

卓上油化装置を用いたカリキュラムマネジメント視点からの 学びのつながりの作成

——中学校理科，高校化学，学校行事——

角島 誠*

(平成29年10月4日受付)

Connecting the learning from a curriculum management perspective using a benchtop waste plastic oiling device

——junior high school science, senior high school chemistry, school events——

Makoto KADOSHIMA

(Received Oct. 4, 2017)

概要

プラスチックを油化（炭化水素液化）する卓上油化装置は、現行学習指導要領が示す方針である有用性の実感や環境教育の充実といったことにもつながり、また、その物理的な大きさからの存在感もあるなど、教材としての高い可能性を有していると考えられる。

2008年から授業や学校行事でこの卓上油化装置の取り扱い実績がある広島なぎさ中学校・高等学校の事例について、関係者で実状を振り返り課題の整理を行った。そして、装置の教材としての教育的価値を吟味し、カリキュラムマネジメントの視点から、卓上油化装置を用いた教育活動について6か年教育の理科、学校行事の学びのつながりの作成を行うとともに、この作業を通して得られたものをまとめた。

キーワード：油化装置，カリキュラムマネジメント，中学校理科，高校化学，学校行事

1. はじめに

2007年に、広島なぎさ中学校・高等学校では理科の科会研修で、(株)プレスト社（※注1）の製品であるパッチ式卓上油化装置 Be-h（※注2）を用いた実演研修が行われた⁽¹⁾。Be-h は、PP ポリプロピレン，PE ポリエチレン，PS ポリスチレンを熱分解して生成油（いわゆる軽油相当の炭化水素液）を作り出すデモ演示用の装置である。

同校では、翌年の2008年からこの装置をリースで導入し、研修を受けた関係者の昂扬感と使用勝手に応じて暗黙のうちに有機的な関係を持ちながら様々な教育活動を展開してきたが、現在では系統性なく散発的な展開にとどまっている。そして、この装置は化学実験室に常置されており、

日々生徒の目に触れている存在感ある教材である。「理科を学ぶことの意義や有用性を実感する機会をもたせる観点から、実社会・実生活との関連を重視する内容を充実する」⁽²⁾とした現行学習指導要領の観点からも、ある意味貴重な資産とでもいふべき個々の取り組み事例が散在しているという観点からも、これらカリキュラムマネジメントという観点から整理し捉えるとどういうことが明らかになるだろうか。

プラスチックの油化に関する研究や活動事例

学校におけるプラスチックの油化に関する教材研究としては、持続可能な社会の実現に向けて具体的な行動に結びつける資質を育てること、科学の有用性という観点から行われた三木の一連の教材研究がある。アルミニウム缶の中

* 初等中等教育研究センター，ICTセンター

に廃プラスチックを入れて熱分解し、試験管に集める装置の開発(2007)⁽³⁾、ポリプロピレンの熱分解における触媒としてゼオライトを用い、熱分解の速度を速め残渣を残さない実験方法の開発(2008)⁽⁴⁾、油化に続いてガス化についても扱ったが、生徒実験としては困難とした(2009)⁽⁵⁾。活動としては、2010年11月に大阪府立堺工科高校の環境化学システム科の生徒が文化祭で出店する鉄板焼きの発電機の燃料として活用するために、ペットボトルキャップの油化装置を作成したとの活動報告⁽⁶⁾がある。研究としては、モルディブ共和国におけるプラスチックゴミの課題をテーマとして、プラスチックリサイクルを研究課題に設定した東京都立多摩科学技術高等学校のSSH研究である「ハイドロタルサイトによるプラスチック油化～南の島からゴミの島をなくせ!!～」⁽⁷⁾がある。プラスチックに添加されている臭素系難燃剤TBBA(テトラプロモビスフェノール)の回収の研究を行った。その他、民間が行っている取組として、プレスト社が「スクール油田」として国内外で出張授業を行っている⁽⁸⁾、定着した事例としてパラオの小学校での事例⁽⁹⁾がある。また、一般社団法人プラスチック循環利用協会が、全国小中学校環境教育研究会監修によって、プラスチックの循環利用に関する様々な啓蒙用の学校向け教材をホームページにて公開しているが、油化の仕組みについてもワークシートとともに50分の授業案を示している⁽¹⁰⁾。

理科の有用性

理科の有用性を実感する指導方法の研究として、千葉県総合教育センター(2012)⁽¹¹⁾が行っているものがあげられる。有用性を実感する指導方法として、

- ・自律的学習を促し、目的意識のある課題設定をし、探究力を育成する。
- ・実体験の場の設定や観察実験の方法を工夫する。
- ・コミュニケーション活動を充実させる場を設定する。
- ・学習と自然現象や社会生活とのつながりを実感させる場を設定する。
- ・キャリア教育との関連を図る。

を掲げ、これらにフォーカスした5つの指導方法のプラン化を行い検証し有効であったとしている。ただ、いずれも特定の授業内での指導である。

理科とカリキュラムマネジメント

カリキュラムマネジメントという視点から理科を捉えたものとしては、月刊「理科の教育」が2012年2月号において「理科におけるカリキュラムマネジメント」と題した特集を行っている。その中で松原(2012)は、「毎日の授業、各単元や教師個人といったようなミクロなレベルとともに、学校全体のカリキュラムといったマクロなレベルでの視点から、検討を行う必要がある」⁽¹²⁾としたように、特集で扱われた論文の多くにおいて、PDCAを機能させるべくCA

