

化学教育における社会人基礎力等の育成に寄与する教材開発と実践

－生徒の人生を豊かにするための理科教育実践－

みなみ かつひと
南 勝仁

抄録：教科の単元習得だけでなく、これからの社会を豊かに生き抜くための資質・能力の育成にも重点をおいた教材の開発を試みた。決まった答えのある単なる単元理解のみをめざした教育だけでは、生徒は Society 5.0 や VUCA といわれているこれからの時代を、豊かには生き抜くことはできないと考える。それを可能にするためには、答えのない問題に挑戦することや、現象から法則性を見出し、それを目的に合わせて活用する力など Engineering な能力の育成も重要だと考える。今回は、経済産業省が出している「社会人基礎力」に示される資質・能力の「考え抜く力」の観点を軸に、高校化学において、それらの資質・能力の向上に寄与できる教材の開発と実践、および評価方法の模索を試みた。まだまだ試行錯誤の段階ではあるが、ここに現在の成果を報告する。余談ではあるが、授業実践の項目においては、読者の皆様にも生徒目線で体験していただけるように記してあるので、考えながら一読いただければ幸甚である。

キーワード：化学教育，高校理科，非認知能力，社会人基礎力，実験教材，授業実践

I. はじめに

今、これを読んでいただいている方々は、ほとんどが社会人の方であろう。さて、恐れながらも社会人の皆様におききたい。「社会で活躍するために必要な資質・能力」とはなんだと考えますか？その資質・能力はどこで、どのようにして身につけることができましたか？また、どのような考え方が重要でしょうか？当然ながら、このような問いを日本の高校生が考えることはほとんどないのではないかと思う。しかしながら、高校生は早ければ卒業後すぐに、または数年後にその問いや考え方と向き合わなくてはならない。さらに、今後も続く世界のより大きな変化を考えたとき、生徒たちが「人生をより豊かに生き抜くための資質や能力」も高等学校において伸ばすべき学力の重要な要素だと考えられる。

今後起こりうる変化として、現在、AIなどの科学技術の発展や人口変化などから働き方や日常生活が大きく変化することが考えられる。特に人口オーナス期とよばれる労働人口の減少が進むことによって、働き方が、決まった業務や作業をこなす「タスク型」から、部門を超えた俯瞰力や海外からの労働者の増加等も含めた多様な人との協働力など、一人一人により多様な働き方が求められる「プロジェクト型」というスタイルへと、今まで以上に大きく変化しつつある。加えて、今後も新たな感染症の蔓延や異常気象などへの即時的な対応力や判断力も必要になると考えられる。私自身、教員になる前に民間企業での勤務経験があり、教育現場において強くその必要性を感じている。現在の学校現場では、暗記型・パターン化学習を脱するアクティブラーニングなどの活用が進んでいるが、私の実感としては単元理解を効果的にすることを意図したものが多く、さらに先を見据えた資質・能力の意図的な育成の支援についての実践はそれほど多くはない。加えて、その客観的な評価方法の実践例も少ないと感じている。

2022年度より実施される高等学校の新学習指導要領においても、育成すべき資質・能力として知識・技能だけでなく「学びに向かう力・人間性等」「思考・判断・表現力」も重視されている。本研究では、そこに2006年に経済産業省から示された「社会人基礎力」という観点を組み込み、意図的にそれらの資質・能力の育成を支援する教材と評価方法の開発に取り組んだ。また、将来に向けて、大きな進路選択を迫られる高校生にとって、偏差値には表れない自身の様々な資質・能力をメタ認知できることは、より最適なキャリアプランを考えることにも効果的ではないかと考える。

社会人基礎力の項目

「考え抜く力（問題発見力・計画力・創造力）」

「チームで働く力（発信力・傾聴力・柔軟性・情報把握力・規律性・ストレスコントロール）」

「前に踏み出す力（主体性・働きかけ力・実行力）」

まずは、昨年度の本校教育研究会で発表した授業実践を例に示し、そのあと様々な実践例とその意図についても示していきたい。今回報告する実践は、「本校だからできるが、他校では難しい」ものではないということもご理解いただきたい。教育研究会の内容は別として、教材を新たに0から作る必要はないと考えている。これまでの教材の切り口を、各学校の実状に即して少し変えるだけで可能であることもⅢ.においてご理解いただければと思う。ここで報告する内容とまったく同じことの実践をおすすめしたいのではなく、生徒の人生を支援するための授業に対する「考え方」や「工夫の仕方」を知っていただき、それらを実践のための参考に少しでもしていただければ幸いである。

Ⅱ. 2020年度の本校本教育研究会で発表した授業の概要について

様々な授業実践を示す前に、まずは2020年度の本校本教育研究会で発表した授業実践について示しておく。ここでは、教科書ではあまり触れられていない科（化）学史を活用して、生徒の「考え抜く力」を育成するための授業実践を試みた。

1. 単元 化学基礎「化学変化の量的関係」（高1）
2. テーマ 化学史のエッセンスを活用した「考え抜く力」の育成
3. 理論と概要

まずは科（化）学史と化学教育の変遷・課題について述べ、その上で本授業の意図を示す。

（1）科学教育への科学史の活用例

科学史の活用方法には「直接的活用」と「間接的活用」がある。直接的活用とは、科学の本質理解や、動機付け、または興味・関心を喚起するために、授業で科学史上の実験・観察をさせることや、導入やまとめに用いるなどである。間接的活用とは、授業では用いないがバックグラウンドとして教員が理解しておくことや、指導過程の再検討、教材の欠陥を見出すなどである。今回の授業では、主に直接的活用として科学史を用いた。

（2）科学史教育の導入の歴史とその衰退

20世紀初め、フランスの科学者ポール・ラグランジュ（1904年）が初めて科学教育に科学史を導入する方法を積極的に提唱した。その後、アメリカではアメリカ化学会会長エドガ・ファース・スミス、ハーバード大学学長ジェイムズ・コナント、化学史家のバーナド・ジャッフェらがその必要性を論述した。日本においても著名な化学教育者である山岡望は、化学・化学史・化学教育を結合する「三位一体」の原則を堅持した（日本政府の奨励を受けた）。1960年のアメリカでは26州にわたる100以上の学校において、「HOSC（科学史事例）教育法」の試行を開始し、すぐれた成果を挙げた。日本においても、1982年から高等学校に科学史の選択課程を開設した²⁾。2003年には「理科基礎」で科学史教育の要素が残されたが、2012年の学習指導要領改訂により廃止された。「科学と人間生活」という科目に理科基礎や総合理科の内容が落とし込まれたが、科学と日常生活のつながりに重点がおかれ、科学史の要素はほぼないように思われる（物理基礎・物理には史的アプローチはある）。

