

化学分野

第1節 化学教育における学士力の考察

我々は物質文明によって恩恵を受ける一方で、環境破壊、資源の枯渇、エネルギー問題など、これまで経験したことのない地球規模での問題に直面している。このような中で将来に向けて持続可能な社会を構築するためには、物質がもたらす無限の可能性を追求する化学の役割は極めて大きい。

化学教育は、現在直面している様々な問題を認識し、持続可能な社会を目指した方向性やあるべき姿を考えるための基礎的能力の修得を目指している。すなわち、新しい物質を創成し、有効に活用することで将来の社会の発展に役立てられるようにすることである。

そこで、我々は物質の利害得失を理解する社会人基礎力としての科学的リテラシー教育と、物質の本質を正しく理解し活用するための専門教育の側面から学生が身につけるべき達成目標を考察した。

科学的リテラシー教育としての一般レベルでは、化学の基本的な知識を用いて身の回りの現象・事象を科学的に考え、有効性や危険性について具体的に考察することができることに重点を置いた。

他方、専門教育では、身の回りの現象・事象変化に加え、原子・分子のレベルから物質の構造・性質・変化を総合的に理解し、安全性・信頼性などに配慮して物質を適切に活用できる専門基礎能力の修得に重点を置いた。

そこで、化学教育における学士力の到達目標として、以下の三点を考察した。

第一に物質科学の観点から、身の回りの現象・事象や環境・食料・エネルギーなど多くの問題を適切に認識し、判断できること、第二に物質の性状や化学反応の基礎知識、実験技術及び数値解析技術を用いて問題解決に取り組むことができること、第三に現代化学における新たな知見に基づいて論理的思考を行い、安全性・信頼性などに配慮して、物質を適切に活用することができることとした。

【到達目標】

1 物質科学の観点から、身の回りの現象・事象や環境・食料・エネルギーなど多くの問題を適切に認識し、判断できる。

ここでは、化学の基本的な知識を用いて、身の回りの現象・事象を科学的に考えることができなければならない。そのためには、衣食住に関わる生活用品がどのような分子から作られ、有効性や危険性について判断できる能力を養うことを目指す。

【コア・カリキュラムのイメージ】

<一般レベル>

物質と粒子の構成、原子と分子、分子と分子集団、状態変化、化学反応、物質と人間生活、物質と生命など

<専門レベル>

一般レベルの内容に加えて、物質の分類と特徴、命名法、基本的な物質の取り扱いなど

【到達度】

<一般レベル>

- ① 身の回りの物質が生活環境や健康に及ぼす有効性や危険性などに関する情報を正しく理解できる。
- ② 身の回りの物質がどのように作られているかを概略として理解できる。
- ③ 身の回りの化学変化を物理変化と区別できる。
- ④ 身の回りの物質を原子・分子及びその集団の観点から認識できる。

＜専門レベル＞

- ① 身の回りの物質が生活環境や健康に及ぼす有効性や危険性などに関する情報を正しく理解できる。
- ② 身の回りの物質がどのように作られているかを概略として理解できる。
- ③ 物質の性質を原子・分子及びその集団のレベルで理解できる。
- ④ 基本的な物質の種類と特徴、命名法を理解できる。
- ⑤ 物質の化学反応を原子・分子レベルで説明できる。
- ⑥ 物質の変化を定量的に扱うことができる。
- ⑦ 基本的な物質の性質を理解し、実験で安全に取り扱うことができる。

【測定方法】

＜一般レベル＞

- ①～④は、客観式の筆記試験、演習、レポートなどを組み合わせて確認する。

＜専門レベル＞

- ①～⑦は、客観式・論述式の筆記試験、演習、実験とそのレポートなどを組み合わせて確認する。

【到達目標】

2

物質の性状や化学反応の基礎知識、実験技術及び数値解析技術を用いて問題解決に取り組むことができる。

ここでは、物質が様々な粒子から構成され、その結合様態により物質の性質が定まること、この物質を構成する粒子の組み換えが化学変化であること、この化学変化がエネルギーの変化、速度、平衡と密接に関連することを理解させねばならない。そのためには、実験技術の修得と得られたデータを解析する過程を通じて、帰納法により課題発見し、問題解決する能力の修得を目指す。

