

報 告

大学教育の分野別質保証のための
教育課程編成上の参照基準
化学分野



平成31年（2019年）2月21日

日 本 学 術 会 議

化学委員会

化学分野の参照基準検討分科会

この報告は、日本学術会議化学委員会化学分野の参照基準検討分科会の審議結果を取りまとめ公表するものである。

日本学術会議化学委員会化学分野の参照基準検討分科会

委員長	川合 眞紀	(連携会員)	自然科学研究機構分子科学研究所所長
副委員長	西原 寛	(連携会員)	東京大学大学院理学系研究科化学専攻教授
幹 事	竹内 孝江	(連携会員)	奈良女子大学大学院自然科学系准教授
	君塚 信夫	(第三部会員)	九州大学大学院工学研究院教授
	菅原 洋子	(第三部会員)	北里大学名誉教授
	栗原 和枝	(連携会員)	東北大学未来科学技術共同研究センター教授
	後藤 雅宏	(連携会員)	九州大学大学院工学研究院教授
	澤本 光男	(連携会員)	中部大学総合工学研究所、京都大学産官学連携本部特任教授、京都大学名教授
	寺嶋 正秀	(連携会員)	京都大学大学院理学研究科教授

本報告の作成にあたり、第23期に分科会委員として以下の方にご協力をいただいた。

大野 公一 NPO量子化学探索研究所理事長・研究所長、東北大学名誉教授

本報告の作成にあたり、以下の職員が事務を担当した。

事務局	犬塚 隆志	参事官(審議第二担当)
	高橋 和也	参事官(審議第二担当)付参事官補佐
	中西 陽紀	参事官(審議第二担当)付審議専門職付

要 旨

1 作成の背景

日本学術会議は、2010年7月に「大学教育の分野別質保証の在り方について」を取りまとめ、同年8月に文部科学省に手交した[1]。ここでは、分野別質保証のための方法として、分野別の教育課程編成上の参照基準を策定することが提案された。日本学術会議では、参照基準の策定のための審議を進め[2]、化学分野については、2013年5月に日本学術会議第三部化学委員会の下に「化学分野の参照基準検討分科会」を設置し、審議を開始した。本報告は、この分科会の審議結果をまとめたものである。

2 報告の内容

(1) 化学の定義

化学は、物質の構造・性質・反応を原子・分子レベルで理解するとともに、原子・分子を操作して物質変換や新物質合成を行う自然科学の1分野であり、原子の性質や特徴を理解し、化学結合や分子の構造、反応性を明らかにすることで発展してきた。化学が扱う状態は孤立した原子や分子のみでなく、集団状態がとる相としての固体、液体、気体などであり、混合物である溶液なども含まれる。化学は、それらの構造や性質、及び相互関係を明らかにするとともに、その統一・体系化を図っている。

化学は理学、工学、医学・薬学、農学分野などの学問分野のみならず、社会の様々なところにまで浸透しており、現在の生活は化学の大きな恩恵に浴している。それとともに、化学には物質の安全性や環境への影響に対する評価、また環境保護技術の開発をはじめ、人類や社会の持続性に配慮したより広範な展開が求められている。

(2) 化学固有の特性

化学が対象とする物質群は、各種の気体分子、機能性有機・無機材料、半導体やナノ粒子、更にはタンパク質・核酸などに代表される生体高分子まで極めて多様である。また、物質の機能発現や材料の創製には、構成単位の化学構造のみならず、分子間相互作用や集合・組織化状態を制御することが有効であり、目的とする機能に適した組織構造を設計・構築することも化学の重要な特性である。更に、化学は、医療分野、農業分野、食品から地球規模のエネルギー問題、環境問題などと深く関わり、日常生活や産業活動に大きく寄与する。化学工学、工業化学的な展開と営為を介して、「持続可能な社会の構築」に向けた新しい科学技術や産業の発展の基盤として人類の繁栄と社会の進歩に貢献しうる。原子や分子に関わる化学法則は、自然現象を科学的に理解するために必要不可欠であり、化学は他の基礎科学分野や応用学術領域の基幹をなす。他の学問分野との協働を通して多くの社会的要請に応えることが可能である。

(3) 化学を学ぶすべての学生が身につけることを目指すべき基本的な素養

化学の学びを通じて獲得すべきことの基本は、「物質」を科学的な視点で捉えることにある。物質の多様性を包括的に把握し物質の形態や振る舞いの基本的な仕組みを理解すること、測定法や解析方法を基礎原理に基づいて理解し物質の構造・機能を解明するために利用できる素養を培うこと、物質を有効かつ安全に利用するための知識や技能の基本を習得すること、更に物質の設計・合成並びに機能評価ができる実践力を身につけることが重要である。以上の観点から、本参照基準では、化学を専門としない者も含め、化学を学ぶすべての学生が身につけることを目指すべき基本的な素養として、1) 物質の種類や形、性質などの科学的な見方、2) 生物の構成要素や生命活動の分子やイオンを基本とした捉え方、3) 他の自然科学（物理学、生物学、地球科学、天文学など）との関わり、4) 人工物質を設計、創製するための化学反応、5) 人類の歴史と化学との関係、6) 環境、エネルギー、資源、医療、情報など人類の未来を支える化学、の6つを提示した。次に、それらの素養を得るために必要な化学の知識や理解項目を分類して18の事柄に整理した。これらの事柄の知識や理解と、6つの基本的な素養との関係、並びに大分類である物理化学、分析化学、無機化学、有機化学、生化学、あるいは純正化学、応用化学、化学工学との関係を明示した。

(4) 学修方法及び学修成果の評価方法に関する基本的な考え方

化学の学びは、講義や書物を通して知識や理解を獲得するだけではなく、実験や実習、演習などによって行われる。特に課題研究などの能動的学修を通して、課題抽出能力、論理的思考力、課題解決能力、情報収集能力、解析力、判断力、創造力、発表力、議論する能力を身につけることができる。学修成果の評価は、それぞれの勉学方法の特性に応じて適切になされる必要がある。

(5) 専門性と市民性を兼備するための教養教育

化学は歴史的に社会に種々の影響を与え、現代の快適な生活を支えている。一方、環境汚染問題など、負の効果をもたらした例も存在する。この様な場合の問題解決にも、化学の知識と技術の活用が有効なことが実証されている。大学の教養教育としての化学では、化学現象が電子構造により統一的に説明できることを定性的に理解させること、更に熱力学、化学反応論などの関連分野の現象の理解の基礎となる領域を教授することが望ましい。また、化学を専攻する学生に対しては、文章を正確に読みこなす力、記載内容を論理的に理解する力、自らの考えを表現する力の育成が不可欠である。社会の仕組みを学ぶ上で自然科学以外の教養教育や、境界領域の科学の基礎知識の取得も不可欠である。

目 次

1	はじめに.....	1
	(1) 大学における化学教育の現状と課題－中等教育や社会との接続.....	1
	(2) 本参照基準の扱いについて.....	1
2	化学の定義.....	3
3	化学の特性.....	5
	(1) 学問としての化学の特徴.....	5
	(2) 化学の対象と手法.....	5
	(3) 化学の役割.....	5
	(4) 他の諸科学との協働.....	6
4	化学を学ぶすべての学生が身につけることを目指すべき基本的な素養.....	7
	(1) 化学の学びを通じて獲得すべき6つの素養と基本的な能力.....	7
	(2) 獲得すべき知識と理解.....	8
	(3) 化学分野の分類との関係.....	13
5	勉学方法及び勉学成果の評価方法に関する基本的な考え方.....	14
	(1) 勉学を通じて身に着けることのできる基本的な能力.....	14
	(2) 勉学方法.....	14
	(3) 評価方法.....	17
6	専門性と市民性を兼備するための教養教育.....	18
	(1) 市民性の涵養と化学教育.....	18
	(2) 化学を専攻する学生への教養教育の必要性.....	18
	<参考文献>.....	20
	<参考資料1> 化学分野の参照基準検討分科会審議経過.....	22
	<参考資料2> 分子科学研究所所長招聘会議「化学の近未来：化学とAI・大学の質保証」.....	23