(評価と改善)の重要性とそれをどのように実現させるかといったことが論じられた。また、後藤・松原(2015)⁽¹³⁾は理科授業研究がカリキュラムマネジメントという視点で位置づけられていなかったことに対し、論点整理と理科授業研究のモデル化を行っている。

これら先行研究等に照らし合わせても、油化ならびに油化装置の事例を用いて、カリキュラムマネジメントという視点で、理科の授業と学校行事を踏まえた6か年の学びのつながりとして捉えたものは見当たらない。

まず、暗黙のうちにと表現され、系統化、言語化されてこなかった同校のこれまでの取組みを整理し、この装置の教育的な価値を検討する。続いて、これら資産を活用しながら、同校が目指す生徒像に鑑み、現行学習指導要領の中で、油化装置という一つの装置を用いたどのような教育が可能となるのかを検討し、6か年の学校の中での学びを体系化し、マネジメントが機能する展開計画を作成する。

2. これまでの油化装置の扱われ方

2007年の実演研修において、油化の現象が理科教員達自身にとって単純に興味深く見入り面白かったこと、そして、プレスト社が唱えるスクール油田の企画や、マーシャル諸島での同社の装置の導入事例や同国が抱える諸問題等も知ることとなり、様々な可能性を秘めた装置であることが窺えた。ただ、長期的な仕様勝手など使ってみなければわからないことも多く、高い可能性を前提に、どういう使い方ができるかを使いながら模索していくというスタンスで導入がなされた。

2.1 生徒会

2008年当時、理科教員が顧問をしていた生徒会では、社会貢献活動につながるのと文脈の中で、デモ油化を行い、美化委員に説明会を行うなどして、ペットボトルキャップの回収を行った。そして、数回の油化は行ったものの、油化した生成油を文化祭で用いる程度で、恒常的に装置を活用する活動にはつながらなかった。原因として、

- ・装置の処理能力のために回収されるペットボトルキャップを処理しきれない。
- ・残渣の処理や失敗したときの清掃など、メンテナンスにかなりの労力がかかる。
- ・取り出した生成油の品質の問題上、公道を走る自動車の燃料として用いることはできない法的な問題があるなど、生成油を恒常的に校内・校外で活用し続ける物理的な当てがいない。

などがあげられる。

2.2 授 業

2009年からは、高校1年生対象の理科総合A指導事項

(2) 資源エネルギーと人間生活

(3) 物質と人間生活

(4) 科学技術の進歩と人間生活

に横断的に該当するとして、油化装置の事例を扱った授業を1時間相当で展開していた。そこでは、付加的な狙いとして、

- ・合成と分解，エネルギーといった視点からの物質観を深める。
- ・有機化学の学びの動機付けを行う。
- ・工学とのつながりを実感させる。

を設定して、以下のような内容を扱った。

- ・目で見える発電の仕組み
 - ・水力発電 ・火力発電 ・タービンからモーター
- ・内燃機関による火力発電
- ・内燃機関の仕組み (CG 映像)
 - ・ディーゼル発電機による発電
- ・炭化水素についての知識理解
 - ・一覧表に構造式の書き込み，軽油，ガソリン…の分類
- ・プラスチックの油化
 - ・油化装置の観察と構造
 - ・分子模型を通した油化の原理・過程
 - ・プラスチック (CH の化合物) の合成→熱分解 (熱分解≠燃焼)
 - ・油 (炭化水素液) の取り出し
 - ・失敗例からみる 必然の理解と化学工業，化学反応の「幅」の意味
 - ・エネルギー効率の知識理解
- ・油化装置の活躍場所についての言及
 - ・離島などでの有効活用
 - ・未完成なテクノロジー

2.3 カリキュラム

2.2のように2009年からは理科総合Aの中で、1時間を用いて扱ったものの、2012年の理科基礎科目導入に伴う校内のカリキュラムの変更に伴い、理科総合Aでのような扱いはなくなった。しかも化学(化学基礎)は高校2年生から扱うこととなったため、有機化学で高分子を扱う時期が受験に近い時期に下がったこともあって、この時期に特別な展開をする余裕がなくなった。

また、新しい学習指導要領に沿った中学校の理科が2012年から完全実施となっているが、2007年の研修当時からは教員構成も変わっており、油化装置について言及することはシラバスの中では明文化されていなかった。2007年当時研修を受けた一部教員による任意投げ込み的な取扱い事項

となっていた。

2.4 文化祭

2008年の導入以来、毎年11月に開催される文化祭では、屋外のメインステージの近くで、油化の仕組みの概略説明と研修旅行報告を連動させた内容のパネルを設置し、油化のデモ実演を行っている。この油(炭化水素水)を物理室が管理するディーゼル発電機の燃料として発電を行い、この電気がメインステージの電源、すなわちステージで繰り広げられる演奏やダンスや歌唱のアンプの電源の一部として使用されている。

校内では「プラスチックゴミが音楽に!」とのタイトルで図1のような写真も掲示していたが、カリキュラム変更後あたりからは強いメッセージ性や意図が感じられない前年度踏襲のコーナー企画となってしまっている感がある。併せて、この展示に合わせた理科教員による言及も散発的になってきていた。



