使ったプログラムを作成できる．

(c) 選択型のプログラム(等価演算子，関係演算子，論理演算子，代入演算子，if 文，switch 文 など）

到達目標

・条件式を使って条件分岐するプログラムを作成できる．

(d) 反復型のプログラム（while 文，do 文，for 文 など）

到達目標

・繰返し文を使ったプログラムを作成できる．

(e) ビット演算（符号なし整数型，ビットシフトなど）

到達目標

・ビット単位の演算子を使ったプログラムを作成できる．

(f) 入力処理（scanf 関数，空白類文字，アドレス演算子など）

到達目標

・標準入力を使ったプログラムを作成できる．

(g) 配列（1 次元配列，2 次元配列 など）

到達目標

・配列を使ったプログラムを作成できる．

(h) 文字処理（putchar 関数，puts 関数，getchar 関数，gets 関数，文字の入出力，文字列の入出力，文字列リテラル，ナル文字など）

到達目標

・文字列を処理するプログラムを作成できる．

(i) ポインタ（ポインタの配列，アドレスの加減算など）

到達目標

・ポインタを使ったプログラムを作成できる．

(j) 関数（関数原型，void 型，再帰呼出しなど）

到達目標

・関数を作成し，関数を使ったプログラムを作成できる．

(k) ライブラリ関数（プリプロセッサ，#include，#define，前処理指令など）

到達目標

・ライブラリ関数を使ったプログラムを作成できる．

(l) 記憶域クラス指定(自動記憶域期間をもつ変数，静的記憶域期間をもつ変数，register，typedef，記憶域期間，外部定義など）

到達目標

・記憶域クラス指定子を使ったプログラムを作成できる．

(m) 構造体（構造体の配列，自己参照する構造体，共用体など）

到達目標

・構造体を使ったプログラムを作成できる．

(o) ファイル処理（シーケンシャルなファイル処理，ランダムなファイル処理，ストリーム，バッフ

ァリングなど）

到達目標

・ファイル処理を行うプログラムを作成できる．

学修に当たっての配慮事項

・プログラムの動作が理解できるよう配慮する．ポインタとアドレスの意味を理解させ，様々なデータ構造や関数で使用できるように配慮する．演習を通じて実践力が身に付くように配慮する．

(3) Java/C++/Visual Basic .net の知識と技術

Java，C++，Visual Basic .net のいずれの言語を用いても良い．

到達目標

・Java／C++／Visual Basic .net のプログラムの作成方法の基本を修得し，適用できる．
・演算処理，制御処理などを行うプログラムの作成方法を修得し，適用できる．
・クラスの宣言方法，クラスをインスタンス化して利用する方法を修得し，適用できる．
・継承，インタフェースを利用し，効率良くプログラミングを行う方法を修得し，適用できる．
・例外処理，並列処理などの作成方法を修得し，適用できる．

(a) Java／C++／Visual Basic .net の基本的なプログラム（クラス，メソッド，main メソッド，標準出力，注釈など）

到達目標

・Java／C++／Visual Basic .net の基本的なプログラムを作成できる．

(b) 数値の計算（データ型，型変換（キャスト），変数，配列，四則演算子，式，代入演算子，比較演算子，増分演算子，減分演算子，シフト演算子など）

到達目標

・四則演算を行うプログラムを作成できる．

(c) 選択型のプログラム（if 文，switch 文など）

到達目標

・条件式を使って条件分岐するプログラムを作成できる．

(d) 反復型のプログラム（while 文，do 文，for 文，拡張 for 文など）

到達目標

・反復型の制御文を使ったプログラムを作成できる．

(e) クラスとインスタンス（インスタンス変数，インスタンスメソッド，アクセス修飾子，参照型変数，隠蔽，コンストラクタ，オーバロード，this，クラス変数，クラスメソッド，文字列クラス，パッケージ，完全限定名，super，単純名，import 宣言，クラス修飾子など）

到達目標

・クラスを定義し，インスタンス化して使用するプログラムを作成できる．

(f) 差分プログラミング（継承，final，extends，スーパクラス，サブクラス，Object，implements，キャスト，アップキャスト，ダウンキャスト，instanceof，オーバライド，ダイナミックバインド，クラスライブラリ，抽象クラス，抽象メソッド，基底クラス，派生クラスなど）

到達目標

・既存のクラスの機能を拡張するプログラム，インタフェースを利用して機能を追加するプログラムを作成できる．

(g) 例外処理（try 文，throw 文など）

到達目標

・例外処理を行うプログラムを作成できる．

(h) 並列処理（スレッド，synchronized 修飾子，wait( )，notify( )など）

到達目標

・並列処理を行うプログラムを作成できる．

(i) コレクションと総称（add( )，remove( )，List，Set，Map，Stack，型引数など）

到達目標

・コレクションを使ったプログラムを作成できる．

(j) 入れ子クラス（メンバクラス，メンバインタフェース，局所クラス，匿名クラスなど）

到達目標

・入れ子クラスを使ったプログラムを作成できる．

(k) 列挙（列挙定数，final 変数など）

到達目標

・列挙型を使ったプログラムを作成できる．

学修に当たっての配慮事項

・オブジェクト指向の概念，およびプログラムの動作を理解できるよう配慮する．クラスの幅広い利用方法を理解できるよう配慮する．演習を通じて実践力が身に付くように配慮する．

(4) アセンブラ言語とそのプログラミング

到達目標

・アセンブラ言語処理システムの仕様と機能を理解する．
・アセンブラ言語のプログラムの作成方法を修得し，適用できる．
・演算処理，制御処理を行うプログラムの作成方法を修得し，適用できる．
・表を使った処理，入出力処理を行うプログラムの作成方法を修得し，適用できる．
・スタック，及びスタックを用いたサブルーチンコールの仕組みと用法を修得し，適用できる．

(a) アセンブラ言語処理システムの仕様と機能

到達目標

・アセンブラ言語処理システムを構成するレジスタ，命令形式を理解する．

(b) アセンブラ言語の基本的なプログラム

到達目標

・アセンブラ言語の基本的なプログラムを作成できる．

(c) 算術演算，論理演算

到達目標

・算術演算命令，論理演算命令を使ったプログラムを作成できる．

(d) 選択と反復処理

到達目標

・比較演算命令，分岐命令を使って選択型，反復型のプログラムを作成できる．

(e) シフト演算

到達目標

・シフト演算命令を使ったプログラムを作成できる．

(f) 表を使った処理

到達目標

・表（配列）を使ったプログラムを作成できる．

学修に当たっての配慮事項

・現実に稼動している各種のオペレーティングシステムを実例として用いて，オペレーティングシステムの役割と重要性，ファイルシステムの仕組みと機能，などを理解させるように配慮する．また，アセンブラ言語プログラミングを通してハードウェアの理解を促進させる．

(5) その他の言語

到達目標

・代表的なマークアップ言語の種類，特徴，記述方法の基本を理解する．
・コンピュータで使用されるその他の言語の特徴を理解する．

1) マークアップ言語

(a) HTML（開始タグ，終了タグ，DTD（Document Type Definition：文書型定義），SGML（Standard Generalized Markup Language：標準一般化マーク付け言語））

到達目標

・Web ページの作成に利用される HTML の特徴，記述方法の基本を理解する．

(b) XML（DOM（Document Object Model），SOAP（Simple Object Access Protocol），SVG（Scalable Vector Graphics），SAX（Simple API for XML），XML Schema）

到達目標

・HTML の機能に加えて，独自にタグを定義することができる機能を備え，主にインターネットを介したデータ交換に利用されている XML の特徴，記述方法の基本を理解する．

(c) XHTML（XHTML Basic，Modulation of XHTML）

到達目標

・HTML を XML で再定義したマークアップ言語である XHTML の特徴，記述方法の基本を理解する．

(d) スタイルシート（CSS（Cascading Style Sheets：段階スタイルシート），XSL（Extensible Stylesheet Language：拡張可能なスタイルシート言語））

到達目標

・HTML や XML などマークアップ言語の構造と表示形式を分離するための仕様であるスタイルシートの特徴，記述方法の基本を理解する．

2）その他の言語（クラス図，シーケンス図，オブジェクト図，コラボレーション図，ステートチャート図，操作，属性，ロール名）

到達目標

・オブジェクト指向設計のための表記法である UML の特徴を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・代表的なマークアップ言語の記述方法の基本を理解させ，演習を通じて実践力が身に付くように配慮する．

５－３．【コア】ネットワークプログラミング

・HTTP，HTML，Java アプレット，CGI プログラミング（Java，Perl），ソケットを用いたデータ送受信

・ネットワークプログラミング演習

到達目標

・HTTP（Hypertext Transfer Protocol），ソケット通信，および Web サーバと Web クライアントの基本的な仕組みを理解する．

・Web サーバ，Web クライアントにおけるプログラミングの役割を理解する．

・あるプログラミング言語（Java，Perl）を用いて，簡単なデータ通信が可能な Web アプリケーション（Web サーバ，Web クライアントのプログラム）を作成する．また，既存のライブラリを組合せて利用することにより，複雑な Web アプリケーションを作成できることを理解する．

学修に当たっての配慮事項

・ネットワークを利用したデータ通信方式の特徴を理解し，プログラムを作成できるように配慮する．演習を通じて実践力が身に付くように配慮する．

５－４．【コア】組込み系プログラミング

(1) 組み込みシステムと汎用システムとの比較（電力消費，信頼性，リアルタイム性，コスト），組み込みシステムの実例（ARM プロセッサ，SHARC プロセッサ，DaVinci プロセッサ）

到達目標

・組み込みシステムと汎用系システムの違いを理解する．

(2) 組み込みシステムの構成要素（バス，MPU，DMAC，メモリ，タイマ，カウンタ，シリアル/パラレルインターフェス，A/D，D/A コンバータ，ネットワークインターフェス）

(3) 多重プロセッサ（アクセラレータ，マルチコア，メディアプロセッサ，ビデオコーデック）

(4) SoC（ASIC，PLD，FPGA，SoC）

到達目標

・組み込みシステムの構成要素を理解する．

(5) クロス開発環境（クロスコンパイラ，ブートローダ，リモートデバッガ）

到達目標

・クロスコンパイルとリモートデバッグの概念と必要性を理解する．

(6) 割り込みの基礎（ポーリング，割り込み，優先順位，割り込みベクタ）

(7) リアルタイム処理と割り込み（割り込みハンドラ，コンテキスト，カーネル）

到達目標

・割り込みを用いてプロセッサが複数の I/O へ入出力する仕組みを理解する．

(8) プロセス制御（プロセススケジューラ，システムコール，割り込みハンドラ）

(9) デバイスドライバ（デバイスタイプ，デバイスコンテキスト，API，排他制御）

(10) ミドルウェア（ファイルシステム，プロトコルスタック，暗号/復号化，グラフィックス）

到達目標

・リアルタイム OS の基盤となる，プロセス制御，デバイスドライバ，ミドルウェアの概念を理解する．

(11) ハードウェアとソフトウェアの並行設計（ハードウェアとソフトウェアのパーティショニング，共同設計）

(12) 組み込みシステムの設計と実装（設計方法論，標準規格，文書化）

到達目標

・資源制約下でシステム要求仕様を満たすための設計手法を理解する．

(13) 品質保証（故障，信頼性，デザインレビュー，バーンインテスト，フォールトトラレンス）

到達目標

・組込みシステムの品質保証に必要な概念を理解する．

(14) 組込み系プログラミング演習：Verilog HDL による記述とシミュレーションによる検証，FPGA による組込みアプリケーションの実装，等

到達目標

・実行時間，メモリ使用量，リアルタイム性に関するハードウェア制約を満たす組込みソフトウェアを作成できる．

学修に当たっての配慮事項

・組込みシステムの特性に留意したプログラミングが理解できるよう配慮する．演習を通じて実践力が身に付くように配慮する．

６．「情報セキュリティ／ネットワークセキュリティ」（Ｄ）

６－１．【コア】情報セキュリティの概念と関連技術

到達目標

・情報セキュリティの概念を理解する．

・情報セキュリティに関する技術を理解し，具体的方策として実施できる．

(1) 情報セキュリティの概念

到達目標

・情報の機密性（Confidentiality），完全性（Integrity），可用性（Availability）を確保，維持すること，およびこれにより，さまざまな脅威から情報システムや情報を保護し，情報システムの信頼性を高めることを理解する．

(2) 情報セキュリティに関する技術

(a) 暗号化技術（公開鍵暗号方式，共通鍵暗号方式，公開鍵，秘密鍵，DES（Data Encryption Standard），RSA（Rivest Shamir Adleman））

到達目標

・暗号化技術を活用することで防止できる脅威を理解する．また，暗号化の種類，代表的な暗号方式の特徴を理解する．

(b) 認証技術（ディジタル署名，メッセージ認証，時刻認証）

到達目標

・認証の必要性，脅威を防止するために必要な認証技術を理解する．また，それぞれの認証技術が

証明する事柄を理解する．

【要望】

・チャレンジレスポンス認証

(c) 利用者確認（ログイン（利用者 ID とパスワード），コールバック，IC カード，PIN コード，ワンタイムパスワード）

到達目標

・利用者確認のための技術の種類，特徴を理解する．

(d) 生体認証技術（指紋認証，静脈パターン認証，虹彩認証）

到達目標

・利用者確認のための生体認証技術について，種類，特徴を理解する．

【要望】

・声紋認証，顔認証

(e) 公開鍵基盤（公開鍵証明書，CA（Certification Authority：認証局），SSL）

到達目標

・PKI（Public Key Infrastructure：公開鍵基盤）のあらましと代表的な適用例を理解する．

【要望】

・GPKI（Government Public Key Infrastructure：政府認証基盤），BCA（Bridge Certification Authority：ブリッジ認証局）

６－２．【コア】情報セキュリティ管理

到達目標

・情報セキュリティ管理として，情報資産に対する脅威，脆弱性の基本的な考え方を理解する．

・脅威と脆弱性（事故，災害，故障，盗難，エラー，コンピュータ犯罪，情報漏えい，不正アクセス，不正侵入，盗聴，なりすまし，改ざん，DoS（Denial of Service：サービスの妨害）攻撃，ワーム，ソーシャルエンジニアリング，マルウェア（コンピュータウイルス，BOT，スパイウェア），フィッシング詐欺，クロスサイトスクリプティング，ファイル交換ソフトウェア，DoS（Denial of Service）攻撃，バグ，セキュリティホール）

到達目標

・情報資産に対して物理的脅威，技術的脅威，人的脅威などの脅威，およびシステムの欠陥や脅威への対応不備などによる脆弱性の基本を理解する．

６－３．【コア】情報セキュリティ対策

到達目標

・技術的側面あるいは物理的側面から情報セキュリティ対策を検討し，具体的に運用できる．

(a)技術的セキュリティ対策（クラッキング対策，暗号処理，ファイアウォール，コンピュータウイルス対策， OS アップデート，ネットワーク監視，アクセス制御，侵入検知）

到達目標

・技術的側面から情報セキュリティ対策を検討し，具体的に運用できる．すなわち，ソフトウェア，データ，ネットワークなどに技術的対策を実施することができる．

(b) 【要望】物理的セキュリティ対策（RASIS（Reliability，Availability，Serviceability，Integrity，Security），RAS 技術，耐震耐火設備，監視カメラ，施錠管理，入退室管理）

到達目標

・物理的側面から情報セキュリティ対策を検討し，具体的に運用できる．すなわち，外部からの侵入，盗難，水害，落雷，地震，大気汚染，爆発，火災などから情報システムを保護することによって，情報システムの信頼性，可用性を確保することができる．

６－４．【コア】セキュリティ実装技術

到達目標

・ネットワーク，データベースに実装するセキュリティ対策のあらましを理解する．
・アプリケーションへの攻撃とセキュリティ対策のあらましを理解する．

(1) ネットワークセキュリティ（ファイアウォール，パケットフィルタリング，認証サーバ，NAT（Network Address Translation：ネットワークアドレス変換），IP マスカレード，アドホックネットワーク，VPN(Virtual Private Network：仮想私設網)，WEP(Wired Equivalent Privacy)，WPA（Wi-Fi Protected Access））

到達目標

・イントラネットをインターネットに接続する場合に必要なネットワークセキュリティ対策のあらましを理解する．

【要望】

・IDS（Intrusion Detection System：侵入検知システム），IPS（Intrusion Protection System：侵入防止システム）

(2) アプリケーションセキュリティ（Web システムのセキュリティ対策，セキュアプログラミング，バッファオーバフロー攻撃，クロスサイトスクリプティング攻撃）

到達目標

・イントラネットやインターネットで使用される電子メールなどに対する攻撃を抑制するアプリケーションセキュリティの対策のあらましを理解する．

(3) データベースセキュリティ（暗号化，利用者認証，データベースアクセス制御，ログの取得，アカウント管理，パスワード管理，外部媒体の利用制御，不正アクセス検知）

到達目標

・データベースに対する不正アクセス，不正利用，破壊などの脅威に対する対策のあらましを理解する．

学修に当たっての配慮事項

・多くの実例を提示し，情報セキュリティやネットワークセキュリティの重要性，必要性を真に理解させるとともに，幅広い知識と技術に基づいた個別対応が求められることも理解させる．また，関連演習と結びつけて，具体的な対策の実装能力を高めるよう配慮する．

６－５．【コア】セキュリティ関連演習

公開鍵暗号モジュールおよび共有鍵暗号モジュールによるディジタル署名の実装，パスワードクラッキングツールを利用した安全性検証，等

到達目標

・具体的演習課題に取り組み，セキュリティ要素技術の機能や役割の理解し，具体的な対策を実装することができる．

学修に当たっての配慮事項

・積極的に演習に取り組むことで，実践力が育成されるように，演習課題の工夫，準備をする．

７．「コンピュータネットワーク」（Ｅ）

７－１．【コア】ネットワーク方式／通信方式

・ネットワークの種類と特徴，インターネット技術，回線容量，パケット交換
・ネットワークアーキテクチャ(通信プロトコルとOSIモデル)，伝送路と物理層，誤り制御符号(CRC)，MAC プロトコル，データリンク層プロトコル，データ交換とネットワーク層，TCP/IP，トランスポート層プロトコル，アプリケーション層プロトコル，インターネット，アドホックネットワーク，QoS 制御の基礎

到達目標

・代表的な情報ネットワークであるコンピュータネットワークにおいては，階層型通信プロトコルに従って情報交換をする．このプロトコル間の機能分担を理解し，各機能を実現する上での技術的課題とその解決法を理解する．
・回線交換，パケット交換の原理とそれらの得失を理解し，説明できる．
・通信プロトコルの階層化の概念と物理層，データリンク層，ネットワーク層，トランスポート層，アプリケーション層の一般的な機能を理解する．
・物理層の主要なテーマであるアナログ伝送システムおよびディジタル伝送システムの原理を理解

する.
・データリンク層の主たる機能である誤り制御とメディアアクセス制御を理解する.
・ネットワーク層の主たる機能であるルーティングについて理解する.
・インターネットプロトコルにおけるトランスポート層プロトコルとアプリケーション層プロトコルとの機能分担を理解すること.
・トランスポート層プロトコルである TCP(Transmission Control Protocol)および UDP(User Datagram Protocol) について理解する. 特に, TCP におけるコネクションの概念, その設定と解放, およびコネクションによるデータ転送を理解する.

学修に当たっての配慮事項
・実例を交えて概念を分かりやすく説明して理解を助けると共に, 現状でどのようなことが課題となっているかについても説明して, 幅広い知識を得るよう配慮する.

７－２.【コア】ネットワーク関連演習

・ルーティング, パケット監視, LAN 上のファイルサーバ設置, 等

到達目標
・具体的演習課題に取り組み, コンピュータネットワーク要素技術の機能や役割を理解し, 具体的な機能や仕組みを実装することができる.

学修に当たっての配慮事項
・積極的に演習に取り組むことで, 実践力が育成されるように, 演習課題の工夫, 準備する.

８. 「〔情報〕コンピュータシステム」（Ｆ１）
８－１.【コア】コンピュータの構成要素と方式

到達目標
・コンピュータの種類, 基本構成, 構成要素を理解する.

1. プロセッサ

到達目標
・プロセッサのアーキテクチャ, 構造, 方式, 動作原理を理解する.
・プロセッサの性能を表す指標を理解する.
・プロセッサの高速化, 高信頼化技術を理解する.

2. メモリ

到達目標
・メモリの種類, 特徴を理解する.
・主記憶装置の構成, メモリシステムの構成, 記憶階層など, 記憶装置の仕組みを理解する.
・記録媒体の種類, 特徴を理解する.

3. バス

到達目標
・バスの種類, 特徴, 構成のあらましを理解する.

(1) バスの種類と特徴

到達目標
・コンピュータ内部でデータをやり取りするための伝送路であるバスの種類, 特徴を理解する. また, 内部バス（CPU 内部バス）, 外部バス, 拡張バスなどの分類, 転送方式のあらましを理解する.

(2) バスのシステムの構成

到達目標
・バスのシステムの構成には, 命令の読込みとデータのアクセスを分離したアーキテクチャ, 両者を分離せず同一のバスでアクセスするアーキテクチャがあることを理解する.

(3) バスの容量と性能

到達目標

・バスの能力を決定するバス幅やクロック周波数などを理解する．

4. 入出力デバイス

到達目標

・代表的な入出力インタフェースの種類，特徴を理解する．

・デバイスドライバの基本的な役割，機能を理解する．

(1) 入出力インタフェース

(a) 入出力インタフェースの種類と特徴

到達目標

・代表的な入出力インタフェースの種類，転送方式，伝送速度，接続可能台数，用途などの特徴を理解する．

(b) データ転送の方式と接続形態

到達目標

・シリアルデータ転送方式とパラレルデータ転送方式の違い，周辺装置を接続する際の接続形態（トポロジ）の種類，特徴を理解する．

(c) 入出力制御の方式

到達目標

・CPU を介さない転送方式である DMA（Direct Memory Access：直接記憶アクセス）方式やチャネル制御方式を理解する．また，入出力割込みが果たす役割を理解する．

(2) デバイスドライバ

到達目標

・デバイスドライバの基本的な役割，プラグアンドプレイ，ホットプラグの機能，デバイスとの同期を理解する．

5. 入出力装置

到達目標

・代表的な入出力装置の種類，特徴を理解する．

・代表的な補助記憶装置の種類，特徴を理解する．

(1) 入力装置（キーボード，ポインティングデバイス，タッチスクリーン，マウス，ジョイスティック，トラックボール，スキャナ，OCR，OMR，音声入力装置，生体認証装置，バーコード読取装置，デジタイザ，タブレット，ディジタルカメラ，磁気カード読取装置，IC カード読取装置，A/D コンバータ）

到達目標

・代表的な入力装置の種類，特徴を理解する．

(2)出力装置(CRT ディスプレイ，液晶ディスプレイ，TFT 液晶，STN 液晶，有機EL ディスプレイ，プラズマディスプレイ，インタレースモード，ノンインタレースモード，VGA，SVGA，XGA，インパクトプリンタ，ノンインパクトプリンタ，シリアルプリンタ，ラインプリンタ，ページプリンタ，レーザプリンタ，インクジェットプリンタ，プロッタ，D/A コンバータ，プロジェクタ，音声合成装置）

到達目標

・代表的な表示装置の種類，特徴，代表的なプリンタの種類，特徴を理解する．また，画像のデータ容量など関連する計算方法を理解する．

(3) 補助記憶装置（ハードディスク装置，フロッピーディスク装置，CD-R/RW ドライブ，ブルーレイドライブ，DVD-R/RW ドライブ，磁気テープ装置，トラック，シリンダ，ブロック化因数，ブロック間隔，セクタ，デフラグメンテーション）

到達目標

・代表的な補助記憶装置や記憶媒体の種類，特徴を理解する．

(4) その他の入出力装置（有線 LAN インタフェースカード，無線 LAN インタフェースカード）

到達目標

・代表的な通信制御装置，駆動装置，撮像装置の種類，特徴を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・多岐にわたるコンピュータの仕組みや機能を，まず大枠で理解させるように配慮する．次に各機能個別の説明では，ハードウェアとソフトウェアの関わりに重点を置き，両視点からコンピュータを捉えることができるように配慮する．

８－２．【コア】システムの構成

到達目標

・システムの処理形態，利用形態，適用領域を理解する．
・代表的なシステム構成の種類，特徴を理解する．
・クライアントサーバシステムの特徴，構成を理解する．
・システムの信頼性設計の考え方を理解する．

(1) システムの処理形態・利用形態・適用領域（並列処理，クライアントサーバ処理，トランザクション処理，対話型処理）

到達目標

・集中処理と分散処理のあらまし，それぞれの特徴，バッチ処理，リアルタイム処理などの利用形態の種類，特徴，どのような業務にどの処理方式が適しているかを理解する．

(2) システム構成（デュアルシステム，デュプレックスシステム，クラスタ，マルチプロセッサシステム，ロードシェアリングシステム，バックアップサイト，ホットサイト，ウォームサイト，コールドサイト，主系（現用系），従系（待機系），密結合，疎結合，ピアツーピア，グリッドコンピューティング）

到達目標

・代表的なシステム構成の種類，特徴を理解する．また，冗長構成によるシステムの信頼性向上，負荷分散によるレスポンス速度の向上などの考え方を理解する．

(3) ハイパフォーマンスコンピューティング（大規模並列処理）

到達目標

・高精度な高速演算を必要とするような分野で利用される HPC（High Performance Computing：ハイパフォーマンスコンピューティング）の特徴を理解する．

(4) クライアントサーバシステム（プレゼンテーション層，ファンクション層，データベースアクセス層，クライアント，サーバ，シンクライアントシステム，RPC（Remote Procedure Call：遠隔手続呼出し））

到達目標

・2 層クライアントサーバシステム，3 層クライアントサーバシステムの特徴，構成を理解する．また，データベースに対するストアドプロシージャなど関連技術の特徴を理解する．

(5) Web システム

到達目標

・Web システムの特徴，基本的な構成，仕組みを理解する．

学修に当たっての配慮事項

・システムの処理形態，利用形態，適用領域，代表的なシステム構成の種類と特徴，などを実例を提示して理解を支援するように配慮する．

８－３．【コア】ソフトウェア

到達目標

・オペレーティングシステムの種類，特徴，機能，構成，およびミドルウェアの機能と役割，さらにファイルシステムの仕組みを理解する．

1. オペレーティングシステム

到達目標

・OS の種類，特徴，機能，構成を理解する．

・ジョブ管理，タスク管理，記憶管理など OS の代表的な機能について，管理の仕組みを理解する．

(1) OS の種類と特徴（システムソフトウェア，UNIX，PC 用 OS，オープン OS）

到達目標

・ソフトウェアの体系における OS の位置づけと必要性，汎用機用，パソコン用，リアルタイム用などの OS の種類，代表的な特徴を理解する．

(2) OS の機能と構成（マイクロカーネル，モノリシックカーネル，ミドルウェア，カーネルモード（スーパバイザモード），ユーザモード，コンパイラ，サービスプログラム，プロセス管理，運用管理，割込み，多重（マルチ）プログラミング）

到達目標

・OS の基本的な機能，構成，カーネル，言語プロセッサなどを理解する．

(3) ジョブ管理（リーダ，ジョブスケジューラ，イニシエータ，ターミネータ，マスタスケジューラ，ライタ，バッチ処理）

到達目標

・一つのまとまった仕事の単位であるジョブと，それを構成するジョブステップの概念，ジョブ管理のあらましを理解する．

(4) タスク管理

(a) タスクと状態遷移（実行可能状態，実行状態，待ち状態，プロセス）

到達目標

・タスクとジョブステップ，スレッドとの関係，タスクの生成から実行，消滅までの状態遷移，ディスパッチャの基本的な役割を理解する．

(b) 多重（マルチ）プログラミング（マルチタスク）とスケジューリング（プリエンプティブ方式，ノンプリエンプティブ方式，タイムスライス方式，優先度順，ラウンドロビン，タイムクウォンタム，ディスパッチ）

到達目標

・多重（マルチ）プログラミングの考え方を理解し，タスクのスケジューリングの代表的な方式について，スケジューリングの方法，特徴を理解する．

(5) データ管理

到達目標

・補助記憶装置へのアクセスを装置に依存しないインタフェースで応用プログラムに提供する機能を理解する．

(6) 入出力管理

到達目標

・入出力制御，入出力時の障害管理など，データ管理の指示に従って物理レコードの入出力処理を行う機能のあらましを理解する．

2. ミドルウェア

到達目標

・代表的なミドルウェアの役割，基本的な機能を理解し，担当する事項に適用する．

3. ファイルシステム

到達目標

・ファイルを階層化して管理する仕組みを理解し，担当する事項に適用する．
・ファイルシステムの種類，特徴を理解し，担当する事項に適用する．
・ファイル編成，アクセス手法，バックアップ方式の種類，代表的な特徴を理解し，担当する事項に適用する．

(1) ディレクトリ管理とファイル管理（ルートディレクトリ，カレントディレクトリ，検索手法）

到達目標

・ファイルを階層化して扱うファイル管理の仕組み，絶対パス，相対パスを用いたファイルの特定方法を理解する．また，ディレクトリ管理，ファイル共有，アクセス権の基本的な考え方を理解する．

(2) ファイルシステムの種類と特徴(FAT ファイルシステム，NTFS，HFS(Hierarchical File System)，ボリューム)

到達目標

・ハードディスク装置などの補助記憶装置の領域を，OS や利用者がファイルやディレクトリ（フォルダ）として使用できるようにするための機能のあらましを理解する．また，OS ごとに異なるファイルシステムが提供されていること，代表的なファイルシステムの特徴を理解する．

