

## 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

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.専門分野	当該分野の知識と概念を工学問題に適用できる。		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。	
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、自己管理能力、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。		技術者倫理の基本原則を用いて実務の場での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。	

## (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，自己管理能力，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 Competencies (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 of Graduate 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	Professional 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 Impact 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、自己管理能力
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。

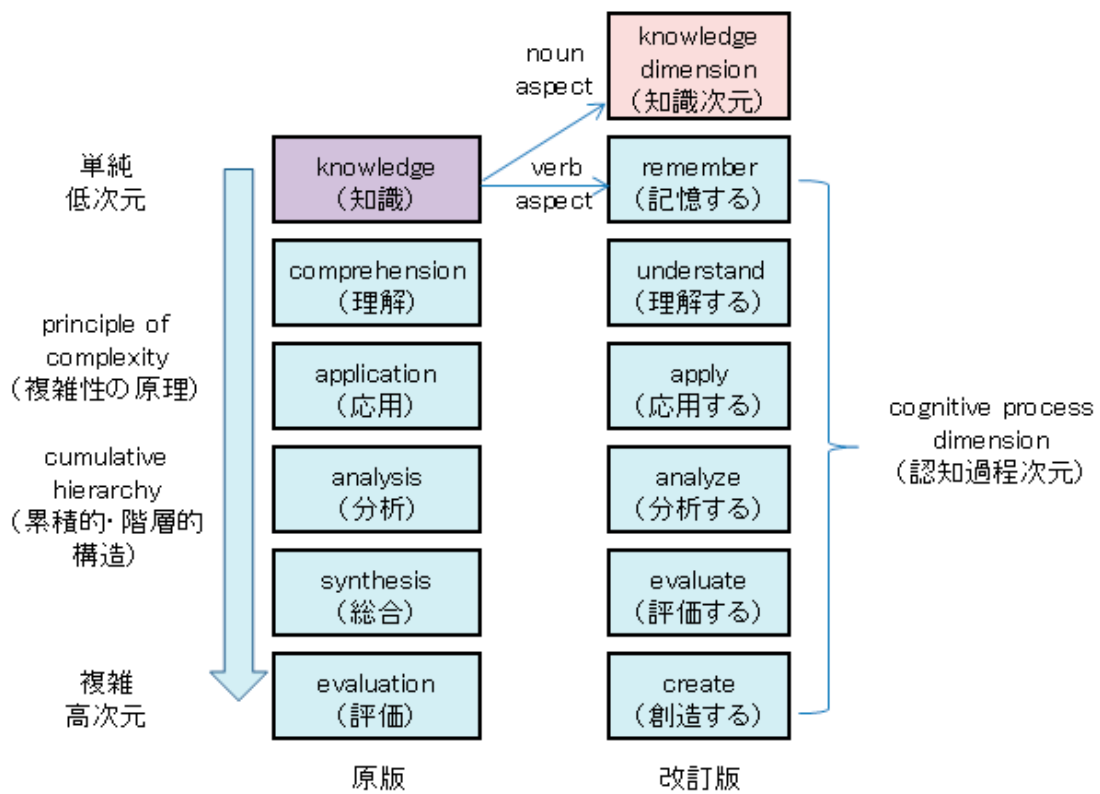


図4-1 改訂版ブルーム・タキソミー

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(infering)	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，自己管理能力， 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。



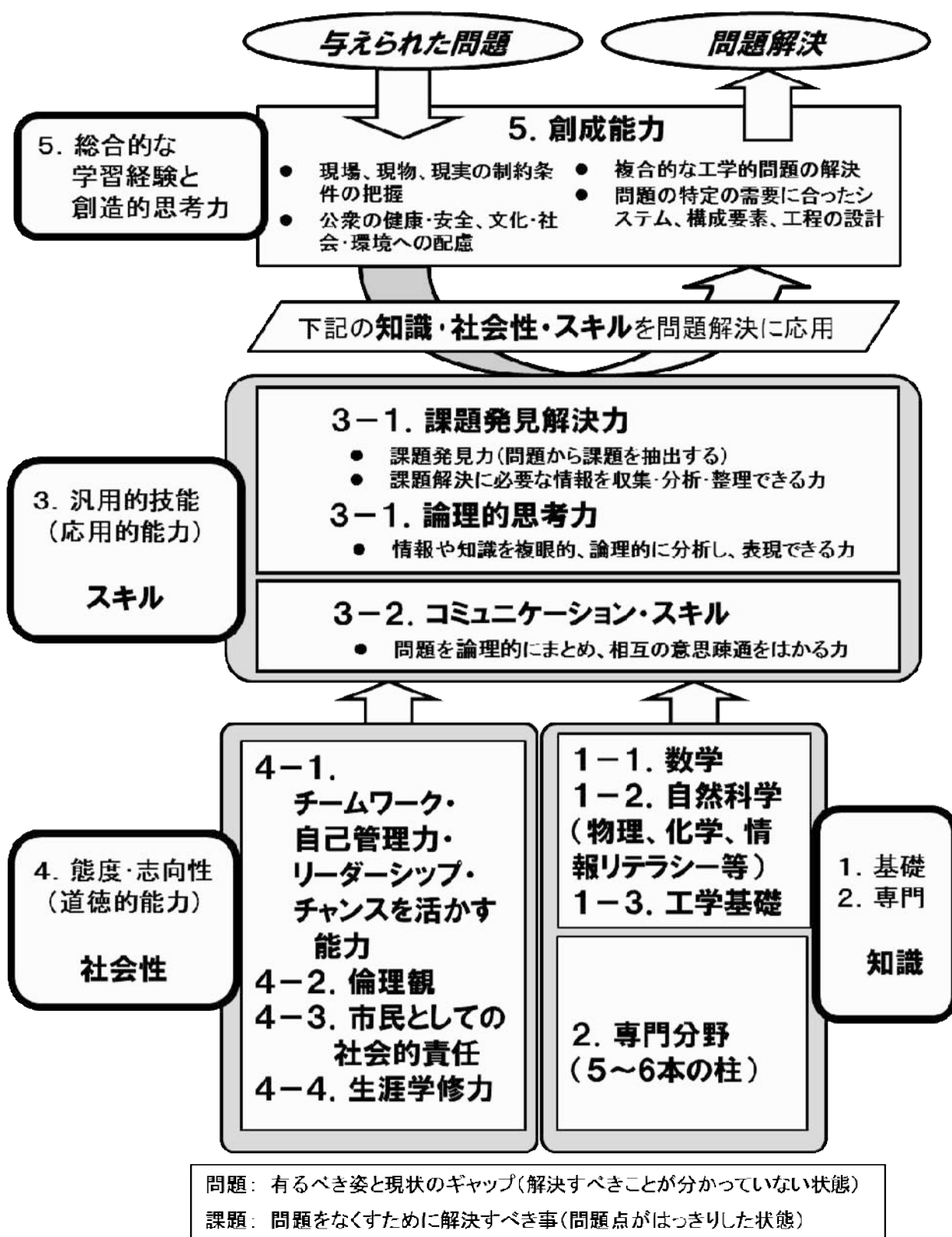


図4-2 技術者教育において育成すべき知識・能力の相互関係

#### 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性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。