図1 校内掲示されている写真

2.5 研修旅行

・マーシャル諸島研修旅行2009.2010

ブレスト社がマーシャル諸島のプラスチックごみ処理の油化装置を納入したという経緯をきっかけに、同国の事情を知ることとなった。それは、楽園のように美しい海や手つかずの自然が残る一方で、ごみ処理問題も含め、環境、外交、経済、教育、国連での投票権を巡る中国と台湾の駆け引き、核問題とアメリカの関係、海面上昇に伴う国の消滅危機…等々の課題を抱えていることであり、南の小さな同国が抱える課題があたかも21世紀の地球上の課題の縮図のようであるということである。そして、その課題解決のためにJICAや様々な海外からの支援者が活躍しており、その課題と課題解決の現場を間近に実感できる規模の国であるということであった。

このような学びの材料に満ちた場所であることから、高

校2年生のコース選択型研修旅行の1コースとして、「21世紀の地球と人と環境のあり方のヒントをつかむ旅」と題した研修旅行コースが企画・実施された。マーシャル諸島の研修旅行実施当時では、カリキュラムマネジメントという言葉では捉えられていなかったものの、理科総合Aでの扱いによって啓蒙されたことや文化祭でのデモ展示等が、関係者間で共有され、サイクルとして機能していたように思われる。南の島国のゴミ問題という着眼点は、東京都立多摩科学技術高等学校がモルディブの事例に着目したように、世界の小さな島国が抱える共通の問題である。

・パラオ研修旅行2012～

マーシャル諸島研修旅行は2009年、2010年の2年で終え、2012年からは、南の小さな島国で同じような課題を抱えるパラオへ「太平洋の極小島嶼国から世界を見つめる」と題し、現在まで行われている。

パラオはかつて日本の南洋庁があり日本との結びつきが強いことなどの土地柄や歴史から、マーシャルの時と比べて、現地の人々との交流とか戦争のことなど、フォーカスする点が広がっており、マーシャル諸島の研修旅行と比べて環境やゴミ処理問題が大きくは前面には出ていない。それでも、油化装置がプラントとして稼働しており⁽¹⁴⁾、生徒は実際にその稼働状況を現場視察することなどが組まれている（※注3）。

研修旅行後は個々がレポートを書き、研修コースごとの報告発表会が学年の全員の前で行われる。油化装置そのものが前面にでた言及はないが、ゴミ問題やその処理についての課題やそれに向けた取組みの報告は軽重の差はあっても毎年されてきた。

文化祭では報告展示が行われるが、2.4で触れたように以前は屋外で文化祭ステージの電源として稼働させている油化装置とディーゼル発電機を案内するなど屋内の展示との連携があったが、ここ数年の連携は下火となっていた。

2.6 まとめ

プラスチックゴミの油化という言葉の響きが社会貢献につながり飛びつきやすいものであるものの、デモ演習装置以上の扱いを求めようとしたことや恒常的使用までのサイクルができなかったことが活用失速の要因となったといえる。結果、文化祭での啓蒙的な使用ということに落ちついた。ただ、使用機会が淘汰されながらも10年にわたって今日まで文化祭で毎年継続されていることは、諸々の活動とのバランスの中で無理なく、デモ演習用装置の本来の活用事例に落ち着いたとも評価できる。

そして、カリキュラム変更に伴い、中核的な啓蒙の場であった高校1年生での理科総合Aでの扱いが失われたことが暗黙のうちのつながりの断絶につながった。さらにカリ

キュラム変更で、現場としては新しいカリキュラムに対応した授業展開の準備と実施に追われることとなり、化学の授業内での扱いのタイミングも失うことにつながった。また、2012年のカリキュラム変更を前にして、マーシャル研修旅行が2010年で終了したタイミングも、2008年から暗黙のうちに校内の活動でつながっていたサイクルが途絶えた要因であったといえる。

カリキュラムマネジメントという言葉が一般化してくる以前からも、私学ということもあり学校の目指す生徒像や目標達成のために行事担当等の部署、教科会や教員個人が、学校の全体目標に照らし合わせた教育を展開していた風土が同校にはあった。だから、自発的かつ暗黙のうちにできてしまっていたが、教科を超えた取組みの部分もあり、関係者の勢いや理解で成立していたもので、系統だって位置づけられて明文化されたものでもなかったこともあり、大きな変更時に対応されることなく散発的な形のみ残った状態となった。

だからこそ、各取組の評価と改善を行い、整理し、意味づけと、カリキュラムマネジメントの視点でサイクルとして機能するようにグランドデザインとして系統だった明文化が必要であったといえる。

3. 視 点

3.1 卓上油化装置 Be-h の位置づけ

プラスチックの油化の教材の先行研究や活動事例に鑑み、ならびに同校でのこれまでの利用のありように鑑みると、この装置の特徴は、以下のように5つに指摘できる。

- ①熱分解の対象物は指定されており、かつ装置自体は完成された商品であり、熱分解の仕組みや温度条件といった化学反応の妙を理解する事例として用いることはできても、通常授業で扱える範囲での化学の学び以上に掘り下げてはつなげにくい。
- ②デモ演習用装置であり、デモ的なプレゼンやイベントでの使用の機会こそ機能する。
- ③相応の大きさがあり、校内ならびに実験室で恒常的に存在感がある。
- ④構造が簡単で分解観察が可能であり、ブラックボックス的ではない。
- ⑤法的に使用可能な油化という観点からも装置自体が技術的に解決すべき課題を有した発展途上の装置である。

