

グリーンケミストリー教材の開発 とそれを使っての意思決定能力育 成に関する調査研究

平成 14～16 年度科学研究費補助金
基盤研究(B)(2)(課題番号 14380066)
研究成果報告書

平成 17 年(2005 年)3 月

研究代表者 松原 静郎

(国立教育政策研究所 教育課程研究センター 基礎研究部 総括研究官)

は し が き

平成 14 年度から平成 16 年度の 3 か年にわたる科学研究費補助金を受けて、「グリーンケミストリー教材の開発とそれを使っての意思決定能力育成に関する調査研究（略称：化学教材）」を実施してきた。この報告書は平成 16 年度に実施してきた学習教材や実験教材の開発、そしてその実践などを中心にこの 3 か年のまとめとして報告するものである。

今年度は昨年度、一昨年度に引き続き、研究代表者、分担者、県教育センター指導主事、中・高等学校教諭等で月 1 回の定例研究会と 3 か月に 1 回の拡大研究会を開いて研究を進めてきた。

これまで高校生を主な対象とし、グリーンケミストリー（以下 GSC と記す）の学習教材として環境対策技術教材を開発してきたが、今年度は第一に、この実践の折に、生徒が学習履歴シートに記述した内容を、ループリックをつくって評価すること、第二に、GSC の考え方を示す実験として開発してきた教材を、学習教材に導入できる形にすることを目指した。

また、この学習教材については、1 年前の高等学校 2 年次に実施対象となった生徒に対してアンケートをとり、どのように意識に残っているか調べた。また、高等学校理科総合や化学、の授業に導入しやすくするため、3 校時用に教材を縮約し実践した。さらに、新たに開発を進めてきた電気に関する内容を中心とした教材では、いくつかの中・高等学校で実践していくことができた。

一方、実験教材としては、学習教材で扱う炭酸ナトリウム工業に対応させたアンモニアソーダ法の実験、また、学習教材の硫酸化物に関する内容に沿った実験に修正して実践した。さらに、光触媒の実験教材を実践した。

どの実践においても新たな発見があり、研究を進めるにあたって有益であった。ここに 3 年間の調査研究での成果をまとめたが、ご高覧いただき、ご意見ご叱正を賜れば幸甚である。

最後に、これらの活動を進め、この報告書をまとめるにあたっては、小川友子さんの助力があった。ここに記して感謝したい。

平成 17 年 3 月

研究代表者 松原 静郎

研究組織

- 研究代表者 松原 静郎（国立教育政策研究所 教育課程研究センター
基礎研究部 総括研究官）
- 研究分担者 堀 哲夫（山梨大学 教育人間科学部 学部長）
- 鳩 貝 太郎（国立教育政策研究所 総括研究官）
- 有 元 秀文（国立教育政策研究所 総括研究官）
- 山 本 勝博（大阪府教育センター 主任研究員）
- 鎌 田 正裕（東京学芸大学 教育学部 助教授）
- 研究協力者 寺 谷 敞介（東京学芸大学 名誉教授）
- 笹 尾 幸夫（国立教育政策研究所 教育課程調査官）
- 大 谷 龍二（群馬県総合教育センター 指導主事）
- 蒲 原 正憲（佐賀県教育センター 係長）
- 宮 内 卓也（東京学芸大学附属世田谷中学校 教諭）
- 村 松 啓至（静岡県森町立旭が丘中学校 教頭）
- 重 藤 英一（大阪府門真市第二中学校 教諭）
- 高 野 裕恵（四天王寺高等学校・中学校 講師）
- 高 坂 智（青森県青森南高等学校 教諭）
- 野 内 頼一（茨城県立伊奈高等学校 教諭）

後 藤 顕 一（埼玉県立浦和高等学校 教諭）

臼 井 豊 和（東京都立新宿高等学校 教諭）

清 田 三 郎（東京都立第四商業高等学校 教諭）

久 保 博 義（東京都立西高等学校 教諭）

竹 山 哲 司（東京都立芝商業高等学校 教諭）

石 川 朝 洋（新潟県立吉川高等学校 教頭）

大 平 和 之（新潟県立新潟高等学校 教諭）

深 野 哲 也（大阪府立三国丘高等学校 教諭）

藤 原 大（大阪府立平野高等学校 教諭）

森 永 順 治（佐賀県立三養基高等学校 教諭）

交付決定額（配分額）

年 度	直接経費	間接経費	合 計
平成 14 年度	4,900 千円	0 千円	4,900 千円
平成 15 年度	3,800 千円	0 千円	3,800 千円
平成 16 年度	2,900 千円	0 千円	2,900 千円
総 計	11,600 千円	0 千円	11,600 千円

平成14年度報告書 目次

はしがき	i
研究組織	ii
研究目的	iv
本年度の研究結果概要	vi
・学習教材の開発と実践	1
学習教材の開発	2
試行授業実践報告	4
GSC 教材実践報告	60
・評価法の開発	73
学習履歴による教育内容構成の妥当性を 検討する評価方法「一枚ポートフォリオ 評価法」の開発	75
・高等学校実験教材	85
グリーンケミストリー教材の開発 - 水質 の簡易測定法の開発とイオン交換膜法に よる海水の濃縮と淡水化 -	86
グリーンケミストリーを基本にした、高校 化学実験の検討	96
アルミナ触媒反応実験に対する生徒の評 価	102
環境問題を理解するための授業実践 - 実 験後の廃液処理方法について -	106
「グリーンケミストリー」の普及を目指した 授業実践報告	110
毒性一覧 試案	116
・中学校実験教材	119
生徒から見た実験教材の長所と短所 - 中 学校の熱分解の学習を例に -	120
酸、アルカリの学習におけるアサガオに含 まれる天然色素の教材化	124
・グリーンケミストリーデジタル教 材	127

平成15年度報告書 目次

はしがき	i
研究組織	ii
研究目的	vi
本年度の研究結果概要	viii
・大気汚染教材の実践	1
1 GSC 教材の学習指導要領での位置づけ	
2 試行授業実践報告 - 高等学校「総合学 習」での実践	6
3 GSC 教材実践報告 - 高等学校化学 課 題研究での実践	20
4 アンモニアソーダ法の実験を取り入れ た GSC 教材の実践	28
5 GSC 教材の試行授業の実践 - 中学校選 択理科における導入	36
・中・高等学校実験教材の開発	55
1 二酸化硫黄から石膏をつくる	56
2 バラの香りがレモンの香りに変わる	60
3 生分解性プラスチックに関する化学 教材の検討	64
4 光触媒を用いた実験教材の開発	68
5 洗剤の歴史におけるグリーンケミス トリー	78
6 グリーンケミストリー生徒実験教材 の試行とその展開	84
・中学校学習教材の開発	95
1 GSC 中学校教材の開発	96
2 中学校におけるグリーンケミス トリーの基礎となる原子・分子の考え方を育 成する教材開発	110
・グリーンケミストリー教材の開発、実践、 評価	119

目 次

はしがき	i
研究組織	ii
研究目的	viii
研究結果概要	x
・ 大気汚染対策教材の実践とその評価	1
1 GSC 教材の開発	2
2 各ワークシートの要約についての評価	8
2 - 2 C 高校と A 高校のルーブリック評価法による比較	30
3 ワークシートでの回答と要約での記述	40
3 - 2 学習履歴シートの記述を中心に	44
4 学習前後での理解の変化	56
5 グリーンケミストリーワークシートでの要約	60
6 グリーンケミストリーワークシートの学習による理解の変化	64
7 高等学校の小論文指導を目的とした課題としての実践	72
8 教育センター高校化学研修講座での実践	81
9 グリーンケミストリー教材実施 1年後のアンケート	87
・ 縮約版大気汚染対策教材の実践	97
1 3時間でのグリーンケミストリー教材の実践と評価	98
1 - 2 ワークシート1～3、資料、学習履歴シート	107
2 150分での実践事例	113
3 1校時と家庭学習での事例	117
3 - 2 実験プリント、資料プリント、学習履歴シート	134

. 電気教材の実践と評価	137
1 グリーンケミストリーの考えを取り入れた教材作成とその実践	138
2 電気教材の高校での実践	140
2-2 教材、学習履歴シート	144
3 校種による電気教材の実践結果の比較	156
. 高等学校実験教材の開発	163
1 バラの香りがレモンの香りに変わる	164
2 二酸化硫黄からセッコウをつくる	170
3 光触媒を用いた実験教材の開発と実践	176
. グリーンケミストリー学習教材(大気汚染対策教材)	189
メニュー	190
ワークシート	194
学習履歴シート	210
学習の資料	212

研究目的

第15期中央教育審議会の答申の「生きる力」にも示されたように、社会生活の中で我々は様々な課題について判断や意思決定を行わなければならない。このような社会生活の必要性に対応するため、理科教育の分野においても、科学知識の学習にとどまらず、判断と意思決定の過程を取り扱うこととその育成をはかることが必要である。

これまで原子力や放射能を題材とし、そのリスク評価について、中学・高校生を対象とした調査を行った結果では、利害両面からの見方を身につけるなど科学的な判断・意思決定での有効性は認められた。しかし、リスクがたとえ100万分の1の確率であろうともその「1」にはなりたくないという意識を持つ場合には、安全なレベルについて納得していても、下す判断は学習以前と変わらないことが多く、「安心」のレベルとの乖離が認められた。しかし、グリーンケミストリー（環境にやさしい化学、以下GSCと記す）では暴露量を減らしてリスクの確率を小さくすることよりも、その危険性を減らしていくとする考えであり、GSCの考えを学ぶことにより、安全レベルと「安心」レベルが近づくことが期待され、社会における科学的な判断・意思決定能力の育成に寄与するものと思われる。

また、これまでの化学や自然科学に対する子どもの意識を調べてみると、理科の好き嫌いや面白いなどの意識についてはこの10年間変化はないが、科学を重要なもの、役立つものとする価値意識は徐々に減少し、科学が害をもたらすとする意識は増えているなど、科学に対するイメージが変化していることが認められる。GSCの考えは、基幹産業でありながら環境問題でイメージダウンしている化学工業において、環境に対する努力が払われている方向を示す好例と考えられる。

何をどこまで明らかにしようとするか：

第一に、中学校理科及び高等学校化学、総合的な学習の時間における、グリーンケミストリー（環境にやさしい化学；Green and Sustainable Chemistry、以下GSCと記す）の教材を開発する。このGSCとは環境汚染を防ぎ、化学物質の合成や設計をする化学であり、汚染が発生してから処理ではなく、汚染そのものの発生を断つための原理と方法論のことで、欧米や日本の化学会で汚染を防ぐ画期的な手段として、現在ナノケミストリーとともに注目を浴びている分野であり、化学教育においても環境教育の観点からも学習すべき内容であると考えられる。例えば炭酸

ナトリウム工業での塩化水素や石油工業での硫黄酸化物による大気汚染とその対策に関する教材を開発してきたが、その経緯は汚染が発生してからの処理から、汚染そのものが発生しない工程へと切り替わってきており、従来の化学工業から GSC への移行と同じ向きへの変化である。この教材を GSC の視点から見直し、化学工業が歩んできた道程と現代の主要な原理である GSC の考え方を対応させ、新たな教材として開発し実践していく。

第二に、GSC の考え方を具体的に示す実験教材を開発する。 上記教材での実験ばかりでなく、独立した場面においても、例えば、以前に実験の際に使われてきた試薬がその後他の試薬に取って代わられた場合、なぜ取って代わられたかを考えさせる場面や、環境にやさしい化学物質の合成を試みる場面などを取り込んだ実験教材を開発して、その時々で GSC を考える場とする。

第三に、開発する教材により論理的な判断・意思決定能力の育成を図る。 この教材では、新しい情報を得ることにより多くの生徒に判断・意思決定の変更を迫る内容を含んでいる。これまで開発してきた論理的な表現力・思考力を育成するための定型文やリスク評価の考え方を教材に加味し、社会における科学的な事象の問題解決に必要な論理的な判断・意思決定能力の育成を図るのに適した教材とする。その効果を、中・高の協力校で実践し学習履歴シート等により調査する。

学術的な特色・独創的な点及び予想される結果と意義：

(1) 現在注目されている GSC の考えを扱う教材を作成すること自身が特色の一つである。開発する教材は、中・高等学校での学習と先端化学との接点になる。また、定点調査で科学に対するイメージが徐々に悪化しつつあることが見出されているが、現在の化学者の環境に対する考えが具体的に示されている教材を扱うことにより、その改善につながるものと考えられる。

(2) GSC 教材を体験的な活動と結びつけるため、実験教材を開発するのも本研究の特色である。生徒が取り扱える試薬には制限があるものの、いくつかの実験教材は開発可能であり、それらの実験活動を通して GSC の考え方をより身近なものとしてとらえられるようになると思われる。

(3) GSC 教材を使って、論理的な判断・意思決定能力を育む教材の有効性について調査することは本研究の最も独創的な点である。これまで進めてきた実験活動を通じた表現力や思考力の育成に関する研究から、実験レポートを文章で記載できない生徒に思考を整理し考察する定型文指導が有効であることとともに、意見を述べるべき内容が含まれているとまとまりのある記述ができることがわかった。一枚ポートフォリオ評価法を使って判断・意思決定能力の育成への有効性を調査する。

研究結果概要

学習教材の開発および実践

中・高等学校におけるグリーンケミストリー（以下、GSC と記す）の学習教材として、化学工業における工程が GSC に対応した工程へと移行していることを題材とした大気汚染対策に関する教材を開発し、この3年間に8校1センターで実践した。その結果、どの実践校でも生徒たちは本教材に興味を示し、まじめに取り組んでおり、学習履歴シートの記述から科学技術に対しても、また、本教材に対しても好意的な反応が認められた。例えば、良い面ばかりではなく悪い面についても情報を得ることで、利害両面の知識を基に自分なりの判断・意思決定につながる考えを構築できるようになること、また、悪い面があった事実を知ることが将来の科学技術の発展を考えることに結びつき、科学の価値に前向きな態度が培われるなど学習効果が認められた。

また、学習効果が長期的なものであるか検証するため、実践の1年後にアンケートを実施した。突然のアンケートにも関わらず8割の生徒から回答があり、ほぼ全員が GSC とは何かについて記述でき、この1年間に GSC について思い浮かべる場面があったとした回答や GSC の考え方が役立つとした回答がそれぞれ6割前後に上るなど、本教材による授業は生徒にとって印象的で有意義であったと考えられた。

一方、学習時間の制約を考え3校時に縮約した教材による実践でも、学習履歴シートへの生徒の記述などによる反応から、グリーンケミストリーの考えやそれに基づく意思決定など本教材で意図した成果は十分得られたと考えられた。

評価方法の開発および実践

学習教材の効果を高等学校等で実践し調査したが、その際一枚ポートフォリオ評価法に準じた学習履歴シートを作成し、新たな評価方法として利用した。学習履歴シートへの生徒の記述内容により教材の妥当性を検討した。さらに、ルーブリック（評価指針）を作成して、記述内容の質的な評価の観点から検討した。

実験教材の開発および実践

中・高等学校の教科書についてグリーンケミストリーの観点から開発できそうな実験について調査した結果、中・高等学校では試薬が非常に限定されており、当初考えていた触媒を用いた実験教材の実施は難しいことがわかった。

光触媒などの実験のほか、危険性の防止と試薬の再利用、廃棄物処理などの実験教材の開発も試み、実践した。その結果、グリーンケミストリーを特に学んでいなくてもその視点をある程度持ち合わせている生徒が少なからずいることがわかった。

また、学習教材実践後の感想には、その中に実験を入れることの記述があり、これまで開発してきたアンモニアソーダ法と二酸化硫黄からセッコウをつくる実験を、学習教材に対応した実験として改訂し、組み入れた。

I. 大気汚染対策教材の実践とその評価

日本理科教育学会第54回全国大会発表論文及び資料を含む

1	GSC 教材の開発 (松原静郎)	2
2	各ワークシートの要約についての評価 (後藤頼一)	8
2-2	C 高校と A 高校のループリック評価法による比較	30
3	ワークシートでの回答と要約での記述 (宮内卓也)	40
3-2	学習履歴シートの記述を中心に	44
4	学習前後での理解の変化 (野内頼一)	56
5	グリーンケミストリーワークシートでの要約 (久保博義)	60
6	グリーンケミストリーワークシートの学習による理解の変化 (松原静郎)	64
7	高等学校の小論文指導を目的とした課題としての実践 (森永順治、蒲原正憲)	72
8	教育センター高校化学研修講座での実践 (大谷龍二)	81
9	グリーンケミストリー教材実施 1年後のアンケート (後藤頼一)	87

GSC 教材の開発

松原 静郎

1 大気汚染対策教材の開発

今回開発した学習教材は、「環境対策技術の教材化」プロジェクトとして平成5年度～平成7年度にかけて、東京学芸大学の渡辺賢寿教授、東京都立京橋高等学校の竹山哲司教諭（所属・職は当時）らとともに開発してきた教材を基礎としている。

表1 元となったワークシートの学習内容

ワークシートその1（塩化水素 a）炭酸ナトリウム工業ルブラン法による環境への影響
ワークシートその2（塩化水素 b）炭酸ナトリウム工業のアンモニアソーダ法への移行
ワークシートその3（硫黄酸化物）硫黄酸化物による被害とその対策
ワークシートその4（窒素酸化物）窒素酸化物による被害とその対策を考える
ワークシートその5（大気汚染の移り変わり）大気汚染物質濃度の経年変化を考える
ワークシートその6（汚染対策技術）大気汚染物質対策のまとめ

この教材を元に、グリーンケミストリー*（環境にやさしい化学）の視点で改めて構成し直し、基本的な教材と位置づけられていたワークシートその1からその4までを中心に改訂していった。その後の予備調査の結果、これらのワークシートによる学習だけでは生徒がグリーンケミストリーとの関連を引き出すのは難しいとの結論に達し、グリーンケミストリーの意味を解説したワークシートを5とし、その前にワークシートの1から4までの内容とグリーンケミストリーとの関連を説明する「ワークシート6をはじめめる前に」を加えた。その構成は表2のとおりである。

表2 開発したワークシートの構成

導入ワークシート：大気について考えるワークシート
ワークシート1,2をはじめめる前に：過去の大気汚染問題の理解と解決（HClを中心に）
ワークシート1：塩化水素の問題（ Na_2CO_3 の古い製造法）
ワークシート2：塩化水素の汚染の問題解決（アンモニアソーダ法）
ワークシート3,4をはじめめる前に：現在の大気汚染問題の理解と今後の解決に向けて
ワークシート3：硫黄酸化物についての理解と問題解決策
ワークシート4：窒素酸化物についての理解と問題解決策
ワークシート5をはじめめる前に：ワークシート1～4のまとめ
ワークシート5：グリーンケミストリーとリスク評価

*) 「グリーンケミストリー」は環境に配慮した化学合成について用いた用語であるが、1993年ごろから米国環境保護庁 EPA が使いだした（渡辺正，2000）。1996年からは毎年「大統領賞」の表彰が行われており、何件かの研究者や企業が受賞している。

わが国では1999年8月に日本化学会が環境と化学推進委員会を発足させたが、その活動の2本柱の一つがグリーンケミストリーであった。2000年3月には、日本化学会、化学工業会、科学技術戦略推進機構など10団体により、グリーン・サステイナブルケミストリーネットワーク GSCN が発足し、2001年度よりグリーン・サステイナブルケミストリー賞が授与されている。第2回の2002年度からはGSC賞経済産業大臣賞、同文部科学大臣賞、同環境大臣賞となっている。

わが国での正式な呼称は「グリーン・サステイナブルケミストリー-GSC」であるが、米国ではグリーンケミストリー、一方欧州ではサステイナブルケミストリー（持続可能な化学）と呼ばれている。

グリーンケミストリー（以後 GSC と記す）は、廃棄物を出してからの処理を、廃棄物ができないようないわば予防をしていこうとする考えである。この考え方を教材に取り入れ、生徒に知らせるとともに科学の在り方について考えさせる機会をつくることは、化学の学習に対する意味づけからも大事であると考えた。そして、化学工業における工程が GSC に対応した工程へと移行していることを題材とした大気汚染対策に関する教材を開発することで、生徒自身による判断・意思決定の場面をつくり、その育成を図ることとした。

この大気汚染対策に関する教材は、この3年間に表3にあげる8校1センターにおいてそれぞれ実施可能な範囲で実践し、延べ12回約200名を対象としてきた。表3に示すとおり、それぞれ、高等学校の化学Ⅰ（年度により旧課程化学ⅠAやⅠB）のほか、総合的な学習の時間や化学Ⅱの課題研究、中学校での選択教科としての理科など、GSCの内容を扱うことが可能な時間に位置づけて実践をしてきている。

表3 学習教材（大気汚染対策教材）の実践校とその対象

実践校 ¹⁾	対象学年	実施時間	実施年度	実施時間	対象生徒	大学・短大進学率
公立A高校	2年	総合的な学習の時間	2002年度	9校時	20名	10割
			2003年度1期 2期	7校時	10名 17名	
公立B高校	3年	化学Ⅱ+家庭学習	2002年度	5~8時間	6名	6~7割
	2年	化学Ⅰ	2004年度	3校時	40名	
公立C高校	3年	化学Ⅱ課題研究	2003年度	10校時	16名	2割
公立D高校	3年	文系化学「4単位」	2003年度	1校時	22名	10割
		化学ⅠA（理系）	2004年度	1校時+α	19名	
国立E中学校	3年	選択理科	2003年度	6校時	9名	—
公立H高校	2年	化学ⅠB（理系）	2003年度	自習（+自宅）	20名	9割
公立I高校	3年	化学演習	2004年度	3校時	5名	10割
公立N教育センター	教諭、助手 ²⁾	高校化学研修講座	2004年度	6.5時間	4名	—
					4名	

1) 実践校を示すA~Nの記号は、本報告書で共通に使う。

2) 高校の化学担当教諭および化学実験の準備等を担当している理科実習助手を対象としている。

なお、今回、本教材を学習していく際に使う資料をあらかじめ用意しているが、これは生徒自身が学校の図書室等で調べることが難しいためである。インターネットを使えばこれまで図書室で調べることができなかった内容でも調べることができるので、その利点を活用するため、デジタル教材とする作業を進めていった。しかし、授業実践の結果、いずれの学校からも与えられた資料を使う以上の時間的な余裕がないこと、教師や生徒がインターネットの使用にまだ不慣れなことが報告され、デジタル化については断念した。

2 教材の評価

開発した教材を評価するため、一枚ポートフォリオ評価法*に基づく学習履歴シートを作成し、そこへの生徒の記述内容により本教材の評価をした。

初年度、本教材を実施した公立 A 高校でのある生徒の記述の一部を示す。まず、学習後に「『大気汚染』という語を使って文を三つ書きなさい」に対する回答である。

昔は塩化水素や硫黄酸化物、窒素酸化物、粉塵、ばい煙などの大気汚染物質が大量に放出されたが、現在は回収、再利用などの技術が進んでいる。

まだ対策の遅れている大気汚染物質もある。

大気汚染対策として、拡散希釈を行っても解決せず、やはり、原因となる汚染物質の除去をする必要がある。

この回答では、大気汚染に対してその対策がなされてきたこと、未解決の問題もあること、原因物質を取り除くとした GSC の考えが入っていること、の三つがあげられており、これらは本教材が意図した内容である。なお、この内容は、学習指導要領の中学校理科第 1 分野、高等学校理科基礎、理科総合 A、化学 I などにある「合成された有用な物質が人間生活を豊かにしてきたことを扱うこと。その際、合成物質などの利用には自然界に対する配慮が重要になってきたことにも触れること。(理科基礎)」等の記述に対応している。本教材は教育課程で表 4～6 に示す教科目の単元項目に位置づけることができよう。

次に、利害両面について考えることの重要性について、本教材を学習しての感想として書かれた以下の文章などに表れている。

大気汚染や公害問題など、新聞やテレビ、学校で散々見たり、聞いたりしてきたが、実際具体的に何が原因で何をどうすればよいかほとんどわからない状態だったが、それについて学べて理解を深められた。

また、科学技術についてよい点ばかりを聞いてきたが、今回はその逆の悪い面を考えることが出来た。同時に、その欠点が克服される過程を知ること、今はその悪い面しか見られていないようなものについても可能性を考えることができたし、科学技術の更なる発展の可能性も考えることが出来た。

今回の学習では今までとは違う視点で科学技術というものを見れたし、違う意味で考えることが出来た。

良い面ばかりではなく悪い面についても情報を得ることで、利害両面の知識を基に自分なりの判断・意思決定につながる考えを構築できるようになること、また、悪い面があった事実を知ることが将来の科学技術の発展を考えることに結びつき、科学の価値に前向きな態度が培われたことを示している。

*1) 一枚ポートフォリオ評価法とは、研究分担者である堀哲夫氏が開発した評価法であり、一つの単元または学習のまとまりを A3 判 1 枚のシートにまとめて記し、その記述内容を分析することで児童生徒や教師、教材等を評価する方法である。シートは大きく三つの部分から構成されている。一つ目は、学習前後でその単元のキーワードを使った文をつくり、学習前後の記述を比較することで学習による自らの変容を見いだす部分、二つ目は、毎時間または小さな学習のまとまりごとに、学習内容の要約または大切だと思った内容を記述する部分、三つ目は、その単元を通しての振り返りと感想を記述する部分である。本研究会ではこの評価法を基に中・高等学校で活用可能な学習履歴シートを作成して用いている。

表4 新課程中学校理科における位置づけ

第1分野	<p>(7)科学技術と人間 エネルギー資源の利用と環境保全との関連や科学技術の利用と人間生活とのかかわりについて認識を深めるとともに、日常生活と関連付けて科学的に考える態度を養う。</p> <p>イ 科学技術と人間 (7) 科学技術の進歩による成果として新素材などの利用が行われ、日常生活が豊かで便利になったことを知るとともに、環境との調和を図りながら科学技術を発展させていく必要があることを認識すること。</p>
選択教科としての理科	<p>6 選択教科としての「理科」においては、生徒の特性等に応じ、多様な学習活動が展開できるように、第2の内容その他の内容で各学校が定めるものについて、課題研究、野外観察、補充的な学習、発展的な学習などの学習活動を各学校において適切に工夫して取り扱うものとする。</p>

表5 新課程高等学校理科における位置づけ

理科総合A	<p>(4) 科学技術の成果と今後の課題について考察させ、科学技術と人間生活とのかかわりについて探究させる。 (内容の取扱い) 内容の(4)については、生徒の興味・関心等に応じて、物質や資源の利用、エネルギーの変換や利用など化学技術に関する身近な課題を取り上げ、化学技術と人間生活とのかかわりなどを平易に扱うこと。</p>
化学Ⅰ	<p>(1) 物質の構成 化学の役割や物質の扱い方を理解させるとともに、物質に対する関心を高め、物質を探究する方法を身に付けさせる。また、物質の構成粒子を観察、実験などを通して探究し、基本的な概念を理解させ、物質について微視的な見方ができるようにする。 ア 物質と人間生活 (7) 化学とその役割 (内容の取扱い) 内容の(1)のアの(7)については、化学の成果が人間生活を豊かにしたことを具体例を通して扱うこと。その際、有害な物質については適切な管理が必要であることにも触れること。</p> <p>(2) 物質の種類と性質 無機物質と有機化合物の性質や変化を観察、実験などを通して探究し、物質に関する基本的な概念や法則を理解させるとともに、それらを日常生活と関連付けて考察できるようにする。 ア 無機物質 (内容の取扱い) 代表的な無機物質については、化学工業との関連にも触れること。</p>
化学Ⅱ	<p>(2) 生活と物質 日常生活と関係の深い食品や衣料、プラスチック、金属、セラミックスを観察、実験などを通して探究し、それらの性質や反応を理解させ、身の回りの物質について科学的な見方ができるようにする。</p> <p>(4) 課題研究 化学についての応用的、発展的な課題を設定し、観察、実験などを通して研究を行い、科学的に探究する方法や問題解決の能力を身に付けさせる。 ア 特定の科学的事象に関する研究</p>

表6 総合的な学習の時間における位置づけ

高等学校	<p>2 総合的な学習の時間においては、次のようなねらいをもって指導を行うものとする。 (2) 学び方やものの考え方を身に付け、問題の解決や探究活動の主体的、創造的に取り組む態度を育て、自己の在り方生き方を考えることができるようにすること。 3 各学校においては、上記2に示すねらいを踏まえ、地域や学校の特色、生徒の特性等に応じ、例えば、次のような学習活動などを行うものとする。 ア 国際理解、情報、環境、福祉・健康などの横断的・総合的な課題についての学習活動 ウ 自己の在り方生き方や進路について考察する学習活動</p>
------	---

どの実践校での結果も、学習履歴シートの記述から科学技術に対しても、また、本教材に対しても好意的な反応が認められた。このような学習履歴シートの感想を中心とした評価に加え、2004年度は学習履歴シート中の各ワークシートの要約部分に対してループリック（作品などの質の違いがわかるようにした指針）を作ったの評価も行った。今回作成したループリックは4段階で評価することを原則とし、そのうち上位2段階がおおむね良いとされる評価水準とした。その結果、「論旨の適切性」に関しては、各ワークシートの特徴と教師の働きかけの影響が大きいことがわかった。また、「論理の一貫性」に関しては、学習が進むにつれ、この学習を通して学ばせたい内容が生徒の学びに結びついていることが認められた。その一方、今回の評価方法では、特に「論旨の適切性」でたくさん書けば書いただけよい評価につながってしまう問題点が見いだされた。「要約」は必要事項を抽出し、簡潔にまとめていく必要がある。そのため、字数の制限や記入欄に野線を引くなどの工夫が必要と考えている。

さて、本教材では生徒に与える影響がその場限りのものではなく、後々まで残るものと考えている。そこで、2003年度に公立A高校の2年計27名を対象に7校時で実施した授業に対して、その1年後の2004年11月にアンケートを実施した。方法は、朝のホームルームの時間にアンケート用紙を配り、昼に回収箱に返す方式である。突然のアンケートにも関わらず8割の生徒から回答があった。その結果は、ほぼ全員がGSCとは何かについて記述することができ、さらに、この1年間にGSCについて思い浮かべる場面があったとした回答やGSCの考え方が役立ったとした回答がそれぞれ6割前後に上った。その他の記述内容も併せると、本教材による授業は生徒にとって印象的で有意義であったと考えられる。

3 実験教材の開発

中・高等学校の教科書についてグリーンケミストリーの観点から開発できそうな実験についてまず調査した。その結果、中・高等学校で使う試薬が近年かなり限定されてきており、当初考えていた触媒を用いた有機反応を、GSCの立場から競争反応で必要な反応を選択的に促進する触媒を使って目的物の収量を増やし、副生成物を減らすことを示す実験に直して実践するような場面を見出すことは難しく、他の面での実験を考えなければならなかった。

危険性の防止と試薬の再利用、廃棄物処理などの点から、実験教材の開発を試み、授業実践した。その中で新しい実験方法が優れている点を記述させた結果、グリーンケミストリーを特に学んでいなくてもその視点がある程度持ち合わせている生徒が少なからずいることがわかった。

一方、学習履歴シートの感想には、実験を取り入れてほしいとする記述が多かった。このことから、学習教材においても実験を取り入れられるように、実験教材として開発してきたアンモニアソーダ法に関する実験と二酸化硫黄から石膏をつくる実験を改訂し、大気汚染対策教材の実験試料として付け加えることとした。

また、環境にやさしい物質に関する実験教材として、酸化チタンを用いた光触媒の実験教材を開発実践した。

4 縮約した教材の作成

実践を進める上で障害となったものの一つに時間の確保があった。今年度は、教材を化学1でも実施しやすいよう3校時で実施可能な教材に縮約し、実践した。新教材は、表2に示した元のワークシートの1と2を併せて新ワークシート1とし、元の3と4を新しい2、元のワークシート5をはじめる前にとワークシート5を新しい3に構成し直した。

表7 3校時に縮約したワークシートの構成

ワークシート1：塩化水素について (Na ₂ CO ₃ の製造法)
ワークシート2：硫黄酸化物と窒素酸化物について
ワークシート3：グリーンケミストリー

3校時に縮約した教材による実践でも、学習履歴シートへの生徒の記述などによる反応から、グリーンケミストリーの考えやそれに基づく意思決定など本教材で意図した成果は十分得られたと考えられる。なお、ナトリウム化合物や塩化水素、硫黄酸化物、窒素酸化物、炭酸塩の学習が続く無機物質の章において本教材を実施することで、各論の暗記に陥りやすい特に文科系の生徒も、この章の学習の意味を見出せるようになった。また、本教材と関連する実験も時をおかずに実施できる利点もあった。その一方、3校時での教材では学習時間に余裕がなく、より深い調べ学習をするなどの活動はできない問題点もあったが、実施する時期を考慮することで十分に効果が見込めることがわかった。

5 電気教材の開発

今回、電気に関する教材をグリーンケミストリーの視点で開発作成し、表8にあげる五つの学校で実践した。評価には、大気汚染対策教材と同様に学習履歴シートを用いた。その結果、ほとんどの生徒が以前より電気についての見方が変わったことを述べている。また、電気を大量消費することは地球環境に負荷を与える加害者の立場になることも自覚し、自分たちに出来る省エネなど小さなことから始めようと考えた生徒も多く、意思決定能力育成の可能性につながったと思われる。一方で、グリーンケミストリーの考えを用いての論理的な判断は、中学生よりは高校生や大学生、また専門的に学習している方が確立していた。今後、本教材をそれぞれの学年や校種に通用するような教材にさらに改良していきたい。

表8 学習教材（電気教材）実践対象校

実践校	コース	対象学年	対象生徒	大学・短大進学率
公立G中学校	—	3年	132名	—
公立F高校	環境コース	3年	29名	3割
公立J高校	普通科	1年	118名	10割
私立K高校	普通科 英数Iコース	2年	45名	10割
私立L大学	経営経済学部 環境デザインコース	—	63名	—

2. 大気汚染対策教材の学習履歴シートを用いた評価 (1)

—各ワークシートの要約についての評価—

○後藤 願^A, 松原 静郎^B, 有元 秀文^C, 堀 哲夫^D

GOTO Kenichi^A, MATSUBARA Shizuo^B, ARIMOTO Hidehumi^C, HORI Tetsuo^D

埼玉県立浦和高等学校^A 国立教育政策研究所^{BC} 山梨大学教育人間科学部^D

キーワード グリーンケミストリー, 中・高等学校, 環境教育, 学習履歴シート, 総合学習, ルーブリック評価法

1. はじめに

教材¹⁾を実践し、生徒が教材を通じて大気汚染問題についてどのように学習内容を理解していくのか、1枚ポートフォリオ評価法に基づいて作成した学習履歴シートを使って各ワークシート(WSと記す)の「要約」²⁾の記述内容から調べた。実践は埼玉県立高等学校2年次「総合学習」の時間、選択授業生徒を対象とし、3学期制の1期6校時を学習の時間に充てた。調査対象人数はその2期分、1期10名、2期17名であった。

2. ルーブリック評価法による「要約」評価方法の検討

学習履歴シート「要約」の評価の観点、ワークシートに記されている内容を吟味し「学習のねらい」や生徒の記載から勘案し、必要事項をあげ研究会において検討を加え、すべてに共通するルーブリックを下の表のように決めた。「論旨の適切性」とは各ワークシートで学習した重要な内容が書かれているかで等級付けをして判断した。また、「論理の一貫性」については資料やデータをもとに意見が述べられている場合は高く評価し、論点は一つでもそのことを掘り下げて書いた場合は論点をいくつかあげている場合と同様に評価した。一方、基礎知識が間違っている場合は評価を下げた。

規準は「許容できない範囲である。」から「素晴らしいまでである。」までの4段階を用いた。ルーブリックはベテラン教師、研究者を含め数名で妥当性について吟味し、問題点や評価の幅を確認した上でワークシートごとに補正・調整した。

3. 「要約」評価の結果

下の表を用い、ワークシートの評価を行った。今回は

ワークシート1および2について掲載する。ワークシート1にくらべ学習の進んだ2のほうが論旨の適切性も論理の一貫性もよくできた生徒が増えていた。

WSと規準	等級付け	1	2	3	4
WS1 要約	論旨の適切性	9人	6人	7人	5人
	論理の一貫性	2人	11人	12人	2人
WS2 要約	論旨の適切性	5人	4人	13人	5人
	論理の一貫性	1人	6人	11人	9人

ワークシート1の要約では、「塩化水素は人間界に益と同時に害ももたらす。いわば諸刃の剣である。」とだけしか書かなかった生徒も学習が進み、要約にどのようなものを書いたらいいのかがわかると、「19世紀半ばにはアンモニアソーダ法ができればブラン法に変わってNa₂CO₃生産の主流になった。両者の共通点としていえることは、その過程で生じる副産物を上手に利用していることである。前者は生産効率が高く、汚染物質を出す事もないので環境保全に役だった。」と「論旨の適切性」のポイントも、「副生成物の利用」「有害物質を出さない。」というグリーンケミストリーのポイントも押さえ、論理の一貫性のある要約を記入する事ができた。

本教材での要約を評価し検討した結果から、生徒個人々の学習の特徴や課題点がわかり、WS1からWS2へと学習が進む間の簡単な働きかけで内容を読み取り、要約することが可能であることがわかった。

1) 松原静郎他『グリーンケミストリー教材の開発とそれを使っての意思決定能力育成に関する調査研究』(2009) pp.136-165.

2) 堀哲夫「学習履歴による教育内容構成の妥当性を検討する評価方法の開発」同上書 pp.73-83

規準	等級付け	許容できない範囲：1	何とか許容できる範囲：2	おおむねよいまでである：3	素晴らしいまでである：4
論旨の適切性		論点があてはまっているものがほとんど無かった。	すこしは論点が的を射ている。	論点の大部分が的を射ている。一部抜けていて惜しいまでである。	すべての論点が的を射ている。論点が非常に妥当である。
論理の一貫性		論理一貫性が感じられない。	すこしは一貫性があった。	論理的一貫性は適切であるが、ある部分不十分で惜しい出来である。	論理的一貫性はまさに適切であった。全く問題がない出来である。

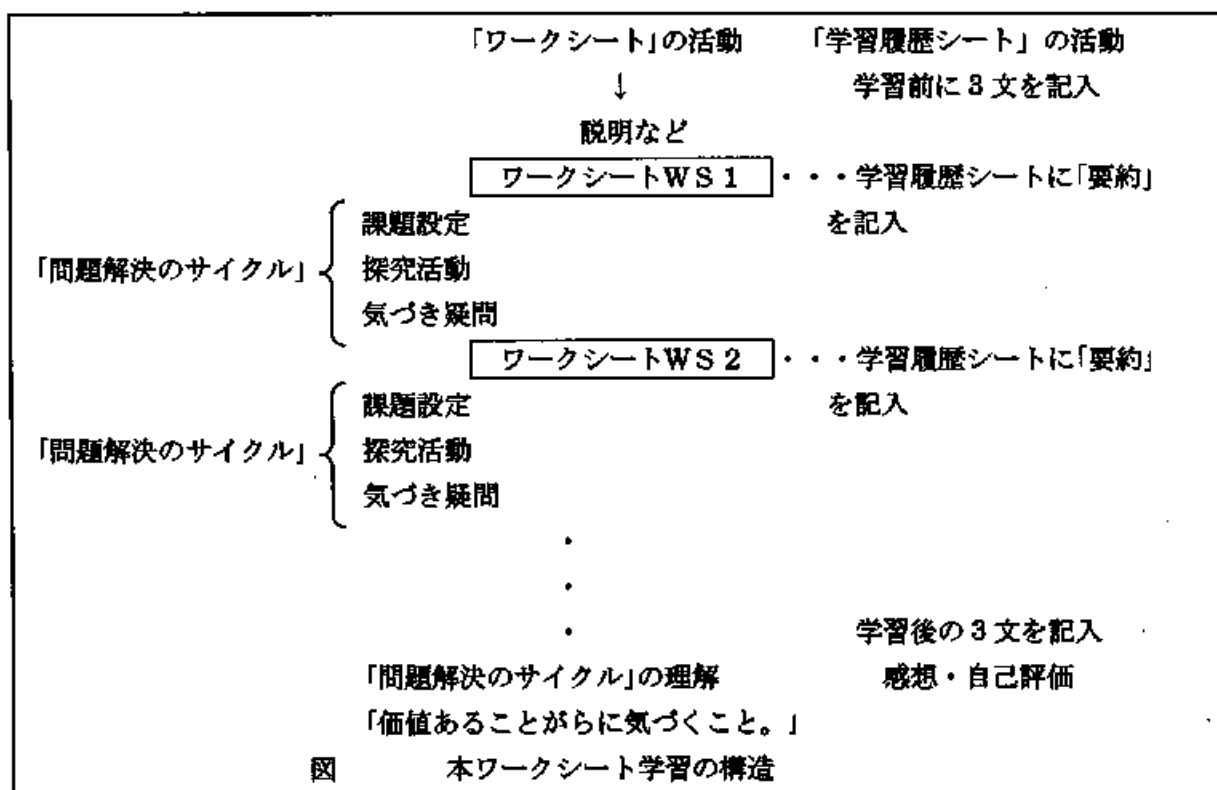
2-1 学習履歴シートの評価について

後藤 顕一

本教材は各ワークシートそれぞれの「学習内容」を内在させながら、生徒の興味・関心に基づく探究活動を軸に展開する。ここでは「学習履歴シート「要約」の評価法について」明らかにする。まず、本学習の構造を示し、各ワークシートの「学習項目」を明らかにする。さらに、調査するための各ワークシートの学習内容をまとめる学習履歴シートの「要約」のルーブリック評価の「規準」と「等級付け」を示し、実際に評価を試み、生徒の学びの様子や教材の有用性などを調査する。

1. 学習履歴シート「要約」の評価について

総合学習の単元の構造として「質」の高い実践は「問題解決のサイクル」を一つの単元で少なくとも3回は繰り返すこととあるが¹⁾、本教材も例外ではない。ワークシートを進め課題を調べ上げる事によって、多くの「問題解決のサイクル」を経験することとなる。学習が進み、課題を繰り返し、さらに「要約」自分で考えてまとめることによって、「現代未解決な問題について」にアプローチでき、さらには、「将来の科学技術についてどのようにしたら良いと思いますか。」というような環境についての現代的な課題について自分の問題として捉えることができるように発展させ、グリーンケミストリーの発想を無理なく理解させ、「論理的な判断・意思決定能力の育成を図る。」こと²⁾を期待している。さらに総合学習の手法の一つである「価値あることがらに気づかせる」ことが可能になること³⁾を期待している。



学習では、「問題解決のサイクル」を理解し、「価値あることがらに気づくこと。」が中心的な観点になる。そのために必要になるものは論理的思考力、正しい表現力、自己評価力であると考え。

「学習内容」に対して生徒たちがどのように学んだのか、次の分析を行う。

- ① 学習履歴シート「要約」から見るワークシート学習の分析
- ② 自己評価力の記述の分析
- ③ 価値あることがらに気づけているかの分析

①では、正しい読解力、分析力によって内容理解が進み、正しい表現力がなされているかワークシート「要約」記述において論理的思考力が、いかに発揮されているかを考察する。また、②では自己評価力についてどの程度なされているか記述から考察する。さらに③では「価値ある問題に気づくこと。」ができていないかを記述から考察する。これらはすべて、学習の「ワークシート」、「学習履歴シート」、「小論文」、「学習後の感想の記述」といった残された課題提出物中の、記述・表現から判断する。

この評価は決して単なる生徒の評価ではない。教材そのものの評価である。教材内容、構成が適切であるのか、教材のなかの発問や指示が適切かなど再検討でき、実践段階において、この課題を生徒に学習させる際にどのように進めれば良いのか。また、特に必要な注意や働きかけはないかなど、有益な示唆を与えてくれるものと確信している。

(参考文献)

- 1) 田中耕治編著『新しい教育評価の理論と方法』(第2巻 教科・総合学習編)、日本標準(2002年)、p. 217
- 2) 松原静郎『グリーンケミストリー教材の開発とそれを使っての意思決定能力に関する調査研究』中間報告書(2003年) 研究目的 p.v
- 3) 西岡加名恵『教科と総合に活かすポートフォリオ評価法』(2002年)p.104

2. 学習履歴シートの評価の実際の実施するための基礎研究

ルーブリック作成のために生徒が重要であると認識し、どのような重要な項目に沿った記載があるか調査していく必要がある。ルーブリックの試みは生徒の「でき」が主たる問題ではなく、生徒がどのような学習を展開して要約に結び付けていくのか、学習内容をどのように理解していくのかを知ることが出来ると考えられる。また、教材の改良の必要性や本教材で授業を展開していく際、教師がどのように働きかけていくかなど指導の必要性の参考にしていくためのものである。

学習履歴シート「要約」の記載内容はワークシートに記されている内容を吟味し、必要事項をあげたものである。具体的な内容が要約に記されていることは望ましい事ではあるが、生徒によっては具体的な内容はワークシートの課題にゆだねて、「要約」自体は自分のことばで書き直している例も多く見受けられるので記載した%はあくまで参考として捉えていただきたい。

また、今回は、「試行」であるためにワークシートや学習履歴シートを進めるにあたって個人的な指導、助言などを一切行っていない。実施したそのままの現状を報告する。

2.1 ルーブリック作成のための学習履歴シート「要約」の内容の分析

誠に、多様な記載が認められた。生徒が、ワークシートを進めるにあたって多様な学びを行った経過がよくわかる。「要約」という課題を、資料を読みながらまとめていくのはかなり難しかったようである。

また、「要約」という課題でありながら自分の意見を中心に書いている生徒もたくさんいた。特に、後でも述べるが、ワークシートが進むにつれて内容に入り込んでいって、どうしても自分の意見を書きたくなくなってしまい、要約の欄に記入する生徒が多く見受けられた。

前節で示した「ワークシート評価の観点」の基準に基づいて生徒の記述を分析した結果はワークシートごとにまとめた。

(1)1 ワークシート1の学習項目と、記載内容

項目	a)HCl発生原因	b)炭酸ナトリウムによる利益	c)HClがもたらす害	d)一時的な解決法	e)害の拡大	f)更なる努力	g)解決と利用
記述した生徒(%)	50%	44%	20%	20%	22%	15%	48%

ワークシート1においては「学習項目」と「ワークシート課題内容要約」が概ねうまく結びついている。書く事によって内容把握に努めようとしている生徒の姿勢がうかがえる。

初めて行うテーマに対して忠実にワークシートを行った様子がうかがえた。大変よくかけていた一つの例を示す。「拡散希釈という解決では解決にならなかったこと」や、「副生成物の利用」といった「論理の一貫性」において不可欠な部分をよくまとめ、細部にわたってよく学習している。

炭酸ナトリウム（漂白剤）を量産するためにルブラン法が作られたが HCl が発生するため大気汚染が起きた。HCl を拡散や水で溶かして回収する方法も発明され最終的には水に吸収して得た塩酸を用いてさらし粉（漂白剤）の製造をする（ウェルドン法）が発明され大気汚染は解決された。この際で Cl₂ も飲料水の消毒に使われた。(M)

しかし、生徒によっては細かい内容までは全く記載しないで、おおまかな要約（イイタイコト）のみを短い文で記載した生徒もいた。その例の一つを示す。

塩化水素は人間界に益と同時に害ももたらす。いわば諸刃の剣である。(N)

この生徒は、内容はすべて分かって書いているものと思われる。A3の大きなプリントで「要約」の課題であれば、細かく書いて欲しいと思うが、簡潔に書くこともこのプリントでのねらいを読み取る上では必要であろう。

生徒に何を求めるかによって教師側の指示によって生徒の表現は多様になるとと思われる。

ここでは、何を要約として書かせ、それをどのように評価するのか、「規準」と「等級付け」を示し、評価を行った事例を示す。

(1)2 学習履歴シート「ワークシート1」学習要約の記載

全体的な流れをうまくつかんでいる生徒が多いが、それを表現することとなると、要約として必要であると思われる項目が抜けてしまったり、自分なりの解釈をしてしまったり事実とずれてしまったりしている生徒もまれに見受けられた。

		a)HCl発生原因	b)炭酸ナトリウムによる利益	c)HClがもたらす害	d)一時的な解決法	e)害の拡大	f)更なる努力	g)解決と利用	拡散希釈などが効果なし	副生成物の利用
1	N									
2	ST									
3	Y	○	○	○				○		○
4	I	○						○		○
5	U	○	○	○	○	○	○	○		○

6	S									○
7	O	○	○							
8	K			○						
9	SR									○
10	TU	○	○							○
		50%	40%	30%	10%	10%	10%	30%		
11	UM									
12	KR									
13	KM	○			○	○		○		
14	SG1									
15	TJ	○	○	○	○			○	○	○
16	KS									
17	NB				○	○			○	
18	ID	○		○	○	○	○	○	○	○
19	KS									
20	KO	○	○	○				○	○	○
21	KB	○	○					○		○
22	SG2	○	○							
23	NT	○	○					○		
24	HR	○	○		○	○	○	○	○	○
25	FH	○	○	○				○		○
26	M	○	○		○	○	○	○	○	○
27	YT							○		○
		91%	46%	27%	26%	23%	15%	49%		

1 学期グループの生徒のプリントには、「学習して大切だと思ったことを3つ書いてください。」と書いてあるプリントを配布してしまい、口頭で生徒に要約するようにと促した。

2 学期グループの生徒は、「大切だと思ったことを要約しなさい。」というプリントを配布し、口頭で説明した。前半の生徒に比べてどの項目も%があがっているのは、わずかなこのようなことでも生徒は敏感に結果としてあらわれものと思われる。

(2)-1 ワークシート2の学習項目と、記載内容

項目	①新たな製法としてアンモニアソーダ法の考案	②アンモニアソーダ法の利点	③ルブラン法との比較	④アンモニアソーダ法の副生物の利用について	⑤アンモニアソーダ法にとって変わっている事実
記述した生徒	59%	44%	48%	37%	44%

ワークシート2は、ドラマチックな展開が生徒の心を捉えていたようだ。アンモニアソーダ法の出現と、ルブラン法の工夫、経済的な現実など生徒にとって充分興味をもてる展開となっているようだ。生徒の記述も熱心さが伝わってくる内容が多い。また、自分の意見を「要約」に記述する生徒が

ワークシート1に比べて大変多くなってきているのも内容について懸命に考えている証であろう。
要約としてよくまとまっているものを掲載する。

ルブラン法に変わってアンモニアソーダ法という炭酸ナトリウムの生産方法が見つかった。アンモニアソーダ法では副産物として出てくる NH_4Cl が農産物の肥料となった。ルブラン方は副生物の需要が高いためアンモニアソーダ法が発見されてからも続いたが、食塩水を電気分解する方法が見つかったためにルブラン法はほとんどなくなった。

学習のプログラムに興味深く参加できるか否かはワークシート1、2をしっかりと行って「問題解決のサイクル」を理解することが不可欠である。ここまでの学習履歴シートの記述が不完全な生徒は学習の仕方が荒いので内容が論理的には結びついていない懸念がされる。指導者は回収の際にコメントか面談で学習の様子をチェックする事も必要であろう。

現在我々の生活を支えるものを作る過程で副生物として出る公害物質を無害なものにして処理しているものが多いと思うが、「目的物のみとれ公害のもとになるような物質を全く副生しない方法」を過去に考え出したのだから現在のものでもそういったことを理想に開発研究してほしいと思う。

などと学習内容の要約ではなく感想のみを記し、科学者の努力や克服の過程はブラックボックス化されており、紆余曲折や反応の工夫などにも言及が一切ない。そして自分の問題とは捉えることはできず、短絡的にただ解決を見ようとしてしまっている。環境について考えたり感じたりする事は大切であるが、これでは深い学習が望めない。学習の過程をふんでそこから発想を深めることが望まれる。

(2)-2 学習履歴シート「ワークシート2」学習要約の記載

生徒それぞれの記述は資料に載せた。

	生徒名	a) 新たな製法としてアンモニアソーダ法の考案、	b) アンモニアソーダ法の利点	c) ルブラン法との比較	d) アンモニアソーダ法の副生物の利用について	e) アンモニアソーダ法にとって変わっている事実	副生成物の利用	汚染物質そのものを出不さない方法で根本的な解決をはかることができる。
1	N	○	○	○	○	○	○	○
2	ST							
3	Y	○	○	○		○	○	
4	I			○	○	○	○	
5	U	○	○	○		○		○
6	S				○		○	○
7	O	○			○		○	
8	K	○				○		○
9	SR				○		○	
10	TU	○	○		○			○
		60%	40%	40%	30%	50%		
11	UM							
12	KR							
13	KM	○	○	○	○	○		
14	SGI			○	○			

15	TJ	○	○					
16	KS	○		○			○	○
17	NB	○	○		○		○	○
18	ID	○	○		○	○	○	○
19	KS							
20	KO	○		○		○		
21	KB	○	○	○		○		○
22	SG2		○		○		○	
23	NT	○		○		○		
24	HR	○	○	○	○	○	○	
25	FH	○	○	○	○		○	○
26	M							
27	YT			○		○		
		50%	47%	53%	41%	41%		

2.2 ルーブリックの観点

学習履歴シート「要約」の評価の観点は、ワークシートに記されている内容を吟味し、「学習項目」や、前節の生徒の記載の様子から勘案し、必要事項をあげ、すべてに共通するルーブリックを次のように決めた。

等級付け 規準	許容できない範 囲：1	何とか許容できる 範囲：2	おおむねよいできである： 3	素晴らしいできであ る：4
論旨の 適切性	論点をつかめて いるものがほとん ど無かった。	すこしは論点が的 を射ている。	論点の大部分が的を射てい る。一部抜けていて惜しいで きである。	すべての論点が的を射 ている。論点が非常に妥当 である。
論理の 一貫性	論理一貫性が感 じられない。	すこしは一貫性が あった。	論理的一貫性は適切である が、ある部分不十分で惜しい できである。	論理的一貫性はまさに 適切であった。全く問題が ないできである。

ルーブリックはベテラン教師、研究者を含め数名で妥当性について吟味し、問題点や評価の幅を確認した上で補正・調整した。

2.2.1 ワークシート1

ルブラン法による炭酸ナトリウム工業の功罪について学習させる。

項目	a)HCl発生原因	b)炭酸ナトリウムによる利益	c)HClがもたらす害	d)一時的な解決法	e)害の拡大	f)更なる努力	g)解決と利用
	①			②		③	

基礎調査から以下のことについて評価した。

1) ワークシート1の論旨の適切性について

論点になる部分を細目に分けたが、「HC1発生初期段階に関するもの」、「それに対してどのような対処を講じたか」「さらにどのような努力をし、解決しようとしたか」というこの3つにまとめることができる。論旨の適切性今回はこの記述によって判断を下した。判断は下の表による。

2) ワークシート1の論理の一貫性について

ワークシート1では「A) 拡散希釈など対策が効果がないこと」「B) 副生成物の利用によって大気汚染を解決できたこと」が書かれていれば、内容の一貫性が現れると考えた。さらにそれらの文章が論理的一貫性を持ってかけているかについて評価をした。

等級 付け 基準	目標	許容できない 範囲：1	何とか許容できる 範囲：2	おおむねよいできである： 3	すばらしいできである： 4
論旨の 適切性	論点が適当に書かれているか。具体的に書かれているか。要点が触れられているか。要点は上のa)からg)が具体的に挙げられる。	a)からg)までの観点が一つも記されていない。論点がつかめているものがほとんど無かった。	a)からg)の一つだけはかかっている。少なくとも論点のひとつは的を射ている。ルブラン法による効果についてどちらか記されているものの不十分なもの。	①a)からc) ②d)からe) ③f)からg) ①から③のなかのどれか二つの部分で具体的に書いている。論点の大部分が的を射ている。論点の多くが関連していた。	①a)からc) ②d)からe) ③f)からg) ①から③のなかのすべての部分で具体的に書いている。炭酸ナトリウム工業の功罪について発生から一時的な解決により書かされたこと、解決に向けての努力までがすべて書かれている。すべての論点が的を射ている。
論理の 一貫性	論理一貫性があるか。A) 拡散希釈など対策が効果がないこと B) 副生成物の利用によって大気汚染を解決できたことが書かれそれらの文章に論理的一貫性があるか。	A)、B)がともに書かれておらず、論理一貫性が感じられない。	A)、B)のどちらかが書かれているが、そのニュアンスはあるが、あまりいい出来でない。すこしは一貫性があった。	A)、B)のどちらかが書かれていてその説明が適切である。または、A)、B)ともに書かれていても、論理的一貫性は適切であるが、ある部分不十分で惜しい出来である。	A)、B)の両方が書かれていて、説明も適切である。論理的一貫性はまさに適切であった。全く問題がない出来である。

2.2.2 ワークシート1の生徒の記述と評価

	生徒	生徒の記述	論旨の 適切性	論理の 一貫性
1	N	塩化水素は人間界に益と同時に害もたらす。いわば精刃の剣である	1	2
2	ST	環境への影響をよく調べてみないと人体に害を及ぼしてしまうと言うこと。	1	1
3	Y	ルブラン法により炭酸ナトリウムの生産は19世紀に入り急速な拡大をした。しかし、大気汚染の原因であるHClが出てきてしまった。その後塩素やさらし粉として利用できるようになりHCl公害はほぼ解決した。	3	3

4	I	炭酸ナトリウムの製造のためにHClが発生してしまった。炭酸ナトリウムは作らないわけには行かないので塩酸の解決法を探し、塩酸をさらし粉の原材料とすることで公害を解決した。	3	3
5	U	昔は塩化水素が化学工業に使われ、いろいろな面で役立った。しかしその反面人体への影響（気管支炎、のど、目、鼻などの炎症）が問題となった。ルブラン法という製法で炭酸ナトリウムの生成が楽になり大量生産が可能となったが、副産物としてHClが発生した。問題対策として、拡散や塩酸にして回収するという手段がとられたが、失敗した。しかしさらし粉の製造によりほぼ解決された。	4	3
6	S	役立つものを製造したりするとどうしても公害を引き起こす物質が副産物として出てきてしまうのでいかにその副産物などを出さないようにするかを考える。出てしまったのならそれを回収し環境を汚染したりしないようにすることが大切であるということ。	1	2
7	O	19世紀頃HClの大気汚染が問題となっていた。そのHClは漂白などに伴う炭酸ナトリウムの発生過程で発生。（ルブラン法）現在はほぼ解決されている。	2	2
8	K	工業の発展はよいことだと思う。しかし、そのデメリットやそれによる問題の発生を予想した対策を立てずに工業を発展させるのは愚かだと思う。化学で発生したミスも化学で解決したのはいかに化学が役立つか、すごい技術であるかの証明になると思う。漂白剤やセッケンなどの生活用品の原料製造過程で公害が発生しているということはやはり環境汚染は自分の生活に密着した問題であるということを考えなければいけないと思う。	2	2
9	SR	便利なものを作り出す過程で有害なものが出てきてしまうのはしょうがないかもしれないけど大切なことはその有害なものをいかにして無害なものに変えるかということだと思うし、有害なものが出ないようにすることが一番だと思う。	1	3
10	TU	炭酸ナトリウムを得ることで人類に豊かさを与えたがその発生過程でHCl等の有害物質を放出し、様々な環境汚染や人体への影響を及ぼした。上手に利用していくことが大切だとわかった。	2	3
11	UM	都合のいいものを生み出すとどこかに大きな問題がみつてくるのがわかった。結局有害の物質が出てきてしまうので限りなく少なくできるなら出てこないような技術が必要だと思った。	1	2
12	KR	新しい方法を見つけてもその方法がどの様にすれば害の内容にできるかを考えねばならないと思った。また加工次第で危険な物質も安全になることがわかった。少し不思議な気分になった。	1	3
13	KM	ルブラン法のような便利な方法の裏には塩素のような有害な物質を発生させるという大きな落とし穴がある。塩素が大気中に拡散することで人体に深刻な影響を及ぼす。ルブランは身近なものでソーダ灰を製造した。	4	3
14	SG1	人間の作り出した問題を自然任せに解決するのではなく人類自身の手で再利用再開発し、なるべく無駄の少ないようにしないとけないということ。	1	2
15	TJ	ルブランのソーダ灰製造法は人々に良い生活をもたらしたが一方大気汚染を引き起こした。またゴッセージによって河川まで汚染されたがさらし粉によって解決された。生活水準の向上ばかり重んじないでリスクを考えることも大切。	4	3
16	KS	塩酸はイオンの実験とかでも使ったことのある身近なものだが過去には公害のもとになっていたのかと驚いた。産業革命が成り立った直後からやはり公害は付き物だったのだなあと知った。	1	1
17	NB	ルブラン法の中の「回収した塩化水素を水に溶かして塩酸として処理する。」というのがあった。が、その塩酸がまた新たな汚染の原因となっていた。これでは意味がない。やはり問題を解決するときには後のことをよく考えてから取り組むべきだと思う。	2	3
18	ID	ルブラン法では炭酸ナトリウムを作る過程で生じるHClが原因の大気汚染が拡大→対策①空気中に拡散	3	2

		× (汚染地域が広がる。) ②水で希釈し塩酸で回収× (塩酸の用途 が少なく川に流して川の汚染が発生) ③回収して塩酸をさらし粉漂白剤にする。○		
19	KS	公害物質を利用する事が如何に難しい事であるとわかった。	1	2
20	KO	炭酸ナトリウム製造時に発生する HCl は喘息や気管支炎などを起こし酸性雨の原因ともなる。さらしこの製造などによりルブラン法の公害対策はほぼ完成。生産する上で環境への影響を考える事は必ず必要である。	3	2
21	KB	HCl による公害はルブラン法という炭酸ナトリウムの大量生産の過程で起こった。解決法としては発生した塩酸を回収しそれを原料としてさらし粉 (漂白剤) を作った事が挙げられる。	3	2
22	SG2	炭酸ナトリウムは工業界にとって重要な物質であるからそれを生成する過程で発生してしまう有害な物質をどう処理したらよいかと言う事を直ちに解決する事が必要である。	2	2
23	NT	イギリスの炭酸ナトリウム工場が目先の利益を見て行動した結果、公害が発生し、解決までかなりの時間がかかった。ルブラン法の塩化水素の発生による公害の発生はさらし粉の製造と言う形で幕を閉じた。	3	3
24	HR	炭酸ナトリウムを作るには HCl などの有害な物質が多く出てくる。それを解決するために水に溶かしたり拡散させたりしたが一番効果のあったのは HCl を回収しそれを塩酸としてそれをもとにさらし粉を作る方法だった。この結果、HCl など有毒な気体の問題は解決した。	4	4
25	FH	Na ₂ CO ₃ (炭酸ナトリウム) の古い製造法により HCl の公害が問題になっていた。(ルブラン法) 水に HCl ガスを溶かし、塩酸として回収し、塩酸を原料とする。さらし粉 (漂白剤) の製造により (ウェルドン法) 解決した。	3	3
26	M	炭酸ナトリウム (漂白剤) を量産するためにルブラン法が作られたが HCl が発生するため大気汚染が起きた。HCl を拡散や水で溶かして回収する方法も発明され最終的には水に吸収して得た塩酸を用いてさらし粉 (漂白剤) の製造をする (ウェルドン法) が発明され大気汚染は解決された。この際での Cl ₂ も飲料水の消毒に使われた。	4	4
27	YT	大量生産の過程で出た環境汚染物質を他のものに利用することで環境汚染を伴う事ができた。自然界にわずかしかな存在しない物質を大量に発生させるには危険が伴うのではないかと言う疑問をもった。試行錯誤の末、ようやく解決できた。	2	3

2.3.1 ワークシート 2

項目	a) 新たな製法としてアンモニアソーダ法の考案	b) アンモニアソーダ法の利点	c) ルブラン法との比較	d) アンモニアソーダ法の副生成物の利用について	e) アンモニアソーダ法にとって変わっている事実
	①			②	③

基礎調査から以下のことについて評価した。

1) ワークシート 2 の「論旨の適切性」について

論点になる部分を細目に分けたが、「アンモニアソーダ法の考案と利点、ルブラン法途の比較に関するもの」、「アンモニアソーダ法の副生成物の利用について」「アンモニアソーダ法に取って代わっている事実」の 3 つにまとめることができる。論旨の適切性今回はこの記述によって判断を下した。判断は下の表による。

2) ワークシート2の「論理の一貫性」について

「A) 副生成物の利用によって大気汚染を解決できたこと」「B) 汚染物質そのものを出さない方法によって問題の根本的な解決をはかることができる。」が書かれていれば、内容の一貫性が現れると考えた。さらにそれらの文章が論理的一貫性を持ってかけているか。について評価をした。

	目標	許容できない 範囲：1	何とか許容できる 範囲：2	おおむねよいでき である：3	すばらしいできである：4
論旨の適切性	論点が適当に書かれているか、具体的に書かれているか、要点が触れられているか、要点は上の a) から e) が具体的に挙げられる。	a) から e) までの視点が一つも記されていない。論点があつかめていないものがほとんど無かった。	a) から e) の一つだけはかかれてい、少なくとも論点のひとつは射している。あるいは二つは記されているものの不十分なもの。	① a) から c) ② d) ③ e) ①から③のなかのどれか二つの部分で具体的に書けている。論点の大部分が射している。論点の多くが関連していた。	① a) から c) ② d) ③ e) ①から③のなかのすべての部分で具体的に書けている。炭酸ナトリウム工業の功罪について発生・一時的な解決・害が広まったこと・その後の解決に向けての努力までがすべて書けている。すべての論点が射している。論点が真に妥当である。
論理の一貫性	論理的一貫性があるか、A) 副生成物の利用によって大気汚染を解決できたこと B) 汚染物質そのものを出さない方法によって問題の根本的な解決をはかることができる。が書かれそれらの文章に論理的一貫性があるか	A)、B) がともに書かれておらず、論理的一貫性が感じられない。	A)、B) のどちらかが書かれているが、そのニュアンスはあるが、あまりいい出来でない、すこしは一貫性があった。	A)、B) のどちらかが書かれていてその説明が適切である。または、A)、B) ともに書かれていても、論理的一貫性は適切であるが、ある部分不十分で惜しい出来である。	A)、B) の両方が書かれていて、説明も適切である。論理的一貫性はまさに適切であった。全く問題がない出来である。

2.3.2 ワークシート2の生徒の記述と評価

生徒名	生徒の記述	論旨の適切性	論理の一貫性
1 N	19世紀なかばにアンモニアソーダ法ができ、ルブラン法に代わって Na_2CO_3 生産の主流となった。両者の共通点としていえることはその過程で生じる副生物を上手に利用していることである。前者のほうが生産効率がよく、汚染物質を出すこともないので環境保全に役立った。	4	4
2 ST	同じものを作り出すためにも環境や人体に悪影響を及ぼす方法とそうでない方法など何通りかの方法があるので作る前によく考えるべきだと思う。	1	1
3 Y	19世紀半ば、アンモニアソーダ法が確立し、ルブラン法にとって代わって炭酸ナトリウムの生産の主流になった。アンモニアソーダ法は生産効率がよく製品をやすく作ることができる。だがルブラン法での公害問題の解決過程は現在でも参考にされるべきである。	3	3

4	I	一見公害の元であるルブラン法も副産物の使い方を考えれば暮らしに役立つということ。公害対策が確立してもまだアンモニアソーダ法が開発できたように追究すればするほどいい結果を生むこと。	4	3
5	U	ルブラン法と異なり副産物が害のでないものであるアンモニアソーダ法が考え出されたことにより公害問題が解決された。また、生成過程が簡略化したことや原料が得やすかった事により世間に広まった。合成法を変えることで公害問題が解決できたことがあるのを学べて良かった。	3	3
6	S	前回では出てしまう有害物質を有効活用することが大切だと思っていた。しかし今回は確かにそういう努力も必要だと思ったのははじめから有害物質を出さないように製造過程を考え出すことがとても大切でそれをいかに普及させ、実用化していくかが重要だと思った。	2	4
7	O	炭酸ナトリウムの生産の際、少しでも公害を減らせるような方法を使用するようになっていった。また副産物も無駄にせず、新たな原料として利用。	3	3
8	K	アンモニアソーダ法ははじめから公害問題を起こさないように工夫されたすばらしい方法である。起こした問題を解決するよりもあらかじめ環境に配慮をしたほうが良いと思う。人類の公害問題に関する考え方の進歩は確かにあると思った。	3	3
9	SR	ワークシート1, 2を通じて公害問題の解決のためにはもう一度使うというリサイクルが大事なんだなあと思った。	2	3
10	TU	アンモニアソーダ法の導入で有効な副産物を獲得し、有害な副産物を発生させないことに成功。その結果、Cl2による大気汚染の拡大を抑えることにつながった。技術は簡単でかつ無害なものが一番良いと感じられた。	3	3
11	UM	都合の良い技術だけれど有害なものが出てきてしまうという大きな問題を見て見ぬふりをせず受け止め考え解決させていく努力が必要だと思った。目的物の生成過程の中でまた生成のための展開を生み出すという合理的な変化に新しい技術が使われているということを知って感心した。どんどん現代に取り入れるべきだと思う。	1	2
12	KR	過去に悪いところがわかったならその悪い部分を無くした技術で次に見つけなければならないと思った。化学反応も起こし方によっては有害なものも無害なものになってしまうし、工夫を重ねれば突破できることも多いと思った。	1	2
13	KM	便利な方法であったルブラン法の弱点は大きかったがその弱点を打開したのがアンモニアソーダ法である。アンモニアソーダ法は副産物をそのまま有効に活用することができ、発生したアンモニアやCO2はそのまま用いることのできる効率の良いものであった。低コストで効率の良いアンモニアソーダ法の出現でルブラン法は次第に消滅していった。	4	4
14	SG1	原料を再利用できるものにし、副産物を無駄にしないようなしっかりとしたサイクルを作ることによっていいものをやすくそして環境に優しくできる。	3	4
15	TJ	アンモニアソーダ法は公害もなしに利点が多かったように見えるが価格は高くつきルブラン法の法が必要もあって経済的にも採算が成り立っていた。つまり公害対策の万全ルブラン法が優勢だった。	2	2
16	KS	現在我々の生活を支えるものを作る過程で副産物として出る公害物質を無害なものにして処理しているものが多いと思うが、「目的物のみとれ公害のもとになるような物質を全く副生しない方法」を過去に考え出したのだから現在のものでもそういったことを理想に開発研究してほしいと思う。	2	4
17	NB	アンモニアソーダ法は有害物質をださない、で優れている。また、再利用することが可能になり、これは今の時代も見習うべきだと思う。	3	4
18	ID	ルブラン法からアンモニアソーダ法にかわって汚染物質が出なくなる。副産物を肥料として使えるし原料	4	4

		の NH ₃ に変える事も可能にしたなど現在は違う方法で合成された NH ₃ をたいてい使用。HCl の環境問題が解決。		
19	KS	同じ製品を作るにしても公害物質を発生する方法やしない方法がある。より簡単でより安全な方法を見つけていくことが、大きな進歩になると思った。	1	2
20	KO	アンモニアソーダ法はルブラン方よりも単純であり副生物の問題も解決し、ルブラン法にとって変わった。	3	2
21	KB	ルブラン法に変わってから 19 世紀半ばアンモニアソーダ法という生産方法が考案された。これは有害物質を発生させず生産効率の両面でも優れていたのが普及した。しかし、一方のルブラン法も Cl ₂ やさらし粉の需要から 20 世紀はじめ頃まで生産が続けられた。	3	3
22	SG2	発生した副生物を有効に活用しました発生してしまった有害物質の処理が大切だと思った。	3	2
23	NT	複雑なものをより簡単に作る事が大切であるがそれにおいてもやはり公害のことを考えなくてはいけない。その点においてアンモニアソーダ法はルブラン法より優れていた。そのためルブラン法の工場はなくなっていった。	3	3
24	HR	ルブラン法に変わってアンモニアソーダ法という炭酸ナトリウムの生産方法が見つかった。アンモニアソーダ法では副産物として出てくる NH ₄ Cl が農産物の肥料となった。ルブラン方は副生物の需要が高いためアンモニアソーダ法が発見されてからも続いたが、食塩水を電気分解する方法が見つかったためにルブラン法はほとんどなくなった。	4	4
25	FH	炭酸ナトリウムの新しい製法（アンモニアソーダ法）が開発された。これは HCl や H ₂ S などの汚染物質を排出しない。また副産物の NH ₄ Cl を農産物の肥料として利用できる。	3	3
26	M	ルブラン法がすぐになくならなかったことから必ずしも新しい方法がいいとは限らないと思った。あと、発想を転換すればよりよい方法ができたりもっとよい商品を作る事ができるんだと言うのも感じた。	1	4
27	YT	かなりひどくなってしまった公害でも人の手で解決できる可能性があることを知った。しかしアンモニアソーダ法を用いてもなお、ルブラン法が廃棄されなかったのは経済的に採算が成立していたからなので環境汚染をなくすには新しい方法と古い方法に対する経済的対策も必要になるのではないかと思う。	3	3

3.まとめ

それぞれの人数を掲載する。

WSと議題		等価付け	1	2	3	4
WS1 要約	論旨の適切性		9人	6人	7人	5人
	論理の一貫性		2人	11人	12人	2人
WS2 要約	論旨の適切性		5人	4人	13人	5人
	論理の一貫性		1人	6人	11人	9人

大気汚染対策教材の 学習履歴シートを用いた評価(1) —各ワークシートの要約についての評価—

○ 教頭 藤原一夫、 松原幹郎、 有元秀次、 堀 哲夫、
GOTO Keisaku, MATSUBARA Shirohiko, ARIMOTO Hideyuki, HORI Tetsuo
埼玉県立坂本高等学校 湖北教育実践研究センター 山梨大学教育人間科学部

研究のねらい

- ◆ どのように本教材の学習を効果的に進めさせるか?
- ◆ 学習の様子を指導者や学習者が掌握できる方法はないか?
- ◆ そのための適切な評価方法はないか?