1 はじめに

(1) 大学における化学教育の現状と課題—中等教育や社会との接続

大学の教育は高等学校までの教育を引き継いでいるとともに、大学卒業後の社会や大学院での活動に必要な学識や能力を獲得させる役割を担う。したがって、中等教育や社会との接続が重要である。化学の教育は小学校で空気、水及び金属の性質を学ぶところから始まり、中学校では「理科」第1分野、高等学校では「化学基礎」と「化学」という科目で実施される。文系、理系を問わずほとんどの生徒が「化学基礎」までを履修し、理系の生徒の多くが「化学」を履修する。最近まで、中等教育の化学には暗記科目と言われるほど多くの科学的事象が含まれており、理科離れの要因とも言われていた。また、物質を対象とした実験で学ぶことが不可欠な自然科学であるにも関わらず、高等学校卒業までに化学実験の経験が少ない学生が多く、大学で基礎的な実験教育を行うことが不可欠であった。このような状況を改善すべく、初等中等教育の学習指導要領の改訂が行われ、実験や課題研究を通して継続的、段階的に思考力・判断力・表現力などを育成することが目標とされている。したがって、中等教育の変革と呼応して、大学における化学実験や課題研究は、高等学校と整然と接続した姿に改善していく必要がある。また、産業界からも学識だけでなく課題解決能力を十分に身につけた人材を育成して社会に輩出することが求められている。これらの観点から、大学における化学の専門教育はその内容と質を精査して、見直し、改善して向上させることが求められている。

(2) 本参照基準の扱いについて

高等教育を受ける誰もが身につけるべき素養としての化学に焦点をあてた本参照基準は、あらゆる大学における教養及び専門基礎の化学教育の課程編成時に考慮すべき事項を、昨今の化学のめざましい発展、及び現在並びに近未来の社会からの多様な要請も考量して提案するものである。

化学は、人間の生活に深く関わる学問分野である。例えば、身の回りにある建物や乗り物の素材から日用品に至るまで、鉄鋼をはじめとする金属、セメント、プラスチック、セラミックス、ガラス、紙、布など多くは化学的プロセスを経て得られた物質が使われている。また食材、医薬品、農薬、洗剤や染料など、その製造過程に化学的な反応や現象が用いられている製品も多い。自然食品や天然素材も化学的な構造や特性を知ることによって、それらを安心して生活に取り入れることができる。すなわち、化学の知識や理解が、社会生活を効率的に、安全に、また快適に過ごすために必須であると言っても過言ではない。更に、持続可能な社会に目を向けると、環境、エネルギー、資源、経済、医療福祉といった分野でも化学の力なしでは解決できない課題が山積している。言い換えると、自分自身の日常の生活だけでなく、子供たちや子孫の時代にわたる長期的な未来に対して、化学は大きな役割を担っており、その責任は極めて重い。したがって、化学に専門的に携わる研究者や技術者だけでなく、すべての人が化学を学び、社会のあらゆるとこ

ろに存在している物質、化学反応、化学現象を実感し、理解できる力を持つことが、人類の未来を開拓していくための不可欠な要素となっている。これが、取りも直さず、化学を修める社会的・職業的意義の基盤ともなっている。

本参照基準では、はじめに、化学を専門としない者も含め、化学を学ぶすべての学生が身につけることが望まれる素養として、1) 物質の種類や形、性質などに対する科学的な見方、2) 生物の構成要素や生命活動の分子やイオンを基本とした捉え方、3) 他の自然科学(物理学、生物学、地球科学、天文学など)との関わり、4) 人工物質を設計、創製するための化学反応、5) 人類の歴史と化学との関係、6) 環境、エネルギー、資源、医療、情報など人類の未来を支える化学の役割、の6項目を提示した。次に、それらの素養を得るために必要な化学の知識や理解を18の事柄に整理した。これらの知識や理解をどう組み合わせると、それぞれの素養を身につけることができるかの道筋も示した。これらの18の事柄は、従来の化学分野の分類と1対1で対応するものではないことから、カリキュラム策定時に生じるであろう、従来の分野との関係についての疑問に答えられるように、その関連についても項目を設けて記述した。

化学の学問の体系や特徴を改めて見直し、学士課程教育によって身につける基本的な素養を明示することで、高校の教員や生徒には高校教育の先にあるものを示し、企業などには化学の教育を受けた人材の活用の可能性を提示するといった形で、本参照基準が役立てられることを期待する。

2 化学の定義

化学は、物質の構造・性質・反応を原子・分子レベルで理解するとともに、原子・分子を操作して物質の変換や新物質の合成を行う自然科学の1分野である。

化学の対象は広範にわたり、遠く離れた宇宙空間に存在する物質から我々自身を含む生物に至るまで、自然界のあらゆる物質を包含している。また、天然に存在しない物質の人工的な創成も化学の中心課題であり、多くの新物質が年々作り出されている。その意味で、化学は物質を総合的に探究する科学分野であり、人々の生活に役立ち、社会を豊かにする物質をもたらす役目も担っている。

古代から人々の生活に化学は重要な役割を果たしてきたが、近代的な化学は、18世紀末のラヴォアジエによる体積と重量の定量実験に基づく質量保存の法則の発見や、それに続くドルトンによる原子説の提唱や原子量の決定に始まる。現代の化学は、周期表に記されている様々な元素について原子の性質や特徴を理解し、更に複数の原子からなる分子における原子の結びつきかた（化学結合）や分子の構造、更には反応性を明らかにすることで発展してきた。20世紀初頭の物理学における量子力学の発展を受けて、化学結合の本質を理解する量子化学が発展し、更にX線や電子を含む粒子線技術の発展を受けて、結晶学が進展し、原子レベルでの物質の構造の解明が大きく進んだ。また、DNAの構造解明に続き生命を分子レベルで理解しようとする分子生物学が誕生した[3]。

化学が扱う状態は孤立した原子や分子のみでなく、それらが複数存在して互いに関係しあう状態（相）としての固体、液体、気体などであり、更に2つ以上の成分が均一に混合した液体である溶液は化学が重視する特徴ある状態である。化学では、これらについて、構造や性質、及びそれらの相互関係が明らかにされるとともに、統一的な理解が進められ体系化がなされている。

化学の大きな目的に、物質の分離や反応性の理解があり、このための測定や、分離法の開発、理論面の研究が進められている。更に、明らかにした分子の反応性を制御して、化学反応により新しい物質を作り出す研究も活発になされている。

