

「化学」 指導の手引き

2016年第1回評価



International Baccalaureate®
Baccalauréat International
Bachillerato Internacional

「化学」 指導の手引き

2016年第1回評価



International Baccalaureate®
Baccalauréat International
Bachillerato Internacional

ディプロマプログラム（D P）

「化学」指導の手引き

2014年2月に発行の英文原本 *Chemistry guide* の日本語版
2014年11月発行

本資料の翻訳・刊行にあたり、
文部科学省より多大なご支援をいただいたことに感謝いたします。

注： 本資料に記載されている内容は、英文原本の発行時の情報に基づいています。ただし、ディプロマプログラムの概要を説明している「ディプロマプログラムとは」のセクションに限り、日本語版刊行時現在の新たな情報が反映されています。

非営利教育財団 国際バカロレア機構
(International Baccalaureate Organization)
15 Route des Morillons, 1218 Le Grand-Saconnex, Geneva, Switzerland

発行所
International Baccalaureate Organization (UK) Ltd
Peterson House, Malthouse Avenue, Cardiff Gate
Cardiff, Wales CF23 8GL, United Kingdom

ウェブサイト：www.ibo.org

© International Baccalaureate Organization 2014

国際バカロレア機構（以下、「IB」という。）は、より良い、より平和な世界の実現を目指して、チャレンジに満ちた4つの質の高い教育プログラムを世界中の学校に提供しています。本資料は、こうしたプログラムを支援することを目的に作成されました。

IBは、資料の中で利用する多様な情報源について、情報の正確さと信憑性を確認します。ウィキペディアのようなコミュニティーベースの知識源を使用する際には、特に留意します。IBは知的財産の原則を尊重し、利用する著作物すべてについて刊行前に著作権者を特定し、許諾を得るよう常に努力します。IBは、本資料で利用した著作物に対して許諾をいただいたことに感謝するとともに、誤記および遺漏がありました場合には、可能な限り早急に訂正いたします。

本資料に関するすべての権利はIBに帰属します。法令またはIB内部規則もしくは方針に明記されていない限り、IBの事前承諾書なしに、本書のいかなる部分も、形式と手段を問わず、複製、検索システムへの保存、送信を禁じます。詳しくはwww.ibo.org/copyrightをご覧ください。

IBの商品と刊行物は、IBストア (<http://store.ibo.org>) でお求めください。ご注文については、販売・マーケティング部にお問い合わせください。

電子メール：sales@ibo.org

International Baccalaureate、Baccalauréat International および Bachillerato Internacional は、International Baccalaureate Organization の登録商標です。

IBの使命 IB mission statement

国際バカロレア（IB）は、多様な文化の理解と尊重の精神を通じて、より良い、より平和な世界を築くことに貢献する、探究心、知識、思いやりに富んだ若者の育成を目的としています。

この目的のため、IBは、学校や政府、国際機関と協力しながら、チャレンジに満ちた国際教育プログラムと厳格な評価の仕組みの開発に取り組んでいます。

IBのプログラムは、世界各地で学ぶ児童生徒に、人がもつ違いを違いとして理解し、自分と異なる考えの人々にもそれぞれの正しさがあり得ると認めることのできる人として、積極的に、そして共感する心をもって生涯にわたって学び続けるよう働きかけています。



IBの学習者像

すべてのIBプログラムは、国際的な視野をもつ人間の育成を目指しています。人類に共通する人間らしさと地球を共に守る責任を認識し、より良い、より平和な世界を築くことに貢献する人間を育てます。

IBの学習者として、私たちは次の目標に向かって努力します。

探究する人

私たちは、好奇心を育み、探究し研究するスキルを身につけます。ひとりで学んだり、他の人々と共に学んだりします。熱意をもって学び、学ぶ喜びを生涯を通じてもち続けます。

知識のある人

私たちは、概念的な理解を深めて活用し、幅広い分野の知識を探究します。地域社会やグローバル社会における重要な課題や考えに取り組みます。

考える人

私たちは、複雑な問題を分析し、責任ある行動をとるために、批判的かつ創造的に考えるスキルを活用します。率先して理性的で倫理的な判断を下します。

コミュニケーションができる人

私たちは、複数の言語やさまざまな方法を用いて、自信をもって創造的に自分自身を表現します。他の人々や他の集団のものを見方に注意深く耳を傾け、効果的に協力し合います。

信念をもつ人

私たちは、誠実かつ正直に、公正な考え方と強い正義感をもって行動します。そして、あらゆる人々がもつ尊厳と権利を尊重して行動します。私たちは、自分自身の行動とそれに伴う結果に責任をもちます。

心を開く人

私たちは、自己の文化と個人的な経験の真価を正しく受け止めると同時に、他の人々の価値観や伝統の真価もまた正しく受け止めます。多様な視点を求め、価値を見いだし、その経験を糧に成長しようと努めます。

思いやりのある人

私たちは、思いやりと共感、そして尊重の精神を示します。人の役に立ち、他の人々の生活や私たちを取り巻く世界を良くするために行動します。

挑戦する人

私たちは、不確実な事態に対し、熟慮と決断力をもって向き合います。ひとりで、または協力して新しい考え方や方法を探究します。挑戦と変化に機知に富んだ方法で快活に取り組みます。

バランスのとれた人

私たちは、自分自身や他の人々の幸福にとって、私たちの生を構成する知性、身体、心のバランスをとることが大切だと理解しています。また、私たちが他の人々や、私たちが住むこの世界と相互に依存していることを認識しています。

振り返りができる人

私たちは、世界について、そして自分の考え方や経験について、深く考察します。自分自身の学びと成長を促すため、自分の長所と短所を理解するよう努めます。

この「IBの学習者像」は、IBワールドスクール（IB認定校）が価値を置く人間性を10の人物像として表しています。こうした人物像は、個人や集団が地域社会や国、そしてグローバルなコミュニティの責任ある一員となることに資すると私たちは信じています。

目次

はじめに	1
本資料の目的	1
ディプロマプログラムとは	2
科学の本質（N O S）	7
「化学」の学習	17
ねらい	23
評価目標	24
シラバス	25
シラバスの概要	25
「化学」の指導の方法	27
シラバスの内容	32
評価	180
ディプロマプログラムにおける評価	180
評価の概要——標準レベル（S L）	183
評価の概要——上級レベル（H L）	184
外部評価	185
内部評価	187
グループ4プロジェクト	202
付録	208
指示用語の解説	208
参考文献	212

本資料の目的

本資料は、「化学」を学校で計画、指導、評価するための手引きです。「化学」の担当教師を対象としていますが、生徒や保護者に「化学」について説明する際にも、ご活用ください。

本資料は、オンラインカリキュラムセンター（OCC）の教科のページで入手できます。OCC (<http://occ.ibo.org>) は、パスワードで保護された IB のウェブサイトで、IB の教師をサポートする情報源です。また、本資料は IB ストア (<http://store.ibo.org>) で購入することもできます。

その他のリソース

教師用参考資料や科目レポート、内部評価のガイダンス、評価規準の説明といったその他のリソースも、OCC で取り扱っています。過去の試験問題とマーカスキームは IB ストアで取り扱っています。

OCC では、他の教師が作成したり、活用している教育リソースについて情報を得ることができますので、ご活用ください。教師たちによりウェブサイトや本、ビデオ、定期刊行物、指導案などの役立つリソースも提供されています。

謝辞

IB は、本資料を作成するにあたり、時間やリソースを惜しみなく提供してくださった教育関係者や提携校の皆様に感謝の意を表します。

2016 年 第 1 回評価

ディプロマプログラムとは

ディプロマプログラム（D P）は16歳から19歳までの大学入学前の生徒を対象とした、綿密に組まれた教育プログラムです。幅広い分野を学習する2年間のプログラムで、知識豊かで探究心に富み、思いやりと共感する力のある人間を育成することを目的としています。また、多様な文化の理解と開かれた心の育成に力を入れており、さまざまな視点を尊重し、評価するために必要な態度を育むことを目指しています。

D Pのプログラムモデル

D Pは、6つの教科が中心となる核（「コア」）を取り囲んだ形のモデル図で示すことができます（図1参照）。D Pでは、幅広い学習分野を同時並行して学ぶのが特徴で、生徒は「言語と文学」（グループ1）と「言語の習得」（グループ2）で現代言語を計2言語（または現代言語と古典言語を1言語ずつ）、「個人と社会」（グループ3）から人文または社会科学を1科目、「理科」（グループ4）から1科目、「数学」（グループ5）から1科目、そして「芸術」（グループ6）から1科目を履修します。多岐にわたる分野を学習するため、学習量が多く、大学入学に向けて効果的に準備できるようになっています。生徒は各教科から柔軟に科目を選択できるため、特に興味のある科目や、大学で専攻したいと考えている分野の科目を選ぶことができます。



図1
D Pのプログラムモデル

科目の選択

生徒は、6つの教科からそれぞれ1科目を選択します。ただし、「芸術」から1科目選ぶ代わりに、他の教科で2科目選択することもできます。通常3科目（最大4科目）を上級レベル（H L）、その他を標準レベル（S L）で履修します。IBでは、H L科目の学習に240時間、S L科目の学習に150時間を割りあてるなどを推奨しています。H L科目はS L科目よりも幅広い内容を深く学習します。

いずれのレベルにおいても、さまざまなスキルを身につけますが、特に批判的な思考と分析に重点を置いています。各科目の修了時に、学校外で実施されるIBによる外部評価で生徒の学力を評価します。また、多くの科目で、科目を担当する教師が評価する課題（コースワーク）を課しています。

プログラムモデルの「コア」

DPで学ぶすべての生徒は、プログラムモデルの「コア」を形づくる次の3つの必修要件を履修します。「知の理論」（TOK：theory of knowledge）では、^{クリティカル}^{クリティカルシンキング}批判的思考を取り組みます。具体的な知識について学習するのではなく、知るプロセスを探究するコースです。「知識の本質」について考え、私たちが「知っている」と主張することを、いったいどのようにして知るのかを考察します。具体的には、「知識に関する主張」を分析し、知識の構築に関する問い合わせる生徒に働きかけていきます。TOKの目的は、共有された「知識の領域」の間のつながりを重視し、それを「個人的な知識」に結びつけることで、生徒が自分なりのものの見方や、他人との違いを自覚できるよう促していくことがあります。

「創造性・活動・奉仕」（CAS：creativity, action, service）は、DPの中核です。「IBの使命」や「IBの学習者像」の倫理原則に沿って、生徒が自分自身のアイデンティティーを構築するのを後押しします。CASでは、DPの期間を通じて、アカデミックな学習と同時並行して多岐にわたる活動を行います。CASは、創造的思考を伴う芸術などの活動に取り組む「創造性」（creativity）、健康的なライフスタイルの実践を促す身体的活動としての「活動」（action）、学習に有益であり、かつ無報酬で自発的な交流活動を行う「奉仕」（service）の3つの要素で構成されています。CASは、DPを構成する他のどの要素よりも、「多様な文化の理解と尊重の精神を通じて、より良い、より平和な世界を築く」という「IBの使命」に貢献しているといえるかもしれません。

「課題論文」（EE：extended essay）では、生徒は、関心のあるトピックの個人研究に取り組み、研究成果を4000語（日本語の場合は8000字）の論文にまとめます。EEには、世界を対象に学際的な研究を行う「ワールドスタディーズ」として執筆されるものも含まれます。生徒は、履修しているDP科目から1科目（「ワールドスタディーズ」の場合は2科目）を選び、対象とする研究分野を定めます。また、EEを通じて大学で必要とされるリサーチスキルや記述力を身につけます。研究は、正式な書式で構成された論文に

まとめ、選択した科目にふさわしい論理的で一貫した形式で、アイデアや研究結果を伝えます。高いレベルのリサーチスキル、記述力、創造性を育成し、知的発見を促すことを目的としており、担当教員の指導のもと、生徒が、自分自身で選択したトピックに関する研究に自立的に取り組む機会となっています。

「指導の方法」と「学習の方法」

D P での「指導の方法」(approaches to teaching) と「学習の方法」(approaches to learning) は、熟慮されたストラテジー やスキル、態度として、指導や学習の場に浸透しています。「指導の方法」も「学習の方法」も、「I B の学習者像」に示されている人物像と本質的に関連しています。そして、生徒の学習の質を高めると同時に、D P の最終評価 やその先の学びのための礎をつくります。D P での「指導の方法」と「学習の方法」には、次のようなねらいがあります。

- ・ 学習内容を教えるだけでなく、学習者を導く存在としての教師のあり方を支援する。
- ・ 生徒の有意義で体系的な探究と、批判的思考 や創造的思考を促すため、教師が ファシリテーターとしてより効果的なストラテジーを立てられるよう支援する。
- ・ 各教科のねらい（科目別に掲げる目標以上のもの）と、それぞれの知識の関連づけ（同時並行的な学習）の両方を推進する。
- ・ 生徒が卒業後も積極的に学び続けるために、さまざまなスキルを系統的に身につけるよう奨励する。また生徒が良い成績を得て大学に進学できるよう支援すると同時に、大学在学中の学業の成就や卒業後の成功に向けて準備する。
- ・ D P での生徒の体験の一貫性と関連性をよりいっそう高める。
- ・ 理想主義と実用主義が融合したD P の教育ならではの本質に対して、学校の理解を促進する。

5つの「学習の方法」（思考スキル、社会性スキル、コミュニケーションスキル、自己管理スキル、リサーチスキルの各スキルを高める）と、6つの「指導の方法」（探究を基盤とした指導、概念に重点を置く指導、文脈化された指導、協働に基づく指導、生徒の多様性に応じて差別化した指導、評価を取り入れた指導）には、I B の教育を支える重要な価値観と原則が含まれています。

「I B の使命」と「I B の学習者像」

D P では、「I B の使命」と「I B の学習者像」に示された目的の達成に向かって、生徒たちが必要な知識やスキル、態度を身につけられるよう働きかけます。D P における「指導」と「学習」は、I B の教育理念を日々の実践において具現化したものです。

学問的誠実性

D Pにおける「学問的誠実性」(academic honesty)は、「I Bの学習者像」の人物像を通じて示されている価値観と振る舞いに則しています。学問的誠実性は、指導、学習、そして評価において、各自が誠実で公正であることを促し、他人とその成果物の権利を尊重することを奨励します。また、すべての生徒は学習を通じて身につけた知識や能力を示す機会を等しく得ることが保証されています。

評価のための課題（コースワーク）を含むすべての学習成果物は生徒本人が取り組んだものでなければなりません。学習成果物は生徒自身の独自のアイデアに基づくものであり、他人のアイデアや成果物を用いる場合は出典を明示しなければなりません。教師が課題について生徒に指導する場合や、生徒同士の協働作業を要する評価課題に取り組む際には、必ず、I Bが定めるその教科のためのガイドラインを順守しなければなりません。

I BおよびD Pにおける学問的誠実性について、より詳しくは I B 資料『学問的誠実性』、『D P：原則から実践へ』、および同（英語版）『General regulations:Diploma Programme（総則：D P編）』を参照してください。D P科目の学校外で実施される I Bによる外部評価（external assessment）と学校内の教師が評価を手がける内部評価（internal assessment）に関連する学問的誠実性の情報は、本資料の中にも記載されています。

出典を明らかにする

国際バカロレア資格（I B資格）取得志願者は、I Bに提出する評価課題で引用した情報の出典をすべて明らかにしなければなりません。コーディネーターと教師は、このことに留意する必要があります。以下にこの要件について説明します。

I B資格取得志願者は、さまざまな媒体を用いた評価課題をI Bに提出します。その中には、出版物または電子情報として公表された視聴覚資料、文章、図表、画像、データなどの引用が含まれている場合があります。志願者は、他人の成果物やアイデアを用いる場合、参考文献目録の書式として標準的とされる一定の書式に従い、出典を明示しなければなりません。志願者が出典の明示を怠った場合、I Bは規則違反の可能性があるとして調査を行います。場合によっては、I B最終資格授与委員会（IB final award committee）による処分の対象となります。

I Bは志願者が用いる参考文献目録や本文中の引用の書式については指定せず、志願者の学校の担当者または教師に判断を委ねています。幅広い科目を提供していることや、英語、フランス語、スペイン語の3言語に対応していること、そして多様な参考文献目録の書式があることから、特定の書式を要求することは非合理的かつ制限的です。実際には、ある特定の書式が最も頻繁に使われるかもしれません、学校はその科目と使用言語に適した書式を自由に選ぶことができます。その科目のために学校が選ぶ参考文献目録の書式にかかわらず、著者名、発行日、書名、ページ番号などの最低限の情報は明記する必要があります。

志願者は標準的とされる書式を用い、言い換えや要約を含むすべての参考資料の出典を一貫した書式で明示することが求められます。文章執筆の際、生徒は引用符（または、字下げなどのその他の方法）を用いて自分自身の言葉と他人の言葉を明確に区別し、適切な形で引用を示して参考文献目録に明記してください。電子情報を引用した場合、参考文献目録にアクセス日を明記してください。志願者に期待されているのは、参考文献目録の作成の完璧さではありません。すべての出典を明らかに示すことが求められているのです。志願者は、自分自身のものではない出版物や電子情報として公表された視聴覚資料、文章、図表、画像、データなどもすべて出典を明らかにするように必ず指導を受けなければなりません。この場合も参照・引用の適切な書式を用いてください。

学習の多様性と学習支援の必要な生徒への取り組み

IB資格取得志願者で学習支援を必要とする生徒に対して、学校は平等に評価を受けるための配慮と妥当な調整を行わなければなりません。配慮や調整は、IB資料『受験上の配慮の必要な志願者について』および同（英語版）『Learning diversity in the International Baccalaureate programmes: Special educational needs within the IB programmes（IB教育と学習の多様性：IBプログラムにおける特別な教育的ニーズ）』に沿って行わなければなりません。

科学の本質（N O S）

「科学の本質」（N O S : nature of science）とは、「生物」「化学」「物理」の各科目に共通するテーマです。そのため「生物」「化学」「物理」のいずれの「指導の手引き」にも「科学の本質（N O S）」と題したセクションが設けられています。「科学の本質とは何か」を教師が理解するための参考としてください。本セクションでは、21世紀における「科学の本質」とは何かを包括的に説明します。ただし、指導または評価に関して、上記3科目のテーマすべてを詳細に取り上げることはしていません。

「科学の本質」の各段落には、1.1、1.2などの番号がつけられています。シラバス（横長のページ）には、サブトピックごとに「『科学の本質』（N O S）との関わり」の欄があり、関連する段落の番号と要点が明記されています。また、どのように「科学の本質」を捉え、学習内容と結びつけるかの例も示されています。具体的には、各サブトピックで取り組む「理解」「知識・スキルの活用」と、1つあるいは複数の「科学の本質」のテーマを関連づける方法を説明しています。本セクションに挙げる「科学の本質」の記述を単に繰り返したものではありません。あくまでも具体的な文脈に「科学の本質」を位置づけています。詳細は、「シラバスのフォーマット」の項を参照してください。

技術について

「科学の本質」を取り上げるにあたって、「技術」という用語をどのように解釈するかは重要です。また、科学から派生し、科学に貢献する技術というものの役割も明確にしなければなりません。今日の世界では、「科学」と「技術」という用語は、あたかも同義語のように用いられていますが、歴史的には「科学」と「技術」は必ずしも同じではありませんでした。技術が生まれたのは、科学よりも前のことです。「なぜ物質には、多様な目的に利用できる、さまざまな性質があるのか」ということが理解されるずっと以前から、人々は物質を用いて、役に立つ、装飾的な人工物をつくり出してきました。一方、現代社会では、その関係は逆転し、根本的な科学の理解が、技術的な発展の基礎になっていきます。そして、生み出された新しい技術が、今度は科学の発展の推進力となるのです。

科学と技術は、相互に依存し合いながらも、それぞれ異なる価値観に基づいています。
エビデンス 科学が、証拠と合理性、より深い理解の追求を重視する一方で、技術は、実用性と妥当性、役立つものかどうかに価値を置いています。また、技術では、持続可能性に力点を置くことが、ますます重要になってきています。

1. 科学とは何か・科学的試みとは何か

1. 1. 科学は、「万物には、人間の感覚で認識でき、人間の理性で理解できる、自律的な外的現実性がある」ということを基本的な前提としています。
1. 2. 純粋科学は、この万物について共通の理解に至ることを目的としています。応用科学や工学は、新しい方法や製品につながる技術を開発します。ただし、これらの領域間の境界は曖昧です。
1. 3. 科学者は、幅広いさまざまな方法を組み合わせて、科学のプロセスをつくり上げています。「科学的方法」は1つではありません。科学者は、その知見や考えを構築するために、その時々に応じてさまざまな方法を用いてきました。また、それは今日も同様です。科学者は、そうしたさまざまな方法について、どのようなことが科学的に妥当であるかについての共通理解をもっています。
1. 4. 科学は、刺激的かつチャレンジに満ちた冒険です。多大な創造性と想像力、そして厳格で、きめ細かな思考と知識の活用を必要とします。科学者は、予期せぬ、驚くべき、偶発的な発見にも備えなければなりません。科学の歴史は、そのようなことが非常によく起こるということを示しています。
1. 5. 多くの科学的発見は、直観のひらめきを伴います。また発見の多くは、特定の現象に関する推測、または単純な好奇心に端を発しています。
1. 6. 科学者は、共通の専門用語と共通の推論のプロセスを用います。そのプロセスとは、類推と一般化を用いた演繹的推論と帰納的推論を指します。また、科学者は、科学における言語として「数学」という強力な道具を共有しています。実際に、いくつかの科学的な説明は、数学的な形式でのみ存在しています。
1. 7. 科学者は、主張に対して懐疑的な態度をとらなければなりません。科学者がすべてを信じないということではありません。主張の真偽を信じるに足る根拠を得るまでは、判断を保留するということです。こうした根拠は、^{エビデンス}証拠と議論に基づきます。
1. 8. ^{エビデンス}証拠が重要であるということは、根本的な共通理解です。^{エビデンス}証拠は、観察または実験によって得ることができます。^{エビデンス}証拠は、人間の感覚（主として視覚）を通じて収集しますが、非常に小さいものや非常に遠い場所、あるいは人間の感覚では知覚できない現代科学の領域では、遠隔操作および自動で情報収集できる設備やセンサーを用いています。改良された設備や新技術が、しばしば新しい発見への推進力になってきました。また、観察とそれに続く分析および推論が、宇宙の起源に関するビッグバン理論や、自然選択による進化の理論につながりました。これらの理論の場合には、コントロールされた実験を行うことは不可能です。地質学や天文学などの領域は、フィールドでのデータ収集に強く依存していますが、一方で、どの領域でも、^{エビデンス}証拠を収集するために、ある程度の観察を行うといえます。^{エビデンス}証拠を得る別の方法としては、コントロールされた環境での実験（一般的には実験室での実験）が挙げられます。データの形で証拠を得るのです。どのように

に実験を遂行するべきかについては、さまざまな約束事や踏まえなければならぬ了解事項があります。

1. 9. エビデンス このようにして得た証拠は、理論を展開したり、データから一般化して法則をつくったり、仮説を提案したりするために用いられます。そして、これらの理論と仮説は、検証可能な予測を立てるために用いられます。こうして理論は支持されたり、反対されたりするほか、修正されたり、新しい理論に置き換えられたりします。
1. 10. モデルには、単純なものもあれば、非常に複雑なものもあります。モデルは、理論的な理解に基づいており、観察できないようなプロセスの説明のために開発されるものです。コンピューターによる数理モデルは、検証可能な予測を立てるために用いられ、実験できない場合に特に役立ちます。実験または観察データによって検証された結果、モデルが不適当であると証明されるかもしれません。その場合、そのモデルは、修正されたり、新しいモデルに置き換えられたりします。
1. 11. 実験結果、モデルの構築によって得られた洞察、および自然界の観察結果は、主張のためのさらなる証拠として用いることができます。
1. 12. コンピューターの情報処理能力の向上は、モデルの構築力を高めました。現在、モデル（通常は数理モデル）は、実験が不可能である場合に（時には可能である場合にも）新しい理解を引き出すために用いられています。大量のデータ、大量の変数と複雑で長い計算を伴う複雑な状況に関する動的モデルの構築は、コンピューターの情報処理能力が向上した結果、可能になりました。例えば、地球の気候に関するモデルの構築は、将来の気候条件の幅広い予測を行うために用いられます。さまざまな異なるモデルが開発され、どのモデルが最も正確であるかを調べるために、各種モデルによる結果が比較されてきました。時には、過去のデータを用いてモデルを検証し、現在の状況を予測することができるかどうかを調べることもできます。こうした検証で通用したモデルは、正確さにおいて信頼を得るのでです。
1. 13. 科学の考え方とプロセスはいずれも、人的な背景があつてはじめて生じ得るものでです。科学には、多様な背景や伝統をもった人々が関わってきました。その多様性は、各時代における科学の進歩に明らかに影響をもたらしました。一方で、科学に従事するということは、ある共通した原理、方法論、理解およびプロセスをもった探究のコミュニティーに関わることであると理解するのが重要です。

2. 科学の理解

2. 1 科学者は、「理論」「法則」「仮説」という概念を用います。これらの概念は関連していますが、いずれか1つの概念から別の概念へと発展するというものではありません。これらの用語は、科学において特別な意味をもっており、日常的に使う用語とは区別することが重要です。

2. 2. 「理論」は、万物、または万物の一部がどのように機能しているかを示す統合的かつ包括的なモデルです。理論は、事実、法則、および検証された仮説を組み込むことができます。理論から予測を立て、それを実験、または注意深い観察によって検証することができます。病原体の細菌理論や原子理論がその例です。
2. 3. 理論は、一般に、他の理論の仮定および前提と矛盾することなく、幅広い現象や学問領域にあてはまる一貫した理解を打ち立てます。一方で、新しい理論が基本概念の理解や枠組みを根本的に変化させ、他の理論に影響を与え、時として科学における「パラダイムシフト」と呼ばれるものを引き起こす場合もあります。科学において最も有名なパラダイムシフトの1つは、アインシュタインの相対性理論です。相対性理論によって、私たちの時間の概念は、絶対座標系から観測者に依存した座標系へと変化しました。ダーウィンの自然選択による進化論も、地球上の生物に関する私たちの理解を変化させました。
2. 4. 「法則」は、挙動の規則的なパターンの観察から導き出された詳述的、規範的な記述です。一般的には、数学的な形式をとり、結果を計算し、予測を行うために用いることができます。理論や仮説とは異なり、法則は証明することができません。エビデンス科学的な法則は、例外がある可能性もあり、また、新しい証拠に基づいて修正されたり、却下されたりすることもあります。法則は、必ずしも現象を説明する必要はありません。例えば、ニュートンの万有引力の法則によると、2つの物体の間の力は、それらの間の距離の2乗に反比例するため、それに基づいて任意の距離だけ離れた物体間の力を計算することができます、「物体がなぜ互いに引きつけ合うのか」については説明されていません。なお、「法則」という用語は、科学においてはさまざまな使われ方をしてきたので、特定の概念を「法則」と呼ぶか否かは、法則が発見された学問領域および時代によって決まる場合があることに注意してください。
2. 5. 科学者は、時として「仮説」を立てます。仮説とは、世界に関する説明で、真または偽であり得るもので、また、多くの場合、仮説は要素間の因果関係または相関関係を説明します。仮説は、実験または自然界の観察によって検証され、支持される場合もあれば、反対される場合もあります。
2. 6. ある考え方（例えば、理論または仮説）が「科学的」であるためには、その考え方は、自然界および自然についての説明に焦点をあてたものでなければなりません。また、検証可能であることも条件となります。科学者は、一般に認められている原理と矛盾せず、既存の考え方を単純化して統一する仮説や理論を構築することに努めています。
2. 7. 「オッカムの剃刀」の原理は、理論を構築する際の指針とされています。理論は、説明能力を最大化しつつ、できる限り単純であるべきです。
2. 8. 「相関関係」と「因果関係」という考え方とは、科学において非常に重要です。相関関係は、ある変数と別の変数の間の統計的な関連性のことです。正の相関または負の相関があり、+1、0、-1の間の値をもつ相関係数を計算することができます。

ます。ある要素と別の要素の間の（正または負の）強い相関関係は、2つの要素の間のある種の因果関係を示唆しますが、科学者が「因果関係がある」と認めるまでには、たいていの場合、多くの証拠を必要とします。因果関係（ある要素が別の要素の原因となっていること）を確立するには、科学者は、それらの要素を結びつける妥当な科学的体系を必要とします。科学的体系は、喫煙と肺がんの関係の例のように、一方が他方の原因となるという事例を裏づけます。科学的体系は、実験によって検証可能です。

2. 9. ある要素と別の要素との間の関係性を調べるには、それ以外のすべての要素の設定をコントロールした状態で実験することが理想的です。ただし、いつもそのような実験ができるわけではありません。科学者（特に生物学者や医学者）は、実験（二重盲検法や治験など）が不可能な場合に、サンプリング、疫学のコホート研究、および症例対照研究によって、因果関係への裏づけを強化します。医学分野の疫学では、確立された科学的知識がほとんどない場合や、状況を完全にコントロールするのが困難な場合に、データの統計分析を用いて相関関係の有無の可能性を検討します。このような場合には、他の分野と同様に、確率論による数学的分析が役立ちます。

3. 科学の客観性

3. 1. データは、科学者に不可欠なものです。データには、定性的データと定量的データがあります。データは、純粋な観察から得る場合もあれば、電子センサーを使った遠隔実験や直接的な測定による特定の実験から得る場合もあります。正確かつ的確な記述や予測を行うには、通常、定量的で数理解析が可能なデータが最も適しています。科学者は、データを解析し、パターン、傾向、矛盾を探し出して、関係性を発見し、因果関係を確立することを試みます。ただし、これは必ずしも可能とは限りません。したがって、観察結果や、銀河系や化石など対象物のタイプを同定して分類することは、今も科学研究の1つの重要な側面です。
3. 2. 反復測定を行い、大量の測定値を集めることは、収集データの信頼性を向上させます。データは、例えば、線形グラフや対数グラフなどのさまざまな形式で提示することができます。こうしたグラフを用いて、正比例または反比例、あるいは指數関係の解析をすることも可能です。
3. 3. 科学者は、確率的誤差および系統誤差に注意し、グラフ上のエラーバーおよび回帰線などの手法を用いて、データをできる限り現実的かつ誠実に表現しなければなりません。データの外れ値を却下すべきか否かを検討する必要があります。
3. 4. 科学者は、誤差と不確かさ、正確度と精度の間の違いを理解する必要があります。また、平均、平均値、最頻値、中央値などの数学的概念を理解して活用することも必要です。標準偏差、およびカイ二乗検定などの統計的手法は、よく用いられます。また、結果がどの程度、正確であるかを評価できることは重要です。さ

- ざまな状況下でどの手法が適切であるかを決定できるようになることは、科学者としての訓練および身につけるべきスキルの重要な部分です。
- 3.5. 実験計画と解釈に影響を与える「認知バイアス」に注意することも、科学者としてきわめて重要です。例えば、「確証バイアス」は、予期していないデータや、期待や要求に従わないデータを却下し、期待や要求と一致するデータを受け入れる理由を探すよう駆り立てる認知バイアスで、よく知られています。科学のプロセスおよび方法論は、概して、先入観によるこれらのバイアスを考慮するように設計されています。しかし、こうしたバイアスの影響を受けることのないよう常に注意をしなければなりません。
- 3.6. 科学者は、結果または発見を確實に「正しい」とすることはできません。一方で、私たちは、一部の科学的成果が「確實」に非常に近いものであることを知っています。科学者は、結果について議論する時に「信頼度」について話すことが少なくありません。ヒッグス粒子の存在の発見は、このような「信頼度」に関連する一例です。この粒子は、決して直接的に観察できません。したがって、その粒子の「存在」を確定するにあたって、素粒子物理学者は「発見」と見なすための自主的な定義である「5シグマの確かさ」——ヒッグス粒子が存在しないにもかかわらず、偶然、そのように示す実験結果を得る確率が0.00003%であるという基準——をクリアしなければなりません。
- 3.7. 近年、コンピューターの情報処理能力、センサー技術、およびネットワークの発達により、科学者は大量のデータを収集することができるようになりました。地球観測衛星や宇宙探査機など多くのデータ源からは、絶えず大量のデータがダウンロードされています。また、遺伝子シーケンサーでは、大量のデータが生成されています。欧州原子核研究機構（CERN）の大型ハドロン衝突型加速器による実験では、1秒間に23ペタバイトのデータが定期的に生成されています。これは、1秒間に、高解像度のテレビ番組の13.3年分に匹敵する量のデータが生成されている計算になります。
- 3.8. 研究では、データベースに収録されたこの大量のデータを解析して、パターンと固有の事象を探し出します。解析には一般的に、研究に参加している科学者が作成したソフトウェアが用いられます。データとソフトウェアは、科学的成果とともに公表されない場合もありますが、通常は他の研究者が利用できるようになっています。

4. 科学の人間的な側面

- 4.1. コラボレーション 科学は、協働の要素の多い営みです。科学のコミュニティーは、科学、工学、技術に従事する人々で構成されています。研究は、共通のゴールに向けて、さまざまな専門分野や専門性による貢献が得られるように、1つの科学分野にとどまらず、多くの学問領域の研究者から成るチームで行うのが一般的です。問題を1つの学問領

域のパラダイムの枠組みにのみあてはめた場合、得られる解決策の可能性は限定されます。さまざまな観点を用いて問題の枠組みをつくり、新たな解決策の可能性を見いだすことが、きわめて有効な場合があるのです。

4. 2. こうしたチームワークは、「科学とは、心を開いて物事を受け入れる精神に富み、地域や文化、政治、国籍、年齢や性別から独立した存在である」という共通理解のもとに形成されます。科学の世界では、情報や考え方が世界規模で自由に交換されます。もちろん、個々の科学者は人間であり、偏見や先入観をもっていることもありますが、科学の制度、実践、方法論が、科学的な試みを全体として偏見のないものに保つことに役立っています。
4. 3. 科学者は、成果を交換することで協力し合うと同時に、学問領域、研究室、組織、国の中や、それらをつなぐ形で形成される大小の規模の研究グループで日々、協働しています。また、こうした協働は、インターネット上のコミュニケーションによってますます促進されています。以下は、大規模な協働の例です。
- マンハッタン計画。原子爆弾の製造とテストを目的とし、最終的には13万人以上を雇用。複数の製造研究拠点を設置し、秘密裏に運営しました。広島と長崎に2つの原子爆弾を投下するに至りました。
 - ヒトゲノム計画（HGP）。ヒトゲノムのマッピングのために立ち上げられた国際的な科学研究プロジェクト。1990年に30億ドルのプロジェクトが始まり、2000年にはゲノムの概要配列がつくられました。DNAの配列は、インターネット上の誰でも利用できるデータベースに収録されています。
 - 気候変動に関する政府間パネル（IPCC）。国連によって組織され、公式にはおよそ2500人の科学者で構成されています。世界中のさらに多くの科学者の研究をまとめた報告書を作成しています。
 - 欧州原子核研究機構（CERN）は、1954年に設立された国際機関で世界最大の素粒子物理学研究所。研究所はジュネーブにあります。およそ2400人を雇用し、100カ国以上、600以上の大学や研究機関に在籍する1万人の科学者や技術者と成果を共有しています。

上記の例は、いずれも賛否両論があり、科学者や一般の人々のさまざまな感情を喚起してきました。

4. 4. 科学者は、他の科学者の発表した成果を読むのに、かなりの時間を費やしています。科学者は、査読と呼ばれるプロセスを経て、科学雑誌に自らの成果を発表します。査読では、同じ分野で研究している何人かの科学者が匿名かつ別々に、その科学者（より一般的には複数の科学者から成るチーム）の研究を審査します。研究方法が妥当であるか否か、およびその研究がその分野の知識に新たな貢献をもたらすか否かの判定なのです。また、科学者は学会に参加して、研究の口頭発表やポスター発表を行います。査読制度のある学術誌の掲載論文がインターネット上で公開されるようになったことで、科学文献を効率よく検索して見つけ

することができるようになりました。専門領域の研究に従事する科学者のための組織は、国内組織、国際組織ともに数多くあります。

4. 5. 科学者は、倫理的、政治的に重要な意味をもつ領域で研究を行ったり、知見を生み出したりすることが少なくありません。たとえば、クローニング、食品や生物の遺伝子組み換え技術、幹細胞および生殖技術、原子力、兵器開発（核、化学、生物兵器）、組織および器官の移植、動物実験を含む領域などが例として挙げられます（IB資料『IB animal experimentation policy（IBの動物実験に関する方針）』を参照）。知的財産権と社会に重大な影響を与える得る情報を自由に交換することに関する問題もあります。科学には、大学や企業のほか、政府機関、防衛省庁、国際機関も取り組んでいます。特許や知的財産権の問題は、保護された環境で研究が行われる際に生じます。
4. 6. データの不正のない誠実な提示が、科学において最も重要です。結果を修正、操作、改ざんしてはなりません。学問的誠実性（academic honesty）を順守し、剽窃をしないためにも、すべての出典を明記し、援助や支援には適切な謝辞を記します。同僚による査読や科学コミュニティーによる精査と懐疑的な姿勢も、誠実さを守るのに役立ちます。
4. 7. あらゆる科学には、資金が必要です。資金源は、どのような種類の研究を行うかを方向づけます。政府や慈善団体からの資金提供が、直接的な受益者が明らかではない基礎研究に対して行われることがあるのに対して、企業からの資金提供は、多くの場合、特定の製品や技術を生み出すための応用研究に対して行われます。政治的、経済的因素が、しばしば資金提供の性質と程度を決定します。科学者は、研究助成金の申請に時間を費やし、研究の必要性を主張しなければならないことが少なくありません。
4. 8. 科学は、多くの問題を解決し、人類の暮らしを向上させるために用いられてきました。一方で、倫理的に疑問のある科学利用や不本意な問題も招いています。公衆衛生の向上や安全な水の供給率の改善、病気予防や健康維持の促進により、死亡率は著しく低下しましたが、出生率は低下していないため、莫大な人口増加とともに、資源、エネルギー、食糧供給などの問題を引き起こしています。倫理的議論、リスク便益分析、リスク評価、予防原則はいずれも、科学が公共の利益に取り組む際の手法の一部です。

5. 科学的リテラシーと科学に対する一般の人々の理解

5. 1. 科学的知見や課題について社会的な判断をする際には、科学の本質に対する理解が欠かせません。一般の人々は、どのように判断を下すのでしょうか。一般の人々がその科学について直接理解して判断することは可能でない場合もあるかもしれません。一方で、一般の人々が科学的プロセスに従っているかどうかに関し

て重要な問い合わせを投げかけることは可能です。科学者には、その問い合わせに答える役目があります。

- 5.2. 科学者は、特定の分野の専門家として、彼らが取り組む課題と知見を一般の人々に説明する立場にあります。自分の専門外では、科学的課題について他の人に助言する能力は一般の人々と大差ないかもしれません。ただし、科学のプロセスについての理解があることは、その科学者自身が個人的な決定したり、ある主張が科学的に信頼できるか否かについて一般の人々を教育する際に役立つことがあります。
- 5.3. 科学的リテラシーには、科学者がどのように研究して考えるかを知ることだけでなく、誤った推論に気づく能力も含まれます。人々（科学者を含む）が影響を受けやすい推論の認知バイアスあるいは誤謬はたくさんあり、可能な限り正す必要があります。これらの例としては、「確証バイアス」のほか、少ない例から一般的な結論を導こうとする「早まった一般化」、前後関係と因果関係を混同する「前後即因果の誤謬」（虚偽の原因の誤謬）、相手の主張を歪め、論点をすり替えて反論する「わら人形の虚偽」、途中で当初の目的を変えてしまう「ゴールポストの移動」（再定義）、「伝統に訴える論証」、「誤った権威」、および「根拠と見なされている逸話の集積」が挙げられます。
- 5.4. こうしたバイアスや誤謬が適切に取り扱われたり、訂正されたりしない場合、または、科学のプロセス、チェックおよびバランスが無視または誤用された場合、結果は「疑似科学」になります。疑似科学は、科学的であると主張しますが、適切な科学的方法論の基準を満たしておらず、その基準に準じてもいません。疑似科学とは、裏づけとなる根拠、あるいは理論的枠組みがなく、必ずしも検証可能ではないため反証可能であり、厳密ではない方法または不明瞭な方法で表現され、しばしば科学的検証によって支持できない信念や実践に対して用いられる用語です。
- 5.5. もう1つの重要な課題は、適切な用語の使用です。科学者が科学用語として合意している単語は、しばしば日常生活で別の意味をもつことがあるため、一般の人々も読む科学論文は、これを考慮する必要があります。例えば、「理論」は、慣用的には直観または憶測を意味しますが、科学において、受け入れられた「理論」とは、多くの異なる方法で十分に検証された予測を伴う科学的概念です。「エアロゾル」は、一般の人々にとってはただのスプレー缶を示す言葉ですが、科学においては、気体中に固体または液体粒子が浮かんだものを指しています。
- 5.6. いかなる科学の分野——基礎研究、応用研究、または新しい技術の工学分野——であっても、創造性と想像力に富んだ思考には限界がありません。科学は、これまでに多くを達成してきましたが、未来の科学者が取り組むべき、まだ答えの出でていない問題もたくさんあります。

以下のフローチャートは、「科学的な探究プロセス」の実践を示すインターラクティブなフローチャートの一部です。インターラクティブバージョンは、カリフォルニア大学古生物

学博物館（University of California Museum of Paleontology）のサイト（英語）「How science works: The flowchart（科学の仕組み：フローチャート）」で見ることができます。アクセス日：2013年2月1日 <<http://undsci.berkeley.edu/article/scienceflowchart>>

[訳注] 上記サイトから日本語版のフローチャートをダウンロードできます。

科学はどのようにおこなわれているか

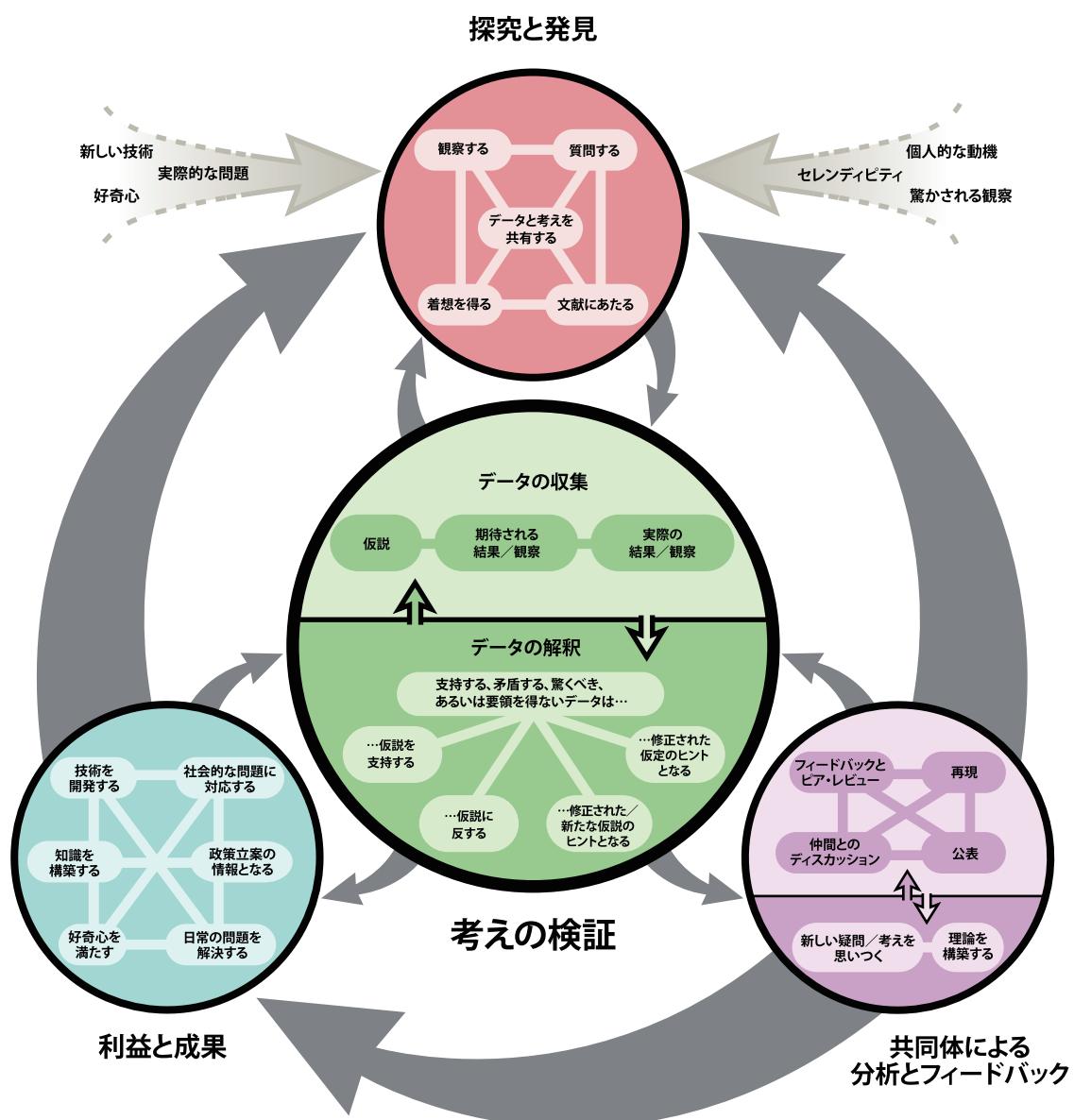


図2
科学的発見への道筋

「化学」の学習

「化学」は、実験・研究スキルの習得とアカデミックな学習が一体となった実験科学の科目です。化学の原理は、私たちが生活する物理的環境やすべての生物システムの理解を支える土台となっているため、「化学は、科学の中核的分野である」といわれることが少なくありません。化学それ自体が学習に値する科目であるのはもとより、化学は医学、生物科学、環境科学など高等教育の多くの課程の必修科目となっています。また、就職の準備としても役立ちます。

土、水、空気、火は、しばしば「四大元素」と呼ばれることがあります。ヒンドゥー教や仏教にもこうした考え方を見られますが、最初に土、水、空気、火を「元素」と呼んだのは、ギリシャの哲学者であるプラトンでした。化学の研究は、ありふれた金属を金に変える方法を求めた鍊金術師の初期の仕事を発端としながら、劇的に変化してきました。今日では鍊金術師は眞の科学者であるとは見なされませんが、近代化学のルーツは鍊金術にあるといつても過言ではありません。厳密な実験プロセスや実験技法を最初に発展させたのは鍊金術師たちでした。しばしば「近代化学の祖」とされるロバート・ボイルは、鍊金術師として実験を始めました。

化学の歴史は、さまざまな考え方の劇的で飛躍的な発展に彩られていますが、依然として変わらないものもあります。「観察」は、今も変わらず化学の営みに欠かせないものとしてその中核を担っています。観察では、時として何を見いだそうとしているかについて判断しなければならない場合もあります。過去の卓越した科学者が実践した科学的プロセスは、今日の現役の化学者に受け継がれています。それだけでなく、そのプロセスは現在、学校で学ぶ生徒が取り組むこともできるようになっています。科学的知識は拡大して複雑化し、理論化学と実験化学のツールやスキルは、両分野に熟達することが（不可能ではないにしても）困難なほど専門化しています。生徒はそのことを認識する一方で、両分野が、公表された科学文献を通じて理論的概念と実験結果を自由かつ素早く結びつけていることで連携を維持していることも理解しなければなりません。

D Pの「化学」では、化学の基本原理を学びます。一方、生徒のニーズにあった授業とするために、教師が選択項目を選ぶことで授業内容を一部調整することもできるようになっています。「化学」は標準レベル（S L）または上級レベル（H L）で履修できるため、高等教育で化学を専攻したいと考えている生徒にも、そうでない生徒にも対応しています。

学校では、全生徒が理論と実験の両方に取り組む必要があります。化学に従事する研究者たちの世界と同様、理論と実験は自然に互いを補い合うものです。D Pの「化学」では、生徒が従来型の実験スキルや手法を身につけ、科学の「言語」である数学の運用能力