- ◆ 評価方法が確立し、活用することができれば、
 - ① その後のWS学習が進むにつれ学習内容をどのよりに理解し、表現していくべきなのかを指導者も学習者も知ることができ、
 - ② WS教材の検証、指導方法についてさらに高い次元で効果的な展開が可能になる。

研究の方針

- ◆ 本教材を進めていくためにはWS1、WS2の学習が大切。
- ◆ 特にWS1をしっかりと学習することによって、学習全体の展開をある程度把握することができ、学習がより効果的に進むのではないかと。
- ◆ 学習履歴シートのなかの「要約」をしっかりとまとめることができれば、内容の理解にもつながり、効果的に大気汚染対策教材学習が展開できるのではないかと。



「要約」の記述をルーブリック評価法を作成し、その評価法を用い、実際に評価を実施し、本教材と生徒の学習の様子を検討した。

対象生徒と学習の実践方法

- ◆ 本教材を学習する生徒は、対象生徒のなかから、授業中の理解状況を把握するために、授業中にWS1、WS2を学習させた。

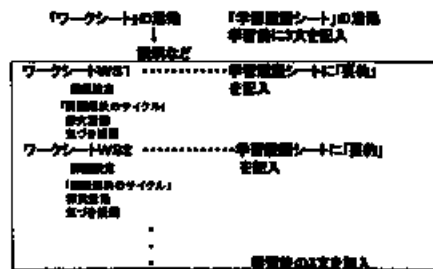


図 ワークシート学習と学習履歴シート学習時の状況

調査の方法

- ◆ 学習履歴シートの「要約」の記述
 - ◆ 「要約」の評価方法としてルーブリック評価法の検討(妥当性の検討)
 - ◆ ルーブリック評価法を用いて実際に「要約」の評価を実施
 - ◆ 今回は
 - WS1の「要約」の記述内容……ルーブリックで評価
 - WS2の「要約」の記述内容……ルーブリックで評価
 - ◆ 生徒の記述とルーブリック評価より、効果的に学習を展開する方法を検討する。

ルーブリック評価法による「要約」評価方法の検討

評価項目	許容できない範囲：1	何とか許容できる範囲：2	おおむねよいのできる：3	すばらしいのできる：4
論理の適切性	論点がつかれているものがほとんどなかった。	すこしは論点を創っている。	論点の大部分が創られている。一部抜けていて怪しいのできる。	すべての論点が創られている。論点が非常に豊富である。
論理の一貫性	論理の一貫性が感じられない。	すこしは一貫性があった。	論理的に一貫性は適切であるが、ある部分不十分で怪しい出来である。	論理的一貫性はまさに適切であった。全く問題がない出来である。

『WS1』についての評価

◎「目的の達成度」は？

目的を達成するために必要な学習の項目は何か挙げ、その達成が言われているかの評価。

項目	① NO2の 生成	② 反応ナ トリウム による 反応	③ NO2の 生成 の速度	④ 一酸化 窒素の 生成	⑤ 反応 の速度	⑥ 反応の 速度	⑦ 反応 の速度
達成した生徒	5%	4%	2%	2%	2%	1%	4%
	①			②		③	

◎「内容の一貫性」は？

一貫した主題がなされているかの評価。

- A 反応速度などの対象が連続的でないこと。
B 副生成物の利用によって大気汚染が解決できたこと。
上のA,Bが含まれて達成されていけば、一貫した内容になる可能性が高い。

WS1のルーブリック評価の概要

評価項目	内容	達成していない 理由：1	ほとんど達成して いない理由：2	ほぼ完全に達成 している理由：3	完全に達成して いる理由：4
目的の達成度	反応速度の項目が挙げられている。目的を達成するために必要な学習の項目は何か挙げ、その達成が言われているかの評価。	①NO2の生成 ②反応ナトリウムによる反応 ③NO2の生成の速度 ④一酸化窒素の生成 ⑤反応の速度 ⑥反応の速度 ⑦反応の速度	①NO2の生成 ②反応ナトリウムによる反応 ③NO2の生成の速度 ④一酸化窒素の生成 ⑤反応の速度 ⑥反応の速度 ⑦反応の速度	①NO2の生成 ②反応ナトリウムによる反応 ③NO2の生成の速度 ④一酸化窒素の生成 ⑤反応の速度 ⑥反応の速度 ⑦反応の速度	①NO2の生成 ②反応ナトリウムによる反応 ③NO2の生成の速度 ④一酸化窒素の生成 ⑤反応の速度 ⑥反応の速度 ⑦反応の速度
内容の一貫性	反応速度などの対象が連続的でないこと。副生成物の利用によって大気汚染が解決できたこと。上のA,Bが含まれて達成されていけば、一貫した内容になる可能性が高い。	A) 反応速度などの対象が連続的でないこと。副生成物の利用によって大気汚染が解決できたこと。上のA,Bが含まれて達成されていけば、一貫した内容になる可能性が高い。	A) 反応速度などの対象が連続的でないこと。副生成物の利用によって大気汚染が解決できたこと。上のA,Bが含まれて達成されていけば、一貫した内容になる可能性が高い。	A) 反応速度などの対象が連続的でないこと。副生成物の利用によって大気汚染が解決できたこと。上のA,Bが含まれて達成されていけば、一貫した内容になる可能性が高い。	A) 反応速度などの対象が連続的でないこと。副生成物の利用によって大気汚染が解決できたこと。上のA,Bが含まれて達成されていけば、一貫した内容になる可能性が高い。

WS1 結果と統計

● 例)生徒Y

反応ナトリウムにより反応ナトリウムの生成は10秒後に入り急激な速度を上げた。しかし、大気汚染の原因であるNO2が蓄積していった。その結果として、副生成物の利用によって大気汚染が解決した。

項目	① NO2の 生成	② 反応ナ トリウム による 反応	③ NO2の 生成 の速度	④ 一酸化 窒素の 生成	⑤ 反応 の速度	⑥ 反応の 速度	⑦ 反応 の速度
Y	○	○	○			○	○
	①			②		③	

目的の達成度...3 書かれている内容の②の達成がない。
内容の一貫性...3 A), B)のどちらかが書かれていないので評価が適当である。

『WS2』についての評価

◎「目的の達成度」は？

目的を達成するために必要な学習の項目は何か挙げ、その達成が言われているかの評価。

項目	①反応ナトリウムとアンモニアの反応	②アンモニアの反応	③アンモニアの反応	④アンモニアの反応	⑤アンモニアの反応
達成した生徒	2%	4%	4%	2%	4%
	①		②		③

◎「内容の一貫性」は？

- 一貫した主題がなされているかの評価。
A 副生成物の利用によって大気汚染が解決できたこと
B 汚染物質そのものを除去しない方法によって副生成物の利用による大気汚染が解決されたこと。
上のA,Bが含まれて達成されていけば、一貫した内容になる可能性が高い。

WS2 結果と統計

● 例)生徒H

反応ナトリウムの新しい種類(アンモニア)が生成された。これはNO2やH2Oなどの汚染物質を除去しない。また副生成物のNO2を生成物の除去として利用できる。

項目	①反応ナトリウムとアンモニアの反応	②アンモニアの反応	③アンモニアの反応	④アンモニアの反応	⑤アンモニアの反応	⑥副生成物の利用	⑦汚染物質そのものを除去しない方法で副生成物の利用
H	○	○	○	○	○	○	○
	①		②		③		④

目的の達成度...3 書かれている内容の②の達成がない。
内容の一貫性...3 A), B)のどちらかが書かれていない。目的の一貫性が評価されるが、副生成物にまで言及がなされていないので評価は低く評価した。

「要約」評価の結果

WSと要約		専修付け			
		1	2	3	4
WS1 要約	要約の適切性	9人	6人	7人	8人
	要約の一貫性	8人	11人	12人	2人
WS2 要約	要約の適切性	5人	4人	13人	6人
	要約の一貫性	1人	9人	11人	9人

◎ 教師にとっての利点

- ① 要約を示すことにより、学習をそのことを目標に学ぶことが出来る。
- ② 「要約」は命題の中核を捉えることにより、生徒たちが教材をどのように学んでいるかを把握しているのかを測ることが出来る。
 - ・ WS1の「要約」で良い評価の生徒には、WS2以降も積極的に学習を進めるよう指導が出来る。
 - ・ WS1の「要約」で悪い評価になってしまった生徒には、WS2以降のWSの学習の進捗状況や、その学習の進捗状況の把握が容易である。どこにどのようにつまづきがあるのかを気づかせることが出来る。
- ③ 要約が適切であったか、また、要約が適切であったか知ることが出来る。

WS学習に関する留意点

「WS」の学習自体が難しい生徒に対しては、学習の進度や内容把握、WSの進め方をもう一度、WS1が終了した段階で指導することが可能である。

「要約」に関する留意点

「要約」力の欠如の場合は質問が繰り返して学習することにより、「要約」とはどのようなことを書くのかを徐々に学習させることが可能である。

「要約」の仕方がよくわからなかった生徒に対しては「記入方法」を修正することが出来る。

◎ 生徒にとっての利点

- ① 要約を要約した後に、要約をまとめることにより、学習しなければならぬことを要約した時点で把握することが出来る。
- ② 「要約」を要約する(出来る)ことにより、自分自身のWSの学習がどのようなものであったのかを自分自身で把握することが出来る。
 - ・ WS1の「要約」で悪い評価の生徒は、自分で把握している学習の状況を把握でき、WS2以降にも目標と向き合える。
 - ・ WS1の「要約」で悪い評価になってしまった生徒は、どこがどのようにつまづきがあったのかを徐々に学習させることが出来る。また、WS2以降、WS自身の学習の進捗状況、「要約」の仕方の修正も可能である。どこにどのようにつまづきがあるのかを自分自身で把握することが出来る。

WS学習の留意点

「WS」学習自体が難しい生徒に対しては、学習の進度や内容把握、WSの進め方をもう一度、WS1が終了した段階で指導することが可能である。(場合によっては質問を求めもる可也)

「要約」に関する留意点

「要約」力の欠如の場合は質問が繰り返して学習することにより、「要約」とはどのようなことを書くのかを徐々に学習させる。

「要約」の仕方がよくわからなかった生徒に対しては「記入方法」を自分で修正することが出来る。

結論

WS1が終了したときの「要約」をルーブリック評価・検定することは、そのあとのWS学習を進めていくにあたって、大きな効果を生むことになると考えられる。

- ① WS学習がうまく進んでいるのか、「要約」について何とどのように書いていけばよいのかを測ることが出来る。
- ② WSのルーブリック評価方法を採用し、評価を実施・検定することにより生徒の学習の様子、理解と表現の様子を知り、WS教材について把握し、指導方法についてさらに深い次元で効果的な指導を可能になる。
- ③ わずかな違いかけや聞きかけの違いで生徒の結果は大きく変わってくる。

今後の課題

- 評価の妥当性の検討
- 評価の「ゆれ」の検討
- 教師の評価、自己評価、他者評価 の取り入れ方と実践。

2-1-2 WS 3、4 の分析について

後藤 顕一

WS1、2と同様に公立A高校のWSの分析を行なった。ここでも等級付けと規準を設け、どの様に評価ができるのかを考察し、実際に評価を行い、教材と生徒の学習の様子を検討した。このGSE教材を貫く、生徒が一貫して学んでいく学習のテーマ、記述を余儀なくされる柱「一貫性」とは何か。WS1から4に至るまで学習内容が変わっても、WSが変わっても変わることのないテーマ、表現しなくてはならない一貫せざるを得ないテーマは、三つ挙げれば「問題点の指摘」「副生物の利用」「汚染物質をそもそも出さない」ということであろう。このことが結局は各WSをこれらの要素を記述することによって正しい論理展開を生む。各WSの学習の細かい項目が「論旨の適切性」であるとするならば、おのおのの論理細かい内容の一貫性だけではなく、WS学習全体をつら抜きとおす一貫した重要な事項を、各WSに実施したときにも記述できているかが特に重要であるということになる。WS1、WS2においてもその意識で設定した。

※WS1ではまだ「汚染物質をそもそも出さない」という項目は出てこなかったのが加えることができなかった。

(1) WS3について

①項目の設定

項目	①SO ₂ 発生原因、公害の現実についてかかれています。	②足尾、別子、四日市について具体的に書いてある。	③それぞれの一時的な解決法	④結果	⑤害の拡大	⑥排煙脱硫や原油脱硫など更なる努力	⑦解決と利用
記述した生徒	48%	26%	15%	7%	19%	11%	44%

WS1、2同様、WS3について必要な要素を挙げ、その後「論旨の適切性」の評価をするために以下のように項目をまとめて評価につなげた。「①SO₂発生原因、公害の現実についてかかれています。②足尾、別子、四日市について具体的に書いてある③それぞれの一時的な解決法④結果⑤害の拡大」までで一つに、「⑥排煙脱硫や原油脱硫など更なる努力」が記載されているかで一つ、「⑦解決と利用」で一つの評価項目とした。WS1、2と同様の二つの評価規準を設けた。すなわち、一つは、「論旨の適切性」の規準であり、もう一つは、「論理の一貫性」である。

一つめの「論旨の適切性」に関しては、大きな三つの項目の全て記述することが出来ていれば、「4すばらしいできである」とし、もし、設定した項目の中で二つ記述が出来ていれば「3おおむねよいできである」とした。項目のなかで一つの項目の中で一つ記述が出来ていれば、「2何とか許容できる範囲」で、一つも記述がない場合は、「1許容できない範囲」と等級付けした。

もう一つの規準「論理の一貫性」については、「問題点の指摘」「汚染物質を出さない」「副生物の利用」の三つの項目について二つ以上が記述されていて文章としての一貫性がなされていれば、「4すばらしいできである」とした。三つの項目について二つの項目が挙がっているか、一つ

以上が記述されていて、かつ出来のよいものは、「3 おおむねよいできである」とした。項目のなかで一つの項目の中で一つの記載はあるもののあまり出来がよくなければ、「2 何とか許容できる範囲」で、一つも記述がない場合は、「1 許容できない範囲」と等級付けした。

②WS3についてのまとめ

WS3は内容をつかむのが難しかったようである。SO₂についてはあまり知識としては持ち合わせていないようで、WSの課題記載の部分では大変よく記述が進んでいた。しかし、要約の段階になると定着していない知識であるので要約のなかに何をどのように書いて良いのかが分からないようであった。比較的良くかけている生徒の例を示す。

「尾尾銅山や別子銅山では硫黄酸化物の対策をとってかえって被害を拡大させてしまった。四日市ではばい煙により多くの被害が出た。現在排煙脱硫や原油脱硫が行われているが、完全にイオウを取り除くのは難しい。」

しかし、一方、学習内容が難しかったらしく、うまくかけていない生徒が出てきてしまった。

「工場の移転をただで根本的な解決にはならない。」

と書いた生徒や

「弱い酸性雨でも植物は枯れること。硫黄酸化物で山は簡単にばげになること。」

と書いた生徒や

「対策を打つのはいいのだけれどその後の問題を考えなければならない。」

など要約に全くなっていないものも見受けられた。

(2) WS4の学習のねらいと、記載内容

問題点 副生物の利用 汚染物質を出さない有用性

項目	①解決できてないNO _x が引き起こす公害について。発生原因、公害の現実についてかかれている	②光化学スモッグや酸性雨の原因物質の一つ。	③自然で発生するものとの比較について書かれている。	④排煙脱硝法について書いている。	⑤有効な手段のとられていない現実について記載がある。	⑥開発途上の方法 触媒の改良。空気量の酸素濃度の低減化。エンジン内の低温度化について書いている。	要約中 自分の意見を記入してしまっている	演示実験について触れている。
記述した生徒	56%	22%	22%	4%	19%	4%	52%	30%

①項目の設定

これまでのWSと同様、WS4について必要な要素を挙げ、その後「論旨の適切性」の評価をするために以下のように項目をまとめて評価につなげた。「①解決できてないNO_xが引き起こす公害について。発生原因、公害の現実についてかかれている」「②光化学スモッグや酸性雨の原因物質の一つ。③自然で発生するものとの比較について書かれている。④排煙脱硝法について書いている。」までで一つに、「⑤有効な手段のとられていない現実について記載がある。」が記載されているかで一つ、「⑥開発途上の方法 触媒の改良。空気量の酸素濃度の低減化。エンジン内の低温度化について書いている。」で一つの評価項目とした。WS3までと同様の二つの評価規準を設けた。すなわち、一つは、「論旨の適切性」の規準であり、もう一つは、「論理の一貫性」である。

一つめの「論旨の適切性」に関しては、大きな三つの項目の全て記述することが出来ていれば、「4すばらしいできである」とし、もし、設定した項目の中で二つ記述が出来ていれば「3おおむねよいできである」とした。項目のなかで一つの項目の中で一つ記述が出来ていれば、「2何とか許容できる範囲」で、一つも記述がない場合は、「1許容できない範囲」と等級付けした。

もう一つの規準「論理の一貫性」については、「問題点の指摘」「汚染物質を出さない」「副生物の利用」の三つの項目について二つ以上が記述されていて文章としての一貫性がなされていれば、「4すばらしいできである」とした。三つの項目について二つの項目が挙げられているか、一つ以上が記述されていて、かつ出来のよいものは、「3おおむねよいできである」とした。項目のなかで一つの項目の中で一つの記載はあるもののあまり出来がよくなければ、「2何とか許容できる範囲」で、一つも記述がない場合は、「1許容できない範囲」と等級付けした。

②WS4についてのまとめ

生徒は NO_2 については学習の進んだ生徒に関してもあまり知らないのが現状である。知識は何とかまとめたが、その対策法を考えるのに精一杯になったのと、実施日に実験の演示実験を観察させた事もあり、時間が足りず生徒たちを焦らせる結果となり、時間のなさが乏しい記述につながったものとする。比較よくかけていた生徒でも「学習のねらい」には達していないものである。

「窒素酸化物は酸性雨の原因となり植物をはじめ多くの生物の影響を及ぼす。 N_2 、 O_2 は常温では反応せず、高温状態でなければ反応しない。硝酸の工業的製法にオストワルド法がある。また窒素酸化物は人類活動で発生するよりも自然界で発生することの法が多い。」

「 NO_x は人工より自然界で発生することのほうが多い。 NO_x は炭化水素などがあるところで紫外線に当たるとオキシダントとなりこれがロサンゼルスや東京で大きな環境問題となる。窒素酸化物は常温では発生しない。」

がよくできているほうである。多くの生徒は「要約」ではなく感想になってしまった。

「窒素酸化物の対策を考えるのはとっても大変だった。自然界からも出ているものの対策には大変だろうけどとにかくいろいろなことを考えるのが大切だと思った。」

と書いた生徒や、よくわからないのであろうか？

「化学反応の過程で工夫することが必要。」

と書いた生徒などがいた。結果、要約として論理的な矛盾が無く、正確に事実をまとめあがる事ができた生徒はあまりいなかった。

(3) WS3 と WS4 の分析結果

① WS3 について

WSと規準		等級付け	1許容できない範囲	2何とか許容できる範囲	3おおむねよいまでである	4付けばらしいまでである
WS3 要約	論旨の適切性		26% (7人)	30% (8人)	37% (10人)	7% (2人)
	論理の一貫性		7% (2人)	26% (7人)	59% (16人)	7% (2人)

「論理の一貫性」はほとんどの生徒がしっかり出来ている。学習が進むにつれ、本学習の趣旨を読み取ってそれに沿って学習を展開して行こうという姿勢の表れだといえる。学習で学ぶべき大切なことは、十分理解できていると考える。しかし、学習内容が進んで学習内容の細かいそれぞれの項目をしっかり書く生徒が少し減っている。すなわち論旨の適切性は、出来のよくない、「1」「2」が増えてしまった。これは、WS3 は先にも述べたとおり、学習内容が難しく、つかみづらい所があったようである。WS までは記述がよく出来ているが、要約の段階になると定着していない知識であるので、細かい要点を記述できなかつたようである。さらに、この学習が進むにつれ、学習内容が見えてきたゆえにあえて細かい項目は書かなくなつてしまった生徒もいるようだ。

WSと規準		等級付け	1許容できない範囲	2何とか許容できる範囲	3おおむねよいまでである	4付けばらしいまでである
WS4 要約	論旨の適切性		41% (11人)	22% (6人)	33% (9人)	4% (1人)
	論理の一貫性		0% (0人)	48% (13人)	26% (7人)	26% (7人)

WS4 になるとその傾向はいつそう出てくる。ここでは、解決できていない NOx の問題を学習していくので細かい要点などが挙げにくかつたようである。また、この回は、この課題のほかに、「解決に向けての生徒の案」や、「学習後の3文」、「感想」と、学習課題が多く生徒にしてみたら「要約」がやや希薄になつてしまったものと思われる。

WS3、WS4 は「論旨の適切性」のよく出来ている生徒のポイントが上がるように指導が必要のようだ。また、教材そのものも内容が難しいだけに、すこし、書くことが容易なる用に更なる工夫が必要となりそうだ。WS4 においても「論理の一貫性」のよく出来ている生徒のポイントはあまり高くないので、なんだかのアプローチが必要になりそうだ。また、教材のほうも更なる検討を試みたい。

また、他の高校の実践について、この評価法を用いて比較・検討することにより、本 WS 自体の評価、教師のアプローチに対しての評価、また、よりよい指導方法、生徒個人がどの様に学習したらよいのか、またするべきなのかなどを検討できるようになると考える。

WS 3, 4 分析のための資料

学習履歴シート 「ワークシート3」 学習要約の記載

		①SO2発生原因、 公害の発生	②足尾、別子、四日市につ いて具体的に書いてある。	③それぞれの 時局的解決法	④結果	⑤害の 拡大	⑥排煙脱硫や原油脱 硫など更なる努力	⑦解決と 利用	論旨の適切性	要約中の自 分の意見	問題点の 指摘	汚染物質を 出さない	副生物の 利用	論理の 一貫性
1	N	○		○				○	3		○	○	○	4
2	ST								1					1
3	Y		○	○	○	○	○	○	4		○	○		3
4	I	○							2		○			2
5	U	○	○	○	○	○	○		3		○	○		3
6	S								1	○	○	○		3
7	O	○							2		○	○		3
8	Tk							○	2	○	○			2
9	Sl								1	○				1
10	Td	○							2	○	○			2
		50%	20%	30%	20%	20%	20%	30%		40%	80%	50%	10%	
11	U								1	○	○	○		3
12	Kry								1	○	○			2
13	Kmk		○				○	○	4	○	○	○		3
14	Sg								1	○	○	○		3
15	TG					○		○	3		○			3
16	KY		○			○			3	○	○			2
17	NIB					○		○	3	○	○	○		3
18	ID	○	○					○	3		○	○		3
19	KS								1	○	○			2
20	KZ	○						○	3		○	○		3
21	KB	○	○	○					2		○			2
22	Sg2	○							2	○	○	○		4
23	NZ	○							2	○	○			3
24	HR	○	○					○	3		○	○		3
25	F	○						○	3		○	○		3
26	M	○						○	3		○	○		3
27	YTK							○	2	○	○	○		3
		47%	29%	6%	0%	18%	6%	53%		59%	100%	65%	0%	

	①NOxが引き起こす公害について原因など	②光化学スモッグや酸性雨の原因	③自然で発生するものととの比較	④排煙脱硝法	⑤有効な手段のとられていない現実	⑥開発途上の方法 触媒の改良。	論旨の適切性	要約中の自分の意見	実験について	問題点	汚染物質を出さない有用性	副生物の利用	論理の一貫性
N	○						2	○		○		○	4
ST							1					○	2
Y	○		○				3			○		○	4
I							1	○		○			2
U	○	○	○				3		○	○		○	4
S							1	○		○	○		4
O	○	○	○				3			○		○	4
Tk							1	○		○	○		4
Si							1	○		○			3
Td	○						2	○		○			3
	50%	20%	30%	0%	0%	0%		60%	10%	90%	20%	50%	
U	○		○		○		4	○	○	○	○		4
Kry							1		○	○			2
Kmk	○				○		3			○			2
Sg			○				2			○			2
TG							1	○	○	○			2
KY							1	○	○	○			2
NIB							1	○	○	○			2
ID	○	○	○	○			3			○			3
KS							1	○		○	○		3
KZ	○					○	3		○	○			2
KB	○	○			○		3			○			3
Sg2	○						2	○		○			3
NZ	○	○					2			○			2
HR	○				○		3			○			3
F	○	○					2			○			2
M							1	○	○	○			2
YTK	○				○		3	○		○			2
	59%	24%	18%	6%	29%	6%		47%	41%	100%	12%	0%	

2-2 C高校とA高校のルーブリック評価法による比較

後藤 顕一

公立C高校と公立A高校とでワークシート1からワークシート4（以下WS）の細かい記載内容の比較とルーブリック評価の比較を行なった。両校は、教師のWS要約に対してのアプローチがかなり異なる。C高校においては、「自発的に課題を行なうことは可能だが、要約については、誘導しないと記述することは難しいと考えたので指導する必要性を感じた。」とのことであった。一方、A高校は、「生徒の自主性にゆだねた。試行授業の特徴からあえて指導をいれなくて生徒がどのように書いてくるのかを検討したい。」とのことであった。条件が異なるので単純な比較は難しい。しかし、それぞれの学校の実態、生徒の様子に即し、試みた実践から同じ「要約」作成を比較することによって、今後の様々な学校での指導に生かすことが出来るのではないかと考え、まとめ、さらに検討を加えた。

① WS項目の記載比較

※それぞれの生徒の記載や、等級付けはすべて資料に掲載する。

(1)WS1の比較

C高校 WS1

項目	a)HCl発生原因	b)炭酸ナトリウムによる利益	c)HClがもたらす害	d)一時的な解決法	e)害の拡大	f)更なる努力	g)解決と利用
記述した生徒(%)	69%	38%	81%	0%	50%	0%	75%

A高校 WS1

記述した生徒(%)	56%	44%	26%	26%	22%	15%	48%
-----------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

おおよそ両校とも項目ごとの記述は似た傾向にある。C高校は大変丁寧に指導があった様子が伺える。グリーンケミストリーの問題点と「解決と利用」に対して、大変よく記述が行なわれている。また、「HClがもたらす害」についてC高校は要約に丁寧に記載している。

(2)WS2の比較

C高校 WS2

項目	①新たな製法としてアンモニアソーダ法の考案	②アンモニアソーダ法の利点	③ルブラン法との比較	④アンモニアソーダ法の副生物の利用について	⑤アンモニアソーダ法によって変わっている事実
記述した生徒(%)	81%	88%	75%	31%	38%

A高校 WS2

記述した生徒(%)	59%	44%	48%	37%	44%
-----------	-----	-----	-----	-----	-----

記述の傾向はほぼ両校同じ様子である。両校の違いはC高校の生徒の記述は、「①新たな製法としてアンモニアソーダ法の考案」「②アンモニアソーダ法の利点」「③ルブラン法との比較」において際立ってよく要約に記載していることである。これもWS1同様指導の行き届いている様子と、生徒のまじめな気質が伺える。

(3)WS3 の比較

C 高校 WS3

項目	①SO ₂ 発生原因、公害の現実	②足尾、別子について具体的に書いてある。	③それぞれの一時的な解決法	④結果	⑤害の大きさ	⑥排煙脱硫や原油脱硫など更なる努力	⑦解決と利用	要約中の自分の意見(参考)	問題点の指摘	汚染物質を出さない	副生物の利用
割合	81%	50%	50%	50%	44%	75%	31%	13%	100%	63%	19%

A 高校 WS3

割合	48%	26%	15%	7%	19%	11%	44%	52%	93%	59%	4%
----	-----	-----	-----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----

ここでも両校の記述の傾向は似ているが、C 高校は、要約をしっかり行なうことを常に心がけている様子が伺える。「①SO₂発生原因、公害の現実」や「⑥排煙脱硫や原油脱硫など更なる努力」などが高い頻度と高い水準で要約に盛り込まれている。また、A 高校は指示の違いから問題意識が高まってくるにつれて自分の意見を要約の中に記述してしまっている。C 高校の記述は大変丁寧である。また、本学習を貫くグリーンケミストリーの考え方の一つである、「汚染物質を出さない」という点について両校とも半数以上の生徒が要約に記載することが出来ている。それに対して、「副生成物の利用」については、両校とも記述した生徒が大変少なかった。

(4)WS4 の比較

C 高校 WS4

項目	①NO _x が引き起こす公害の原因	②光化学スモッグや酸性雨の原因	③自然で発生するものとの比較	④排煙脱硫法	⑤有効な手段のとられていない現実	⑥開発途上の方法、触媒の改良。	要約中の自分の意見について	実感	問題点	汚染物質を出さない	副生物の利用
割合	88%	75%	56%	13%	31%	13%	31%	0%	100%	38%	19%

A 高校 WS4

割合	56%	22%	22%	4%	19%	4%	52%	30%	96%	15%	19%
----	-----	-----	-----	----	-----	----	-----	-----	-----	-----	-----

両校とも記述の様子は似ている。両校とも内容の難しさに学習を進めるのが大変難しかった跡が見られる。WS 要約の出来自体、良好とは言いきれないところもある。しかし、この WS においても C 高校の丁寧な記述の実際が明らかになる。まじめな姿勢は変わらない。内容が難しくなってもしっかり内容要約に励もうという姿勢がうかがえる。これだけ一貫して丁寧な要約が出来ていれば、全体を通じて内容がよく理解できるものと思われる。A 高校は、やはりこの段階でも自分の意見を要約に多くの生徒が記述している。グリーンケミストリー学習の柱である「汚染物質を出さない」という点について C 高校では意識を持って学習に望んでいるようである。「副生成物の利用」については、両校とも記述した生徒がやや少ないが WS3 と比較すると、ともに利用についても記述が増えているのがわかる。

② A 高校と C 高校とのルーブリック評価の比較

C 高校の記述結果

WSと規準	評価付け	1許容できない範囲	2何とか許容できる範囲	3おおむねよいできである	4すばらしいできである
WS1 要約	論旨の適切性	6%	19%	38%	38%
	論理の一貫性	13%	38%	6%	44%
WS2 要約	論旨の適切性	0%	33%	60%	7%
	論理の一貫性	7%	13%	73%	7%
WS3 要約	論旨の適切性	0%	31%	56%	13%
	論理の一貫性	0%	31%	44%	25%
WS4 要約	論旨の適切性	6%	25%	56%	13%
	論理の一貫性	0%	38%	25%	38%

A 高校の記述結果

WSと規準	評価付け	1許容できない範囲	2何とか許容できる範囲	3おおむねよいできである	4すばらしいできである
WS1 要約	論旨の適切性	33%	22%	26%	19%
	論理の一貫性	7%	41%	44%	7%
WS2 要約	論旨の適切性	19%	15%	48%	19%
	論理の一貫性	4%	22%	41%	33%
WS3 要約	論旨の適切性	26%	30%	37%	7%
	論理の一貫性	7%	26%	59%	7%
WS4 要約	論旨の適切性	41%	22%	33%	4%
	論理の一貫性	0%	48%	26%	26%

「論旨の適切性」において、A 高校、C 高校と共通なのは、WS1 から WS2 に学習が進むに従って「許容できない範囲：1」が激減しているということである。これは、両校とも WS1 においては何を書いているのかわからなかった生徒が WS2 に進んでから何を書けばよいのかわかるようになり、適切な表現が出来るようになったためと思われる。また、WS2 は劇的な学習内容であるため両校の生徒とも要点を抑えた細かい要約が出来ており、多くの生徒は、高い水準で学習が進んでいる。A 高校においても適切なことを書けていなかった生徒が飛躍的に何を書くべきなのかを理解できるようになり出来がよくなった生徒が多くいた。一方、C 高等学校においては、まじめな緊張感がはたらき、ひたすら多くのことを要点としてまとめていたようである。結果、この「論旨の適切性」の評価においては高得点が出るようになった。WS2 は相対的に成績が下がったように見えがちだが、要点を的確に書くことのできる生徒が多く出てきて、簡潔に書くことが出来るようになった証であろうと考える。項目が不足していた A 高校の生徒の記述が項目を満たすようになっていき、書きすぎる傾向にあった C 高校の記述が必要な項目に落ちてきている様子は、指導の違いからきているもので興味深い結果となった。

「論旨の適切性」の記述で、C 高校は、要約の記載が一貫して丁寧であるのは特徴的なことである。それがよく現れているのが WS の記述である。教師の丁寧な働きかけによって、はじめて体験する学習内容であるため、内容把握に十分努めようと細かいところまで記述している。一方、A 高校は、要約の書き方は、一切指導していないため初めて何を書くべきかわからない生徒が

いた。注意を与えなかったために WS1 でうまくかけていない生徒は WS1 の書き方を引きずってしまい WS2 においても同様の書き方をしたために同じような評価を受けつづけてしまっている生徒も少数いた。WS3,4 は学習が難しくなるため、教師の働きかけが希薄で要約の書き方を学習していない A 高校は細かい論旨を要約に反映するのが難しくなってくる。一貫して丁寧に記述している C 高校はほぼ一定水準を保っている。総じて「論旨の適切性」に関しては、各 WS の特徴と教師の働きかけで「出来」が変化しているといえよう。

「論理の一貫性」に関しては、WS1 から WS2 と学習が進むに従い、両校ともに等級付けが、出来のよくない「許容できない範囲：1」「何とか許容できる範囲：2」から出来のよい「おおむねよいできである：3」、「すばらしいできである：4」へと変化している。これはともに学習が進むにつれ、この学習を通して一貫して学ばせたい内容が生徒に伝わり、生徒の学びに結びつき、うまく表現できていることの表れであると考えられる。同じ教材、同じ標準で、全く違う学校で、異なる生徒において両校で同じような結果が得られたことより、WS1 を学習した後に WS2 を学習することで、内容や展開が心に響き生徒の関心を大いに喚起し、高い次元での理解が可能になりうる教材構成であることが伺える。WS3 以降は生徒それぞれの学びが、多様になっていくようである。ただ、本学習を貫く一貫した柱である「問題点を指摘し」「汚染物質を出さない」「副生成物の利用」といったグリーンケミストリー思想は、どのような学習においてもいまだ解決されていない問題に直面しても、問題解決の常に糸口になる考え方であるということが定着しつつあることがわかる。

おわりに

① 教師のかかわりとループリック評価

今回両校の比較をして気づくのは、教師の指導の重要性である。WS1 で WS の記述の学習履歴シートへのまとめの仕方を学習させないと、独善的な要約に終始してしまい、教師が要求する要約とは一致しない結果となってしまう。特に「論旨の適切性」の項目は、要約とはどのようなことを、どの様に記述するのかを、特にしっかり WS1 で学習しないといけない。また、教師もここで指導をおこなわなければ、うまく行かないまま進んでしまう生徒も出てくるので指導が必要である。また、WS2 以降の学習履歴シート「要約」の記載は、教師にとってもその指導が生徒の記述に反映されているのかを知る教師自身の「指導の振り返りシート」になり得る。その意味からもループリック評価は、教師が生徒に一方的に与えるものではなく、教師と生徒がともに作り、共有できるようにすることが望ましい。ループリックを教師と生徒が共有することができれば、結果的には、ともに何を学ばせ、何を学ばなければならないのかが明らかになり、より高次元の学習時間の展開が期待できる。教師による評価や、生徒自身の評価、生徒同士で評価をし合うことによって、WS2 以降の要約が WS1 とは質的に大きな変化を遂げることが期待できると思われる。

② 学習履歴シート「要約」評価の問題点

学習履歴シート「要約」評価について今回の評価方法で評価をおこなうと、たくさん書けば書いただけよい評価につながってしまうという問題点があげられる。特に「論旨の適切性」は、必要な項目があがっていればそれだけ高い評価につながってしまうこととなる。「要約」は、単なる WS 内容の羅列に終わることなく、必要事項を抽出し、簡潔にまとめていく必要がある。そのためには、字数の制限、難しいようであれば罫線を引くなどして、記述はその範囲でまとめるように指示を出すなどの工夫が必要になる。

(資料) 公立C高校の記述

(1)-1 ワークシート1の学習項目と、記載内容

項目	a) HCl 発生原因	b) 炭酸ナトリウムによる利益	c) HClがもたらす害	d) 一時的な解決法	e) 害の拡大	f) 新たな努力	g) 解決と利用
記述した生徒(%)	69%	88%	81%	0%	60%	0%	75%

		a) HCl 発生原因	b) 炭酸ナトリウムによる利益	c) HClがもたらす害	d) 一時的な解決法	e) 害の拡大	f) 新たな努力	g) 解決と利用	社会貢献などが無 きなし	副生成物の利用
1	A	○	○	○				○		
2	B	○		○				○		○
3	C	○	○	○		○		○	○	○
4	D	○	○	○		○		○	○	○
5	E									
6	F	○	○	○				○		
7	G			○		○		○	○	○
8	H					○		○	○	○
9	I	○		○		○		○	○	○
10	J	○		○		○		○	○	○
11	K	○		○						
12	L	○		○				○		
13	M	○	○	○		○		○	○	○
14	N			○						○
15	O	○		○				○	○	○
16	P		○			○			○	

(1)-2 ワークシート1の生徒の記述と評価

LR81-W81			論旨の 適切性	論理の 一貫性
1	A	私たちの生活にかかせない炭酸ナトリウムは、1789年ルブラン法により、大量に作るできるようになったが、その反面で副生物として出てくる塩化水素(HCl)が原因で大気汚染が激しくなった。しかし、その後、ウェルドン法などさまざまな対策により19世紀末にはほぼ解決された。	8	2
2	B	19世紀当時、酸性ガスと呼ばれていた塩化水素による環境汚染が深刻な問題だった。塩化水素の主な発生源は、かつては炭酸ナトリウム工場だった。その炭酸ナトリウムは、大規模な工業的な製造(ルブラン法)で、作られ、塩化水素が副生物として出て、それが汚染の原因になった。しかし、ゴッセージが開発した吸収塔で、回収した塩酸を原料としてさらし粉が普及し、公害はほぼ解決した。	3	3
3	C	ルブラン法により作られた炭酸ナトリウムは、農産物や人々の日常生活に必要な不可欠なものとなった。しかし、ルブラン法で、炭酸ナトリウムを作る過程で、人体へ悪影響があり、大気汚染の原因になる塩化水素が発生してしまふ。その解決策として、空気中に拡散したり、水で希釈したりしたが、汚染は広がった。しかし、HClガスを水に溶かし回収した塩酸を原料としたさらし粉の製造の普及により、HCl公害は、ほぼ解決した。	4	4
4	D	工業的な大気汚染は19世紀にはすでに問題になっていた。その主な原因は、塩化水素である。塩化水素が発生した理由は、ルブランが炭酸ナトリウムを製造する過程でできたものである。ルブランのおかげで、産業革命が進み、産業が発達した。また、それによってできる石けんは毛織物産業を奨励させ、生活環境を改善させた。しかし、副生物である塩化水素の公害は過んだ。こうした状況を打開するため高純度化や塩化水素ガスを溶かし塩酸と回収する吸収塔がつけられて実用化されたが、水質汚染が発生した。1870年塩酸を原料とするさらし粉の製造が可能になった。1887年廃棄物のカリウムから硫酸として回収法が発明される。この2つの解決策のおかげでルブラン法の公害がほぼ解決された。	4	4
5	E	炭酸ナトリウムを得ることが大変だとわかった。ルブラン法では毒薬が多く出す。毒薬をなくすのに大変な苦労があった。炭酸ナトリウムは自分の身近でたくさん使われている。	1	1
6	F	塩化水素はさらし粉やマッチなどの原料になっているが、その反面で、人体には目、鼻などを刺激し、気管支炎などの影響を及ぼす。ルブラン法によって石けんなどの製造ができるようになった。ルブラン法は、NaClからNa2CO3を直接つけないため選り好みして作る。そのため、HClなど不要な物質までできてしまい、弊害を及ぼしたが、ゴッセージによってほぼ解決した。	0	3
7	G	ルブラン法の成立によって、炭酸ナトリウムの工場生産が可能となったが、それは、大気汚染の原因ともなっていた。そこで、化学者達が空気中からHClガスを回収させたり、水で希釈したが、結果は、さらに汚染が広がって失敗した。そこで、考えたのがさらし粉の製造だ。このさらし粉の製造で(ウェルドン法)、HCl公害は、ほぼ解決した。	4	4
8	H	ルブラン法・HClの性質・ルブラン法はなに?ルブラン法の問題点…汚染地域拡大・ルブラン法の問題点を解決する。対策…すべて失敗!さらに汚染	2	2

		は、 ルブラン法の効果。代表的にさらし粉製造。ゆえにHCl公害はほぼ解決。		
9	I	塩化ナトリウムから、すぐに炭酸ナトリウムは作れなかった。道回りをしている間に、副生物としてHClがでてしまった。HClは大気汚染の原因となるので、その対策として、拡散したが、よけいにひどくなった。未だにHClガスを捕かし、塩酸にしたが、濃度の用途が少なく、別に換したので、河川の汚染になったが、塩酸を原料とするさらし粉の製造によりHCl公害は、ほぼ解決した。炭酸ナトリウムは、漂白剤、ガラス、石けん、薬品の製造に使用された。	4	4
10	J	ルブラン法により、漂白、ガラス、石けん、染料、薬品などの製造が急速だが、ルブラン法で出てくるHClにより大気汚染が発生。水にとかし、塩酸として川に流し捨てたので、川が汚染した。塩酸を原料とするさらし粉の製造に成功し、HCl公害はほぼ解決した。	4	4
11	K	塩化水素の性質：工業的に利用できる反面、人体に有害であるということ。炭酸ナトリウムをつくる過程で発生してしまう。公害をなんとか改善したいという人々の努力	2	1
12	L	塩化水素の主な発生源は、炭酸ナトリウム工場であった。炭酸ナトリウムを作るルブラン法は、NaClからNa ₂ CO ₃ は作れないので、NaCl (E2504) Na ₂ SO ₄ (C) Na ₂ S (CaCO ₃) Na ₂ CO ₃ のように道回りをして得られる。しかし、途中HClやCaSなど大気汚染のもとになる物質が発生する。Na ₂ CO ₃ は人々の生活に必要な石けんなどに使用された。それと引き換えにHClガスの汚染地域が広がったり、河川の汚染など汚染問題が発生した。	3	2
12	M	ぜんそくや気管支炎などの原因になったり、動物を枯らすなどの被害をもたらしていた塩化水素(HCl)による環境汚染の問題はさまざまな対策や経済的ないきさつを経て、解決された。塩化水素の主な発生源は、かつて炭酸ナトリウム(Na ₂ CO ₃)工場であった。炭酸ナトリウムはルブラン法によって生産された。ルブラン法は、いくつかの物質と反応させ、回り道をして得ることのできる生産方法だったため、有害物質のHClやCaSなどが出てしまった。ルブラン法の成立によって、炭酸ナトリウムの工場生産が可能になり、動物の漂白、ガラス、石けん、染料、薬品の製造に使用された。そのため、塩化水素(HCl)が原因の大気汚染も激しくなった。この問題に対し、いろいろな対策が行われた。高煙突工場を建設し、HClガスを拡散させたが、さらに汚染地域が広がってしまった。水にHClガスを溶かし、塩酸として回収する吸収塔を開発したが、塩酸の用途が少なく、川に流し捨てたので、河川の汚染が発生した。この吸収塔で、回収した塩酸を原料とし、さらし粉の製造が普及してHCl公害はほぼ解決した。	4	4
14	N	塩化水素について人体や環境への影響を19世紀前半のイギリスの事例をもとにまとめた。具体的には、どのような問題が起こったのか、その原因についてや、対策その効果などをまとめた。ルブラン法とは原理が2段階と単純だが、副産物が有害で、その処理が複雑。(HCl, SO ₂)	2	2
15	O	塩化水素を出したくて出したわけじゃないのに、炭酸ナトリウムを作る時、どうしても塩化水素を出さざるをえなかったのが、きっかけでできた大気汚染を招いた。そして、河川などに流すことによって汚染より悪化させた。でも、その塩化水素を回収し、漂白剤の製造で、塩化水素の公害もほぼ解決した。	3	4
16	P	ルブラン法などで、炭酸ナトリウムが生産することが可能になって、動物の漂白に大量に使用することによって、仕事も楽になった。炭酸ナトリウムを熱分解するとNa ₂ CO ₃ が得られる。主に、火山ガスが含まれていることが分かった。高煙突による拡散の効果も失敗したため、大気汚染の問題になった。	2	2

(2)-1 ワークシート2の学習項目と、記載内容

項目	①新たな製法としてアンモニア法の考案	②アンモニア法の利点	③ルブラン法との比較	④アンモニア法の副生物の利用について	⑤アンモニア法によって変わっている事実
記述した生徒	81%	88%	75%	31%	38%

(2)-2 学習履歴シート「ワークシート2」学習契約の記載

生徒それぞれの記述は資料に載せた。

	a) 新たな製法としてアンモニア法の考案、	b) アンモニア法の利点	c) ルブラン法との比較	d) アンモニア法の副生物の利用について	e) アンモニア法によって変わっている事実	副生成物の利用	汚染物質そのものを出不さない方法で根本的な解決をはかることができる。
1	A	○	○		○		○
2	B	○	○		○		○
3	C	○	○		○		○
4	D	○	○	○	○	○	○
5	E	○	○				○
6	F	○	○			○	
7	G	○	○	○		○	
8	H	○	○				
9	I	○	○		○		
10	J	○	○			○	○
11	K	○	○				○
12	L	○	○	○		○	
13	M	○	○		○		○
14	N	○	○	○		○	
15	O	○	○				
16	P	○	○	○		○	

(2)-2 ワークシート2の生徒の記述と評価

		LHS1-W82	論旨の適切性	論理の一貫性
1	A	ルブラン法の後にソルベーによって確立されたアンモニアソーダ法は、有害な副生物がないため、炭酸ナトリウム生産の主流となっていった。ルブラン法も当初は、 Cl_2 などの需要が多かったためすぐにはなくならなかったが、19世紀末電気分解の発見により衰退していった。	3	3
2	B	ルブラン法を使うと、手間がかかるうえに塩化水素といった副生物がでて、公害まで発生してしまう。しかし、ベルギー人のソルベーが考えたアンモニアソーダ法は手間があまりかからないし、公害による問題も起きないので、19世紀末になるとルブラン法の工場は順次閉鎖されていった。	3	3
3	C	ルブラン法で発生してしまうHClを有害でないものに替えるのではなく、最初から発生させなければ良いということで、アンモニアソーダ法が考えられた。反応は2段階で、ルブラン法よりも簡単で、公害も発生しない。しかし、ルブラン法の副生物の中の Cl_2 は、都市生活を支える飲料(水道)水の浄菌、消毒に不可欠なものであり、アンモニアソーダ法が出現してからも、ルブラン法はすぐには無くなかった。しかし、塩素が電気分解によって安く製造されるようになると、経済的計算が合わなくなり、ルブラン法の工場は順次閉鎖されていった。	3	3
4	D	19世紀半ば、新たにアンモニアソーダ法が確立し、その後、ルブラン法に代わって、炭酸ナトリウム生産の主流になった。アンモニアソーダ法の利点は、原料が再利用できることである。生産効率が高く、安く製造でき、なおかつ汚染物を出さないし、副生物も再利用が可能である。これだけいい利点があるアンモニアソーダ法は、はじめは主流にならなかった。なぜなら、ルブラン法は当時さらに効率的であり、その時大変重要されていたからである。しかし、19世紀末から20世紀初めに食塩水の電解法が確立したため、全工程が簡便であったルブラン法は経済的に成り立たなくなり、ルブラン法では炭酸ナトリウムが生成されなくなった。	4	4
5	E	アンモニアソーダ法は毒物が出ない。 アンモニアソーダ法はルブラン法よりすぐれている。	2	3
6	F	アンモニアソーダ法の化学反応式は、5つあるけれど、リサイクルされるため、ルブラン法よりすぐれている。しかし、ルブラン法は、 Cl_2 を放出するため、公害ではなくてはならないもので、なかなかなくならなかった。ルブラン法によって起きたHCl公害は、とらし粉など製造することで解決し、有害物質をリサイクルして活用したことが効果的だった。	3	3
7	G	ルブラン法に代わり、アンモニアソーダ法が確立し、ルブラン法に代わって炭酸ナトリウム生産の主流になった。原料が安く、また、アンモニアや二酸化炭素を回収し、再び使用するので、生産効率が上がった。HClや H_2S などの汚染物質を排出することもない。アンモニアソーダ法では、塩化アンモニウム(NH_4Cl)を副産物として取り出すこともでき、 NH_4Cl は農産物の肥料ともなった。	3	3

8	H	アンモニアソーダ法のやり方を化学式で表して、資料によってルブラン法より環境にいいということがわかった。 ソルベーとルブランの違いは、ソルベーは、簡単にできて、環境にはやさしい方で、 NH_4Cl は、農作物の肥料になる。ルブランは、塩素で飲水問題をおこしていたが、途中でできたものを使い……	3	1
9	I	ルブラン法で、でってしまった副生物であるHClを出さない方法として、アンモニアソーダ法ができた。しかし、ルブラン法でできる副生物の一つである Cl_2 は、都市生活を支える飲料水の浄菌、消毒に不可欠なものだったので、アンモニアソーダ法が見つかった後でも、すぐにルブラン法はなくならなかったが、20世紀初めの食塩水の電解法が確立し、 Cl_2 が安く手に入るようになったから、ルブラン法がなくなった。	3	3
10	J	この時代からリサイクルという方法が生まれたらしい。アンモニアソーダ法はルブラン法とは違い有害な物質は出ない。	3	3
11	K	ルブラン法による公害問題の解決の仕方。 目的物質をつくるためだけでなく生成するときに有害な物質を最初から出さないようにした。	3	3
12	L	アンモニアソーダ法は、汚染物質の排出はなく、リサイクルができる。副生物の NH_4Cl は、農産物の肥料となる。ルブラン法は、道徳りをして Na_2CO_3 を作り、汚染物質が発生する。アンモニアソーダ法が主流になってからもルブラン法がなくならなかったのは、ルブラン法の副生物の Cl_2 は、都市生活に必要な飲料水の浄菌、消毒に不可欠なものだったからだ。	3	3
13	M	食塩水にアンモニアと二酸化炭素を吸収させると炭酸水素ナトリウムができる。この方法をアンモニアソーダ法という。アンモニアソーダ法は、公害問題もないし、副生物も塩化アンモニウム。原料は、アンモニアで、ルブラン法より簡単だが、20世紀はじめまで残ってすぐにならなかった。ルブラン法では、副生物の需要に支えられて、経済的に採算が成り立っていたためだった。19世紀末には塩素は電気分解によって安く製造されるようになり、経済的計算が合わなくなり、ルブラン法の工場は順次閉鎖されていった。	3	3
14	N	アンモニアソーダ法の過程やルブラン法との違い、環境への影響、また、ルブラン法のその量をまとめた。詳しくは、アンモニアソーダ法は、5段階反応で簡便だが、副産物は無害で肥料や原料としてリサイクルして使用可。	3	3
15	O	アンモニアソーダ法の出現で公害問題はおさまった。でも、アンモニアソーダ法は、手間がかかるためルブラン法は少しの間なくならなかった。	3	3
16	P	アンモニアソーダ法は環境に悪い影響を持っていないから、ステップも少ないし、リサイクルができる。副生物は NH_4Cl で原料はアンモニア、これがあるから、環境にいい。	3	2

(3)-1 ワークシート3の学習項目と、記載内容

	①SO2発生原因、公害の現状	②足尾、別子、四日市について具体的に書いている。	③それぞれの一時の解決策	④結果	⑤害の拡大	⑥排煙脱硫や原油脱硫など更なる努力	⑦解決と利用	論旨の適切性	要約中の自分の意見(参考)	問題点の指摘	汚染物質を出さない	副生物の利用	論理の一貫性
1	A	○				○		3		○	○		3
2	B		○	○	○	○		2		○			2
3	C	○	○	○	○	○		3		○	○		3
4	D	○	○	○	○	○	○	4		○	○	○	4
5	E	○				○		2		○			2
6	F	○				○	○	3		○	○		3
7	G	○	○	○	○	○		3		○	○		4
8	H					○		2	○	○	○		3
9	I	○	○	○	○	○	○	4		○	○		4
10	J	○					○	3		○		○	3
11	K		○	○	○			3		○			2
12	L	○	○			○		3			○		3
13	M	○		○	○	○		3		○	○		3
14	N	○				○	○	3		○	○	○	4
15	O	○						2	○	○			2
16	P	○	○	○	○	○		3		○			2
		81%	50%	50%	50%	44%	75%	31%		13%	100%	63%	19%

(3)-2 ワークシート3の生徒の記述と評価

LHS1-WSS	論旨の適切性	論理の一貫性
A 大気中に存在し、公害の原因となっている硫黄酸化物は、煙の精錬や石油の燃焼などにより発生し、森林や雑草、また人間にも多くの被害をもたらしてきた。その後、地方の法による規制や、煙や石油からの脱硫などの対策により軽減されてはきたが、現在でも重大な問題となっている。	3	3
B 硫黄酸化物は硫酸(S)や硫酸(H2SO4)として回収され、工業的に利用される。しかし、人間が吸い込むと気管支炎、ぜんそくを引き起こし、肺炎になることもある。そして、そのようなことになった被害では、足尾銅山での煙害や四日市ぜんそくなどがある。その一つの四日市ぜんそくには、煙や硫酸の量を減らすなどの対策をとるなどした。そしてもう一つの足尾銅山では排煙を水で洗って川に流したが、川が大洪水をおこしてしまい大変になってしまった。	2	2
C SOx(硫黄酸化物)は、人間にとって有害で、酸性雨の原因にもなる。硫黄酸化物は、石油、石炭の燃焼や金属精錬により発生する。足尾銅山や別子銅山では、硫黄酸化物対策がとられたが、新たな問題も生まれた。二酸化硫黄が原因で起こった四日市ぜんそくについては、対策として火力発電所で高煙突を使用した。結果的に汚染地域は広がった。現在の火力発電所や金属精錬所では、排煙脱硫や原油脱硫という対策がとられている。	3	3
D 硫黄酸化物は、酸性雨を発生させ、人体への影響が大きく、骨が一つ折れるくらい大きなものだった。足尾銅山など硫黄酸化物が起こす公害を知らずに作業を行っていたため公害が拡大した。後に対策を試みたが公害は悪化した。しかし、現在では、水酸化カルシウムで中和しセッコウで無害化する方法である排煙脱硫や原油から硫黄分を取り除く方法である原油脱硫などが考案され解決に向かっている。	4	4
E 大気中の硫黄酸化物は、人体だけでなく畜産にも影響を及ぼす。精錬によっての被害は大きかった。石油などから硫黄酸化物をとりぞくのは大変だった。	2	2
F 硫黄酸化物によって酸性雨が降り、山林が枯れていった。そして、山に保水能力がなくなり、大洪水を起こした。これが人体になると、のどなどを刺激し、ぜんそくや肺炎になることがある。排煙中の硫黄酸化物は排煙脱硫という方法で取り除く。この利点は、多量の硫黄酸化物を大気中に放散せずにすむ。しかし、完全に取り除くには、蓄積の措置が必要であり、それが問題になっている。	3	3
G 硫黄酸化物の影響で足尾銅山や別子銅山などで SOx や BOx ガスによる被害が増えていった。対策も考え実行したが、その後も問題が出てきた。また、四日市では、石油の燃焼によって出てくる二酸化硫黄が原因で、ぜんそくや気管支炎、肺炎などの呼吸器障害を引き起こした。この問題にも対策はきかなかった。しかし、新たな対策で、排煙脱硫や原油脱硫があった。前者の方は、排煙中の硫黄酸化物を取り除く方法で、後者のほうは原油から硫黄分を取り除く方法である。しかし、両方もあった。	3	4

H	・どれだけのことを知っているかという点にはならないくらいわかりませんでした。 ・どんなものかという点、のど、肺、気管支、見てみると呼吸するにあたっていなくなる場所。 ・原油脱硫 別点と問題点の差はげい、多量の硫黄酸化物を大気中に放散させずにすむという良い点があるが、残ったものを完全に取除くのはすごく難しい問題があるのです。	2	3
I	・硫黄酸化物は、石炭、石油などを燃やすとできるもの。硫黄と酸素が結合したものを硫黄酸化物という。硫黄酸化物により、いくつもの公害が発生された。精錬による被害は山が枯れた。足尾銅山、別子銅山は、それを食い止めようとして、洪水対策や精錬所の場所を農地から離すなどの対策が行われた。しかし、その後の問題が残るばかりだった。四日市ぜんそくでは、人体への被害が大きかった。対策として、脱硫装置により、硫黄分 1.7%以下の重油がつけられた。	4	4
J	・SOx は人体や地球に影響を及ぼす。木を枯らし、洪水をおこしたり、米や麦に被害を及ぼす。硫黄酸化物を除くため、二酸化硫黄の石灰乳(水酸化カルシウム) Ca(OH) ₂ で中和し、CaCO ₃ ・2H ₂ O にして無害化する方法を見つけた。(排煙脱硫)	3	3
K	・足尾銅山の公害では遊水地をつくったのは公害対策ではなく、洪水防止のためで、公害に対する根本的な対策をとらなかった。四日市の公害対策では、国だけでなく、企業も対策をとった。足尾銅山の公害は、解決しないまま閉山したが、別子銅山は、様々な対策をやり最終的には中和工場でたてて解決した。	3	2
L	・硫黄酸化物 SOx は、ぜんそくを引き起こしたり、首をいためたりする。また、植物には酸性雨の原因となり、植物を枯らす。銅山での精錬により SOx の被害があるが、代表的な銅山の被害は、足尾銅山は、洪水対策として、谷中村を強制移転し、遊水地をつくった。別子銅山では精錬所を農地から離すため、瀬戸内海の四国島へ移転した。SOx が原因で、四日市ぜんそくも起こった。現在、精錬所では、原油脱硫という方法が行われているが、大規模な装置が必要となり、経済的にも多くの問題が残っている。	3	3
M	・硫黄酸化物による大気汚染は、地球上のありとあらゆるものに悪影響を及ぼす。SOx による悪影響は、対策によって解決されたが、その後の問題を作った。現在の火力発電所や金属精錬所で行われている対策は、排煙脱硫や原油脱硫である。原油脱硫は、まだ、問題点がある。	3	3
N	・硫黄酸化物の性質や自然界、人体への影響を、以前起こった事件をもとにまとめた。具体的には、足尾銅山や別子銅山、四日市ぜんそくについての問題点、対策、その効果、今後の課題などについて。また、排煙脱硫の方法を学んだ。SO ₂ +Ca(OH) ₂ +H ₂ O+1/2O ₂ →CaSO ₄ ・2H ₂ O 自分としては、どの方法もあまり効果的だとは思えない。SOx を出さないほうが良いと思う。	3	4
O	・硫黄酸化物は、銅酸などを溶かし人体への影響も大変大きい。死傷が出る場合もある。森林はすぐに枯れてしまい、洪水などが起こりやすくなる。水に(川などに)流すと魚などに影響が広がり、人間がその魚を食べるととても危険だ。	2	2
P	・硫黄酸化物は、水には溶けないが、二酸化硫黄には溶ける。人間ののどや肺を刺激して気管支炎などでぜんそくを引き起こすことがある。足尾銅山では、排煙を水で洗って川に流したら、被害が表面化して魚の水がすべて枯れてしまった。別子銅山は、銅山で硫黄酸化物を吸したら SO ₂ ガスが広がり、被害の区域が広がった。	2	2

(4)-1 ワークシート4の学習項目と、記載内容

	①NOxが引き起こす公害についての原因など	②光化学スモッグや酸性雨の原因	③自然で発生するものとの比較	④排煙脱硫法	⑤有効な手段のとり方	⑥銅精錬上の方法	⑦公害の重傷性	⑧目的中の自分の意見	⑨実際に	⑩問題点	⑪汚染物質を止まない有用性	⑫生物の利用	⑬論理の一貫性
A	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	3
B	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	3
C	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	3
D	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	4
E	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2
F	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	4
G	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	4
H	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	2
I	-	-	-	-	-	-	4	-	-	-	-	-	4
J	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	2
K	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	3
L	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	2
M	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	4
N	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	2
O	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	2
P	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	4
	88%	76%	56%	13%	31%	13%		31%	0%	100%	38%	19%	

(4)-2 ワークシート4の生徒の記述と評価

	LHS1-WS4	論旨の 適切性	論理の 一貫性
A	工場や自動車の排気ガスなど人間活動の中から発生する窒素酸化物(NOX)は光化学スモッグの原因となったり、酸性雨となり森林を枯らすなど、自然界だけでなく人体にも悪影響をおよぼす。	2	3
B	日本の首都東京などで、昭和40年代中ごろに窒素酸化物による大気汚染や酸性雨などの被害が出始めた。そして、大都市の幹線道路沿いの住民が主として被害を受けた。この窒素酸化物はのどや鼻を刺激し、気管支炎の原因になるといふ影響を人体にもたらす。その対策として日本は、煙ガスの規制など様々なことをしているが、今もこの問題は残ったままだ。これからの時代は、もっとこういふことについて対策を練って欲しいと思った。	3	3
C	窒素酸化物が増加すると、光化学スモッグの原因物質ともなり、気管支炎の原因にもなる。窒素と酸素は、高温で反応が起こり、一酸化窒素ができ、空気中の酸素と反応し、有害な二酸化窒素になる。二酸化窒素は水に溶けると、強い酸である硝酸HNO ₃ ができる。窒素酸化物は、人間活動の中では、工場のボイラーや自動車のエンジンにより発生し、自然界では、主に土中のバクテリアの活動により発生する。人間活動で発生する窒素酸化物は、自然界よりも少ないが、局地的に高い濃度であるため、環境汚染として問題になっている。	3	3
D	窒素酸化物は硫黄酸化物と同じように酸性雨、光化学スモッグを発生させ、大都市の人々の健康に深刻な影響を与え、大気汚染を拡大させた。しかも、年々、硫黄酸化物とともに窒素酸化物も増えているため、減らす手が必要である。しかし、硫黄酸化物と比べ、窒素酸化物は、具体的な減少策または、再利用策は、少ないため、現実的でなおかつ真用的な解決策が必要である。	3	4
E	便利な生活と共に有害な物質が多く生まれる。 環境問題を解決する対策を考えるのは難しい。	1	2
F	窒素酸化物には一酸化窒素と二酸化窒素の2種類があり、人体への影響は2種類とも同じで、のどや鼻を刺激し、気管支炎の原因や、光化学スモッグの原因になっている。窒素酸化物によって日本では酸性雨が降ったり、森林が枯れるなどの被害があった。今できることは有害物質をリサイクルして、次の資源として活用することが大事だと思う。	3	4
G	環境問題を引き起こしている窒素酸化物は、主に一酸化窒素と二酸化窒素であり、人体ののどや鼻を刺激し、気管支炎を引き起こす。窒素酸化物はおもに、工場、自動車から発生する。窒素酸化物は自然界から発生する量の方が、人間活動で発生するよりも多い。しかし、自動車から出る排気ガスによって自動車光化学スモッグの発生は、スモッグが発生し、酸性雨の原因となっている。	4	4

H	一酸化窒素が増加すると、人間に影響がでるだけでなく、スモッグの発生の原因ともなる。 一酸化窒素の性質は、水に溶けにくく、水上置換で、捕集するしかない……たぶん、二酸化窒素は、炭酸水素があるところで、紫外線にあけると刺激性の物質が生じる。 人間活動では、工場や自動車などから発生する。	2	2
I	一酸化窒素、二酸化窒素はのどや鼻を刺激し、気管支炎を引き起こす。そして、その発生は、主に化石燃料の燃焼による。工場、発電場のボイラーなどの燃焼発生。また、家庭の暖房などからも発生する。土中のバクテリアの活動などにより、発生する。二酸化窒素は水に溶けると硝酸になる。この性質を利用して、硝酸にして、それを肥料、医薬、火薬に使う。そして、現在、車のエンジンから出る発生源を減らすために、対策がとられている。	4	4
J	世界の様々な国で酸性雨に悩まされていることを知った。人間活動では、とくに、自動車、化石燃料の燃焼が多くの窒素酸化物を排出している。	2	2
K	窒素酸化物も、水質や土壌を酸性化する一因。 窒素酸化物には、一酸化窒素、二酸化窒素があり、その性質、人体への影響、また、そのできかた。 光化学スモッグなど窒素酸化物による日本で発生した被害の状況や、人間活動でどのように発生するのか。また、人間活動からの窒素酸化物が自然界で発生するより少ないのに、なぜ環境汚染につながるのか。	3	3
L	窒素酸化物NO _x は、無色で水に溶けにくいNOと有毒で水に溶けやすいNO ₂ である。光化学スモッグの原因物質ともなり、刺激性がある。NO _x の発生源は、人間活動では自動車や工場など大都市や工場周辺で、また、自然界では、土中のバクテリアの活動などにより発生する。NO _x の発生量が少なくても、高濃度に高いところがあれば生物に強い影響を与える。NO _x を少なくするためには、工場をどこかの小さな島だけにとどめればよいと思っただ。	3	2
M	窒素酸化物は主に、一酸化窒素と二酸化窒素の2つに分けられる。どちらも、のどや鼻を刺激し、気管支炎を引き起こす。窒素酸化物は人間活動からよりも自然から出るほうが多い。環境問題が出たら、解決するのではなく出ない方法を考えるべきだ。	3	4
N	窒素酸化物の性質や自然界での発生源、また、人間活動からの発生源、影響被害をまとめた。また、窒素酸化物ができるのは、 3CO ₂ +6HNO ₃ → 3CO ₂ (NO ₃) ₂ +4H ₂ O+2NO, 2NO+O ₂ → 2NO ₂ また、オスリット法では、3NO ₂ +H ₂ O → 2HNO ₃ +NO などの方法でできてしまう。	3	2
O	窒素酸化物は酸に反応して、人間の体に害を加えるし、人工的に作られるものじゃなくて自然にうまれるものもあるが、人工的に作られるものは、車や工場など人が集まる場所によく起こることがわかった。	2	2
P	ジドウシャやナカから出るガスが集中して窒素酸化物が生まれる。だから、ガスが出ない自動車を作ったほうがよいと思う。のどや鼻を刺激し、気管支炎等を起こす原因だから。	3	4

3 大気汚染対策教材の学習履歴シートを用いた評価(2) —ワークシートでの回答と要約での記述—

○宮内卓也^A、後藤順一^B、堀 哲夫^C、松原静郎^D
MIYAUCHI Takuya^A、GOTO Kenichi^B、HORI Tetsuo^C、MATSUBARA Shizuo^D
東京学芸大学附属世田谷中学校^A、埼玉県立浦和高等学校^B
山梨大学教育人間科学部^C、国立教育政策研究所^D

【キーワード】グリーンケミストリー、中・高等学校、化学教育、環境教育、評価

1. はじめに

われわれは大気汚染に関する教材を開発実践し、そのワークシート(以下、WS)の回答や1枚ポートフォリオ法による学習履歴シート(以下、履歴S)の記述から、生徒の科学技術に対する意識が変容していることがわかった¹⁾。そこで、本研究では履歴Sを使い、ルーブリック評価法を用いて、生徒の学習へのフィードバック、教材や指導法の改善に生かす方法を検討している。本発表ではWSの回答の履歴Sの記述への影響を調べ、履歴Sにおける要約を使って評価することの妥当性や教材・指導法の改善点について検討した。

2. 調査の方法

公立A高等学校2年生22名(総合学習)、および国立附属E中学校3年生9名(選択教科)を対象として実践を行い、WS1、2における回答および履歴Sの要約1、2の記述の分析を行った。生徒はまずWS1に回答し、次に履歴Sの要約1を記述し、WS2の回答、履歴Sの要約2の記述を行った。また、A高等学校では履歴Sの要約の指示を「学習して大切だと思ったことを要約してください」としたが、E中学校では「学習した内容を要約してください」とした。

3. 結果と考察

(1) WSと履歴Sの要約との関係

WSにおける回答の記述に難点がある生徒は、履歴Sの要約の記述にも具体性が乏しく、抽象的な記述、知識の羅列的な記述が見られた。特に中学生にその例が多かった。

(2) 要約の抽象化

WSにおける回答の記述に比べ、履歴Sの要約の記述はやや抽象的になる傾向があり、生徒自身が理解している内容を適切に記述できていない可能性がある。例えば、履歴Sの要約1の「工場に必要な炭酸ナトリウムの生

産方法が発明されたが問題点もあった。さまざまな対策が考えられ、最終的に完全に解決できるようになった」という記述の場合、どのような問題点があり、何が解決されたのかを要約から判断することは難しく、評価も厳しくなる。しかし、同じ生徒のWS2のまとめの回答からは拡散の問題点と副生物利用の有効性についての理解を見取ることができた。WSでの学習を適切に要約の記述に反映させるためには、具体的な事実や理由を伴った記述を書くような指示や指導が必要と考えられる。

(3) 感想や主張の記述(要約以外の記述)

WSの回答は出来ていながら、要約が記述できない生徒の多くは、自分の感想や主張を書く傾向があった。例えば、履歴Sの要約1の記述「塩化水素は人間界に益と同時に害ももたらす。いわば諸刃の剣である」、「環境への影響をよく調べてから使用しないと人体に害を及ぼしてしまうということ」(いずれもA高校)はその例である。履歴Sの様式を変えたことや内容の要約である点を強調する指導方法に変えたことでかなり解消されたが、評価資料として活用するにあたっては、「要約とは何か」という点についての適切な指導がさらに必要と考えられる。

(4) 記述の視点

WS2のまとめおよび履歴Sの要約1、2で、「副生物利用の有効性」について記述した生徒が31名中29名だったのに対し、「汚染物質を出さないこと」について記述した生徒は15名であった。汚染物質を出さないという視点は重要であり、WS3以降で生徒がどのように変容するのか、さらに検討していきたい。

1) 松原静郎他『グリーンケミストリー教材の開発とそれを使っての意思決定能力育成に関する調査研究中間報告書』科研費中間報告書(課題番号14380066)(2004)

3-1 日本理科教育学会全国大会（筑波）発表報告

1. テーマ 大気汚染対策教材の学習履歴シートを用いた評価（2）

－ワークシートでの回答と要約での記述－

2. 会場 筑波大学

3. 発表者 宮内卓也

4. 発表内容

大気汚染対策教材の
学習履歴シートを用いた評価(2)
～ワークシートでの回答と要約での記述～

○宮内卓也、後藤順一、黒 哲夫、松原幹郎

私たちは大気汚染に関する教材を開発実践し、そのワークシートの回答や1枚ポートフォリオ法による学習履歴シートの記述から、生徒の科学技術に対する意識が変容していることがわかった。そこで、ルーブリック評価法を用いて、学習履歴シートの要約の記述を評価し、生徒の学習へフィードバックするとともに、教材や指導法の改善に生かす方法を検討している。

研究のねらい
ワークシート → 学習履歴シート
記述内容とその影響を調査

検討

- ・学習履歴シートの要約を使用した評価の妥当性
- ・教材、指導法の改善点

本研究では、本発表ではワークシートで回答した内容がどのように学習履歴シートの記述へ影響しているのかということについて調べ、学習履歴シートを用いて評価することの妥当性と教材・指導法の改善点について検討した。

調査の方法

対象
公立A高校2年生22名(総合的な学習の時間)
国立附属E中学校9名(選択教科)

- ◆ワークシート1の回答
- ◆学習履歴シートの要約1を記述
- ◆ワークシート2の回答
- ◆学習履歴シートの要約2を記述

総合的な学習の時間の実践として行った公立A高校2年生22名および、選択教科の実践として行った国立附属E中学校9名を調査対象とした。生徒はまず、ワークシート1の回答を行い、次に学習履歴シートの要約1を記述します。同様に、ワークシート2の回答を行い、学習履歴シートの要約2を記述した。ワークシートは1から4までであるが、今回の調査では、ワークシート1、2を調査対象とした。

調査の方法(つづき)

要約の指示

- ◆公立A高校
「学習して大切だと思ったことを要約しなさい。」
- ◆国立附属E中学校9名
「学習した内容を要約してください。」

学習履歴シートに記述されている指示を公立A高校では「学習して大切だと思ったことを要約しなさい。」としたが、国立附属E中学校では「学習した内容を要約してください。」とした。

結果と考察：ワークシートの回答と
学習履歴シートの要約の記述

- ・ワークシートの回答に重点がある→要約の記述が抽象的、羅列的
- ・ワークシートの回答に比べ、学習履歴シートの要約の記述が抽象化する
- ・学習履歴シートの要約に感想や主張を伴った記述
- ・「副生物の利用」という視点が多く、「有害物を出さない」という視点での記述が少ない。

ワークシートの回答の内容と学習履歴シートに要約に記述された内容を分析したところ、以下の4点のことが明らかになった。1点目は、ワークシートの回答に難点がある生徒は、要約の記述においても内容が抽象的だったり羅列的だったりする傾向がある点、2点目はワークシートの回答に比べると、学習履歴シートの要約の記述の方が記述の内容が抽象的、羅列的になる傾向がある点、3点目は、学習履歴シートの要約の記述に、本来の要約以外に感想や主張を伴った記述がみられるという点、4点目は、副生物を利用するという視点での記述は目立つが、有害物質そのものを出さないという視点での記述が少ないという傾向がある点である。これらの点について、具体的に説明する。

結果と考察(1)

ワークシートの回答に難点がある
→要約の記述が抽象的、羅列的

事例

ワークシート1・2:記述が不十分な点が多い
要約1: 炭酸ナトリウム工業廃液によって大気汚染を発生させた。1789年フランスのルブランは炭酸ナトリウムの大規模な工業的な製造(ルブラン法)に成功した。炭酸ナトリウムの生産は19世紀に入り急速に拡大したが、同時に塩化水素(HCl)が副生物として出てくる。
ワークシート2のまとめ:未記入
要約2: 食塩水にアンモニアと二酸化炭素を吸収させると炭酸水素ナトリウムを析出させる事から炭酸ナトリウムを得ることができる。19世紀には塩化水素が電気分解によって安く製造されるようになった。

まず、ワークシートの回答に難点がある生徒は要約の記述が抽象的、羅列的になる傾向があるという点について。

これは、国立附属E中学校の生徒の記述例である。ワークシート1、2における回答の内容に不十分な点が多かった生徒だが、要約の記述においても具体的な事柄は記述されているが、拡散希釈が有効でないことや、副生物を利用することの有効性、汚染物質そのものを出不さない方法の有効性などについて、大切な点についてとらえることができていない。

次に、ワークシートの回答に比べて、学習履歴シートの要約の記述が抽象化する傾向があるという点について。

結果と考察(2)

ワークシートの回答に比べ、学習履歴シートの要約の記述が抽象化する

事例

ワークシート1・2:記述が十分である
要約1: 工業に必要で炭酸ナトリウムの生産方法が發明されたが課題もあつた。さまざまな対策が考えられ、最終的に完全に解決できるようになった。
ワークシート2のまとめ: 汚染物質の発生をどうやって処理するか、その処理に汚染物質のHClガスがあつた。それが、自然環境の影響を減らせた。大気中に拡散させる対策というのにも影響はあるわけだから、解決はできない。
要約2: 新たな生産方法が發明され、それは昔の方法よりも優れたものだった。しかし、それぞれの特色があり、利用できたので二つの方法が使分けられた。

これは、附属E中学校の記述例である。ワークシート1、2の記述については十分にできている生徒である。要約1では、大気汚染について、問題点があつたがさまざまな対策で解決できるようになった点について記述しているが、具体的にどのような問題があり、どのように解決したのかという点については記述されていない。しかし、ワークシート2のまとめの回答では具体的な記述が見られることから、ワークシートで学習した事柄が学習履歴シートの要約に反映されてないことも考えられる。

次に、学習履歴シートの要約に感想や主張を伴った記述が多くみられるという点について。

結果と考察(3)

学習履歴シートの要約に感想や主張を伴った記述

事例

ワークシート1・2:記述が十分である
要約1: 塩化水素は人間界に益と同時に害ももたらす。いわば諸刃の剣である。
ワークシート2のまとめ: 有害な物質を人間の利用しやすい形に戻してあげることで、利便性の向上と環境の維持を同時に実現した。汚染物の排出を減らした。
要約2: 19世紀なかばにアンモニア法ができた。ルブラン法に代わってNa₂CO₃の生産の生産となった。前者の生産法と比べると、その過程で発生する副生物を上手に利用しているということである。前者の法が生産効率が低く、汚染物質を出すこともないで環境保全に貢献した。

これは公立A高校の生徒の記述である。ワークシート1、2の記述が十分にできていた生徒である。要約1では「塩化水素は人間界に益と同時に害ももたらす。いわば諸刃の剣である。」という記述がされており、学習した内容の要約ではなく、感想や主張にあたる内容だ。しかし、ワークシート2のまとめの回答をみると、副生物の利用の重要性について具体的にふれられているのがわかる。要約2の記述にあたっては、指導者の指導があり、要約にふさわしい記述に変化している。

結果と考察(4)

「副生物の利用」という視点が多く、「有害物を出さない」という視点での記述が少ない。

観測	WS1要約	WS2まとめ	WS2要約
観測1	12	4	19
観測2	7	8	2
観測3	18	22	15
観測4	1	7	11

観測1: 観測1~4の要約
 観測2: 副生物の利用
 観測3: 副生物の利用
 観測4: 有害物を出さないという視点での記述

最後に、副生物の利用という視点多いが、有害物を出さないという視点での記述が少ないという点について。

この表は、拡散希釈の問題点、副生物利用の有効性、汚染物質そのものを出さない方法の有効性という3つの観点についての記述があるかないかという点について、学習履歴シートのワークシート1の要約の記述、ワークシート2のまとめの回答、学習履歴シートのワークシート2の要約の記述について調べたものである。副生物利用の有効性については多くの生徒がふれている一方で、汚染物質を出さない方法の有効性についてふれている生徒は少ない傾向がある。

今後の課題

- ・ワークシート記述における生徒の支援と教材の改善
- ・具体的な事実や理由を伴った記述の指示と指導
- ・要約とは何であるかという理解をはかる指示と指導
- ・「汚染物質を出さない」という視点に関する記述の分析と指導の改善

学習履歴シートの要約の記述を評価として用いるにあたっては、次のような課題があると考えられる。1点目は、ワークシートの回答でつまづいている生徒は学習履歴シートの要約の記述にも難点が見られるため、ワークシートの回答にあたって、そのような生徒にどんな支援が必要なのか、教材に改善点がないのか、という点について検討が必要であるという点だ。2点目は、学習履歴シートの要約を記述するにあたっては、具体的な事実や理由とともに要約を記述するような指示や指導が必要であるという点だ。3点目は、要約とは何であるかという理解をはかるための指示や指導が必要であるという点だ。4点目だが、汚染物質そのものを出さないという視点に関する記述がワークシート1, 2の段階では少ないという点です。ワークシート3, 4および学習履歴シートのワークシート3, 4の要約で生徒がどのような観点で記述しているかという点についての分析をすすめるとともに、どのような指導の改善をはかることができるか、検討していきたい。

5. 質疑応答

Q1: 生徒の思いを書くことはできるのか。

A1: 学習履歴シートの下には学習を振り返って、学習しての感想の欄があるので、書くことができる。多様な記述が見られる。

Q2: 中学生と高校生でちがいがあるか。

A2: 別の機会にある学級で実践を行ったが、一部に化学反応式など苦手意識が強い生徒がいた。一般の中学生に広げるには、中学生向けの改訂が必要だ。選択教科で興味関心の高い生徒を対象に行うのならば可能である。