（3）「化学における化学史活用の衰退」と「本授業の仮説と意図」

化学において科学史教育が教材としての利用が縮小した理由として次の 3 点があると考えた。

- 〔i〕入試に必要とされる科目において、科学史の要素は不要であること。例えば、面白さはあるとすれども、質量保存則や原子論等の「理論を思考のツール」として習得する上では、それまでの過程や背景はなくても問題がない。過去の資料の正確性への指摘もある 3)。
- 〔ii〕学力低下への対策なども含め現行の標準単位数では余裕のある授業時間数の確保が難しいため、必須ではない要素は省かざるを得ないことも考えられる。
- 〔iii〕「科学史」が教員免許に必須ではなく、開設（研究）している大学も少ないため、そもそも対応できない教員が多くなっていることも考えられる。

しかしながら、無駄を省いた詰め込み式の教育や出口保証に特化した受験指導中心の教育だけでは、育ちにくい能力もあると考える。我々の使命は、単元修得はもちろんのこと、生徒のこれからの人生をより豊かにするために必要な資質・能力を伸ばすこともその 1 つであると私は考える。経産省の打ち出している「社会人基礎力」に則っていうならば「考え抜く力」もその 1 つではないだろうか。考え抜く力には「問題発見力」「計画力」「創造力」というものがあり、現在重視されている探究的な活動やSSHなどがその能力の育成にも寄与している。そのような力は、進路を切り開く力や『答えのない』社会や激変するこれからの社会を泳ぎぬく力の 1 つであろう。

科学史は研究者たちの質の高い探究活動の記録でもあり、それらを追体験することで、探求的な学習の補助となりえるのではないか。教科教育においてもそれらの能力を伸ばすための 1 つのエッセンスとして科学史を用いることはできないかと考えた。

ただ、科学史の追体験は当たり前であるが過去の体験である。そのため、結果をすでに知っている場合にはその効果が弱くなることと現在の見方・考え方との齟齬が生じることも十分に考えられる（例えば、時代での前提条件の違いなど）。そのため、そのまま用いるのではなくその一部のエッセンスを学習内容と融合させるという試みをしたいと考えた。あえて Classical なものを ICT や現在の課題等でより Sustainable なものにするという挑戦でもある。

4. 本授業のねらいと概要

本授業において、「考え抜く力（問題発見力・計画力・創造力）」の育成をはかる。特に、問題を論理的に発見する方法やその問題の解決案を考え、表現する方法を経験し、学ぶことがねらいである。

扱う題材は「フロギストン説」である。18 世紀のヨーロッパにおいて、様々な化学現象に対して乱雑していた解釈（錬金術的な解釈や哲学的・形而学的・思弁的な解釈など）を質量保存則や命名法、元素の概念、新たな燃焼の理論などで体系化させ、今日の化学へとつなげたラヴォアジエの偉業の一部を用いる。簡単に言えば、「フロギストン説の反証」が本授業の概要である。フロギストン説はそれなりに有名であるため、授業内ではフロギストンという言葉は用いない。用いない理由は 2 つあり、1 つは 4. で述べた既知生徒への対応のため。もう 1 つは、授業にエッセンスとして落とし込むために、少し定義を変えていることである。この観点はラヴォアジエの化学命名法（コンディヤックの精神）とつながるがそれはおいておく。授業形式はプロジェクト型学習であり、『教員が新たな理論（現代版？フロギストン説）を提唱し、生徒はその理論を既習の知識と与えられた条件から分析し、是非を考える。思弁的ではなく、それを実験的に証明し、考えを他者視点で論証し、評価し合うという形式』である。その過程は、18 世紀にラヴォアジエらが確立した化学研究のあり方でもある。論証においては、条件として「元素の概念を用いない」などを設け、1 年生の課題点の 1 つと考えている『協働における「共通言語」と「共通認識」の観点』についても実践的に学んでもらえるようにしている。教科教育では共通言語があり、共通認識が可能だが、一般社会では共通言語に対して共通認識ができていないことで問題が生じるケースが多い。行事等の目標設定などもそうであろう。言葉の正しい定義の重要性は、この後の酸・塩基の単元へと引き継がれる。題材の史的背景については、生徒の論証後に参考程度に伝える。

授業の展開

過程	生徒の学習活動	教員の活動	指導上の留意点
第1時	(班ごと) 理論の分析・実験計画 〔教材①②配付〕 教員（提唱者）との議論 Google driveの確認 ワークシート記入・提出	前時の確認 新理論の提唱・演示実験・問題提起 机間巡視と議論 ワークシート回収	作業時の机間巡視では、指摘ではなく「問い」で考えさせ、的外れすぎるときは同方法で修正する。 多少の失敗はさせる。
第2時	計画をもとに実験 iPadなどでの撮影 発表準備 Google driveへの保存	机間巡視	危険予測・諸注意。 危険な操作に気づけるように全体を見ることを重視。 全ての班の実験が終わってから、準備内容を見て回る。
第3時	各班3分以内で論証発表 (時間がなかったので、質疑応答・議論は割愛した) 評価シート（生徒用）で記録・評価 発表・評価シート提出	タイムキーパー 評価シート（教員用）記録 最後に端的に言及（条件を満たした論証か？反例の提示など。） 発表・評価シート回収	最初に 「単なる発表ではなく、論証者（教員）を納得させること」を再度意識させる。
第4時	評価シートの確認 振り返り・質疑	評価シート等返却 総評 各段階での手法の例や観点などを紹介する。 題材の史的背景とともに教科書にある化学史に言及。 熱についても少し論じる。 酸・塩基の導入（定義）	生徒の内容をもとに柔軟に対応。 生徒の日々の活動や課題ともつなげて話し、学びを今後を活用できるような後押しをする。

新理論への挑戦 ～ 科学的に論じるとはこれ如何に？ ～

- 課題目標：① 問題を論理的に発見する方法を学び、より活用できるようになる。
② 問題の解決案を考える方法を学び、より活用できるようになる。
③ 論証するための表現方法を学び、より活用できるようになる。

使用器具：のちほど。

みなさん。私は、新たな「理論」を考えついた。それは、『燃焼』という現象についてである。そこで、みなさんには私の新たな「理論」についての是非を科学的に考え、その考えを科学的に論証していただきたい。

さて本題に戻ろう。私が、新たな理論を考えついた根拠は、次の2つの実験からである。

〔実験1〕 木を燃焼させる。すると、火炎を出して燃える。

〔実験2〕 マグネシウムを燃焼させる。すると、光を出して燃える。

この2つの実験結果から、『燃焼反応』における次のような理論を考ええた。

提案理論

可燃性物質には「ミナミストン」という共通物質が含まれている。
『燃焼』という現象は、すべて可燃性物質から火炎・熱・光を発生しながら「ミナミストン」という物質が脱離する現象である。
つまり、「ミナミストン」は火炎や熱、光の素となる物質である。