これらを踏まえ、この学校におけるこの装置に見出す教育的価値を定めてみると、以下の3点である。

- ①理科、化学の学習の動機づけや学習内容の知識理解を促す。

- ②学校知が、工業製品として具現化し、具体的に活用され、社会に貢献（課題解決）している有用性を容易に可視化することにつながる。
- ③関連する課題や更なる課題の話題や視点とつながる。

3.2 現行学習指導要領

学校知と日常知の乖離の現状や、PISA 調査等の結果を踏まえ、2012年から全面实施となった現行の中学校学習指導要領解説理科編、ならびに2012年から理科・数学が先行実施となった高等学校学習指導要領解説理科編において、改善の基本方針の一つとして、「理科を学ぶことの意義や有用性を実感する機会をもたせる観点から、実社会・実生活との関連を重視する内容を充実する。また、持続可能な社会の構築が求められている状況に鑑み、環境教育の充実を図る方向で内容を見直す。」⁽¹⁵⁾としている。

これを受けて中学校では、例えば、第1分野の「科学技術と人間」、第2分野の「自然と人間」についての学習の充実が図られている。高等学校各科目でも基礎科目では「日常生活や社会との関連を図りながら」の一文が目標に盛り込まれ、人間生活との関わりや日常生活とのつながりが具体的に扱われている。

このような学習指導要領の方向性に鑑みたとき、これまで散発的にも展開してきた油化装置を用いた学びは、改善基本方針を具現化する学びに資するであろうことは想像に難しくなく、資産であったといえる。

3.3 カリキュラムマネジメント

同校は、流動的で答えのない問題に満ちた21世紀社会を見据え、目指す教育像として「自分が活躍する舞台がグローバル、グローバル、ローカルのどこになろうとも自分のおかれた場所であるいは自分が選んだ場所で生きる力。そこにある問題が何であるか理解し、解決すべき課題が何かを見定め、主体的かつ積極的に、男女があるいは文化背景が異なるもの同志、異なる業種、異なる部署のものが協働して解決に向けて動けるような資質であり力」⁽¹⁶⁾を育むこととしている。そして、それを具現化するために4つの教育目標を掲げている。その一つに「21世紀型高学力の養成」を掲げており、その一翼を担う教科として理科は、「科学者の視点で」を教育づくりの柱として掲げている。この「科学者」にはフロンティアというルビをふっている。科学者がまさに未知の最前線に立ってその解明に挑んでいるということになって、課題発見、課題解決ができる生徒を育むことを目指し、学校が目指す教育像をフィードバックしている。

国立教育政策研究所が定めた「21世紀型能力」を指して、後藤・松原（2015）は、「21世紀型能力は理科教育が目指す

能力と重なっていると言える」⁽¹⁷⁾としたが、同校は正にそれを具現化しようとしている。

そして、日々展開されている理科の各単元や指導事項の授業は、それ自体として評価規準に照らし合わせてマイクロPDCAを行っていくことが、学習指導要領解説理科編において理科の究極の目標とされている「科学的な自然観を育成する」ことにつながることはいうまでもない。

ただ、この油化装置に関する取組みは理科を超えた学校行事等もつながっており、理科よりも上位の学校目標としての「課題解決に向けて動けるような資質であり力を育む」ことにつながった学びであり取組みとなる。これをカリキュラムマネジメントとして機能させるためには、PDCAサイクルとしての評価者を明確にしておく必要がある。

4. 展開の方針

「総合的な学習の時間」で取り扱うテーマとか、横断的な特別なものとする、他教科や所轄部署も巻き込む大掛かりなものとなる。例えば、「プラスチックのゴミ問題の解決」のようなものとしてしまうと、法的な問題、経済性問題、倫理の問題等々社会科学的事業や解決に向けた啓蒙に伴う諸活動など内容も広範囲となるが、関わる教員、評価も含めて業務も広範囲となる。SSHのような人的、物的、財政的な特殊な状況ではなく、また、特殊なコースのカリキュラムでもなく、同校の現有・現状の条件下で負荷を増やすことなく持続可能な取組みとしてできることが求められる。そういった意味で、そこにあるだけで存在感を示す装置は、貴重な教育資源である。そこで、展開の方針として、理科を超えた学校行事等が絡むものの、この油化装置関連の教育については理科の科会がPDCAの主担者として評価することを確認する。学校行事はそれを主管する部署による独自のPDCAサイクルを持っており、評価については、評価対象事項を定めて線引きを行う必要がある。

以上から、「油化という一つの事例を授業内外で経年的に扱い、日頃学ぶ理科の学びが具体的な課題解決につながることを実感させ、課題解決に求められることの俯瞰的な理解」を狙いとして、油化装置と中学校理科、特に高校化学を基本線とした展開をする。

同校は、6か年教育を展開しているが、中学校と高等学校の理科の展開は学習指導要領に沿ったスパイラル型である。3.1で扱ったような油化装置の特徴も踏まえ、課題解決に求められることの俯瞰的な理解ができることを最終段階とした段階を以下のように設定し、各々の取組と関連付けて整理をしていく。