3-2 大気汚染対策教材の学習履歴シートを用いた指導と評価 —学習履歴シートの要約の記述を中心に—

宮内 卓也

1. はじめに

これまでに大気汚染に関する教材を開発実践し、そのワークシート（以下、WS）の回答や1枚ポートフォリオ法による学習履歴シート（以下、履歴S）の記述から、生徒の科学技術に対する意識が変容していることがわかった¹⁾。そこで、本研究では履歴Sを使い、ルーブリック評価法を用いて、生徒の学習へのフィードバック、教材や指導法の改善に生かす方法を検討している。まず、公立A高校、国立E中学校の実践について、履歴SにおけるWS 1、2の要約の記述を調べ、履歴Sを使って評価することの妥当性や教材・指導法の改善点について検討したところ、以下の4点が明らかになった²⁾。

- (1) ワークシートの回答に難点があるものは、要約が抽象的、羅列的になる傾向がみられる。
- (2) ワークシートの回答に比べ、学習履歴シートの要約の記述が抽象化する。
- (3) 学習履歴シートの要約に感想や主張を伴った記述が多くみられる。
- (4) 「副生物の利用」という視点が多く、「有害物を出さない」という視点での記述が少ない。

本研究では、さらに履歴SにおけるWS 3、4の要約の記述についての調査と新たに実践を行った公立C高校の調査を追加し、履歴Sを使って評価することの妥当性や教材・指導法の改善点について、さらに検討を加えた。

2. 調査の方法

(1) 公立A高等学校2年生22名 総合学習として実施

WS 1、2における回答および履歴Sの要約1～4の記述の分析を行った。生徒はまずWS 1に回答し、次に履歴Sの要約1を記述した。以下、WS 2～4についても同様の順番で記述した。また、履歴Sの要約の指示を「学習して大切だと思ったことを要約してください」とした。

(2) 国立E中学校3年生9名 選択教科として実施

WSと履歴Sの要約の進める順番は公立A高等学校と同様だが、履歴Sの要約の指示を「学習した内容を要約してください」とした。

(3) 公立C高等学校

WSと履歴Sの要約の進める順番は公立A高等学校と同様であり、履歴Sの要約の指示は国立E中学校と同様に「学習した内容を要約してください」とした。公立A高等学校および国立E中学校では、生徒が一人で読み、一人で考えながら学習を進めたが、公立C高

等学校では、ワークシート1では、まず何をしたらいいのかわからず、固まっている生徒が数名いたため、何にとまどっているのかを聞き出しながら発問をした。学習履歴シートの記述では、小さな字でワークシートのすべてを書き込もうとして、欄が足りなくなる生徒、資料やワークシートのキーワード・歴史事実を箇条書きで羅列する生徒、まったく書けない生徒が見られた。そこで、机間指導をしながら質問をして、このワークシートで何を学んだのかということについて「ふりかえり」をさせた。

3. 調査の結果と考察

「学習履歴シートにおけるワークシート1～4の要約」、および「ワークシート1, 2まどめの記述」を対象に、以下の観点①～③について、どれぐらいの生徒が記述しているかを調べたところ、表1のようになった(具体的な記述内容の詳細については資料参照)。

表1 学習履歴シートの要約およびワークシート1, 2のまどめの記述の観点と人数〔人〕

(上段: 合計n=47 下段: A高校n=22, E中学校n=9, C高校n=16)

類型	要約(WS1)	要約(WS2)	WS1,2まどめ	要約(WS3)	要約(WS4)
①	3	1	0	5	0
	2, 0, 1	0, 0, 1	0, 0, 0	4, 1, 0	0, 0, 0
②	16	21	9	6	5
	7, 5, 1	10, 3, 8	4, 3, 2	2, 1, 3	3, 0, 2
③		5	9	7	3
		4, 0, 1	3, 2, 4	2, 0, 5	3, 0, 0
①②	11	9	3	2	1
	4, 1, 6	4, 4, 1	2, 0, 1	1, 0, 1	0, 0, 1
②③		4	13	4	0
		2, 0, 2	5, 1, 7	3, 0, 1	0, 0, 0
①②③		2	0	3	0
		1, 0, 1	0, 0, 0	1, 0, 2	0, 0, 0
①③		1	0	0	0
		0, 0, 1	0, 0, 0	0, 0, 0	0, 0, 0
他	20	5	14	19	38
	9, 3, 8	2, 2, 1	9, 3, 2	9, 6, 4	16, 9, 13

注: 観点①…拡散希釈の問題点についてふれている記述

観点②…副生物の利用の有効性についてふれている記述

観点③…汚染物質を出さない方法の有効性についてふれている記述

表1と生徒の記述内容(資料参照)から、以下の4点についてとりあげた。

(1) 学習履歴シートの要約に感想や主張を伴った記述が多くみられる点について

公立A高校ではワークシートの指示が他の2校と異なっていたため、特にワークシート1において、感想や主張を伴った記述が多いが、公立A高校ではワークシート1が終了した後、要約に関する助言をしており、ワークシート2以降は要約が書けるようになってきている。公立C高校では、ワークシートをすすめながら、随時、机間指導を行っており、学習履歴シートにおいては、学習したことの要約の記述が多かった。

(2) ワークシートの回答に比べ、学習履歴シートの要約の記述が抽象化する点

公立A高校および国立E中学校では、ワークシートの回答に比べて学習履歴シートの要約の記述が抽象化する傾向があったが、公立C高校では、ワークシートをすすめながら、机間指導で重要な観点についての助言を行っており、学習履歴シートにおいては、重要な観点が盛り込まれた記述が目立った。

(3) 「副生物の利用」に比べ、「有害物を出さない」という視点での記述が少ない点

公立A高校および国立E中学校では、学習履歴シートの要約の記述において、「副生物の利用の有効性」については比較的よく記述されているが、「有害物そのものを出さないことの有効性」についてはあまり記述されていない傾向がある。一方、公立C高校では「有害物そのものを出さないことの有効性」についても比較的よく記述されている。これは、公立C高校がワークシートをすすめながら助言を受けていることが影響していると考えられる。

(4) ワークシート4の要約には感想や主張などを盛り込んだ記述が目立つ点

ワークシート4については、それまでの要約と異なり、窒素酸化物による害に関するまとめや感想や主張を伴った記述が目立った。

学習履歴シートの要約において、生徒の中には感想や自分の主張を記述する生徒が多いが、要約についてのワークシートの指示を改善したり、指導者が具体的な指導を行うことによって、改善することがわかった。また、ワークシートでは具体的な記述ができながら、学習履歴シートの要約では内容が抽象化する傾向が見られるが、指導者が机間指導を行い、適宜、助言をすることで改善することがわかった。

ただし、机間指導をていねいに行った公立C高校では記述量が多く、大切な点をつかみ、コンパクトにまとめるという点で課題が残るものがある。これに対しては、学習履歴シートの記述欄に罫線を引くなどの対応をしており、限られたスペースに重要な事柄を盛り込んで要約する力も重視したい。

公立A高校、国立E中学校の要約では「副生物の利用の有効性」という視点での記述ができる一方で「有害物そのものを出さないことの有効性」という視点での記述が少なかったが、ワークシートをはじめにあたってグリーンケミストリーの視点を与え、ワークシートの進行に合わせて、指導者がワークシートのポイントについて、具体的な助言をおこなった公立C高校では、「有害物そのものを出さないことの有効性」という視点での記述が比較的多かった。

公立A高校、国立E中学校、公立C高校に共通する点は、ワークシート4の要約の記述が窒素酸化物の害、感想や自分の主張を伴った記述が目立つことである。これは、ワークシート4の内容が未解決の課題をあえて扱い、その解決策について生徒自身に考えさせることをねらっていることが影響しているものと考えられる。

指導の進め方については、公立A高等学校および国立E中学校は、ワークシートを一人で読み、一人で考えることを重視して進めたが、公立C高等学校では机間指導をていねいに行いながら、学習のポイントを示したり、学習した内容のふりかえりをさせながら学習を進めた。学習履歴シートの要約の記述を評価として使用していく場合、教材をはじめるにあたり、生徒の実態に応じて教員がある程度『これを学ばせたい』という意図を持って誘導してやる必要がある。

4. まとめと今後の課題

ワークシートや学習履歴シートの指示、指導者の指示や指導の内容とタイミングによって、学習履歴シートの要約の記述に変化があることが明らかになった。特に学習履歴シートの要約を評価するという点においては、机間支援などをていねいに行いながら学習のポイントを示したり、学習した内容のふりかえりをさせるなど、生徒の実態に応じて教員がある程度『これを学ばせたい』という意図を持って誘導することは効果的である。ただし、記述が長くなる傾向があり、はたして、要点をつかみ、本来の要約の記述になっているかどうかを見取れるかという点では課題が残る。学習履歴シートの要約欄に罫線を入れて、ある程度の字数を制限するなど、要点をコンパクトまとめさせる方策を検討する必要がある。

学習履歴シートの要約を用いて評価を行うにあたっては、学習の成果として生徒にフィードバックしていくことは意義のあることだが、それと同時に、教材や指導の評価として生かし、教材や指導の改善を絶えず行っていくこともまた重要である。生徒の実態をふまえ、教材と指導と評価を一体として検討する必要がある。

【参考文献】

- 1) 松原静郎他『グリーンケミストリー教材の開発とそれを使っての意思決定能力育成に関する調査研究 中間報告書』科研費中間報告書(課題 番号 14380066) (2004)
- 2) 宮内卓也、後藤順一、堀哲夫、松原静郎『大気汚染対策教材の学習履歴シートを用いた評価 (2) - ワークシートでの回答と要約での記述 -』第52回日本理科教育学会全国大会論文集(2004)

学習履歴シートの要約およびワークシート1, 2まとめの記述の類型

A高校

類型	ワークシート1の要約(学習履歴シート)	ワークシート1, 2まとめ(ワークシート)	ワークシート2の要約(学習履歴シート)	ワークシート3の要約(学習履歴シート)	ワークシート4の要約(学習履歴シート)
①	8, 12,			1, 4, 7, 11,	
②	6, 7, 15, 18, 19, 20, 22,	1, 2, 3, 7, 8, 9, 10, 16, 19, 20,	3, 5, 17, 19,	1, 19,	1, 17, 19,
③		6, 12, 14, 22,	4, 6, 16	12, 21,	4, 11, 14
①②	10, 13, 19, 21	5, 15, 17, 18,	8, 20,	9,	
②③		4, 11,	1, 11, 12, 13, 20	3, 15, 20,	
①②③		13,		13,	
他	1, 2, 3, 4, 9, 11, 14, 17, 18,	21, 20	2, 7, 9, 10, 14, 15, 18, 21, 22	5, 6, 8, 10, 14, 15, 17, 18, 22	2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 15, 16, 18, 20, 21, 22

E中学校

類型	ワークシート1の要約(学習履歴シート)	ワークシート1, 2まとめ(ワークシート)	ワークシート2の要約(学習履歴シート)	ワークシート3の要約(学習履歴シート)	ワークシート4の要約(学習履歴シート)
①				3,	
②	1, 3, 4, 8, 9	1, 3, 9	2, 3, 8	1,	
③			1, 9		
①②	6,	2, 4, 5, 8			
②③			6,	9,	
①②③					
①③					
他	2, 5, 7	6, 7	4, 6, 7	2, 4, 5, 6, 7,	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9,

学習履歴シートの要約およびワークシート1, 2まとめの記述の類型

C高校

類型	ワークシート1の要約(学習履歴シート)	ワークシート1, 2まとめ(ワークシート)	ワークシート2の要約(学習履歴シート)	ワークシート3の要約(学習履歴シート)	ワークシート4の要約(学習履歴シート)
①	16,	1			
②	2,	2, 5, 6, 7, 10, 12, 14, 1	6, 16,	1, 6, 10,	6, 9,
③		13,	1, 2, 5, 11,	5, 8, 9, 12, 14,	
①②	3, 4, 7, 9, 10, 15,	8,	7,	2,	4,
②③		3, 11,	3, 4, 9, 10, 12, 13, 14,	7,	
①②③		4,		3, 4	
①③		15,			
他	1, 5, 6, 8, 11, 12, 13, 14,	8,	8, 15,	11, 13, 15,	1, 2, 3, 5, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16,

- ①…拡散希釈の問題点についてふれている記述
 ②…副生物の利用の有効性についてふれている記述
 ③…汚染物質を出さない方法の有効性にふれている記述
 他…①～③の観点以外の記述

ワークシートと学習履歴シートの記述

学校	No.	要約1(学習履歴シート)	まとめ(ワークシート2)	要約2(学習履歴シート)	要約3	要約4
A高	1	塩化水素は人間界に益と同時に害もたらす。いわば両刃の剣である。	有害な物質を人間の利用しやすい形に変えて用いることによって、利便性の追求と環境の維持を同時に実現した。汚染物の排出を見直した	19世紀ながらアンモニアソーダ法ができて、ルブラン法に代わってNa ₂ CO ₃ 生産の主流となった。両者の共通点としていえることはその過程で生じる副産物を上手に利用していることである。前者の方が生産効率がよく、汚染物質を出すこともないので、環境保全に役立つ。	硫酸塩化物は我々の人体、生物などに悪影響を及ぼす窒素や原油に含まれる硫黄分をとり除くために、製鉄設備や原油脱硫などがなされ、セッコウCaSO ₄ ・2H ₂ Oなど無害な物質をとりだしている。これはHClのとときと同じ。	硫酸塩化物は光化学スモッグを発生させるなど、人体に及ぼす影響が大きい。NO ₂ の色は赤かったり臭臭を放つ。HNO ₃ の利用法を考えれば、大気汚染の問題も解決されるのではないが。
A高	2	工場への影響をよく調べてから使用しないと人体に害を及ぼしてしまうということ。	Na ₂ CO ₃ を調製するために化学反応の方法を変え、副産物が環境に悪影響を及ぼさないように工夫した。	同じものを作り出すために工場や人体に悪影響を及ぼす方法とそうでない方法など何通りかの方法があるので作る前によく考えるべきだと思う。	工場の移転をしただけでは根本的な解決にならない。	化学反応の過程で工夫することが必要。
A高	3	19世紀頃HClの大気汚染が問題となっていた。そのHClは漂白などに伴う硫酸ナトリウムの発生過程で発生。(ルブラン法)現在はほぼ解決されている。	汚染物質となる副産物を新たに資源として利用し汚染はほぼなくなった。	硫酸ナトリウムの生産の際、少しでも公害を減らせるような方法を使用するようになっていった。副産物も無駄にせず、新たな原料として利用。	硫酸塩化物が酸性雨の原因。石灰、石油の使用の際、金属精錬の際に硫酸塩化物が発生。硫酸塩化物や原油脱硫によって硫酸塩化物を取り除ける。	二酸化窒素は有害で雨にだけ酸性雨になる。土中のバクテリアやイナズマのほう人間よりNO _x を出している。硫酸塩化物が光化学反応を起こして生成するオキシダントが酸性雨の原因となる。
A高	4	工場の発展はよいことだと思う。しかし、そのデメリットやそれによる問題の発生を予想した対策を立てずに工業を発展させるのは悪かだと思う。化学で発生したものを化学で解決したのはいかに化学が発立つか、すごい技術であるかの証明になると思う。漂白剤やセッケンなどの生活用品の原料製造過程で公害が発生しているというよりはやはり環境汚染は自分の生活に密着した問題であるということを考えなければいけないと思う。	ルブラン法の製造 ルブラン法-HCl, CaSなどの有害物が発生。→大気汚染。→H ₂ S, SO ₂ が発生→Sの回収法を第一解決 →HClは原料都市、さらし粉を製造→HClによる環境汚染の解決。 アンモニアソーダ法・有害物質の発生がない ルブラン法は公害問題を起こしそれを自分たちで解決した。アンモニアソーダ法は初めから公害問題を起こさなかった。注:図式化して説明している	アンモニアソーダ法ははじめから公害問題を起こさないように工夫されたすばらしい方法である。起こした問題を解決するよりもあらかじめ環境に配慮した方がよいと思う。人間の公害問題に関する考え方の進歩は確かにあると思った。	SO ₂ という物質を燃やすだけで発生する気体がかんにもやっかいで危険なものとは思わなかった。間違った対策をとるとかえって被害地帯が広がってしまったら、対策をねるのもとても重要だと思った。	NO ₂ なんて見るからに危険なものには必要以上に発生させるべきではないと思う。HClやSO ₂ のととき違って解決策がかけられていなかったのも、もし見つかったらいいのならはやく見つけて欲しいと思う。
A高	5	便利なものを作り出す過程で有害なものが出てきてしまうのはしょうがないかもしれないけど大切なことはその有害なものをいかにして無害なものに変えるかということだと思うし、有害なものが出ないようにすることが一番だと思う。	ルブラン法の公害問題を解決しようとして試みた対策の中で、HClに換したり、遠くへ飛ばしてしまおうとしたものは結局失敗している。しかし、回収してもう一度使うという対策によって問題は解決された。	ワークシート1, 2を通じて公害問題の解決のためにはもう一度使うというリサイクルが大事なんだなあと思った。	対策を行うのはいいのだけれど、その後の問題を考えなければならぬ。	硫酸塩化物の対策を考えるのはとても大変だった。自然界からでも出ているものの対策には大変だろうけど、とにかくいろいろなことを考えるのが大切だと思った
A高	6	硫酸ナトリウムを得ることで人間に益かさを与えたがその発生過程でHCl等の有害物質を放出し、さまざまな環境汚染や人体への影響を及ぼした。上手に利用していくことが大切だとわかった。	アンモニアソーダ法の導入によって、今までルブラン法で発生していた有害副産物の発生をおさえることができ、その結果、大気汚染を防ぐ方向へと向かった。	アンモニアソーダ法の導入で有効な副産物を獲得し、有害な副産物を発生させないことに成功。その結果、Cl ₂ による大気汚染の拡大を抑えることにつながった。技術は簡単でかつ無害なものが一番良いと感じられた。	硫酸塩化物は工業の発展の副産物として人体や環境に大きな影響を与えている。硫酸塩化物の発生を抑えるためにも硫黄の少ない燃料を用いるべきである、と思う。	硫酸塩化物、特にNO ₂ は危険であることが分かった。また塩化水素や硫酸塩化物とは違って解決策がないことがとても恐ろしい。しかし、かなり日常生活に密着しているもので無視することはできないし、早急に対策を考えなくてはならないと思った。
A高	7	新しい方法を発見してもその方法がどのようにすれば害のないようにできるかを考えなければならぬと思った。また加工次第で危険な物質も安全になることがわかった。少し不思議な気分になった。	対策の工夫として、有用なもので無害なものへの化学変化を促させるという方法で行われたため受け入れやすかったのだと思う。副産物が原料として使うことができるものというのも良かったのだと思う。簡単な反応で無害なものをつくり出す方法は効率も良かったと思う。	過去に悪いことがわかったならその悪い部分を除く技術で次に戻さなければならぬと思った。化学反応も起こし方によっては有害なものも無害なものも出てしまったり、工夫をかさねれば突破できることも多いと思った。	原因を消さずただ取り除くだけでは意味がないと思った。	無所約な有害物質を発生させるのは危険だということが分かった。NO ₂ はすごい気体だということを知った。
A高	8	ルブラン法のような便利な方法の裏には強毒のような有害な物質を発生させるという大きな落とし穴がある。塩素が大気中に放出することによって人体に深刻な影響を及ぼす。ルブランは身毒なものでソーダ粉を製造した。	発生するHClは有害であったが、それを回収し、利用価値の高い漂白剤やさらし粉にかえる作業は、多くの設備が必要で大変なものだが、それにより水道水の消毒や漂白が行われたこと。副産物を有害なまま捨てず、コストをかけても有用なものに加工させ、役立つことは素晴らしいと思う。	便利な方法であったルブラン法の賢さは大きかったがその賢さを打開したのがアンモニアソーダ法である。アンモニアソーダ法は副産物をそのまま有効利用することができたし、発生したアンモニアやCO ₂ はそのまま用いることのできる効率のよいものであった。低コストで効率の良いアンモニアソーダ法の出現でルブラン法は次第に消滅していった。	足尾銅山と別子銅山の事件、それから四日市ぜんそくの発生は未知な人間の過ちである。有害物質の発生はゆゆしき問題であって、これを無視してはいけない。原油脱硫は素晴らしいが、それでもまだ実害とはいえず、少なからず問題点が残っているものであれば、自然破壊と向き合って、さらにより良い方法を見出していくべきである。	硫酸塩化物は赤褐色で有害な物質である。硫酸塩化物の発生によって苦しむ人々や環境されていく自然に対して、深刻な問題ととらえて、たゆまず解決策を見出してゆく努力をするべきである。人の手が加えられることで、発生した有害物質は未知でない。
A高	9	人間の作り出した問題を自然任せに解決するのではなく人間自身の手で再利用率を高め、なるべく無駄の少ないようにしないといけないということ。	アンモニアソーダ法では原料のアンモニアが安く供給され、またアンモニアや二酸化窒素を回収し再び原料として使用するために生産効率がよく、量を安く抑えることができる。このように原料を再利用率を高めるものには、資金と利益のあるサイクルを確立することによって環境にも効果がある。	原料を再利用率を高めるものには、副産物を無駄にしないようにしっかりとサイクルを作ることによっていいものを安くして環境に優しくできる。	原因物質をなくす方向ではなく、人から遠ざければ安全という安易な考えによって最終に被害が拡大したように思う。「くさいものにふた」ではなく、原因を究明し、有害なものを無害なものへかえる努力が必要だと思う。	環境問題に原因となる物質は人工的な副産物だけではなく、自然界からも発生している。

ワークシートと学習履歴シートの記述

学校	№	要約1(学習履歴シート)	まとめ(ワークシート2)	要約2(学習履歴シート)	要約3	要約4
A高	10	ルブランのソーダ灰製造法は人々により生活をもたらしながら一方大気汚染を引き起こした。またゴッセージによって河川まで汚染されたがさらし粉によって解決された。生活水準の向上ばかり重んじないでリスクを考へることも大切。	ルブラン法では、ゴッセージが回収した塩酸を原料としてさらし粉を造り、イギリス人のチェンヌが塩酸の回収法を発明し、大気中のHClを減らす公害対策はほぼ完成した。	アンモニアソーダ法は公害もなしに利益が多かったように見えるが価格は高くてルブラン法の需要もあって経済的にも採算が成り立っていた。つまり公害対策の万全なルブラン法が優勢だった。	硫黄酸化物が人や軍に与える被害は大きく、多くの問題をもたらした。また、主部とはいかないが、大部分は解決できた。	実際に、ゴトウ先生が出した案を見て、やばいと思った。文系関係にかかわらず、大切な問題である。
A高	11	塩酸はイオンの実験とかで使ったことのある身近なものだが過去には公害の元になってしまったのかと驚いた。産業革命が成り立った直後からやはり公害はつきものだったのだなと知った。	方法はそのまま、公害を起こす副産物を利用できるものにする対策で公害がほぼなくなった。だが、さらに公害を起こす副産物がまったく生まれない方法がうまれた(アンモニアソーダ法)。	現在我々の生活を支えるものを作る過程で副産物として出る公害物質を価値なものにして処理しているものが多いと思うが、「目的物のみ」と公害のもとになるような物質を全く副産しない方法」を過去に考へ出したのだから現在のものでそういうことを理想に開発研究してほしいと思う。	足尾銅山の公害というのは聞いたことがあるが、原因がSOxだったとは知らなかった。HClの被害のときと同様、問題が起きたとき最初にとられた対策はやはり高濃度にしただけで、根本からの解決ではなく、さらに被害の拡大をまねいて、歴史はくり返すというが本当だなと思った。これから科学の進歩と共に新たな公害物質ができれば、最初から根本の解決になる対策をすべきだと思う。	SOx以上にNOxが危険なものだと興味を見て思った。
A高	12	ルブラン法の中の「回収した塩化水素を水に溶かして塩酸として処理する。」というのがあった。が、その塩酸がまた新たな汚染の原因となっていた。これでは意味がない。やはり問題を解決するときは後のことをよく考へてから取り組むべきだと思う。	アンモニアソーダ法は有害なHClを排出しないため、大気汚染や水質汚染が止められた。またNH3やCO2を原料として再利用することができた。	アンモニアソーダ法は有害物質を出さない、で優れている。また、再利用することが可能になり、これは今の時代も見習うべきだと思う。	原油脱硫のように、これからは公害を発生させないような原料を開発したり使用したりして、公害の根絶をなくす取り組みも必要であると思う。	今日は実際に実験でNOxやSOxを発生させた。環境破壊の原因物質となるものを実際に目で確認しておくことは大切なことであると思う。
A高	13	ルブラン法では炭酸ナトリウムを作る過程で発生するHClが大気汚染が拡大→対策①空気中に拡散×(汚染地帯広がる)②水で希釈して塩酸で回収×(塩酸の用途が少なく、川に流して川の汚染が発生)③回収して塩酸をさらし粉製造原料にする。○	OHCl対策 19世紀初期 高煙突、工場移転、塩酸としての回収を試みるがあまり効果なし。一帯に汚染が広がるところもあった。19世紀中期 ルブラン法工場に対する規制法制定。塩酸を原料とするさらし粉の製造でほぼ解決。ルブラン法とはちがうアンモニアソーダ法の登場。→しかし、ルブラン法は20世紀はじめまで続く。20世紀 ルブラン法による炭酸ナトリウムの生産はなくなった。ルブラン法からアンモニアソーダ法かわり、ふく生物をそのままだと、副産物を反応させ、原料をつくることもできるようになった。	ルブラン法からアンモニアソーダ法にかわって汚染物質が出なくなる。副産物を肥料として使えたり原料のNH3に使えることも可能にしたなど現在は違う方法で合成されたNH3をたいてい使用。HCl環境問題が解決。	SOxの被害→はい煙一帯は農作物へ影響・・・(飲み取り不能) →銅山→足尾銅山、別子銅山→うへんで被害 幹線川に拡大→四日市ぜんそく被害 対策、火力発電所は排煙脱硫や原油脱硫をしているが、完全とはいえない。	NOxは人工より自然界で発生する方が多い。NOxは炭化水素などがあるところや紫外線にあたるオキシダントになり、これがロサンゼルスや東京で大きな環境問題になった。硫黄酸化物は常温では発生しない。
A高	14	公害物質を利用する事が如何に難しいことであるとわかった。	原料がアンモニア二酸化炭素などの安全な物質を利用していた。また、製造後に発生する物質も有害なものではなく、その過程でも有害物質を排出することがなくなっていたところ。	同じ製品を作るにしても公害物質を発生する方法やしない方法がある。より簡単でより安全な方法を見つけていくことが、大きな進歩になると思った。	公害物質に対してどのような対策をとってみても、常に問題が付きまわってしまいます。	自然界からも発生してしまう物質だからこそ、人為的に出すことは極力避けるべきであると思った。
A高	15	炭酸ナトリウム製造時に発生するHClは喘息や気管支炎などを起こし酸性雨の原因ともなる。さらし粉の製造などにルブラン法の公害対策はほぼ無効。生産する上で環境への影響を考へることは必ず必要である。	まずHClを高煙突によって拡散しようとしたが結果、汚染地帯は広がった。次に工場を公害のため人口の少ない場所に移した。その後、HClガスを溶かして塩酸とする場を作ったが、塩酸の用途が少なく、川に流し捨てたので、河川の汚染が発生。最終的に塩酸を原料とするさらし粉の製造が普及。公害解決。始めは人がいない遠いところ、遠いところへと捨てていったが問題の物質をなくさないという意味がないことが分り問題を根本から解決することによって環境に於て効果があった。	アンモニアソーダ法はルブラン法よりも単純であり副産物の問題も解決し、ルブラン法に比べて良かった。	硫黄酸化物はとても危険なものであると日本でも過去に多くの公害を醸成して、排煙脱硫や原油脱硫で解決している。	人間活動によって発生した有害物質は地球が一定され被害を大きくする。NO2はとてもいやな色をしていて不気味。
A高	16	HClによる公害はルブラン法という炭酸ナトリウムの大量生産の過程で起こった。解決法としては発生した塩酸を回収しそれを原料としてさらし粉(漂白剤)を作ったことが挙げられる。	有害物質を原料として新たな製品を作り出したこと。また、その作り出されたさらし粉などの需要が高まったため、ルブラン法そのものが否定されずに済んだこと。	ルブラン法にかわってから19世紀半ばアンモニアソーダ法という生産方法が考案された。これは有害物質を発生させず生産効率も価格の両面でも優れていたもので普及した。しかし、一方のルブラン法もCl2やさらし粉の需要から20世紀はじめ頃まで生産が続けられた。	SOx(硫黄酸化物)は酸性雨、大気汚染、水質汚濁などの原因となる。少量で多くの被害をもたらす有害な物質である。かつて日本でも足尾、別子の銅山から出るSOxによる公害が実在している。最近では四日市ぜんそくをも引き起こしている。	NOxはSOxと共に酸性雨、大気汚染の主な原因物質であること。また、光化学スモッグを引き起こし、気管支炎を引き起こす。HClやSOxと比べ、塵埃に対して無害にする有効な手段が取られていない。
A高	17	炭酸ナトリウム工業界にとって重要な物質であるからそれを生産する過程で発生してしまう有害な物質をどう処理したらよいかということを直ちに解決することが必要である。	イギリスのリバプール市に高煙突の工場を建設し、HClガスを拡散しようとしたが、結果はさらに汚染が広がった。ゴッセージが水にHClガスを溶かし塩酸として回収する吸収塔を開発したが、汚染が発生した。ゴッセージの吸収塔で回収した塩酸を原料とするさらし粉が普及した。これによりHCl公害はほぼ解決。	発生した副産物を有効に活用した発生しなくなった有害物質の処理が大切だと思った。	金属の精錬により発生してしまう硫黄酸化物などの地球規模的な処理方法が出てきたが、まだ完全なものではなく、いくつか問題があるから、その解決が必要だと思った。	NO、NO2の発生により、さまざまな被害が出てしまうということが分かった。このような物質をどのように処理するのが大切だと思った。

ワークシートと学習履歴シートの記述

学校	No.	要約1(学習履歴シート)	まとめ(ワークシート2)	要約2(学習履歴シート)	要約3	要約4
A高	18	イギリスの炭酸ナトリウム工場が目先の利益を見て行動した結果、公害が発生し、解決までかなりの時間がかかった。ルブラン法の塩化水素の発生による公害の発生はさらし粉の製造という形で幕を閉じた。	有害な物質を捨てていると、どうしても公害問題になってしまいます。この有害なものを無害で、できることなら有用なものとして作り直していくことが大切だと感じた。資料№15にある日立精錬所の出すガスもめぐりめぐってまたどこかで公害になっているかもしれない。やはり無害なものにした後に、外に出すべきだと思う。	複雑なものをより簡単にすることが大切であるがそれにおいてもやはり公害のことを考えなくては行けない。その点においてアンモニアソーダ法はルブラン法より優れていた。そのためルブラン法の工場はなくなっていった。	先を急いで銅山や工業を増やし進めたため様々な公害が起きてしまった。被害の出ている前にもっと先を鑑んで行動することや、根本的な解決方法を見出していくことが必要だと感じた。	化石燃料の使いすぎのためにNO ₂ が大量に発生し、そのために光化学スモッグなどの問題が発生した。
A高	19	炭酸ナトリウムを作るHClなどの有害な物質が多く出てくる。それを解決するために水に溶かしたり塩酸させたりしたが一番効果的であったのはHClを回収しそれを塩酸としてそれをもとにさらし粉を作る方法だった。この結果、HClなどの有害な気体の問題は解決した。	アルカリ薬物の廃棄物をつくって塩化水素の発生を少なくできた。ルブラン法を解決しようとする中で、よりやすく、安全なアンモニアソーダ法が作られて、HClの発生量が減った。また、食塩水を電気分解してCl ₂ を作るようになったので、ルブラン法をなくそうとしたための結果である。アンモニアソーダ法の副産物であるNH ₄ Clは農産物の肥料となる。	ルブラン法に変わって、アンモニアソーダ法という炭酸ナトリウムの生産方法が見つかった。アンモニアソーダ法では副産物として出てくるNH ₄ Clが農産物の肥料となった。ルブラン法は副産物の需要が高いためアンモニアソーダ法が発見されてからも使いたが食塩水を電気分解する方法が見つかったためルブラン法はほとんどなくなった。	銅の産物の精錬過程から硫酸銅化合物が生まれ、あの有名な足尾銅山事件が生まれた。また、重油を燃やすすぎに出る硫酸銅化合物で四日市ぜんそくがおこった。重油からH ₂ Sとして硫黄を除去できるが、完全に所産するためには複雑で大規模な装置が必要となる。	二酸化窒素は水にとけると3NO ₂ +H ₂ O→2HNO ₃ +NOとなる。NO _x はのどや鼻からはいて人体に害をもたらす。すったNO _x が高濃度だった場合、肺に障害が起きる。まだ完全にNO _x を除去する方法が発見されていない。
A高	20	Na ₂ CO ₃ (炭酸ナトリウム)の古い製造法によりHClの公害が問題になっていた。(ルブラン法)水にHClガスを溶かし、塩酸として回収し、塩酸を原料とする。さらし粉(漂白剤)の製造により(ウエルドン法)解決した。	炭酸ナトリウムの製造過程で出るHClを回収して有用な塩酸やさらし粉につくりかえて利用したところが効果的だった。さらに、廃棄物のガリキからも硫黄を回収して無害なものにした。	炭酸ナトリウムの新しい製法(アンモニアソーダ法)が開発された。これはHClやH ₂ Sなどの汚染物質を排出しない。副産物のNH ₄ Clを農産物の肥料として利用できる。	硫酸銅化合物は化石燃料を燃やしたり、金属精錬をすると大量に出る。排煙脱硫や原油脱硫などの方法がとられているが、まだ完全に取り除くことはできず問題点が多い。硫酸銅化合物は酸性雨の原因となり、人体にも大きな害をもたらえる。	窒素酸化物はスモッグや酸性雨の原因となる。また、化石燃料を燃焼させることで発生する。
A高	21	炭酸ナトリウム(漂白剤)を重産するためにルブラン法が作られたがHClが発生するため大気汚染が起きた。HC ₂ 塩酸や水で溶かして回収する方法もはつめいされ最終的に水に吸収して得た塩酸を用いてさらし粉(漂白剤)の製造をする(ウエルドン法)が発明され大気汚染は解決された。この際出るCl ₂ も飲料水の消毒に使われた。	実用な方法をとろうとすると環境問題が発生してしまい、最終に苦労したが、発想の転換によって全く新しい方法ができ、害が少なくなった。	ルブラン法がすぐになくならなかったことから必ずしも新しい方がいいとは限らないと思った。あと、無害を転換すればよりよい方法ができたりもっとよい副産物を作ることができるんだと言うのも感じた。	石油が大量に使われるようになったり、銅を使ったり、利益を優先するようなことがあると公害が起ころうと思った。原油脱硫の方法がもっと良くなって欲しい	NO ₂ なんて見るからに危険なものはおまじ以上発生させるべきではないと思う。HClやSO ₂ のときと違って解決策がなかったのだから見つけて欲しいと思う。が黄銅の液から変な茶色い気体が出ていくのを見て、ヤバいなと思った。早く自動車やZLEVになって欲しいと思う。
A高	22	大量生産の過程で出た廃棄物や汚染物質を他のものに利用することで環境汚染を抑える事ができた。自然界にわずしか存在しない物質を大量に発生させるには危険が伴うのではないかとこの疑問を持った。既行調達の未、ようやく解決できた。	人体に対して有害な副産物を発生しない化学反応を用いたことにより環境に対して効果があった。	かなりひどくなってしまった公害でも人の手で解決できる可能性があることを知った。しかしアンモニアソーダ法を用いてもなお、ルブラン法が廃棄されなかったのは経済的に採算が成立していたからなので環境汚染をなくすには新しい方法と古い方法に対する経済的な対策も必要になるのではないかと思う。	人間の工業発展には常に公害がついてくるように思う。それに対して、様々な対策が行われているが、完全な解決はできていないのが現状である。また、その対策法にも問題がある場合もある。	窒素酸化物による公害は地球中の化石燃料を使い尽くせばなくなるかもしれない。しかし、そのときには、この環境は悪いようになっているに違いない。一刻も早く解決策を立て、実行に移さなければならぬだろう。

ワークシートと学習履歴シートの記述

学校	№	要約1(学習履歴シート)	まとめ(ワークシート2)	要約2(学習履歴シート)	要約3	要約4
E中	1	毛織物工業の発達にもない、炭酸ナトリウムの需要が増えた。その解決策としてルブラン法が開発されたが、塩化水素を大量にだし、汚染をもたらした。いくつかの解決策がためされ、1885年の塩酸を使用しさらし粉をつくるウェルドン法が開発された。	生産過程で生じるHClを副産物として利用することにより、HClそのものの汚染をなくすることができた。	クリーンなアンモニアソーダ法が開明されたが、ルブラン法の生産で生じる塩素に需要があったため、なかなか普及しなかった。しかし、塩素を簡単に引出すようになり、経済的な採算が合わなくなり、アンモニアソーダ法が普及し始めた。	石油や石炭を燃やしたり紙物を精製したりするとSO ₂ が発生する。足尾銅山や別子銅山ではSO ₂ による公害が発生。現代社会において、火力発電所では硫酸を石油から取り除く手段として原油脱硫が行われている。しかしこれは完全に除去することはできない。	一酸化窒素がまず発生し、それから空気中の酸素と結びついて二酸化窒素となる。人間の日常生活でも発生する
E中	2	工業に必要な炭酸ナトリウムを工場で作ると塩化水素が発生してしまい、その汚染していった。そのため、19世紀ごろイギリスではこれが問題になった。	水に다가して回収しようとした。工夫したのは多分塩化水素をそのままだと、蒸散するしかないのでも水に다가して回収した。でも使い道があまりないので結局的に川に流してしまい、河川の汚染になってしまい、環境に対する問題はなかった。だが、その後塩酸でさらし粉ができることがわかった。それでHCl公害はほぼ解決した。	ルブラン法のおかげにアンモニアソーダ法ができた。アンモニアソーダ法は低コストだ。副産物も塩化アンモニウムが出てきて、ルブラン法よりもアンモニアソーダ法が主流になってきた。	過去には日本の銅山のある所では汚染問題が発生して、最終的には閉山してしまいそれらはまわりの人々をもくろしめる。	窒素酸化物は体に害がある。
E中	3	ルブラン法は産業革命時代のヨーロッパで炭酸ナトリウムを作り出すために飛躍的に便利にさせたが汚染過程で塩化水素やカリウムなどの大気汚染となる物質も発生させてしまい、ヨーロッパに問題をもたらした。しかし、さらし粉などに作り直えるということをして、環境問題を解決した。	ルブラン法ではHClの処理やCaSの処理などが問題であり複雑という問題を抱えて使えないような方法だが、その後科学者がHClをさらし粉に変えたり、その他の物質が有用な物質に変えるために色々としていったという過程は今日の環境問題に影響を与えるだろうし、そういう対策も考慮する必要がある。HClをさらし粉に変える一このような工夫が公害問題の対策となっていた。また、産業だけ、アンモニアソーダ法ができたのはルブラン法を基により良い方法はないかと考え作ったのがきっかけとなっていると思う。だから、今あることを応用していくということも大切だと思う。	アンモニアソーダ法の発見により炭酸ナトリウムの画期的な製造ができるようになった。これによって出る物質はまたこの方法をさらに使えたり、簡単に新しい物質へすることができた。しかし、その反面、なかなか食体に広まらず、ルブラン法を取り続ける所もあった。これは、ルブラン法での副産物が人々の生活にかかせなかったからである。	窒素酸化物は銅山や原山に含まれた硫黄などが原因として発生するためいろいろな地域に発生してしまい、人々に被害をもたらす。HClのようにはいかず対処として中和工場を建てたりなどの対策をしていた。しかし日本では塩度を高くするなどの対策をしたが被害者を広げておわった。	窒素酸化物はそれだけでは被害は受けるだけではなく光化学反応することによって色々な被害をもたらしたりということも分かった。また、窒素酸化物は自然界も大量に放出しているものが、影響を与えているのは人工的に出しているものということも分かった。
E中	4	HClは炭酸ナトリウム製造の過程で作られ、公害となったが、HClから漂白剤を作ることで公害はほぼ解決した。	畜産廃棄物による臭気や、副産物を利用した物を作ったりして、大気汚染を防いだ。	ルブラン法とアンモニアソーダ法はアンモニアソーダ法の方がすぐれていたが、イギリスは漂白剤を手に入れるためにルブラン法を利用した。	窒素酸化物は酸性雨の他にも大気汚染を引き起こしたり大気汚染の他にもかかっている。	窒素酸化物も硫黄酸化物と同様に大気汚染を引き起こしている
E中	5	工場に必要な炭酸ナトリウムの生産方法が開明されたが問題点もあった。さまざまな対策が考えられ、最終的に完全に解決できるようになった。	汚染物質の発生をどうやって無化するか、それの対策に汚染物質のHClガスを水に溶かし、別の物として再利用した点があった。それが、自然環境の影響を減少させた。大気中に拡散させる対策というのも影響はあるわけだから、解決はできない。	新たな生産方法が開明され、それは前の方法よりも優れたものだった。しかし、それぞれの特色があり、利用できたので二つの方法が使い分けられた。	近代にも汚染物質の被害があり、硫黄酸化物という物質が銅山から突出された事件はわが国で起こった。新しい対策が立てられる。	窒素酸化物が人間活動の中で発生し、環境問題にもなっている。さらに、そこからダイオキシンの発生には早急な対策を立てなければならぬ。
E中	6	ルブラン法は炭酸ナトリウムを工場生産できるようにした画期的なものであったが炭酸ナトリウムの生産過程に出る塩化水素が大気汚染の原因になってしまった。対策として「空気に拡散させる」「水で希釈する」などがあつたが失敗に終わる。けれど、「利用価値の高いものにかえる」というのは成功し、大気汚染は解決した。	x	アンモニアソーダ法はルブラン法では起こった塩化水素での汚染が起こらないものだった。また、汚染物質が一切発生せず、方法もルブラン法に比べて単純であるという利点を持っていた。しかも原料が安価であるアンモニアという好条件にも恵まれた。一方、ルブラン法は副産物によりからうして生き残っていたが、塩素が電気分解により安価になったことで変遷した。	窒素酸化物は人間に対して気管支炎などと大きな影響を及ぼす。また、人体や生物だけでなく、歴史的価値の高い建造物を壊す。	窒素酸化物は一酸化窒素や二酸化窒素の総称である。有名な光化学スモッグの原因である。
E中	7	炭酸ナトリウム工業界にとって大気重要な物質である。1789年フランスのルブランは炭酸ナトリウムの大規模な工業的な製造(ルブラン法)に成功した。炭酸ナトリウムの生産は19世紀に入り急速に拡大したが、同時に塩化水素(HCl)が副産物として出てくる。	x	塩化水素にアンモニアと二酸化炭素を反応させると炭酸水素ナトリウムを結びつけ容易に炭酸ナトリウムを得ることができる。19世紀末には塩素は電気分解によって安く製造されるようになった。	大気中の窒素酸化物が増えると健康にスモッグが発生し、ときには死者が出ることもある。	窒素酸化物が大気中に増加するとのどや鼻を刺激し気管支炎を引き起こすがその作用は硫黄酸化物ほど強くない。しかし高濃度のNO _x を吸収すると酸に降着を起こす。
E中	8	炭酸ナトリウムを生産するときに出るHClガスを留まらせていたが、ウェルドン法によって、塩酸をさらし粉(漂白剤)の原料にすることができるようになった。	ウェルドン法 ゴッセージの製紙場が出た塩酸をどうにか利用できないかと考えた。塩酸を蒸さなければ河川汚染はおきないので、相当効果はあった。	ルブラン法の発展したソルベー法ができ、公害問題はまったくおきなくなった。副産物のNH ₄ Clは肥料になるのでお得。	窒素酸化物は酸性雨を降らして植物を枯らすなどの悪い影響ばかり。しかも完全に除去するのは難しい物質。	窒素酸化物は光化学スモッグを発生させ、酸性雨を降らし、オキシダントを出現させる。除去は難しい。
E中	9	ルブラン法で炭酸ナトリウムの大量製造に成功したが、その過程で塩化水素が発生し、大気汚染の原因となった。しかし、塩酸を原料とする漂白剤の製造が普及し、HCl公害はほぼ解決。そして硫黄の回収の成功によりルブラン法の公害も解決。	できた排気物を別の方法で再利用することにより、大気汚染問題は解決。	アンモニアソーダ法はアンモニアを原料とした効率のよい方法。しかも、公害物質も出ない。ルブラン法は塩素の利用により、すぐにはなくなかった。	SO ₂ が足尾銅山や別子銅山、四日市などの火力発電所、金属精錬所で発生し、人体に問題を起こしている対策として排煙脱硫と原油脱硫が取られている。	NOからNO ₂ になり、酸性雨の原因となる。今だに決定的な解決法はない。

単校	地	要約1(学習履歴シート)	まとめ(ワークシート2)	要約2(学習履歴シート)	要約3	要約4
C高	1	私たちの生活にかかせない炭酸ナトリウムは、1789年ルブラン法により、大量に作る事ができるようになったが、その反響で副産物として出てくる塩化水素(HCl)が原因で大気汚染が激しくなった。しかし、その後、ウェルドン法などさまざまな対策により19世紀末にはほぼ解決された。	・大気汚染の解決のため用いられた、高煙突による拡散は、選存では気象観測などの発達により、より確実なものとなっている。	・ルブラン法の後にソルベーによって確立されたアンモニアソーダ法は、有害な副産物がないため、炭酸ナトリウム生産の主流となっていった。ルブラン法も当初は、Cl ₂ などの需要が多かったためすぐにはなくならなかったが、19世紀末電気分解の発見により衰退していった。	・大気中に存在し、公害の原因となっている硫酸性物質は、雨の降除や石油の燃焼などにより発生し、森林や農産物、また人間にも多くの被害をもたらしてきた。その後、地方の法による規制や、重油からの脱炭素などの対策により削減されてはきたが、現在でも重大な問題となっている。	・工場の煙や自動車の排気ガスなど人間活動の中から発生する窒素酸化物(NO _x)は光化学スモッグの原因となり、酸性雨となり森林を枯らすなど、自然界だけでなく人体にも悪影響をおよぼす。
C高	2	19世紀当時、酸性ガスと呼ばれていた塩化水素による環境汚染が深刻な問題だった。塩化水素の主な発生源は、かつては炭酸ナトリウム工場だった。その炭酸ナトリウムは、大規模な工業的な製造(ルブラン法)で、作られ、塩化水素が副産物として出て、それが汚染の原因になった。しかし、ゴッセージが開発した吸収塔で、回収した塩酸を原料としてさらし粉が普及し、公害はほぼ解決した。	・ルブラン法は、炭酸ナトリウムを生産するのに行程が複雑だったため、アンモニアソーダ法に変わって、原料のアンモニアが安くなり、また、アンモニアや二酸化炭素を回収して再び原料として使用して、製品を安く作る事ができて、便利だった。そして、副産物の肥料としての活用もあった。	・ルブラン法を使うと、手間がかかろうえに塩化水素といった副産物が出て、公害まで発生してしまう。しかし、ベルギー人のソルベーが考え出したアンモニアソーダ法は手間があまりかからないし、公害による問題も起きないの、19世紀末になるとルブラン法の工場は順次閉鎖されていった。	・硫酸性物質は硫酸(H ₂ SO ₄)や硝酸(HNO ₃)として回収され、工業的に利用される。しかし、人間が吸い込むと気管支炎、ぜんそくを引き起こし、肺炎になることもある。そして、そのようなことになった公害では、足尾銅山での公害や四日市ぜんそくなどがある。その一つの四日市ぜんそくには、煙や硫酸の量を減らすなどの対策をとるなどした。そしてもう一つの足尾銅山では砂堀を水で洗って川に流したが、川が大洪水をおこしてしまい大害になってしまった。	日本の首都東京などで、昭和40年代中ごろに窒素酸化物による大気汚染や酸性雨などの被害が出始めた。そして、大都市の幹線道路沿いの住民が主として被害を受けた。この窒素酸化物はのどや、鼻を刺激し、気管支炎の原因になるという影響を人体にもたらす。その対策として日本は、煙ガスの規制など様々なことをしているが、今もこの問題は残ったままだ。これからの時代は、もっとこうしたことについて対策を練って欲しいと思う。
C高	3	・ルブラン法により作られた炭酸ナトリウムは、繊維産業や人々の日常生活に必要不可欠なものとなった。しかし、ルブラン法で、炭酸ナトリウムを作る過程で、人体へ悪影響があり、大気汚染の原因となる塩化水素が発生してしまう。その解決策として、空気中に拡散したり、水で希釈したりしたが、汚染は広がった。しかし、HClガスを水に溶かし回収した塩酸を原料としたさらし物の製造の普及により、HCl公害は、ほぼ解決した。	○ルブラン法で発生してしまうHClやCaSを有毒でない物質に変えた。 ・ゴッセージが水にHClガスを溶かし、塩酸にして吸収塔で回収し、それをさらし粉の原料に利用した。 ・ガリキユ対策として、硫黄を回収した。 $CaS + CO_2 + H_2O \rightarrow CaCO_3 + H_2S$ $2H_2S + O_2 \rightarrow 2S + 2H_2O$ ○発生するHClやCaSを有毒でないものに変えるのではなく、最初から発生させない方がいいということで、アンモニアソーダ法が考えられた。有害な物質は発生しないので、公害問題は起こらなくなった。	・ルブラン法で発生してしまうHClを有害でないものに変えるのではなく、最初から発生させない方がいいということで、アンモニアソーダ法が考えられた。有害な物質は発生しないので、公害問題は起こらなくなった。	・SO _x (硫酸性物質)は、人間にとって有害で、酸性雨の原因にもなる。硫酸性物質は、石油、石炭の燃焼や金属精錬により発生する。足尾銅山や別子銅山では、硫酸性物質対策がとられたが、新たな問題も生まれた。二酸化硫黄が原因で起こった四日市ぜんそくについては、対策として火力発電所で高煙突を使用した。結果的に汚染地域は広がった。現在の火力発電所や金属精錬所では、排煙脱硫や原燃脱硫という対策がとられている。	・窒素酸化物が増加すると、光化学スモッグの原因物質ともなり、気管支炎の原因にもなる。酸雨と酸霧は、高温で反応が起こり、一酸化窒素が、空気中の酸素と反応し、有害な二酸化窒素になる。二酸化窒素は水に溶けると、強い酸である硝酸(HNO ₃)ができる。窒素酸化物は、人間活動の中では、工場のボイラーや自動車のエンジンにより発生し、自然界では、主に土中のバクテリアの活動により発生する。人間活動で発生する窒素酸化物は、自然界よりも少ないが、局地的に高い濃度であるため、環境汚染として問題になっている。
C高	4	・工業的な大気汚染は19世紀にはすでに問題になっていた。その主な原因は、塩化水素である。塩化水素が発生した理由は、ルブランが炭酸ナトリウムを製造する過程でできたものである。ルブランのおかげで、産業革命が進み、産業が発達した。また、それによってできる石けんは繊維物産を発展させ、生活環境を工場させた。しかし、副産物である塩化水素の公害は進んだ。こうした状況を打開するため高煙突化や塩化水素ガスを溶かし塩酸と回収する吸収塔がつくられて高煙化されたが、水質汚染が発生した。1870年塩酸を原料とするさらし粉の製造が可能になった。1887年炭酸物のカリキから塩酸として回収法が発明される。この2つの解決策のおかげでルブラン法の公害はほぼ解決された。	・問題とされるHClガスを塩酸として回収する吸収塔を開発したことにより、大気汚染はほぼなくなったが、かわりに水質汚染が発生した。後に塩酸からさらし粉が製造できるようになったので、水質汚染がなくなった。ルブラン法の製造の最終段階によってできる副産物を無害化し硫黄として回収できることにより公害が完全になくなり、人々が安心して工場の近くの都市にすめるようになった。	・19世紀半ば、新たにアンモニアソーダ法が確立し、その後、ルブラン法に代わって、炭酸ナトリウム生産の主流になった。アンモニアソーダ法の利点は、原料が再利用できることである。生産効率が高く、安く製造でき、なおかつ汚染物を生み出さない、副産物も再利用が可能である。これだけいい利点があるアンモニアソーダ法は、はじめは主流にならなかった。なぜなら、ルブラン法は当時さらし粉を製造しており、その時大規模な生産されていたからである。しかし、19世紀末から20世紀初めに食塩水の電解法が確立したため、全工程が複雑であったルブラン法は経済的に成り立たなくなり、ルブラン法は炭酸ナトリウムが生産されなくなった。	・硫酸性物質は、酸性雨を発生させ、人体への影響が大きく、村が一つ消えるくらい大きなものだった。足尾銅山など硫酸性物質が起す公害を知らずに作業を行っていたため公害が拡大した。後に対策を試みたが公害は悪化した。しかし、現在では、水酸化カルシウムで、中和しセッコウで無害化する方法である排煙脱硫や原燃脱硫などが考慮され解決に向かっている。	・窒素酸化物は硫酸性物質と同じように酸性雨、光化学スモッグを発生させ、大都市の人々の健康に深刻な影響を与え、大気汚染を拡大させた。しかも、年々、硫酸性物質とともに窒素酸化物も増えているため、減らす手戻が必要である。しかし、硫酸性物質と比べ、窒素酸化物は、具体的な減少策または、再利用策は、少ないため、現実的でなおかつ実用的な解決策が必要である。
C高	5	・炭酸ナトリウムを得ることが大変だとわかった。 ・ルブラン法では毒害が多く出すぎる。 ・毒害をなくすのに大変な苦労があった。 ・炭酸ナトリウムは自分の身近でたくさん使われている。	・対策として、副産物を利用して、利益をあげるどころが環境に対して効果的だった。自分の得にもなり、さらに環境にも良いとなれば誰でもめんどくさがって捨てることもないから。	・アンモニアソーダ法は毒害が出ない。 ・アンモニアソーダ法はルブラン法よりもすぐれている。	・大気中の硫酸性物質は、人体だけでなく環境にも影響を与える。 ・積溜りによる被害は大きかった。 ・石油などから硫酸性物質をとりぞくのは大変だった。	・便利な生活と共に有害な物質が多く生まれる。 ・環境問題を解決する対策を考えるのは難しい。
C高	6	・塩化水素はさらし粉やマッチなどの原料になっているが、その一方で、人体には鼻、目などを刺激し、気管支炎などの影響を及ぼす。ルブラン法によって石けんなどの製造ができるようになった。ルブラン法は、NaClからNa ₂ CO ₃ を直接つくれないため遠回しで作る。そのため、HClなど不要な物質まで出てしまい、処理を及ぼしたが、ゴッセージによってほぼ解決した。	・ゴッセージの吸収塔で回収した塩酸を活用して、さらし粉を製造したことでHCl公害はほぼ解決した。このように有害物質をリサイクルして利用することが環境にとって効果があったのだと思う。	・アンモニアソーダ法の化学反応式は、6つあるけれど、リサイクルされるため、ルブラン法よりすぐれている。しかし、ルブラン法は、Cl ₂ を放出するため、当時ではなくてはならないもので、なかなかなくならなかった。ルブラン法によって起きたHCl公害は、さらし粉まで製造することで解決し、有害物質をリサイクルして活用したことが効果的だった。	・硫酸性物質によって酸性雨が降り、山林が枯れていった。そして、山に保水能力がなくなり、大洪水を起した。これが人体になると、のどなどを刺激し、ぜんそくや肺炎になることがある。排煙中の硫酸性物質は排煙脱硫という方法で取り除く。この利点は、多量の硫酸性物質を大気中に拡散させずに済む。しかし、完全に取り除くには、複雑な装置が必要であり、それが問題になっている。	・窒素酸化物には一酸化窒素と二酸化窒素の2種類があり、人体への影響は2種類とも同じで、のどや鼻を刺激し、気管支炎の原因や、光化学スモッグの原因になっている。窒素酸化物によって日本では酸性雨が降り、森林が枯れるなどの被害があった。今できることは有害物質をリサイクルして、家の資源として活用することが大事だと思う。

ワークシートと学習履歴シートの記述

学校	No.	要約1(学習履歴シート)	まとめ(ワークシート2)	要約2(学習履歴シート)	要約3	要約4
C高	7	・ルブラン法の成立によって、炭酸ナトリウムの工業生産が可能となったが、それは、大気汚染の原因ともなっていた。そこで、化学界では空気中からHClガスを捕獲させたり、水で希釈したが、結果は、さらに汚染が広がって失敗した。そこで、考えられたのがさらし粉の製造だ。このさらし粉の製造で(ウェルデン法)、HCl公害は、ほぼ解決した。	・ルブラン法だと炭酸ナトリウムを生成するのみに工場が増えた。しかし、アンモニア法に変わったら、原料のアンモニアが安くなり、また、アンモニアや二酸化炭素を回収し、再び原料として使用する事で、生産効率が上がり、製品を安く作ることもできるで便利だった。さらに環境に対し、農産物の肥料としての活用もあった。	・ルブラン法に代わり、アンモニアソーダ法が確立し、ルブラン法に代わって炭酸ナトリウム生産の主法になった。原料が安くなり、また、アンモニアや二酸化炭素を回収し、再び使用する事で、生産効率が上がった。HClやH ₂ Sなどの汚染物質を排出することもない。アンモニアソーダ法では、塩化アンモニウム(NH ₄ Cl)を副産物として取り出すこともでき、NH ₄ Clは農産物の肥料ともなった。	・硫黄酸化物の影響で足尾銅山や別子銅山などでSO _x やSO ₂ ガスによる被害が増えていった。対策も四日市で行ったが、その後も被害が出てきた。また、四日市では、石油の燃焼によって出てくる二酸化硫黄が原因で、ぜんそくや気管支炎、肺炎などの呼吸器障害を引き起こした。この問題にも対策はできなかった。しかし、新たな対策で、排煙脱硫や原油脱硫があった。前者の方は、排煙中の硫黄酸化物を除く方法で、後者のほうは原油から硫黄分を取り除く方法である。しかし、問題もあった。	・環境問題を引き起こしている産業酸化物は、主に一酸化窒素と二酸化窒素であり、人体ののどや鼻を刺激し、気管支炎を引き起こす。産業酸化物以外にも、工場、自動車から発生する。産業酸化物は自然界から発生する量の方が、人間活動で発生するよりも多い。しかし、自動車から出る排気ガスによって自動車先進国の国では、スモッグが発生し、酸性雨の原因となっている。
C高	8	・ルブラン法 ・HClの性質 ・ルブラン法はなに？ ・ルブラン法の問題点・・・汚染地域拡大 ・ルブラン法の問題点を解決する。対策・・・すべて失敗！さらに汚染拡大。 ・ルブラン法の効果が、代表的にさらし粉製造。ゆえにHCl公害はほぼ解決。	・ルブラン法は、複雑で、しかも余計なものが出てくるので、いい方法とは思えないけど、人が暮らす上ではなければいけないのだけど、他に簡便性を求めているかにはわからないけど、無くなっている方法だと思ふ。ソルベール法のほうが、安全で環境を汚さないで地球には一番やさしいと思う。	・アンモニアソーダ法のやり方を化学式で書いて、資料によってルブラン法より環境にいいということがわかった。 ・ソルベールとルブランの違いは、ソルベールは簡単にできて、環境にはやさしい方で、NH ₄ Clは、農作物の肥料になる。ルブランは、複雑で数々問題をおこしていたが、途中でできたものを使い……	・どれだけのことを知っているかという点にならなくらいわかってきていた。 ・どんなものかというの、ど、肺、気管支、見てみると呼吸器にあたっていたくなる場所。 ・原油脱硫と一酸化と二酸化の差がはげしい。多量の硫黄酸化物を大気中に放出させずにすむという点はあるが、選んだものを完全に取り除くのはすごく複雑で経済的に問題があるのです。	・一酸化窒素が増加すると、人間に影響がでるだけでなく、スモッグの発生の原因にもなる。 ・一酸化窒素の性質は、水に溶けにくく、水質悪化で、排水水素があるところ、紫外線があると刺激性の物質が生じる。 ・人間活動では、工場や自動車などから発生する。
C高	9	・塩化ナトリウムから、すぐに炭酸ナトリウムは作れなかった。遠回りしている間に、副産物としてHClがでてしまった。HClは大気汚染の原因となるので、その対策として、捕獲したが、よけいにとどまらなかった。水でHClガスを溶かし、塩酸にしたが、塩酸の用途が少なく、河川に流した。河川の汚染になったが、塩酸を原料とするさらし粉の製造によりHCl公害は、ほぼ解決した。炭酸ナトリウムは、漂白やガラス、石けん、薬品の製造に使用された。	・ルブラン法の公害は、HClが副産物として出てしまうことだった。対策として、空気中にHClガスを捕獲しようとしたが、さらに汚染が広がってしま、だめだった。そこで、水にHClを溶かし、塩酸を作ったが、その用途が少なく、川に流してしまっただけで、河川の汚染へとつながってしまった。ところが、塩酸を使い、さらし粉を作ることで、HCl公害はほぼ解決した。	・ルブラン法で、でしまった副産物であるHClを出さない方法として、アンモニアソーダ法ができた。しかし、ルブラン法でできる副産物の一つであるCO ₂ は都市生活を支える飲料水の製造、消毒に不可欠なものだったので、アンモニアソーダ法が思いついた。すぐにルブラン法はなくなってきたが、20世紀初めの食塩水の電解法が確立し、CO ₂ が安く手に入るようになったから、ルブラン法がなくなった。	・硫黄酸化物は、石灰、石炭などを燃やすとできるもの。硫黄と酸素が結合したものを硫黄酸化物という。硫黄酸化物により、いくつかの公害が発生した。酸雨による被害は山林が枯れた。足尾銅山、別子銅山は、それを食い止めるようにして、洪水対策や埋蔵所の場所を土地から離すなどの対策が行われた。しかし、その後の問題は悪化がひどかった。四日市ぜんそくでは、人体への被害が大きかった。対策として、脱煙装置により、硫黄分1.7%以下の重油がつけられた。	・一酸化窒素、二酸化窒素はのどや鼻を刺激し、気管支炎を引き起こす。そして、その発生は、主に化石燃料の燃焼による。工場、事業場のボイラーなどの固定発火。また、家庭の暖房などにも発生する。土中のバクテリアの活動などにより、発生する。二酸化窒素は水に溶けると酸性になる。この性質を利用して、硝酸にして、それを染料、医薬、火薬に使う。そして、遊走、車のエンジンから出る発生量を減らすために、政策がとられている。
C高	10	・ルブラン法により、漂白、ガラス、石けん、染料、薬品などの製造が急進したが、ルブラン法で出てくるHClにより大気汚染が発生。水に溶かし、塩酸として川に流した。川が汚染された。塩酸を原料とするさらし粉の製造に成功し、HCl公害はほぼ解決した。	・ルブラン法で出た悪い物質を利用できるよ。また、アンモニアソーダ法で出たCO ₂ やNH ₄ Clをまた、使うようにリサイクルというのが出た。今ではそのリサイクルというのが大切にしている。	・この時代からリサイクルという方法が生まれたい。アンモニアソーダ法はルブラン法とは違い有害な物質は出ない。	・SO _x は人体や地球に影響を及ぼす。木を枯らし、洪水をおこしたり、米や麦に被害を及ぼす。硫黄酸化物を除くため、二酸化硫黄の石灰乳(水酸化カルシウム)Ca(OH) ₂ で中和し、CaCO ₃ ・2H ₂ Oにして無害化する方法を見つけた。(排煙脱硫)	・世界の様々な面で酸性雨に悩まされていることを知った。人間活動では、とくに、自動車、化石燃料の燃焼が多くの窒素酸化物を排出している。
C高	11	・塩化水素の性質:工業的に利用できる反面、人体に有害であるということ。 ・炭酸ナトリウムをつくる過程で発生してしまう。 ・公害をなんとか改善したいという人々の努力	・有害物質を出してしまう方法で、目的物質を生産せずに、出さない方法で開発する。 ・ルブラン法で出てきた塩酸を回収して再利用したところ。また、ガリギユをたたくことで、CO ₂ とH ₂ Oを反応させてできたCaOとH ₂ SiにCO ₂ を反応させて無用な水と有用な硫黄にした。 ・アンモニアソーダ法はNa ₂ CO ₃ を生成する過程で、CO ₂ などのでた副産物を生成する過程に利用し、農産物を減らした。	・ルブラン法による公害問題の解決の仕方。 ・目的物質をつくるためでなく生成するときに有害な物質を最初から出さないようにした。	・足尾銅山の公害では排水地をつくったのは公害対策ではなく、洪水防止のためで、公害に対する根本的な対策をとらなかった。四日市の公害対策では、川だけでなく、企業も対策をとった。足尾銅山の公害は、解決しないまま閉山したが、別子銅山は、様々な対策をやり、最終的には中和工場をたてて解決した。	・窒素酸化物も、水質や土壌を酸性化する一因。 ・窒素酸化物には、一酸化窒素、二酸化窒素があり、その性質、人体への影響。また、その対策。 ・光化学スモッグなど窒素酸化物による日本で発生した被害の状況や、人間活動などにより発生するの。また、人間活動からの窒素酸化物が自然界から発生するより少ないの、なぜ環境汚染につながるのか。
C高	12	・塩化水素の主な発生源は、炭酸ナトリウム工場であった。炭酸ナトリウムを作るルブラン法は、NaClからNa ₂ CO ₃ は作れないので、NaCl(H ₂ SO ₄)→Na ₂ SO ₄ (C)→Na ₂ S(CaCO ₃)→Na ₂ CO ₃ のように遠回りをして得られる。しかし、途中HClやCaSなど大気汚染のもとになる物質が発生する。Na ₂ CO ₃ は人々の生活に必要な石けんなどに使用された。それと引き換えにHClガスの汚染地域が広がったり、河川の汚染など汚染問題が発生した。	・ゴッサーの吸収塔で回収した塩酸を原料とする。さらし粉の製造が普及し、その回収された塩酸はさらに塩酸やさらし粉として利用されるようになった。さらし粉は、漂白剤などに使われ、塩酸は飲料水の消毒、消毒に使われた。	・アンモニアソーダ法は、汚染物質の排出はなくなり、リサイクルができる。副産物のNH ₄ Clは、農産物の肥料となる。ルブラン法は、遠回りをしてNa ₂ CO ₃ を作り、汚染物質が発生する。アンモニアソーダ法が主法になってからもルブラン法がなくならなかったのは、ルブラン法の副産物のCO ₂ は、都市生活に必要な飲料水の製造、消毒に不可欠なものだったからだ。	・硫黄酸化物SO _x は、ぜんそくを引き起こしたり、首をいためたりする。また、植物には酸性雨の原因となり、植物を枯らす。銅山での精錬によりSO _x の被害があるが、代表的な銅山の被害は、足尾銅山は、洪水対策として、各中村を強制閉鎖し、排水地をつくった。別子銅山では強制閉鎖し、排水地をつくらなかった。瀬戸内海の四日市へ移転した。SO _x が原因で、四日市ぜんそくも起こった。現在、銅山では、原液脱硫という方法が行われているが、大規模な装置が必要となり、経済的にも多くの問題が残っている。	・窒素酸化物NO _x は、毎色で水に溶けにくいNOと有毒で水に溶けやすいNO ₂ である。光化学スモッグの原因物質となり、刺激性がある。NO _x の発生源は、人間活動では自動車から発生する。人間活動では、自動車、事業場のボイラーなどの固定発火。また、家庭の暖房などにも発生する。土中のバクテリアの活動などにより、発生する。NO _x の発生量が少なくても、部分的に高いところがあれば生物に強い影響を与える。NO _x を少なくするために、工場をどこかの小さな島だけにとどめればよいと私は思った。

ワークシートと学習履歴シートの記述

学校	No.	要約1(学習履歴シート)	まとめ(ワークシート2)	要約2(学習履歴シート)	要約3	要約4
C高	13	・ぜんそくや気管炎などの原因になったり、植物を枯らすなどの被害をもたらしていた塩化水素(HCl)による環境汚染の問題はさまざまな対策や経済的ないきさつきを経て、解決された。塩化水素の主な発生源は、かつて炭酸ナトリウム(Na ₂ CO ₃)工場であった。炭酸ナトリウムはルブラン法によって生産された。ルブラン法は、いくつかの物質と反応させ、固り通して得ることのできる生産方法だったため、有害物質のHClやCaSなどが出てしまった。ルブラン法の成立によって、炭酸ナトリウムの工場生産が可能になり、織物の漂白、ガラス、石けん、染料、薬品の製造に使用された。そのため、塩化水素(HCl)が原因の大気汚染も激しくなった。この問題に対し、いろいろな対策が行われた。高煙突工場を建設し、HClガスを拡散させたが、さらに汚染地域が広がってしまった。水にHClガスを溶かし、塩酸として回収する専車場を調発したが、塩酸の用途が少なく、川に流し捨てたので、河川の汚染が発生した。この専車場で、回収した塩酸を原料とし、さらに別の製造が普及してHCl公害はほぼ解決した。	・現在の大気汚染の対策について参考になるのは、出さないようにするとか、もっとよい方法を考えることだと思います。ルブラン法でも一応、公害は解決されたのに、出さない方法を考えるなんてすごいことだと思います。昔の人を見習って、現在の大気汚染の問題について考えることが大事だと感じました。	・食塩水にアンモニアと二酸化炭素を吸収させると炭酸水素ナトリウムができる。この方法をアンモニアソーダ法という。アンモニアソーダ法は、公害問題もないし、副産物も塩化アンモニア。原料は、アンモニアで、ルブラン法より簡単だが、20世紀はじめまで興ってすぐになくなかった。ルブラン法では、副産物の需要に支えられて、経済的に採算が成り立っていたためだった。19世紀末には塩酸は電気分解によって安く製造されるようになり、経済的採算が合わなくなり、ルブラン法の工場は順次閉鎖されていった。	・硫黄酸化物による大気汚染は、地球上のありとあらゆるものに悪影響を及ぼす。SO ₂ による悪影響は、対策によって解決されたが、その後の課題を作った。現在の火力発電所や金属精錬所でとられている対策は、排煙脱硫や原油脱硫である。原油脱硫は、まだ、問題点がある。	・窒素酸化物は主に、一酸化窒素と二酸化窒素の2つに分けられる。どちらも、のどや鼻を刺激し、気管支炎を引き起こす。窒素酸化物は人間活動からよりも自然から出るほうが多い。環境問題が出たら、解決するのではなく出ない方法を考えるべきだ。
C高	14	・塩化水素について人体や環境への影響を19世紀前半のイギリスの事例をもとにまとめた。具体的には、どのような問題が起こったのか、その原因についてや、対策その効果などをまとめた。ルブラン法とは過程が2段階と単純だが、副産物が有毒で、その処理が複雑。(HCl, SO ₂)	・公害問題を発生させず、副産物も他のことに利用できれば環境にも影響がない。例えば、水素自動車またはECOカーなど。また、自然を利用した風力発電や太陽光発電などもその一環だと思ふ。	・アンモニアソーダ法の過程やルブラン法との違い、環境への影響。また、ルブラン法の後をまとめた。詳しくは、アンモニアソーダ法は、5段階反応で複雑だが、副産物は無害で肥料や原料としてリサイクルして使用可。	・窒素酸化物の性質や自然界、人体への影響を、以前起こった事件をもとにまとめた。具体的には、尾尾崎山や別子銅山、自日市ぜんそくについての問題点、対策、その効果、今後の課題などについて。また、排煙脱硫の方法を学んだ。SO ₂ +Ca(OH) ₂ +H ₂ O+1/2O ₂ →CaSO ₄ ·2H ₂ O 自分としては、どの方法もあまり効果的だとは思えない。SO _x を出さないほうがいいと思う。	・窒素酸化物の性質や自然界での発生量、また、人間活動からの発生量、影響被害をまとめた。また、窒素酸化物ができるのは、 $3\text{Cu}+8\text{HNO}_3\rightarrow3\text{Cu}(\text{NO}_3)_2+4\text{H}_2\text{O}+2\text{NO}$ $2\text{NO}+\text{O}_2\rightarrow2\text{NO}_2$ また、オスワルト法では、 $3\text{NO}_2+\text{H}_2\text{O}\rightarrow2\text{HNO}_3+\text{NO}$ などの方法でできてしまう。
C高	15	・塩化水素を出したくて出したわけじゃないのに、炭酸ナトリウムを作る時、どうしても塩化水素を出さざるをえなかったのが、きっかけでできた大気汚染を招いた。そして、河川などに流すことによって汚染をより悪化させた。でも、その塩化水素を回収し、漂白剤の製造で、塩化水素の公害もほぼ解決した。	・ルブラン法で出た塩化水素は高い濃度などで拡散させたりしたけど、それが公害問題になった。そこで、塩化水素を出さない方法を考えた。アンモニアを使うことで公害は減ったが、少し塩化水素がまだ、使われていた。	・アンモニアソーダ法の出現で公害問題はおさまった。でも、アンモニアソーダ法は、手間がかかるためルブラン法は少しの間なくなかった。	・窒素酸化物は、銅などを通り、人体への影響も大変大きい。死者が出る場合もある。森林はすぐに枯れ、洪水などが起こりやすくなる。水に(川などに)流すと魚などに影響が広まり、人間がその魚を食べるととても危険だ。	・窒素酸化物は銅に反応して、人間の体に害を加えるし、人工的に作られるものじゃなくて自然にうまれるものもあるが、人工的に作られるものは、車や工場など人が集まる場所に多く起こることがわかった。
C高	16	・ルブラン法などで、炭酸ナトリウムが生産することが可能になって、織物の漂白に大量に使用することによって、仕事も楽になった。炭酸水素ナトリウムを熱分解するとNa ₂ CO ₃ が得られる。主に、火山ガスが含まれていることが分かった。高煙突による拡散の効果が失われたため、大気汚染の問題になった。	・アンモニアソーダ法は、ルブラン法と違って、副産物の一つで、環境にも悪い影響じゃないから、何回でもリサイクルできる。	・アンモニアソーダ法は環境に悪い影響を持っていないから、ステップも少ないし、リサイクルができる。副産物はNH ₄ Clで原料はアンモニア、これがあるから、環境にいい。	・窒素酸化物は、水には溶けないが、二酸化炭素には溶ける。人間ののどや鼻を刺激して気管支炎などで、ぜんそくを引き起こすことがある。尾尾崎山では、排煙を水で洗って川に流したら、悪臭が散らばって魚の木がすべて枯れてしまった。別子銅山は、銅山で硫黄酸化物を試したら、SO ₂ ガスが広がり、被害の区域が広がった。	・自動車などから出るガスが集中して窒素酸化物が蓄まれる。だから、ガスが出ない自動車を作ったほうがいいと思う。のどと鼻を刺激し、気管支炎等を起こす原因だから。

4 大気汚染対策教材の学習履歴シートを用いた評価(3) —学習前後での理解の変化—

○野内頼一^A, 松原静郎^B, 深野哲也^C, 堀 哲夫^D

NOUCHI Yorikazu^A, MATSUBARA Shizuo^B, FUKANO Tetsuya^C, HORI Tetsuo^D,

茨城県立伊奈高等学校^A, 国立教育政策研究所^B, 大阪府立三国丘高等学校^C, 山梨大学教育人間科学部^D

【キーワード】 グリーンケミストリー, 高等学校, 環境教育, 学習履歴シート, ループリック

1 はじめに

「グリーンケミストリーの教材の開発—大気汚染とその解決—」¹⁾において開発された教材を用いて高校で実践を行った。1枚ポートフォリオ評価法に基づく学習履歴シートを作成し、その中の学習後「この学習で何を学びましたか。『大気』という言葉を使って文を3つ書いてください。」に対する記述を分析し評価した。

2 評価の方法

A：論旨の適切性とB：論理の一貫性の2つの観点で評価を試みた。

ワークシート1
①炭酸ナトリウムの製造によるHClの発生とその害
②解決法の検索
ワークシート2
①アンモニアソーダ法の考案とその利点
②ルブラン法との比較
③アンモニアソーダ法への変換とその流れ
ワークシート3
①硫酸窒素化合物の発生原因とその害
②その解決方法と今後の方向性
ワークシート4
①未解決のNOxの害とその性質
②窒素窒素化合物の自然界の現状と解決の方向性

以上の各ワークシートの要点からこの教材の論旨を以下の4点と考え、それが記述されているかどうかでAの評価を試みた。

- (1)大気汚染の歴史
- (2)大気汚染を克服しようと努力した科学者の行為
- (3)対策の遅れている大気汚染物質
- (4)解決の方向性(グリーンケミストリーの考え方)