を高めていきます。また、生徒の対人能力を育てるほか、21世紀の科学的試みに欠かせないデジタル技術のスキルを伸ばします。デジタル技術のスキルは、人生を豊かにし、汎用性のあるものです。

指導の方法

化学にはさまざまな指導の方法があります。化学という科目の性質上、実験を取り入れた指導のアプローチが適していますが、D Pの「化学」では、科目全体を通じて実験を重視することが期待されます。

シラバスの編成順は、教えるべき順序では**ありません**。どのような順番で教えるかを決めるのは、教師に委ねられています。教師は、それぞれの状況に応じて、順序を決定します。選択項目は、必要に応じて、「S L・H L共通項目」(core) または「H L発展学習」(A H L : additional higher level) の項目の中で教えることもできます。また、独立した単元として教えることもできます。

科学とその国際的側面

科学は、国際的な取り組みです。国境をこえた情報やアイデアの交換が、科学の進歩を後押ししてきました。こうした情報やアイデアの交換は、とりわけ新しいことではありませんが、近年では、情報コミュニケーション技術（I C T）の発展とともにその速度は加速しています。実際のところ、科学が「西洋の発明である」という考え方は「神話」にすぎません。現代科学の基礎の多くは、何世紀も前に、特にアラビアやインド、中国の文明などによって築かれました。教師は、さまざまなトピックを教えるにあたり、この貢献をウェブサイトの年表などを利用して強調することが推奨されています。最も広い意味での「科学的方法」とは、査読などの相互評価、開かれた心と自由な思考に重点を置き、政治的、宗教的な境界や、国境を超えるものです。「理科」(グループ4) の各科目的「指導の手引き」にある「シラバスの詳細」のセクションでは、特定のトピックの中で必要に応じて、科学の国際的側面との結びつきを説明しています。

現在、科学を推進するために多くの国際的な機関が存在しています。科学が重要な位置を占める国連教育科学文化機関（ユネスコ）、国連環境計画（U N E P）、世界気象機関（W M O）などの国連機関が、よく知られていますが、さらに、分野別に何百もの国際的な機関があります。例えば、素粒子物理学やヒトゲノム計画など、大規模研究のための機関は費用がかかるため、共同事業として多くの国からの資金提供がなければ実現できません。そのような研究から得られたデータは、全世界の科学者の間で共有されます。教師と生徒は理科の指導および学習を通じて、こうした国際的な科学機関の充実したウェブサイトやデータベースにアクセスし、科学の国際的側面についての認識を高めることができます。

「科学的な問題の多くは、国際的なものである」という認識はますます高まっています。こうした認識が、多くの領域でのグローバルな研究アプローチにつながってきました。「気候変動に関する政府間パネル」の報告書が、その典型例です。教育実践のレベルでは、「グループ4プロジェクト」〔D Pの「理科」（グループ4）科目を履修する生徒は全員取り組まなければならない〕で、地域をまたいだ学校間の協働を促進することで、本物の科学者の研究の営みを反映した取り組みを実現することができます。

科学的知識には、社会を変革する大きな力があります。科学的知識には、多大な普遍的利益を生み出す可能性もあれば、不平等を拡大し、人々と環境に害を引き起こす可能性もあります。「IBの使命」を踏まえ、生徒は理科の学習を通じて「科学者には、科学の知識やデータをすべての国々で公平に利用できるようにする道徳的責任と、持続可能な社会を発展させるよう知識やデータを用いることのできる科学的能力をもつ道徳的責任があること」を認識する必要があります。

教師は、生徒が「国際的な視野」との結びつきに関心をもつよう働きかけてください。「国際的な視野」に関連した事例が、シラバスのサブトピックの欄内に挙げられています。IBウェブサイト「Global engage（IB認定校でのグローバルな諸課題への取り組み）」(<http://globalengage.ibo.org>)にあるリソースを使うこともできます。

「標準レベル」と「上級レベル」の違い

「理科」（グループ4）では、標準レベル（S L）と上級レベル（H L）のいずれの生徒もシラバスの「S L・H L共通項目」と「内部評価課題」（I A : internal assessment）に取り組みます。また、選択項目によっては、両レベルに共通する要素があります。生徒はシラバスを通じて、本資料の「評価目標」のセクションで示されている特定のスキル、性質、態度を身につけます。

また、「理科」（グループ4）では、S LとH Lのいずれも同じスキルと学習活動に取り組みます。ただし、H Lでは「H L発展学習」の項目や共通の選択項目でいくつかのトピックをより深く学ぶことが求められます。S LとH Lでは、学習の幅と深さが異なります。

事前の学習経験

これまでの経験から、生徒は、理科についての背景や事前の知識がなくても「理科」（グループ4）の各S L科目で実りある学習ができることがわかっています。「IBの学習者像」の人物像に特徴づけられた「学習の方法」は、「理科」（グループ4）の学習では重要です。

一方、H Lで「理科」（グループ4）の科目を履修することを考えている場合は、何らかの正規の理科教育を受けていることが必要です。ただし、これは「理科」（グループ4）の科目の履修を制限するものではありません。事前の学習が必要な具体的なトピック

の詳細は明示していませんが、IB中等教育プログラム（MYP）に取り組んだ生徒、もしくは、国の教育課程で同等の理科を修了した資格をもつ生徒、または学校で正規の理科の科目を履修した生徒には、上級レベル（HL）科目に対する十分な備えがあるといえるでしょう。

MYPとの接続

IB中等教育プログラム（MYP）の「理科」「デザイン」「数学」の科目に取り組んできた生徒は、「理科」（グループ4）の科目に対する十分な備えがあるといえるでしょう。MYPの「理科」とDPの「理科」（グループ4）の科目との間には整合性があるため、生徒にとってはプログラム間の円滑な移行が可能になります。DPの「理科」（グループ4）の各科目の新カリキュラムとMYPの新カリキュラム「ネクストチャプター」（ともに2014年に開始）の設計に同時並行的に取り組んだことは、緊密な整合性をもたせるのに役立ちました。

MYPでは、科学的探究が理科の「指導」と「学習」の中心となっています。生徒は科学的探究を通じて、考え方やスキルを身につけるとともに、知識を習得し、活用します。また、自信をもってDPの「理科」（グループ4）の内部評価課題に取り組むための力も養います。MYPの「理科」は、21世紀の学習者としての生徒の成長に貢献することをビジョンとして描いています。^{ホリスティック}全人教育的な理科のプログラムによって、生徒は、探究に基づいた学習環境の中で、さまざまな認知能力、社会的スキル、個人的な動機づけ、概念的知識、問題解決能力を高め、活用することができるのです（Rhoton 2010）。探究は、調査と実験の両方を通じて、関連性のある諸課題について1人で、または協働して研究する機会を与え、生徒の理解を深めます。また、DPで「理科」（グループ4）の科目の履修に向けて、深い概念理解に根ざした科学的理解のための確固とした基盤を形成します。

MYPの教師は、専門的な見地から生徒の到達度を判断します。判断は厳密な評価規準に基づいて行われます。評価規準は、公開され、事前に周知されています。そうすることで、評価の透明性を確保しているのです。IBでは、このようなアプローチを「評価規準に基づいた評価」と説明しています。これは、生徒が相互に比較され、想定される到達度の分布の中で相対的に評価される「集団規準に準拠した評価」とも、設定された規準をすべて習得した場合にしか到達したと見なさない「到達度評価」とも異なる評価哲学に基づくものです。MYPでの評価（PYPおよびDPとも一貫している）の最も重要なねらいは、カリキュラムの目標を支え、生徒が適切な学習を行うよう促すことです。これを強調することは重要です。評価は、教科のねらいと目標に基づいているため、教科の要件となっている学習内容を効果的に教えることが、正規の評価で求められる内容を効果的に教えることにもなります。生徒は、期待される到達度、レベル、実践がどのようなものかを理解する必要があります。これらはすべて、指導の初期の段階で自然に伝えられなければなりません。また授業や宿題を通じても、伝えていきます。評価規準に基づいた評価の経験は、DPの「理科」（グループ4）で内部評価の要件を理解する際に大きく役立ちます。

MY Pの「理科」は、概念駆動型のカリキュラムです。学習者が批判的思考の強化と知識の転移（transfer）を通じて意味を構築するのを助けることをねらいとしています。最上位には、幅広く、体系的で、有力な考えである「重要概念」（key concept）があり、その概念は、理科の分野の中だけでなく、教科の範囲をこえて、他の教科とも関連づけられています。これらの「重要概念」は、教科学習と学際的な学習の両方を促し、他の教科とのつながりをつくります。「重要概念」が、幅広さを提供する一方で、MY Pの「理科」における「関連概念」（related concept）は、プログラムに深さを追加します。「関連概念」は、単元の目的とも捉えることができ、単元の学習に焦点と深さをもたらし、生徒を概念的な理解へと導きます。

MY P全体では、16の「重要概念」があり、MY Pの「理科」では、3つの概念を取り上げられています。

MY Pカリキュラムの「重要概念」			
美しさ	変化	コミュニケーション	コミュニティー
つながり	創造性	文化	発展
形式	グローバルな相互作用	アイデンティティー	論理
ものの見方	関係性	システム	時間、場所、空間

またMY Pの生徒はさらに、DPの「理科」（グループ4）の各科目のための準備として、概念を問う形式のコンピューター試験（選択制）に取り組むこともできます。

「理科」と「知の理論」

「知の理論」（TOK）（2015年第1回評価）では、知識の性質、そして、私たちが「知っている」と主張することについてどのように知るのかを、生徒に深く考えさせます。TOKでは「知るための方法」（ways of knowing）として、理性、感情、言語、知覚、直観、想像、信仰、記憶の8つを設定しており、生徒は、自然科学、ヒューマンサイエンス（人間科学）、芸術、倫理、歴史、数学、宗教的知識の体系、土着の知識の体系にわたるさまざまな知識分野の文脈で、知識を生み出しているこれらの「知るための方法」を探究します。また、TOKでは、さまざまな知識分野の間の比較を行うことを生徒に求めます。生徒は、さまざまな学問分野の中でどのように知識に到達するのか、学問分野に共通するものは何か、また異なっているものは何かを考察します。

理科の学習が、生徒のTOKでの学びを支えるのと同様に、TOKの授業も、理科の学習を支えます。TOKは、「ある学問分野が科学であることとは何を意味するのか」、「科学的知識の追求に倫理的制約があるべきか否か」などの問い合わせについて、幅広い議論を促します。また、生徒が、科学の方法論について、そして、それが他の知識分野の方法論とど

のように異なるのかについて考察する機会も提供します。厳密なポパーによる科学の定義の意味において科学的方法は1つではないということが現在では広く受け入れられています。その代わり、科学は、自然界の挙動を説明するためにさまざまなアプローチを用いています。帰納的推論および演繹的推論を用いたり、^{エビデンス}証拠を重視したりするなど、さまざまな科学の学問分野には共通点が見られます。生徒は、これらの方法を、例えば、芸術や歴史に見られる方法と比較します。

このように、生徒はさまざまな機会を通じて、理科とTOKの間のつながりを見いだします。理科の教師は、理科ならではの文脈から生じる「知識に関する問い合わせ」(knowledge question)に生徒の関心を促すことで、生徒がTOKとのつながりを見いだすのを手助けすることができます。「知識に関する問い合わせ」は、知識についてのオープンな問い合わせ（自由回答形式の問い合わせ）であり、以下のような例を挙げることができます。

- ・科学と疑似科学をどのように見分けるか。
- ・実験を行うとき、科学者の予測と知見の間にはどのような関係性があるか。
- ・科学的知識はどのように発展するか。
- ・科学において想像力と直観の果たす役割は何か。
- ・自然科学とヒューマンサイエンス（人間科学）の方法の類似点と差異は何か。

本資料のシラバスのサブトピックの欄には、関連する「知識に関する問い合わせ」の例が記載されています。また、TOKの「指導の手引き」の「知識の領域」および「知識の枠組み」のセクションには、議論の題材として興味深い「知識に関する問い合わせ」が例示されています。生徒は、理科とTOKの授業の両方で、こうした「知識に関する問い合わせ」を提起して議論するよう奨励されます。

ねらい

「理科」（グループ4）のねらい

「生物」「化学」「物理」を履修する生徒は、学習を通じて、科学者がどのような方法で研究し、どのような方法で互いにコミュニケーションをとるのかについて意識するようになるでしょう。科学的方法には幅広い形態がありますが、これらの科目を特徴づけているのは実験を通じた実践的なアプローチに重点を置いている点です。

「理科」（グループ4）では、「科学の本質」のテーマを中心としながら、生徒が以下を身につけることを目指します。

1. 刺激的でチャレンジに満ちた機会を通じて、グローバルな文脈における科学研究とその創造性について理解する。
2. 科学技術を特徴づける知識体系、方法、および手法を習得する。
3. 科学技術を特徴づける知識体系、方法、および手法を応用し活用する。
4. 科学情報を分析、評価、統合する能力を身につける。
5. 科学活動の中で、効果的な協働およびコミュニケーションの必要性と価値に対して批判的意識を身につける。
6. 実験および研究に関する科学的スキルを身につける。スキルには、現在、利用可能な技術を活用することを含む。
7. 科学を学ぶを通じて21世紀のコミュニケーションスキルを身につけ、応用する。
8. 科学技術を用いることの倫理的影響について、グローバルな社会の一員として批判的な意識をもつ。
9. 科学技術の可能性とその限界についての理解を深める。
10. 科学の学問分野間の関係性と他の知識分野への影響についての理解を深める。

評価目標

「生物」「化学」「物理」では、前述の「ねらい」に照らし合わせて、科目を担当する教師が評価する内部評価、または学校外で実施されるIBによる外部評価を通じて評価目標を正式に評価します。評価では、「科学の本質」が重視されます。各科目は、生徒が以下の評価目標を身につけることを目指します。

1. 以下の知識と理解を示すことができる。
 - a. 事実、概念、用語
 - b. 方法論と手法
 - c. 科学情報の伝達
2. 以下を応用することができる。
 - a. 事実、概念、用語
 - b. 方法論と手法
 - c. 科学情報の伝達の方法
3. 以下を公式化、分析、評価することができる。
リサーチクエスチョン
 - a. 仮説、研究課題と予測
 - b. 方法論と技法
 - c. 一次データと二次データ
 - d. 科学的説明
4. 洞察力があり倫理に適った研究を行うのに必要とされる適切な研究スキル、実験スキル、人間性の側面に関連したパーソナルスキルを示すことができる。

シラバスの概要

シラバスの構成	推奨される 授業時間数	
	S L	H L
S L・H L共通項目		95
1. 物質量と量的関係	13.5	
2. 原子の構造	6	
3. 元素の周期性	6	
4. 化学結合と構造	13.5	
5. エネルギー論・熱化学	9	
6. 反応速度論	7	
7. 化学平衡	4.5	
8. 酸と塩基	6.5	
9. 酸化還元反応	8	
10. 有機化学	11	
11. 測定とデータ処理	10	
H L発展項目		60
12. 原子の構造	2	
13. 周期表——遷移金属	4	
14. 化学結合と構造	7	
15. エネルギー論・熱化学	7	
16. 反応速度論	6	
17. 化学平衡	4	
18. 酸と塩基	10	
19. 酸化還元反応	6	
20. 有機化学	12	
21. 測定と分析	2	
選択項目	15	25
A. 材料科学	15	25
B. 生化学	15	25
C. エネルギー	15	25
D. 医薬品化学	15	25

シラバスの構成	推奨される授業時間数	
	S L	H L
実習を伴う学習活動	40	60
実習 (practical activity)	20	40
個人研究 (individual investigation) (内部評価—IA)	10	10
「グループ4プロジェクト」	10	10
総授業時間数	150	240

I B 資料『General regulations: Diploma Programme (総則 : D P 編)』(2011年刊) の第8.2項 (4 ページ) に示されているとおり、H L 科目で240時間、S L 科目で150時間の授業時間を確保することが推奨されています。

「化学」の指導の方法

シラバスの形式

「理科」（グループ4）のシラバスは、「物理」「化学」「生物」とともに共通の形式です。新しい形式では、「指導」と「学習」の要点がわかりやすくなりました。

トピックと選択項目

トピックは数字で、選択項目はアルファベットで示されています（例えば、「トピック6：反応速度論」「選択項目D：医薬品化学」）。

サブトピック

サブトピックは、「6.1 衝突理論と反応速度」のように数字で表されます。費やすべき授業時間数に関する詳しい情報と指針は、教師用参考資料に記載されています。

各サブトピックは、「学習のポイント」で始まります。学習のポイントは、科学について的一般に理解されている基本的な考え方を示します。続く「『科学の本質』（NOS）との関わり」の欄では、「科学の本質」の各要素につながりのある特定の例を文脈の中に置いて説明します。これらは、「指導の手引き」の「科学の本質」の章に記述された特定の段落に直接結びついており、取り組むべき全体的なテーマを教師が理解するのに役立ちます。

「科学の本質」のテーマの下には2つの欄があります。左側の欄は、教えるべき主要な概念を「理解」として一覧にしています。次に「理解」から発展させるべき具体的な応用とスキルを概説する「知識・スキルの活用」の項目が続きます。「指導」の項目では、「どのようなポイントを必ず押さえなければならないか」、「どのようなポイントは要求されていないか」、また、「どの程度深く学ばなければならないか」など、教師および試験官が知っていないければならない情報を示しています。「科学の本質」の欄の内容、および左側の欄の内容は、すべて評価の対象となる項目です。さらに、これまで同様、右側の欄にある「国際的な視野」も評価の対象となります。

右側の欄は、「国際的な視野」に関して参考となるヒントを教師に提案しています。「知の理論（TOK）」の項目では、「知識に関する問い合わせ」（2014年刊の『「知の理論（TOK）」指導の手引き』を参照）の例を挙げ、「所定課題エッセイ」（TOKエッセイ）に向けて生徒の思考を深めます。「自然や人間生活との関わり」の項目では、サブトピックをシラバスの他の部分、他のDP科目、または現実世界への応用に関連づけます。最後に、「ねらい」の項目は、「理科」（グループ4）の各ねらいがサブトピックにおいて具体的にどのように扱われるのかについて言及しています。

「指導の手引き」の形式

トピック1：<単元名>

【学習のポイント】各サブトピックの学習のポイントを明示します。

1.1 サブトピック	
「科学の本質」(NOS)との関わり ——中心となっている「科学の本質」のテーマとサブトピックを関連づけます。	
理解 <ul style="list-style-type: none"> 各サブトピックで扱わなければならない学習内容を具体的に挙げます。 知識・スキルの活用 <ul style="list-style-type: none"> 生徒が「理解」をどのように応用するかについての詳細を説明します。応用には、数学的な計算や実習に関するスキルも含まれます。 指導 <ul style="list-style-type: none"> 「理解」と「知識・スキルの活用」で習熟することが求められる要件を具体的に説明します。 IB資料「化学資料集」の参照箇所も記載されています。 	国際的な視野 <ul style="list-style-type: none"> 教師が授業で取り上げやすい内容を取り上げます。 「知の理論」(TOK) <ul style="list-style-type: none"> TOKの「知識に関する問い」の例を挙げます。 自然や人間生活との関わり (シラバス内および他科目との関連) 「化学」で学習する他のトピック、さまざまな現実世界への応用、他のDP科目との関連を列記します。
	ねらい <ul style="list-style-type: none"> 「理科」(グループ4)のねらいとのつながりを示します。

「理科」(グループ4)の実験スキル

百聞は一見に如かず。百見は一為に如かず。故に、万聞は一為に如かず

孔子

「理科」(グループ4)の各科目を履修する生徒の学習経験に欠かせないのが、教室、実験室、フィールドワークでの経験です。実習を通じて、生徒は自然現象や二次データ源と直接関わり合うことができます。これらの経験は、生徒にとって、研究計画、データ収集、操作スキルの向上、結果の解析、クラスマートとの協働、知見の評価と伝達に取り組む機会となります。実験は、トピックの導入や、現象の研究、または、生徒が抱いている疑問や興味をもった問題について考察し、検証する方法として活用することができます。

生徒に実践的な実験の機会を設けることで、生徒は、科学者が行うのと同じプロセスの一部を経験します。実験を通じて、生徒は、科学的思考と研究の本質を経験することができるのです。すべての科学的理論と法則は、観察から始まります。

「実習」は、生徒が科学的探究を発展させることのできるものであることが重要です。単に指示に従い、与えられた実験手順を反復できるだけでは、十分ではありません。生徒

には、**真の探究の機会を設けなければなりません。**科学的探究スキルを身につけることで、生徒は確かな証拠^{エビデンス}と論理的推論に基づいた説明を構築できるようになります。このような高次の思考スキルを身につけることを通じて、生徒を生涯にわたり学び続ける科学的な教養のある人になるよう導きます。

学校での「実習を伴う学習活動」は、生徒が、選択項目を含む学習内容の幅と深さを十分に経験できるようなものでなければなりません。また、「実習を伴う学習活動」は、生徒が内部評価の要件である「個人研究」に取り組むための準備となるようなものでなければなりません。「操作スキルの向上」には、生徒が指示に正確に従えること、さまざまな手法や装置を用いて、安全で適正な秩序だった実験を実践できるようになることが含まれます。

シラバスの「知識・スキルの活用」の項目には、生徒が「理科」（グループ4）の各科目の学習を通じて経験しなければならない具体的な実験スキル、手法、および実験内容が挙げられています。その他の推奨される実験スキル、手法、および実験内容は、シラバスの「ねらい」の項目に挙げられています。「理科」（グループ4）の「ねらい6」は、実験および研究スキルの習熟に直接的に関係するものです。

数学に関する要件

D Pで「化学」を学ぶ生徒はいずれも、以下に習熟していなければなりません。

- ・ 基本的な加減乗除の算術関数を行うこと
- ・ 平均、小数、分数、パーセンテージ、比、近似値、逆数を含む計算を行うこと
- ・ 標準的な表記法（例えば 3.6×10^6 ）を使用すること
- ・ 正比例や反比例を使用すること
- ・ 単純な方程式を解くこと
- ・ 直線的関係や非線形の関係を示す2つの変数を含むグラフを（適切な尺度や軸を用いて）作成すること
- ・ 傾きの重要性、傾きの変化、切片、面積などグラフを読み取ること
- ・ さまざまな形式（例えば、棒グラフ、柱状グラフ、円グラフ）で表されたデータを読み取ること

I B資料『化学資料集』

「化学」の授業では、I B資料『化学資料集』が欠かせません。『化学資料集』は、D Pの「化学」の履修期間を通じて授業でも使用します。外部評価の際に使用するためだけのものではありません。『化学資料集』には、有用な式、定数、データ、構造式、情報の一覧が記載されています。「指導の手引き」のシラバスには、『化学資料集』の情報を直接参照できるよう関連箇所が明確に記載されており、生徒が『化学資料集』を活用し、内

容を熟知できるようになっています。『化学資料集』は、授業中の学習活動や学校内で実施する評価でも活用されることが推奨されています。

S L・H Lの外部評価の「試験問題1」では『化学資料集』を使用することはできません。ただし、「試験問題1」では、『化学資料集』第6項にある周期表のコピーが配布されます。「試験問題2」と「試験問題3」では、必ず、書き込みのされていない真新しい『化学資料集』が受験者用に用意されなければなりません。

情報コミュニケーション技術の活用

授業では、実習、そして日々の教室での活動の両方で情報コミュニケーション技術（I C T）を活用することが奨励されています。教師は、「教師用参考資料」のI C Tのページを参照してください。

授業計画

「指導の手引き」のシラバスは、教える順番を示したものではありません。履修期間中に網羅する必要のある学習内容の詳細を記したものです。学校は、生徒にとって最も望ましい授業計画を開発するようにしてください。授業計画は、リソースの利用可能状況や、生徒のこれまでの学習経験、また、その他の地域的な要件などを考慮に入れて開発することができます。

上級レベル（H L）の担当教師は、どのように教えるかを選択することができます。「S L・H L共通項目」と「H L発展項目」を同時に教えることもできる一方、第1年次に「S L・H L共通項目」を教え、第2年次に「H L発展項目」の学習し、それを通じて「S L・H L共通項目」を復習するというように、らせん状に教えることもできます。「選択項目」のトピックは、独立したトピックとして教えることも、「S L・H L共通項目」または「H L発展項目」、あるいはその両方の授業に統合することもできます。

どのように授業を計画するにしろ、試験勉強に向けた復習の時間を十分に確保しなければなりません。また、生徒が自分自身の学習経験と学習者としての自己の成長を振り返るための時間も必要です。

I Bの学習者像

D Pの「化学」は、「I Bの学習者像」に示される人物像へと生徒が成長することに密接に結びついています。「化学」を履修することによって、生徒は「I Bの学習者像」の各要素に取り組むことになります。例えば、内部評価課題で求められる要件に取り組むこ

とは、「IBの学習者像」のあらゆる要素での成長を生徒に促します。「IBの学習者像」の各人物像と「理科」（グループ4）の関連する点を以下の表に示します。

IBの学習者像	「生物」「化学」「物理」
探究する人	ねらい2、ねらい6 実習、内部評価
知識のある人	ねらい1、ねらい10、「国際的な視野」との関わり 実習、内部評価
考える人	ねらい3、ねらい4、「知の理論」（TOK）との連携 実習、内部評価
コミュニケーションができる人	ねらい5、ねらい7、外部評価 実習、内部評価
信念をもつ人	ねらい8、ねらい9 実習、内部評価、倫理的行動実践（IBポスター「Ethical practice」、IB資料『IB animal experimentation policy』（IBの動物実験に関する方針））、学問的誠実性
心を開く人	ねらい8、ねらい9、「国際的な視野」との関わり 実習、内部評価、「グループ4プロジェクト」
思いやりのある人	ねらい8、ねらい9 実習、内部評価、「グループ4プロジェクト」、倫理的行動実践（IBポスター「Ethical practice」、IB資料『IB animal experimentation policy』（IBの動物実験に関する方針））
挑戦する人	ねらい1、ねらい6 実習、内部評価、「グループ4プロジェクト」
バランスの取れた人	ねらい8、ねらい10 実習、内部評価、「グループ4プロジェクト」、フィールドワーク
振り返るができる人	ねらい5、ねらい9 実習、内部評価、「グループ4プロジェクト」

シラバスの内容

	推奨される 授業時間数
S L・H L 共通項目	95時間
トピック1 —— 物質量と量的関係	13.5
1.1 粒子の特性と化学変化	
1.2 モルの概念	
1.3 反応する物質の質量と気体体積	
トピック2 —— 原子の構造	6
2.1 原子核	
2.2 電子配置	
トピック3 —— 元素の周期性	6
3.1 周期表	
3.2 元素の性質の周期性	
トピック4 —— 化学結合と構造	13.5
4.1 イオン結合と構造	
4.2 共有結合	
4.3 共有構造	
4.4 分子の構造	
4.5 金属結合	
トピック5 —— エネルギー論・熱化学	9
5.1 エネルギー変化の測定	
5.2 ヘスの法則	
5.3 結合エネルギーとエンタルピー	
トピック6 —— 反応速度論	7
6.1 衝突理論と反応速度	
トピック7 —— 化学平衡	4.5
7.1 平衡定数	
トピック8 —— 酸と塩基	6.5
8.1 酸と塩基の定義	

	推奨される 授業時間数
8.2 酸と塩基の性質	
8.3 pH	
8.4 酸と塩基の強弱	
8.5 酸性降下物	
トピック9——酸化還元反応	8
9.1 酸化と還元	
9.2 電池	
トピック10——有機化学	11
10.1 有機化学の基礎	
10.2 官能基の性質	
トピック11——測定とデータ処理	10
11.1 測定と結果における不確かさと誤差	
11.2 グラフを用いる方法	
11.3 有機化合物の分光学的同定	
H L 発展項目	60時間
トピック12——原子の構造	2
12.1 原子内の電子	
トピック13——周期表—遷移金属	4
13.1 dブロック一段目の元素	
13.2 d軌道と錯イオンの色	
トピック14——化学結合と構造	7
14.1 形式電荷と軌道間の相互作用	
14.2 混成軌道	
トピック15——エネルギー論・熱化学	7
15.1 エネルギーサイクル	
15.2 エントロピーと自発的に進む反応	
トピック16——反応速度論	6
16.1 反応速度式と反応機構	
16.2 活性化エネルギー	
トピック17——化学平衡	4
17.1 化学平衡の法則	

	推奨される 授業時間数
トピック 18——酸と塩基	10
18.1 ルイス酸とルイス塩基	
18.2 酸と塩基に関する計算	
18.3 pH 曲線	
トピック 19——酸化還元反応	6
19.1 化学電池	
トピック 20——有機化学	12
20.1 有機反応の種類	
20.2 合成経路	
20.3 立体異性	
トピック 21——測定と分析	2
21.1 有機化合物の分光学的同定	

選択項目 15時間(SL)／25時間(HL)

A 材料科学

S L・H L共通項目のトピック

- A. 1 材料科学序論
- A. 2 金属と誘導結合プラズマ（I C P）分光分析法
- A. 3 触媒
- A. 4 液晶
- A. 5 ポリマー
- A. 6 ナノテクノロジー
- A. 7 環境への影響——プラスチック

H L発展項目のトピック

- A. 8 超伝導金属とX線結晶構造解析（H Lのみ）
- A. 9 縮合ポリマー（H Lのみ）
- A. 10 環境への影響——重金属（H Lのみ）

B 生化学

S L・H L共通項目のトピック

- B. 1 生化学序論
- B. 2 タンパク質と酵素
- B. 3 脂質
- B. 4 糖質

B. 5 ビタミン

B. 6 生化学と環境

H L 発展項目のトピック

B. 7 タンパク質と酵素 (H Lのみ)

B. 8 核酸 (H Lのみ)

B. 9 生物色素 (H Lのみ)

B. 10 生体分子の立体化学 (H Lのみ)

C エネルギー

S L・H L共通項目のトピック

C. 1 エネルギー源

C. 2 化石燃料

C. 3 核融合と核分裂

C. 4 太陽エネルギー

C. 5 環境への影響——地球温暖化

H L 発展項目のトピック

C. 6 電気化学、蓄電池、燃料電池 (H Lのみ)

C. 7 核融合と核分裂 (H Lのみ)

C. 8 光電池と色素増感太陽電池 (H Lのみ)

D 医薬品化学

S L・H L共通項目のトピック

D. 1 医薬品と薬の作用

D. 2 アスピリンとペニシリン

D. 3 アヘン剤

D. 4 胃の pH 調整

D. 5 抗ウイルス薬

D. 6 一部の薬剤による環境への影響

H L 発展項目のトピック

D. 7 タキソールーキラル補助基の事例研究 (H Lのみ)

D. 8 核医学 (H Lのみ)

D. 9 薬の検出と分析 (H Lのみ)

トピック1——物質量と量的関係

13.5時間

【学習のポイント】物理的および化学的性質は、さまざまな原子が結合する方法によって決まる。

<p>1.1 粒子の特性と化学変化</p> <p>「科学の本質」(NOS)との関わり</p> <p>定量的測定を繰り返し、信頼性を確保すること——定比例と倍数比例 (3.1)</p>	<p>理解</p> <ul style="list-style-type: none"> 異なる元素の原子が一定の比率で結合すると、化合物が形成されるが、その性質は化合物を構成する元素の性質とは異なる。 混合物には、元素や化合物が2種類以上含まれているが、それらは化学結合していないため個々の性質を保持したままである。 混合物には均一なものと不均一なものがある。 <p>知識・スキルの活用</p> <ul style="list-style-type: none"> 反応物と生成物が特定されている化学反応の化学反応式を推定すること。 反応式に状態を表す記号である(s)、(l)、(g)、(aq)を用いること。 状態が変化する間に認められる物理的性質や温度の変化について説明すること。 <p>指導</p> <ul style="list-style-type: none"> 化学反応式を釣り合わせる際にはさまざまな種類の反応を盛り込む必要がある。 融解、凝固、気化(蒸発、沸騰)、凝縮、昇華、凝結など状態の変化を表す名前を授業で取り上げる必要がある。 	<p>国際的な視野</p> <ul style="list-style-type: none"> 元素記号や化学反応式は国際的なもので、翻訳する必要がなく、科学者同士が効率的にコミュニケーションをとるのに役立つ。 国際純正・応用化学連合(IUPAC)は、有機化合物や無機化合物に標準的な命名を行う国際機関である。 <p>「知の理論」(TOK)</p> <ul style="list-style-type: none"> 化学反応式は化学の「言語」である。世界共通語を用いることで、知識の探究にどのように有用であり、またどのような妨げとなるか。 ラボアジェによる酸素の発見は、燃焼のフロンギスト説を覆したパラダイムシフトの一例となつたが、科学的知見はどういうに進化したか。 <p>自然や人間生活との関わり</p> <ul style="list-style-type: none"> 冷凍と状態の変化に対する冷凍の関連性 アトムエコノミー 食物の凍結乾燥 《シラバスや他科目との関連性》 <p>トピック4.1——イオン化合物の化学式の推定</p>
---	--	---

1.1 粒子の特性と化学変化	
<p>• 「潜熱」という用語は不要である。</p> <p>• 元素の名前と記号はIB資料『化学資料集』の第5項に記載されている。</p>	<p>トピック5.1——エンタルピーサイクル反応；元素または化合物の標準状態 トピック6.1——速度論 トピック8.2——中和反応 トピック10.2——燃焼反応 選択項目A.4——液晶</p> <p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> • ねらい8：冷凍や空調システムは環境に対して著しいマイナスの影響を与えており、冷却剤としてCFCを用いることは、オゾン層破壊の主要な原因となっている。

【学習のポイント】モルとは、粒子の数と測定可能な質量を関連づけることを可能にするものである。

1.2 モルの概念	
<p>「科学の本質」(NOS)との関わり</p> <p>概念——モルの概念は、19世紀初頭の「等価質量」という関連概念から発展した。(2.3)</p>	<p>国際的な視野</p> <ul style="list-style-type: none"> S I 単位系 (Système International d' Unités) は、7つの基本単位に基づき、メートル法を用いている。 国際度量衡局 (フランス語の頭文字から B I P M と呼ばれる) は、世界各国で一様に S I 単位が確実に用いられる目的とする国際標準化機構である。 <p>「知の理論」(TOK)</p> <ul style="list-style-type: none"> アボガドロ定数の大きさは、日常生活で体験する尺度とはかけ離れたものである。私たちの日常体験はどのように自分たちの直観を限定しているか。 <p>自然や人間生活との関わり</p> <ul style="list-style-type: none"> 化学量論の計算は、例えば、食品産業、医療産業、製薬業界、製造業などの研究や製造の化学的過程において基本となっている。 結晶性固体のモル体積は、X線結晶学の技法を用いて決定される。 <p>トピック2.1 —— 原子やその成分である粒子のスケール</p>
<p>理解</p> <ul style="list-style-type: none"> モルとは、一定数の粒子のことであり、物質量 n のことである。 原子の質量は、^{12}C を基準として比較し、相対原子質量 (A_r) または相対分子質量 (M_r) として表される。 モル質量 (M) の単位は g mol^{-1} である。 ある化合物の実験式から 1 分子中に存在する原子の最も基本的な比が得られ、分子式からは 1 分子中に存在する実際の原子数が得られる。 <p>知識・スキルの活用</p> <ul style="list-style-type: none"> 原子、イオン、分子、化学式単位のモル質量を計算すること。 粒子数、モル数で表した物質の量、グラム数で表した質量の関係に関する問題を解くこと。 質量や実験式と百分率組成を相互変換すること。 化合物の実験式とモル質量からその化合物の分子式を求めるうこと。 実験データを取得し、それを用いて、質量の変化を伴う反応から実験式を導き出すこと。 	

1.2 モルの概念	
<p>指導</p> <ul style="list-style-type: none"> アボガドロ定数 (L または N_A) の値は、IB資料『化学資料集』の第2項に記載されており、「試験問題1」の問題文中に記載することとする。 一般的に用いられるモル質量の単位 (g mol^{-1}) はSI単位から導き出されたものである。 	<p>トピック4.1、4.3、4.5——イオン化合物の格子構造、共有結合化合物の分子構造、金属格子 トピック5.1、15.2——標準エンタルピーと1モルあたりのエンタロピーの変化 トピック19.1——電気分解における生成物のモル比</p> <p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> ねらい6：水和物の質量パーセント、マグネシウムの燃焼、アボガドロ数の計算などの実験を行うことも考えられる。 ねらい7：反応中の質量変化を測定するために、データロガーが使用可能である。

【学習のポイント】 化学反応式におけるモル比を使用して、質量や気体の体積から反応比を計算することができる。

1.3 反応する物質の質量と気体体積	
<p>「科学の本質」(NOS)との関わり</p> <p>注意深く観察し、科学理論に関する証拠を得ること——アボガドロの初期の仮説 (1.8)</p>	<p>国際的な視野</p> <ul style="list-style-type: none"> 圧力のSI単位は、パスカル (Pa) N m^{-2} であるが、依然としてこれ以外の多くの単位がさまざまなかつで一般的に使用されている。その例として、気圧 (atm)、水銀柱ミリメートル (mm Hg)、トル、バール、重量ポンド毎平方インチ (psi) などがある。1バール (10^5 Pa) は 1 atm に非常に近く、バールは現在、便利な単位として広く用いられている。体積の SI 単位は m^3 であるが、リットルという単位が広く使用されている。
<p>理解</p> <ul style="list-style-type: none"> 反応物が限定されている場合と反応物が過剰にある場合がある。 実験で得られた収量は、理論上の収量と異なる可能性がある。 アボガドロの法則から、反応する気体のモル比を気体の体積から決定することができます。 理想気体のモル体積は、特定の温度と圧力下で一定である。 液体のモル濃度は、溶質の量と溶液の体積によって決まる。 標準溶液とは、濃度が既知の液体のことである。 	<p>「知識・スキルの活用」</p> <ul style="list-style-type: none"> 反応量、限定されている反応物および過剰な反応物、理論上の収量、実験で得られた収量、ペーセント収量に関する問題を解くこと。 アボガドロの法則を用いて、反応する気体の体積を計算すること。 理想気体の一定の質量に対して温度、圧力、体積の関係に関する問題を解き、グラフを分析すること。 理想気体の状態方程式に関する問題を解くこと。 低温、高圧下では、実在する気体の挙動が理想気体の挙動から逸脱することを説明すること。 実験値を取得し、その値を用いて、理想気体の状態方程式から気体のモル質量を計算すること。 モル濃度、溶質の量、溶液の体積に関する問題を解くこと。 滴定法という実験法を用い、標準溶液を対照として溶液の濃度を計算すること。
<p>自然や人間生活との関わり</p>	<p>「知識・スキルの活用」</p> <ul style="list-style-type: none"> 化学反応中に起くる気体の体積の変化は、車両のエアバッグの膨張に関与しており、TNT (トリニトロトルエン) の分解など、多くの他の爆発反応の基になっている。 ペーセント収量の概念は、工業工程の効率の良さをモニタリングする上で不可欠である。 <p>『シラバスや他科目との関連性』</p> <p>トピック4.4 — 分子間力</p>

1.3 反応する物質の質量と気体体積	
<p>指導</p> <ul style="list-style-type: none"> 理想気体のモル体積の値は、IB資料『化学資料集』の第2項に記載されている。 理想気体の状態方程式である $PV=nRT$ と気体定数 (R) の値は、IB資料『化学資料集』の第1項と2項に記載されている。 濃度を表す単位には g dm^{-3}、mol dm^{-3}、百万分率 (ppm) がある。 モル濃度を表すには角括弧が必要である。 <p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> ねらい6：反応物が過剰にある場合と反応物が限定されている場合で実験を計画することが考えられる。また、不溶性の塩の沈殿の重量を測定するなどの実験を行うことも考えられる。 ねらい7：反応中の温度や圧力および体積の変化の測定や気体定数の値の測定にデータロガーが使用可能である。 ねらい8：百万分率 ppm は、液体中の少量の汚染物質を測定するのに一般に用いられている。この単位は、微量の濃度をはつきりと伝えるには便利であるが、正式な SI 単位ではない。 	<p>トピック5.1 —— モルエンタルピーや変化の計算 トピック9.1 —— 酸化還元滴定 トピック17.1 —— 平衡の計算 トピック18.2 —— 酸塩基滴定 トピック21.1、A.8 —— X線結晶構造解析 「物理」トピック3.2 —— 理想気体の法則</p>

トピック2——原子の構造

【学習のポイント】 原子の質量は、正の電荷をもつ微小な核に集中している。

6時間

2.1 原子核

「科学の本質」(NOS)との関わり

証拠と計測器の改善——アルファ粒子はラザフォードによって最初に提唱された原子核モデルの開発に使用された。(1.8)
パラダイムシフト——物質の重原子粒子理論は1800年代後半に起った科学のパラダイムシフトを表している。(2.3)

理解

- 原子には陽子と中性子（核子）で構成され、正の電荷を有する密度の高い核がある。
- 負の電荷を有する電子は核外の空間にある。
- 質量分析計は、元素の相対的な原子質量をその同位体組成から決定するのに用いられる。

知識・スキルの活用

- 原子やイオンの陽子や中性子および電子の数を推定するのに原子核の核子数を示すの表記を用いること。
- 質量スペクトルなど、与えられたデータから非整数の相対原子質量や同位体の存在量に関する計算を行うこと。

指導

- 重原子粒子の相対的質量や電荷を知る必要があり、実際の値はIB資料『化学資料集』の第4項に記載されている。電子の質量は無視することができると考えられる。

国際的な視野

- 同位体分離濃縮では、物理的性質を利用して、ウランの同位体が分離される。この方法は多くの国々で核エネルギーや兵器プログラムの一部として用いられている。

「知の理論」(TOK)

- リチャード・ファインマンは「あらゆる科学的知識が破壊されようとしており、たった1つの文章しか次世代の人間に伝えことができないのなら、万物は原子から構成されているという文章を選ぶ」と述べている。科学者がつくり出したモデルや理論は、自然界を正確に描写したものか、あるいは自然界の予測や解釈およびコントロールに説明を加える際に有用となるものか。
- 重原子粒子を直接観察することは、現在（また将来も）不可能である。技術を駆使して得た間接的な証拠を解釈するのに用いる知るための方法はどうか。

2.1 原子核	2.1 原子核
<p>• 特定の同位体の例を学習する必要はない。</p> <p>• 質量分析計の操作法は不要である。</p>	<p>自燃や人間生活との関わり</p> <ul style="list-style-type: none"> 放射性同位元素は、生化学や医薬品の研究ではトレーサーとしてまた、地質学や考古学の年代測定では「化学時計」として、診断や治療および研究のため核医学の分野で用いられている。 PET(陽電子放出断層撮影法)スキャナーでは、体内のトレーサー濃度の三次元画像が得られ、がんの検出に用いることができる。『シラバスや他科目との関連性』 <p>トピック11.3、21.1、選択項目 D.8、D.9——NMR 選択項目 C.3、C.7——核分裂 選択項目 D.8——核医学</p> <p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> ねらい7：ラザフォードの金箔実験のミュレーションを行うことができる。 ねらい8：放射性核種は細胞をイオン化するため人体に悪影響がある。

【学習のポイント】 原子の電子配置は原子番号から推定できる。

44

2.2 電子配置	
<p>「科学の本質」(NOS)との関わり</p> <p>器具が改善された後に続いて科学研究が発展する——トムソンの陰極線の実験では電気と磁気が使用された。理論は新しいものに変わっていく——量子力学は原子の最新のモデルの1つである。(1.8)</p> <p>理論を用いて自然現象を解釈すること——ボーアの原子モデルを用いて線スペクトルが説明できる。(2.2)</p>	<p>国際的な視野</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 欧州原子核研究機構(CERN)は欧洲参加国(2013年現在20ヵ国)によって運営されており、参加国以外の多くの国々の科学者が関わっている。CERNは、物質の基本的な構成要素の研究に用いられる粒子加速器や検出器などがある世界最大規模の粒子物理研究センターを運営している。
<p>理解</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 発光スペクトルは、励起した電子がより低いエネルギー準位に移り、光子が原子から放出された場合に生じる。 ・ 水素の発光の線スペクトルは、電子が異なるエネルギー準位で存在しており、エネルギー準位は比較的高いエネルギーで収束しているという証拠となっている。 ・ 主要なエネルギー準位もしくは殻は、整数 n で表され、最大で $2n^2$ 個の電子を収容することができる。 ・ 原子モデルをより詳細に表すと、主要なエネルギー準位は、エネルギーの低い順に s、p、d、f の副殻に分かれている。 ・ 副殻には、電子が存在する可能性が高い領域である決まった数のオービタルがある。 ・ 各オービタルには一定の電子配置と化学環境に対して定められたエネルギー状態があり、正反対の向きのスピンを有する2個の電子を収容できる。 	<p>「知識」(TOK)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ハイゼンベルクの不確定性原理では、ある粒子の運動量と位置を正確に知るのは論理的に不可能であるとされている。人の知識の限界にして、これはどういうことを意味しているか。 ・ 「物理科学の目的の1つは、物質界を正確に表現することである」結果の1つはこの目的が達成不可能であることを証明することである」とジェイコブ・プロノフスキーは述べている。特に自然科学の目標や知識一般に関してこの主張はどういうことを意味しているか。

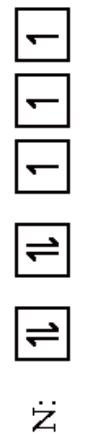
2.2 電子配置

知識・スキルの活用

- 電磁スペクトル全域で、色、波長、周波数、エネルギーの関係を説明すること。
- 連続スペクトルと線スペクトルを区別すること。
- 線と第1、第2、第3エネルギー準位へのエネルギーの遷移の関係など、水素原子の発光スペクトルについて説明すること。
- 原子軌道 s、p_x、p_y、p_zの形状を覚えること。
- 構成原理、フントの規則、パウリの排他原理を用い、Z=36までの原子やイオンの電子配置を書くこと。

指導

- 詳細な電磁スペクトルはIB資料『化学資料集』の第3項に記載されている。
 - 水素の発光スペクトルである線スペクトルのさまざまなる系列の名称は不要である。
 - 完全な電子配置（例えば $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^4$ ）と要約した電子配置（例えば $[Ne] 3s^2 3p^4$ ）を授業で取り上げる必要がある。
- 軌道の特性や相対的なエネルギーを表すため軌道図を用いる必要がある。下図のように電子を箱の中の矢印で表した図を箱表記法と呼ぶ。



- CrとCuの電子配置は例外として授業で取り上げる必要がある。



「化学」指導の手引き

自然や人間生活との関わり

- 吸収スペクトルや発光スペクトルは恒星からの光を分析するためには天文学で広く用いられている。
- 原子吸光分析は、金属元素の存在や濃度を決定する非常に感度の高い方法である。
- 花火——発光スペクトル
《シラバスや他科目との関連性》
トピック3.1、3.2——周期性
トピック4.1——イオン化合物の化学式の推定
トピック6.1——確率密度関数としてのマクスウェル・ボルツマン分布
「物理」トピック7.1、選択項目D.2——恒星の特徴
ねらしい
- ねらしい6**：発光スペクトルはさまざまな気体や分光器を用いて観察することができる。炎色試験をスペクトルの研究に用いることが可能である。

トピック2——原子の構造

トピック3——元素の周期性

6 時間

【学習のポイント】 周期表の元素の配列は、元素の電子配置を予測するのに有用である。

3.1 周期表

「科学の本質」(NOS)との関わり

科学的理論を元に予測を立て、その試験を行い、証拠を得ること——科学者は構造や機能をもとに対象を組織化する。周期表はこの重要な例である。メンデレエフが周期表の早期モデルを作成し、後にモーズリーがこれを補い、まだ発見されていなかつた元素の性質を予測することができた。(1, 9)

理解

- 周期表は4つの副殻s、p、d、fに関連する4つのブロックに分かれる。
- 周期表は族(縦の並び)と周期(横の並び)で構成されている。
- 周期番号(n)は電子が占める外殻のエネルギー準位である。
- 1つの原子の主要なエネルギー準位と価電子の数は、その元素の周期表の位置から推定できる。
- 周期表では金属や非金属および半金属の位置が表示されている。