今回の課題

キミたちには、研究グループとなり、この理論が「正しいか?」「少し間違っているのか?」「すべて間違っているか?」を論じ、この提案者である私を納得させてほしい。

その第一段階として、まずは「ミナミストン」が火炎・熱・光を発生かはさておき、提案理論の

『燃焼』という現象は、すべて物質から「ミナミストン」という物質が脱離する現象である。』という点についてのみ、

「正しいか?」「間違っているか?」を以下の条件を前提とした上で、これまで学んだことも含めて判断し、そしてその判断について、実験も用いて証明してほしい。
(ちなみに、「ミナミストン」は仮称であるため、この名についての是非は考えないこと。)

その上で、可能なら理論全体の是非を考え、論じていただきたい(今回は否定的)。

〔条件〕

この提案者である私の化学に関する知識は、18世紀ごろのヨーロッパの科学者程度で停止している。具体的には、以下の条件である。(あとは質問したまえ)

- ・ 木の組成が何であるかは知らない。
- ・ 空気の組成が何であるかは知らないため、気体はすべて「空気」と呼ぶ。
- ・ 『元素』の概念はないが金属と非金属の区別はできる。
- ・ 質量保存則の概念はある。
- ・ 物質が化合・分解して性質が変化することはわかる。
- ・ エネルギーという概念はない。
- ・ 金属を加熱して変色することも「燃焼」ととらえている。



〔今後の予定〕

【本時】

理論分析・意見交換・論証方法(with 実験)の考案と計画

⇒

実験・発表資料づくり

⇒

提案者への意見の論証

⇒

振り返りとまとめ等・酸と塩基へ

【次回】

【次々々回】

提出物: 実験計画シート(各班1枚:最低Ⅲまで)

提出物: なし

提出物: なし

→ 成果物を google drive の「共有ドライブ」
→ 「高1化学基礎」→ 「各クラスのフォルダ」内にある
いずれかのフォルダに保存。(フォルダの班名とメンバーを変更)

② 個別評価シート

実験計画シート（各班1名提出）

Team Name : _____

Member : _____

Your Name : _____

I. この理論に矛盾点はあるか？ あるならばそれは何か？〔理論分析・問題発見〕
提案理論
『「燃焼」という現象は、すべて物質から「ミナストン」という物質が脱離する現象である。』

↑ 以前の実験で学んだ KYT での分析方法も参照

II. 何を実験で証明すればよいか？〔問題解決〕
証明すべきこと

そのための実験概要（使える材料は右上参照）

IV. 論証方法：1 班 3 分〔表現・創造〕
使用予定 ⇒ PP、 動画、 初作ボード、 黒板（30分を除く）、 iPad（学校）、 模造紙、 USB（学校）、 PC（学校）、 自身のスマホやタブレットなど、 KP 法、 その他 [_____]

論証方法の概略

III. 具体的な実験計画〔科学的な研究技能・計画力〕
実験書（いつもの実験書と同様に、他の人がこれを見て実験できるくらい具体的に作成。+KYT。）

使用可能な実験道具、試薬（使うものすべてに☑）

※は教卓に用意

【試薬】 木、 金属A（マグネシウムリボン 3cm×3）、 金属A（マグネシウム粉末 10g）[※]、 金属B（銅粉 10g）、 2mol/L 塩酸[※]、 金属C（スチールウール）[※]、 純水、 石灰水[※]、 線香[※]、 酸化銀[※]、 CO₂[※]、 ロウソク[※]、 その他（要相談） [_____]

【器具】 チャッカマン、 ガスバーナー、 三脚、 三角架、 ピンセット、 ステンレス皿、 ビーカー 100 mL、 軍手、 塩酸用のピペットと試験管[※]、 電子天秤、 葉包紙[※]、 るつぽばさみ、 蒸発皿、 素焼き板（熱いもの置く用）、 集気びんとガラス板[※]、 葉さじ^{（手帳）※}、 使用後葉さじ置き用のトレイ、 その他（要相談） [_____]

※ KYT（危険予知トレーニング）

《教員用評価シート》

評価	評価項目			表現・創造
	問題発見	問題解決	問題解決	
A	理論のどこが質量の観点で矛盾しているかを明確な言葉で表現できているか。	質量の増減などについて、比較実験になっている。	B+かつ、相手を納得させるための工夫がみられる。	
B+			実験結果も適切に提示でき、論理的な論証ができている。	
B (標準)	質量保存則などの質量の観念に気づいているか。	比較できていないが、質量の増減などを確かめるための実験になっている。	実験結果は十分に提示できていないが、論理的な論証ができている。	
C+			実験結果は適切に提示できていないが、論理的な論証ではない。	
C	論理性に欠けた分析をしている。	パラメーターの変化が多く、比較実験にもなっていない。	実験結果が提示されず、論理に大きな矛盾がある。	
論証班の班員：[]				
評価	A・B・C			A・B・C
総評				
論証班の班員：[]				
評価	A・B・C			A・B・C
総評				
論証班の班員：[]				
評価	A・B・C			A・B・C
総評				

《生徒用評価シート》

論証班：[] 評価者：[]

評価	評価項目		表現・創造
	実験の質	実験の質	
A	B かつ正しく比較した実験になっている。	B+かつ、相手を納得させるための工夫がみられる。 (表現や要素概念などの条件を守れているか、など)	
B+		実験結果(証拠)の提示：○ 矛盾なく論証：○	
B (標準)	比較はしていないが、確かめたいことを確認できる実験になっている。	実験結果(証拠)の提示：X (or△) 矛盾なく論証：○	
C+		実験結果(証拠)の提示：○ 矛盾なく論証：X (or△)	
C	確かめたいことの確認実験になっていない。(パラメーターの変化が多すぎる。比較実験になっていない。など)	実験結果(証拠)の提示：X 矛盾なく論証：X	
Z	判断できなかった。	判断できなかった。	
評価	A・B・C・Z		A・B・C・Z
総評			

《MEMO 欄》

：

5. 本授業の結果と振り返り

最初に、目的は『提唱者を納得させる理論を実験での実証のもと論じること』と明示した。教員の新理論の提唱後、初めは班内で議論をしていたが、目的を思い出し、やがて教員（提唱者）に問う班がでてきた。「酸素って知っていますか？」「天秤という器具は知っていますか？」「その仮説物質は気体だと考えていますか？」など。仕事においては、単に完成させる「目的ありき」ではなく、付加価値を伴う「顧客視点ありき」がより重要である。そのような視点の重要性を感じながら、議論の後、教材②を用いて実験計画へと移っていった。