3 結果と考察

以上(1)~(4)までを表1の規準にそって評価したところ、1が0%、2が20%、3が64%、4が16%だった。

Bの論理の一貫性も表1の規準にそって評価したところ、1が0%、2が16%、3が64%、4が20%だった。

具体例で見ると、学習前「大気汚染が地球を取りまわっている。嫌な大気だ。北浦和は大気が汚い。」と書いてきた生徒が学習後は「科学の発展に伴って大気汚染などの環境問題が生じた。大気汚染により生物および人体は多大なる被害を受けた。大気汚染を防ぐためには有害な物質をいかにして利用するかが鍵となる。」と書いてきた。このように多くが質、量ともに大きく変化していた。学習前後での文字数の変化は181%であった。²⁾質的な部分では、学習前1つ1つの文が主語と述語のみで構成されたものが多数を占めていたが、学習後は学習をふまえた内容のある文に変化していた。

A：論旨の適切性、B：論理の一貫性の2つの観点において3以上の評価の生徒がAについては80%、Bについては84%となった。3以上を学習の効果が表れていると考えられると、この教材を学習することでの目標を大部分の生徒は達成することができたと考えられる。

- 1) 松原静郎他『グリーンケミストリーに関する学習教材、実験教材の開発』科研費中間報告書(2004) pp. 157-191

2) 同上p.124

表1 学習履歴シートの評価用のループリック

等級付け規準	許容できない範囲である : 1	何とか許容できる範囲である : 2	おおむねよいできである : 3	素晴らしいできである : 4
論旨の適切性	論点の(1)~(4)が全く記述されていない	論点の(1)~(4)のうち1つ記述されている	論点の(1)~(4)のうち2つ記述されている	論点の(1)~(4)のうち3つ以上記述されている
論理の一貫性	1つ1つの文が短くバラバラである	少なくとも1つ以上は文の内容がしっかりして多少のつながりもある	2つ以上の文の内容がしっかりしており多少のつながりもある 又は、1つの文は内容がしっかりしており3文ともつながりがある	3つの文の内容がしっかりしてなお3文ともつながりがあり全体としてまとまりがある(具体的であるとなお良い)

4-1 (資料) 学習前後での理解の変化

野内 領一

学習履歴シートのルーブリックに基づく実際の評価

論点

- (1) 大気汚染の歴史
- (2) 大気汚染を克服しようと努力した科学者の行為
- (3) 対策の遅れている大気汚染物質
- (4) 解決の方向性(グリーンケミストリーの考え方)

論旨の適切性

論点の(1)～(4)が全く記述されていない	1
論点の(1)～(4)のうち1つ記述されている	2
論点の(1)～(4)のうち2つ記述されている	3
論点の(1)～(4)のうち3つ以上記述されている	4

論理の一貫性

1つ1つの文が短くバラバラである。	1
少なくとも1つ以上は文の内容がしっかりしていて多少のつながりもある。	2
2つ以上の文の内容がしっかりしており多少のつながりもある。 又は、1つの文は内容がしっかりしており3文ともつながりがある。	3
3つの文の内容がしっかりしておお3文ともつながりがあり全体としてまとまりがある(具体的であるとおよい)	4

【実際の生徒の記述の評価】

N: 科学の発展に伴って大気汚染などの環境問題が生じた。
大気汚染により生物及び人体に多大なる被害を受けた。
大気汚染を防ぐためには有害な物質をいかにして利用
するかが鍵となる。

適切性…3 一貫性…3

ST: 大気中には環境問題の原因なる物質が含まれている。
大気中に放出すると手をつけられない。
大気中に環境問題の原因なる物質を放出する前に手
を打たないと行けない。

適切性…3 一貫性…3

Y: 大気は塩化水素、硫黄酸化物、窒素酸化物などにより汚染されてきた。
塩化水素や硫黄酸化物による大気汚染は過去に解決されてきた。
化学物質から大気を守るには人間活動を制限するのが1つの方法だがそうも行かない。
私たちは別の方法を考えるべきだ。

適切性…4 一貫性…4

I: 大気は工業で汚される。
汚された大気はしっぺ返しを起こす。
大気中の無害な8割のNと有害な酸素に似たNOxからなる。

適切性…2 一貫性…3

U: 大気中には多くの種類の気体が存在し、それらは1歩間違えば公害を及ぼす物質となることがある。
大気汚染を考えず工業化を進めると地球に大きな害をもたらす。
大気は生存するために必要不可欠なものであるから常に大気のことを考えた化学合成などを目標さなければならない。

適切性…4 一貫性…4

S: 大気汚染をするような物質をださないような化学反応をすることは大切だ。
大気汚染をするような物質を取り除く化学はとても難しい。
大気という化学というより生物っぽいイメージがあったが、これを学びいかに大気が化学に重要なかわかった。

適切性…3 一貫性…3

O: 19世紀頃から塩化水素、硫黄酸化物、窒素酸化物が工場から排出され大気汚染の原因となった。
ルブラン法などで大気汚染が減った。
現在も大気汚染は問題となっている。

適切性…4 一貫性…3

K: 大気には思った以上に怪しい物質が混ざっている。
人間が汚した大気を自らの手できれいにする努力をしよう。
皆無気にしない大気にも汚染の歴史やそれを解決しようとしての努力の歴史がある。

適切性…3 一貫性…4

S: 大気汚染はぜん息や気管支炎の問題となる。
二酸化窒素を大気に放出する。
大気汚染が問題となる。

適切性…2 一貫性…2

T: 大気汚染の解消とその対策を考える。
大気中の窒素酸化物無害化するにはどうすべきか。
大気汚染物質を工業的に利用できればと思う。

適切性…3 一貫性…3

- U: 大気は地球上の人間達が都合のいいように汚染してしまったのだが、今人間は自らを反省し、少しずつ汚染を改善している。
大気汚染は放っておくとどんどん広範囲に広がるためその汚染のある地域だけでなく、地球規模の問題である。
大気汚染を改善することがその他の環境問題の解決につながっていく。
その為には物質の種類がある。害のある物質が残らない改善方法を見つけなければならない。
適切性... 4 一貫性... 4
- K: 大気は汚れやすい。
大気に問題が起きると人に害が出る。
大気の害は人間が汚した分は元に戻さなければならない。
適切性... 2 一貫性... 2
- Ku: 大気は人間にとって不可欠であるので汚染されると人に与えられる影響は大きい。
大気を常時清潔に保つため様々な対策が施行された。
大気の中に人は生きていく。
適切性... 3 一貫性... 3
- S: 利用のしかたで大気はきれいになる。
大気の自浄作用にも限界がある。
人間の手でも大気汚染の問題を解決できる。
適切性... 3 一貫性... 3
- T: 人間の生活を脅かす大気汚染。
人間の利己的な営みで発生した大気汚染、一部は解決したが数多くの問題が未解決である。
大気汚染から様々な汚染へと派生していく。
適切性... 3 一貫性... 3
- N: 大気汚染は解決された問題もあった。
(HCl) 現在大気汚染のもとになっている主な物質 SO_x 以上と NO_x だ。
大気汚染の解決には原因物質をださないのが一番だ。
適切性... 3 一貫性... 3
- Na: 産業革命以後、ヨーロッパの大気はルブラン法の廃物として出る HCl によって汚染されていたが、アンモニアソーダ法の開発により HCl による大気汚染は解決された。
大気中で SO_x や NO_x は化学変化し酸性雨となる。
地球上すべての生物の宝である大気をこれ以上汚染してはならない。
適切性... 3 一貫性... 3
- I: 大気汚染には大気汚染に繋がる窒素酸化物や硫黄酸化物などの大気汚染が含まれている。
1936年英国で大気清浄法ができた。
ルブラン法は副生物として塩化水素を出し大気汚染が著しくなった。
適切性... 2 一貫性... 2

- K: 大気汚染物質を取り除く。
SO_x、NO_x が発生し、大気中に放出される。
大気汚染の発生しない方法を開発していく。
適切性... 3 一貫性... 3
- Ko: 高煙突により塩化水素を拡散させたため大気汚染地域が広がった。
窒素酸化物が大気中に増加すると気管支炎や酸性雨の原因となる。
窒素酸化物は土中のバクテリア活動か空中放電などによって大気中に自然と発生するものである。
適切性... 3 一貫性... 3
- Kb: SO_x と NO_x は大気汚染の直接的な原因である。
SO_x の大気中の濃度は環境基準で一日平均 0.4ppm 以下とされている。
大気汚染防止法公布。(1968年)
適切性... 2 一貫性... 3
- H: 一番最初に起きた大気汚染は炭酸ナトリウムで作る副産物の塩化水素が元になっておこった。
大気汚染の解決法は直接大気を浄化するのではなく、まず汚染物質を出さないような装置を作ったり、その後自然の浄化作用で解決するのが多かった。
汚染物質を大気に出したらそれが雨に溶けてさらに害が広がる。
適切性... 4 一貫性... 4
- F: 大気が窒素酸化物によって汚染される。
大気中に多量の硫黄酸化物が排出されると酸性雨の原因になる。
HCl による大気汚染は解決した。
適切性... 3 一貫性... 3
- M: HCl が大気に拡散した。
アンモニアソーダ法によって HCl による大気汚染が解決した。
排煙脱硫、原油脱硫によって硫黄酸化物を減らす。
適切性... 3 一貫性... 3
- Y: 人間は HCl による大気汚染を解決した。
現在の大気汚染の原因として、NO_x、SO_x が挙げられる。
この大気汚染に対する対策は未だに完全ではない。
適切性... 3 一貫性... 3

【ムブリックによる実際の評価の結果】

	許容できない範囲である 1	何とか許容できる範囲である 2	おおむねよいものである 3	すばらしいものである 4
論旨の適切性	0 %	20 %	64 %	16 %
論理の一貫性	0 %	16 %	64 %	20 %

3以上の評価の生徒が論旨の適切性においては80%、論理の一貫性においては84%となった。3以上を学習の効果が表れていると考え、この教材を学習することでの目標を大部分の生徒が達成できたと考えられる。

【1文の内容をどうみるかについて】

人に伝えたいことが学習によってできたため情報がふえた内容の文になった。その中味が学習の内容にそっているかは論旨の適切性で評価し、1文1文の内容とそのつながりは論理の一貫性で評価した。学習前は主語と述語だけの単文が多かったが、学習語は形容詞がついたり並列の文をつなげたり原因を書いたり具体例を入れたりと質的に変化している。

【全体を通して】

単なる評価ではなく、生徒の資質や能力をのばすためにどう評価したらいいのかという視点が大切のように思われる。今まで教師が感覚的につけていた部分が、少しでも客観的になることで説明が可能となり獲得力がでてくるのではないだろうか。今回は基準の1つの設定の仕方としてこの様なムブリックを活用した評価を試みてみた。実際のレポートの評価をどうつけるのかはとても難しいことではあるが、今回の評価の方法はそのレポートの評価のつけかたにも応用することができるのではないだろうか。

【さいごに】

3文での評価は学習が生徒にどこまで受け止められているかをみるには教師にとってわかりやすいものであるが、全てが3文に表れるわけではないので知識理解の部分と興味関心態度の部分を感じてみきわめて総合的に判断してあげると生徒にとって励みとなる評価になっていくと思われる。

5 大気汚染対策教材の学習履歴シートを用いた評価（４） ーグリーンケミストリーワークシートでの要約ー

○久保博義[▲]、 宮内卓也[●]、 清田三郎[◎]、 松原静郎[◎]
 KUBO Hiroyoshi[▲]、 MIYAUCHI Takuya[●]、 KIYOTA Saburo[◎]、 MATSUBARA Shizuo[◎]
 東京都立西高等学校[▲] 東京学芸大学附属世田谷中学校[●] 東京都立第四商業高等学校[◎] 国立教育政策研究所[◎]

【キーワード】グリーンケミストリー、高等学校、化学教育、環境教育、ルーブリック

1. はじめに

公立高等学校で大気汚染対策教材を実践し、その第8回の授業としてこれまでの学習について復習し、その後、ワークシート5「グリーンケミストリーとリスク評価」の学習を実施した。

第7回の授業では、前時の要約や将来の科学技術に対する考え、感想について記述するシート（学習履歴シート2）を完成させた。

今回は、このシートの中の「（ワークシート5で）学習した内容を要約してください」のルーブリックを作成し評価をしたので報告する。

2. 対象生徒

対象生徒は、埼玉県立高等学校2年生であり、1期10名、2期17名の合計27名に対して、平成15年度「総合学習」の時間に7校時を使って実践した。

3. 「要約」部分のルーブリックの作成と結果

ルーブリックには、規準として「論旨の適切性」と「論理の一貫性」の2つの観点を考え、評価することにした。また、それぞれを1～4の4段階に「等級付け」した。

まず、「論旨の適切性」では要約のポイントとして、内容を下記の①～⑦に区分した。

- ① 環境汚染などに対するリスク評価として、四つの方法が考えられている。
 (1)自然状態との比較、(2)代替となるものとの比較、(3)全く違った種類の危険性との比較、(4)当面している問題の利益と害との比較による方法で、エネルギーと環境問題などの判断・意思をする際に役立つ方法である。
- ② 環境基準は、一般に「危険性は普通の個人や社会が許せる程度に小さい」と判断される量のことである。
- ③ 科学や技術に関連した社会問題に関して判断・

意思決定する場合、一般の人々にとって、自然科学的な素養、総合的な自然観を身につけていることが重要と思われる。

④ これからの技術革新において一般市民がその意思決定に参加する機会が増えるであろう。一般市民も主体的に科学技術に関われるように移行していくものと思われる。

⑤ グリーンケミストリーとは、汚染そのものの発生を断つための原理と方法論のことで、これを推進していく大事なポイントは、対処療法ではなく、リスクを減らそうとすることである。

⑥ リスクは、「リスク＝危険性×暴露量」で表すことができ、これまでは暴露量を減らすことでリスクを減らそうとしてきたが、グリーンケミストリーでは、危険性を減らそうともしている。その精神を表す12か条があり、暴露量、廃棄物、危険性それぞれの低減をねらいとしている

⑦ 判断・意思決定に役立つ科学的な見方や考え方が一般市民にも必要な素養となってきた。

以上をさらに、リスク評価と環境基準についての①②をⅠ、一般市民の今後のあり方の記述の③④⑦をⅡ、グリーンケミストリーとリスクについての⑤⑥をⅢとしてまとめて、論点の3本の柱と考えた。

そして、これら論旨の適切性の等級付けは、表1のように、「許容できない範囲である」の1から、「すばらしいできである」の4まで、4段階で評価した。

結果は、1が0%、2が12%、3が40%、4が48%であった。

次に、論理の一貫性については、表1のように文の展開と内容をふまえて等級分けして評価した。

結果は、1が0%、2が20%、3が48%、4が32%であった。

表1. 要約部分の評価用のルーブリック

規準	等級付け	許容できない範囲である：1	何とか許容できる範囲である：2	おおむねよいできである：3	すばらしいできである：4
論旨の適切性		論点のⅠ～Ⅲが全く記述されていないか、または、内容の読み違え	Ⅰ～Ⅲの論点のうちの一つのみが記述されている	Ⅰ～Ⅲの論点のうち二つが記述されている	Ⅰ～Ⅲの論点がすべて記述されている
論理の一貫性		簡潔すぎる、または内容の読み違え	ワークシートの文章中の文、またはその文の一部をそのまま引用し、順に並べた。または箇条書き	各要点がまとめられていて、文と文とが接続詞や代名詞などで有機的につながっている	各要点がよくまとめられていて、文と文とが接続詞や代名詞などで十分有機的につながっている

5-1 (資料)ワークシート5「グリーンケミストリーとリスク評価」の要約

記述内容	文章の展開		
	論旨の適切な導き出しの導き出し	論旨の一貫性の導き出し	
1. 環境汚染に対するリスク評価としては、「バックグラウンド法」「バランス法」「比較法」「リスク-便益法」の4つが考えられる。 グリーンケミストリーとは、環境汚染を防止、化学物質の合成や設計をする化学であり、汚染してから処理ではなく、そのものの発生を断つための原理と方法論のことであり、現在ナノケミストリーとともに注目を浴びている分野である。 リスク=危険性×暴露量で表され、グリーンケミストリーは、危険性を減らすことでリスクを減らそうとするものである。 グリーンケミストリーにはその精神を表した12か条がある。	① ② ③ ④ ⑤	3	2
3. グリーンケミストリーとは、環境汚染を防止、化学物質の合成や設計をする化学であり、汚染が発生してから処理ではなく、汚染そのものの発生を断つための原理と方法論のことであり、リスク=危険性×暴露量と表すことが出来るが、これまでは産業界も社会も暴露量を減らすことでリスクを減らそうとしてきた。グリーンケミストリーでは危険性を減らすことで、リスクを減らそうとされているのである。	⑥ ⑦ ⑧	2	2
4. 環境汚染に対する環境基準は実態は、「現在の科学的知識で、普通の人とその子孫に異常がないと考えられる量」を職業人に、その100分の1を一般人に定めている。と、これからは、科学や技術が更に一般化されると考えられるので、全ての人が自然科学などに適し、意思決定に参加できることが望ましい。また、その中でグリーンケミストリーが注目されてきているが、これは環境汚染をしないように、化学物質を合成したり設計したりすることで、汚染の発生量を絶とうとすることに特色を持つ。グリーンケミストリーでは、その精神を表した12か条で、環境汚染を絶とうとしている。	⑨ ⑩ ⑪ ⑫	4	3
5. リスク評価には、バックグラウンド法、バランス法、比較法、リスク(コスト)-便益法という四つの方法がある。現在、環境基準と呼ばれているのは、普通の人やその子孫に異常が起これらないと考えられる量で、決して安全な量ではない。グリーンケミストリーは、汚染されてからのしりではなく、化学物質の合成や設計をすることで、汚染そのものを発生させないようにするものである。また、リスク=危険性×暴露量で、表され、このリスクを化学を駆使して除こうとすることも、グリーンケミストリーにおける大事なポイントの1つである。	⑬ ⑭ ⑮ ⑯	3	3
6. 化学は、以前一般市民に受け入れてもらっただけのものだったが、徐々に理解してもらいになり、最終的には一般市民にも関われるように移行していくものだ。また、研究者や技術者の立場から考えると環境汚染を防止、汚染そのものの発生を断つための原理と方法論であるグリーンケミストリーに移行してきている。また、これと並んでナノケミストリーのことも学んでいる。グリーンケミストリーにおいて大事なことは、対症療法ではなく分子の科学としての化学を駆使してリスクを減らすことである。リスクとはリスク=危険性×暴露量である。グリーンケミストリーを使えばリスクが確実に減り、暴露量が増えてもリスクが増える必要がない。	⑰ ⑱ ⑲ ⑳ ㉑	3	3

記述内容	文章の展開	論旨の適切な導き出しの導き出し	
		論旨の一貫性の導き出し	論旨の一貫性の導き出し
7. バックグラウンド法、バランス法、比較法、リスク-便益法によって、エネルギー環境問題などにリスク評価を用い、そしてこれからは一般社会における問題と科学や技術との関連が更に強くなっていくと考えられ、一般市民にも科学技術や知識が必要になっていく。そして、*****受け入れてもらえばよい、理解してもらい、そして関わるように移行していくと思われる。一方、研究者なども考え方を切り替えてきていて、その一つがグリーンケミストリー(環境にやさしい化学)であり、汚染そのものの発生を断つための原理と方法論の*****、グリーンケミストリー*****リスク(危険性×暴露量)*****をねらいとしている。	① ② ③ ④ ⑤	4	3
8. グリーンケミストリー推進の重要なポイントの一つは、リスクの除去である。リスクとは「危険性×暴露量」で表されるものであり、その評価には、四つの方法がある。グリーンケミストリーには、リスクを除くために「暴露量」「廃棄物」「危険性」の低減をねらった12か条が定められていて、今までの暴露量の低減だけでリスクを減らすという考え方と違って、危険性を減らすことにより、リスクを確実に減らし、さらに物質自体を無害にするのだから外側に物質が漏れても環境に影響を与えないのが利点である。つまり、グリーンケミストリーは「地球上にやさしい化学」といって、環境汚染を防ぐように化学物質の合成や設計する化学であり、汚染が発生してから処理ではなく、汚染そのものの発生を断つための原理と方法論のことであり、	⑥ ⑦ ⑧ ⑨ ⑩	3	4
9. これからは、一般社会における問題と科学や技術との関連がさらに強まる。つまり、技術革新においても研究者や技術者だけでなく、一般市民がその意思決定に参加する機会が増えるであろう。 グリーンケミストリーでの、手段を使えば、リスクは確実に減り、物質そのものを無害にかえていくわけだから、漏れて増えることはありえず、環境に出ても、心配はいらない。	⑪ ⑫ ⑬	3	2
10. 環境汚染に対する環境基準などが定められており、基準を越えない限りは汚染物質を放出してもよいということになっている。また、環境に対する科学技術は研究者や技術者だけではなく、一般市民などにも認識され始めている。今日では、研究者や技術者は考え方を定めてきていて、「汚染が発生してから対処」ではなく、「汚染そのものの発生を防止」という方向へと向かっている。望ましい方向へと進むためにも科学的な考え方が、研究者や技術者だけではなく一般大衆の多くの人々に必要となっている。	⑭ ⑮ ⑯ ⑰	4	3
11. 環境汚染に対するリスク評価には、バックグラウンド法、バランス法、比較法、リスク(コスト)-便益法の四つの方法が考えられており、また、環境の安全基準は、「現在の科学的知識で、普通の人の体にもその子孫にも異常が起これらないであろうと考えられる量」を職業人の限度とし、一般人はその100分の1と定めている。これらは私達一般人にも分かりやすく、環境問題について意思決定などをするとき大変有効である。また、現在の環境問題への取り組みは、研究者や技術者だけでなく、一般人の参加も必要になっている。すでに、科学技術を一般市民に受け入れてもらえばよいという考えから理解してもらおうとした考え、そして一般市民も開発に参加しようという考えも出てきている。そのため、文科系を含めた一般の人々の化学的素養が必要となってきている。一方、科学者達も、単に危険性で低い暴露量かつ廃棄物を出さないことを目的としたグリーンケミストリーの開発を盛んに行っており、汚染を防ぐ有効な手段として注目されている。	⑱ ⑲ ⑳ ㉑ ㉒ ㉓ ㉔ ㉕	4	4

記述内容	文章の位置	論文の著者	
		論文の著者(付)	論文の著者(付)
12 これからの社会では、一般人やジャーナリストも、自然科学的な素養や総合的な自然観を身につけておくことが多くの個人や社会全体に利益をもたらす方向への結論を導くために必要である。また、技術革新も、一般市民に受け入れられるだけでなく、理解してもらわなければならない。一方で、科学者や技術者はグリーンケミストリーの考え方をもち始めていて、そのグリーンケミストリーとは、環境を汚染する物質の発生を断つもので、そうすることで、リスクも減り、物質そのものが無害なので、漏れてしまっても、害が発生することはない。	①②③④⑤⑥	3	3
13 リスクとは危険性と暴露量の積で表され、環境汚染に対するリスク評価はバックグラウンド法、バランス法、比較法、リスク便益法の4つが挙げられる。汚染に対する基準は決定しているのだが、この基準は、「現在の科学的知識で、普通の人の体にも、その子孫にも異常が起こらないであろうと考えられる量」と定義されている。ところが、現在は汚染が発生してから処置をするのではなく、汚染そのものを断つための原理と方法論が注目され、これをグリーンケミストリーと呼び、ナノケミストリーとともに今日脚光を浴びている。これを推進する上で、重要なのが上に挙げたリスクを減らすため危険性と暴露量を両方減らそうとすることである。また、グリーンケミストリーには、「廃棄物を出さない」とか、「省エネを心がける」などといった12か条があり、これを極力守って実行していくことで環境に対する心配はなくなり、いわゆる、これから科学技術を発展させる上で、環境に対する配慮はなくてはならないものであり、これに役立つ科学的な見方や考え方が技術者のみならず、一般市民にも求められる。	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺	4	4
14 汚染物質そのものを発生させない方法を、最初の段階から念頭において、研究開発するように、化学者自身が意識を養えようとしているのが、グリーンケミストリーである。しかし、これからは一般社会における問題と科学技術との関連が、さらに強まっていくであろうから、社会に出て科学技術の知識が必要な対象者は、研究者や技術者ばかりでなく、ジャーナリストや一般市民も含まれるようになるのである。(Public Acceptance)から(Public Understanding)へ、さらには(Public Commitment)になるのである。また、グリーンケミストリーを推進していく大事なポイントの一つに「対症療法ではなく、分子の科学として化学を駆使して、リスク(=危険性×暴露量)を減く」というものがある。この方法だと暴露量だけでなく、危険性も減り、リスクは確実に少なくなるのである。さらにグリーンケミストリーの精神を表した12か条がある。	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺	4	4
15 自然状態との比較によるバックグラウンド法、代替比較のバランス法、違う種類の危険性と比較する比較法、利益と害との比較 リスク便益法。これらの評価法は、判断、意思決定の際に使われる。未然に防ぐというグリーンケミストリーは「ナノ」と一緒に注目されている。これは、もはや研究者、科学者だけでなく人類の問題である。そもそも自分たちが作った問題は自分たちで解決しなければならない。	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺	3	3
16 「リスク=危険性×暴露量」と表すことができる。今までは、暴露量を減らすことをまず第一に考えられ、危険性を減らすことは後回しになっていたが、これからは「危険性」を減らす=環境や人体に影響を与えない物質を利用した方法を使うことを最優先に考えていくべきだ。	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺	2	2

記述内容	文章の位置	論文の著者	
		論文の著者(付)	論文の著者(付)
17 環境汚染などに対するリスク評価として、バックグラウンド法、バランス法、比較法、リスク便益法の4つが挙げられる。これらの評価法を使い、エネルギーと環境問題など様々な判断、意思決定をする際に役立っている。環境汚染に対しては、環境基準などが決められており、人体への影響を最小限に抑えるようになっている。また、これからは、一般社会における問題と科学や技術との関連がさらに強まっていき、科学技術者とともに一般市民も主体的に科学技術に関わるように移行していくだろう。一方、研究者や技術者は、環境汚染を防ぎ、化学物質の合成や設計を行うグリーンケミストリーに注目しはじめた。このようにこれからの科学技術を望ましい方向へ進めていくためには、判断、意思決定に役立つ科学的な見方や考え方が研究者にも、技術者にも一般市民にも必要な要素となってきている。	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺	4	4
18 リスク評価とは***あるものと現在あるものを比較し、エネルギーと環境問題などいろいろな判断、意思決定をする際にも役立つ。グリーンケミストリーとは汚染が発生してから処理ではなく、汚染そのものの発生を断つ、危険性を減らす方法でリスクを減くとするものである。これからの科学技術を望ましい方向へ進めるためにも研究者や科学者だけでなく、一般市民が理解していくことが何よりも大切になってくる。	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺	4	3
19 グリーンケミストリーでは、リスク=危険性×暴露量のうちの危険性を減らそうというものである。グリーンケミストリーでの手段を言えばリスクは確実に減り、物質そのものを無害にかえていくので、漏れて増えることはありえず、環境に出ても心配はいらないことになる。このようにこれからの科学技術を望ましい方向へ進めていくためにも判断、意思決定に役立つ科学的な見方や考え方が研究者にも技術者にも一般市民にも必要な要素となってきている。	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺	3	3
20 環境汚染に対するリスク評価には4つ。(1)バックグラウンド法(2)バランス法(3)比較法(4)リスク便益法がある。一般に環境汚染等のリスクに対して基準が決まっているが、「危険性は普通の個人や社会が許せる程度に小さい。」と判断される量のことである。このリスクを減らすときに「リスク=危険性×暴露量」ということを考える。廃棄物を出さないようにしたり、プロセス計画により暴露量を減らし、無害なものを使うことにより危険性を下げることによりリスクを下げることができる。また、最近では科学や技術と一般社会のつながりが強くなっている。一般市民も交ざっていく必要がある。	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺	4	3
21 まず初めに環境汚染などに対するリスク評価としては、バックグラウンド法、バランス法、比較法、リスク便益法の4つの方法が挙げられる。また、環境汚染を防ぐ対策として環境基準が定められている。将来、一般社会における問題と科学や技術との関連が強まっていくことが考えられる。技術革新における一般市民の積極的な参加や、グリーンケミストリーの導入である。グリーンケミストリーとは、環境汚染を防ぎ、化学物質の合成をする化学であり、汚染そのものの発生(=リスク)を断つための原理と方法論である。リスク=危険性×暴露量で表されるが、グリーンケミストリーでは危険性も暴露量も減らしていくという考えを持つ。グリーンケミストリーには、その精神を表した12か条がある。このように、科学技術を望ましい方向へ進めるために判断、意思決定に役立つ科学的な見方や考え方が研究者、一般市民という枠にとらわれることなく全ての人に必要となってくる。	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨⑩⑪⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺	4	4

	記 述 内 容	文 章 の 数 目	論文の要 性の等級付け	論文の一貫 性の等級付け
22	環境汚染などに対するリスク評価法はいろいろあり判断・意思決定をする際に役立つ方法である。環境汚染に対しては、「現在の科学的知識で普通の人々の体にも、その子孫にも危険のない量」を職業人の限度に一般人の組合その100の1程度で安全を図るようにしている。ところで、科学や技術に関連した社会問題に関して判断・意思決定をする場合には、一般の人々にとっても自然科学の素養、自然観を身につけることが、多くの個人や社会に利益をもたらす重要なことと思われる。また、科学技術を一般市民に受け入れてもらえればよいという考えから理解してもらおうように変わってきている。一方研究者や技術者も考え方を切り替え始めており、その一つがグリーンケミストリーである。グリーンケミストリーとは環境汚染を防ぎ、化学物質の合成や設計をする化学であり、汚染が発生してから処理ではなく、汚染そのものの発生を断つための原理や方法論で、暴露量の低減、廃棄物の低減、危険性の低減をねらいとしているものと考えられる。	① ② ③ ④ ⑤ ⑥	4	4
23	今までに学習してきた硫酸ナトリウム工業、化石燃料の燃焼などは全て、汚染物質が外に出る際の処理、外に出ないようにする処理、汚染物質を発生させないようにする方法へと移行してきた。現在の窒素酸化物の生成による大気汚染においても同様であり、今それは外に出る際の処理の段階である。貝も環境、人間、地球にとってやさしいのは汚染物質そのものを発生させない方法である。この方法を最初の段階から念頭において、研究開発するように化学者自身が意識を遣えようとしているのが、グリーンケミストリーである。危険性×暴露量で表されるリスクを、危険性を減らすことになって、減らすということが目的であり、それを実現するには、研究者や技術者だけではなく、一般市民にも判断、意思決定に役立つ科学的見方や考え方が必要となるのである。	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	3	3
24	リスク評価には4つの方法があり、それぞれ「バックグラウンド法」「バランス法」「比較法」「リスク-利益法」である。また、このごろは科学技術を一般市民に受け入れてもらえればよい考えから理解してもらおうように変わってきている。また、研究者や技術者も考え方を置き始めている。その一つがグリーンケミストリーである。グリーンケミストリーはナノケミストリーとともに注目を浴びている分野である。グリーンケミストリーは、汚染が発生してから処理ではなく、汚染そのものの発生を断つための原理と方法論のことである。これからの科学技術は、科学的な見方や考え方が、技術者にも一般市民にも理解されたときに望ましい方向へと進んでいく。	① ② ③ ④ ⑤ ⑥ ⑦	4	4
25	医療において、患者自身の判断、意思決定が重視されるようになってきたのと同様に、エネルギーや環境問題においても、科学技術の知識が必要な対象者は、研究者や技術者ばかりでなく、一般市民も含まれるようになってきている。今までの科学技術を一般市民に受け入れてもらえればよいという考え(Public Acceptance)は、科学技術を理解してもらおう(Public Understanding)に変ってきている。これはさらに、科学技術者とともに一般市民も主体的に科学技術に関われるよう(Public Commitment)に移行していくものと考えられる。一方研究者も考え方を切り替え始めており、その一つがグリーンケミストリーである。グリーンケミストリーとは、今までの対症療法とは違い、汚染そのものの発生を断つための原理と方法論のことであり、環境問題を根本から解決するための手段として、注目を浴びている。	① ② ③ ④ ⑤ ⑥	3	3
27	今までは、社会全体として暴露量を減らすことでリスクを減らそうとしてきていたが、グリーンケミストリーでは、危険性を減らすことを優先している。この考え方は今までのものよりも環境(生物を含む)を考慮しており、確実にリスクの減少を促すことになるだろうと考えられている。廃棄物は「出してから処理」ではなく、「出さない」。	① ② ③	2	2

*22・23の左側のデータは不詳

*右文ごとに①～⑦を割出した

6 大気汚染対策教材の学習履歴シートを用いた評価 (5) —グリーンケミストリーワークシートの学習による理解の変化—

松原静郎^A, 野内頼一^B, 大平和之^C, 山本勝博^D

MATSUBARA Shizuo^A, NOUCHI Yorikazu^B, ODAIRA Kazuyuki^C, YAMAMOTO Katsuhiko^D

国立教育政策研究所^A, 茨城県立伊奈高等学校^B, 新潟県立新潟高等学校^C, 大阪府教育センター^D
キーワード: グリーンケミストリー, 中・高等学校, 化学教育, 環境教育, 評価

1 はじめに

我々は、炭酸ナトリウム工業での塩化水素や石油工業での硫黄酸化物による大気汚染とその対策について扱う教材を開発し¹⁾、汚染が発生してから処理ではなく、汚染そのものの発生を断つための原理と方法論のことであるグリーンケミストリーの考え²⁾を、事例を通して考える教材とした。この教材のワークシート(以後WSと記す)1~4までで具体的な事例を扱い、WS5でグリーンケミストリーの意味とリスク評価について解説した。WS5の解説が生徒の理解にどのような影響を与えたか、WS5の学習前後の感想欄に記載された内容から分析を試みた。

2 調査の方法

高校生に対して本教材を実践し、グリーンケミストリー(以下、GSCと記す)に関するワークシートであるWS5を学習した後に記載された「学習の感想」(以下、GSC感想と記す)を、事例を扱ったWS1~4を学習した時点で記載された「学習の振り返り」および「学習の感想」(以下、事例感想と記す)と比べた。

調査対象生徒は、公立A高等学校2年生(総合学習7校時)と公立C高等学校3年生(化学Ⅱ課題研究10校時)であり、2003年度に実践された。

3 結果と考察

感想の内容としては、環境問題と対策についての「環境問題は努力して改善されてきた(未解決の問題が残っている)」や、その将来についての内容である「環境問題は改善できる、希望が持てる(環境問題の解決は難しい、未来が心配)」、また、環境問題に対する意識を示す「有害物を出さないことが重要」、「一般人も環境を心がけるべき」、「自分でも環境に関する活動をしたい」など、さらに、本教材に対する意見を述べた「学習内容がためになった(学習内容が難しかった)」、

表1 感想に記載の内容

学校	欄*	環境対策	問題意識	教材意識
A高校 14名	事例	4 (3)	8 (1)	13 (3)
	GSC	4 (2)	7	11 (2)
C高校 16名	事例	4 (7)	9 (1)	16 (3)
	GSC	10 (5)	16	5 (1)

注) ()内は負の意識を記載した数。欄*の「事例」はWS5の実施前、「GSC」は実施後の感想欄を指す。

「勉強が充実していた」など種々の記載があった。

GSC感想の記載内容は、A高校ではWS5の学習内容に特定されず、WS1~4で学習した内容を含めて記載されており、その数も表1にあるとおり、事例感想と類似していた。一方、C高校では対照的にWS5での学習内容の記載も多く、内容別の記載数も事例感想と異なっていた(表1)。

本教材を実施するにあたって、A高校では、第1回の授業においてGSCの基本的な考え方が、この教材の学習の目的とともに説明されていた。他方、C高校では第1回の授業において学習の目的等については説明されたが、GSCの考えについてはこの時点で特別な説明はなされず、第10回(最終回)の授業でWS5を輪読させた後、説明が加えられていた。このような授業の流れにより両校のGSC感想に違いが現れたと考えられる。

事前にGSCの説明がなかったC高校の結果から、WS5でGSCやリスク評価に関する考えを知ることにより科学や技術に対して前向きな理解が増したと考えられる。

なお、本研究の一部は科学研究費基盤研究(B)(課題番号14380066、代表松原静郎)による。

- 1) 松原静郎他『グリーンケミストリーに関する学習教材、実験教材の開発』科研費中間報告書(2004)
- 2) 渡辺正他訳『グリーンケミストリー』丸善(1999)

大気汚染対策教材

- 炭酸ナトリウム工業(塩化水素)や石油工業(硫黄酸化物)等での大気汚染と対策に関する教材
 - WS1~4: 汚染が発生してからの処理ではなく、汚染そのものの発生を断つための原理と方法論であるグリーンケミストリー-GSCの考えを、事例を通して考える教材
 - WS5: GSCとリスク評価について解説
- WS5の解説が生徒の理解に与えた影響を、WS5学習前後の感想から分析を試みた。

調査方法と調査対象

- 感想の比較
 - グリーンケミストリー(GSC)に関するWS5学習後「学習の感想」(GSC感想)
 - 事例を扱ったWS1~4学習時での「学習のふり返り」および「学習の感想」(事例感想)
- 調査対象生徒(2003年度に実施);
 - 公立A高等学校2年生(総合学習7校時)
 - 公立C高等学校3年生(化学Ⅱ課題研究10校時)

記載された感想の内容

- 環境問題と対策: 「環境問題は努力して改善されてきた(未解決の問題が残っている)」、その将来について「環境問題は改善できる、希望が持てる(環境問題の解決は難しい、未来が心配)」
- 環境問題に対する意識: 「有害物を出さないことが重要」、「一般人も環境を心がけるべき」、「自分でも環境に関する活動をしたい」
- 本教材に対する意見: 「学習内容がためになった(学習内容が難しかった)」、「勉強が充実していた」

感想に記載の内容

学校	感想種	環境対策	問題意識	教材意識
A高校 14名	事例(WS1~4)	4(3)	8(1)	13(3)
	GSC(WS5)	4(2)	7	11(2)
C高校 16名	事例(WS1~4)	4(7)	9(1)	16(3)
	GSC(WS5)	10(5)	16	5(1)

授業の流れ

- A高校: GSCの基本的な考え方は、第1回の授業において、この教材の学習の目的とともに説明されていた。
- C高校: 第1回の授業においては学習の目的等について説明された。
GSCの考えについては、第10回(最終回)の授業でWS5を輪読させた後、説明が加えられていた。

グリーンケミストリーシートの影響

- 授業の流れの違いにより、両校のGSC感想に違いが現れたと考えられる。
- 事前にGSCの説明がなかったC高校の結果から、WS5でGSCやリスク評価に関する考えを知ることにより科学や技術に対して前向きな理解が増したと考えられる。

6-1 感想に記載された内容の分類

記載内容	記載内容の細分	記載例	
		+	#NAME?
環境問題と対策	H 歴史的	環境問題は努力して改善されてきた	昔から環境問題があった
	N 現状	科学技術で環境問題を解決できる	未解決の問題が残っている
	R 安全とリスク(両面)	安全率など安全に配慮されている	汚染など環境問題は怖いものである
	F 将来	環境問題は改善できる(希望がもてる) 科学者や他の人に期待したい (良い方向に進むと良い)	環境問題の解決は難しい(未来が心配)
環境問題に対する意識	S 認識	環境問題に対する認識が変わった 理科学習の意義に気づかされた 化学の不思議さを知った	自分で発生させた公害を自分で解決する矛盾
	G GSC	有害物を出さないことが重要	
	V 価値	一般人も心がけるべき	
	W 意欲	自分でも活動したい 取り組めることがあったら参考にしたい	
教材に対する意見	L 教材に対する評価	学習内容ためになった 意識が高まった	学習内容難しかった
	I 教材に対する取り組み	まじめに取り組めた(興味を持てた) 充実していた	うまくいかなかった

6・2 各生徒の記載内容の分類

A高	H	N	R	F	S	G	V	W	L	I	H	N	R	F	S	G	V	W	L	I
1 IN					S				L						S					
2 II		N	R-						L					F						
3 U	H							W			H					G				L
4 K					S					I										L
5 S										I					S					
6 T					S-			W										W		L
7 N									L						S					L
8 Na							V		L											L± I
9 K									L											L I
10 Ko	H								L-	I										L-I
11 Kb									L	I								W		L
12 S								W	L±				R±							I
13 H	H-		R-	F						I-			R-							
14 Y					S			W	L	I				F				W		
2(1)	1	-2	1	3(1)			1	4	8(2)	5(1)	1		1(2)	2	3	1		3	7(2)	4
1	1(2)	2	3	1				3	7(2)	4										
		4(3)						8(1)		13(3)										
		4(2)						7		11(2)										

C高	H	N	R	F	S	G	V	W	L	I	H	N	R	F	S	G	V	W	L	I
1 A									L±					F	S					L-
2 B				F-				W	L				R±	F				W		
3 C		N-	R-			G	V						R			G	V	W		
4 D	H				S				L		H							W		
5 E		N-			S						H						V			
6 F		N-					V		L			N-					V			
7 G							V-		L								V	W		
8 H									L±					F				W		
9 I	H							W	L					F-		G				
10 J									L											L
11 K	H±								L±	I	H-	N-								L
12 L				F					L	I				F		G				
13 M									L	I							V			
14 N							V													I
15 O							V		L		H							W	L	
16 P	H-								L		H							W	L	
3(2)	-3	-1	1(5)		2	1	4(1)	2	13(3)	3	4(1)	-2	2(1)	4(1)	1	3	5	7	4(1)	1
4(1)	-2	2(1)	4(3)		1	3	5	7	4(1)	1										
		4(7)						9(1)		16(3)										
		1								5(1)										

6-3 A高での感想記載例

A高	事例感想	GSC感想	
IN	<p>振り返り 大気汚染に対するものの見方が学習前より深くなった。</p>	<p>感想 化学という教科を勉強する意義に気づかされた。よりよい環境の中で生活するために化学との上手なつきあい方を考えなければならない。</p>	<p>グリーンケミストリーの学習を通して大気に対するものの見方考え方が大きく変わった。</p>
II	<p>学習の前と後では、いくらか環境についての意識は高まったように思う。ワークシートでは今まで知らなかったことをいろいろ学習できた。4の家庭の暖房については知ってよかった。</p>	<p>公害が発生してもさらに新たな技術によって抑えることができることには感心した。ただNO2などはとても恐ろしいのでできれば出したいくないと思っただ。</p>	<p>ここでグリーンケミストリーについて学習する事で、具体的な例を知ってより身近に考える事ができたり、公害の解決ということで希望が持てた。</p>
U	<p>この講座を受ける前と後では地球環境問題に対する考えが変わったように思います。資料をもとにまとめもできているようだが自分で考える部分も少しあっても良かったと思います。簡潔に資料がまとめられていればなお良かったと思います。</p>	<p>大気汚染についての歴史的やそのときどんな対処をして改善していったかという知識が入りとても勉強になりました。今回学んだことは、とても専門的なことが多いですが自分でも何か取り組めることあったら今回の講座を参考にしたいと思います。</p>	<p>学習前はたくさんの環境汚染の問題が発生して多大な被害を残していったことは良く知っていましたが、どうもその解決方法まではわからずなんとなく解決したんだなと思っていました。ですが、学習をして昔の化学者たちの開発した画期的な方法や失敗を繰り返さないように改良した方法などで多くの問題が解決したことがわかりました。毎回とても得るものが多くあったように思います。やはり、これから必要なことは、まず、汚染物質を出さないこと。そして反応の行程をサイクル化して無駄なものを出さないことだと思います。原子力発電など今の段階ではこの条件と正反対の事を行っている技術がたくさんあり、また多用していると思います。地球にも寿命はあると思いますが、だからといってそれを早めることは絶対にしてはならないことではないでしょうか。そのために必要なことを今回の学習で理解することができたように思います。</p>
K	<p>それぞれの授業でいろいろ学んだことを具体的に書いていないがさまざまな問題の悪かったところや改善点、解決策についてはある程度まとめてあると思う。</p>	<p>化学反応などの方で害のあるものが無害なものになったりまたその逆もあるのは不思議に思った。同じ物質でもくっついたりをはがれたりするだけで効果が変わるのがすごい。</p>	<p>環境には興味があったが具体的な例をここまで深く見たのは初めてだった。たくさんの新たな知識が得られて良かったと思った。あと実験のときはとても楽しかった。心なしか先生もとても楽しそうに見えた。</p>
S	<p>苦手な化学の分野であったが自分なりにしっかり取り組めたと思う。</p>	<p>化学の分野のことなのではじめは抵抗があったが意外と身近なこともあったのでちゃんとできたと思う。</p>	<p>今まで環境問題がああだこうだといいつつ自分で考えたりせずに科学技術のせいにしてきた。でも今回の講座のおかげで科学技術が身近に感じる事ができたり、普通に生活していたらわからないことも分かった。参加してよかった。</p>
T	<p>最初のほうは要点がよく見えていたけれど夏休みを挟んで2学期になるとようやくも短くなってしまった。</p>	<p>人間達が自分たちで発生させた公害を自分たちで解決するという矛盾がそもそもおかしい。とは言っても放っておけないことだからみんなでもうにか取り組んでいきたい。</p>	<p>文系の立場でアドグルを選んだことは自分にとってすばらしい経験と知識を与えてくれた。いま自分太刀に直面している問題でもなんとも思わない今の社会。その中で住んでいる僕たちってなんだろうと思う。よりよい未来に向かっていかなきゃと実感させられる時間だった。</p>
N	<p>最初は大気汚染について何も知らなかったが回を追うごとにだんだんと過去の歴史とかも知ることができた。</p>	<p>グリーンケミストリーって何をやるのかがよくわからなかったが、何となくわかった。</p>	<p>「グリーンケミストリー」を勉強して、その考え方や過去の歴史とかもわかり、とてもためになった。元素の周期表を日本では「水兵リーベ...」とか暗記するが、アメリカや韓国など世界の他の国でも同じような暗記をしているらしい。ただ、周期表発祥の地(?)ドイツではそういう覚え方は存在しないらしい。そこではどんな教育が行われているかは知らないが、日本も今回自分たちが学んだ「グリーンケミストリー」のような内容こそ授業でやるようにすれば、科学(化学)に対する意欲やモチベーションもあがり、「水兵リーベ...」なんて覚え方を教えなくても周期表ぐらい覚えているような時代がくるかもしれないと思った。</p>

A高	事例感想		GSC感想
Na	振り返り 過去に発生し現在では解決された大気汚染から現代の大気汚染までその原因や解決法などを一気に勉強でき充実した学習ができたと思う。	感想 上にも書いたが大切な大気をこれ以上汚染しては必ずまた浄化につとめるべきだと思う。	グリーンケミストリーという名前に興味を持ち、この講座を選んだが、内容はとてもヘビーなものだった。だが、自分なりに精一杯頑張ってグリーンケミストリーについて学ぶことができた。とても有意義なものになったと思う。このような機会ではないとグリーンケミストリーを知ることができないと思う。これからの人生に直接的な影響はないかもしれないが、進路洗濯や就職の際に参考の材料にできたら良いと思う。
K	資料を参考に良くまとまったと思うが内容不足というところも多少見られた。	授業が少なかったがグリーンケミストリーの本質は少なからず理解できたと思う。	過去に起こった公害問題とその対策について学ぶことでグリーンケミストリーの本質を少しずつ理解することができた。これまで学んできたことは、地球規模の大きい問題であるが、意外に身近な問題であると思った。興味深いことで学べてとても充実したものだ。ただ授業数が少なかったのが非常に残念である。
Ko	毎時間大変だったが良く取り組めたと思う。	環境汚染の歴史はどの問題も似たようなところを持っていて高煙突による拡散が水に溶かして捨てるなど失敗をしていた。しかし化学反応を利用して、新たな技術を用いて解決していく過程がとても興味深いものであった。	とにかく毎時間大変だったが元々興味はあったものなので意欲的に学習できたと思う。
Kb	資料をもとにして自分なりに詳しく調べ上げる事ができた。化学図表などを使う事によって深い学習ができたと思う。	週に1回の授業だったので各回各回の問題点の結びつき流れが悪かった。しかし、全体を振り返って今まで単語としてしか知らなかった大気汚染について経緯、原因、物質など細かく知ることができて、とても学習になった。	学習を始める前、用語としてしか知らなかった四日市喘息、足尾銅山などの公害問題、公害の経緯、原因物質など、社会的視点だけでなく、科学的な視点で学ぶ事ができた。今まであまり身近に感じ無かった公害という者を身近に考える事ができた。今回の学習をいかし、将来仕事をもつようになったらグリーンケミストリーを思い出し、環境にやさしい人間でありたい。
S	ワークシートを通して大気汚染について詳しく知り、理解する事ができたので良かったと思う。	難しい事もあったが全体の流れをつかむ事ができたので今回の学習を何か実生活に生かすことができれば良いと思う。	科学技術のこれまでの発達というのはとても急速であったのを知り、また、環境とのかかわりがとても難しいということも分かりました。今まで考えた事の無い物ばかりでとても自分にとって良い勉強になりました。今回このような問題について考えるいい機会がもてとてもよかったです。
H	毎回シートの要点を書くはずだったけれどあまりうまくいかなかったと思う。後で見直す時に自分がやってきた事がしっかりと理解できるようにするのができなかったのが残念だった。	硫黄や窒素の大気汚染の前に塩化水素の汚染があったことは知らなかった。硫黄や窒素も塩化水素のような解決法があると思うのではやくそれを見つけれたらと思う。大気の恐ろしさがよくわかった。	毎回プリントからそれらの気体の危険性を予想していたけれど前回本当の気体を見せてもらって改めてそれらの気体の危険性が分かった。ちょっとプリントばかりで飽きてしまう部分もあるのでもっと浄化反応とかももっと見せてもらいたかった。でも楽しいアドグルだった。
Y	学習前に比べてずいぶんさまざまな事を知ることができた。大気汚染に対する認識を再確認、あるいは改善する事ができたと言えると思う。	一言で言うならば、「楽しかった。」元々このものにはかなり関心があったので大変有意義な時間を多く過ごせたといえるだろう。大学へ行ってこの切り口でこの問題を見てみようという気にもなった。	この学習を通して環境問題はやはり化学で解決できるものであると確認する事ができた。化学に関わる問題はエネルギー問題や資源など環境のほかにも様々なものがあるがここで学んだ事を活かして将来これらの問題解決の一端を担っていったら良いと思う。

6-4 C高での感想記載例

C高	事例感想		GSC感想
	振り返り	感想	
A	始める前から思っていた通り難しく、内容が多かった。その結果細かいところまで詳しく知ることができた。	自分には余り向かない作業だと思った。	内容が少し複雑で難しかったけれど、今まで口だけで、非難してきた環境汚染などは、私たちの身近なところからでも、変えていくことができるのだと改めて、実感した。私は化学の分野はとくではないけれど、その道をこれから進んでいく人々には大いに期待したい。
B	学習前まではそれほど深い内容は勉強していなかったのでよくわからなかったけれど、公害問題についてのことをこの化学で勉強したら、結構歴史があって「そんな前があったのか」と思い、とても感心しました。これからは、自分もこういう問題を起こさないようにがんばろうと思いました。	今回、この課題を学習してとてもためになったなあとおもいました。僕も今年から東京の近くまで行くので身近なところで起こったイヤだなとつくづく思いました。	今回の勉強では、野菜で使う農薬のことがありました。僕の家の人も、農薬を営んでいるので、農薬は使っています。これを使うと使わないとでは、野菜の出来に大きく携わるといのは分かっています。だけど、本当のところは使わないで新鮮な野菜を作って欲しいと思っています。この問題はこれからの将来の問題だと思っています。いつか、農薬を使わずに、新鮮な野菜をたくさん採るといことが出来るにはどんなことをすればいいのか、まだ、わかりませんが、自分も何か考えてみたいと思いました。
C	最初は、大気汚染について真面目に考えたこともあまりなく、よく分からなかった。学習していき、大気汚染対策についてみると、結局は同じような問題が起こったりして、解決するのは大変なんだと思った。でも、まず有害物質を出さないという考えが大切だと分かった。人間活動が活発になった事により、大気汚染は増えているので、生活が豊かになる反面、大気汚染についてしっかり考えていかなければならないと思った。	大気汚染物質や酸性雨の怖さや大気汚染による被害の様子などを知り、これからは大気汚染の事をもっと考えていかなければいけないと感じた。車と言う身近な物からも、大気汚染が発生していると改めて考えると、恐いと思った。	環境汚染などに対する環境基準の一般の人の限度は、職業人の1/100程度としていることを初めて知り、安全に考えられているんだなと思った。だが、やはりそれだけ環境汚染は恐いものだと改められて感じた。人間活動で生じた問題は、一人一人がしっかり考え、協力して解決していかなければならないと思った。グリーンケミストリーという考えがあるのだから、それを心がけていけば、汚染を防ぎ、住みよい環境は守られていくのだと思う。これからは、環境の事をよく考えて、省エネなど自分に出来ることはやっていこうと思う。
D	学習前はあまり大気汚染の原因物質はよく分かっていなかった。しかし学習中、大気汚染の分からなかったことが次々と出てきたとき、僕は大気汚染を認識する目が少し変わったような気がした。学習後、僕はめったに学ぶことがない、大気汚染の知識を学べてよかった。	今まで僕にとって大気汚染は人が生きるためにはやむをえないことだと思っていた。しかし学習中資料を見ると色々な解決策または改善策があったので、この大気汚染は僕達人に課題を与えるために必要なものではないかと僕は思った。昔の人たちの努力によって今の世界があることを知れて、とてもいい経験だった。	僕は初めこの授業を受ける前、環境汚染は人が生きていけるためには、最低限おこなうことであり、産業が発達するためにはやむをえないことだと思っていた。しかし、学習中、先人達が行ってきた対策案、有害物質を無害化することなど様々な視点から学んでみたら、先人達は苦労して環境汚染の対策案を作っていたんだなあとは僕は実感した。僕は環境に携わる仕事に就きたいと考えているので、この授業で学んだ知識を生かせるように、この先、精一杯努力したいと思う。
B	今は学習前と比べると環境問題について少しは化学的に見るようになったのではないかなと思う。	今まではただ「有害な物質を出さなければいい」と安易な気持ちで思っていたが、今回の学習でそれが簡単なことではないことがわかった。	昔はやみくもに技術の向上だけにつめていたと思ったが、意外と環境問題についても考えていたことがわかり、ホッとした。さらに、最近の一般社会では、科学や技術を知らないとは言えない。最低限知っていなければならない知識があると思った。たとえ知らなくても知ろうとすることが大切だとわかった。例えば、医療についてだ。最近では、患者自身が決めることが多い中、医者から様々な自分に行われる治療などについて聞いておく必要があると思う。とくにリスクなどについては知っておく必要があるだろう。その辺りを、自分は学んだと思う。それ以外でもちろん。
F	学習前は大気汚染などを引き起こす物質や過去に起きた有害物質問題はほとんど知らなかった。でもそのことについて調べてみると、現代に残されている問題やそれに対して現在どんな対策がとられているかなど、自然環境について知ることができたと思います。	温暖化や森林伐採など、まだ深刻な問題が残されているけれど、私が思ったのは、工場や車の排出ガスを少なくすることだけでなく、一人一人が環境について深く考え、身の回りを見直すことが大切なことなのかもしれないと思いました。	化学が進むと便利な世の中になる分、環境汚染や廃棄物の処理など、今後の課題がたくさん残されている。グリーンケミストリーについて学習してみて、職業に関係なく、一人一人環境について話し合ったり、ゴミを減らすなど自然を大切にしようとする心がけが大事だと思いました。
G	工場で有毒ガスを出さないことも大事だけれど、もっと世界が平和であるよう、化学実験などをやめるべきだと思ふ。地球を大切にしようと思った。	酸性雨などの原因やそれに対する対策などを知ることができたのでよかった。	もっともっと自然を大事にしようと思ったし、してほしいと思った。科学者たちがなんとかするんじゃないかと、人一人一人がなんとかしないとダメだと思った。これまで勉強したことは知識として将来何かに役立てればいいと思いました。

C高	事例感想	GSC感想	
H	振り返り 学習前比べるとたぶん成長している	自分に難しすぎたけれど、いい勉強になったと思うし、少しでも頭に入ってくれたので、良かった。	「化学は人の暮らしを良くし、楽にしてくれる」どこかで聞いたセリフですけど、今、現在は無理に近いけど、ACとか身近な所から地球をきれいにしていこうという公共団体、教員少ないキレイな心の持ち主、今はこれくらいしかできないかもしれないけど、そのうち、良くなっていくことを信じて生活していき、自分も大気汚染だけではなく「よごす」という単語がないように生活していこうと思います。
I	学習前は本当に大気汚染について何も知らなかったと思う。学習中は次々に出てくる環境問題に人々がどう対処してきたのかわかって、勉強になった。学習後、いまだに不足することのない大気汚染問題で、自分が環境問題について解決策を考えてみたけれど、やっぱり難しかった。	難しかった。自分がどれだけ環境問題について知らなかったかを思い知らされました。今後はもっと考えていきたいですね。いずれ自分も車を運転するようになるので、排気量などを気にかけたいです。	初めて、グリーンケミストリーという言葉を知りました。12ヶ条はすべて大事だと思いました。これからの世界にとって環境を考えていく化学は必要だと思いました。特に12ヶ条の中の1、廃棄物は「出してから処理」ではなく、「出さない」というのは一番今の環境にとって重要だと思います。環境汚染が今だに進みつつあるのに、まだ解決策が決まらないのは、この先の未来が心配です。
J	大気汚染というものについて、かなりの学力がついたと思う。	人間が楽をしよう、楽をしようとした結果だと思った	大気汚染については、なんか大まかには分かっていたがごまかい所までは、知らなかったけど、学習してみて、すごく中身がわかった。とてもいい授業だったと思う。
K	学習前は深い知識でした。しかし学習していく中で、今まで知っていたことがより深くなり、新しいことを発見することができました。学習したことで環境問題だけでなく、自分自身の考えをまとめるという力が少しは身についたと思いました。	環境問題の奥深さだけでなく、問題を乗り越えていくといたさまざまな人間の面を見ることができたと思います。楽しい授業でした。でも脳みそフル回転でしたが。	学習しての感想は、人と自然の調和の難しさ。口語で表現しますと、公害ありすぎ。(+環境汚染)「そんな昔から発生してたんだ」と思いました。そして、問題が発生してから国によっての対応の差が目立った気がしました。何より、日本の環境に対しての配慮のなさ……。足尾銅山の遊水池は、公害のための対処ではなく「洪水」のためだけのものというのには驚きました。それに環境庁をもう少し早く設立させてもいいのでは?と思いました。1893年の頃は、戦時中で、それどころじゃなかったかもしれませんが、1961年四日市でぜん息の患者さんが多発しはじめたあたりから設立してもいいと思うのです。あー、日本、対応が遅いよ……。薬害エイズも遅かったけれど、もう少し早くしても……。話がずれました……。そういうような感じで、マイペースすぎる速度で、じっくりと環境問題について学ばせてもらいました。国内だけでなく、国外で発生した問題も知れて、ためになりました。また、環境問題は、化学だけでなく、生物などとも関係があり、奥が深い問題だと思いました。最後に、字が読みづらい上に、口語を使ってしまったり使わなかったり、訳の解らない文ですみません。1年間ありがとうございました。
L	学習前、大気汚染という言葉はただ地球に悪いだけだと思っていただけで、学習してみて大気汚染にはいろいろな物質でできているんだと学び、初めよりは大気汚染について詳しくなった気がする。良い方向へ進むといいな。	ワークシートを行ってみて、今までの授業と違って自分で調べて自分で調べてと何もかも自分でやっていたので、調べる力がついたと思う。	グリーンケミストリーは、「物質そのものを無害にかえていく。濃れて増えることはありえず、環境に出しても心配はいらない。」と書いてあり、グリーンケミストリーをつかえば環境汚染も少しは減ってくれるはずだと思う。
M	小、中学校と環境問題についての学習はしてきたけれど、今回の「自分でやる」というのは初めてだった。みんなで考えるのもよいが、自分で学習していくのも違った良さがあると思った。	今まで環境汚染について、こんなにくわしく勉強したことはなかったのだから、初めはとまどったけど、とても勉強になった。これからの自分の考えにも生かしていきたい。	このような学習を通して、環境について考えるのも大切なことですが、一般市民、全員が環境や問題点について考えることのできる環境作りが大切なんだと思います。いろいろな環境汚染の問題が出ている今、原因を作ってしまった人間である私たちが、これから先、長くつきあっていく事だと思いました。
N	これからどういう風にしていけばいいか考えさせられる。	たまには、こういうレポートを書くのもいい。	最後の化学の授業でこういうものが書けてよかった。今までやってきた授業の中で一番まじめにやったと思う。最後に3年間ありがとうございました。
O	学習前はそんなに考えたことはなかったけれど、もっと大気汚染について考えたほうがいいんじゃないかなあと思った。すごく勉強になった。	ずっと自分の住んでいる地球だから、もっともっと大切にしていってほしいなと思った。	・本当にグリーンケミストリーを考えるなら絶対よくなると思う。 ・自分でできることを少しずつやっていこうと思う。 ・最近の事ですが、亜硫酸ガスの問題が出てきたみたいで、また、自然環境が悪くなり、人体の影響なども危ないと思った。 ・あんまり書いてないけどこれ以上書けない……。もう卒業かあ……。早いもんですねえ。今まで2年間ありがとうございました。
P	学習前では深く考えていなかったけれど、学習中や学習後を振り返ったら大気汚染は人間が作っていると思う。	環境のことが少しわかってよかったと思う。	自分たちの知らないところで環境汚染に対する方法があるなんて知らなかった。自分も地球のためにグリーンケミストリーに協力できたらいいなあと思う。すこし、地球環境の事を知ってよかったと思う。

7 GSC教材の実践報告

— 高等学校の小論文指導を目的とした課題としての実践 —

森永 順治, 蒲原 正憲

1 調査について

- (1) 調査対象生徒 公立H高校 2年生 「化学I B」履修生徒20名
- (2) 調査期間 平成16年3月12日～24日
- (3) 調査の方法と目的

調査校では理系の生徒は化学I Bを履修している。調査時期は、学校において入学試験が行われており、自宅学習や自習が多いため、その間の課題としてGSC教材を、すべて自習形式で実施することとした。授業でも無機化合物の授業を実施中で、硫黄酸化物や窒素酸化物、オゾンの学習に際して、環境問題に関する解説も行っており、これらの学習内容の定着と深化を図りたいと考えた。

また、調査校は総合的学習の時間の取り組みとして、2年生の3学期より小論文指導を実施している。卒業後の国公立大学への進学者が全体の25%程度を占めており、推薦入試や個別学力試験における小論文対策も重視されている。環境問題に関しては、理系の出題傾向の一つとして確立されており、生徒への指導は欠かせないものになっている。最近ではGSCに関する出題も見受けられるようになり、実際の例としては、2003年度の熊本大学工学部物質生命化学科の後期試験で、次のような問題が出された。

製品設計、原料選択、製造方法、使用方法、リサイクルなどの製品の全ライフサイクルを見通した技術革新により、人と環境の健康・安全、省資源・省エネルギーなどを実現する化学技術である「グリーンケミストリー」が求められています。グリーンケミストリーとしてどのような技術が開発されるべきかを自由な発想で論述しなさい。

今回の調査を行うにあたっては、生徒にこの問題を紹介し意識付けを行ってから、ワークシートに取り組みさせた。本教材はグラフ・データ・資料から情報を読み取る力や、文章表現力など小論文を書くために欠かせない能力の伸長を図れると考えた。

2 学習履歴シートの記述内容の考察

今回の課題において生徒より提出された学習履歴シートの記述から、今回の実践が文章表現力に何らかの影響を与えることができたかどうかを検討する。

学習の前後における文章表現力に変化がみられたかを調べるために、学習履歴シートの『「大気汚染」という語を使って文を三つ書いて下さい。』という課題を比較してみた。

学習前の生徒の記述内容をまとめると、

- ① 漠然とした原因（排気ガスが原因、人間の生活が原因など）
- ② 現象（地球温暖化、酸性雨、オゾンホール、森林破壊など）
- ③ 影響（生態系が狂う、災害などによる被害、命にかかわるなど）

④ 原因物質 (SO_x, NO_xなど)

の4つに分類できた。

学習後の生徒の記述には、項目の増加や内容の深化がみられ、まとめると、

- ⑤ 文字数の増加
- ⑥ 具体的な大気汚染の例
- ⑦ 予防策・解決策
- ⑧ 将来の展望
- ⑨ 具体的な原因 (原因物質を含む)

の5つに分類できた。

生徒	学習前					学習後					
	① 漠然とした原因	② 現象	③ 影響	④ 原因物質	その他	⑤ 文字数の増加	⑥ 具体的な例	⑦ 予防策・解決策	⑧ 将来の展望	⑨ 具体的な原因	その他
A	○				○	○			○	○	
B		○		○		○	○			○	
C		○	○			○		○	○		
D			○					○	○	○	
E	○	○	○	○				○			
F	○		○					○			
G	○	○	○					○	○	○	
H		○			○		○			○	
I	○	○				○	○	○		○	
J	○	○	○			○	○			○	
K		○		○				○	○	○	
L		○	○	○				○	○	○	
M			○			○			○		
N	○	○					○			○	
O	○	○						○	○	○	
P		○			○			○	○		○
Q	○		○		○	○	○	○	○		
R	○				○	○	○			○	
S	○	○		○				○		○	○
T		○									
計	11	14	9	5	5	8	7	12	10	13	2

学習前の文章では、「大気汚染」という言葉は書き出しで使われ、短い文での記述が多かった。しかし、学習後は文章内に取り込んで使われるようになり、内容の深化と記述している項目の増加がみられた。また、字数が増えていない生徒では、より難しい用語を使用するようになっていた。さらに、将来の展望など時制にも幅が出ていた。

3 学習履歴シート2の記述内容の考察

(1) 学習履歴シート2-1の回答

設問は「その5で学習した内容の要約してください。」であり、小論文において内容の要約は大変重要である。今回は字数制限をしていないため、こまかな内容まで要約に入れた生徒も見られた。

生徒の記述内容を分類すると、

- ① 環境汚染などに対するリスク評価の種類
- ② 環境汚染に対しての環境基準
- ③ リスク＝危険性×曝露量の式
- ④ グリーンケミストリーの12か条
- ⑤ 科学技術に関連した社会問題や科学技術の推進に関して判断・意志決定する場合に、科学技術者とともに一般市民も主体的役割を担うようになること
- ⑥ グリーンケミストリーがリスクを減らすために、従来の曝露量を減らすことに加えて、廃棄物の量の低減と危険性の低減を行っていること
- ⑦ グリーンケミストリーが推進されていること

以上の7つになる。

	①リスク評価	②環境基準	③式	④12か条	⑤一般市民	⑥GSCの リスク低減	⑦GSCの 推進
A					○		○
B			○			○	
C					○		○
D	○		○	○			
E							○
F			○		○	○	
G			○				
H			○			○	
I			○		○	○	
J					○	○	
K		○			○		
L					○	○	
M							○
N	○						○
O	○	○				○	
P						○	
Q		○		○			
R			○				○
S	○				○		○
T					○		○
計	4	3	7	2	9	8	8

上の表のように記述内容にばらつきがあり、要約を苦手としている生徒が多いことが分かった。小論文の指導としては、⑤と⑥の内容が含まれているものをワークシート5の要約の例として抜粋し、他の生徒に示した。

(生徒 F)

科学技術は「一般市民に受け入れてもらえればよい」から「理解してもらおう」へと進化しており、さらには「一般市民も主体的に関わろう」へと移行すると考えられている。グリーンケミストリー（環境に優しい化学）とは、従来の汚染が発生してから処理の仕方を考えるのではなく、汚染そのものの発生を断っていかうとする考え方である。

リスク＝危険性×暴露量（危険にさらされる人数と汚染の程度）

グリーンケミストリーでは危険性を減らすことでリスクを確実に減らし自然への影響を減らすことができる。

(生徒 I)

医療では、インフォームド・コンセントに象徴されるように患者自身の判断・意思決定が重視されるようになってきた。エネルギーや環境の問題でも同様である。社会に出て科学技術の知識が必要な対象者は、研究者や技術者ばかりでなく、ジャーナリストや一般市民も含まれるようになってきている。

グリーンケミストリーとは環境汚染を防ぎ、化学物質の合成や設計をする化学であり、汚染が発生してからの処理ではなく、汚染そのものの発生を断つための原理と方法論のことで欧米や日本の化学会で汚染を防ぐ画期的な手段、グリーンケミストリーを推進していく大事なポイントのひとつに、対症療法ではなく、分子の科学としての化学を駆使してリスクを除こうとすることがある。

リスク＝危険性×暴露量

グリーンケミストリーでは、危険性も減らそうというものである。グリーンケミストリーでの手段を使えばリスクは確実に減り、物質そのものを無害に変えていくわけだから、漏れて増えることはあり得ず環境に出ても心配いらない。

(生徒 J)

これからは一般市民を加えた科学技術の推進が必要となってくる。科学技術を一般市民に受け入れてもらえればよいという考えは、科学技術を理解してもらおうように変わってきている。グリーンケミストリーとは環境汚染を防ぎ、化学物質の合成や設計をする化学であり汚染が発生してからの処理ではなく、汚染そのものの発生を断つための原理と方法論のことである。グリーンケミストリーでの手段を使えば、リスクは確実に減り、物質そのものを無害に変えていくので、漏れて増えることはあり得ず、環境に出ても心配はいらないことになるのだ。

(生徒 L)

これからは社会における問題と科学や技術との関連が強くなっていくと思われるが、その問題に関して判断・意志決定する場合には文科系を含めた一般の人々も対象になるが、問題が科学や技術に関したものであれば、一般の人々にも科学的な知識が必要となる。一般の人々が科学的知識を身に付けることが、多くの人々や社会全体に利益をもたらすために必要である。また科学技術においては、「汚染そのものの発生を断つための原理と方法論」を常に意識して、環境汚染を防いでいかななくてはならない。そのことを「グリーンケミストリー」という。上記の理論を用いて、グリーンケミストリーでは暴露量の低減、廃棄物の低減、危険性の低減を目指して科学技術を設定している。

(2) 学習履歴シート2-2の回答

設問は「将来、科学技術をどうしたらよいと思いますか。それはなぜですか。」である。内容的には、小論文の結論になるので、自分の考えがはっきり述べられているかに注目した。しかし、総合的学習の時間での小論文の指導はまだ始められたばかりであり、今回はまだ自分の考えをまとめきれていないものが多く、さらに指導を継続する必要性を感じさせた。

ここでは、参考までに比較的に良好な3人の記述を抜粋した。

(生徒C)

科学技術はグリーンケミストリーの精神に従いリスクが低く環境にやさしい化学技術を発展させなければならないと思う。なぜなら今までに起こってきた公害問題や爆発事故を再発させないようにするためである。

(生徒J)

科学者や研究者だけで科学技術を推進していくのではなく、社会全体で進めていくべきである。一般市民に科学技術の知識があると、大気汚染の被害も最小限に抑えることができると思う。また、石油・石炭なので燃料を使うことを抑え、自然エネルギーである太陽光、水力、風力、火力、原子力などの力をもっと使っていくべきだと思う。それによっても、災害は少なくなると考えられる。

(生徒L)

製品として搬出されるもの以外の原子を、化学反応を行う設備の外に出す必要のない(つまり、原子を100%何らかの形で利用するような)技術を開発するとよい。そうすれば、論理的に環境汚染は起こり得ないからだ。

4 まとめと今後の課題

今回課題としてGSC教材を実施してみて、大変有効であった点として次の3つがあげられる。

- ① 環境問題について原因が漠然としており、少ない情報しか持っていなかった生徒たちが、具体的な記述ができるようになった。
- ② グリーンケミストリーについて学習したことで、生徒が環境問題の解決策として一つの意見を持つことができた。結論として使える情報を得たことは、小論文を書く際に、必ず役に立つ。
- ③ 環境問題への取り組みや科学技術の開発に対して興味・関心が高まり、将来やってみたい研究テーマを見出し、大学などへの進学意欲の向上につながった。

一方で今後の課題として、次の二つがあげられる。

- ① 小論文の書き方に関する指導を、十分に行う必要がある。また、小論文の指導として教材を使用する際には、学習履歴シートの字数指定を行ったほうがよい。
- ② 今回は課題として教材を与え、途中での個人々人への指導は行わなかった。しかし、必要に応じて授業形式の指導を数回入れた方が、有効性が高まるのではないかとと思われる。

6 参考資料

(1) 学習履歴シートの生徒の記述

生徒	学習前「大気汚染」という語を使って文を3つ書きなさい。	学習後「大気汚染」という語を使って文を3つ書きなさい。
A	大気汚染は、人体へ影響を及ぼすことがあり、場合によっては死亡することがある。 大気汚染は、生物へも影響を与える。 大気汚染の対策もある。	大気汚染というものは、われわれにとって本当に恐ろしい存在だと思った。 大気汚染は自然界ではあまり発生せず、工場など人工的なものから発生するのだとわかり、人間が発生しないように気をつければ、なくなるものだと思った。 実際、大気汚染の対策が行われているがあまり変わらないように思われる。
ふり返り	学習前は、ただ大気汚染というものが地球にとって悪いものだった。学習中、学習後も大気汚染というのがやはり悪いものだということが腑に落ちた。その中で、対策したことを見てみると、自分でも少しは無くせるように思えた。	
感想	人間がどんどん地球を痛めていると思った。	
B	大気汚染により酸性雨が降る。 大気汚染によるオゾン層の破壊 二酸化炭素が大気汚染の原因	ルブラン法による銅製ナトリウム製錬工場周辺で、塩化水素ガスによる被害が起きた。大気汚染物質が生物に影響を与える。 硫黄酸化物などが原因で同時に大気汚染、水質汚染などの公害が起きた。大気汚染の原因でもある窒素酸化物が大気中に増加すると光化学スモッグの原因物質となり、のどや鼻を刺激し気管支炎の原因にもなり得る。
ふり返り	学習前は、強はかな知識がなく、簡単にまとめていたけど、学習していく間にルブラン法やアンモニアソーダ法のことを知ったし、今までにいろいろな対策がなされてきたのも知った。	
感想	大気汚染は、私たちの環境に被害をもたらしている。だけど、その原因を作っているのも私たち人間だということには遠くないから、対策についてもっと早く考え、改善する方向にいけないと思った。	
C	大気汚染は人間に大きな被害を与える。 大気汚染により生物がくさる。 大気汚染は地球を汚す。	大気汚染は化学が発達するためにしようがなく、その大気汚染を解決することでさらに化学は発達した。 これからはできるだけ大気汚染をしないように開発を進めなければならない。 大気汚染でなく大気を浄化させる物質を放出すればいいと思った。
ふり返り	学習前には大気汚染のことを深く考えずに大気を汚すなど思っていたが、学習が終わって大気汚染のことをよくわかった気がする。	
感想	人間に必要になった物質を化学で産み出すことで生活は楽になったが、大気汚染などの公害の発生することは人間がよりよく生活するためには何かの犠牲が必要だということがわかった。	
D	環境問題の中に大気汚染がある。 大気汚染は、環境によくない。 大気汚染は、人体にもよくない。	NO _x やSO _x は大気汚染物質である。 大気汚染を防ぐためにたくさんの方がある。 大気汚染は改善できる。
ふり返り	学習前にはまったく知らなかったことも、学習をしている時にたくさんわかった。	
感想	大変だったけれど、よい学習だと感じた。	

生徒	学習前「大気汚染」という語を使って文を3つ書きなさい。	学習後「大気汚染」という語を使って文を3つ書きなさい。
E	大気汚染は地球環境に重大な悪影響を及ぼす。 大気汚染はNO _x やSO _x などの酸性ガスなどが原因となる酸性雨が原因となっている。 人間の活動によっても大気汚染が起こることがあるため、大気汚染の歴史的な理解と、人間がとってきた対策についても知る必要がある。	大気汚染対策として自動車の排ガスに対する規制が必要である。 国民の大気汚染対策への理解と協力が必要である。 工場で発生する業種への規制が必要である
ふり返り	今まで何も知らなすぎた。大気汚染の被害は絶対受け出来ない。	
感想	今までは、ここまで大気汚染物質とかその対策についてほとんど考えたことがなかったから、いろいろ分かってびっくりした。	
F	私たちが普段生活しているときに出るガスが大気汚染の原因となっている。 大気汚染は区切るものなど何もないので広がりやすい。 空気を吸う生き物にとって大気汚染は命にかかわる。	大気汚染による被害は人間だけではない。 大気汚染にも解決方法がある。 大気汚染は他の様々な汚染につながる。
ふり返り	大気汚染はいま結まったのではなく長い年月を積み重ねたということに改めて思った。対策方法も年月をかけて進歩しているのだと感じた。	
感想	汚染物質は取除かれているみたいだ。	
G	大気汚染により地球の温暖化する。 大気汚染は、人間のせいでは起きている。 大気汚染により酸性雨などがおき自然が壊れてしまっている。	大気汚染はNO _x やSO _x などが原因である。 大気汚染を予防するためには化学の発展が必要だが、いまだにできていない。 大気汚染は人間が起こしている。
ふり返り	これを学習することにより、大気汚染についての関心が出てきた。NO _x やSO _x をどう処理するかが重要です。	
感想	いかにNO _x やSO _x が人に害して、また自然に対して有害なのかわかった。早く科学技術が今以上に発展してほしい。	
H	私は大気汚染と聞くと、排気ガスを思い浮かべる。 大気汚染の中には、オゾンホールという重大な問題がある。 大気汚染のイメージは灰色。	大気汚染の主要原因がNO _x やSO _x だということ。 尾尾崎山の大気汚染だ。 有名な四日市喘息の原因がSO _x である。
ふり返り	私たちが暮らすためには、大気が一番とっていいほど大切なことに今さら気づいた。	
感想	人は出したら出しっぱなしというわけではなかった。	
I	大気汚染によって、自然が破壊されている。 人間によって大気汚染が起こる。 大気汚染は酸性雨の原因である。	大気汚染の対策はさまざま考えられたが、解決したものもあるが、また新たな問題が発生したものもある。 大気汚染は、人間や自然に大きな影響を与える。 ルブラン法は私たちの日常生活に必要不可欠なものとなったが、大気汚染の原因の塩化水素を副産物として発生する。
ふり返り	これからも、まだ解決していない問題などについて対策をどんどん考えていきたいと思います。	