知識・スキルの活用

- 周期表の元素の位置から原子の電子配置を推定し、原子の電子配置からその元素の周期表の位置を推定すること。

指導

- アルカリ金属、ハロゲン、希ガス、遷移金属、ランタノイド、アクチノイドという用語を覚える必要がある。
- IUPACによる提言を受けて、第1族から第18族まで族に番号づけをしたものを使用する必要がある。

ねらい

- ねらい3:周期表の構成を適用し、性質の一般的な傾向を把握すること。
- ねらい4:データを分析し、元素の構成が説明できること。
- ねらい6:一般的な元素の物理的なサンプルや画像が認識できること。

トピック2.2——電子配置

国際的な視野

- 周期表の作成には長年がかかり、さまざまな国の科学者が関わった結果、各人の研究や考え方を基盤として周期表が構築された。
- 「知の理論」(TOK)
 - 周期表の作成において、帰納的推論や演繹的推論が果たした役割は何か。
 - 科学全般において帰納的推論や演繹的推論が果たす役割は何か。

自然や人間生活との関わり

- 他の科学的な課題でも、周期表が元素の規則性に適用されたように、元素の構造や反応性を理解するために周期表が用いられる。
- 《シラバスや他科目との関連性》

- ねらい3:周期表の構成を適用し、性質の一般的な傾向を把握すること。
- ねらい4:データを分析し、元素の構成が説明できること。
- ねらい6:一般的な元素の物理的なサンプルや画像が認識できること。

「化学」指導の手引き



【学習のポイント】 元素は周期表の横の並びである周期と縦の並びである族で物理的および化学的性質に傾向がある。

3.2 元素の性質の周期性	
<p>「科学の本質」(NOS)との関わり</p> <p>パターンの探究——元素の周期表における位置から、その元素の物理的および化学的性質を正確に予測することが可能である。これにより予期した反応性に基づいて、新しい物質を合成することができます。(3.1)</p>	<p>理解</p> <ul style="list-style-type: none"> 周期表の縦および横で原子半径、イオン半径、イオン化エネルギー、電子親和力、電気陰性度に傾向がある。 金属的挙動や非金属的挙動の傾向は、上記の傾向によるものである。 周期表の横の並びで塩基性酸化物から両性酸化物、酸性酸化物へと酸化物の性質が変化する。 <p>知識・スキルの活用</p> <ul style="list-style-type: none"> 元素の周期表の位置を基に、金属的挙動や非金属的挙動を予測し説明すること。 アルカリ金属（1族）やハロゲン（17族）を参照にして、同族元素の性質の類似点や相違点について論じること。 Na_2O、MgO、P_4O_{10}や窒素酸化物および硫黄酸化物と水の反応の化学反応式を立て、pHの変化を説明すること。 <p>指導</p> <ul style="list-style-type: none"> 周期表の横の並びである周期と縦の並びである族の一般的な傾向の例のみが必要である。イオン化エネルギーに関しては、同一周期内でその増加に連続性がないことを授業で取り上げる必要がある。 アルカリ金属と水、アルカリ金属とハロゲン、ハロゲンとハロゲン化物イオンの反応を族の傾向に加える必要がある。
<p>国際的な視野</p> <ul style="list-style-type: none"> 産業化は、環境に放出されると地球規模の問題の原因となる多くの産物の生成をもたらした。 <p>「知の理論」(TOK)</p> <ul style="list-style-type: none"> メンデレーエフの周期表の予測力は、科学には「リスクを負う」という特質があるということを例示している。科学的な主張と疑似科学的な主張の境目は何か。 周期表は科学における分類の優れた例である。分類とカテゴリー化は知識の探求にどのように有用であり、またどのような妨げとなるか。 <p>自然や人間生活との関わり</p> <p>《シラバスや他科目との関連性》</p> <p>トピック 2.2 ——第一イオン化エネルギーの値が変則的であるのは電子配置の安定性と関連している可能性がある。</p>	<ul style="list-style-type: none"> トピック 8.5 —— 酸性降下物の生成 <p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> ねらい1、ねらい8：酸性降下物の地球規模の影響は何か。 ねらい6：化学的傾向の実験を実験室で直接行うかまたは教師によるデモンストレーションを通じて行う。 ねらい6：触媒として遷移金属イオンを利用することを調べることも考えられる。 ねらい7：周期的傾向をコンピューターデータベースを用いて学習することが可能である。
<p>5 「化学」指導の手引き</p>	

トピック4——化学結合と構造

13.5時間

【学習のポイント】 イオン化合物はイオン結合により格子状の構造に結合したイオンで構成されている。

4.1 イオン結合と構造

「科学の本質」(NOS)との関わり

理論を用いて自然現象を解釈すること——融解したイオン化合物は電気を通すがイオン化合物の固体は電気を通さない。イオン化合物の溶解度と融点を用いてこの観察結果を説明することができる。(2.2)

理解

- 陽イオン（カチオン）は価電子を失った金属によって生じる。
- 陰イオン（アニオン）は電子を獲得した非金属によって生じる。
- 失った電子数や獲得した電子数は、その原子の電子配置によって決まる。
- イオン結合は逆の電荷をもつイオン間で生じる静電気引力によるものである。
- 通常の条件下では、イオン化合物は格子構造を有する固体であることが一般的である。

知識・スキルの活用

- 多原子イオンなどイオン化合物を構成するイオンからそのイオン化合物の化学式と名前を推定すること。
- イオン化合物の構造の見地から、その物理的性質（揮発度、電気伝導度、溶解度）を説明すること。

「知の理論」(TOK)

- 化学における通則（例えばオクテット則）には例外が存在することが多い。例外の数がいくつになれば、規則が有用ではなくなるか。
- イオンが存在しているという証拠にはどのようなものがあるか。直接的証拠と間接的証拠の違いは何か。

自然や人間生活との関わり

- イオン液体は電源や工業的なグリーンプロセスに用いられる優れた溶媒であり電解物である。
《シラバスや他科目との関連性》
トピック3.2——周期的傾向
トピック21.1、選択項目A.8——構造決定におけるX線結晶構造解析の使用
「物理」トピック5.1——静電気学

4.1 イオン結合と構造	ねらい
<p>指導</p> <ul style="list-style-type: none"> 生徒に NH_4^+、OH^-、NO_3^-、HCO_3^-、CO_3^{2-}、SO_4^{2-}、PO_4^{3-}などの多原子イオンの名前を熟知させる必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> • ねらい3：命名法を使用して、イオン化合物を命名すること。 • ねらい6：化合物の結合の種類や性質に基づいて化合物を調べるか、天日乾燥により塩化ナトリウムを得ることも考えられる。 • ねらい7：結晶の格子構造を観察するため、コンピューターシミュレーションが使用可能である。

【学習のポイント】 共有結合化合物は電子を共有することによって生じる。

4.2 共有結合

「科学の本質」(NOS)との関わり

傾向と矛盾の探究——非金属を含む化合物は非金属と金属を含む化合物とは性質が異なる。(2.5)
理論を用いて自然現象を解説すること——ルイスは電子を共有する化合物類を発表した。ポーリングは電気陰性度の考え方を用いて、電子を共有する力が同等ではないと説明した。(2.2)

理解

- ・ 共有結合は、共有電子対と正電荷をもつ核の静電気引力によって生じる。
 - ・ 一重、二重、三重の共有結合では、それぞれ一対、二対、三対の電子対を共有している。
 - ・ 共有する電子数が増えるにつれて、結合距離が縮まり、結合強度が増加する。
 - ・ 結合極性は、結合した原子の電気陰性度の差に起因する。
- 知識・スキルの活用**
- ・ 電気陰性度の値から共有結合の極性を推定すること。
- 指導**
- ・ 結合極性には、部分電荷、双極子、ベクトルのいずれかで表すことができる。
 - ・ 電気陰性度の値はIB資料『化学資料集』の第8項に記載されている。

自然や人間生活との関わり

- ・ アトムエコノミー
《シラバスや他科目との関連性》
トピック10.1——有機分子
ねらい
- ・ ねらい3：命名法を使用して、共有結合化合物を命名すること。

[学習のポイント] ルイス（点電子）構造式では、最外殻電子の配置が表され、分子の形状を予測するのに用いられる。

4.3 共有構造

「科学の本質」(NOS)との関わり

科学者は実世界を表すものとしてモデルを使用する——観察できる性質を説明するため分子の形状を示すモデル（VSEPR）が作成された。（1.10）

理解

- ・ ルイス（点電子）構造式では共有結合に用いられているすべての価電子が表示される。
- ・ 「オクテット則」は、原子には最外殻に電子を8個もつ傾向があるという経験則である。
- ・ BeやBのように一部の原子は、最外殻に電子が8個なくとも安定した化合物を形成するものがある。
- ・ 一分子中の二重結合が2つ以上の位置を取り得る場合、共鳴構造が生じる。
- ・ VSEPR理論によると、化学種の形状は電子対の反発により決定する。炭素やシリコンは巨大な共有結合ネットワークや共有結合性高分子構造を形成する。

「知の理論」(TOK)

- ・ 共鳴構造の必要性はルイス（点電子）理論の価値や妥当性を下げるか、科学的理論の妥当性を評価する際に使用する基準は何か。
- ・ **自然や人間生活との関わり**
- ・ 《シラバスや他科目との関連性》
- ・ 選択項目 A.7 —— プラスチックの分解性
- ・ 「生物」トピック 2.3 —— 3-D分子の機能に対する三次元構造と関連構造
- ・ **ねらい**
- ・ **ねらい7**：VSEPR構造をモデル化するため、コンピューターシミュレーションが使用可能である。

知識・スキルの活用

- ・ 各原子の全価電子が最大で4つの電子対をもつようには分子やイオンのルイス（点電子）構造式を推定すること。
- ・ VSEPR理論を用いて電子領域の形状や2～4個の電子領域をもつ化学種の構造を予測すること。
- ・ 分子構造や非共有電子対の有無から結合角を予測すること。
- ・ 結合の極性や分子構造から分子の極性を予測すること。
- ・ 共鳴構造を推定すること。例として C_6H_6 、 CO_2 、 O_3 が挙げられるが、これらに限定されない。
- ・ 巨大な共有結合性化合物の構造の見地からその性質を説明すること。

4.3 共有構造
<p>指導</p> <ul style="list-style-type: none">・「陰電荷中心」の代わりに「電子領域」という用語を用いる必要がある。・ルイス(点電子)構造式の電子対は点、十字、線やこれらを組み合わせて表記することができる。・炭素同素体(ダイヤモンド、黒鉛、グラフェン、C_{60} バッカミンスター フラーレン)やSiO_2を授業で取り上げる必要がある。・配位共有結合を授業で取り上げる必要がある。

【学習のポイント】分子性物質の物理的性質は分子間で働く力の種類に起因する。

4.4 分子の構造	
<p>「科学の本質」(NOS)との関わり</p> <p>科学的理論を元に予測を行って、その試験を行い、証拠を得ること——ロンドン(分散)力や水素結合は、特殊な相互作用を説明するのに用いることができる。例えば、共有結合した分子の化合物は液体や固体の状態で存在し得る。これを説明するには、重力に起因する引力よりもはるかに大きな引力が粒子間に存在している必要がある。(2.2)</p>	<p>「知の理論」(TOK)</p> <ul style="list-style-type: none"> 水素結合の性質は、活発な議論を呼んでおり、IUPACの現在の定義では、水素結合が生じた証拠として使用する必要がある6つの基準がある。専門的な語彙(は知識の増加にどのように有用であり、またどのような妨げとなるか)。 <p>自然や人間生活との関わり</p> <p>《シラバスや他科目との関連性》</p> <p>選択項目 A.5 —— 可塑剤の使用 選択項目 A.7 —— 生分解性のコントロール 選択項目 B.3 —— シス脂肪酸やトランス脂肪酸の融点 「生物」トピック 2.2、2.3、2.4、2.6 —— 体内の分子に働く分子間力の理解</p> <p>知識・スキルの活用</p> <ul style="list-style-type: none"> 物質の構造や化学式に基づき、物質内に存在する分子間力の種類を推定すること。 共有結合化合物の構造と分子間力の見地から、共有結合化合物の物理的性質(揮発度、電気伝導度、溶解度)を説明すること。 <p>指導</p> <ul style="list-style-type: none"> 「ロンドン(分散)力」は、あらゆる原子や原子群の間に存在する双極子が瞬間的に誘起する双極子力のことで、無極性のものに対しても用いられる。「ファンデルワールス力」は、双極子間力や双極子が誘起する双極子力およびロンドン(分散)力を含む総称である。 <p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> ねらい7: 分子間力の相互作用を示すため、コンピューターシミュレーションが使用可能である。

【学習のポイント】 金属結合には非局在化電子を有する陽イオンの格子が関係している。

4.5 金属結合	
<p>「科学の本質」(NOS)との関わり</p> <p>理論を用いて自然現象を説明すること——金属の性質は共有結合性物質やイオン性物質とは異なるが、これは非局在化した電子の「海」を有する無方向性の結合の形成によるものである。(2.2)</p>	<p>理解</p> <ul style="list-style-type: none"> 金属結合は、陽イオンの格子と非局在化した電子間の静電引力によるものである。 金属結合の強さは、イオンの電荷と金属イオンの半径によって決まる。 合金には通常2種類以上の金属が含まれており、性質が改良されている。 <p>知識・スキルの活用</p> <ul style="list-style-type: none"> 金属の伝導度や展性を説明すること。 金属の融点の傾向を説明すること。 無方向性の結合の見地から、合金の性質を説明すること。 <p>指導</p> <ul style="list-style-type: none"> 傾向はsブロックおよびpブロックの元素に限定する必要がある。 さまざまな合金の例を授業で取り上げる必要がある。
<p>国際的な視野</p> <ul style="list-style-type: none"> 金属資源の利用しやすさやその抽出法は、国によつて大きく異なつており、国富を決定する要因の1つとなつている。技術が発展するにつれ、金属の需要が変化する。これら限りある資源の供給を管理する慎重な方法が必要とされている。 <p>自然や人間生活との関わり</p> <p>《シラバスや他科目との関連性》</p> <p>A.6——ナノテクノロジーにおける金属の利用 「生物」トピック2.2——水 ねらい</p>	<p>国際的な視野</p> <ul style="list-style-type: none"> 金属資源の利用しやすさやその抽出法は、国によつて大きく異なつており、国富を決定する要因の1つとなつている。技術が発展するにつれ、金属の需要が変化する。これら限りある資源の供給を管理する慎重な方法が必要とされている。 <p>自然や人間生活との関わり</p> <p>《シラバスや他科目との関連性》</p> <p>A.6——ナノテクノロジーにおける金属の利用 「生物」トピック2.2——水 ねらい</p>
<p>「ねらい」</p> <ul style="list-style-type: none"> ねらい1：貴金属の価値の国際的な影響やその抽出過程および採掘場所 ねらい7：金属結合の例を検討するため、コンピューターシミュレーションが使用可能である。 	<p>「ねらい」</p> <ul style="list-style-type: none"> ねらい1：貴金属の価値の国際的な影響やその抽出過程および採掘場所 ねらい7：金属結合の例を検討するため、コンピューターシミュレーションが使用可能である。

トピック5——エネルギー論・熱化学

9時間

【学習のポイント】 化学反応によるエンタルピーの変化は、その環境に対する温度の影響から算出することができる。

5.1 エネルギー変化の測定

「科学の本質」(NOS)との関わり

基本原理——エネルギーの保存は、科学の基本原理である(2.6)

注意深い観察を行うこと——系とその環境の間のエネルギーの移動は測定可能である。(3.1)

知識

- 熱はエネルギーの一種である。
- 温度は、粒子の平均運動エネルギーの尺度である。
- 化学反応ではすべてのエネルギーが保存される。
- 系とその環境の間で熱が移動する化学反応には、吸熱反応と発熱反応がある。

- 化学反応のエンタルピーの変化(ΔH)は、 kJ mol^{-1} で表される。
- ΔH の値は通常、標準状態など ΔH° で与えられる標準条件下で表される。

知識・スキルの活用

- 純物質の温度が変化する際、熱の変化を $q = mc\Delta T$ を用いて計算すること。
- 反応のエンタルピーに関する熱量測定実験を授業で取り上げ、結果を評価する必要がある。

国際的な視野

- 温度のSI単位はケルビン(K)であるが、同じ尺度で上昇するセ氏目盛(°C)がほとんどの国で一般的に使用されている。米国は例外で、科学に関係のない場合は常に華氏目盛(°F)が依然として使用されている。

「知の理論」(TOK)

- 実験値と理論値の違いを判断する際、どんな基準が使用されるか。実験の限界と理論的仮定を評価する際に用いる知るための方法はどれか。

自然や人間生活との関わり

- 食物や燃料中の重要な物質のエネルギー含量を測定すること。
《シラバスや他科目との関連性》
トピック1.1——質量の保存、状態の変化
トピック1.2——モルの概念

5.1 エネルギー変化の測定	
<p>指導</p> <ul style="list-style-type: none"> 燃焼エンタルピーの変化 (ΔH_{\circ}) と生成エンタルピーの変化 (ΔH_f°) を授業で取り上げる必要がある。 水溶液中の反応と燃焼反応を考察すること。 標準状態とは 100 kPa で測定した物質の標準状態を指し、最も純粋で安定した状態のことである。温度は標準状態では限定されないが、298K が目的温度として通常用いられている。 水の比熱容量は IB 資料『化学資料集』の第 2 項に記載されている。 水溶液の密度と比熱容量は水と同じであると仮定してもよいが、生徒にはその仮定には限界があることを認識させる必要がある。 実験では、環境への熱の消失および熱量計の熱容量を考慮する必要があるが、ボンベ熱量計を使用する必要はない。 	<p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> ねらい6：特定の実験データ（食物のエネルギー含量や水の融解のエンタルピーあるいは水溶液中の単純な反応のエンタルピーの変化）からエンタルピーの変化を計算するなどの実験を行うことも考えられる。 ねらい7：食物のエネルギー含量を分析するため、データベースを用すること。 ねらい7：温度変化を記録するため、データロガーを使用すること。

【学習のポイント】 化学的変化において、エネルギーがつくり出されることはない（熱力学の第一法則）。

5.2 ヘスの法則

「科学の本質」(NOS)との関わり

仮説——エネルギーの保存と原子理論に基づき、科学者は同じ生成物が同じ反応物から生じた場合、反応過程の数に関係なくエネルギーの変化は同じであるという仮説を検討することができる。（2.4）

理解

- 一連の段階を経て行われた反応のエンタルピーの変化量は、個々の段階のエンタルピーの変化量の合計に等しい。
- ヘスの法則を用いてエンタルピーの変化を計算すること。
- ΔH_f° のデータを用いて ΔH を計算すること。
- 既知のエンタルピー変化を有する複数の反応の和である反応のエンタルピーの変化を求めることが。

指導

- 生成エンタルピーのデータはIB資料『化学資料集』の第12項に記載されている。
- ヘスの法則を、反応熱 = (生成物の結合エネルギーの和) - (反応物の結合エネルギーの和) に用いること。

国際的な視野

- 物質のリサイクルは、生産の環境に対する影響を軽減する効果的な方法であることが多いが、国によりエネルギーの面ではその効率に差がある。

「知の理論」(TOK)

- ヘスの法則はエネルギー保存の法則を応用した一例である。一般的な原理を特定の事例に適用する際の課題と限界は何か。
- 自然や人間生活との関わり
- ヘスの法則は、構成する元素から直接合成することが不可能な場合、栄養素や薬およびガスの自由エネルギーの研究に重要性をもつ。
- 『シラバスや他科目との関連性』

「物理」トピック2.3——質量・エネルギーの保存 ねらい

- ねらい4：認められた値のソースを論じ、この考えを実験を批評するのに用いること。
- ねらい6：ヘスの法則を用いた実験などの実験を行うことも考えられる。
- ねらい7：温度変化を記録するため、データロガーを使用すること。

【学習のポイント】 エネルギーは結合が切断される時に吸収され、結合が生成される時に放出される。

5.3 結合エネルギーとエンタルピー

「科学の本質」(NOS)との関わり

モデルと理論——測定されたエネルギー変化は、結合破壊と結合形成のモデルに基づいて説明可能である。これらの説明はモデルに基づいているため、実験によって得られるデータが一致するかどうかはモデルが精巧であるかどうか次第であり、得られたデータを用いて、必要に応じて理論を修正することが可能である。(2.2)

理解

- ・ 結合生成によりエネルギーは放出され、結合が切断される時にエネルギーが必要とされる。
- ・ 平均結合エンタルピーは、類似化合物で平均化した気体分子1モルの結合を切断するのに必要なエネルギーのことである。
- ・ 既知の結合エンタルピーの値からエンタルピーの変化を計算し、その値を実験によって測定された値と比較すること。
- ・ 反応物か生成物のどちらがより安定であるか、また反応が発熱反応であるか吸熱反応であるかを確定するため、ポテンシャルエネルギーのプロファイルの略図を描き、評価すること。
- ・ 酸素と比較してオゾンの結合の強さを大気にに対する重要性において論じること。

指導

- ・ 結合エンタルピーの値はIB資料『化学資料集』の第11項に記載されている。
- ・ 平均結合エンタルピーは気体に対してしかあてはまらず、結合エンタルピーに関する計算結果は、分子間力が考慮されていないため、正確ではない可能性がある。

国際的な視野

- ・ 成層圏のオゾンの減少は特に地球の極地における懸念材料であるが、その原因となる汚染はさまざまな地域や発生源に由来している。国際的な活動や協力がオゾン層破壊の問題を改善するのに有用である。
- ・ **自然や人間生活との関わり**
- ・ 化石燃料の燃焼などエネルギー源には高い値の ΔH が必要である。
- ・ 《シラバスや他科目との関連性》
- トピック4.3——共有構造
- ・ **ねらい**
- ・ **ねらい6**：プロパンやブタンの燃焼エンタルピーの実験を行うことでも考えられる。
- ・ **ねらい7**：温度変化を記録するため、データロガーが使用可能である。
- ・ **ねらい8**：オゾン層破壊の道徳的、倫理的、社会的、環境的結果とその原因。

トピック6——反応速度論

7 時間

【学習のポイント】 分子が十分なエネルギーをもち、適切な方向で衝突する可能性が高ければ高いほど反応速度は速くなる。

6.1 衝突理論と反応速度

「科学の本質」(NOS)との関わり

オッカムの剃刀の原理を発展させる指針として用いる——分子レベルで起こっている反応を直接目にすることができないが、現在の原子モデルに基づいて理論を立てることは可能である。衝突説はこの原理の良い例である。(2.7)

理解

- 十分なエネルギーと適切な方向で衝突した結果として化学種は反応する。
- 反応速度は単位時間あたりの特定の反応物や生成物の濃度の変化として表される。
- 反応における濃度の変化は、質量や体積および色の変化を測定することで間接的に追跡することができる。
- 活性化エネルギー(E_a)とは、衝突する分子が反応につながる衝突を問題なく起こすためには必要な最少エネルギーのことである。
- E_a を減少させることで、触媒は化学反応の速度を速めるが、触媒自体が持続的に化学変化することはない。

知識・スキルの活用

- 平均運動エネルギーがケルビンで表した温度に比例する粒子の動きの見地から、運動論を説明すること。
- 速度に関する実験のグラフや数字のデータを分析すること。

国際的な視野

- 成層圏のオゾンの減少は主にCFCの触媒的作用によって引き起こされ、特に極地における懸念材料となっている。これらの化学物質はさまざまな地域や発生源から放出されているため、国際的な活動や協力がオゾン層破壊の問題を改善するのに必要である。

「知の理論」(TOK)

- 温度のケルビン目盛は気体の運動エネルギーの自然な尺度であるのに対して、人工的なセ氏目盛は水の性質を基にしている。温度などの物理的性質は考案されたものかもしくは発見されたものか。

自然や人間生活との関わり

- 《シラバスや他科目との関連性》
 トピック5.3 —熱力学的に安定であることと速度論的に安定であることの意味は何か。
 トピック13.1 —花火とイオン

6.1 衝突理論と反応速度	
<ul style="list-style-type: none"> 反応速度に関して、温度、圧力や濃度、粒子の大きさの影響を説明すること。 衝突が成功する確率や触媒の影響など衝突に影響を及ぼす因子を説明するため、マクスウェル・ボルツマン分布曲線を作成すること。 実験で反応速度を測定し、結果を評価すること。 触媒がある場合と触媒がない場合のエネルギー図を描き、説明すること。 <p>指導</p> <ul style="list-style-type: none"> 濃度や体積もしくは質量対時間のグラフの接線から、反応速度を計算する方法を授業で取り上げること。 生徒には濃度や体積もしくは質量対時間のグラフの変化の解釈の仕方を熟知させる必要がある。 	<p>選択項目 A.3 —— 触媒の日常的な使用 選択項目 B.2 —— 酵素 「生物」トピック 8.1 —— 代謝</p> <p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> ねらい8 : 気候変動の速度をめぐる論点の一部は何か。それらの議論が存在する理由は何か。 ねらい6 : 触媒がある場合と触媒がない場合の反応速度を測定すること。 ねらい6 : 反応物の濃度や温度を変化させて速度を測定するなどの実験を行うことも考えられる。 ねらい7 : シミュレーションを用いて、温度や圧力および濃度などの巨視的性質の変化によって分子の衝突がどのように影響を受けるかを明らかにすること。 ねらい8 : グリーンケミストリーの分野において触媒が果たす役割。

トピック7——化学平衡

4.5時間

【学習のポイント】多くの反応は可逆的である。可逆反応では、正反応と逆反応の速度が同じになつた時、平衡状態に達することになる。平衡の位置は条件を変化させることでコントロールできる。

7.1 平衡定数

「科学の本質」(NOS)との関わり

科学的理論に関する証拠を得ること——同位体を標識し、それを利用して平衡状態を決める。(1.8)
異なる分野にわたって用いられる同じ用語——動的平衡といふ平衡

理解

- 閉鎖系において正反応と逆反応の速度が同じになつた時、平衡状態に達する。
- 化学平衡の法則は、特定の化学反応に関してどのように平衡定数 (K_c) が求められるのかを説明したものである。
- 平衡定数の大きさは、平衡状態での反応の程度を示し、温度に依存する。
- 反応比 (Q) は反応中の特定の時点で存在する生成物と反応物の相対的な量を測定したものである。 Q は平衡状態に達していない濃度での関係式である。平衡の位置は、濃度や圧力および温度の変化に伴って変化する。
- 触媒は平衡の位置や平衡定数に影響を及ぼさない。

知識・スキルの活用

- 平衡状態における化学系や物理系の特徴を表すこと。
- 均一系反応の反応式から平衡定数 (K_c) を推定すること。
- 同一温度で同じ反応の平衡定数 (K_c) が異なる場合の関係を定めること。

国際的な視野

- ハーバー法は世界的規模で食糧生産を劇変させたため、世界で最も重要な化学反応であるとされている。しかし、ハーバー法により第一次世界大戦や第二次世界大戦で兵器にも大きな影響が及んだ。
- 科学者は世界を巨視的と微視的という異なる尺度で研究している。巨視的から微視的に移動できることを知るための方法はどうか。
- 化学では専門用語が用いられる。私たちが使う用語とは単に知識を伝える交換しない系のことである。私たちが知り得るもののか、それとも私たちが知り得るもののか。
- フリッツ・ハーバーの仕事は2つの世界大戦の政変と同時期に行われた。ハーバーは第一次世界大戦の戦場で塩素ガスの使用を指揮し、爆発物の製造に携わった。科学研究の社会的背景は、科学的方法や発見にどのような影響を及ぼすか。科学者は自分たちが発見したことが応用されることに対して道徳的責任を負う必要があるか。

7.1 化学平衡	自然や人間生活との関わり
<p>指導</p> <ul style="list-style-type: none"> ル・シャトリエの原理を用いて、温度や圧力および濃度が変化した際の平衡の位置や平衡定数の値に及ぼす定性的効果を予測すること。 物理系と化学系を授業で取り上げる必要がある。 K_c 値が倍数もしくは互いの逆数である反応の関係を取り上げる必要がある。 工業的過程の具体的な詳細は不要である。 	<p>7.1 化学平衡</p> <ul style="list-style-type: none"> 角括弧は、例えば濃度（トピック1.3）、ルイス（点電子）構造式（トピック4.3）、錯体（トピック14.1）などさまざまな化学的関係で用いられる。《シラバスや他科目との関連性》 トピック8.4——弱酸と弱塩基の挙動 ねらい6：異なる平衡系の圧力や濃度および温度変化を測定し、ル・シャトリエの原理を定性的に検討することが考えられる。 ねらい7：動的平衡の概念を例示するのに、動画やミュレーションが使用可能である。 ねらい8：科学技術を用いることについての道徳的、倫理的、経済的影響に対する関心を高めること。フリツ・ハーバーの事例を用いて、社会における科学者の役割について討論すること。

トピック8——酸と塩基

6.5 時間

【学習のポイント】多くの反応では、酸から塩基へのプロトンの移動が起こっている。

8.1 酸と塩基の定義

「科学の本質」(NOS)との関わり

理論の反証——HClNは酸素が化合物に酸の性質を与える元素であるという理論を変え、他の酸塩基理論の発展を可能にした。(2.5)
理論は新しいものに変わっていく——酸性の早期の一説には酸味の感覚に由来するものがあったが、この説は間違いであることが証明された。(1.9)
科学に対する一般の人々の理解——化学の領域外では、決断が「酸性(厳密な)試験」や「リトマス(反応を試す)試験」と呼ばれることがある。(5.5)

理解

- ・ プレンステッド・ローリー酸はプロトン(H^+)を供与するもので、ブレンステッド・ローリー塩基はプロトン(H^+)を受容するものである。
- ・ 両性種とはブレンステッド・ローリー酸およびブレンステッド・ローリー塩基として作用し得るものである。
- ・ 単一のプロトンの有無による違いがある2種を共役酸塩基対と呼ぶ。

知識・スキルの活用

- ・ 化学反応においてブレンステッド・ローリー酸およびブレンステッド・ローリー塩基を推定すること。
- ・ 化学反応において共役酸や共役塩基を推定すること。

指導

- ・ ここではルイス理論は不要である。
- ・ 例えば、 $C_2H_5O_2^-$ より CH_3COOH/CH_3COO^- のように、移動するプロトンの位置を明示する必要がある。

国際的な視野

- ・ 「Acids」はラテン語で酸味があるという意味であり、「alkali」はアラビア語でか焼した灰に由来する。「Oxygene」はギリシャ語で酸を形成するという意味で、酸素という元素が化合物が酸性という性質をもつ原因であるという誤った信念を示している。酸と塩基の定義は世界各国の科学者によって進展し、その用語は各国の研究者の言語による影響を受けている。

「知の理論」(TOK)

- ・ 酸と塩基の挙動は異なった理論を用いて説明できる。化学での説明は歴史など他の科目の説明とどのようない点で違いがあるか。

自然や人間生活との関わり

- 《シラバスや他科目との関連性》
- トピック3.2——酸化物の酸・塩基性
 - トピック8.5——非金属酸化物が酸性降下物の原因である。

8.1 酸と塩基の定義
<ul style="list-style-type: none"> 生徒には水溶液中のプロトンは H^+ (aq) や H_3O^+ (aq) として表されることを覚えさせる必要がある。 amphoteric (両性:酸としても塩基としても作用する) と amphiprotic (両性:プロトンを供与することも受容することもできる) という用語の違いを授業で取り上げる必要がある。

- 選択項目 B.2 —— 両性種として作用するアミノ酸
選択項目 D.4 —— 制酸剤(は胃において過剰な塩酸を中和する塩基である。
ねらい
・ **ねらい9**：各理論には強みと限界がある。ラボアジエは「現代化学の父」と呼ばれているが、ラボアジエの酸素に関する考え方には誤りがあった。

【学習のポイント】酸の特性評価は、金属と反応して気体を生じることや指示薬の色の変化もしくは金属酸化物と水酸化物との反応で熱を発するなど実験によって立証できる証拠によって決まる。

8.2 酸と塩基の性質

「科学の本質」(NOS)との関わり

科学理論に対する証拠を得ること——酸と塩基の観察可能な性質によって、酸・塩基理論に修正が加えられた。(1.9)

理解

- 大部分の酸では、反応性の高い金属、金属酸化物、金属水酸化物、炭酸水素塩、炭酸塩と特徴的な化学反応が観察できる。
- 塩と水は発熱反応である中和反応で生成される。

知識・スキルの活用

- 酸の反応の化学反応式を釣り合わせること。
- 異なる塩をつくるために必要な酸と塩基を特定すること。
- 異なる指示薬を用いて酸塩基滴定の実験を行うこと。

指導

- アンモニアや可溶性の炭酸塩および炭酸水素塩など、水酸化物ではない塩基を授業で取り上げる必要がある。
- 異なる指示薬の色の変化については、IB資料『化学資料集』の第22項に記載されている。

自然や人間生活との関わり

- さびとり剤からオーブンクリーナー、食品から歯磨き粉、ハナバチに刺された際の治療からスズメバチに刺された際の治療に至るまで日常生活において多数の酸や塩基が使用されている。

《シラバスや他科目との関連性》

- トピック1.3——酸塩基滴定
- トピック3.2——酸化物の酸性または塩基性の特徴
- トピック5.1——中和反応のエンタヒピーの変化

- ねらい
 - これららの性質の証拠として、生徒の実験による経験を基にすることが考えられる。



【学習のポイント】pHの尺度は酸性、中性、塩基性・アルカリ性溶液を区別するために用いられる人為的な尺度である。

8.3 pH	「科学の本質」(NOS)との関わり	「知の理論」(TOK)
<p>オッカムの剃刀——pHの尺度では、広範囲にわたる H^+ の濃度で表される相対的な酸性度を非常に単純な数字で合わせ試みがなされている。(2.7)</p> <p>理解</p> <ul style="list-style-type: none"> $\text{pH} = -\log \text{H}^+ \text{aq}$ で、$[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}}$ である。 pH が 1 変化することは、水素イオン濃度が 10 倍変化したことを表している。 pH の値により酸性、中性、アルカリ性の溶液が区別される。 298 K で、イオン積は、$K_w = \text{H}^+ \text{OH}^- = 10^{-14}$ である。 <p>知識・スキルの活用</p> <ul style="list-style-type: none"> pH、H^+、$[\text{OH}^-]$ に関する問題を解くこと。 生徒には pH メーターや万能指示薬の使い方を熟知させる必要がある。 <p>指導</p> <ul style="list-style-type: none"> 生徒には pOH の値に関する評価は行わないこととする。 このサブトピックでは、強酸と強塩基だけに重点を置く。 K_w が温度依存性であることを覚える必要はない。 H^+ の代わりに H_3O^+ が関与する反応式が対象となる可能性がある。 	<p>オッカムの剃刀——pHの尺度では、広範囲にわたる H^+ の濃度で表される相対的な酸性度を非常に単純な数字で合わせ試みがなされている。(2.7)</p> <p>自然や人間生活との関わり</p> <p>《シラバスや他科目との関連性》</p> <p>「数学 (S L)」(トピック 1.2) および「数学 (HL)」(トピック 1.2) —log の学習</p> <p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> 生徒には pH の概念をさまざまな実験や理論的背景に用い、適用できるようにさせる必要がある。 酸塩基滴定は、指示薬や pH プローブを用いて測定することが可能であると考えられる。 	<p>化学では数学の汎用言語をコミュニケーションの手段として利用している。ただ 1 つの「科学」用語を有することが重要である理由は何か。</p>

【学習のポイント】pHは溶液の濃度によって決まり、酸や塩基の強さは、水溶液中の酸や塩基の解離しやすさによって決まる。

8.4 酸と塩基の強弱	「科学の本質」(NOS)との関わり	「理解」	「知識・スキルの活用」	「指導」
<p>計測器の改善——高精度な分析技術を使用すると、異なる酸や塩基の相対的な強度が定量できる。(1.8)</p> <p>傾向と矛盾の探究——酸や塩基の相対的強度のパターンや変則性は分子レベルで説明することができる。(3.1)</p> <p>実験結果やモデルが、主張に対するさらなる証拠として使用される可能性がある——特定の種類の反応に関するデータから、弱酸が平衡状態で存在しているという考えが裏づけられる。(1.9)</p>	<p>「知の理論」(TOK)</p> <ul style="list-style-type: none"> 酸の強度はpHや導電率プローブを使用することによって測定可能である。私たちの知性を広げる技術はどのようにして世界観を変えるか、または強化するか。 <p>自然や人間生活との関わり</p> <p>《シラバスや他科目との関連性》</p> <p>トピック1.3——溶液化学 トピック7.1——弱酸と弱塩基の可逆反応への関与</p>	<p>強酸、弱酸、強塩基、弱塩基ではイオン化の程度が異なる。</p> <ul style="list-style-type: none"> 同一濃度において、強酸や強塩基は、弱酸や弱塩基に比べて伝導度が高い。 強酸は良いプロトン供与体であり、弱い共役塩基を有する。 強塩基は良いプロトン受容体であり、弱い共役酸を有する。 <p>強塩基を区別すること。</p>	<p>金属、金属酸化物、金属水酸化物、金属の炭酸水素塩、金属の炭酸塩との反応速度および同じ濃度の溶液での電気伝導度の見地から、強酸、弱酸、強塩基、弱塩基を区別する。</p> <p>イオン化と解離という用語は区別しないで用いることができる。</p> <p>弱酸と弱塩基の一覧表はIB資料『化学資料集』の第21項に記載されている。</p>	<p>ねらい6：生徒にはH_2SO_4 (aq)、HCl (aq)、HNO_3 (aq)、NaOH (aq)、NH_3 (aq)などの強酸、強塩基、弱酸、弱塩基を定量的に使用する実験を経験させる必要がある。</p> <p>ねらい7：生徒は酸や塩基の強度を測定するため、データロガーが使用可能である。</p>

【学習のポイント】工業化の増加により產生される窒素酸化物や硫黄酸化物の量が増え、環境に被害を与える酸性降下物の原因となっている。これらの問題は、全国的な組織や政府間組織の協力により軽減可能である。

8.5 酸性降下物	「科学の本質」(NOS)との関わり 危険性と問題点——金属や非金属の酸化物は酸塩基特性を特徴とする。酸性降下物は異なった見方から討論できるトピックである。化学により、人間の活動が及ぼす環境への影響を把握し、減少させることができることである。(4.8)	理解	知識・スキルの活用
	<p>「国際的な視野」「知識の理論」(TOK)</p> <ul style="list-style-type: none"> 雨にはCO_2が溶け込んでおり、そのpHは5.6である。酸性降下物のpHは5.6を下回る。 窒素酸化物や硫黄酸化物が水に溶け、HNO_3、H_2SO_4、H_2SO_3が形成されることによって酸性降下物が生じる。 硫黄酸化物や窒素酸化物の発生源および酸性降下物の影響を授業で取り上げる必要がある。 <p>自然や人間生活との関わり</p> <ul style="list-style-type: none"> HNO_3が形成される化学反応式を釣り合わせること。 硫黄酸化物の排出を削減する燃焼前回収法と燃焼後回収法を区別すること。 反応の高い金属と炭酸塩からなる酸性降下物の反応式を推定すること。 	<ul style="list-style-type: none"> 汚染を引き起こす国と汚染される国が異なることが多い。酸性降下物は主要な汚染物質発生源から遠く離れた地域に影響を及ぼす二次汚染物質である。この問題を解決するには国際協力が必要である。 雨はすべて酸性であるが、すべての雨が「酸性降下物」ではない。科学用語には明確な定義がある。科学用語は中立的な方法で私たちの知識を単に伝えるものか、それとも科学用語に有用性をもたらすことは可能か。 	<p>《シラバスや他科目との関連性》</p> <p>トピック3.2——酸化物の酸・塩基特性</p> <p>選択項目B.2——pHの変化と酵素活性</p> <p>選択項目C.2——硫黄酸化物は硫黄の不純物が多い化石燃料の燃焼によって生じる。</p>

8.5 酸性降下物	<p>「環境システムと社会」トピック5.8 ——酸性降下物 「地理」選択項目G：都市環境——都市のストレスと持続可能な都市、 HL——国際的な相互作用——環境変化</p> <p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ねらい6：酸性降下物による異なった建築資材への影響を定量的に測定することが可能である。 ・ ねらい8：異なる国々における酸性降下物の影響を論じることは、酸性降下物という二次汚染物質の環境に及ぼす影響と政治的な影響の関心を高めるのに有用である。 ・ ねらい8：バスを使用する、車の相乗りをするなど酸化物の生成を削減する他の方法を論じることが考えられる。
-----------	--

トピック9——酸化還元反応

8時間

【学習のポイント】酸化還元（還元—酸化）反応は多くの化学的過程や生化学的過程において重要な役割を果たしている。

9.1 酸化と還元

「科学の本質」(NOS)との関わり

証拠の使われ方——酸化と還元の定義が特定の元素（酸素と水素）を含むものから電子の移動が関与するもの、酸化数を用いるものへと変化したのは、科学者が類似点を一般的な原理に広げた方法の良い例である。（1.9）

理解

- 酸化と還元は、酸素の獲得・水素の損失、電子の移動もしくは酸化数の変化の見地から考えることができる。
- 酸化剤は還元され、還元剤は酸化される。
- 遷移金属や非金属の主要なグループのほとんどには複数の酸化数がある。
- 活性系列は金属を酸化されやすさの順に並べたものである。
- ウインクラー法を用いて生物化学的酸素要求量（BOD）を測定し、水検体中の汚染の程度の尺度として使用することができる。

知識・スキルの活用

- イオンや化合物中の原子の酸化状態を推定すること。
- ローマ数字で表された酸化数を用いて、与えられた化学式から遷移金属化合物の名前を推定すること。
- 酸化還元反応において、酸化された化学種、還元された化学種、酸化剤、還元剤を特定すること。
- 酸性または中性溶液中の半反応式を用いて酸化還元反応を推定すること。

国際的な視野

- 清潔な飲料水の供給を受けることは国連により基本的人権であることが認められているが、この供給を受けることができない人は10億人を超えると見積もられている。上水道の消毒には、微生物病原体を殺す塩素やオゾンなどの酸化剤が広く用いられている。

「知の理論」(TOK)

- 化学では古い名前が使われなくなることにつながることもある。この過程で失われるものや得られるものは何か。
- 酸化状態は酸化還元反応を説明する際に有用である。人為的な変換は知識を明確にするのに有用もしくは有効な方法か。

自然や人間生活との関わり

- 酸素呼吸、電池、太陽電池、燃料電池、髪のメラニンを過酸化水素で漂白すること、家庭用漂白剤、空気に曝した食物が褐色になることなど。
- 飲酒運転は重大な交通事故の原因となる世界的な問題である。飲酒検査の原理は、酸化還元反応である。

9.1 酸化と還元	
<p>活性系列や反応データから酸化還元反応が起こる可能性を推定すること。 さまざまな酸化還元滴定に関する問題を解くこと。 ウインクラー法を用いてBODを計算すること。</p> <p>指導</p> <ul style="list-style-type: none"> IUPACでは酸化数と酸化状態という2つの用語を正式に区別しているが、これらの用語は区別しないで使用されることが多い。IUPACによると、酸化数はローマ数字で表される。 酸化状態は$2+$ではなく$+2$のように、数字の前に符号を用いて表す必要がある。 金属水素化物中の水素の酸化状態（-1）や過酸化物中の酸素の酸化状態（-1）を授業で取り上げる必要がある。 基本的な活性系列はIB資料『化学資料集』の第25項に記載されている。 	<p>食品化学における天然の酸化防止剤と合成酸化防止剤 調光レンズ 腐食と亜鉛めつき</p> <p>《シラバスや他科目との関連性》</p> <p>トピック1.3——溶液の量、質量、体積、濃度の実験的測定 トピック3.2——ハロゲンの反応性 トピック4.1、4.2——イオン結合と共有結合の違い トピック10.2——アルコールの酸化 「生物」トピック8.2、8.3——生理学における酸化還元反応</p> <p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> ねらい6：活性系列の明示、酸化還元滴定、ウインクラー法を用いたBOD測定などの実験を行うことも考えられる。 ねらい8：塩素などの酸化剤は消毒剤として用いることができる。塩素を消毒剤として用いることで、他の化学種が酸化され有害な副生成物（例えばトリクロロメタン）が生じるため、懸念事項となっている。

【学習のポイント】ボルタ電池は、化学エネルギーを電気エネルギーに変換し、電解槽は、電気エネルギーを化学エネルギーに変換する。

9.2 電池

「科学の本質」(NOS)との関わり

研究の倫理的影響——社会的必要性や利益により、エネルギーを生み出すという要求が後押しされる可能性がある。(4.5)

理解

ボルタ (ガルバニ) 電池：

- ・ボルタ電池は自発的で化学的な発熱過程を電気エネルギーに変換する。
- ・ボルタ電池では、アノード (負極) で酸化が起こり、カソード (正極) で還元が起こる。

電解槽：

- ・電解槽は、非自発的な反応を引き起こすことによって、電気エネルギーを化学エネルギーに変換する。
- ・電解槽では、アノード (正極) で酸化が起こり、カソード (負極) で還元が起こる。

知識・スキルの活用

- ・両種の化学電池を作成し注釈をつけること。
- ・ボルタ電池では電気を生成するのに酸化還元反応がどのように使われ、電解槽では電流がどのように伝導されるのかを説明すること。
- ・両種の化学電池において電子とイオンの流れを区別すること。
- ・2つの金属・金属イオン半電池を用いて、標準的なボルタ電池に関する実験を行うこと。
- ・溶融塩の電気分解による生成物を推定すること。

指導

- ・ボルタ電池については、電池の略図に関する慣習を授業で取り上げる必要がある。

国際的な視野

- ・宇宙探査の研究では、エネルギーの要素に重点が置かれることが多い。米国のNASAで最初に設計された宇宙探査機などのエネルギー源として基本的な水素-酸素燃料電池が使用されている。国際宇宙ステーションは、国際的科学コミュニティーが関わる多国籍プロジェクトの良い例である。

「知の理論」(TOK)

- ・エネルギーは特定の種類の変化が常に互いに連携している理由を正当化するために用いられる抽象概念にすぎないのか。エネルギーなど的概念は実在しているものか。

自然や人間生活との関わり

- ・燃料電池
 - ・心臓のペースメーカー
 - ・《シラバスや他科目との関連性》選択項目 C.6 —— 燃料電池
- ・「物理」トピック 5.3 —— 化学電池
ねらい
 - ・ねらい6：2つの金属・金属イオン半電池を用いて標準的なボルタ電池を作成すること。
 - ・ねらい6：溶融塩の電気分解などの電気分解実験を行うことも考えられる。これらの電気分解の過程の一部を示すため、ビデオが使用可能である。

9.2 化学電池

- ・ **ねらい8**：水素燃料電池は、内燃エンジンの環境に優しく効率的な代替品と考えられているが、水素燃料の貯蔵が主要な問題である。カーボンニュートラルな燃料（温室効果に寄与しない燃料）として植物から生成される液体メタノールを燃料電池に使用することに非常に大きな可能性がある。燃料電池の開発における現在の障壁は何か。

トピック10——有機化学

11 時間

【学習のポイント】 有機化学では炭素を含む化合物の化学に重点的に取り組む。

10.1 有機化学の基礎

「科学の本質」(NOS)との関わり

偶然の発見と科学的発見——PTFEと強力瞬間接着剤 (1.4)

倫理的影響——薬や添加剤および殺虫剤は人々や環境に有害な影響を及ぼす可能性がある。 (4.5)

理解

- 同族列とは、同じ一般式で表される同一ファミリーに属する一連の化合物で、共通の構造単位の数が異なる化合物の系列のことである。
- 構造式は、構成をすべて表したものや簡約したもので表すことができる。
- 構造異性体とは分子式は同じであるが、原子の配置が異なる化合物のことである。
- 官能基は分子が反応する部分である。
- 飽和化合物は単結合のみからなる化合物で、不飽和化合物には二重結合や三重結合がある。