【コア・カリキュラムのイメージ】

＜専門レベル＞

物質の構造と性質・化学結合・化学量論・化学エネルギー・反応速度・化学平衡・物質の分離と分析(実験を含む)・物質の合成(実験を含む)など。

【到達度】

＜専門レベル＞

- ① 基本的な物質の構造から化合物の性質を類推できる。
- ② 物質の変化とそれに対応するエネルギーの変化との関係を理解できる。
- ③ 平衡論と速度論の観点から現象を理解できる。
- ④ 分離・分析・測定法の基本原理を理解し、実験技術を活用できる。
- ⑤ 化学的な視点から実験結果を解析することができる。

【測定方法】

＜専門レベル＞

- ①～⑤は、客観式・論述式の筆記試験、演習、実験とそのレポートなどを組み合わせて確認する。

【到達目標】

3

現代化学における新たな知見に基づいて論理的思考を行い、安全性・信頼性などに配慮して、物質を適切に活用することができる。

ここでは、燃料廃棄物処理や温暖化ガス排出、レアアース・レアメタル代替、シェールガス革命、再生可能エネルギー開発などに対して理論的な評価を行い、高い安全性と信頼性を前提とした社会の持続的な発展に化学的観点から貢献できなければならない。そのためには、ナノ材料、高性能複合材料、バイオ医薬品やバイオポリマーなどの新しい物質の性質を理解し、その創成技術の修得を目指す。

【コア・カリキュラムのイメージ】

＜専門レベル＞

ケーススタディ・卒業研究などの課題研究、化学技術と環境、安全教育、技術者倫理、化学情報など

【到達度】

＜専門レベル＞

- ① 物質の持つ有用性と危険性を認識し、安全に活用できる。
- ② 化学情報を適切に入手し、活用できる。
- ③ 物質の開発や新たな応用の方法を理解できる。
- ④ 化学技術が生活・健康・地球環境などに及ぼす影響を理解し、指摘できる。
- ⑤ 物質に関する法令や技術者倫理を理解できる。

【測定方法】

＜専門レベル＞

- ①～③は、口頭発表、卒業論文などにより確認する。
- ④と⑤は、客観式・論述式の筆記試験、演習、レポートなどを組み合わせて確認する。

第2節 到達目標の一部を実現するための教育改善モデル**化学教育における教育改善モデル【1】**

上記到達目標の内、「物質科学の観点から、身の回りの現象・事象や環境・食料・エネルギーなど多くの問題を適切に認識し、判断できる」を実現するための教育改善モデルを提案する。

1. 到達度として学生が身につける能力

＜一般レベル＞ 例えば文系などの化学を教養として学ぶ学生を対象とした水準

- ① 身の回りの物質が生活環境や健康に及ぼす有効性や危険性などに関する情報を正しく理解できる。
- ② 身の回りの物質がどのように作られているかを概略として理解できる。
- ③ 身の回りの化学変化を物理変化と区別できる。
- ④ 身の回りの物質を原子・分子及びその集団の観点から認識できる。

2. 改善モデルの授業デザイン**2.1 授業のねらい**

科学技術の利便性と危険性を適切に判断するためには、正しく物質を理解し、物質が関与する身の回りの現象を適切・客観的に判断できることが重要であるが、多くの学生は化学の本質を認識できず、暗記や問題の解法手続きの修得に偏重しやすく、科学的態度が身につけていない。

ここで提案する授業は、物質科学の観点で環境・食料・エネルギーなどから課題を設定し、有用性と危険性などの視点を踏まえて議論・考察することで、安全性を前提とした社会の持続的な発展に関与できることを目指す。

2.2 授業の仕組み

ここでは、初年次教育を想定しているが、学びが定着できるように授業終了後もネット上で学修の場を提供することを前提としている。基礎・基本の部分は講義形式で進め、修得した知識が身の回りの諸問題とどのように関わっているかをグループなどでディスカッションさせる。そのために、社会の専門家を交えた大学間コンソーシアムの中で、フォーラムを開催し、議論の主な内容をデータベース化する。その上で、初年次教育終了後も学内の関連分野と連携して学びを継続することで自己との関連付けを行う(図)。