感想	知らなかったことをたくさん知ることができてよかったです。	
生徒	学習前「大気汚染」という語を使って文を3つ書きなさい。	学習後「大気汚染」という語を使って文を3つ書きなさい。
J	大気汚染は痛風に悪影響を及ぼす。人間によって起こる大気汚染もある。大気汚染は深刻な問題となっている。	炭酸ナトリウムの製造方法であるルブラン法によって発生するBCIは大気汚染の原因物質である。公害問題の四日市喘息は石油の燃焼により発生する硫黄酸化物による大気汚染が原因である。窒素酸化物は硫黄酸化物とともに酸性雨や大気汚染の原因になっている。
ふり返り	学習する前は大気汚染についての知識も少なく、どんな問題かも具体的にわからなかったけれど、学習していくにつれて、知識も高まり大気汚染の問題や対策についての理解が高くなった。	
感想	これから進歩していくには、科学技術や環境汚染についての知識も必要であるので、これからの学習のなかでも深かしていきたいと思います。	
K	大気汚染とは、地球を取り巻く空気の全体である大気がひどく汚れること。大気汚染の原因は工場の排煙や自動車の排気ガスなどに含まれる有害物質である。大気汚染には、酸性雨やオゾン層の破壊などがある。	世界中で今問題とされている公害や大気汚染のほとんどが弊につながりがあることがわかった。化学の研究を深めることによって医療の進歩・自然保護などいまだ私たちに必要とされていることばかりである。今後単独だけでなく、他国と協力・金銭してもっと健康の世界を作るべきだと思う。
ふり返り	今まで化学は今後それほど必要ないと思っていたが、自分たちの周りで起きている問題には、化学が必ず関係していることがわかった。	
感想	もっと化学を真剣に取り組むべきだと思う。	
L	大気汚染によって酸性雨が降り、地表にあるものに悪影響を与える。工場などから出る重金属酸化物や硫黄酸化物は、大気汚染の原因の一つである。大気汚染を含めた環境の汚染は最近注目されている。	大気汚染が人間の密着によって引き起こされる場合がほとんどである。大気汚染の対策は条件を考慮した上で方法を考えなければならない。大気汚染の原因物質が生まれないような作業工程を開発することが、人間と環境を汚染しないために必要である。
ふり返り	学習前は大気汚染に対して漠然としたイメージしかなかったが、学習していくにつれて、大気汚染の原因、過程、結果とそのつながりがみえてきた。また、汚染を引き起こさないように工夫する必要がある、工業にはいくつももあるということにも気づいた。	
感想	身近なものになってきた大気汚染について、いろいろと詳しく知ることができた。これからの活動で、今回学んだことを活かしていきたいと思います。	
M	大気汚染は痛風に悪い。大気汚染は人体に悪い。大気汚染は危険だ。	大気汚染は便利な技術にはつきものだ。大気汚染は大問題だ。大気汚染を解決するには、これからの私たちの働きが重要だ。
ふり返り	あまり何も考えずに書いていたけど、それでも大気汚染に関する知識をいろいろと知ることができた。	
感想	技術の進歩が大気汚染を生み、今度はその大気汚染をなくすための技術を自分たちが生み出していけないといけないのだとわかった。	
N	今、大気汚染が問題になっている。大気汚染は酸性雨などにつながる。大気汚染は化学物質などにより起こる。	塩化水素などで大気は汚染される。塩化水素などによって大気汚染されると酸性雨が降る。大気汚染によって喘息などの公害が発生した。

ふり返り	いろいろな汚染があり、またそれらに対策などいろいろなものがあるのだと思っただ。	
感想	グリーンケミストリーによってこういう問題が減ってくればいいと思う。	
生徒	学習前「大気汚染」という語を使って文を3つ書きなさい。	学習後「大気汚染」という語を使って文を3つ書きなさい。
O	車の排気ガスによる大気汚染、化石燃料などを燃やす工場などから出る有害物質による大気汚染。ゴミの暴棄などによる大気汚染。	大気汚染は、様々な原因で起こることがわかった。大気汚染の問題を解決するために、たくさんの人々が活動していて、いくつか解決しているということがわかった。人々の努力で改善されている大気汚染をそれぞれが維持するように努めなければならぬ。
ふり返り	はじめはこんな課題をだされたことがなく、意味があるのだろうかと思っていた。しかし、学習するうちに色々なことが新たに分かって、化学は計算などの問題より、このような地球のことを考えた動物の方が大切ではないかと思っただ。	
感想	今の世の中はどんどん悪い方向に向かっていて、どうして人間は気づかないのかと思っただが、すでに気づいて行動している人もいて少し安心した。	
P	大気汚染は人や動物、植物に大きな影響を与えている。実際、大気汚染といってもどんな物質が原因か分からない。だからよく調べてみたい。	自然を無視するのは考えでしようので、大気汚染が起る。アンモニアソーダ油など大気汚染にならない有効な方法を発見できるとよい。大気汚染は人々の心掛けで、改善していくことができる。
ふり返り	私たちは地球の資源を有限の財源と考えて、大切にしていきたいと思います。	
感想	これからは無関心についてもっと心掛けたいと思う。	
Q	大気汚染は今後目すべき環境問題である。大気汚染は生物に悪影響を及ぼす。大気汚染の原因は、人間社会の技術の進歩にある。	科学技術は日進月歩で進歩しているが、大気汚染などの生物への害もまた進んでくるのも事実である。現在科学技術は、大気汚染をはじめとする様々な環境問題を解決するために進歩していて、ところどころでその成果があがっている。今後大気汚染の原因物質を無毒化する研究が必要だと考える。
ふり返り	学習前は単なるレポート記入のつもりだったけれど、資料で調べたりしていくうちに、今どれほど重要な問題をかかえているのかと思っただ。科学技術の発展を通して、その失敗などに触れ、その解決を考えさせられた。	
感想	ニュースでしか知らなかった環境問題を、直接目で見て自分の手で書くことで、事の重大さと解決の必要性を知ることができた。普段身の回りにあるものを作るために大気汚染が悪化していると思うと、一刻も早く解決策を考える必要があると考えた。	
R	最近大気汚染が問題になってきている。大気汚染の原因は全て人間である。大気汚染を食む環境問題を解決するのが、今後の地球で生きるための条件である。	大気汚染は直接人体に影響を与えるものだけでなく、酸性雨により森林を枯らし、洪水を引き起こして、災害を起こしている。様々な製品を作る際に生じる副生成物による大気汚染が多い。自然の紫外線を受けて反応し、刺激性のある物質を生じる大気汚染もある。

ふり返り	大気汚染の仕組みなどが詳しく分かった。	
感想	今後日本は意識していかなければならない。だけど、先のことばかり考えず、後に来るものも考えなければならない。	
生徒	学習前「大気汚染」という語を使って文を3つ書きなさい。	学習後「大気汚染」という語を使って文を3つ書きなさい。
S	大気汚染の原因は二酸化炭素などである。オゾン層破壊は大気汚染の原因である。大気汚染は危ない。	大気汚染の原因はCO ₂ 、NO _x 、SO _x などである。1970年頃にはもう大気汚染が問題になった。今現在も大気汚染の対策技術が考えられている。
ふり返り	知らないことがいっぱいあった。	
感想	きつかったが、勉強になった。	
T	大気汚染により地球温暖化が進む。	
ふり返り	環境汚染についての語などは聞いたことがあったが、化学的なことについては何も知識がないといってもいいぐらいだったので、様々な技術の発展とともに、汚染などの公害があることを知り、カードの知識を持つことにより、環境汚染求められるのではないかと思った。	
感想	環境を守るためには化学の知識が必要だと思った。	

(2) 学習履歴シート2-3「学習しての感想を書いて下さい」における回答

(生徒A)

グリーンケミストリーとは何?と愚っていたが勝んでいううちにこんなことが考えられているのかとあつげにとられた。世界全体で「環境問題、環境問題」といって何も対策していないと思ったが、実際にはいろいろ考えていていつの日か快適に過ごせる日がくればいいと思った。

(生徒B)

グリーンケミストリーという言葉を知り初めて聞いて資料をみたけど、グリーンケミストリーとは、環境汚染を防ぎ、化学物質の構成や設計をする化学であり、欧米や日本の化学会で汚染を防ぐ画期的な手段として注目を浴びていることを知った。

(生徒C)

人間の生活を支えるために発展してきた価値だが、成功ばかりしていたのではないのだということがわかって、失敗することで化学は発展してきたのだなと思った。

(生徒D)

物質の有効な活用方法を見つけ出し、さらに利用することで有害な物質を少なくしていけるとよいと思った。

(生徒E)

グリーンケミストリーなど地球環境にやさしい科学技術が注目されているのは初めて知った。それで思ったのが、人間の冬の服装を考えたらどうかということで、1年の四分の一を人間が生活しないだけで、環境は相当改善されるだろうということです。それで慢性睡眠不足解決されて一石二鳥じゃないでしょうか。

(生徒F)

今まででなんとなくしか知らなかったことをよりはっきりと知ることができた。生産業から環境への被害を最小限にした生産へと変化し、また、その対策の方法も時代を重ねるごとに充実なものになってきていることがよくわかった。危険物質を作った後どうするかを考えるのではなく、危険物質自体を作らないというグリーンケミストリーは環境への被害が「ゼロ」に近づく最高の考え方だと思う。

(生徒G)

有効的な活用方法を考える。科学技術の進歩が大切です。

(生徒H)

絶対どのような物質にも有効活用方法があるので、それを見つけたし、今ある有害物質を有益物質にできたらいいなと思った。

(生徒I)

グリーンケミストリーという言葉も知らなかったし、どんなものかも知らなかったので、知ることができてよかったです。知らないことばかりで、びっくりしました。まだまだ知らないことは、たくさんあると思います。これから少しずつ知ることができればいいなと思います。

(生徒J)

グリーンケミストリーという言葉を知り初めて聞いた。しかし、この学習を進めていくにつれて理解が深まった。これから先、科学技術の発達により、新たな公害や大気汚染があると思う。だから、一般市民も科学技術の理解をさらに深めていくべきである。この学習で学んだこと大学や社会に出てから、無駄にすることなく、活かしていこうと思った。またそのためにもっとたくさんの知識を得ていこうと思う。

(生徒K)

人と環境の健康・安全・省資源・省エネルギーなどを実現する科学技術である「グリーンケミストリー」は今、最も注目すべき課題であるだろう。このグリーンケミストリーによって今後、地球の豊穡がいつまで続くだろうか。人間の寿命伸ばすこともできると思うし、これは誰も願っていることなので、グリーンケミストリーにはその精神を表した12条をまず一人ひとりが実行していき、環境保護などの実現に推進していくべきだと思う。

(生徒L)

現代の科学的事柄に関する成功はいくつもの失敗のうえに成り立っている。しかし、その失敗が環境に及ぼした影響はとてつもない大きなものだった。これからは、結果として起こりうる悪影響をも予測した上で、害が発生することもない科学的設備を整えていくことが大切なのだと思う。

(生徒M)

実際、何もデメリットがない科学技術を生み出すのは容易ではないと思う。しかし、これから一層大切になってくる環境問題のためにもグリーンケミストリーが発展していけばいいと思う。

(生徒N)

今までも様々な公害が発生して、そのたびにそれをなくそうと努力してきたというのがわかり、公害がすべて解決できたらいいなと思う。

(生徒O)

学習する前はもちろんグリーンケミストリーという言葉など知りませんでした。また、私たちの知らないところで、科学技術が進歩すると同時に、様々な大気汚染や危険がともなっているということが分かりました。それは、もしかしたら普段私達が何げなく使っている道具を作るときに発生しているかもしれません。そこで、その問題を解決するために、たくさんの方が出され、実行されているということも私は知りませんでした。私達一人一人が問題を解決するために、思考を断らさなければならないと感じました。

(生徒P)

大気汚染や水質汚濁など、今まであまり具体的なことを考えたことはなかったけど、これからは、多くの知識を得て、真剣に考えていこうと思う。みんなの小さな意識がたくさん集まって、後世のためにも、よりよい環境を残していけたらいいと思う。

(生徒Q)

まだ高校生の僕は科学に関して未知なる部分を改めて知った。でも、年齢と学ぶことは関係ないので、目の前の問題を考えつつ、自分の将来や未来の科学について、少し目を向けていこうと思う。

(生徒R)

自分は将来、環境系の職業に就きたいと思っている。だけどこの学習までは、少しあまく見ていたようだ。この学習ではまだ力がついておらず、さらに化学を勉強しなければならなかった。将来の地球全体の化学になるべきグリーンケミストリーについて少し学べたのでよかった。これをもとにして、まずは環境系の大学へ行けるように努力し、大学で本格的にグリーンケミストリーを勉強したい。

(生徒S)

調べて要約するのがこんなにも大変なことだとは思わなかった。でもこれを調べたことで少しは環境についても学ぶことができたと思った。

(生徒T)

科学の知識が、産業の発展のために役立っていたり、環境を守るために使われたり、これからの地球環境を守るためには必要であると思った。

8 G S C教材実践報告

－教育センター高校化学研修講座での実践－

大谷 龍二

1 実践の概要

- (1) 実施日 平成16年9月8日(水) 9:00~16:30
- (2) 受講者 高校教員4名及び理科実習助手4名 合計8名
- (3) 内容 学習教材の紹介と実践報告(午前)
実験教材(グラニオールの酸化、セッコウをつくる)の作成(午後)
- (4) 講師 大谷龍二、飯島邦彦(県内公立高校教諭)

2 グリーンケミストリー教材の評価について

研修講座の受講者による評価を以下にまとめた。

(1) 実験教材(グラニオールの酸化)について

【全体的に】

- ①大変よい 5人 ②よい 3人 ③概ね適当である ④あまりよくない ⑤よくない

【内容は(生徒が学習するに当たって)】

- ①適当である 4人 ②概ね適当である 3人 ③やや難しい 1人 ④難しい
⑤やや易しい ⑥易しい

【操作は(生徒が学習するに当たって)】

- ①大変よい 4人 ②よい 4人 ③概ね適当である ④あまりよくない ⑤よくない

【グリーンケミストリー教材として】

- ①適当である 3人 ②概ね適当である 5人 ③あまり適当ではない
④適当ではない

【グリーンケミストリーの12ヶ条のどれに該当するか明確であるか】

- ①大変明確である 3人 ②明確である 3人 ③概ね明確である 2人
④あまり明確ではない ⑤明確ではない

【試してみても感想】

A	廃棄物を出さないで、環境問題を考えた教材としてはよかったと思う。
B	操作は非常に簡単なので、生徒実験には最適であると思う。マグネチックスターラーがあると便利なので、購入したいと思った。
C	有機化学はくさい、汚いのが定番であったが、グラニオールを使用することで、その気持ちが少し薄れたように感じる。
D	銀鏡反応が試験管内で見事に確認できました。ホルムアルデヒドを使った反応に比べると、においがマイルドで、ホルムアルデヒドに対してアレルギーのある生徒でも可能な実験ということでは、大変有意義な実験であると思いました。反応の結果が臭いで確認できるという点も、生徒の興味をひきやすく、楽しんで取り組める教材ではないかと思いました。
E	香りの違いがよく分からなかった。銀鏡反応が見られなかった。実験が成功しなかった生徒の気持ちが分かりました(笑)。もっとはっきり違いの分かる材料であれば、本校の生徒も興味をもって取り組んでくれると思う。
F	バラの香りやレモンの香りは、何となく分かり実験の操作も分かりやすいので、よいと思われま
G	グリーンケミストリーとは?まったくどういう教材か知りませんでした!実験をしてみて、理解が深まりました。目で見て確認し、においでも確認できたことは感動でした。
H	記述なし

(2) 実験教材（セッコウをつくる）について

【全体的に】

- ①大変よい 3人 ②よい 2人 ③概ね適当である 1人 ④あまりよくない 2人
⑤よくない

【内容は（生徒が学習するに当たって）】

- ①適当である 3人 ②概ね適当である 1人 ③やや難しい 4人 ④難しい
⑤やや易しい ⑥易しい

【操作は（生徒が学習するに当たって）】

- ①大変よい 3人 ②よい 1人 ③概ね適当である 4人 ④あまりよくない
⑤よくない

【グリーンケミストリー教材として】

- ①適当である 3人 ②概ね適当である 4人 ③あまり適当ではない 1人
④適当ではない

【グリーンケミストリーの12ヶ条のどれに該当するか明確であるか】

- ①大変明確である 2人 ②明確である 2人 ③概ね明確である 3人
④あまり明確ではない 1人 ⑤明確ではない

【試してみても感想】

A	概ね明確ではあるが、実際問題として、実験室で全生徒に行う内容としては、やや不適切だと思う。有毒ガス、刺激臭などに直接触れるので、よほど換気や取り扱いに注意をしていかないと、全生徒実験としては無理ではないか？
B	事前に原理をよく理解してから作業に取り組む必要があると思った。SO ₂ は害があるので、取り扱いには注意が必要ということをも身をもって体験した。
C	二酸化硫黄の再利用は、感動しました。
D	塩素水の脱塩素反応は、見た目にも変化が分かりやすく、好適な教材であると思いました。セッコウを身近な乾燥剤から作るという点も興味深く、意義ある実験であると感じました。身近な素材へ生徒の興味をもたせる上でも、素晴らしい教材であると学ばせていただきました。
E	二酸化硫黄のにおいが強烈だった。本校の生徒には、ちょっと危なくて、やらせられない。考え方は十分理解できたのでもう少し違う教材で扱えないか、調べてみたい。
F	生徒実験でドラフトを使用しての操作は、時間的に無理があるように思います。かといって、室内で刺激臭を出すのも問題があるように思いますので、授業中の実験としてはどうでしょうか？部活動など少人数の生徒で行うにはよいと思います。
G	グリーンケミストリーとして、セッコウを作る実験をしましたが、生徒実験としてはどうかなど問題点もあったように感じます。特に、ドラフトを使うにおいや、時間がかかってしまい1時間では無理です！
H	実験室で10班～12班が行うには、気体も発生し、不都合だと思う。

(3) 学習教材について

【全体的に】

- ①大変よい 5人 ②よい 2人 ③概ね適当である 1人 ④あまりよくない
⑤よくない

【内容は（生徒が学習するに当たって）】

- ①適当である 2人 ②概ね適当である 2人 ③やや難しい 4人 ④難しい
⑤やや易しい ⑥易しい

【学習履歴シートについて】

- ①大変よい 2人 ②よい 4人 ③概ね適当である 2人 ④あまりよくない
⑤よくない

【試してみても感想】

A	思いのほか、時間がかかる。時間がかかるので、記憶に残る（覚えられる）のかも知れないが・・・。学習の方法とか、おもしろさ、意欲的な学習へのつながりになる。同じ項目について何度も繰り返して。
B	ワークシートや参考資料が詳しく作成されているので、とてもやりやすかった。資料を読むだけでなく、それを自分の言葉でまとめることによって理解が深まった。このようなワークシートを他の教材でも作成したいと思った（例えば物質量とか）。しかし、一人ではなかなか作成できないと思うので何人かで時間をかけて開発する必要があると思う。
C	非常に書く量が多く、様々な歴史的背景やデータを利用して自分の考えをまとめていくので、小論文対策としても十分使用可能であると思いました。
D	教材の中身やトピックスの教については、大変興味深く、生徒が自ら学習していく意欲が高められる内容であると思いました。内容は、化学を学び、ある程度の理解を深めた生徒であれば、問題なく取り組める内容であります。文系志望の生徒には、やや難しいのではないかと思います。CD-ROM教材が使えるのであれば、画像や動画をより多く取り込むことにより、生徒の理解の助けになるのではないかと思います。学習履歴シートは、補助線があると、より文章を書きやすいのではないかと思います。大変勉強になりました。
E	資料を探すのが、パソコンだと少々難しかった。その画面画面しか出ないので、次にどこを見たらよいか分からない部分があった。普通高校などで、総合的な学習の時間として取り入れるのには、非常に適していて、生徒個々に応じて様々な学習活動ができる教材だと思います。
F	「グリーンケミストリー」という単語を初めて知りましたが、今日研修させていただき、大変勉強になりました。今回は、全体的な流れの中で、グリーンケミストリーというものがどういう事なのか分かったような気がします。後でゆっくり勉強してみたいと思いました。
G	コンピュータと資料が大変よくできていて、ワークシートの工夫もよかった。
H	パソコンを使用するより、小冊子にした方が授業中に使いやすいし、個別指導もしやすいと思う。同じような質問が多くて、何を聞いているのか判断しづらい。慣れてきたら、自分で項目を作らせて書かせた方が、学習したことを自分なりに整理できると思う。

(4) 研修講座について

【研修内容（実験教材）は】

- ①役に立った 8人 ②やや役に立った ③あまり役に立たなかった
④役に立たなかった

【研修内容（学習教材）は】

- ①役に立った 8人 ②やや役に立った ③あまり役に立たなかった
④役に立たなかった

【授業に取り入れたいですか（実験教材）】

- ①ぜひ取り入れたい 3人 ②取り入れたい 3人 ③あまり取り入れたくない 1人
④取り入れたくない ⑤取り入れにくい 1人

【授業に取り入れたいですか（学習教材）】

- ①ぜひ取り入れたい 3人 ②取り入れたい 4人 ③あまり取り入れたくない
④取り入れたくない ⑤取り入れにくい 1人

4 評価の分析

(1) 実験教材（グラニオールの酸化）について

全体として、大変よいあるいはよいと全員が回答しており、高く評価されたと考える。アンケートにも、「反応の結果が臭いで確認できるという点も、生徒の興味をひきやすく、楽しんで取り組める教材である」「目で見て確認し、においでも確認できたことは感動でした」などと記述されている。

生徒が学習する内容としては、適当である、概ね適当であるとの回答は7人であり、やや難しいとの回答は1人であり、生徒にとっては、適当な内容であると考えられる。

生徒にとって実験操作は、大変よいあるいはよいと全員が回答しており、生徒にとって実験操作は妥当であると考えられる。アンケートにも、「操作は非常に簡単なので、生徒実験には最適であると思う」などと記述されている。

グリーンケミストリー教材として、適当であるあるいは概ね適当であると全員が回答しており、高く評価されたと考える。また、グリーンケミストリーの12ヶ条のどれに該当するか明確であるかについても、大変明確である、明確である、概ね明確であるとの回答を合わせると全員になり、グリーンケミストリー教材としての位置づけも明確になっていると考える。

(2) 実験教材（セッコウをつくる）について

全体として、大変よい、よいとの回答は5人、概ね適当であるとの回答を合わせると6人になり、概ね評価されたと考える。アンケートにも、「塩素水の脱塩素反応は、見た目にも変化が分かりやすく、好適な教材である」「セッコウを身近な乾燥剤から作るという点も興味深く、意義ある実験である」「身近な素材へ生徒の興味をもたせる上でも、素晴らしい教材である」「二酸化硫黄の再利用は、感動しました」と記述されている。

しかし、二酸化硫黄を扱うので、安全面からの問題点の指摘もあった。アンケートにも、「実験室で全生徒に行う内容としては、やや不適切だと思う。有毒ガス、刺激臭などに直接触れるので、よほど換気や取り扱いに注意をしないといかないと、全生徒実験としては無理

ではないか？」と記述されている。

生徒が学習する内容としては、適当である、概ね適当であるとの回答は4人であり、やや難しいとの回答も4人である。内容に対する評価は、適当であるとやや難しいが半々に分かれた。

生徒にとって実験操作は、大変よい、よいとの回答は4人であり、概ね適当であるとの回答を合わせると全員になる。生徒にとって実験操作は妥当であると考えている。

グリーンケミストリー教材として、適当である、概ね適当であるとの回答は7人であり、概ね評価されたと考える。あまり適当ではないと回答したのは、二酸化硫黄の取り扱いによる安全上の問題からの理由によると思われる。また、グリーンケミストリーの12ヶ条のどれに該当するか明確であるかについても、大変明確である、明確である、概ね明確であるとの回答を合わせると7人になり、グリーンケミストリー教材としての位置づけも明確になっていると考える。

(3) 学習教材について

全体として、大変よい、よいとの回答は7人であり、概ね適当であるとの回答を合わせると全員になる。学習教材については、高く評価されたと考える。アンケートにも、「小論文対策としても十分使用可能である」「総合的な学習の時間として取り入れるのには非常に適している、生徒個々に応じて様々な学習活動ができる教材だ」「コンピュータと資料が大変よくできていて、ワークシートの工夫もよかった」などと記述されている。

生徒が学習する内容としては、適当である、概ね適当であるとの回答は4人であり、やや難しいとの回答も4人である。内容に対する評価は、適当であるとやや難しいが半々に分かれた。アンケートから、文系志望の生徒にはやや難しいと判断されていることが分かった。

学習履歴シートについては、大変よい、よいとの回答は7人であり、概ね適当であるとの回答を合わせると全員になる。学習履歴シートについても、高く評価されたと考える。

(4) 研修講座について

内容については、実験教材、学習教材とも役に立ったと全員が回答した。授業に取り入れたいかについては、実験教材については、ぜひ取り入れたい、取り入れたいとの回答が6人であった。また、学習教材についても、ぜひ取り入れたい、取り入れたいとの回答が7人であった。どちらの教材も受け入れられたと考える。しかし、学校によっては、取り入れにくい状況もあるようである。

5 おわりに

学習教材、セラニオール酸化については、大変評価も高く、グリーンケミストリー教材として、このまますぐに活用できるようであるが、セッコウをつくるについては、生徒実験としてクラス全体で行うには、課題がある。そこで、研修講座における受講者の声を基に改良を加え、セラニオール酸化については、化学I「第1級アルコールの酸化」における探究活動として位置付け、教師用マニュアルと学習用ワークシートを提案する。

また、セッコウをつくるについては、クラス全体で行う実験としてではなく、化学Ⅱに

おける課題研究として位置付け、少人数のグループで、ドラフト内で行うものとし、教師用マニュアルと学習用ワークシートを提案する。

なお、二酸化硫黄の石灰石による吸収については、化学Ⅰ「カルシウムの化合物」における発展的な探究活動として位置付け、学習教材のワークシート3を学習した後の生徒実験として新たに提案する（巻末の参考資料：【実験資料】二酸化硫黄の吸収 参照）。

9 グリーンケミストリー教材実施 1年後のアンケート

後藤 順一

平成15年度A高校2年生「総合的学習の時間」にグリーンケミストリー教材を学習した生徒対象に、約1年後の平成16年11月20日にアンケート調査を行ったのでその結果を報告する。

1. 昨年のWS学習の試行授業実践について

今回アンケートを取った生徒の昨年おこなわれた試行授業実践は以下のとおりである。

(1) 対象生徒： 公立A高校 2年次「総合学習」の選択生徒（1講座10名程度募集）。

（1学期総合学習：10名、2学期総合学習：17名）

(2) 時期：1学期総合学習 平成15年4月16日から平成15年6月18日まで。

2学期総合学習 平成15年6月25日から平成15年11月5日まで。

(3) 時間：本校水曜日 2年次 6時限 総合学習 『総合小論文』

(4) 内容と方法

本教材を用い、昨年と同様に試行授業を行った。学習の方法は、生徒の主体的な調査研究を中心としたものである。各ワークシートを完成し、学習履歴シートを完成させるのが1回の授業となっている。

回	日時	内容	詳細
第1回	4/16、6/25	登録・調整、顔合わせ、内容紹介	グリーンケミストリーの基本的な考え方、学習の目的を講義形式で伝える。 学習履歴シートの記入方法についての説明、学習前の3文を記入したものから終了。
第2回	4/23、7/9	ワークシート1	ワークシート1を見渡して、最初に学習の仕方を説明した。
第3回	4/30、9/24	ワークシート2	ワークシート2を完成させた。 特に2学期生は夏休みを過ぎてしまったので十分にフィードバックを講義形式で行った。
第4回	5/7、10/1	ワークシート3	ワークシート3を完了させた。
第5回	5/14、10/8	ワークシート4 および演示実験	ワークシート4を完成させた。学習後の3文、学習の振り返り、感想までを行った。
第6回	5/28、10/29	ワークシート5	グリーンケミストリーについてまとめた。 論文のテーマ内容を紹介し、締め切りを設定した。
第7回	6/18、11/5	論文、感想	学習履歴シート2を完成させ、論文を提出できるものは提出させた。

(ア)活動の状況

第1回の授業で、講義形式で授業を行い、説明等をするが、第2回以降は、生徒個人の学習にゆだねた。その中で生徒は、特に無駄話をするわけでもなく、黙々とワークシートの作業活動、調べ学習に勤しんでいた。第5回にSO₂の発生、NO₂の発生、および鉛室法による硫酸の発生の実験を演示実験にて観察させた。

2. アンケートの実施

昨年の実践から1年後生徒がどのようにWS学習を捕らえたのか、何が心に残っているのかを調査するためにアンケート調査を実施した。

(1) アンケート実施方法

抜き打ち調査。生徒に朝のSHRを通じて昨年講座を取った生徒全員に配布し、昼に回収した。該当年次の生徒のいる各階に回収ボックスを設け、記入後、回収箱に入れるようアンケートプリントで指示しておいた。今まで学習した学習教材や資料を見ることが出来ない状況でアンケートに答えさせた。

(2) アンケート内容

1年経た時点で、グリーンケミストリー学習内容のどのようなことが生徒に残っていくのかわかるような項目にした。調べなおしたりすることがないように、「思い出せる範囲で結構です」と配布プリントに加えた。また、「グリーンケミストリーを学習したことによって思い浮かべることがあったか」、「役立ったことがあったか」などの項目を設け、「あった」と応えた場合は具体的な内容を自由記述の形式で記入させた。

実施にあたっては対象者が受験期の生徒であったので負担をかけないように質問項目を絞った。

「大気汚染教材の学習に関するアンケート」を本節(資料1)のように作成し、配布した。

(3) アンケート実施結果

当日は欠席者がいなかった。生徒は受験期であり、前年度実施した「総合的学習の時間」のアンケートなどに回答に協力してくれるか不安があったが、27名中22名の回答を得た(回答率81.4%)。記述の全ては、本節(資料2)に掲載した。ここでは項目ごとに特徴ある記述を示す。

問1 グリーンケミストリーとは何ですか。覚えていることを答えてください。

さまざまな印象が残ったことが伺える。

教材には「汚染が発生してからの処理ではなく、汚染そのものの発生を断つための原理と方法論」と示されていたが、1年後の生徒の記述は以下のようなものであった。

「環境にやさしい、環境に出来る限り配慮した化学物質の生産など化学的に対する考え方」

「同じものを合成する場合、より環境に被害の少ない合成法を選択する考え方」

「有害物質を出さない」「有害物質を再び人間の力で解決しようという試み！」

などしっかりした理解ができている。

「環境問題を解決したりする化学」

という生徒は、正しい理解できているのかが不明確な答である。

問2 グリーンケミストリーに対して、どの様な感想を持っていますか。

「これから科学がもっと発展していくためにも必要な考え方だと思う。」

など今後重要視されていく分野であると記述している生徒が多かった。(31%、7人)

「有害物が出る生産をただ単にやめさせるだけでなく、その生産は生産として残し、有害物が出るところだけ科学的根拠に基づいて処理していくのはとても合理的だしすばらしいと思う。」

「方法とかは覚えていないけれど何が環境に悪い物質なのかがわかりやすかった。」「内容がつかみやすかった。」

などこの時間に関する肯定的な記述もあった。

問3. グリーンケミストリーの考えを知ってから、そのことを思い浮かべるような場面が学校の内外を問わずにありましたか。(1)なかった(2)あった あったらどんな場面かを詳しく書いてください。

(1) なかった	31% (9人)
(2) あった	69% (13人)

記述した生徒には学校の内は授業、学校の外はテレビなどの報道、身の回りの出来事など自分が体験している日常を場面として思い浮かべているようであった。

「無機化学でアンモニアソーダ法のところを勉強して、副生成物を再利用できるような話を習ったとき。」など学校の授業に関わって思い浮かべるようになった生徒が「あった」と答えた生徒の57% (8人) いた。

「テレビで環境の報道を見て」など生活の中で感じた生徒が50% (7人) いた。この中には、「大気について書きなさい」と授業前に聞かれたことが印象に残っているので大気がきれいだとちよつと汚れているとか結構敏感に思うようになった。今年の古河マラソンのときなど川の端や町並みを走っているとき、「木が植えられているな」とか「ここは空気がさっきのところよりもきれいだ」などと考えていた。」

など今まで気づかなかつた身の回りの環境に感じることができ、試行授業で実施した内容が生活の中に生かされ、物事を考えるきっかけを与えている事が伺える。

なお、ひとは両方についての記述があつた。

問4. グリーンケミストリーの考えを知ってあなたにとって役立ったことはありますか。(1)なかった(2)あった あったらどんな場面かを詳しく書いてください。

(1) なかった	36% (8人)
(2) あった	64% (14人)

「(2)あった」と回答した生徒が「(1)なかった」と回答した生徒を大きく上回つた。記述内容としては、学習内容が高等学校の授業などで活用でき

「3年次の化学の授業(無機)のとき役立った。」「生物や現代社会・地理の環境問題に役立った。」と感じている生徒が「あった」と答えた生徒の43% (6人) いた。また、

「一つはこれまで第三者的な視点でしか見てかこなかつた多くの環境を身近に感じるようになったこと。もう一つはなるべく欠陥のない方法を編み出そうとあきらめずに努力し、見えないゴールに向かってがんばる人たちに対して尊敬するとともに自分も少しのことではあきらめまいと思うようになった。(これはグリーンケミストリーとは直接関係無いが。)」

など、自分の生活や、これからの将来・人生などの糧になるというような記述した生徒が43% (6人) いた。

また、「公害を克服できた例があることが科学の猜疑心を減らした」という生徒がひとりいた。

問5 「昨年度受けたグリーンケミストリー学習についてどういう印象が残っていますか。なんでも結構ですので記してください。」

生徒はさまざまに率直な意見を書いていると感じる。

「グリーンケミストリーという考え方があるということを知れただけでも良かった」など「役に立った」「有意義であつた」など、グリーンケミストリー学習に対して大変印象に残りかつ意味深いものであつたと記している生徒が多かつた(68%、15人)。

また、学習方法に関しては、「毎回プリントを用いて整理するのが非常に大変だった。」「プリン

トをうめる作業は面倒くさかった。」(9%、2人)などあった。総じて、

「ひたすら書いていたことを思い出します。ですが決して消極的な意味ではありません。たくさんある資料を読み自分の手で書き写しまとめていったので今でも(全てというわけには行きませんが)頭の中に残っているので有意義な授業であったと思っています。」や「受講して本当によかったし、ためになった」

など受講したことを肯定的に受け止めている記述をしている生徒が大変多かった。15人(68%)また、大気汚染解決学習の内容に関して触れて

「違う方法を使ったりすることでその公害を克服したという、公害問題で人間がかんげんに解決したものもあるんだ!」「公害を克服できた例があることが科学の猜疑心を減らした。」

「産業革命時のイギリスでの公害の話で違う方法を使ったりすることでその公害を克服したという、公害問題で人間がかんげんに解決したものもあるんだ!と知った驚きが印象的であった。現在のSO_xとかの公害問題も解決できるのではないかと希望が持てた。」

学習展開中に生徒たちに見せた演示実験に関しても多くの記載があった。

「実験を交えながら説明してくれたりしたので楽しかった。」「文系の人間にとって実験はめったに無い機会だったのでとても記憶に残っています」

など32%(7人)の生徒が触れていて演示実験は生徒の心に残っていったようである。総じて学習は楽しくためになったと、感想などで記述した生徒が大変多くかった。実験をしたかったという生徒も意見を記述していた。

「学習内容自体は興味は深まったが、プリント作成が、メインの授業展開だったのでもう少し、実験など体験的授業がしてみたいかったです。」「もっとビジュアル的にグリーンケミストリーのことを知れたらよかったですと思います。」「個人的にはもっと実験があってもよかったですかなあと感じた。」などというものであった。

おわりに

アンケートを実施して調査した側が、生徒たちの質の高い学びの跡に驚かされる結果となった。水曜日の7時間目(総合学習)の時間は、生徒にとっても実施する教師にとってもかなり条件の厳しい時間である。試行授業のため、生徒の記述や学習の結果に大きな影響が出ないように、また、どの高等学校でも実施できるようにとの思いから生徒の自主的活動を重視し、あまり指示などを与えないで行った。WSをひたすら静かな教室で黙々と調べ学習を中心にして行っただけのことである。1年という時間の経過で、彼らに何かが残っているのか、何も残っていないのではないのか、そもそもアンケート自体を提出しないのではないだろうか、このアンケートを実施する前は、おおきな不安を覚えていた。

提出されたアンケートの記載内容を見て、生徒の心に、この教材が、深く、重く、響いていることがわかった。また、本教材が論理的な判断力・意思決定能力を育むことに十分寄与し得ること、化学と社会そして自分がどのように関わっているのかを知ることでできる教材になり得ること、化学と社会との信頼関係を結ぶのに適した教材になり得ていることなどがわかった。

さらに、グリーンケミストリーの発想が、社会の変化に伴い、化学を学ぶ上でも非常に重要な考え方の要素になっていること、それを高校生が素直に真面目に受け止めていることがわかる結果となった。

今後は大気汚染学習時点での学びが1年後のアンケートにどのように反映されるのか、検討する必要がある。

(資料 1)

大気汚染教材の学習に関するアンケート

昨年度の所属等____年____組____番 氏名_____

昨年度受講したグリーンケミストリーについて伺います。思い出せる範囲で結構ですので、以下の質問に回答してください。

1 グリーンケミストリーとは何ですか。覚えていることで教えてください。

2 グリーンケミストリーに対して、どのような感想を持っていますか。

3 グリーンケミストリーの考えを知ってから、そのことを思いうかべるような場面が、学校の内外を問わずありましたか。当てはまる番号に○をつけてください。

(1) なかった (2) あった

(2)に○をつけた人は、どんな場面でなぜ思いうかべたのか、なるべく詳しく書いてください。

4 グリーンケミストリーの考えを知って、あなたにとって役に立ったことはありますか。

(1) なかった (2) あった

(2)に○をつけた人は、それが何かを書いてください。

5 昨年度受けたグリーンケミストリーの学習について、どういう印象が残っていますか。何でも結構ですので、記してください。

(資料 2) 1年後に実施した生徒アンケートの記述

番	項目	1 グリーンケミストリーとは何ですか。覚えていることを教えてください。	2 グリーンケミストリーに対して、どのような感想を持っていますか。	3 グリーンケミストリーの考えを知ってから、そのことを思い浮かべるような場面がありましたか。	4 グリーンケミストリーの考えを知ってあなたにとって役立つことはありますか。	5 昨年度受けたグリーンケミストリー学習についてどう印象が残っていますか。
3	Y	環境を考えた化学。化学産業が環境に与えた影響を調べ環境にやさしい化学を考える。	企業に入って役立つことがあったらいいと思っている。			いろいろな裏話を聞いて面白かった。ただプリントをうめる作業は面倒くさかった。
4	I	環境に出来る限り配慮した化学物質の生産など化学的に対する考え方。	道理に合っていてすばらしい	探求化学 B での実験のマイクロスケール化	公害を克服できた例があることが科学の濃縮心を減らした。	テンションが低い
5	U	同じものを合成する場合、より環境に被害の少ない合成法を選択する考え方	これから科学がもっと発展していくためにも必要な考え方だと思う。			グリーンケミストリーという考え方があるということを知れただけでも良かった
6	S	環境に優しい方法でやる化学	方法とかは覚えていないけれど何が環境に悪い物質なのかがわかりやすかった。		3年次の授業に多少は役に立った。	環境に配慮し、汚染物質を出さないような先人の考え方や実験方法が学べてよかった。
7	O	環境への悪影響を減少していくとする化学のこと。	今後重要になっていく分野だと思う。環境が破壊されることは人間にとっても問題だからだ。	学校の授業で向き分野をやったとき特に硫酸や、重曹、オゾンのときにグリーンケミストリーをやったことが出てきたから。		全く知らない分野でとても興味深かった。プリントをやるだけではなく実験みたいなこともしてみたかった。
8	Tk	環境への影響を考慮した地球に優しい科学	当然の考え方だと思う	無機化学でアンモニアソーダ法などが出てきたから	3と同様	何でグリーンケミストリーのような至極当然の考え方が昔から脚光を浴びてなかったのかが不思議でならない。

9	Si	環境にやさしい化学			3年次の化学の授業(無機)のとき	何かを作り出すときに出てくる汚染物質を減らそうとしてきた。昔の科学者の考え、方法を学べて楽しかったと思います。
10	Td	歴史上の産業革命などでの工業的な生産方法(アンモニアソーダ法など……)の大気へのNOXの排出による酸性雨などの被害とその対策について考えた(だっけ!?)	まだ授業の化学では未習だったが3年になり授業でならった分野も数多くあり、より学習が深まった気がする。酸性雨や日本で起こった四台公害病に代表される人的被害や物的被害についても改めて考えさせられた			毎回プリントを用いて整理するのが非常に大変だった記憶がある。ただ化学式を考えたり環境のことを考えると大変勉強になり、有意義なものであったと思う。
11	U	化学反応の途中に有害な物質を出さないようにつくられた生成経路から利用価値の高い化学物質を取り出すこと。地球環境の保全が目的	科学技術の発展に伴って環境汚染が深刻化している中、これから非常に重要になってくる考え方だと思います。理系ではないので将来的には直接グリーンケミストリーに関わることは無いと思いますが、今まで自然から恩恵ばかりもらってその対価を支払ってこなかったのだからこのような技術で持って地球環境の改善が達成されてほしいし、また協力していきたいと思っています。	環境問題をテーマにしたア英語の単元や政治経済のときに「原子力発電廃止」についてのディベートのときです。特にこのディベートのテーマには今後のエネルギー問題が大きく関係していてその問題の対策として技術改良が進められている新エネルギー分野でグリーンケミストリーと同じ考え方が大きく反映されていることに気づいたからです。	実際の日常生活には活用できた場面はありませんが環境問題を考える上でいい材料になりました。小論文で環境問題について書くとき、グリーンケミストリーのことを盛り込むことが出来、そのような意味でも役立ちました。	ひたすら書いていたことを思い出します。ですが決して消極的な意味ではありません。たくさんある資料を読み自分の手で書き写しまとめていったので今でも(全てというわけには行きませんが)頭の中に残っているので有意義な授業であったと思っています。先生ご自身のお話や特に僕のような文系の人間にとって実験はめったに無い機会だったのでとても記憶に残っています。もっとビジュアル的にグリーンケミストリーのことを知れたらよかったです。

12	Kry	環境への被害を化学的な研究で減らそうというもの	化学が進展し続ける限りは有効だと思いますが常に新たな問題が尽きないような気がします。	テレビで環境の報道を見て	大学でグリーンケミストリーに関する本とか読もうと思うきっかけになった。(今は読むにも読めないの で)	演示実験が楽しかったが少し危険な香りがした。
13	Kmk	アンモニアソーダ法などのとても有用で大気を汚さないクリーンな方法の発案に携わった人たちがいかんして古くから使われていた方法を離脱してその方法に遡りついていったのかその過程が心に残った。	自分は文系だが1年の時は生物より化学の成績のほうがよかったので化学ケミストリーに対しても比較的楽しんで勉強できた。開かなくなってから久しかった化学の資料集を使用しながら調べ学習も興味を持って行なえたり、1週間に1度の授業だったけれどいい刺激になった。	「大気について書きなさい」と授業前に聞かれたことが印象に残っているので大気がきれいだとからよっと汚れているとか結構敏感に思うようになった。今年の古河マラソンのときなど川の端や町並みを走っているとき、「木が植えられているな」とか「ここは空気がさっきのところよりもきれいだな」と考えていた。	1つはこれまで第三者的な視点でしか見てこなかった多くの環境を身近に感じるようになったこと。もう一つはなるべく欠陥のない方法を掘り出そうとあきらめずに努力し、見えないゴールに向かってがんばる人たちに対して尊敬するとともに自分も少しのことではあきらめまいと思うようになった。(これはグリーンケミストリーとは直接関係無いが。)	超危険を伴ったあの実験が心に残っている。調べ学習を行なっていだけでも十分充実していたように思ったのだが。その合間に実験が入ったことで楽しむことが出来た。個人的にはもっと実験があってもよかったかなあと感じた。
14	Sg	有害な副生物が出てしまう生産活動において有害な副生物を化学の力によって無害なものにして処理したりまたは、別の生産にうまく利用すること。	有害物が出る生産をただ単にやめさせるだけでなく、その生産は生産として残し、有害物が出る場所だけ科学的根拠に基づいて処理していくのはとても合理的だしすばらしいと思う。	テレビで原子力発電の話をしていたときに核廃棄物処理の問題をグリーンケミストリーを使ってどうにかできないかと思った。	直接的にはなかったがこれからの人生の中で必ず役立つと思う。また、たまにグリーンケミストリーを思い浮かべたりするから間接的には役立っていると思う。	自分は文系だから最初は少し抵抗があったが、実際はとても面白かった。また、先生も実験を交えながら説明してくれたりしたので楽しかった。
15	TG	産業革命などの工業化の結果、工場からのばい煙などや窒素酸化物など有害	文系だったため、化学式などが結構わからなかった。しかし、この問題は文・理に関わり		生物や現代社会・ちりの環境問題に役立った。	アドグルの中でも社会のはっとさせられるような側面を見せ付けてくれる分野であった。

		物質を再び人間の方で解決しようという試み！	なく大切な問題であると認識させられた。			
16	KY	出来るだけ人間も地球に害の少ない物質や方法を用いて害の多い物質や方法の場合と同じ効果をもたらせるようにすることを研究すること	こういうことを目的に研究している人もいるんだなあと感じて感心した。		文系なので化学の難しい話にはよくわからないが、それでも新聞等で科学の新技术について記事などを読むときにグリーンケミストリーを知る前とは異なる視点でも考えられるようになった	産業革命時のイギリスでの公害の話で違う方法を使ったりすることでその公害を克服したという、公害問題で人間が完全に解決したものもあるんだ！と知った驚きが印象的であった。現在の SOx などの公害問題も解決できるのではないかと希望が持てた。
17	NEB	地球環境に負担がかからない化学。例えば炭酸ナトリウムを作る方法が徐々に改善されてきた。硫酸化合物を出さないように石油を作るなど。	普通の化学の授業では扱わない内容で面白かった。これからの時代に必要になる分野だと思う。受講して本当によかったし、ためになった。	外 テレビで化学系の番組を見たり新聞で環境問題の記事を読んだとき。内 後藤先生を見かけたとき。	役に立ったといえるかわからないが、環境問題により関心を持つようになった。リサイクルするように心がけているし、環境にやさしい商品から選ぶようにしている。	近頃環境問題について騒がれているが、普段生活している中ではあまり環境問題を意識する機会は無いと思う。しかしこのアドグルでは先生が実際に SOx や NOx を合成したりするなど直接見たり学んだりすることで環境問題を強く意識する転換点になった。
18	ID	害のないように物質を作ること				授業の間隔が長かったせいかわかりませんが印象は残っていないが、アンモニアソーダ法の過程に点いては印象に残っている。
20	KZ	環境問題を解決したりする化学	今の生活に必要不可欠、これからは必要となってくる。	化学の授業やテレビの話で NOx の話などが出てきたとき。	知識	役に立った。大変だった。
21	KB	環境にやさしい化学。環境に有害な生成物を出さないで目的の物質を作り出す化学。	環境問題が叫ばれている現代だからいかに地球にやさしい化学をするかは大切なことだと思っていた。	無機化学でアンモニアソーダ法のところを勉強して、副生成物を再利用できるような話を習ったとき。	特に生かされて無い気がします。	「グリーンケミストリー」と聞いて生化学的な内容なのかと思っていたけれど少し違った気がする。学習内容自体は興味は深まったが、プリント作成が、メインの授業展開だったのでもう少し、実験など体験的授業がしてみたいです。

22	Sg2	環境を壊さずにいかに効率のよい化学開発をするか	現在の化学意はこれまでの人々の努力の上に成り立っていることを改めて実感した。			
23	F	地球環境を汚染しない科学技術	これから絶対必要になってくる考え方なので勉強できてよかったと思う。	最近夏は暑すぎるし、冬は暖かすぎるし温暖化を身にしみて感じるとき		すごく面白かったし役にも立ったと思う。二酸化窒素の毒々しい色はとても印象に残った
26	M	環境に対してより環境にやさしくなるように工業などを化学の観点から改善していくこと		水銀 0 電池とかカリフォルニア州でのゼロミッション規制の話、バイオプラスチックの話を知ったときにグリーンケミストリーと重なった。	気がする。	演示実験で見たNO2の色があまりにもやばそうだったこと。
27	YTK	環境に考慮した化学たとえば塩化水素の大気汚染対策の工夫など。	面白かった。環境問題に対する視野が広がった。	トラックの排気ガスが黒いのを見たとき「あれが元凶か」と思った。	2 にも書いたが視野が広がり物事の歴史や背景を考えるようになった。	あの時もっと化学の勉強が進んでいたらもっと早く理解が出来ていたかもしれないが、後の化学の勉強の中で深く考えるきっかけになった。

Ⅱ. 縮約版大気汚染対策教材の実践

- 1 3時間でのグリーンケミストリー教材の実践と評価
(野内頼一) 98
- 1-2 ワークシート1～3、資料、学習履歴シート 107
- 2 150分での実践事例 (白井豊和) 113
- 3 1校時と家庭学習での事例 (深野哲也) 117
- 3-2 実験プリント、資料プリント、学習履歴シート 134

1 3時間でのグリーンケミストリー教材の実践と評価

野内 頼一

1 はじめに

公立B高校第2学年6組（生徒数40名）を対象に、開発してきた「大気汚染問題とその解決」に関する教材を3時間で実施した。この教材はいくつかの高校で実践され、多くの学習効果が報告されているが、実施には6～8時間の授業時間が必要である。総合の時間等を活用しないと、その時間を確保するのが難しいのが現状であるので、化学の授業時間中に実施できるように、3時間での教材に再構成し実践した（本節末参照）。

2 どのような視点で3時間用に再構成したか

(1) 旧ワークシート1, 2をまとめて新ワークシート1 (A3) 1枚とし、1時間分の教材とした。

その時、骨子として以下の3点は残すように留意した。

- ①ルブラン法の登場と副生成物 (HCl) の存在
- ②大気汚染の対策とさらし粉の製造による解決
- ③アンモニアソーダ法とルブラン法の比較

(2) 旧ワークシート3, 4をまとめて新ワークシート2 (A3) 1枚とし、1時間分の教材とした。

その時、骨子として以下の3点は残すように留意した。

- ①SO_xにおける公害の歴史と対策
- ②SO_xの現在の対策法
- ③NO_xによる大気汚染とその対策

(3) 旧ワークシート5を始める前にと旧ワークシート5をまとめて新ワークシート3 (A3) 1枚とし1時間分の教材とした。

その時、骨子として以下の3点は残すように留意した。

- ①一般社会における問題と化学や技術との関連
- ②ワークシート1, 2のまとめ
- ③グリーンケミストリーの考え方

(4) 学習履歴シートにおける要約の部分に点線を入れて字数の目安とした。

- ①今までの実践から適切な要約には7行程度が適切ではないかと考え設定した。
- ②要約の字数(7行)と記入時間(10分)の目安を提示し、生徒に取り組みやすく、集中して短時間にこなせるように考え設定した。

(5) この教材全体を通しての論点を以下の4点と考え、その論点が学習後の3文に現れるよう教材の全体構成に留意した。

- ①大気汚染とその対策の歴史
- ②大気汚染を克服しようとした科学者の努力
- ③大気汚染でその対策がまだ十分でない物質
- ④解決の方向性 (グリーンケミストリーの考え方)

(6) 資料をA3両面にまとめ、短時間で使いやすくした。

3 調査方法

調査対象 公立B高校 2年6組40名
 調査期間 平成16年12月2日(木) 1, 2限
 12月6日(月) 5限
 学習の状況 理論化学の分野が終了し、無機の分野に入り Na と Ca の実験、炭酸水素ナトリウムの熱分解の実験とアンモニアの発生の実験をやった後にこの教材を3時間実践した。
 指導の流れ

1 限

5分	<ul style="list-style-type: none"> ・熊本大学工学部物質生命化学科の入試問題を配布 (あくまで動機付けのためのみ配布) 製品設計、原料選択、製造方法、リサイクルなどの製品の全ライフサイクルを見通した技術革新により、健康・安全、省資源・省エネルギーなどを実現する科学技術である「グリーンケミストリー」が求められています。グリーンケミストリーとしてどのような技術が開発されるべきかを自由な発想で論述しなさい、と指示
5分	<ul style="list-style-type: none"> ・学習履歴シートを配布 (5分間で思ったことをそのまま書くように指示) 「大気汚染」という語を使って文を三つ書いてください、を実施
25分	<ul style="list-style-type: none"> ・ワークシート1と資料(A3両面)を配布しワークシート1を実施 (大切だと思ふところに線を引ながらやってみよう、と指示) (また、時間も25分くらいでやってみよう、と指示)
5分	<ul style="list-style-type: none"> ・ワークシート1が終わりそうな生徒がでてきたらワークシート1の要約ができるようにワークシート1及び資料の全体を見わたして大切だと思ふところをチェックしておこう、と指示
10分	<ul style="list-style-type: none"> ・ワークシート1 学習した内容を要約してください、を実施

2限

35分	・ワークシート2を配布 (大切だと思うところに線を引ながらやってみようという指示) (また、時間も30分くらいでやってみようという具体的に指示)
5分	・ワークシート2が終わりそうな生徒がでてきたらワークシート2の要約ができるようにワークシート2及び資料の全体を見わたして大切だと思うところをチェックしておこう、という指示
10分	・ワークシート2 学習した内容を要約してください、を実施

3限

30分	・ワークシート3を配布 (大切だと思うところに線を引ながら読み進め、全体を見わたして要約するように指示)
10分	・学習履歴シート この学習で何を学びましたか。 「大気汚染」という語を使って文を三つ書いてください、を実施
10分	・学習前-学習中-学習後をふり返って、あなたはどのように思いますか。 自由に書いてください。 ・学習しての感想を書いてください、を実施

4 授業を実施するにあたって

- ・テストではないががんばったことは評価する旨を生徒に伝えた。
- ・GSCに関する熊本大学の入試問題を配布することによって動機付けを行った。
- ・無機化学の学習の動機付けを意識した指導計画のなかで実施した。
具体的には Na, Ca の実験、炭酸水素ナトリウムの熱分解の実験、アンモニアの発生の実験の後で実施した。
- ・1校時ごとに何をどこまでするのかを明確にして授業を実施した。
- ・集中力が落ちないように1校時を細分化し折々に具体的な指示を与えた。
- ・目安の時間を設定することで生徒が見通しを持って課題に取り組めるようにした。
- ・机間指導を行い、必要な生徒には具体的なアドバイスをを行った。
- ・資料は参照することでワークシートの大部分が答えられるように設計した。

5 結果（教師のふり返し～生徒の記述から）

(1) 学習そのものに対する興味関心がわき上がってきている。

- 4 学習を通して大気汚染の経過や原因、対策方法について分かりました。難しい内容
と文字の量に、最初は途中であきそうだなと思ったけど、気づくと内容に引き込まれ
ていて逆に興味を持って取り組みました。
- 6 ただ化学の知識を深めるだけでなく世の中のことと関連していることも学ぶことが
でき、よりいっそう学習意欲が湧きました。
- 18 もっと興味を持ちました。自分で少し調べてみようと思います。化学が今どのよ
うに必要とされているのかということが分かりました。ここで学習したように、私
たち一般市民も地球のためにできることを考えなくてはいけない時代になってしま
した。住みやすい地球は、便利だとか安いとかそういうものではないなと思います。
私も何かできることがあるといいです。

(2) 学習前の3文と学習後の3文を自分なりの基準で判断し自分の成長を認めている。

- 29 知識が増えるるとこんなにも文章が違ってくるなんて思わなかった。
- 31 学習前の文と学習後の文では後の方が内容が濃くなっていると思う。
- 32 学習前では大気汚染といわれて思いつくことが単純でだれでも言えるようなことだ
ったけど学習したら大気汚染の原因などがわかりすごく良いことが書けるようにな
りました。

(3) 自分を自分自身が見ていくことで何が足りないのか自ら気がついていっている。

- 5 自分の要約では重要なことが伝えられていない気がする。授業で炭酸水素ナトリ
ウムの実験をやったけど、その物質を作るのに今までに環境汚染が起きていたこと、
それによる生成の方法の改良がたくさんされて今に至っているというのが分かった。
環境問題解決したい。
- 19 私は大気汚染について知っているつもりで、全く知らなかったことにびっくりし
ました。大気汚染は現代の問題と思っていたけど、昔からあり最近では一般人も大気
汚染をなくすように社会に協力するという動きがあることを知りました。私も、これ
からもっと「地球にやさしい」について考え、自ら大気汚染をなくす努力をしていき
たいと思いました。

(4) 学習が進むにつれ生徒がグリーンケミストリーの考え方を理解し、その上で自らの 課題（他人事ではなく自分の問題として）を見つけだしていっている。

- 9 学習前の文を書いていたとき正直何を書いているのかよく分からなかった。学習
中や学習後には自分が書こうと思っていることやどこが大切なポイントなのかだ
んだんわかるようになってきた。

35 学習をする前は、環境問題はほとんど他人事としか思っていなかったけど、学習を進めていくうちに、地球にすんでいる一人一人が環境について深く考えていかなければいけないと思った。

37 大気汚染をなくしていくために自分達は何をすべきなのか、何ができるのかということをよく考え、これから生活していかなければならないと思う。もちろん、考えるだけでなく行動に移していかななくてはならないと思う。

6 考察（教師の側から見てきたこと）

(1) 生徒が結果、考察や感想等をたくさん書きたくなるような教材である。

—結果(1)より—

時間が十分とはいええない状況であっても学習履歴シートにおける『学習前—学習中—学習後をふり返って、あなたはどのように思いますか。自由に書いてください。』『学習しての感想を書いてください。』の欄に全員が記入し、終わらない生徒は休み時間も使って取り組んでいた。この様な生徒の教材に取り組む姿は、普段あまり見ることができないが、生徒が本当に興味深いと感じた教材、又は感じたことや学んだことを表現したいと思うような教材に対しては、この様に生徒の意欲は本物となると思われる。

(2) 生徒が自己の変容をふり返り自己評価できるような場面（この教材の学習履歴シートのふり返り）がある。

—結果(2)より—

生徒が学習前と学習後の3文を比べてみて、自分なりの成長を認識することで生徒が学ぶ意義を実感することができれば、その後の学習姿勢に計り知れない好影響を与えることができるのではないかと考える。今回は生徒の学習前後の3文のふり返りまでだが、ループリック等による自己評価や相互評価が加わってくるとよりいっそう自分の成長や足りない点などが具体的に認識され、さらなる学習意欲につながられるのではないかと期待できる。

(3) 生徒が自己の変容を認識し、さらにそれを自由に表現する場面（この教材の学習履歴シートの感想）がある。

—結果(3)より—

感想の欄を設けることで生徒が自分の変化を自由に表現でき、表現することで自分の変化を再認識できるのではないかと考える。再認識することでふり返りが深まり、次へのステップ（意欲）につながっていくと思われる。

(4) 生徒がグリーンケミストリーの考え方を理解し、自ら自分の課題を見つけ自分の問題としてとらえられるような学習の展開となっている。

—結果(4)より—

ワークシート1, 2で実践してきた「要約をする」学習がワークシート3においていきてきて本教材でつかんでほしいグリーンケミストリーの考え方を適切にとらえられるようになってきている。そのことは学習が進むにつれ、他人事ではなく自分の問題として考えることができるようになってきていることから推測される。そして、そのことで学ぶ意義が再認識され、より一層学習意欲が喚起されると思われる。

以上4点が効果的に表れるために考えられること

・動機付けは二つに分けて考えそれを生徒に伝えること

一つは指導計画の中の位置づけであり、どの単元でどのような意図があつてこの教材を用いるのかがはっきりしていると、生徒が化学のなかで学ぶ意義をより一層感じることができるのではないかとと思われる。さらに指導計画にはこの教材の前や中間に実験を入れるなどして、学習の流れの中で生徒が自らの考えを作れるような材料を用意しておくとともに効果的であると思われる。

もう一つはこの教材そのものに対する1番最初の動機付けをどうするかということである。今回は、入試問題の配布とがんばったことを評価すると伝えただけだったが、生徒の実態にあわせて様々な動機付けが考えられると思う。

・教材にあわせて生徒が集中を続けられるような授業計画（小さなコツ）をつくること

時間的な目標を持たせたり、大切だと思ったところに線を引かせるなど作業をいれることで動機付けが十分でなかった生徒も教材そのものがもつ魅力の中に引き込んでいくことができるのではないかとと思われる。

7 全体を通して

適切な素材（教材）を用意して良い状態の中で実践すると生徒は大きな変容を遂げることができる。それまでの蓄積や指導の流れの中で核となる授業を効果的に実践することで大きな教育的効果を上げられるのではないだろうか。その核となる授業がこのグリーンケミストリー教材である。「環境問題については前から関心がありましたが、詳しくは知りませんでした。ただ大気汚染が進んでいく一方だと思っていましたが、学習してみて驚きました。発生させない方法や、処理上で発生したものを再利用したり、ちがう物質に変えたりと、グリーンケミストリーに基づいてさまざまな研究がなされていたのだと初めて知りました。化学へのイメージも少し変わって、これからの化学がもっと地球のために役に立つものとして活躍してほしいと思います。」と生徒が記述しているように、化学を学ぶ意欲が湧き、化学のイメージが良くなるような教材を年間計画のなかで位置づけることが大切だと思われる。

3校時に縮約した教材による実践でも、上記に示したような学習履歴シートへの生徒の記述などによる反応から、グリーンケミストリーの考えやそれに基づく意思決定など本教材で意図した成果は十分得られたと考えられる。今回は無機物質の章で本教材を実施しているが、このことで各論の暗記に陥りやすい特に文科系の生徒にとって、この章の学習の意味を見出せたようである。すなわち、ナトリウム化合物の学習の後に本教材を学習することで、炭酸ナトリウム工業との関連づけができる。さらに、本教材実施後には塩化水素や硫酸化物、窒素酸化物、炭酸塩の学習が続くが、それらの内容とも関連づけることができる。また、本教材と関連する実験も時をおかずに実施できることになる。その一方、時間的にはいっぱいであり、学習に余裕がなく、より深い調べ学習をするなどの活動はできない。このような問題点もあるが、3校時での教材では実施する時期を考慮することで十分に効果が見込めることがわかった。

1-2 3時間のできるグリーンケミストリー教材の実験の資料

学習履歴シートにおける『学習前-学習中-学習後をふり返って、あなたはどのように思いますか、自由に書いてください。』の生徒の記述より

1	身の回りで起きていることなので、大気汚染はこわいと思った。
2	学習前は大気汚染についてほとんど何の知識も持っていなかったが、学習の中で大気汚染の原因は時代の流れと共に様々な形があったのだなと思った。だがその反面は、大気汚染や環境汚染を防ぐために立ち上がり研究し続けた科学者たちはすごいと思った。この人達の研究がなかったら今も大気汚染は問題視されているだろうと僕は思う。これからは汚染物質を発生させない化学というものを考えていけば良いと思う。
3	学習前は、大気汚染の対策などをあまり考えていないんだなと思っていて、学習するにつれ色々わかりこれまでに、できるだけ汚染をおさえるように色々な方法を考えたんだなと思った。
4	学習する前はあまり「大気汚染」について深く考えたり、関心を持ったりしてはいなかったけど、実際に資料を読んで、大気汚染が原因で様々な公害があって、それをなくそうと色々な手段や方法が使われてきたのを知りました。知らないうちに私も自然を壊す手助けをしてきたのが悲しいと思います。そして、どうしたら日本人一人の小さな力でも大気汚染を防げるのか今まで以上に関心を持つことができたと思います。
5	ほとんど知識を持っていなかった自分がワークシート1, 2, 3, をやるにつれて少しずつ知識を持ち環境について考えるための力が少し身に付いたのがわかった。まだまだ足りないのではあるけどこの学習が「一歩目」だと思ってもっと力がつけられたらと思う。
6	学習前は大気汚染について原因などまるでわからなかったがワークシートや資料を読み進めていくうちに大気汚染についてよく理解できるようになりました。特に要約することで何が重要でそうでないかわかった。
7	学習前は正しいかどうかともわからない大気汚染の知識しかなかったけど少しずつ学習していくうちに新しいことがたくさんわかっていった。学習後は大気汚染がどうして発生したか、その対策などいろいろわかった。
8	大気汚染の原因、被害、人への影響そして対策がくわしくわかった。これ以上大気汚染を広めたくないと思う。
9	学習前の文を書いていたとき正直何を言っているのかよく分からなかった。学習中や学習後には自分が書こうと思っていることやどこが大切なポイントなのかがだんだんわかるようになってきた。
10	私たちが使っている化学製品はHClやSOxなどの汚染物質を出してできているそういうことを知った上でしようしないとだめなんだなと思いました。
11	アンモニアソーダ法を考えたら人はずいと思った。環境を考慮するということがとても大切だと改めて知った。

12	学習前は大気汚染というものについて知らない点がたくさんあったけど、学習しているうちにいろんなことを知ることができてよかった。
13	環境問題については前から関心がありましたが、詳しくは知りませんでした。ただ大気汚染が進んでいく一方だと思っていましたが、学習してみて驚きました。発生させない方法や、処理上で発生したものを再利用したり、ちがう物質に変えたりとグリーンケミストリーに基づいてさまざまな研究がなされていたのだと初めて知りました。化学へのイメージも少し変わって、これからの化学がもっと地球のために役に立つものとして認識してほしいと思います。
14	学習前から大気汚染という言葉は知っていたが、学習してみてあらためて大気汚染と科学技術には深い関係があるとわかった。また、これからは科学技術による問題が社会的にも大きな問題になると考えられる。よってこれからは1人1人に化学の知識が求められると思う。
15	大気汚染がこんなにも恐ろしい事だなんて知りませんでした。また、思っていた以上にたくさんの人々が病気にかかっていたり、知らないうちに植物が枯れてしまっていたり、かなりの衝撃を受けました。そして、私たちの知らない昔にたくさんの人達がいろいろな対策を練って努力をしたことはすごく尊敬しました。この人達の努力がなければ、現在私たちは地球にいられていなかったかもしれないし、改めて環境問題について深く考えさせられました。
16	学習前は大気汚染について人から聞いたものやテレビで見たことしか書けなかったけど自分で資料を読みまとめることで大気汚染をより深く知ることができ、今私ができることや化学と関係のない一般市民の私の考えも役に立つことを知り最初から考えないのではなく普段から自然について興味を持ち関心を持っていきたいと思った。
17	塩化水素 (HCl) や硫黄酸化物 (SOx)、窒素酸化物 (NOx) などの大気汚染物質の対策にグリーンケミストリーでの手段を使っていることがよく分かった。
18	これまでの失敗やぎせいをムダにしないように、しっかり対策と計画をもったうえで大気汚染を0にするように努力してほしいと思う。
19	学習前は大気汚染について世界中の問題だが何の対策も取られていないと思ったけど昔から人は大気汚染に苦しめられ、それをなくすべくたくさんの方々がとられ失敗もくりかえされてきて今があるんだなあと思いました。
20	前から環境のことには興味があったが、自分は知らないことが多すぎると思った大気汚染は人間の無責任さが原因だと思った。
21	学習前は「大気汚染」について、イメージぐらいでしか知らなかったけれど学習しているうちにいろいろな有害な物質が含まれていることが分かった。また、自然を破壊し、人にどんな影響を与えるかのことも分かった。

22	学習前は大気汚染というのが、言葉を聞いたことがあるだけでどういうものなのかわからなかったけど、学習していくうちにだんだんどういうものかや、どういう過程でなっていたなどがわかっていったし、その改善方法などもうまれていたことが分かった。学習をし終って、これからの社会にはやっぱり環境のことを重視していかなければいけないのだと思った。
23	学習前は「大気汚染」という言葉は知っていたけど、具体的にはよく知らなかったんだなあと思った。学習中、初めて知った言葉が多かった。少し難しかった。学習後では、以前より理解が深まった。
24	学習前は、具体的なことは何1つ知らなかった。そして、学習していくうちに大気汚染のことを知りそして「グリーンケミストリー」にすこしちかずけたようになった。
25	学習前は大気汚染によって、環境に悪影響があったり、人体に悪いということばかり考えていたが学習を進めるうちに大気汚染をなくそうとしていることに気がついた。少しでも無害なものにしようとするために、これだけたくさんの研究がなされていることを知った。
26	汚染物質について今まではよく知らなかったけど、学習してみてこの問題はかなり重要な課題だと思った。
27	大気汚染でおきた公害を知っていたが、それが誰が原因でどのように広まっていたかを知っていた。
28	ワーク2の内容がよく理解できなかった。ワークシート3を理解することができればワークシート1、2の内容も理解できる。
29	知識が増えたとこんなにも文章が違ってくるなんて思わなかった。
30	最初は大気汚染について書けと言われても何を書いていいか分からなかったけど学習していくうちに大気汚染のことについて少しづつ分かるようになった。そして学習後は、学習前より大気汚染についての知識がついたのでよかったと思った。
31	学習前の文と、学習後の文では後の方が内容が濃くなっていると思う。
32	学習前では大気汚染と言われて思いつくことが単純でだれでも書えるようなことだったけど学習したら大気汚染の原因などがわかりすごく良いことが書けるようになりました。
33	この学習をやっていくうちに自分の知らなかったことがどんどんわかって環境問題のこと何もわかってなかったんだなあと思った。
34	学習前は大気汚染なんてそこら辺の大きな工場や車の排気ガスのせいだと思いきみ直接自分は関係していないと思っていたが学習を進めるにつれてその問題はゴミ、の出し方や省エネを心がけるだけでも大きく変わっていくことが分かり、これからは自分に近い問題として考えていこうと思った。
35	学習をする前は、環境問題はほとんど他人事しか思っていなかったけど、学習を進めていくうちに、地球にすんでいる一人一人が環境について深く考えていかなければいけないと思った。

36	現在、さまざまな環境汚染が問題となっているので、グリーンケミストリーの技術をもっといかして、環境汚染がなくなるといいと思った。
37	学習前はどのようにこのようなことをするのだろうと疑問に思っていたけれど学習していくうちに大気汚染で人間が病気になることが分かり、少しでも大気汚染をなくしていかなければならないと思った。
38	学習前では科学の力が大気汚染などのいろいろな問題をおこしているんだと思っていたけど、学習後はそれを解決していったのも化学の力だったんだと思った。
39	学習前はあまり大気汚染について考えたことがなかったが学習していくうちに大気汚染を防ぐためにいろいろな実験や方法を考えてすごいなあと思った。学習後は環境についてこれからも考えていかなければいけないし、地球を守らなければならないと思った。
40	へーと思うことが多かった。

学修履歴シートにおける『学習しての感想を書いてください。』の生徒の記述より

1	大気汚染について名前は知っていたけれど何が原因でどんな予防対策があるかなど知らなかったので、今回の学習で知れてよかった。
2	今のキレイな環境があるのは昔々なことがあったからというのがとても分かった。環境というのは無くしてしまうのは簡単である。そして、元に戻そうするのはとても困難である。今の環境を維持していくのが今生きる僕たちの仕事である。昔、環境を元に戻してくれた科学者がいたことを思い生きていかなければならないのだと思った。
3	やはり人間が生活をよくするために色々な物を改良し続ける限り汚染は防げないなど思った。だから、完全に防ぐのは無理としても汚染を最小限に防ぐようこれからも色々な対策が必要だと思った。
4	学習を通して大気汚染の経過や原因、対策方法について分かりました。難しい内容と文字の量に、最初は途中であきらめそうだなと思ったけど、気づくと内容に引き込まれていざに関心を持って取り組みました。
5	自分の実験では重要なことが伝えられていない気がする。授業で炭酸水素ナトリウムの実験をやったけど、その物質を作るのに今までに環境汚染が起きていたこと、それによる生成の方法の改良がたくさんされて今に至っているというのが分かった。環境問題解決したい。
6	ただ化学の知識を深めるだけでなく世の中のことと関連していることもまなぶことができりいっそう学習意欲が湧きました。
7	大気汚染について何も知らなかったけど、学習してどういものかすごくよく分かった。これからの自分の将来に大きくかかわっていくことだと思うから、学習できてよかった。

8	今現在、大気汚染がすすんでいるのなら1分1秒でも早く止めたい。また、大気汚染がなくなるように自分にできることをやるように心がけ実行したい。きれいな大気になれば病気で苦しんでいる人が楽になるのだから。
9	まとめるのが遅しかったが学習前と比べて学習後では大気汚染物質の主な3つが明らかになったし、それらの物質が人体や生物にどんな害を与えるのかが分かり、勉強になった。
10	特になし
11	これから社会人になっていく自分たちにグリーンケミストリーの様々な素養知識が求められているのだと思った。
12	何に対しても詳しく知ることはとても役に立っていいことだと思った。
13	もっと興味を持ちました。自分で少し調べてみようと思います。化学が今のように必要とされているのかということが分かりました。ここで学習したように、私たち一般市民も地球のためにできることを考えなくてはいけない時代になってきました。住みやすい地球は、便利だとか安いとかそういうものではないなと思います。私も何かできることがあるといいです。
14	事実を交えた資料で学習することによって良く理解できた。また、化学技術の発展には影と光がある事が更に良く分かった。
15	今まで省エネなどに心がける事があまりなかったけど、今回の授業で環境問題が悪化するとうるなるとかその他いろいろ知って、1つ1つの行動に心がけていこうと思いました。意外と楽しく学ぶことができて良かったです。
16	自分で読みまとめることでよく頭で理解できたと思う。制限時間の中でまとめるということはとても難しいことだと感じた。
17	様々な汚染問題の対策について成功する前は失敗していたことがわかった。あとグリーンケミストリー教材について理解を深めることができてよかったと思う。
18	グリーンケミストリーの大切さがよく分かった。廃棄物を出す前に出さないことが1番大切なことであると思う。
19	私は大気汚染について知っているつもりでまったく知らなかったことにびっくりしました。大気汚染は現代の問題かと思っていたけど、昔からあり最近では一般人も大気汚染をなくすように社会に協力するという動きがあることを知りました。私も、これからはもっと「地球にやさしい」について考え、自ら大気汚染をなくす努力をしていきたいと思いました。
20	学習していく中で、自分は何ができるのだろうかと思った。もし、大気汚染を防ぐことができたなら、様々な種の生き物が絶滅せずにすむのでは？と思った。
21	化学の力は、環境に悪い影響を与えたり、役に立ったりすることが分かった。
22	環境や身の回りのものを減したりよごしたりしたりすると、それは自分達にかえってくるので減したり汚したりしないもっと違う方法を考えなければいけないということもわかり環境の大切さや重要さがわかった。
23	結構遅しかったけど楽しかった。たくさんいろんな事が知れてよかった。

24	今までの化学は何かを作り出すことだけを考えていたけど、逆の作用もかんがえなくてはならないんだと思った。
25	「大気汚染」という1つのテーマでとても多くの事を学んだ。今まで大気汚染は自分達がうけるものだとばかり考えていたが、自分達がうみだしているものだと感じた。大気汚染を少しでも減らせるように努力したい。
26	難しい文だったけど、その危険性が分かったので、これからはしっかり知識を学び自分にできることをしっかりやれるようにしたい。
27	今まで大気汚染は自分に関係ないと思っていたが、これからは自分の行動によって汚染が悪化するかもしれないと思った。
28	自分で要約するのは思った以上に大変だった。ワークシート3でグリーンケミストリーがでてきて、処理より発生を防ぐことが大事と書かれていたが当たり前なことだと思った。
29	要約するのは大変だったけど、何が大切でどこを使えば良いのかを考えて書いた
30	学習課題シートを見ると、学習前と学習後では大気汚染についての知識の差がでていたと思った。大気汚染について学習しているいるなことがわかるようになったので良かったと思った。
31	とても参考になった部分がたくさんあり、とくにグリーンケミストリーは初めて知ったことなのでとても勉強になった。
32	学習前は要約なんてできないと思っていたけどいざやってみると自分でも驚くくらい集中できて文章も読むことができました。要約も少しわからなかった点があったけど自分なりににはできたと嬉しいです。
33	知らないこととか初めてのことがばかりでビックリした。もっとかかわっていかないとダメと思った。
34	客観的に見ていたものが主観的に見れるようになった。このような問題は他にもたくさんあると思うのでたくさん調べていきたいと思った。
35	今まで環境問題は中学生の時に社会科の授業でやっていただけだったので、今回学習をしたことによって、身近な問題として考えられるようになり、これから自分はどうすればいいのかということを考えることができました。
36	けっこう要約とかがむずかしかったけどすごくためになった。
37	大気汚染をなくしていくために自分達は何をすべきなのか、何ができるのかということをよく考え、これから生活していかなければならないと思う。もちろん、考えるだけでなく行動に移していかなければならないと思う。
38	化学の力はその利用の仕方によって、害を及ぼしたり、役に立ったりするものと思った。
39	学習をして、汚染物質を出さないための方法やしくみがわかって良かった。これからは地球を住みよいところにして、環境について頭に入れて生活していきたい。
40	近頃はチャリで。

年 組 番 氏名 _____

酸性の物質を原因とする環境汚染は、19世紀前半のイギリスですでに問題になっていた。当時、酸性ガスと呼ばれていた二酸化硫黄(SO₂)や塩化水素(HCl)はぜんそくや気管支炎などの原因になったり、植物を枯らすなどの被害をもたらしていた。塩化水素(HCl)による環境汚染の問題はさまざまな対策や経済的ないきさつを経て、19世紀末に解決された。

1. 塩化水素(HCl)はどうして出ていたのか?