化学には、物理化学、分析化学、無機化学、有機化学、生化学などの大分類、あるいは純正化学、応用化学、化学工学などの大分類がある。前者の分け方はその取扱う分野、研究対象や方法などの相違に基づいており、（1）物理学的な手法により物質の構造、性質、反応を研究する物理化学、（2）試料中の化学成分の種類や存在量を解析し、また、解析のための分離方法を研究する分析化学、（3）元素、単体及び無機化合物の構造、反応、合成などを研究する無機化学、（4）有機分子の分離・確認、構造、反応、合成などを研究する有機化学、（5）化学的な手法を用いて生体物質や生命現象を研究する生化学、などがある。後者の分け方は、化学と社会や産業との関わりに基づいており、（1）地球や宇宙を構成する物質とその特性や変化を理解したいという知的好奇心を基盤に化学の普遍的法則の確立をめざす視点から研究を進める純正化学、（2）生活を豊かにするために化学物質を利用する技術と生産を追求する応用化学、（3）化学製品の製造の仕組みを研究する化学工学、などがある。これらの分野の多様性は、化学が関係する分野の広がり、

人間の活動との密接な関係を示している。また分野融合も進んでおり、上記の単純な分類の枠には収まらない研究分野も多い。

化学は社会の様々なところに浸透しており、理学や工学のみならず、医薬品の開発利用などの医学・薬学、20世紀の人口増加を支えた人工肥料の開発などの農業分野に至るまで、現在の生活は化学の大きな恩恵に浴している。それとともに、現代社会においては化学には、創製した物質の安全性や環境への影響に対する評価、また環境保護技術の開発など、人類や社会の安定的持続を支えるより広範な展開が求められている。

3 化学の特性

(1) 学問としての化学の特徴

化学は、物質の化学的並びに物理学的性質を原子・分子レベルで理解するとともに、物質の組成、構造、性質や変換（化学反応）を調べる学問領域である。特に、化学反応の分類並びに体系化を通し、新物質を目的に応じて合理的に設計・創製するための基盤的方法論を与える唯一の学問である。

(2) 化学の対象と手法

化学が対象とする物質群は、周期表を構成する 100 種を超える元素が単独若しくは組み合わせられて形成されている。大気中に存在する分子や液滴、水溶液、金属や半導体、ナノ粒子などの機能性無機及び有機材料、更には医薬品、食品から、生命を担うタンパク質、核酸などの生体高分子までを包括するとともに、特殊な環境下で存在する固相、気相、液相状態の物質も対象とし、多様である。また、分子生物学の革命的な進歩において化学がその基盤を担ったように、周辺領域においても物質の作用機構を解明し、それらを分子レベルで理解かつ操作するためには、化学的手法が必要とされる。これに加えて、物質の高機能化と材料創製においては、構成単位となる分子、高分子などの化学構造を制御するのみならず、分子間相互作用を介して集合・組織化状態を制御することによって、目的とする機能に適した組織構造を設計・構築することが行われる。多種多様な化学結合の形成や制御を対象とすることは、化学的手法の重要な特性である。化学は、現代及び未来の社会において必要不可欠な多様な物質の創製やその分析、変換、機能性付与などに必要な手法に資する学問である。

(3) 化学の役割

化学で扱う原子や分子に関わる法則は、物理法則と並んですべての自然現象を科学的に理解する上で必要不可欠である。これは、138 億年前の宇宙の誕生から現在までの地球を含む宇宙空間における元素の生成や存在量、その分布から、生命を支える種々の生化学反応並びに生体分子、生体高分子の働きまで、壮大な自然界のあらゆる事象に、化学が取り扱う原子・分子レベルの概念が関わっていることから明らかである。

一方、化学は自然の理を紐解くだけでなく、前節でも論じたように、物質を創製するための方法論を与えることから、近代において人類の生活を豊かにした多くの進歩の根底を支えてきた。白金触媒などの高価な希少金属を有効に利用するための技術や、これをより豊富な材料で代替する手法の開拓は、資源の乏しい我が国にとり重要な課題であり、産業競争力に直結する①磁性材料、②触媒・電池材料、③電子材料、④構造材料などを創製する基盤となる。更に化学において新たに見いだされた現象や原理は、化学工学、工業化学的な営為の展開を介して、革新的な産業技術や様々な環境問題、生活課題の改善・解決に寄与し、過去、現在、未来にわたり持続可能な社会の構築に向けた新しい科学、新しい技術や新しい産業の発展の基盤として人類の繁栄と社会の進歩に貢献し

ている。

(4) 他の諸科学との協働

化学は、すべての物質に対する基礎的な理解の枠組みを与え、かつ高度な応用展開性を有することから、物理学、天文学、地球惑星科学、生物学などの他の基礎科学分野にとどまらず、分子遺伝学、生命工学、医学、薬学、農学、材料工学、電子工学、情報科学、エネルギー工学、電気工学、土木工学をはじめとするあらゆる応用学術領域との協働が可能な基幹的な学問である。これらの諸科学と協働することによって、様々な社会的要請に応えることが可能であり、化学を修める社会的、職業的意義の裾野を広げている。

4 化学を学ぶすべての学生が身につけることを目指すべき基本的な素養

(1) 化学の学びを通じて獲得すべき6つの素養と基本的な能力

化学を学ぶことによって身につけるべき素養として「物質」を科学的な視点で捉えることのできる力を第一に挙げることができる。科学的な物質の捉え方とは、身の周りの様々な物質の構造、性質や変化を、電子、原子核、原子、分子、イオンの振る舞いを基本として理解しようとする見方である。物質は、気体、液体、固体など様々な状態で存在し、無機物から有機物まで多岐にわたっていることに留意する必要がある。また、人間や動物、植物など生物の構成要素、及び、その活動に関わる事象を化学の視点で捉えることが求められる。更に、天文学や地球科学が対象とする宇宙の星間物質や、地球内部の高圧力下など極限状態でしか存在し得ない物質についての理解が化学を学ぶことによって深められるなどの例で明らかのように、化学で学ぶ事柄が、他の自然科学分野との深い関わりの中で生かされることを理解することが必要とされる。また、化学を学ぶことは、自然界には存在しない物質を人工的に作り出す力の会得につながる。ここで、人工物質とは、利用目的にあった優れた性質や特徴を示すものである。化学の力によって、人類は豊かな生活を手にしてきた。一方、人類の歴史においては、人工物質が犯罪や戦争などに利用されたこと、化学工業（産業）の副産物が環境に悪影響を及ぼしたことなど、化学の負の遺産も存在する。化学を人類の幸福に資するものとして役立てていくために、人類の歴史における化学が関わってきた正と負の側面を認識することが求められる。更に、化学が作り出した負の課題を解決できるのも、また、予想される負の課題に対して警告を発することができるのも、化学である。世界的な人口の増加や天然資源の消費の進行により、極めて重要になりつつある環境、エネルギー、資源、健康・医療、情報などの領域の課題解決に化学が必須であることを理解することが必要とされる。

以上をまとめると、化学の学びを通じて獲得すべき基本的な6つの素養は次のようになる。

- 1) 物質の種類や形、性質などの科学的な見方
- 2) 生物の構成要素や生命活動の分子やイオンを基本とした捉え方
- 3) 他の自然科学（物理学、生物学、地球科学、天文学など）との関わり
- 4) 人工物質を設計、創製するための化学反応
- 5) 人類の歴史と化学との関係
- 6) 環境、エネルギー、資源、医療、情報など人類の未来を支える化学の役割

これらの素養の獲得には次に例示する能力を身につけることが期待される。

- ・化学に関する知識と理解を中心軸に、問題に取り組み、その解を明らかにする能力
- ・化学の知識をもとに物理学や生物学などの周辺分野、他の科学領域に興味を持ち、理解する能力
- ・持続可能社会形成の基盤領域に関わる環境、エネルギー、資源、経済、医療福祉などの現実的な課題を化学の視点から理解し、問題解決に向けて判断を下す能力