段階1（興味・関心）

プラスチックが油化する現象に「なぜ」「どうして」とい

う疑問や関心を持つ。社会的有用性につながることに興味・関心を持つ。

段階2（知識・理解）

学年が上がり、具体的な知識を持つことで、油化する原理や装置の構造がともに理解できるようになる。社会的有用性の具体的なことが理解できるようになる。

段階3（関連、総合的知識・理解）

発電の原理や仕組み、エネルギーの概念の理解とともにその応用やつながりを理解する。

段階4（課題の理解）

装置の限界や技術的な課題を理解する。

プラスチック処理に関する他の化学的な解決方法の理解と現状を理解する。

他の科学的な方法の現状を理解する。

段階5（課題解決に向けて当事者に求められることの俯瞰的な理解）

しっかり勉強することや論文にあたることの必要性や、一つ一つの小さな技術的な課題を克服していくこと等々を自分なりの言葉として持てる。

最初は課題解決の具体策として見えた油化装置が、学びを重ねていくに従い、むしろ課題を抱えたものとして捉えられるようになり、段階5のような言葉をもてるように導くという流れである。

5. 学びのつながりの作成

以下、同校関係教員と協議してまとめた学びのつながりが下記の通りである。学校行事等（一部授業）については、科会にて共有するPDCAのチェックすべき観点Cとして表記した。

①中学1年生～最初に化学実験室を使う授業にて

油化装置の名称とこの装置ができることの紹介を行う。生成油の実物を紹介する。ならびに文化祭で稼働していることの紹介を行う。5分程度。

C：生徒の反応、発した言葉等

②中学1年生、中学3年生～文化祭前

文化祭が近くなった理科の授業において油化装置と発電機がステージ近くで稼働していることの告知を行う。

3分程度。

C：生徒の反応、発した言葉等

③文化祭 その2

理科教員の指導の下、生徒会が油化装置を稼働し、生成油でディーゼル発電機を稼働し文化祭ステージの電源として用いる。また、化学教員が監修した啓蒙パネルを設置する。

C：生徒会の反応、啓蒙パネルの更新の必要性

④文化祭 その3

パラオ研修旅行の教室展示において、ゴミ処理やマイクロプラスチックなどの海洋汚染も加味した掲示を行うとともにパラオ研修旅行参加者が屋外で稼働している油化装置を案内する掲示や応対を行う。

C：掲示内容、応対での生徒の説明力

⑤中学1年生～文化祭後

文化祭後の理科の最初の授業で油化装置の稼働を見たか否かの質問を行い、感想を聞く。なぜだろう、高校生で学習する等々の会話を持つ。5分程度。

C：生徒の反応、クラスにおける見た生徒、見なかった生徒の割合、感想の内容。関心を持たせる会話の運び方

⑥中学校3年生 1分野

『科学技術と人間』の「エネルギー」の単元にて、油化装置からの生成油を燃料として物理室のディーゼル発電機を稼働実演する。内燃機関とモーター発電の仕組みの理解とともに、火力、水力、原子力などからエネルギーを得ていることを扱う。

⑦中学校3年生 2分野

『自然と人間』の「生物と環境」を扱う単元の導入教材として、関連した事例としてマイクロプラスチックの実物事例に触れ、海洋ゴミやプラスチックごみ問題の知識理解とともに関心を引き出す。15分程度。

⑧高校2年生 パラオ研修旅行の事前学習

授業では分子量、化学結合の学習を終えている。コースごとの事前学習の際に、引率の化学教員により、分子模型を用いて、炭化水素、高分子、熱分解≠燃焼、の用語を用いて、油化装置の原理説明を行う。20分程度。

C：生徒の理解、反応、説明の仕方。

⑨高校2年生 パラオ研修旅行 現地学習

プラントとして稼働している油化装置の稼働状況を現場視察する。ゴミ処理一般、海洋汚染一般について残された課題と解決可能性（方向性）をまとめる。

評価者：引率者、評価観点：知識理解

評価物：ワークシート

⑩高校2年生 パラオ研修旅行 事後報告会

全体報告の観点の一つに、「…プラスチックごみ問題の処

理の一つの解決方法として…、文化祭で使われている油化装置の本格的なプラントが稼働しており、…」といったフレーズを盛り込んで行う。

⑪高校生物

同校では、YuYang et al. (2015)⁽¹⁸⁾ の論文にあったゴミムシダマシ科の甲虫の幼虫であるミールワームが発泡スチロール（ポリスチレン）を分解することの報告を受けて、ミールワームを常設展示していることもあり、海洋ゴミ、マイクロプラスチックの話題を扱う。

プラスチックごみへの課題解決の方法として化学的な方法や、生物学的な方法など様々に取り組む方法や可能性があることを示す。

⑫高校物理 エネルギー概念の総括的な復習事例として

中学校3年でも扱うものの、とらえどころのないエネルギー概念の獲得は高校生でも難しい。高校物理でも、実体感覚に近い力学の学びにおいて、力を定義し、仕事を定義し、そして、「仕事をする能力」という表現でエネルギーを定義していく。換言すると、どのようなエネルギーも、最後は力学的な動きにつながり得るということで実体感覚につながる。力学の学習に続き、熱、波動、そして電磁気学を学習し終えた段階で、文化祭で稼働した油化装置の事例を引き合いに、図1の写真を用いて、エネルギーがさまざまに変わっていく事例として表現することを扱う。