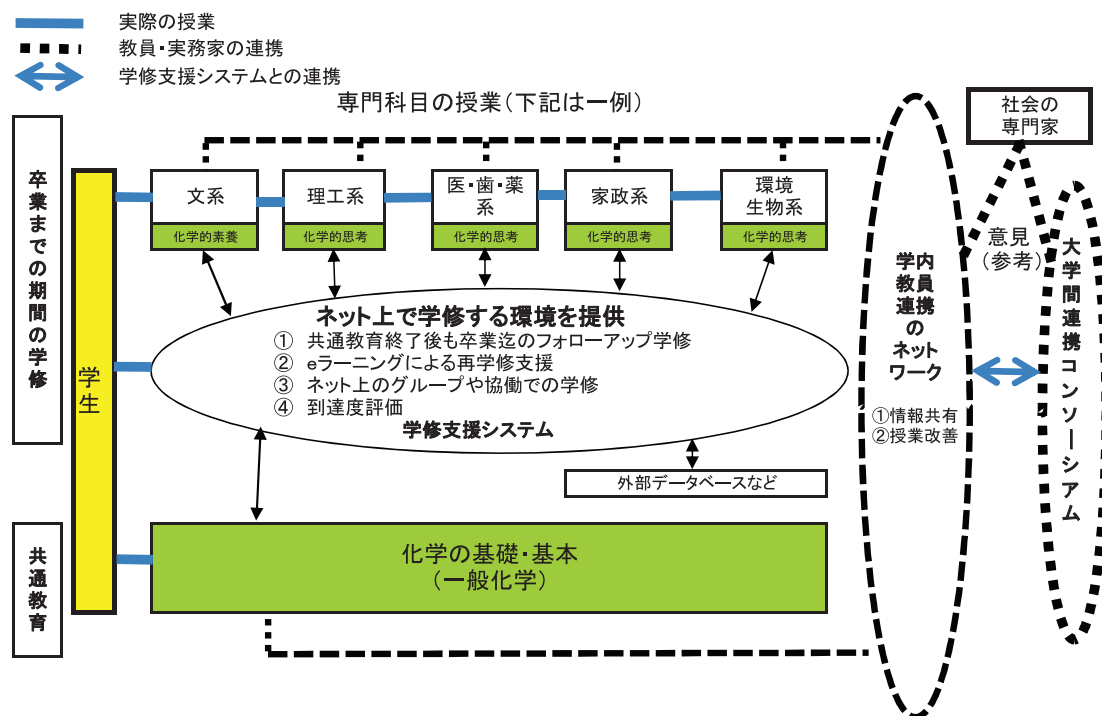


図 授業の仕組み

2.3 授業にICT*を活用したシナリオ

以下に授業シナリオの一例を紹介する。

- ① 身の回りの物質が原子と分子の組み合わせでできており、どのような化学変化・物理変化によって作られているかをシミュレーション映像などにより理解させる。
- ② 身の回りの物質が生活環境や健康に及ぼす有効性や危険性について、映像及び参考資料を用いて講義し、学修支援システム*に記入させ、理解の確認を行わせる。
- ③ 物質科学の観点で環境・食料・エネルギーなどから課題を設定し、物質が生活環境や健康に及ぼす有用性と危険性などについてグループ間で調査・ディスカッションさせ、フォーラムでの議論を踏まえて結論の妥当性を検証させ、可能性と限界を考察させる。
- ④ 初年次教育終了後、学内の関連分野の授業と連携した統合プログラムを構築し、問題発見・解決に物質科学の視点を織り込んだ授業をネット上で展開する。

2.4 授業にICTを活用した学修内容・方法

以下に学修内容・方法の一例を紹介する。

- ① 教員連携によるeテキストを用いて予習、復習させ、上級学年生・大学院生などのファシリテーター*が学びを支援し、理解度テストなどで学修を確認させる。
- ② 燃料電池などを題材にして化学物質が生活環境や健康に及ぼす有用性や安全性について講義し、その原理、構成、性能、経済性などをグループや協働で学ばせ、その結果を対面やネット上で発表させる。
- ③ フォーラムを通じて企業の研究・製造の現場担当者から関連する情報の提供を受け、学びを振り返りさせる。
- ④ 到達度の自己点検の評価軸を明示し、各自が学修活動に関する省察と評価を行う。