上記の実現には、課題抽出能力、論理的思考力、課題解決能力、情報収集能力、解析力、判断力、創造力、プレゼンテーション力、コミュニケーション力などが必要とされるが、これらは、社会での市民生活や職業生活において出会う様々な課題に柔軟に対応するために必要なジェネリックスキルとしても身につけるべき基本的能力である。

(2) 獲得すべき知識と理解

化学における基本的な素養を身につけるために必要な知識、及びこれに基づいて理解すべき事項を 18 項目に分類して以下に具体的に示す[4]。これらの知識を化学を専門としない者も修得することにより、高等教育で化学を学ぶ者全てが、前項にあげた基本的な素養を身に付けることを期待する。

本分類は、現在の大学教育の標準的な内容をもとに整理したものである。科学は常に新しい領域を開拓しており、化学に関して学生が学ぶべき内容も時代とともに変遷する。したがって、常に分類内容を精査して、項目の追加や縮小などの方策が適切にとられることが望ましい。例えば、情報科学、計算科学の進歩により、大規模データの処理が可能になり、人工知能 (AI) や統計学などが化学を含む様々な科学技術に適用され始めている。これらの先端領域の発展の動向を見極め、他の項目と連携して、適宜に大学教育カリキュラムに組み入れることが望まれる。

① 物質の三態並びにそれらの構造・性質、分子間相互作用

物質は温度と圧力に依存して状態変化を起こし、気体、液体、固体の三態をとる。これら三態の構造や性質、状態変化を起こす条件、特に、ここにおける分子間相互作用の役割を理解する。固体については、原子やイオンが規則的に充填配列した結晶について、金属結合で構成される金属結晶やイオン結合で構成されるイオン結晶などの分類、更に電子・イオン伝導性や磁性などの物性を学ぶ。化学及び化学に関わりの深い分野に進もうとする大学生には X 線や電子線回折を用いる構造解析法を学ぶことが期待される。

② 化学熱力学

熱力学の基本法則（第一法則、第二法則、第三法則）やエントロピー、エンタルピー、自由エネルギー（ヘルムホルツエネルギー、ギブズエネルギー）などの概念、更にそれらの数学的な導出方法を理解する。これらの量と、分子間力や結合エネルギーなど物質を原子、分子の集合として理解するとき用いる微視的な量との関係を知ることが化学熱力学の理解の助けになる。

③ 物質の相平衡

物質は、融点付近で固体と液体が共存するように、一定の条件下で複数の異なる相を同時にとる場合がある。このような条件下での相の間の平衡、相平衡を左右する要因やその定量化に用いられる熱力学の考え方を理解する。

④ 化学平衡

反応系（原系）から生成系への変化と、その逆変化が可逆的に起こる化学反応において、反応系から生成系に変化する順方向とその逆方向の反応速度が釣り合って組成比が一定となる化学平衡について理解する。濃度、圧力や温度が化学平衡に及ぼす効果（ル・シャトリエの原理）並びに、化学平衡の例として、電離平衡や溶解平衡などを学修する。

⑤ 反応速度論

化学反応の反応物と生成物の時間変化、すなわち反応速度を定量的に記述する理論やその解析方法を学ぶ。温度変化、圧力や濃度、触媒の有無などの条件と反応速度の関係を知り、原子あるいは分子の微視的運動状態及び結合状態の変化の観点から反応速度論を理解する。

⑥ 原子の構造と性質

元素は原子に含まれる陽子の数で特定され、現在 118 番まで命名されている。原子の電子構造と、元素を電子構造の周期性にしたがって並べて作成した周期表を知り、そこから導かれる有効核電荷、イオン化エネルギー、電子親和力、電気陰性度などの原子の性質を理解するとともに、それを明らかにするための基礎となる量子論について、その成り立ちを含めて学ぶ。化学及び化学に関わりの深い分野に進もうとする大学生には更に量子化学を学ぶことが期待される。

⑦ 化学結合と分子

分子は化学結合した原子で構成されており、分子の構造はルイス構造や原子価結合法、並びに量子化学的な手法である分子軌道法による解析で理解されることを学ぶ。更に、化学及び化学に関わりの深い分野に進もうとする大学生には、分子の構造や電子構造を、理論（計算）化学を用いて求める手法を理解すること、また、溶液中の分子の動きを分子レベルで知るためや、固体物性を計算機の上で再現するためなどに用いられるシミュレーション手法などを理解することが期待される。

⑧ 酸と塩基

酸や塩基は、古くから人類に利用されてきた。水素イオン（プロトン）の供与体・受容体であるブレンステッド・ローリー酸・塩基の概念と、電子の受容体・供与体で

あるルイス酸・塩基の概念を軸に、三態における酸と塩基を知り、それと関連した溶媒の性質や硬い及び軟らかい酸・塩基の法則などを理解する。

⑨ 酸化と還元

物質が電子を奪われる現象である「酸化」と電子を獲得する現象である「還元」について、熱力学的な観点から標準電極電位を記述すること、その電位に基づき元素の各酸化状態における酸化還元特性を記述し、化合物やイオンの熱力学的安定性を判断することを学ぶ。また、電池や電気分解など酸化還元反応を伴う電気化学的な現象を理解する。更に、化学及び化学に関わりの深い分野に進もうとする大学生には、電子移動速度論やその解析に用いられる電気化学測定法を学ぶことが期待される。

⑩ 有機化合物の構造、立体化学、性質と反応性（有機電子論）

有機化合物の分子構造と立体化学を、炭素原子の混成軌道及び分子軌道をもとに理解するとともに、有機電子論に基づいてその性質と反応性について学ぶ。ハロゲン化アルキルの求核置換反応、ベンゼンと芳香族性、芳香族求電子置換反応、カルボニル化合物の構造と求核付加反応などの様々な基本概念と反応性をはじめ、脂肪族や芳香族の炭化水素やアルコール、ケトン、アルデヒド、カルボン酸、アミンなど有機化合物の構造や立体化学、化学的及び物理的性質、化学反応などについて系統的に学ぶ。また、化学及び化学に関わりの深い分野に進もうとする大学生には、有機化合物の構造決定法として、質量分析法、赤外分光法、紫外可視分光法、核磁気共鳴分光法などの物理化学測定法の原理と解析について理解することが期待される。

⑪ 物理化学測定

物質の構造や物性を知るために、様々な物理化学的手法が開発されてきた。例えば、電磁波（ラジオ波、マイクロ波、赤外、可視、紫外、X線）の吸収・発光・散乱・回折を用いることにより核スピン、電子スピン、回転、振動、電子状態、原子配置などについての情報が得られる。またその時間変化を測定することにより化学反応ダイナミクスについても調べることができる。特にX線や電子回折を用いた手法は、多くの物質の構造決定法として様々な分野で用いられている。また、熱量分析計を用いる熱力学的物理量の測定や、磁気測定器を用いた磁化率測定、分子やイオンの質量電荷比を計測する質量分析など、化学において計測手法は非常に重要である。得られたデータを正しく解釈するために必要な、これらの測定法の原理と解析手法を理解する。

⑫ 化学分析

試料中に存在する原子、特定の原子団、分子、同位体などの種類を決定し、また、その量を測定する化学分析の種類、原理、方法を理解する。物質の化学反応性を利用する分析法と物理的な性質を利用する分析法、並びに構成成分の種類を決定する定性

分析と、量を決定する定量分析を学ぶ。分析の方法を知るだけでなく、環境や生活の観点から必要な分析手法と分析条件を判断し、その分析結果に基づき総合的な科学的考察を行える力を身につける。