- ベンゼンは芳香族性を示す不飽和炭化水素である。

知識・スキルの活用

- 同族列の化合物の沸点の傾向を説明すること。

国際的な視野

- ごく一部の国により世界の石油資源が支配されている。石油の純輸入国と純輸出国の相互依存関係が、世界的規模の政策の方向づけと経済発展の重要な要素となっている。
- 車や航空機に使用される燃料効率の一般的基準として、オクタン価（オクタン数）を用いることができる。オクタン価は世界中の各地域によって大きく異なることが多く、異なる国ではオクタン価を表す方法が違つており、オクタン価の表示が複雑なものになっている。

「知の理論」(TOK)

- 「有機化学」という表現は、生命力が生命の化学を説明するのに必要なものであるという誤った考えに由来している。同様の誤解からつくられた専門用語で思いつく例はあるか。このような問題をなくすために用語を管理できるか、また管理する必要があるか。
- ケクレはベンゼンが環状構造であるとひらめいたのは夢がもとであると主張した。科学的知識を獲得する上で知識の分析力が比較的低い方法が果たす役割は何か。



10.1 有機化学の基礎	
<p>• 実験式、分子式、構造式を区別すること。</p> <p>• アルカン、アルキノン、ハロアルカン、アルコール、エーテル、アルデヒド、ケトン、エステル、カルボン酸、アミン、アミン、アミド、ニトリル、アレンなど異なる化合物群を特定すること。</p> <p>• フェニル基、ヒドロキシ基、カルボニル基、カルボキシル基、カルボキサミド基、アルデヒド基、エステル基、エーテル基、アミノ基、シアン基、アルキル基、アルケニル基、アルキニル基など分子中的一般的な官能基を特定すること。</p> <p>• 有機分子の三次元モデル（実像もしくは虚像）を構築すること。</p> <p>• IUPACの規則を用いて、直鎖および枝分かれした異性体を命名すること。</p> <p>• ハロアルカンやアルコールにおける、第一級、第二級、第三級炭素原子およびアミンにおける第一級、第二級、第三級窒素原子を同定すること。</p> <p>• 物理的および化学的証拠を用いてベンゼンの構造について論じること。</p>	<p>自然や人間生活との関わり</p> <ul style="list-style-type: none"> 分別蒸留は多くの石油製品で多用されている。 染料、殺虫剤、除草剤、爆発物、せっけん、化粧品、合成香料、香味料《シラバスや他科目との関連性》 <p>トピック1.2——実験式と分子式 トピック4.2、4.3——ルイス(点電子)構造式、多重結合、VSEPR理論、共鳴、結合および分子の極性 トピック4.4——分子間力 トピック5.3——発熱反応と結合エンタルピー</p> <p>選択項目A.5——材料とポリマー 選択項目B.2、B.7——タンパク質 選択項目D.9——薬剤における有機構造 ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> ねらい6：分子模型キットもしくは適当なコンピューターによる分子グラフィックスのプログラムを用いてさまざまな有機分子の三次元モデルを構築すること。 ねらい6：液体を分離する蒸留や混合物から溶媒を取り除くロータリーエバボレーターを用いるなどの実験を行うことも考えられる。
<p>• 骨格構造について授業で論じる必要がある。</p> <p>• アルカン (C_nH_{2n+2})、アルケン、アルキン、ケトン、アルコール、アルデヒド、カルボン酸の一般式を覚える必要がある。</p>	<p>指導</p>
<p>• 「化学」指導の手引き</p>	<p>75</p>

10.1 有機化学の基礎

- 一般名と官能基の名前を区別をする必要がある。例えば OH に関するところによると、ヒドロキシ基が官能基としての名前であるが、アルコールが一般名である。
- 以下の命名法について授業で取り上げる必要がある。
 - 非環状アルカンやハロヘキサンまでのハロアルカン
 - ヘキセンまでのアルケンやヘキシンまでのアルキン
 - アルコール、アルテル、アルデヒド、ハロアルカン、ケトン、エステル、カルボン酸など、単一の官能基がある最大で 6 個の（命名の目的で基本鎖に）炭素原子をもつ化合物

- ねらい8**：化石燃料を主要なエネルギー源として用いることによる影響がある。炭素の本質的に豊富な化学のため、化石燃料から多くの製品を得ることが可能である。これにより、いくつかの根本的な問題が生じる。化石燃料は燃焼させることにも貴重なものではないか。化石燃料はどういうふうに環境に影響を及ぼすか。この点に関する決断を下すのに誰が責任を負うべきか。
- ねらい8**：ガソリンやディーゼルの燃料代替品としてアルコールやバイオ燃料を使用することについて論じること。

【学習のポイント】官能基の相互変換が関わる構造、結合、化学反応は有機化学の重要な要素である。

10.2 官能基の性質	
<p>「科学の本質」(NOS)との関わり データの使用——現在までの化学研究の発展や応用を進展させた進歩の多くは、官能基の相互交換が関わる重要な有機化学反応と関連している(3.1)</p>	<p>理解</p> <p>アルカン：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・アルカンの反応性は低く、フリーラジカル置換反応を起こす。 <p>アルケン：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・アルケンはアルカンに比べて反応性が高く、付加反応を起こす。臭素水を用いてアルケンとアルカンを区別することができます。 <p>アルコール：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・アルコールは酸と求核置換反応（エ斯特ル化または縮合と呼ばれる）を起こし、一部は酸化反応を起こす。 <p>ハロアルカン：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ハロゲノアルカンはアルカンに比べて反応性が高い。ハロゲノアルカシンは（核）置換反応を起こす。求核試薬とは電子が不足している炭素に供与する孤立電子対をもつ電子が豊富な化学種のことである。 <p>ポリマー：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・付加重合体はさまざまなモノマーから構成されており、プラスチック工業の基盤となっている。 <p>ベンゼン：</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ベンゼンが容易に付加反応を起こすことはないが、求電子置換反応を起こす。
<p>国際的な視野</p> <p>メタンは温室効果ガスで、ブラジル、ウルグアイ、アルゼンチン、ニュージーランドなどの国において反芻動物からメタンが放出され、温室効果ガス総排出量に深い関わりがある。ごみ処理もメタンの発生源であり、電気や熱を発するエネルギーとしてメタンガスを捕捉する技術が一部の国で開発されている。</p> <p>アルコールの乱用は多くの国で深刻さが増す問題となつており、経済や社会構造に影響が及ぶ可能性がある。</p> <p>自然や人間生活との関わり</p> <ul style="list-style-type: none"> ・燃料としてのアルカンの使用 ・果実の熟成におけるエタンの役割 ・アルコールの燃料の添加剤としての使用 ・アルコールの飲酒検知器における役割 ・エステルの香水、食物の香料、溶媒、ニトログリセリン、生物燃料、鎮痛剤などの多様な使用法。 <p>《シラバスや他科目との関連性》</p> <p>トピック9.1——酸化還元過程 選択項目A.5——ポリマー 選択項目B.3——脂質</p>	

10.2 官能基の性質

知識・スキルの活用

アルカン：

- 炭化水素の完全燃焼や不完全燃焼の反応式を書くこと。
- 光化学反応による均等開裂が関与するフリーラジカル置換反応の見地からハロゲンとメタンやエタンの反応を説明すること。

アルケン：

- アルケンと水素やハロゲンとの反応および対称なアルケンとハロゲン化水素や水との反応式を書くこと。
- アルケンの付加重合の要点を説明すること。
- ポリマーとなるモノマーの構造と繰り返し単位の関係を説明すること。
- アルコール：
- 第一級アルコールや第二級アルコールの酸化反応の化学式（酸化剤として酸性二クロム酸カリウム（V I）、過マンガン酸カリウム（V III）を用いて）を書くこと。アルデヒドやカルボン酸生成物の単離における蒸留や還流について説明すること。
- 触媒（濃硫酸）の存在下でエステルを形成するアルコールとカルボン酸の縮合反応の反応式を書くこと。

ハロアルカン：

- ハロアルカンと水酸化ナトリウム水溶液の置換反応の反応式を書くこと。
- フリーラジカル置換反応における開始、成長、停止段階に触れる必要がある。フリーラジカルは1つの点で表す必要がある。
- S_N1 、 S_N2 、求電子置換反応の反応機構は不要である。

指導

トピック11——測定とデータ処理

10 時間

【学習のポイント】すべての測定法には精度と正確度に限界があり、実験結果を評価する際にはこのことを考慮に入れる必要がある。

11.1 測定と結果における不確かさと誤差

「科学の本質」(NOS)との関わり

定量的測定を繰り返し、信頼性を確保すること——精度、正確度、系統誤差、偶然誤差を測定を繰り返すことでどちらかある必要がある。(3.2、3.4)

理解

- 定性的データには、測定からではなく観察から得たすべての非数值情報が含まれる。
- 定量的数据は測定から得られ、器具や反応時間など測定する側による限界によって確定される偶然誤差や不確かさと常に関連している。
- データ処理における偶然誤差の広がりは、最終結果に対する不確かさの影響を示している。
- 実験デザインや実験手法は通常、測定において系統誤差を引き起こし、特定の方向に逸脱する原因となる。
- 試験や測定を繰り返すことで偶然誤差を減らすことがあるが、系統誤差を減らすことにはならない。

知識・スキルの活用

- 偶然誤差と系統的誤差を区別すること。
- すべての測定結果において、不確かさを適当な精度に対する範囲 (\pm)として記録すること。

国際的な視野

- IUPACなど7つの国際機関が協力した結果、国際標準化機構 (ISO)により、1995年「*Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* (計測における不確かさの表現ガイド)」が発刊された。このガイドは、ほとんどの国で広く用いられ、複数の言語に翻訳されている。

「知の理論」(TOK)

- 科学は自己修正する公の試みであるとされている。これらの特徴はどの程度まで他の知識の領域にも適用されているか。
- 火星探査機であるマーズ・クライメイト・オービターの墜落
- ニュートリノの速度に関するERNからの最初の結果には不備があった。

《シラバスや他科目との関連性》
選択項目 D.1 —— 薬の臨床試験

11.1 測定と結果における不確かさと誤差

- 実験において不確かさを減らす方法を論じること。
- 処理したデータの不確かさを不確実性のペーセンテージを使用するなどして広めること。
- すべての実験の系統誤差、系統誤差が結果に及ぼす影響、系統的誤差を減らす方法を論じること。
- 特定の誤差の要因が最終結果に主要な影響もしくは小さな影響を及ぼす可能性があるかどうかを推定すること。
- 実験結果を理論的もしくは一般に認められた結果と比較し、ペーセント誤差を計算すること。
- 結果の評価において正確度と精度を区別すること。

指導

- 結果の有効数字の数は、データに示された数字に基づく。足し算や引き算の場合、最終的な答えは少数点以下の桁数が最も小さいものとなり、掛け算や割り算の場合、最終的な答えは有効数字の桁数が最も小さいものとなる。
- データの値は偶然誤差と同じ精度で記録する必要があることに注意する。
- プログラムを通してSI単位を使用する必要がある。

- ねらい**
- ねらい6：Class A と Class B のガラス製品の区別と役割の違いを調査することを考えられる。
 - ねらい8：科学者には実験の不確かさなど、データのすべてを伝える道徳的責任があることを考へること。1990年代のフライシュマン・ボンズによる「常温核融合」は、これが果たされなかつた一例である。

【学習のポイント】 グラフはデータの傾向を視覚的に表したものである。

11.2 グラフを用いる方法	
<p>「科学の本質」(NOS)との関わり</p> <p>相関関係という考え方——結果がグラフで示されている実験において相関関係を検討することができる。(2.8)</p>	<p>国際的な視野</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 言語の壁を超える図やグラフは世界中の科学者同士のコミュニケーションを容易にすることができる。 <p>「知の理論」(TOK)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ グラフはデータを視覚的に表したものであり、知るために方法として知覚が使用される。グラフの解釈は言葉や理由など他の知るための方にどの程度依存しているか。 <p>自然や人間生活との関わり</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ データをグラフで表す方法は、人口、財政、気候モデルなどさまざまな領域で広く使用されている。これら統計学的傾向を読み取ることが、予測につながることが多く、健康や教育など多くの領域で政府の政策の背景を支えている。 <p>《シラバスや他科目との関連性》</p> <p>トピック1.3——気体の体積、温度、圧力のグラフ トピック6.1——マックスウェル・ボルツマン分布、濃度—時間や速度 —濃度のグラフ トピック16.2——活性化エネルギーを決めるアレニウスプロット トピック18.3——滴定曲線</p>
<p>理解</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ グラフを使用することは、従属変数に対する独立変数の影響を伝える効果的な方法で、結果として物理量を測定することもできる。 ・ グラフの略図では、軸に表示(は)付いているが目盛がなく、変数が比例するかもしくは反比例するかなど、定性的な傾向を表すのに用いられる。 ・ 描かれたグラフでは軸に表示と目盛があり、定量的な測定に使用される。 <p>知識・スキルの活用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 軸や目盛を正しく選択し、実験結果のグラフを描くこと。 従属変数および独立変数の関係の見地からグラフを読み取ること。 ・ 線形関数として考えられるかどうかの評価など、データポイントに最もフィットした直線や曲線を描き、読み取ること。 ・ 適切な単位を含め、傾き(勾配)や切片を測定することによってグラフから量を計算すること。 	
<p>⑤ 「化学」指導の手引き</p>	

11.2 グラフを用いる方法	
	選択項目 B.7 —— 酵素反応速度論 選択項目 C.5 —— 温室効果、二酸化炭素濃度、地球の気温 選択項目 C.7 —— 一次反応・減衰グラフ
ねらい	・ ねらい7 ：表計算ソフトの使用や最良適合線や勾配の算出など、グラフ作成ソフトを使用してもよい。

【学習のポイント】 分析法は化合物の構造の決定、物質の組成の分析、化合物の純度の決定に用いることが可能である。分光法は有機化合物や無機化合物の構造の同定に使用される。

11.3 有機化合物の分光学的同定

「科学の本質」(NOS)との関わり

計測器の改善——質量分析法、プロトン核磁気共鳴法、赤外線分光法は日常的に化合物の同定や構造決定に用いられている。(1.8)
観察できない特定の現象を説明するためにモデルが作成される——例えば、スペクトルは結合が振動するモデルに基づいている。(1.10)

理解

- 不飽和度や水素不足指數(IHD)は、分子式、分子内の環状構造や多重結合の数から求めることができる。
- 質量分析法(MS)、プロトン核磁気共鳴法($^1\text{H NMR}$)、赤外線分光法(IR)は化合物を同定し、化合物の構造を決定するのに有用な方法である。

国際的な視野

- 環境における毒素や外因性化学物質の測定や分析には異なる国々の科学者同士の協力を伴う絶え間ない努力が必要である。
- 「知の理論」(TOK)
 - 電磁波は知覚を超えた情報を伝達することができる。知る方法として知覚の限界は何か。

知識・スキルの活用

- 分子式からIHDを求めること。
- 百分率組成のデータ、MS、 $^1\text{H NMR}$ やIRから化合物の構造的特徴に関する情報を導き出すこと。

指導

- 電磁スペクトル(EMIS)はIB資料『化学資料集』の第3項に記載されている。各法で用いられている領域について理解しておく必要がある。
- 《シラバスや他科目との関連性》
トピック1.2 ——百分率組成のデータや他の実験データからの実験式の決定および実験式や実験データからの分子式の決定



11.3 有機化合物の分光学的同定

<ul style="list-style-type: none"> これらすべての方法に関する操作原理は不要である。 IB資料『化学資料集』には赤外線吸収の特徴的な領域（第26項）、^{トピック2.1——有核原子} ^{トピック5.3——結合エンタルピー}
<p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> ^{トピック7：ここではスペクトルのデータベースが使用可能である。} ^{トピック8：さまざまな温室効果ガスの影響は、存在量と熱放射を吸収する能力によって決まる。}

トピック12——原子の構造

2時間

【学習のポイント】エネルギー変化の量子化された性質は、原子や分子内の電子のエネルギー状態と関連している。

12.1 原子内の電子

「科学の本質」(NOS)との関わり

理論を裏づける実験による証拠——発光スペクトルからエネルギー準位が存在しているという証拠が得られる。(1.8)

理解

- ・ 発光スペクトルにおいて、比較的高い振動数で収束する限界は第一イオン化エネルギーに相当する。
- ・ 周期表の横の並びである周期における第一イオン化エネルギーの傾向は、原子に主要なエネルギー準位と副エネルギー準位が存在していることを説明している。
- ・ 元素の一連のイオン化エネルギーのデータから電子配置との関連を示す情報を得ることができる。

知識・スキルの活用

- ・ $E = h\nu$ を用いて問題を解くこと。
- ・ 収束限界の振動数や波長が与えられたスペクトルのデータから第一イオン化エネルギーの値を計算すること。

国際的な視野

- ・ 2012年、CERNで大型ハドロン衝突型加速器を用いて研究を行っていた国際的な2つの研究チームが別々に、以前から予測されていた「ヒッグス粒子」と挙動が一致する粒子を発見したと発表した。
- ・ 「**知の理論**」(TOK)
 - ・ ヴェルナー・ハイゼンベルクは「私たちが観察しているものは自然体ではなく、私たちの間いに対しても自然が見せたものである」と述べている。電子は実験条件によって、波もしくは粒子としての挙動を示すことができる。知覚は世界に関して客観的な情報を与えることができる。
 - ・ ド・ブロイの式では、巨視的粒子の波としての性質を観察するにはその波長が短すぎることを示している。知覚からは決して観察することができない性質について語ることに意味はあるか。

12.1 原子内の電子

- 一連のイオン化エネルギーのデータからその元素の族を推定すること。
- 周期表の横の並びである周期における第一イオン化エネルギーの傾向と不連続性を説明すること。

指導

- プランク定数 (h) の値と $E = h\nu$ は、IB資料『化学資料集』の第1項と第2項に記載されている。
- リュードベリ式を用いてイオン化エネルギーを計算する必要はない。

自然や人間生活との関わり

- 電子顕微鏡は、細胞やウイルスの超微細構造など生物学に多くの進歩をもたらしている。走査型トンネル顕微鏡 (STM) では、單一原子の探針を用いて表面をスキヤンし、原子レベルで三次元構造を得ることができる。

《シラバスや他科目との関連性》

- トピック3.2 —— 周期的な傾向
- トピック4.1 —— イオン結合
- トピック15.1 —— 格子エンタルピー

ねらい

- ねらい7**：イオン化エネルギーの傾向をグラフにまとめるためにデータベースが使用可能である。また、デビッシュ・ガーマーの電子回折実験のシミュレーションも利用できる。

トピック13——周期表一遷移金属

4時間

【学習のポイント】遷移元素には特徴的な性質があり、これらの性質はすべての遷移元素の副電子殻であるd軌道が電子で満たされていないことに関連している。

13.1 dブロック1段目の元素

「科学の本質」(NOS)との関わり

傾向と矛盾の探求——遷移元素の挙動には特定のパターンがある。Zn、Cr、Cuはこのパターンには従わず、そのため、dブロック1段目の元素は変則的であると考えられている。(3.1)

理解

- 遷移元素には異なった酸化状態があり、色をもつた化合物が多い。また、遷移元素は配位子と錯イオンを形成し、触媒活性や磁気特性を示す。
- Znは電子で満たされていないd軌道を用いてイオンを形成するがなく、遷移元素であるとは考えられていない。
- 遷移元素はs軌道の電子が取り除かれた場合、酸化状態が+2となる。

知識・スキルの活用

- 一連のイオン化エネルギーから遷移金属にはさまざまな酸化状態を形成する能力があることを説明すること。
- 錯イオン内の配位結合の性質を説明すること。
- 存在するイオンや配位子の式から全電荷を推定すること。
- 不対電子の見地から遷移金属の磁気特性について説明すること。

国際的な視野

- 遷移金属の性質や用途から遷移金属は重要な国際商品であると考えられる。一部の国では貴金属の採掘が経済の重要な要素となっている。「知の理論」(TOPK)
- 女性と男性を表す医学的な記号の起源は、鍊金術において銅と鉄を表す記号である。鍊金術という疑似科学が現代科学の発展にどのような役割を果たしたか。

自然や人間生活との関わり

- 《シラバスや他科目との関連性》
トピック9.1——酸化還元反応
トピック10.2——アルコールの酸化、アルケンの水素化
選択項目A.3——均一触媒と不均一触媒

13.1 dブロック1段目の元素	
<p>指導</p> <ul style="list-style-type: none"> 遷移金属でよくみられる酸化数はIB資料『化学資料集』の第9項と第14項に記載されている。 	<p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> ねらい6：例えば、バナジウムとマンガンの酸化状態を実験で検討することが考えられる。遷移金属は酸化還元滴定を用いて分析することが可能である。 ねらい8：鉄の腐食による経済的影響

【学習のポイント】d軌道は孤立した原子内では同じエネルギーを有するが、錯イオンでは2つのエネルギーレベルに分裂する。配位子の電場により、錯イオンのd軌道が分裂し、分裂した軌道間の電子の遷移エネルギーは可視光の光子のエネルギーに相当する。

13.2 d軌道と錯イオンの色

「科学の本質」(NOS)との関わり

モデルと理論——遷移金属の錯体の色は電子がどのようにd軌道に分布しているのかに基づいたモデルや理論を用いて説明することができます。
学際性——対称性と関係がある色は、科学、建築、芸術の分野で研究されている。(4.1)

理解

錯イオンでは副殻であるd軌道が異なる2つの軌道に分裂する。
dプロックの元素の錯体は色をもっており、d軌道間で電子が励起されると、光が吸収される。

吸収された色は、観察された色を補完するものである。

知識・スキルの活用

遷移金属イオンの錯体の色に対する金属イオンの類似点、金属の酸化数、配位子の類似点の影響について説明すること。
遷移金属錯体において分裂したd軌道に対する異なる配位子の影響および分光化学系列を用いて観察される色について説明すること。

指導

- 分光化学系列はIB資料『化学資料集』の第15項、多座配位子は第16項に記載されている。
- 生徒には特定の錯イオンの色を覚えさせる必要はない。
- 観察される色と吸収される色の関係は、色相環によってIB資料『化学資料集』の第17項に例示されている。
- 生徒には異なる分裂パターンや分裂パターンと配位数の関係を覚えさせる必要はない。八面体の結晶場の3d軌道の分裂のみが必要である。



トピック14——化学結合と構造

7時間

【学習のポイント】結合形成システムにおいて、比較的大きな構造よりも掘り下げる説明には、結合の洗練された概念や理論が必要となることが多い。

14.1 形式電荷と軌道間の相互作用

「科学の本質」(NOS)との関わり

オッカムの剃刀の原理——結合論は徐々に修正されてきた。例えば形式電荷のように、修正された理論はできるだけ単純なままでなければならぬが、説明能力を最大限に發揮させたものである必要がある。(2.7)

理解

- 共有結合は原子軌道の重なりにより形成される。シグマ結合(σ)は結合軸方向にある原子軌道の重なりにより形成され、結合している原子の核の間に電子密度の高い領域ができる。ペイ結合(π)は、原子軌道の横の重なりにより形成され、結合している原子の核の上下の面で電子密度の高い領域が生じる。
- 形式電荷(FC)は複数のルイス(点電子)構造式からどれが望ましいかを決定するのに用いられる。FCは分子内の原子すべての電気陰性度が同じであるとした場合の原子の電荷のことである。 $FC = (\text{価電子数}) - \frac{1}{2}(\text{結合電子数}) - (\text{非結合電子数})$ となる。ゼロに最も近いFC値を有する原子のルイス(点電子)構造式が望ましいとされる。
- オクテット則の例外には、最外殻電子数が8個に満たないものや8個を超えるものなどがある。

国際的な視野

- オゾン層の破壊は時間とともにどのように変化してきたか。オゾン層の破壊を減らすため、国際社会として私たちは何をしてきたか。
- オゾン層の破壊は、国際的な環境への懸念を解決することに関してどの程度の成功例があり失敗例があるか。

「知の理論」(TOK)

- 共有結合は原子価結合法や分子軌道論を用いて説明することができます。同じ現象を説明するのに別の方法があることはどの程度の強みもしくは弱みであるか。

自然や人間生活との関わり

- 薬物作用と分子構造との関連性
- 視覚科学と分子構造との関連性

14.1 形式電荷と軌道間の相互作用

- 一対の原子間で局在化している電子とは対照的に、分子やイオン中のすべての原子によつてもしうはそれらの原子間で共有される非局在化した電子がある。
- 共鳴構造では特定の分子またはイオンを表すのに2つ以上のルイス(点電子)構造式が用いられる。単独のルイス(点電子)構造式では完全に表すことができない分子やイオンに関して、2つ以上のルイス(点電子)構造式は互いに共鳴構造であるとされる。

知識・スキルの活用

- 直線状に原子軌道が結合した場合、シグマ(σ)結合もしくはパイ(π)結合のどちらが形成されか予測すること。
- 各原子で最大6つの電子対の価電子をすべて示す分子やイオンのルイス(点電子)構造式を推定すること。
- FCを用いて、異なるルイス(点電子)構造式からどのルイス(点電子)構造式が望ましいかを確定すること。
- 5つおよび6つの電子領域と関連する結合角を用いて電子領域の配置と分子の形状をVSEPR理論を用いて推定すること。
- 酸素とオゾンを解離させるのに必要な光の波長を説明すること。
- CFCや NO_x が触媒によるオゾン層破壊の機構を説明すること。

指導

- 直線状に原子軌道が結合した場合、分子軌道が形成されることをシグマ(σ)やパイ(π)結合の形成を説明する中で取り上げる必要がある。
- 5つおよび6つの電子領域に対応する形状の分子極性を授業で取り上げる必要がある。



「化学」指導の手引き

《シラバスや他科目との関連性》

- トピック4.2、4.3——ルイス(点電子)構造式、VSEPR理論、共鳴や結合および分子極性
- トピック10.1——有機分子の形状
- トピック13.1——遷移金属化学

ねらい

- ねらい1：オゾン層破壊の地球への影響
- ねらい7：VSEPR理論により予想される構造のモデル化にコンピューターシミュレーションが使用可能である。
- ねらい8：オゾン層破壊の道徳的、倫理的、社会的、経済的影响や環境への影響とその解決策

《シラバスや他科目との関連性》

- トピック4.2、4.3——ルイス(点電子)構造式、VSEPR理論、共鳴や結合および分子極性
- トピック10.1——有機分子の形状
- トピック13.1——遷移金属化学

ねらい

- ねらい1：オゾン層破壊の地球への影響
- ねらい7：VSEPR理論により予想される構造のモデル化にコンピューターシミュレーションが使用可能である。
- ねらい8：オゾン層破壊の道徳的、倫理的、社会的、経済的影响や環境への影響とその解決策



「化学」指導の手引き

【学習のポイント】 原子軌道が混じり合って、元の原子軌道とエネルギーの等しい同数の等価な混成軌道が新たに形成される。

14.2 混成軌道

「科学の本質」(NOS)との関わり

理論を不確定なものとして見なす必要性——原子価結合論における混成は、分子の形状を説明するのに有用であるが、限界がある。量子力学では要件に応じて、同じ現象を説明する理論が複数ある。(2.2)

理解

- ・ 混成軌道は同じ原子にある異なる種類の原子軌道が混じり合うことで生じる。

知識・スキルの活用

- ・ メタン、エチレン、エタンにおける sp^3 、 sp^2 、sp 混成軌道の形成について説明すること。
- ・ ルイス(点電子)構造式や電子領域および分子の形状ならびに混成の種類の関係を特定し、説明すること。

指導

- ・ 生徒には sp^3 、 sp^2 、sp 混成軌道をもつた化学種のみについて考察させる必要がある。

「知の理論」(TOK)

・ 混成は分子の結合形成を対称性と関連づけることができる数学的手段である。自然科学と数学および自然界はどのような関係にあるか。異なる知識の領域において対称性が果たす役割は何か。

自然や人間生活との関わり

- トピック 4.3 —— ルイス(点電子)構造式、VSEPR理論、共鳴や結合および分子極性
- トピック 10.1 —— 有機分子の形状
- トピック 13.1 —— 遷移金属の化学

ねらい

- ・ ねらい7：混成軌道をモデル化するのにコンピューターシミュレーションが使用可能である。

トピック15—エネルギー論・熱化学

7 時間

【学習のポイント】 単一段階の反応におけるエネルギー変化はより小さな段階のエネルギー変化の合計と同じであるという概念は、イオン化合物が関わる変化に適用できる。

15.1 エネルギーサイクル

「科学の本質」(NOS)との関わり

定量的測定を繰り返し、信頼性を確保すること——エネルギーサイクルにより直接には測定できない値を算出できる。(3.2)

理解

- 典型的な反応式(例えば $M^+(g) \rightarrow M^+(aq)$)は水和、イオン化、原子化、電子親和力、格子、共有結合、溶解のエンタルピーもしくはエネルギーに使用できる。
- 溶解エンタルピー、水和エンタルピー、格子エンタルピーはエネルギーサイクルと関連している。

知識・スキルの活用

- 第1族、第2族の元素の酸化物や塩化物のボーン・ハーバーササイクルを構築すること。
例えば、固体のNaOHやNH₄Clの水中での溶解など、水和エンタルピー、格子エンタルピー、溶解エンタルピーからエネルギーサイクルを構築すること。
ボーン・ハーバーササイクルや溶解エネルギーのサイクルからエンタルピーの変化を計算すること。
- 直接には測定できないものの測定結果が得られることは、あらゆる場合で大きな重要性がある。ボーリング孔温度、積雪の深さ、氷河の後退、蒸発速度、降水サイクルなどは地球温暖化の指標として間接的にしか測定できないものである。地球温暖化のような地球規模の問題に対抗するには国々が協力することが重要である理由は何か。

自然や人間生活との関わり

- 他のエネルギーサイクル——生物における炭素サイクル、クレブスサイクル、電子伝達《シラバスや他科目との関連性》
トピック1.2、1.3——化学量論的関係
トピック3.2——イオン化エネルギー、原子半径、イオン半径
トピック5.3——結合エンタルピー

15.1 エネルギーサイクル

- 指導**
- ・ イオンの大きさや電荷を格子エンタルピーと水和エンタルピーに関連づけること。
 - ・ 水溶液中の單一置換反応などの実験を行うこと。
 - ・ 主に一部のイオン性化合物において共有結合性を生じるイオンの分極効果について検討することはない。
 - ・ イオン化、原子化、電子親和力、格子、共有結合、水和、溶解などのエンタルピーもしくはエネルギーに関する用語を授業で取り上げる必要がある。
 - ・ 格子エンタルピー（第18項）、水溶液のエンタルピー（第19項）、水和エンタルピー（第20項）の値はIB資料『化学資料集』に記載されている。

- | | |
|---|---|
| <p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 認証値の根拠を論じ、この考えを実験を批評するのに用いること。 ・ 水の結晶化エンタルピーや氷を温水に加えた時の水の熱容量を計算するなどの実験を行うことが可能である。 ・ 温度変化を記録するためにデータロガーを用い、認証値の根拠を明らかにするためにデータベースを使用すること。 | <p>ねらい4：認証値の根拠を論じ、この考え方を実験を批評するのに用いること。</p> <p>ねらい6：水の結晶化エンタルピーや氷を温水に加えた時の水の熱容量を計算するなどの実験を行うことが可能である。</p> <p>ねらい7：温度変化を記録するためにデータロガーを用い、認証値の根拠を明らかにするためにデータベースを使用すること。</p> |
|---|---|

【学習のポイント】全体の変化が総エントロピー（系+環境）の増大につながる場合、反応は自発的に起かる。自発的変化は、利用可能なエネルギーを消費し仕事を行い、常に宇宙の総エントロピーが増大する方向に向かう。これは熱力学第二の法則として知られている。

15.2 エントロピーと自発的に進む反応

「科学の本質」(NOS)との関わり

理論は新しいものに変わっていく——エントロピーは統計学や確率論の発展の結果として長年の間に徐々に進展してきた。(2.2)

理解

- エントロピー (S) は、粒子間で利用可能なエネルギーの分布に関するものである。エネルギーが分布できる方法が多いほど、エントロピーは高くなる。
- ギブスの自由エネルギー (G) は化学変化から得られるエネルギーをエンタルピーの変化 (ΔH) やエントロピーの変化 (ΔS) および絶対温度 (T) と関連づけたものである。
- 同一条件下では、エントロピーの大きさは、気体>液体>固体の順である。
- 反応物と生成物の状態を考え、ある変化によりエントロピーが増大するか減少するかを予測すること。
- 与えられた標準エントロピーの値 (S°) からエントロピーの変化 (ΔS) を計算すること。
- $\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$ を用い自発性を予測し、これに影響を及ぼすエンタルピーや温度のさまざまな条件を計算すること。
- ΔG を平衡の位置と関係づけること。

指導

- ΔG に影響を及ぼすさまざまな反応条件を検討すること。
- ΔG は化学物質の変化に起因する直接的なエントロピーの変化および熱エネルギーの獲得や損失の結果として環境でおこる間接的なエントロピーの変化両方を考慮する簡便な方法である。

国際的な視野

- 持続可能なエネルギーは、2030年までに世界規模で持続可能なエネルギー源を2倍にすることを目標とした国連のイニシアティブである。「**知の理論**」(TOK)
- エントロピーは正確な意味をもつ専門用語である。異なる知識の領域においてそのような専門用語はどの程度重要か。

自然や人間生活との関わり

- 《シラバスや他科目との関連性》
- トピック 5.2 —— ヘスの法則
- トピック 5.3 —— 結合エンタルピー
- トピック 7.1 —— 平衡
- 選択項目 C.1 —— エネルギーの質
- 「物理」選択項目 B.2 —— 热力学

- ねらい 1、ねらい 4、ねらい 7：自由エネルギーを生成できる仮説に基づいた反応の調査にデータベースが使用可能である。
- ねらい 6：吸熱過程と発熱過程を検討する実験を何度も繰り返し、反復して得たデータの信頼性を比較し、理論値と比較すること。



トピック16——反応速度論

6時間

【学習のポイント】 反応速度式は実験的に測定するしかなく、速度式により可能な反応機構が限定される。素反応の線形連鎖反応、平衡がない、大きな活性化の障壁が1つしかない場合など特殊な例では、反応速度式は、反応が最も遅い段階のものと等しくなる。

16.1 反応速度式と反応機構

「科学の本質」(NOS)との関わり

オッカムの剃刀の原理——修正された理論はできるだけ単純なままでなければならぬのが、説明能力を最大限に發揮させたものである必要がある。3つの分子が衝突する可能性が低いということは、反応機構が段階的である可能性が高いことを意味している。(2.7)

理解

- 反応には複数の段階を経るものがあり、最も速度の遅い段階〔律速段階(RDS)〕が反応速度を決定する。
- 素反応の分子度とは、その素反応が関与する反応物質の粒子数のことである。
- 反応次数は本質的に、整数もしくは分数である。反応次数は反応物に対しても律速段階に加わった粒子数を示している。
- 反応速度式は実験的にしか求めることができない。
- 速度定数(k)の値は、温度による影響を受け、その単位は反応の全體の次数により決まる。
- 触媒により活性化エネルギーが低い段階が加わり、反応機構が変化する。
- 実験データから得た反応式の反応速度式を推定し、反応速度式に関する問題を解くこと。

国際的な視野

・ 製造業で最初に用いられた触媒は硫酸の生産に関するものであった。
硫酸の生産量は長期にわたりその国の経済の健全性を反映した。現在、
国の経済的健全性を示す指標となるものは何か。

「知の理論」(TOK)

・ 反応機構は間接的な根拠に裏付けられている。科学的理論において経験的証拠の果たす役割は何か。科学において常に確信をもつことができるか。

自然や人間生活との関わり

・ がんの研究は、発がん物質やがんを死滅させる薬剤および阻害剤の機構を特定することがすべてである。
『シラバスや他科目との関連性』
トピック20.1——有機物質のためにS₁およびS_N2反応機構
選択項目A.3——触媒
「生物」トピック8.1——触媒として作用する酵素

16.1 反応速度式と反応機構

<p>・ ゼロ次反応、一次反応、二次反応を表すグラフの略図を書き、それを特定し分析すること。</p> <p>・ 提示された反応機構が反応速度のデータや化学量論のデータと一致しているかを評価すること。</p> <p>指導</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 計算は、反応次数が整数の値の反応に限定することとする。 ・ 濃度ー時間のグラフや速度ー濃度のグラフの考察を行うこと。 ・ ポтенシャルエネルギーレベルのプロファイルを使用して複数段階からなる反応を例示し、その中で律速段階の E_a が比較的高いことを示すこと。 ・ 触媒は律速段階に影響を与える。 ・ 律速段階が第一段階ではない反応を考察する必要がある。 ・ 生徒が異なる濃度を用いて速度に対する影響を認め、速度式を測定できる実験が望ましい。 	<p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ねらい7：行った実験で提示された機構を調べ、反応速度式に影響を及ぼす因子を検討する仮想実験を行うために、データベースやデータロガーやその他のICTアプリケーションが使用可能である。
---	---

【学習のポイント】 反応の活性化エネルギーは反応速度に対する温度の影響から求めることができます。

16.2 活性化エネルギー

「科学の本質」(NOS)との関わり

理論は新しい理論によって裏づけられるか誤りが立証され、差し替えられる——反応の温度を変えることで、衝突速度に及ぼす影響で説明するよりもはるかに大きな影響が反応速度に及ぶ。これは反応速度に及ぼす温度変化の影響を説明するために定量モデルを提唱するアレニウスの式の発展につながった。(2, 5)

理解

- アレニウスの式では、速度定数の温度依存性を用いて、活性化エネルギーが求められる。
- I/T 対 $\ln k$ のグラフでは、勾配を $-E_a/R$ 、 $\ln A$ を切片とする直線になる。
- 頻度因子（もしくは指数関数前の因子） (A) は、適切な方向での衝突の頻度を考慮したものである。

知識・スキルの活用

- アレニウスの式の直線形である $\ln k = -\frac{E_a}{RT} + \ln A$ をグラフで表したもの を分析すること。
- アレニウスの式 $k = A e^{-\frac{E_a}{RT}}$ を用いること。
- 温度と速度定数、頻度因子と分子の衝突の複雑性の関係を説明すること。
- データから活性化エネルギーおよび頻度因子の値を求め評価すること。

指導

- エネルギー準位図を用いて、RDSを示す多段階反応を例示すること。
- 直線式 $\ln k = -\frac{E_a}{RT} + \ln A$ を用いることにおいてさまざまなデータソースを考慮すること。 $\ln \frac{k_1}{k_2} = \frac{E_a}{R} \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$ の式はIB資料『化学資料集』に記載されている。

- ### 自然や人間生活との関わり
- ホタルの光が点滅するのは、酵素が関わる化学過程によるものである。
 - 酵素の「鍵と鍵穴」説とアレニウスの式の関係。
- 《シラバスや他科目との関連性》
- トピック 6.1 —— 衝突理論
ねらい

- ねらい4、ねらい7：反応速度に対する温度や立体因子の影響を検討するため、シミュレーションや仮想実験を行うこと。
- ねらい6：グラフを描くのに十分なデータを得るために温度を読み取り、その値を収集するなどの実験を行うことも考えられる。
- ねらい7： E_a と頻度因子の値のデータを簡単に人力し分析するためにグラフ電卓が使用可能である。

トピック17——化学平衡

4 時間

【学習のポイント】 平衡の位置は化学平衡の法則により定量化することができます。特定の反応に対する平衡定数は温度によってのみ変化する。

17.1 化学平衡の法則

「科学の本質」(NOS)との関わり

定量的な推論の使用——実験で求めた正反応および逆反応の化学反応速度式は化学量論式から直接推定でき、ル・シャトリエの原理が適用できる。
(1.8、1.9)

理解

- 濃度の変化に関するル・シャトリエの原理は、化学平衡の法則により説明できる。
- 平衡の位置は、エントロピーが最大となりギブスの自由エネルギーの値が最小となる点に相当する。
- 反応におけるギブスの自由エネルギーの変化と平衡定数はどうやらも平衡反応の位置を測定するのに用いることが可能で、式 $\Delta G = -RT \ln K$ によって関連づけられる。

「知識」(TOK)

- 正反応と逆反応の次数が化学反応式の係数と同じであると仮定するとによって化学平衡の法則を推論することが可能である。科学において演繹的推論の役割は何か。
- 数学を平衡系のモデル化に問題なく使用することができます。これは数学が現実を反映するようにつくられているからか、もしくは現実が本質的には数理的なものであるからか。
- 科学における多くの問題は、数学を簡単にする仮定を立てた場合にのみ解くことができる。問題を解くことにおける直観の役割は何か。

自然や人間生活との関わり

- 動的平衡における閉鎖系の概念は生物科学、環境科学、人間科学のさまざまな系に応用できる。
- 《シラバスや他科目との関連性》
トピック1.3——化学量論式
トピック7.1——平衡
トピック18.2——弱酸と弱塩基の平衡

知識・スキルの活用

- K_c の式を用いて均一系平衡の問題を解くこと。
 - ΔG と平衡定数を関連づけること。
 - 式 $\Delta G = -RT \ln K$ を用いた計算を行うこと。
- 指導**
- 式 $\Delta G = -RT \ln K$ は IB 資料『化学資料集』の第 1 項に記載されている。
 - 生徒が式 $\Delta G = -RT \ln K$ を導き出す必要はない。
 - 二次方程式の使用は評価しないこととする。

17.1 化学平衡の法則	
	<p>選択項目 A. 10 —— K_{sp} 選択項目 B. 7、D. 4 —— 緩衝液の計算</p> <p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none">• ねらい6：エステル化反応や他の反応の平衡定数を実験的に検討することが考えられる。• ねらい7：動的平衡の概念はコンピューターによる動画で例示することができる。

トピック18——酸と塩基

10時間

【学習のポイント】 酸と塩基の概念はプロトンの移動が関与しない反応にも広げられる。

18.1 ルイス酸とルイス塩基

「科学の本質」(NOS)との関わり

理論は新しい理論によって裏づけられるか誤りが立証され、差し替えられる——酸・塩基の理論は孤立電子対を考慮することにより広く適用することができます。ルイス理論はブレンストッド・ローリーの酸・塩基理論を反証するものではなく、拡張するものである。(2.5)

理解

- ルイス酸は孤立電子対を受け取る物質であり、ルイス塩基は孤立電子対を供与する物質である。
- ルイス塩基がルイス酸と反応すると、配位結合が形成される。
- 求核試薬はルイス塩基であり、求電子試薬はルイス酸である。

知識・スキルの活用

- 無機化学および有機化学にルイスの酸・塩基理論を応用して反応種の役割を特定すること。

指導

- 有機化合物および無機化合物を例に挙げて学習する必要がある。
- ブレンストッド・ローリーの酸・塩基とルイスの酸・塩基の関係を論じる必要がある。

国際的な視野

- 酸・塩基理論は世界の異なる地域の人々の協力と競争を通じてその考え方が発展した。

「知の理論」(TOK)

- 同じ現象が異なる観点から探究され、違う理論によつて説明されることがある。例えば、競合する理論をその普遍性、平易性、正確性で判断することがある。

自然や人間生活との関わり

- 《シラバスや他科目との関連性》
- トピック4.2、4.3——共有結合分子とルイスの点電子構造式
 - トピック13.2——遷移金属の錯体
 - トピック20.1——求核試薬

ねらい

- ねらい6：遷移金属の錯体を実験的に研究することが考えられる。
- ねらい7：異なる酸・塩基理論を区別するために動画が使用可能である。

【学習のポイント】 化学平衡の法則を酸塩基反応に適用することができます。数値問題は関与する化学種の相対的濃度について仮定を立てることができます。科学的理論に關する証拠を得ること——化学平衡の法則を適用し、酸や塩基の強さを決定し、分子構造に關連づけることができる。ここでは対数を使用することも重要である。

18.2 酸と塩基に関する計算

「科学の本質」(NOS)との関わり

科学的理論に關する証拠を得ること——化学平衡の法則を適用し、酸や塩基の強さを決定し、分子構造に關連づけることができる。(1.9)

理解

- 弱酸 (K_a) と弱塩基 (K_b) の解離定数の式
共役酸塩基対では $K_a \times K_b = K_{w\circ}$
- K_a と pK_a の関係は、 $pK_a = -\log K_a$ 、 K_b と pK_b の関係は、 $pK_b = -\log K_b$ である。
- [H^+ (aq)]、[OH^- (aq)]、pH、pOH、 K_a 、 pK_a 、 K_b 、 pK_b に関する問題を解くこと。
 K_a 、 pK_a 、 K_b 、 pK_b の値を用いて酸と塩基の相対的な強さを論じること。

指導

- K_w の値は温度によって決まる。
緩衝液中のpHの計算は選択項目B.7、D.4でのみ評価することとする。
- 1つのプロトンが移動する例のみを評価することとする。
- 298 K以外の温度でのpHの計算を評価することが可能である。
- 生徒が平衡の計算において近似値を使用した場合はそれを明言する必要がある。
- 二次方程式の使用は評価しないこととする。
- ねらい6：強酸と弱酸の性質を実験で検討することが考えられる。

国際的な視野

- 数学は世界共通語である。本トピックの数学的性質は、異なる母語を話す化学者がより客観的に話し合うために有用である。
- 自然や人間生活との関わり
《シラバスや他科目との関連性》
トピック8.1——共役酸塩基対
トピック8.3——pHの概念
トピック8.4——酸と塩基の強弱
選択項目B.7、D.4——緩衝液
ねらい

【学習のポイント】pH曲線は実験で検討することができますが、酸と塩基の解離定数から数学的に求められる。適切な終点を有する指示薬を用いて反応の当量点を決定することが可能である。

18.3 pH曲線

「科学の本質」(NOS)との関わり

- 機器類の性能の向上と利用できる技術の進歩——pHメーターの技術開発により、pHの信頼性の高い測定が即時にできるようになった。(3.7)
- 理解
 - 強酸、弱酸、強塩基、弱塩基の組み合わせを変えることによって特徴的なpH曲線が得られる。
 - 酸塩基指示薬は、共役酸塩基対の成分が異なる色をもつ弱酸もしくは弱塩基である。
 - 弱酸である酸塩基指示薬のpHの範囲とその pK_a 値には関連性がある。
 - pH曲線上の緩衝領域とは、少量の酸や塩基を加えてもpHにほとんど変化がない領域のことである。
 - 緩衝液の組成と作用。

知識・スキルの活用

- 強酸、弱酸、強塩基、弱塩基の滴定に関するpH対量のグラフの一般的形状は、重要な特徴を説明するものである。
- 滴定の当量点と指示薬の終点を考慮に入れ、滴定には適切な指示薬を選択すること。
- 酸・塩基の緩衝液の性質は常に同じであるが、弱酸または弱塩基との共役体を含む塩の溶液を混和するかもしくは弱塩基を強酸または強塩基で部分的に中和することによって緩衝液を調整することができる。
- 強酸、弱酸、強塩基、弱塩基の異なる組み合せによって生じる塩の水溶液の相対的なpHを予測すること。

「科学の本質」(NOS)との関わり

- 「科学の本質」(NOS)との関わり
- 理解
 - pH曲線は現実を正確に描写したものか、あるいは人為的に表したものか。科学により現実を表すことができる。
- 自然や人間生活との関わり
 - 《シラバスや他科目との関連性》
 - トピック5.1——温度・伝導度滴定
 - トピック16.2——pH曲線の他とは異なる数学的特徴は何か。トピック16.2でアレニウスの式を用いる場合、生徒は自然対数の使用についても熟知している必要がある。

ねらい

- ねらい6:pH曲線の検討、弱酸の pK_a の測定、緩衝液の調整と検討、指示薬の pK_a の測定などの実験を行うことも考えられる。
- ねらい7:データロガー、データベース、表計算ソフト、表計算ソフトや温度プローブなどすべて使用可能である。例えば、当量点は導電率プローブや温度プローブを用いて測定できる。