(3) ファイル編成とアクセス手法（次アクセス，直接アクセス，動的アクセス，順編成，区分編成，索引順編成，直接編成，VSAM 編成，あふれ域）

到達目標

・ファイル編成やアクセス方法，各編成方法におけるレコードの追加，削除，変更など基本的な処理方法を理解する．

(4) バックアップ（多重バックアップ，フルバックアップ，差分バックアップ）

到達目標

・ファイルのリカバリを目的としたバックアップの取得方法，手順，世代管理など，バックアップ方式の種類と代表的な特徴を理解する．

８－４．【コア】開発ツール

到達目標

・ソフトウェア開発に用いる代表的な開発ツールの種類，特徴，基本的な機能を理解する．

1. 開発ツールの種類と特徴(設計支援ツール，設計ツール，構築ツール，テストツール，ツールチェーン，EUC，EUD，エミュレータ，シミュレータ，ICE（In-Circuit Emulator：インサーキットエミュレータ），トレーサ，インスペクタ，スナップショット，アサーションチェッカ)

到達目標

・設計を支援するツール，プログラミングやテストを支援するツール，ソフトウェア開発の各工程を通して自動化，効率化を目的とする CASE ツール，開発作業全体を一貫して工程を支援する IDE（Integrated Development Environment：統合開発環境）など，代表的な開発ツールの種類，特徴，基本的な機能を理解する．

2. 言語処理ツールの種類と特徴(アセンブラ，インタプリタ，リンカ，ローダ，コンパイラ，クロスコンパイラ，ジェネレータ，プリプロセッサ，原始プログラム，目的プログラム，ロードモジュール)

到達目標

・代表的な言語処理ツールの種類，特徴，基本的な機能を理解する．

3. オープンソースソフトウェア

到達目標

・オープンソースソフトウェアの種類，代表的な特徴，利用上の考慮点，動向を理解し，担当する事項に適用する．

(1) OSS の種類と特徴（Linux カーネル，Perl，Python，Ruby，コピーレフト（Copyleft），デュアルライセンス，GPL(General Public License)，BSDL(Berkeley Software Distribution License)，MPL（Mozilla Public License），Apache ライセンス）

到達目標

・LAMP/LAPP（LAMP：Linux，Apache，MySQL，PHP，LAPP：Linux，Apache，PostgreSQL，PHP）を中心に広く利用されている OSS（Open Source Software：オープンソースソフトウェア）の代表的な種類，特徴，再配布の自由，派生ソフトウェア改変の許諾などオープンソースライセンシングのあらましを理解する．

(2) UNIX 系 OS（NetBSD，SunOS，Solaris，AIX（Advanced Interactive eXecutive），UnixWare，IRIX，HP-UX(Hewlett Packard UniX)，Linux，FreeBSD(Free Berkley Software Distribution)，OpenBSD，The Open Group）

到達目標

・代表的な OSS である UNIX，UNIX 互換 OS を含む UNIX 系 OS の種類，代表的な特徴を理解する．

(3) 【要望】オープンソースコミュニティ

到達目標

・オープンソースコミュニティによるソフトウェア開発の考え方を理解する．

(4) 【要望】OSS の利用・活用と考慮点（安全性，瑕疵（かし））

到達目標

・ライセンスの適用範囲，利用時のサポートにかかるコスト，問題発生時の対処など，OSS を利用する上での基本的な考慮点を理解する．

(5) 【要望】OSS の動向

到達目標

・OSS の開発や普及の動向を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・実際のソフトウェア開発に用いられている代表的な開発ツールを使用して，基本的な機能を理解させ，実際に操作できるレベルに到達するように配慮する．

８－５．【コア】ハードウェア

到達目標

・コンピュータの構成部品である電気・電子回路の考え方を理解する．
・機械を電子的に制御する場合の代表的な方法の特徴を理解する．
・構成部品の特性，論理設計の基本的な留意事項を理解する．
・組込み機器の開発における消費電力の重要性を理解する．

(1) 電気・電子回路（AND 回路，OR 回路，NOT 回路，NAND 回路，フリップフロップ）

到達目標

・コンピュータの基本的な論理回路である AND 回路，OR 回路，NOT 回路などの動作原理を理解する．

(2) 機械・制御（オープンループ制御，クローズドループ制御，シーケンス制御，フィードバック制御，PWM（Pulse Width Modulation）制御）

到達目標

・代表的な機械電子制御を取り上げ，基本的な動作原理を理解する．

(3) 構成部品及び要素と実装（ダイオード，LED，トランジスタ， IC，LSI，VLSI（Very Large Scale Integration））

到達目標
・代表的な構成部品や要素，その実装を理解する．

(4) 論理設計
到達目標
・論理回路は，性能，設計効率，コストなどを考慮して設計することを理解する．

(5) 消費電力
到達目標
・ハードウェアの消費電力について，組込み機器の開発における消費電力の重要性を理解する．
学修に当たっての配慮事項
・ハードウェアの基礎をじっくり理解できるように少し時間をかける．また，組込ソフトウェア設計の視点からハードウェアを捉えるに習熟するように配慮する．

９．「〔通信〕コンピュータシステム」（Ｆ２）
９－１．【要望】コンピュータの構成要素と方式
到達目標
・コンピュータの種類，基本構成，構成要素を理解する．

1. プロセッサ
到達目標
・プロセッサのアーキテクチャ，構造，方式，動作原理を理解する．
・プロセッサの性能を表す指標を理解する．
・プロセッサの高速化，高信頼化技術を理解する．

2. メモリ
到達目標
・メモリの種類，特徴を理解する．
・主記憶装置の構成，メモリシステムの構成，記憶階層など，記憶装置の仕組みを理解する．
・記録媒体の種類，特徴を理解する．

3. バス
到達目標
・バスの種類，特徴，構成のあらましを理解する．

(1) バスの種類と特徴
到達目標
・コンピュータ内部でデータをやり取りするための伝送路であるバスの種類，特徴を理解する．また，内部バス（CPU 内部バス），外部バス，拡張バスなどの分類，転送方式のあらましを理解する．

(2) バスのシステムの構成
到達目標
・バスのシステムの構成には，命令の読込みとデータのアクセスを分離したアーキテクチャ，両者を分離せず同一のバスでアクセスするアーキテクチャがあることを理解する．

(3) バスの容量と性能
到達目標
・バスの能力を決定するバス幅やクロック周波数などを理解する．

4. 入出力デバイス

到達目標
・代表的な入出力インタフェースの種類，特徴を理解する．
・デバイスドライバの基本的な役割，機能を理解する．

(1) 入出力インタフェース

(a) 入出力インタフェースの種類と特徴

到達目標
・代表的な入出力インタフェースの種類，転送方式，伝送速度，接続可能台数，用途などの特徴を理解する．

(b) データ転送の方式と接続形態

到達目標
・シリアルデータ転送方式とパラレルデータ転送方式の違い，周辺装置を接続する際の接続形態（トポロジ）の種類，特徴を理解する．

(c) 入出力制御の方式

到達目標
CPU を介さない転送方式である DMA（Direct Memory Access：直接記憶アクセス）方式やチャネル制御方式を理解する．また，入出力割込みが果たす役割を理解する．

(2) デバイスドライバ

到達目標
・デバイスドライバの基本的な役割，プラグアンドプレイ，ホットプラグの機能，デバイスとの同期を理解する．

5. 入出力装置

到達目標
・代表的な入出力装置の種類，特徴を理解する．
・代表的な補助記憶装置の種類，特徴を理解する．

(1) 入力装置（キーボード，ポインティングデバイス，タッチスクリーン，マウス，ジョイスティック，トラックボール，スキャナ，OCR，OMR，音声入力装置，生体認証装置，バーコード読取装置，デジタイザ，タブレット，ディジタルカメラ，磁気カード読取装置，IC カード読取装置，A/D コンバータ）

到達目標
・代表的な入力装置の種類，特徴を理解する．

(2)出力装置(CRT ディスプレイ，液晶ディスプレイ，TFT 液晶，STN 液晶，有機EL ディスプレイ，プラズマディスプレイ，インタレースモード，ノンインタレースモード，VGA，SVGA，XGA，インパクトプリンタ，ノンインパクトプリンタ，シリアルプリンタ，ラインプリンタ，ページプリンタ，レーザプリンタ，インクジェットプリンタ，プロッタ，D/A コンバータ，プロジェクタ，音声合成装置）

到達目標
・代表的な表示装置の種類，特徴，代表的なプリンタの種類，特徴を理解する．また，画像のデータ容量など関連する計算方法を理解する．

(3) 補助記憶装置（ハードディスク装置，フロッピーディスク装置，CD-R/RW ドライブ，ブルーレイドライブ，DVD-R/RW ドライブ，磁気テープ装置，トラック，シリンダ，ブロック化因数，ブロック間隔，セクタ，デフラグメンテーション）

到達目標
・代表的な補助記憶装置や記憶媒体の種類，特徴を理解する．

(4) その他の入出力装置（有線 LAN インタフェースカード，無線 LAN インタフェースカード）

到達目標
・代表的な通信制御装置，駆動装置，撮像装置の種類，特徴を理解する．

学修に当たっての配慮事項

・多岐にわたるコンピュータの仕組みや機能を，まず大枠で理解させるように配慮する．次に各機能個別の説明では，ハードウェアとソフトウェアの関わりに重点を置き，両視点からコンピュータを捉えることができるように配慮する．

９－２．【要望】システムの構成

到達目標

・システムの処理形態，利用形態，適用領域を理解する．
・代表的なシステム構成の種類，特徴を理解する．
・クライアントサーバシステムの特徴，構成を理解する．
・システムの信頼性設計の考え方を理解する．

(1) システムの処理形態・利用形態・適用領域（並列処理，クライアントサーバ処理，トランザクション処理，対話型処理）

到達目標

・集中処理と分散処理のあらまし，それぞれの特徴，バッチ処理，リアルタイム処理などの利用形態の種類，特徴，どのような業務にどの処理方式が適しているかを理解する．

(2) システム構成（デュアルシステム，デュプレックスシステム，クラスタ，マルチプロセッサシステム，ロードシェアリングシステム，バックアップサイト，ホットサイト，ウォームサイト，コールドサイト，主系（現用系），従系（待機系），密結合，疎結合，ピアツーピア，グリッドコンピューティング）

到達目標

・代表的なシステム構成の種類，特徴を理解する．また，冗長構成によるシステムの信頼性向上，負荷分散によるレスポンス速度の向上などの考え方を理解する．

(3) ハイパフォーマンスコンピューティング（大規模並列処理）

到達目標

・高精度な高速演算を必要とするような分野で利用される HPC（High Performance Computing：ハイパフォーマンスコンピューティング）の特徴を理解する．

(4) クライアントサーバシステム（プレゼンテーション層，ファンクション層，データベースアクセス層，クライアント，サーバ，シンクライアントシステム，RPC（Remote Procedure Call：遠隔手続呼出し））

到達目標

・2 層クライアントサーバシステム，3 層クライアントサーバシステムの特徴，構成を理解する．また，データベースに対するストアドプロシージャなど関連技術の特徴を理解する．

(5) Web システム

到達目標

・Web システムの特徴，基本的な構成，仕組みを理解する．

学修に当たっての配慮事項

・システムの処理形態，利用形態，適用領域，代表的なシステム構成の種類と特徴，などを実例を提示して理解を支援するように配慮する．

９－３．【要望】ソフトウェア

到達目標

・オペレーティングシステムの種類，特徴，機能，構成，およびミドルウェアの機能と役割，さらにファイルシステムの仕組みを理解する．

1．オペレーティングシステム

到達目標

・OS の種類，特徴，機能，構成を理解する．
・ジョブ管理，タスク管理，記憶管理など OS の代表的な機能について，管理の仕組みを理解する．

(1) OS の種類と特徴（システムソフトウェア，UNIX，PC 用 OS，オープン OS）

到達目標

・ソフトウェアの体系における OS の位置づけと必要性，汎用機用，パソコン用，リアルタイム用などの OS の種類，代表的な特徴を理解する．

(2) OS の機能と構成（マイクロカーネル，モノリシックカーネル，ミドルウェア，カーネルモード（スーパバイザモード），ユーザモード，コンパイラ，サービスプログラム，プロセス管理，運用管理，割込み，多重（マルチ）プログラミング）

到達目標

・OS の基本的な機能，構成，カーネル，言語プロセッサなどを理解する．

(3) ジョブ管理（リーダ，ジョブスケジューラ，イニシエータ，ターミネータ，マスタスケジューラ，ライタ，バッチ処理）

到達目標

・一つのまとまった仕事の単位であるジョブと，それを構成するジョブステップの概念，ジョブ管理のあらましを理解する．

(4) タスク管理

(a) タスクと状態遷移（実行可能状態，実行状態，待ち状態，プロセス）

到達目標

・タスクとジョブステップ，スレッドとの関係，タスクの生成から実行，消滅までの状態遷移，ディスパッチャの基本的な役割を理解する．

(b) 多重（マルチ）プログラミング（マルチタスク）とスケジューリング（プリエンプティブ方式，ノンプリエンプティブ方式，タイムスライス方式，優先度順，ラウンドロビン，タイムクウォンタム，ディスパッチ）

到達目標

・多重（マルチ）プログラミングの考え方を理解し，タスクのスケジューリングの代表的な方式について，スケジューリングの方法，特徴を理解する．

(5) データ管理

到達目標

・補助記憶装置へのアクセスを装置に依存しないインタフェースで応用プログラムに提供する機能を理解する．

(6) 入出力管理

到達目標

・入出力制御，入出力時の障害管理など，データ管理の指示に従って物理レコードの入出力処理を行う機能のあらましを理解する．

2. ミドルウェア

到達目標

・代表的なミドルウェアの役割，基本的な機能を理解し，担当する事項に適用する．

3. ファイルシステム

到達目標

・ファイルを階層化して管理する仕組みを理解し，担当する事項に適用する．
・ファイルシステムの種類，特徴を理解し，担当する事項に適用する．

・ファイル編成，アクセス手法，バックアップ方式の種類，代表的な特徴を理解し，担当する事項に適用する．

(1) ディレクトリ管理とファイル管理（ルートディレクトリ，カレントディレクトリ，検索手法）

到達目標

・ファイルを階層化して扱うファイル管理の仕組み，絶対パス，相対パスを用いたファイルの特定方法を理解する．また，ディレクトリ管理，ファイル共有，アクセス権の基本的な考え方を理解する．

(2) ファイルシステムの種類と特徴(FAT ファイルシステム，NTFS，HFS(Hierarchical File System)，ボリューム)

到達目標

・ハードディスク装置などの補助記憶装置の領域を，OS や利用者がファイルやディレクトリ（フォルダ）として使用できるようにするための機能のあらましを理解する．また，OS ごとに異なるファイルシステムが提供されていること，代表的なファイルシステムの特徴を理解する．

(3) ファイル編成とアクセス手法（次アクセス，直接アクセス，動的アクセス，順編成，区分編成，索引順編成，直接編成，VSAM 編成，あふれ域）

到達目標

・ファイル編成やアクセス方法，各編成方法におけるレコードの追加，削除，変更など基本的な処理方法を理解する．

(4) バックアップ（多重バックアップ，フルバックアップ，差分バックアップ）

到達目標

・ファイルのリカバリを目的としたバックアップの取得方法，手順，世代管理など，バックアップ方式の種類と代表的な特徴を理解する．

4. アセンブラ言語とそのプログラミング

到達目標

・アセンブラ言語処理システムの仕様と機能を理解する．
・アセンブラ言語のプログラムの作成方法を修得し，適用できる．
・演算処理，制御処理を行うプログラムの作成方法を修得し，適用できる．
・表を使った処理，入出力処理を行うプログラムの作成方法を修得し，適用できる．
・スタック，及びスタックを用いたサブルーチンコールの仕組みと用法を修得し，適用できる．

(a) アセンブラ言語処理システムの仕様と機能

到達目標

・アセンブラ言語処理システムを構成するレジスタ，命令形式を理解する．

(b) アセンブラ言語の基本的なプログラム

到達目標

・アセンブラ言語の基本的なプログラムを作成できる．

(c) 算術演算，論理演算

到達目標

・算術演算命令，論理演算命令を使ったプログラムを作成できる．

(d) 選択と反復処理

到達目標

・比較演算命令，分岐命令を使って選択型，反復型のプログラムを作成できる．

(e) シフト演算

到達目標

・シフト演算命令を使ったプログラムを作成できる．

(f) 表を使った処理

到達目標

・表（配列）を使ったプログラムを作成できる．

学修に当たっての配慮事項

・現実に稼動している各種のオペレーティングシステムを実例として用いて，オペレーティングシステムの役割と重要性，ファイルシステムの仕組みと機能，などを理解させるように配慮する．また，アセンブラ言語プログラミングを通してハードウェアの理解を促進させる．

９－４．【要望】開発ツール

到達目標

・ソフトウェア開発に用いる代表的な開発ツールの種類，特徴，基本的な機能を理解する．

1. 開発ツールの種類と特徴（設計支援ツール，設計ツール，構築ツール，テストツール，ツールチェーン，EUC，EUD，エミュレータ，シミュレータ，ICE（In-Circuit Emulator：インサーキットエミュレータ），トレーサ，インスペクタ，スナップショット，アサーションチェッカ）

到達目標

・設計を支援するツール，プログラミングやテストを支援するツール，ソフトウェア開発の各工程を通して自動化，効率化を目的とする CASE ツール，開発作業全体を一貫して工程を支援する IDE（Integrated Development Environment：統合開発環境）など，代表的な開発ツールの種類，特徴，基本的な機能を理解する．

2. 言語処理ツールの種類と特徴（アセンブラ，インタプリタ，リンカ，ローダ，コンパイラ，クロスコンパイラ，ジェネレータ，プリプロセッサ，原始プログラム，目的プログラム，ロードモジュール）

到達目標

・代表的な言語処理ツールの種類，特徴，基本的な機能を理解する．

3. オープンソースソフトウェア

到達目標

・オープンソースソフトウェアの種類，代表的な特徴，利用上の考慮点，動向を理解し，担当する事項に適用する．

(1) OSS の種類と特徴（Linux カーネル，Perl，Python，Ruby，コピーレフト（Copyleft），デュアルライセンス，GPL（General Public License），BSDL（Berkeley Software Distribution License），MPL（Mozilla Public License），Apache ライセンス）

到達目標

・LAMP/LAPP（LAMP：Linux，Apache，MySQL，PHP，LAPP：Linux，Apache，PostgreSQL，PHP）を中心に広く利用されている OSS（Open Source Software：オープンソースソフトウェア）の代表的な種類，特徴，再配布の自由，派生ソフトウェア改変の許諾などオープンソースライセンシングのあらましを理解する．

(2) UNIX 系 OS（NetBSD，SunOS，Solaris，AIX（Advanced Interactive eXecutive），UnixWare，IRIX，HP-UX（Hewlett Packard UniX），Linux，FreeBSD（Free Berkley Software Distribution），OpenBSD，The Open Group）

到達目標

・代表的な OSS である UNIX，UNIX 互換 OS を含む UNIX 系 OS の種類，代表的な特徴を理解する．

(3) 【要望】オープンソースコミュニティ

到達目標

・オープンソースコミュニティによるソフトウェア開発の考え方を理解する．

(4) 【要望】OSS の利用・活用と考慮点（安全性，瑕疵（かし））

到達目標

・ライセンスの適用範囲，利用時のサポートにかかるコスト，問題発生時の対処など，OSS を利用する上での基本的な考慮点を理解する．

(5) 【要望】OSS の動向

到達目標

・OSS の開発や普及の動向を理解する.

学修に当たっての配慮事項

・実際のソフトウェア開発に用いられている代表的な開発ツールを使用して，基本的な機能を理解させ，実際に操作できるレベルに到達するように配慮する.

９－５.【要望】ハードウェア

到達目標

・コンピュータの構成部品である電気・電子回路の考え方を理解する.
・機械を電子的に制御する場合の代表的な方法の特徴を理解する.
・構成部品の特性，論理設計の基本的な留意事項を理解する.
・組込み機器の開発における消費電力の重要性を理解する.

(1) 電気・電子回路（AND 回路，OR 回路，NOT 回路，NAND 回路，フリップフロップ）

到達目標

・コンピュータの基本的な論理回路である AND 回路，OR 回路，NOT 回路などの動作原理を理解する.

(2) 機械・制御（オープンループ制御，クローズドループ制御，シーケンス制御，フィードバック制御，PWM（Pulse Width Modulation）制御）

到達目標

・代表的な機械電子制御を取り上げ，基本的な動作原理を理解する.

(3) 構成部品及び要素と実装（ダイオード，LED，トランジスタ， IC，LSI，VLSI（Very Large Scale Integration））

到達目標

・代表的な構成部品や要素，その実装を理解する.

(4) 論理設計

到達目標

・論理回路は，性能，設計効率，コストなどを考慮して設計することを理解する.

(5) 消費電力

到達目標

・ハードウェアの消費電力について，組込み機器の開発における消費電力の重要性を理解する.

学修に当たっての配慮事項

・ハードウェアの基礎をじっくり理解できるように少し時間をかける．また，組込ソフトウェア設計の視点からハードウェアを捉えるに習熟するように配慮する.

１０．「ソフトウェア開発技術」（G）

１０－１.【要望】ソフトウェア開発プロセス・手法

ソフトウェア開発手法（開発工程モデル：ウォーターフォール型，スパイラル型，形式手法），ソフトウェアライフサイクルプロセス（SLCP）など

到達目標

・プロジェクトマネージメントへの橋渡しとして，開発工程モデルに関する知識を獲得すると共に，実際の開発工程を経験することでソフトウェアライフサイクルプロセス（SLCP）などの理解を深める.

１０－２.【要望】ソフトウェア開発工程

１．ソフトウェア要件定義

ソフトウェア要件の確立（機能，能力，インタフェースほか）など

２．ソフトウェア方式設計・ソフトウェア詳細設計

ソフトウェア構造とコンポーネントの設計，インタフェース設計，ソフトウェアユニットのテストの設計，レビュー（インスペクション，ウォークスルー），　各種設計手法（プロセス中心設計，データ中心設計，構造化設計，オブジェクト指向設計など），モジュールの設計，デザインパターン　など

３．ソフトウェアコード作成及びテスト

ソフトウェアコード作成，デバッグ，テストなど

到達目標

・ソフトウェア開発の工程は，要求分析，設計（仕様記述，ソフトウェアアーキテクチャ），実装（コーディング），評価（テスト），運用・保守などからなるが，運用・保守以外の工程について，演習などを通して必要な知識と技術を身に付ける．

学修に当たっての配慮事項

・理論的枠組みのみならず，実践力を身に付き，かつプロジェクトマネージメントに通じる広い視野と管理能力が育成されるように配慮する．

７．共通的な「汎用的技能」「態度・志向性」「総合的な学習経験と創造的思考力」の到達目標及び学修に当たっての配慮事項

本章では，各技術分野の知識・理解の科目（下記１.，２.）に対して横串となる，「汎用的技能」「態度・志向性」「総合的な学習経験と創造的思考力」（下記 3.，4.，5.）について，国際的な理解を得，技術者教育の設定項目を国際標準に近づけることを目標に，Tuning Texas, ABET および JABEE の基準，国際エンジニアリング連合（International Engineering Alliance）の卒業生としての知識と能力（Graduate Attributes），を参照して，これらの能力･資質の到達目標と，育成のための教育プログラム設定における配慮事項を示した.

本調査研究で設定した，技術者教育において育成すべき知識･能力の項目

（第 4 章参照）

１．基礎
　１－１　数学
　１－２　物理学等自然科学
　１－３　工学基礎
２．専門分野
３．汎用的技能（応用的能力）
　３－１　課題発見・解決力，論理的思考力
　３－２　コミュニケーション･スキル
４．態度・志向性（道徳的能力）
　４－１　チームワーク，自己管理力，リーダーシップ，チャンスを活かす能力
　４－２　倫理観
　４－３　市民としての社会的責任
　４－４　生涯学修力
５．総合的な学習経験と創造的思考力
　５　　創成能力（システム設計）

本章で取り扱う能力項目

「汎用的技能」「態度・志向性」「総合的な学習経験と創造的思考力」に関連する各項目の到達レベルを含んだ到達目標の記述は，「・・ができる」との表現とした.

これらの各能力に対して本章で設定された到達目標に関し，各科目修了時・学年末・および卒業時などに各学生がどの程度身につけることができたか，という定量的な達成度評価は，あらかじめ次頁の表 7-1 に示すような５段階(-1 を除き 0～4 の５段階)の評価表を準備することで評価できる. ここで大学卒業時の最低限のレベルは２，好ましい水準は３以上として設定している. この表では，5 段階の例を示しているが，評価対象能力の項目と評価の目的によって，3 段階の評価表を用いることもある.

表７－１「汎用的な技能」「態度・志向性」「総合的な学学習経験と創造的思考力」の
到達目標の達成度レベル評価表

水準	特　　徴	概　　要
-1	問題行動（誤った行動をする）	やってはいけない行動をする.
0	行動なし（行動しない）	だれかに指示されても行動しない. 正しい行動ができない.
1	指示待ち行動	誰かに指示されて行動できる. 典型的な「指示待ち族」に属する.
2	通常行動（やるべきことをやるべき時にやった行動）	何を言われなくても行動は起こすが, 単なるマニュアル的行動である.
3	自主的行動（明確な意図や判断に基づいた行動）	マニュアルに自分なりの考えを加え, 独立して行動できる.
4	独創的行動（独自の効果的工夫を加えた行動，状況を変化させようという行動）	行動を起こすに当たって, 事前に問題を把握している. 問題解決に当たり，他者より秀でた独自の「工夫」が見られる. 批判的考察，変革ができる.

７－１.「３. 汎用的技能（応用的能力）」の到達目標

３－１. 課題発見・解決力，論理的思考力

到達目標

【コア】

・課題発見，情報の収集と分析，課題解決，などの手法を用い，当該分野の工学問題の課題を挙げ，その問題の構造を分析できる.

【要望】

・課題発見，情報の収集と分析，課題解決，などの手法を用い，当該分野の工学問題の課題を挙げ，その問題の構造を分析し，複数の解を提案し，その中から最良の解を選ぶことができる.

課題発見・解決力の要素

気づき：

あるべき姿を想定し，その上で現状を捉えるこができる. それらの乖離の存在に気づくことができる.

問題の設定：

乖離の原因となっている問題を，背景も含めて多面的に捉え，理工学の観点から具体的に整理・列記することができる.

主要箇所の特定：

最終的な目標を踏まえ，論理的な思考を用いて主要な原因を特定することができる.

原因の追求：

特定された原因について，論理的な思考を用いてなぜその問題が起こっているのかを考えることができる. 複数の要因があればそれらの因果関係を明確にする.

解決策の立案：

原因を整理し，複数の要因があれば，それぞれの解決すべき事項（課題）を理工学の観点から優先度をつけて配列することができる. 配列された原因ごとの解決策を考えることができる.

評価・実行：

理工学の観点から立案された解決策を，目標や現状を踏まえ，適切な判断の下，具体的な実行策として絞り込むことができる.

プロジェクトマネジメント：
プロジェクトマネジメントの手法を用いて，資源や時間等の制約条件の下で，計画を実行し，検証し，必要な是正措置を講じ，課題を解決することができる．

論理思考力の要素
推　理：与えられた条件から仮説などをたて，物事の関連性を把握することができる．
比　較：理工学分野における一般的・基礎的知識の元に，物事の関連性を相対化することができる．
集合化：
関連のある事象・キーワードなどを研究テーマや目的性などの多様な視点で分類することができる．
着　眼：物事の中心的事項を抽出することができる．
配列化：実施可能な方法を考察し，行動する順位を適切に並べることができる．

３－２．コミュニケーションスキル（外国語を含む）

到達目標
【コア】
・他人の意見を理解できるとともに，自らの意見を論理的な文書や口頭説明としてまとめることができる．
・英語等の外国語を用いて日常的な意見交換ができる．
【要望】
・他人の意見を理解し，自らの意見を相手の理解力に応じた内容で論理的な文書や口頭説明としてまとめることで，相手に自分の意見を納得させることができる．
・英語等の外国語を用いて実務に関する意見･情報の交換ができる．

コミュケーションスキルの要素
読　む：論文や参考図書に記述された内容を正しく理解することができる．
書　く：専門分野の用語を用いて他者が理解できるように記述できる．正しい文章を書くことができる．
聞　く：他者の意見を聞き，専門用語を交えた内容を理解し尊重することができる．
話　す：会話の目的・目標を理解し，会話を成立させることが出来る．
外国の文化や習慣の理解：
外国の文化や習慣を理解し，相手を尊重した上でコミュニケーションを成立させることができる．

７－２．「４．態度・志向性（道徳的能力）」の到達目標

４－１．チームワーク，自己管理力，リーダーシップ，チャンスを活かす能力

到達目標
【コア】
・自分に与えられた仕事を実行するために，自己の体調･時間を管理できる．
・同分野の専門家であるチームメンバーと意見交換を行い，チーム内で自らのなすべき行動をとることができる．
・周囲の状況と自身の立場を分析・照合し，自身の長所を活かすための行動を考えることができる．
【要望】
・自分のやるべき事を認識し，自己の意欲・体調･時間･予算を管理することでこれを実行できる．
・同分野あるいは異分野の専門家のチーム作業において，なすべき行動を判断・実行できるとともに，リーダーとしてメンバーに働きかけることができる．
・周囲の状況と自身の立場を分析・照合し，自身の長所を活かすべく，時宜を得た行動ができる．

４－２. 倫理観

到達目標

【コア】

・技術者倫理の基本原則を一般的な問題（定型的な問題）に適用できる.

【要望】

・技術者倫理の基本原則を用いて実務の場でとるべき倫理的行動を考えることができる.

４－３. 市民としての社会的責任

到達目標

【コア】

・社会･健康･安全･法律･文化・環境などに関する知識を，一般的な問題（定型的な問題）の解決の際に適用できる.