⑬ 元素と無機化合物

各元素は独自の特徴を持ち、その特徴は元素の単体や化合物の物理的、化学的性質に反映される。各元素の単体と化合物（有機化合物は事項 10 で対象とするので除く）の構造、名称、性質、安全性・毒性を、性質を決定する基盤となる電子軌道を s、p、d、f 軌道のブロックに分け、更に 18 の族に分けて、類似性と独自性を踏まえながら、系統的に学ぶ。また、自然界での分布と産出、人工的な製造法と産業、社会における利用についての知識を得る。

⑭ 放射化学

原子には原子核が安定な核種と、原子核壊変を起こす不安定な核種（同位体）が存在する。軽い放射性同位体は核融合、重い放射性同位体は核分裂を起こして別の核種となり、その際に大きなエネルギーを生むとともに放射線を放出する。そのような天然及び人工の放射性同位体の性質や化学反応を放射化学として学び、医療への応用や、放射線障害など人体や生活に及ぼす影響を理解する。更に、化学及び化学に関わりの深い分野に進もうとする大学生には、安全に放射性同位体を取り扱い、放射線を管理する方法について学ぶことが期待される。

⑮ 配位化学、錯体化学と有機金属化学

配位化合物（若しくは金属錯体）とは、金属と非金属の原子（配位子）が結合した構造を持つ化合物である。金属-炭素結合及びそれと類似の結合様式からなる化合物を有機金属化合物・有機金属錯体に分類する。特に遷移金属の錯体では、d 軌道や f 軌道が関与する特徴的な構造や性質、現象が現れ、それらは色素や触媒などとしても利用されている。生物においても、金属錯体はヘモグロビンや光合成系 I、II などの生理的に重要なタンパク質に含まれる。これらの特徴的な金属錯体の構造、性質、反応について学ぶ。更に、化学及び化学に関わりの深い分野に進もうとする大学生には、その応用まで学ぶことが期待される。

⑯ 高分子化学

高分子化学は、分子量がおよそ 1 万を超える有機化合物や無機化合物（高分子）を研究対象とする学問分野である。高分子は、低分子とは異なる物性（特に力学的・熱力学的特性）や機能を持つことから、合成繊維や樹脂をはじめとして実生活で多方面に利用されている。有機高分子については、その溶液並びに固体状態における構造並びに物性（熱的性質：融点とガラス転移）、粘弾性などの力学的性質、導電性や誘電性

などの電氣的性質、高分子の合成反応（逐次反応、連鎖反応など）を学ぶ。また、化学構造、分子量や幾何構造の観点から高分子の分子構造と物性の相関を理解する。無機高分子は、無機元素や無機成分を含む高分子である。ガラスや粘土をはじめ、ホウ素、ケイ素、リンなどの元素を含む無機高分子の構造と基本的性質を学ぶ。更に、化学及び化学に関わりの深い分野に進もうとする大学生には、有機—無機ハイブリッド高分子や、金属イオンと多官能性配位子から形成される配位高分子、水素結合などの非共有結合を高分子鎖形成の主たる構造要素とする非共有結合高分子など、高分子化学の概念と配位化学や超分子化学との融合により様々な高分子材料が生み出されていることを理解することが期待される。

⑰ 生命現象に係る分子

核酸(DNA、RNA)、アミノ酸、タンパク質（酵素やペプチド）、糖質、脂質などの生体分子は、遺伝子発現、細胞内における物質代謝、エネルギー代謝などの様々な生命現象を担っている。DNAの遺伝情報からタンパク質の発現に至る遺伝子発現の仕組み、酵素タンパク質により触媒される生化学反応や生体膜の構造と機能などを例に、生命現象に係る生体分子の構造とその機能発現機構について、化学的な視点から理解する。

⑱ 化学工学

化学工業における生産プロセスの最適化を、単位操作（Unit Operation）の概念に基づき行う学問を化学工学と呼ぶ。単位操作として、蒸留、抽出、吸着、乾燥、膜分離などの分離操作、物質移動及び熱移動を定量的に記述するための移動現象論並びに流体を定量的に取り扱う流動操作を理解し、化学プロセスを最適化する手法を理解する。

以上の18事項と、化学の学びを通じて獲得すべき基本的な素養として冒頭に挙げた6事項との間には次のような関係がある。

ア 物質の種類や形、性質などの科学的な見方

化学は「物質」を対象とする学問領域であり、様々な種類の物質やその性質を取り扱う事項として、①～⑰が関連している。

イ 生物の構成要素や生命活動の分子やイオンを基本とした捉え方

分子やイオン並びに自己組織化の概念を用いて生物の成り立ちや事象を説明することは、⑰が該当する。ただし、この事項を学修するための基礎として、物理化学、分析化学、無機化学、有機化学に関連する①～⑱も関わっている。

ウ 他の自然科学（物理学、生物学、地球科学、天文学など）との関わり

学際的な領域は化学の基本的な学修の発展として位置づけられる。

物理学とは物質科学、物性化学や分光光学に関する事項（①～⑪、⑬～⑯）が関わる。

生物学とは、有機化学や生化学、分子生物学に関する事項（⑩、⑰）が直接関係するが、無機化合物や配位化学に関する事項（⑬、⑮）、並びに物理化学的な測定手法に関する事項（⑪、⑫）が関連する。

地球科学とは、分析化学、無機化学、放射化学に関する事項（⑫～⑭）が主に関連するが、物質の三態、熱力学、相平衡、反応速度論、物理化学測定（①～④、⑪）も関連事項である。

天文学にも物理化学測定（⑪）や無機化学的、放射化学的な知識（⑬、⑭）が必要となる。

エ 人工物質を設計、創製するための化学反応

化学反応は有機化学的な反応と無機化学的な反応に大別される。有機化学的な反応は ⑩及び⑯で取り扱われるが、触媒反応など錯体化学や有機金属化学が関わる場合もあり、⑮が関連する。無機化学的な反応は、⑬及び⑮で取り扱われる。また創製した物質を分析するために分光学的な解析手法や化学分析が必要となり、⑪、⑫を学ぶことが求められる。更に、物質合成の設計には、経験に基づく方法だけでなく理論化学（計算化学）に基づく方法があり、⑦が関与する。

オ 人類の歴史と化学との関係

古代から文明を起し、人類の生活や社会が進んでいく中で、物質を精製したり、加工したりする様々な化学的プロセスが経験的に培われてきた。これは化学史的な部分である。すべての事項において基礎科学としての化学の歴史的な発展があるが、生活や産業の観点に絞れば、下記の事項が深く関連している：⑧～⑩、⑫～⑯。

カ 環境、エネルギー、資源、医療、情報など人類の未来を支える化学

環境、エネルギー、資源、医療、情報などこれからの科学技術の根幹となる化学の分野には、すべての事項が関わっている。その中でも、環境分野は、①～⑤、⑧～⑰、生体高分子と分子生物学の基礎 エネルギー分野は、②、⑤、⑨、⑭、⑯、化学工学、資源に関しては、⑬と⑯、医療分野は、⑩～⑰、情報分野は⑦と⑪との関連性が強い。

(3) 化学分野の分類との関係

(2) に記した 18 事項は、2 化学の定義で記載した大分類である物理化学、分析化学、無機化学、有機化学、生化学、あるいは純正化学、応用化学、化学工学と相互に繋がりながら次のように関わっている。

物理化学：自然科学の法則に基づいて化学を探求する物理化学には、①～⑦、⑪、⑭、⑯が含まれる。上記以外の事項のキーワードである溶液、界面、表面、触媒などもその範疇に含まれる。