提出された実験書を教員が確認した。妥当性はともかく安全性を中心に確認し、必要ならコメントを入れた。安全性に加え、教員が提唱した理論に対して、生徒がどのように分析したのかも確認した。この実験の単元は化学史ではなく「量的関係」であるため、きちんと化学反応式の量的関係（質量保存則）に基づいて理論構築ができているのかも確認し、不十分な班には指摘を書き込んだ。生徒の分析結果を以下に示す。ここでは、生徒に「フロギストン」とは伝えずに「ミナミストン」と伝えている。意図は4. で述べたとおりである。

生徒の問題分析パターン分け：（ ）内は班の数

- ・金属は質量増える説 64%（27）⇒ 次々項に一例
- ・ミナミストン（今回の新フロギストンの仮称）は出ない物質もある説 12%（5）
- ・発生するミナミストンの性質が物質によって異なる説 12%（5）
- ・酸素による新燃焼理論の証明（開放系と閉鎖系での燃焼比較） 2%（1）
- ・燃やしてもそもそも質量変わらない説 2%（1）
- ・木を燃やすだけ 2%（1）
- ・酸化銀を燃やすだけ 2%（1）
- ・矛盾ない説 2%（1）

これをふまえて、各班実験を行った。その写真の一部を次々項に示す。この時間は、すべての班が異なる実験をするため、教員はとにかく実験時の安全管理に徹した。また、生徒実験書の事前確認、日々の安全意識の指導も重視した。（この点に関して、学校によって実施の困難さを感じるかと思う。その対応策については6. で述べる。）

ほとんどの班で、実験しながら議論をしていた。思っていた結果にならず、その原因を分析している班や、うまくいったので、理論をさらに支持するための実験方法がないか模索する班、中には発案した班長しか実験の意図を理解できておらず、実験をしながらその説明をしている班もあった。思った結果になったので、よりよい映像を記録しなおしている班や再現性を確認している班もあった。本校はSSH指定校のため、1年生の半数が理数系の課題探究に取り組んでいるため、技能に少しアドバンテージがあるように感じた。とはいえ、半数であるため、そのような見方・考え方を非選択者とも共有できる良い機会にもなった。

実験後、iPadやChromebookなどで撮影した動画や写真をGoogle Driveに格納し、分担して発表準備に取り組んだ。授業内では終わらないので、残りは宿題とし、期限内に指定のGoogle Driveに提出させた。昼休みや放課後に追加実験を申し出る班もあった。形式はあえて自由にした。発表はなんでもPowerPointという狭い思考を持ってほしくなかったからである。PowerPointは確かに便利であるが、あくまでそれを使用することは「手段」であり「目的」ではない。他者に理解や喜んでもらえるために、どのような発表手段が効果的なのかも考えさせたかったからである。紙芝居でも演劇形式でも、今回であれば、結果その理論が納得できるものであればよい。高校生だからこそ、失敗してもいいので枠を超えた自由な発想を期待した。その発想を見て、他の生徒たちにも自分で勝手に枠を制約していたことに気づいてもらうことで、今後の様々な活動でもより自由でクリエイティブな発想をもつことを期待した。

発表において、前項に示した生徒用と教員用の評価シートで評価させた。この生徒用のルーブリックは最初の時間に教材①の裏面に示しておいた。生徒用は集約後に各班に配付して、振り返りをさせた。教員用の評価シートは、ほぼこちらの授業分析用なので、生徒にはルーブリック自体も結果も開示しな

かった。しても問題はないが評価の観点が増えて学びがブレそうなのでしなかった。

教員用の評価結果を以下に示す。：（ ）内は班の数

● 問題発見

A : 86.8% (33)

B : 13.2% (5)

C : 0% (0)

● 問題解決

A : 63.2% (24)

B : 36.8% (14)

C : 0% (0)

● 表現・創造

A : 0% (0) ← 想定を超える発表

B⁺ : 63.2% (24)

B : 18.4% (7)

C⁺ : 18.4% (7)

C : 0% (0)

『問題発見』においては、多くの班が矛盾点に気づいていた。一部は表現していないだけで、同様に矛盾点をとらえていた。この問題発見の部分については、意図的に比較的難易度は低く設定していた。その意図は、「間違にくい選択肢から考える」というものである。SNSの普及のためかはわからないが、近年、社会においても（特に）若い世代で徐々に不正解への抵抗感が増しているように感じる。例えば、議論の場においてイニシアチブを取らずに、周りの顔をうかがいがちであるなど。授業でも同様に、その精神的なハードルを軽減するためのアプローチでもある。問題発見の土台によって、実験の発案へ円滑に進み、実験の失敗に対しても理論に立ち返って修正し再実験等をしていた。

『問題解決』におけるB評価の班を分類すると大きく2つに分かれた。①金属のみの質量測定で比較していないもの。②色の変化などに対する原因を断定できないもの（石灰水に燃焼させた物質を入れてしまう等）。つまりは、変数が2つ以上あることに気づけていない。今後、論理的な原因分析の手法を学ぶ必要があることが見いだされた。

発表については、期待に反してほぼすべての班が、PowerPointであった。一部ホワイトボード等で示す班もあった。そのため、『表現・創造』でのA評価は0班とした。今後、自由な発想ができるような機会を設ける必要性が見いだされた。内容について、概ね元素を用いずに理論と結果をつなげて論じていたが、質量が減った金属に言及した班は少なかった。つまり、矛盾しない結果のみで論じる班が多い。今後、矛盾を残すリスクとその分析方法を学ぶ必要があるが見いだされた。

発表とフィードバックの後、「問題発見」「問題解決」の観点や「共通言語と共通認識」、「FactとOpinion」などについて、少し講義をした。

単元的な課題についても言及する。それは、1年生段階で熱や光などのエネルギーの概念にあまり触れていないことである。ラヴォアジエの熱への考えは熱素説（カロリック説）であり、実際は物質の熱運動である。今回はここには言及しないように条件を変えている。そもそも熱とは何かへの実験的論証が難しいことと、高校1年生の段階で化学ポテンシャルやエントロピーなどの概念への言及や学習は現実的ではないと考えた。酸素説の立証も考えたが、再現実験は難しく、自由度も低いと考えた。ゆえに、質量保存則を中心とした簡素でやや自由度のあるものとなっている。

本授業を通して、概ね考え抜く力の要素となる一部の考え方や技術の意識付けは達成できたのではないかと考えられた。以降の単元である「酸と塩基」「酸化と還元」における定義や課題、実験などでもそれらの観点を再認識させながら、他者視点で考え抜く力の向上を支援する取り組みを続けた。その寄与があったのかはわからないが、この学年は2年生で科学の甲子園の大阪大会での総合優勝、大阪サイエンスデイの口頭発表部門で優秀賞、JSEC（Japan Science & Engineering Challenge）という課題研究の発表で日本ガイシ賞などを受賞している。科学の甲子園の実技課題は「まちの小さな読書スペース」をテーマに、科学技術の総合的な活用だけでなく「他者視点」でのものづくりを求められるものであった。その実技で受賞できたことは大きな成果と感じている。また、修学旅行においても委員たちが他者視点での課題設定等に取り組むなど、社会を豊かに生き抜くための考え抜く力の向上が見られた。それは、化学分野だけでなく、本校の多くの授業でそのような取り組みがなされている成果だと感じている。

生徒が作成した実験計画書の一例

金属の燃焼は質量が増える説①

実験計画シート (各班1名提出)

Team Name: 了行

Member: _____

Your Name: _____

比較してる ver.