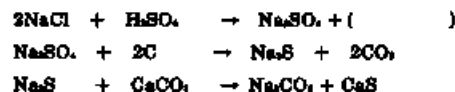
塩化水素の主な発生源は、かつては炭酸ナトリウム(Na₂CO₃)工場であった。炭酸ナトリウムは工業界にとって大変重要な物質である。18世紀までは木灰や海藻灰などから抽出されたが、ヨーロッパで毛織物工業が発達するにつれて、毛織物の洗浄剤として炭酸ナトリウムが使われ、1789年フランスのルブランは、炭酸ナトリウムの大規模な工業的な製造(ルブラン法)に成功した。



ルブラン

炭酸ナトリウムが安く大量に手にはいることで、織物の漂白やガラス、石けん、染料、薬品の製造など織物業や人々の日常生活に必要な不可欠のものとして需要が急増し人々の暮らしは豊かになった。その一方で、副生成物の塩化水素(HCl)が原因の大気汚染が激しくなった。

炭酸ナトリウム(Na₂CO₃)をつくるルブラン法について次の化学反応式を完成させよう。



※ 塩化水素はどのようなものか、教科書や資料からまとめてみよう。

a. 性質	
b. 工業的 利用法	
c. 自然界 での存在	
d. 健康へ の影響	

2. 利益を得るために問題点に対して行ったいろいろな対策はどんなことか?

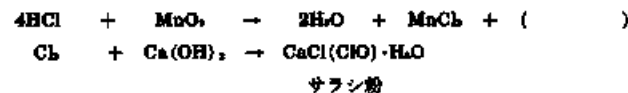
a. 新たな問題が起こった対策(資料を参考にして表にまとめよ。)

1) どう解決しようとしたか	2) 結果としてどのような影響があったか。
高い煙突をつくって大気中に拡散させた。	
水に溶かして川に流した。	

b. 効果があった対策(資料を参考にして表にまとめよ。)

1) どう解決しようとしたか。	2) 結果としてどのような影響があったか。
	公害対策は完成した。

※ この反応は次の通りである。化学反応式を完成させよう。



3. 19世紀中ごろ考え出されたアンモニアソーダ法ってどんな方法か?

ベルギー人のソルベーは、食塩水にアンモニアと二酸化炭素を吸収させると炭酸水素ナトリウムができることに着目した。炭酸水素ナトリウムを焼けば容易に炭酸ナトリウムを得ることができるので、1861年にこの製法で炭酸水素ナトリウムの生産を始めた。この方法をアンモニアソーダ法という。この方法では塩化水素などの有害な物質が発生しない。

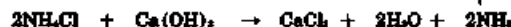
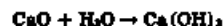


ソルベー

アンモニアソーダ法の化学反応式を完成させよう。



(二酸化炭素の生成とアンモニアの回収)



4. アンモニアソーダ法はルブラン法と比べて違いは何か?

	ルブラン法	アンモニアソーダ法
副生成物は何か、また、どう使われたか。		塩化アンモニウム(NH ₄ Cl)～ 農産物の肥料として使われた。 アンモニア、二酸化炭素～ 再利用された。

アンモニアソーダ法のほうが、上でまとめたような利点がある見えるが、イギリスなどでは20世紀はじめまで残ってすぐにはなくならなかった。

5. ルブラン法がすぐにならなかったのはなぜか?

塩素(Cl₂)やさらし粉など副生成物の需要に支えられて、経済的採算が成り立っていたためすぐにはなくならなかった。19世紀末には塩素は電気分解によって安く製造されるようになった。その結果、経済的採算が合わなくなり、ルブラン法の工場は順次閉鎖されていった。

炭酸ナトリウムの製造法としてルブラン法の開発、改善、アンモニアソーダ法へと移行する経緯は公害問題を解決してきた経緯でもある。この解決過程は現在の大気汚染の対策についても参考になるものであった。

ワークシート2 硫黄酸化物と窒素酸化物について

年 組 番 氏名

[硫黄酸化物]

エネルギー源としての石炭や石油にはたいがい硫黄分が含まれており、燃やすと硫黄分は酸化されて、硫黄酸化物が発生する。また、鉄鉱石や銅鉱石など金属の鉱石は硫化物(硫黄の酸化物)であることが多く、金属精錬の過程でたいがい硫黄酸化物が発生する。資料にもあるとおり古くはSO₂による被害は銅山の精錬によるものが知られている。

黄銅鉱 CuFeS₂ や輝銅鉱 CuS の精錬の過程で、どのようにして硫黄酸化物が発生するのか、化学反応式を用いてまとめよう。



1. 硫黄酸化物(SO₂)とはどんなものだろうか?

硫黄酸化物について、教科書や資料をもとに次の項目についてまとめてみよう。

a. 性質	
b. 人体・生物への影響	

2. 代表的な銅山では硫黄酸化物に対してどのような対策がとられ、どのような問題点があったか?

	対策	その後の課題
足尾銅山	排煙を水で洗って川に流した。	
別子銅山	精錬所を島に移し農地から遠ざけようとした。	
日立鉱山	高い煙突をつくった。	

3. 公害問題の1つであった四日市ぜん息に対してどのような対策がとられたか?

四日市市は石油の燃焼による硫黄酸化物、特に二酸化硫黄が原因と見てその対策として高い煙突をつくった。資料を参考に、被害状況と当時とった対策についてまとめてみよう。

4. 現在、火力発電所や金属精錬所でとられている対策としては排煙脱硫や原油脱硫がある。

排煙脱硫とは、排煙中の硫黄酸化物を除く方法であり、代表的なものは、二酸化硫黄を石灰乳(水酸化カルシウム)Ca(OH)₂で中和・吸収し、無害で利用価値の高いセッコウ CaSO₄・2H₂O にする方法がある。

次の化学反応式を完成させよう。



原油脱硫とは、原油から硫黄分を取り除く方法である。これについて、資料を参考にまとめて、原油脱硫の利点と課題について考えよう。

利点	課題

わが国では現在、排煙脱硫と原油脱硫を使って、ほぼ完全に硫黄酸化物の大気への放出は抑えられている。

[窒素酸化物]

1. 環境問題を引き起こす窒素酸化物(NO_x)にはどのようなものがあるか?

環境問題を引き起こしている窒素酸化物は、おもに一酸化窒素 NO と二酸化窒素 NO₂ であり、これらの物質について、教科書や資料をもとにまとめてみよう。

	性質	人体への影響
一酸化窒素		
二酸化窒素		

2. 人間活動で窒素酸化物はどこで発生するか?

人工的に発生する窒素酸化物は、ボイラーやエンジンの中で空気中の窒素と酸素が高温状態で反応して生成したものである。その大気汚染対策として工場など固定発生源では、硫黄酸化物の排煙脱硫とともに排煙脱硝によりその多くはでる前に取り除かれている。一方、移動発生源である自動車では、排気管に触媒をつけて排気の際に窒素酸化物を窒素と酸素に分解しているが、窒素酸化物として排気されるものも少しあり、完全な除去になっていないのが現状である。

3. 窒素酸化物の対策技術として考えられるものは何か?

人間の活動を制限する(昔の生活に戻る)のが1つの方法であるが現実的ではない。窒素酸化物の対策技術としてどのような方法が考えられるだろうか。あなたが考えた方法をあげてみよう。

ワークシート3 グリーンケミストリー

年 組 番 氏名 _____

これからは一般社会における問題と科学や技術との関連がさらに強まっていくことが考えられる。例えば、医療ではインフォームド・コンセントに象徴されるように患者自身の判断・意思決定が重視されるようになってきた。エネルギーや環境の問題でも同様である。社会に出て科学技術の知識が必要な対象者は、研究者や技術者ばかりでなく、ジャーナリストや一般市民も含まれるようになってきている。科学や技術に関連した社会問題に関して判断・意思決定する場合には、文科系を含めた一般の人々にとってもその基礎として自然科学的な素養、総合的な自然観を身につけていることが、多くの個人や社会全体に利益をもたらす方向への結論を導くために重要なことと思われる。

一方、研究者や技術者も考え方を切り替え始めており、その一つがグリーンケミストリー(環境にやさしい化学)である。グリーンケミストリーとは環境汚染を防ぎ、化学物質の合成や設計をする化学であり、汚染が発生してから処理ではなく、汚染そのものの発生を断つための原理や方法論のことで、欧米や日本の化学会で汚染を防ぐ画期的な手段として注目を浴びている。また、それを推進する運動のことも指す。

ワークシート1で学習したように、ルブラン法により大気汚染が発生し、その対策を実施していくのと並行して、大気汚染の発生しないアンモニアソーダ法が開発されていく流れは、まさに炭酸ナトリウム工業におけるグリーンケミストリー(汚染の発生を断つ方法)への変換を示している。すなわち、大気汚染の対策として、まず発生する汚染物質が外に出るとき、高い煙突や水に流すことで対応しようとした。しかし、この方法は汚染を拡大する結果となり、汚染物質が外に出る前に有用な製品(塩素やサラン粉、硫酸など)に変えるようになった。一方、アンモニアソーダ法は汚染物質そのものが発生しない製法であり、この方法が最も環境にやさしい方法といえる。この一連の流れは、汚染物質が外に出る際の処理、外に出ないようにする処理、汚染物質を発生させないようにする方法への移行である。

ワークシート2では、硫黄酸化物と窒素酸化物について学習した。硫黄酸化物による大気汚染の対策も炭酸ナトリウム工業における対策と同様に、まず、発生する汚染物質が外に出るとき、水に流すことや離れた場所への移転、高い煙突などで対応しようとした。しかし、この方法の多くは汚染を拡大する結果となり、汚染対策は汚染物質が外に出る前に取り除く排煙脱硫による方法に変わっていった。さらに、原油脱硫による汚染物質そのものを発生させない方法が組み合わされて行われるようになった。この一連の流れは、炭酸ナトリウム工業と同様に、汚染物質が外に出る際の処理、外に出ないようにする処理、汚染物質を発生させないようにする方法への移行である。

より安全な対策としてどのような方法が考えられるか、案を出してもらった。なお、開発されつつある方法としては、排気管の触媒の改良とともに、エンジン内の空気の酸素濃度を減らしたり、温度を上げないようにしたりして窒素酸化物の生成を抑える方法や、電気自動車など空気を取り入れて燃焼する温度を低くする方法などが考えられている。この対策でも、汚染物質が外に出ていたものを、外に出ないようにする処理、汚染物質そのものを発生させない方向へと移行していくことが考えられよう。

グリーンケミストリーを推進していく大事なポイントの一つに、対策療法ではなく、物質の科学である化学を駆使して本能的にリスクを除こうとすることがある。

リスクは次のように表せる。

$$\text{リスク} = \text{危険性} \times \text{暴露量}$$

これまでは産業界も社会も、危険性が同じであるなら暴露量(危険にさらされる人数と汚染の程度)を減らすことでリスクも減らすことを中心に考えてきた。グリーンケミストリーでは、危険性そのものも減らそうとしている。グリーンケミストリーでの手段を使えば、物質そのものを無害に近づけていくことになるのでリスクは激減に減り、無害となれば漏れてもリスクが増えることはなくなり、環境に出ても心配はいらないことになる。

グリーンケミストリーにはその精神を教した12か条がある。

1. 廃棄物は「出してから処理」ではなく、出さない。
2. 原料をなるべくむだにしない形の合成をする
3. 人体と環境に害の少ない反応物・生成物にする。
4. 機能が同じなら、毒性のなるべく小さい物質をつくる。
5. 補助物質はなるべく減らし、使うにしても無害なものを。
6. 環境と経費への負担を考え、省エネを心がける。
7. 原料は、枯渇性資源ではなく再生可能な資源から得る。
8. 途中の修飾反応はできるだけ避ける。
9. できるかぎり触媒反応を目指す。
10. 使用後に環境中で分解するような製品を目指す。
11. プロセス計画を導入する。
12. 化学事故につながりにくい物質を使う。

このように、これからの科学技術を望ましい方向へ進めていくためにも、判断・意思決定に役立つ科学的な見方や考え方が研究者にも、技術者にも、一般市民にも必要な素養とってきている。

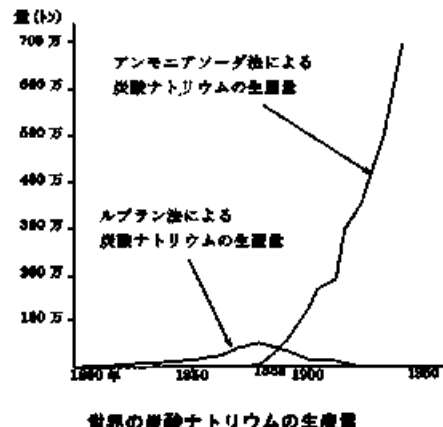
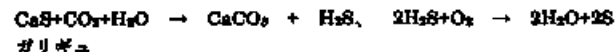
【資料】 大気汚染物質一覧

工場の利用方法	塩化水素(HCl)	硫酸酸化物(SOx)	窒素酸化物(NOx)
	塩化水素(HCl)は水に溶解し、水に溶けると塩酸になる。様々な化学工業に使われ、さらし粉(漂白剤)、薬品、マッチ、塩化ビニルなどの原料になる。 (例) $4HCl + MnO_2 \rightarrow Cl_2 + MnCl_2 + 2H_2O$ 塩酸 $Cl_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaCl_2 + H_2O$ さらし粉	SOxはS(硫黄)やH ₂ SO ₄ (硫酸)として回収し、工業に利用される。また、水と石灰を用い石こうにする。 $SO_2 + Ca(OH)_2 + H_2O \rightarrow CaSO_3 \cdot \frac{1}{2}H_2O$ 石こう	
自然界での発生源	火山ガスなどに含まれ、大気中にごく微量存在する。	火山ガス、生物の遺体、瀝青層や干潟などから発生する。年間2,000万トン。	主に、土中のバクテリアの活動などにより発生する。いづつ(空中放電)によっても発生するがごく微量である。年間18,000万トン。
人工的な発生源	19世紀前半から20世紀初め、ヨーロッパでは炭酸ナトリウム工場からHClガスが大量に放出され、深刻な大気汚染を招いた。現在ではゴミ処理などでHClガスが発生するが、その量はごく微量である。	化石燃料の燃焼(火力発電所、工場・ビルのボイラーなど)、鉱石の精錬所などで発生する。年間21,200万トン。	主に化石燃料の燃焼による。工場・事業場のボイラーなどの固定発生源や、自動車・航空機のエンジンなどの移動発生源がある。家庭の暖房などからも発生する。年間7,500万トン。
人体への影響	のど、目、鼻などを刺激し、それらの炎症や気管支炎などを起こす。工場などで作業する場合は、許容限界濃度は5ppmである。1,200ppm以上の所に約1時間いると死亡することがある。	のどや鼻を刺激し気管支炎を引き起こす。肺炎になることもある。慢性の中毒では鼻やのどがはれたり、声をとめたりすることもある。 SO ₂ の環境基準は、1時間値の1日平均が0.04ppm以下で、その1時間値が0.1ppm以下と規定されている。600ppmの所に約1時間いると死亡することがある。	のどや鼻を刺激し気管支炎を引き起こすが、その作用は硫酸酸化物ほど強くない。しかし、高濃度のNOxを吸入すると肺に障害をおこす。 NO _x の環境基準は、1時間値の平均が0.04~0.06ppm以下と規定されている。また、工場などでの許容濃度は3ppmとされている。320~330ppmの所に30分~1時間いると死亡することがある。
生物への影響	植物の葉を黄変、変形させる。雨滴に染り込まれると酸性雨となり植物を枯らす。	一般に植物はSOxに強く、30~50ppmでも枯れることがある。このため、農作物には大きな影響を及ぼす。また、SOxは酸性雨の原因となり、広範囲に植物を枯らし、湖を酸性化し魚類などに影響を及ぼす。	酸性雨の原因となり植物を枯らし、湖を酸性化し魚類などに影響を及ぼす。

塩化水素による大気汚染の対策(ルブラン法の改良)

- 1791 フランス人のルブランが炭酸ナトリウム(ソーダ灰)製造法の特許を取得。
- 1810頃 ルブラン法による炭酸ナトリウム製造の過程で、塩化水素(HCl)ガスが発生し、それによる大気汚染が問題となった。
- 1814 フランスのソーダ灰生産量が、年間1万トンに達した。
- 1823 イギリスのリバプール市に高煙突(90m)の工場を建設した。HClガスを拡散しようとしたが、結果は、さらに汚染地域が広がった。
- 1828 同工場、HCl公害のため人口の少ないセント・ヘリンズへ移転させられた。
- 1836 イギリス人のゴッセージが水にHClガスを溶かし塩酸として回収する脱収塔を開発した。しかし、塩酸の用途が少なく、川に流し捨てたので河川の汚染が発生した。
- 1863 イギリスでは、ルブラン法工場に対する規制法(アルカリ条例)が制定された。(濃度5%以上のHClガスの放出を禁止)

- 1870頃 ゴッセージの脱収塔で回収した塩酸を原料とする、さらし粉(漂白剤)の製造(ウェルドン法)が普及した。これによって、HCl公害はほぼ解決した。
- 1880 ルブラン法による世界のソーダ灰生産量が、年間54.5万トンのピークに達した。
- 1881 アルカリ条例をルブラン法以外の工場にも適用し、アルカリ工場規制法とした。
- 1887 廃棄物のガリギユ(H₂Sなどの発生源)対策として、イギリス人のチャンスが硫黄(S)の回収法を考案した。これによって、ルブラン法の公害対策は、ほぼ完成した。



炭酸ナトリウムの新しい製法(アンモニアソーダ法)

- 19世紀半ば、新たにアンモニアソーダ法(ソルベー法)が確立し、その後、ルブラン法に代わって炭酸ナトリウム生産の主流になった。アンモニアソーダ法は、原料のアンモニアが安く供給され、また、アンモニアや二酸化炭素を回収し、再び原料として使用するので、生産効率が高く、製品を安く作る事ができる。塩化水素(HCl)や硫化水素(H₂S)などの汚染物質を排出することもない。アンモニアソーダ法では、塩化アンモニウム(NH₄Cl)を副産物として取り出すこともできる。NH₄Clは農産物の肥料になる。
- 一方、ルブラン法では、副生するHClや硫化カルシウム(CaS)を、有用なサライ粉(CaCl₂(CFO)・H₂O)、硫黄(S)、塩素(Cl₂)などに変えるための設備が必要であり、全工程が複雑で、製品の炭酸ナトリウムの価格が高くなった。Cl₂は都市生活を支える飲料(水道)水の消毒・消毒になくてはならないもので、当時も多くの需要があった。このため、アンモニアソーダ法が主流になってからも、ルブラン法による工場は、Cl₂やさらし粉など副産物の需要に支えられて、経済的に採算が成り立っていた。
- しかし、19世紀末から20世紀初めに食塩水の電解法が確立し、Cl₂が安く生産されるようになると、ルブラン法では炭酸ナトリウムは生産されなくなった。

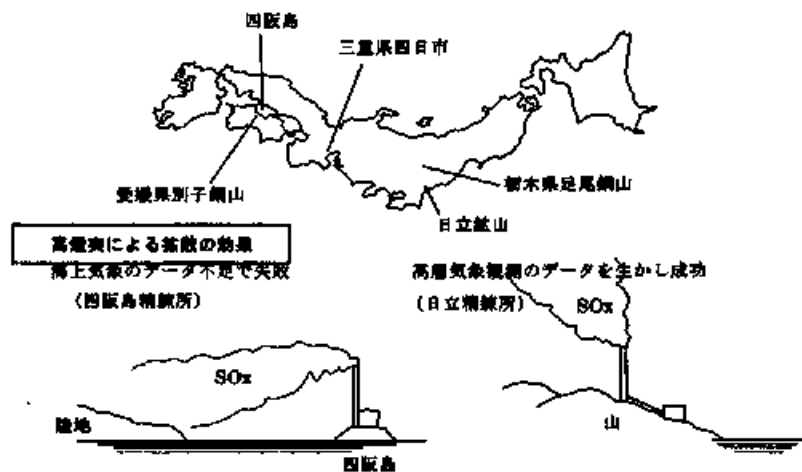
硫黄酸化物による被害とその対策

a. 金属精錬による硫黄酸化物

(栃木県足尾銅山の煙害)

- 1877 足尾銅山で、銅の大規模な生産が始まった。
 - 1882 SO_xによる煙害が表面化した。山林が枯れ、農作物も大きな被害を受けた。
 - 1888 栃木県松木村で桑の木がすべて枯れ、養蚕ができなくなった。
 - 1890 SO_xにより森林が枯れ、山に保水能力がなくなり、濃瀬川が大洪水を起こした。
 - 1903 住民の立ち退きにより松木村が消滅した。
 - 1907 洪水対策として、谷中村を強制移転し、遊水池をつくった。
 - 1907 公害対策基本法公布。
 - 1973 足尾銅山閉山。
- (愛媛県別子銅山の煙害)
- 1885 別子銅山で洋式溶鉱炉が使用され、銅の生産量が増すとともに、米や麦にSO_xによる煙害が広がった。
 - 1904 精錬所を、農地から離すため、瀬戸内海の四国島(オガジ)へ移転したが、SO_xガスは海上を広がり、かえって煙害の区域が拡大した。
 - 1910 別子銅山の生産を制限した(米・麦生産期間の40日間操業を制限し、10日間は停止した)
 - 1939 中物工場の完成により、煙害はほぼ解決された。
 - 1973 別子銅山閉山。

日本の主な大気汚染(図版)



方法が同じでも、条件が違えば、効果が違う。
結果と条件は、必ず結びつけて考えなければならない。

四日市公害とその対策

三重県四日市の大気汚染の主な原因物質は二酸化硫黄(SO₂)と、硫酸ミスト(硫酸を含んだ霧)である。これらはぜんそく、気管支炎、肺炎などの呼吸器障害をひき起こした。四日市コンビナートは、わが国の高度経済成長に役立ったが、同時に大気汚染、水質汚濁などの公害を招いた。

- 1960 第1コンビナートが完成し、本格的に稼働を始めた。同時に、ばい煙被害が表面化した。
- 1962 SO₂濃度が最高2.5ppmに達した。(日本公衆衛生協会の許容値は0.1ppm)
- 1964 四日市市、「ばい煙(ススや煙)規制法」の対象地域に指定された。
- 1965 火力発電所が120mの高煙突を使用し始めた。これにより煙突の近くの濃度は低くなったが、汚染地域が広がった。
- 1966 「ばい煙規制法」によりSO₂の排出基準を0.18%以下とした。
- 1968 企業側が「使用燃料を硫黄分1.7%以下の重油とする。」と発表した。
- 1969 脱硫装置により硫黄分1.7%以下の重油が作られるようになった。コンビナートと住宅地の間に、緑地帯を作ることが考えられた。
- 1984 四日市公害による公害病の認定者数が、12月末で約1,000名になった。

脱硫法

a. 排煙脱硫

1. 石灰乳または石灰石粉末の水スラリー(泥状の混合物)にSO₂を吸収させる。生成する亜硫酸カルシウムを空気酸化して石膏にする。
$$\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} + 1/2 \cdot \text{O}_2 \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$$
2. SO₂を活性炭に吸着させ、これを酸化し、水に吸収させ硫酸として回収する。
$$\text{SO}_2 + 1/2 \cdot \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$$
3. NH₃とH₂OによりSO₂を硫酸アンモニウムに変える。
$$\text{SO}_2 + 1/2 \cdot \text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} + 2\text{NH}_3 \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$$

b. 原油脱硫(水素化脱硫)

石油に含まれる硫黄は、水素ガスを数十気圧、300~400℃で触媒を用いて反応させると、硫化水素(H₂S)として除去できる。H₂Sは次の反応により硫黄として回収される。



原油脱硫は、石油製品を燃焼させる前に硫黄分を除去ので、多量の硫黄酸化物を大気中に放散させずにすむ利点がある。しかし、現在の方法では原油中の硫黄分を完全に取り除くことはできない。

原油の中にわずかに残った硫黄分を完全に取り除くには、複雑で大規模な装置が必要となり、経済的にも多くの問題が残っている。

学習履歴シート

『学習前』

「大気汚染」という語を使って文を三つ書いてください。

ワークシート 1

学習した内容を要約してください。

ワークシート 2

学習した内容を要約してください。

ワークシート 3

学習した内容を要約してください。

『学習後』

この学習で何を学びましたか。
「大気汚染」という語を使って文を三つ書いてください。

年 組 番

氏名

学習前—学習中—学習後をふり返って、あなたはどのように思いますか。自由に書いてください。

学習しての感想を書いてください。

2 G S C 教材実践報告 — 150 分での実践事例

白井豊和

1. はじめに

大気汚染に関する G S C 教材¹⁾が開発され、これまでに高等学校・中学校での実践が報告されている。²⁾ G S C 教材は 5 つのワークシート (ワークシート 1 ~ 5) と 2 つの学習履歴シート (学習履歴シート 1, 2) からなり、高等学校では 10 時間 (以下、時間は学校単位時間) を使って丁寧に学習した事例や、ワークシート 1, 2 のみを 45 分で学習した事例などがある。授業時間にゆとりのない進学校などでは、総合的な学習の時間など特別な時間が確保できる場合を除き、通常の授業時間のうち 10 時間を使って実践するのは極めて困難である。そこで、3 時間 (150 分) での学習を計画し、その記述内容を調査したので報告する。

2. 調査の方法

(1) 調査対象 公立 I 高校 3 年化学演習選択者 15 名中の 5 名

(2) 調査期間 平成 16 年 10 月 7 日 (木) 5 ~ 6 時間目 ワークシート 1 ~ 4

平成 16 年 10 月 21 日 (木) 5 時間目 ワークシート 5、学習履歴シート 2

(3) 調査の内容と方法

調査対象は 3 年生の理系化学演習選択者であり、通常は単元ごとにセンター試験レベルの問題演習を行っている。9 月までに無機化学の非金属元素までの演習を行っており、調査の 1 週間前に前期期末考査を終えたばかりである。G S C 教材で扱っているアンモニアソーダ法が、次に演習を行う典型金属元素の主要な内容であることから、アンモニアソーダ法の内容確認を兼ねて、上記期間に実施した。

1 回目の翌週は前期終業式のため授業がなく、2 回目は 2 週間後に行った。また、1 回目は短縮授業日で、さらに授業中に受験用写真の撮影があり、また、2 回目は学期の変わり目で欠席者がいたため、すべてのワークシートを提出したものは 5 人であった。この 5 人を調査対象とした。

調査は 2 回に分けて行った。初回は 5,6 時間目の授業 (100 分間) で、ワークシート 1 ~ 4 を行った。ワークシート 1 ~ 4 および資料 (資料 No.11 ~ No.52 を冊子にまとめたもの) を配布し、4 枚のワークシートに記述させた。ワークシート 5、資料「ワークシート 5 をはじめる前に」および「熊本大学入学試験問題」、学習履歴シート 2 を配布し、5 ~ 6 時間目の授業のうちの 5 時間目 (50 分) で行い、6 時間目は通常の授業を行った。G S C 教材の学習に使った 2 日間の合計時間は 150 分である。

(4) ワークシート

時間短縮のため、ワークシートの一部の記述欄には、あらかじめ資料の該当部分をコピー

ーして貼り付けておき、記述欄の数を少なくした。減らした記述欄は次の通りである。

ワークシート 1 - 1b ~ d (塩化水素の工業的利用法、自然界での存在、
人体の健康への影響)
ワークシート 3 - 2b (硫酸化物の人体や生物への影響)
ワークシート 4 - 2 (窒素酸化物の人体への影響)

3. 結果と考察

生徒の主な記述内容を表 1 ~ 6 に示した。「ワークシート 1, 2 のまとめ」などの記述量は、十分な時間を与えて実践した学校¹⁾の記述量に比べて少なかった(表 4)。しかし、その記述内容は、適切なものがほとんどだった。

「ワークシート 4 - 8」は、「人間活動由来の窒素酸化物の量は自然界で発生する窒素酸化物の量の半分以下であるが、限られた地域で部分的に濃度が高くなるため、環境汚染として問題になる。」ことの指摘を期待する設問である。この設問は他の設問に比べ、資料を写すのではなく思考させる要素が高いので、生徒にとっては比較的難易度が高い設問である。この欄の記述内容(表 6)は不適切なものがほとんどであり、中学校での実践²⁾よりも不適切な記述が多かった。理由としては、以下の 2 点が考えられる。

- ① 短時間で実践したため、資料(No.42, No.43)を深く読み込めなかった。
- ② ワークシート 4 - 2(窒素酸化物の人体への影響)を生徒自身に記述させなかったため、濃度に対する意識が少なかった。

学習履歴シート 2 に記された記述からは、グリーンケミストリー教材によって生徒の環境問題などに対する理解が深まったことなどが読みとれた。「学習しての感想」の一例を示す。

私は、学習するまでグリーンケミストリーを知らなかった。環境問題については知っていたが、実際、その原因などをきちんと理解していなかった。この学習を通して、全く知らなかったことがたくさん学べて、本当にためになった。これからは自分にできることは、少しずつでもやっていきたいと思った。

今回の 150 分の実践では、一部の設問で期待された回答が得られなかった。しかし、生徒の感想などから、GSC の考え方についてはほぼ理解することができたと考えられる。

ワークシートの記述欄の一部を減らすことにより、GSC 教材が 150 分でも実践可能であることがわかった。

文献

- 1) 松原静郎他『グリーンケミストリー教材の開発研究』、「グリーンケミストリー教材の開発とそれを使つての意志決定能力育成に関する調査研究」科研費中間報告書(課題番号 14380066), p.38 (2003)
- 1) 松原静郎他『グリーンケミストリーに関する学習教材、実験教材の開発』、「グリーンケミストリー教材の開発とそれを使つての意志決定能力育成に関する調査研究」科研費中間報告書(課題番号 14380066), pp.36 - 53 (2004)

表1 ワークシート1-5aへの回答

生徒	具体的な方法	結果としてどのような影響があったか
A B15	高煙突の工場を建設した。 水に HCl ガスを溶かし、塩酸として回収する 吸収塔を開発。	HCl ガスによる汚染地域が広がった。 塩酸の用途がなく川に流し捨てたため、河川 の汚染が発生。
B B27	高煙突の工場を建設した。 気体ではなく液体（塩酸）として回収する 吸収塔をつくった。	汚染地域が広がった。 塩酸のつかいみちがなく川にすてたため河川 汚染が発生。
C B35	イギリスのリバプール市に高煙突の工場建設。 水に HCl ガスを溶かし、塩酸として回収する 吸収塔を開発。	さらに汚染地域が広がる。 塩酸の用途が少なく川に流し捨てたため、河 川の汚染発生。
D B27	リバプールに 90 m の高煙突の工場を建設 した。 塩酸として回収したが用途が少ないため、 川に流し捨てた。	さらに汚染地域が広がった。 河川の汚染が発生。
E B35	イギリスのリバプール市に高煙突（90 m） の工場を建設。 水に HCl ガスを溶かし塩酸として回収する 吸収塔を開発	さらに汚染地域が広がった。 塩酸の用途が少なく川に流し捨てたため、河 川の汚染が発生

表2 ワークシート1-5bへの回答

生徒	具体的な方法	結果としてどのような影響があったか
A	塩酸を原料とするさらし粉を製造。	HCl 公害はほぼ解決。
B	塩酸を原料とし、さらし粉を製造	公害はほぼ解決。
C	ゴッセージの吸収塔で回収した塩酸を原料 とするさらし粉の製造を普及した。	ほぼ解決。
D	さらし粉の製造	HCl 公害はほぼ解決
E	塩酸を原料とするさらし粉の製造	HCl 公害はほぼ解決。ルブラン法の公害対策 はほぼ完成。

表3 ワークシート2-4への回答

生徒	ルブラン法がすぐにならなかった理由
A	副生物の Cl ₂ やさらし粉の需要があったので、すぐにならなかった。
B	副生物のさらし粉の需要で経済的に採算が成り立っていたため。さらし粉は酸化剤、漂白剤、 殺菌剤としても用いられる。
C	Cl ₂ は都市生活を支える飲料水の滅菌、消毒になくはならないもので、当時も多くの需要が あった。ルブラン法による工場は Cl ₂ やさらし粉など副生物の需要に支えられて、経済的に採 算が成り立った。
D	HCl は水に溶けると塩酸になり、様々な化学工業に使われるから。
E	副生物で Cl ₂ が作れるので、これは水道水の滅菌、消毒になくはならないもので需要 が多かったから。

表4 ワークシート12まとめへの回答

生徒	記述内容
A	製造の中でたものを再び原料として利用することで、汚染物質を排出することもなくなり、 環境問題もなくなった。
B	有害なものを無害なものに変え、そしてそれを生活の中で利用できるようにした事により、 汚染問題が解決され、なおかつそれで経済的にも採算がとれた。
C	塩酸を原料とするさらし粉を製造し、使わないものや廃棄物をださないようにしようとした ところ。
D	アンモニアソーダ法では副生物で有害なものを作らずにすむ。
E	有害な副生物を利用できる物に変えて活用する

表5 ワークシート3-10への回答

生徒	原油脱硫の利点	原油脱硫の問題点
A	石油製品を蒸餾させる前に硫黄分を除くので、多量の硫黄酸化物を大気中に放散させずにすむ。	原油中の硫黄分を完全に除去するには複雑で、 大規模な装置が必要となる。
B	多量の硫黄酸化物を大気中に放散しない。	経済的や、硫黄を完全に除去するためには複雑で、 大規模な装置を必要とする事。
C	石油製品を蒸餾させる前に硫黄分を除くので、多量の硫黄酸化物を大気中に放散させずにすむ。	現在の方法では硫黄分を完全に除去できない、 ふくごつで大規模なそうし必要。
D	多量の硫黄酸化物を大気中に放散させずに済む。	原油中の硫黄分を完全に除去することができ ない。
E	多量の硫黄酸化物を大気中に放散せずに済む。	石油中の硫黄分を完全に除去することはでき ない。

表6 ワークシート4-8への回答

生徒	人間活動からの環境悪化物質が自然界で発生するより少ないのになぜ環境汚染として問題になるのか？
A	自然界+人間活動で量が多いから。
B	量は少ないが、人間の人体に対する影響が大きいから。
C	地球上の環境を変化することにはかわらないし、人体にも影響を及ぼしているから。
D	部分的に高い濃度のところがあり、そこにいる人や生物は強い影響を受けるから。
E	工場や自動車などから排出された窒素酸化物や炭化水素などが紫外線をうけてオキシダントを生成するから。

表7 学習履歴シート2への回答 (1)

生徒	ワークシート5の要約/特長の科学技術をどうしたらよいか/学習しての感想
A	<p>グリーンケミストリー、すなわち環境にやさしい化学とは、環境汚染を防ぎ、汚染そのものの発生を断つための原理や方法論のことであり、これからはそのような科学技術の面白い方向へ進めて行かなければならない。</p> <p>自然界に悪影響を与えずに、むしろ、良い影響を与えるような科学技術の開発。理由は、地球環境のため。</p> <p>自分たちの周りには、様々なものがあるが、できるだけ廃棄する必要のないものを造り出す技術を学ばねばと思った。</p>
B	<p>現代の研究者・技術者の考え方が変わってきた一例としてグリーンケミストリーがあげられている。その内容は今までと違い、汚染などの問題の原因の発生を断つための原理や方法論、それを推進する運動などを含む。</p> <p>科学技術が進展し、新たな意見やより豊かになる事は良い事だと思うけど、その開発に対し、害を与えるものが増えたりしないよう、危険性を第一に考え、進めていけばいいと思う。良い開発がされても、それに伴う危険性が高いのであれば、それを使用する事は尊厳ではなく、安全性が確保できないから。</p> <p>普段なにげなく気にせずに使っている資源に対し、色々な考え方があることが分かった。例げなく使用している資源などの裏に危険性があるという事を十分理解することが重要であるとも思った。</p>
C	<p>エネルギーや環境問題においても、科学技術の専門家だけでなく、全ての人間に科学技術の知識が必要とされ、科学技術を受け身としてとらえるのではなく理解するように変化している。グリーンケミストリー〈環境にやさしい化学〉という運動も推進されており、12冊もある。</p> <p>科学技術とは難しいことだが、よりよい環境・技術にしていくためには専門家のかたよった考えだけでなく、幅広い意見をとり入れていけばいいと思う。</p> <p>知っていることが難しかったけれど、科学を少しでも身近に感じることができた。</p>

表8 学習履歴シート2への回答 (2)

生徒	ワークシート5の要約/特長の科学技術をどうしたらよいか/学習しての感想
D	<p>文系の人も科学のことを理解すれば、さらなる個人や社会全体の利益をもたらすことになる。そして、研究者や技術者は、汚染が発生してからでの処理ではなく、汚染そのものの発生を防ぐグリーンケミストリーが注目されている。</p> <p>グリーンケミストリーでの手取をもっと使えばいいと思う。地球の環境がもっとよくなるから。</p> <p>皆、社会全体の人が科学を理解して、住み良い環境をつくっていかないといいと思う。</p>
E	<p>環境汚染などに対してリスク評価というものがあり、この評価法はエネルギーと環境問題など、いろいろな判断・意思決定をする際に役立つ。環境基準とよばれるものは、安全率を見込んで設定されたものである。これからは一般社会における問題と科学や技術との関連がさらに強まっていくことが考えられるので、一般の人々にとっても自然科学的な常識、自然観を身につけていくことが重要である。そして、一般市民も主体的に科学技術に関わるように学ばねばいい。現在、欧米や日本の科学会で注目されているグリーンケミストリーでは物質の危険性そのものを減らそうとしているので、開発に出ても心配いらないことになる。これからは全ての人に判断・意思決定に役立つ科学的な見方や考え方が必要な常識となってきている。</p> <p>グリーンケミストリーをもっと進歩させるのを現実させるためにも、一般市民にできることを伝えるため、研究と同時に研究内容の公開を普及していくべきであると思う。一般市民は、知らなければ自分たちに何ができるのかもわからない。どんどん公開していくことによって市民の間にも自分たちの地球に対する興味を持たせてほしい。</p> <p>私は、学習するまでグリーンケミストリーを知らなかった。環境問題については知っていたが、実際、その原因などをきちんと理解していなかった。この学習を通して、全く知らなかったことがたくさん学べて、本音のために分かった。これからは自分ができることは、少しずつでもやっていきたいと思った。</p>

3 GSC 実験教材の開発と実践およびその評価

— 1 校時と家庭学習での事例 —

深野哲也

1 はじめに

今回開発した実験教材は、どの出版社の「化学 I」の教科書にも取り上げられている「酢酸エチルの合成」を題材にした。この実験で使用する触媒の工夫を示し、GSC の考え方を理解させようとするものである。

多くの「化学 I」の教科書は「酢酸エチルの合成」を、本文にとどめず実験あるいは探究活動として取り上げている。このなかで使用している触媒はほぼ例外なく濃硫酸である。これは、教科書の本文が「酢酸とエタノールの混合物に少量の濃硫酸を加えて加熱すると酢酸エチルを生じる」となっているためである。

しかし、エステル化の触媒は本来濃硫酸に限られたものでなく、他の無機酸や、井上¹⁾、岩田²⁾らの報告のように、硫酸水素ナトリウム一水和物なども使用できる。

硫酸水素ナトリウム一水和物は、GSC の 12 か条における「化学事故につながりにくい物質を使う」という項目や、不均一触媒であることから「原料を無駄にしない」という項目に照らしてみると、濃硫酸よりも GSC の考え方に合う部分の多い触媒と考えられる。

そこで、教科書の実験方法³⁾と、硫酸水素ナトリウム一水和物を触媒にした実験方法²⁾の両方をおこなわせることで、エステル化の理解、実験の経験と技術の会得という本来の学習目標を達成させつつ、GSC の考え方を理解させることが可能か調査することにした。

GSC が主に有機合成の分野で取り上げられてきた経緯を考えると、この分野で取り上げることは意義がある。また、GSC 教材に時間を割くゆとりがない学校でも、通常の実験実習をおこなう中で取り組める教材であれば、実施できる可能性が広がると期待できる。

ただし、今回は授業の進度などとの関係から、旧課程の「化学 I A」で調査をおこなった。

本教材は、「化学 I A」第 2 部「生活の化学」第 3 章「身のまわりの物質の製造」の分野「石油からつくられるもの」での展開にも適している。この後、第 3 部「化学の応用と人間生活・科学史と産業」へと進むので、GSC の考え方に触れさせておく良い機会である。

また、本教材は、新課程の「理科総合 A」や旧課程の「化学 I B」での展開にも適している。

2 展 開

2-1 調査計画

2-1-1 調査対象生徒 公立D高校 3年生選択化学ⅠA(2単位)

A組男子6名 女子2名 B組男子4名 女子7名 (男10女9 計19名)

「化学ⅠB」は2年次に履修、現在旧課程「化学Ⅱ」合成高分子を学習中の生徒

2-1-2 調査期間 平成16年 10月 29日(金) 2時間目に実験

平成16年 11月 5日(金) 学習履歴シートの提出

2-1-3 調査時間 1校時(45分) および持ち帰っての家庭学習(本校は45分7限授業)

2-1-4 調査の方法

1. 酢酸エチルの合成を実験プリントにしたがって実施。 (25分)
2. 実験終了後実験プリントを記入、まとめ。 (10分) 35分経過
3. 学習履歴シートを配布。発展考察の記入。 (7分) 42分経過
4. 資料プリント配布。
家庭学習の内容、学習履歴シートの提出日等を指示。 (4分) 45分経過

*ここで1校時終了

5. 一週間後、学習履歴シートを回収。

*学習履歴シートの記述をもとに、教材の評価をおこなった。

2-2 授業の位置づけ

「化学ⅠA」第2部 生活の化学 第3章 身のまわりの物質の製造(最終回)

今回は、第3部 化学の応用と人間生活 科学史と産業(第1回)

2-2-1 学習目標

エステル化の理解、実験の経験と技術の習得。身の回りの物質と化学技術のつながりを理解する。あわせて発展的な内容として、GSCの考え方を理解させること。

2-2-2 実験への評価

実験への取り組み、実験内容の理解、実験技術の習得の各目標に対する評価を、「思考」「知識」「技能」の観点で、授業中の様子と実験プリントの記述内容から評価を行う。

2-2-3 発展的な内容への評価

家庭学習として持ち帰らせた1枚ポートフォリオ形式の学習履歴シートを後日提出させ、これに表れる生徒の学びを評価する。ただし、今回は教材そのものへの評価として扱い、生徒個々への評価には加えなかった。

3 調査結果

1 発展考察の記述内容について・・・(実験直後、資料プリントの学習前に記入)

- (1) 2つの方法のうち、良いと思った方法を答えて下さい。
- (2) またそう思った理由を説明して下さい。

(1)でよいと思った方法 硫酸・・・5人、 硫酸水素ナトリウム・・・14人

(2)の理由の説明における平均の文字数・・・(45)

(1)で硫酸を選んだ主な理由

- a) エステルと水層の区別がしやすかった。(硫酸を使用した方にうすい褐色の着色が見られた班の生徒)・・・(3人)
- b) 反応の経路がわかりやすい。・・・(2人)

(1)で硫酸水素ナトリウムを選んだ主な理由

- a) 安全である。危険性が少ない。・・・(12人)
- b) 固体であるため扱い安い。・・・(2人)
- c) 沸騰石がいない。・・・(1人)

以上のように、「資料プリント」配布前、GSCの学習前でも、自分で実験する中で硫酸の危険性と、硫酸水素ナトリウムの扱い易さが実感できるためか、14/19(約74%)が硫酸水素ナトリウムを選択した。また14人の中には、少数であるが、硫酸水素ナトリウムが固体のままである(不均一触媒である)点や、沸騰石が不要な点に注目した生徒もいた。

硫酸水素ナトリウムは反応後水を加える前は、かなり結晶のまま沈殿し残っている。この回収操作を導入すれば、より望ましい教材となると考えられる。今後の課題としたい。

2 資料プリントのまとめの記述内容について・・・(資料プリントを読み家庭で記入) 最も大切だと思った内容を要約してください。

資料プリントのまとめは、文章の量には違いがあるものの、ほとんどの生徒が良く読んでまとめていた。内容の理解も進んでいるため、文章の抜粋にとどまらず、自分の言葉に直っているものが多く現れた。この教材への興味・関心の高さが見て取れる。

参考【生徒BF2の記述】

実験をしている時は、実験が成功することや、危険な薬品をちゃんと扱うことにばかり注意がいていたけれど、それ以上に重要なことがあるんだなと思った。危険な薬品をできるだけ使わないようにすればよいとか、廃棄する際に環境に影響を与えなければいい、というような、今まで私が考えてきたことは、まさにリスクを軽減しようとする、うわべだけの考え方で、プリントを読んで、どうして今までこのような考え方が思い浮かばなかったのかと少し反省させられた気もする。“化学”は奥が深いなと思った。多くの人がこのような考え方をすることができるようになれば、地球の環境はよりよいものになると思う。

資料プリントのまとめ(大切な部分の要約)という題意とは異なり、本人が大切だと感じたことの記述となっているが、この生徒の内面の変化が素直に表れている。

しかし、資料プリントを読まずに書いたのではないかと思われる記述も3名あった。

例(BM1)	酢酸とエタノールを用いて、酢酸エチルを合成するには、そのままでは活性化エネルギーが高すぎてほとんど反応しない。そこで硫酸であろうが硫酸水素ナトリウムであろうが、溶液中で強酸になる触媒を用いて、反応の活性化エネルギーを下げる必要がある。(硫酸や硫酸水素ナトリウムが反応すると H^+ を多く出すようになり、それによって反応が促進される。)
--------	--

この3名 (AM3,AM5,BM1) の生徒の記述内容に注目したい。

3 発展考察(再度)の記述内容・・・(資料プリントを読み家庭で記入)

- (1) 2つの方法のうち、良いと思う方法を答えて下さい。
- (2) またそう思う理由を説明して下さい。

(1)でよいと思った方法 硫酸・・・4人[1減]、硫酸水素ナトリウム・・・15人[1増]

(1)で硫酸を選んだ生徒の理由

硫酸は接触法で製造されるため、廃棄物が出ない。硫酸水素ナトリウムは、食塩と硫酸の反応でできるが、大気汚染物質である塩化水素が発生する。・・・(4人全員)

(1)で硫酸水素ナトリウムを選んだ生徒の主な理由

- a) 安全である。危険性が少ない。・・・(15)
- b) 固体であるため扱い安い。・・・(1)
- c) 沸騰石の節約になる。・・・(1)
- d) 硫酸水素ナトリウムの製造過程や、そのものの安全性などは未知であるが、触媒の価格を考慮しなければ、等の但し書きをつけくわえたもの。・・・(3)

(2)の理由の説明における平均の文字数・・・(62) [37%増]

「資料プリント」の学習後の記述には量、質ともに全体に格段の成長が見られた。

[硫酸水素ナトリウムを選んだグループの記述の特徴]

記述の特徴として、科学的な用語を用いた文章が目立つようになったこと。結論を下す上で、感想や主観によるだけではなく、科学的で客観的な判断基準(GSCの12箇条等)によるものが多く見られるようになったことが挙げられる。また、「硫酸水素ナトリウムの製造過程や、そのものの安全性などは未知であるが」等の内容の但し書きをつけくわえたものが3名あり、判断を下す上で慎重な姿勢が現れている。

[硫酸を選んだ4名の記述の特徴]

硫酸水素ナトリウムの製造方法を教科書レベルではあるが調査し、問題点を感じたため硫酸をあえて選択している。当該の生徒達の後日談によると、この結論を出すまでに4名で随分論議したということである。硫酸の危険性と硫酸水素ナトリウム製造上に発生する塩化水素の問題、どちらがよりGSCの考え方に遠いかということについてである。この生徒たちは、資料プリントのルブラン法の学習から、広範囲に害が及ぶ可能性のある塩化水素の発生しない方法として、触媒に硫酸を使う方法を選択した。

【学習の前後での記述内容の変化の理由】

(学習前)	(学習後)	数	(選択理由の変化)
硫酸水素 ナトリウム	硫酸水素 ナトリウム	12	学習前は安全性で漠然と選んだが、学習後は GSC という判断基準をもとに選んだ生徒が多くなった。
硫酸水素 ナトリウム	硫酸	2	学習前は安全性で硫酸水素ナトリウムを選んだが、学習後は硫酸水素ナトリウムの製造過程で塩化水素が発生すると考え、あえて硫酸を選んだ。
硫酸	硫酸	2	学習前は反応がわかりやすいという理由から硫酸を選んだが、学習後は硫酸水素ナトリウム製造過程で塩化水素が発生すると考え、あえて硫酸を選んだ。
硫酸	硫酸水素 ナトリウム	3	始めは、反応液に色が着いていて判りやすい等の理由で硫酸を選んだが、学習後は GSC を判断基準に、安全性の面から硫酸水素ナトリウムを選んだ。

「資料プリント」の学習前後の記述の変化は、科学的な判断基準によった結果である。

参考【生徒 BF6 の記述】

<p>硫酸は接触法で作られ、毒素が出ない。 $4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2$ $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{SO}_3$ $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$ 硫酸水素ナトリウムは、大気を汚染する塩化水素が出るので、環境汚染につながる。 $\text{NaCl} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{NaHSO}_4 + \text{HCl} \uparrow$ これより、硫酸がよい。</p>
--

【資料プリントのまとめでの記述が不十分であった3名の記述】

(AM3)	触媒として用いるため反応が安全かつ早くすることができる。
(AM5)	安全であるから。
(BM1)	触媒の価格を考慮に入れなければ、やはり安全面を考えると濃硫酸を用いるのは危険だから。

3人とも、触媒には硫酸水素ナトリウムを選択し、その理由が以上の内容である。

生徒 AM3, AM5 は、質的にも量的にも全く他の生徒におよばない内容でとどまっている。やはり、資料プリントの学習・理解がなされていないことが露呈されている。

生徒 BM1 は触媒の価格といった基準を取り入れた記述をしている。「資料プリント」を読んでいなかったのではなく、まとめの記述方法に問題があったのかもしれない。さらに最後の「・・・あなたはどのように思いますか。」の記述を見たい。

4 今回の実験・発展考察・資料プリントの学習を通して、あなたはどのように思いますか。
の記述内容 ・ ・ (一連の学習を振り返って、家庭で記入)

[生徒の記述からの抜粋]

(AM1)	化学分野において、リスクを減らそうとしているということを知り、その方向についてももう少し詳しく知りたいと思った。
(AM2)	今までそれを何も考えずに実験してきたので、これからは GSC の考え方を頭に入れた上で、考えながら実験していきたい。
(AM6)	価値判断の基準としても GSC は大切だと思います。
(AF2)	私は将来薬学方面に進むつもりで「環境と人体に優しい薬品」の研究をしたいと思ってきた。そういう意味でも、今回の実験&プリントはとても役に立ちました！
(BF1)	危険な薬品をできるだけ使わないようにすればよいとか、廃棄する際に環境に影響を与えなければいい、というような、今まで私が考えてきたことは、まさにリスクを軽減しようとする、うわべだけの考え方で、プリントを読んで、どうして今までこのような考え方が思い浮かばなかったのかと少し反省させられた気もする。
(BF2)	私は、将来化学系の仕事に就きたいと考えているので、このことは忘れずにこういう工夫についてももしっかり考えていきたいです。
(BF5)	私達が科学技術を使って実験する際も、ただ目的の物質をつくるというだけでなく、その過程や後の副生成物のことも考えて計画しなければならないということがわかった。
(BF6)	我々もそのことを考え、知って製品等を使うべきだと思う。作る人だけでなく、我々みんながその意識を持って、常に環境について考えるべきだと思う。

上記に生徒の記述の一部分を抜粋したが、多くの生徒の記述の中に、この学習を機会に自分の新しい価値判断の基準として GSC の概念を取り入れようとする姿勢がある。

自分の希望の職種や、希望の進路との関わりに触れたものもある。他人（科学者など）にお任せの姿勢ではなく、自分の将来の姿を考えながら、自分がどう考えて行動してゆくべきかという大切な視線がそこにある。

【資料プリントのまとめが不十分であった生徒の記述】

例(BM1)	酢酸エチルと名前を聞くと、聞き覚えのあるはずもなく、問題集やテストに出てくるものだと思っていた。しかし、そのにおいは僕の嗅ぎなれた、シンナーというか、油性ペンのようなものだった。聞くところによると本当にシンナーは、酢酸エチルが使われているとかいないとか・・・
--------	---

以上のように、まとめの内容は GSC の概念を学習・理解したとは到底言えないし、一連の学習の中での変化といった面も見られない。資料プリントの学習がなされていない為と思われる。これらの生徒には指導の必要性を感じたため、個別に指導をおこなった。

教材の評価（まとめ）

今回の調査では、「資料プリント」を自分の言葉で理解し、自分の問題として考えて欲しい、その中で生徒がどのように成長してくれるかを見たいという意図があった。そこで実験終了後、学習履歴シートを配布し「発展考察」の記入をさせた後、教師側から GSC の概念などの説明をあえてせず「資料プリント」を配布、「資料プリント」を読んで「履歴シート」を記入し、提出することを指示するにとどめた。

その結果、実験と教材の相互作用によるものか、生徒の教材に対する反応は良かった。

本教材は通常行う生徒実験を利用したもので、生徒側にも教師側にも違和感がなく、実際に取り組みやすい教材であった。

履歴シートの記述に対するコメントは各項目毎に記述したが、これらの内容を振りかえると、以下のように整理できる。

- 1 触媒の製法などを、自ら調べて GSC の概念に合うかどうかを考察するなど、学習に対する自発的・能動的な姿勢が見られる。
- 2 その結果、生徒達の学習の目的が知識の習得にとどまらず、今までの考え方を振り返り、これからの自分の生き方、判断の基準のあり方について考える内容に深められている。
- 3 これまでの、いわゆる環境学習教材にありがちな、過去の失敗例の羅列と、環境保全への教唆に終始するパターンではないため、生徒の記述に悲観的な内容・懐疑的な内容に終わってしまう生徒がいない。

〔今後の課題〕

履歴シートの記述に対するコメントの中でも触れたように、「資料プリント」をよく学習せずに、履歴シートの記載をおこなった生徒も3名いた。この生徒達には、後日、学んで欲しかった内容について伝えたところ、十分な理解を示してくれた。

（実験プリントには取り組んだが、資料プリントの方は受験に直接関係しないように見えたため、内容をろくに見ずに履歴シートを記入した、というのが本音であった。）

本教材では、家庭での学習が半分を占める為、生徒にこのテーマを与える時期の吟味や、「資料プリント」の配布時に重要性を伝えておく必要性を感じた。

今後の検討が必要な部分である。

参考文献

- 1) 井上正之、化学と教育、43、799、(1995)
- 2) 岩田雅弘、内田浩司、化学と教育、52、546、(2004)
- 3) 「高等学校化学 I」、啓林館、p.215、(2004)
- 4) 松原静郎他「グリーンケミストリー教材の開発とそれを使っての意思決定能力育成に関する調査研究」科研費中間報告書（課題番号 14380066）(2004) p.p.158-191
- 5) 堀哲夫「学習履歴による教育内容構成の妥当性を検討する評価方法の開発」同上書(2003) p.p.73-83

【資料】 学習履歴シート生徒の記述内容

1 「発問考察」

- (1) 2つの方法のうち、良いと思った方法を答えて下さい。
*文中の②は硫酸、③は硫酸水素ナトリウムを触媒として用いた方法を示している。
- (2) またそう思った理由を説明して下さい。()内は文字数。

生徒	生徒の記述内容
AM1	(1) 硫酸水素ナトリウム-水和物 (2) 硫酸を用いてできた酢酸エチルには少し色がついていて、硫酸水素ナトリウム-水和物でできた酢酸エチルは無色であったから。(59)
AM2	(1) ② (2) ②では濃硫酸を使うので危険だから。(17)
AM3	(1) 硫酸水素ナトリウムを用いる方法 (2) 硫酸を用いたほうが層がはっきりしていてわかりやすいが、硫酸水素ナトリウムの方が使用上安全である。(48)
AM4	(1) ③の方が良いと思う (2) ②は硫酸が危険なこと。生成物の量も③に比べ少なかったから。(28)
AM5	(1) 硫酸水素ナトリウムを触媒とする方法 (2) 硫酸は取り扱いが危険であり、水が飛んだりする危険性もあるから。(31)
AM6	(1) 硫酸水素ナトリウム-水和物の方 (2) 硫酸を使うのは注意が必要で、万一のときには極めて危険なので、比較的安全に、かつ気持ち的にも楽に使用できる硫酸水素ナトリウム-水和物の方に魅力を感じた。(ラクにできることはラクにやりたい)(83)
AF1	(1) ② (2) 反応の経路がわかりやすい。2層に分かれている上層に色が着いていて見やすい。炭酸水素ナトリウムを入れたときの反応が③よりも大きい。(64)
AF2	(1) ② (2) 色が着いて反応がわかりやすいから。(17)
BM1	(1) 硫酸水素ナトリウムを使う方 (2) 硫酸は強い脱水作用を示し、人の体に付着してしまうと、とても危険であるが、一方で硫酸水素ナトリウムは、硫酸がおぼりけのある液体であるのに対して、結晶となっているので触っても大丈夫。だから実験が安全にできる。(102)
BM2	(1) 硫酸水素ナトリウム (2) 硫酸は危険だから。硫酸水素ナトリウムは危険でないから。(27)
BM3	(1) 触媒を硫酸水素ナトリウム-水和物に変えた方 (2) H_2SO_4 よりも $NaHSO_4 \cdot H_2O$ のほうが取り扱いの危険性が少ないから(36)
BM4	(1) $NaHSO_4$ (2) 硫酸と違って固体なので扱いやすいし、安全であるから(35)

BF1	(1) 硫酸水素ナトリウムを用いた方法 (2) 沸騰石を加えなくても、それだけで触媒として働き、硫酸を用いた場合、硫酸は反応せずにそのまま水層に残るので、抽末をするときに危険であると思うから。また、使用する時も、硫酸の方が扱うのが危険だと思ったから。(102)
BF2	(1) 硫酸水素ナトリウム (2) 濃硫酸は誤って、手に付着したりすると大変危険だから。(26)
BF3	(1) 触媒に硫酸を用いた方法 (2) 2層に分かれる反応のときによくわかるから。また、自分たちで実験したときに、もう一つのやり方の方を失敗してしまったので、こっちの方法の方が簡単なかなあと考えたから。(82)
BF4	(1) 硫酸を用いた方法(試験管②) (2) 2層に分かれた時に、色の着いた層ができ、試験管②の無色の層よりも取り出しやすいから。(42)
BF5	(1) 硫酸水素ナトリウム (2) 硫酸を紙に乗せると黒くなっていたから危険だと思った。(26)
BF6	(1) 硫酸 (2) 反応がわかりやすかった。(12)
BF7	(1) 硫酸水素ナトリウム-水和物 (2) 硫酸を使うほうが危そうだから。(10)

2「資料プリントのまとめ」

最も大切だと思った内容を要約してください。

生徒	生徒の記述内容
AM1	物質をつくる時にいくつもの作り方があるものもあるが、最もリスクの少ない方法で作る。例えば、反応物には人体への影響が少ないものを使用することである。
AM2	危険性を曝露量の軽減で精おうとするより、GSCの手法によって危険性そのものを最初から減らす計画をしていけば、リスクが確実に減る。
AM3	硫酸、硫酸水素ナトリウム、どちらを用いても結果は同じだが、硫酸水素ナトリウムは触媒として働くために反応するのが早く低温でできるためよい。実験は安全でかつ早いほうがよい。また、分離するのに脱水して層に分けることが重要。
AM4	人体と環境に対するリスクの大きい物質を使用、または廃棄する場合、実験後に「対処」的な考え方で処理されていたが、GSCの理念では、使用前の状態からリスクを減らす「予防」的な考え方をしている。特に廃棄物ゼロ、再生産可能資源の利用などが環境に対して大きくリスクを減らしている。
AM5	安全にする。
AM6	Green and Sustainable Chemistry の考え方が注目されており、必要になってきている。 合成の結果として生じる様々な問題に対処しようというのではなく、合成をおこなう前になるべく問題を予測し、できるだけ少なくなるように計画をたてるという、予防的な考え方だ。この精神は12か条にまとめられており、危険性や環境への負荷を軽減させる計画への指針となる。化学技術の望ましい方向への発展のためにもGSCは重要である。
AF1	昔使用されていたルブラン法は、過程で有害な塩化水素や酸化カルシウムが廃棄物として出ることが問題となり、GSCの考え方にもとづいて新たにアンモニアソーダ法が使用されるようになった。アンモニアソーダ法では過程の中で排出される二酸化炭素は再び原料として使用され、また、塩化アンモニウムも有害なものでなく肥料などに使用できるという点からして、GSCの考え方に従った環境にやさしい製造方法であるといえる。
AF2	これまでは「対処」的な考え方、つまり合成の過程で出た危険な廃棄物をできるだけ安全な扱い方で処理してきた。これからは「予防」的な考え方、つまり危険な廃棄物自体を合成過程でも、材料でも出さないようにすることが望ましい。この考え方だと、反応系から外部にもれても、無害な物質ばかりだから、悲惨な事故も軽減されるはずだ。
BM1	酢酸とエタノールを用いて、酢酸エチルを合成するには、そのままでは活性化エネルギーが高すぎてほとんど反応しない。そこで触媒であろうが硫酸水素ナトリウムであろうが、溶液中で過酸になる触媒を用いて、反応の活性化エネルギーを下げる必要がある。(硫酸や硫酸水素ナトリウムが反応するとH ⁺ を多く出すようになり、それによって反応が促進される。)

BM2	研究者、技術者は研究ということで危険性のあるものを出すことを正当化してはならず、環境にも配慮しなければならない。その配慮のほうほうにも「対処」的な考え方と、「予防」的な考え方があるが、できることなら後者の方法で事前に危険を防ぐべきである。また、最近、大量に化学物質を使用する一般市民にもGSCなどの「予防」的な考え方を普及すべきである。また、ルブラン法を改良して有害な廃棄物を減少させるような「対処」ではなく、その反応自体を変えるというような抜本的な開発が今後必要とされる。
BM3	GSCの考え方は、その名の通り環境にやさしく、画期的な考え方だと思う。この「対処」的な考え方をやめ、「予防」という姿勢は、これからの世界ではますます重要になっていくと思う。アンモニア・ソーダ法を知ったときは、正直、驚きすごいという気になったし、他の物質の製造法でも、このような仕組みのものを増やしていく必要がある。この考えは科学の範囲を超えて、あらゆる分野でも必要な考え方である。(たとえば原子力発電など)
BM4	これまでは合成の過程で、いかに廃棄物に対して「対処」するかということが求められてきた。例えばルブラン法によるHCl、CaSの処理に見ることができる。しかし、今日では環境にやさしい化学という観点から、いかに危険性や有害物質を「予防」するかということが求められている。これは、アンモニア・ソーダ法において見ることができる。
BF1	今までは、私が考察したように、物質を用いる際や用いた後の始末の段階での危険性や環境への負荷・影響を考えて、使用する物質を選んでいたが、これは「対処」的な考えでしかない。これに対して、近年注目されているGSCという考え方は、「予防」的な考え方で、使用する物質を合成する段階から、危険性や環境に対する影響を考え出している。廃棄物を出さないようにしたり、出すとしても毒性がなるべく少ない物を使うように心がけたり、また使い捨てでなく再生できる資源を用いたり、省エネを心がける、などであり、このような見方・考え方が必要になってきている。
BF2	実験をしている時は、実験が成功することや、危険な薬品をちゃんと扱うことにはばかり注意がいていたけれど、それ以上に重要なことがあるんだなと思った。危険な薬品をできるだけ使わないようにすればよいとか、廃棄する際に環境に影響を与えなければいい、というような、今まで私が考えてきたことは、まさにリスクを軽減しようとする、うわべだけの考え方で、プリントを読んで、どうして今までこのような考え方が思い浮かばなかったのかと少し反省させられた気がする。「化学」は奥が深いなと思った。多くの人がこのような考え方をすることができるようになれば、地球の環境はよりよいものになると思う。
BF3	これまでは合成の過程で危険・有害な物質が出てしまったら、その処理法を工夫して、害を減らそうと考えられてきた。しかしGSCでは目的物質や材料の選択・合成方法の時点で無害な物質・方法を使い有害物質を出さない工夫をすることに重点がおかれている。これによって万が一、反応系から物質が漏れたとしても心配はいらなくなる。

BF4	有機化合物の合成の過程で、今までは危険なものや環境に負荷の大きい物質を使用したり廃棄する場合にできるだけ安全な扱い方や、適切な処理を行うとする「対応」的な考え方をしてきたが、近年注目されているのは“GSC”という考え方で、これは合成する目的物質や材料の選択から合成方法にわたって、危険性や環境に負荷の少ない物質や方法を計画していこうとする「予防」的な考え方であり、こちらの方が環境や人に対するリスクが減り、いいとされている。
BF5	私たちは、合成の過程で環境を汚染する物質や私たちに危険にさらす物質の生成は避けなければならない。そこで、私達は炭酸ナトリウムの生成の際、有害な廃棄物である塩化水素や硫化カルシウムが生成されてしまうので、無害である食塩とアンモニアと二酸化炭素の吸収による生成を考え出した。このよう、環境また人間に無害である物質を使用し、生成物質の再利用が重要である。
BF6	[GSC]は、危険性や環境負荷の少ない物質や方法を計画していこうとするもので、「予防」的な考え方をしている。この方法で炭酸ナトリウムの製法についての一例がある。古い製法(ルブラン法)では、大規模な工業的製法として成功したが、塩化水素や硫化カルシウムなどの有害な廃棄物による大気汚染が深刻になった。その後、公害対策は完成したのだが、製品の価格をあげることになってしまった。これがそのリスクを軽減しようと苦労した「対応」の例だ。 一方、新しい製法(アンモニアソーダ法)では、食塩にアンモニアと二酸化炭素を吸収させることで炭酸水素ナトリウムができ、それを燃焼することで炭酸ナトリウムを生産した。この反応による副生成物は全て回収再利用でき、汚染物質を出すこともないし経済的でもある。これが、うまく計画された「予防」の例だ。
BF7	今日では、ただ単に合成して物質を作るのではなく、環境に害を残さない、「出す前の対策」が重要となってきている。できるだけ無害の物質を使い、できるだけ無駄な物質が出ないようにということを考えるようになった。最初から、危険物を生み出さないようにしていけば、リスクは減るし、もし出たとしてもそのときに処理しなくてはならない量が確実に減り、よりよい対策ができる。このような「予防」的な考え方が望ましく、必要な考え方になってきている。

3 「発表考察(再度)」

- (1) 2つの方法のうち、良いと思う方法を答えて下さい。
(2) またそう思う理由を説明して下さい。

生徒	生徒の記述内容
AM1	(1) 硫酸水素ナトリウム一水和物 (2) 硫酸は人体につくと穴があいたりして取り扱いが非常に難しいが、硫酸水素ナトリウムは硫酸に比べると安全だから。(53)
AM2	(1) ④ (2) GSCの第12条より、硫酸は危ないから。また、沸騰石を使わず、第6条より省エネだから。(43)
AM3	(1) 硫酸水素ナトリウムを用いる方法 (2) 触媒として用いるため反応が安全かつ早くすることができる。(28)
AM4	(1) 試験管③の方法 (2) 触媒として②が硫酸を使うのが危険だから。(20)
AM5	(1) 硫酸水素ナトリウム一水和物を触媒にする。 (2) 安全であるから。(8)
AM6	(1) NaHSO ₄ の方法 (2) GSCの観点から、2つの方法を評価してみると、硫酸を用いる方法は、危険が伴い、かつ廃棄する際にも中和する必要が(量にもよると思うが)あったりする。できることなら避けるべきではないかと思った。しかし、NaHSO ₄ の性質、危険性などに関してほとんど知らないので断定的なことは言えない。(142)
AF1	(1) ② (2) 副生成物には害はなく環境にやさしいといえる。(21)
AF2	(1) ③ (2) 濃硫酸が危険だから。酢酸エチルを作る過程でできた廃棄物とかは、廃棄物とかはわからないけれど、原料について言えば、③の方が安全である。(66)
BM1	(1) 硫酸水素ナトリウムを使う方 (2) 触媒の価格を考慮に入れなければ、やはり安全面を考えると濃硫酸を用いるのは危険だから。(42)
BM2	(1) やはり硫酸水素ナトリウム (2) 硫酸は不揮発性の酸なので水質汚染が懸念されるから。硫酸は紙を炭化するほど危険だから。硫酸水素ナトリウムは手に触れても大丈夫だから。硫酸水素ナトリウムは手に触れても大丈夫だから。(88)
BM3	(1) 硫酸水素ナトリウム一水和物 (2) 硫酸の使用に伴う危険性が大きいから。(18)
BM4	(1) NaHSO ₄ (2) GSCの目的である、「危険性を暴露量の軽減で補おうとするより危険性そのものを最初から減らす」ということに基づいているから。(60)

BF1	<p>(1) 硫酸を用いた方法</p> <p>(2) 硫酸は接触法で次のように作られるので、合成する際に有毒な物質は出ない。 $4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2$ $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{SO}_3$ $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$</p> <p>硫酸水素ナトリウムは次のように作られるので合成過程において、大気汚染の原因となる塩化水素がでるので、環境に悪影響を及ぼす。 $\text{NaCl} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{NaHSO}_4 + \text{HCl}\uparrow$</p> <p>ゆえに硫酸を用いた方がよいと思う。(167)</p>
BF2	<p>(1) 硫酸水素ナトリウム</p> <p>(2) 前の予想に加えて、反応後の物質が人体・環境に対して硫酸水素ナトリウムの方が無害で安心だから。(46)</p>
BF3	<p>(1) 硫酸水素ナトリウム一水和物を用いた方法</p> <p>(2) 実験する場合において、濃硫酸は扱う時に危険があるため、注意して行わなければならないが、こちらの方は硫酸に比べては安全だから。(62)</p>
BF4	<p>(1) 硫酸水素ナトリウム一水和物を用いた方法(試験管③)</p> <p>(2) 濃硫酸は液体で人間が触れるとやけどをしてしまうが、硫酸水素ナトリウム一水和物は、固体であり、濃硫酸よりも安全であると思われるから。(65)</p>
BF5	<p>(1) 硫酸</p> <p>(2) 硫酸水素ナトリウムを作る過程で、塩化水素が発生するから。(28)</p>
BF6	<p>(1) 硫酸</p> <p>(2) 硫酸は接触法で作られ、毒物が出ない。 $4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2$ $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{SO}_3$ $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$</p> <p>硫酸水素ナトリウムは大気を汚染する塩化水素が出るので、環境汚染につながる。 $\text{NaCl} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{NaHSO}_4 + \text{HCl}\uparrow$</p> <p>これより、硫酸がよい。(136)</p>
BF7	<p>(1) 硫酸水素一水和物</p> <p>(2) 硫酸を使うよりも、硫酸水素ナトリウムを使う方が、GSCの精神「化学事故につながりにくい物質を使う」に合っている。また、沸騰石の節約になる。(69)</p>

4 「今回の実験・発展考察・資料プリントの学習を通して、あなたはどのように思いますか。」

生徒	生徒の記述内容
AM1	同じ物質を作ったのに、濃硫酸と硫酸水素ナトリウムを使った場合では色に少し違いが現れたことに非常に驚いた。また、化学分野において、リスクを減らそうとしているということを知り、その方向についてもう少し詳しく知りたいと思った。
AM2	“グリーンケミストリー”の考え方というのは、特別なものではなく、当たり前のことを示しているものだった。けど、今までそれを何も考えずに実験してきたので、これからはGSCの考え方を頭に入れた上で、考えながら実験していきたい。
AM3	1つの物質を精製するのにおいても何通りもの方法があり、それぞれ利点、欠点がある。それらを対照実験することでよく理解しておかなければならない。今回は、蒸発などではなく層に分けることで分離する方法を初めてした。時間、手間が少しはかかるが非常に興味深いやり方だった。
AM4	GSCの手法を実験するならば今回の実験のように同じ接触法としても硫酸を用いるよりも硫酸水素ナトリウムを用いたほうが安全だし、他の合成実験でもGSCの理念を浸透させるのならば実践していくべきだと思います。
AM5	実験は、人と人との協力無しでは成り立たないと思った。一人で協力する事により、実験を、迅速かつ安全に行えるものだったと思った。また、人によって感じ方や考え方が異なるので、その実験について、様々な意見を交わすことにより、新たな発見ができるのだと思う。また、環境にやさしい化学実験もこれから大切になってくるのだとよく分かった。健全な地球が存在してこそ、化学の進歩があるのだと思った。そのために、私たちはこれからどう対処して、環境にやさしい実験をしていくか、プリントを読んでみて、具体的に分かった気がした。
AM6	高校では知識の習得が大半で、実験の機会が少ないので、今回の実験もなかなかよかったです。紙の上に書いてあることが、実際にどうということなのかは現物に触れてみないとなかなかわかりませんから、GSCの考え方は、非常に重要だと思います。化学ひいては科学がむかいていく方向として間違っていない、いや、ふさわしいものだと思います。化学によって進歩がなされたり、便利になるのはいいけど、それによって人間が結局害をうけるようでは、そして環境に負荷を与えるようではだめだと思います。価値判断の基準としてもGSCは大切だと思います。
AF1	今後々々ところで化学物質などによる公害が問題となっているけれど、少し見方を変える、研究者達が努力することによって無害な方法を作り出すことができると思った。これからは化学の発展だけでなく、「環境を守りながら化学を発展させること」が必要なんだと思った。
AF2	プリントを読むまでは、硫酸とか危険な薬品を使った実験をいっぱいしたいと思っていたが、少しでも失敗すれば取り返しのつかないことになるよなあ・・・と改めて実感した。私は将来薬学方面に進むつもりで「環境と人体に優しい薬品」