分析化学：化学成分の種類や存在量の解析を行う分析化学には、⑪、⑫、⑭が主に含まれる。また、上記以外の事項のキーワードである化学熱力学、化学平衡や酸塩基反応、酸化還元反応、錯体生成反応を用いる分析も深く関わっているので、②、④、⑧、⑨も含まれる。

無機化学：周期表のすべての元素やその単体、有機化合物以外の化合物などの物質を取り扱う無機化学は、原子や分子に関わる物理化学的な要素を包含している。したがって、⑥～⑨、⑬～⑮が含まれる。また、固体結晶構造と物性、化学熱力学、生体高分子、も強く関わっているので、①、②と⑰も含まれる。

有機化学：有機化合物を対象とする有機化学は、⑩が主事項であるが、触媒、有機金属化学、高分子化学、生体高分子と分子生物学との関連性も深いので、⑮、⑯と⑰も含まれる。

生化学：生命現象を化学的に研究する生化学は、⑰が含まれる。有機化学や錯体化学とも深く関連しているので、⑩と⑮も含まれる。

また別の分類の仕方である純正化学、応用化学、化学工学と 18 事項は下記のように関係づけられる。

純正化学は、⑱化学工学 を除くすべての事項を含んでいる。

応用化学に分類されるのは、無機工業、有機資源、高分子工業、化学工学、機能性セラミックス、触媒化学、電気化学などであり、18 事項のうち、⑨、⑩、⑬、⑮、⑯、⑱が関連している。

化学工学は、⑱が対応事項であるが、化学反応についての知識が必要である。したがって、物理化学的な要素として②～⑤、物質科学的な要素及び化学反応の要素として⑧～⑩、⑬、⑮、⑯の知識が必要である。

5 勉学方法及び勉学成果の評価方法に関する基本的な考え方

(1) 勉学を通じて身につけることのできる基本的能力

化学の学びは、講義や書物を通して既存の情報を知識として獲得し理解することだけでなく、実験や実習、演習などによって物質や現象を直に取り扱うことにより行われる。また、課題研究などの能動的な学修によって、課題抽出能力、論理的思考力、課題解決能力、情報収集能力、解析力、判断力、創造力、発表力（プレゼンテーション力）、議論する能力（コミュニケーション力）を身につけることができる。

(2) 勉学方法

将来にわたり独創的な研究を行うことのできる人材や、幅広い知識を身につけた社会から要請される人材の育成には、学部段階での化学を含めたいろいろな分野にまたが

る学修が必要である。特に、化学の勉学においては、1) 物質の多様性を包括的に把握し物質の形態や振る舞いを支える基本的な仕組みを理解するとともに、2) その基礎原理に基づく測定法や解析方法を考案し物質の構造・反応機構を解明する素養を培い、3) 物質を有効かつ安全に利用するために人類が築き上げてきた知識や技能の基本を習得し、4) 更にこれを発展させ物質の設計・合成と機能評価ができる実践力を身につけることが重要である。以下に掲げるそれぞれの勉学方法の特色を活かして上記の項目を多面的に学修させることが求められる。また、能動的に学修し、思考力・判断力・表現力を高め、主体的に課題を発見し解決する力を育成することも望まれる。

① 講義

講義により、物質の構造・性質並びに反応性に関わる化学の主要分野の基礎事項を体系的にバランスよく学ぶ機会を与える必要がある。各分野の専門性が急速に高度化し、社会的に役立つようなトピックスに注目が集まりがちな現代において、化学全般を俯瞰できる教養を持つことの重要性が増している。そのためには、興味のある項目だけを受講させるのではなく、物理化学、有機化学、無機化学を主要科目として、分析化学、生化学などの他の基本的な科目も無理なく並行して学修できるカリキュラムを用意する必要がある。講義を進めるに際し、質疑を適宜交えることによって、理解の確認と促進を図ることが望まれる。新物質の創成やそれに関わる実験法・理論解析法など、化学の先端分野の動向や先導的技法の概要を伝えることで、未学修の知識・技法・理論を進んで取り入れる知的好奇心と意欲を喚起し、能動的学修を促すことも必要である。限られた講義時間を有効に使う上では、基本的な情報提供に教科書を用いることと合わせて、情報ネットワークを活用し、繰り返し学修できるようにすることも検討に値する。

② 演習

化学の講義で学修することの多くは、例題や演習問題に取り組むことを通じてこれに対する理解を深めることができる。目には見えない分子を扱う化学においては、常識としてその大きさやエネルギーなどの数値的概略を知っていることが大切である。講義で学ぶ事項の主要部分について、知識とその運用を促進させる演習を行い、学修事項の確認と発展的応用力の涵養に努めることが必要である。

③ 実験

化学の実験法は極めて多様である。その基本となる手法を体験させ、物質を扱う際の操作法や注意すべきことを身につけさせるために実験実習は不可欠である。理論的予測や仮説を検証するのみならず、計画通り進まない場合や予想外の事態への対応を、その都度考えて実行することを体験させるとともに、安全と環境に配慮すべきことについても自ら行う実験を通して習得させることができる。どういう薬品をどのように

扱うと爆発や中毒などの危険性があるか、どういう操作をすると装置を壊す可能性があるかなど、危険性について学生自身に手を動かす前に十分に予習させ、それらの危険性を避けた実験を計画させることが大切であろう。具体的な実験の内容は、化学分野が総じて新しい概念の導出、科学的事象の発見や創出、理論計算、機器分析・解析法の発展により拡大していくので、割り当てられた学生実験の時間数の中で、最も学修効果が顕れるようなカリキュラム編成となるよう、常に改善していくことが望まれる。

④ 実習

化学では、機器を用いた分析・計測やコンピュータを用いた解析・予測及び情報端末を利用したデータベース・文献の検索を行うことの重要性が、年を追うごとにましている。機器や計算機の利用を体験する実習を勉学方法として取り入れる際には、単にブラックボックスとしての利用にとどまることなく、機器・計算機・情報端末を利用する上で必要な基礎知識・基礎技能を習得させるとともに化学の講義で学修する内容のより深い理解へとつなげ、問題発見・問題解決を行う力を培うことが求められる。

⑤ セミナー

セミナーでは、小人数が調査・発表を交代で行い、全員で討論するという主体的な勉学形態によって、発想・調査・発表・討論などの多様な能力を培う。セミナーのテーマは、テキストを指定してその内容にしたがって進める方式のほか、担当する学生が自主的にテーマを設定する方式もある。どちらの方式においても、発表する者の自主的な準備作業と、発表者以外の者の積極的な討論への参加により、主体的な勉学を行うことが求められる。いかにしたら他の参加者を納得させることができる発表や討論となるかを修得させることも、セミナーの目的の1つであろう。

⑥ 課題研究

化学の領域において、未知物質の創成、新機能の構築、仕組みが不明な現象の解明及び予測など、探究する意義のある課題は多い。化学の勉学においては、自ら課題を設定し、調査・実験・計算・解析を進め、結果・結論を得る体験を通じて思考力・判断力・実行力を高め、問題発見・問題解決の資質を磨くことが重要である。また、その過程において、得られた結果を分析・解析して報告にまとめ、成果について討論し、発表することなどを通して表現力を高めさせることの意義も大きい。課題研究の取り組み方は中学校、高等学校において、既に学修している。しかし大学では高度な化学の知識と理解を得るとともに、様々な実験器材や先端の測定・解析機器を用いることができるので、高度な質と内容の課題研究を実施することが可能である。社会においても至要たる課題研究力の育成は化学分野において極めて重要であり、学生の資質や能力を向上させる卒業論文研究の果たす役割は大きい。

