

## 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應する能力について、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・タク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。

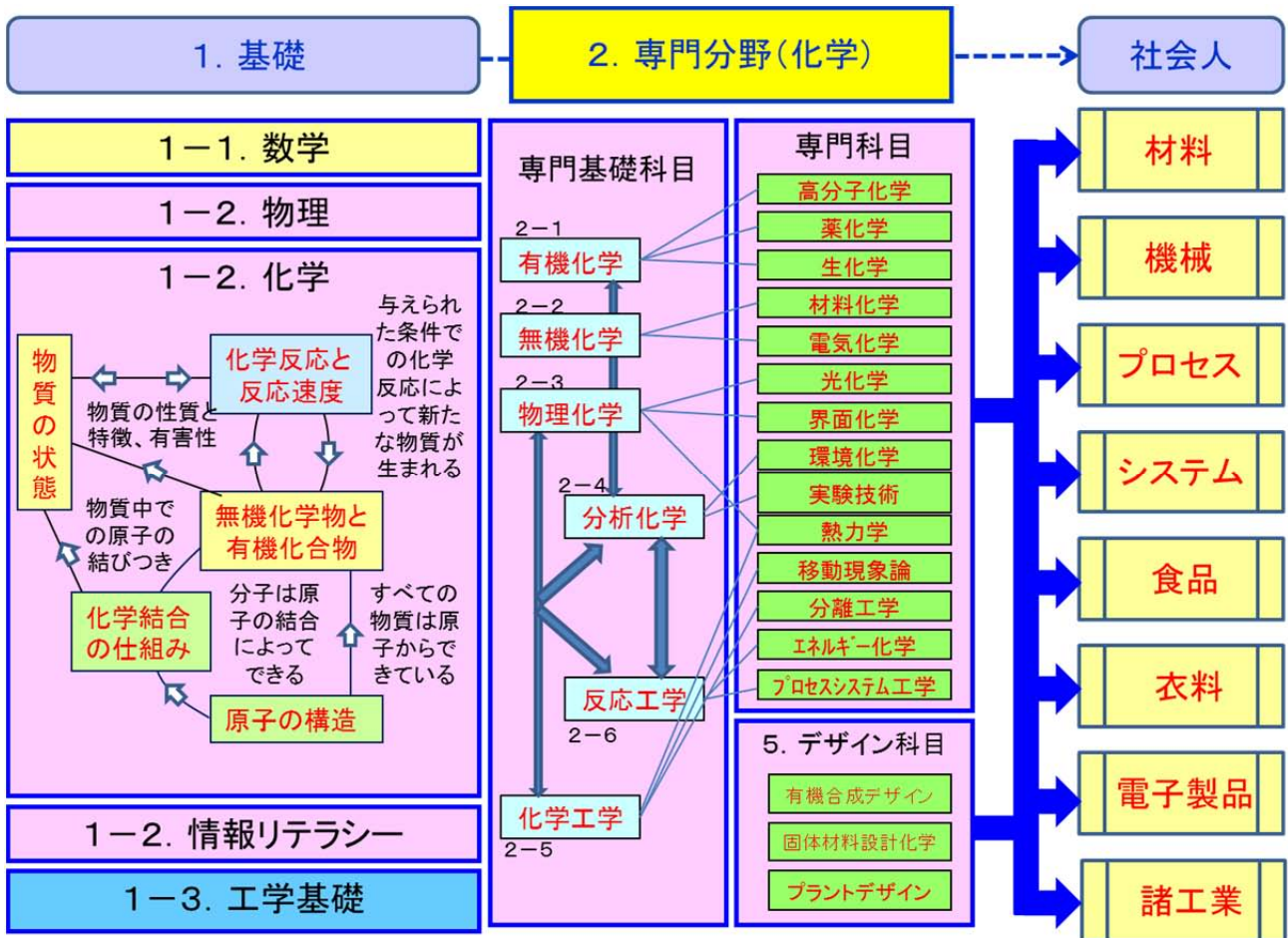


図 6-5 化学分野科目間関連図

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)

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。
	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)		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。
	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。
2.専門分野	2-1.有機化学	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。	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。
	2-2.無機化学	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。	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。
	2-3.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。
	2-4.分析化学	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。	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。
	2-5.化学工学	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。	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。
	2-6.反応工学	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。	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。
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。	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。
	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。
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。 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。	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。
	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。 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・環境などについての考慮を実務の場に応用し、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。
	4-4.生涯学習力	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。	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応用し、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。
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。

### 6-5-3. 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 $\sigma$ 結合と $\pi$ 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。 $sp^3$ ,  $sp^2$ ,  $sp$  の混成軌道の概念および共有結合を理解できるように配慮できる。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 $SN_1$ ,  $SN_2$ 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 $SN_1$ ,  $SN_2$ 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る、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态を理解できる。

### 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态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, 固体の電氣的・磁氣的性質, 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、固体の電氣的、磁氣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。