I. この理論に矛盾点はあるか? あるならばそれは何か? [理論分析・問題発見]

提案理論
『燃焼』という現象は、すべて物質から「シズト」^{気体と化して}という物質が脱離する現象である。』

炭水化物からなる、というからという、密度の変化は
判断できない → 質量を考慮する。
すべての物質がどうなるか → 金属が矛盾している。

2回もやり

↑ 以前の試験で学んだKYTでの分析方法も参照

↓

II. 何を実験で証明すればよいのか? [問題解決]

証明すべきこと
燃焼前後の質量変化
燃焼前に比べて燃焼後の質量が増加していること。

そのための実験概要(使える材料は右を参照) (オキシドール = CO₂と水と炭酸)
ビンの中で燃焼実験を行う。
木はCO₂と水はH₂Oと、質量をCO₂と水。 } オキシドールはCO₂と水。 }
金属 → 木はCO₂と水はH₂Oと、質量をCO₂と水。 } オキシドールはCO₂と水。 }
金属 → 木はCO₂と水はH₂Oと、質量をCO₂と水。 } オキシドールはCO₂と水。 }

III. 具体的な実験計画 (科学的な研究技能・計画力)

実験書 (いつもの実験書と同様に、他の人がこれを見て実験できるくらい具体的に作成)

用意するもの
スケール
ろつぼ
ステンレス皿
素焼き板
罩子
葉包紙
電子てんびん
ケツカマン
ガスバーナー

- ① 電子てんびんにステンレス皿と葉包紙を置き、スケールの質量をはかる。
- ② ケツカマンを用いてガスバーナーに点火し、ろつぼは外で保ち、スケールを燃やす。このとき罩子をする。
- ③ 素焼き板の上にステンレス皿と葉包紙を置き、燃焼後のスケールの質量をはかる。燃焼後のスケールの質量をはかる。