【要望】

・社会･健康･安全･法律･文化・環境などを考慮して，実務の場でとるべき行動を考えることができる.

４－４. 生涯学修力

到達目標

【コア】

・自主的に生涯にわたって学修する必要性と方法を理解している.

【要望】

・自主的に生涯にわたって学修する必要性と方法を理解し，それを意欲を持って実行している.

７－３.「５. 総合的な学習経験と創造的思考力」の到達目標

５－１　創成能力（システム設計）

到達目標

【コア】

・各種の外的･内的制約条件と，問題解決のために解くべき課題を挙げ，この課題を整理・分析して，制約条件下で課題を解決できる解を提案できる.

【要望】

・各種の外的･内的制約条件と，問題解決のために解くべき課題を挙げ，制約条件下で課題を解決できる最適解を見出し，これに基づいて，複合的な工学的問題の創造的解決を図ることができる.

７－４. 共通的な「汎用的技能」「態度・志向性」「総合的な学習経験と創造的思考力」の育成のための教育プログラム設定における配慮事項

これらの「汎用的技能」「態度・志向性」「総合的な学習経験と創造的思考力」は，社会に出て，学修した基礎知識・専門知識を活用していくために必要となる能力と資質である．これらの能力･資質の育成のためには，従来の講義型の教育だけでは不十分で，このような教育で学んだ知識を，能動的行動を伴う実践学修で身につける必要があり，その様な教育の場として，課題解決型学習（ＰＢＬ：Problem/Project Based Learning)，フィールド教育，インターンシップ，産学連携研究などが必須となる．また，これらの能動的学修を伴う実践的学修を通しての育成とともに，従来型の講義の中にも，出来るだけ対話型にすることで，このような能動的･実践的学修の要素を取り入れ，知識と能力･資質の教育をバランス良く配置することで，教育プログラム全体として，本調査研究報告に示されている全て

の到達目標を効果的･効率的に達成するような，体系的なプログラムを設計することが必要である．

このような体系的な教育プログラムの設計のためには，本調査研究報告に記述されている到達目標を参照して，各大学･学部･学科の独自のビジョン･使命に基づいた教育目標を設定し(Plan)，この目標を効果的･効率的に達成できる体系的プログラムを設定･実施し(Do)，このプログラムによる教育の成果測定のために，教育目標の定量的達成度評価を実施し(Check)，その結果に基づいてプログラム全体の改善を実施する(Act)，という教育プログラムの PDCA 化が必要である．

工学系の分野別プログラム認定を実施している JABEE(日本技術者教育認定機構）では，10 年以上前からこの PDCA 化による教育の質保証の普及を目的としてプログラム認定を行っており，JABEE の認定を受けたプログラムでは，教育プログラムの中に PDCA サイクルの思想がシステム的に組み込まれるようになってきた．

欧米の教育先進国では，このような PDCA サイクルの教育プログラムへの組み込みは，何十年も前から実施されてきている．しかしながら，このような PDCA サイクルを構築することによって，大学教育の説明責任を果たすためのエビデンス書類，特に規制当局に対する書類は多量に作成されている（下記の文献では「お役所仕事」と呼んでおり，日本では同じような現象を「評価疲れ」と呼んでいる）が，これによって，実際に目標として掲げた能力が効果的･効率的に育成されているのか，という疑問が提示されているのも事実である．

（S. Barrie, C. Hughes, C. Smith (The University of Sydney）”The national graduate attributes project: integration and assessment of graduate attributes in curriculum”, 2009, Australian Learning & Teaching Council.：オーストラリアにおける教育改革の現状と問題点，およびその改善方策について述べた調査研究報告書）

上記のような知識･能力･資質の到達目標育成のために教育プログラムの PDCA 化が必須であることは確かであるが，PDCA 化の経験が長い欧米で，到達目標の効果的・効率的達成に上記の報告書にあるような疑問が提示されている原因は，PDCA サイクルを到達目標の効果的･効率的達成の目的のために教育プログラムに組み込む方法論･手法が必ずしも確立していない，あるいは教育改革に熱心な一部の教職員はこれらの手法を暗黙のうちに認識して活用しているが，それが学内の責任有る立場の人々，および大多数の教職員に共有されていない，という点にある．

ここで述べた教育プログラムの PDCA 化を実施するための方法論･手法に関しては，特に下記の３点のノウハウが必要となる．

1. 本調査研究報告に示されている到達目標を参照し，自らの大学･学部･学科の卒業生に関する目標技術者像を踏まえて，卒業時に学生が身につけているべき知識･能力を示す教育目標を，達成レベルを含めて設定する方法．
2. 設定した教育目標を効果的・効率的に達成するカリキュラムの構築法．特にＰＢＬを含む能動的･実践的学修をバランス良く組み込んだ体系的カリキュラムの構造とその設計法，およびＰＢＬ等の能動的･実践的教育科目自体の設計･実施法．
3. 教育の途中，および，教育後に教育目標の達成度を定量的に評価する手法．

（教育目標の例と設定法）

上記の３点のうち「1．教育目標の例と設定法」は，諸外国の大学のホームページに掲載されている Graduate Attributes, Learning Outcomes ，例えば下記文献の，米国ローズハルマン大学機械工学科の Learning Outcomes の例や，

http://www.rose-hulman.edu/me/dept.php

その作成マニュアル，例えば下記文献の豪州タスマニア大学の教育目標作成法マニュアルの例，

http://www.teaching-learning.utas.edu.au/__data/assets/word_doc/0014/23333/Learning-outcomes-v9.1.doc

および国内の先進的大学の例，例えば下記文献の，金沢工業大学機械工学科や，工学院大学のグローバルエンジニアリング学部機械創造工学科の学習･教育目標が参考になる．これらの２つの国内事例は，JABEE の基準を念頭において作成された教育目標である．

http://www.kanazawa-it.ac.jp/about/hyoka/mh20_02.html

http://www.kogakuin.ac.jp/jabee/1a1/03.html

（教育目標の定量的達成度評価法）

また３．の「教育目標の定量的達成度評価法」，特に本章に記述されている「汎用的技能」「態度・志向性」「総合的な学習経験と創造的思考力」等の目標に関する能力･資質の達成度を定量的に測定する手法に関しては，一般的にルーブリックと呼ばれる評価表が用いられている．これは本章の表７－１に示すような評価表を，測定対象とする各能力･資質別に作成したものである．

ルーブリックとは，各評価項目について学生の知識･能力を定量的に測定するための道具となる評価表で，表 7-2 のような形式をしている．具体的には，その評価項目に関する学生の知識･能力のレベルの高さを評価する際の指標となるような，外部に表れた観察できる反応や行動を，レベル別に記述したものである．評価時には，実際の学生の反応･行動をこのレベル別の記述と比較することで，学生のその評価項目に関する知識･能力のレベルの高さを定量的に評価することが可能となる．

このような目的のためのルーブリックの中の，レベル別の反応･行動の記述を記述語（descriptor）と呼ぶ．記述語のレベルの高さは，この程度であったら平均的であるとか，最低限この程度ではあってほしい，この程度であったら卓越的であるとかの，教員側の（あるいはその大学で想定している学士レベルに照らした）判断で設定する．

この反応･行動に関するレベル別の記述語の記述は，具体的には，学生が教育の過程で使用した手順・手法，あるいは教育の過程で製作した成果物・レポート，あるいはその手順と成果物の両方などについて観察し，学生が示す典型的な反応･行動をレベル別に分類して記述することにより設定することができる．

レベルは通常５段階とし，最低レベル（１）は不合格，それ以外の４つ（５，４，３，２）は合格レベルである．５を除いた４レベルのものもある．

表７－２　ルーブリックの形式

Criterion 評価項目/観点	評価の尺度				
	HD (high distinction) レベル５ すばらしい 秀	DN(distinction) レベル４ とても良い 優	CR(credit) レベル３ 良い 良	PP(pass) レベル２ さらに努力を要する 可	NN(fail) レベル１ 不十分 不可
Criterion 1	Descriptor 記述語	Descriptor 記述語	Descriptor 記述語	Descriptor 記述語	Descriptor 記述語
Criterion 2	Descriptor 記述語	Descriptor 記述語	Descriptor 記述語	Descriptor 記述語	Descriptor 記述語
Criterion 3	Descriptor 記述語	Descriptor 記述語	Descriptor 記述語	Descriptor 記述語	Descriptor 記述語
Overall grade 総合評価点	たとえば　　レベル３　などと記入				
Comment コメント					

観察された学生の反応･行動を，レベル別の記述語の記述と比較することによって評価を行なうことで，学生･教員両者に下記のような利点が生じる．

- 学生が自分の成績の評価基準がわかる．
- 教員が評価を客観的，定量的に行なうことができる．また複数の評価者がいる場合，評価者間の評価のばらつきを減らせる．
- 学生の自己評価，学生間の相互評価の際の評価のばらつきを減らせる．
- 学生や教員に，その学習における学生の行動や成果物に対する期待値を前もって示すことができる．これにより，学生はその演習を始める前に，どのように行動できるようになれば，その科目の目標とする知識･能力を獲得できるのか，その結果どの程度の評価がもらえるか，あるいは成果物の提出前に，どの程度の成果物であればどの程度の評価になるかがわかる．またこれにより，評価内容の意味するところ（どのような理由で評価が高く，また，どのようなことができていな

かったので評価が低いか）が効果的に学生にフィードバックでき，学生が自らの学修を改善することができる．

このようなルーブリックは諸外国の大学のホームページに掲載されており，その例，例えば下記文献の豪州ウーロンゴン大学　Graduate Attribute とそのルーブリックや，

http://cedirsd.uow.edu.au/eng/eng_capabilities.pdf

その作成マニュアルの例，例えば下記文献の豪州タスマニア大学のルーブリック作成法マニュアル

http://www.teaching-learning.utas.edu.au/__data/assets/word_doc/0011/51302/how-to-write-criteria-sheets-v9-worksp.doc

が参考になる．

また国内の先進的大学の例として，例えば下記文献の中央大学　段階的コンピテンシー育成，を下記に示す．

http://www.chuo-u.ac.jp/chuo-u/science/b05_01_06_j.html

また，この中央大学の実例も含め，米国のスチーブンス工科大学，ミズーリ大学，ローズハルマン大学における教育目標達成度評価法について，下記文献にまとめられている．

平成 21 年度　文科省　先導的大学改革推進委託事業

「実践型工学技術者育成における教育成果の評価のあり方に関する調査研究」報告書

http://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/itaku/1296729.htm

このように，PDCA サイクルを構築する要素のうちの P と C に関する要素（「1．教育目標の例と設定法」,「３．教育目標の定量的達成度評価」に使用するルーブリックと呼ばれる評価表の例と作成法）は，欧米の大学および国内の先進的大学において実用化され，あるいはされつつある段階であり，また JABEE 審査において強く要求されている項目でもある．今後は各大学において，これらの先進的な例を参照しながら，その（形式的ではなく）実効的な普及･定着が望まれる．

（設定した教育目標の効果的･効率的な達成法）

これに対し，「２．設定した教育目標の効果的・効率的な達成法」に関しては，「設定した教育目標を効果的・効率的に達成するカリキュラムの構築法」と，「教育目標の効果的･効率的達成のためのＰＢＬの具体的な設計･実施法」についての方法論･手法が一般的になる必要がある．

前者については，表 7-3 に山梨大学，表 7-4 に宇都宮大学，表 7-5 に金沢工業大学，表 7-6 に芝浦工業大学の例を示すように，「汎用的技能」「態度・志向性」「総合的な学習経験と創造的思考力」等の各種能力に関して設定した教育目標を効果的・効率的に達成するカリキュラムマップの作成が必要である．これは，育成すべき各学習目標をどのような科目･科目群でいつ育成するのかを示す図であり，これによって，育成すべき複数の教育目標を達成するためのカリキュラム設計が可能となる．

また，一般的な講義や演習でも，授業の形態をできる限り対話型する工夫を行うことにより，「汎用的技能」「態度・志向性」「総合的な学習経験と創造的思考力」の向上に向けて取組んでいる金沢工業大学土木工学科での事例を，表 7-7 や写真 7-1 から写真 7-4 に示す．さらに，表 7-8 には，自己評価のための教室内外での受講・活動記録表を示す．

表７－３　カリキュラムマップ（山梨大学の例）

学習目標	1年生 前学期	1年生 後学期	2年生 前学期	2年生 後学期	3年生 前学期	3年生 後学期	4年生
① 土木環境工学が対象とする，社会の具体的問題とその解決方法や技術を知り，それを学習するために準備された授業科目やカリキュラム構成（教養科目と専門科目の関係等）を理解する.	土木環境工学入門ゼミ						
② 「ものづくり」体験を通してものをつくり出す(創造する)ことの楽しさや難しさを知る。異なる学科の学生が6～7人1チームとなって、与えられた課題の解決に取り組み、その共同作業の過程でコミュニケーション力やリーダーシップの重要性に気づき、企画力、提案力を養い、プロジェクトリーダーとしての素養を身につける。	実践ものづくり実習			PBLものづくり実践ゼミ			
③ ものづくりにあたるエンジニアの考え方やものの見方などを，失敗学の手法で明らかにする。また，工学分野の全体像と，細分化された個々の専門分野の相互関係を学ぶことにより，学科のプログラムの構成をエンジニアリング・デザインの視点から明らかにする。		エンジニアリング・デザイン入門					
④ 日本語による記述（ライティング）、発表（プレゼンテーション）および討議（ディスカッション）の基礎を身につける。		コミュニケーション					
⑤ 学科横断的に複数の教員から構成される「キャリアハウス」または「ベンチャーハウス」に配属して、キャリア形成を促す。			キャリア形成実習１	キャリア形成実習２	キャリア形成実習３	キャリア形成実習４	
⑥ 技術者倫理の必要性及びあり方を理解し、倫理問題を解決する方法を学習し、その能力を養成する。						技術者倫理	
⑦ 問題点を発見して整理し、知識や技術を応用して問題解決に向けて取り組む能力を養う。							卒業論文

表７－４　カリキュラムマップ　（宇都宮大学の例）

学習目標	1年生 前学期	1年生 後学期	2年生 前学期	2年生 後学期	3年生 前学期	3年生 後学期	4年生 前学期	4年生 後学期
① (1)実務や実社会の問題を題材として土木・建築に関する各専門分野相互のつながり，実務との関係について理解する．(2)土木・建築に関する専門分野を通して，社会や地域の問題に興味を持ち，種々の観点から自分の考え方を纏める．	建設学序論							
② 土木工学の各専門領域の成り立ちと変遷を社会の歴史的な観点から解説するとともに，土木技術の社会的とのかかわりを通して，技術者としての倫理観を養成する．		土木と社会						
③ 高度に進んだ技術，巨大な組織，複雑に絡み合った利権構造から成り立っている現代社会における建設技術者の立場，役割，義務，そして権利などを把握し，分析，判断することを学び，自らの倫理観を自ら確立することを学ぶ．						工学倫理		
④ 専門性を必要とするプロジェクトを通して，課題を計画的に進めるためPDCA (Plan-Do-Check-Action) サイクルを取り入れたマネジメント手法を実践する．						創成プロジェクト実践Ⅰ	創成プロジェクト実践Ⅱ	
⑤ 学部で修得した経験・知識を元に，専門分野に関する学習・研究活動を行う．							建設工学卒業研究	

表７－５　カリキュラムマップ　（金沢工業大学の例）

学習目標	1年 前学期 前半	1年 前学期 後半	1年 後学期 前半	1年 後学期 後半	2年生 前学期 前半	2年生 前学期 後半	2年生 後学期	3年生 前学期	3年生 後学期	4年生
① 金沢工大の学生として求められる，修学や生活に取組む態度と方法を体験し，「修学ポートフォリオ」を作成することにより，自己管理力と日本語表現力の重要性を認識し，自己実現に向かって，積極的かつ実践的な行動に取組む．	修学基礎Ⅰ	修学基礎Ⅱ	修学基礎Ⅲ	修学基礎Ⅳ						
② 国際化した社会で活躍する技術者像を学び，「自ら考え行動する技術者」となるために学習する心構えができるようにする．そのために，社会の動きに関心を持つ習慣を身につけ，国内外の状況に対して自ら考え，判断する力を養う．		技術者入門Ⅰ	技術者入門Ⅱ	技術者入門Ⅲ						
③ 科学技術が人間社会や環境に与える影響について理解し，科学技術の目的や役割，社会との関係，関連する「価値」などについて，自分の考えとしてまとめられる（自律的に考察する）能力を養う．大学卒業後，科学技術者として行動する場合に，専門職（プロフェッショナル）として負わなければならない倫理的責任や社会的責任の大切さを理解し，自らの行動にも反映できるようにする．								科学技術者倫理		
④ 大学卒業後，技術者として活躍するために，将来の目標を設定する必要性を学ぶとともに，希望する専門領域に応じた学習活動領域（専門コア）を確定し，その学習のための事前準備を含めた履修計画や行動を自ら立案し実行する．							コアガイド			
⑤ 実社会における身近な問題を対象として，現在持っている知識に加えて，必要な情報を収集・分析し，問題の現状を把握し，その原因について調査・分析し，チーム活動により問題を解決する．その成果を文書や口頭発表で報告する．	プロジェクトデザインⅠ						プロジェクトデザインⅡ			
以下は，各学科の専門色が加味され，詳細は異なる．										
⑥ 環境土木技術者として必要な学習・教育領域の全体像を知るとともに，環境土木技術者としての基本的な倫理観を身につける．	環境土木工学大意									
⑦ 問題発見から情報の収集・分析，現状把握，解決策の考察と選択等の一連のプロジェクトデザイン過程を環境土木技術の問題を対象として経験することにより，総合的な問題発見・解決能力を身につける．									コアゼミ	プロジェクトデザインⅢ

表７－６ カリキュラムマップ（芝浦工業大学工学部土木工学科の例）

学習目標	1年生 前学期	1年生 後学期	2年生 前学期	2年生 後学期	3年生 前学期	3年生 後学期	4年生
① 本学の歴代の執行幹部(学長，研究科長，工学部長，システム理工学部長，デザイン工学部長)による教学理念やビジョン，社会と工学との関わり，大学の現状と未来を聞くとともに，OBによる社会からみた大学の姿や学生に対するアドバイスなどを受けながら，大学に対する誇りを呼び戻し，共有する.	芝浦工業大学通論						
② 学生が自らの目標をもって講義や演習などに参加し自主的に発言し，行動し，創造力や企画力を身につける.	導入ゼミナール				土木工学セミナー	土木工学総合講義	
③ 卒業後に社会に適応できるようになるためにも必要なコミュニケーション能力を，理論的な解説を受けるだけでなく，演習や実習を通して育成する.	自己表現とコミュニケーション						
④ 社会で求められる論理的かつ説得力ある文章表現力を身につける.	文章論				文章表現法		
⑤ プレゼンテーションの基本的な技術の指導を受けながら，実際に実演することによって，自分の考えを適切に表現し，伝える能力を身につける.	プレゼンテーション入門						
⑥ 法律以前の「人の道」について理性的に考える技術者倫理の本質を理解する.		技術者の倫理			科学技術倫理学		
⑦ 人文社会分野の幅広い視野と論理について，身に付ける.					人文社会演習１	人文社会演習２	
⑧ 卒業研究を通じて，汎用的技能，態度・志向性，総合的学習経験と創造的思考力を向上させる.							卒業研究

表７－７　一般科目における「汎用的な技能」「態度・志向性」「総合的な学習経験と創造的思考力」向上に向けた金沢工業大学土木工学科での取組み事例

大分類	小分類	向上に向けた取組み事例
汎用的な技能(応用的能力)	コミュニケーションスキル	学生が，自ら調査したことを纏め，パワーポイントで発表する．（写真１・２を参照）
	数量的スキル	学生が，演習により計算する．
	情報リテラシー	学生が，インターネットにより情報を収集し，ワードやエクセルでレポートを作成する．
	論理的思考力	学生が，実際に生じている現象を現場で観察した後，原因を分析し，対策を考案する．例えば，学生が既存のコンクリート橋を観察し（写真３を参照），劣化要因を分析した上で，補修方法を提案する．
	課題発見解決力	学生が，研究的要素を含む課題に取り組む．課題は教員により提示され，その研究的要素は卒業研究に課せられるレベルよりも低い．ただし，解は多様であり，その解決に際して学生は新たな課題を発見するプロセスを必ず経るように仕組む．
態度・志向性(道徳的能力)	自己管理力	学生が，受講活動を記録する．（表１を参照）
	チームワーク	複数の学生が，共同して課題に取り組む．
	リーダーシップ	上述のチームワークに際して，特定の学生がリーダー役を務める．
	倫理観	技術開発・システム設計などの成果として，市民生活・経済活動に及ぼす正の影響と負の影響を，学生が考える．例えば，山間部における道路開通を計画した場合に，緊急車両による患者の救急病院への搬送時間が短くなる長所と，道路建設に伴い自然環境が破壊する短所を，学生が整理する．
	市民としての社会的責任	学生が，将来に進む産業界における，社会に悪影響を及ぼす情報を収集する．例えば，学生が，談合の記事を新聞で収集し，市民に負の影響を及ぼす本質を考える．
	チャンスを活かす能力	学生が，教員からの指示の無い課題を自ら設定・解答し，レポートとして提出する．
	生涯学習力	学生が，学会誌を読むあるいは博物館を訪問し，最新の技術を知る．
総合的な学習経験と創造的思考力	創生能力	学生が，ものづくりの現場を視察し，複数の学問を統合化して，製造・建設できることを認識する．例えば，橋を建設するためには，構造工学，地盤工学，材料学や施工学などの技術を活用している実態を，現場見学を通じて知る．（写真４を参照）

写真７－１～４　金沢工業大学土木工学科での事例



写真 7-1　一般科目の講義の中で発表する学生



写真 7-2　学生の発表を聴講する学生達



写真 7-3　劣化したコンクリート橋の現地観察



写真 7-4　ものづくり（橋の建設）の現場視察

表７－８　受講・活動記録

回数	教室内の活動（受講内容）		教室外の活動（予習復習など）	
	内容	時間	内容	時間
第１週				
第２週				
第３週				
第 14 週				
第 15 週				
第 16 週	自己点検，授業アンケート			
活動の合計時間			担当教員の確認欄	

後者, すなわち「教育目標の効果的･効率的達成のための PBL の具体的な設計･実施法」については, 欧米の大学の例や, 国内の先進的な大学の熱心な先生がたによる個別の優良事例が, 下記の文献の例のように存在している.

（米国のスチーブンス工科大学, ミズーリ大学, ローズハルマン大学における産学連携型の PBL の例）
平成２１年度　文科省　先導的大学改革推進委託事業「実践型工学技術者育成における教育成果の評価のあり方に関する調査研究」報告書）
http://www.mext.go.jp/a_menu/koutou/itaku/1296729.htm

（工学院大学グローバルエンジニアリング学部機械創造工学科の Engineering Clinic Program）
http://www.kogakuin.ac.jp/gakka/1a3/hp/ge/ecp/index.html

（東京電機大学におけるキャリアワークショップ）
http://cweb.dendai.ac.jp/pdf/employ/tduprogram2011_2.pdf

（芝浦工業大学システム理工学部のプロジェクト演習）
http://www.jstage.jst.go.jp/article/jsee/58/1/1_89/_pdf/-char/ja/
（工学教育,58-1, pp89-94 (2020)）

またその手法をまとめた文書の例として, 三重大学「PBL 実践マニュアル」,
http://www.hedc.mie-u.ac.jp/pdf/pblmanual.pdf
広島大学「PBL Guide Book」「PBL 学習者ガイド」などがある.
http://home.hiroshima-u.ac.jp/hipro/guide%20(2).pdf
https://momiji.hiroshima-u.ac.jp/momiji-top/learning/kyouyou/kyousyokuin/pbl.html

また, このような PBL を含む能動的･実践的学修をバランス良く組み込んだ体系的カリキュラムの例として, 下記の文献の, 芝浦工業大学　工学リベラルアーツ教育を軸とした体系的カリキュラム, がある.
http://www.shibaura-it.ac.jp/about/support_program/program15.html

しかしながら, これらのノウハウを, 一般の教員でも PBL を効果的･効率的に設計･実施できるようにするための一般化とその普及は, 現状ではまだ不十分であると思われる. 今後, 官・認証評価機関・教育関係学会・大学関係者による, その方法論の一般化と普及のための努力が望まれる.

７－５．到達目標（学習成果）の企業での活用

７－５－１．知識・理解の学習成果を活用するための能力

知識・理解の学習成果を活用するための「汎用的技能」「態度・志向性」「総合的な学習経験と創造的思考力」などの能力は，企業等では次のような点で必要とされている．

〔コミュニケーションスキル〕

・依頼事項や要求事項等の内容の的確な判断・理解，関連する他分野の技術レポートの理解が必要なとき．
・打ち合わせやレビュー等での相手の意見の傾聴，自分の意見を判りやすく伝え，さらには，関係先に対し，自分の考えを正確に伝えるとき．
・報告事項の要点を判断し，各種仕様書，提案書の整理とともに報告書等を判りやすく，正確に作成するとき．
・自分の分野の背景のうえに他分野を交えた議論に参加するとき．
・各種の意見を調整し，まとめる役をするとき．

〔数量的スキル〕

・数字の桁間違いや物理単位が示す内容をすばやく理解し，数字がもたらす意味と及ぼす範囲の想定するとき．
・暗算程度の段階で，規模などの概要を把握するとき．
・有効数字や誤差・裕度（余裕）に関して的確に判断した作業をするとき．
・次元の異なる物理量間の関係を的確に捉え，正確に換算するとき．
・図面や計算上の大きな不都合箇所を，検出・指摘しなければならないとき．
・社会資本整備の力学的背景や経済的背景について検討し，数値解析おこなうとき．
・現象をモデル化し，解析，計算，報告書作成をするとき．
・設計業務において性能，必要なメモリ容量等の概算を見積るとき．
・開発規模，工数，費用等の見積もりの妥当性を判断するとき．

〔情報リテラシー〕

・汎用の ICT ツールを利用して各種仕様書，提案書，報告書を作成するとき．
・情報を伝える範囲（人・組織）を決め，得られた情報の中から適切なものを選別し，理解しやすい表現方法と伝達手段を選ぶとき．
・情報が及ぼす影響を理解し，的確な運用・操作・管理等をするとき．
・社内外での有効なプレゼンテーションを行うとき．

〔論理的思考力〕

・筋道の通った業務の組み立と実行，説得力のある発言・行動をするとき．
・要求仕様を実現するための論理を組み立て仕様書としてまとめるとき．
・仕様書およびソースリストからプログラムの処理を読み取るとき．
・プロセスの要素を重要度別に分析し，条件によって判断が変わる点を認識するとき．
・社会資本（建設分野）が担当する取り組みについて，プロセスごとの妥当性について説明するとき．
・各関係先との的確な調整を行い，関係者の理解と協力を得るとき．

〔課題発見解決力〕

・障害・不具合情報を分析し原因を追及するとき．
・新技術・新製品開発時等に，どこに技術的重要ポイントがあるか見出すとき．
・提示された図面や計算書等を見て，より的確な修正案等を提示・説明するとき．
・各種仕様書のレビューにおいて設計の矛盾，誤り等を見いだすとき．
・事故等の不具合発生時に，課題を適切に認識し，問題点を早急に見出すとき．

・技術的に行き詰ったときに，代替技術を挙げ方向転換をするとき．
・社会資本(建設分野)の諸現象について現状と論理の不整合に気付き，課題化するとき．
・課題解決に向けてプロセス設計し必要な知識，資源を明確化するとき．

〔自己管理力〕
・常に身の回りを整理・整頓する習慣を持つとともに時間管理をする．
・知識・能力・資金力の自身の身の丈を自覚する．
・短期の結果だけを求めず地道な行動と理性的な思考・行動をする．
・ストレスコントロールの方途を持つ．

〔チームワーク〕
・他者の力量と資質を理解するなかで自分の能力を適切に評価する．
・相手の立場，状況を理解して行動する．
・自分の持ち場を全うする．
・組織としての成功を信じ，組織力を理解し自覚する．

〔リーダーシップ〕
・メンバーを尊重，陰日なた無く行動する．
・組織目標を達成するために自ら行うべきことを考え，率先して行動する．
・関連周辺分野の技術，課題を整理し，有効なシステム等に組み上げるなど成果へ導く．

〔倫理観〕
・ルールを遵守し，納期，約束を守る．予期しない変更などは事前に連絡し調整する．
・仕事に関連する法律や規則についての知識を持つ．
・過去の倫理的な事例について学習する．
・社会資本は作り直しが効かないことを認識し，その重要性と社会的価値観に整合した倫理性を考える．

〔市民としての社会的責任〕
・業務上の判断において人間の尊厳についての意識を持つ．
・技術的な側面だけでなく，契約，法令，安全性について日常的に意識し行動する．
・欠陥商品等を認め，次にすべき決断を下す．

〔チャンスを活かす能力〕
・プロジェクトへの参加，役割指名，抜擢などの提示を前向きに受け止める．

〔生涯学習力〕
・技術者としての自己実現を求め，精神的な成長を自覚する．
・社内外の情報，新技術を収集して自らの業務に活用し，知識の幅，活動の幅を広げる．

〔創成能力〕
・難解な問題にも立ち向かう気概を持つ．
・獲得した知識，技能等の社内への普及，権利化，他分野への導入を考えて行動する．
・新企画・新技術・新方式等を発想・提案し，デザインする．

７－５－２．産業界が求める技術者像について

本調査研究で検討してきた技術者像に関連して，産業界が求める技術者像を把握しておく必要がある．そのために，産業界の企業の方々に，日本技術士会に依頼して，次のような項目についてのインアタビューのヒアリングを実施したので，それらを取りまとめて紹介する．