	の研究をしたいと思ってきた。そういう意味でも、今回の実験のプリントはとても役に立ちました！
BM1	酢酸エチルと名前を聞くと、聞き覚えのあるはずもなく、問題集やテストに出てくるものだと思っていた。しかし、そのおいは僕の嗅ぎなれた、シンナーというか、油性ペンのようなものだった。聞くところによると本当にシンナーは、酢酸エチルが使われているとかいないとか・・・
BM2	GSC の 7 条「原料は・・・再生可能な資源から得る」とあるが、これは難しいことだと思う。有機物質の多くは石油から取り出されるし、金属も枯渇性資源から取り出すわけで、それを再生可能な資源から得るのは現代社会の課題でもある。9 の「触媒反応を目指す」というのには、なるほどと思った。触媒は反応に使用されるが元の形に戻り再利用できる。これはエントロピーの法則に反しないのだろうか。また、阪大の説明会に行ったときに「化学から起こった環境問題を解決するのもまた化学です。」言っていた。多くの大学が GSC の研究をしているようだ。昨日の模試にアンモニア・ソーダ法が出た。NH ₃ と CO ₂ を入れる順番を逆にすると炭酸水素ナトリウムがあまりとれないのはなぜか、という問題だった。分からなくてくやしかった。
BM3	今回のようなひとつの実験でも、反応経路が異なる方法がある。その中でも一番安全で、かつ害が少ない方法をしていくという考え方は、大切だと思うし、これからはもっと必要になっていくと思う。「限りある地球」で生活しているからには、もっと環境にやさしいことを推進していくべきだと思います。
BM4	生活に便利なものを作り出すことを第一の目標にするのではなく、環境にやさしい製法・製品を用いることが重要だと思う。人間の心を満たせても地球の心は満たせないような化学的方法は用いられるべきではないと思う。
BF1	実験をしている時は、実験が成功することや、危険な薬品をちゃんと扱うことばかり注意がいついていたけれど、それ以上に重要なことがあるんだなと思った。危険な薬品をできるだけ使わないようにすればいいとか、廃棄する際に環境に影響を与えなければいい、というような、今まで私が考えてきたことは、まさにリスクを軽減しようとする、うわべだけの考え方で、プリントを読んで、どうして今までのような考え方が思い浮かばなかったのかと少し反省させられた気がする。「化学」は奥が深いなと思った。多くの人がこのような考え方をすることができるようになれば、地球の環境はよりよいものになると思う。
BF2	普通に教科書や授業で、有機化合物の合成を習うときは「環境にやさしい合成法」については、あまり触れられず、私も考えたことがなかったが、実験をしてみてこれは無視できないことだと実感させられた。私たちが地球で住んでいく以上、環境はできるだけ汚したくないし、汚さずに技術は進歩できるのに超したことはない。私は、将来化学系の仕事に就きたいと考えているので、このことは忘れずにこういう工夫についてもしっかり考えていきたいです。

BF3	ある物質を合成して、なにか物質を作るという方法は様々なあり、昔はその物質が作れたら良く、使用する時に危険をとまったり廃棄する時に環境に負担を多くかけてしまうのをなるべく少なくしようという考えだったけど、今日は元から安全で環境になるべくやさしいような自然のものにしようという考え方が広がってきている。私はこないだ大学の講義で「生物から学ぶマテリアルデザイン」というものの話を聞いたが、それもこれと似たような部分があって、昔は人間が考え出した人工的なものであったのを近年になって自然のものである生物がもっているマテリアルデザインのほうを日常生活や色々な物や所に使用し始めたり、その研究が多くなればじめてきたというものだった。私は、こういった自然なるべく近づけ、環境になるべく負担にならないようにしようという考え方が多くなり始めたことはよいことだと思うけれども、過去から今まで人が作った物だったり、やってきたことで地球の環境は大きく変わってしまったのを、完全に元通りにするという事はもうできないと思う。だけれども、このような考え方がもっともっと普及していけば少しはましになると思うし、そうであって欲しい。
BF4	私達は、一つの合成方法にこだわらず、人間、また環境になるべく害を与えない方法を求めていつも発展し続けている。そして、生成した物質のうち必要でない物質を再利用し、廃棄物質が出ないようにしている。これらのことは、日常生活においても、どの分野においても言えることだと思う。これからはもっと発展して、地球が美しく住みよい場所になってほしい。
BF5	研究者や技術者、そして私達が科学技術を使って実験する際も、ただ、目的の物質をつくるというだけでなく、その過程や後の副生成物のことも考えて計画しなければならぬのだということがわかった。無計画な実験は、いろんな害を生み出すことにつながるし、実験過程においても、どんな事故につながるかわからない。生活における便利さを求めれば求めるほど、人に害を与えるものも出てきてしまう。でも、このプリントに書かれていたように、ちゃんと計画すれば、環境にも良い化学ができるはず。そういった化学が一般的になったとき、それが本当の化学の進歩だといえるようになると思う。
BF6	科学者達は、ただ単に見出すだけでなく、環境のことも考え、より実現化に向けて考えているので、我々もそのことを考え、知って製品等を使うべきだと思う。自然にいかに影響を与えず、うまく共存していく、これから先の未来に向けての配慮が必要となっているんだと思った。また、作るだけでなく、我々みんながその意識を持って、常に環境について考えるべきだと思う。

BF7	<p>実験は自教直で黒板で勉強するよりも雑かにわかりやすく、記憶にも残ってくれます。これからあのおいをかぐと、「酢酸エチル」とか頭に浮かぶだろうと思います。でも、実験では様々な化学物質を使います。ほとんどが使い捨てのような感じがします。廃液以外のそのまま流してしまうのはこんな所に流していいものだろうかと思います。学校の配管は他と違うかもしれませんが、家庭のみそ汁よりもっと有害な気がします。水道のところに転がっている節電石は回収するのかなあとか、そういうもったいないなあと思うことは実験の時によくあります。将来グリーンケミストリーがもっと発達して、廃液が全く出ない全循環の実験が学校でできるようになったら、実験が増えて化学はおもしろくなるんだろうなあと思います。</p>
-----	--

6 生徒個々人の記述の変化

生徒番号	資料プリントのまとめの記述内容	
	発原考察の記述内容	発原考察（再度）の記述内容
	学習全体を通して、どう思いますか・・・の記述内容	
AM1	<p>物質をつくるときにいくつもの作り方があるものもあるが、最もリスクの少ない方法で作る。例えば、反応物には人体への影響が少ないものを使用することである。</p>	
	<p>(1)硫酸水素ナトリウム-水和物 (2)硫酸を用いてできた酢酸エチルには少し色がついていて、硫酸水素ナトリウム-水和物でできた酢酸エチルは無色であったから。</p>	<p>(1)硫酸水素ナトリウム-水和物 (2)硫酸は人体につくと穴があいたりして取り扱いが非常に難しいが、硫酸水素ナトリウムは硫酸に比べると安全だから。</p>
	<p>同じ物質を作ったのに、濃硫酸と硫酸水素ナトリウムを使った場合では色に少し違いが現れたことに非常に驚いた。また、化学分野においてリスクを減らそうとしているということを知り、その方向についてもう少し詳しく知りたいと思った。</p>	
AM2	<p>危険性を曝露量の軽減で補おうとするより、GSCの手法によって危険性そのものを最初から減らす計画をしていけば、リスクが確実に減る。</p>	
	<p>(1)③ (2)②では濃硫酸を使うので危険だから。</p>	<p>(1)③ (2)GSCの第13条より、硫酸は危ないから。また、洗眼石を使わず、第6条より省エネだから。</p>
	<p>“グリーンケミストリー”の考え方というものは、特別なものではなく、当たり前のことを示しているものだった。けど、今までそれを何も考えずに実験してきたので、これからはGSCの考え方を頭に入れた上で、考えながら実験していきたい。</p>	
AM3	<p>硫酸、硫酸水素ナトリウム、どちらを用いても結果は同じだが、硫酸水素ナトリウムは触媒として働くために反応するのが早く低温でできるためよい。実験は安全でかつ早いほうがよい。また、分離するのに脱水して層に分けることが重要。</p>	
	<p>(1)硫酸水素ナトリウムを用いる方法 (2)硫酸を用いたほうが層がはっきりしていてわかりやすいが、硫酸水素ナトリウムの方が使用上安全である。</p>	<p>(1)硫酸水素ナトリウムを用いる方法 (2)触媒として用いるため反応が安全かつ早くすることができる。</p>
	<p>1つの物質を精製するのにおいても何通りもの方法があり、それぞれ利点、欠点がある。それを対照実験することでよく理解しておかなければならない。今回は、蒸発などではなく層に分けることで分離する方法を初めてした。時間、手間が少しはかかるが非常に興味深いやり方だった。</p>	

AM4	<p>人体と環境に対するリスクの大きい物質を使用、または廃棄する場合、実験後に「対処」的な考え方で処理されていたが、GSC の理念では、使用前の状態からリスクを減らす「予防」的な考え方をしている。特に廃棄物ゼロ、再生可能資源の利用などが環境に対して大きくリスクを減らしている。</p>				
	<table border="1"> <tr> <td data-bbox="272 264 608 307">(1)①の方が良いと思う</td> <td data-bbox="608 264 960 307">(1)試験管①の方法</td> </tr> <tr> <td data-bbox="272 307 608 349">(2)②は硫酸が危険なこと。生成物の量も③に比べ少なかったから。</td> <td data-bbox="608 307 960 349">(2)触媒として②が硫酸を使うのが危険だから。</td> </tr> </table> <p>GSC の手法を実践するならば今回の実験のように同じ触媒としてでも硫酸を用いるよりも硫酸水素ナトリウムを用いたほうが安全だし、他の合成実験でも GSC の理念を満たせるのならば実践していくべきだと思います。</p>	(1)①の方が良いと思う	(1)試験管①の方法	(2)②は硫酸が危険なこと。生成物の量も③に比べ少なかったから。	(2)触媒として②が硫酸を使うのが危険だから。
(1)①の方が良いと思う	(1)試験管①の方法				
(2)②は硫酸が危険なこと。生成物の量も③に比べ少なかったから。	(2)触媒として②が硫酸を使うのが危険だから。				
AM5	<p>安全にする。</p> <table border="1"> <tr> <td data-bbox="272 449 608 549">(1)硫酸水素ナトリウム-水和物を触媒にする。</td> <td data-bbox="608 449 960 549">(1)硫酸水素ナトリウム-水和物を触媒にする。</td> </tr> <tr> <td data-bbox="272 549 608 578">(2)安全であるから。</td> <td data-bbox="608 549 960 578">(2)安全であるから。</td> </tr> </table> <p>実験は、人と人との協力無しでは成り立たないと思った。教員で協力する事により、実験を、迅速かつ安全に行えるものと思った。また、人によって感じ方や考え方が異なるので、その実験について、様々な意見を交わすことにより、新たな発見ができるのだと思う。また、環境にやさしい化学実験もこれから大切になってくるのだとよく分かった。健全な地球が存在してこそ、化学の進歩があるのだと思った。そのために、私たちはこれからどう対処して、環境にやさしい実験をしていくか、プリントを読んでみて、具体的に分かった気がした。</p>	(1)硫酸水素ナトリウム-水和物を触媒にする。	(1)硫酸水素ナトリウム-水和物を触媒にする。	(2)安全であるから。	(2)安全であるから。
(1)硫酸水素ナトリウム-水和物を触媒にする。	(1)硫酸水素ナトリウム-水和物を触媒にする。				
(2)安全であるから。	(2)安全であるから。				
AM6	<p>Green and Sustainable Chemistry の考え方が注目されており、必要になってきている。</p> <p>合成の結果として生じる様々な問題に対処しようというのではなく、合成をおこなう前になるべく問題を予測し、できるだけ少なくなるように計画をたてるという、予防的な考え方だ。この精神は 12 か条にまとめられており、危険性や環境への負荷を軽減させる計画への指針となる。化学技術の望ましい方向への発展のためにも GSC は重要である。</p> <table border="1"> <tr> <td data-bbox="272 785 608 992">(1)硫酸水素ナトリウム-水和物の方法</td> <td data-bbox="608 785 960 992">(1)NaHSO₄の方法</td> </tr> <tr> <td data-bbox="272 992 608 1262">(2)硫酸を使うのは注意が必要で、万一のときには極めて危険なので、比較的安全に、かつ気持のいいにも薬に使用できる硫酸水素ナトリウム-水和物の方に魅力を感じた。(ラクにできることはラクにやりたい)</td> <td data-bbox="608 992 960 1262">(2)GSC の観点から、硫酸を用いる方法は、危険が伴い、かつ廃棄する際にも中和する必要が(量にもよると思うが)あったりする。できることなら避けるべきではないかと思った。しかし、NaHSO₄の性質、危険性などに関してほとんど知らないもので断定的なことは言えない。</td> </tr> </table>	(1)硫酸水素ナトリウム-水和物の方法	(1)NaHSO ₄ の方法	(2)硫酸を使うのは注意が必要で、万一のときには極めて危険なので、比較的安全に、かつ気持のいいにも薬に使用できる硫酸水素ナトリウム-水和物の方に魅力を感じた。(ラクにできることはラクにやりたい)	(2)GSC の観点から、硫酸を用いる方法は、危険が伴い、かつ廃棄する際にも中和する必要が(量にもよると思うが)あったりする。できることなら避けるべきではないかと思った。しかし、NaHSO ₄ の性質、危険性などに関してほとんど知らないもので断定的なことは言えない。
(1)硫酸水素ナトリウム-水和物の方法	(1)NaHSO ₄ の方法				
(2)硫酸を使うのは注意が必要で、万一のときには極めて危険なので、比較的安全に、かつ気持のいいにも薬に使用できる硫酸水素ナトリウム-水和物の方に魅力を感じた。(ラクにできることはラクにやりたい)	(2)GSC の観点から、硫酸を用いる方法は、危険が伴い、かつ廃棄する際にも中和する必要が(量にもよると思うが)あったりする。できることなら避けるべきではないかと思った。しかし、NaHSO ₄ の性質、危険性などに関してほとんど知らないもので断定的なことは言えない。				

	<p>高校では知識の習得が大半で、実験の機会が少ないので、今回の実験もなかなか良かったです。紙の上に書いてあることが、実際にどういふことなのかは現物に触れてみないとなかなかわからないですから、GSC の考え方は、非常に重要だと思います。化学ひいては科学がむかいていく方向として間違っていない、いや、ふさわしいものだと思います。化学によって進歩がなされたり、便利になるのはいいけど、それによって人間が結局害をうけるようでは、そして環境に負荷を与えるようではだめだと思います。価値判断の基準としても GSC は大切だと思います。</p>				
AF1	<p>昔使われていたルブラン法は、過程で有害な塩化水素や酸化カルシウムが廃棄物として出ることが問題となり、GSC の考え方にもとづいて新たにアンモニゾーダ法が使用されるようになった。アンモニゾーダ法では過程の中で排出される二酸化炭素は再び原料として使用され、また、塩化アンモニウムも有害なものではなく肥料などに使用できるという点からして、GSC の考え方に従った環境にやさしい製造方法であるといえる。</p> <table border="1"> <tr> <td data-bbox="1358 385 1694 564">(1)②</td> <td data-bbox="1694 385 2043 564">(1)②</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1358 564 1694 835">(2)反応の経路がわかりやすい。2層に分かれている上層に色が着いていて見やすい。炭酸水素ナトリウムを入れたときの反応が③よりも大きい。</td> <td data-bbox="1694 564 2043 835">(2)副生成物に害はなく環境にやさしいといえる。</td> </tr> </table> <p>今様々なところで化学物質などによる公害が問題となっているけれど、少し見方を変える、研究者達が努力することによって無害な方法を作り出すことができると思った。これからは化学の発展だけでなく、「環境を守りながら化学を発展させることが必要なんだな」と思った。</p>	(1)②	(1)②	(2)反応の経路がわかりやすい。2層に分かれている上層に色が着いていて見やすい。炭酸水素ナトリウムを入れたときの反応が③よりも大きい。	(2)副生成物に害はなく環境にやさしいといえる。
(1)②	(1)②				
(2)反応の経路がわかりやすい。2層に分かれている上層に色が着いていて見やすい。炭酸水素ナトリウムを入れたときの反応が③よりも大きい。	(2)副生成物に害はなく環境にやさしいといえる。				
AF2	<p>これまでは「対処」的な考え方、つまり合成の過程で出た危険な廃棄物をできるだけ安全な扱い方で処理してきた。これからは「予防」的な考え方、つまり危険な廃棄物自体を合成過程でも、材料でも出さないようにすることが望ましい。この考え方だと、反応系から外部にもれても、無害な物質ばかりだから、悲惨な事故も軽減されるはずだ。</p> <table border="1"> <tr> <td data-bbox="1358 835 1694 992">(1)②</td> <td data-bbox="1694 835 2043 992">(1)③</td> </tr> <tr> <td data-bbox="1358 992 1694 1142">(2)色が着いて反応がわかりやすいから。</td> <td data-bbox="1694 992 2043 1142">(2)濃硫酸が危険だから。酢酸エチルを作る過程でできた廃棄物とかは、廃棄物とかはわからないけれど、原料について言えば、③の方が安全である。</td> </tr> </table> <p>プリントを読むまでは、硫酸とか危険な薬品を使った実験をいっぱいしたいと思っていたが、少しでも失敗すれば取り返しのつかないことになるよなあ・・・と改めて実感した。私は将来薬学方面に進むつもりで「環境と人体に優しい薬品」の研究をしたいと思ってきた。そういう意味でも、今回の実験&プリントはとて役に立ちました!</p>	(1)②	(1)③	(2)色が着いて反応がわかりやすいから。	(2)濃硫酸が危険だから。酢酸エチルを作る過程でできた廃棄物とかは、廃棄物とかはわからないけれど、原料について言えば、③の方が安全である。
(1)②	(1)③				
(2)色が着いて反応がわかりやすいから。	(2)濃硫酸が危険だから。酢酸エチルを作る過程でできた廃棄物とかは、廃棄物とかはわからないけれど、原料について言えば、③の方が安全である。				

BM1	<p>酢酸とエタノールを用いて、酢酸エチルを合成するには、そのままでは活性化エネルギーが高すぎてほとんど反応しない。そこで硫酸であろうが硫酸水素ナトリウムであろうが、溶液中で強酸になる触媒を用いて、反応の活性化エネルギーを下げる必要がある。(硫酸や硫酸水素ナトリウムが反応するとH⁺を多く出すようになり、それによって反応が促進される。)</p>	
	<p>(1)硫酸水素ナトリウムを使う方 (2)硫酸は強い脱水作用を示し、人の体に付着してしまうと、とても危険であるが、一方で硫酸水素ナトリウムは、硫酸がねばりけのある液体であるのに対して、結晶となっているので、触ったりしても大丈夫。だから実験が安全にできる。</p>	<p>(1)硫酸水素ナトリウムを使う方 (2)触媒の価格を考慮に入れなければ、やはり安全面を考えると濃硫酸を用いるのは危険だから。</p>
	<p>酢酸エチルと名前を聞くと、聞き覚えのあるはずもなく、問題集やテストに出てくるものだと思っていた。しかし、そのにおいは僕の嗅ぎなれた、シンナーというか、油性ペンのようなものだった。聞くところによると本当にシンナーは、酢酸エチルが使われているとかいないとか・・・</p>	
BM2	<p>研究者、技術者は研究ということで危険性のあるものを出すことを正当化してはならず、薬にも配慮しなければならない。その配慮のほうほうにも「対処」的な考え方と、「予防」的な考え方があるが、できることなら後者の方法で事前に危険を防ぐべきである。また、最近、大量に化学物質を使用する一般市民にも GSC などの「予防」的な考え方を普及すべきである。また、ルブラン法を改良して有害な廃棄物を減少させるような「対処」ではなく、その反応自体を変えるというような抜本的な開発が今後必要とされる。</p>	
	<p>(1)硫酸水素ナトリウム (2)硫酸は危険だから。硫酸水素ナトリウムは危険でないから。</p>	<p>(1)やはり硫酸水素ナトリウム (2)硫酸は不揮発性の酸なので水質汚染が懸念されるから。硫酸は紙を炭化するほど危険だから。硫酸水素ナトリウムは手に触れても大丈夫だから。硫酸水素ナトリウムは手に触れても大丈夫だから。</p>
	<p>GSC の 7 条「原料は・・・再生可能な資源から得る」とあるが、これは難しいことだと思う。有機物質の多くは石油から取り出されるし、金属も枯渇性資源から取り出すわけで、それを再生可能な資源から得るのは現代社会の課題でもある。9 の「触媒反応を目指す」というのには、なるほどと思った。触媒は反応に使用されるが元の形に戻り再利用できる。これはエントロピーの法則に反しないのだろうか。また、阪大の説明会に行ったときに「化学から起こった環境問題を解決するのもまた化学です。」言っていた。多くの大学が GSC の研究をしているようだ。昨日の模試にアンモニア・ソーダ法が出た。NH₃ と CO₂ を入れる順番を逆にすると硫酸水素ナトリウムがあまりとれないのはなぜか、という問題だった。分からなくてくやしかった。</p>	

BM3	<p>GSC の考え方は、その名の通り環境にやさしく、画期的な考え方だと思う。この「対処」的な考え方をやめ、「予防」という姿勢は、これからの世界ではますます重要になっていくと思う。アンモニア・ソーダ法を知ったときは、正直、驚きすごいという気になったし、他の物質の製造法でも、このような仕組みのものを増やしていく必要がある。この考えは科学の範囲を超え、あらゆる分野でも必要な考え方である。</p>	
	<p>(1)触媒を硫酸水素ナトリウム-水合物に変えた方 (2)H₂SO₄ よりも NaHSO₄ · H₂O のほうが取り扱いの危険性が少ない。</p>	<p>(1)硫酸水素ナトリウム-水合物 (2)硫酸の使用に伴う危険性が大きいから。</p>
	<p>今回のようなひとつの実験でも、反応経路が異なる方法がある。その中でも一番安全で、かつ害が少ない方法をしていくという考え方は、大切だと思うし、これからはもっと必要になっていくと思う。「限りある地球」で生活しているからには、もっと環境にやさしいことを推進していくべきだと思います。</p>	
BM4	<p>これまでは合成の過程で、いかに廃棄物に対して「対処」するかということが求められてきた。例えばルブラン法による HCl, CaS の処理に見ることができる。しかし、今日では環境にやさしい化学という観点から、いかに危険性や有害物質を「予防」するかということが求められている。これは、アンモニア・ソーダ法において見ることができる。</p>	
	<p>(1)NaHSO₄ (2)硫酸と違って固体なので扱いやすいし、安全であるから</p>	<p>(1)NaHSO₄ (2)GSC の目的である、「危険性を暴露量の軽減で補おうとするより危険性そのものを最初から減らす」に適している。</p>
	<p>生活に便利なものを作り出すことを第一の目標にするのではなく、環境にやさしい製法・製品を用いることが重要だと感じた。人間の心を満たせても地球の心は満たせないような化学的方法は用いられるべきではないと思う。</p>	
BF1	<p>今までは、私が考察したように、物質を用いる際や用いた後の始末の段階での危険性や環境への負荷・影響を考えて、使用する物質を選んでしたが、これは「対処」的な考えでしかない。これに対して、近年注目されている GSC という考え方は、「予防」的な考え方で、使用する物質を合成する段階から、危険性や環境に対する影響を考え出している。廃棄物を出さないようにしたり、出すとしても毒性がなるべく少ない物を使うように心がけたり、また使い捨てでなく再生できる資源を用いたり、省エネを心がける、などであり、このような見方・考え方が必要となってきている。</p>	

<p>(1)硫酸水素ナトリウムを用いた方法</p> <p>(2)沸騰石を加えなくても、それだけで触媒として働き、硫酸を用いた場合、硫酸は反応せずにそのまま水層に残るので、始末をするときに危険であると思うから。また、使用する時も、硫酸の方が扱うのが危険だと思ったから。</p>	<p>(1)硫酸を用いた方法</p> <p>(2)硫酸は接触法で次のように作られるので、合成する際に有毒な物質は出ない。</p> $4\text{FeS}_2 + 11\text{O}_2 \rightarrow 2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 8\text{SO}_2$ $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{SO}_3$ $\text{SO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{SO}_4$ <p>硫酸水素ナトリウムは次のように作られるので合成過程において、大気汚染の原因となる塩化水素がでるので、環境に影響を及ぼす。</p> $\text{NaCl} + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{NaHSO}_4 + \text{HCl}$ <p>ゆえに硫酸を用いた方がよいと思う。</p>
<p>実験をしている時は、実験が成功することや、危険な薬品をちゃんと扱うことばかり注意がいていたけれど、それ以上に重要なことがあるんだなと思った。危険な薬品をできるだけ使わないようにすればよいか、廃棄する際に環境に影響を与えなければいい、というような、今まで私が考えてきたことは、まさにリスクを軽減しようとする、うわべだけの考え方で、プリントを読んで、どうして今までこのような考え方が思い浮かばなかったのかと少し反省させられた気がする。「化学」は奥が深いなと思った。多くの人がこのような考え方をすることができるようになれば、地球の環境はよりよいものになると思う。</p>	
<p>BF2</p> <p>これまでは合成の過程で危険・有害な物質が出てしまったら、その処理法を工夫して、害を減らそうと考えられてきた。しかしGSCでは目的物質や材料の選択・合成方法の時点で無害な物質・方法を使い有害物質を出さない工夫をすることに重点がおかれている。これによって万が一、反応系から物質が漏れたとしても心配はいらなくなる。</p>	
<p>(1)硫酸水素ナトリウム</p> <p>(2)濃硫酸は誤って、手に付着したりすると大変危険だから。</p>	<p>(1)硫酸水素ナトリウム</p> <p>(2)前の予想に加えて、反応後の物質が人体・環境に対して硫酸水素ナトリウムの方が無害で安心だから。</p>
<p>普通に教科書や授業で、有機化合物の合成を習うときは「環境にやさしい合成法」については、あまり触れられず、私も考えたことがなかったが、実験をしてみてこれは無理できないことだと実感させられた。私たちが地球で住んでいく以上、環境はできるだけ汚したくないし、汚さずに技術は進歩できるのに越したことはない。私は、将来化学系の仕事に就きたいと考えているので、このことは忘れずにこういう工夫についてもしっかり考えていきたいです。</p>	

<p>BF3</p>	<p>有機化合物の合成の過程で、今までは危険なものや環境に負荷の大きい物質を使用したり廃棄する場合にできるだけ安全な扱い方や、適切な処理を行おうとする「対処」的な考え方をしてきたが、近年注目されているのは「GSC」という考え方で、これは合成する目的物質や材料の選択から合成方法にわたって、危険性や環境に負荷の少ない物質や方法を計画していくこととする「予防」的な考え方であり、こちらの方が環境や人に対してのリスクが低く、いいとされている。</p>	
	<p>(1)触媒に硫酸を用いた方法</p> <p>(2)2層に分かれる反応のときによくわかるから。また、自分たちで実験したときに、もう一つのやり方の方を失敗してしまったので、こっこの方法の方が簡単なのかなあと思ったから。</p>	<p>(1)硫酸水素ナトリウム-水合物を用いた方法</p> <p>(2)実験する場合において、濃硫酸は扱う時に危険があるため、注意して行わなければならないが、こちらの方は硫酸に比べては安全だから。</p>
<p>ある物質を合成して、なにか物質を作るという方法は様々なあり、昔はその物質を作れたら良くて、使用する時に危険をとまったり廃棄する時に環境に負荷を多くかけてしまうのをなるべく少なくしようという考えだったけど、今日は元から安全で環境になるべくやさしいような自然のものにしようという考え方が広がってきている。私はこないだ大学の講義で「生物から学ぶマテリアルデザイン」というもの話を聞いたが、それもこれと似たような部分があって、昔は人間が考え出した人工的なものであったのを近年になって自然のものである生物がもっているマテリアルデザインのほうを日常生活や色々な物や所に使用しはじめたり、その研究が多くなされはじめてきたというものだった。私は、こういった自然になるべく近づけ、環境になるべく負担にならないようにしようという考え方が多くなりはじめたことはよいことだと思うけれども、過去から今まで人が作ったものだったり、やってきたことで地球の環境は大きく変わってしまったのを、完全に元通りにするということはもうできないと思う。だけれども、このような考え方がもともと普及していけば少しはましになると思うし、そうであってほしい。</p>		
<p>BF4</p>	<p>私たちは、合成の過程で環境を汚染する物質や私たちを危険にさらす物質の生成は避けなければならない。そこで、私達は硫酸ナトリウムの生成の際、有害な副産物である塩化水素や酸化カルシウムが生成されてしまうので、無害である食塩とアンモニアと二酸化炭素の吸収による生成を考え出した。このよう、環境また人間に無害である物質を使用し、生成物質の再利用が重要である。</p>	
	<p>(1)硫酸を用いた方法 (試験管②)</p> <p>(2)2層に分かれた時に、色の着いた層ができ、試験管③の無色の層よりも取り出しやすいから。</p>	<p>(1)硫酸水素ナトリウム-水合物を用いた方法 (試験管③)</p> <p>(2)濃硫酸は液体で人間が触れるとやけどをしますが、硫酸水素ナトリウム-水合物は、固体であり、濃硫酸よりも安全であると思われるから。</p>

	私達は、一つの合成方法にこだわらず、人間、また環境になるべく害を与えない方法を求めていつも発見し続けている。そして、生成した物質のうち必要でない物質を再利用し、廃棄物質が出ないようにしている。これらのことは、日常生活においても、どの分野においても言えることだと思う。これからもっと発展して、地球が美しく住みよい場所になってほしい。				
BF5	<p>[GSC]は、危険性や環境負荷の少ない物質や方法を計画していこうとするもので、「予防」的な考え方をしている。この方法で炭酸ナトリウムの製法についての一例がある。古い製法（ルブラン法）では、大規模な工業的製法として成功したが、塩化水素や酸化カルシウムなどの有害な廃棄物による大気汚染が深刻になった。その後、公害対策は完成したのだが、製品の価格をあげることになってしまった。これがそのリスクを軽減しようと苦闘した「対処」の例だ。</p> <p>一方、新しい製法（アンモニアソーダ法）では、食塩にアンモニアと二酸化炭素を反応させることで炭酸水素ナトリウムができ、それを燃焼することで炭酸ナトリウムを生産した。この反応による副生成物は全て回収再利用でき、汚染物質を出すこともない経済的でもある。これが、うまく計画された「予防」の例だ。</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>(1)炭酸水素ナトリウム</td> <td>(1)硫酸</td> </tr> <tr> <td>(2)硫酸を酸に乗せると黒くなって</td> <td>(2)硫酸水素ナトリウムを作る過程で、塩化水素が発生するから。</td> </tr> </table> <p>研究者や技術者、そして私達が科学技術を使って実験する際も、ただ、目的の物質をつくるというだけでなく、その過程や後の副生成物のことも考えて計画しなければならないのだということがわかった。無計画な実験は、いろんな害を生み出すことにつながるし、実験過程においても、どんな事故につながるかわからない。生活における便利さを求めれば求めるほど、人に害を与えるものも出てきてしまう。でも、このプリントに書かれていたように、ちゃんと計画すれば、環境にも良い化学ができるはず。そういった化学が一般的になったとき、それが本当の化学の進歩だといえるようになると思う。</p>	(1)炭酸水素ナトリウム	(1)硫酸	(2)硫酸を酸に乗せると黒くなって	(2)硫酸水素ナトリウムを作る過程で、塩化水素が発生するから。
(1)炭酸水素ナトリウム	(1)硫酸				
(2)硫酸を酸に乗せると黒くなって	(2)硫酸水素ナトリウムを作る過程で、塩化水素が発生するから。				
BF6	今日では、ただ単に合成して物質を作るのではなく、環境に害を残さない、「出す前の対策」が重要となってきている。できるだけ無害の物質を使い、できるだけ無害な物質が出ないようにということを考えるようになった。最初から、危険物を生み出さないようにしていけば、リスクは減るし、もし出たとしてもそのときに処理しなくてはならない量が確実に減り、よりよい対策ができる。このような「予防」的な考え方が望ましく、必要な考え方になってきている。				

	<p>(1)硫酸 (2)反応がわかりやすかった。</p>	<p>(1)硫酸 (2)硫酸は接触法で作られ、毒薬が出ない。 $4FeS_2 + 11O_2 \rightarrow 2Fe_2O_3 + 8SO_2$ $2SO_2 + O_2 \rightarrow 2SO_3$ $SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$</p> <p>硫酸水素ナトリウムは、大気を汚染する塩化水素が出るので、環境汚染につながる。 $NaCl + H_2SO_4 \rightarrow NaHSO_4 + HCl \uparrow$</p> <p>これより、硫酸がよい。</p>				
	<p>科学者達は、ただ単に発見するだけでなく、環境のことも考え、より実現化に向けて考えているので、我々もそのことを考え、知って製品等を使うべきだと思う。自然にいかにも影響を与えず、うまく共存していく、これから先の未来に向けての配慮が必要となっているんだと思った。また、作る人だけでなく、我々みんながその意識を持って、常に環境について考えるべきだと思う。</p>					
BF7	<p>従来の化学の環境対策は、危険物や汚染物質を使う際、できるだけ安全で適切な使用を考え実行するというリスクに対する「対処」的な考え方であった。しかし、近年注目されるGSCは、危険性そのものを最初から減らす計画、危険性や環境負荷の大きい物質は使わないという「予防」的な考え方に基づいている。</p> <table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>(1)炭酸水素ナトリウム-水和物</td> <td>(1)硫酸水素-水和物</td> </tr> <tr> <td>(2)硫酸を使うほうが危なそうだから。</td> <td>(2)硫酸を使うよりも、硫酸水素ナトリウムを使う方が、GSCの精神「化学事故につながりにくい物質を使う」に合っている。また、沸騰石の節約になる。</td> </tr> </table> <p>実験は自教室で黒板で勉強するよりも確かにわかりやすく、記憶にも残ってくれます。これからあのおいをかぐと、「酢酸エチル」とか順に浮かぶだろうと思います。でも、実験では様々な化学物質を使います。ほとんどが使い捨てのような感じがします。廃液以外のそのまま流してしまう液はこんな所に流していいものだろうかと思えます。学校の配管は他と違うかもしれませんが、家庭のみそ汁よりもっと有害な気がします。水道のところに転がっている沸騰石は回収するのかなあとか、そういうもったいないなあと思うことは実験の時によくあります。将来グリーンケミストリーがもっと発達して、廃液が全く出ない全循環の実験が学校でできるようになったら、実験が増えて化学はおもしろくなるんだろうなあと思います。</p>		(1)炭酸水素ナトリウム-水和物	(1)硫酸水素-水和物	(2)硫酸を使うほうが危なそうだから。	(2)硫酸を使うよりも、硫酸水素ナトリウムを使う方が、GSCの精神「化学事故につながりにくい物質を使う」に合っている。また、沸騰石の節約になる。
(1)炭酸水素ナトリウム-水和物	(1)硫酸水素-水和物					
(2)硫酸を使うほうが危なそうだから。	(2)硫酸を使うよりも、硫酸水素ナトリウムを使う方が、GSCの精神「化学事故につながりにくい物質を使う」に合っている。また、沸騰石の節約になる。					

実験プリント「酢酸エチルの合成」

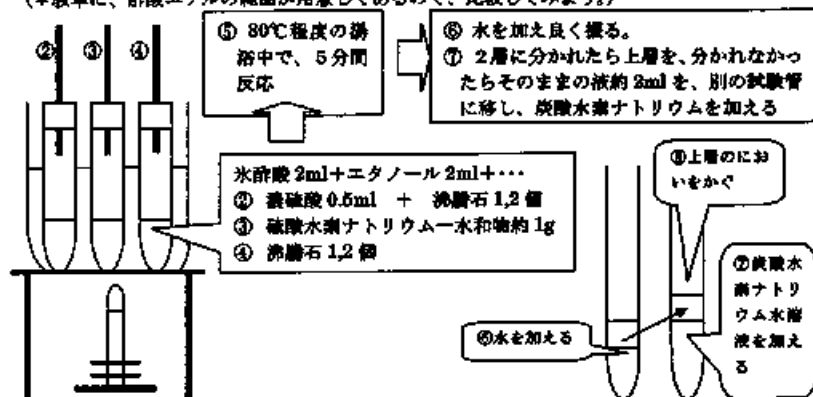
目的 酢酸エチルを例としてエステル合成をし、合成の際の触媒の役割について調べる。

準備(薬品) エタノール、水酢酸、濃硫酸、硫酸水素ナトリウム水和物、炭酸水素ナトリウム
 (器具) 乾いた試験管6本、コルク栓付き60cmガラス管3本、温度計1、2ml駒込6本、300mlビーカー1、三脚1、ガスバーナー1、マッチ、沸騰石

実験の概要 3本の試験管に酢酸とエタノールと試験管ごとに異なる物質を加え、それぞれ加熱して反応させ、生成した物質をそのおいで判別する。

方法

- ① 3本の乾いた試験管に、それぞれ水酢酸2mlとエタノール2mlを入れて混合する。
- ② 上記の試験管1本に濃硫酸0.5mlを注意しながら加え混合する。さらに沸騰石を1.2個入れる。
- ③ もう1本の試験管に硫酸水素ナトリウム水和物を約1g入れる。沸騰石は入れない。
- ④ 残りの1本の試験管には沸騰石だけを1.2個入れる。
- ⑤ ②～④の試験管それぞれに約60cmのガラス管を蒸流冷却管としてとりつけ、80℃程度の湯浴中で6分間加熱する。
- ⑥ 時間が経過したら、試験管を湯浴からとりだす。冷却管を取り外し、それぞれの試験管に水約10ml加えよく振り、その後静置する。
- ⑦ 試験管内の物質が2層に分かれたら試験管内の上層部分を、分かれなときはそのままの液2ml程度を、それぞれ別の試験管に駒込ピペットを用いて移し、1mol/l炭酸水素ナトリウムを試験管の3分の1程度まで、吹きこぼれないよう注意しながら加える。
- ⑧ その後それぞれの試験管内の上層に浮かんだ生成物があれば、そのおいをかぐ。
 (*教卓に、酢酸エチルの純品が用意してあるので、比較してみよう。)



結果

(1) ⑥で反応させた後、水を加えて静置したらどうなったか。

(2) ⑥で3つの試験管内の生成物のおいをかいだらどうだったか。

考察

(1) ②の試験管に加えた濃硫酸と③の試験管に加えた硫酸水素ナトリウム水和物は、どのような物質としてはたらいたと考えられるか。また、このような物質のはたらきを説明せよ。

(説明)

(2) ②と③の試験管内での反応は、全体としては同じ反応である。化学反応式に整理せよ。

(年 組 f・m 番)

資料プリント

1 グリーンケミストリー

Green and Sustainable Chemistry (環境にやさしい化学、以下GSC)は、おもに有機合成の分野で近年注目されている考え方である。

これまでは合成の過程で、危険性や環境負荷の大きい物質を使用あるいは廃棄しなければならぬような場合、できるだけ安全な扱い方を考え、適切な処理方法を考え実行することで、危険にさらされる人数と汚染の程度を減らしリスク(リスク=危険性×暴露量)を軽減しようとしてきた。しかしこれは、言い換えれば「対処」的な考え方と言える。

これに対しGSCでは、合成する目的物質や材料の選択から合成方法にわたって、危険性や環境負荷の少ない物質や方法を計画していこうとする、言わば「予防」的な考え方をしている。

危険性を暴露量の軽減で補おうとするより、GSCの手法によって、危険性そのものを最初から減らす計画をしていけば、リスクは確実に減る。うまく計画が進んで無害な物質だけの使用で済むならば、万が一反応系から外部に漏れたとしても心配がいらぬことになる。

GSCにはその精神を表した12か条がある。

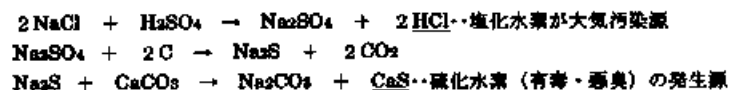
- 1 廃棄物は「出してから処理」ではなく、出さない。
- 2 原料をなるべくむだにしない形の合成をする。
- 3 人体と環境に害の少ない反応物・生成物にする。
- 4 機能が同じなら、毒性のなるべく小さい物質をつくる。
- 5 補助物質はなるべく減らし、使うにしても無害なもの。
- 6 環境と経費への負荷を考え、省エネを心がける。
- 7 原料は、枯渇性資源ではなく再生可能な資源から得る。
- 8 途中の修飾反応はできるだけ避ける。
- 9 できるかぎり触媒反応を目指す。
- 10 使用後に環境中で分解するような製品を目指す。
- 11 プロセス計画を導入する。
- 12 化学事故につながりにくい物質を使う。

このように、これからの科学技術を望ましい方向へ進めていくためにも、判断・意思決定に役立つ科学的な見方や考え方が、研究者にも、技術者にも、一般市民にも必要な要素となってきている。

- 2 GSCの視点で炭酸ナトリウムの製法を考える。
(ルブラン法からアンモニアソーダ法への移行)

【Na₂CO₃の古い製造法(ルブラン法)】

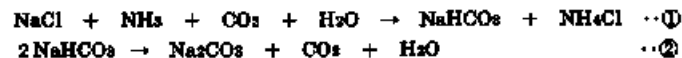
炭酸ナトリウムは工業界にとって大変重要な物質である。18世紀までは木灰や海草灰から抽出されたが、ヨーロッパで毛織物工業が発達するにつれ、毛織物の洗浄剤として炭酸ナトリウムが多量に必要なようになった。1789年フランスのルブランは、炭酸ナトリウムの大規模な工業的製法の開発に成功した。(ルブラン法)



この合成方法では、塩化水素や硫化カルシウムなどの有害な廃棄物が問題となった。特に塩化水素による大気汚染が深刻になり、1870年から1887年頃にかけて、塩化水素はさらし粉の原料とする工夫を、硫化物は硫黄として回収する方法が見いだされ、ほぼ公害対策は完成した。しかしその行程は複雑で、製品の炭酸ナトリウムの価格を上げることになった。有害な廃棄物を出してから、そのリスクを軽減しようと苦労した「対処」の例といえよう。アンモニア・ソーダ法が開発された後も、さらし粉や塩素での収益があったため、本法での炭酸ナトリウム製造はしばらく続いたが、塩素を製造する他の方法が開発されて、塩素の価格が下がってくるにつれ次第に廃れていった。

【Na₂CO₃の新しい製造法(アンモニアソーダ法)】

19世紀中頃ソルベーは、食塩にアンモニアと二酸化炭素を吸収させることで炭酸水素ナトリウムができることに着目。炭酸水素ナトリウムは焼けば、簡単に炭酸ナトリウムとなるので、1861年に炭酸水素ナトリウムの生産を始めた。



反応①で得られるCO₂は、反応②で再利用される。

反応①で得られるNH₄Clはそのまま肥料等に利用できる。また、NH₃として反応①で再利用もできる。

副生成物は全て回収再利用でき、塩化水素や硫化カルシウムのような汚染物質を出すこともない。「予防」の観点から見てもうまく計画された例といえよう。材料も安価で経済性にも優れている。GSCの視点で見ると、2つの方法の優劣が歴然としている。

学習履歴シート

年 組 番 ()

発展考察 の 解答欄

あなたが良いと思う方法は？

その理由は？



資料プリント のまとめ欄

最も大切だと思った内容を要約してください。



(再度) 発展考察 の 解答欄

あなたが良いと思う方法は？

その理由は？

今回の実験・発展・資料の学習を通して、あなたはどのように思いますか。

Ⅲ. 実験教材の実践と評価

- 1 グリーンケミストリーの考えを取り入れた教材作成とその実践
(高野裕恵) 138
第6回近畿地区化学教育研究発表会(日本化学会近畿支部主催)要旨

- 2 電気教材の高校での実践 (高野裕恵) 140
- 2-2 教材、学習履歴シート 144

- 3 校種による電気教材の実践結果の比較 (高野裕恵) 156

1. グリーンケミストリーの考えを取り入れた教材作成とその実践

○高野 裕恵^{たかの ひろえ} 重籙 英一^{しげとう えいいち} 松原 静郎^{まつばら しずお}
四天王寺高等学校中学校 門真市立第二中学校 国立教育政策研究所

1 はじめに

Green Chemistry : Theory and Practice (P. T. Anastas, J. C. Warner 著, 渡辺正, 北島昌夫訳, 1999) の序文には、「化学者は反応をくふうして、望みの性質をもつ物質をつくる。作った物質はやがて使われ、寿命がきたら壊れていく。物質の合成から使用を経て破壊にいたる、その総体が周囲にどんな影響を及ぼすのか—そこまで考えて物質も合成反応もデザインしようというのがグリーンケミストリーの立場だ。化学者にはそれができる。」とある。

このグリーンケミストリーとは、汚染が発生してから汚染物質を処理をするのではなく、汚染物質を最初から作らない方法での物質の合成や設計をする化学を意味し、地球の未来を考えた化学のことで、現在世界中で注目され始めている。化学物質に関して、あまりよいイメージを持たない中学生や高校生にとっても、グリーンケミストリーの考え方は画期的であり、理解しやすく共感しやすい。そこで、化学者の環境への影響に配慮した科学技術（汚染物質を元から取り除く；グリーンケミストリー）を示し、種々の科学技術が本当に有用なものかどうかを正しく判断できるような考え方を生徒に与えていくことが、環境教育を土台にしたこれからの理科教育（化学教育）と考えられる。

今回、「電気」に関する教材をそのような視点で作成してみた。また、学習シートを用いて授業内容の整理をすることで、生徒の考察する能力を発展させることも試みた。

2 教材の作成

中学校理科1分野の最後にある「科学技術と人間」の章には、選択項目として「科学技術と人間」がある。また、高等学校においても、理科基礎には「科学の課題とこれからの人間生活」の章、理科総合Aには「科学技術の進歩と人間生活」の章があり、科学技術がどのように私たちの生活を豊かにしているか、またその科学技術が私たちの生活に与える負荷がどんなものかを生徒に考えさせるようになってきている。この分野で使用できるような教材を、グリーンケミストリーの考えを取り入れて作成してみた。

教材の作成にあたって、科学技術の恩恵とリスク、これからの科学、グリーンケミストリーの考えをどのように生徒に伝えていくか、その構成を考えてみた。

地球人口が増え技術が発展すると共に、いろいろな環境問題が起こってきた。

しかし、人間は何もしないで手をこまねいていたわけではなく、その都度、技術開発をしながら手を打ってきた。

これまでは問題が起こってから手を打っていたが、少しずつ、問題が起こる前に対策を考える流れに変化してきている。(グリーンケミストリー)

これからの、科学技術はどうあるとよいか、それを享受する側はどうするとよいかを、これらの流れから考える。

教材は、中学校理科1分野および、高等学校理科基礎、理科総合Aのいずれの分野、科目にも含まれている「エネルギー」および「電気」を中心に開発した。

その内容は、「(序章) 電気がわたしたちの生活にどのように影響を及ぼしているか」

「(第1、2章) 電気の需要が多くなるにつれて、電気量を拡大するためにどのように技術が発達してきたか」「(第3章) そのためにどんな環境負荷が出てきたのか、また、これらはどのように改善されてきたのか」「(第4章) 私たちはこれからの生活の中で電気についてどのように考えていけばよいか」から成り、中学生や高校生にとって読みやすい教材となるように、カットや図表をふんだんに取り入れて作成した。

3 授業実践

最近の中学生た高校生は文章を読まないと言われる。代わりに劇画やマンガを読んでいる姿はよく見かける。マンガによる教科内容の解説書も種々出版されており、マンガでは図全体と台詞とを瞬間的に把握することができるらしい。作成した教材を用いて高等学校2年生に授業

を試してみた。導入部のマンガ風カットが、高等学校2年生にとってはあわないのではないかと心配したが、生徒はすんなりと教材に取り組み、かなりのスピードで教材を読んだ上、内容についての判断をした。これを、一枚ポートフォリオ法に準じた学習シートで整理させた。

まず、「電気」についての文を三つ書かせた。これは、電気について意識づけをするとともに、学習した後、もう一度電気についての3文を書かせ、本教材の学習により知識内容も膨らみ、文章表現も豊かになることを生徒自身に理解させることも意図している。

次に、章毎に内容を簡単に説明し、生徒に教材を読ませまとめさせた。文章を読み内容を理解するのは早かったが、まとめる際文章を推敲していくのにかなり時間を要した。最後に、もう一度「電気」について3文を書かせ、さらに、授業内容についての感想、および、グリーンケミストリーの考え方に対する意見を尋ねた。

4 生徒の意識

学習前後での「電気」という語を用いた三つの文では、学習後の文章に若干ではあるが知識の膨らみが感じられた。次に生徒の文例を示す。

生徒A (学習前)

- ・部屋の電気を消す。 ・家中の電気をつける。 ・電気スタンドを買う。

(学習後)

- ・電気をつくるには、大きく分けたら方法は少ないが、そこから様々な方法が行われている。
- ・電気をつくるには、環境をとるか、量をとるか選択しなければならない。
- ・電気技術としては、新しい物は自然を利用したものが多く試行されている。

生徒B (学習前)

- ・日が暮れたので、電気をつけた。
- ・本を読むためにスタンドの電気をつけた。
- ・停電で電気が使えない。

(学習後)

- ・電気は現在、昔よりも使う量が多くなっている。
- ・電気は電磁誘導からでき、その方法を使ってたくさんの発電所が設置されている。
- ・電気をつくる発電方法はそれぞれ環境問題をもっていたり、利点・欠点を合わせて持っている。

感想では、NO_xやSO_xなどの大気汚染物質が排出されないような技術開発が行われてきたことについて知らなかった生徒も多く見られ次のように書いていた。

- ・日本がNO_xやSO_xの排出量が世界一少ないと聞いてちょっと嬉しかった。
- ・公害を防止するためにいろいろな技術を開発したというのを初めて聞いて、開発した人はすごいなあと思いました。
- ・脱硫装置など新しく知ったことが多かった。

また、グリーンケミストリーの考え方については、日頃から化学を苦手とし、授業中はほとんど関心を示さなかった生徒が次のような感想を書いていた。

- ・ただ、ひたすら環境を汚染しているのが現状の化学、ケミストリーだと思っていた。しかし、グリーンケミストリーを進めていることを知り、私達自身も真剣に考え、一人一人がいわゆるグリーンコンシューマーになる必要があると思った。

その他にも、次のような感想を書いた生徒もいた。

- ・グリーンケミストリーの考え方のように将来を見通し、地球に優しく人に優しい化学技術の開発は言うまでもなく大切であるし、人によってアプローチの仕方はさまざまであるけれどみんなが何らかの関心を持つべきだと思う。

5 まとめ

この教材作成の目的は、「グリーンケミストリーの考え方を知らせることと、教材を用いて論理的な判断・意思決定能力を育成する」ことにある。その意味では、前述の生徒の文からはグリーンケミストリーの考え方についてある程度理解してくれたと考えている。

しかし、全体の生徒の文章を見る限りにおいて、論理的な判断・意思決定を育成するためには、教材としてまだまだ開発の余地があるように思われる。また、学習シートについても現在改良中である。さらに、中学生や高校生にとってどの程度、教材の内容が理解でき、また、論理的な判断・意思決定能力に結びつくか、現在実践検討中であり、いろいろな学校において、実践を重ねながら、教材としてよりよいものに改良していきたいと考えている。

2. 電気教材の高校での実践

高野 裕恵

1. はじめに

昨年、主として中学校教材として作成した「電気（発電）」教材（本節末参照）を、公立J高校普通科1年生を対象に試行授業を行った。この教材は、「グリーン・ケミストリー（GSC）」の考え方を生徒に知らせるとともに、論理的な判断・意思決定能力を育てることを目的とする。中学校3年間の学習を終えて入学してきた高校1年生に試行授業をおこなうことで、中学校理科第1分野の最後の項目「科学技術と人間」の中での授業の可能性をも確認すると共に、論理的な判断や意思決定能力の育成が可能かどうかを試みた。

2. 調査の方法

- (1) 調査対象 公立J高校 普通科1年生 118名
- (2) 調査期間 平成16年10月13日（水）～27日（水）
- (3) 調査時間 理科総合Aの時間
- (4) 調査内容

第1校時	序章	「人間生活と電気」（仮題）
	第1章	「電気はどこから？」（仮題）
第2校時	第2章	「発電技術の発達」（仮題）
	第3章	「問題発生と解決」（仮題）
第3校時	第4章	「新しい発電技術（グリーンケミストリー）」（仮題）

これらの内容を、一枚ポートフォリオ評価法に基づく学習履歴シート（本節末参照）をもちいて整理させた。学習履歴シートは裏表に記入させ、三つ折りにして学習前後の比較が出来るようにした。ここで、各章のテーマを仮題にしているのは、学習後生徒に各自でテーマを考えさせたからである。

3. 生徒のようす

試行授業をおこなった学校は2期制で、ふだんは教科内容をかなりの進度で進めていく。そのためか、今回の実践は、生徒には多少とまどいが見られたが、2校時、3校時になると、生徒同士で議論をしたり、授業後にじっくりと自分なりの意見をまとめて後から学習履歴シートを提出する生徒もいた。

また、内容については、小学校からの「環境教育」と同じだとして感覚的に飽和状態にある生徒もいる一方、「グリーンケミストリー」という新しい考え方に共感をいだく生徒も多かった。グリーンケミストリーという考え方については、授業前は、グリーン＝緑、植物、森林、自然という連想をする生徒が多く見られたが、授業後には地球環境を考えた化学技術として理解できていた。

4 生徒の学習履歴シートより

「グリーンケミストリーって、何のことだと思いますか。」

試行授業前の文では、「自然」ということばに関連して書いている生徒が76名いた。自然以外には、植物、環境、地球という連想をしている。「グリーン=緑」から植物や自然を思い浮かべ、環境問題であることはここで感じている生徒が多い。

授業後は、

6-B：自然や私達の身の回り生活に大きく影響することを化学の面から見つめること

6-C：新しい物質を合成するとき、最初から地球環境に悪い物質が出てこないように工夫しておくこと。

6-E：地球に悪いことがあれば次の対応策を考えていって汚染物質を出さないようにして、地球にやさしくしようとする考え方。

6-H：地球を守るために開発するための化学技術

6-J：グリーンケミストリーとは、発電に際して発生する有害物質をなくし、太陽光や風力、地熱などのクリーンエネルギーを使って発電すること。

6-N：地球と人間が互いに害のない生活を送れるための発電

6-O：廃棄物を出さず、原料を無駄にせず、環境に害のあるものは排除し、省エネを心がけること。

6-P：地球を汚さずに発電しようとする考え方。

など、おおよそ GSC 教材として「生徒にグリーンケミストリーの考え方を知らせる」目的を達している。

「電気」ということばを使って文を3つ書いてください。(学習前)

あなたは、この学習で何を学びましたか。「電気」ということばを使って文を3つ書いてください。(学習後)

次に、ある生徒の学習前の3つの文を示す。

- ・電気エネルギーというものがある。
- ・電気を節約するべきである。
- ・電気は人を感電させる

この生徒が学習後には次の3文を書いている。

- ・希硫酸に亜鉛版と銅板を入れると電気が発生する。
- ・電気をつくるのには公害が発生することもある。
- ・電気は私達の生活に必要なだ。

文の長さとしては大差ないが、内容には学習したことが取り入れられている。ほとんどの生徒がこのように、文章の内容としてのふくらみが見られた。このことから、学習したことが生徒の知識となっていることが分かる。

学習前—学習中—学習後を振り返って、あなたはどう思いますか。

6-B：こういう大事なことはもっとみんなが興味をわいて真剣に取り組むような資料にすべきだ。(文字ばっかや)

6-D：昔からエネルギーをいかに簡単に生み出せるのか考えていて、その知恵が現代

の我々の便利な生活に結びついているが、自然や地球、人々に対してもより考えなければいけないと思った。

- 6-K : 中学でもこういう授業はよくあったので、あまり新しい発見はなかったが、改めて環境については真剣に考えなければと思った。
- 6-b : 説明が難しかったところもあったけど、何となくグリーンケミストリーのニュアンスみたいなのがわかった気がする。
- 6-J : 初めは何も知らなかったけど、だんだん意味も分かってきた！ 結構テレビとかでも騒がれていることを取り上げていたんだなと思った。
- 6-I : 中学で習った内容とほぼ同じだった。ただ「グリーンケミストリー」という言葉ははじめて聞いた。
- 7-I : 学習前は正直全く興味がなく、2章くらいまで見ればわかるようにやる気もなかったが、だんだんおもしろくなってきて、もっと知りたいと思ったところで終わってしまった。

内容については、難しかったとする生徒もいたが、小・中学校でも「環境教育」が盛んに行われ、知っていることと受け止めている生徒がほとんどである。しかし、「グリーンケミストリー」という考え方には新鮮味があり、共感した生徒が多い。それだけに、もう少し読みやすい教材が求められているように感じる。

学習前－学習後の2つを比較して、あなたの学習しての感想を書いてください。

- 6-A : 初めに想像していたグリーンケミストリーとは全く違っていたので、とても興味を持つことができた。グリーンケミストリーと言う言葉から内容を知ることは難しかったが、とても良い考え方だと思うし、人々にもおそらく認められるだろうと思う。その考え方が広まって実際に環境に良い発電法に変われば良いと思う。
- 6-B : だんだん、少しずつだけど「グリーンケミストリーってこんなもの？」みたいなのが読めていった感じがする。説明がわからなかった部分もあったが、何となくグリーンケミストリーの感覚がわかった気がする。
- 6-C : 学習してから電気＝ただ使うだけじゃないと思った。私達は何気なく電気を使っているけれど、それは昔の人々それから現在の専門家の人々の努力のおかげだなと思った。
- 6-l : 「電気」という語を使った文を比べると、学習後の方が勉強したという感じの文に書けていた。グリーンケミストリーという考え方は、学習前の予想とぜんぜん違った。
- 6-n : 開発ではなく、作り出されたものから発生する被害を最小限に押さえることがグリーンケミストリーの考え方だった。「電気」に関して考えていることは前と大して変わらないと思う。
- 6-q : 学習前は、電気をいつも身近にあり空気のようなものとして、あまり関心がありませんでした。しかし、学習後は電気を少し大切に思いました。火力発電は地球温暖化につながっていると知り、また、原子力発電は環境に悪いと知り、それならば自分達が使う電気を減らして水力発電や風力発電などで間に合わせたらと考えましたが、今までの生活に慣れている私たちには無理だろうと思いました。

7-c：やっぱり、化学は環境に影響を与えるものだと思う。悪影響を減らすには、科学技術の発達も大事だが、人々の心がけも大事だと思う。

7-n：「自然」っていうのはまあ当たってたけど、「環境を汚さないために・・・」ってのは、想像していたのと少し違ってた。電気の発電だけでもCO₂やらSO_xやらたくさん問題があるのに、電気だけじゃなくて、地球全体で見たら、地球は問題だらけだろうなと思った。やっぱり環境はだんぜんいいに決まってる。だからちょっとでもムダな電気を使わないようにしたい。

7-m：グリーンケミストリーについて正しい理解をすることが出来た。今、身近にある電気はたくさんの人々の努力によって進歩してきたが。進むにつれて問題が起こり、今現在はその問題を解決するために研究しているということを知った。私達も電気を大事に使っていかないといけないと思う

7-b：人が今まで何も考えずにどんどん環境を汚してしまったツケが今人々にふりかかっています。今、私たちがこれからどうしていくかを考えなければいけないときです。だからグリーンケミストリーの考え方はよいと思います。電気がなければ人は、特に先進国の人たちは生きていけなくなるような気がします。やっぱり私も普段から電気の大切さを考えて生活していかないとなあと思いました。

学習前後の自分の考えを比較することは、学習によって何を学んだかを客観的に見直すことができる。また、自分の成長を見ることにもつながる。その意味で、ほとんどの生徒が以前より電気についての見方が変わったことを述べている。また、電気を大量消費することは地球環境に負荷を与える加害者の立場になることも自覚し、自分たちに出来る小さなこと一省エネなどから始めようと考えた生徒も多かった。知り得た情報をもとに、自分が何をしなければならぬかを決定していることは、今回の教材作成の目的である意思決定能力の育成の可能性につながったと思われる。

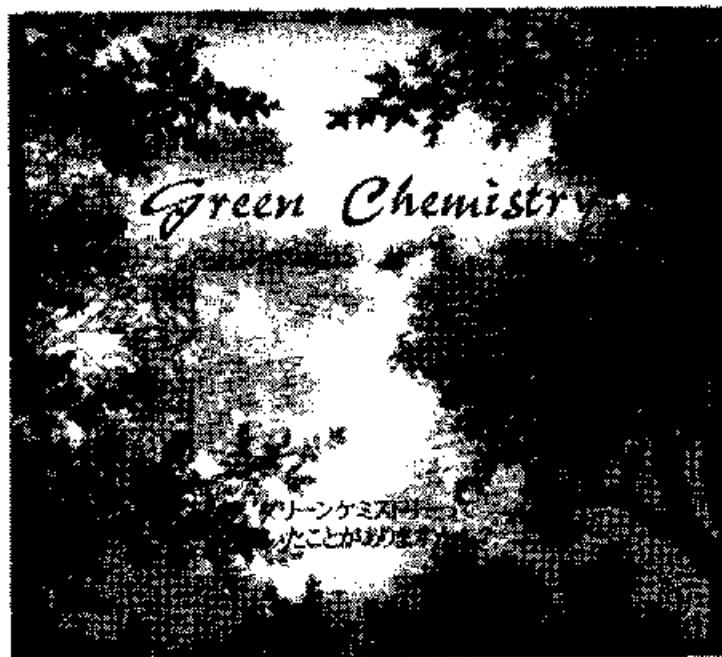
5 まとめ

論理的な判断・意思決定能力というのは、知り得た情報に対し、いたずらに騒いだり、むやみに信頼してしまったり、あるいはむやみに反発をしてしまうのではなく、冷静に情報を観察し、判断するところから生まれる。今回の試行授業では、与えられた情報を正面から受け止めている生徒が非常に多かった。授業の仕方で生徒の顔の向く方向が決まる。教師がどのように情報を生徒に与えていくかについては、GSC教材を実践する上で重要な要素になるとと思われる。

今回の試行授業では、

- ① 中学生に対しての授業実践の可能性を探る
- ② グリーンケミストリーの趣旨を知らせる
- ③ 論理的な判断・意思決定能力の育成をはかる

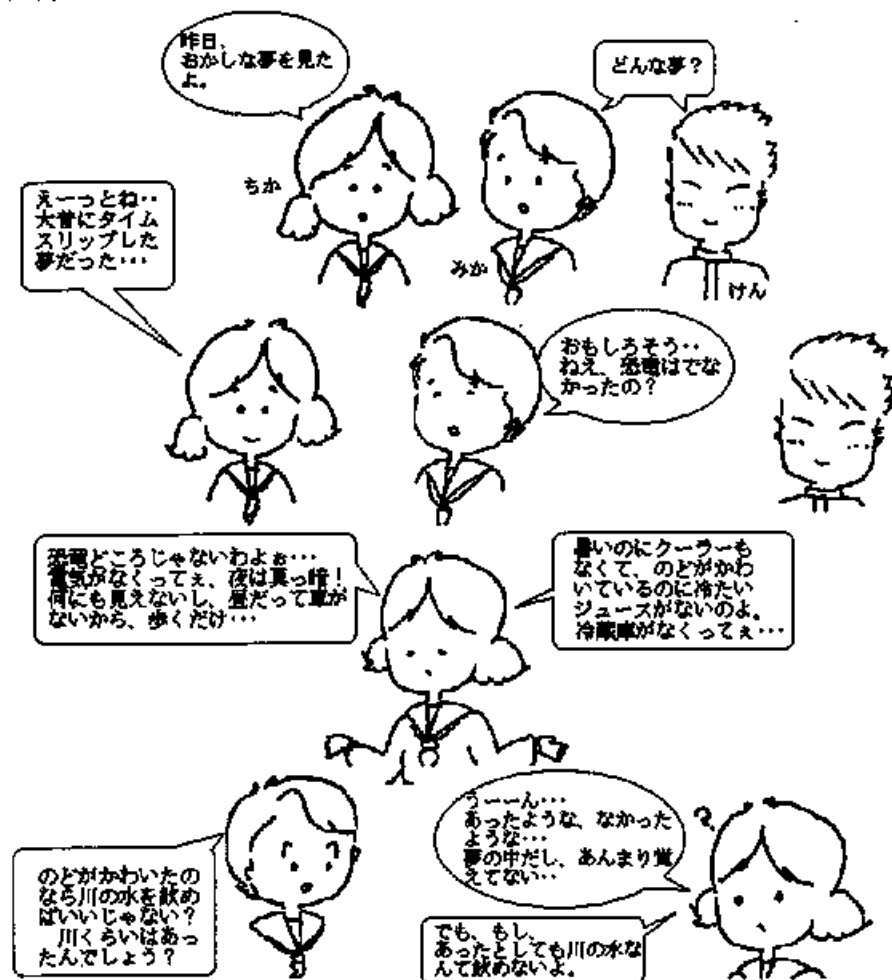
の3点を目的とした。このうち、②と③については、生徒の学習履歴シートを見る限りにおいて、おおよそ目的を達したと思われる。しかし、①に関して、絵をふんだんに入れ、生徒が取り組みやすいようにしたつもりであったが、高校1年生で「難しかった」と感想している生徒が多いことを考えれば、内容についてもっとわかりやすい説明と用語にするなど、さらに工夫・改良の必要性があると考えている。



グリーンケミストリーって聞いたことがありますか？
 日本語に訳すと、グリーンは緑、ケミストリーは化学を意味します。緑の化学？
 あなたはこのことばからどんなイメージをもちますか？

序章 電気とわたしたちの生活

ここに登場するのは、ちかちゃんとそのお友達のお友達3人組です。
 おや、なにかおしゃべりをしていますね。何の話をしているのかな・・・



テレビがないからニュースも聞けなくて～

え？ちかっと見よ

失礼ねっ！暑いのに、服の着替えもなかったのよ。

あら、服くらい、川で洗えばいいじゃない。

洗濯機が使えないじゃないよ～

手で洗いなさいよ！！

う～！いじわる～！！

でも、この前、NYで大停電があったじゃない？地下鉄が動かなくて、みんなが歩いてるところを新聞で見たわ。

それに、明かりがつかないから、みんな暗い中を歩いていったんではよ

家でもお店でも、冷凍庫の中の食べ物も腐ってしまったって

そうそう、番号が止まっているから、交通がむちゃくちゃで、人も家もすごく渋滞していたわよ

うん、確か懐中電灯も持っていたよね。

今の私たちから電気をとってしまうと、どんな生活になるんだろう…？

もし、あなたの家の電気が全部使えないとしたら、あなたの家ではどんな生活になるか想像してみてください。
明かりは…？ 室温調整は…？ 食品の保存は…？ 掃除は…？ 通信は…？

第1章
科学技術の発達は私たちにとって安全で快適な生活をもたらしています。でも…その生活はいったいいつまで続くのでしょうか…

実はね、わたし…電気がないと電話ができないなんて、全然知らなかったのよ。

電気ってのことだけじゃなかったのね。

St. Paul South

P.A. Drive

今、私たちは、さまざまな科学技術の発達のおかげで、快適な生活をしています。これらの科学技術はどのようにして発達してきたのでしょうか。

ねえ、みかば人間が他の動物と違うところって何だと思う？

うーん？…道具を使えること、考えることができることかな…？

電気に関する技術の発達の歴史

BC500 頃	タレス (ギリシア)	こはくによるまさつ電気について話したとされている最初の人物
1600	ウィリアム・ギバート (英)	地球が大きな磁石であることを発見
1752	フランクリン (米)	かみなりが電流であることを証明、避雷針の発明
1765	ワット (英)	実用的蒸気機関を発明
1785	クーロン (仏)	クーロンの法則 (磁気・電気の法則)
1791	ガバニ (伊)	知覚の実験による動物電気 of 考えを発表
1799	ボルタ (伊)	化学電池の発明
1820	アムペール (仏)	電磁石の発明
1820	アンペール (仏)	アンペールの法則
1820	シュヴァイツァー (独)	電流計の発明
1826	オーム (独)	オームの法則
1831	ファラデー (英)	誘導電流の発見
1833	ファラデー (英)	電気分解の法則
1834	ワット (英)	ワットの法則
1837	モールス (米)	有線電信機の発明
1840	ジュール (英)	ジュール熱の発見
1847	ヘンリー (独)	インダクタンス保存の法則
1836	ヒュンメル (独)	陰極線の直進性の発見
1880	エジソン (米)	電球の発明
1887	ルネリス (スウェーデン)	電解質の電離説
1911	カーニング (蘭)	超伝導の発見
1945	バイマン (独)	電子計算機の基礎理論の発表
1957	江崎玲於奈 (日)	トンネル効果の発明

タレス (ギリシア)
まさつ電気の見
こはくを磨くと羽毛を引きつける力が生じるのを見。




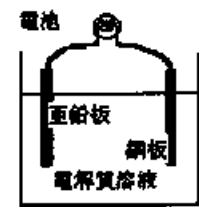
1752年 フランクリン (アメリカ)
かみなりの研究
たこをわけて、かみなりの正体が電気であることを証明。



1799年 ボルタ (イタリア)
電池の発明
亜鉛板と銅板を用いた電池を発明し、人工的に電流を得た。



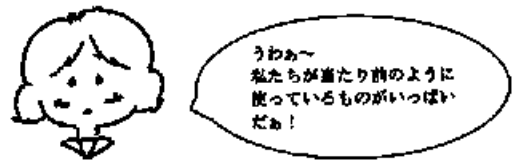
1831年 ファラデー (イギリス)
誘導電流の発見
コイルの中で電石を動かすと、電流が生ずることを発見した。これにより発電が可能になった。

電気のつくりかた電池；

電磁誘導；

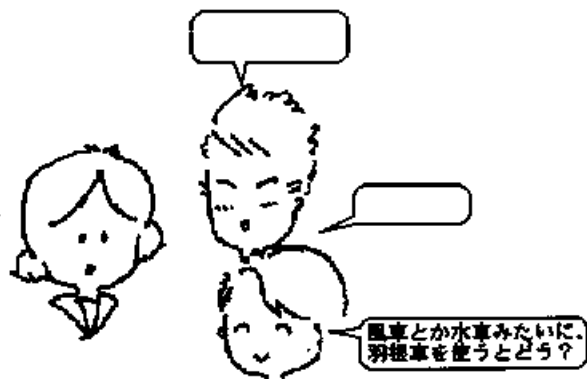
◆電気の話
1800年頃、電池により電気を持続して流すことができるようになったために、電流が流れると磁界ができることや、オームの法則・電磁誘導の現象などが次々と発見されました。
その頃のイギリスにおける科学研究の中心であったロイヤル・インスティテュションの地下室には、大量の電池を直列につないだ巨大電池が備えられていたそうです。
当時の電池は、科学の最先端を切り開くための重要な「ハイテク装置」だったようです。



第2章

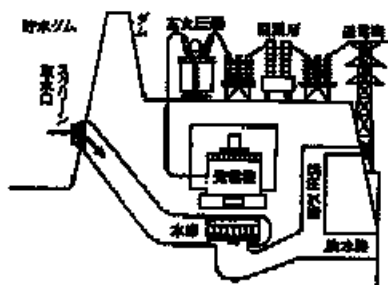
電磁誘導って、導線のそばで磁石を動かすの？

ねえ、磁石を動かすってどんな方法がある？



◆動力のお話 (その1)
物を動かしたり、回転させたりすることは、昔は人の力や家畜の力に頼っていました。水の力を利用する水車が考え出され、使われるようになったのは、紀元前1世紀から2世紀頃のことです。水車を使うことで、例えば男の人50人くらいの労力が簡単に得られるようになり、人々は物を回転させるだけの単純な作業からも解放されるようになりました。

水力発電のしくみ



水力発電のいいところってなんだろう・・・？

うーん・・・自然をそのまま使えることかな。



水力発電の特徴

- ・燃料が不要である。
- ・二酸化炭素、硫黄酸化物、窒素酸化物を排出しない。
- ・枯渇する心配がない。
- ・自然の水流を利用するので土砂が溜まり、それを取り除くのにコストがかかる。
- ・発電量が雨量など自然条件に左右される。
- ・自然環境を変化させ、生態系に影響を与えることもある。

日本では、以前は水力発電が中心だったんでしょ？

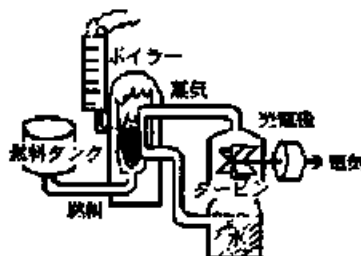


どうして火力発電に変わっていったのかな？

◆動力のお話 (その2)
4世紀、ローマ帝国が衰退し奴隷制が後退すると人による労働力が不足してきました。そして、この頃から水車の利用が増えてきました。しかし、干ばつや洪水によって、水車の運転がとまったり、水車が壊れたりすることがありました。また、水車が備えられるのは水が流れている場所に限られ、地理的な制約を受けました。同じ場所に水車をたくさん備えることができなくて、一定の動力しか得ることができないという限界も水車にはありました。それらを解消するために、大きなダムと貯水池をつくり、人工的な水の流れをつくるのが考え出されました。しかし、ダムを作ることは、その周囲の自然を変化させることにつながります。ダムを維持させるために、必要なコストもかかるようになりました。

◆動力のお話 (その3)
産業が発達し、人口も増えてくると、電気の需要も増えてきました。より大きな安定した動力を安く得るために、人々は次の方法を考えるようになってきたのです。18世紀頃に、蒸気機関が開発されると、誘導電流を作るための磁石（モーター）の回転に蒸気機関が使われるようになり、どんな場所でも発電できるようになりました。そのため、大量の電気を安定して供給できるようになりました。

火力発電のしくみ



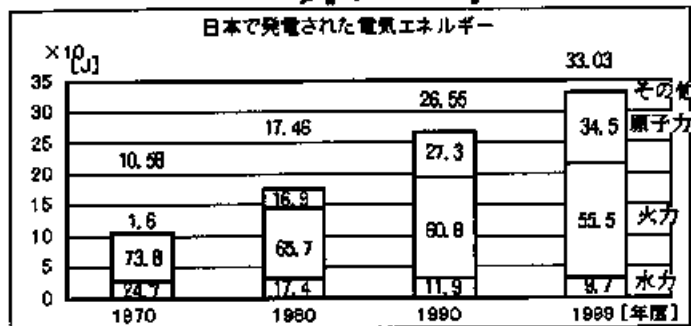
火力発電って、燃料を燃やしてその熱で蒸気をつくり、蒸気力で発電機の磁石を回転させて電気をつくるんだね。

火力発電の特徴

- ・発熱量が大きい。
- ・石油や液化天然ガスは液体なので扱いやすい。
- ・化石燃料の埋蔵量に限度がある。
- ・二酸化炭素が大量に発生する。
- ・大気汚染物質が発生する。

水力発電は
だんだん割合が
減っているね。

でも電力量としては
少し増えているよ。



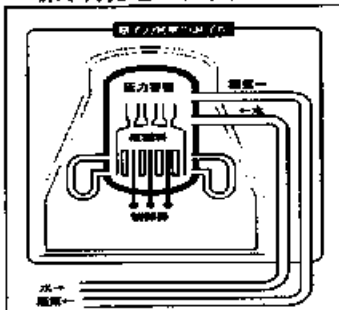
◆動力のお話 (その4) - 原子力発電 -

私たちの生活に電気が欠かせなくなった現在、水力・火力よりもっと大きな動力が必要になってきました。いままで学習したように、発電は電磁誘導の現象を利用します。コイルの中に磁石を置き、磁石を回転させることで磁界を変化させ電流を作ります。

磁石の回転には、水力や火力 (蒸気機関) を利用しています。

原子力発電は、この火力発電のボイラーの代わりに原子炉を置き、その中でウランやプルトニウムという原子の原子核を核分裂させ、その時に発生する熱で蒸気をつくります。

原子力発電のしくみ



原子力って
原子爆弾と
同じもの?