⑬高校化学 『高分子化合物の性質と利用』

以下の授業展開案に沿って、授業者が実態に即して展開するものとした。

- ・炭化水素の性質理解の具体例として、油化装置によって作られた液体の生成油ならびに固形状の生成油を提示する。
- ・油化装置の構造と熱分解による油化の仕組み、PP ポリプロピレン、PE ポリエチレン、PS ポリスチレンしか扱えない理由を扱う。

熱分解の方法を用いる油化装置では、本質的に：

- ・生成油は沸点が近いものが集まった不安定物であること。
→熱分解では水素不足となり、不飽和化合物（2重結合）を含んだものができてしまう必然。
- ・よって重合反応が起きやすいこと。
→時間が経過した生成油が粘性の高いものに変質。
- ・蒸留操作をしても沸点が同じになるだけで、ガソリンや、ディーゼル油とはならない規格外油となってしまう、主としてボイラー燃料となること。
- ・法的に認められる燃料とするには油化の後に水素添加、

改質、再蒸留の操作が必要となるが、この操作に莫大な費用が掛かり現実的ではないこと。

といった課題があることの合理的な理解を行い、現実には：

- ・離島や大型プラントが作れないような地域でのプラスチック処理といった方法に限定されること。
 - ・油化させた生成油を石油精製工場に売却し、既存の石油精製装置で大量かつ安価に処理を行っていること。
- を踏まえ、
- ・総括的な廃プラスチックリサイクルの現状、部分酸化処理による水素の製造とアンモニア製造のプロセスの理解を行う。
 - ・高校化学を学んでさらに理解できるようになると、中学校当時に可能性ある油化装置と捉えていたものに本質的な課題があることが理解できるようになったことを気づかせる。

表1 段階と展開内容の対応

	段階1	段階2	段階3	段階4	段階5
①	○				
②	○				
③	○	○	○		
④	○	○	○		
⑤	○	○			
⑥			○		
⑦			○		
⑧		○			
⑨			○	○	○
⑩				○	○
⑪			○		
⑫			○		
⑬		○		○	○

※左寄り強調文字が授業での扱い、他は行事等

中学校での①～⑤については、⑥⑦⑬の授業や⑧⑨⑩の研修旅行につながる関心を育む啓蒙的活動であって、生徒の評価に関わるものではない。しかし、6 年全体を機能させる種蒔きとしての教育的活動であり、明文化した。実施後には、主として生徒の反応等を理科の科会において共有、評価し次年度の啓蒙に向けた準備を行うものとする。

⑥⑦⑬は、授業としての生徒評価ならびにマイクロPDCAの対象となる。⑧⑨⑩は研修旅行関連であって理科として生徒評価を行うものではないが、理科教員が担当し、参加者には知識理解が求められる活動である。そういった意味での実施状況に対するチェックが求められる。研修旅行コースとしてのPDCAは、この行事を主管する校務担当

である教育開発部が行うが、引率理科教員は報告書をまとめる時点で、この油化装置関連のことについてのCAに言及する。

⑪⑫については、高校化学を基軸にしたときの「他科目の学習成果とも関連させて、自然界の事物・現象を分析的、総合的に考察する能力を育成する」につながる学びとなる。

6. 授業の展開とアンケートの実施

この度のように意図的な教育として整理した6か年全体の成果については、6年後ということにならざるを得ないが、散発的にも油化装置に係る活動が行われてきた学校空間の中で過ごしてきた高校3年生に対して、⑬の高校化学の授業案を参考とした授業を展開し、授業前後でアンケートを実施した。

6.1 授業展開

展開案を受けて、授業者はクラス実態や状況を踏まえて以下のように展開した。

対 象 高校3年生 6年5組（理系クラス）

実 施 日 2017年9月16日3限（38名）

実施場所 化学室

- ・前時の授業で、高分子化合物の単元に入り、高分子化合物の構成と合成樹脂について扱った。この授業において、事前アンケートを実施し、また、図1の写真を見せ、クラスにいた昨年度の文化祭バンド演奏した生徒の事例を引き合いに、物理室の発電機の写真、燃料が軽油と指定されていることを確認するなど、次の時間の予告的なことを3分程度で扱った。
- ・授業日のSHRを化学室で行い、油化装置にペットボトルキャップを入れて装置を起動したところを全員で確認した。
- ・2時間程度の油化が完了した段階の3限目に授業を実施とした。
- ・2.2で扱った理科総合Aの授業で用いていた書き込みプリントを一部利用したプリントを用意し、油化装置の構造や油化仕組み、現実的な使用可能な場所等について扱った。
- ・リサイクル処理の実態と様子や生成油の用途等に関して、富来産業株式会社作成の10分程度の動画「廃プラスチック熱分解処理油化プラントのご紹介」⁽¹⁹⁾を用いた。
- ・さらに、授業者は、行本ら（2010）の論文「廃プラスチックのガス化リサイクルとその評価」⁽²⁰⁾を配布し、現実的なコスト面を加味した東京都大田区をモデル地区とした地域での具体的なゴミ処理フローの5つのパターンとその評価の結論の導き方について言及した。