↓

スケール
葉包紙
ステンレス皿
電子てんびん

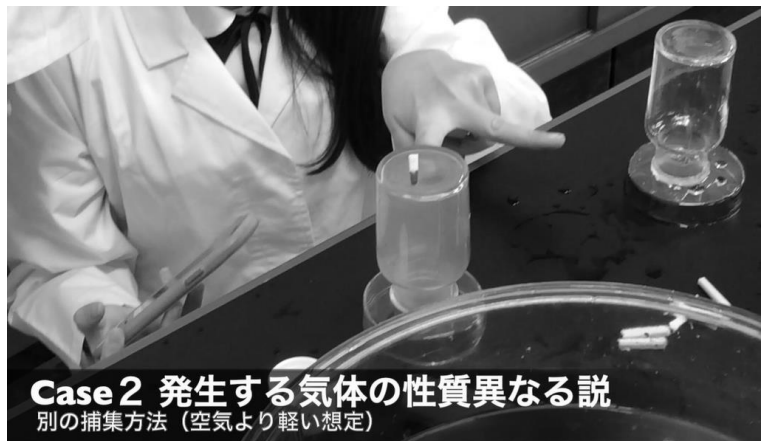
①

②

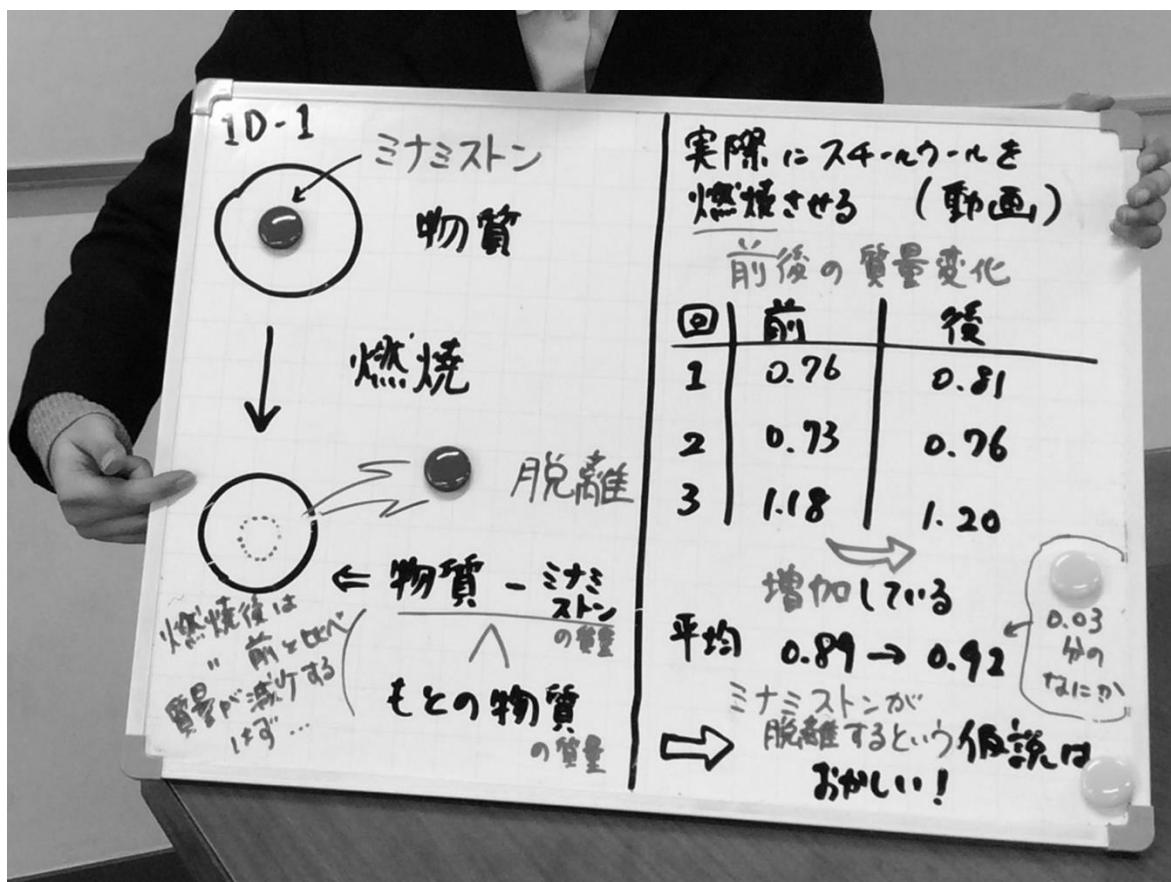
③

- 104 -

実験中の写真



生徒の発表中の写真



2. 実験結果②・考察【実験2】

【実験2】 燃焼後の気体の特徴を調べる

＜結果＞	燃焼した物質名	石灰水の色
	マグネシウム	白くにごる
	木	黄色

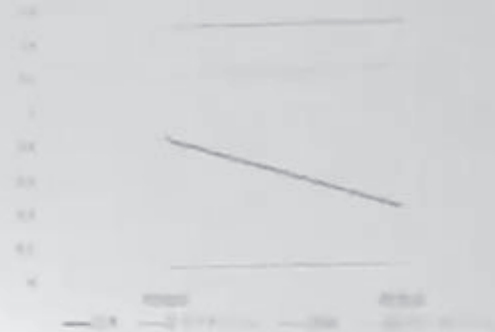
- ・「石灰水の色が物質によって変化する。」
- = 「燃焼時に生じた気体は異なる。」
- = 「全ての物質から『ミナミストーン』が発生していない。」

実験結果

	燃焼前	燃焼後
①木	0.84	0.44
②マグネシウム	0.09	0.11
③銅	1.5	1.52
④スチールウール	1.22	1.27

①木	0.40g減
②マグネシウム	0.02g増
③銅	0.02g増
④スチールウール	0.05g増

燃焼前後での質量の比較



考察

石灰水の色が異なっていたため、
木から発生した気体とマグネシウムから発生した気体は
異なる性質を持つ。

よって、

理論

「燃焼」という現象は、すべて物質から
「ミネリトン」という物質が脱離する現象である。

は間違っている。

6. 研究授業を終えての課題と他校での活用方法について

現状の最大の課題は、「評価方法」である。今回はルーブリックで評価したが、あくまで単元的な要素もある上での評価なので、他教科との共有や比較が難しい。そのため、学校全体としての「ものさし」となる評価指標が今後いつそう求められると考えられる。その効果検証のための評価ツールとして、「Ai-GROW」や「PROG-Hテスト（河合塾）」などの外部の分析ツールの活用をし、そこから独自の分析ツールを開発、それらを適切に用いることで可能になるのではないかと考えている。

例. PROG-Hで測定できる項目

- 「対課題基礎力（課題発見力・計画立案力・実践力）」
- 「対人基礎力（親和力・協働力・統率力）」
- 「對自己基礎力（感情抑制力・自信創出力・行動持続力）」

実験の実施が困難な学校にとっては、次のようなICTを活用した手法も可能かと考える。例えば、ダミーも含めて動画で撮影したいいくつかの実験をiPadや共有コンテンツ、またはHP RevealのようなAR拡張アプリなどに準備しておき、論証に必要な動画を選択させるなどの対応が可能である。対面において、安全面から生徒に実験をさせられない場合、この手法での代用ができることに加え、オンライン授業への対応も可能である。

今回は「考え抜く力」に焦点を当て、客観性は乏しいが生徒の様々な資質・能力の現状と課題も明確になった。今後について、社会人基礎力のみにはこだわらず、生徒が豊かに人生を生き抜くために必要な「様々な資質・能力の育成支援を意図した授業実践」を多くの単元で行い、検証しながらカリキュラムとして体系化させていく必要があると考えている。その「様々な資質・能力の育成支援を意図した授業実践」については、簡単ではあるが、Ⅲ. 社会人基礎力などの資質・能力の育成支援をするための授業実践例で示す。

Ⅲ. 社会人基礎力などの資質・能力の育成支援を意図した授業実践例

掲題についての授業実践の中から、ここでは3つの実践例を以下に示す。重点を置いて取り組み始めてから、まだ2年足らずであるため、まだまだ試行錯誤の段階である。少々無理のある内容もあるが、ご了承ください。また、皆さんにも考えていただけるように、授業展開風に示してあるので、生徒目線で考えながらご一読いただければ幸いです。単元習得も重視したものを中心に選んだため、ここでは「答えのある課題」がほとんどである。

〔実践1〕分子の形に法則性はあるのか？

- (1) 単元：分子の形（1年化学基礎）
- (2) ターゲットとなる資質・能力：課題分析力，知識や法則の活用力
- (3) 概要：

分子の形について、原子価殻電子対反発則（VSEPR）を用いて法則化し、予測する授業である。分子中の原子の位置には、以下のような規則がある。

- ① 中心原子のまわりの電子対は、それらの反発が最も小さくなるように配置される。
- ② 非共有電子対は共有電子対よりも空間的に広がっているため、電子対どうしの反発の力は、次の順に小さくなる。

非共有電子対どうし > 非共有電子対と共有電子対 > 共有電子対どうし

Q1. 水分子について、上の規則に従って、その分子の形を推定せよ。（分子の形は選択肢を用意）またH-O-Hの結合角は109.5°（メタンの結合角）よりも大きいか、小さいか、等しいかも予測せよ。ともに理由も述べよ。（分子模型も配付）

Q 2. 分子の形についての予測をより一般化するために、次のように考えてみる。

中心原子Aをもつ分子を「AX_m(E_n)」と表すことにする。

X：中心原子Aに結合した原子 m：原子Xの数

E：中心原子A上の非共有電子対 n：Eの数

※ 原子Aと原子Xは電気陰性度の異なる原子

この方法を、二酸化炭素に適用してみよう。mとnの値を求めよ。

また、Q 1と同様に規則に従って分子の形を予測せよ。ともに理由も述べよ。

Q 3. 同様にして、下のいろいろな分子の形を考えよ。(空欄を埋めよ)

m	n	AX _m (E _n)	分子の形
2	0		
	1	AX ₂ (E ₁)	
	2		
	3	AX ₂ (E ₃)	
3	0	AX ₃ (E ₀)	
	1	AX ₃ (E ₁)	

m	n	AX _m (E _n)	分子の形
4	0	AX ₄ (E ₀)	
	2	AX ₄ (E ₂)	
5	0	AX ₅ (E ₀)	
6	0	AX ₆ (E ₀)	

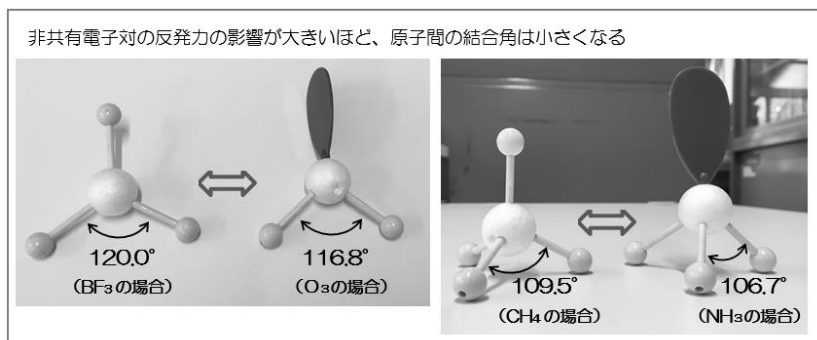
Q 4. 次の各分子はどの AX_m(E_n) に該当する？

① NH₃ ② CS₂ ③ SO₂ (SとOはいずれも二重結合である)

Q 5. Q 3で、極性分子であるものをすべて選び、AX_m(E_n) で答えよ。

Q 6. Q 3の表から、今まで学習したことに反する内容を見つけ示せ。[ヒント] m+n=?