インタビューの項目

０．これからの社会(企業)が期待する今後の科学技術の分野

① 今後どんな科学技術の分野が重要と考えているか．
その科学技術の分野のために，大学は何ができるか．何をすべきか．

１．企業で活躍する研究者・技術者教育について

１．１．研究者・技術者

① これからの研究者・技術者に強く求められるのはどのようなものか．
② 研究者・技術者にとってのいわゆる「社会人基礎力」とはどういうものか．
（社会人基礎力：実行力や計画力，柔軟性．研究者・技術者が基礎的に学んでおくこと）
③ 基礎学力，専門知識，実行力や計画力，柔軟性などの社会人基礎力のうち，大学生に欠けているものは何か．特に近年低下していると感じるものは何か．
④ 専門職の研究者・技術者において，専門分野の教育，工学基礎教育としてどんな内容・科目が必要と考えているか．
⑤ 新卒採用時に重視する評価項目は何か．
資格で重視するものはあるか
⑥ 新入社員について，基本的なことで，どんな勉強が不足していると感じるか．
逆に，よく勉強していると感じるのは何か．

１．２．大学／学生

① 大学では何を教育し，企業では何を教育するか．役割分担はどうか．
（大学は基本的な固有の専門をしっかり教え，その先は企業で行う．現在でもそうか．）
②「社会人基礎力」を大学教育で養うとしたとき，どのような内容・方法が有効か．
③ 基本的な専門分野の勉強はどの程度のレベルを期待しているか．
④ 専門分野で最低でも身につけてほしい到達レベルはどこか．
⑤ 実践的な研究者教育・技術者教育で必要とされることは何か．
企業から見て学生が大学で勉強をしてほしい内容，欠けている内容は何か．
⑥ 企業の研究開発で，大学のカリキュラム設計に際し望むことはあるか（科目など）．
企業の研究開発において，大学がどう関わると役に立つか．
⑦ インターンシップは企業にとって有効か，有効にするための改善点はあるか．
⑧ 企業において優れた研究者・技術者になるため，学生が勉強してくことは何か．
優れた研究者・技術者を教育するために，大学に望むことは何か．
優れた研究者・技術者を教育するために，企業にできることは何か．
⑨ その他，学生へのご意見，ご助言を頂きたい．

２．技術士・技術士制度について（人材育成について）

① 資格として重要なものは何か．どんな分野(語学，個別の技能，博士号など)か．
どんな資格取得を奨励し，どんな奨励方法を採用しているか．
② 人材育成，研究者・技術者の育成に技術士制度を活用するには，どんな方法があるか．
③ 企業にとって，技術士のメリットとは何か．どんなメリットがあると良いか．
④ 企業において技術士をもっと普及・活用させるために，技術士会は何をしたらよいか．
企業から見て，技術士を増やすためにどんな方法があるか．逆に難しい課題は何か．
⑤ その他，技術士・技術士制度について，ご意見，ご助言を頂きたい．

産業界のヒアリング報告（１）

実施日：平成２４年２月１４日
時　間：１３：２０～１４：４０

面談者		インタビュアー
企業名	大手機器メーカ	公益社団法人　日本技術士会
役　職	役員	

０．これからの社会（企業）が期待する今後の科学技術の分野

①　今後どんな科学技術の分野が重要と考えているか．
その科学技術の分野のために，大学は何ができるか．何をすべきか．

当社としては，ライフサイエンス分野（人間の生命・健康にかかわるもの），環境，エネルギーなどの技術分野が重要と考えている．とくにライフサイエンスの分野で日本の大学教育は遅れているように感じる．子供が卒業した米国の大学では理系学生の 1/2 位がライフサイエンス関連だった（米国子会社に５年以上駐在され，お子さんは米国の大学を卒業）．日本で遅れている理由は，就職先が少ないのも一因ではないか．日本の産業や教育は形のあるものに偏している．ライフサイエンスにもいろいろな定義がありうるが，形の無いものや新しいコンセプトを作っていくのが日本は弱い．日本のものづくりと新しいコンセプトを作ってゆく力が融合できると良い．

大学で学んだことでそのまま企業で役立つことは少ない．ベーシックな力，やる気を持っている人が１番欲しい．

１．企業で活躍する研究者・技術者教育について（文部科学省調査に関連した事項）

１．１．研究者・技術者

②　研究者・技術者にとってのいわゆる「社会人基礎力」とはどういうものか．

学力とは違うが，課題を見つけ解決する力，あるいは解決しようとする力．向上心．幅の広い知識，専門分野でなくとも何のことかを想像できる力，それに興味をもつ好奇心など．

④　専門職の研究者・技術者において，専門分野の教育，工学基礎教育としてどんな内容・科目が必要と考えているか．

特定の科目をあげるのは難しい．現在の大学のカリキュラムをあまりよく知らないが，
数学的厳密さよりも，物事を大きく捉えそれが何の役に立つか，というようなことを教えてほしい．

⑤　新卒採用時に重視する評価項目は何か．

会社の方針として明確なものはないが，一定の基礎的能力を見る．資格，専門分野は余り見ない．研究はその内容よりも，誰とどうやったか，本人は何をどの程度やったのか，そのプロセスを見る．会社で必要な教育，OJT をするので，それを吸収する意欲のある人が良い．

語学は出来れば望ましいので，ある程度は考慮する，TOEIC の点数，海外留学経験なども参考にするが，短期の留学程度などは語学力よりも，そういうことをする意欲のほうを評価する．JABEE，工学系数学統一試験については知らない．資格は，業務上有益と思われるものなら，どちらの学生を取るかという最終段階では考慮する場合もある．

⑥　新入社員について，基本的なことで，どんな勉強が不足していると感じるか．
逆に，よく勉強していると感じるのは何か．

昔とは違うので難しいが，社会的な知識，一般常識かな．ソフトウェアのレベル等，進歩の早い分野は昔に比べ技術レベルが格段に高くなっており，学生として学ぶべき事も多いはずである．

１．２．大学／学生

②　「社会人基礎力」を大学教育で養うとしたとき，どのような内容・方法が有効か．

当社の場合，大学との共同研究のなかで，それにかかわる学生，院生と接することもあるが学生を育てると言う意味ではない．教育目的とは違う．その研究過程で関与した学生が育つことはあるかもしれない．

⑥　企業の研究開発で，大学のカリキュラム設計に際し望むことはあるか（科目など）．
企業の研究開発において，大学がどう関わると役に立つか．

これをやると社会でどう使われるか，どう役立つかをもっと教えて欲しい．企業からも講師を派遣したりして協力できることもあるだろう．

最近の技術系新卒は殆どが修士卒，昔の学部卒が今の修士卒相当．最近は学科名を聞いても何の学科か，何を勉強しているのか分からないことも多い．名は体を現す，も大事では．博士は専門分野に合う仕事があればよいが，処遇が難しい．米国では一旦会社へ入ってから Doctor に戻る人も多い．キャリアを積む過程が日本とは異なる．より高給の職につく機会もある．そのへんの社会システムは日本とだいぶ違う．

⑦　インターンシップは企業にとって有効か，有効にするための改善点はあるか．

悪くは無いが，ちょっとだけ会社に来て学生にとってどれだけ役立つのか，企業にとっても使うのが難しい．

⑧　企業において優れた研究者・技術者になるため，学生が勉強しておくことは何か．

優れた研究者・技術者を教育するために，大学に望むことは何か．

優れた研究者・技術者を教育するために，企業にできることは何か．

大学に望むことは，今までに大体話をした．

学生には，マスターまでの専門が企業でそのまま生きるのはまれであり，問題発見力とか課題解決力とかを身に付けて欲しい．教科書を覚えるだけでなく，自分で考えて欲しい．米国は読むこと，書くこと(レポート)に力を入れている．日本の技術者は文章力が落ちるのではないか．これは大学だけではなく，小学校以来の教育全体の問題だが．

企業は特別講義等で社会の実例等の講義をしている．自分も国立大学の精密工学科で機械設計の話しをした．学生が世の中の実例を知るきっかけにはなるだろう．

新卒採用について，米国では理系でも文系でもポジションを明示してそれにあった人材を募集する．日本は一括して新卒を採用し白紙から教える．この採用の仕方では，将来どんな会社で何をしたいから大学で何を勉強する，というパターンにはなりにくい．ただし，日本でも中採はポジションにあった人材を募集する．その場合も採用後に適性が合致すればよいが合わないとなかなか難しいことになる場合もある．

⑨　その他，学生へのご意見，ご助言を頂きたい．

学生の就職活動は大変．エネルギーの無駄ではないかと思うところもある．何とかしないといけないが，1 社だけでは変えられない．

今の学生は勉強はよくしていると思う．

米国の教科書は分厚くて難しいが，絵や写真が一杯あって見ていて面白い．高校・大学とも一般のレベルはそう高くは無いが，出来る人はどんどん上に行ける仕組みがある．

２．技術士・技術士制度について　（研究者・技術者の育成と技術士の活用に関する事項）

（人材育成　→　技術士を増やすために，何が必要か　）

①　資格として重要なものは何か．どんな分野(語学，個別の技能，博士号など)か．

会社では一定の資格に対しては報奨や認定を与えている．博士，弁理士，技術士など．ただし，業務上必要なもの以外は，とくに資格取得を強く推奨しているわけではない．

資格のなかで，技術士はまだ認知度が低い．自分で独立してコンサルをする人というイメージが強い．

②　企業において，研究者・技術者の育成手法として技術士制度を活用するための課題は何か．

自ら目標として技術士をとろうと思うのは良いこと．幅広い知識を吸収したり，自分がやっていることをまとめることがそのまま勉強になる．資格としての認知度を高め，企業内でも意味があることをもっと言えれば，従業員の向上心を図る目標にはなるだろう．三菱電機のように全員に一次試験を推奨するのは良いこと．

技術士は技術者誰もが持つべき資格となるのは良いこと．ただし，そのためには，企業内技術士の意味，ありかた示さなければならないだろう．

社内に研究者・技術者は 700～800 人いるが，技術士は 10 人以内，たぶん数人．博士は，年に 3 人くらいがとる．

社内では今は取得したら報奨を与えるだけ．機械設計や情報処理はなど実務に直接関係するものは資格を取ることを推奨している．博士は会社から大学に行かせてとらせる場合もある．技術士についても，企業内の技術士とはどういうものか，を示せれば，会社として奨励する方法はあるかもしれない．取得したら退職して独立する，というような資格だと会社としては推奨しにくいところもある．

産業界のヒアリング報告（２）

実施日：平成　２４年２月１５日

時　間：１３：２０～１４：２０

面談者		インタビュアー
企業名	大手電機メーカ	公益社団法人　日本技術士会
役　職	元副社長	

０．これからの社会(企業)が期待する今後の科学技術の分野

①　今後どんな科学技術の分野が重要と考えているか．
その科学技術の分野のために，大学は何ができるか．何をすべきか．

その時代の主役となり他の産業を牽引するアンブレラ産業は，70-80年代の電気産業，90-2000年代の自動車産業ように，産業構造の変化とともに変遷する．10-20 年後のアンブレラ産業が何になるかはわからないが，日本は材料分野が強い．さらなる努力が前提だが，材料は 10-20 年後でもなんとかなるのではないか．また，システム志向，サービス志向にますます重要になるであろう．現在商社は好調だが，この好調は研究開発に支えられている．システム，サービスの分野でも研究は重要である．一方，最近の石油プラントのように大型投資をした方が勝ち，といった分野はこれから難しくなる．もう遅い．

大学の使命は，①教育，②研究開発，③イノベーション/産学連携と言われる．この中でも，教育がもっとも重要である．大学が行うべきことは，10-20年後のアンブレラ産業を担う人材を育てることである．現在のエネルギー問題などは，我々が考えるべきで，若者たちには今は見えていない世界で活躍することを考えてほしい．

１．企業で活躍する研究者・技術者教育について（文部科学省調査に関連した事項）

１．１．研究者・技術者

①　これからの研究者・技術者に強く求められるのはどのようなものか．

②　研究者・技術者にとってのいわゆる「社会人基礎力」とはどういうものか．
(社会人基礎力：実行力や計画力，柔軟性．研究者・技術者が基礎的に学んでおくこと)

これからの研究者・技術者として求められているのは，ドクター(ドクターと同等のレベルの人材を含む)である．現状でも一流企業の研究幹部になるには，ドクターが必要条件になっている．ドクターが狭い専門分野に閉じこもっていると思われていたのは昔の話である．現在はドクターの，問題分析力，提案力，行動力などが必要とされている．ドクターが広い視野を持つようになったのは，指導教員が変わったからである．海外経験者や産業界と連携する教員が増えてきた結果，ドクターも社会の中での自分たちの役割を考えるようになってきた．

(学部生も含め)今の学生のトップレベルは，昔と変わらない能力がある．ただ平均的には下がっている．大学も役割分担を考える時期にきていると思う．トップレベルの学生がいない大学では，無理に東大や京大と勝負するのではなく，特別に強い分野に選択と集中をするなり，地域密着型で独自路線を目指すなりした方がよい．

③　企業における研究者・技術者にとって，社会人基礎力(基礎的に学んでおくこと)というと，どんなイメージの内容ですか．

社会人基礎力として求められるのは，①グローバル化に対応すること，②専門以外にも関心も持つπ型人間になることである．特に薦めたいのは，人文系の教養科目を学ぶことである．世界の人と付き合うには，文化や歴史観を学ぶことが必須である．

④　専門職の研究者・技術者において，専門分野の教育，工学基礎教育としてどんな内容・科目が必要と考えているか．

電磁気学，力学，化学，機械，ソフトウェアといった基礎の科目は特に重要である．これらの科目は，社会に出てからでは，なかなか勉強する機会はない．大学の学部時代に確実に理解しておく必要がある．これらをマスターしていない学生は社会に出すべきではない．

次の段階として工学教育の中で養ってほしいのは，コンセプトを作る，デザインするといった，横断的な学問を結合して新しいものを作る力である．

１．２．大学／学生

①　インターンシップは企業にとって有効か，有効にするための改善点はあるか．

企業にとってインターンシップは非常に負荷になるが，前向きに対応する風潮が広まっている．もっとも昔も，夏休みを費やし，操業現場を経験したり，ドクター論文を企業の研究所で書いたりといったことがあった．

②　企業において優れた研究者・技術者になるため，学生が勉強してくことは何か．
優れた研究者・技術者を教育するために，大学に望むことは何か．

優れた研究者・技術者を教育するために，企業にできることは何か．

企業が大学に望むこと

単に科研費をとりやすそうだからといった理由で，成果のすぐに出せるような研究はしないでほしい．世の中を変えるくらいの意気込みで，革新的な研究を行ってほしい．実際のモノづくりは企業がやるので，新しいコンセプトを作り上げてほしい．最近は理学部みたいなことをやっている工学部が多いが，理学部のミニコピーではだめ．工学部には，横断的に学問を結合することにより，ぜひコンセプトやシステムを提案してほしい．

また，グローバル化への対応をよく考えてほしい．大学の教員のできれば3割，少なくとも2割は外国人にするべきである．海外留学を経験した日本人でもよいが，それだけでは間に合わないと思う．

③　企業にできること

企業研究者が大学で特別講義をすることがあるが，どうも各論的になっている気がする．望まれているは，ビジョンを語ることだと思う．

ドクターについては，企業はドクターが重用されているというエビデンスを示すべきである．これからは役職者にドクターが数多く登用されるようになって，世の中の見方も変わることを期待する．

就活の問題は，一年中採用することで解決できると考える．東大から出された新学年を 9 月に開始するという案は，大学の変化の姿勢を示すもので，企業も採用システムを見直すべきである．

２．技術士・技術士制度について　（研究者・技術者の育成と技術士の活用に関する事項）

（人材育成　→　技術士を増やすために，何が必要か　）

①　企業において技術士をもっと普及・活用させるために，技術士会は何をしたらよいか．

企業で新しい技術文化を作るのには，トップダウンが不可欠．

新入社員には，若いうちに技術士をとることをエンカレッジしてほしい．また，学部，修士卒で入社した者に対しては，社会人ドクターに挑戦することも薦めて欲しい．

産業界のヒアリング報告（３）

実施日：平成　２４年　２月　１７日

時　間：　９：２０　～　１０：３０

面談者		インタビュアー
企業名	大手自動車メーカー	公益社団法人　日本技術士会
役　職	元会長	

０．これからの社会(企業)が期待する今後の科学技術の分野

①　今後どんな科学技術の分野が重要と考えているか．
その科学技術の分野のために，大学は何ができるか．何をすべきか．

日本の技術立国に対する私の問題認識－パラダイムシフトの必要性．

アメリカでは 30 年前に既にパラダイムシフト，IT とかデジタル革命で起きている．日本はようやく 2006 年に東大の藤本先生がこの考えを提唱し始めた．

自分達の時代は欧米に追いつき追い越せで良く，単純明快だったが今は非常にぶれやすい，これが一番良くない．

１．企業で活躍する研究者・技術者教育について（文部科学省調査に関連した事項）

１．１．研究者・技術者

②　研究者・技術者にとってのいわゆる「社会人基礎力」とはどういうものか．

会社で技術の仕事をしていれば技術者か？単なる技術屋ではないのか．混合するところが問題である．

これからはグローバル化時代に対応する技術者が必要となる．

単に英語が話せるというのではなく，外国人とディベートできなければ話にならない．自己主張できる技術論を若い人は身に付けていない．

③　基礎学力，専門知識，実行力や計画力，柔軟性などの社会人基礎力のうち，大学生に欠けているものは何か．特に近年低下していると感じるものは何か．

特に学力が低下したとは思わない．

無理に勉強させるよりも，勉強した人間を優遇する方が大事．

若者が駄目なのではなく，そういった社会を作った今の大人が悪いと思う．

分りやすい社会，目線を打ち出していない．例えば今すぐに思いつく名物社長が何人いるか．

④　専門職の研究者・技術者において，専門分野の教育，工学基礎教育としてどんな内容・科目が必要と考えているか．

語学力が足りなさすぎる．帰国子女もやっかいもの扱い．

技術者を育てるためには数学だけ教えても駄目．

⑤　新卒採用時に重視する評価項目は何か．
資格で重視するものはあるか

例えば自分のいた会社では特に資格取得を推奨していない．就社なので，専門性が強すぎる．

⑥　新入社員について，基本的なことで，どんな勉強が不足していると感じるか．
逆に，よく勉強していると感じるのは何か．

少なくとも大企業に入社してくる人，若者は勉強しているし，やる気もある．

企業が求める人材育成ではなく，社会が求める次世代の育成を考える．

１．２．大学／学生

①　大学では何を教育し，企業では何を教育するか．役割分担はどうか．

企業にはナレッジシステムが構築されている．入社すれば 3 年程度で習得できるので大学の勉強が役に立たない．では何をすれば良いか，志の高い人間を育てる．

広い視野，世界がどういうレベルか，水準に同化，工学に対する幅広い知識等は企業では教えられない．例えばアメリカのレベルや最先端の情報などは，企業は意外に弱い．

⑧　企業において優れた研究者・技術者になるため，学生が勉強しておくことは何か．
優れた研究者・技術者を教育するために，大学に望むことは何か．

優れた研究者・技術者を教育するために，企業にできることは何か．

日本はドクターを活用していないといえる．海外では考えられない．サムソンなどは 9 割がドクター．

理系に進む人間が減ったというが，減ったわけではなく機械や金属，土木，電気などの古典的工学部に進まなくなっただけで，IT 系やシステム系，バイオ系の分野に進んでいる．学生は理があれば動く，ちゃんと旗印を挙げれば集まると思う．

古典的工学の減少をどうするか．専門を明確にする，就職に有利にするという仕組みづくりも大事．例えば技術士会が講座を持ってもいいのではないか．

これからは単品作りから社会作りの時代．

高品質から高品位とも言える．使っている人間が誇りに思うようなものを作る．これが日本のブランド，強みではないか．

大学のグローバル化は先生も含む．先生も 1 年程度の留学ではなく，外国人の教授交換も含めて改革が必要と考える．

きちんとした工科大学を創設し，外国の大学でも単位として認める．

教育資金も必要．卒業校への寄付（納税免除）による財団を作り運営する．

経団連なども提言する人は多いが，実行していない．

２．技術士・技術士制度について （研究者・技術者の育成と技術士の活用に関する事項）

（人材育成 → 技術士を増やすために，何が必要か ）

自分が技術士を受けたのは専門性を確認するためだった．

年を取ってから技術士を取得しても企業にとっては意味がない．大学で取れるようにするなど制度を変えてもいいのではないか．

④ 企業において技術士をもっと普及・活用させるために，技術士会は何をしたらよいか．

現状において，技術士会に何が欠けているか．

企業から見て，技術士を増やすために，どんな方法があるか．

逆に，増やすことが難しい課題は何か．

自分のいた会社も 10 人ほど技術士が出ているが，企業で役に立っているとは言えない．なぜなら，実務経験 10 年ほど必要なので，会社で言えば課長クラス．既に実戦部隊ではない．もっと若い人が持つ資格にするといいのではないか．

産業界のヒアリング報告（４）

改　訂：平成２４年　３月２８日
実施日：平成２４年　２月２０日
時　間：１４：３０～１６：００

面談者		インタビュアー
企業名	大手電機メーカ	公益社団法人　日本技術士会
役　職	人材センター長	

１．企業で活躍する研究者・技術者教育について（文部科学省調査に関連した事項）

１．１．研究者・技術者

②　研究者・技術者にとってのいわゆる「社会人基礎力」とはどういうものか．

一般常識（コンプライアンス，セキュリティなど），コミュニケーション力，リーダーシップ，イノベーション力，問題発見能力，問題解決能力，論理的思考能力，想像力，プレゼンテーション力，説得力，国際力，倫理観，そして歴史などの一般教養

Ｑ．これらの中でとくに重要なものは何か？

歴史を中心とした教養をしっかり勉強する必要がある．高度成長のときに専門教育に偏りすぎた．
特に，リーダーシップ，イノベーション力には歴史を中心とした教養が必要．教養があるなしで発想が全く違う．
コミュニケーション力も重要．日本人は会話の訓練が少ない．

Ｑ．国際能力の重要性はどう考えるか．

今後ますます重要になると考える．企業はグローバルな世界で活動しており，工業製品は国ごとにルール・規格の違いが大きい．また，海外エンジニアとわたりあえる基礎力・コミュニケーション力，そして情報の収集，情報の発信，国際的な協調性は必須である．
グローバル人材とは，日本でも仕事が出来ることが最低の条件．日本で仕事が出来る人のこと．日本で仕事が出来なくて，海外で出来るわけがない．それにプラスして語学，積極性，主体性，海外経験などがあればなお良い．そのためには，優秀な人が一年くらい海外生活をさせるのが良い．

Ｑ．大学の中でこの能力を養うとしたら，どのようなことが有効と考えるか．

外国人講師，外国人学生と学ぶ場を提供するが有効と考える．外国人講師，外国人学生との共同作業を通し，海外文化に触れ，海外の社会人基礎力を学べる．
海外のインターンシップも良い．ただ，そのチャンスが作れていない．海外行っても遊んではダメで，実際に仕事をすることが必要．

Ｑ．企業の中に海外留学は制度としてないのか．

昔の方が多かった．景気の波の影響を受け，一度少なくなると，関係が途切れてしまい，少なくなってきている．MBA，研究員，マスターコースがあるが，継続していないので，少なくなっている．

④　専門職の研究者・技術者において，専門分野の教育，工学基礎教育としてどんな内容・科目が必要と考えているか．

数学，物理，各工学の基礎と考える．具体的には，電子デバイス，回路理論，通信理論，電磁気理論，電気機器，電力工学，機械4力学（材料力学，機械力学，熱力学，流体力学），コンピュータ科学，ソフトウェア工学などの基礎．
最近は大学で徹底的に教えていないのではないか．
基礎はやらないと製品を作った時にちょっとした現象を気がつかないでミスにつながる．基礎学力の高い人はちょっとしたことに気がつく．

⑥　新入社員について，基本的なことで，どんな勉強が不足していると感じるか．
逆に，よく勉強していると感じるのは何か．

一般論としては，ゆとり教育の影響で学生のレベルは落ちている．工学の基本である数学の基本知識が不足している．また，実験などものに触れる教育が不足している．
トップの大学に来る学生は，大丈夫だが，中堅の大学の学生のレベルはよくない．子供の減少に伴い大学の定員を見直すべき．
企業としては，新入社員に毎年，試験を実施して，経年変化を見ているが，当社に入社する学生のレベルは下がってはいない．英語も出来る．勉強している学生が入ってきている．ただし，子会社・関係会社は必ずしも高くない．

１．２．大学／学生

①　大学では何を教育し，企業では何を教育するか．役割分担はどうか．

大学は，基礎技術をしっかり教えた上で，さらに欲を言えば，生産活動を意識した，「ものづくり」を教えてほしい．これにより，メーカに入るエンジニアは増え，日本のものづくり力は継続して高いものとなる．
技術系大学の学生は，多くがマスターコースを取っている．ドクターは少ない．そうであれば，マスターがどういう教育を受けるべきかを考えなければいけない．

学生に対して，この勉強が社会にとってどう役立つかを分からせる必要がある．しっかり分かっていれば，学生ももう少し，モチベーションが高いはず．先生が教えられないのではないか．
最近の大学は研究重視で，必要な基礎科目を教えていないのではないか．たとえば，最近の大学の電気工学部門では電磁気学が無くなっていると聞いている．研究を重視すると，学際領域が多くなり，基礎技術の講座が無くなってしまう．企業としては古い名前の方が，対象領域が明確で良い．

③　基本的な専門分野の勉強はどの程度のレベルを期待しているか．

工学全般として，物理，数学，電磁気などの理論を理解し，情報系であればコンピュータの原理の理解や基本的なプログラミングが出来るレベルを期待する．さらに，基礎的な現象をモデル化（数式化）し，自ら解くことと実験による検証を踏まえ，作成したモデルの精度検証を期待したい．
日本の大学の科目が多すぎる．広く浅くやり過ぎている．もう少し選択して，少ない科目を深くやる方が良い．アメリカは絞り込んで，演習をたくさんやっている．

Q．大学では基礎的なことと，選択した上で高度なものを深くやってほしいということか．

最近の修士論文は，重箱の隅をつっついたような論文が多い．去年，学会の要請である大学の卒論のコメントをしたが，機械工学なのに，「ロジスティックス」とか「渋滞理論を作って歩行する道をどう考えるか」とか本当に機械で学ぶべき内容か疑問に思うものが多かった．基本的なことを教えていないのではないか．

⑤　実践的な研究者教育・技術者教育で必要とされることは何か．
（実践的な教育：大学で学んだことが社会でいかせる内容である）

物理現象の知識と実際の現象との間の関連付けが出来ること．また，開発品の弱いところ（強度は？振動は？ノイズは？など）を指摘できる能力が必要だと思う．また，自分が研究してきた分野の専門家のコミュニティを活用でき，自分の研究成果をどのように社会に活かせるかを具体的なイメージで語れると良い．
製品がブラックボックス化して，今やっている技術が製品のどこに生きているのが分からない人が多いのではないか．だから面白くないのではないか．
当社では，理科教育として，自社の製品の原理を小学校でもわかるようにして40分で説明する活動を行っている．たとえば，ノートパソコンをばらしてヒートパイプで熱が下がることを説明するとみんな興味を持って聞いている．そういうことを大学でもやってはどうか．

Q．企業から見て学生が大学で勉強をしてほしい内容，欠けている内容は何か．

採用面接でのプレゼンはうまいが，そこで使っている専門用語について質問をすると答えられない．リクルート活動が早すぎて，研究を実践していないうちにリクルート活動をしているのでこのようなことが起こる．

⑧　企業において優れた研究者・技術者になるため，学生が勉強しておくことは何か．
優れた研究者・技術者を教育するために，大学に望むことは何か．
優れた研究者・技術者を教育するために，企業にできることは何か．

企業が大学に講師を派遣することについては，第一線で活躍している研究者・技術者は忙しいので，難しい．ただ，人材開発センターなどの教育・人材育成業務の延長線上で行うことは可能ではないか．
非常勤講師をやっていた経験では，大学側も，「製品との関連を教えてくれるのがうれしい．」と喜んでくれている．
ただし，企業が派遣するのは，短期的な場合を除き，理由が無いと難しい．たとえば，将来，大学に移るための練習として経験するとか．

Q．定年近い人を大学に送り込むシステムはあるか．

要請があれば部門単位で実施している．

2．技術士・技術士制度について　（研究者・技術者の育成と技術士の活用に関する事項）
（人材育成　→　技術士を増やすために，何が必要か　）
②　企業において，研究者・技術者の育成手法として技術士制度を活用するための課題は何か．

技術系新人が多いので，新聞でも報道されたが，技術士の習得をモチベーションあげる為，推奨している．必ずしも全員に受けろと言っている訳ではないので，受験する比率は2割程度．ただ，自信のある社員が受けているので合格率は高い．会社としては，若いうちに一次試験だけは受けるように進めている．

今年度から，新入社員全員に，技術士一次試験並みの試験を受けさせている．目的は新入社員のレベルの経年変化を見ることと，技術士取得を目指すように方向付けをして行きたい．受験率95％になっている．この活動を継続すれば，技術士受験に繋がるのではないかと考えている．また，2次試験合格者には一時金を出している．

技術士会に対する要望として，社内の新入社員のレベルを把握する試験問題を作るのが大変なので，技術士の一次試験の問題を使えるように公表して欲しい．
（2月頃から技術士会のホームページにアップすることになった旨回答．）