- ・有機化学の諸々の復習観点、受験的な観点も盛り込み、当初展開案に示した内容は抑えられ、5分の時間を残して終えた。アンケート回収は36名であった。

6.2 アンケート内容と結果

内容

授業前に以下の3つの質問について、4件法で問うアンケートを実施した。

- 問1. 中学時代も含めて、プラスチックがどうして油化されるのか、その現象の仕組みについて興味・関心を持ったことがありましたか。
- 問2. 中学時代も含めて、プラスチック処理の有効な方法として社会的に役立つという点で、校内の油化装置について興味・関心を持ったことがありましたか。
- 問3. この装置によって、ポリスチレン、ポリエチレン、ポリプロピレンが、熱分解によって油化（炭化水素液）される仕組みを理解していましたか。

授業後に以下の3つの質問について、4件法で問うアンケートを実施し、問7については自由記述とした。

- 問4. 校内の油化装置がもつ課題や限界が理解できましたか。
- 問5. 課題に対する現時点での現実的な対応例が理解できましたか。
- 問6. 油化装置の事例を扱ったことで、化学の学びが現実的な問題に具体的につながっていることが一層実感できたと思えましたか。
- 問7. 一連の油化装置の事例を通して、ものごとの課題を解決するという観点でどんなことが学べたと思えますか。自由記述で書いてください。

結果

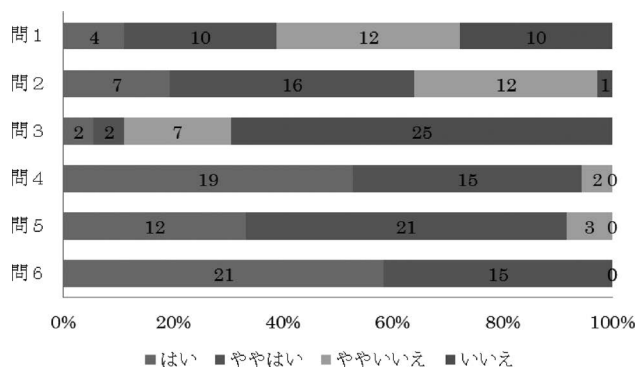


図2 アンケート4件法での実数表示 (N=36)

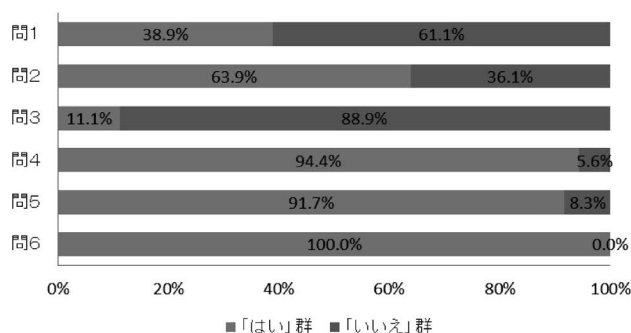


図3 図2の4件を2群へ換算後の%表示

問7の自由記述について

記入が28名、無記入が8名であった。記入内容は以下のように分類できた（重複なし）。

- 課題解決一般へのメタ認知的視点から言及 14名
- 化学の学びの有用性の認識 3名
- 環境・ゴミ問題に関する認識の深まりや私見 7名
- 油化装置そのものに対する感嘆 2名
- 授業の通し的内容の記述 2名

6.3 考察

- ・問1の「現象の仕組みの興味・関心」について、理系選択者のクラスでありながら「はい」としたものが実数で4名、明確に「いいえ」としたものが10名であった。問2の「油化装置への興味・関心」については「社会的有用性」という視点を絡ませたが、「はい」群が63.9%であった。意図的・系統的に扱ってこなかった6年間の実態を認識できる数字として、問1問2共に関係者にとって参考となる結果であった。
- ・問3の「油化の仕組みの理解」については未習の内容なので妥当な結果といえる。
- ・問4、問5は共に「はい」群で90%を超えているものの、問4に比べ問5において「はい」とした実数が減っている。問4に関する授業の前半部分では、高分子化学の知識から油化装置の仕組みと課題を扱っていたのに対し、問5に関する授業の後半部分では、10分の動画視聴やゴミ処理フローを扱った学術論文を用いたことなど、内容がやや拡散的で情報量が多かった展開であったことも一因ではないかと推測する。
- ・事前の問1や問2の興味・関心の程度に拘わらず、問6の「学びの具体的なつながりの実感」は、「はい」群で100%であった。系統だった知識理解に基づいて授業として取り扱ったことの効果と評価できる。
- ・段階5（課題解決に向けて当事者に求められることの俯瞰的な理解）に対応することを意図した問7について、問い方としては唐突的でもあり何を答えていいのかや回答しにくい問い方であったように思われ、反省点であ

る。それでも、14名（アンケート回答者に対する38.9%、自由記述回答者の50%）が課題解決という行為でありプロセスに関する学びを俯瞰的な視点から言語化できていた。

7. おわりに

学校、教科がめざす学力像に沿って課題解決という観点で段階1から段階5と設定し、教育資源や教科科目を超えた学校行事との連携をまとめたこのたびの学びのつながりは、PDCAのPに相当する仮説にすぎない。ただ、0スタートの仮説ではなく、経年で校内に散在していった資産や取組を関係者で整理し言語化していくプロセス自体が諸々のDCAに基づいていた作業であった。カリキュラムマネジメントとは「各学校が、学校の教育目標をよりよく達成するために、組織としてカリキュラムを創り、動かし、変えていく、継続的かつ発展的な、課題解決の営みである。」との田村（2011）⁽²¹⁾の定義を改めて関係者で強く認識していく営みでもあり、今後のDCA展開の弾みとなった。