分子模型は下図のように、発泡スチロール球に分子模型のパーツを刺して作製させ、考えさせた。答え合わせにシミュレーションができるサイト (<https://phet.colorado.edu/ja/>) も活用した。



与えた条件のもと、分子の形という事象の法則性を分析して見出す、課題解決のために分析をする手法の1つを体験させる授業である。また、最後にこれまでの学習との矛盾を見出させることで、一度現状の自身の知識(現実)を俯瞰させることも体験させる。VSEPRは経験則であることを誤認しないようにするため、二酸化炭素の直線形やホルムアルデヒドの結合角などを例に分子軌道法の理論の存在も簡単に示す。

[実践2] ケミカルガーデンの原理解明

(1) 単元：非金属元素，炭素・ケイ素（3年化学）

(2) ターゲットとなる資質・能力：知識や法則の活用力，事実ベース思考

(3) 概要：

おそらく初見であろうケミカルガーデンとよばれる現象の原理を学んだ知識で推定する。

ポリスチレン製の小さな試験管内で、樹木のように下から上に結晶のようなものが伸びていく反応である。重力に反したこの現象について考えるために、まずはケイ素化合物の特性を確認する。

いずれも、各班で実際に実験をしながら考えてもらう。

- Q 1. (水ガラスの構造式を理解させたうえで,) 水ガラスの pH を測定せよ。(塩基性)
水ガラスがそのような液性を示す理由を化学式で示せ。
- Q 2. 水ガラスを観察し, そこに塩酸を入れて, 起きる現象を観察・記録せよ。(固まる)
このとき起きたと考えられる化学反応式を示せ。
- Q 3. 水ガラスに, 硫酸銅 (II) または塩化コバルト (II) の結晶を少量投じて放置する。(みにくい下図のようになる。)



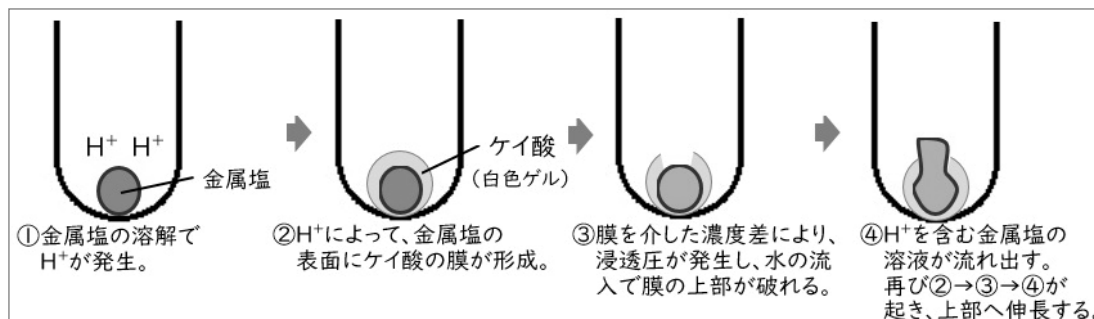
ここで見られる現象の原理の仮説となるように, 空欄に入る語句や文章考え記入せよ。
図示もせよ。

『投入した金属塩の結晶は, 水に溶けると [] 性を示す。

そのため, 水ガラス中で金属塩の結晶が溶解すると [] が, 結晶を包み込むように凝集し, 固化すると考えられる。

閉じ込められた濃厚な溶液と薄い膜との間で [] が発生し, 水が内部へと流入する。
[], 上部へと成長したのではないかと考えた。』

図示の例



分子の形についての〔実践1〕と同様に, 実験事実として得られた結果 (Q 1, 2) を用いて, 初めて見る現象 (Q 3) の原理の仮説を「事実ベースで立てる」という, 課題解決の手法の1つを体験させる授業である。起きる現象の意外性もあるので, 興味を持って取り組むことのできる教材である。事実ベースといいつつ, 当たり前だが仮説には予測もふくまれることから, どこが事実ベースでどこが予測なのかも整理させる。ここで, トヨタなどで採用されている「三現主義」の考え方についてもふれる。事実ベースで思考することの重要性を理解してもらい, 以降の実験の考察においても意識させる。

〔実践3〕未知エステルの構造をどうやって決定するのか

- (1) 単元: カルボン酸・エステル (3年化学)
- (2) ターゲットとなる資質・能力: 課題発見力, 計画立案力
- (3) 概要:

未知のエステル $C_4H_8O_2$ を水酸化ナトリウム水溶液で加水分解し、得られた溶液のヨードホルム反応の有無を確認させる実験を行わせる。うまく分解できればヨードホルム反応が起きるのだが、別に起きなくても問題ない。

Q 1. この結果から未知のエステルの推定される構造式をすべて示せ。

そのいずれかを決定するために、どのような追加実験をすればよいか。理由とともに記せ。

この実験では、ヨードホルム反応が起きても起きなくても、それぞれ 2 パターンの選択肢が得られるので、結果で判断した方で考えさせる。どちらかを決めるために、片方にのみ陽性となる反応を考え、その反応を実際に行うための実験まで考えさせる。余裕があれば、実際にやらせてみることもある。多様な解答がでるため、Google Form などを用いて集約し共有することで、様々な化学的な知識の再確認にもなる。実験計画まで考えさせれば、安全意識についても学ばせることが可能な教材である。ちなみに使用した未知のエステルは酢酸エチルであった。

IV. 総じて

成果と課題について示す。成果としては、主に以下の 3 点である。

- (1) 社会人基礎力等の「ジェネリックスキル」を多くの生徒に意識させることができ、それらの向上を実感させることもできた。
- (2) 教材をプロジェクト型に近づけることで、生徒の主体性をより引き出すこともできた。
- (3) オンライン授業にも対応可能な教材でもある。