18.3 pH曲線

指導

- ・ 1つのプロトンの移動が関与する例のみを評価することとする。重要な特徴は以下の通りである。
 - pH軸との切片
 - 当量点
 - 緩衝領域
 - $pK_a = pH$ もしくは $pK_b = pOH$ となる点
- ・ 弱酸の指示薬 :
 - $\text{HIn(aq)} \rightleftharpoons \text{H}^+(\text{aq}) + \text{In}^-(\text{aq})$
 - A色
 - B色
 - 色の変化は $pK_a \pm 1$ の範囲で起こると考えられる。
- ・ 弱塩基の指示薬 :
 - $\text{BOH(aq)} \rightleftharpoons \text{B}^+(\text{aq}) + \text{OH}^-(\text{aq})$
 - A色
 - B色
- ・ 指示薬の例はIB資料『化学資料集』の第22項に記載されている。
 - ・ 強酸、弱酸、強塩基、弱塩基の4つの可能な組み合わせから生じる塩基を入れる必要がある。計算は不要である。
 - ・ 水和した遷移金属イオンの酸性度はトピック13で取り上げられている。
 - 他の水和した金属イオンについては不要である。

トピック19——酸化還元反応

6 時間

【学習のポイント】電気エネルギーと化学エネルギーのエネルギー変換が化学電池の中心である。

19.1 化学電池

「科学の本質」(NOS)との関わり

定量的な推論の使用——電極電位と標準水素電極。(3.1)
共同研究と論理的影響——科学者は電気化学電池の技術に関する研究を行い、燃料電池や微生物燃料電池を使用する環境的および論理的影響を考慮する必要がある。(4.5)

理解

- ボルタ電池では、起電力(EMF)が起こり、アノード(陰極)からカソード(陽極)へ外部回路を通して電子が移動する。EMFは電池電位(E°)と呼ばれる。
- 標準水素電極(SHE)は、 1 mol dm^3 の水素イオンと 100 kPa 、 298K で水素ガスと接觸している不活性な白金電極で構成されている。標準電極電位(E°)は、SHEに対して測定される標準状態下での還元半応式の電位(電圧)である。溶質の濃度は 1 mol dm^3 が気体では 100 kPa である。SHEの E° は 0 V である。
- 水溶液の電気分解では、水がアノードで酸素に酸化され、カソードで水素に還元される。
- $\Delta G^\circ = -nFE^\circ$ 。 E° が正の値であれば、 ΔG° は負の値となり、反応が自発的に起こる。 E° が負の値であれば、 ΔG° は正の値となり、反応は自発的には起こらない。 E° がゼロであれば、 ΔG° もゼロとなる。

国際的な視野

- 多くの化学電池が世界のエネルギー問題を軽減するエネルギー源としての役割を果たすことができるが、一部の非常に効率の良い微生物燃料電池(MFC)(バイオ燃料電池とも呼ばれる)は、環境の浄化に寄与することが可能である。中央政府や国際社会は、財政的支援を行うための研究の優先度をどのように決定しているか。

「知の理論」(TOK)

- SHEは任意の基準の一例である。異なる基準を用いた場合、私たちの科学的知識は同じとなるか。

自然や人間生活との関わり

- 電気メスキ
- 歯科医学における電気化学反応
- 金属の発錆

19.1 化学電池

- ・電流や電解の継続時間およびイオンの電荷は電解中に電極で生じる生成物の量に影響を及ぼす。
- ・電気メッキには、薄い金属層を有する物の電解コーティングが含まれる。

知識・スキルの活用

- ・標準電極電位を用いて電池電位を計算すること。
- ・ E° 値を用いて反応が自発的であるかしないかを予測すること。
- ・標準電極電位を用いて標準自由エネルギーの変化 (G°) を求めること。
- ・水溶液の電解中に生じる生成物について説明すること。
- ・水溶液中における単一の置換反応などの実験を行うこと。
- ・電気分解過程で生じる生成物の相対的な量を確定すること。
- ・電気メッキの反応を説明すること。

指導

- ・理論上、電気分解反応で取り上げる必要があるものには、不活性な白金もしくはグラファイトの電極および銅電極を用いた水溶液（例えば塩化ナトリウム、硫酸銅(II)など）や水の電解がある。説明では E° 値、電極の性質、電解質の濃度に言及する必要がある。 $\Delta G^\circ = -nFE^\circ$ は IB 資料『化学資料集』の第 1 項に記載されている。
- ・ファラデー定数 = $96\ 500\ C\ mol^{-1}$ は IB 資料『化学資料集』の第 2 項に記載されている。
- ・「直列につないだ電池」という表現を理解する必要がある。

<p>19.1 化学電池</p> <ul style="list-style-type: none"> ・電流や電解の継続時間およびイオンの電荷は電解中に電極で生じる生成物の量に影響を及ぼす。 ・電気メッキには、薄い金属層を有する物の電解コーティングが含まれる。 <p>知識・スキルの活用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・標準電極電位を用いて電池電位を計算すること。 ・E°値を用いて反応が自発的であるかしないかを予測すること。 ・標準電極電位を用いて標準自由エネルギーの変化 (G°) を求めること。 ・水溶液の電解中に生じる生成物について説明すること。 ・水溶液中における単一の置換反応などの実験を行うこと。 ・電気分解過程で生じる生成物の相対的な量を確定すること。 ・電気メッキの反応を説明すること。 	<p>《シラバスや他科目との関連性》</p> <p>トピック 1.2、1.3 —— アボガドロ定数、物質の体積、理想気体の公式に関する問題</p> <p>トピック 9.1 —— 酸化還元反応</p> <p>トピック 15.2 —— 自発的に進む反応</p> <p>選択項目 C.6 —— ネルンストの公式</p> <p>生物選択項目 B.3 —— 環境保護；廃棄物処理、微生物燃料電池</p> <p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ねらい8：バイオ燃料電池は、電気装置、家庭、工場に動力を供給するための電気エネルギーを生成することができます、環境浄化に有用である。下水の微生物によって動力が供給される微生物燃料電池（MFC）は、下水を浄化することができます、コストをかけずに廃水を処理ができる可能性がある。
--	--

トピック20——有機化学

12時間

【学習のポイント】重要な有機反応には、求核置換反応、求電子付加反応、求電子置換反応、酸化還元反応がある。それぞれの反応機構は異なつておおり、起くる反応の違いを理解するのに有用である。

20.1 有機反応の種類

「科学の本質」(NOS)との関わり

傾向と矛盾の探究——有機反応の種類とその反応機構を理解することにより、さまざまな用途に使用できる新しい性質を有する新規化合物を合成することができます。有機反応の種類は、異なる複数のカテゴリーに分類できる。(3.1)
共同研究と論理的影響——科学者は新しい合成経路の検討に関する論理的および環境的影響を考慮している。(4.1、4.5)

理解

求核置換反応：

- S_N1 は単分子求核置換反応、 S_N2 は二分子求核置換反応を表す。 S_N1 反応ではカルボカチオン中間体が生成される。 S_N2 反応は遷移状態を経る協奏的な反応である。
- 第3級ハロアルケンでは S_N1 反応、第1級ハロアルケンでは S_N2 反応が主な反応機構である。第2級ハロアルケンではどちらの反応も起こる。
- S_N1 反応の律速段階(反応速度が遅い段階)は、ハロアルケンの濃度のみに依存し、速度 = $k[\text{ハロアルケン}]$ となる。 S_N2 反応に関しては、速度 = $k[\text{ハロアルケン}][\text{求核試薬}]$ である。 S_N2 反応では立体特異的に炭素の立体が反転する。

国際的な視野

• 有機化学に関して、グリーンケミストリーや持続可能な化学が世界的状況に果たす役割は何か。

自然や人間生活との関わり

- 有機合成は医学や生化学の分野において、薬物設計や薬物の取り込みに極めて重要な役割を果たす。
- 栄養学、食品化学、生命工学も有機化学が支えとなっている。《シラバスや他科目との関連性》
- トピック10.1、10.2——有機化学
- トピック14.1——共有結合
- トピック14.2——混成選択項目A.5、A.9——ボリマー

20.1 有機反応の種類

- S_N2 反応では非プロトン性の非極性溶媒が最善である。反応ではプロトン性の極性溶媒が最善である。
- 求電子付加反応：
 - 求電子試薬は、求核試薬から電子対を受容できる電子が不足した化学種で、ルイス酸である。
 - 非対称アルケンとハロゲン化水素やハログエン間化合物との求電子付加反応における主要な生成物を予測するのにマルコニコフ則を適用することができます。主要な生成物の形成は、反応機構において可能なカルボカチオンの相対的な安定性の見地から説明することができる。
- 求電子置換反応：

ベンゼンは最も単純な芳香族炭化水素化合物（アレン）で、ベンゼン環の周りに p 結合が非局在化した構造を有している。各炭素間結合の結合次数は 1.5 である。ベンゼンは求電子試薬との反応性が高い。

酸化還元反応：

- カルボン酸は第一級アルコールに（アルデヒドを介して）還元され、ケトンは第二級アルコールに還元される。一般的な還元剤には、水素化アルミニウムリチウム（カルボン酸に還元するのに用いられる）や水素化ホウ素ナトリウムがある。

知識・スキルの活用

求核置換反応：

- 水より水酸化物の方が良い求核試薬である理由を説明すること。
- S_N1 および S_N2 反応機構の見地から、ハロアルケンと水酸化ナトリウム水溶液の求核置換反応の機構を推定すること。速度がハロゲンの種類（脱離基）にどのように依存するか、ハロアルケンは第一級、第二級、第三級のいずれか、また溶媒の選択について説明すること。
- プロトン性溶媒と非プロトン性溶媒の違いの要点を説明すること。

20.1 有機反応の種類

求電子付加反応：

- ・アルケンとハロゲンもしくはハロゲン間化合物やハロゲン化水素の求電子付加反応の機構を推定すること。

求電子置換反応：

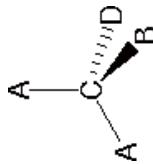
- ・ベンゼンの（濃硝酸と濃硫酸を用いた）ニトロ化（求電子置換）反応の機構を推定すること。

酸化還元反応：

- ・適当な還元剤を用いてアルデヒドやケトンから第一級アルコールや第二級アルコール、カルボン酸からアルデヒドへのカルボニル基を含む化合物の還元反応を書くこと。
- ・ニトロベンゼンから二段階反応を経てアニリンを生成すること。

指導

- ・S_N1反応ではヘテロリティック開裂に言及する必要がある。
- ・ホモリティック開裂とヘテロリティック開裂の違いを理解する必要がある。
- ・反応機構における巻矢印と釣り針型の半矢印（-電子移動）の表示の違いを強調する必要がある。
- ・反応機構の説明において適切な場合には、部分電荷（δ+やδ-）やくさび形一破線表記法で三次元構造を表したもの（下図のように先細った結合の表示法）を使用することが望まれる。



- ・全反応の一般的な条件や試薬（例えば触媒、還元剤、還流など）について覚える必要がある。しかし、特定の温度などさらに綿密な詳細は不要である。

【学習のポイント】 有機合成とは広く使用されている出発物質から化合物を系統立てて調整または合成することもしくは多くの場合一連のさまざまな段階を含む合成経路を経て化合物を合成することである。

20.2 合成経路

「科学の本質」(NOS)との関わり

科学的方法——合成設計では、有機化学者が逆合成解析を行い、逆転させた様な方法で合成経路が考え出される。(1.3)

理解

- ・ 有機化合物は、容易に入手できる出発物質から始まり、一連の個別な段階を経由して合成される。官能基の相互変換が合成経路の基盤となる。
- ・ 有機化合物の逆合成

知識・スキルの活用

- ・ 特定の出発試薬や生成物から、複数段階の合成経路を推定すること。

指導

- ・ 合成経路において、4段階以上の変換は評価しないこととする。
- ・ 反応の種類は、トピック10やサブトピック20.1で取り上げられたあらゆる反応の種類を取り上げることが可能である。

国際的な視野

- ・ 天然物は新興国にどれほど重要か。先進国にとって重要な新興国で入手できる天然物の具体例をいくつか調査すること。

「知の理論」(TOK)

- ・ 逆合成解析は合成経路設計で用いられることが多い。実際の問題に対する解決策を見つける上で創意や洞察および推論の役割は何か。

自然や人間生活との関わり

- ・ 天然物は天然資源物から単離された化合物で、タキソール、メスカリン、カプサイシンなどがある。
- ・ 『シラバスや他科目との関連性』
トピック10.1、10.2——有機化学
ねらい
- ・ **ねらい6**：複数の段階（最大で4段階）からなる有機合成経路の一連の実験

【学習のポイント】 立体異性には空間における原子の配置が異なる異性体があるが、異性体同士では結合性や結合の多重度（一重、二重、三重結合か）に違いはない。

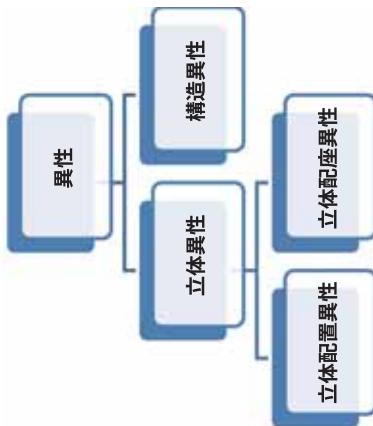
20.3 立体異性

「科学の本質」(NOS)との関わり

学際性——有機分子の三次元の形状はその構造の基礎となるものであり、その性質の元となることが多い。人体の大部分は対掌性をもつ。(4.1)

理解

- 立体異性体は σ 結合が回転することによって得られる立体配座異性体と結合を切断し、再度結合してからしか得られない立体配位異性体の二種類に分けられる。



国際的な視野

- 一部の国において、治療活性のある目的とするエナンチオマーの代わりにラセミ体として販売され、投与されている薬や薬剤はあるか。これを学習する良い例となる可能性がある薬や薬剤が考えられるか。

「知の理論」(TOK)

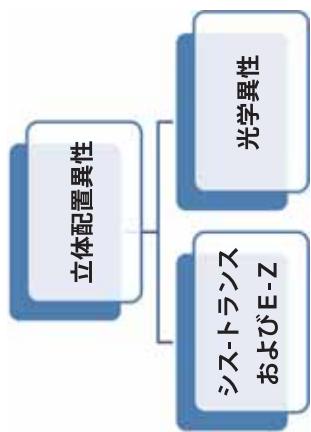
- 光学異性体が存在することは、四面体的に結合した炭素原子があるということができる知るための方法はどれか。
- 立体異性体は物理的モデルやコンピューターモデルによって検討することができます。他の知識の領域においてこのようなモデルの役割は何か。
- 科学者や芸術家の課題の1つは、三次元の世界を二次元で表すことがある。2つの方法の類似点と違いは何か。2つの方法において異なる知るための方法の役割は何か。

自然や人間生活との関わり

- 立体配置異性体はさらにシス-トランス異性体やE-Z異性体と光学異性体に細分化される。
- 天然資源に由來した薬の多くはキラルであり、ニコチン、ドーパミン、チロキシン、ナプロキセンなどがある。



20.3 立体異性



- | | |
|--|--|
| <p>20.3 立体異性</p> <p>立体配置異性</p> <p>光学異性</p> <p>シス・トランス
およびE-Z</p> | <ul style="list-style-type: none"> 視覚科学や食品化学における立体化学の役割。 多くの香水では、立体化学が化学組成より重要である可能性があると見なされることが多い。 食物の凍結乾燥 《シラバスや他科目との関連性》 トピック 10.1、10.2——有機化学 <p>選択項目 B. 4——糖質</p> <p>選択項目 B. 10——生体分子の立体化学</p> <p>選択項目 D. 7——分子の対掌性と糖の作用の重要性</p> <p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> シストrans異性体は、アルケンもしくはシクロアルカン（またはヘテロ類縁体）で生じ、基準面に対する原子（もしくは原子団）の位置が異なる。IUPACによると、E-Z異性体は $R_1R_2C=CR_3R_4$ ($R_1 \neq R_2, R_3 \neq R_4$) のアルケンを指し、$R_1$ と R_2 のどちらも R_3 や R_4 と異なる必要はない。 不齊炭素は4つの異なる原子や原子団と結合した炭素のことである。 光学活性化合物は、偏光が化合物の溶液を通過する際に偏光面を回転させることができるものである。光学異性体はエナンチオマーで、エナンチオマーは互いに重ね合わせることができない鏡像体である。 ジアステレオマーは互いに鏡像体でない。 ラセミ混合物（もしくはラセミ化合物）は同量の2つのエナンチオマーの混合物で、光学的には不活性である。 <p>知識・スキルの活用</p> <ul style="list-style-type: none"> さまざまな立体異性体の三次元モデル（実像もしくは虚像）を構築すること。 非環状アルケンやC3およびC4シクロアルカンの立体異性について説明すること。 |
|--|--|

20.3 立体異性

- ・ エナンチオマーの物理学的および化学的性質を比較すること。
- ・ 単純な有機分子の光学異性体を描き、説明すること。
- ・ 施光計を用いて光学異性体を区別すること。

指導

- ・ IUPACが推奨しているように幾何異性体という用語は現在では使われておらず、シーストランス異性体や E-Z 異性体が教育プログラムでは望ましいとされている。
- ・ E-Z 異性体では、アルケンの末端二重結合の原子の 1 つに結合しているカーン・インゴールド・プレローグ順位規で最も優先度が高い基 (R1 または R2) をもう一方に結合している最も優先度が高い基 (R3 または R4) と比較する。Z 体とは両置換基が二重結合を通る基準面と同じ側にあり、二重結合した原子に置換基を結合させた結合面と垂直にある場合で、もう一方の立体異性体 (E 体) である。
- ・ 結合を先細った形で表示するくさび形—破線表記法を光学異性体を表すのに用いる必要がある。

トピック21——測定と分析

2時間

【学習のポイント】 分光学的同定法は、化合物の構造決定の重要な要素であるが、通常1つの方法で分子の完全な構造が同定されることははない。

<p>21.1 有機化合物の分光学的同定</p> <p>「科学の本質」(NOS)との関わり</p> <p>最新機器の向上——分光学的方法 (IR、¹H NMR、MS) の進歩により、化合物の構造の詳細な知識を得ることができる。(1.8)</p>	<p>理解</p> <ul style="list-style-type: none"> 化合物の構造の同定にはIR、¹H NMR、MSなど複数の異なる分析方法がある。 高分解能の¹H NMRでは、低分解能で单一のピークであったものが分裂し、さらに細かなピークの集まりなる可能性がある。 単結晶X線構造解析法を用いて、結晶化合物の結合距離や結合角を特定することができる。 <p>知識・スキルの活用</p> <ul style="list-style-type: none"> テトラメチルシラン (TMS) を基準物質として用いる理由を説明すること。 さまざまな分析法 (X線結晶構造解析、IR、¹H NMR、MS) で得られた情報から化合物の構造を推定すること。 <p>指導</p> <ul style="list-style-type: none"> 生徒が¹H NMRのスペクトルから、ピークの数、各ピークの面積、化学シフト、分裂パターンを解釈できることにする必要がある。スピン結合定数の扱いは評価しないこととするが、生徒は一重線、二重線、三重線、四重線について熟知している必要がある。 	<p>国際的な視野</p> <ul style="list-style-type: none"> 化学分野のコミュニケーションでは、世界的に化学構造の情報を共有することが多い。コミュニケーションの国際的性質を強調する例として、「Cambridge Crystallographic Database」、Royal Society of Chemistryによって開発された「ChemSpider」や「Protein Data Bank」(RCSB PDB) (米国ブルックヘブン国立研究所) が挙げられる。 <p>「知の理論」(TOK)</p> <ul style="list-style-type: none"> 高分解能のNMRのスペクトルの線の強度比は、千年以上前に異なる多くの文化圏で別々に知られている数学的パターンであるペスカルの三角形に並べられた数字の規則に従う。数学が科学においてこのように効果的な手段である理由は何か。数学はパターンの科学か。 <p>自然や人間生活との関わり</p> <ul style="list-style-type: none"> ヒトの細胞内にある水分子のプロトンは核磁気共鳴画像法 (MRI) により検出することができ、人体内の臓器の三次元画像を得ることが可能である。一部ではMRIがコンピューター断層撮影(CTスキャン)に取って代わったが、その他の部分では補足的技術として用いられる理由は何か。
---	---	---

21.1 有機化合物の分光学的同定	<ul style="list-style-type: none"> 高分解能の¹H NMRを授業で取り上げる必要がある。 単結晶X線構造解析の正確な詳細を細部にわたって知る必要はないが、生徒には無機および有機化合物の構造を同定する上で、この方法が存在していることを認識させる必要がある。 X線結晶構造解析、IR、¹H NMR、MSの操作原理は不要である。 	<ul style="list-style-type: none"> MS(あるいは TLC、GC、GC-MS、HPLCのような他の方法)は事件現場で法医学検査に使用することが可能である。 分析法は、激しい運動を行う競技者の薬物乱用検査に使用できる。《シラバスや他科目との関連性》 <p>トピック11.3——化合物の分光学的同定</p> <p>選択項目B.2——クロマトグラフィーとタンパク質の分離</p> <p>選択項目B.9——クロマトグラフィーと色素</p> <p>選択項目D.7——キラル補助基</p> <p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> ねらい7：ここではスペクトルのデータベースが使用可能である。
-------------------	---	---

SL・HL共通項目のトピック

【学習のポイント】 材料科学は材料の性質を理解し、目的とする構造へその性質を応用する学問である。

A.1 材料科学序論

「科学の本質」(NOS)との関わり

技術の向上——材料の性質が科学的に理解される前に、異なった材料が違う目的で使用された。(1.8)
科学のパターン——歴史では、石器時代、青銅器時代、鉄器時代と使用された材料により文明が特徴づけられている。目的とするパターンにより材料を分類するさまざまな方法がある。(3.1)。

理解

- 材料はその使用法、性質、結合性や構造に基づき分類される。
- 材料の性質は、化合物における共有結合性、イオン性、金属性の特徴の程度に基づき、bonding triangle（結合三角図：van Arkel の三角図：イオン結合、金属結合、共有結合を頂点とした三角形）の位置から推定できる。
- 複合材料とは材料が 2 つの異なる相、マトリクス相に埋め込まれた強化相からなる混合物のことである。
- 電気陰性度のデータから二元化合物の結合三角図を使用すること。
- 材料を分類するさまざまな方法を評価すること。
- 材料の物理的性質（融点、透水性、伝導度、可塑性、脆弱性）をその結合性と構造（充填配置、電子移動度、原子間のすべり）に関係づけること。

国際的な視野

- アステカ文明、ローマ文明、古代中国文明など、古代文明で使用された材料は何か。これらの古代文明にはさまざまな地域に位置していたが、使用された材料は類似していた。
- 「知の理論」(TOK)
 - 材料をカテゴリーに分類することは便利であるが、1 つの「完璧な」分類法はない。異なる知識の領域で使用する違う分類系をどの様に評価するのか。世界を分類する必要性は知識の探求にどのように有用であり、またどのような妨げとなるか。
- 自然や人間生活との関わり
 - 《シラバスや他科目との関連性》
 - トピック 4.2 —— 結合の種類における電気陰性度の役割
- ねらい 1、ねらい 3：四面体構造や結合の種類および共有結合ネットワークやポリマーは図のどこに相当するのかを検討すること。

A.1 材料科学序論	
指導 <ul style="list-style-type: none"> ・ 結合性と単純な充填配置の見地から水分の透過性を考える必要がある。 ・ 金属結合、共有結合、イオン結合の見地から金属やポリマーおよびセラミックの性質を考察すること。 ・ 結合三角図はIB資料『化学資料集』の第29項参照のこと。 	<p>・ ねらい6：ゴムバンドを異なった化学会環境下で伸長させること、金属、ポリマー、セラミック、複合材料の性質を検討すること、さまざまな比率でセメント、砂利、砂を混ぜて薄いコンクリート平板をつくり、乾燥させた際の破壊強度を検討することなどの実験を行うことも考えられる。</p>

【学習のポイント】 金属を鉱石から抽出し、目的とする特徴をもった合金にすることができる。ICP-MS/OES分光分析法は、金属をイオン化し、質量と発光スペクトルを用いて分析する方法である。

A.2 金属と誘導結合プラズマ（ICP）分光分析法

「科学の本質」(NOS)との関わり

新しい機器や技術の開発——ICP分光分析法は科学的原理を理解することから発達し、微量の金属を特定し、定量することができます。(1.8)
データの詳細——特定の微量元素の物質が金属の性能を大きく向上させることができることがあるという発見に伴い、当初、合金法は科学というより技術であると捉えられた。(3.1)

理解

- ・ コークス（炭素）やより反応性の高い金属もしくは電気分解による還元は、鉱石から一部の金属を得る手段である。
- ・ 電荷と電子のモル数の関係はファラデー一定数Fによって得られる。
- ・ 合金は金属と他の金属や非金属の均一混合物である。
- ・ 反磁性の化合物と常磁性の化合物では、電子スピinn対の形成や磁場における挙動が異なっている。
- ・ 誘導結合プラズマ質量分析法（ICP-MS）や誘導結合プラズマ発光分光分析法（ICP-OES）を用いた誘導結合プラズマ（ICP）分光分析法において、金属をアルゴンガスプラズマでイオン化することによって微量元素の金属を同定し、定量できる。

知識・スキルの活用

- ・ 金属の還元における酸化還元の反応式を推定すること。
- ・ 抽出法と活性化系列における金属の位置を関係づけること。
- ・ 溶融水晶石中のアルミナの電気分解によってアルミニウムが生成されることを説明すること。

国際的な視野

- ・ 希土類金属や希少金属の使用量が劇的に増加している。これらの金属はグリーンテクノロジー、薬剤、レーザー、兵器技術などで使用され、高価ではあるが、需要が増大している。希土類金属の埋蔵量は数ヵ国のみで管理されるが、多くの国々で希土類金属が使用される場合、何が起ころか。

「知の理論」(TOK)

- ・ どの程度の時間、金銭、力を科学研究に費やすかを決定するにはどのような要因や結果を考慮する必要があるか。どの知識を探求すべきかを決定するのは誰か。

自然や人間生活との関わり

- 《シラバスや他科目との関連性》
- トピック2.1、12.1——質量分析
トピック2.2——発光スペクトル
トピック9.1——酸化と還元

A.2 金属と誘導結合プラズマ（ICP）分光分析法

<p>・ 合金法によって金属の性質がどのように変化するか説明すること。</p> <p>・ 電気分解において付着した質量に基づきファラデー一定数を用いて化学量論の問題を解くこと。</p> <p>・ 金属の電子構造に関して、常磁性と反磁性について論じること。</p> <p>・ ICP-MS/OESにおいてプラズマの状態とその生成法について説明すること。</p> <p>・ ICP-MSやICP-OESから得られた単純なデータと検量線から金属と存在量を特定すること。</p> <p>・ MSやOESによる金属イオンの分離と定量について説明すること。</p> <p>・ ICP-MSとICP-OESを使用すること。</p>	<p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ねらい6：硫酸銅の水溶液の電気分解からニッケルや銅の溶液の濃度の測定などの法則と分光分析法を用いてニッケルや銅の溶液中の実験を行うことでも考えられる。合金成分の分析には、クリップ中のマンガンの比色定量や硬貨中の銀や銅の重量分析などの実験を行うことが可能である。 ・ ねらい7：ICPに関する動画が使用可能である。 ・ ねらい7：半導体の検討を行うため、シミュレーションや仮想実験が使用可能である。
<p>指導</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ファラデー一定数はIB資料『化学資料集』の第2項に記載されている。 ・ ICP-MSとICP-OESの機器の操作法の詳細については評価しないこととする。 ・ 金属の分析についてのみを授業で取り上げる必要がある。 ・ キャリブレーションの重要性を授業で取り上げる必要がある。 	

【学習のポイント】触媒は、ある反応に関する別の反応経路を生み出すことにより作用し、常に反応速度を上昇させるが、反応が終わった時点でも触媒自身は変化していない。

A.3 触媒	<p>「科学の本質」(NOS)との関わり</p> <p>「モデルの使用——触媒はその作用の仕方が理解される前に反応速度を上昇させるものとして使用されていた。これによりモデルは常に検証され、改善された。」(1.10)</p>	<p>理解</p> <ul style="list-style-type: none"> 反応物は不均一系触媒の活性部位に吸着し、生成物は脱着する。 均一系触媒は反応物と化学結合し、一時的に活性錯合体や反応中間体が生じる。 遷移金属が触媒として作用する性質は、金属の吸着性または吸収性とさまざまな酸化状態によって決まる。 ゼオライトは籠状構造を有しているため、選択的な触媒として作用する。 粒子触媒はほぼ常に単位質量あたりの表面積が大きいナノ粒子である。 	<p>国際的な視野</p> <ul style="list-style-type: none"> パラジウム、白金、ロジウムは、触媒コンバーターに用いられている一般的な触媒である。これら金属の価値が高いため、触媒コンバーターの窃盗事件が増えている。 <p>「知の理論」(TOK)</p> <ul style="list-style-type: none"> 効率的な触媒として使用されている物質の一部には環境に対する毒性があり有害な物質である。知識の探求において環境の悪化は正当化されるか。 	<p>自然や人間生活との関わり</p> <p>『シラバスや他科目との関連性』</p> <p>トピック 6.1、16.1 — 反応機構 トピック 10.2 — エステル化反応と水素化反応 トピック 16.2 — 活性化エネルギー</p> <p>選択項目 B.10 — 脂肪の水素添加</p>	<p>知識・スキルの活用</p> <ul style="list-style-type: none"> ある過程に関して触媒を選択する際に関与する要素を説明すること。 金属がどのように不均一系触媒として作用するのか説明すること。 製造業におけるナノ触媒の有益性を説明すること。 	<p>指導</p> <ul style="list-style-type: none"> 目的とする生成物のみに対する選択性、効率、緩やかな条件もしくは厳しい条件での触媒作用、環境への影響、不純物など、触媒としての性質を考察すること。 ナノカーボン触媒の使用を授業で取り上げる必要がある。 	<p>「ねらい1、3：さまざまなかたちの有益性と危険性を検討すること。 ねらい6：酒石酸カリウムナトリウムの塩化コバルトによる分解や過酸化水素の酸化マンガン(IV)による分解などの実験を行うことも考えられる。」</p>
---------------	--	---	--	---	--	---	---

A.3 触媒
<ul style="list-style-type: none">・ ねらい6：ゼオライトを用いたイオン交換を研究することができる。・ ねらい7：ここでは触媒としてのナノ粒子に関する仮想実験やシミュレーションを行うことが可能である。

【学習のポイント】 液晶は物質内の固定軸に対する分子の方向性によって決まる物理的性質を有する液体である。

A.4 液晶
<p>「科学の本質」(NOS)との関わり 偶然の発見と科学的発見——1888年、コレステロールの実験を行っていたフリードリッヒ・ライニッツァーが偶然、流動性をもつ液晶を見出した。(1.4)</p>
<p>理解</p> <ul style="list-style-type: none"> 液晶は物質内の固定軸に対する分子の方向性によって決まる物理的性質（電気的性質、光学的性質、弾性）を有する液体である。 サーモトロピック液晶は、ある温度範囲だけで液晶の挙動を示す純物質である。 リオトロピック液晶はある（特定の）濃度範囲で液晶状態を示す溶液である。 ネマティック液晶には、分子の位置が定まらないが、概して棒状分子が一定の方向に並んでいるという特徴がある。
<p>知識・スキルの活用</p> <ul style="list-style-type: none"> 液晶モニター(LCD)に使用するのに必要な物質の性質を論じること。 分子レベルで液晶の挙動について説明すること。
<p>指導</p> <ul style="list-style-type: none"> 液晶に必要な性質には、化学的安定性、適切な温度範囲にわたって安定な相、極性を有し電場により方向が変化すること、高速な応答速度などがある。 せっけん水はリオトロピック液晶の例であり、ビフェニルニトリルはサーモトロピック液晶の例である。 液晶の挙動はビフェニルニトリルに限定する必要がある。 スマクティック液晶や他種の液晶について論じる必要はない。
<p>国際的な視野</p> <ul style="list-style-type: none"> 多くの電気製品は、労働条件が理想的ではない地域で集中的に生産されている。全労働者に対して国際的に定められた労働基準をつくるべきか。一般消費者が買う商品のコストに関する何を意味するか。 <p>「知の理論」(TOK)</p> <ul style="list-style-type: none"> 技術の発展は入手可能なより多くの情報をますます小規模で保存できることを意味している。これは私たちがより多くの知識にアクセスできることを意味しているのか。 <p>自然や人間生活との関わり</p> <p>《シラバスや他科目との関連性》</p> <p>トピック 20.3——分子の対掌性と立体異性体</p> <p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> ねらい6：サーモトロピック液晶とサーモトロピック液晶に影響を及ぼす温度範囲の検討などの実験を行うこととも考えられる。 ねらい7：サーモトロピック液晶の検討にはコンピューターの動画が使用可能である。

【学習のポイント】ポリマーは目的とする性質を有する構造を得るためにさまざまな方法で扱うことができる繰り返し単位であるモノマーで構成されている。

A.5 ポリマー

「科学の本質」(NOS)との関わり

技術の進歩——技術(X線回折、走査トンネル電子顕微鏡など)が進歩し、科学者は分子レベルで起こることを理解し、新しい方法で物質を操作することができるようになつた。これにより新しいポリマーが開発された。(3.7)
理論は新しいものに変わっていく——シェウディンガーの提唱した高分子は多くの繰り返し単位で構成されるという提言は、高分子化学の発展には不可欠なものであった。(1.9)

倫理と危険性評価——ポリマーは、リサイクルや発がん性がある可能性など関わる危険性が理解されるより速く発展し、使用されている。(4.5)

理解

- ・ 热可塑性生物質は熱が加えられると軟らかくなり、冷却されると硬くなる。
- ・ 热硬化性重合体は、硬化により不可逆的に硬化した熱硬化性物質に変化する軟らかい固体もしくは粘性のあるプレポリマーである。
- ・ エラストマーは弾力性があり、力を加えると変形するが、圧力がなくなるとほぼ元の形状に戻る。
- ・ 高密度ポリエチレン(HDPE)には分岐がなく、高分子鎖を密に充填することができる。
- ・ 低密度ポリエチレン(LDPE)は一部が分岐しており、より柔軟性が高い。
- ・ ポリマーに可塑剤を加えると、ポリマー鎖間の分子間力が弱くなり柔軟性が増す。
- ・ アトムエコノミーはグリーンケミストリーに効率を適用した評価基準である。
- ・ アイソタクチックポリマーは同じ側に置換基がある。
- ・ アタクチックポリマーでは置換基が無秩序に配列している。

国際的な視野

・ プラスチックは第二次世界大戦前には事実上知られていなかった。プラスチックの導入により、世界は経済的、社会的、環境的にどのような影響を受けたか。

自然や人間生活との関わり

《シラバスや他科目との関連性》
ねらい

- ・ ねらい6：高密度ポリエチレンや低密度ポリエチレンの物理的性質を検討するか、またはポリエスチル、ポリアミドや他のポリマーを合成し原子の変換効率を定量的に測定することが考えられる。



A.5 ポリマー	知識・スキルの活用
	<p>ポリ塩化ビニルにおける可塑剤の使用や発泡スチロール生成における揮発性炭化水素の使用について説明すること。</p> <p>合成反応における問題を解き、アトムエコノミーを評価すること。</p> <p>ポリマーの性質がどのようにその構造的特徴によって決定されているかを説明すること。LDPEやHDPEを含むポリマーの性質を改良する方法を説明すること。</p> <p>2-メチルプロパンを重合して生じるポリマーの構造を推定すること。</p> <p>パーセントアトムエコノミーの式はIB資料『化学資料集』の第1項に記載されている。ポリマーの性質を操作する例として発泡スチロールのみを考慮しなさい。</p>

【学習のポイント】 化学技術では化学反応を用いて分子中の原子を操作し、特定の要件に対して原子の位置を合わせることができる。

A.6 ナノテクノロジー

「科学の本質」(NOS)との関わり

器具の改善——強力な電子顕微鏡により、原子の配置が研究できるようになつた。(1.8)
理論を不確かなものとして見なす必要性——ナノチューブの開発とナノチューブに関連した理論の発展における試行錯誤の役割 (2.2)
「私の知る限り、物理学の原理では、原子1つ1つを動かして物質を操作することは実現可能である。法則を破ろうとするものではなく、原則として可能なのである。しかし実際に行われていないのは、私たちが大き過ぎるからだ」——リチャード・ファインマン (ノーベル物理学賞受賞者)

理解

- 分子の自己組織化はナノ粒子のボトムアップ型の組織化で、特定の表面に分子を選択的に付着させることによって起こる。自己組織化は溶液中で自発的に起こることもある。
- ナノチューブを生成する方法にはアーケ放電法、化学気相成長法(CVD)、高压一酸化炭素法(HIPO)がある。
- アーケ放電法では、1本の炭素電極の表面を気化させるか、炭化水素溶媒に沈めた金属の電極を通してアーケ放電し、アーノードに小さな棒状の堆積物を生じさせる。

国際的な視野

- ナノ粒子の粉末を吸収することはアスペストと同程度に有害である可能性を示した研究が複数ある。ナノテクノロジーを規制するべきかもしれませんこれが研究の妨げとなるか。
- 宇宙探査における国際共同研究は増加の一途をたどっている。カーボンナノチューブでできた宇宙エレベーターは実現可能かもしくは実現が望まれているか。その影響にはどういうものがあるか。

「知識」(TOK)

- 走査トンネル顕微鏡を使用することでこれまで達成不可能であると考えられていた個々の原子を「見る」ことが可能となつた。技術のこれらの進歩はどう手に入れられる知識の見方を変化させたか。
- ナノテクノロジーの影響の可能性に懸念をもつ人々がいる。この分野の将来の発展がもたらすであろう影響をどのように評価するか。私たちが必要な知識は公的に入手できるかもしくは専門家機関を信頼するか。

自然や人間生活との関わり

- 細胞内のタンパク合成はリボソームが分子を組み立てるナノテクノロジーの1つの形である。



A.6 ナノテクノロジー	
<p>指導</p> <ul style="list-style-type: none"> HIPO法により炭素原子を生成する反応式を推定すること。 ナノテクノロジーの影響と応用について論じること。 ナノチューブが強くて良い電気の伝導体である理由を説明すること。 	<p>《シラバスや他科目との関連性》 トピック 4.3——分子の極性</p> <p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> ねらい1、ねらい8、ねらい9：ナノテクノロジー製品の理論的に大規模な製造とその影響を検討すること。その例として、スポーツ用品、医薬品、建築物、環境清掃、ロボット工学、兵器、他の理論上の商業用途が挙げられる。 ねらい7、ねらい8、ねらい9：ナノチューブの製造と使用の動画やミュレーションおよびビデオを使用する必要がある。

【学習のポイント】 材料科学では多くの有用な製品が生み出されたが、これらの材料の一部にはリサイクルや高い毒性に関連する課題がある。

A.7 環境への影響——プラスチック	
「科学の本質」(NOS)との関わり	
<p>危険性と問題点——科学研究は有益性を念頭において進められることが多いが、危険性と影響も考慮する必要がある。(4.8)</p>	<p>国際的な視野</p> <ul style="list-style-type: none"> リサイクル、再使用、削減を表す世界共通のマークは、1960年代後半にデザインされたメビウスの輪である。しかし、このマークの世界的な認知度は他のマークに比べて、はるかに低い。マークの認知度に影響を及ぼす要因は何か。 太平洋上に浮かぶプラスチックの島と呼ばれる問題に国々はどう因に対処し得るか。 <p>「知の理論」(TOK)</p> <ul style="list-style-type: none"> 科学技術の産物が環境にマイナスの影響を与える可能性がある。科学者は倫理的にそれら産物の影響に對して責任があるか。 <p>自然や人間生活との関わり</p> <p>《シラバスや他科目との関連性》</p> <ul style="list-style-type: none"> トピック 9.1 —— 酸化還元反応 トピック 10.1 —— 有機化合物 トピック 11.3 —— 赤外線分光法 <p>「生物」選択項目 C.3 —— 生態系に及ぼすヒトの影響</p> <p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> 任意に与えられた燃焼反応の反応式を推定すること。 ポリマーのリサイクルが大量のエネルギーを消費する過程である理由を論じること。 プラスチックの使用による環境への影響を論じること。 ポリ塩化ビフェニル(PCB)とダイオキシン類の構造を比較すること。 ポリマーの製造において揮発性の可塑剤を使用することの健康上の懸念を論じること。 IRスペクトルから可能性のあるプラスチックの材質表示コード(RIC)を区別すること。
<p>理解</p> <ul style="list-style-type: none"> プラスチックは強い共有結合のため簡単に分解されない。 ポリ塩化ビニルを燃焼させるとダイオキシン類、塩化水素ガス、炭化水素の不完全燃焼物が放出される。 ダイオキシン類は通常、1位と4位に2つの酸素原子をもつ六員環の不飽和複素環化合物の総称である。 塩素化ダイオキシン類はホルモンを阻害し、細胞障害や遺伝子障害の原因となる。 プラスチックは他の材料よりもリサイクルに多くの過程を要する。 プラスチックは異なる樹脂の種類に基づいてリサイクルされる。 <p>知識・スキルの活用</p> <ul style="list-style-type: none"> 任意に与えられた燃焼反応の反応式を推定すること。 ポリマーのリサイクルが大量のエネルギーを消費する過程である理由を論じること。 プラスチックの使用による環境への影響を論じること。 ポリ塩化ビフェニル(PCB)とダイオキシン類の構造を比較すること。 ポリマーの製造において揮発性の可塑剤を使用することの健康上の懸念を論じること。 IRスペクトルから可能性のあるプラスチックの材質表示コード(RIC)を区別すること。 	<p>「化学」指導の手引き</p>

A.7 環境への影響 — プラスチック	
指導	<ul style="list-style-type: none">・ ダイオキシン類は環境中では分解されず、食物連鎖で移動する可能性がある。・ ポリ塩化ジベンジダイオキシン（P C D D）や P C B を発がん性のある塩化ダイオキシン様物質の例として考察すること。・ フタル酸エステル類を可塑剤の例として考察すること。・ 住宅火災ではプラスチック（シャワーカーテンなど）が原因で多くの毒素が放出される可能性がある。低煙ゼロハロゲンケープルがこれらの危険を防止するために配線に使用されることが多い。・ 材質表示番号（R I C）は I B 資料『化学資料集』の第 30 項に記載されている。・ さまざまな材料分子の構造が I B 資料『化学資料集』の第 31 項に記載されている。

HL 発展項目のトピック

【学習のポイント】超電導は電気的抵抗がゼロになり、磁場を打ち消す現象である。磁場を打ち消す現象である。X線結晶学は構造の解析に使用することが可能である。

A.8 超電導金属とX線結晶構造解析

「科学の本質」(NOS)との関わり

理論の重要性——特定の温度を下回ると電気的抵抗がゼロになる超電導物質は、新しいデータに適合させるために理論を修正する必要性があることの良い例である。現代の機器の背後にある基本的な科学原理を理解することが重要である。(2.2)

理解

- 超電導体とは、臨界温度下回る電流に対して抵抗のない物質のことである。
- マイスナー効果とは、超伝導体が外部磁場と鏡像になる磁場をつくり出し、外部磁場を排除する性質のことである。
- 金属導体の抵抗は電子と格子を構成する陽イオンの衝突に起因する。
- バーディーン・クーパー・シュリーファー(BCS)の理論では、臨界温度を下回ると超電導体の電子が超電導体内を自由に移動するクーペー対として存在するとされている。
- 第一種超伝導体は超電導体に急に移行するが、第二種超電導体の移行は比較的緩やかである。
- 金属化合物やイオン性化合物の構造を分析するために、X線回折を使用することが可能である
- 結晶格子には単純な単位格子の繰り返しが含まれている。

国際的な視野

- 分析技術は法医学、鉱物探査、医学などの各分野で応用されている。
- 先端技術へのアクセスが不均等である場合、世界経済にどのような影響を及ぼすか。

「知の理論」(TOK)

- X線解析により、私たちの感覚の生物学的限界を超えた世界を探査することが可能になった。巨視的レベルで理解していることと比較して微視的世界における私たちの知識は、どの程度信頼性があるか。

自然や人間生活との関わり

- 《シラバスや他科目との関連性》
トピック 2.2 — ペウリの排他律
トピック 3.2 — 原子半径と周期性
トピック 21.1 — X線結晶構造解析
「物理」選択項目 4.2 — 進行波

A.8 超電導金属とX線結晶構造解析	ねらい
<ul style="list-style-type: none"> 単位格子の角や面にある原子は共有されている。 原子またはイオンの最近接原子やイオンの数が配位数である。 <p>知識・スキルの活用</p> <ul style="list-style-type: none"> 第一種超伝導体と第二種超電導体の抵抗対温度のデータを分析すること。 陽イオン格子の中を移動するクーパー対の見地から超電導を説明すること。 結晶構造の情報から単位格子構造を推定もしくは構築すること。 金属構造においてプラッグの式 $n\lambda = 2dsin\theta$ を用いること。 原子半径と結晶の充填構造から純金属の密度を求めるうこと。 	<ul style="list-style-type: none"> ねらい7：超電導やX線結晶構造解析の説明には、動画やシミュレーションが非常に有用である。
<p>指導</p> <ul style="list-style-type: none"> クーパー対を用いてBCS理論を簡単にしか説明する必要はない。低温では格子内の陽イオンは通過する電子によりわずかに歪められる。このわずかなプラスの歪みに第2の電子が引き寄せられ電子対が生じる。 X線結晶構造解析の操作原理は不要である。 単純立方格子、体心立方格子（BCC）、面心立方格子（FCC）を有する純金属のみを授業で取り上げる必要がある。 多くの超伝導体のペロブスカイト結晶構造をX線結晶構造解析で分析できるが、これらの評価は行わないこととする。 プラッグの式は単純立方格子にのみ適用することとする。 	

【学習のポイント】 縮合ポリマーは、二分子のモノマーの官能基が結合する際に小分子が脱離する縮合反応によって生じる。

A.9 縮合ポリマー	
「科学の本質」(NOS)との関わり 推測——これまでに石器時代、鉄器時代、青銅器時代があった。科学的には望む目的のために物質を操作し続いている現代はポリマー時代と呼ばぶことが可能だ。(1.5)	
理解 • 縮合ポリマーには各モノマーに2つの官能基が必要である。 • NH_3 、 HCl 、 H_2O は縮合反応で生成される可能性がある。 • ケブラー [®] は秩序だった強い構造を有するポリアミドである。濃硫酸を使用すると、0とNの間の水素結合を切り離すことができる。	国際的な視野 • 科学や経済もしくは政治は新しいポリマーの開発などの研究に最も重要な役割を果たしているか。 自然や人間生活との関わり 《シラバスや他科目との関連性》 トピック 10.2——付加反応と縮合反応 トピック 20.2——合成法 選択項目 A.5——ポリマー ねらい • 付加重合ポリマーと縮合ポリマーを区別すること。 • どのようにして縮合ポリマーが生じるかを示す反応式を完成させ、説明すること。 • ポリアミドやポリエスチルの構造を各々のモノマーから推定すること。 • ケブラー [®] の強さと濃硫酸中の溶解度について説明すること。
知識・スキルの活用 • 結合部位を区別する。 • どうしてこの反応式が成立するのかを説明する。 指導 • グリーンポリマークリエイティビティについて考察すること。	ねらい • ナイロンを合成することが可能である。

【学習のポイント】重金属の毒性や発がん性は、重金属の配位化合物形成能、さまたかな酸化状態、体内で触媒として作用する能力に起因する。

A.10 環境への影響——重金属	
<p>「科学の本質」(NOS)との関わり</p> <p>危険性と問題点——科学研究は有益性を念頭において進められることが多いが、危険性と影響も考慮する必要がある。(4.8)</p>	<p>理解</p> <ul style="list-style-type: none"> 中毒量の遷移金属は、さまざまな機序により細胞の正常な酸化還元バランスを乱す可能性がある。 重金属を取り除く方法には沈殿、吸着、キレート化がある。 多座配位子は、キレート効果により類似した単座配位子より安定な錯体を形成するが、これはエントロピーの変化を考慮することによって説明できる。 <p>知識・スキルの活用</p> <ul style="list-style-type: none"> 物質をキレート化することによってどのように重金属が取り除かれるのかを説明すること。 配位子が中心金属イオンと形成できる配位結合の数を推定すること。 溶液中の金属を取り除くのに応用するものとして K_{sp} に関する計算をすること。 フェントン反応とハーバーウィス反応の機構を比較し、対比させること。 <p>指導</p> <ul style="list-style-type: none"> エタン-1、2-ジアミン（またはエチレンジアミン）は二座配位子であり、EDTA⁴⁻は六座配位子である。 ハーバーウィス反応では、生物学的過程で自然にフリーラジカルが生成する。遷移金属は反応性の高いヒドロキシ・ラジカルを生成する機構となる鉄を触媒とした（フェントン）反応において触媒作用を有する。 K_{sp} 値はIB資料『化学資料集』の第32項に記載されている。
<p>「知の理論」(TOK)</p>	<p>「自然や人間生活との関わり</p> <p>《シラバスや他科目との関連性》</p> <p>トピック 9.1 —— 酸化還元反応 トピック 13.2 —— 遷移金属錯体</p> <p>「生物」選択項目 C.3 —— 生態系に及ぼすヒトの影響</p> <p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> ねらい1、ねらい8：廃水処理の検討 ねらい6：K_{sp} を検討するなどの実験を行うことも考えられる。