2.5 授業にICTを活用して期待される効果

- ① 企業などの現場情報を取り入れることで、化学が単なる理論の学修ではなく、実社会と密接に

関わり合っていることを認識することができる。

- ② 対面やネットによるグループでの学びを通じて多様な視点から学修できる。
- ③ グループでの学び合いや相互評価を通じて、自己との関連付けを行い、自ら学ぶ姿勢を身につけさせることができる。

2.6 授業にICTを活用した学修環境

- ① 教員連携によるeテキストの開発や共同で利用する環境が必要になる。
- ② 学修ポートフォリオシステム^{*}、学修支援システムなどが必要になる。
- ③ 学修を支援する上級学年生・大学院生などのファシリテーターが必要になる。
- ④ 企業や学外の専門家がネットを通じて授業を支援できるクラウド環境が必要になる。

3. 改善モデルの授業の点検・評価・改善

この授業の点検・評価・改善は、初年次教育を担当する教員と関連分野の担当教員が学修ポートフォリオの情報を共有し、それぞれの立場で授業の振り返りを行い、意見交換を通じて課題の洗い出しと改善に向けた方策を模索する。また、総合的な視点に基づく振り返りを行うため、大学間コンソーシアムを通じた意見交流を行い、中立的な立場からの示唆を受けて行う。

4. 改善モデルの授業運営上の問題及び課題

- ① 教員間の連携を組織的に推進するための大学ガバナンスの発揮が必要になる。
- ② 大学を超えて企業や学外専門家から現場情報の提供を受けるコンソーシアムの仕組みが必要である。
- ③ 上級学年生・大学院生などのファシリテーターが学修を支援する体制を組織的に構築する必要がある。

化学教育における教育改善モデル【2】

上記到達目標の内、「物質科学の観点から、身の回りの現象・事象や環境・食料・エネルギーなど多くの問題を適切に認識し、判断できる」を実現するための教育改善モデルを提案する。

1. 到達度として学生が身につける能力

<専門レベル> 化学及び化学関連分野を専門とする学生を対象とした水準

- ① 身の回りの物質が生活環境や健康に及ぼす有効性や危険性などに関する情報を正しく理解できる。
- ② 身の回りの物質がどのように作られているかを概略として理解できる。
- ③ 物質の性質を原子・分子及びその集団のレベルで理解できる。
- ④ 基本的な物質の種類と特徴、命名法を理解できる。
- ⑤ 物質の化学反応を原子・分子レベルで説明できる。
- ⑥ 物質の変化を定量的に扱うことができる。
- ⑦ 基本的な物質の性質を理解し、実験で安全に取り扱うことができる。

2. 改善モデルの授業デザイン

2.1 授業のねらい

これまでの授業では、有機化学、無機化学、物理化学などの分野ごとに知識や理論の基礎を系統的に教えているが、化学全体を総合的に学ぶ力が身につけていない。

ここで提案する授業は、専門分野を学ぶ前段階として身の回りの現象・事象を通じて、物質の構造・性質・反応性を総合的に学修させることで、物質を原子・分子及びその集団のレベルで理解で

きるようにすることを目指す。

2.2 授業の仕組み

ここでは、化学関連分野を専門とする初年次の学生を対象とするが、学びが定着できるように授業終了後もネット上で学修の場を提供することを前提としている。基礎・基本の部分は講義形式で進め、修得した知識が身の回りの諸問題とどのように関わっているかをグループなどでディスカッションさせる。初年次以降も専門科目の授業との関連の中で物質の構造・性質・反応性を総合的に身につけさせるため、各科目の教員が連携して授業を行うためのプラットフォーム※をネット上に構築する。また、学生が協働で教え合い・学び合いできる仕組みを設ける。