主に、3 年生の化学の授業で今回の取り組みを実施した。学校実施している本校生徒への『授業に関するアンケート』についての結果の一部を以下に示す。() 内は人数である。

	とても そうだ	まあ そうだ	あまり そうではない	全く そうではない
A：集中して授業や課題に取り組んでいる	85.5% (59)	10.1% (7)	1.4% (1)	2.9% (2)
B：知識・技術は向上している	88.4% (61)	5.8% (4)	1.4% (1)	4.3% (3)
C：思考・判断・発表力は向上している	79.7% (55)	14.5% (10)	0% (0)	5.8% (4)
D：非認知能力は向上している	87.0% (60)	5.8% (4)	2.9% (2)	4.3% (3)

(1) について、D の項目より、多くの生徒に「ジェネリックスキル」を意識させ、向上の実感を与えられていると考えられる。(2) について、A の項目より、主体的に授業に取り組んでいると考えられる。また B、C の項目より、単元理解にもよい影響がでている可能性が考えられる。難化が見られた令和 4 年度の大学入試共通テストにおいても、「化学」の全国平均点が昨年度の 52.6 から 47.6 と「5.0 点減少」した中、この 3 年生は昨年度の 63.0 から 65.8 へと「2.8 点上昇」したことからも、それを後押しできると考えられる(受験者数 70 名)。(3) について、今回開発した教材は、ほとんどが実験教材ではあるが、与えられた情報から仮説を立てて結果を予測するものや、結果から深く思考するものが多く、オンライン授業において、実験を映像で見せることでも実践可能である。しかしながら、実験は実際に生徒がした方が、たくさんの学びがあると考えている。テキスト通りではなく、考えたことと違ったことが起きたときの思考や五感を活用することでの単元定着率の向上、主体性の向上など、その効果は大きいはずである。(実際に最後の授業で実施した生徒へのアンケートにおいて、実験の楽しさだけでなく、学びの多さを実感している意見は多く

見られた。) また、特に最近感じていることは、実際に体験しないと「事実ベースの思考が育まれないのではないか」ということである。映像で見たことが真実なのか？ それですべてなのか？ SNS や動画、テレビでそう言っていたからそれは事実であるという物事を疑わない危うい思考を促してしまわないのかを危惧している。特にインターネット上の便利なコンテンツがいつそう普及している今だからこそ、三現主義ではないが、現物を現場でみてこそ事実と認める姿勢を育む必要があるのではないかと考える。

次いで、課題としては、主に以下の2点である。

- (1) ジェネリックスキルに対して、客観性のある集団・個別の評価方法が確立していないこと。
- (2) ジェネリックスキルの育成支援に対する、教科縦断的・横断的な体系化ができていないこと。

(1) について、ターゲットとなる能力向上の客観的な評価方法までは開発できてはいない。今後、まずは、Ai-GROW (Institution for a Global Society) や PROG-H (河合塾) などの外部テストを活用して分析し、教材に合わせた評価方法 (生徒へのフィードバック評価・教員の授業の自己評価など) を開発し、客観的な効果の検証をしていく必要があると考える。(2) について、社会人基礎力等のジェネリックスキルは、学校全体で指針を持って育成に取り組む必要があるため、まずは教科内での3年間 (本校は中高一貫なので6年間) を考えたカリキュラムマネジメントが必要である。現在、そのカリキュラムマップの作成に教科全体で取り組んでいる。各教科の可能性を明確にし、生徒と学校の実状に適する形式で、戦略的に取り組む体制を作り上げていく必要があると考える。

今回の実践例も含めて現在実践しているものは、(化学史活用を除いて) 決して新たに作り上げたものではなく、既存の座学や実験の切り口を目的に合わせて少し変えたものがほとんどである。そういう意味で、他校でも汎用性のあるもの (考え方) と考えている。今回示していない実践のほとんどに、演示ではなく生徒実験が入っている。それは、成果でも述べたような多くの学びがあるからである。ちなみに、準備や片付けの時間が大変なので、ほとんどをマイクロスケール化した実験にしている。また、感染対策の観点から実験はしにくくなっているのも事実であるので、オンライン授業にも転用可能な教材にすることも心掛けている。とはいえ、まだまだ試行錯誤の段階であり、疑問に思われる部分があるかと思われる。多くの方との情報交換やご助言が必要な状態であるため、今後いっそう様々な方たちと繋がっていきながら、生徒と教員と学校にとってより最適なものにしていきたいと考えている。

<謝辞> 化学史を活用した研究授業につきまして、仲矢史雄先生 (大阪教育大学 教育イノベーションデザインセンター 教授) には、多大なる時間をいただき種々のご指導を賜りました。また、急な相談にも快くご対応いただきました他校も含めた先生方。この場をお借りして深く御礼申し上げます。

参考文献

- 経済産業省 HP (<https://www.meti.go.jp/policy/kisoryoku/index.html>)
内閣府, Society 5.0 の実現に向けた教育・人材育成に関する政策パッケージ<中間まとめ>
石川一郎, いま知らないと後悔する 2024 年の大学入試改革, 2021, 92-183, 青春出版社
小峰隆夫ほか, 人口オーナス下での産業・企業, 2014, 87-98, イノベーションマネジメント No. 6
福井智紀ほか, 理科教育における科学史の活用について, 2003, 55-65, 東京水産大学
Suzie Boss ほか, プロジェクト型学習とは, 2021, 360-373, 新評論
Elizabeth F. Barkley ほか, 学習評価ハンドブック, 2020, 東京大学出版会
廖正衡, 化学史と化学教育の結合について, 1983, 32-37, 化学史研究会
大学入試センター HP (https://www.dnc.ac.jp/kyotsu/shiken_jouhou/r4.html)

Development and Implementation of Teaching materials to Support to Cultivate Learner's Generic Skills in Chemistry Education

— Science Classroom Practices to Enrich Students' Life —

MINAMI Katsuhito

Abstract: I have been developing teaching materials that focus not only on the acquisition of textbook content, but also on the development of qualities and abilities that will enable students to survive in the future society. I believe that students will not be able to survive in the age of Society 5.0 & VUCA if they are taught only to understand a textbook content with a fixed answer. In order to avoid this problem, it is important to develop engineering skills, such as problem-solving abilities and the ability to discover laws underlying natural phenomena and apply them for specific purposes. This research, I attempted to develop and implement teaching materials that can contribute to the improvement of these qualities and abilities in high school chemistry lessons, based on the perspective of "the ability to think things through", which is one of the concepts introduced in the "Basic Skills for Working People" issued by the Ministry of Economy, Trade and Industry. Although I am still in the trial-and-error stage, I would like to report on my current achievements.

Key Words: Chemistry education, College science, Non-cognitive skills, Generic skills, Experimental materials, Classroom practice