⑦ 授業外学修

以上の勉学方法に加え、能動的学修を更に効果的に行わせることを目的として、通常の授業以外の学修形態を、適宜、加えることが望まれる。企業などのインターンシップや研究所などでの研究活動の見学や体験などに、学生の積極的・自主的参加を促すとよい。また、通常の授業の範囲を超えた書物や技能の学修を学生が自主的に一人若しくは何名かでグループを組んで実施し、その結果を学生各自がレポートするやり方で進める能動的学修も考えられる。具体的な実施においては、各学校が置かれた地域の特色や事情を考慮し、また、対象となる学生の適性或資質に配慮して、適切な方法により進められる必要がある。

(3) 評価方法

化学の勉学成果の評価は、それぞれの勉学方法の特性に応じて適切になされる必要がある。

講義で学ぶ基本的な知識とその応用については、筆記試験によって達成度や応用力を評価するのが適切である。講義に関連する先端の学術動向について課題を与え能動的学修を促す場合は、レポートで評価するのみならず、発表機会を与え質疑応答も含めた評価を行うことが望まれる。

演習においては、解答やレポートを提出させて評価するが、演習を行う人数や演習の内容及び形態に応じ、質疑応答で評価することも重要である。

実験・実習においては、与えられた課題に対する実験結果・計算結果・調査結果をレポートとして提出させて評価することを基本とするが、口頭試問による質疑応答を通じて深い理解度や口頭で即答できる力を評価することも重要である。

セミナーにおいては、発表者の準備内容や発表の仕方を評価するのみならず、発表者以外の者がどのように質疑に参加するか、発表者が質問に対してどのように対応するかなども含め、多面的に評価することが重要である。

課題研究においては、課題・研究目的の設定、研究計画・研究方法の策定、研究の遂行とそれに伴って生じる問題の解決、得られた結果の解析・考察、研究成果のまとめと結論など、課題研究の全体を論文としてまとめることを求めるとともに、発表の場を設け、課題研究の成果発表の評価を行うことが必要である。課題研究が適切に行われたかどうかは、課題の内容と取り組む方法によって評価の尺度が多様になって当然であるが、意欲や創意・工夫などの主体的な取り組み方も重要な評価対象とすることが求められる。

授業外学修においては、学生の主体的能動的活動に対する評価を画一的に行うことは、自主的な授業外学修の趣意になじまない。化学の授業外学修をどれだけ自主的に進めることができたかを、個々の学生の置かれた条件を考慮にいたした上、適切に評価することが求められる。

6 専門性と市民性を兼備するための教養教育

(1) 市民性の涵養と化学教育

初等教育、中等教育、高等教育、生涯教育など様々な機会に、化学の持つ色々な側面や、社会との関わりについて、具体例を通して学ぶことは、化学を主専攻とするか否かに関わらず大きな意義を持つ。歴史的な人の営みの中で、化学は社会に種々の影響を与え、多くの貢献をしてきた。化学的技術と化学的知識の積み重ねの上で初めて可能となったことがいかに多いかは、現代社会において身の回りに化学製品があふれていることから伺い知ることができる。一方、環境汚染問題などのように、化学が想定外の負の効果をもたらした例も存在する。このような場合でさえ、その問題解決の過程で、化学分析によりその原因を特定する、反応制御などによりその原因の除去を行うなど、化学の知識と技術の活用が有効なことが実証されてきた。また、放射性化学物質も功罪両面を持ち、十分な知識に基づく取り扱いが必要とされるが、医療応用とともに、基礎科学分野においても放射性トレーサー法や、年代測定などで活用されてきた。

この様な背景と、高校における理系科目の中では、文系、理系を問わず化学の履修率が高いことを念頭におくと[5]、大学の教養教育としての化学では、以下の内容を中等教育[6]との連続性を確保しつつ教授することが望まれる。第一に化学の多彩な現象が、周期表で集約される電子構造により統一的に説明できることを、定性的に理解させることが大切である。このことは、化学という学問分野の持つ普遍性の理解を促す。また、これに加えて、化学を専門としていない理工系の学部、学科においては、関連分野の現象を理解する基礎となる熱力学、化学反応論などの領域を併せて教授することが望ましい。その上で、

- ・現代生活を支える物質面での様々な化学の恩恵についての事例に即した理解
- ・生命活動についての化学的知見に立脚した理解
- ・医薬品、医療診断などの医療面に対する化学の寄与についての事例を通じた理解
- ・エネルギー問題、地球温暖化、放射能汚染、廃棄物処理などの環境に係る問題の化学的視点からの理解
- ・科学的根拠に欠ける商品や考え方の是非を正しく判断できる合理的な考察に関わる素養を教授することは価値が高い。

化学は社会に様々な恩恵を与えると同時に、社会からの要請により化学の進歩が促されたという事例も多い。化学と社会は双方向的に進歩を遂げてきたと言える。大学における教養教育、更には生涯学習を通じて一般市民や職業人にこれらの知識が浸透していくなれば、化学という分野をプラス思考でとらえ、直接、間接に化学分野の活動を理解し、その発展を支える上での原動力となろう。

(2) 化学を専攻する学生への教養教育の必要性

科学的思考を行うためには、その基盤として言語能力を身につけていることが必要とされる。書籍や文献を読み、これを理解し、考えをまとめ、更に考察を加える作業を進

めるためには、文章を正確に読みこなす力、記載された内容を論理的に理解する力、これを土台として自らの考えを加えて、文章として表現する力を身につけていくことが不可欠である。この力は、一朝一夕に身につくものではないが、努力によりその能力は確実に進歩するので、教養教育においてこのトレーニングを開始することが求められる。更に、どのような表現をとるべきか、どこに力点を置くべきかなどに配慮し、状況設定に相応しい形にまとめる力へとレベルアップしていくことが必要である。文系の教養科目の受講を通して文系の思考過程に触れることも、また、論理的思考能力を高め、書く力を養うことに有効である。

次に、大学を卒業後、社会に出て、様々な職種において化学の専門知識を生かして仕事に取り組む上で、社会の仕組みが分かっていることが、必要不可欠である。高校までの教育における社会系の科目は、現在の社会の仕組みを覚えるという要素が大きい。一方、大学の教養教育においては、法学、経済学、社会学、心理学他を通じて社会がどのような考え方に基づいて、いかに構築されているかを理解することに力点が置かれており、大学の教養教育の価値は極めて高い。なお、先に触れたように、人類の歴史を辿ると、化学が負の効果をもたらした事例も存在する。これを鑑みるとき、このような事例を避けるために、倫理観の醸成を含め、人間と社会との関わりについて学ぶことが併せて必要であると言える。

教養教育には、専門とする化学以外の理系の教科目も当然のことながら含まれる。化学修得の基盤として教授すべき不可欠な領域は、数学と物理学である。数学分野の解析学、線形代数学などを修得し、計算できる力を身につけることは、物理化学（化学反応学、量子化学など）を学ぶための基礎として不可欠である。力学、電磁気学など物理学分野の知識と計算力もまた、原子・分子の性質の理解、及び化学で用いられる様々な機器を用いた手法の理解と活用に必要な不可欠である。一方、現代科学においては、学問の境界領域の発展が著しいことから、生物分野や地球惑星科学分野などをはじめとする周辺領域の基礎知識が将来の仕事に生かされることも多いと予測される。これらに触れることが可能な環境を用意することも併せて望まれる。周辺領域を学ぶことは、同時に、化学を相対化して捉え、化学の特徴、長所と弱点を客観的に評価できる力の養成へつなぐと期待され、化学の推進力へとフィードバックされるという点においても意義を有する。