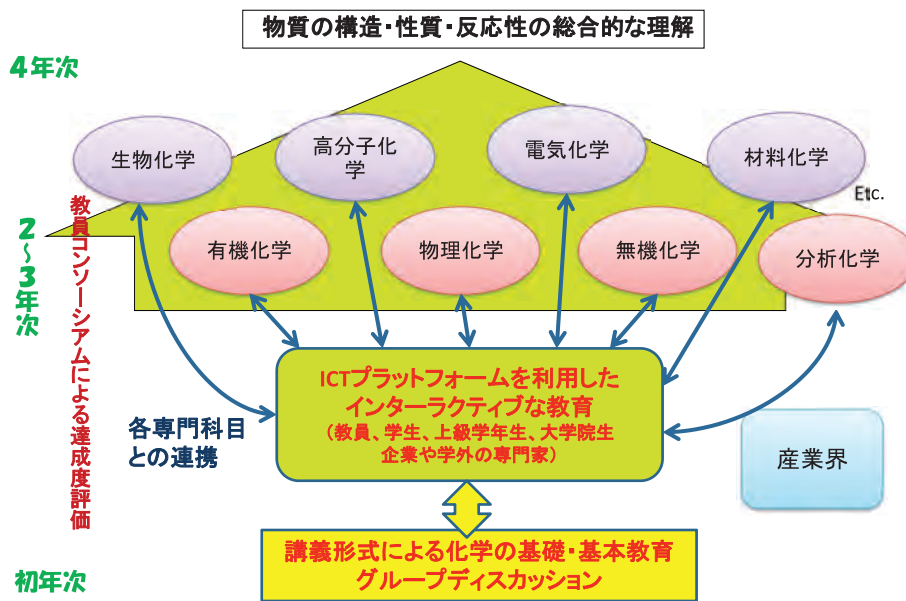


図 授業の仕組み

学修到達度の確認は、教員コンソーシアムによる達成度評価システムで行う（図）。

2.3 授業にICTを活用したシナリオ

以下に授業シナリオの一例を紹介する。

- ① 高校までの学修で化学の基礎知識が到達していない場合には、学修支援システムのサイトにおいて学生の能力に応じたeラーニング※を行う。
- ② プラットフォーム上で基礎教育と専門科目の教員が授業内容など基礎から応用までの4年間を通じた教育計画を策定し、卒業時点で学修成果を質保証できるようにする。
- ③ 授業はグループでの学び合いを積極化するため、上級学年生によるファシリテーターを導入する。
- ④ 学修成果の通用性を点検・確認するため、学修成果を社会に公表して外部の助言を求める。
- ⑤ 学修到達度の確認は、グループ発表にどのように各個人が関与したかを学修ポートフォリオ上で相互評価させる。

2.4 授業にICTを活用した学修内容・方法

以下に学修内容・方法の一例を紹介する。

- ① 3次元描画やシミュレーションなどを利用して、身の回りにある物質が分子・原子・イオンなどで構成され、物質の性質や原子や分子などの組み合わせで新しい物質を創生する学問であることを理解させる。
- ② 環境・食料・エネルギーなどを題材にした学修課題、資料を学修支援システムで配布し、興味を持たせるための動機付けを行うとともに、講義内容のオンデマンド配信により学修効果を高める。
- ③ 課題に対してグループでKJ法※やクラウドマインドマップ※などの創造的問題解決技法を用いて全体のまとめを発表させ、議論の経過を学修支援システム上に掲載することで、グループ間で

の成果を共有する。その際、必要に応じて上級学年生のファシリテーターが学修を支援する。

- ④ 学修支援システムで理解度の把握を行うとともに、質問・問題点を公開し、全体の理解を深める。
- ⑤ 教員コンソーシアムによる基礎知識の達成度試験をネット上で行う。
- ⑥ 学修成果を対面や学修支援システム上で発表させ相互評価し、その結果をネット上に掲載して、振り返りを行わせる。

2.5 授業にICTを活用して期待される効果

- ① 分子構造などを3次元描画やシミュレーションなどで提示することで視覚的に理解させることができる。
- ② 学修支援システムを通じてオンデマンドで教員と上級学年生が学修を支援することができる。
- ③ グループ間で学修成果を共有することで多面的に学びを深めることができる。
- ④ 学生間の相互評価やネットを通じて外部の意見や評価を受けることで、学びの振り返りができる。
- ⑤ 基礎知識について試験をネット上で行うことで達成度が客観的に評価できる。