SL・HL共通項目のトピック

15／25時間

【学習のポイント】代謝反応には、高度に制御された環境で多くの異なる成分間の複雑な相互作用が関わっている。

B.1 生化学序論

「科学の本質」(NOS)との関わり

データの使用——生化学のシステムでは多数の異なる反応が同時に同じ場所で起こっている。技術が進歩するとともに、より多くのデータが収集され、代謝反応にはペターンがあることが発見された。(3.1)

理解

- ・ 生体分子のさまざまな機能はその構造と形状によって決まる。
- ・ 代謝反応は高精度に制御された水性の環境でおこる。
- ・ 分解反応は異化と呼ばれ、合成反応は同化と呼ばれる。
- ・ 生体高分子は縮合反応により生じ、加水分解反応により分解される。
- ・ 光合成とは二酸化炭素と水から光エネルギーを用いて高エネルギー子が合成される過程のことである。
- ・ 呼吸は、細胞にエネルギーを供給する複雑な一連の代謝過程である。

知識・スキルの活用

- ・ 縮合反応と加水分解反応の違いを説明すること。
- ・ 光合成と呼吸の要約した反応式を用いて、大気中の酸素と二酸化炭素が釣り合う可能性があることを説明すること。

指導

- ・ 好気的呼吸と光合成の中間体は不要である。

国際的な視野

- ・ 体内の代謝反応は、規則正しいバランスがとれた食事から得る栄養素の供給によって決まる。世界的に見て、栄養のある食物の入手しやすさには大きな違いがあり、ヒトの健康にさまざまな強い影響を与える。

自然や人間生活との関わり

- ・ 生化学は、遺伝学、免疫学、薬理学、栄養学、農学などの多くの他の科目の研究の基礎となっている。
- ・ 『シラバスや他科目との関連性』トピック10.2——SN反応（縮合と加水分解）トピック13.2、選択項目B.9——金属錯体と光吸收選択項目C.8——電子共役と光吸收

【学習のポイント】タンパク質は生体の代謝と構造を保つのに関与する最も多様性のある生体高分子である。

B.2 タンパク質と酵素	
<p>「科学の本質」(NOS)との関わり</p> <p>共同研究と相互評価——複数の大陸で行われた異なる各実験から、遺伝情報を伝えるのは最初に考えられたタンパク質ではなくDNAであるという結論に達した。(4.4)</p>	<p>理解</p> <ul style="list-style-type: none"> タンパク質は2-アミノ酸がアミド結合（ペプチド結合としても知られている）したポリマーである。 アミノ酸は両性の分子で、両性イオン、陽イオン、陰イオンとして存在する。 タンパク質の構造は多様で、一次構造、二次構造、三次構造、四次構造で表される。 タンパク質の三次元の形状により、構造成分もしくは代謝反応におけるその役割が決定される。 酵素の大部分は、基質の活性化部位に特異的に結合することによって触媒として作用するタンパク質である。 酵素活性はその構造によって決まるため、温度やpHの変化および重金属イオンの存在による影響を受ける。 クロマトグラフィーによる分離は、物理的原理や化学原理の違いに基づいている。
<p>国際的な視野</p>	<ul style="list-style-type: none"> Universal Protein Resource (UniProt) はバイオインフォマティクス研究機関の共同体で、その使命は、タンパク質の配列と機能の情報に関する総合的で高品質なデータに自由にアクセスできるようにすることである。科学コミュニケーションのリソースとしての機能を果たすことである。 合成物質の多くはポリアミドである。その例としてナイロンやケブラー[®]が挙げられる。 電気泳動法は血清や尿中に含まれるタンパク質量の異常なパターンを特定する診断法として使用されている。 1951年にフレデリック・サンガーがインスリンの配列を最初に決定したが、その後には10年以上かかった。今日、タンパク質の配列決定は、ルーチンで行われ、非常に効率的な方法で、プロテオミクスとして知られている研究の主要な部分となっている。

B.2 タンパク質と酵素	知識・スキルの活用	指導
<p>アミノ酸の縮合反応とペプチドの加水分解反応の反応物と生成物の構造式を推定すること。</p> <p>両性イオンの見地からアミノ酸の溶解度と融点を説明すること。</p> <p>アミノ酸やタンパク質の電荷、pH、等電点の関係を応用すること。</p> <p>由来、結合の種類、関与する相互作用などタンパク質の構造を4つのレベルで説明すること。</p> <p>基質濃度やpHおよび温度の変化など酵素活性のグラフを推定し、理解すること。</p> <p>アミノ酸やタンパク質の分離、同定におけるペーパークロマトグラフィーやゲル電気泳動の過程を説明すること。</p>	<p>《シラバスや他科目との関連性》</p> <p>トピック8.3、18.2——pH、pK_a、pK_bの値 トピック20.3——立体異性 選択項目A.9——縮合ポリマー 選択項目B.9——クロマトグラフィ 「生物」トピック2.4、2.5、8.1——タンパク質と酵素 ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> ねらい6：タンパク質の加水分解、ペーパークロマトグラフィーによるアミノ酸の分離と同定、タンパク質やDNAのゲル電気泳動などの実験を行うことも考えられる。 ねらい7：ビウレット試薬を用いてタンパク質含有量に關して吸光度や濃度の検討など、データを記録する実験。 ねらい7：ゲル電気泳動に關しては、シミュレーションが使用可能である。 	<p>アミノ酸の名前や構造式はIB資料『化学資料集』の第33項に記載されている。</p> <p>アルファヘリックス、ベータシート、纖維性タンパク質、球状タンパク質の各例について触れる必要がある。</p> <p>ペーパークロマトグラフィーでは、R_f値の扱いや発色試薬について授業で取り上げる必要がある。</p> <p>酵素反応速度論においてK_mやV_{max}は不要である。</p>

【学習のポイント】脂質は、主に非極性で水に不溶な生体分子の幅広いグループを構成している。

B.3 脂質	
<p>「科学の本質」(NOS)との関わり</p> <p>科学を一般の人々に説明することの重要性——長期にわたる研究により、飽和脂肪酸、コレステロール、トランス脂肪酸を多く含む食事にはマイナスの効果があることが明らかになり、新しい食品につながった。(5.2)</p>	<p>理解</p> <ul style="list-style-type: none"> 脂肪は糖質より還元度が高いため、酸化の際により多くのエネルギーが生じる。 トリグリセリドはグリセロールに3つの脂肪酸が縮合反応によりエステル結合している。脂肪酸には飽和脂肪酸、一不飽和脂肪酸、多価不飽和脂肪酸がある。 リン脂質はトリグリセリドの誘導体である。 トリグリセリドやヤリシン脂質の加水分解は、酵素によるかもしくは塩基性あるいは酸性の条件下で起こる。 ステロイドはステロイド骨格として知られている縮合環構造を特徴としている。 <p>「国際的な視野」</p> <ul style="list-style-type: none"> 食事の脂肪源や酸敗臭を防ぐのに用いる方法は地域や文化で大きく異なる。 「知の理論」(TOK) <ul style="list-style-type: none"> 異なる国では食物の表示法の基準に大きな違いがある。情報入手は人間のもつ権利か、どのような知識が一般に得られるべきか。 健康面に配慮した食事を選択をするのに、政府、産業界、医療従事者、個人にはそれぞれどのような責任があるか。公的機関は個人を保護する立場にあるが、個人の自由も制限される。どのようにすれば社会や個人にとって最善であることがわかるか。 <p>自然や人間生活との関わり</p> <ul style="list-style-type: none"> せっけんの製造過程で「けん化」として知られる脂肪のアルカリ加水分解が利用される。 特にスポーツにおけるステロイドの乱用と検出方法 <p>《シラバスや他科目との関連性》</p> <p>トピック10.1、10.2——官能基、アルケンの水素化 トピック10.2——フリーラジカルの機構 トピック20.3——立体配置異性 「生物」トピック2.3——脂質</p> <p>知識・スキルの活用</p> <ul style="list-style-type: none"> グリセロールと脂肪酸やリシン酸の縮合反応や加水分解反応における反応物および生成物の構造式を推定すること。 脂肪や油の相対的融点を構造から予測すること。 分子内の反応部位や反応に適した条件の見地から脂肪の加水分解による悪臭や酸敗臭の過程を比較すること。

B.3 脂質	
<ul style="list-style-type: none"> 脂肪の不飽和度を求めるためヨウ素価の概念を適用すること。 溶解度やエネルギー密度の見地からエネルギー貯蔵分子として糖質と脂質を比較すること。 食物中の高密度リポタンパク質 (HDL) や低密度リポタンパク質 (LDL) コレステロール、飽和脂肪酸、不飽和脂肪酸、トランス脂肪酸の役割、ステロイドの使用や乱用など、脂質が健康に及ぼす影響について論じること。 	<p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> ねらい6：不飽和度を測定するために脂肪のヨウ素価の計算、さまざまな脂肪や油に関する熱量測定実験、異なる溶媒と分液漏斗を用いて一般的な食物から脂肪を分離することなどの実験を行うこととも考えられる。
<p>指導</p> <ul style="list-style-type: none"> 一部の脂肪酸の構造はIB資料『化学資料集』の第34項に記載されている。 脂肪や油の具体的な名前を暗記する必要はない。 シス脂肪酸とトランス脂肪酸の構造上の違いについては不要である。 	

【学習のポイント】 糖質は酸素を豊富に含む生体分子で、エネルギー変換の代謝反応において中心的な役割を果たす。

B.4 糖質	
<p>「科学の本質」(NOS)との関わり</p> <p>モデルの構築・可視化——糖質の立体化学を理解することは、細胞内における糖質の構造的役割を理解する上で不可欠である。ハース投影式は炭素や水素を直接表さないことで付加された置換基の性質や位置に重点を置くのに有用である。(1.10)</p> <p>科学的理論に対する証拠を得ること——糖質の構造的役割を考察すること。(1.8)</p>	<p>国際的な視野</p> <ul style="list-style-type: none"> 砂糖は世界市場で取引の対象となる主要な商品であり、約130カ国で生産されている。全体の約4分の3は熱帯地方や亜熱帯地方のサトウキビから生産されており、残りは温暖な気候で栽培されるテンサイから生産されている。 糖尿病はインスリンの生成や機能の損失により血糖値が効率的に調整できなくなつた際に起こる慢性疾患である。世界保健機関によると、2005年から2030年の間で糖尿病による死者数は2倍になると推定されている。 乳糖不耐症は、牛乳や乳製品に含まれている乳糖が消化できない状態を指す。この症状は、乳糖をグルコースとガラクトースに加水分解する酵素であるラクターゼが十分に産生されないと起因する。世界的にみると、乳糖不耐症は標準的な状態で、西洋的なものを見方が科学に浸透している一例である。 <p>「知の理論」(TOK)</p> <ul style="list-style-type: none"> 製薬業界において糖質は薬剤を錠剤として結合させるのに使用される。 エタノールは、トウモロコシやサトウキビなど作物中の糖類を発酵させてつくる生物燃料として生産される。
<p>理解</p> <ul style="list-style-type: none"> 糖質の一般式は $C_x(H_2O)_y$ である。 ハース投影式は单糖類の環状構造を表している。 单糖類にはアルデヒド基（アルドース）もしくはケトン基（ケトース）と複数の-OH基がある。 直鎖状の構造の糖類は溶液中で環化し、エーテル結合を含む環状構造を形成する。 单糖間でグリコシド結合が形成され、二糖類や多糖類が生じる。 糖質はエネルギー源および予備のエネルギーとして使用される。 <p>知識・スキルの活用</p> <ul style="list-style-type: none"> 特定の单糖類から二糖類や多糖類の構造式を推定すること。 单糖類や多糖類の性質や機能と化学的構造を関係づけること。 <p>指導</p> <ul style="list-style-type: none"> グルコースとフルクトースの直鎖とα型の環状構造はIB資料『化学資料集』の第34項に記載されている。 特定の二糖類を形成する单糖類や多糖類の結合の詳細は不要である。 α型とβ型の区別やセルロースの構造は不要である。 	
	<p>「化学」指導の手引き</p>

<p>B.4 糖質</p>	<p>自然や人間生活との関わり</p> <p>《シラバスや他科目との関連性》</p> <p>トピック10.1、10.2——有機化合物の官能基 トピック20.1——有機反応 トピック20.3——立体異性 選択項目C.4——生物燃料 「生物」トピック2.3——糖質</p> <p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ねらい6：ベネディクト液やフェーリング液を用いて還元糖と非還元糖を区別することやヨード液を用いてでんぷんが存在しているかを調べることなどの実験を行うことも考えられる。 ・ ねらい8：作物からの生物燃料を生産することは、森林破壊、土壤侵食、持続可能性など関連する問題について多くの疑問を提起している。「食物対燃料」の論争は、農作物を生物燃料の生産に転用することに関連している。
----------------------	--

【学習のポイント】ビタミンは食事から摂取する必要がある多様な機能を有する微量有機栄養素である。

B.5 ビタミン	
「科学の本質」(NOS)との関わり	<p>観察し、主張を評価すること——ビタミン〔生命の維持に必要な（バイタル）アミン〕の発見は、科学者が特異的に観察した物事の原因を追究した一例であり、ビタミンの欠乏疾患（壞血病や脚気）の解明につながった。（1.8）</p>
理解	<p>・ ビタミンは（ほとんどが）体内で合成されず、適切な食事から得る必要がある微量有機栄養素である。</p> <p>・ ビタミンの溶解度（水または脂肪に対する）は、その構造から予測できる。</p> <p>・ ビタミンの（ほとんどは熱による）影響を受けやすい。</p> <p>・ 食事中のビタミン不足は特定の疾患の原因となり、世界中で何百万という人々がビタミン欠乏症に罹患している。</p>
知識・スキルの活用	<p>・ ビタミンA、C、Dの構造を比較すること。</p> <p>・ さまざまな国でのビタミン欠乏症の原因と影響を論じ、解決策を提案すること。</p>
指導	<p>・ ビタミンA、C、Dの構造はIB資料『化学資料集』の第35項に記載されている。</p> <p>・ ビタミンと含む特定の食物や欠乏症の名前を覚える必要はない。</p>
国際的な視野	<ul style="list-style-type: none"> ・ 栄養補助食品業界、特にビタミン剤の販売は多くの国々で大きな利益を上げている。 ・ ビタミンD欠乏症が増えており、その一因として日光から皮膚を保護することが増えていることが挙げられる。 <p>「知の理論」(TOK)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 水にフッ化物や塩にヨウ素など一般的に摂取される食物にサブリメントを添加することにおける倫理的配慮は何か。公的機関は個人を保護する立場にあるが、個人の自由も制限される。どのようにすれば社会や個人にとって最善であることがわかるか。 ・ ライナス・ポーリングは2つのノーベル賞を受賞した唯一の受賞者である。ビタミンCを補充することで風邪などの疾患を予防できるというポーリングの主張により、ビタミンCが広く使用されることにつながった。科学的知識を一般の人々に伝えることにおける権威者の役割は何か。

B.5 ビタミン	自然や人間生活との関わり
	<p>《シラバスや他科目との関連性》</p> <p>トピック 4.1、4.2、4.3——構造と物理的性質 トピック 10.1——有機化合物の官能基 トピック 20.3——立体配置異性 「生物」選択項目 D.2——ヒトの栄養と健康</p> <p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> • ねらい6：食物のビタミンCの量をDCIP法により測定するなどの実験も考えられる。

【学習のポイント】生化学の知識が増えたことにより、複数の環境問題がもたらされたが、他の問題を解決する有用性もある。

B.6 生化学と環境	
<p>「科学の本質」(NOS)との関わり</p> <p>危険性評価、共同研究、道徳的配慮——例えば、酵素入り洗剤や润滑油の分解を目的とした酵素の使用、一般的なグリーンケミストリーなど、科学者の研究成果や発見による環境へのマイナスの影響の及ぼし方を考え、それに対処する方法を見つけることは科学者の責任である。(4.8)</p>	<p>理解</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 生体異物とは、生体内で認められる通常は存在していない化学物質のことである。 ・ 生分解性プラスチックや堆肥化可能なプラスチックは、細菌や他の生物によって破壊・分解できるプラスチックである。 ・ ホスト・ゲスト化学では、環境中の毒性物質のように特定のゲスト種に選択的に結合することによって、細胞内で酵素が行う作用の一部を模倣するホスト分子の合成が関係している。 ・ 流出油や他の産業廃棄物の分解に有用な酵素が開発されている。 ・ 酵素入り洗剤中の酵素により、低温でも効果的に洗浄でき、エネルギー効率が改善されている。 ・ 生物濃縮とは食物連鎖の過程で物質の濃度が増加する現象のことである。「サステイナブルケミストリー」(持続可能な化学)とも呼ばれるグリーンケミストリーは、生産や有害な物質の環境への排出を最小限に留めることを目的とした化学研究や化学工学の取り組みの1つである。 <p>知識・スキルの活用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 下水処理場における抗生物質のように生体異物の問題の深刻化について論じること。 ・ 生分解性プラスチックにおけるなんぶんの役割について説明すること。
<p>国際的な視野</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ グリーンケミストリーという用語は1991年につくり出され、その考え方が受け入れられ、多くの国々で教育や法令に用いられるようになつた。 ・ 殺虫剤であるDDTは、その毒性効果や生物濃縮によりほとんどの国で、使用が禁じられている。しかし、マラリアが主要な公衆衛生の課題である国々では依然として使用されている。 <p>自然や人間生活との関わり</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 《シラバースや他科目との関連性》 トピック4.4——分子間力 トピック10.1——天然有機化合物、合成有機化合物 <p>選択項目A.5、A.7——プラスチックの環境に対する影響</p> <p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ねらい6：環境中における生物分解性のあるプラスチックと生物分解性のないプラスチックの分解の比較などの実験を行うことも考えられる。 ・ ねらい6：環境に対する危険性など、リスクアセメントが全実験研究の主要な部分である。 ・ ねらい8：グリーンケミストリーという科学の発展は、科学技術の使用による環境的影響や倫理的影響の認識を高めた。 	

B.6 生化学と環境
<p>・ 環境中の特定汚染物質の除去にホスト・ゲスト化学を応用すること。 ・ 重金属や農薬などを例に挙げ、物質の化学的発生源など、生物濃縮の 例について説明すること。 ・ アトムエコノミーなど生化学研究において、使用される物質を「環境保 護」の見地から評価することにおける課題や基準について論じること。</p> <p>指導</p> <p>・ 溶媒など「無公害薬品」の具体的な名前は必要ない。 ・ ホスト・ゲスト化学の説明において、超分子内の非共有結合について 重点を置く必要がある。</p>

H L 発展項目のトピック

【学習のポイント】 タンパク質の活性や濃度の分析は生化学の研究における重要な領域である。

B.7 タンパク質と酵素	
「科学の本質」(NOS)との関わり	<p>理論は新しいものに変わっていく——酵素の「鍵と鍵穴」の仮説は「誘導適合」モデルへと変わった。(1.9)</p> <p>共同研究と倫理的影響——科学者は新しい酵素を合成するためや目的とする反応（廃棄物管理）をコントロールするために共同研究を行う。(4.5)</p>
理解	<p>阻害剤は酵素活性の調節に重要な役割を果たす。</p> <ul style="list-style-type: none"> アミノ酸やタンパク質は溶液中で緩衝剤として作用し得る。 タンパク質の定量では、通常、紫外・可視分光法と既知の標準に基づいた検量線が用いられる。 <p>知識・スキルの活用</p> <ul style="list-style-type: none"> グラフを用いて酵素の最大反応速度 (V_{max}) とミカエリス定数 (K_m) の値を求め、その重要性を説明すること。 タンパク質の構造、活性部位、アロステリック部位に関する知識と拮抗阻害と非拮抗阻害を比較すること。 代謝経路における生産物阻害の概念を説明すること。 タンパク質の分析や溶液中のアミノ酸が関与する反応などに用いられる緩衝液のpHを計算すること。 ランベルト・ペールの法則を用いて検量線から溶液中のタンパク質の濃度を求める。
国際的な視野	<p>酵素活性に基づいた技術は、世界の多くの地域で古代にまで遡る。醸造やチーズの製造は特定の場所の名前と関連していることが多い。</p> <p>「知の理論」(TOK)</p> <ul style="list-style-type: none"> 「鍵と鍵穴」という表現は、効果的な例えであるが、「誘導適合」モデルの方がより良いモデルである。例えやモデルは知識の構築にどのように使用されているか。 <p>自然や人間生活との関わり</p> <ul style="list-style-type: none"> 酵素は産業や家庭で広く使用されている。その例として、酵素入り洗剤、繊維製品、食物、飲み物、生分解性プラスチックが挙げられる。タンパク質工学の進歩により、幅広い条件で効率的な働きをする酵素が合成されている。 <p>《シラバスや他科目との関連性》</p> <ul style="list-style-type: none"> トピック 6.1 — 反応速度論 トピック 8.1、8.3、8.4 — pH 尺度と共役塩基 トピック 18.2、18.3 — 酸塩基の計算と pH 曲線

B.7 タンパク質と酵素	
<p>指導</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ K_m や V_{max} の値に対する拮抗阻害剤や非拮抗阻害剤の影響について授業で取り上げる必要がある。 ・ ヘンダーソン・ハッセルバルヒの式はIB資料『化学資料集』の第1項に記載されている。 ・ 紫外・可視分光法については、具体的な試薬や波長に関する知識は不要である。 	<p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ねらい6：温度、pH、重金属イオン濃度を変化させた条件下での酵素活性の測定などの実験を行うことも考えられる。 ・ ねらい7：異なる条件下で酵素活性を測定するために温度やpHプロープを用いたデータを記録する実験や酵素と基質の相互作用のコンピューターによるモデル化 ・ ねらい8：酵素を用いた技術の多くは皮革工業、製紙業、石油産業などの化学物質の環境への悪影響を軽減するのに有用である。

【学習のポイント】DNAは細胞によるタンパク質の合成を制御することによって発現する遺伝物質である。

B.8 核酸

「科学の本質」(NOS)との関わり

科学的方法——DNAの構造の発見は同じ疑問に対する答えを見つけるのに異なった方法をとることの良い例である。科学者はモデルを使用し、回折実験を行い、DNAの構造を明らかにした。(1.3)
器具が改善された後に続いて科学研究が発展する——X線回折から得られた二重らせん構造はDNAの既知の機能を説明するものである。(3.7)

理解

- ・ スクレオチドは五炭糖とリコン酸およびアデニン(A)、グアニン(G)、シトシン(C)、チミン(T)またはウラシル(U)の窒素含有塩基の縮合生成物である。
- ・ ポリスクレオチドは縮合反応によって生じる。
- ・ DNAは、水素結合により2つのポリスクレオチドが互いにねじれた二重らせん構造である。
- ・ RNAは通常、単一のポリスクレオチド鎖で、チミンの代わりにウラシルがあり、デオキシリボースの代わりにリボースが含まれる。
- ・ DNAの塩基配列には、普遍的な遺伝子コードとして知られているトリプレットコードが用いられ、細胞によって合成されるタンパク質の一次構造が決定される。
- ・ 遺伝子組み換え生物とは、異種間でDNAを移動させたものなど、遺伝子工学技術によって変化させた遺伝物質を有する生物のことである。

国際的な視野

- ・ ヒトゲノム計画は、ヒトのゲノム内にあるすべての遺伝子をマッピングし、配列を決めることを目的とした国際的な研究プログラムであった。
- ・ 遺伝子組み換え(GM)食品の表示に関する方針は国によって大きく異なる。
- ・ 遺伝子組み換え生物のほとんどは国際特許によって保護されている。これが世界的経済や科学コミュニケーションに及ぼす影響は何か。
- ・ 「知の理論」(TOK)
 - ・ DNAは情報を保管するが、知識は保管しない。
 - ・ 情報と知識の違いは何か。
- ・ 1962年、クリック、ワトソン、ウイルキンスは「核酸の分子構造および生体の情報伝達におけるその重要性の発見」に対してノーベル医学生理学賞を共同受賞した。知識を向上させることにおいて共同研究が果たす役割は何か。
- ・ DNAデータベースの存在により、個人のプライバシーや政府が個人情報をアクセスする権利の範囲に関する疑問が問われる。個人のDNAという知識にアクセスする権利は誰が所有しているのか。

知識・スキルの活用

- ・ 親水性と疎水性の成分間の相互作用の見地からDNAの安定性について説明すること。

<p>B.8 核酸</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ DNA上の負の電荷の元や染色体内でDNAと結合している塩基性タンパク質(ヒストン)について説明すること。 ・ 特定のポリヌクレオチドの配列からDNAの相補鎖やRNAのヌクレオチド配列を推定すること。 ・ 相補的塩基対形成によりどのようにDNAが正確に複製できるか説明すること。 ・ 遺伝子組み換え食品を用いることの有益性と懸念を論じること。 <p>指導</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 塩素含有塩基、リボース、デオキシリボースの構造はIB資料『化学資料集』の第34項に記載されている。 ・ 種類の異なるRNAについて覚える必要はない。 ・ DNA複製過程の詳細は不要である。 ・ DNAの発現については、4種類の塩基によるコードが20種のアミノ酸配列を決定しているという概念に限定すること。転写や翻訳の詳細は不要である。 	<p>自然や人間生活との関わり</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ DNA塩基配列決定法の知識は、法医学や親子鑑定など法的な調査における複数の側面に変化をもたらし、家系や人類移動の研究にも広く利用されている。 ・ DNA塩基配列決定法は生化学的進化の研究の重要な側面である。 <p>『シラバスや他科目との関連性』</p> <ul style="list-style-type: none"> トピック4.4——水素結合、分子間相互作用 トピック8.1——酸塩基相互作用 <p>「生物」トピック2.6、7.1——DNAとRNAの構造</p> <p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ ねらい5：1950年代にDNA構造の解明に関与した異なるチームで競争が行われた話は、効果的な共同研究と科学活動中のコミュニケーションの失敗例である。 ・ ねらい6：細胞からのDNAの抽出とその物理的性質の検討、プリンヒペリミジン間の特定の塩基対形成などDNA構造のモデルの構築などの実験を行うことも考えられる。 ・ ねらい7：異なる生物の遺伝子配列のデータベースが存在している。 ・ ねらい8：ヒトゲノムの知識により、クローニング、遺伝子工学、遺伝子治療など多くの倫理的問題が提起されている。
--	---

【学習のポイント】生物色素には特定の波長の光を吸収し、多様な機能を有するさまざまな化学構造をもつ物質が含まれる。

<p>B.9 生物色素</p> <p>「科学の本質」(NOS)との関わり</p> <p>データの使用——吸光度の定量的測定は、これまで主観的で再現するのが困難であった色に基づくデータを明らかにする信頼性のある方法である。(3.1)</p>	<p>理解</p> <ul style="list-style-type: none"> 生物色素は代謝によって產生される着色化合物である。 色素の色は、可視領域に強い吸収帯がある非局在化した電子に伴う高さに共役した系によるものである。 ヘモグロビン、ミオグロビン、クロロフィル、多くのショトクロムなどのポルフィリン化合物は、窒素を含有する大環状配位子を有する金属のキレート化合物である。 ヘモグロビンやミオグロビンには2価の鉄イオンに配位したポルフィリン環を有するヘム基がある。 シトクロムには酸化還元反応中に2価と3価の鉄イオンの間で電子が移動するヘム基がある。 アントシアニンは植物に広く分布している芳香族で水溶性の色素である。アントシアニンの特定の色は金属イオンとpHによって決まる。 カルテノイドは脂溶性の色素で光合成で光を取り入れるのに関与しており、光が触媒による酸化による影響を受けやすい。 <p>知識・スキルの活用</p> <ul style="list-style-type: none"> ヘモグロビンの酸素に対する協同的結合の見地からヘモグロビンの酸素解離曲線の形がS字状になることを説明すること。 温度、pH、二酸化炭素などヘモグロビンの酸素飽和度に影響を及ぼす因子について論じること。 胎児ヘモグロビンの酸素に対する親和性が比較的高いことを説明すること。 	<p>国際的な視野</p> <ul style="list-style-type: none"> 市販の食品の調整や加工の間に、人口着色料が添加されることがよくある。国によって承認されている着色料には大きな違いがあり、国際貿易で問題となる。 <p>「知の理論」(TOK)</p> <ul style="list-style-type: none"> 実験では、食物に対する理解は五感が相互に作用することに基づくことが明らかにされている。世界に関する経験的知識を得る際、異なる感覚は互いにどのように作用するか。 <p>自然や人間生活との関わり</p> <ul style="list-style-type: none"> 皮膚、目、髪の色調の違いは色素であるメラニンの濃度の違いに起因する。 何世代にもわたって高地に住む人々は、酸素に対する親和性が比較的高いヘモグロビンを有している。 肉の赤紫色はミオグロビンが存在していることが主因である。調理により茶色に変色するのは、鉄イオンが Fe^{3+} に酸化されたためである。 アントシアニンとカルテノイドは植物を目立たせるシグナルとなり、植物の授粉や種子の飛散のために昆虫や鳥類を引きつけ、紫外線が引き起こす損傷から植物を保護している。 <p>《シラバスや他科目との関連性》</p> <p>トピック 8.2 — 指示葉 トピック 13.2 — 錫イオン 選択項目 C.8 — 電子共役と色素増感太陽電池</p>
---	--	--



B.9 生物色素	ねらい
<ul style="list-style-type: none"> ・ 酸素の結合の競合的阻害剤としての一酸化炭素の作用について説明すること。 ・ アントシアニン、カロテノイド、クロロフィルの構造に関して、安定性に影響を及ぼす因子の要点を説明すること。 ・ アントシアニンのpHに対する感受性に基づき、アントシアニンが指示薬として作用する能力について説明すること。 ・ 光合成中に光エネルギーを捕捉する光合成色素の機能について説明すること。 ・ ペーパークロマトグラフィーや薄層クロマトグラフィーを用いて色素を検討すること。 <p>指導</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ クロロフィル、ヘムB、特定のアントシアニンやカロテノイドの構造は、IB資料『化学資料集』の第35項に記載されている。他の色素の名前や構造の詳細は不要である。 ・ ヘモグロビンの協同的結合の説明は、ヘモグロビンが酸化されると1つのポリペプチドに構造変化が起こることに留めておく必要がある。 ・ 条件を変えることで特定の色が変化することについて覚える必要はない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ねらい6：溶液や分液漏斗を用いて植物を出発物質として色素を抽出し分離すること、pH指示薬としてアントシアニンを使用するなどの実験を行うことも考えられる。 ・ ねらい7：吸収データの収集にデータロガーを用いること。

【学習のポイント】生化学過程のほとんどは立体特異的で不斉炭素原子が特定の配置にある分子しか関与しない。

B.10 生体分子の立体化学	
<p>「科学の本質」(NOS)との関わり</p> <p>自然現象を解釈するもしくは主張を評価するのに用いられる理論——生化学では1つのエンチオマーに対して特有の生物活性を有する多くのキラル分子が関与する。キラルな環境における化学反応は、生物と無生物を区別する指標として作用する。(2.2)</p>	<p>国際的な視野</p> <ul style="list-style-type: none"> 異なる国々では、含まれている脂肪の種類など食品の化学物質含有量に関する表示基準に大きな違いがある。 <p>自然や人間生活との関わり</p> <p>《シラバスや他科目との関連性》</p> <ul style="list-style-type: none"> トピック 10.1 —— 有機化合物の官能基 トピック 20.1 —— 有機反応 トピック 20.3 —— 立体異性 選択項目 A.4 —— 分子間力・ London 力 <p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> ねらい8：特にファストフード産業において、飽和脂肪酸とトランス脂肪酸の使用により倫理的問題が生じている。
<p>理解</p> <ul style="list-style-type: none"> 1つのアミノ酸を除き、アミノ酸はすべて対掌性であり、L体のみがタンパク質中に存在する。 自然に存在する不飽和脂肪酸は大部分がシス体であるが、食品加工の過程でトランス体に変換される。 糖類のD、L立体異性体は、アルデヒド基やケトン基から最も離れた不斉炭素原子の配置に関連しており、天然に最も多く存在するのはD体である。 糖類の環形状には、一位の炭素(グルコース)や二位の炭素(フルクトース)の水酸基の位置が環平面の下にある(α)か上にあるか(β)によって決まるα、βとして知られている異性体がある。 視覚における化学反応では、光によるレチナールのシーストランジス異性体の構造変化が関与する。 <p>知識・スキルの活用</p> <ul style="list-style-type: none"> トランス脂肪酸の生成や不飽和脂肪酸の水素化や部分水素添加について説明し、これらの過程の利点と欠点を論じること。 セルロースの構造や性質を説明し、でんぶんと比較すること。 セルロースの構造材としての重要性や食品中における重要性を論じること。 オプシン、ロドプシン、シスースレチナール、トランスレチナールの役割など、視覚におけるビタミンAの役割の要点を説明すること。 	

B.10 生体分子の立体化学
<p>指導</p> <ul style="list-style-type: none">・ 視覚サイクルに関与する酵素の名前は不要である。・ 飽和脂肪酸、シス脂肪酸、トランス脂肪酸の相対的融点について授業で取り上げる必要がある。

SL・HL共通項目のトピック

【学習のポイント】社会は完全にエネルギー源に依存している。エネルギー量は変換の際に保存できるが、質は劣化する。

C.1 エネルギー源

「科学の本質」(NOS)との関わり

理論を用いて自然現象を解釈すること——私たちの周りにある世界のエネルギー変化は分子レベルでのポテンシャルエネルギーや運動エネルギーの変化に由来する。エネルギーには量と質がある。(2.2)

理解

- 有用なエネルギー源とは、適正な速度でエネルギーを放出し、汚染を最小限に抑えるエネルギー源である。
- 熱が環境に移動するとともにエネルギーの質は劣化する。エネルギーや材料は濃縮されたものから分散する。仕事を行うのに利用できるエネルギー量は減少する。
- 再生可能なエネルギー源は自然に補充される。再生不可能なエネルギー源には限りがある。

$$\text{エネルギー密度} = \frac{\text{燃料から放出されたエネルギー量}}{\text{消費された燃料のエネルギー量}}$$

$$\text{重量エネルギー密度} = \frac{\text{燃料から放出されたエネルギー量}}{\text{消費された燃料のエネルギーの質量}}$$

$$\text{エネルギー変換効率} = \frac{\text{有用な出力エネルギー}}{\text{総入力エネルギー}} \times 100\%$$

国際的な視野

- 国際エネルギー機関は28の加盟国やそれ以外の国々で信頼できる安価でクリーンなエネルギーを確保するために活動するパリに拠点を置く自治機関である。
- 国際再生可能エネルギー機関（IRENA）は、アラブ首長国連邦のアブダビに拠点を置き、2009年に設立された再生可能エネルギー（バイオ、地熱、水力、海洋、太陽、風力エネルギー）の普及および持続可能な利用の促進を目的とする機関である。

「知の理論」(TOK)

- 「太陽エネルギーの利用に成功する日がくることを確信している。日光が戦争に使われる兵器であったなら、太陽エネルギーは何世紀も前から利用されていただろう」(ジョージ・ポーター卿)。社会的、政治的、文化的、宗教的因素が資金提供を受けて行われる研究と行われない研究の種類にどのように影響を与えていくと考えられるか。

C.1 エネルギー源	知識・スキルの活用	自然や人間生活との関わり
<p>再生可能なエネルギー源と再生不可能なエネルギー源の異なる使用法について論じること。</p> <ul style="list-style-type: none"> 燃焼エンタルピー、密度、燃料のモル質量から燃料のエネルギー密度と重量エネルギー密度を求めること。 燃料のエネルギー密度や重量エネルギー密度によってエネルギーの選択にどのような影響があるかを論じること。 適切なデータからエネルギー変換過程の効率を求めること。 C. 2～C. 8までの異なるエネルギー源の利点と欠点について論じること。 	<ul style="list-style-type: none"> エネルギーの生成とその結果として生じる汚染や気候変動により多くの倫理的問題が提起されている。異なる知識の領域に対する政治的圧力の影響は何か。 <p>《シラバスや他科目との関連性》</p> <p>トピック5.1——燃焼エンタルピー トピック10.2——炭化水素の燃焼 「環境システムと社会」トピック3.2、3.3、3.5、3.6 「物理」トピック8.1——エネルギー密度 ねらい</p>	<ul style="list-style-type: none"> ねらい1：可能性があるエネルギー源について論じることで、世界状況における科学的研究や創造性の機会が得られる。 ねらい6：さまざまな燃料のエネルギー密度を実験的に検討することが考えられる。 ねらい7：全世界および国家規模のエネルギー統計のデータベースをここで調査することができる。 ねらい8：エネルギー生成には世界的な経済要因と環境要因がある。この領域で行われる選択には道徳的影響と倫理的影響がある。

【学習のポイント】 化石燃料のエネルギーは長い時間をかけて化学的過程によって保存された太陽エネルギーをもととしている。化石燃料の豊富な資源は再生不可能であるが、炭化水素の化学結合の性質に起因して大量のエネルギーが得られる。

C.2 化石燃料

「科学の本質」(NOS)との関わり

科学コミュニケーション研究——化石燃料の利用は科学技術の発展に重要な役割を果たしてきた。(4.1)

理解

- 化石燃料は炭素、水素、窒素、硫黄、酸素を含む生体化合物の還元によって生成された。
- 石油は分別蒸留によって留分と呼ばれる異なる成分に分けられる炭化水素の混合物である。
- 原油は使用前に精製する必要がある。異なる留分は分別蒸留の物理的工程または方法で分離される。
- 燃料が自然発火し、車のエンジンの「ノッキング」を引き起こす傾向は、分子構造に関連し、オクタン価によって測定される。
- 燃料としての炭化水素の性能は、クラッキングと触媒改質反応によって向上する。
- 石炭のがス化と液化は石炭を気体や液体の炭化水素に変換する化学過程のことである。
- カーボンフットプリントは人間の活動中に產生する温室効果ガスの総量のことである。通常、二酸化炭素のトン数として表される。

知識・スキルの活用

- オクタン価について鎖の長さと枝分かれの影響について論じること。
- 炭化水素の改質反応やクラッキング反応について論じ、これらの過程がオクタン価をどのように向上させるか説明すること。

国際的な視野

- さまざまな国で化石燃料が利用されるかどうかは、入手のしやすさ、経済的、社会的、環境的、技術的原因によって決まる。
- 燃料の異なった評価体系 (RON、MON、PON) がさまざまな国で使用されている。
- 深海採掘、石油パイプライン、石油流出は、国際協力と国際協定が必要とする問題である。

自然や人間生活との関わり

- 《シラバスや他科目との関連性》
- トピック 5.1、5.3——燃焼のエンタルピーの変化
トピック 10.1、20.3——炭化水素と異性体
トピック 10.2、選択項目 C.5——地球温暖化
選択項目 C.8——太陽電池
「生物」トピック 4.3——炭素循環
 - ねらい6：分別蒸留や触媒を用いるクラッキング反応などの実験を行うことも考えられる。
 - ねらい7：全世界および国家規模のエネルギー統計のデータベースをここで調査することができる。

C.2 化石燃料	
<ul style="list-style-type: none"> ・ クラッキング、改質反応、石炭ガス化、石炭液化の反応式を推定すること。 ・ 異なった化石燃料の利点や欠点について論じること。 ・ 石油のさまざまな留分を特定し、それらの相対的な揮発性、利用法を確認すること。 ・ 異なった燃料が燃焼した場合、大気中に放出される二酸化炭素量を算出し、異なった活動に対するカーボンフットプリントを求めるここと。 <p>指導</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 化石燃料の生産コストと供給力（蓄え）および環境に対する化石燃料の影響を考察する必要がある。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ ねらい7：カーボンフットプリントを算出する多くの計算式がオンラインで利用可能である。 ・ ねらい8：化石燃料の利点や欠点を考察することで、科学技術を利用することについての経済的影響や環境への影響が例示される。

【學習のポイント】 太陽における水素核融合は地球上の生命に必要な多くのエネルギーの源である。この過程を地球上で再現することには多くの技術的課題があるが、豊富なエネルギー源となると考えられる。核分裂には大きな不安定な核がより小さな安定な核に分裂することが関わっている。

C.3 核融合と核分裂

「科学の本質」(NOS)との関わり

科学研究の倫理評価——エネルギー產生に核分裂を広く使用すると、温室効果ガス排出の削減につながる。核分裂は原子爆弾で起こる過程で、核融合は水素爆弾で起くる過程である。(4.5)

理解

核融合

- ・ 軽い核は融合反応が起こると、核子あたりの結合エネルギーが増加する。
- ・ 融合反応は燃料が安価で豊富にあり、放射性廃棄物が產生されないと認め、有望なエネルギー源であると考えられている。
- ・ 吸収スペクトルは恒星の成分分析に用いられる。
- ・ 重い核は分裂反応が起こると、核子あたりの結合エネルギーが増加する。
- ・ $^{235}_{92}U + {}^1_0n \rightarrow {}^{236}_{92}U \rightarrow X + Y + \text{中性子}$
- ・ 臨界質量とは反応を維持するために必要な最小限度の質量のことである。
- ・ 「増殖炉」内の燃料として利用される $^{239}_{94}\text{Pu}$ は中性子捕獲により $^{238}_{92}\text{U}$ から生成される。
- ・ 放射性廃棄物には半減期が長い同位体と半減期が短い同位体が含まれている可能性がある。
- ・ 半減期とは、半数の原子が崩壊するのにかかる時間のことである。

国際的な視野

- ・ 核エネルギーの使用に関しては、国際原子力機関が国際的に監視している。
- ・ 高エネルギー粒子物理学の研究には国際協力が必要とされる。C E R N、ドイツ電子シンクロトロン (D E S Y)、S L A C 国立加速器研究所、フェルミ研究所、ブルックヘブン国立研究所には加速器の施設がある。結果は多くの国々の科学者に知らされ、共有される。
- ・ I T E R プロジェクトは多くの国々による共同研究で、融合反応が将来のエネルギー源であることを明らかにすることを目的としている。
- ・ 「理論」(TOK)
 - ・ 核エネルギーの利用には危険性と有益性が伴う。これらを最終的に評価する責任を負うのは誰であるべきか。どのようにすれば社会や個人にとつて最善であることがわかるか。
- ・ 自然や人間生活との関わり
 - 《シラバスや他科目との関連性》
 - トピック 2.1 —— 同位体

C.3 核融合と核分裂	知識・スキルの活用	トピック 2.2 — 水素の発光スペクトル 「物理」トピック 7.2 — 核融合
<p>核融合</p> <ul style="list-style-type: none"> 核融合反応式を作成すること。 核子あたりの結合エネルギーの見地から融合反応について説明すること。 線と電子遷移の関係など、水素やヘリウムの原子吸収スペクトルについて説明すること。 <p>核分裂</p> <ul style="list-style-type: none"> 核分裂反応式を推定すること。 核子あたりの結合エネルギーの見地から分裂反応について説明すること。 核廃棄物の保管や処分について論じること。 半減期という整数に関する放射性崩壊の問題を解くこと。 <p>指導</p> <ul style="list-style-type: none"> 生徒は特定の分裂反応について覚える必要はない。 原子力発電所の仕組みは不要である。 健康、核廃棄物や原子炉心溶融に関連する問題、核燃料が核兵器として利用される可能性など、安全性と危険性の問題がある。 式 $N = N_0 e^{-\lambda t}$ と $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$ は、IB 資料『化学資料集』の第 1 項に記載されている。 	<p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> ねらい7：放射性崩壊や核融合および核分裂ではコンピューターによる動画やシミュレーションが使用可能である。 ねらい8：核エネルギーの環境への影響を考察することで、科学技術を利用することについての影響が例示される。 	

【学習のポイント】可視光は一重結合と多重結合が交互に位置する共役系を有する構造をもつ分子によって吸収される可能性がある。太陽エネルギーは光合成により化学エネルギーに変換される。

C.4 太陽エネルギー

「科学の本質」(NOS)との関わり

一般の人々の理解——太陽エネルギーの利用は現在の研究分野の1つであり、依然として課題が残っている。しかし、消費者やエネルギー関連会社には太陽エネルギーを代替エネルギー源として活用することが促されている。(5.2)

理解

- 光は共役電子系を有するクロロフィルや他の色素によって吸収される。
 - 光合成は光エネルギーを化学エネルギーに変換する過程である。

$$6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$$
 - グルコースの発酵によりバイオ燃料として使用することができるエタノールが生成される。
- $$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 2\text{CO}_2$$
- 植物油のエネルギー量はディーゼル燃料と同程度であるが、植物油は粘度が高いため、内燃機関には使用されない。
 - 強酸や強塩基を触媒とするエステルとアルコールのエ斯特ル交換により、異なるエステルが生成される。
- $$\text{RCOO}^{\prime} + \text{R}^2\text{OH} \rightarrow \text{RCOOR}^2 + \text{R}'\text{OH}$$
- 強酸や強塩基の存在下におけるアルコールとの反応など、エ斯特ル交換過程において、植物油のトリグリセリドは主にアルキルエ斯特ルとグリセロールで構成される混合物に変換されるが、一部の脂肪酸も混合物に含まれる。
 - エタノールもしくはメタノールとのエ斯特ル交換によりディーゼルエンジンに使用できる粘度の低い油が生成される。

知識・スキルの活用

- 可視光を吸収できる分子の特徴を特定すること。

C.4 太陽エネルギー	
	<ul style="list-style-type: none">・ メタノールやエタノールで粘度の低いエステルが生成されることを説明すること。・ バイオ燃料を利用することの利点と欠点を評価すること。・ エステル交換反応の反応式を推定すること。
指導	<ul style="list-style-type: none">・ 二重結合が交差に位置する共役系のみを授業で取り上げる必要がある。

【学習のポイント】人間の活動によって生成される大気中の気体によって、大気中に入射するエネルギーと大気の外に放出されるエネルギーの均衡が破れ、天候に変化が起っている。

C.5 環境への影響——地球温暖化

「科学の本質」(NOS)との関わり

学際性——地球温暖化の研究には幅広い概念と考えが含まれし、その研究は学際的である。(4.1)
共同研究と科学を一般の人々に説明することの重要性——気候変動に関する政府間パネル（IPCC）の報告（5.2）
相関関係と原因および科学の理解——CO₂ レベルと地球の平均温度には明らかな相関性があるが、地球の表面温度には過去に大きなばらつきが認められることが多い。(2.8)

理解

- 温室効果ガスは、短波長領域の太陽放射は透過させるが、地球から射出された比較的波長の長い放射を吸収し、その一部を地表に向かって再放出する。
- 大気中の二酸化炭素濃度と海水中の二酸化炭素の濃度の間には不均衡がある。
- 温室効果ガスは分子中の結合の伸縮や変角により双極子モーメントが変化するため赤外線放射を吸収する。
- 煙や粉塵などの微粒子は雲のように日光を反射するため地球暖化の原因となる。

知識・スキルの活用

- 温室効果ガスが赤外線放射を吸収する分子機構を説明すること。
- 気体の濃度の上昇と地球温暖化の関係に関する根拠について論じること。
- 異なる温室効果ガスの発生源や相対的存在量および影響について論じること。