全員に試験を受けさせようとしているが，JABEE 課程の卒業生は一次試験免除の資格があるので，受けない．JABEE 課程の一次

試験免除を止めて，全員，一次試験から受けさせたらよい．

③　企業にとって，技術士がいることのメリットとは何か．
企業にとって，技術士にどんなメリットがあると良いか．

「技術士レベルの学力」を身につけることは，事業を進めるうえで基本と考える．そのため，社内で奨励している．

社内教育で講師をする人はそれなりに能力があることを証明しないと話を聞いてもらえない．次長，部長レベルなら聞いてもらえるが，役職のない人は社外の資格で補いなさいと言っている．それのために技術士取得を推奨している．

技術士は，技術者の技術力育成の一つの目標として有効と思われる．ただし，技術士資格取得を目標とする為には，現状は，資格活用の場が特定分野に限られており，たとえば情報ソフトウェア分野で働くエンジニアに対しては積極的に資格取得を推奨するには至らない．情報技術者は，オラクルとかほかの資格を取った方が良い．

④　企業において技術士をもっと普及・活用させるために，技術士会は何をしたらよいか．
現状において，技術士会に何が欠けているか．
企業から見て，技術士を増やすために，どんな方法があるか．
逆に，増やすことが難しい課題は何か．

現時点では知名度が低い．技術士資格取得者の役割りを拡大し，もっと積極的に活用を考えるべきと思う．

もっと簡単に受験できるようにして欲しい．米国のPEはコンピュータ試験．PMPも同様．その方が，プライバシー守られるし採点時間も費用もかからない．マネジメントの中には，受験していることを知られたくない人もいる．

⑤　その他，技術士・技術士制度について，ご意見，ご助言を頂きたい．

学生には一次試験を無料で受けさせても良いのでは．

産業界のヒアリング報告（５）

実施日：平成２４年２月２２日

時　間：０９：４０ ～ １１：２０

面談者		インタビュアー
企業名	大手建設会社	公益社団法人　日本技術士会
役　職	前役員	

０．これからの社会(企業)が期待する今後の科学技術の分野

①　今後どんな科学技術の分野が重要と考えているか．

その科学技術の分野のために，大学は何ができるか．何をすべきか．

私は，入社後，建築設計本部にて電子計算課に所属しコンピューターのプログラム開発を 2 年間行った．その後，開発計画部を経由した後開発事業本部に異動し，金融と不動産の融合したプロジェクトを事業主の立場で手がけると同時に，企画的な業務も担当した．

40 年のうち半分が行政との折衝など，ゼネコンの立場でプロジェクトを推進する業務を行い，後半は，本部長室主査の後，不動産事業部門に移り，秋葉原や東京駅などの開発事業や，PFI 事業などの業務を行った．

日本は，災害の多い国で，今回，大きな災害を経験した．また，高齢化，少子化が進むが，アジアは少し後に同じ課題をかかえている．日本は，政治をはじめ様々な制約がある中で山積する課題を解決していかなければならないが，これを進めるにあたって重要な役割を果たすのが科学技術である．インフラ等の老朽化が進む東京などの大都市，人口減少の著しい地方都市それぞれで，高齢化した社会資本の適切な整備がいる．

戦後の何もないところからスタートした時代と今は異なり，科学技術とそれをマネジメントする手法が必要になる．これは他の国，地域でも利用できると思う．

昭和 47 年に卒業し，オイルショックがあり，黙っていても業績が伸びる時代ではない時代を社会に出て直ぐ経験した．それ以前の自由にエネルギーを使用できる時代とは異なり，制約を受ける時代であった．

大学は特別の専門的なことはやらなかった．また，学んだものは体系的でもなかったし，企業で直接的に役立ったものはなかったかもしれない．しかし，基礎的な学問や人脈の形成，都市にからむ様々な要因が多岐にわたることを学び，専門性は全く無かったが，逆に真白で何にでも染まる状況であった．

１．企業で活躍する研究者・技術者教育について

１．１．研究者・技術者

②　研究者・技術者にとってのいわゆる「社会人基礎力」とはどういうものか．

変化の早い時代なので，好奇心をもってやってほしい．

産学連携により秋葉原のプロジェクトでやったが，学生はユニークな視点でやっており，勉強になった．こうした勉強は，就職にもつながっている．

社会人基礎力と関係して，若い技術者は，日本における「都市」をどうとらえ，考えるかということを仕事から離れた時間も含めて幅広い視点で積極的に考えたらいいと思う．

④　専門職の研究者・技術者において，専門分野の教育，工学基礎教育としてどんな内容・科目が必要と考えているか．

大学は研究，教育の場でそこの雰囲気に浸っていてもいいと思う．

今は昔に比べ海外に留学する制度は整っているが，行く人が減っている．

自分で壁をつきやぶる人が昔はいたが，今は少なくなったと感じる．中国や韓国に比べ海外への関心が低く，自己を厳しく律する風土が欠けてきており，将来がギリシャのようになってしまうようで不安だ．ぬくぬくと国内にいてはダメだ．

テレビもバラエティばかりでは良くない．今，日本が置かれている立場が理解されていない．一気にある方向に向かうのはこわいが，今の状況は改善が必要である．

日本は家計レベルでは破綻しているところは少ないが，国家財政は破綻している．全てではないが，ミクロはちゃんとしているがマクロはダメだ．

⑤　新卒採用時に重視する評価項目は何か．

当社の新卒者は，建設施工での採用とは別枠で開発部門独自の採用を行っている．その枠は競争倍率が高く，学生は優秀であった．何段階もの面接を経て役員面接まで来る学生は誰をとっても皆優秀であった．

採用に当たっては，やる気が大きく影響した．成績は一般的に女性の方が良かったが，男女共にどんな状況でも仕事をやり抜くという部分で目立つ人材が多かった．例えば周辺住民とのトラブルなどにどう対応できるか，計画力，柔軟性，熱意が大切である．

基本となる学力は同じく持っていて，皆が基礎も専門も同じように良く勉強はやっている．大学のカリキュラムはしっかりやっていれば学力はそれでいいと思う．

⑥　新入社員について，基本的なことで，どんな勉強が不足していると感じるか．
逆に，よく勉強していると感じるのは何か．

仕事をする上で資格はいるが，必ずしも採用時に資格はいらない．

ただ，社会に出てより発言の機会に恵まれるという視点からは，若い人ほど資格の有効性は高いかもしれない．

自分は，技術系出身であったが，例えば文科系の能力を示すのに宅地建物取引主任や公認会計士試験(二次試験合格)など国の資格が役に立ち，チャンスを与えられたことがあったかもしれない．

１．２．大学／学生

②　「社会人基礎力」を大学教育で養うとしたとき，どのような内容・方法が有効か．

大学は産学連携を深めるといい．

また，大学教育とは異なるが，社会に出てからも仕事以外の交流も大切にしたほうが良いと思う．

自分は，30 代でアフター5 の会合数件に参加したが，違う社会のことを知ることは自分自身を客観視できることにも繋がり，色々の人と交流する機会は貴重である．

今の人も仕事時間以外の会合に積極的に参加し，年上の人たちとうまくつきあうといいと思う．

⑦　インターンシップは企業にとって有効か，有効にするための改善点はあるか．

夏休み中に職業体験をしている部門がある．有効かどうかは分からない．学生にはいいと思うが，会社にはメリットは少ないかもしれない．

会社にとっては，OJ-T で例えば金融機関など，他の企業，業種と交流を持つことは役立つと思う．

⑧　企業において優れた研究者・技術者になるため，学生が勉強しておくことは何か．
優れた研究者・技術者を教育するために，大学に望むことは何か．
優れた研究者・技術者を教育するために，企業にできることは何か．

熱心な学生でなかったのでそれをベースに話してはいけないが，入学後は，何となく惰性になってしまった．でも 4 年間で専門分野を教えるより，アカデミックな雰囲気を伝えておくことが重要である．

また，どうしても直ぐに役立つことを学びたければ専門学校に行けばいい．

ただ，学んだことが世の中のこういう所につながるのということを見せることは重要かもしれない．

大学院で社会人を特任教授にあてる例があるが，社会とのつながりを見せる意味で良いことである．企業にもプラスになる．また，企業も CSR にも力を入れ，報告書も充実しているので，こうした CSR 活動として企業の協力を得る方法がある．

現在の学生にはリクルーターが採用に関わるが，就職試験のための技術(テクニック)に走っているのは良くない．

２．技術士・技術士制度について　（人材育成）

①　資格として重要なものは何か．どんな分野(語学，個別の技能，博士号など)か．

もし自分が技術士を取得できたら，専門性のある世界(技術士)と違う世界(会計や財務)との架け橋になりたいと思っている．

当社の現場では，技術士か一級建築士が求められたが，自分は違う事業部門に所属していたので，技術士の取得は考えなかった．技術士は，施工部隊ではランクの高い資格として意識していた．宅建とかの資格は通常名刺には書かなかったが，技術部門の人は「技術士」を名刺に書いていた．本人も誇りを感じていたと思う．

現在属するコンサルタント業界の人は技術士を持っている．持っていてあたりまえなで，役所に出す書類にも入っているので取ろうと思った．会社を定年退職し，これまでと違う立場になったことを「体」にわからせるために技術士を取ろうと思い，一次試験を受けた．

昔，電子計算機課でプログラムを書いたが，一次試験でその時の勉強が役立った．

④　企業において技術士をもっと普及・活用させるために，技術士会は何をしたらよいか．

「士」(サムライ)の世界では，例えば，公認会計士と税理士との間の政治的争い等業際間の課題があることが多い．「こういう分野ではこういう「士」が必要だ」と技術士も他の資格と比較し，既得権益とからめて認知させると良い．他の資格(他の社会と)とぶつかることで，技術士がライバルとして認知度が上がり，技術士の役割も考えられる．この循環により，技術士の意義が確認される．

８．分野別の到達目標の大学の教育課程への有機的な盛り込み

８－１．文部科学省の「大学における実践的な技術者教育のあり方に関する協力者会議」による提言→分野別到達目標の教育課程への有機的な盛り込みの推奨

文部科学省の平成２２年６月の大学における実践的な技術者教育のあり方に関する協力者会議による報告書では，分野別到達目標の意義と位置づけについて述べる中で，以下のように，分野別の到達目標を大学の教育課程へ有機的に盛り込むことを推奨している．

実践的な技術者教育の特質上，実践的な技術者教育の「分野別の到達目標」に含めるべき「知識・理解」の内容は，技術分野間で異なる部分と共通部分とで構成され，科目名を示し，それぞれ到達すべき学生の学習成果を，その内容，水準が明確になるよう留意しつつ，点検可能な行動特性の形式で示すのが妥当である．
「分野別の到達目標」を踏まえ，各大学はそれぞれ，自らの教育方針に基づき，学生が履修すべきカリキュラム及びシラバス（授業科目の詳細な授業計画）の内容（広がり，深さ）を明確にすべきである．

「分野別の到達目標」は，その分野の技術者になる者が大学において学修すべき内容を共通的な到達目標に関し，「最低限」と「望ましい」の２つのレベルを示すものであり，各大学のカリキュラムの編成・実施（educational practice）の中に有機的に盛り込まれることで，実践的な技術者教育の一定の水準を確保することにつながる．その実施状況は，機関別・分野別の大学評価と有機的に結びつけられることが期待され，技術者教育認定制度における認定審査において参照される役割も期待される．
なお，「分野別の到達目標」の設定は一時的なものではなく，専門的な調査研究等を行い必要に応じて改定を行うことが必要である．「分野別の到達目標」に併せて，実践的な技術者教育にふさわしい良好なテキストが開発されることも重要である．

８－２．知識と能力の育成教育のバランスのとれた体系化された教育課程

→　講義，演習などにも対話型の能動的･実践的学修を組み込んだ分野別到達目標を効果的･効率的に達成できる教育課程

JABEE のプログラム認定の審査を受けた大学の工学系学科の教育課程は，JABEE の学習教育到達目標などに合わせて，各大学独自の学習目標を設定する中で，基礎，専門，共通的な「汎用的な技能」「態度・志向性」「総合的な学習経験と創造的思考力」，などの育成教育をある程度体系化した形になってきている．しかし，審査を受けていない大学の教育課程は，大学の判断で作成されているので，知識の養成はともかく、能力の養成に関しては断片的な面も見られ，必ずしも体系化が十分にはなされていない懸念があるのが実情である．

そこで，本調査研究では，技術者教育において育成すべき知識・能力を，

１．基礎として
　１－１数学，
　１－２物理，化学，情報リテラシー等，
　１－３工学基礎，
２．専門分野としての必要な柱，
３．汎用的技能（応用的能力）として，
　３－１課題発見・解決能力，論理的思考力
　３－２コミュニケーション・スキル
４．態度・志向性（道徳的能力）として，
　４－１チームワーク，自己管理力，リーダーシップ，チャンスを活かす能力
　４－２倫理観
　４－３市民としての社会的責任

４－４生涯学習能力
５．総合的な学習経験と創造的思考力として，
５．創成能力（システム設計）

の５種類の知識・能力に構造化して分類し，それぞれの到達目標を，達成目標レベルを含めて示すこととした．

ここで，各能力の到達目標の習得レベルを，基礎的で必修的な「コア」と，より高度で選択的な「要望」の２種類に分け，到達目標のレベル表現には，改訂版ブルーム・タキソノミーに基づいた「学びの深さ」の指標を統一的に使用した．

基礎の「数学」，「物理・化学・情報リテラシー等」，「工学基礎」や専門分野としての必要な「柱」の科目について，自らの大学の教育課程に，本報告に記述された到達目標の「コア」と「要望」を取り込むことについては，比較的問題無いと思われる．

しかし，基礎および専門の科目と，共通的な「汎用的技能（応用的能力）」，「態度・志向性（道徳的能力）」，「総合的な学習経験と創造的思考力」との関係は，一覧表では独立した項目になっているが，基礎と専門の科目でも，講義や演習を出来る限り対話型にすることによって，関連する共通的な「汎用的技能（応用的能力）」，「態度・志向性（道徳的能力）」，「総合的な学習経験と創造的思考力」の育成に役立つと考えられる．

「汎用的技能（応用的能力）」，「態度・志向性（道徳的能力）」，「総合的な学習経験と創造的思考」の能力は，定型化された科目で育成するものではなく，知識と経験を積み重ねつつ身につけてゆくものであり，技術分野ごと，大学ごとに多様な育成方法が考えられることに留意すべきである．すなわち，知識を一方的に教授する講義だけではなく，学生が自主的に何かを行う過程を経験することで，動機付けられ，自分から進んで物事に取り組み，創り出す能力，チームで協力していく能力など将来にわたって有用な根本的な態度等を育成することが可能であるが，その育成方法は多様に考え得る．したがって第７章では，それらの能力を育成する科目の科目名は示さず，到達すべき学生の学習成果を点検可能な行動特性の形式で到達目標として示すとともに，学修に当たっての配慮事項として，いくつかの養成方法の事例を示した．

ものづくりには知識が必要であるが，知識だけではできない．知識を使える形で教えるトレーニングが重要である．ものづくりのために求められる実践力，安全性への配慮，人間関係の構築，課題探求能力，解決能力，最後までやり遂げる責任能力，工学と社会の連関を知る能力などの能力を付与するためには，実際の現場での体験型授業，グループ作業での演習，発表やディベート，問題解決型学習 PBL（Problem Based Learning）など学生自らが実践する形の授業などをカリキュラムへ積極的に取り入れていくことが必要である．（文部科学省の協力者会議の報告書より）

従って，「汎用的技能（応用的能力）」，「態度・志向性（道徳的能力）」，「総合的な学習経験と創造的思考」の能力は，定型化された科目でなく，従来の基礎や専門の講義や演習でも，出来る限り対話型にするとともに，実際の現場での体験型授業，グループ作業での演習，発表やディベート，問題解決型学習 PBL など学生自らが実践する形の授業などをカリキュラムへ積極的に取り入れていくことで，本調査研究の分野別到達目標の「コア」と「要望」を，各大学の教育課程に有機的に盛り込んでいくことが可能となると考えられる．

８－３．分野別認定審査での到達目標の達成度評価の証明方法
→　本調査研究結果の活用法

本調査研究で提示した到達目標では，大学 4 年間の技術者教育で修得すべき知識･能力の項目と，このそれぞれの項目について修得すべきレベルをコアと要望との２レベルに分けて示しており，そのレベルは国際的同等性を考慮したものとなっている．この到達目標を参照して各大学の教育目標を作成し，これに従って卒業時の各学生の教育目標の達成度を評価することを含む PDCA サイクルを構築し，これをきちんと運用すれば，JABEE 等の分野別認定審査で要求されている，教育の質保証とレベルの国際的同等性の充足のエビデンスを示すことが可能となる．

従来，技術者教育の質保証に関する認定機関（ABET や JABEE）では，第４章２）に示したように，各教育機関の独自性を尊重し，卒業時に習得すべき学習目標として必要な知識･能力の項目のみ示し，それぞれの達成度レベルに関しては，国際的に学士として認められる水準（国際的同等性）としており，具体的な達成度の水準は明示はしておらず，実際的な評価水準は，ピアレビュー審査に任されていた．それ故，審査を受ける大学も，また審査をする側も，「国際的に学士として認められる水準」を何でどのように示すか，あるいはどのレベルなら合格とするか，がなかなか難しかった．そこで，上記のように到達目標レベルを含む本報告の到達目標を一つの参照基準とすることにより，このような教育プログラムのレベルの保証がやりやすくなるものと考える．

本報告の到達目標を参照した，具体的な PDCA サイクルの構築にあたっての配慮事項は，本報告の第７章（４）に示してある．

９．参考となる論文・論説・講演発表・著書及びWebサイト

９－１．まえがき

本調査研究において、分野共通部分としての到達目標を提案したが、分野を横断しての横串的な「汎用的な技能」「態度・志向性」「総合的な学習経験と創造的思考力」の種々の能力の涵養方法などの工学教育の最新情報の発信を進めている日本工学教育協会での活動成果を中心に、参考となる論文・論説・講演発表・著書及びWebサイトを紹介する。

工学の実践的技術者として，企業での多様で流動的な業務に自主的に柔軟に対応できる人材育成では，専門分野をしっかり学習させるだけでなく，いわゆる人間力として様々な能力を工学の素養と有機的に関連づけて、主に対話型のPBLなどの授業を活用して学習することが大切な時代となっている。

日本工学教育協会では，工学教育に関しての長年の実績があり，JABEE設立に協力し，コミュニケーションスキル，技術者倫理，エンジニアリングデザインなどの指導法に関する調査研究委員会を設置し，多年にわたり工学教育の年次講演会やワークショップを開催し，またその研究成果を「工学教育」誌に掲載するなどの事業を実施してきている。また企業内の技術教育担当者が集まる委員会もあり，これには大学の先生方も参加し，種々の議論・情報交換をしてきている。最近では，専門分野だけでなく，人間力としての能力の養成方法についても貴重な論文発表などがアーカイブとして蓄積されてきており，各大学等において、本調査研究の分野別の到達目標（共通部分を含む）を参照し、有機的にカリキュラムに盛り込んで構築する際にも，大いに参考になるかと考える。

(公社)日本工学教育協会のホームページ
http://wwwsoc.nii.ac.jp/jsee/index.html

日本工学教育協会での工学教育賞、工学教育協会賞、工学教育研究講演会発表賞、工学教育（工業教育）論文、工学教育研究講演会論文、工学教育研究講演会過去プログラムなどを、下記のWebサイトでアーカイブされた情報から参照してほしい。

工学教育賞受賞一覧（含む文部科学大臣賞）
http://wwwsoc.nii.ac.jp/jsee/shou/pdf/kyouiku_shou_ichiran.pdf

日本工学教育協会賞受賞一覧（含む論文・論説賞）
http://wwwsoc.nii.ac.jp/jsee/shou/pdf/kyoukai_shou_ichiran.pdf

工学教育研究講演会発表賞受賞一覧
http://wwwsoc.nii.ac.jp/jsee/taikai/pdf/h23_kenkyu_kouen_happyoushou_jyushoulist.pdf

工学教育（工業教育）論文
http://www.jstage.jst.go.jp/browse/jsee/-char/ja/

工学教育研究講演会論文
http://ci.nii.ac.jp/organ/journal/INT1000003360_ja.html

工学教育研究講演会過去プログラム
http://wwwsoc.nii.ac.jp/jsee/taikai/menu01.html

９－２．過去３年間の工学教育　論文・論説賞

総会/大会	受賞年月日	受賞区分		氏名	所属	役職	業績名
第18回（57回）	H21.8.7	論文・論説賞	23	有光　隆	愛媛大学	准教授	機械設計教育における失敗事例の紹介方法とその効果（工学教育56巻4号，pp.78-84）
				八木　秀次	愛媛大学	准教授	
		論文・論説賞	24	野口　徹	北海道大学	名誉教授	工学系大学院における海外インターンシップ教育とその効果の評価（工学教育vol.56-3，pp.80-85）
				吉川　孝三	北海道大学	特任教授	
		論文・論説賞	25	野原　佳代子	東京工業大学	准教授	グローバルエンジニアの人材育成に向けた東京工業大学における国際化教育の試み（工学教育56巻4号，pp.114-122）
				川本　思心	東京工業大学	研究員	
				日下部　治	東京工業大学	教授	
第19回（58回）	H22.8.20	論文・論説賞	26	関田　隆一	宇宙航空研究開発機構		航空宇宙開発でシステム安全活性化を図るエンジニア教育効果の定量的測定（工学教育56巻-6号，pp.163-169）
				山田　　秀	筑波大学	教授	
		論文・論説賞	27	山野　真裕	東北大学大学院医工学研究科	博士後期課程	「次世代医療関連産業中核人材育成のための実践的教育システム」の開発と実証研究（工学教育57巻-2号，pp.13-21）
				松木　範明	東北大学大学院医工学研究科	准教授	
				沼山　恵子	東北大学大学院医学系研究科	技術員	
				武田　元博	東北大学大学院医学系研究科	准教授	
				早坂　智明	東北大学大学院医工学研究科	技術補佐員	
				石川　拓司	東北大学大学院工学研究科	准教授	
				山口　隆美	東北大学大学院医工学研究科	教授	
第20回（59回）	H23.9.8	論文・論説賞	28	井上　雅裕	芝浦工業大学	教授	発展型プロジェクト演習と連携したシステム工学教育（工学教育58巻1号，pp.89-94）
				長谷川　浩志	芝浦工業大学	准教授	
		論文・論説賞	29	石崎　繁利	神戸市立工業高等専門学校	准教授	分担方式によるものづくり教育の試み（工学教育58巻2号，pp.64-69）
				尾崎　純一	神戸市立工業高等専門学校	准教授	
				齋藤　茂	神戸市立工業高等専門学校	教授	
				中辻　武	神戸市立工業高等専門学校	教授	
				英　崇夫	徳島大学	名誉教授	

９－３．過去３年間の工学教育賞

回数	受賞 年月日	賞　名	受賞者名	所　属	業　績
第13回 H20年度	H21.8.7 (57回)	文部科学大臣賞	東北大学機械系		大学院教育改革「機械工学フロンティア創成」の実践
		工学教育賞	石山　純一	宮城工業高等専門学校　教授	学年・学科を越えた学生同士の教合いを核とする相互教育の実践
			小林　仁	宮城工業高等専門学校　准教授	
		工学教育賞	冬木　正彦	関西大学　教授	ICT活用教育の実践を支える授業支援型eラーニングシステムの開発と普及
第14回 H21年度	H22.8.20 (58回)	文部科学大臣賞	真島　豊	東京工業大学　教授	一般公開向けと学内向けオープンコースウエアの統合ウェブシステムの開発と教育サービスの多面的提供
		工学教育賞	岡﨑　久美子	仙台高等専門学校　教授	工学英語教育における継続的かつ地道な活動とその先進性
		工学教育賞	箕田　充志	松江工業高等専門学校　准教授	高等専門学校および地域を対象とした工学教育の継続的実践
第15回 H22年度	H23.9.8 (59回)	文部科学大臣賞	中澤　剛	群馬大学　技術専門職員	eーラーニングと実体験を融合した安全教育システムの開発と実践
			新井　雅隆	群馬大学　教授	
			松原　雅昭	群馬大学　教授	
			三田　純義	群馬大学　教授	
			金井　三十男	群馬大学　技術専門職員	
			川島　俊美	群馬大学　技術専門職員	
		工学教育賞	eラーニング高等教育連携（eHELP）		ICTを活用した機関連携型技術者教育の実践－eラーニング高等教育連携（eHELP）の推進－
		工学教育賞	岩倉　成志	芝浦工業大学　教授	自律的対話能力の育成のための工学教育プログラムの開発と実践
			大塚　裕子	芝浦工業大学　非常勤講師	

９－４．日本工学教育協会教育研究講演会発表賞，ポスター発表賞
受　賞　一　覧

講演番号	題　目	著　者(○印は発表者)
平成 21 年度 (2009/8/9)		
4-102	理系学生を対象にした対話的思考力の育成方法 II －プレゼンテーション・スキル指導における実践事例－	中野 美香(九州大学大学院人間環境学研究院), ○高原 健爾, 梶原 寿了(福岡工業大学工学部)
4-104	コーチングをいかした個人面談とその成果	大石 加奈子(沼津工業高等専門学校)
5-212	図的思考における設計表現の概念	○岩田 亮(東京都市大学大学院工学研究科), 平野 重雄(東京都市大学工学部)
8-211	感性を誘発する制御教材の開発	○田崎 隆男(宇都宮工業高校), 渡邊 信一(宇都宮大学大学院), 尾崎 功一(宇都宮大学大学院工学研究科)
P-02	接続教育としての補習教育の実施	和田 健志(熊本大学工学部)
P-11	教育 GP「つもり学習からの脱却」－電気・電子系の実施事例－	○鈴木 孝昌(新潟大学自然科学研究科), 菅原 晃, 新保 一成(新潟大学工学部), 福井 聡(新潟大学自然科学研究科), 清水 英彦, 大平 泰生(新潟大学工学部)
P-22	中学生を対象とした組込み技術公開講座	○伊藤 祥一, 芦田 和毅, 藤澤 義範, 楡井 雅巳, 中澤 達夫(長野工業高等専門学校)
平成 22 年度 (2010/8/22)		
1-217	東北大学サイエンス・エンジェル活動について －あるサイエンス・エンジェル OG の経験を通じて－	○瀬戸 文美(千葉工業大学), 橋爪 圭(東北大学)
6-218	東北大学サイエンスカフェ学生ボランティアスタッフ活動報告	○鈴木 宏幸(東北大学工学部), 吉澤 誠(東北大学), 武樋 蕗子, 高畑 正一(東北大学理学部), 松永 大樹(東北大学工学部)
6-220	大学プログラムによる派遣留学の経験とそれによるコミュニケーション力向上	○岡部 憲嗣(金沢工業大学大学院), 畝田 道雄(金沢工業大学工学部), 石川 憲一, 佐藤 恵一, 札野 順(金沢工業大学)
5-323	1 年次必修科目「創成工学実践」の授業評価について	○渡邊 信一, 高木 淳二, 長谷川 光司, 入江 晃亘, 横田 和隆, 杉山 均(宇都宮大学大学院工学研究科)
5-325	工科系大学における情報検索演習のアウトカムに関する予備的考察	○石川 敬史(工学院大学), 矢ケ崎 隆義(工学院大学工学部)

講演番号	題　目	著　者(○印は発表者)
8-328	フェロモン・コミュニケーションを行うロボット群を用いた科学・工学教育－サイエンス・パートナーシップ・プロジェクトの事例－	○藤澤 隆介, 大黒 正敏(八戸工業大学)
P-08	学生サークル活動による建築教育の試み	○河村 勝(徳島大学), 渡辺 公次郎(徳島大学大学院ソシオテクノサイエンス研究部)
P-15	教育GP「つもり学習からの脱却」－機械系の実施事例－	○櫻井 篤, 松原 幸治, 鳴海 敬倫, 坂本 秀一, 岩部 洋育, 渡辺 健彦(新潟大学工学部)
平成 23 年度 (2011/9/10)		
10-103	神話の国シマネの縁結びネットワーク事業における科学体験教室の実施	○箕田 充志, 福岡 久雄, 福島 志斗, 川見 昌春(松江工業高等専門学校)
7-217	工業デザインにおけるモノづくり教育に関する研究	○大羽 詠子(静岡文化芸術大学大学院デザイン研究科), 梅本 良作(ヤック㈱商品開発部), 望月 達也(静岡文化芸術大学デザイン学部)
8-217	ものづくりにおけるグループワーク活性化の重要性－ロボットコンテスト出場に向けた活動を通して－	○小泉 晶史, 相川 駿介, 川合 功, 太田 博之, 羽田 卓史, 鳴海 敬倫(新潟大学工学部)
8-218	ものづくりから始めるコミュニケーション能力の向上－先輩から教わるプレゼンテーションのノウハウ－	○安達 匡一, 佐伯 遥馬, 藤原 章裕, 矢崎 克侑, 米盛 弘信(サレジオ工業高等専門学校)
1-322	30 秒間スピーチを用いるコミュニケーション能力の向上	武市 祥司(金沢工業大学情報学部)
11-326	授業改善が見える新授業評価アンケートの試行	本田 知己(福井大学大学院工学研究科)
P-02	八戸工業大学における原子力基礎教育	○佐藤 学, 阿部 勝憲, 太田 勝, 村中 健(八戸工業大学大学院工学研究科)