2.6 授業にICTを活用した学修環境

- ① 学修支援システムやグループで協働学修するためのプラットフォームが必要である。
- ② 3次元描画やシミュレーションなど、動的状態の提示ができるデータベースが必要である。
- ③ 学修を支援する上級学年生・大学院生などのファシリテーターの体制が必要になる。
- ④ 企業や学外の専門家がネットを通じて授業を支援できるクラウド環境が必要になる。

3. 改善モデルの授業の点検・評価・改善

この授業の点検・評価・改善は、初年次教育を担当する教員と関連分野の担当教員が基礎知識の達成度評価システムと学修ポートフォリオの情報を共有し、それぞれの立場で授業の振り返りを行い、意見交換を通じて課題の洗い出しと改善に向けた方策を模索する。また、総合的な視点に基づく振り返りを行うため、大学間コンソーシアムを通じた意見交流を行い、中立的な立場からの示唆を受ける。

4. 改善モデルの授業運営上の問題及び課題

- ① 大学ガバナンスとして基礎教育と専門科目の教員が授業内容の4年間を通じた教育計画を策定し、卒業時点で学修成果を質保証できるようにすることが必要である。
- ② 学修成果を質保証するため、教員や上級学年生・大学院生などのファシリテーターが協働して学修を支援する体制が必要である。
- ③ 3次元描画やシミュレーションなどのデータベースを共有する教育クラウドなどの構築が必要である。
- ④ 私立大学情報教育協会を拠点とする教員コンソーシアムによる基礎知識の達成度試験のデータベースが必要である。

第3節 改善モデルに必要な教育力、FD※活動と課題

【1】化学教員に期待される専門性

- ① 持続可能な社会の発展と地球環境の保全に向け、科学者としての使命感と倫理観を有していること。
- ② 科学技術社会の現状を振り返り、ミクロとマクロの問題を物質科学の観点から複眼的・統合的

に捉えられること。

- ③ 理論と実証を通じて化学現象を解明し、機能性物質の発見・創生に取り組めること。
- ④ 社会の発展と化学との関係に気付かせ、興味・関心を抱かせることで、主体的な学修に取り組みせられること。
- ⑤ ICTなどの教育技法を駆使して、集約・検証・応用を通して、課題解決型の教育ができること。

【2】教育改善モデルに求められる教育力

- ① 授業のカリキュラム上の位置付けを教員間で共有し、カリキュラムポリシーに沿った授業を実施できること。
- ② 化学の知識を実際の事例などを用いて身の回りの事象と関連付けて理解させられること。
- ③ 専門分野の立場から物質を科学的に捉えさせられること。
- ④ 初年次教育終了後も関連分野の授業と連携し、ICTを活用した統合授業をマネジメントできること。
- ⑤ 主体的な学修を実現するために、グループダイナミクスと相互評価を組み合わせることで効果的な授業マネジメントができること。
- ⑥ 学修成果を可能な範囲で学内外に発信し、評価や助言を受け、その結果を授業に反映できること。
- ⑦ ICTなどを活用して学生とのコミュニケーション、適切な教材作成、eラーニングができること。

【3】教育力を高めるためのFD活動と大学としての課題

(1) FD活動

- ① 教員間の連携のもとに授業内容とカリキュラムポリシーとの整合性の確認及び検討を定期的に行う必要がある。
- ② 教育方法に関する研究報告会を集中的に開催し、学修理論に基づいて指導法の向上を図る必要がある。
- ③ ICTを活用した統合授業のマネジメント技法を修得させるためのワークショップを組織的に行う必要がある。
- ④ グループでの学修や対話型授業などの指導法の実践について、ワークショップを組織的に行う必要がある。
- ⑤ 関連分野の教員や実務に携わる専門家と学修成果・内容について、定期的に意見交換を行う必要がある。

(2) 大学としての課題

- ① ICTを活用した教育改善を支援する組織と環境を持続的に整備する必要がある。
- ② 教員の教育活動を把握し、教育改善のインセンティブを高めるための支援に取り組む必要がある。
- ③ 学内外の教員及び社会の専門家から協力を得るために、連携の呼びかけ、制度の整備及び財政的な支援を行う必要がある。
- ④ 教材コンテンツ、ネットを介した評価や意見交換の結果などを大学間でアーカイブし、共有できるようにする必要がある。
- ⑤ 世界を視野に入れた教育の質保証を持続的に行う責任がある。