国際的な視野

- この問題には地球温暖化の影響を研究し、その効果を軽減することを目的として、国際社会が協力することが必要とされる。その試みとして「気候変動に関する政府間パネル」（IPCC）やカタールで延長された「京都議定書」などがある。
- 「知の理論」(TOK)
 - 気候変動の実態や問題を「誇張する」科学者の真意に疑問を投げかけたりもいる。収集した証拠や人間の活動の影響を予測するのに用いられたモデルをどのように評価すればよいか。

自然や人間生活との関わり

- 《シラバスや他科目との関連性》
- | |
|--------------------|
| トピック 7.1、17.1——平衡系 |
| トピック 8.2——酸塩基平衡 |
| トピック 11.3——赤外スペクトル |
| トピック 13.2——遷移金属錯体 |

C.5 環境への影響 — 地球温暖化

<p>• 二酸化炭素排出量のコントロールに対するさまざま取り組みについて論じること。</p> <p>• 大気中の二酸化炭素の濃度増加による海水の pH 変化について論じること。</p> <p>指導</p> <p>• 温室効果ガスとみなされるものは CH_4、H_2O、CO_2 がある。</p>	<p>• 「生物」トピック 4.4 — 気候変動 「物理」トピック 8.1 — 熱エネルギーの移動</p> <p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> • ねらい6：液体中の二酸化炭素と二酸化炭素の気体の間の平衡を実験的に検討することが考えられる。 • ねらい7：コンピューターでのモデル化は温室効果について知識を得ることができる強力な手段である。 • ねらい8：気候変動とグリーンケミストリーを考察することで、科学技術を利用するこことについての倫理的、経済的影響や環境への影響に対する関心が高まる。
---	---

H L 発展項目のトピック

【学習のポイント】酸化還元反応による化学エネルギーは、電気エネルギーの携帯用電源として利用できる。

C.6 電気化学、蓄電池、燃料電池
「科学の本質」(NOS)との関わり 環境問題——酸化還元反応は電源として使用できるが、電池の廃棄には環境への影響がある。(4.8)
理解 国際的な視野 <ul style="list-style-type: none"> 化学電池にはイオンの拡散にかかる時間に限りがあるため内部抵抗がある。電池の最大電流はこの内部抵抗によって限定されている。 電池の電圧は主に使用されている物質の性質によって決まるが、電池から得られる総仕事量は物質の量によって決まる。 一次電池では電気化学反応は可逆的ではない。蓄電池では電気を使用した可逆的な酸化還元反応が関与している。 燃料電池は消費される燃料に含まれている化学エネルギーを直接電気エネルギーに変換し使用する。 微生物燃料電池(MFC)は廃水に存在する異なる糖質や基質を燃料として用いる持続可能なエネルギー源となる可能性がある。 ネルンストの式 $E = E^0 - \left(\frac{RT}{nF}\right) \ln Q$ は非標準状態下で化学電池の半电池の電位を計算するのに用いることができる。 濃淡電池の電極は同一であるが、カソードとアノードの電解質溶液の濃度に違いがある。 知識・スキルの活用 <ul style="list-style-type: none"> 燃料電池と一次電池を区別すること。
<ul style="list-style-type: none"> 電池のリサイクル計画は世界中のさまざまな地域で同様であるか。 「知の理論」(TOK) <ul style="list-style-type: none"> 科学用語は主に記述的機能もしくは解釈機能を有するか。「電流」や「内部抵抗」という用語は実在するものを正確に描写したものかもしくは例えか。 自然や人間生活との関わり <ul style="list-style-type: none"> 《シラバスや他科目との関連性》 トピック 9.1 — 酸化還元反応 トピック 19.1 — 化学電池 「生物」トピック 6.5 — 生物の授業で検討される筋肉と神経細胞は濃淡電池である。 「物理」トピック 5.3 — 電力、電圧、抵抗、電流の関係 ねらい <ul style="list-style-type: none"> ねらい2：化学エネルギーの電気への変換はさまざまな技術に重要である。 ねらい6：電池と鉛蓄電池の電圧に影響を与える因子を実験的に検討する

C.6 電気化学、充電式電池、燃料電池

- ・ 燃料電池における電極の反応の半反応式を推定すること。
- ・ 燃料電池と充電式電池を比較すること。
- ・ 大きさ、質量、電位の見地から、異なる種類の電池の利点について論じること。
- ・ ネルンストの式を用いた問題を解くこと。
- ・ 燃料電池の熱力学的効率 ($\Delta G / \Delta H$) を計算すること
- ・ 略図や関連する半反応式など、充電式電池と燃料電池の仕組みについて説明すること。

指導

- ・ 電池は1個以上のボルタ（ガルバニ）電池を直列につないだ携帯用電源と見なす必要がある。
- ・ ネルンストの式はIB資料『化学資料集』の第1項に記載されている。
- ・ 水素やメタノールを燃料電池の燃料として見なす必要がある。酸やアルカリ性の条件下での電池の働きを考察する必要がある。生徒にはプロトン交換膜（PEM）燃料電池について熟知させる必要がある。
- ・ 例えば、ジオバクター属の細菌は嫌気性の条件下で酢酸イオン (CH_3COO^-) を酸化するため、一部の電池に利用できる。
- ・ 鉛蓄電池やニッケル・カドミウム（NiCad）電池およびリチウムイオン電池について考察する必要がある。
- ・ 生徒にはアーノードとカソードの半反応式や異なった電池の使用について熟知させる必要がある。

- ・ **ねらい8**：異なるエネルギーソースの利点と欠点を考察することで、科学技術を使用することについての経済的影響や環境への影響が明らかになる。特にメタノールに関しては、燃料電池の環境的側面を考察することができる。
- ・ **ねらい8**：一次電池や化学物質の廃棄は土地や水の汚染問題となる可能性がある。カドミウムや鉛による汚染の環境への影響を理解すること。
- ・ **ねらい8**：微生物燃料電池では廃水中に認められる基質が燃料として使用されるため、環境を浄化するのに利用することができる。

【学習のポイント】 少量の物質から大量のエネルギーを得ることが可能である。

C.7 核融合と核分裂	
<p>「科学の本質」(NOS)との関わり 傾向と矛盾——理論的進歩と実験的進歩の両方により、核過程の理解が深まった。UF₆の分子間力は特異的で通常の傾向には従わない。(3, 1)</p>	<p>国際的な視野</p> <ul style="list-style-type: none"> 核兵器を開発した国は極めて少數であり、国際原子力機関（IAEA）はこの技術の拡散の限定に努めている。一部の国が核エネルギーを平和的もしくは非平和的目的で開発しているかどうかについて議論がなされている。 原子力事故には地球的影響がある。スリーマイル島や Chernobyl の事故、津波による福島での問題を潜在的な危険性を例示するたために論じることが可能である。 <p>「知の理論」(TOK)</p> <ul style="list-style-type: none"> 「人類が原子力を利用する可能性はない」(ロバート・ミリカン、1923年ノーベル物理学賞受賞、1928年引用) 新しい技術の影響はどう予測できるか。その予測にどの程度信頼性があるか。知識の探究において専門家の意見はどの程度重要か。 核分裂反応で放出されるエネルギーは、アイシッシュタインの質量とエネルギーの等価性を表す関係式 $E = mc^2$ を用いて生成物と反応物の質量差から算出できる。 六フッ化ウラン中のウランの異なる同位体は、濃縮ウランを得る方法である拡散法や遠心分離を用いて分離できる。 気体が流出する速度は、分子の質量の平方根に反比例する (グレアムの法則)。 放射性崩壊は速度論的には半減期が崩壊定数と式 $\lambda = \frac{\ln 2}{T}$ の関係にある一次反応である。 核エネルギーの危険性は核が放出する放射線がイオン化する性質によるもので、スーパーオキシド (O₂) やヒドロキシルラジカル (HO) などの酸素のフリーラジカルの生成を引き起こす。これらのフリーラジカルは、生細胞中のDNAや酵素を損傷する連鎖反応を開始する可能性がある。 <p>自然や人間生活との関わり 《シラバスや他科目との関連性》 トピック4.1、4.3 —— 構造と結合</p>
<p>核融合：</p> <ul style="list-style-type: none"> 質量欠損 (Δm) は原子核の質量と個々の核子の質量の合計の差である。 核の結合エネルギー (ΔE) は核を陽子と中性子に分離するのに必要なエネルギーのことである。 <p>核分裂：</p> <ul style="list-style-type: none"> 核分裂反応で生成されるエネルギーは、アイシッシュタインの質量とエネルギーの等価性を表す関係式 $E = mc^2$ を用いて生成物と反応物の質量差から算出できる。 六フッ化ウラン中のウランの異なる同位体は、濃縮ウランを得る方法である拡散法や遠心分離を用いて分離できる。 気体が流出する速度は、分子の質量の平方根に反比例する (グレアムの法則)。 放射性崩壊は速度論的には半減期が崩壊定数と式 $\lambda = \frac{\ln 2}{T}$ の関係にある一次反応である。 核エネルギーの危険性は核が放出する放射線がイオン化する性質によるもので、スーパーオキシド (O₂) やヒドロキシルラジカル (HO) などの酸素のフリーラジカルの生成を引き起こす。これらのフリーラジカルは、生細胞中のDNAや酵素を損傷する連鎖反応を開始する可能性がある。 	<p>「人種が原子力を利用する可能性はない」(ロバート・ミリカン、1923年ノーベル物理学賞受賞、1928年引用) 新しい技術の影響はどう予測できるか。その予測にどの程度信頼性があるか。知識の探究において専門家の意見はどの程度重要か。</p> <p>核分裂反応で放出されるエネルギーは、平和時にはエネルギーの產生に用いられるが、戦時には破壊につながる可能性がある。科学者は自分たちが発見したことが応用されることに対して道徳的責任を負う必要があるか。道徳的には探究が許容できない科学知識の分野はあるか。</p>

C.7 核融合と核分裂	知識・スキルの活用 核融合： <ul style="list-style-type: none"> ・核の質量欠損や結合エネルギーを算出すること。 ・融合反応で生成されるエネルギーを確定するためアイシンシュタインの質量とエネルギーの等価性を表す関係式 $E = mc^2$ を用いること。 核分裂： <ul style="list-style-type: none"> ・アイシンシュタインの質量とエネルギーの等価性を表す関係式 $E = mc^2$ を用いて、分裂反応で生成されるエネルギーを求めること。 ・結合や構造の見地から UO_2 や UF_6 の性質の違いを論じること。 ・放射能の半減期に関する問題を解くこと。 ・グレアムの流出の法則と気体分子運動論の関係を説明すること。 ・グレアムの法則を用いて流出の相対速度に関する問題を解くこと。 指導 <ul style="list-style-type: none"> ・生徒が特定の分裂反応について覚える必要はない。 ・原子力発電所の仕組みは不要である。 ・健康、核廃棄物や原子炉炉心溶融に関する問題、核燃料が核兵器として利用される可能性など、安全性と危険性の問題がある。 ・グレアムの流出の法則は IB 資料『化学資料集』の第 1 項に記載されている。 ・崩壊の関係式は IB 資料『化学資料集』の第 1 項に記載されている。 ・結合エネルギー曲線は IB 資料『化学資料集』の第 36 項に記載されている。
-------------	---

【学習のポイント】太陽エネルギーを電気エネルギーに変換する際、光を吸収し、電荷を分離する必要がある。光電池ではこれら両方の過程がシリコン半導体中に起こるのに対して、色素増感太陽電池（DSSC）では2つの過程が別々の場所で起こる。

C.8 光電池と色素増感太陽電池（DSSC）

「科学の本質」（NOS）との関わり

学際性——光合成を模倣し、 TiO_2 ナノ粒子を利用する色素増感太陽電池は、科学の学際性を例示し、化学と生物学の関連性を示している。
財政的支援——財政的支援のレベルとその財源は行われる研究の種類に関する決定に極めて重要な役割を果たしている。ボルタ電池は最初、NASAにより宇宙探査ロケット用につくり出され、地上で使われたのは後にになってからのことである。（4.7）

理解

- ・ 分子の共役系が長いと波長の長い光が吸収される。
- ・ 半導体の電気伝導度は温度の上昇とともに増加するのにに対して、金属の伝導度は減少する。
- ・ シリコンの伝導度はドーピングにより上昇し、N型およびP型の半導体がつくり出される。
- ・ 太陽エネルギーは光電池で電気に変換することが可能である。
- ・ DSSCは植物が太陽エネルギーを利用する方法を模倣している。電子は励起した分子から直接 TiO_2 半導体に「注入」される。
- ・ 光吸収色素で覆ったナノ粒子を使用することで有効表面積が増え、より広い範囲にわたる可視光スペクトルで光が多く吸収できる。

知識・スキルの活用

- ・ 分子構造の共役の程度と吸収される光の波長を関連づけること。
- ・ 光電池と色素増感太陽電池の仕組みを説明すること。
- ・ どのようにナノ粒子がDSSCの効率を増加させるか説明すること。
- ・ シリコンを基にした光電池と比較してDSSCの利点を論じること。
- ・ 金属や半導体の相対的伝導度はイオン化エネルギーと関連している必要がある。

指導

- ・ ねらい6：生徒には安価な色素増感太陽電池を構築させ、その光起電力の特性を検討させることが考えられる。
- ・ ねらい7：DSSCの性質はデータロガーを使用して検討するのが最善である。

C.8 光電池と色素増感太陽電池 (DSSC)

- ・ 電池の操作には単純な処理しか必要がない。P型の半導体では、3族元素のごく一部を導入し結晶に電子ホールをつくる。N型の半導体では、5族元素を加えて余分に電子を供給する。
- ・ 光電池では、光が吸収され、電荷はシリコン半導体で分離される。色素増感太陽電池では吸収と電荷分離の過程が分かれている。
- ・ 比較的新しいグレッセルDSSCにおける特定の酸化還元反応と電極反応を授業で取り上げる必要がある。その一例として I_2/I_3^- イオンから I^- への還元が挙げられる。

SL・HL共通項目のトピック

【学習のポイント】薬剤や薬には人体の機能に対するさまざまな効果がある。

D.1 医薬品と薬の作用

「科学の本質」(NOS)との関わり

危険性と有益性——薬剤や薬は市販される前に、その効果や安全性を確認するため、さまざまな試験が行われる。医薬品は使用法や乱用の可能性に対し分類される。(4.8)

理解

- 動物実験では、動物群の50%に対する薬の致死量 (LD_{50}) を動物群の50%に対する最小有効量 (ED_{50}) で割ったものが治療指數である。
- ヒトでは、被験者群の50%に対する中毒量 (TD_{50}) を被験者群の50%に対する最小有効量 (ED_{50}) で割ったものが治療指數である。
- 治療濃度域とは目的とする効果が生じる薬の最小量と医学的に忍容できない副作用が生じる最小量の間の投与量の範囲のことである。
- 用量、忍容性、依存症、副作用が投薬の際の考慮事項である。
- 生物学的利用能とは体内で目的とする部分に到達する投与量の割合のことである。
- 合成薬の開発の主要な段階には、必要性や構造の特定、合成、収量、抽出などがある。
- 薬と受容体との相互作用は、薬と活性部位の構造に基づいている。

国際的な視野

- 一部の国では、特定の薬は処方箋がある場合にのみ入手できるが、他の国では同じ薬が店頭で手に入る。
- 「知の理論」(TOK)
 - 同じ薬が違う名前で呼ばれることがある。名前は単に表示されているものか、もしくは他の知るための方法に影響を及ぼすか。
 - 薬の治験には二重盲検法が用いられる。人を騙すのが倫理的に容認できるのはどんな場合か。
 - すべての薬には危険性と有益性がある。これらを評価するのに最終的な責任を負う必要があるのは誰か。公的機関は個人を保護する立場にあるが、個人の自由も制限される。どのようにすれば社会や個人にとつて最善であることがわかるか。

D.1 医薬品と薬の作用	ねらい
知識・スキルの活用 <ul style="list-style-type: none"> 動物ヒトを対象とした試験から治療指數と治療濃度域に関する実験的根拠を論じること。 投薬法について論じること。 置換基、極性、授薬法がどのように生物学的利用能に影響を及ぼす可能性があるか比較すること。 	<ul style="list-style-type: none"> ねらい9：医薬品の開発は進歩したが、その影響や広がりには多くの制限がある。 ねらい10：新薬の開発は、生物学者と物理学者の共同研究によるものが多い。
指導 <ul style="list-style-type: none"> 倫理的および経済的理由から、薬の動物 (LD_{50}/ED_{50} の算出のため) やヒト (TD_{50}/ED_{50} の算出のため) を対象とした試験は最小限に留める必要がある。 	

【学習のポイント】有用な薬理作用がある天然物を化学的に変化させ、より強力で安全な薬品が生成される。

D.2 アスピリンとペニシリン

「科学の本質」(NOS)との関わり

偶発力と科学的発見——ペニシリンはアレキサンダー・フレミングによって発見された。(1.4)
観察しデータを再現する——薬の多くは天然物から単離、同定し、変化させる必要がある。例えば、サリチル酸はヤナギの木の樹皮から痛みや熱の緩和を目的として単離される。(1.8)

理解

アスピリン

- 効き目の穏やかな鎮痛剤は、多くの場合、痛みや腫れ、熱などを引き起こす物質の生成を防げ、疼痛源で痛みの刺激を妨害することによつて機能する。
- アスピリンはサリチル酸からつくられる。
- アスピリンは心臓発作や脳卒中の再発を予防する抗凝血剤や予防薬として使用される。
- ペニシリンは菌類が產生する抗生物質である。
- ベータラクタム環は、ペニシリンのコア構造の一部である。
- 一部の抗生物質は細菌の細胞壁の架橋結合を阻むことにより機能する。
- 側鎖を変化させることで、酵素であるペニシリナーゼに比較的抵抗性の高いペニシリンが得られる。

知識・スキルの活用

アスピリン

- サリチル酸とその誘導体が効き目の穏やかな鎮痛剤として使用されていることを説明すること。
収量、再結晶化による純度、IRや融点を用いた特性評価解析などサリチル酸からアスピリンの合成について説明すること。

国際的な視野

アスピリン

- アスピリンは世界各国でさまざまな方法で使用されている。
 - 最初の抗生物質は全世界にわたって病気の治療の仕方を変化させた。
- 「知の理論」(TOK)
- 異なる鎮痛剤は違う方法で作用する。私たちはどのように痛みを感じるか、そして私たちの知覚はどうのよう他の「知るための方法」による影響を受けるか。
 - 「チャンスは用意された人にのみ訪れる」(レイ・パースツール)。フレミングによるペニシリンの発見は偶然のものであるとされることが多いが、フレミングの観察の重要性は専門家でなければ見逃されていた。
- 自然や人間生活との関わり
- 《シラバスや他科目との関連性》
- トピック 1.3——反応の収量
 - トピック 10.2——官能基
 - 「生物」トピック 6.3——感染性疾患に対する防御
- ねらい
- ねらい6：アスピリンの合成などの実験を行うことも考えられる。
 - ねらい8：動物に対する抗生素の使用・過剰使用について論じること。

D.2 アスピリンとペニシリン

- ・ アスピリンとアルコールの相乗効果について論じること。
- ・ アスピリンの水に対する溶解度を上昇させるため、アスピリンをどのようになんか、またこれがどのようにアスピリンによって化学変化させ、塩にするか、またこれをどのようにアスピリンの生物学的利用能を増加させるかについて論じること。
- ・ ペニシリンの側鎖を化学的に変化させた際の影響について論じること。
- ・ 患者のコンプライアンスの重要性とペニシリンの過剰処方の影響について論じること。
- ・ ペニシリンの作用に関するベータラクタム環の重要性を説明すること。

指導

- ・ 生徒には例えば可溶性のアスピリンのように、酸性（カルボキシル）基と塩基性（アミノ）基の作用によりイオン性の塩が生じることを認識させる必要がある。
- ・ アスピリンとペニシリンの構造はIB資料『化学資料集』の第37項に記載されている。

【学習のポイント】 天然物を化学変化させて調整される効き目の強い薬品には依存性があり、薬物乱用を引き起こす可能性がある。

<p>D.3 アヘン剤</p>
<p>「科学の本質」(NOS)との関わり</p> <p>データとその後の関連性——アヘンとその多くの誘導体は何千年にもわたりさまざまな形で鎮痛剤として使用されている。これら誘導体の1つがジアモルヒネ(ヘロイン)である。(3.1)</p>
<p>理解</p> <ul style="list-style-type: none"> 薬が血液脳関門を通過するかどうかはその化学構造と水や脂肪に対する溶解度によって決まる。 アヘン剤はケシから抽出される天然の麻薬性鎮痛剤である。 モルヒネやコデインは効き目の強い鎮痛剤として使用される。効き目の強い鎮痛剤は脳内の受容体部位に一時的に結合し、中枢神経系を抑制することなく痛みのインパルスの伝達を妨げることによって作用する。 アヘン化合物の医学的用途や依存性は脳内にあるオピオイド受容体と関連している。
<p>知識・スキルの活用</p> <ul style="list-style-type: none"> モルヒネからコデインやジアモルヒネの合成について説明すること。 効き目の強い鎮痛剤の使用について述べ、説明すること。 モルヒネ、コデイン、ジアモルヒネ(ヘロイン)の構造を比較すること。 効き目の強い鎮痛剤としてモルヒネやその誘導体を使用する利点と欠点について論じること。 アヘン剤の副作用と依存性について論じること。 モルヒネと比較し、ジアモルヒネの効能が強くなっていることを化学構造や溶解度に基づいて説明すること。
<p>指導</p> <ul style="list-style-type: none"> モルヒネ、コデイン、ジアモルヒネの構造はIB資料『化学資料集』の第37項に記載されている。
<p>「化学」指導の手引き </p>

【学習のポイント】 胃酸過多はよくある問題であるが、分泌された胃酸を中和するか胃酸を減らし、胃の pH を上昇させる化合物によつて軽減できる。

D.4 胃の pH 調整	
<p>「科学の本質」(NOS)との関わり</p> <p>サンプル抽出と臨床試験を通してデータを収集する——消化不良の症状の1つは胃酸过多である。この症状の薬物療法では、酸を直ちに中和するための制酸薬や胃酸の生成を妨げる H₂受容体拮抗薬もしくはプロトンポンプ阻害薬が処方されることが多い。(2.8)</p>	<p>理解</p> <ul style="list-style-type: none"> 制酸薬の使用など非特異的反応は胃酸过多を軽減する作用がある。 活性代謝物は薬が体内で処理された後に生じる薬の活性型である。 <p>知識・スキルの活用</p> <ul style="list-style-type: none"> 胃の過剰な酸性度がさまざまな塩基を使用することによってどのように軽減できるか説明すること。 中和反応の反応式を作成し、つまり合いをとり、その反応式を化学量論的に適用すること。 ヘンダーソン・ハッセルバッハの式を用いて緩衝液に関する問題を解くこと。 ラニチジン (Zantac) などの化合物がどのように胃酸の生成を阻害するのに用いられるのかを説明すること。 オメプラゾール (Prilosec) やエソメプラゾール (Nexium) のような化合物がどのように胃の中で胃酸の分泌を抑制するのに用いられるのかを説明すること。 <p>指導</p> <ul style="list-style-type: none"> 制酸剤の化合物には水酸化カルシウム、水酸化マグネシウム、水酸化アルミニウム、炭酸ナトリウム、重炭酸ナトリウムなどがある。 ラニチジンやオメプラゾールまたはエソメプラゾールの構造はIB資料『化学資料集』の第37項に記載されている。
<p>国際的な視野</p> <ul style="list-style-type: none"> 異なる文化（食事、ライフスタイルなど）や遺伝的な性質が胃の pH 調整の必要性に影響を及ぼし得る。 <p>「知の理論」(TOK)</p> <ul style="list-style-type: none"> 同じ問題を解決するのに異なる方法をとることがある。矛盾する証拠と方法がある場合、どちらかをどのように選ぶのか。 <p>自然や人間生活との関わり</p> <p>《シラバスや他科目との関連性》</p> <ul style="list-style-type: none"> トピック 1.3 — 溶液に関する計算 トピック 8.2、8.4 — 中和 トピック 10.2 — 官能基 トピック 20.3 — エナンチオマー <p>選択項目 B.7 — アミノ酸緩衝液</p> <p>「生物」選択項目 D.1 — 消化 ねらい</p>	<ul style="list-style-type: none"> 異なる文化（食事、ライフスタイルなど）や遺伝的な性質が胃の pH 調整の必要性に影響を及ぼし得る。
<p>SL・HL共通項目のトピック</p>	<p>ねらい6：さまざまな制酸薬の有効性を分析する滴定などの実験を行うことも考えられる。</p>



【学習のポイント】近年、一部のウイルス感染に対して抗ウイルス薬が開発されたが、他のウイルス感染に関しては依然として研究が行われている。

<p>D.5 抗ウイルス薬</p> <p>「科学の本質」(NOS)との関わり 科学的共同研究——科学コミュニケーションの近年の研究により、どのようにウイルスが体内に入り込むのかについての理解が深まっている。(4.1)</p>	<p>理解</p> <ul style="list-style-type: none"> ウイルスには細胞構造がないため、細菌よりも薬の標的とするのが困難である。 抗ウイルス薬には細胞の遺伝物質を変化させることによって、ウイルスがその遺伝物質を利用して増殖できなくなるものがある。また、宿主細胞内の酵素活性を阻害することによってウイルスの増殖を妨げるものもある。 <p>知識・スキルの活用</p> <ul style="list-style-type: none"> 抗ウイルス薬が作用するさまざまな方法を説明すること。 ウイルスと細菌の違いを説明すること。 インフルエンザウイルスに対する予防薬としてどのようにオセルタミビル(タミフル)とザナミビル(リレンザ)が作用するのか説明すること。 オセルタミビルとザナミビルの構造を比較すること。 エイズ(AIDS)問題を解決することに伴う難点を論じること。 <p>指導</p> <ul style="list-style-type: none"> オセルタミビルとザナミビルの構造はIB資料『化学資料集』の第37項に記載されている。 	<p>国際的な視野</p> <ul style="list-style-type: none"> 1980年代早期にエイズが発見されて以来、エイズの流行はどうに変化したか。エイズの蔓延を防ぐには何が必要か。この疾患が及ぼす世界的な影響は何か。 <p>自然や人間生活との関わり</p> <p>《シラバスや他科目との関連性》</p> <p>選択項目B.2、B.7——タンパク質と酵素 「生物」トピック11.1——予防接種</p> <p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> ねらい8：HIVのコントロールと治療は、抗レトロウイルス薬が高価であることと社会文化的な問題によって深刻化している。
--	--	--

【学習のポイント】 薬剤の合成、単離、投与は環境に影響を及ぼし得る。

D.6 一部の薬剤による環境への影響	
<p>「科学の本質」(NOS)との関わり</p> <p>論理的影響や危険性および問題点——科学コミュニケーションは患者に対する薬剤の副作用と環境に対する薬剤の開発や生産および使用の副作用(核廃棄物、溶媒、抗生物質の廃棄物の処理)の両方を考慮する必要がある。(4.8)</p>	<p>理解</p> <ul style="list-style-type: none"> 高レベル放射性廃棄物（HLW）は長期にわたって大量の電離放射線を発する廃棄物のことである。 低レベル放射性廃棄物（LLW）は短期に少量の電離放射線を発する廃棄物のことである。 微生物が抗生物質に対して抵抗性を示した場合、抗生物質に対する耐性が生じている。 <p>知識・スキルの活用</p> <ul style="list-style-type: none"> 環境に対する医療用核廃棄物処理の影響について説明すること。 使い残しの溶媒に関する環境問題について論じること。 不適切な薬の処分や動物廃棄物から生じる廃棄された抗生物質の危険性や抗生物質に対する耐性の形成について説明すること。 グリーンケミストリー（持続可能な化学）の過程の基本原則について論じること。 グリーンケミストリーがタミフル（オセルタミビル）の前駆体を開発するのにどのように用いられたのかについて説明すること。 <p>指導</p> <ul style="list-style-type: none"> オセルタミビルの構造はIB資料『化学資料集』の第37項に記載されている。
<p>「国際的な視野」</p> <ul style="list-style-type: none"> 製薬会社はどのように新薬を開発するための研究資金を費やす方法を決定するのか考査すること。 製薬会社には大きな財政的利益を得る見込みがない珍しい疾患に関する研究を行う責任があるか。 薬の製造には通常多くのさまざまな有機反応が含まれる。薬のデザイン（合成）に影響を与える道徳規範は何か。基準や方法は国や地域によって異なるか。 <p>「知の理論」(TOK)</p> <ul style="list-style-type: none"> 問題に対する解決策を立てようとしている際、互いに対立すると思われる倫理的問題をどのように釣り合わせるか。 <p>ねらい</p> <ul style="list-style-type: none"> ねらい8：どのように安全に医療用核廃棄物を処分するのか。 ねらい8：化学療法薬であるタキソールの原料であるタイヘイヨウイチイは絶滅の危機に瀕している。 ねらい8：溶媒の廃棄処分は大きな環境問題となりつつある。 	
<p>「化学」指導の手引き</p>	

H L 発展項目のトピック

【学習のポイント】 キラル補助基により、キラル分子の個々のエナンチオマーが生成できる。

D.7 タキソール——キラル補助基の事例研究	
「科学の本質」(NOS)との関わり 技術の進歩——天然物の多くは現在では需要を満たす十分な量を実験室で合成できる。 危険性と問題点——特定の薬の需要が薬を合成するのに必要な天然物の供給量を上回っている。 (3.7) (4.8)	理解 <ul style="list-style-type: none"> タキソールは複数種のがんの治療によく用いられる薬である。 タキソールはイチイに含まれる天然物であるが、現在では通常合成により製造されている。 キラル補助基は光学活性体で、一時的に有機合成に組み込まれるため、反応が非対称的に進み、単一のエナンチオマーが選択的に形成される。 知識・スキルの活用 <ul style="list-style-type: none"> タキソール(パクリタキセル)はどういうに入手され、化学療法薬としてどのように使用されるかについて説明すること。 目的とするエナンチオマーを形成するためキラル補助基が使用されることについて説明すること。 旋光計を用いて、エナンチオマーが同定されることについて説明すること。 指導 <ul style="list-style-type: none"> タキソールの構造はIB資料『化学資料集』の第37項に記載されている。
国際的な視野 <ul style="list-style-type: none"> 特定の薬や薬剤は世界各国で入手しやすさや流通量が異なる。 自然や人間生活との関わり 《シラバスや他科目との関連性》 トピック 20.2——合成経路 トピック 20.3——立体異性 ねらい • ねらい8：天然物の代わりに合成薬を用いることの倫理的影響を考察すること。 	

【学習のポイント】核放射線は、細胞に損傷を起こし、変異を引き起こす可能性があるため危険であるが、疾患の診断や治療にも用いられる。

D.8 核医学	
<p>「科学の本質」(NOS)との関わり</p> <p>危険性と有益性——放射線を用いた技術の有益性を考慮し、放射線への曝露の危険性を試し、比較することが重要である。(4, 8)</p>	<p>国際的な視野</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 治療における核技術の使用には世界各国で違いが認められる。文化、コスト、利用しやすさ、信用性はその使用に影響を及ぼし得る要因の一部である。 <p>「知識」(TO K)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ M.R.I. では「核」という言葉が省かれることが多い。名前は単に表示されているものか、もしくは他の知るために影響を及ぼすか。一般の人々の感じ方は科学の進歩や実現にどのような影響を及ぼすか。 <p>自然や人間生活との関わり</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 《シラバスや他科目との関連性》 ・ トピック 11.3、21.1——NMR ・ 選択項目 C.3、C.7——核反応と半減期 ・ 「物理」選択項目 C.4——医療画像 <p>知識・スキルの活用</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 放射線療法でよく見られる副作用について論じること。 ・ テクネチウム-99mはその半減期、放出の種類、化学に基づいて、医学で最もよく使用される放射性同位体である理由を説明すること。 ・ 放出される放射線の種類に基づいてルテチウム-177とイットリียม-90が放射線療法によく使用される同位体である理由を説明すること。 ・ アルファ粒子とベータ粒子が関与する核反応式の釣り合いをとること。 ・ 核の半減期の式を用いて特定の期間後に崩壊した放射性物質と残存している放射性物質の割合と量を計算すること。 ・ T.A.T. およびT.A.T. がどのように全身に広がった疾患の治療に用いられるのかについて説明すること。
5 「化学」指導の手引き	177

D.8 核医学
<p>指導</p> <ul style="list-style-type: none">よく見られる副作用として、脱毛、吐き気、疲労感、不妊について論じる必要がある。話し合いにはDNAに対する損傷や組織の増殖もしくは再生を含める必要がある。核医学で使用される同位体には Tc-99m、Lu-177、Y-90、I-131、Pb-212などがある。

【学習のポイント】さまざまな分析法が薬剤や薬の検出、同定、単離、分析に使用されている。

D.9 薬の検出と分析	
「科学の本質」(NOS)との関わり	計測器の進歩——技術(IR、MS、NMR) の進歩は薬の検出、単離、精製に有用である(3.7)
理解	<p>• 有機化合物の構造は赤外線分光法、質量分析法、プロトンNMRを用いて分析、同定できる。</p> <p>• 呼気中に含まれるアルコールは、酸化還元反応もしくは飲酒検知器という燃料電池式の器具を使用して検出することができる。</p>
知識・スキルの活用	<p>• 赤外分光法、質量分析法、プロトンNMRなど有機化合物の構造を決定するさまざまな分析スペクトルについて説明すること。</p> <p>• 有機物の抽出や生成過程について説明すること。分別蒸留、ラウールの法則、抽出の基となる性質について考察し、有機化合物の構造と溶解度の関係を説明すること。</p> <p>• クロマトグラフィーや質量分析を用いるスポーツにおけるステロイドの検出過程を説明すること。</p> <p>• 飲酒検知器を使用してどのようにアルコールが検出されるか説明すること。</p>
指導	<p>• 生徒には特定の化合物に含まれる一般的な官能基を薬の共通の構造を認識することでIR(IB資料『化学資料集』第26項)、「H NMR(IB 資料『化学資料集』第27項)、質量スペクトルの断片(IB 資料『化学資料集』第28項)から同定できるようになる必要がある。</p> <p>• 一般的なステロイドの構造はIB資料『化学資料集』の第34項に記載されている。</p>
<p>6 「化学」指導の手引き</p>	

ディプロマプログラムにおける評価

概要

評価は、指導および学習と一体化した要素です。DPでは、カリキュラム目標の達成を支援し、生徒に適切な学習を促すことを評価の最も重要なねらいとして位置づけています。

DPでは、学校外で実施されるIBによる外部評価(external assessment)、および内部評価(internal assessment)の両方が実施されます。外部評価のための提出課題はIB試験官が採点します。一方、内部評価のための評価課題は教師が採点し、IBによるモデレーション(評価の適正化)を受けます。

IBが規定する評価には次の2種類があります。

- ・「形成的評価」(formative assessment)は、「指導」と「学習」の両方に指針を与えます。生徒の理解と能力の発達につながるよう、学びの種類や、生徒の長所と短所といった特徴について、生徒と教師に正確で役立つフィードバックを提供します。また、形成的評価からは、科目のねらいと目標に向けての進歩をモニタリングするための情報が得られるので、指導の質の向上にもつながります。
- ・「総括的評価」(summative assessment)は、生徒のこれまでの学習を踏まえて、生徒の到達度を測ることを目的としています。

DPでは、主に履修期間の終了時または終了間近の生徒の到達度を測る総括的評価に重点が置かれています。ただし、評価方法の多くは、指導および学習期間中に形成的に用いることもできます。教師はそうした評価を実施するよう推奨されています。総合的な評価計画は、指導、学習およびカリキュラム編成と一体を成すものです。より詳しくは、IB資料『プログラムの基準と実践要綱』を参照してください。

IBが採用する評価アプローチは、評価規準に準拠した「絶対評価」です。集団規準に準拠した「相対評価」ではありません。この評価アプローチは、生徒の成果を特定の到達の度合いを示す基準に照らし合わせ、そのパフォーマンスを判断するものであり、他の生徒の成果と比較するものではありません。DPにおける評価について、より詳しくはIB資料(英語版)「*Diploma Program assessment: Principles and practice* (ディプロマプログラムにおける評価: 原則と実践)」を参照してください。

OCCでは、DPの科目のコースデザイン、指導、および評価の分野で教師を支援するための多様なリソースを入手できます。また、リソースをIBストア(<http://store.ibo.org>)で購入することもできます。試験問題の見本やマークスキーム(採点基準)、教師用参考資料、科目レポート、評価規準の説明など、その他の資料もOCCで取り扱っています。過去の試験問題やマークスキームはIBストアで購入できます。

評価方法

IBは複数の方法を用いて、生徒の成果を評価します。

評価規準

評価規準 (assessment criterion) は、オープンエンド型の課題に対して適用されます。各規準は生徒が身につけることが期待されている特定の能力に重点を置いています。評価目標は「何ができるべきか」を明確にし、評価規準は「どの程度よくできるべきか」を到達の度合いを示す基準に照らし合わせて測ります。評価規準を採用することで、個々のさまざまな解答の違いを識別することが可能となり、多様な解答を奨励することにつながります。

各規準には、どのような基準を満たすと特定のレベルに到達していると判断されるのかが詳細に説明されています。その説明は到達レベル別に段階的に並べられ、レベルごとに1つまたは複数の点数が設けられています。また、採点ではベストフィット(適合)モデルを用いて、各規準を個別に適用します。何点がその規準の満点となるかは規準の重要度に応じて異なる場合があります。各規準での得点を合計したものを、その課題に対する総合点とします。

マークバンド（採点基準表）

マークバンド（採点基準表）は、求められる学習成果の基準を一覧にまとめた表です。教師はマークバンドに照らし合わせて、生徒の到達度を判断します。規準ごとに、到達レベルに沿って段階的に到達の度合いを示す基準が並べられています。生徒の学習成果の違いを識別するために、各レベルの点数には幅をもたせてあります。個々の学習成果物について、どの点数をつけるかを確定するには、ベストフィット(適合)アプローチを用います。

マーカスキーム（採点基準）

この用語は特定の試験問題のために用意された分析的マーカスキーム（採点基準）のことと指します。分析的マーカスキームは、生徒の最終的な解答や、その他特定の種類の答案を要求する試験問題のために作成されます。これらは、各設問に対する総合点を生徒の解答の異なる部分についてどのように配分するかについて試験官に詳細な指示を与えるものです。このマーカスキームには、試験問題の解答で求められる内容や、評価規準をどのように適用するかについての手引きとなる採点のための注意事項などが含まれます。

採点のための注意事項

評価規準を用いて採点される評価要素には、「採点のための注意事項」(marking note)^{コンポーネント}がついている場合があります。採点のための注意事項は、設間に課されている特定の要件に対し、評価規準をどのように適用するかについて指針を示すものです。

受験上の配慮

国際バカロレア資格取得志願者で評価の際に配慮を必要とする志願者は、受験上の配慮を受けることができます。受験上の配慮を設けることで、さまざまなニーズをもつ志願者が最終試験を受験し、評価対象である知識や理解を身につけたかどうかを示すことができます。

IB資料『受験上の配慮の必要な志願者について』には、学習支援を必要とする志願者が受けられる、すべての受験上の配慮についての詳細が記されています。IB資料（英語版）『*Learning diversity within the International Baccalaureate programmes/Special educational needs within the International Baccalaureate programmes*（IBプログラムにおける学習の多様性／IBプログラムにおける特別な教育的ニーズ）』では、IBプログラムにおける多様な学習ニーズをもつ志願者についてのIBの基本方針を概説しています。受験の支障となり得る特別な事情のある志願者については、IB資料（英語版）『*General Regulations: Diploma Programme*（総則：DP編）』（2011年刊）および『DP手順ハンドブック』に対応の詳細が記されています。

学校の責任

学校は学習支援を必要とする志願者に対し、IB資料『受験上の配慮の必要な志願者について』および『*Learning diversity within the International Baccalaureate programmes/Special educational needs within the International Baccalaureate programmes*（IBプログラムにおける学習の多様性／IBプログラムにおける特別な教育的ニーズ）』に従って、平等に評価を受けるための配慮と妥当な調整を行わなければなりません。

評価の概要——標準レベル（SL）

2016年第1回評価

評価要素	配点比率 (%)	目標ごとのおよその配点比率 (%)		試験時間 (時間)
		1 + 2	3	
試験問題 1	20	10	10	$\frac{3}{4}$
試験問題 2	40	20	20	$1\frac{1}{4}$
試験問題 3	20	10	10	1
内部評価	20	評価目標 1、2、3、4に対応		10

評価の概要——上級レベル（H L）

2016年第1回評価

評価要素	配点比率 (%)	目標ごとのおよその配点比率 (%)		試験時間 (時間)
		1 + 2	3	
試験問題 1	20	10	10	1
試験問題 2	36	18	18	2 $\frac{1}{4}$
試験問題 3	24	12	12	1 $\frac{1}{4}$
内部評価	20	評価目標 1、2、3、4に対応		10

外部評価

答案は、各試験問題ごとに作成されたマーカスキーム(採点基準)に基づいて採点されます。

外部評価——標準レベル (SL)

試験問題 1

試験時間： $\frac{3}{4}$ 時間

配点比率：20%

満点：30点

- ・「SL・HL共通項目」に関する30問の多肢選択問題。そのうち約15問はHLと共通。
- ・「試験問題1」では、評価目標1、2、3についての到達度が測られる。
- ・電卓の使用は認められない。
- ・生徒には周期表が配布される。
- ・不正解の解答は減点されない。

試験問題 2

試験時間： $1\frac{1}{4}$ 時間

配点比率：40%

満点：50点

- ・「SL・HL共通項目」に関する短答式問題と論述式問題。
- ・「試験問題2」では、評価目標1、2、3についての到達度が測られる。
- ・電卓の使用は認められる(OCCの「Calculator(電卓)」セクションを参照)。
- ・学校の用意するIB資料『化学資料集』が配布される。

試験問題 3

試験時間：1時間

配点比率：20%

満点：35点

- ・「SL・HL共通項目」および「SL選択項目」に関する問題。
- ・セクションA：データに基づく問題1問と、実験スキルに関する複数の短答式問題。
- ・セクションB：1つの選択項目からの短答式問題と論述式問題。

- ・「試験問題3」では、評価目標1、2、3についての到達度が測られる。
- ・電卓の使用は認められる（OCCの「Calculator(電卓)」セクションを参照）。
- ・学校の用意するIB資料『化学資料集』が配布される。

外部評価の詳細——上級レベル（HL）

試験問題1

試験時間：1時間

配点比率：20%

満点：40点

- ・「SL・HL共通項目」および「HL発展項目」に関する40問の多肢選択問題。そのうち約15問はSLと共通。
- ・「試験問題1」では、評価目標1、2、3についての到達度が測られる。
- ・電卓の使用は認められない。
- ・生徒には周期表が配布される。
- ・不正解の解答は減点されない。

試験問題2

試験時間：2 1/4時間

配点比率：36%

満点：95点

- ・「SL・HL共通項目」および「HL発展項目」についての短答式問題と論述式問題。
- ・「試験問題2」では、評価目標1、2、3についての到達度が測られる。
- ・電卓の使用は認められる（OCCの「Calculator(電卓)」セクションを参照）。
- ・学校の用意するIB資料『化学資料集』が配布される。

試験問題3

試験時間：1 1/4時間

配点比率：24%

満点：45点

- ・「SL・HL共通項目」および「HL発展項目」に関する問題。
- ・セクションA：データに基づく問題1問と、実験スキルに関する複数の短答式問題。
- ・セクションB：1つの選択項目からの短答式問題と論述式問題。
- ・「試験問題3」では、評価目標1、2、3についての到達度が測られる。
- ・電卓の使用は認められる（OCCの「Calculator(電卓)」セクションを参照）。
- ・学校の用意するIB資料『化学資料集』が配布される。

内部評価

内部評価の目的

内部評価は授業と一体を成す要素であり、SLとHLのいずれのレベルの生徒も必ず取り組まなければなりません。内部評価課題では、筆記試験でのように時間の制限やその他の制約に左右されることなく、それぞれの興味を追い求めつつ、知識とスキルの活用を示すことができます。内部評価はできる限り通常の授業に織り込まれるべきであり、履修期間の終了後に別途実施されるべきではありません。

なお、内部評価の要件はSLとHLで共通です。本セクションは、教師用参考資料の内部評価のページと併せて読むようにしてください。

指導と「生徒本人が取り組んだものであること」の認証

内部評価のために提出される学習成果物は生徒自身が取り組んだものでなければなりません。しかし、学習成果物が「生徒本人が取り組んだものである」とは、生徒自身がタイトルやトピックを決め、教師からの支援を一切受けずに、独自に内部評価課題に取り組まなければならないということではありません。教師は、生徒が内部評価課題を計画する段階と取り組む段階で重要な役割を果たします。生徒に以下の点について確実に理解させるのは、教師の責任です。

- ・ 内部評価の対象となる課題についての要件
- ・ IBの動物実験に関する方針
- ・ 評価規準——評価課題を通じて、生徒は与えられた評価規準に効果的に取り組むべきであること

教師と生徒は内部評価課題について話し合わなければなりません。生徒がアドバイスや情報を得るために率先して教師と話し合うよう促してください。また、生徒が指導を求めたことで減点してはなりません。学習プロセスの一環として、教師は一度、草稿を読み、生徒にアドバイスします。教師はどのようにすれば生徒の取り組みの質を高めることができるかについて、口頭または文章でアドバイスしますが、一方で、草稿を編集したり、推敲したりすることは認められません。なお、この草稿の次に教師に提出されるものが最終的な学習成果物となります。

教師には、学問的誠実性に関連する概念、特に知的財産と生徒本人が課題に取り組むことについての基本的な意味と重要性をすべての生徒に確実に理解させる責任があります。教師は必ず、すべての評価課題が要件に沿って取り組まれていることを確認しなければ

なりません。また、内部評価課題が完全に生徒自身によるものでなければならないことを生徒に対して明確に説明しなければなりません。生徒同士の協働作業が許されている場合は、生徒に「協働」(collaboration) と、誤った目的や手段のために協調する「共謀」(collusion) の違いをきちんと理解させてください。

モデレーション（評価の適正化）、または評価のために I B に提出されるすべての学習成果物は、本当に生徒本人が取り組んだものであることを教師が認証しなければなりません。また、規則違反の事実またはその疑いがあつてはなりません。各生徒は学習成果物が自分自身のものであること、またそれが最終版であることを正式に認めなければなりません。生徒が正式に最終版を提出した後は、その学習成果物を撤回することはできません。生徒本人が取り組んだものであるかどうかの認証は、モデレーションのために I B に提出される学習成果物のサンプルに限らず、すべての生徒の学習成果物に求められます。より詳しくは、I B 資料『学問的誠実性』(2014 年刊)、『D P : 原則から実践へ』(2014 年刊)、および(英語版)『General regulations: Diploma Programme (総則:ディプロマ資格プログラム)』(2011 年刊) の関連項目を参照してください。

生徒本人が取り組んだものであるかどうかは、生徒と課題の内容について議論することと、次のいずれか（または 2 項目以上）を精査することを通じて確認します。

- ・ 生徒の最初の案
- ・ 記述課題の 1 回目の草稿
- ・ 引用・参考文献
- ・ 生徒自身が書いたものであることが確認されている他の課題との文体の比較
- ・ インターネット剽窃検知サービス (www.turnitin.com など) による課題の分析

同一の課題を、内部評価と「課題論文」(E E) の双方の要件を満たすものとして重複して提出することはできません。

グループ作業

各研究は、収集されたさまざまなデータや測定値に基づいた個人の作業です。理想的には、データ収集時にも、生徒は各自で作業することが望されます。場合によっては、収集されたデータや測定値がグループ実験から得られたものである場合があります。その場合、生徒は自分が使用するデータや測定値を自分自身で収集、測定していることが条件となります。「化学」では、場合によって、各生徒がそれぞれの分析を十分に行えるよう、グループ実験から得られたデータや測定値を組み合わせることもあります。この場合でも、各生徒は各自のデータを収集および記録し、どのデータが自分のものであるのかを明確に示せるようにしなければなりません。

また、研究とそれに関連するすべての作業は、生徒自身が取り組んだものであるべきだということを生徒に理解させるようにしてください。そのために、教師は、生徒が自分自身の学習に対して責任感をもつよう働きかけ、学びを主体的に自分自身のものとして受け入れて、自分自身の研究と作業に誇りをもつよう生徒を促すようにしてください。