９－５．工学教育関連著書

1	G.ポリア	いかにして問題をとくか　第 11 版	丸善出版	1954
2	大橋秀雄	これからの技術者 ～世界に羽ばたくプロを目指して～	オーム社	2005
3	西畑三樹男	これから技術者になる君へ心得120	日刊工業新聞社	2000
4	金原粂	エンジニアのための哲学・倫理 （専門基礎ライブラリー）	実教出版	2007
5	中島　秀人	エンジニアのための工学概論 ～科学技術社会論からのアプローチ	ミネルヴァ書房	2010
6	菊地正典	エンジニアの勉強法～プロ技術者になる！～	日本実業出版	2008
7	古屋興二	グローバルエンジニア ～世界で活躍する技術者になるには～	日経BP企画	2005
8	西畑三樹男	メーカーのための「新人技術者」心得ノート	日刊工業新聞社	2010
9	志村幸雄	世界を制した「日本的技術発想」 ～日本人が知らない日本の強み～	ブルーバックス　講談社	2008
10	中村義作	仕事に生かせる技術者の勉強法	近代科学社	2004
11	塚本真也	創造力育成の方法 ～JABEE 対応の創成型教育～、	森北出版	2003
12	中尾政之	創造設計の技法 ～東大創造設計演習に学ぶ設計の奥義～	日科技連出版社	2008
13	中川義弘	図解・技術者の心得 ～「技術者」になる人・ なって欲しい人に贈るガイドブック～	産労総合研究所出版部経営書院	2006
14	CE ネットワーク	夢を追う技術者・技術士（新コロナシリーズ）	コロナ社	1998
15	野城智也	実践のための技術倫理 ～責任あるコーポレート・ガバナンスのために～	東京大学出版会	2005
16	技術の挑戦者 編集委員会	技術の挑戦者 ～次代を担う技術者へ～	日本工業出版	2009
17	岡本義喬	技術立国の400年 ～日本の工学を築いた人々～	オフィス HANS	2009
18	西畑三樹男	技術者の心得１２０ ～誰も教えてくれないプロへの道～	日刊工業新聞社	1994
19	小出泰士	技術者倫理入門～J ABEE 対応～	丸善	2010
20	飯野弘之	新・技術者になるということ ～これからの社会と技術者～	雄松堂書店	1998

21	黒田光太郎	誇り高い技術者になろう～工学倫理ノススメ～	名古屋大学出版	2004
22	志村幸雄	世界を制した「日本的技術発想」Blue Backs	講談社	2008
23	大石加奈子	エンジニアリング・ファシリテーション 話し合いをうまくまとめるコミュニケーション・スキル	森北出版株式会社	2011
24	河合塾	社会人基礎力育成の手引き～日本の将来を託す若者を育てるために　教育の現場から	朝日新聞出版	2010
25	畑村洋太郎	技術の創造と設計	岩波書店	2006
26	徳永保 籾井圭子	グローバ人材育成のための大学評価指標 ～大学はグローバル展開企業の要請に応えられるか～	協同出版	2011
27	中村収三, （社）近畿化学協会 工学倫理研究会	技術者による実践的工学倫理　第 2 版 先人の知恵と戦いから学ぶ	化学同人	2009
28	文部科学省 生涯学習制作局 調査企画課	諸外国の教育改革の動向 6 カ国における 21 世紀の新たな潮流を読む	ぎょうせいディジタル株式会社	2010
29	経済協力開発機構 (OECD)編著 渡辺良　監訳	PISA から見る、出来る国・頑張る国、トップを目指す教育	明石書店	2011
30	市坪　誠 小川　総一郎 谷平　考 砂本　文彦 溝上　裕二	景観デザイン ～総合的な空間のデザインをめざして～	コロナ社	2006
31	フリア・ゴンザレス ローベルト・ワーヘナール編著 深堀聰子/ 竹中亨　訳	欧州教育制度のチューニング ボローニャ・プロセスの大学の貢献	明石書店	2012

結び

本報告書は，平成 22 年度，平成 23 年度の先導的大学改革推進委託事業の「技術者教育に関する分野別の到達目標の設定に関する調査研究」の最終報告書である．

分野別の到達目標(共通部分を含む)の作成に際しては，文部科学省「大学における実践的な技術者教育のあり方に関する協力者会議」の「教育内容等に関するワーキンググループ」の委員を中心として，工学系数学統一試験 EMaT 作成委員会(広島大学)，工学基礎ミニマム研究会(茨城大学)から参画しての 10 名の「コア・メンバー」を構成した．さらには，工学教育に先進的に取り組んでいる大学や，到達目標の策定に協力・貢献する意思のある大学，学協会や産業界から，工学部長や学長補佐，理事，教育開発課長はじめ，専門科目，基礎科目，工学基礎，社会人としての基礎力，さらには教育政策に見識の深い 25 名の方々に協力者となっていただいた．また，文部科学省高等教育局専門教育課からは全体会議などに毎回の陪席をいただき，本事業の事務は，千葉大学工学系事務センターに担当いただいた．

平成 22 年度の活動としては，全体会議を 3 回，11 月 5 日，1 月 27 日，3 月 1 日に東京で開催し，年度の成果としての中間報告書の作成に向けて，分野共通部分の到達目標のとりまとめを行った．その間，資料の情報共有には，メールのほかに，専用の Web サイトに随時多数の資料を掲載して，共通部分の項目別グループでの資料のやりとりに役立てていただいたのが特徴的であった．中間報告書の最終的なとりまとめを行うために，第 4 回全体会議を平成 23 年 3 月 16 日に東京にて開催する予定であったが，東北地方太平洋沖地震の影響等により開催中止となった．本委員の関係では，茨城大学や山形大学ではキャンパスなどが被災し，教職員や学生にも被災者が出て，日常生活も大変不便となった困難な環境下でも，中間報告書の取りまとめに多大なご協力を頂いた各委員に厚くお礼申し上げる．

なお，キーワードは，限られた時間の中で，各グループ内，またコア・メンバー／協力者の１４大学を中心に収集し，到達目標の作成に役立てた．広島大学の渡辺委員，高藤委員にはキーワード収集のための効率的なシステムの開発を行っていただいた．また，数学，物理，化学などの科目間の繋がりや社会での各科目の役割などを表す図の作成も行った．このコア・メンバーと協力者のグループ毎での緊密な連携により，専門分野を横断しての共通分野としての基礎科目，工学基礎，社会人としての基礎力の各科目のキーワード抽出，到達目標の作成という非常に困難な作業を，短期間ながら，基本的な取りまとめに至ることが可能となったと考えられ，ご協力いただいた多くの方々に深甚な謝意を表したい．

社会人としての基礎力に関して，分野共通的な横串としての【II 汎用的技能】【III 態度・志向性】【IV 総合的な学習経験と創造的思考力】は，【I 知識・理解】と関連するものの，定型化された科目で養成されるものではなく多様な養成方法が考えられる．有効な事例として，４つの大学の社会人基礎力の要素を含む科目関連の図も作成し，納めた．今後，このような良好な事例を蓄積し，紹介していくことも有効な方法である．また，社会人としての基礎力の到達目標への企業技術者からの視点も，7 章に，日本技術士会による産業界からのヒアリングとして納めた．日本技術士会の高木専務理事をはじめ関係の皆様にはヒアリングの準備から実施，とりまとめに至るまでお世話をいただき，ここに厚く御礼申し上げる．

平成 23 年度の活動としては，分野別の到達目標の策定に重点を置き，全体会議を 5 回，6 月 10 日，8 月 30 日，10 月 24 日，12 月 5 日，平成 24 年 3 月 6 日に東京で開催し，パブリックコメント募集 Web サイトの構築，パブリックコメント募集による共通部分の到達目標の見直し，分野別の到達目標のあり方と作成方法，知識と能力の一覧表による構造化，知識・能力の構造化・可視化，科目間関連図など，最終報告に向けての議論を行い，とりまとめを行った．

本調査研究では，2 年間という限られた期間で，かつ限られたメンバーで作成した到達目標であることから，できる限りの多様な視点を取り込むために，到達目標に関して，広く一般から意見を募り，それらの意見を考慮することにより公平さの確保と透明性の向上を図り，大学にとって，より使いやすい分野別の到達目標の設定に反映していくためにパブリックコメント募集の手法を採用した．共通

部分の到達目標パブリックコメントに引き続き，分野別到達目標のパブリックコメントの募集を行い，それぞれ 100 件を超える多数のご意見を戴けたことから，社会の関心も深いことが伺えた．さらに，専門の視点からも見て戴くために，日本学術会議を始め，各分野の学協会への紹介とヒアリングも行った．これらのパブリックコメントなどの意見を到達目標の見直しに反映し，その反映度については，分野ごとの前書きでその分野の到達目標の位置づけとともに記した．

本調査研究では，到達目標の作成の段階で複数の国際的な基準を参照したが，その代表的な基準である国際エンジニアリング連合(International Engineering Alliance, IEA）の「卒業生としての知識・能力と専門職としての知識・能力（Graduate Attributes and Professional Competency Profiles)」の翻訳作業を，文部科学省高等教育局専門教育課，日本技術者教育認定機構（JABEE）並びに日本技術士会からの要請・協力により本調査研究に，専門語を熟知した技術者，大学教員，教育政策や翻訳技術を専門とする方等 10 名から成る翻訳ワーキング・グループを設置し，翻訳を行い，最終報告の参考に収録した．翻訳ワーキング・グループでは，5 回，12 月 15 日，平成 24 年 2 月 13 日，2 月 19 日，3 月 6 日，3 月 12 日と，かなり集中して翻訳作業を行った．この翻訳から，エンジニアとしての知識・能力の理解が深まり，日本のエンジニアリングの質の国際的同等性を確保し，本調査研究で提示した「技術者教育に関する分野別の到達目標」の理解にも役立ち，さらには，今後，本到達目標やこの翻訳が参照され，各大学のカリキュラムの編成・実施に有機的に盛り込まれることで，分野別の具体的な到達目標により体系化され，かつ個性豊かな学部での教育課程の確立に繋がっていくことを念願している．

最終報告書は紙媒体でも作成したが，ほかの関連資料も含めて，Web サイトに掲載し，分野共通部分，各分野別，各項目別にもダウンロードできるように表現を工夫し，社会に広く広報することで，各大学などに参照して活用していただくこととした．

関連資料掲載Webサイト URL　：　http://hneng.ta.chiba-u.jp:8080/

なお，本到達目標は，「はじめに」でも述べたように，到達目標として現段階で十分完成されたものとは考えておらず，また，関係者間での十分なコンセンサスを得られたものではないので，これを１つの材料として各大学における教育課程の編成に係る議論が進む一方で，さらに充実した分野別の到達目標を目指した検討が行われることを期待したい．

平成 24 年 3 月

平成 22 年度，23 年度　文部科学省先導的大学改革推進委託事業
「技術者教育に関する分野別の到達目標の設定に関する調査研究」
代表者　　千葉大学大学院工学研究科　教授　　野　口　　博

参　　考

Ⅰ. 国際エンジニアリング連合:
「卒業生としての知識・能力と専門職としての知識・能力」
（International Engineering Alliance: Graduate Attributes and Professional Competencies　和訳）

Ⅱ. パブリックコメント募集及び報告書掲載Webサイト
1.　パブリックコメント募集 Web サイトの紹介
2.　報告書などの活動成果の情報発信サイトの紹介

Ⅲ. 調査研究会議開催状況

Ⅰ.「卒業生としての知識・能力と専門職としての知識・能力」

IEA Graduate Attributes and Professional Competencies の翻訳にあたって

文部科学省先導的大学改革推進委託事業
技術者教育に関する分野別の到達目標の設定に関する調査研究
IEA GA & PC　翻訳ワーキンググループ

エンジニアリング教育認定の 3 協定（Washington Accord, Sydney Accord, Dublin Accord）と専門職資格認定の 3 枠組（APEC Engineer, EMF, ETMF）は，高等教育機関における教育の質保証・国際的同等性の確保と，専門職資格の質の確保・国際流動化は同一線上のテーマであるという観点から，International Engineering Alliance (IEA)を結成して，共通課題について議論が行われてきた．その一環として，教育や専門職資格同等性確保の重要手段として検討されてきた Graduate Attributes (GA) and Professional Competency Profiles (PC)の第 2 版が，2009 年の京都総会で採択された．その結果，ワシントン協定の各加盟団体は，2019 年までにこの GA を模範にして認定基準の改定を行うことが義務付けられ，Outcomes Based Learning の審査という明確な方向が示された．

専門職資格認定の 3 枠組では，現在その協定を統合化するための改定が，PC を国際登録認定の要件に明確に位置付ける方向で進められている．その最終改定案において，認定要件の第 2 項に，「当該国で自立した専門職として，IEA Professional Competency Profiles に示される知識・能力を有し，適格と認定されていること」と規定されている．

本調査研究では，分野別の到達目標（共通部分を含む）の作成の段階で複数の国際的な基準を参照したが，その代表的な基準である国際エンジニアリング連合(International Engineering Alliance, IEA）の「卒業生としての知識・能力と専門職としての知識・能力（Graduate Attributes and Professional Competency Profiles)」の翻訳作業を，文部科学省高等教育局専門教育課，ワシントン協定加盟団体である日本技術者教育認定機構（JABEE）並びに EMF 加盟団体であり，APEC モニタリング委員会の事務局も務める日本技術士会からの要請・協力により，本調査研究の中に翻訳ワーキンググループを設置し，翻訳を行い，最終報告書の参考に収録した．

GA と PC はワシントン協定の初期の 6 加盟団体国（アングロサクソン系）らの主導で作成されたため，アジアの国々の文化，実情に合わない所もある．この種のドキュメントの翻訳では，それぞれの国にない概念や言葉があり，それらをどう訳すか，新しい言葉を作るか，カタカナで表音表記にするか等が課題となる．そこで，翻訳ワ―キンググループは，専門語を熟知した技術者，大学教員，教育政策や翻訳技術を専門とする方等で構成し，上記の課題を解決しながら，直訳を避け，文脈に沿った適切な翻訳を心がけた次第である．

この翻訳から，エンジニアとしての知識・能力の理解が深まり，日本のエンジニアリングの質の国際的同等性を確保し，本調査研究で提示した「技術者教育に関する分野別の到達目標」の理解にも役立ち，さらには，今後，これらを参照して，各大学が自らのカリキュラムに有機的に盛り込んで，分野別の具体的な到達目標により体系化され，かつ個性豊かな学部での教育課程の確立に繋がっていくことを念願している．

【IEA GA & PC 翻訳ワ―キンググループ 組織メンバー】

代表	野　口　　博	千葉大学大学院工学研究科	教　授
	野　澤　庸　則	大学評価・学位授与機構	客員教授
	田　中　弥　生	大学評価・学位授与機構	准教授
	村　田　稔　尚	公益社団法人日本技術士会国際委員会 IEA 対応 WG	技術士
	深　堀　聰　子	国立教育政策研究所高等教育研究部	統括研究官
	青　島　泰　之	一般社団法人日本技術者教育認定機構（JABEE）	専務理事・事務局長
	高　橋　明　子	一般社団法人日本技術者教育認定機構（JABEE）	国際部職員
	工　藤　一　彦	芝浦工業大学学長室	シニア教授
	大　場　好　弘	山形大学有機エレクトロニクス研究センター長	教　授
	篠　田　庄　司	中央大学理工学部	教　授
	岩　熊　ま　き	株式会社東京建設コンサルタント	技師長

【 参 考 】

IEA 傘下のエンジニア教育認定及びエンジニア資格に関する協定

1.　ワシントン協定（Washington Accord）

1989 年に，米国，英国，カナダ，アイルランド，オーストラリア及びニュージーランドのそれぞれのエンジニア教育認定機関が，エンジニア教育プログラムの認定審査システムの実質的同等性を確保し相互に承認するためこのワシントン協定を結んだ．日本（JABEE)は，2005 年にこの協定に加盟した．その他に協定設立以後に加盟したメンバーは，香港，南アフリカ，台湾，韓国，マレーシア，シンガポール及びトルコで，現在加盟メンバーは計 14 を数える．

2.　APEC エンジニア（APEC Engineer）

1995 年の APEC 閣僚会議における決定に従い，2000 年に，関係エコノミーの間で APEC エンジニアの認定登録の制度が合意された．これに基づいて，日本を含む 7 エコノミーで APEC エンジニアの審査登録が始まった. その後参加したものを含め現在 14 エコノミー（日本, オーストラリア, カナダ, 香港，韓国，マレーシア，ニュージーランド，インドネシア，フィリピン，米国，タイ，シンガポール，台湾，ロシア）が加盟している．

3.　EMF (Engineers Mobility Forum)

1996，1997 年にワシントン協定の加盟団体の代表が会し，プロフェッショナル・エンジニアの国際登録の枠組みを作ることに同意した．そして，2001 年に，EMF が加盟メンバーによる協定締結により発足した．現在 EMF 加盟メンバーは，オーストラリア，カナダ，台湾，香港，インド，アイルランド，日本（日本技術士会)，韓国，マレーシア，ニュージーランド，シンガポール，南アフリカ，スリランカ，英国及び米国である．日本は 2008 年から EMF 国際プロフェッショナル・エンジニアの審査登録を開始した．

国際エンジニアリング連合

教育認定協定
ワシントン協定
シドニー協定
ダブリン協定

専門職協定
エンジニア流動化協定
テクノロジスト流動化協定

「卒業生としての知識・能力と専門職としての知識・能力」

第２版　２００９年６月１８日

要　旨

いくつかのエンジニアリング教育認定団体は、それぞれの教育プログラムを評価するために学習成果に基づく基準を開発してきた。同様に、いくつかのエンジニアリング専門職規制団体は、実践的知識・能力に基づく登録審査のための基準を開発してきた。もしくは、開発する過程にある。資格や登録の相互承認のための教育認定協定や専門職協定には、それぞれ卒業生としての知識・能力（ＧＡ）*[1]と専門職としての知識・能力（ＰＣ）*[2]のプロフィールが明記されている。本文書では、このような文章を作成した背景、目的、及びその方法論と適用範囲について述べる。本文書では、それぞれの職種の知識・能力の難度を表す一般的記述を定義した後に、３種の専門職種である、エンジニア、テクロノジスト、及びテクニシャン*[3]に対するＧＡとＰＣのプロフィールを提示する。

１　序文

エンジニアリングとは、人々の必要を満たし、経済を発展させ、また、社会にサービスを提供するために不可欠な活動である。エンジニアリング活動には、数学、自然科学、及びエンジニアリング知識、テクノロジー、並びにテクニックの体系の合目的的応用が含まれる。エンジニアリング活動には、しばしば不確定な状況の下で、その効果が最大限得られると予想される解決策を生み出すことが求められる。エンジニアリング活動は、便益をもたらす一方で、負の結果をもたらす可能性がある。それ故、エンジニアリング活動は、責任を持って、倫理的に、また、利用可能資源を効率的に使用しながら、経済的に、健康と安全を守りつつ、環境面で健全かつ持続可能な方法で、そのシステムが作られてから廃棄されるまでの全体にわたってリスクを全般的に管理しながら行われなければならない。

典型的なエンジニアリング活動には、多くの国又は地域*[4]で登録専門職として認められているエンジニア、テクノロジスト、及びテクニシャンを含む様々な役割が必要である[1]。これらの専門職としての役割は、特有の知識・能力と社会に対する責任のレベルによって規定されている。役割の間には、

訳注　*1 Graduate Attributes は「卒業生として身に付けるべき知識・能力」を意味するが、本書では「卒業生としての知識・能力」と略記し、以下ＧＡと記す。

*2 Professional Competencies は「専門職として身に付けるべき知識・能力」を意味するが、本書では「専門職としての知識・能力」と略記し、以下ＰＣと記す。

*3 engineer、engineering technologist、 及び engineering technician の３職種の区別は本書で詳述されている。これら３職種全てには対応する日本語が無いので、本書では、これらをエンジニア、テクノロジスト、及びテクニシャンとカタカナ書きとする。

*4 ここでは、「国又は地域」を、独立の法制度をなす区域のことである jurisdictions の訳として用いる。「エコノミー」と訳される場合もある。

[1] この文書で用いる用語として、*エンジニアリング*は広い意味での活動として、*エンジニア*はいろいろなタイプのプロフェショナル・エンジニア又はチャータード・エンジニアの略記として用いる。明確に理解すべきことは、*エンジニア*、*テクノロジスト*及び*テクニシャン*はそれぞれの国又は地域の下で独特の称号又は名称と、異なった法的職能又は制限を持つということである。

ある程度の重複もある。この文書の４章から６章では、この３つの専門職に特有の知識・能力を、必要とされる教育的基盤とともに、定義している。

どの職種においても、それを支えるエンジニア専門職能の発達は、はっきりと区別される段階を経て進行する。第１の段階は、*認定教育資格*の達成、すなわち、卒業の段階である。*エンジニアリング教育*の基本的な目的は、知識の基盤を構築することで、卒業生に学びを継続させ、自立した活動に必要な知識・能力の育成にむけた、卒業後の実務を通じての修習を続けられるようにすることにある。ある一定期間の修習に続く第２の段階は、*専門職としての登録*である。修習の基本的な目的は、卒業生が教育によって培われた基盤の上に、自立した活動に必要な知識・能力を修得させることにある。すなわち、卒業生が、エンジニアリング実践者とともに働き、助手的役割から始め、もっと独立して又はチームとしての責任を負う役割を担うまでになり、その知識・能力が登録に必要とされるレベルであることが示せるまで向上させることにある。ひとたび登録した後には、実践者として知識・能力を維持し、向上させ続けなければならない。

エンジニアとテクノロジストにとって、第３の重要な段階は、様々な国又は地域で提供される*国際登録資格*を持つことである。加えて、エンジニア、テクノロジスト及びテクニシャンは、その後も仕事を続ける期間にわたって、知識・能力を維持し向上させることが求められている。

いくつかの国際協定では、ある加盟団体の認定プログラムの卒業生の資格を、他の加盟団体でも承認することを認めている。ワシントン協定では、エンジニア職種に対して認定したプログラムの相互承認を提供している。シドニー協定では、テクノロジストに対する認定資格の相互承認を認めている。ダブリン協定では、テクニシャンに対する認定資格の相互承認を認めている。これらの協定は、実質的同等性の原則に基づいており、内容と成果の厳密な一致という原則に基づくものではない。本文書では、それぞれの協定における卒業生の知識・能力に関する加盟団体の合意事項を記載している。

同様に、エンジニア流動化協定、及びテクノロジスト流動化協定では、一つの加盟団体の国又は地域で登録された専門家が、他の国又は地域でも登録を獲得できるよう支援する手順が定められている。加盟団体は、登録に必要な知識・能力のプロフィールに関する合意を形成しており、本文書ではそれらについて記載している。テクニシャンについては、現在のところ流動化協定は存在しないが、ＰＣのプロフィールにはテクニシャンに関する記述が抜けないように、また、将来の発展を促すために、テクニシャンに対する知識・能力も記述している。

第２章では、第５章に堤示するＧＡの基礎となる考え方を記載する。第３章では、第６章に提示するＰＣのプロフィールの基礎となる考え方を示す。それぞれの職種の難度を表す一般的な記述は、第４章で提示する。ＧＡのプロフィールを第５章に示し、ＰＣのプロフィールを第６章で規定する。付録Ａでは、この文書で使用する用語の定義について、付録Ｂでは、ＧＡ並びにＰＣのプロフィールの起源と沿革を整理する。

２　ＧＡ−卒業生としての知識・能力

２．１　ＧＡの目的

*ＧＡ*は、卒業生が適切な水準で業務を実践するために必要な知識・能力を将来獲得することを可能にする要素としての、個々に測定可能な一組の学習成果から構成されている。ＧＡは、認定プログラムの卒業生に期待される知識・能力の模範である。ＧＡは、期待される知識・能力の明瞭で簡潔な記述であり、必要に応じて、それぞれの種類のプログラムに適した難度を表す一般的記述で修飾されている。

ＧＡは、該当する加盟団体、及び暫定加盟団体が、それぞれの国又は地域で使用する学習成果に基づく認定基準を開発する際に、その手引きとなることが意図されている。また、ＧＡは、加盟団体となることを目指す団体が、認定システムを開発する際の指針となることも意図されている。

ＧＡは、エンジニア、テクノロジスト、及びテクニシャンの職種ごとに、その教育上の資格要件を表すために定義されている。ＧＡは、上記３職種を育成するプログラムで期待される学習成果について、固有の特性、及び共通性を明らかにする際に、役立つものである。

２．２　ＧＡの適用範囲

各加盟団体は、エンジニアリング教育プログラムの認定対象となる職種（エンジニア、テクノロジスト、又はテクニシャン）ごとに基準を定めている。それぞれのレベルの教育認定協定は、*実質的同等性*の原則に基づいている。すなわち、教育プログラムには、画一的な学習成果や内容を提供することが期待されているのではなく、就職し、専門職としての知識・能力、及び登録に繋がる訓練と、実務体験による修習のプログラムを受けるにふさわしい卒業生を輩出することが期待されている。ＧＡは、個々の団体が実質的に同等の学習成果を記述するための参照基準である。ＧＡは、それ自身が認定に係る知識・能力要件の“国際基準”ではなく、それぞれの団体が実質的に同等の要件に係る学習成果を記述する際に参照すべき公認された共通の基準を表している。

卒業という用語は、特別な資格を意味しているのではなく、それが学位であっても証書であっても、ある資格の出口段階の水準を意味している。

２．３　ＧＡの範囲と構成

ＧＡは、５．２節に示す１２の要素から構成されている。それぞれの要素は、難度を表す情報によって、エンジニア、テクノロジスト、又はテクニシャンごとに役割が区別されるそれぞれの特性を規定している。

ＧＡの各項目では、エンジニア、テクノロジスト、及びテクニシャンの３職種に関する記述を、共通項と、それぞれに必要とされる各教育履歴に対応する難度を表す情報を用いて示している。その例として、**エンジニアリング・サイエンスの知識**に関する項目を、次の通り記載している。

共通項：数学、科学、エンジニアリング基礎、及び一つのエンジニアリング専門[*5]の知識を応用する
エンジニアの難度を表す情報：複合的なエンジニアリング問題を解決するために
テクノロジストの難度を表す情報：明確にされ実用に供されている、エンジニアリングに関する手順、工程、システム又は方法に
テクニシャンの難度を表す情報：汎用的な手順と実践に

この場合、できあがる記述は以下のようになる。

ワシントン協定の卒業生に対して	シドニー協定の卒業生に対して	ダブリン協定の卒業生に対して
複合的なエンジニアリング問題を解決するために、数学、科学、エンジニアリング基礎，及び一つのエンジニアリング専門の知識を応用する	明確にされ実用に供されている、エンジニアリングに関する手順、工程、システム又は方法に、数学、科学、エンジニアリング基礎、及び一つのエンジニアリング専門の知識を応用する	汎用的な手順と実践に、数学、科学、エンジニアリング基礎，及び一つのエンジニアリング専門の知識を応用する

いくつかのＧＡの項目の記述では、難度を表す修飾語として、「*複合的なエンジニアリング問題*」、「*大まかに示されたエンジニアリング問題*」、及び「*明確に示されたエンジニアリング問題*」という概念を使用している。これらの簡略な水準の定義は、４章で示している。

ＧＡの項目は、一般的に適用できるように選択されており、許容できる最低水準を反映しており、また、客観的に測定が可能なものとなっている。どの項目も重要ではあるが、それぞれが必ずしも同じ重みをもっているわけではない。ＧＡは、長い期間にわたって有効性を保つように、また、十分議論した後でなければめったに変更されないように選択されたものである。ＧＡは、この文書に含まれていない情報、例えば一般的に認められている倫理規定にも依存する。

ＧＡの全構成を、５章に掲げている。

２．４　各専門分野への適用のための解釈の仕方

ＧＡは一般的に述べられており、全てのエンジニアリング専門分野に適用可能である。ＧＡをそれぞれの専門分野に適用するときには、個々の規定を拡充したり特別に強調したりすることはあっても、内容を本質的に変えたり特定の要素を無視したりしてはならない。

２．５　ＧＡの適用の仕方

教育認定協定対応のプログラムの知識・能力基準は、知識プロフィール（範囲）、指定学習量、及び卒業生が身に付けるべき能力、として規定されている。ＧＡの各項目は、この要件を達成するためのプログラムの設計には言及していない。それ故、プログラム提供者は、それぞれ異なる細部の構造、学習の道筋、ならびに提供方法を用いてプログラムを自由に設計することができる。それぞれ個別のプログラムの評価は、それぞれの国の認定システムの仕事である。

３　ＰＣのプロフィール

３．１　ＰＣのプロフィールの目的

専門的に、あるいは職業的に有能な人とは、その専門や職業において、自立した雇用や実践に期待される水準で業務を履行するために必要な知識・能力を有している人である。それぞれの専門職に係るＰＣプロフィールは、資格登録を行う段階で、エンジニア、テクノロジスト、又はテクニシャンが専門職として包括的に示すことが期待されている、業務を履行するために必要な知識・能力の要素を記録したものである。

ＰＣは、ＧＡとほぼ同様の内容の知識・能力の要素を用いて規定することができるが、力点のおき方が異なる。例えば、専門職レベルでは、実際の仕事の場面で責任を取る能力が不可欠の要素といえる。ＰＣは、ＧＡとは異なり、個別に達成度を示すことのできる一連の知識・能力の組み合わせにとどまらない。ＰＣは、包括的にアセスメント[*6]しなければならないものである。

３．２　ＰＣのプロフィールの範囲と構成

ＰＣのプロフィールは、３つの職種（登録時点でのエンジニア、テクノロジスト、及びテクニシャン）に分けて規定されている。[2]　それぞれのプロフィールは、１３の要素から構成されている。各要素は、２．３節においてＧＡで用いた方法と同様に、共通項と難度を表す修飾語を用いることで、そ

訳注　***5** エンジニアリング基礎、及びエンジニアリング専門については、付録Ａを参照のこと。
***6** アセスメント（assessment）とは「成果をどの程度まで身に付けているかを評価するために、根拠となるデータを同定し、集め、準備し、及び測定する一つ又は複数のプロセス」を言う。
[2] エンジニア流動化協定並びにテクノロジスト流動化協定の国際登録においてはより高い知識・能力と責任が要求される。