昨今は情報社会といわれるが、科学においても巨大な情報が集積され、データベース化されて利用に供されている。化学領域も例外ではない。蓄積された情報の中から、科学的根拠に欠ける情報を排除し、AI の利用を含め、必要とする情報を効率的に見つけ出し、これを効果的に活用する力が求められている。自身の生み出す情報を含め、ビッグデータを管理し、生かしていく情報リテラシーに関わる力も、現代において教養教育から育てていくことが望まれる要素の1つと言える。

<参考文献>

- [1] 日本学術会議、回答「大学教育の分野別質保証の在り方について」、
2010年7月22日
- [2] 参照基準：物理学・天文学分野、農学分野、統計学分野、哲学分野、情報学分野、
電気電子工学分野、社会福祉学分野、地球惑星科学分野、心理学分野、社会学分
野、文化人類学分野、地理学分野、政治学分野、材料工学分野、歴史学分野、地域
研究分野、経済学分野、土木工学・建築学分野、生物学分野、数理科学分野、機械
工学分野、家政学分野、法学分野、言語・文学分野、経営学分野：
<http://www.scj.go.jp/ja/member/iinkai/daigakuhosyo/daigakuhosyo.html>
- [3] 廣田 襄、“現代化学史”、京都大学出版会、2013
- [4] 化学における基本的な素養を得るために知識を得て理解すべき具体的な 18 事項の
導出に当たっては、大学で教科書として使用されている以下の本を参照した。

一般化学

- P. Atkins, L. Jones, L. Laverman 著、渡辺 正訳「アトキンス一般化学」、
東京化学同人、2014
- D. A. McQuarrie, P. Rock, E. Gallogly 著、村田 滋訳「マッカーリ一般
化学」、東京化学同人、2015
- K. Timberlake, W. Timberlake 著、渡辺正、尾中 篤訳「ティンバーレイク 教
養の化学」、東京化学同人、2013
- S. S. Zumdahl, D. J. DeCost 著、大嶋幸一郎、花田禎一訳「ズンダール基礎
化学」東京化学同人、2013
- J. Kenkel 著、千原秀昭訳「ケンケル 化学の基礎」東京化学同人、2012
- J. N. Spencer, G. M. Bodner, L. H. Rickard 著、渡辺 正訳「スペンサー 基
礎化学」東京化学同人、2012
- R. Chang, J. Overby 著、村田 滋 訳「化学 基本の考え方を学ぶ」東京化学
同人、2010

物理化学

- P. W. Atkins, J. de Paula 著、千原秀昭、稲葉 章訳「アトキンス 物理化学
要論（第6版）」東京化学同人、2016
- D. W. Rogers 著、中村和郎訳「コンサイス物理化学」東京化学同人、2013
- D. A. McQuarrie, J. D. Simon 著、千原秀昭、江口太郎、齋藤一弥訳「マッカ
ーリ・サイモン物理化学 分子論的アプローチ」東京化学同人、1999
- G. M. Barrow 著、大門 寛、堂免一成訳「バーロー物理化学（第6版）」東京化
学同人、1999

有機化学

- M. Jones, Jr., S. A. Fleming 著、奈良坂紘一、山本 学、中村栄一監訳「ジョ
ーンズ有機化学（第5版）」東京化学同人、2016

J. Clayden, N. Greeves, S. Warren 著、野依良治、奥山格、柴崎正勝、檜山爲次郎監訳「ウォーレン有機化学（第2版）」東京化学同人、2015
望月正隆、稲見圭子著「有機化学の基礎」東京化学同人、2013
村田滋著「基本有機化学」東京化学同人、2012

無機化学

M. Weller, T. Overton, J. Rourke, F. Armstrong 著、田中勝久、高橋雅英、安部武志、平尾一之、北川 進訳「シュライバー・アトキンス無機化学（第6版）」東京化学同人、2016

荻野 博、飛田博実、岡崎雅明著「基本無機化学（第6版）」東京化学同人、2016

C. E. Housecroft, A. G. Sharpe 著、巽 和行、西原 寛、穂田宗隆、酒井 健監訳「ハウスクロフト無機化学」東京化学同人、2012

J. E. House 著、山下正廣、塩谷光彦、石川直人訳「ハウス無機化学」東京化学同人、2012

G. Rayner-Canham, T. Overton 著、西原 寛、高木 繁、森山広思訳「レイナーキャナム無機化学」東京化学同人、2009

分析化学

S. P. J. Higson 著、阿部芳廣、渋川雅美、角田欣一訳「分析化学」東京化学同人、2006

梅澤喜夫著「分析化学」東京化学同人、2006

- [5] 理科に関する資料 文部科学省中央教育審議会初等教育分科会教育課程部会理科ワーキンググループ（平成28年4月）
- [6] 高等学校学習指導要領解説理科編 文部科学省（平成21年7月）

<参考資料 1> 化学分野の参照基準検討分科会審議経過

平成 25 年 (2013 年)

5 月 31 日 (金) 日本学術会議幹事会
化学分野の参照基準検討委員会設置

平成 26 年 (2014 年)

12 月 26 日 (金) 化学分野の参照基準検討分科会 (第 1 回)
前期からの申し送りを確認

平成 27 年 (2015 年)

9 月 1 日 (火) 化学分野の参照基準検討分科会 (第 2 回)
大学教育の分野別質保証委員会・北原委員長から説明

12 月 25 日 (金) 化学分野の参照基準検討分科会 (第 3 回)
化学分野の参照基準の基本的な考え方の確認と執筆分担案

平成 28 年 (2016 年)

12 月 21 日 (水) 化学分野の参照基準検討分科会 (第 4 回)
提言項目の検討

平成 29 年 (2017 年)

2 月 28 日 (火) 化学分野の参照基準検討分科会 (第 5 回)
提言案の検討

12 月 27 日 (水) 化学分野の参照基準検討分科会 (第 6 回)
有識者による提言案の査読並びに化学分野の参照基準に関する公開シンポジウムの開催の検討

平成 30 年 (2018 年)

1 月 15 日 (月) ~ 27 日 (土) 日本化学会戦略企画委員会の検討 (メール審議)

2 月 22 日 (木) 谷口 功 日本化学会筆頭副会長による査読

5 月 30 日 (水) 分子科学研究所所長招聘会議にてシンポジウム開催

<参考資料2> 分子科学研究所所長招聘会議「化学の近未来：化学とAI・大学の質保証」

開催日：平成30年5月30日（水）

場所：岡崎コンファレンスセンター（愛知県岡崎市明大寺町字伝馬8-1）

分子科学研究所所長招聘会議「化学の近未来：化学とAI・大学の質保証」

第二部「化学分野の参照基準」

プログラム：

15:20 西原 寛（東京大学大学院理学系研究科 教授）

「化学分野の参照基準の概要」

15:40 後藤 顕一（東洋大学 教授）

「化学教育における高大接続」

16:00 村田 滋（東京大学大学院総合文化研究科 教授）

「大学教養課程の化学」

16:20 久新 荘一郎（群馬大学大学院理工学府 教授）

「大学における化学専門教育」

16:40 浅見 正弘（富士フイルム株式会社 フェロー）

「企業内R&D で期待される化学研究力」

17:00 総合討論2（司会：川合 真紀）

主催：自然科学研究機構分子科学研究所、日本学術会議化学委員会、公益社団法人日本化学会戦略企画委員会