時間配分

内部評価は「化学」におけるきわめて重要な要素です。S LとH Lのいずれにおいても、最終評価の20%を占めます。この配点比率を踏まえて、課題に取り組むのに必要な知識、スキル、理解の指導にあてる時間、および課題を進めるために必要な時間を配分する必要があります。

S L・H Lともに内部評価課題には、合計約10時間を割りあてることが推奨されています。この中には、以下の時間を含めるようにしてください。

- ・教師が生徒に内部評価の要件を説明する時間
- ・授業中に生徒が内部評価課題に取り組んだり、質問したりする時間
- ・教師と各生徒が話し合う時間
- ・課題に目を通し、進行状況を確認する時間、および生徒本人が取り組んだ課題であるかどうかをチェックする時間

安全要件と推奨事項

教師は、国または地域の安全ガイドラインに従う責任を負っています。安全ガイドラインの内容は国ごとに異なる場合があります。一方、以下に記載する安全ガイドラインにも留意してください。このガイドラインは、ラボラトリー・セーフティー・インスティテュート（L S I）が国際科学教育協議会（I C A S E）の安全委員会のために開発したものです。

安全と衛生の確保については、すべての関係者に基本的な責任があり、継続的に取り組まなくてはなりません。いずれのアドバイスも、地域的な文脈、さまざまな教育的文化的伝統、予算上の制約、各国の法体系を尊重するものです。

L S Iの「実験室安全ガイドライン」とは…

より安全な実験室にするための40の提案

最小限の出費で実現するための手順

1. 「環境安全衛生に関する方針」を策定し、文書化する。
2. 管理者、教師、スタッフ、生徒で構成される環境安全衛生委員会を組織し、環境安全衛生環境の諸課題について定期的に議論する会合をもつ。
3. 新任教職員と新入生の全員に環境安全衛生に関するオリエンテーションを行う。
4. 教職員と生徒が自分自身と他の人々の安全と衛生に注意するよう促す。
5. 安全対策に全教職員と全生徒が何らかの関わりをもつようにし、それぞれに具体的な責任をもたせる。
6. 安全遂行に対する教職員および生徒の意識を高める。
7. 全教職員に適切な安全マニュアルを読むことを求める。全生徒に学校の実験室安全ルールを読むことを求める。教職員と生徒に、それぞれマニュアルまたは

ルールを読んで内容を理解した上で、その手順に従い実践する旨の誓約書に署名させる。これらの誓約書は部門のオフィスにファイルして保存する。

8. 有害な状態や安全でない作業を特定して是正するために、断続的に実験室の抜き打ち点検を行う。生徒と教職員を安全衛生の模擬点検に参加させる。
9. 安全であるための方法を身につけることを、科学教育、自分の仕事および生活の不可欠かつ重要な部分として認識する。
10. 安全会議を定期的に開催し、点検結果を踏まえ、実験室での安全について全生徒および教職員が議論に参加するようする。
11. 危険を伴う実験、または潜在的な危険を伴う実験を行うときは、以下の点を確認する。
 - 何が危険か。
 - 間違った方向に進んだ場合に起こり得る最悪の事態は何か。
 - それらにどのように対処するか。
 - 危険にさらされるリスクを最小限にするために必要とされる作業、保護施設および設備は何か。
12. 事故や危険事例は、必ず報告の上、安全委員会による評価、安全会議での議論を行うよう求める。
13. 研究実験計画に関する事前の議論で安全衛生面の配慮事項を取り上げよう求める。
14. 絶対的な安全が確保されていない限り、実験を放置して、実験を行っている場所から離れないようする。
15. 実験室での単独での作業、およびスタッフメンバーに事前に知らせない状態での作業を禁止する。
16. 実験室内に限らず、自動車の管理や家庭生活などにも安全管理対策を適用する。
17. 実験室での可燃性液体の保管は、必要最小限のみとする。
18. 実験室での喫煙、飲食を禁止する。
19. 化学物質を保管する冷蔵庫に食べ物を保存させないようにする。
20. 火災、爆発、毒物汚染、化学物質の流出または揮発性物質の放出、感電、出血、感染などの緊急事態に対処するための計画を立て、訓練を行う。
21. 全作業領域で、整理整頓を行うよう求める。
22. 消防署、警察署、救急の緊急連絡先電話番号を、すべての電話機、または電話機のすぐ横に表示する。
23. 酸および塩基を別々に保管する。燃料と酸化剤を別々に保管する。
24. 不必要な量の化学物質の購入を避けるために化学物質の保管記録を作成する。
25. 危険を示すための警告を掲示する。
26. ドラフト内だけで行うべき実験や特に危険な物質を使う実験など、個々の実験のための具体的な作業方法を開発する。可能であれば、最も危険な実験はドラフト内で行うようする。

中程度の出費を伴う手順

27. 安全対策のために必要予算を割りあてる。
28. 実験室および化学物質を取り扱う場所では、常に適切な保護具を着用して目を保護するよう求める。
29. 保護メガネ、保護ゴーグル、フェイスシールド、保護手袋、白衣、ベンチトップシールドなどの個人用保護装備を適切に備える。
30. 各実験室に消火器、緊急シャワー、洗眼器、救急箱、防火用毛布、排煙装置を備え、毎月検査点検する。
31. 真空ポンプにガードを設置し、圧縮ガスシリンダを固定する。
32. 適切な救急装置を備えつけ、その使用方法を提供する。
33. 可燃性化学物質を保管するための防火保管庫を備える。
34. 安全に関する以下のような図書を中心として集めたライブラリーを設置する。
 - “Safety in School Science Labs (理科実験室の安全) ”, Clair Wood, 1994, Kaufman & Associates, 101 Oak Street, Wellesley, MA 02482
 - “The Laboratory Safety Pocket Guide (実験室安全ポケットガイド) ”, 1996, Genium Publisher, One Genium Plaza, Schnectady, NY
 - “Safety in Academic Chemistry Laboratories (大学化学実験室の安全) ”, ACS, 1155 Sixteenth Street NW, Washington, DC 20036
 - “Manual of Safety and Health Hazards in The School Science Laboratory (理科実験室の安全衛生ハザードマニュアル) ”, “Safety in the School Science Laboratory (理科実験室の安全) ”, “School Science Laboratories: A guide to Some Hazardous Substances (理科実験室：危険物ガイド) ” Council of State Science Supervisors (現在 L S I のみから入手可能)
 - “Handbook of Laboratory Safety (実験室安全ハンドブック) ”, 4th Edition, CRC Press, 2000 Corporate Boulevard NW, Boca Raton, FL 33431
 - “Fire Protection Guide on Hazardous Materials (危険物の火災予防ガイド) ”, National Fire Protection Association, Batterymarch Park, Quincy, MA 02269
 - “Prudent Practices in the Laboratory: Handling and Disposal of Hazardous Chemicals (実験室の用意周到な実践：危険化学物質の取り扱いと廃棄) ”, 2nd Edition, 1995
 - “Biosafety in the Laboratory (実験室のバイオセーフティ) ”, National Academy Press, 2101 Constitution Avenue, NW, Washington, DC 20418
 - “Learning By Accident (事故から学ぶ) ”, Volumes 1-3, 1997-2000, The Laboratory Safety Institute, Natick, MA 01760

(上記の図書は、すべて L S I から入手可能)
35. 化学物質を保管する冷蔵庫は、庫内から電気接続を取り除き、磁気で閉鎖するものにする。
36. すべての電気設備にアースを備え、必要に応じて漏電遮断機を設置する。

37. すべての化学物質に、物質名、危険の性質と程度、適切な取り扱い、保管責任者名を示すラベルをつける。
38. 化学物質の保管期限を管理し、保管期限切れの化学物質に関して再保管または廃棄するための仕組みをつくる。
39. 化学物質の廃棄について、合法で安全、かつ環境に配慮したシステムをつくる。
40. 化学物質の保管には、十分なスペースに、換気の良い、安全な保管庫を備える。



内部評価への評価規準の適用

内部評価には、多くの評価規準が設けられています。各評価規準には、学習成果物が特定のレベルに到達している場合にその成果物に見られる特徴を記述した「レベルの説明」と、それに対応する点数が明示されています。「レベルの説明」では、基本的に学習の成果として捉えられる肯定的な側面を判断基準として取り上げています。ただし、下位の到達レベルでは、達成できなかった点を判断基準としている場合もあります。

教師が SL および HL の内部評価課題を採点する際は、評価規準の「レベルの説明」に照らし合わせて判断しなければなりません。

- ・ 評価規準は、SL・HL 共通です。
- ・ ベストフィット（適合）モデルの考え方に基づき、「レベルの説明」から、生徒の到達レベルを最も適切に示す説明を見つけます。学習成果物に見られる到達度が規準に示されている要素によって異なる場合、補正するというのがベストフィット（適合）アプローチの考え方です。与えられる点数は、規準に照らし合わせた場合に、到達レベルのバランスを最も公正に反映するものでなければなりません。「レベルの説明」に挙げられている要素をすべて満たさなければ、その点数が得られないということではありません。
- ・ 生徒の学習成果物を評価する際、教師は、評価規準で学習成果物のレベルを最も的確に示している説明と一致するまで、各レベルの説明を読まなければなりません。学習成果物が 2 つの説明のちょうど中間にあたると見られる場合、両方の説明を読み直し、生徒の学習成果物をより適切に示す方を選ばなければなりません。

- ・ 1つのレベルに複数の点数が割りあてられている場合、生徒の学習成果物について、説明内容を達成している度合いが大きければ（学習成果物がその上のレベルに到達しそうな場合）、高い方の点数をつけます。説明内容を達成している度合いが小さければ（その下のレベルに近い場合）、低い方の点数をつけます。
- ・ 整数のみを用います。分数や小数を用いた点は認められません。
- ・ 教師は合格・不合格の線引きをするような考え方をせずに、各評価規準において、学習成果物を最も適切に表すレベルを判別することに専念しなければなりません。
- ・ 「レベルの説明」にある最上位レベルは、欠点のない完璧な学習成果を意味するではありません。基準は、生徒が最上位レベルに達することができるよう設定されています。その学習成果物が最上位レベルの説明内容にあてはまるのであれば、教師は最高点をつけことを躊躇してはなりません（最低点についても同様です）。
- ・ 1つの規準において到達レベルの高かった生徒が、他の規準においても到達レベルが高いとは限りません。同様に、1つの規準において到達レベルの低かった生徒が、他の規準においても到達レベルが低いとは限りません。教師は、生徒の全体的な評価からある特定の点数をその生徒の得点として想定するべきではありません。
- ・ 評価規準を生徒に示すことが推奨されています。

実習および内部評価

概要

内部評価の要件は、「生物」「化学」「物理」に共通です。内部評価は、最終評価の20%に相当し、科学的研究である「個人研究」が評価の対象となります。「個人研究」では、標準レベル（S L）、上級レベル（H L）のそれぞれのレベルに見合ったトピックを扱うようにしてください。

「個人研究」は、学校内の教師によって内部で評価され、IBによって外部的にその評価が適正化されます。S L・H Lともに24点満点で、共通の評価規準に照らし合わせて採点されます。

注：評価の対象として行われる研究はいずれも評価規準に照らし合わせて計画されなければなりません。

内部評価課題では、1つの科学的研究に約10時間かけて取り組みます。研究は、約6～12ページのレポートにまとめます。この長さを超える研究は、簡潔さに欠けるものとして、評価規準の「コミュニケーション」の項目において減点されます。

内部評価課題の評価規準は一般的なものであるため、観察実験を伴う研究では「生物」「化学」「物理」の多様なニーズを満たす幅広い実習活動を取り入れることが可能です。

生徒は研究に取り組むことで、「IBの学習者像」の要素の多くに取り組むことになります。「IBの学習者像」との具体的な関連性については、「『化学』の指導の方法」の章を参照してください。

取り組む課題は、複雑かつ履修している授業のレベルに見合ったものでなければなりません。また、はっきりとした目的のある研究課題リサーチエクエスチョンとそれに対する科学的な裏づけを伴うものでなければなりません。教師用参考資料の採点例を通じて、評価が厳正であること、そして、改訂前の「化学」で行われてきた課題の評価と同じ水準であることがわかるでしょう。

以下は、具体的な課題の取り組みの例です。

- ・実際に実験室で観察実験を行う。
- ・分析とモデル化で集計表を活用する。
- ・データベースからデータを抽出し、グラフによって分析する。
- ・集計表またはデータベースの作業と従来の観察実験型の研究を融合する。
- ・インタラクティブでオープンエンド型のシミュレーションを活用する。

取り組む課題によっては、関連性のある適切な定性的手法と定量的手法を組み合わせる場合も考えられます。

課題の取り組みには、これまでの「化学」の授業で行われてきたのと同様に、従来の実習を伴う観察実験型の研究も含まれます。実習を伴う観察実験型の研究に必要とされる内容の取り扱いの深さは、これまでの内部評価と変わりません。教師用参考資料に詳細が説明されています。また、実習の具体的な側面については、「指導の手引き」の「シラバスの内容」の関連項目で詳細に述べられているように、筆記試験で評価されます。

内部評価課題の評価規準は、SL・HL共通です。「主体的な取り組み」「探究」「分析」「評価」「コミュニケーション」の5つの評価規準があります。

内部評価の詳細

内部評価の構成

配当時間：10時間

配点比率：20%

- ・個人研究
- ・評価目標1、2、3、4に対応する。

内部評価の評価規準

新しい評価モデルでは、5つの評価規準を用いて、個人研究の最終レポートの評価を行います。それぞれの評価規準には以下の素点が割りあてられています。カッコ内は、合計に占める各評価規準の割合です。

主体的な取り組み	探究	分析	評価	コミュニケーション	合計
2 (8%)	6 (25%)	6 (25%)	6 (25%)	4 (17%)	24 (100%)

評価では、最終レポートを、レベルごとに記述された複数の指標に照らし合わせて判断します。多くのレポートは、複数の指標がある場合、特定の同一レベルに記述された複数の指標と一致しますが、そうでない場合もあります。また、すべての指標が常に見られるわけではありません。レポートに見られる特徴と一致する指標が、それぞれ異なるレベルにあることもあります。このような場合に対応するため、IBでは、採点にマークバンド（採点基準表）を用います。試験官と教師は、各評価規準に対してどの点数が適切かを決定する際に**ベストフィット(適合)アプローチ**を使います。

教師は、採点を始める前に、マークバンド（採点基準表）の利用方法に関する指示を読んでください。指示は、「指導の手引き」の「内部評価への評価規準の適用」に記載されています。教師用参考資料で取り上げられている採点例に完全に精通していることも欠かせません。評価規準で用いられる指示用語の正確な意味は、「指導の手引き」の「指示用語の解説」で説明されています。

主体的な取り組み

この評価規準では、生徒がどの程度、主体的に探究に取り組んだかについて評価します。主体的な取り組みは、さまざまな資質とスキルにおいて認めることができます。具体的には、個人的に関心をもっていることに取り組んだり、研究の計画、実施、またはプレゼンテーションにおいて、独自の思考を示すほか、創造性や主体性を発揮したりすることが挙げられます。

評点	レベルの説明
0	このレポートは、以下の基準に達していない。
1	<p>探究への主体的な取り組みを示す証拠が限定されており、レポートには、独自の思考、主体性、または創造性がほとんどない。</p> <p>研究で取り組んだ研究課題またはトピック（あるいはその両方）を選んだ理由に、個人的な重要性、関心、または好奇心が示されていない。</p> <p>研究の計画、実施、またはプレゼンテーションにおいて、自ら情報や考えを提示したり、主体的に取り組んだりしたことがほとんどかがえない。</p>
2	<p>探究への主体的な取り組みを示す証拠が明らかであり、レポートには、かなりの独自の思考、主体性、または創造性が含まれている。</p> <p>研究で取り組んだ研究課題またはトピック（あるいはその両方）を選んだ理由に、個人的な重要性、関心、または好奇心が示されている。</p> <p>研究の計画、実施、またはプレゼンテーションにおいて、自ら情報や考えを提示したり、主体的に取り組んだりしたことがうかがえる。</p>

探究

この評価規準では、「研究の背景となる科学的文脈を設定できたか」「明確で焦点を絞った研究課題を提示できたか」「D P のレベルに適切な概念と手法を用いているか」のそれについて、どの程度できたかを評価します。また、該当する場合には、この評価規準で、安全性、環境、および倫理的配慮に対する意識についても評価します。

評点	レベルの説明
0	このレポートは、以下の基準に達していない。
1～2	<p>研究トピックが特定され、ある程度、関連性のある研究課題が提示されているが、焦点が絞られていない。</p> <p>研究の背景となる情報が表面的、または関連性が限定的なため、研究の文脈についての理解を助けるものになっていない。</p> <p>研究方法について、収集されたデータの関連性、信頼性、および十分性に影響し得る重要な要素がほとんど考慮されていない。したがって研究方法は、研究課題を扱うのに非常に限られた程度にしか適切でない。</p> <p>研究方法に関連する重要な安全性、倫理、または環境の問題への意識が限定的であることがうかがえる。※</p>

評点	レベルの説明
3～4	<p>研究トピックが特定され、関連性のある研究課題が提示されているが、研究課題の焦点は十分には絞られていない。</p> <p>研究の背景となる情報は概ね適切で関連性があり、研究の文脈についての理解を助けるものとなっている。</p> <p>研究方法について、収集されたデータの関連性、信頼性、および十分性に影響し得る重要な要素の一部だけを考慮している。したがって研究方法は、研究課題に扱うのに概ね適切であるが限局的である。</p> <p>研究方法に関連する重要な安全性、倫理、または環境の問題をある程度意識していることがうかがえる。※</p>
5～6	<p>研究トピックが特定され、関連性のある研究課題が明確に提示されている。研究課題は、十分に焦点が絞られている。</p> <p>研究の背景となる情報は、十分に適切で関連性があり、研究の文脈についての理解を高めるものとなっている。</p> <p>研究方法について、収集されたデータの関連性、信頼性、および十分性に影響し得る重要な要素のすべて、またはほとんどすべてを考慮している。したがって研究方法は、研究課題を扱うのに非常に適切である。</p> <p>研究方法に関連する重要な安全性、倫理、または環境の問題を完全に意識していることがうかがえる。※</p>

※この指標は、該当する場合にのみ適用します。英語版教師用参考資料の採点例を参照のこと。

分析

この評価規準では、生徒が研究課題と関連づけ、結論を裏づけるために、データを選択、記録、処理、および解釈したことを見出す証拠が、レポートの中にどの程度、見られるかを評価します。

評点	レベルの説明
0	このレポートは、以下の基準に達していない。
1～2	<p>研究課題に対する妥当な結論の裏づけとなる、関連性のある生データが十分に含まれていない。</p> <p>ある程度の基本的なデータ処理が行われているが、妥当な結論を導くには不正確または不十分である。</p> <p>分析に関する測定値の不確かさの影響をほとんど考慮していないことがうかがえる。</p> <p>処理されたデータの解釈が不正確または不十分である結果、結論が正しくないかまたは非常に不完全である。</p>

評点	レベルの説明
3～4	<p>研究課題に対して簡単な結論、または部分的に妥当な結論の裏づけとなり得る、関連性はあるが不完全な定量的および定性的生データが含まれている。</p> <p>概して妥当な結論につながり得る適切かつ十分なデータ処理が行われているが、処理においてはかなり不正確で矛盾している。</p> <p>分析に関する測定値の不確かさの影響をある程度考慮していることがうかがえる。処理されたデータの解釈は、研究課題に対して概して妥当であるものの不完全または限定的な結論を導き出し得るものである。</p>
5～6	<p>研究課題に対する詳細で妥当な結論の裏づけとなり得る、十分に関連する定量的および定性的な生データが含まれている。</p> <p>適切かつ十分なデータ処理が行われている。そのデータ処理には、研究課題の結論を実験データと完全に一致する形で引き出すことを可能にするのに必要とされる正確さが備わっている。</p> <p>分析に関する測定値の不確かさの影響を十分かつ適切に考慮していることがうかがえる。</p> <p>処理されたデータの解釈は、間違いがなく、研究課題に対して完全に妥当で詳細な結論を導き出し得るものである。</p>

評価

リサーチクエスチョン
この評価規準では、研究課題および一般に受け入れられている科学的文脈に対して、研究および結果についての評価したことを示す証拠がレポートの中にどの程度、見られるかを評価します。

評点	レベルの説明
0	このレポートは、以下の基準に達していない。
1～2	<p>研究課題に関連しない結論、または提示されたデータによる裏づけのない結論が簡単に述べられている。</p> <p>結論を一般に受け入れられている科学的文脈と表面的に比較している。</p> <p>データの限界やエラーの原因など研究の長所と短所が簡単に述べられているが、実際の作業、または手順に関して直面した問題の説明に限定されている。</p> <p>研究を改善し、広げるための現実的で関連する提案がきわめてわずかに挙げられ、簡単に述べてられている。</p>
3～4	<p>研究課題に関連し、提示されたデータによって裏づけられた結論が詳しく述べられている。</p> <p>一般に受け入れられている科学的文脈とある程度関連性のある比較を踏まえて、結論が詳しく述べられている。</p> <p>データの限界やエラーの原因など研究の長所と短所が詳しく述べられており、結論の構築に関する方法論の問題※をある程度意識していることがうかがえる。</p> <p>研究を改善し、広げるための現実的で関連性のあるいくつかの提案が詳しく述べられている。</p>

評点	レベルの説明
5～6	<p>研究課題と全面的に関連し、提示されたデータによって十分に裏づけられた詳細な結論が詳しく述べられ、正当化されている。</p> <p>一般に受け入れられている科学的文脈と関連性のある比較を踏まえて、結論が正確に詳しく述べられ、正当化されている。</p> <p>データの限界やエラーの原因など研究の長所と短所が議論されており、結論の構築に関連する方法論の問題※を明確に理解していることがうかがえる。</p> <p>研究を改善し、広げるための現実的で関連性のある提案について議論されている。</p>

*英語版教師用参考資料の採点例を参照のこと。

コミュニケーション

この評価規準では、研究の焦点、プロセス、成果を効果的に提示および報告できたかどうかを評価します。

評点	レベルの説明
0	このレポートは、以下の基準に達していない。
1～2	<p>研究のプレゼンテーションは、不明瞭で、研究の焦点、プロセス、および成果を理解することが難しい。</p> <p>レポートは、うまく構成されておらず不明瞭である。研究の焦点、プロセス、および成果に関する必要な情報が欠けているか、あるいは一貫性のない状態、または整理されていない状態で提示されている。</p> <p>研究の焦点、プロセス、および成果の理解が不適切、または無関係な情報が入っているために曖昧である。</p> <p>専門用語および表現技法※に多くの間違いがある。</p>
3～4	<p>研究のプレゼンテーションは、明瞭である。間違いがあっても、研究の焦点、プロセス、および成果を理解することを妨げるようなものではない。</p> <p>レポートは、うまく構成されており明瞭である。研究の焦点、プロセス、および成果に関する必要な情報が入っており、理路整然と提示されている。</p> <p>レポートは、関連性があって簡潔であり、それによって研究の焦点、プロセス、および成果を速やかに理解できる。</p> <p>専門用語および表現技法が適切かつ正確である。間違いがあっても、理解を妨げるようなものではない。</p>

*例えば、グラフ、表、図のラベルの間違いや欠如、単位、小数の使用。参照および引用の問題については「学問的誠実性」を参照のこと。

なぜ「実習」を行うのか

内部評価課題の要件は研究活動に焦点を置いたものですが、さまざまなタイプの「実習」に生徒が取り組むことで、以下に挙げるような研究以外の目的を果たすことができます。

- ・理論的概念を説明、教育、および強化する。
- ・本質的に実際にやってみることが大事だという科学的研究の性質についての理解を促す。
- ・科学者がデータベースからの二次データを利用することについての理解を促す。
- ・科学者によるモデルの活用についての理解を促す。
- ・科学的方法論の利点と限界についての理解を促す。

実習を伴う学習活動

「実習を伴う学習活動」(P S O W : practical scheme of work)では、実習のカリキュラムを教師が計画します。また、「実習を伴う学習活動」は、生徒が取り組む研究すべてのまとめとしても位置づけられます。同じ科目のSLまたはHLを履修する生徒は、いくつかの研究活動で同じ研究に取り組むことができます。

対応するシラバスの範囲

実習内容は、SLおよびHLのシラバスの取り扱う範囲の学習の幅と深さに対応していることが望まれますが、シラバスのあらゆるトピックについて実習を行う必要はありません。ただし、「グループ4プロジェクト」および内部評価課題の「個人研究」には、全生徒が取り組まなければなりません。

「実習を伴う学習活動」の計画

教師は実習を伴う学習活動の計画を、下記に示される一定の要件に則って、自由に組み立てることができます。教師は、以下に基づいて実習を選択します。

- ・指導する科目、レベル(SL・HL)、および選択項目
- ・生徒のニーズ
- ・利用可能なリソース
- ・指導のスタイル

各活動は、広範な概念的理解が必要となる、いくつかの複雑な実験を含まなくてはなりません。全体的に、項目をチェックしたり、表に値を記入したりするだけの簡単な実験から成る活動は、生徒にとって適切な経験となりません。

教師は、オンラインカリキュラムセンター(OCC)のディスカッションフォーラムに参加したり、科目的ホームページにリソースを追加したりすることを通じて、実習のアイデアを共有することが奨励されています。

柔軟性

「実習を伴う学習活動」は、幅広い実習の取り組みに対応できる柔軟性があります。例えば、以下のような活動が可能です。

- ・ 短い実験、または数週間にわたるプロジェクト
- ・ コンピューターシミュレーション
- ・ 二次データのためのデータベースの利用
- ・ モデルの開発と利用
- ・ アンケート、ユーザー試験、および研究などのデータ収集課題
- ・ データ分析課題
- ・ フィールドワーク

実習の記録

「実習を伴う学習活動」に関する記録を『D P 手順ハンドブック』に収載されている実習活動報告書「4/PSOW」に記入します。モニレーション（評価の適正化）のために提出するサンプルには、クラスの「4/PSOW」のコピーを添付します。

実習のための時間配分

すべてのD P科目で推奨される総授業時間数は、S Lで150時間、H Lで240時間です。S Lの生徒は40時間、H Lの生徒は60時間を「実習を伴う学習活動」（提出物を書き上げる時間を除く）に費やすことが求められています。これらの時間には、「グループ4プロジェクト」のための10時間と、内部評価課題である「個人研究」のための10時間が含まれます。（サンプルをモニレーターに提出する提出期限の後、2～3時間に限り、研究活動を行うことができます。その時間は、「実習を伴う学習活動」の時間数として加算することができます）。

グループ4プロジェクト

「グループ4プロジェクト」は、DPの「理科」（グループ4）の科目を履修するすべての生徒が参加しなければならない学際的活動です。「理科」（グループ4）の異なる科目的生徒が共通のトピックまたは問題の分析に取り組むことを目的としています。このプロジェクトは、協働を経験する機会であることを重視し、活動の成果よりもむしろ活動のプロセスに力点を置いています。

多くの場合、学校内で1つの研究トピックに取り組みます。生徒が多数の場合には、いくつかの小さな班に分けることができます。各班に異なる科目を履修する生徒が交ざるようになります。班ごとに同じトピックを研究をしても、異なるトピックの研究をしても構いません。異なるトピックを研究する場合には、同じ学校にいくつかの「グループ4プロジェクト」が存在することになります。

「環境システムと社会」を履修する生徒は、「グループ4プロジェクト」に取り組む必要はありません。

「グループ4プロジェクト」について

「グループ4プロジェクト」は、「理科」（グループ4）の異なる科目を履修する生徒が科学的または技術的トピックに協働して取り組み、ねらい10に則して学問分野を横断する概念と知見を共有すること、つまり、「科学の学問分野間の関係性と他の知識分野への影響についての理解を深める」ことを可能にする協働活動です。プロジェクトは、実際の観察実験活動に基づくものでも、理論に基づくものでも構いません。また、異なる地域に所在する学校間の協働が奨励されています。

生徒は「グループ4プロジェクト」を通じて、科学技術の環境的、社会的、倫理的意味を理解します。また、科学研究の限界、例えば、適切なデータの不足やリソースの欠如を理解することもできます。研究の成果よりも、学際的な協力と科学的研究に含まれるプロセスに力点が置かれています。

科学技術に関するどのようなトピックに取り組むかの選択は自由ですが、プロジェクトは、「指導の手引き」に記されている「理科」（グループ4）のねらい7、8、および10に明確に取り組むものでなければなりません。

生徒がプロジェクトのすべての段階で、自分とは別の科目的生徒と協働することが理想的です。このため、選択されるトピックが科目別の要素に明確に分けられている必要はありません。しかし、実施計画上の理由から、学校によっては、科目別に「行動」の段階に取り組むことを選択する場合もあります（次の「プロジェクトの段階」を参照のこと）。

プロジェクトの段階

「グループ4プロジェクト」に割りあてられた10時間は、「実習を伴う学習活動」を行うために確保された授業時間の一部であり、「計画」「行動」「評価」の3つの段階に分けることができます。

計画

この段階は、プロジェクト全体にとってきわめて重要です。約2時間を割りあてます。

- ・「計画」の段階は、1回のセッション、または2～3回の短いセッションで構成することができます。
- ・この段階では、「理科」（グループ4）の生徒全員が集まって、中心的なトピックについてブレーンストーミングおよび議論を行い、アイデアと情報を共有することに取り組みます。
- ・トピックは、生徒自らが選択しても、教師が選択しても構いません。
- ・多数の生徒が関与する場合には、異なる科目を履修している生徒が混ざり合った班を2つ以上つくることが推奨されます。

取り組むトピックまたは問題を選択したら、「計画」の段階から「行動」「評価」の段階に移る前にどのような活動を行うのかを明確に定義しなければなりません。

具体的な進め方の例としては、特定の課題を自分たちで定義し、生徒がそれぞれ個別に、または班のメンバー同士で、トピックのさまざまな側面を研究するという方法が挙げられます。プロジェクトが実験に基づいたものになる場合、「行動」の段階で遅れが生じないように、この段階でどのような器具を使うかを特定します。他の学校と共同事業に取り組む場合は、この時点で連絡を取り合うことが重要です。

行動

「行動」の段階には、約6時間を割りあてます。通常の授業期間の1週間ないし2週間にわたって6時間を割りあてる形が考えられるほか、フィールドワークを含むような場合には、丸1日を確保する形も考えられます。

- ・生徒は、異なる科目を履修している生徒が混ざり合った班、または同じ科目を履修する生徒同士の班でトピックを研究します。
- ・「行動」の段階では協働しなければなりません。研究の知見は、班の他のメンバーと共有します。この段階では、実際の観察実験に基づいた活動で安全性、倫理、環境への配慮に注意を払うことが重要です。

注：「理科」（グループ4）で2科目を履修している生徒は、2つの異なる「行動」の段階を行う必要はありません。

評価

「評価」の段階には、2時間程度が必要となります。この段階では、生徒が、成功も失敗も含めて他の生徒と知見を共有することに力点が置かれます。どのようにして知見を共有するかは、教師が決定しても、生徒自身が決定しても、あるいは両者が決定しても構いません。

- ・ 1つの例としては、朝、午後、または夕方の時間をあてて、すべての生徒が個別に、または班ごとに簡単なプレゼンテーションを行うシンポジウムを開催することが挙げられます。
- ・ 別の方法としては、形式張らない形のプレゼンテーションを行うことが挙げられます。各班の活動をまとめた展示を見てまわる科学フェアの形式をとることもできます。

保護者や教育委員会のメンバー、報道機関をこうしたシンポジウムや科学フェアに招待することもできます。地域にとって重要な問題を研究した場合には、特に意味があるでしょう。得られた知見によっては、学校の環境や地域コミュニティーとの関わり方を変えることもあるかもしれません。

「ねらい7」と「ねらい8」への取り組み

ねらい7は、「科学を学ぶことを通じて21世紀のコミュニケーションスキルを身につけ、応用する」ことです。

ねらい7は、「計画」の段階でやりとりされる学校内、学校間の電子コミュニケーションという形で部分的に取り組まれているといえます。技術（データロギング、集計表、データベースなど）は、「行動」の段階で活用されるほか、「評価」の段階のプレゼンテーションでは確実に用いられます（例えば、デジタル画像、プレゼンテーションソフトウェア、ウェブサイト、デジタルビデオなどの利用）。

ねらい8は、「科学技術を用いることの倫理的意味について、グローバルな社会の一員として批判的な意識をもつ」ことです。

国際的側面への取り組み

プロジェクトでは、科学的試みの国際的な側面や、グローバルな諸課題に科学技術を用いて取り組むために協力関係がますます必要とされていること例証するようなトピックを選択することもできます。別の地域の学校と協働することで、プロジェクトに国際的側面をもたらせることもできます。

プロジェクトのタイプ

ねらい7、8、および10に取り組む一方で、プロジェクトは、科学またはその応用を扱ったものでなければなりません。プロジェクトは、実際の観察実験を伴うものでも、純粹に理論的な要素を取り上げたものでも構いません。以下に挙げるようなさまざまなタイプのプロジェクトを実施することが可能です。

- ・ 実験室での研究またはフィールドワークを計画実行する。
- ・ 別の学校と協働して比較研究（実験、またはその他）を実行する。
- ・ 科学学術誌、環境保護団体、科学技術関連企業や政府の報告書などの他のソースからデータを収集、操作、分析する。
- ・ モデルまたはシミュレーションを設計、または活用する。
- ・ 学校が組織する長期プロジェクトに貢献する。

実施方法

「グループ4プロジェクト」を組織することは、多くの学校にとって簡単なことではありません。以下のモデルは、プロジェクトを実施するための方法を説明しています。

モデルA、B、Cは、1校が単独でプロジェクトを行う場合の学校内での実施形態について、モデルDは、学校間の協働を含むプロジェクトに関するものです。

モデルA：異なる科目を履修する生徒の班と1つのトピック

学校は、異なる科目を履修する生徒で班を編成し、全班共通のトピックを1つ選択して取り組みます。班の数は、生徒数によります。

モデルB：異なる科目を履修する生徒の班と2つ以上のトピック

生徒数の多い学校は、2つ以上のトピックを選択することもできます。

モデルC：同じ科目を履修する生徒同士の班

実施計画上の理由で、学校によっては、同じ科目を履修する生徒同士の班を編成することを選び、「行動」の段階で1つまたは複数のトピックに取り組みます。このモデルは、多くの科学者が関わる異なる科目間の協働を体験することにならないため、あまり望ましくありません。

モデルD：他校との協働

どの学校も他校との協働に取り組むことができます。IBは、他校との協働を希望する学校のために、学校がプロジェクトのアイデアを投稿して他の学校との協働を募ることができる電子掲示板をOCC上に設けています。単に共通のトピックの「評価」を共有す

ことから、すべての段階で全面的に協働するものまで、さまざまな形態の協働が可能です。

D P の生徒（D P の科目履修生含む）が少ない学校については、D P を履修していない生徒、またはD P の「理科」（グループ4）の科目を履修していない生徒と協働することや、隔年でプロジェクトを実施することが可能です。一方、こうした学校は、他校と協働することが奨励されます。この方法は、例えば、病気や、プロジェクトをすでに実施してしまった学校へ転入したりしたために、プロジェクトに参加できなかった生徒がいる場合にも推奨されます。

実施時期

I B が「グループ4プロジェクト」に割りあてるよう推奨する10時間を、数週間にわたって分散させることも可能です。プロジェクトを実施するのに最適な時期を選択する際には、どのように時間を分散させるかを考慮する必要があります。ただし、すべての他の学習活動、または他の学習活動のほとんどを中断する場合には、プロジェクトの作業のためだけに一定の期間を費やすことができます。

1年次に実施

D P の1年次には、生徒の経験とスキルが限られている場合があるため、1年次の開始後すぐにプロジェクトを始めることは推奨できません。ただし、1年次の最終段階でプロジェクトを実施すると、その後の生徒の負担を軽減できるという利点があります。また、この方法では、予期しない問題が生じた場合に解決するための時間を与えます。

1年次から2年次にかけて実施

1年次の最後に、「計画」の段階を開始し、トピックを決定し、個々の科目で事前の議論を行うことができます。生徒は、どのようにプロジェクトに取り組むかについて休みの期間を使って考えることができます。2年次の初めには作業を開始できます。

2年次に実施

2年次のある時点までプロジェクトの開始が遅れた場合、特に遅すぎる場合には、さまざまな面で生徒への負担が増します。例えば、他の方法を選択した場合に比べて作業スケジュールに余裕がありません。生徒の誰かの病気や予期せぬ問題などがさらなる困難を引き起こす可能性もあります。一方、2年次に実施する場合、生徒はこの時点までにお互いのことや教師のことをよく知るようになっているため、チームでの作業にも概ね慣れています。また、1年次で実施するよりも関連分野での経験が深まっているといえます。

S LとH Lの合同で実施

諸般の事情によりプロジェクトが隔年で実施される場合、H Lの1年次の生徒とより経験を積んだS Lの2年次の生徒が合同でプロジェクトに取り組むことも考えられます。

トピックの選択

生徒はトピックを選択したり、提案したりすることができます。教師はリソース、プロジェクトに関わることのできるスタッフの体制などに基づいて、どのトピックが最も実行可能性が高いかを決定します。反対に、教師がトピックを選択したり、提案したりするいくつかのトピックの中から、生徒が特定のトピックを選択することも考えられます。

生徒がトピックを選択する場合

生徒は、自分自身が選択したトピックである場合、そのトピックをより深く自分のものとして捉え、より熱心に取り組むものです。生徒がトピックを選択する際（「計画」の段階の一部も含む）には、以下のような方法をとることが考えられます。この時点で、各科目の担当教師は、提案されたトピックの実現可能性についてアドバイスすることができます。

- ・ 生徒にアンケートを実施して、トピックの候補を特定する。
- ・ 可能性のあるトピック、または問題について、最初のブレーンストーミングセッションを行う。
- ・ 興味深そうな2～3のトピックについて簡単に議論する。
- ・ 総意に基づいて1つのトピックを選択する。
- ・ 生徒は、候補となる実行の可能な研究のリストを作成する。次に、生徒全員で、重複や連携研究の可能性についてなどの問題を論じます。

「グループ4プロジェクト」への参加について、各生徒は簡単な「振り返り」の記録を内部評価研究用のカバーシートに記入しなければなりません。詳細は『D P手順ハンドブック』を参照してください。

指示用語の解説

「化学」のための指示用語

生徒は、試験問題で用いられる次の重要な用語や表現に習熟する必要があります。それぞれの意味は以下に示すとおりです。試験問題には、これらの用語が用いられます、それ以外の用語を用いて、生徒に考えを述べるよう求める場合もあります。

指示用語は、対象の取り扱いについての深さを示します。

評価目標 1

指示用語	意味
分類しなさい Classify	種類またはカテゴリーごとに並べ替え、整理しなさい。
定義しなさい Define	語句、概念、または物理量の正確な意味を述べなさい。
描きなさい、 図示しなさい Draw	鉛筆を用いて、名称がつけられた正確な図またはグラフとして表しなさい。直線には直定規を用いること。図表は一定の縮尺で描きなさい。グラフは（該当する場合）正確に点を書き入れ、直線または滑らかな曲線でつなぎなさい。
名称をつけなさい Label	図表に名称をつけなさい。
列挙しなさい List	説明をつけ加えずに、簡潔な答えを並べなさい。
測定しなさい Measure	数量値を求めなさい。
述べなさい State	説明または計算することなしに、特定の名称、数値、またはその他の簡潔な答えを示しなさい。

評価目標 2

指示用語	意味
注釈しなさい Annotate	図表やグラフに簡単な説明をつけなさい。
応用しなさい Apply	与えられた問題または課題との関連において、考え、公式、原理、理論、または法則を用いなさい。
計算しなさい Calculate	作業の過程を適切に示しながら、答えとなる数値を求めなさい。
詳しく述べなさい Describe	詳細に述べなさい。
区別しなさい Distinguish	2つまたはそれ以上の概念または事柄の相違点を明確にしなさい。
概算しなさい Estimate	およその値を求めなさい。
定式化しなさい Formulate	関係ある概念、または議論を正確に、また系統立てて表現しなさい。
特定しなさい Identify	数ある可能性の中から答えを確定させなさい。
簡単に述べなさい Outline	簡潔な説明または要点を述べなさい。

評価目標 3

指示用語	意味
分析しなさい Analyse	本質的な要素または構造を明らかにするために分解しなさい。
コメントしなさい Comment	与えられた記述または計算結果に基づき、見解を述べなさい。
比較しなさい Compare	2つ（またはそれ以上）の事柄または状況の類似点について、常に双方（またはすべて）について言及しながら、説明しなさい。

指示用語	意味
比較・対比しなさい Compare and contrast	2つ（またはそれ以上）の事柄または状況の類似点および相違点について、常に双方（またはすべて）について言及しながら、説明しなさい。
作成しなさい Construct	図表形式または論理形式で情報を示しなさい。
推論しなさい Deduce	与えられた情報から結論を導き出しなさい。
論証しなさい Demonstrate	具体例や実際の応用例を挙げながら、推論または根拠に基づいて明らかにしなさい。
導き出しなさい Derive	数式を操作し、新しい方程式または関係式を導き出しなさい。
設計しなさい Design	設計図、シミュレーション、またはモデルをつくりなさい。
決定しなさい Determine	考えられる唯一の答えを求めなさい。
論じなさい Discuss	さまざまな議論、要因、仮説を考慮し、バランスよく批評しなさい。意見または結論は、適切な根拠を挙げて、はっきりと述べなさい。
評価しなさい Evaluate	長所と短所を比較し、価値を定めなさい。
考察しなさい Examine	論点の前提や相互関係が明らかになるように、議論または概念について考えなさい。
説明しなさい Explain	理由や要因などを詳しく述べなさい。
探究しなさい Explore	系統立てて論拠を示しなさい。
解釈しなさい Interpret	与えられた情報から傾向をつかんで結論を引き出すため、知識と理解を用いなさい。
正当化しなさい Justify	答えや結論を裏づける妥当な理由や根拠を述べなさい。
予測しなさい Predict	予想されている結果を示しなさい。

指示用語	意味
示しなさい Show	計算や微分の過程を示しなさい。
略図を描きなさい Sketch	(必要に応じて名称をつけ) 図表またはグラフで表しなさい。略図は、求められる形または関係の概観を示し、特徴を表したものでなければなりません。
解きなさい Solve	代数、計算、グラフのいずれか、またはいずれかの組み合わせを用いて答えを求めなさい。
提案しなさい Suggest	解決策、仮説、またはその他の考えられる答えを示しなさい。

参考文献

以下の資料は、『「化学」指導の手引き』（2016年第1回試験）の刊行に伴う改訂に用いた主な参考文献です。入手可能な文献をすべて網羅したものではありません。教師にとって特に役立つと思われるものを取り上げています。なお、以下は、教科書として推薦する図書のリストではありません。

- Rhoton, J. 2010. *Science Education Leadership: Best Practices for the New Century*. Arlington, Virginia, USA. National Science Teachers Association Press.
- Masood, E. 2009. *Science & Islam: A History*. London, UK. Icon Books.
- Roberts, B. 2009. *Educating for Global Citizenship: A Practical Guide for Schools*. Cardiff, UK. International Baccalaureate Organization.
- Martin, J. 2006. *The Meaning of the 21st Century: A vital blueprint for ensuring our future*. London, UK. Eden Project Books.
- Gerzon, M. 2010. *Global Citizens: How our vision of the world is outdated, and what we can do about it*. London, UK. Rider Books.
- Haydon, G. 2006. *Education, Philosophy & the Ethical Environment*. Oxon/New York, USA. Routledge.
- Anderson, LW et al. 2001. *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives*. New York, USA. Addison Wesley Longman, Inc.
- Hattie, J. 2009. *Visible learning: A synthesis of over 800 meta-analyses relating to achievement*. Oxon/New York, USA. Routledge.
- Petty, G. 2009. *Evidence-based Teaching: A practical approach (2nd edition)*. Cheltenham, UK. Nelson Thornes Ltd.
- Andain, I and Murphy, G. 2008. *Creating Lifelong Learners: Challenges for Education in the 21st Century*. Cardiff, UK. International Baccalaureate Organization.
- Jewkes, J, Sawers, D and Stillerman, R. 1969. *The Sources of Invention (2nd edition)*. New York, USA. W.W. Norton & Co.
- Lawson, B. 2005. *How Designers Think: The design process demystified (4th edition)*. Oxford, UK. Architectural Press.
- Douglas, H. 2009. *Science, Policy, and the Value-Free Ideal*. Pittsburgh, Pennsylvania, USA. University of Pittsburgh Press.
- Aikenhead, G and Michell, H. 2011. *Bridging Cultures: Indigenous and Scientific Ways of Knowing Nature*. Toronto, Canada. Pearson Canada.

- Winston, M and Edelbach, R. 2012. *Society, Ethics, and Technology (4th edition)*. Boston, Massachusetts, USA. Wadsworth CENGAGE Learning.
- Brian Arthur, W. 2009. *The Nature of Technology*. London, UK. Penguin Books.
- Headrick, D. 2009. *Technology: A World History*. Oxford, UK. Oxford University Press.
- Popper, KR. 1980. *The Logic of Scientific Discovery (4th revised edition)*. London, UK.
- Hutchinson. Trefil, J. 2008. *Why Science?*. New York/Arlington, USA. NSTA Press & Teachers College Press.
- Kuhn, TS. 1996. *The Structure of Scientific Revolutions (3rd edition)*. Chicago, Illinois, USA. The University of Chicago Press.
- Khine, MS, (ed). 2012. *Advances in Nature of Science Research: Concepts and Methodologies*. Bahrain. Springer.
- Spier, F. 2010. *Big History and the Future of Humanity*. Chichester, UK. Wiley-Blackwell.
- Stokes Brown, C. 2007. *Big History: From the Big Bang to the Present*. New York, USA. The New Press.
- Swain, H, (ed). 2002. *Big Questions in Sciences*. London, UK. Vintage.
- Roberts, RM. 1989. *Serendipity: Accidental Discoveries in Science*. Chichester, UK. Wiley Science Editions.
- Ehrlich, R. 2001. *Nine crazy ideas in science*. Princeton, New Jersey, USA. Princeton University Press.
- Lloyd, C. 2012. *What on Earth Happened?: The Complete Story of the Planet, Life and People from the Big Bang to the Present Day*. London, UK. Bloomsbury Publishing.
- Trefil, J and Hazen, RM. 2010. *Sciences: An integrated Approach (6th edition)*. Chichester, UK. Wiley.
- ICASE. 2010. *Innovation in Science & Technology Education: Research, Policy, Practice*. Tartu, Estonia. ICASE/UNESCO/University of Tartu.
- American Association for the Advancement of Science. 1990. *Science for all Americans online*. Washington, USA. <http://www.project2061.org/publications/sfaa/online/sfaatoc.htm>.
- The Geological Society of America. 2012. *Nature of Science and the Scientific Method*. Boulder, Colorado, USA. <http://www.geosociety.org/educate/naturescience.pdf>
- Big History Project. 2011. *Big History: An Introduction to Everything*. <http://www.bighistoryproject.com>
- Nuffield Foundation. 2012. *How science works*. London, UK. <http://www.nuffieldfoundation.org/practical-physics/how-science-works>
- University of California Museum of Paleontology. 2013. *Understanding Science*. Berkeley, California, USA. 1 February 2013. <http://www.understandingscience.org>.
- Collins, S, Osborne, J, Ratcliffe, M, Millar, R, and Duschl, R. 2012, *What 'ideas-about-science' should be taught in school science? A Delphi study of the 'expert' community*. St. Louis, Missouri, USA. National Association for Research in Science Teaching (NARST).

TIMSS (The Trends in International Mathematics and Science Study). 1 February 2013. <http://timssandpirls.bc.edu>.

PISA (Programme for International Student Assessment). 1 February 2013. <http://www.oecd.org/pisa>.

ROSE (The Relevance of Science Education). 1 February 2013. <http://roseproject.no/>.