の特性を明らかにする方法で定義されている。

共通項は、３つの職種をとおして同じであるが、難度を表す修飾語によって職種間の相違と共通性が規定されている。対応するＧＡの事項と同様に、難度を表す修飾語として、４．１節に定義するとおり、「複合的なエンジニアリング問題」、「大まかに示されたエンジニアリング問題」、及び、「明確に示されたエンジニアリング問題」という概念が使用されている。専門職レベルでは、３つの職種の範囲を規定し、互いに区別するために、エンジニアリング活動を分類する用語が用いられている。エンジニアリング活動は、「複合的」、「大まかに示された」、又は、「明確に示された」に、分類される。これらの簡略な水準指標の定義は、４．２節に示している。

３．３　ＰＣのプロフィールの適用範囲

ＧＡの場合と同様に、ＰＣのプロフィールは、詳細を規定するものではなく、知識・能力の基準として取り上げるべき必須の要素だけを規定するものである。

ＰＣのプロフィールは、専門職の知識・能力に係る具体的な行動指標を規定するものではなく、いろいろな業務分野、又はいろいろな仕事における知識・能力のエビデンスをアセスメントする際に、上記の項目（知識・能力の基準として取り上げるべき必須の要素）をどのように解釈すべきかを規定するものでもない。３．４節では、ＰＣプロフィールを各分野に適用するための解釈の仕方を検討する。

それぞれの国又は地域では、具体的な*行動指標*、すなわち、資格認定応募者の知識・能力を示す行動を定義することができる。例えば、デザイン能力は次のような行動に基づいて見極めることができる：

１：設計又は計画作成に対する要求事項を特定し分析して、詳細な要求事項を述べる仕様書を作成する
２：問題に対する検討に値する一連の解決策、又はプロジェクト実行の進め方をまとめる
３．要求事項に対する実現性のある解決策及び要求事項の範囲外への影響を評価する
４：選んだ選択肢の設計を実行し完成する
５：実施のための設計文書を作成する

３．４　各専門分野への適用のための解釈の仕方

専門職としての知識・能力は、多様な業務領域や、いろいろな種類の仕事の中で発揮される。それ故、ＰＣは専門分野にかかわらず共通のものとされている。ＰＣの記述は、エンジニアリング活動のサイクルにおける大枠の段階（例えば、問題の分析、統合、実施、運営と評価など）と、それぞれの段階で必要とされるマネジメント能力とを合わせて用いることで、いろいろな型の仕事（例えば、設計、研究と開発、及びエンジニアリング・マネジメントなど）に適用できるように作られている。さらに、ＰＣのプロフィールは、特定の仕事での要求事項に関係なく、職務相応の仕事を遂行するうえで必要な個人的な特性、例えば、コミュニケーション力、倫理的に行動すること、判断力、責任をとること、そして社会の保全に対する認識などを包含している。

ＰＣのプロフィールは包括的に述べられており、全てのエンジニアリングの専門分野に適用可能である。ＰＣのプロフィールを用いるときには、それぞれの法規制、専門、職業又は環境の条件の違いにより、拡充が必要となることもある。ＰＣのプロフィールの規定を各専門分野に適用するために解釈するときには、個々の規定を拡充したり強調したりすることはあっても、内容を本質的に変えたり、特定の要素を無視したりすることはあってはならない。

３．５　専門職種間の移動について

ＧＡやＰＣでは、３つの専門職種のそれぞれについて、職種内における資格移動の道筋、すなわち、職種内での上位資格への移動について規定している。しかし、ＧＡとＰＣでは、一般的に追加の教育、訓練、及び経験を必要とする３つの職種間の個人の移動については規定していない。ＧＡやＰＣは、それぞれの職種内で要求される水準、知識プロフィール及び達成すべき成果を規定しているので、そのような職種間の移動を考えている個人は、さらに修得することが必要な教育と経験について、ＧＡやＰＣにより推し量ることができる。それぞれの国又は地域におけるこれら３つの職種に対する教育と登録に関する要求事項についての、特別の条件は、それぞれの国又は地域ごとに別々に検討する必要がある。

４　難度に応じた問題解決及びエンジニアリング活動範囲の定義

４．１　難度に応じた問題解決の定義

	知識・能力の項目	複合的な問題	大まかに示された問題	明確に示された問題
1	定義	多くが専門分野の最先端にある、又はその情報に基づく広く深いエンジニアリング知識なくしては解決し得ない、以下の特性のいくつか又は全てを有するエンジニアリング問題	開発されたテクノロジーの応用に力点を置き、専門分野の中で確立された事項の首尾一貫した詳細な知識なくしては遂行し得ない、以下の特性を有するエンジニアリング問題	以下の特性のいくつか又は全てを有するエンジニアリング問題
2	要求事項相互間の矛盾の程度	広範囲な又は相対立する、テクニカルな問題、エンジニアリング問題、及び他の問題を含んでいる	相対立する制約をもたらすこともある様々な要因を含んでいる	いくつかの問題点を含むが、そのうち相対立する制約を及ぼすものは少ない
3	求められる分析の深さ	明白な解決策がなく、適切なモデルを考案するための解析に、抽象的思考と独創性が求められる	十分に検証された分析手法を用いることにより解決される	標準化されたやり方で解決される
4	求められる知識の深さ	多くが専門分野の最先端にある又はその情報に基づく、そして、基本に帰り原理に立った分析アプローチを可能にする研究ベースの知識を必要とする	しばしば多専門分野のエンジニアリング環境の中で、既に開発された技術の応用とノウハウの獲得に力点を置く、専門分野で明示された事項の詳細な原理と汎用される手順の知識と方法を必要とする	限られた理論的知識を用いて解決できるが、通常は広範な実務的知識を必要とする
5	問題に対する熟知度	めったには直面しない問題を含んでいる	十分に確立された方法で解決できるよく知られた問題の一群に属する	しばしば直面する、従って現場の大部分の実務者によく知られている
6	基準適用の可能性	専門職のエンジニアリング活動の基準や規範で成し遂げられる問題の範囲を超えている	基準や規範で成し遂げられる問題を部分的に超えたものもある	基準とマニュアル、又は、そのいずれかで成し遂げられる
7	利害関係者の関与範囲と、それぞれの要求の相反度合	広く異なる要求を有する多様な利害関係者の集団を含む	意見が異なり時に対立する要求を持ついくつかの利害関係者の集団を含む	異なる要求を有する限定的範囲の利害関係者を含む
8	結果	様々な面で重大な結果をもたらす	局部的に重要であり、広い範囲に及ぶこともある結果をもたらす	局部的に重要であるが、広範囲には及ばない結果をもたらす
9	相互依存性	多くの構成要素又は下位の問題を含むハイレベルな問題である	複合的なエンジニアリング問題内の一部又はシステムである	エンジニアリングシステムの個別の構成要素である

4．2 難度に応じたエンジニアリング活動の定義

	知識・能力の項目	複合的な活動	大まかに示された活動	明確に示された活動
1	定義	**複合的な活動**とは、以下に示す特性のいくつか又は全てを含む（エンジニアリング）活動やプロジェクトのことである	**大まかに示された活動**とは、以下の特性のいくつか又は全てを含む（エンジニアリング）活動やプロジェクトのことである	**明確に示された活動**とは、以下の特性のいくつか又は全てを含む（エンジニアリング）活動やプロジェクトのことである
2	資源の範囲	人材、資金、機器、材料、情報技術などを含む多様な資源の使用を必要とする	人材、資金、機器、材料、情報技術などを含む各種の資源を必要とする	人材、資金、機器、材料、情報技術などを含む限られた範囲の資源を必要とする
3	相互作用の程度	広範囲な又は相対立する、テクニカルな問題、エンジニアリング問題、又は他の問題の間の相互作用で発生した重大な問題に対する解決が求められる	相対立することの少ない、テクニカルな問題、エンジニアリング問題、又は他の問題の間にしばしば生じる相互作用の解決が求められる	限られた範囲の問題としての影響しか持たないテクニカルな問題又エンジニアリング問題の間の相互作用の解決が求められる
4	革新性	エンジニアリングの原理や研究ベースの知識を、新奇な方法で創造的に使用することに関わる	新しい材料、テクニック、又は工程の標準的ではない方法での使用に関わる	既存の材料、テクニック、又は工程の、修正を要する又は新しい方法での使用に関わる
5	社会及び環境に対する結果	その予測や軽減が困難な状況下で、重大な結果をもたらす	局部的に最も重要で、もう少し広範囲に波及する可能性があり、また通常のやり方で予見できる結果をもたらす	局部的に重要であるが、広範囲には及ばない結果をもたらす
6	熟知度	原理ベースの取組をすることによって、過去の経験を超えて広げることができる	通常の手順と工程を運用するための知識を必要とする	汎用されている作業と工程に対する実際的な手順と実務の知識を必要とする

5 協定プログラムのプロフィール

次の表は高等教育での３種類のエンジニアリング教育プログラムの卒業生に対する各種プロフィールを示している。複合的なエンジニアリング問題、大まかに示されたエンジニアリング問題、及び明確に示されたエンジニアリング問題の定義に関しては、４章を参照のこと。

5．1　知識プロフィール

ワシントン協定のプログラムは以下を提供する。	**シドニー協定のプログラム**は以下を提供する。	**ダブリン協定のプログラム**は以下を提供する。
当該専門分野に適用できる**自然科学**（例えば、計算ベースの物理）の体系的かつ理論ベースの理解	当該細目専門分野に適用できる**自然科学**の体系的かつ理論ベースの理解	一つの細目専門分野に適用できる**自然科学**の公式ベースの理解
当該専門分野に適用可能な解析やモデル化を支援する概念ベースの**数学**、数値解析、統計学、一般的な内容のコンピュータ・情報科学の体系的知識	当該細目専門分野に適用可能な解析やモデルの利用を支援する概念ベースの**数学**、数値解析、統計学及び必要範囲のコンピュータ・情報科学の知識	一つの細目専門分野に適用可能な演算主体の**数学**、数値解析、統計学の知識
エンジニアリング専門分野で必要な**エンジニアリング基礎**に関する体系的かつ理論ベースの知識の形成	一つの確立した細目専門分野で必要な**エンジニアリング基礎**に関する体系的かつ理論ベースの知識の形成	一つの確立した細目専門分野で必要な**エンジニアリング基礎**に関する系統だった演算ベースの知識の形成
エンジニアリング専門分野における確立した実務領域に必要な様々な理論的枠組及び知識体を与えるエンジニアリング**専門の知識**；そのほとんどは当該専門分野における最先端のものである	一つの確立した細目専門分野に必要な様々な理論的枠組及び知識体を与えるエンジニアリング**専門の知識**	一つの確立した細目専門分野に必要な知識体を与えるエンジニアリング**専門の知識**
一つの専門分野における**エンジニアリング・デザイン**の基礎となる知識	一つの専門分野におけるテクノロジーを用いる**エンジニアリング・デザイン**の基礎となる知識	一つの専門分野におけるテクニックと演算手順に基づく**エンジニアリング・デザイン**の基礎となる知識
当該専門分野のいくつかの領域における**エンジニアリング業務実践**（テクノロジー）に関する知識（マネジメント、評価の方法なども含む）	当該細目専門分野に適用可能ないくつかの**エンジニアリング・テクノロジーの実践**に関する知識	特定の実践領域における内容の明確に示された**実践的エンジニアリング知識**
社会におけるエンジニアリングの役割と、当該専門分野内でエンジニアリング実践に関して確認されている諸問題の理解：エンジニアの倫理及び公共の安全への責任；エンジニアリング活動の経済、社会、文化、環境及び持続性への影響などの**理解**	社会におけるテクノロジーの役割と、テクノロジストがエンジニアリング・テクノロジーを適用する際に確認された問題の理解：倫理、経済的、社会的、環境的及び持続性への影響などの**理解**	エンジニアリング・テクニシャンの実践に伴う問題とそれへの対処に関する**知識**：倫理、財務、文化、環境及び持続性への影響などの理解
当該専門分野の**研究文献**における精選された知識の理解	当該専門分野の**テクノロジー関連文献**の理解	
上記のような知識を構築しかつ下記のような能力を習得させるプログラムは、入学時の学生のレベルにもよるが、通常 4-5 年の履修により達成される。	上記のような知識を構築しかつ下記のような能力を習得させるプログラムは入学時の学生のレベにもよるが、通常 3-4 年の履修により達成される。	上記のような知識を構築しかつ下記のような能力を習得させるプログラムは、入学時の学生のレベルにもよるが、通常 2-3 年の履修により達成される。

５．２ Graduate Attribute のプロフィール

		区別する特性	ワシントン協定卒業生に対して	シドニー協定卒業生に対して	ダブリン協定卒業生に対して
1	**エンジニアリングに関する知識**	理論的及び実践的な知識の種類と教育の広さと深さ	複合的なエンジニアリング問題を解決するために、数学、科学、エンジニアリング基礎、及び一つのエンジニアリング専門の知識を応用する	明確にされ実用に供されている、エンジニアリングに関する手順、工程、システム又は方法に、数学、科学、エンジニアリング基礎、及び一つのエンジニアリング専門の知識を応用する	汎用的な手順と実践に、数学、科学、エンジニアリング基礎、及び一つのエンジニアリング専門の知識を応用する
2	**問題分析**	分析の複雑さ	*複合的な*エンジニアリング問題について、数学、自然科学、エンジニアリング・サイエンスの原理の理解に基づいた知識を用いてその全容を同定し系統立て、文献を調べ、分析し、具体的な結論を得る	*大まかに示された*エンジニアリング問題について、該当専門分野又は専門領域に適合する分析手法を用いてその全容を同定し系統立て、文献を調べ、分析し、具体的な結論を得る	*明確に示された*エンジニアリン問題について、該当する業務に特化し確立した分析手法を用いてその内容を同定し、分析し、具体的な結論を得る
3	**解決策のデザイン/開発**	エンジニアリング問題の広さユニークさ、すなわち問題のオリジナリティの程度と解決法が確認され又は体系化されている程度	*複合的な*エンジニアリング問題について、公衆の衛生と安全、文化、社会及び環境に適切に配慮しつつ、定められた要件を満たす解決策をデザインし、かつ、システム、構成要素又は工程をデザインする	*大まかに示された*エンジニアリング・テクノロジーの問題について、公衆の衛生と安全、文化、社会及び環境に適切に配慮しつつ、定められた要件を満たす解決策をデザインし、かつ、システム、構成要素又は工程のデザインに貢献する	*明確に示されたテクニカルな*問題について、公衆の衛生と安全、文化、社会及び環境に適切に配慮しつつ、定められた要件を満たすため解決策をデザインし、かつ、システム、構成要素又は工程のデザインを補助する
4	**調査**	調査や実験の広さと深さ	*複合的な*問題について、研究ベースの知識、及び実験計画、データの分析と解釈、情報の取りまとめ等の研究手法を用いて調査を行い、有効な結果を得る	*大まかに示された*問題について調査を行う；　規程・基準、データ・ベース及び文献から、データについて、その所在を特定し、検索し、選択し、かつ実験を計画し実行し、有効な結果を得る	*明確に示された*問題について調査を行う；　関連する規程・基準及び便覧について、その所在を特定し、検索し、また標準的な試験及び測定をする
5	**最新のツールの利用**	ツールの用途に応じた適切さの理解度	*複合的な*エンジニアリング活動について、制約条件を把握した上で、適切な技術手法、資源、及び最新の工学・情報技術のツール（予測やモデル化を含む）を考案し、選定し及び応用する	*大まかに示された*エンジニアリング活動について、制約条件を把握した上で、適切な技術手法、資源、及び最新の工学・情報技術のツール(予測やモデル化を含む)を選定し及び応用する	*明確に示された*エンジニアリング活動について、制約条件を把握した上で、適切な技術手法、資源、及び最新の工学・情報技術のツールを選定し及び応用する

6	**技術者と社会**	知識と責任のレベル	エンジニアとしての活動に関して生じる、社会、衛生、安全、法及び文化に関する問題、並びにその結果に対する責任について、関連知識に基づく推論を用いて評価する	テクノロジストとしての活動に関して生じる、社会、衛生、安全、法及び文化に関する問題、並びにその結果に対する責任について、理解していることを示す	テクニシャンとしての活動に関して生じる、社会、衛生、安全、法及び文化に関する問題、並びにその結果に対する責任について、知識を持っていることを示す
7	**環境と持続性**	解決策のタイプ	エンジニアリングの解決策の実施が社会と環境に与える影響を理解し、持続可能な発展に関する知識を持ち、その必要性を認識する	エンジニアリング・テクノロジーの解決策の実施が社会と環境に与える影響を理解し、持続可能な発展に関する知識を持ち、その必要性を認識する	テクニシャンとして策定した解決策の実施が社会と環境に与える影響を理解し、持続可能な発展に関する知識を持ち、その必要性を認識する
8	**倫理**	理解および実践のレベル	倫理原則を適用し、専門職としての倫理を守り、責任を果たし、またエンジニア行動基準に従う	専門職としての倫理を理解し、守り、責任を果たし、またテクノロジスト行動基準に従う	専門職としての倫理を理解し、守り、責任を果たし、またテクニシャン行動基準に従う
9	**個別活動およびチームワーク**	チームにおける役割とチームの多様性	個別に、また、多様性のあるチーム又は多専門分野の要員が参加する場合を含むチームの一員又はリーダーとして、効果的に役割を果たす	個別に、また、多様性のあるチームの一員又はリーダーとして、効果的に役割を果たす	個別に、また、多様性のあるテクニックに関するチームの一員として、効果的に役割を果たす
10	**コミュニケーション**	行われる活動のタイプに応じたコミュニケーションのレベル	*複合的な*エンジニアリング活動に関して、報告書や設計文書の理解と作成、種々の発表、明確な指示の授受等を通じて、エンジニアリング関係者や広く社会と効果的にコミュニケーションを行う	*大まかに示された*エンジニアリング活動に関して、報告書や設計文書の理解と作成、種々の発表、明確な指示の授受等によって、エンジニアリング関係者や広く社会と効果的にコミュニケーションを行う	*明確に示された*エンジニアリング活動に関して、他の関係者の仕事の理解、自分の仕事に関する文書作成及び明確な指示の授受等によって、エンジニアリング関係者や広く社会と効果的にコミュニケーションを行う
11	**プロジェクト・マネジメントと財務**	タイプの異なる活動に必要なマネジメント・レベル	チーム（多専門分野の要員からなる場合を含む）の一員又はリーダーとして、プロジェクトのマネジメントをするための基本的な知識と理解を有するとともに、それを自分の仕事に応用する	チーム（多専門分野の要員からなる場合を含む）の一員又はリーダーとして、プロジェクトのマネジメントをするための基本的な知識と理解を有するとともに、それを自分の仕事に応用する	テクニックに関するチーム（多専門分野の要員からなる場合を含む）の一員又はリーダーとして、プロジェクトのマネジメントをするための基本的な知識と理解を有するとともに、それを自分の仕事に応用する
12	**生涯継続学習**	継続的学習の準備とその深さ	広い視野から見た技術の変化に応じて、生涯にわたり自主的に学習することについて、必要性を認識し、これに取り組む心構えと能力を持つ	専門分野の技術を生涯にわたり自主的に学習することについて、必要性を認識し、これに取り組む能力を持つ	テクニシャンとしての専門技術を自主的に学習・更新することについて、必要性を認識し、これに取り組む能力を持つ

６ Professional Competency のプロフィール

専門職にあるものは、知識・能力の最低基準を満たすために、各自が自分の専門領域において、満足できるエンジニア、テクノロジスト、又はテクニシャンとして期待される水準で業務を完全に実践できることを示さなければならない。

該当者が総合的に適格か否かをアセスメントするに当っては、以下に示す各々の要素をその専門領域でどの程度実行できるかについて考慮されなければならない。

		区別する特性	エンジニア	テクノロジスト	テクニシャン
1	**普遍的知識を理解し応用する**	教育の広さと深さ、及び、知識のタイプ	優れた実践に必要な汎用的な原理に関する高度な知識を理解し応用する	確立し汎用されている手順、工程、システム又は方法に組み込まれている知識を理解し応用する	標準化された活動に組み込まれている知識を応用する
2	**特定の国又は地域に関する知識を理解し応用する**	特定の知識のタイプ	自分の活動する国又は地域に特有の優れた実践の基礎となる汎用的な原理に関する高度な知識を理解し応用する	自分の活動する国又は地域に特有の手順、工程、システム又は手法に組み込まれている知識を理解し応用する	自分の活動する国又は地域に特有の標準化された実務に組み込まれている知識を理解し応用する
3	**問題分析**	分析の複雑さ	複合的な問題を明確にし、調査し、及び分析する	大まかに示された問題を確認し、明確化し、及び分析する	明確に示された問題を確認し，記述し、及び分析する
4	**解決策のデザインと開発**	問題の性質と解決策のユニークさ	複合的な問題に対する解決策をデザインし、又は開発する	大まかに示された問題に対する解決策をデザインし、又は開発する	明確に示された問題に対する解決策をデザインし、又は開発する
5	**評価**	活動のタイプ	複合的な活動の成果及びインパクトを評価する	大まかに示された活動の成果及びインパクトを評価する	明確に示された活動の成果及びインパクトを評価する
6	**社会の保全**	活動のタイプと公衆に対する責任	複合的な活動の、合理的に予見できる社会、文化及び環境に対する影響を全般的に認識し、持続可能性保持の必要性に配慮する；社会の保全が最優先事項であることを認識している	大まかに示された活動の、合理的に予見できる社会、文化及び環境に対する影響を全般的に認識し、持続可能性保持の必要性に配慮する；これら全ての活動が社会にリスクを及ぼさないよう責任を持つ	明確に示された活動の、合理的に予見できる社会、文化及び環境に対する影響を広く認識し、持続可能性の必要性に配慮する；社会への危害を防ぐためにテクニシャンとしての専門知識を使用する
7	**法と規則**	この特性に関しては違いがない	自分の活動において、全ての法及び規則の要求する事項を満たし、公衆の健康と安全を守る	自分の活動において、全ての法及び規則の要求する事項を満たし、公衆の健康と安全を守る	自分の活動において、全ての法及び規則の要求を満たし、公衆の健康と安全を守る

8	**倫理**	この特性に関しては違いがない	倫理的に行動する	倫理的に行動する	倫理的に行動する
9	**エンジニアリング活動のマネジメント**	活動のタイプ	一つ又は複数の複合的な活動の一部又は全体をマネジメントする	一つ又は複数の大まかに示された活動の一部又は全体をマネジメントする	一つ又は複数の明確に示された活動の一部又は全体をマネジメントする
10	**コミュニケーション**	この特性に関しては違いがない	自分の活動の過程において、他の人達と明瞭にコミュニケーションを行う	自分の活動の過程において、他の人達と明瞭にコミュニケーションを行う	自分の活動の過程において、他の人達と明瞭にコミュニケーションを行う
11	**継続研鑽**	継続学習の心構えと深さ。	自分の知識・能力を維持し向上するために十分な継続研鑽(CPD)を行う	自身の知識・能力を維持し向上するために十分な継続研鑽(CPD)を行う	自身の知識・能力を維持し向上するために十分な継続研鑽(CPD)を行う
12	**判断**	活動で得た知識のレベル、及び活動のタイプに関連した能力と判断	複合的な活動に当たり、要求事項が競合することや知識の不完全なことを考慮して、複合性を把握し代案をアセスメントする。このような活動の過程で、確かな判断を行う	大まかに示された問題を扱うために適切なテクノロジーを選択する。このような活動の過程で、確かな判断を行う	明確に示された問題を扱うために適切なテクニックに関する専門知識や技能を選択し、適用する。 このような活動の過程で、確かな判断を行う
13	**決定に対する責任**	責任を取るべき活動のタイプ	複合的な活動の一部又は全てに関して行う決定に対して責任を持つ	大まかに示された活動の一部又は全てに関して行う決定に対して責任を持つ	明確に示された活動の一部又は全てに関して行う決定に対して責任を持つ

付録Ａ：　用語の定義

注：以下に述べる定義はこの文書で使われている用語に適用できるとともに、他のエンジニアリング教育基準に用いられている用語に対しても同様に当てはまる。

Branch of engineering（エンジニアリングの専門分野）：例えば化学工学、土木工学、電気工学などの伝統的な*専門分野*のような一般に認められている工学の主要な区分け、又は、例えばメカトロニクスのような工学分野の組み合わせを持つ比較的幅の広い専門横断分野、又、例えばバイオメディカル工学のような他の学問分野での工学の応用。

Broadly-defined engineering problems （大まかに示されたエンジニアリング問題）：４．１節で定義された特性を有する一連の問題。

Broadly-defined engineering activities（大まかに示されたエンジニアリング活動）：４．２節で定義された特性を持つ一連の活動。

Complementary (contextual) knowledge （補足的（関連の）知識）： エンジニアリング活動を支援し、それがもたらす影響の理解を可能とし、また、エンジニアリング分野の卒業生の視野を広げる、エンジニアリング、基礎科学、及び数理科学以外の専門分野。

Complex engineering problems （複合的なエンジニアリング問題）：４．１節で定義される特性を持つ一連の問題。

Complex engineering activities （複合的なエンジニアリング活動）：４．２節で定義される特性を持つ一連の活動。

Continuing Professional Development （継続研鑽）：エンジニアリング実践者である期間を通して、知識と能力を組織立てかつ責任を持って維持し、改善し及び拡充し、並びに、専門職としての義務、及びテクニカルな面での義務を果たすに必要な人格を形成すること。

Engineering sciences（エンジニアリング・サイエンス）：数学と物理学、及び、活用できる場合にはその他の自然科学に由来するエンジニアリング基礎を包含し、かつ、エンジニアリング専門にその基礎となる知識を提供することにより、応用につなげ、及び問題を解決するために知識を広げモデルと方法を発展させる学問。

Engineering design knowledge （エンジニアリング・デザイン知識）：ある活動分野においてエンジニアリング・デザインを支える知識。これには規範、基準、工程、経験情報、及び過去の設計から再使用される知識を含む。

Engineering discipline （エンジニアリングの専門分野）：*branch of engineering*と同義。

Engineering fundamentals （エンジニアリング基礎）：エンジニアリングへの応用の基礎となる、数学や基礎科学に基づくエンジニアリングの概念や原理・原則の知識体系。

Engineering problem （エンジニアリング問題）：いかなる領域においても存在するエンジニアリング知識・技能の応用や一般的知識・能力によって解決される問題。

Engineering practice （エンジニアリング実践）：一般的に認められた、又は法的に規定されたエンジニアリングの仕事やエンジニアリング・テクノロジーの仕事の領域。

Engineering specialty or specialization （エンジニアリング細目専門分野又は専門)、エンジニアリング専門分野内で一般的に認知されている活動分野若しくは主要な細目分野、例えば土木工学での構造工学や地盤工学のようなもの、又は、エンジニアリング基礎の拡張により、特定のエンジニアリング活動分野のための理論的な枠組みや知識体系を造り出すためのエンジニアリング基礎の拡張。

Engineering technology （エンジニアリング・テクノロジー)：一群の実際的な応用を可能にするツール、テクニック、材料、構成要素、システム、又は工程と結び付いた、確立した知識体（系）のことで、その発展（開発）と効果的な応用はエンジニアリングの知識と専門能力に依存する。

Formative development （修習)：認定された教育プログラムを修了した後の訓練、実務経験及び知識の向上からなる過程。

Manage （マネジメントの動詞形)：リスク、プロジェクト、変更、経費、法規制遵守、品質、不断の監視、制御及び評価について、計画し、組織化し、指導し、及び制御することを意味する。

Mathematical sciences （数理科学)：適切な数学的形式に整えられた数学、数値解析、統計学、及び必要範囲の計算機科学。

Natural sciences （自然科学)：物理学、力学、化学、地学、及び生物学を包含する物質世界を理解するための学問。それぞれのエンジニアリング専門分野、又は活動分野に適用可能な形で提供される。

Practice area （実践分野；実践領域)：*教育に関する用語としては*：一般に認められているエンジニアリングの細目専門分野と同義；*専門職に関する用語としては*：エンジニアリング実践者が教育やその後の訓練及び経験を経て習得した一般的に認知された、又は明確な、専門職的知識、技術、又は技能の領域。

Research-based knowledge （研究ベースの知識)：知識の体系的な理解、及び最新の問題、又は新しい識見の両者又は一方の的確な認識；多くは学問分野、研究分野、又は専門分野の領域の最先端にある、又は、それらからの情報として得られるもの。

Solution （解決策)：全ての関連する技術、法、社会、文化、経済及び環境に関わる問題点を考慮に入れ、持続可能性についての要求をも考慮した問題解決のための有効な提案。

Subdiscipline （細目専門分野))：*engineering specialty* と同義。

Substantial equivalence（実質的同等性）教育プログラムについて用いる場合には、二つのプログラムが一つのセットの基準に合致していなくても、それぞれの卒業生が専門職登録に向かって修習に入る準備ができていると認められること。

Well defined engineering problems （明確に示されたエンジニアリング問題)：４．１節で定義された特性を持つ問題。

Well defined engineering activities （明確に示されたエンジニアリング活動)：４．２節で定義された特性を持つ活動

付録　Ｂ：
卒業生としての知識・能力（GA）と専門職としての知識・能力（PC）プロフィールの沿革

ワシントン協定の加盟団体は、同協定で認定されるプログラムの卒業生のＧＡを策定することが必要であると認識し、その作業を南アフリカのソニーブッシュで開催された 2001 年６月の会合で開始した。ニュージーランドのロトルアで 2003 年の６月に開催された国際エンジニアリング連合（ＩＥＡ）の会議において、シドニー協定とダブリン協定の加盟団体も同様な必要性を認識し、各協定認定プログラムの卒業生の知識・能力がそれぞれの目的に適合していることを保証するために、それぞれのＧＡを区分して策定する必要性を確認した。