また、同校の油化装置を用いた様々な取り組みや展開は、勢いで行ってきた $+α$ な任意の位置づけであり、油化装置の教育的意義を整理して正面から明文化して位置づけてはこなかった事例であった。そして、装置や取組みの認知が生徒側にそれなりにあっても、系統性を持って授業で扱うことのない教育資源・教育空間による作用がどういったものであるか、アンケート調査でその実態の一部を把握できた。その一方で、高校3年生の事例ではあったが、実際に授業で取り扱うことの効果の大きさも確認できた。このことが認識できたことは、この学びのつながりの仮説をこれから実際に展開していくことになる関係者に相応の納得感を与えた。

この度は、油化装置という特殊な教材を中心に据えた事例ではあったものの、この度の一連のプロセスが、校内の教育資産をつなげて再構成していく作業の参考となれば幸いである。

謝 辞

研究を行うにあたり、広島なぎさ中学校・高等学校の理科主任の堀内和徳先生をはじめ科会の先生方、特に化学の授業を実施された新屋慶先生にはさまざまなご尽力をいただきました。ここに深く感謝いたします。

注 釈

- ※注1 (株)プレスト社は、2017年4月21日付で横浜地方裁判所より破産手続の開始決定を受け倒産した。
- ※注2 「プレスト社」バッチ式卓上油化装置 Be-h について

て、<http://www.blest.co.jp/be-h.html> (2017年 8月 30日確認)



- ① PP, PS, PE 等を熱分解する釜
- ②釜内温度制御装置
 - ・釜下部 設定温度 450℃前後
 - ・釜上部 設定温度 300℃前後
- ③釜内で熱分解された軽油成分相当の分子量のものならびにそれより小さい分子量の炭化水素ガスがこのパイプを通過する。
- ④水中を炭化水素ガスが通過し、軽油成分の分子量のものが液化して油として水上に浮かび、さらに軽く液化しないものは気体のまま装置外へ排出される。

※注3 2017年の研修旅行訪問の2週間前に火災事故により焼失したため、同年は稼働状況の見学は出来なかった。

文 献

- (1) 新屋慶 (2008)「プラスチック油化に関する環境教育 新しい学びの形を模索して」季刊『鶴学園』第129号
- (2) 高等学校学習指導要領解説 理科編 平成21年 7月 文部科学省 p. 5
- (3) 三木勝仁 (2007)「簡易なプラスチック油化装置の開発ー日常生活と化学をつなぐー」『北海道立理科教育センター研究紀要』第19号
- (4) 三木勝仁 (2008)「ポリプロピレンの油化実験について」『北海道立理科教育センター研究紀要』第20号
- (5) 三木勝仁 (2009)「プラスチックのガス化システム」『北海道立理科教育センター研究紀要』第21号
- (6) 「ボトルキャップからリサイクル燃料 製作費ゼロで油化装置完成」https://school.js88.com/scl_h/school-news/yokikoto?news=1091 (2017年 8月30日確認)
- (7) 森田直之ら (2016)「～南の島からゴミの島をなくせ！プラスチック熱分解をテーマとした環境教育～」『日本科学教育学会研究会研究報告』Vol 31. No. 4
- (8) プレスト社 HP スクール油田. <http://www.blest.co.jp/about.html#a03> (2017年 8月30日確認)
- (9) 「ポップコーンマシンで、リサイクル意識を高める～パラオでの廃プラスチック油化装置の試み～」2015年版開発協力白書 日本の国際協力 匠の技術、世界へ3 外務省
- (10) 一般社団法人プラスチック循環利用協会. プラスチックとプラスチックリサイクル 学習支援サイト. <http://www.pwmi.jp/> (2017年 8月30日確認)
- (11) 千葉県総合教育センター (2012)「理科の有用性を実感する指導方法の調査研究」研究報告 第397号
- (12) 松原道男 (2012)「理科におけるカリキュラムマネジメントの視点」理科の教育 2月号 Vol. 61, No. 697 p. 5
- (13) 後藤顕一・松原憲治 (2015)「主体的・協働的な学びを育成する理科授業研究の在り方に関する一考察～カリキュラムマネジメントに基づく理科授業研究モデルの構想～」理科教育学研究 Vol. 56 (2015) p. 17-32
- (14) 「パラオ共和国リサイクルセンター NVG1000導入」. <http://www.blest.co.jp/palau2016.html> (2017年 8月30日確認)
- (15) 前掲 (2) p. 4
- (16) 広島なぎさ中学校・高等学校 Guide 2017 p. 3
- (17) 前掲 (13) p. 22
- (18) Yu Yang et al. Biodegradation and Mineralization of Polystyrene by Plastic-Eating Mealworms: Part 1. Chemical and Physical Characterization and Isotopic Tests Environ. Sci. Technol., 2015, 49(20), pp. 12080–12086
- (19) 油化装置 Neo-OILIA 動画「廃プラスチック熱分解処理油化プラントのご紹介」富来産業株式会社. http://fuki-japan.com/?page_id=760 (2017年 8月30日確認)
- (20) 行本正雄ら (2010)「廃プラスチックのガス化リサイクルとその評価」中部大学 総合工学 第22巻 pp. 14-22
- (21) 田村知子 (2011):『実践・カリキュラムマネジメント』ぎょうせい p. 2