エンジニア流動化協定（ＥＭＦ）とテクノロジスト流動化協定（ＥＴＭＦ）は、専門職資格登録、実務経験、及び責任ある業務の経験に基づいた現行の登録認定要件による審査に基づきそれぞれの国又は地域での専門職国際登録表を作成した。この２つの流動化協定は国際的な登録を認定するための知識・能力に基づくアセスメントが将来可能となることを認識し、2003 年のロトルアでの会合ではいくつかの国又は地域において専門職の登録に関する基準を開発する途上にあり、又は採用しつつあることを確認した。そのためＥＭＦとＥＴＭＦはエンジニアとテクノロジストに対する知識・能力をアセスメントできる基準を開発することを議決した。テクニシャンについては同様な流動化協定はまだ結ばれていないが、テクニシャンについても対応する基準の開発が、専門職種全部の知識・能力のプロフィールを揃えるために重要であると考えられた。

このよう状況から、３つのＧＡと３つのＰＣのプロフィールを同時に開発することが合意された。2004 年ロンドンにおいて、ＩＥＡ・ワークショップが、３つの教育認定協定と２つの流動化協定によって、エンジニア、テクノロジストとテクニシャンの３つの職種に対するＧＡとＰＣの国際登録に関する文書案を開発するために開催された。作成された文書案はその後、加盟国又は団体に意見照会がなされたが、ここでの意見はマイナーな修正を必要とするものだけであった。

ＧＡとＰＣは、2005 年６月香港において５つの協定の加盟国又は団体によって version1.1 として採択された。

2007 年６月ワシントンＤＣにおける加盟国の会議において、ＧＡとＰＣとそれらの有効な活用について多くの部分での改善が提案され、この問題に対応する作業グループが結成された。シンガポールで 2008 年６月に開催されたＩＥＡのワークショップは、その作業グループによる提案を検討し、次の総会で加盟国が承認できるように第２版の資料を提出するため必要な修正を行うことを作業グループに委任した。第２版は、2009 年の６月 15－19 日に京都で開催されたＩＥＡの会議で承認された。

Ⅱ．パブリックコメント募集及び報告書掲載 Web サイト

1．パブリックコメント募集 Web サイトの紹介

1－①分野別の共通部分に関するパブリックコメント募集

意見募集期間　　H23 年 6 月 30 日～8 月 26 日

技術者教育に関する
分野別の到達目標の設定に関する
調査研究

トップページ　本サイトについて

『求められる技術者像』に至る技術者の、キャリアパスを踏まえた学習成果評価基準、
大学における技術者教育の「分野別の到達目標」の設定に関する調査研究を行うため、
事業実施組織委員の情報共有、調査研究に資するアンケート及び
到達目標に対するパブリックコメントを実施します。

http://www.engineer-edu.jp/

実践的な技術者教育に携わる皆様

～ パブリックコメント募集のご案内およびご協力のお願い ～

文部科学省 先導的大学改革推進委託事業 「技術者教育に関する分野別の到達目標の設定に関する調査研究」の背景となったのは，膨大となり，細分化されると同時に，学際領域や複合領域が生まれつつある工学の知識と技術の量を，共通/専門分野別に整理するとともに，実践的な技術者教育のあり方についての議論に基づき，工学に対する社会のニーズの変化に対応して，工学系の学生が教育内容として履修し，到達すべき目標を提示することが求められているという現状でした．

本調査研究では，「大学における実践的な技術者教育のあり方に関する協力者会議報告（平成22年6月）」に基づき，産業界，学協会，大学関係者などから意見を聞き，多様なカリキュラム環境である各大学に使いやすく柔軟な構造を有する分野別到達目標（共通的な到達目標を含む）の調査を行い，平成22年度では，分野別の共通部分の到達目標のとりまとめを終え，平成23年度には，共通部分の到達目標の見直しを図るとともに，平行して，工学の基幹分野別の到達目標のとりまとめと，パブリック・コメントの募集を進めていく予定です．

この度WEBサイトを開設し，昨年度に取りまとめた「分野別の到達目標（共通的到達目標を含む）」を，大学の工学系学部・学科，学協会，産業界など社会に開示し，パブリック・コメントの募集を開始いたしました．

幅広く一般からも継続的に意見を募り，それらの意見を考慮することにより，公平性の確保と透明性の向上を図り，使いやすい分野別の到達目標（共通的到達目標を含む）の設定促進に反映していく所存であります．

本事業の趣旨を十分にご理解いただき，周辺の方々にも広く周知いただきまして，数多くのパブリック・コメントにつながりますように，ご協力，ご支援を賜れれば，大変幸いに存じます．

パブリック・コメント募集WEBサイト　URL：
http://www.engineer-edu.jp/

コメント募集期間　平成23年8月26日（金）15時まで

平成23年7月

平成22・23年度 文部科学省先導的大学改革推進委託事業
代表者
千葉大学大学院工学研究科 教授　　野　口　　博



共通部分の到達目標と配慮事項を Web にて公開するとともに、パンフレットを作成し
到達目標の構成や設定の方法や意図を説明、幅広く意見を求めた。



実践的な技術者教育の分野別の到達目標に盛り込むべき主な内容，留意点

(イ) 知識・理解

この知識・理解には，分野別の共通部分としては，基礎としての数学，自然科学(物理，化学，情報リテラシー)，工学基礎を含まれ，また，分野別では，分野で特有の 数学，自然科学(物理，化学，情報リテラシー)，工学基礎，専門基礎や専門工学が含まれる．

(ロ) 汎用的能力，態度・志向性，総合的な学習経験と創造的思考力

汎用的能力(応用的能力)，態度・指向性(道徳的能力)，総合的な学習経験と創造的思考力の養成方法については，定型化された科目で養成するものではなく，多様な要請方法が想定しうるので大学での先導的良好事例を調査し，整理．

(ハ) (ロ)を踏まえた，実践的な技術者教育の分野別の到達目標
(分野共通部分)

「分野別の到達目標」の設定方法

①実践的な技術者教育の「分野別の到達目標」は，大学における技術者教育修了生の共通的な到達目標(最低限の基準)を示すもので，各大学が編成するカリキュラムの参考となるものである．現在，到達目標としては，より柔軟な活用方法を目指し，最低基準に加えて，好ましいレベルの到達目標の設定も検討中．

②実践的な技術者教育の特質上，実践的な技術者教育の「分野別の到達目標」は，各技術分野に共通する部分と技術分野ごとに異なる部分とによって構成される(技術分野ごとには，専門工学も含む)枠組みを示す．

③「分野別の到達目標」を踏まえ，各大学はそれぞれ，自らの教育方針に基づき，学生が履修すべきカリキュラムの内容(広がり，深さ)を明確にする．

④【Ⅰ 知識・理解】の項では，科目名を示し，それぞれ学生の到達すべき学習成果を，その内容，水準が明らかになるよう留意しつつ，点検可能な行動特性の形式で「到達目標」に示す．その際，個別の知識がどのように役立つのか，その知識の意味を歴史・社会・自然と関連付けて体系的に理解するための配慮事項を，「学修に当たっての配慮事項」に示す．

⑤ 分野共通的な横串としての【Ⅱ 汎用的技能】【Ⅲ 態度・志向性】【Ⅳ 総合的な学習経験と創造的思考力】は，【Ⅰ 知識・理解】と関連するものの，定型化された科目で養成されるものではなく多様な養成方法が考えられるため，科目名は示さず，学生の到達すべき学習成果を「○○することができる」といった点検可能な行動特性の形式で「到達目標」に示す．また，「学修に当たっての配慮事項」にいくつかの養成方法の事例を示す．

分野別の共通部分 項目一覧

	項　目
数　学 (4項目)	微分積分
	線形代数
	常微分方程式
	確率・統計
物　理 (5項目)	力学
	電磁気学
	熱学・統計力学
	特殊相対論
	量子力学
化　学 (5項目)	原子の構造
	化学結合の仕組み
	化学反応と反応速度
	無機化合物と有機化合物
	物質の状態
情報リテラシー (3項目)	情報の基礎
	情報ネットワーク
	アルゴリズム
工学基礎 (5項目)	基幹工学の基礎
	工学基礎実験・計測
	数値解析
	科学技術英語
	技術者倫理
汎用的技能 (応用的能力) (5項目)	コミュニケーションスキル
	数量的スキル
	情報リテラシー
	論理的思考力
	課題発見解決力
態度・志向性 (道徳的能力) (7項目)	自己管理力
	チームワーク
	リーダーシップ
	倫理観
	市民としての社会的責任
	チャンスを生かす能力
	生涯学習力
総合的な学習経験と 創造的思考力 (創成能力) (1項目)	創成能力

１－②専門分野に関するパブリックコメント募集

意見募集期間　　H23 年 12 月 20 日～H24 年 1 月 17 日

技術者教育に関する 分野別の到達目標の設定に関する 調査研究

- 文部科学省　平成22，23年度先導的大学改革推進委託事業　-
大学における技術者教育の「分野別の到達目標」の設定に関し，工学の基幹分野の到達目標の原案に対するパブリックコメントを実施します。
なお、分野別の共通部分については7-8月に公募したパブリックコメントにいただいたご意見を反映させた見直し案を掲載いたしました。

実践的な技術者教育に携わる皆様

～ パブリックコメント募集のご案内およびご協力のお願い ～

文部科学省 先導的大学改革推進委託事業 「技術者教育に関する分野別の到達目標の設定に関する調査研究」の背景となったのは，膨大となり，細分化されると同時に，学際領域や複合領域が生まれつつある工学の知識と能力を，共通/専門分野別に整理するとともに，実践的な技術者教育のあり方についての議論に基づき，工学に対する社会のニーズの変化に対応して，工学系の学生が教育内容として履修し，到達すべき目標を提示することが求められているという現状でした.

本調査研究では,「大学における実践的な技術者教育のあり方に関する協力者会議報告（平成22年6月）」に基づき，多様なカリキュラム環境である各大学に使いやすく柔軟な構造を有する分野別到達目標（共通的な到達目標を含む）の調査を行い，分野の共通部分の到達目標パブリックコメントに引き続き,この度「分野別の到達目標」を,大学の工学系学部・学科,学協会,産業界など社会に広く開示し,パブリック・コメントの募集を開始いたしました.

本事業の趣旨を十分にご理解いただき,周辺の方々にも広く周知いただきまして,数多くのパブリック・コメントにつながりますように,ご協力,ご支援を賜れれば,大変幸いに存じます.

サイトイメージ



パブリック・コメント募集WEBサイト　URL：

http://www.engineer-edu.jp/

コメント募集期間　平成24年1月17日（火）15時まで

平成23年12月

平成22・23年度文部科学省先導的大学改革推進委託事業 代表者
千葉大学大学院工学研究科 教授　　野　口　博

専門分野の到達目標とともに、科目間関連図も掲載し、意見を求めた。

掲載資料の位置づけ

専門分野別の到達目標については，技術者教育において育成すべき知識・能力と，その到達目標の一覧表を作成した．
(サンプルとして各能力の目標到達度一覧表【機械分野】を掲載)

この一覧表の育成すべき知識・能力は，

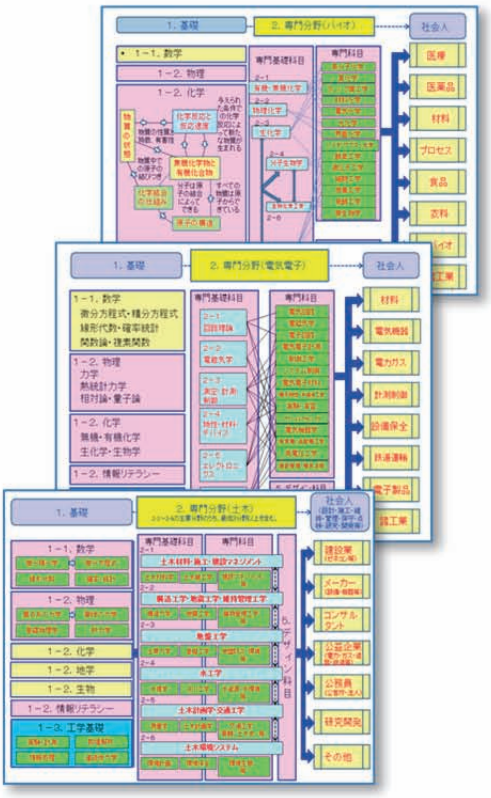
1. 基礎
2. 専門分野
3. 汎用的技能(応用的能力)
4. 態度・志向性(道徳的能力)
5. 総合的な学習経験と創造的思考力

から成るが，これらの項目はTuning Texas，ABET，JABEE，国際工学連盟(International Engineering Alliance，IEA)の卒業生属性(Graduate Attributes)等の国際標準的な基準の項目とは資料「各種基準における目標の対応表」に示すようにほぼ対応し，国際的な担保が得られるものと考えられる．

一覧表の到達目標では，「コア」と「要望」の二つのレベルを設定した．「コア」とは，基礎的で必修的な目標であり，「要望」は選択的なより高度なレベルの目標である．

専門分野別の到達目標と学修に当たっての配慮事項は，当面は表形式と箇条書きの2種類を掲載するが，最終報告書としては統一していく予定である．
なお，到達目標の科目の位置づけを理解する参考のために，科目間の関連を示す図を作成した．

科目間関連図



各種基準における目標の対応表

別表－1　本研究の目標と他の基準項目の比較

	Tuning Texas の学習目標 (ABETのCriteria1 対1に対応)	ABETのCriteria	JABEE 2012年基準	Int. Engng. Alliance の Graduate Attribute	技術者教育に関する分野別の到達目標 (本調査研究)
1	Mathematics, Science & Engineering	(a)数学,科学,工学の知識の応用能力	(c)数学，基礎科学 (d)専門応用	1 工学知識	数学，物理，化学，情報リテラシー，工学基礎(基幹工学の基礎，数値計算) 専門分野
2	Experiments	(b)実験を計画・実施し，得られたデータの解釈・分析をする能力	(d)工学リテラシー	4 調査・研究	工学基礎(工学基礎実験・計測)
3	System Design (デザイン作業の後半：解の設計)	(c)各種制約下でニーズに合致するシステム要素,プロセスのデザイン能力	(e)デザイン能力	3 工学デザイン/問題解決	社会人基礎力(創成能力)
4	Multidisciplinary Teams	(d)学際的なチームでの活動能力	(i)チーム活動能力	9 個人およびチームワーク	社会人基礎力(チームワーク，リーダーシップ)
5	Engineering Problems (デザイン作業の前半：問題特定，プロマネ)	(e)工学的問題の特定・定式化・解決能力	(d)専門応用 (e)デザイン能力 (h)プロマネ	2 課題分析 11 プロマネと財務	社会人基礎力(論理的思考力，課題発見解決力(プロマネを含む))
6	Professinal and Ethical Responsibility	(f)職業的・倫理的責任の理解	(b)倫理	8 倫理	社会人基礎力(倫理感)
7	Communication	(g)効果的コミュニケーション能力	(f)コミュニケーション	10 コミュニケーション	工学基礎(科学技術英語のみ) 社会人基礎力(コミュニケーションスキル)
8	Global Inpact of Engineering Solution	(h)工学的解決が地球/経済/環境/社会に及ぼす影響の理解に必要な幅広い教育	(b)社会的責任	7 環境と持続性	社会人基礎力(技術者ならびに市民としての社会的責任，創成能力)
9	Life-long Learning	(i)生涯学習の必要性と，そのための必要能力の認識	(g)自主的・継続学習	12 生涯継続学習	社会人基礎力(生涯学習力，自己管理力)
10	Contemporary Issues	(j)現代の課題に関する知識	(a)地球的視点	6 技術者と社会	社会人基礎力(技術者ならびに市民としての社会的責任)
11	Engineering Tools (工学リテラシー)	(k)工学問題解決に必要な技術，技能，各種の新しい工学ツールを使える能力	(d)工学リテラシー	5 最新のツールの活用	工学基礎(工学基礎実験・計測)

パブリックコメント募集の趣旨

工学の知識と能力を，専門分野毎に異なる部分と共通する部分に分けて整理するとともに，実践的な技術者教育のあり方についての議論に基づき，工学に対する社会のニーズの変化に対応して，工学系の学生が大学での教育内容として履修し，到達すべき目標を，必修的な「コア」と選択的でより高度なレベルの「要望」に分けて，「分野別の到達目標」として提示する．

「分野別の到達目標」は，各大学のカリキュラムの編成・実施の中に有機的に盛り込まれることで，実践的な技術者教育の一定の水準を確保することにつながる．各大学が，この「分野別の到達目標」を参照し，理念・状況に即した自らの教育方針に基づき，学生が履修すべきカリキュラムの内容(広がり，深さ)を明確にし，独自の教育課程編成を行うことを支援する．

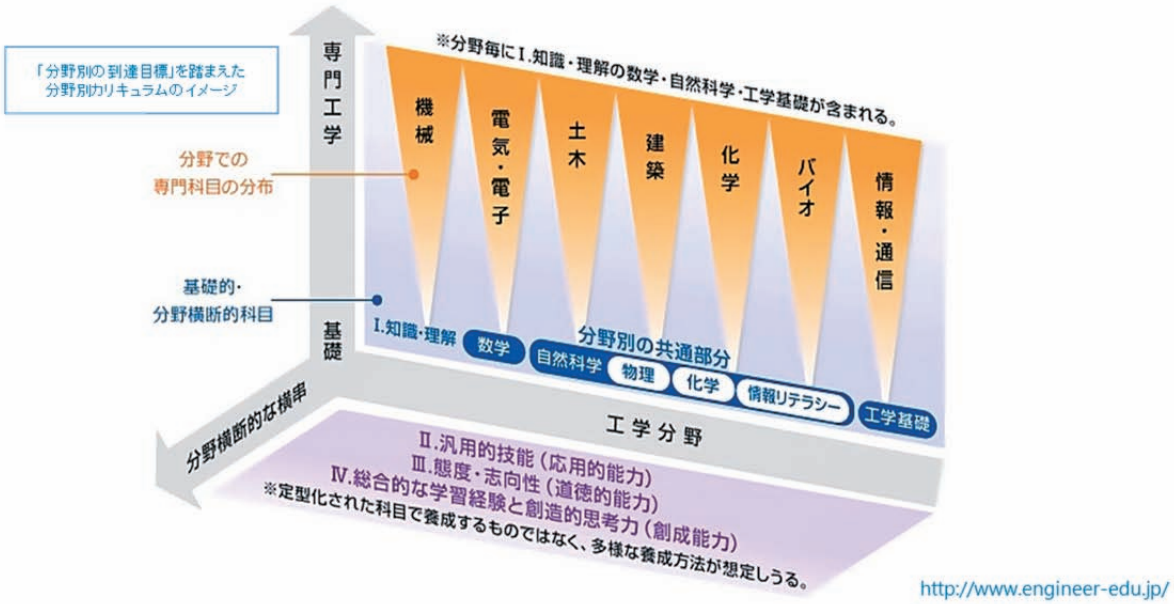
このパブリックコメントの募集では，「分野別の到達目標」に関して広く一般から意見を募り，それらの意見を考慮することにより公平さの確保と透明性の向上を図り，大学にとって，より使いやすい「分野別の到達目標」の設定に反映していく．

見直し案の掲載

7－8月の「分野別共通部分の到達目標」に関するパブリックコメント募集では，沢山のご意見を頂き有り難うございました．
ご意見を反映した見直し案を掲載しました．(12月20日更新)
なお，一部の検討・修正作業は現在も継続中であり，修正が終了したものから順次更新して行きます．

分野別到達目標の 項目一覧

機械	基礎力学(a-d)
	機械材料・機械要素
	加工・生産
	制御・メカトロニクス
	製図・デザイン
	機械システム
電気・電子	回路理論
	電磁気学
	測定・計測・制御
	物性・材料・デバイス
	エレクトロニクス
	電気エネルギー工学
建築	計画
	歴史意匠
	環境
	構造
	構法・施工
土木	土木材料・施工・建設マネジメント
	構造工学・地震工学・維持管理工学
	地盤工学
	水工学
	土木計画学・交通工学
	土木環境システム
化学	有機化学
	無機化学
	物理化学
	分析化学
	化学工学
	反応工学
バイオ	有機・無機化学
	物理化学
	生化学
	分子生物学
	細胞・微生物学
	生物化学工学
情報・通信	情報に関する基礎数学(A1)
	通信に関する基礎数学(A2)
	プログラミング(C)
	セキュリティ(D)
	ネットワーク(E)
	コンピュータシステム【情報】(F1)
	コンピュータシステム【通信】(F2)
	情報基礎(B1)
	情報基礎(B2)



http://www.engineer-edu.jp/

2. 報告書などの活動成果の情報発信サイトの紹介

http://hneng.ta.chiba-u.jp:8080/



報告書を pdf ファイルで閲覧・ダウンロードできる。



目次のページでは、報告書の章毎，または科目別に，pdf ファイルで掲載資料を閲覧できる.

Ⅲ. 調査研究会議開催状況

平成22年度　全体会議

第1回

1. 日　時　　平成22年11月5日（金）　14時00分　～　17 時00分
2. 場　所　　キャンパス・イノベーションセンター（東京）多目的室3
3. 議　事
   （1）調査研究の概要について
   （2）調査研究の今後の日程（概要）について
   （3）執筆者の分担について
   （4）学協会等との連携について
   （5）アンケートについて
   （6）外部有識者について
   （7）Webサイト等について

第2回

1. 日　時　　平成23年1月27日（木）　13時30分　～　17時30分
2. 場　所　　東京ステーションコンファレンス　602A　（6階）
3. 議　事
   （1）第1回全体会議における意見等の確認について
   （2）アンケートについて
   （3）分担について

第3回

1. 日　時　　平成23年3月1日（火）　　13時30分　～　16時30分
2. 場　所　　東京ステーションコンファレンス　605A　（6階）
3. 議　事
   （1）各分野における集計項目（案）について
   （2）報告書作成について
   （3）今後の進め方について

第4回　　※東北地方太平洋沖地震の影響により開催中止

1. 日　時　　平成23年3月16日（水）　13時30分　～　16時30分
2. 場　所　　東京ステーションコンファレンス　402C　（4階）
3. 議　事
   （1）報告書（案）について

平成23年度全体会議

第1回

1. 日　時　　平成23年6月10日（金）　13時30分　～　16時30分
2. 場　所　　東京ステーションコンファレンス　503C　（5階）
3. 議　事
   （1）中間成果報告書について(報告)
   （2）共通分野の到達目標の見直しについて
   （3）専門分野の学習到達目標の在り方と作成方法について
   （4）パブリックコメント募集WEBサイトについて

第2回

1. 日　時　　平成23年8月30日（火）　13時30分　～　17時30分
2. 場　所　　東京ステーションコンファレンス　605A　（6階）
3. 議　事
   （1）パブリックコメント募集サイト　成果報告等について
   （2）WEBアクセス・アンケートシステムの活用について
   （3）共通部分の見直し状況について
   （4）分野別到達目標のたたき台について

第3回

1. 日　時　　平成23年10月24日(火)　13時30分　～　16時30分
2. 場　所　　東京ステーションコンファレンス　605A　(6階)
3. 議　事
   (1)各分野における到達目標の原案の策定状況について
   (2)報告書作成に向けた共通テンプレート案について
   (3)知識・能力の一覧表の共通表現等について
   (4)パブリックコメント募集サイトでの公開資料準備について
   (5)文科省への説明訪問と頂いたご意見の報告
   (6)今後の全体のスケジュールと計画についての確認

第4回

1. 日　時　　平成23年12月5日(月)　13時30分　～　16時30分
2. 場　所　　東京ステーションコンファレンス　402C　(4階)
3. 議　事
   (1)パブリックコメント募集サイトへの掲載資料の確認【専門分野】
   (2)パブリックコメント募集サイトへの掲載資料の確認【共通部分】
   (3)パブリックコメント募集の周知に関する広報について

第5回

1. 日　時　　平成24年3月6日(火)　13時30分　～　16時30分
2. 場　所　　東京ステーションコンファレンス　402C　(4階)
3. 議　事
   (1)最終報告書作成について
      ①導入部・背景や意図説明について
      ②各章毎の執筆担当の分担確認
      ③共通分野の策定状況の確認
      ④専門分野の策定状況の確認と共通表現や統一事項の確認
      ⑤社会人基礎力の策定状況と検討
      ⑥付録について
   (2)各原稿の取りまとめと作成締切について
   (3)情報発信WEBサイトについて

コアメンバー会議

1. 日　時　　平成23年7月6日(水)　14時00分　～　16時00分
2. 場　所　　東京ステーションコンファレンス　401　(4階)
3. 議　事
   (1)到達目標の性格づけ、レベルについて
   (2)共通部分(数学、物理等)の専門分野別の違いについて
   (3)パブリックコメント募集の周知・広報について
   (4)共通部分の到達目標の見直しの方法について
   (5)分野別の到達目標のたたき台の作成方法について
   (6)到達目標作成後の戦略について

取りまとめ責任者会議

第１回

1. 日　時　　平成23年9月20日(月)　13時30分　～　16時30分
2. 場　所　　東京ステーションコンファレンス　402C　(4階)
3. 議　事
   (1)今後の進め方とまとめ方について
   (2)到達目標の設定方針について
   (3)分野別の各学科毎の到達目標のたたき台について
   (4)共通分野の見直しについて

第2回

1. 日　時　　平成23年11月14日（月）　9時30分　～　11時30分
2. 場　所　　東京ステーションコンファレンス　602A　（6階）
3. 議　事
   （1）各専門分野毎の到達目標原案策定状況について
   （2）到達目標と配慮事項/知識・能力の一覧表/科目間関連図
   （3）共通分野の到達目標と配慮事項の取りまとめ状況について
   （4）パブリックコメント募集サイトの公開準備について
   （5）WEB掲載資料の準備依頼と締切について

第3回

1. 日　時　　平成23年2月13日（月）　13時30分　～　16時30分
2. 場　所　　東京ステーションコンファレンス　402A　（4階）
3. 議　事
   （1）専門分野　各分野ごとのパブリックコメントへの対応について
   （2）共通分野　到達目標と配慮事項の最終取りまとめ状況について
   （3）最終報告書の内容（目次案）の検討
   （4）日本学術会議への説明とご意見の報告

共通原案（雛形）作成会議

1. 日　時　　平成23年11月4日（金）　9時30分　～　11時30分
2. 場　所　　東京ステーションコンファレンス　403　（4階）
3. 議　事
   （1）到達目標と配慮事項及び知識・能力の一覧表のひな形の策定
   （2）社会人基礎力に関する関連図の検討
   （3）学習能力の達成水準指標とブルームタキソノミーについて

担当者会議

化学・バイオ分野担当者会議

1. 日　時　　平成23年10月11日（火）　15時30分　～　17時30分
2. 場　所　　キャンパスイノベーションセンター　OPスペース
3. 議　事
   （1）共通分野の科目間関連図について
   （2）共通分野の化学の到達目標の検討
   （3）化学・バイオ分野に関する到達目標の一覧表のたたき台について

電気・電子分野担当者会議

1. 日　時　　平成23年11月2日（水）　13時30分　～　16時30分
2. 場　所　　東京ステーションコンファレンス　403　（4階）
3. 議　事
   （1）電気電子分野のカリキュラム毎到達目標（コアおよび要望事項）の検討
   （2）科目間関連図素案の検討
   （3）「知識・能力の一覧表」素案を作成。

情報・通信分野担当者会議

1. 日　時　　平成23年11月5日（土）　13時30分　～　16時30分
2. 場　所　　東京ステーションコンファレンス　403「　（4階）
3. 議　事
   （1）情報分野の到達目標（コアおよび要望事項）について検討
   （2）知識・能力の一覧表の素案作成と検討

バイオ分野担当者会議

1. 日　時　 平成23年11月7日（月） 15時00分 ～ 17時00分
2. 場　所　 東京ステーションコンファレンス 403 （4階）
3. 議　事
   （1）バイオ分野の到達目標（コアおよび要望事項）について検討
   （2）知識・能力の一覧表の素案作成と検討報告書（案）について
   （3）科目間関連図素案の検討

IEA, Graduate Attributes and Professional Competencies 翻訳ワーキンググループ会議

第１回

1. 日　時　 平成23年12月15日（木） 10時00分 ～ 12時00分
2. 場　所　 東京ステーションコンファレンス 403 （4階）
3. 議　事
   （1）翻訳の方向性について
   （2）作業の役割分担とタイムスケジュールについて

第2回

1. 日　時　 平成24年2月13日（月） 10時30分 ～ 12時30分
2. 場　所　 東京ステーションコンファレンス 403 （4階）
3. 議　事
   （1）キーワード試訳の検討
   （2）和訳完成後の公開について
   （3）和訳の作成と公開に関するIEAからのメッセージについて

第3回

1. 日　時　 平成24年3月6日（火） 9時30分 ～ 11時30分
2. 場　所　 東京ステーションコンファレンス 401 （4階）
3. 議　事
   （1）全文の試訳についての訳文検討・確認②

翻訳会議

1. 日　時　 平成24年2月19日（日） 10時00分 ～ 18時00分
2. 場　所　 中央合同庁舎第7号館（文部科学省）・東館6F第3会議室
3. 議　事
   （1）全文の試訳についての訳文検討・確認①

翻訳会議

1. 日　時　 平成24年3月12日（月） 10時00分 ～ 18時00分
2. 場　所　 中央合同庁舎第7号館（文部科学省）・東館6F第2特別会議室
3. 議　事
   （1）表部分の訳文検討・確認③

文部科学省平成２２，２３年度　先導的大学改革推進委託事業
技術者教育に関する分野別の到達目標の設定に関する調査研究
関連資料掲載 Web サイトＵＲＬ

http://hneng.ta.chiba-u.jp:8080/

千葉大学