熱のエネルギー
をつくる方法と
してはね。

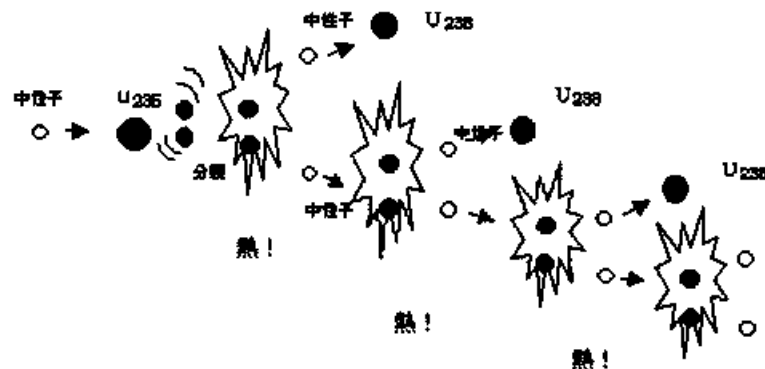


◆原子力のお話

1803年、イギリスのドルトンが、物質はこれ以上分割できない最小粒子でできていると発表、これを原子と名付けました。

ところが、分割できないはずの原子に、原子の構成素粒子である中性子をぶつけると、原子核の中が分裂し、ものすごく大きなエネルギーとともに、あらたに中性子が飛び出てきます。この中性子は、次の原子に衝突し、その原子の原子核も壊します。このようにして、次々と原子核が分裂していき、非常に大きな熱が発生するのです。原子爆弾は、この原子核の分裂が瞬のうちに次々と起こり、非常に大きなエネルギーがでることによって爆発するように高濃縮されています。これに対し原子力発電の場合は、濃縮の程度をうんと小さくして、あらたに飛び出てくる中性子を吸収する制御 (コントロール) 棒を取り付け、核分裂がゆっくりと起きるようにしています。しかし、この制御の調節はしにくく、一定の出力で運転を続けないと効率的でないので、現在では基本的に最低限必要な量の電力供給として使われています。

電気の需要は、一日でも昼と夜では大きく変わります。また季節によっても変化します。そのような調整は水力発電や火力発電で行われています。



◆原子力の開発のお話し

原子の存在は、古くギリシア時代から予言されていました。ドルトンが「原子説」を発表し、「原子は、これ以上分割できない最小の、物質をつくる基本粒子」と定義されてからも、原子についての研究が行われてきました。

原子には、プラスの電気をおびた陽子やマイナスの電気をおびた電子、そして電気をもたない中性子でできていること、原子の中心には陽子と中性子が集まった原子核があり、そのまわりに電子が存在することなどが、レントゲン、ベクレル、トムソン、キュリー、長岡半太郎、ラザフォード、チャドウィックという科学者達によって次々と明らかにされ、その中で放射線や放射能が発見されました。

初めて人類が原子力のエネルギーを利用したのは、残念なことに、第2次世界大戦における原子爆弾によってでした。現在では、エネルギーの分野と、放射線を利用した医療、工業などの分野での研究が進められています。



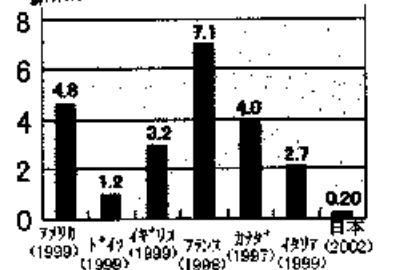
◆燃料の話
 物質が変化するときには、必ずエネルギーの出入りが起こります。燃焼は、物質が酸素と結合する変化で、光や熱のエネルギーを取り出すことができます。特にエタノールやガソリン・天然ガスなどの有機物は、燃焼させると少量でも大きなエネルギーが得られるので、燃料として広く利用されています。燃料を燃やして電気をつくる火力発電は、燃料の種類によって電気の供給量や価格の安定性が異なります。
 石炭は固形燃料で、採掘や輸送、貯蔵などに不便な点があります。しかし、世界各地に埋蔵されていて、埋蔵量も多いことから、政治的に安定したアメリカやカナダ、オーストラリアから安価に輸入することができます。
 石油は液体なので輸送しやすく、いろいろな用途に使え、さらに熱量が大きいという使いかたのよい燃料です。しかし、埋蔵量の多い西アジア（中東）地域は政治的に不安定で、価格や供給面でその影響を受けやすく、正確な埋蔵量も確認されていません。

◆化石燃料について
 石炭や石油は化石燃料と呼ばれています。その理由は、今から一億年以上前の時代に生息していた海中プランクトンなどの生物や植物などが地中に埋没し、それが長い年月の間に熱分解で石炭や石油、ガスに変化したからです。
 化石燃料の中でも、石油は液体で貯蔵や輸送に便利のため、大量に生産され、消費されて、現在の文明を支えています。

◆化石燃料の問題点
 化石燃料は、炭素や水素の元素が中心になって構成されている物質です。そしてその中にごくわずかですが、硫黄や窒素が含まれています。化石燃料を燃やせば、二酸化炭素や水が生成するとともに硫黄の酸化物（SO_x）や窒素の酸化物（NO_x）も生成されます。

◆硫黄酸化物や窒素酸化物への対策
 硫黄酸化物や窒素酸化物の発生は、発電所だけではなく化石燃料を使用する工業地帯を中心に公害問題になりました。
 そこで、日本では1967年に公害対策基本法ができ、国が中心になって公害を阻止する努力を始めました。まず、SO_xやNO_xを外に出さない方法や技術を開発しました。排煙脱硫装置という装置をつくり、できるだけ空気中にSO_xやNO_xが出ていかないように工夫をしました。また、原油を輸入するとき一番硫黄分の少ない原油を調達しました。そして、調達した原油を精製し、発電所で燃やす重油にする段階で、硫黄を取り除く技術を作りました。さらに、化学者や技術者が一緒に研究を重ねて、ボイラーの燃焼効率を良くなるようにし、石油の使用量を減らすことで硫黄分が出てくるのをできるだけ押さえました。
 その結果、火力発電所での発電電力量あたりのSO_xの排出量は、世界でも日本が一番少なくなっています。

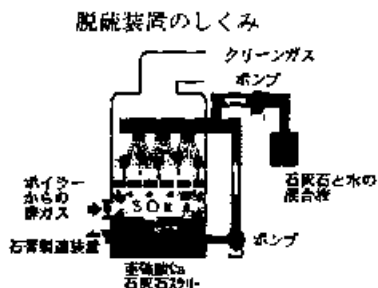
主要国火力発電所の発電電力量あたりのSO_x排出量 g/kWh



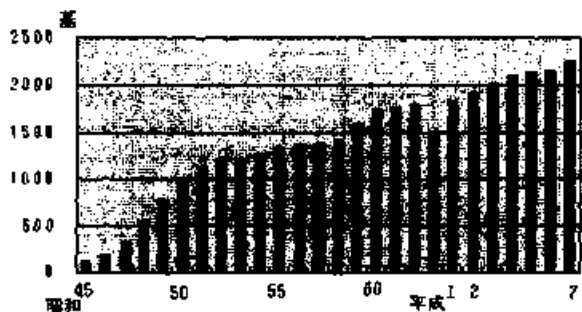
脱硫の方法
 発生源：金属精錬工場、石油コンビナート、火力発電所
 方法：水素を添加させて硫黄を取り除く（脱硫という）方法による低硫黄化。
 および排気ガスからの脱硫
 例 $\text{石油-S} + \text{H}_2 \rightarrow \text{石油} + \text{H}_2\text{S}$
 触媒と一緒に加熱した石油に水素ガスを送り込む
 ※触媒：物質が化学反応するのを手伝う物質のこと。
 $2\text{H}_2\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{S}$
 生成したH₂Sガスを少量の空気で燃焼する。

発生した硫黄化合物はアルカリで中和する。
 $SO_2 + Ca(OH)_2 \rightarrow CaSO_3 + H_2O$
 $2CaSO_3 + O_2 \rightarrow 2CaSO_4$ (ギブスの原料)

水酸化ナトリウム → 硫酸ナトリウム
 アンモニア → 硫酸アンモニウム (肥料)



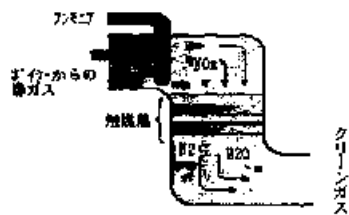
年度別 日本の排煙脱硫装置の設置状況



脱硝の方法

発生源：ボイラーの排ガス
 方法：ボイラー；アンモニア接触還元法
 反応例 $4NO + 4NH_3 + O_2 \rightarrow 4N_2 + 6H_2O$

脱硝装置のしくみ

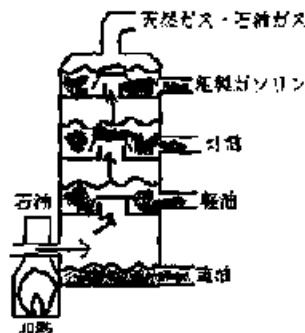


上の反応例で、アンモニアがなければ
 $2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$
 の反応が起こって、 NO_2 が生成する。

石油から硫黄や窒素を取り除くのは、私たちにわかる反応だよ。



油層から取り出したままの石油を原油といいます。原油はいろいろな炭化水素（炭素と水素だけからできている化合物）の混合物で、ねばりけのある黒褐色の液体です。原油を蒸留すると、沸点の低い炭化水素から先に気体となってでてきます。後の物質になるほど、沸点が高くなるので、いろいろな物質に分けることができます。



原油の主な成分は、炭素と水素でできた分子です。炭素原子の数が少ないほど軽い分子になります。軽い分子は、沸点が低く気体になりやすいので、低温の状態でもガス（気体）として発生します。炭素原子の数が多くなるとだんだん重くなって、沸点も高くなります。この沸点の違いを利用して、蒸留で石油の種類を分けることを分留といいます。

燃料の原料である石油から硫黄を取り除く技術が発達してくると、火力発電所では最初から硫黄の含まれていない原料を使用するようになりました。

◆LPGとLNG

石油とともに噴出するガスを天然ガスといいます。この天然ガスを常温で加圧し、液体にしたもの（主成分は、プロパンやブタン）を液化石油ガス（LPG）、天然ガスを精製して得たメタンを、マイナス162℃まで冷却・液化して得られたものを液化天然ガス（LNG）といいます。

気体のメタンを液化すると、気体のときより体積が約600分の1になり、また密度は原油の半分になります。そのため、輸送や貯蔵がたやすくなります。また、液化したものを常温に戻すと、再び気体として取り出せます。

さらに、液化したものを蒸留するわけですから、硫黄などの不純物は含まれていません。石油や石炭に比べて、環境に対してやさしい燃料です。

天然ガスは、確認埋蔵量が豊富で地域的な偏りも少ないので、安定して輸入できる燃料です。そのため、この液化天然ガスを燃料として使用する火力発電所が増えてきています。

これで、火力発電での問題点は解決だね。

実は、..もう一つ問題があるんだ。

それは、なにに？



◆地球温暖化の話

石炭や石油、天然ガスはすべて化石燃料です。この化石燃料によって起こる問題は硫酸化合物や窒素化合物だけではありません。

化石燃料を燃やすと、二酸化炭素が発生します。二酸化炭素には、太陽から地球に届いたエネルギーを取り込んで、地球を保温するはたらきがあるのです。

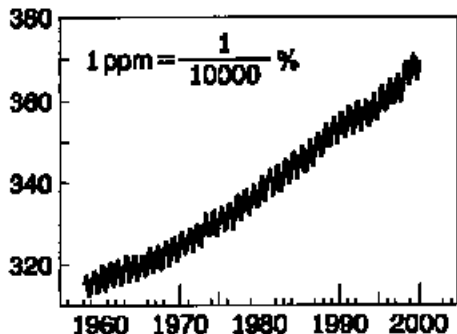
地球表面部の気温は、地球が太陽から受け取る放射エネルギーと、受け取ったエネルギーの大気圏と地表とのやりとりと、宇宙空間への放射エネルギーのバランスによってほぼ決まります。太陽からの放射エネルギーは、そのおよそ半分が地表に吸収されます。

そして、吸収されたエネルギーの大部分は、地表から赤外線放射によって大気中に放出されるのです。この放射エネルギーを吸収し、地表に再放出することにより地表の温度をほぼ現在の気温に保っているのが、大気中に存在する二酸化炭素やメタンなど温室効果ガスと呼ばれる気体です。この温室効果ガスが放出する熱エネルギーによって地表が温められる効果を温室効果と呼びます。

温室効果のしくみ



大気中の二酸化炭素の濃度 (ppm)



へえ・・・！
二酸化炭素にはそんなはたらきがあったんだ・・・！

地球温暖化によって気温が上昇した場合懸念される影響

- ・地球規模の洪水パターンの変化やそれによる乾燥化、湿潤化などの気候変動
- ・氷河の融解や海水温度の上昇による海面の上昇と、それによる沿岸地域の都市・田畑への浸水
- ・生態系の変化や穀倉地帯の干ばつ

じやあ、二酸化炭素を出さないためには、石油や石炭を使わなければいいね。



うーん・・・そんなこと、できる？



電力がまだまだ必要になるのに、石油や石炭以外に簡単に電気エネルギーになるものって何かある？

◆CO2を減らす努力

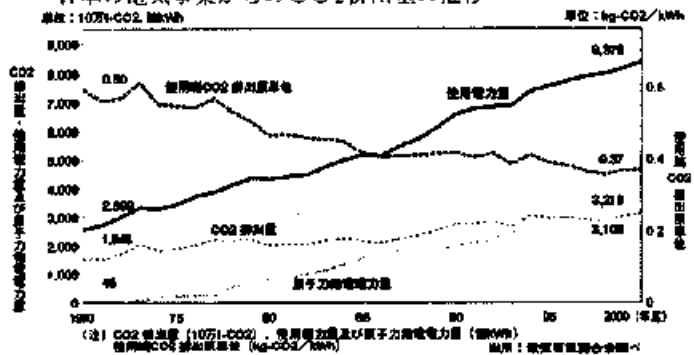
今、地球温暖化を防止するために、発電所ではCO2の量を減らす努力をしています。また、CO2の分離・回収のための技術開発もされてきました。

現在使われているCO2の回収技術には、

- ①アルカリ性の吸収液によってCO2を吸収させる方法
- ②気体を吸着できる物質にCO2を吸着させる方法
- ③高分子膜を使って気体が膜を通過するときの速度の違いを利用してCO2を分離する方法

があります。回収したCO2は水素と反応させて炭素に反し（固定）、有効利用するなど、いろいろな方法が考えられています。

日本の電気事業からのCO2排出量の推移



だから、使われる量の変化に対応した電源の組み合わせをしたり・・・



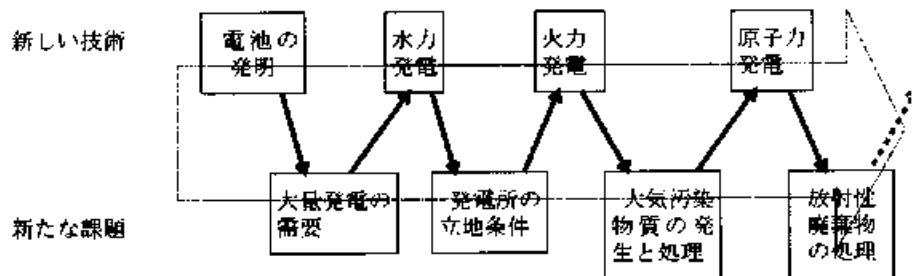
つくった電気を無駄にしない努力をして、CO2が出るのを少なくしているよ。

◆二酸化炭素を出さない努力

炭素原子の数の少ない天然ガスは、二酸化炭素の排出量も石油や石炭に比べて少なくすみます。このように最近では、環境を汚染するような物質をできるだけ出さない方法を最初から選んで使うようになってきています。

また、原子力発電は、化石燃料と違って硫黄酸化物や窒素酸化物を出さないし、二酸化炭素も発生しないので、この点ではクリーンなエネルギー源として注目されてきました。しかし、発電で使用された後の使用済み燃料が放射性廃棄物になり、その処分方法について安全性がまだ確定されていないなどの問題点が残っています。

電気の需要が増えるに従って、安定した電気の供給を保つために、水力発電から火力発電や原子力発電と、電気をつくる技術は発達してきました。そのことによっておこる問題もその都度、研究者達によって解決のための努力がされてきました。



火力発電は、燃料（原料）を燃やすことにより電気をつくります。現在では、この「燃やす」以外で、電気をつくる方法がいろいろと考えられています。物質を燃やさなければ二酸化炭素が出ないからです。

今、化学ではとっても新しい考え方が生まれているんだよ。

新しい物質を合成するとき、最初から、地球環境に悪い物質が出てこないように工夫しておくんだって。



これをね、グリーンケミストリーって言うてね、考え方が少しずつ広まっているんだ。

じゃあ、電気の場合もグリーンケミストリーの考え方が取り入れられているんだね。きつと...



◆これからのエネルギーの話

電気は、私たちの生活に便利さと潤いを与えてくれました。現在の私たちの生活には電気はかかせないものとなっています。電気の需要が伸びるに従い、水力発電から火力発電、原子力発電へと発電量を大きくするための開発に多くの人々が関わって行われてきました。一方、問題点も起こってきました。化石燃料を燃やすためにおこる大気汚染の問題や地球温暖化問題、原子力発電による放射性廃棄物の処理問題、それらを解決するためにさらにいろいろな技術が研究され、開発されています。

さらに、最初から問題となりそうな物質を出さないような技術や方法が重要と考えて新しい技術を開発したり、発電する方法を模索したりし始めています。

これからの私たちは、どのようにすれば私たちに必要なエネルギーを効率よく使えるかを考えていく必要があります。

発電の仕組みを理解し、私たちに何ができるかを一緒に考えてみましょう。

主な廃棄物と副産品の再資源化量の推移

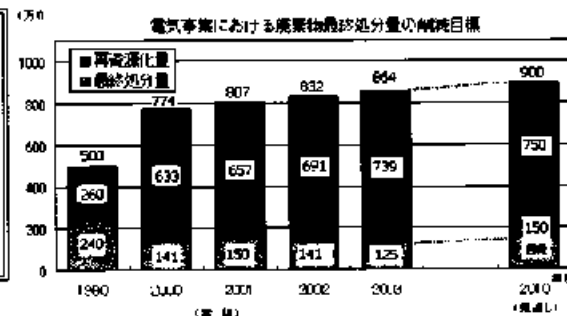
主な廃棄物と副産品の再資源化量等の推移

(万t)

種別	品名	1990年度	2001年度	2002年度	2003年度
固	国産紙	発生量 347	592	605	640
	ばいじん(石炭灰)	再資源化量 137	445	474	526
	(再資源化率)	(39%)	(77%)	(78%)	(82%)
液	がれき類(建設副産物)	発生量 40	39	33	30
	再資源化量	21	34	31	29
	(再資源化率)	(53%)	(87%)	(94%)	(96%)
粉	合衆くず	発生量 14	15	17	18
	再資源化量	13	14	16	15
	(再資源化率)	(93%)	(94%)	(95%)	(94%)
副産品	焦炭石炭	発生量 95	153	180	161
	再資源化量	95	153	180	161
	(再資源化率)	(100%)	(100%)	(100%)	(100%)

発電所での廃棄物最終処分量の削減目標

電気事業における廃棄物最終処分量の削減目標



都市ガス（メタン）を用いて発電して、その時に発生する廃熱を冷暖房や給湯に利用する天然ガスコージェネレーションという方法も開発されています。一つのエネルギー資源から複数のエネルギーをとり出すシステムのことをコージェネレーションシステムといいます。

廃熱が廃熱にならなくなってエネルギー効率が電気の2倍になったりするの！

燃料を燃やさないで起こす発電

風力発電



太陽光発電



地熱発電



六甲山 地熱発電所(大分県)

◆新しい発電の話

石油や石炭、天然ガスなどの化石燃料は埋蔵量に限りがあるので、新しいエネルギー資源による発電方法がいろいろなところで研究され、開発されています。

例えば風の力を利用して発電機に連結されたプロペラを回して発電する風力発電は、風さえあれば夜でも発電ができます。ただし、プロペラの騒音があることと設置場所が限られるという難点があります。

地下にあるマグマによって加熱された熱水から高温の蒸気を取り出しタービンを回す地熱発電は、発電コストが安い利点があります。でも、利用に適した地域が限られています。

このように、どの発電も人口密集地に適地が非常に少ないのが難点です。

また、シリコンなどの半導体を用いた太陽電池で光を直接電気に変える太陽光発電が実用化され、最近のちょっとしたブームです。しかし、天候に左右され、夜間は発電ができません。価格もまだ高いので問題です。

一つ一つの方法には利点も欠点もあります。そこで、これらの発電方法を上手く組み合わせることを考えて、地球環境問題の解決方法の一つにつなげようとしています。

◆これからの社会に向けて

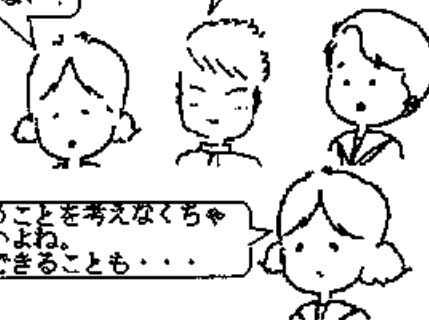
私たちが、いま直面している地球環境問題に対して、世界中の人々が力を合わせて、社会の仕組みや生活を考え直し、科学技術を有効に利用していく時代になっています。

つまり、地球環境の維持を考えた科学や科学技術ということです。国が地球環境に対してたてる対策と、化学者や技術者がおこなう開発に対して、科学者や技術者とともにその善し悪しを判断していくのはあなた自身です。

これからは、廃棄物を出さないようにする！
原料も無駄にしない！

地球を汚しそうなものは使わないようにしましょう！

省エネを心がけるよ！
リサイクルもね。



私達も、グリーンケミストリーの考え方で、私達の生活をもう一度見直してみようか...

◆終わりに

ここでは、電気を通して、皆さんの中学校で学習する範囲の中で、地球環境について考えてきました。しかし、電気以外の科学技術（例えば、交通、通信、衣類、食品など）についても、いろいろな対策がとられています。

それらについて、自分で調べてみてください。それがどんな視点で、あなたたちにとって、そして、これからの地球環境にとって、有用なものとしようとしているか、また、どんな問題が残っているかを考えてみてください。

また、いまの地球環境を維持するために、あなたたちにできることも考えてみてください。そして20年後の地球がどんなふうになっているのかを想像してみてください。

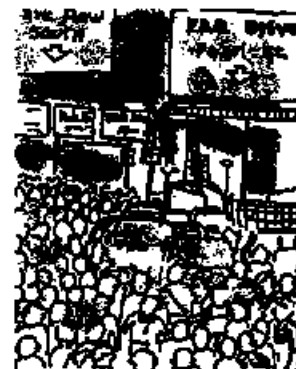
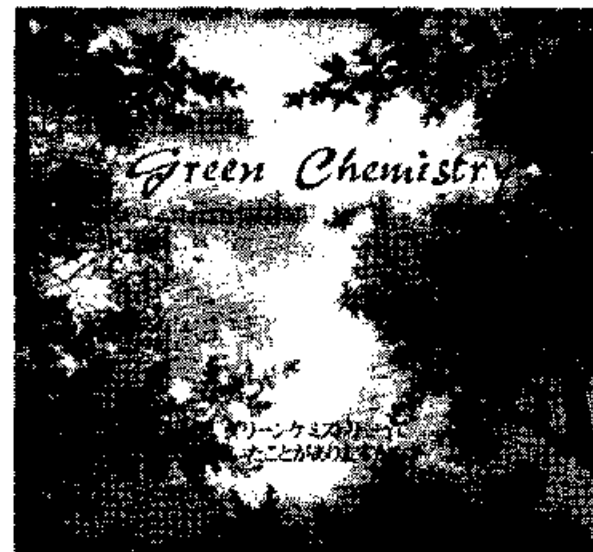
[学習後]

グリーンケミストリーって、何のことだと思いますか。

あなたは、この学習で何を学びましたか？
「電気」という語を使って文を3つ書いてください。

あなたの学習しての感想を書いてください。

グリーンケミストリーの考え方をを使うと、あなたの
生活の何がどう変わると思いますか。
具体的に書きなさい。



年 組 番
氏名

【学習前】

このシートは、あなたがこの学習によってどれだけ成長していくか自分で知るためのものです。あなたが思っているとおりに書いて下さい。

グリーンケミストリーって、何のことだと思いますか。

「電気」という語を使って文を3つ書いてください。

上記【学習前】 - 【学習後】(右側)の2つを比較して、

1章

今日、学習した中で、一番大事だと思うこと(タイトル)を上記入しなさい。また、その内容を下にまとめなさい。

2章

今日、学習した中で、一番大事だと思うこと(タイトル)を上記入しなさい。また、その内容を下にまとめなさい。

4章

今日、学習した中で、一番大事だと思うこと(タイトル)を上記入しなさい。また、その内容を下にまとめなさい。

3章

今日、学習した中で、一番大事だと思うこと(タイトル)を上記入しなさい。また、その内容を下にまとめなさい。

学習前-学習中-学習後をふり返って、あなたは どう 思いますか。自由に書いてください。

3. 校種による電気教材の実践結果の比較

高野 裕恵

1 はじめに

昨年、作成した「電気（発電）」教材の目的は、「グリーンケミストリー」の考え方を中学生や高校生に普及することと、本教材を用いて化学技術に対する判断、意思決定の能力を育成することであった。内容としては、中学校理科第1分野の最後の章「化学技術と人間」で取り扱えるようにしたが、高校における理科基礎あるいは理科総合の時間や、文系大学の環境授業の中でも、取り扱うことが可能であり、中学校および、高校、大学においてそれぞれ実践を試みた。この実践を通して、グリーンケミストリーの考え方への理解、および意思決定能力について、中、高、大の校種間でどのような差異が認められるかを比較検討をしてみた。

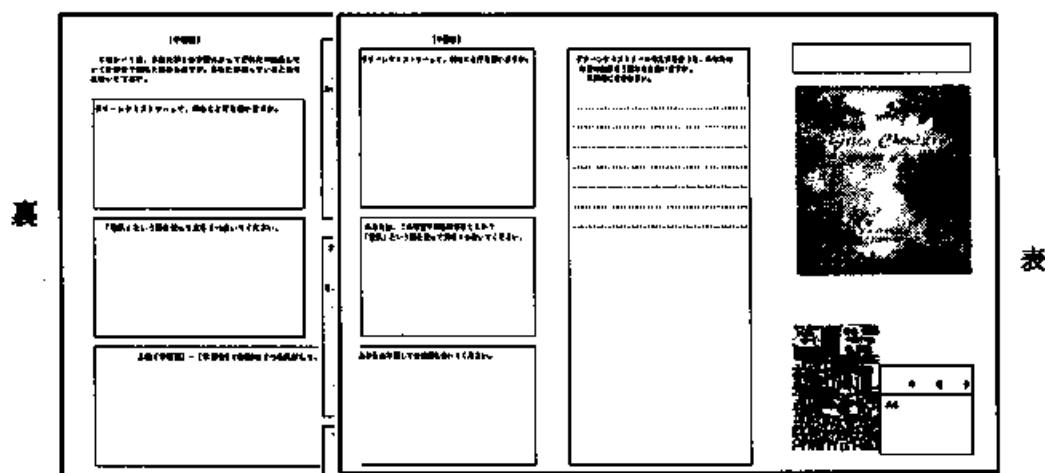
2 授業実践について

「電気」教材を用いて、授業を行った学校・生徒は次の通りである。

(1) 公立G中学校3年生	132名	(2004年9月実施)
(2) 公立F高等学校環境コース3年生	29名	(2004年12月実施)
(3) 公立J高等学校普通科1年生	118名	(2004年10月実施)
(4) 私立K高等学校普通科英数Iコース2年生	45名	(2004年5月実施)
(5) 私立L大学経営経済学部環境デザインコース	63名	(2004年11月実施)

3 学習履歴シートに見る生徒の認識の変化

作成教材の授業時間数を3～4時間として、それぞれの授業の整理をさせるために、一枚ポートフォリオ形式の学習履歴シートを作成した。学習履歴シートには裏表への書き込みができるようにし、三つ折りにすることで学習前後の可視的な比較を可能にした。また、学習履歴シートでの発問は、「グリーンケミストリーとは何のことだと思いますか（学習前後）」『「電気」ということばを用いて3つの文を作りなさい（学習前後）」「学習前後の記録を比較して感想を書きなさい」「授業の内容を整理しなさい」「授業を通しての感想を書きなさい」「グリーンケミストリーの考え方をを用いると、生活がどのように変化しますか」とし、内容の整理と同時に学習前後の生徒の知識や判断の変化をみるようにした。



4 それぞれの発問に対する比較・検討

「グリーンケミストリーとは何のことだと思いますか」(学習前後)

G 中学校と K 高校ではこの項目について尋ねていない。F 高校、J 高校、L 大学で学習前後の文を見ると、どの学校も学習前は「自然や環境に関わる化学」と考え、学習後には「最初から有害物質を出さないようにする化学」と、グリーンケミストリーの意味を的確に把握している。このことから高校や大学においては、本教材により「グリーンケミストリー」の考え方を理解させることができると考えられる。

ここで比較の出来なかった G 中学校には、第 4 章で次のまとめをしている生徒が 3 名いた。

G 中学校

- 1-3 「大気汚染の問題や地球温暖化の問題、原子力発電による放射性廃棄物の処理問題、解決するためにいろいろな技術が研究され、開発されている。最初から問題となる物質を出さないような技術や方法が考えられている。化石燃料は埋蔵量に限りがあるから、新しいエネルギー資源による発電方法が研究され開発されている。」
- 2-3 「最初から問題になりそうな物質を出さないような技術を開発したり、模索したりしている。」
- 3-W 「できるだけ有害物質を発生させない発電方法や自然を利用した発電方法を考えることが大切。」

K 高校では、電気についての記述にとどまり、一般的なグリーンケミストリーの考え方については述べられていない。

学習前後において、「グリーンケミストリーとは何のことか」を書かせることは、「電気(発電)の技術」という具体例から広義の「グリーンケミストリー」の考え方に広げることができる。それはどの校種にでも可能であると考えられる。これについては、さらに他の中学校においての実践で確認していきたい。

『電気』についての 3 つの文を書きなさい。(学習前後)

G 中学校

学習前には「主語—述語」のみの単純な文が多かったのに対し、学習後は「主語—目的語—述語」となり、若干文章が長くなる生徒が多かったという違いが見られた。

1-M (学習前)「・電気は必要な物。 ・電気が火事の原因などになるから、危ない。 ・電気はなぜ、かん電するのか？」

(学習後)「・電気は今の人間にとって、生活の中心になっている。 ・電気を発電するのに、とても大変。 ・電気はいろいろ使い方がある。」

1-N (学習前)「・火力発電などで、どうして電気が生まれるのか。 ・どうして毛糸などをこすり合わせると静電気が生まれるのか？ ・電気で火がおこせるのなら、火で電気はおこせないのか。」

(学習後)「・電気を作るのに二酸化炭素をととても、出している。 ・電気を作るのに、多くの自然の物が要だ。 ・電気は生活に必要な物だ。」

2-B (学習前)「・電気を消す。 ・電気を使う。 ・電気でものをうごかす。」

(学習後)「・電気を作ると変なガスとかが出る。 ・電気を作るとき、クリーンなエネルギーにするのは、難しいことだった。 ・電気は人が便利ないように作られただけだった。」

F 高校

文の長さには大きな変化は見られなかった。しかし、学習後の文に学習内容をわずかでも記述している生徒は多かった。なお、F 高校は大学・短大進学率が3割程度の学校であり、G 中学校と比べて、学習後の文が短くなっている生徒の割合も多い。それでも、記述内容には学習したことが含まれており、学習により理解が深まったことが確認できる。

H-2 (学習前)「・電気を近づいてみると目が痛い。 ・電気は元気!!! ・電気はあつい。」

(学習後)「・光を直接電気に変える。 ・燃料を燃やして電気をつくる。 ・電気を大切ににする。」

H-3 (学習前)「・電気を使って灯りをつける。 ・発電所から電気を送る。 ・電池から電気を流す。」

(学習後)「・電気を電球に流して明かりをつける。 ・発電所から電気を送ってもらう。 ・太陽電池で熱を電気に変えて発電する。」

J 高校、K 高校は生徒全員が大学・短大に進学する学校である。学習前後の文を比較すると、どちらも学習後は学習内容を含んで文が長くなっているものが多い。また、学習後においても学習と全く関係のない文を書いている生徒もいた。

L 大学の対象学生は文系であり、高校時代には化学を履修してこなかった学生がほとんどであるが、本教材の学習後には明らかに学習内容を含んだ文章を作成していた。環境科学の講義を選択受講しているので、環境には関心がある学生と考えられる。そのような背景が、学習後の文に現れていると思われる。

学習について生徒の感想

各章の内容を要約した直後の「学習前・中・後の感想」では、どの校種も学習前は電気は身近にあり当たり前感じていたが、学習後は電気と環境についてももう少し考えてみたい（大切にしたい）と思ったという内容の感想を書いている生徒が多い。

しかし、全体を通した学習前・後の感想では、電気に関わらず、教材についての感想や環境、資源、エネルギー全般についてふれている生徒が多く見られ、電気教材をつかった学習からいろいろなことを考えるきっかけになったと思われる。一方で、「グリーンケミストリー」の考え方

を理解し、具体的に意見を書いている生徒はやはり中学より高校や大学に多く、校種の差が見受けられた。

G 中学校 1-V

(前) 電気などあまり意識していなかった。

(中) なるほどと思えてきた。

(後) 何とかして、地球を守るための発電方法を考え出してほしい。

G 中学校 2-1

学習する前は電気のことには気にしていなかったけど、学習していくうちに、環境問題が起こっているのも知らなくて、学習後は、電気は大事だなあと思った。

F 高校 H-2

学習前はグリーンケミストリーって何のことが分かればよかったけど、学習中だんだんわかってきて学習後これからの生活のことや、電気のこともっと大切にしたいです。

F 高校 H-26

学習前は全然電気のこと考えていなかったけど、この勉強して自分に少しでも出来ることがあればしようと思った。グリーンケミストリーのことをいつも頭の中に入れておくようにする。！！

J 高校 6-D

昔からエネルギーをいかに簡単に生み出せるのか考えていて、その知恵が現代の我々の便利な生活に結びついているが、自然や地球、人々に対してもより考えなければいけないと思った。

J 高校 6-o

生活を営んでいく上で絶対に必要な電気をつくるのに人間は色々な手段を考えたが、どれにも何らかの欠点が存在する。安心して使えるエネルギーを探すのに人間は永遠にたちごっこを続けるのかも知れない。

K 高校 A

電気は私たちの生活を豊かなものにしてくれるが、発電方法によっては、私たちの命を脅かすものもあるんだと思った。

K 高校 N

学習前は電気は当たり前にあるものと思っていたけれど、学習後は電気をつくるために環境を汚染し、また資源にも限りがあることを知って大切に使うべきだと分かりました。

L 大学 R-06

前；身近なことだけだと思っていた。

中；燃料の話が出てくるとは思わなかった。

後；最初に予想していたグリーンケミストリーとは違った。

L 大学 R-26

あんまり普段電気のことを考えたりしないけれど、いかに人体そして環境に優しいエネルギーが開発されているかということについて詳しく知ることができてよかったです。

L 大学 R-63

当たり前だが、当たり前とっていてはいけない。

5 学習全体を通じた校種間の差

生徒にとって、「グリーンケミストリー」という語はイメージを持ちやすい。「グリーン」と

いう語句がいろいろなところで環境に関わる語として用いられているからと思われるが、「化学」や「科学技術」と結びつくところに、今までの感覚とは違うものを生徒が持つようである。生徒にとって小・中・高等学校で受けてきた環境教育は、環境が悪くなる原因やその処理が中心であった。グリーンケミストリーでは、いろいろな工程で最初から環境への影響を考えに入れている。その意味でも、生徒にとっては目を見張るものがある。

全体の感想では、中学生は「電流・電力」「電池・電気分解」など「電気」に関する理科1分野でのイメージがあるせいか、内容について難しいと最初から拒否反応を示す生徒も見られた。これについては、語句をやさしくする、丁寧な説明、わかりやすい図を加えるなどもう少し教材に工夫をすることで改良できるのではと考えている。学習全体を通じて、中学生は中学生なりに自分たちが何を考えなければいけないかを真剣に考えたようで、それだけに「疲れた」という感想も多かった。高校や大学では中学校での学習の延長線上としてではなく、改めて電気について考えたという生徒が多く見られた。高校では公立のコース間（普通科と環境コース）、公立と私立の違い、学年の違いなどが感想文の中に現れているようである。また、環境デザインコースをとっている大学生は、「地球環境」に対する考えが確立しているように感じられた。

G 中学校

- 4-B ・内容が難しくて分かりにくかった。
- 4-C ・これから、生きていく上で、電気の学習をできて良かったと思う。
・このプリントは、悪いこととかもちゃんと書いててよくわかった。
- 4-L ・私たちは今まで、電気の事を全く知らなかったけど、電気はとても大切なものだと思います。私たちは、電気にたよりすぎる生活だけしないで、使わないときは消そうと心がけようと思いました。

F 高校

- H-2 ・このプリントは少しむつかしかったけど、いろいろな話があって読んでておもしろい話もいくつかあった。
- H-3 ・グリーンケミストリーは自然を守ることだと思ったけど、自然を守るために地球環境に悪い物質を出さないための取り組みだと分かった。
- H-4 ・学習後に書いた文1つをのぞいて学習前より進歩している。電気は何かと分かっていても学習すれば奥が深いことがあると分かっていくことを知る。

J 高校

- 7-A ・グリーンケミストリーの考え方を多くの方がもって欲しいです。そうすれば地球環境が改善されるかもしれない。
- 7-C ・やっぱり、化学は環境に影響を与えるものだと思う。悪影響を減らすには、科学技術の発達も大事だが、人々の心がけも大事だと思う。

K 高校

- n ・発電のしくみを知って、発電によって温暖化などの問題が生じる。私たちの生活を便利にするために地球の命を削っているんだと思った。エネルギーを無駄に使わないようにしていくのが大切だと思いました。
- m ・意外にも知らなかったことが多くて驚いた。大人になってからでも学ぶ必要がある分野だと思った。
- l ・「グリーンケミストリー」は初めて聞いたコトバでしたが、自分にも深く関係がある

のでよく考えなければならぬと思いました。

L 大学

- R-61 ・学習前はグリーンケミストリーという言葉のみから考えていることがはっきりしている。スイッチを押すだけで当たり前のように流れる電気は私たちの生活に潤いを与えることと引き替えに地球環境を狂わせてしまった。これからは科学技術と私たちの生活の見直しが重要だと思う。
- R-60 ・電気という自分にとってあって当たり前のもと思っていたのが、こんなにつくるのにいろいろな人の努力があったのかと思いました。また、グリーンケミストリーという言葉を知り、今後の地球には絶対に必要であり、工場や企業だけでなく個人個人が持つ必要があると思った。学習前は知らなかったグリーンケミストリーという言葉、これが学習後にはとても心に残り、これからもっと深く考えていこうと考えました。
- R-54 ・グリーンケミストリーの内容を知った後は、電気に対する考え方が変わったなって思いました。電気は大切なものです。むだ遣いしないように生活していきたいです。私は環境*だからこういうことをもっと学んでいかなきゃーと思いました。これから電気の需要はもっともっと増えると思います。だからこそグリーンケミストリーの考え方に乗り取り、環境にやさしい発電がどんどんしていきたいです。

注) *環境とは、環境デザインコースを指す。

また、F 高校、J 高校、L 大学では、「グリーンケミストリーの考え方をいると生活がどのように変化すると思いますか」という質問項目があるが、この質問により学習後の「グリーンケミストリー」について具体的に考えるヒントが得られたことが考えられる。

6 まとめ

「グリーンケミストリー」は、中学生や高校生にとってまだ目新しい概念と考えられる。これまでの起こってしまった環境問題に対する施策に比べて、新技術に対する希望的観測を抱くことができる考え方である。それだけに新技術を信頼するかどうかの意思決定はこれからの市民として必要な行為になってくる。中学校や高校の段階で、周囲の雰囲気にならせず、さまざまな情報から冷静に論理的な判断・意思決定をしていく能力を育成することは、教師としての義務とも考えられる。

今回の実践では、どの校種でも感想においてグリーンケミストリーの考え方に共感を抱いた記述が多かった。その意味では、この教材により「グリーンケミストリー」の考え方を生徒に伝えることができたと考えている。一方で、グリーンケミストリーの考えを用いての論理的な判断は、中学生よりは高校生や大学生の方が、また専門的に学習している方がより確立している。今回の G 中学校での実践では、まだ小学校での知識やメディアからの知識に影響されている様子がその感想からうかがわれた。

本教材を、それぞれの学年や校種に通用するような教材にいかにか改良していくか、今後の課題と考えている。

IV. 高等学校実験教材の開発

- 1 パラの香りがレモンの香りに変わる (大谷龍二) 164
- 2 二酸化硫黄からセッコウをつくる (大谷龍二) 170
- 3 光触媒を用いた実験教材の開発と実践 (高坂 智) 176

1. バラの香りがレモンの香りに変わる

大谷 龍二

1 目的

第一級アルコール（ゲラニオール）を酸化して、アルデヒド（ゲラニアル）を合成し、その性質を調べる。同時に、天然に存在する安全な物質を使ったスモールスケールでの実験を通して、グリーンケミストリーの考え方を学ぶ。

2 準備

ゲラニオール、酸化マンガン(IV)（活性化剤）、ヘキサン、寒剤（氷・塩）、アンモニア性硝酸銀水溶液（0.1mol/l 硝酸銀水溶液・1.0mol/l アンモニア水）

試験管（16.5mm × 105mm）1～2本、試験管立て、パスツールピペット2本、ゴム栓、かくはん子1個、自動かくはん器、試験紙（ろ紙を5mm × 100mmの大きさに切ったもの）、プラスチック製薬さじ、太試験管（25mm × 200mm、PYREX）、ガラス管（外径6mm）、アスピレーター、発泡スチロールカップ、肉厚ゴム管、試験管、ピーカー（200ml）、ガスバーナー、温度計、スタンド

3 操作

【ゲラニオールからゲラニアルの合成】

- (1) 試験管に0.2gのゲラニオールを取り、4mlのヘキサンを試験管に加える。これにかくはん子を入れ、自動かくはん器でよくかくはんする（図1）。

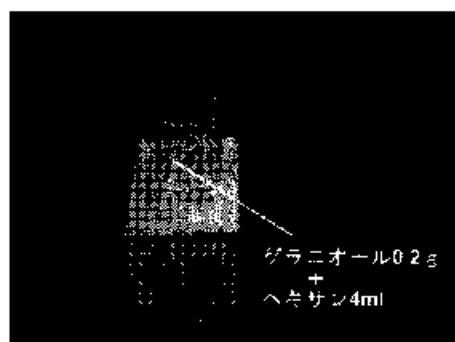


図1 ゲラニオールのかくはん

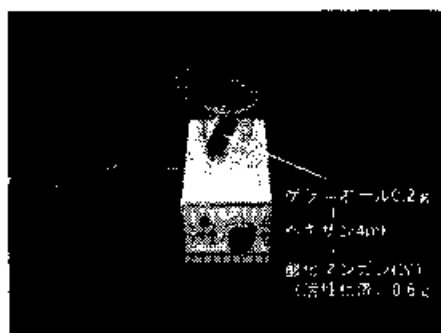


図2 ゲラニオールの酸化

- (2) 試験管の溶液を試験紙に付け、ヘキサンを蒸発させたのち、においを嗅ぐ。
- (3) 次に、0.6gの酸化マンガン(IV)をプラスチック製の薬さじで量り、試験管に加え、約10分間かくはんする（図2）。
- (4) かくはんを止め、酸化マンガン(IV)が沈んでいたら上澄み液を試験紙に付け、においを嗅ぎ、ゲラニオールのにおいと比較する。
※ 試験管に付いた酸化マンガン(IV)は、希塩酸につけておいてから洗うと落ちる。

[ゲラニアルの銀鏡反応]

- (5) ガラス管を用いて、図3の装置に用いる毛細管及びL字管をつくる。試験管に合ったゴム栓に穴を二ヶ所あけ、毛細管とL字管を差し込み、図3のように組み立てる。
- (6) (4)の溶液の上澄み液（ゲラニアルのヘキサン溶液）を25mm試験管に移す。
L字管と毛細管付きのゴム栓を図3のようにこの試験管に装着し、L字管からアスピレーターで吸引する。約4分でヘキサンは気化して、ゲラニアルが残る（図4）。
※ ヘキサンの沸点は68.7℃であるが、アスピレーターで減圧（15～20mmHg）すると、沸点は約-6℃になる。
- (7) (6)で得られたゲラニアルに5 mlのアンモニア性硝酸銀水溶液を加えた後、別な試験管に移し、95℃前後で約15分間加熱する（図5）。このときの変化を観察する（図6）。
※ アンモニア性硝酸銀水溶液
0.1mol/l 硝酸銀水溶液と1.0mol/l アンモニア水を使用した。

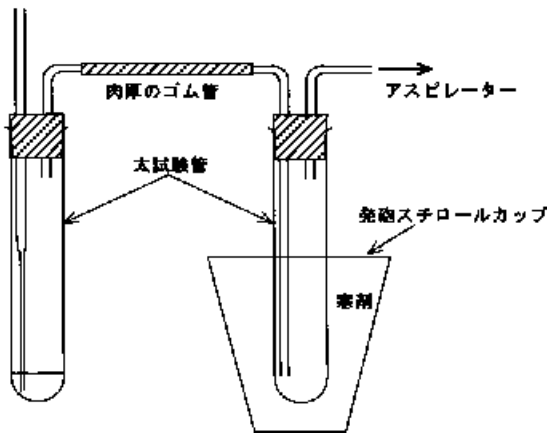


図3 減圧蒸留装置



図4 減圧蒸留

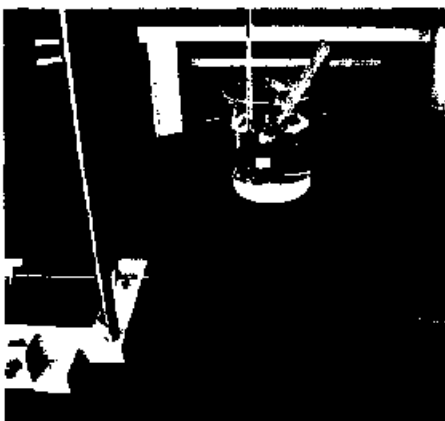


図5 銀鏡反応



図6 銀鏡反応の結果

[ゲラニオールからゲラニアルを合成するのみの場合]

- (1) 試験管Aに 0.2 g のゲラニオールを取り、4 ml のヘキサンを試験管に加える (図7)。これにかくはん子を入れ、自動かくはん器でよくかくはんした後、パスツールピペットで約 2 ml を試験管Bに取る。

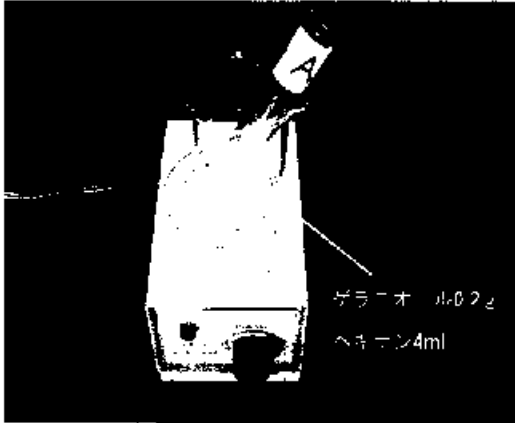


図7 試験管A

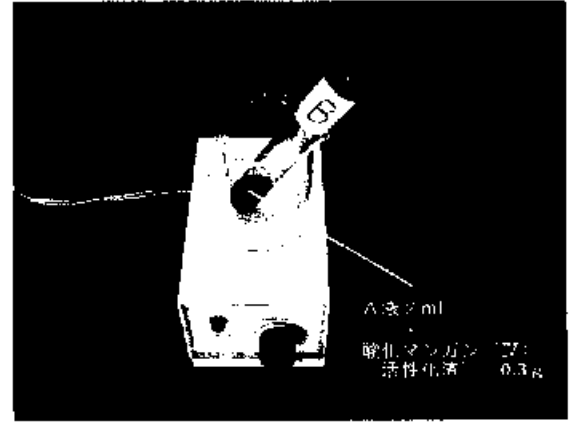


図8 試験管B

- (2) 試験管Aの溶液を試験紙に付け、ヘキサンを蒸発させたのち、においを嗅ぐ。
(3) 次に、0.3 g の酸化マンガン(IV)をプラスチック製の葉さじで量り、試験管Bに加え、約 10 分間かくはんする (図8)。
(4) かくはんを止め、酸化マンガン(IV)が沈んでいたら上澄み液を試験紙に付け、においを嗅ぎ、試験管A (ゲラニオール) のにおいと比較する。
※ 約 10 分間かくはんするだけで、レモンの香りがし、ゲラニアルの確認ができる。

4 ゲラニオールとゲラニアル (シトラール) について

バラの香りの主成分はゲラニオールと呼ばれる有機化合物である。一方、レモンの香りの主成分はゲラニアルと呼ばれる化合物で、これらは良く似た構造をしている。ゲラニオールはヒドロキシル基を、ゲラニアル (シトラール) はアルデヒド基を持っているところが唯一の構造的違いである。

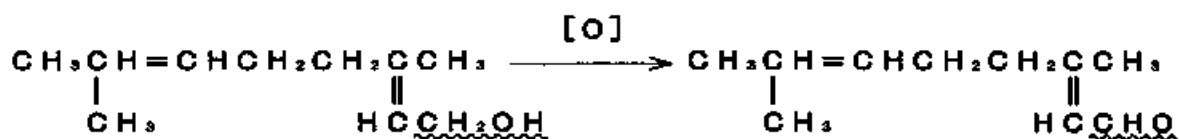
このようにわずかに構造が違うだけで、香りは大きく違うのです。ゲラニオールもゲラニアルもテルペンとよばれる化合物群の一つである。テルペン類はイソプレン単位が組み合わさってできており、イソプレン単位の数が2つのものをモノテルペン、3つをセスキテルペン、4つをジテルペンというように分類されている。ゲラニオールは2つの単位からできているのでモノテルペンに分類される。

ゲラニオールを二酸化マンガンで酸化すると、ヒドロキシル基がアルデヒド基に変わる。

このアルデヒド「ゲラニアル (シトラール)」はレモンの香りの主成分であり、香りの変化でゲラニアルの生成が確認できる。

一般に、第一アルコールが酸化されるとアルデヒドに変わり、さらにカルボン酸にまで酸化される。ここでは生成したアルデヒドは二重結合と共役しているため、カルボン

酸への酸化を受けづらい。このため、銀鏡反応の温度を通常より高く設定 (95℃) し、少し時間をおくと、試験管の壁面に銀鏡が生じる (図6)。



グラニオール (トランス形)

[シス形はネロールという]

bp.229.7℃ C₁₀H₁₈O
↳ C₁₀H₁₇OH

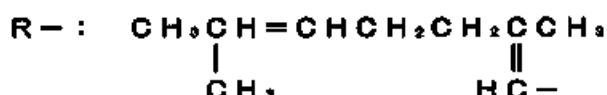
α-シトラール (トランス形)

[シス形はβ-シトラールという]

bp.228℃ C₁₀H₁₆O
↳ C₉H₁₅CHO

グラニアル

5 化学反応式



6 グリーンケミストリー教材としての評価

本教材は、高校の有機化学教材であり、また、本教材を化学 I における探究活動「アルコールの酸化」として位置づけた。反応物のグラニオール (バラの香り) は、生成物のグラニアル (レモンの香り) とともに天然に存在する物質であり、安全であるということである。これは、12 か条の 3 『人体と環境に害の少ない反応物・生成物にする』に該当する。

また、有機溶媒であるヘキサンを使用するが、これを回収する (100%ではないが) 手だてを講じていることである。これは、12 か条の 1 『廃棄物は「出してから処理」ではなく、出さない』に該当する。さらに、本教材は、スモールスケールで行えること、アルコールの酸化においては加熱を必要としない点でも評価できる。

なお、本研究の一部は科学研究費基礎研究 (B) (課題番号 14380066、代表松原静郎) による。

7 参考文献

- (1) 山田真二監修 (2003) 「バラの香りがレモンに変わる」『有機化学応用キットテキスト』、pp.3-6、お茶の水研究支援システム

※ 有機化学応用キットは入手可能。

- (2) 片江安巳 (1996) 「混合物を分ける」『実験で学ぶ化学の世界 1 物質の構造と状態』、pp.14-17、丸善

探究活動 バラの香りがレモンの香りに変わる（アルコールの酸化）〔化学Ⅰ〕

〔課題〕 第一級アルコールを酸化すると、どんな物質ができるだろうか。

〔仮説〕 第一級アルコールであるグラニオールを酸化すると、アルデヒド（グラニアル）を生じるだろう。

〔準備〕 器具：小試験管、試験管立て、パスツールピペット2本、ゴム栓、かくはん子、自動かくはん器、プラスチック製葉さじ、試験紙、太試験管、アスピレーター、発泡スチロールカップ、ビーカー（200ml）、試験管、ガスバーナー、温度計、スタンド
薬品：グラニオール、酸化マンガン(IV)、ヘキサン、寒剤（氷・塩）、アンモニア性硝酸銀水溶液（0.1mol/l 硝酸銀水溶液と 1.0mol/l アンモニア水）

〔操作〕

- (1) グラニオール、グラニアルをそれぞれ別の試験紙に少量付け、においを嗅ぐ。
- (2) 試験管に 0.2 g のグラニオールを取り、4 ml のヘキサンを試験管に加える。これにかくはん子を入れ、自動かくはん器でよくかくはんする（図1）。
- (3) 試験管の溶液を試験紙に付け、ヘキサンを蒸発させたのち、においを嗅ぐ。
- (4) 次に、0.6 g の酸化マンガン(IV)をプラスチック製の葉さじで量り、試験管に加え約10分間かくはんする（図2）。
- (5) かくはんを止め、酸化マンガン(IV)が沈んでいたら上澄み液を試験紙に付け、においを嗅ぎ、グラニオールのにおいと比較する。
- (6) 図3のように減圧蒸留装置を組み立てる。
- (7) (5)の溶液の上澄み液（グラニアルのヘキサン溶液）を 25mm 試験管に移し、アスピレーターで吸引する。約4分でヘキサンは気化して、グラニアルが残る。このとき、寒剤を使って、気化したヘキサンを回収する。
- (8) (7)で得られたグラニアルを試験管に入れたのち、アンモニア性硝酸銀水溶液を加え、95℃前後で約15分間加熱する（図4）。このときの変化を観察する。

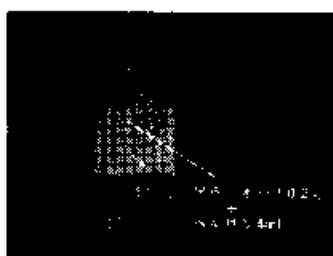


図1 グラニオールのかくはん



図2 グラニオールの酸化

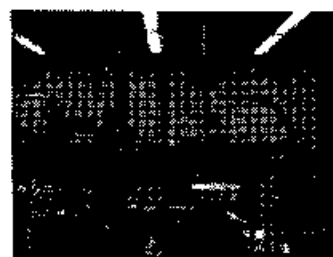


図3 減圧蒸留



図4 銀鏡反応

【学習のポイント】

(1) グラニオール、グラニアルは、どのような臭いか。

グラニオール：

グラニアル：

(2) グラニオールの化学式を $R-CH_2OH$ で表すと、グラニアルの化学式はどう表されるか。

(3) 操作(4)における酸化マンガン(IV)の働きを考えよ。

(4) 操作(8)で還元されたイオンは何か。

(5) 操作(7)でヘキサンは、グラニアルから分離し回収された。このことはどのように説明できるか。ヒント：ヘキサンの沸点を調べよ。

【結果の処理】

	反応前	反応後
におい		
アンモニア性硝酸銀水溶液を加えて加熱したときの変化	/	

【考察】

実験結果から仮説が正しかったかどうかを判断せよ。

【感想】

2. 二酸化硫黄からセッコウをつくる

大谷 龍二

1 目的

酸性雨の原因物質の一つである二酸化硫黄は、火力発電所などでは排煙脱硫装置によりセッコウに変えられて有効利用されている。二酸化硫黄を人為的に発生させ、これを使用済み石灰乾燥剤と反応させることによりセッコウをつくる。

2 準備

亜硫酸ナトリウム 10 g、6 mol/l 希硫酸 60ml、純水 60ml、パックテスト ClO、生石灰を主成分とする乾燥剤（使用済みのもの）10 g、水道水またはうすい塩素水ピーカー（200ml）2個、ピーカー（100ml）1個、三角フラスコ（100ml）1個、三角フラスコ（200ml）2個、滴下ロート、ロート、ゴム管、エリコン管、ガラス棒、塩化カルシウム管、ゴム栓、自動かくはん器、かくはん子、ろ紙

3 操作

- (1) 亜硫酸ナトリウム 10 g を 200ml 三角フラスコに入れ、これに滴下ロートで希硫酸 30ml を少しずつ加え、これらを反応させることにより二酸化硫黄を発生させる（図 1）。
- (2) 100ml 三角フラスコに使用済み乾燥剤 10 g（粒が大きい場合は、すりつぶしてから使う）を入れ、これに純水 60ml を加え、自動かくはん器でかくはんする（図 1）。
- (3) (1) で発生させた二酸化硫黄を (2) の三角フラスコに吹き込む。三角フラスコは、引続き自動かくはん器でかくはんし続ける（亜硫酸カルシウムの生成、図 1）。

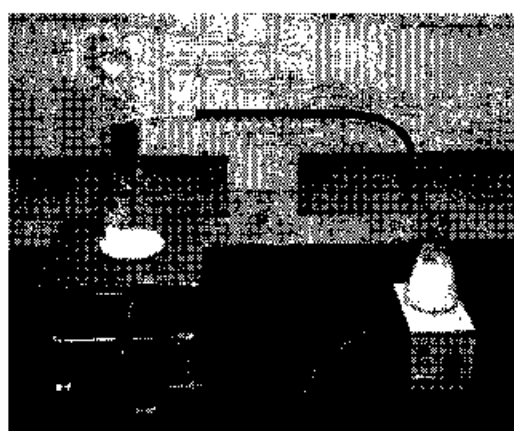


図 1 亜硫酸カルシウムの生成

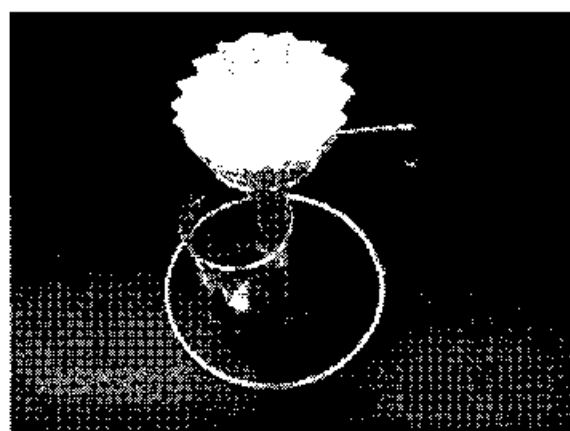


図 2 亜硫酸カルシウムのろ過

- (4) (3) で 100ml 三角フラスコに生じた沈でん物をひだつきろ紙を使ってろ過する（図 2）。

※ このとき、やや大きめの固形物が残るが、これはろ過しないで三角フラスコ内にとどめておく。

- (5) 50ml ビーカーに 30ml の水を入れ、これに得られた生成物（亜硫酸カルシウム）を薬さじに一杯加え、よくかきまぜる。上澄み液の残留塩素濃度をバックテストで調べる。また、水道水の残留塩素濃度を同様に、バックテストで調べ、両者の濃度を比較する。

※ このとき、うすい塩素水を使うと違いがよりはっきりする。

- (6) 残った生成物を薬さじを使って 200ml ビーカーに入れ、純水で溶かし、200ml 三角フラスコに入れ、自動かくはん器でかくはんしながら希硫酸 30ml を加える。この時、二酸化硫黄が発生する（二酸化硫黄が乾燥剤に取り込まれていたことの確認とセッコウの生成、図3）。

※ 塩化カルシウム管に使用済み乾燥剤を詰めたものを三角フラスコに取り付けると、発生した二酸化硫黄が大部分吸収される。塩化カルシウム管に綿や乾燥剤はぎっしり詰め込まない。

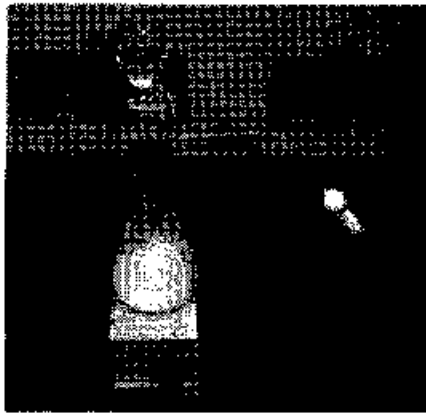


図3 セッコウの生成

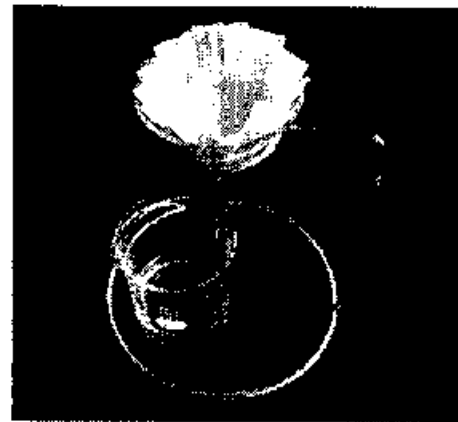


図4 セッコウのろ過

- (7) この沈でん物を二分し、それぞれひだつきろ紙でろ過した後、何回か水洗し、乾燥すると固まる（セッコウの確認、図4）。

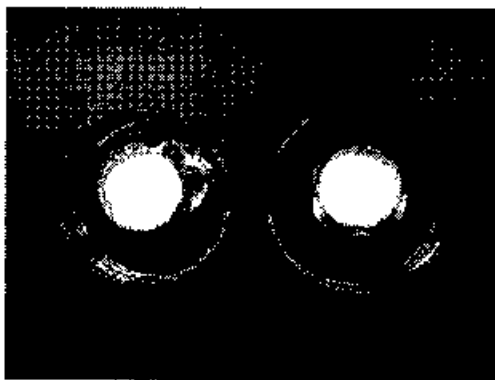


図5 型に入れたセッコウ

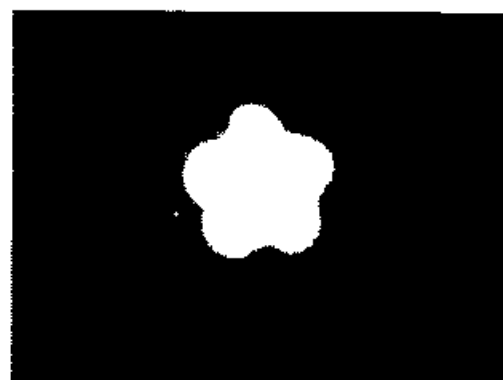


図6 乾燥したセッコウ

4 化学反応式

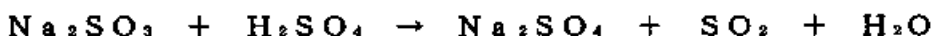
- (1) 生石灰（酸化カルシウム）を主成分とする乾燥剤が、水分を吸収したときに起こる反応の化学反応式



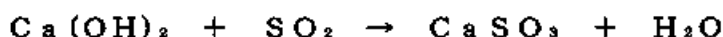
- (2) この乾燥剤は、空気中の水分はもとより二酸化炭素をも吸収して、一部炭酸カルシウムが生成していると思われる。酸化カルシウムと二酸化炭素の反応の化学反応式



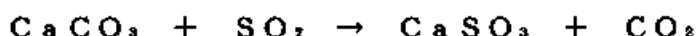
- (3) 亜硫酸ナトリウムと希硫酸の反応の化学反応式



- (4) 水酸化カルシウムと二酸化硫黄の反応の化学反応式



- (5) 炭酸カルシウムと二酸化硫黄の反応の化学反応式



- (6) 亜硫酸カルシウムと希硫酸の反応の化学反応式



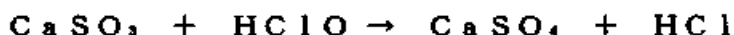
5 留意点

- (1) 本実験は、ドラフト内で行う（SO₂の危険性より）。
- (2) この実験でつくったセッコウは、完全に固まるのに少々時間がかかるので、予め固まらせたセッコウを用意しておく方がよい。
- (3) 排煙脱硫装置では、亜硫酸カルシウムは酸化塔で酸化され、セッコウ製造装置でセッコウとなって搬出されている。本実験は、二酸化硫黄が乾燥剤に取り込まれたことの確認をしながらセッコウを作っているのが、実際の方法とは異なっている。
- (4) 石灰石の代わりに使用済み石灰乾燥剤を使ったのは、廃物利用のためである。

6 グリーンケミストリー教材としての評価

- (1) 本教材は、高校の無機化学教材であり、また、本教材を化学Ⅱにおける課題研究として位置づけた。本実験は、火力発電所の脱硫装置で行われている方法に近い方法でセッコウを作っており、12か条の2『原料をなるべくむだにしない形の合成をする』、12か条の3『人体と環境に害の少ない反応物・生成物にする』に該当する。

- (2) 亜硫酸カルシウムは、空気中で安定であり、水にもわずかししか溶けない。脱塩素作用があるため、水道水中の脱塩素剤（残留塩素除去物質）として市販されている。



亜硫酸カルシウムをセッコウにせず脱塩素剤として使用すること（塩素水中の残留塩素を測定することによりその効果を確認する）により教材としての付加価値を高めた。使用したバックテストは、バックテスト ClO 残留塩素（株式会社共立理化学研究所）である。

使用済み石灰乾燥剤と水酸化カルシウムは脱塩素作用を示さないが、実際は、バックテストの値が低く出て、脱塩素作用があるように判断できる。これは、両者が強いアルカリ性を示すので値が低く出てしまうためとのことである（製造元に確認済み）。

実験結果 → 塩素水の残留塩素濃度 5 ppm以上

亜硫酸カルシウム処理後の塩素水の残留塩素濃度 0.1 ppm以下

使用済み石灰乾燥剤処理後の塩素水の残留塩素濃度 2 ppm

水酸化カルシウム処理後の塩素水の残留塩素濃度 2 ppm



図7 試薬による脱塩素効果

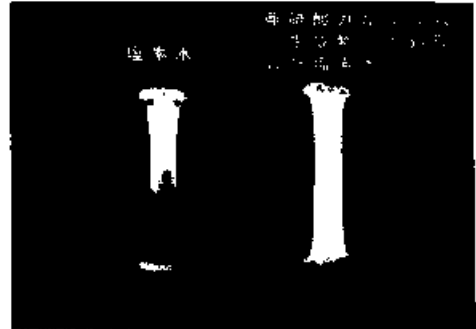


図8 生成物による脱塩素効果



図9 使用済み石灰乾燥剤による脱塩素効果（効果なし）

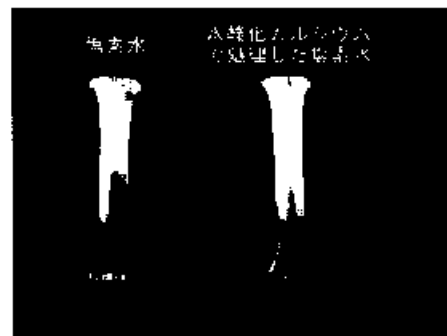


図10 水酸化カルシウムによる脱塩素効果（効果なし）

また、亜硫酸カルシウムは食品業界では大量に使用されている。例えば、還元果汁の製造時には薄めるための水道水の脱塩素処理に使用され、炭酸飲料水のベンダーマシンの紙コップにも発泡性をよくするため表面にコーティングされている。このため、学習内容が、日常生活に関連している。

なお、本研究の一部は科学研究費基礎研究(B) (課題番号 14380066、代表松原静郎)による。

7 参考文献

- (1) 岩藤英司(1992)「大気汚染防止技術の教材化—硫黄酸化物から石膏をつくる—」理科第22巻第3号、pp.18-19、日本理科教育協会
- (2) 『東京電力横須賀火力発電所案内』 1992年 東京電力横須賀火力発電所
- (3) 風呂用脱塩素剤ソフトパウダーについて、2003年8月21日以下より検索、the World Wide Web : <http://www.spice.or.jp/~torex/soft2.html>
- (4) ミネラルシャワー、2003年8月21日以下より検索、the World Wide Web : <http://www.mahoraba.ne.jp/~mellisa/user/shower/genri.html>

[目的] 酸性雨の原因物質の一つである二酸化硫黄は、火力発電所などでは排煙脱硫装置によりセッコウに変えられて有効利用されている。二酸化硫黄を人為的に発生させ、これを使用済み石灰乾燥剤と反応させることによりセッコウをつくる。

また、セッコウが生成する過程で、途中に亜硫酸カルシウムができるが、この亜硫酸カルシウムは、脱塩素作用があるため、水道水中の脱塩素剤（残留塩素除去物質）として市販されている。そこで、亜硫酸カルシウムの脱塩素作用を実際に調べる。

[準備] 器具：ビーカー（200ml/2個、100ml/1個）、三角フラスコ（100ml/1個、200ml/2個）、滴下ロート、ロート、ロート台、ゴム管、エリコン管、ガラス棒、塩化カルシウム管（使用済み乾燥剤を詰めたもの）、ゴム栓、自動かくはん器、かくはん子、ろ紙

薬品：亜硫酸ナトリウム 10 g、6 mol/l 硫酸 60ml、純水 60ml、パックテスト ClO、生石灰を主成分とする乾燥剤（使用済みのもの）10 g、うすい塩素水

[操作]

- (1) 亜硫酸ナトリウム 10 g を 200ml 三角フラスコに入れ、これに滴下ロートで希硫酸 30ml を少しずつ加え、これらを反応させることにより二酸化硫黄を発生させる（図 1）。
- (2) 100ml 三角フラスコに使用済み乾燥剤 10 g（粒が大きい場合は、すりつぶしてから使う）を入れ、これに純水 60ml を加え、自動かくはん器でかくはんする（図 1）。
- (3) (1) で発生させた二酸化硫黄を (2) の三角フラスコに吹き込む。三角フラスコは、引続き自動かくはん器でかくはんし続ける（図 1）。
- (4) (3) で 100ml 三角フラスコに生じた沈でん物をひだつきろ紙を使ってろ過する（図 2）。

※ このとき、やや大きめの固形物が残るが、これはろ過しないで三角フラスコ内にとどめておく。



図 1 亜硫酸カルシウムの生成

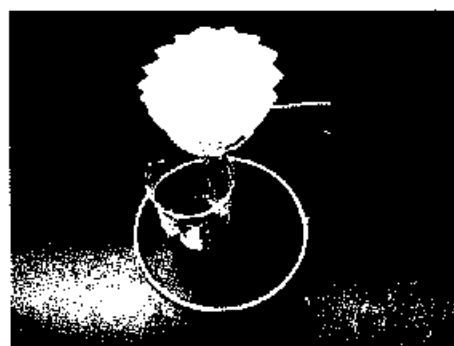


図 2 亜硫酸カルシウムのろ過

- (5) 50ml ビーカーに 30ml の塩素水を入れ、これに得られた生成物（亜硫酸カルシウム）を葉さじに一杯加え、よくかきまぜる。上澄み液の残留塩素濃度をパックテストで調べる。また、塩素水の残留塩素濃度を同様に、パックテストで調べ、両者の濃度を比較する。

- (6) 残った生成物を葉さじを使って 200ml ビーカーに入れ、純水で溶かし、200ml 三角フラスコに入れ、自動かくはん器でかくはんしながら希硫酸 30ml を加える。この時、二酸化硫黄が発生する (図 3)。

※ 塩化カルシウム管に使用済み乾燥剤を詰めたものを三角フラスコに取り付けると、発生した二酸化硫黄が大部分吸収される。

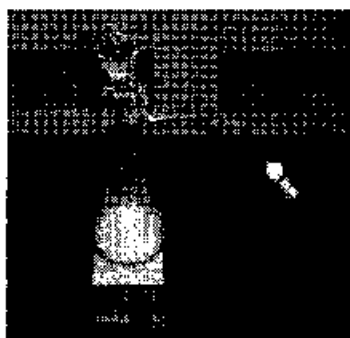


図 3 セッコウの生成

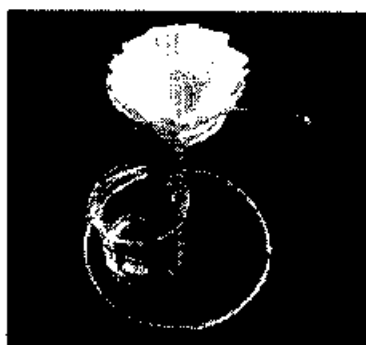


図 4 セッコウのろ過

- (7) この沈でん物を二分し、それぞれひだつきろ紙でろ過した後、何回か水洗し、乾燥すると固まる (図 4)。

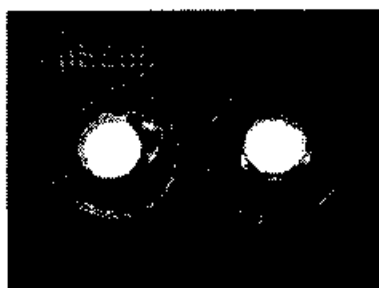


図 5 型に入れたセッコウ

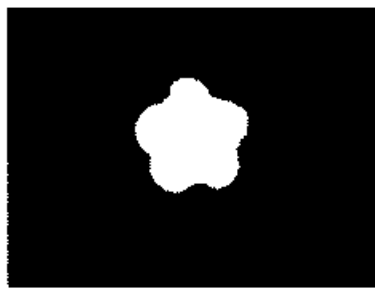


図 6 乾燥したセッコウ

※ 本実験は、ドラフト内で行うことが望ましい。(SO₂の毒性より)

【調べてみよう】

- (1) 生石灰(酸化カルシウム)を主成分とする乾燥剤が、水分を吸収したときに起こる反応の化学反応式を調べてみよう。
- (2) この乾燥剤は、空気中の水分はもとより二酸化炭素をも吸収して、一部炭酸カルシウムが生成しているものと思われる。酸化カルシウムと二酸化炭素の反応の化学反応式を調べてみよう。
- (3) 水酸化カルシウムと二酸化硫黄の反応はどのようなと思われるか。化学反応式を調べてみよう。
- (4) 炭酸カルシウムと二酸化硫黄の反応はどのようなと思われるか。化学反応式を調べてみよう。
- (5) 二酸化硫黄を大気中に排出させないための工夫を、この排煙脱硫装置以外のこと考えたり、調べてみよう。

3. 光触媒を用いた実験教材の開発と実践

高坂 智

1 はじめに

光触媒とは、太陽光などの光によって表面が活性化されて接触する物質に作用を及ぼすが、それ自身は変化しない物質で、代表的な物質には酸化チタン (TiO_2) がある。光触媒は、GSCと密接な関連がある。これは、一般に「それ自体が無害な物質である」「繰り返し利用できる」「対象物質を無害な物質に分解できる」「毒性が低く、実験事故の可能性も低い」などの特性を持つからである。また、太陽光エネルギーを直接利用することで、「エネルギーをむだにしない」という特性を体感することもできる。これらの過程を通して、今後の化学の有用性・可能性を感じることが期待できる。



酸化チタン

光触媒は、近年急速に生活に浸透しつつあり、「蛍光灯」、「空気清浄機」、「プラズマ冷蔵庫」などの製品が販売されているため、学習内容への関心・意欲の向上を図ることが期待できる。実験教材として考えた場合、光触媒の作用は視覚的にわかりやすいので、校種や文型・理系の別、生徒の特性によらず利用できると思われる。

光触媒は、理科総合Aで、科学技術の成果と今後の課題に関わる教材として活用できる。また、高等学校化学IIで、触媒の働きを理解させたり、深める（課題研究）教材として活用できる。

本報では、光触媒の作用を確認する実験（昨年度報告書参照）を通して、GSCの理解を図ることを試みた結果を記述する。

2 調査について

2-1 調査対象生徒：公立M高等学校1年次の理科総合Aで実施し、生徒数は34名であった。

2-2 調査期間・時限：平成16年10月28日（木） 1、3時限

2-3 調査内容と方法

回	日時	内容
第1回	10月28日 (1時限)	<ul style="list-style-type: none">・汚れたコップの提示して、ふだんどのように洗っているか発問したのち、洗剤による洗浄が一般的であることを確認した。・洗浄後に廃棄される洗剤は川や海に流されていくこと、これが富栄養化といった環境問題を引き起こしたことを説明した。・近年、光触媒という物質を使って、ガラスなどをきれいに保つ技術が普及しつつあることを説明した。・インターネットで光触媒を塗布した帽子、シャツ、ズボン、ガラス製品を提示し、光触媒を活用した製品が数多く市販されていることを説明した。

	<ul style="list-style-type: none"> ・これらの製品は防汚効果を期待して作られており、この効果は酸化チタンに光を当てることで有機物を除くことと説明した。 ・触媒とは、化学反応を促進して、反応終了後に反応前と同じ状態で存在するものを指すことを説明した。 ・実験1（本節末参照） 酸化チタンは、光を使って有機物を除くことができるか確かめるといふ実験の趣旨を説明し、有機物としてメチレンブルーを使うこと、その理由はメチレンブルーが有色の物質なので実験結果が視覚的にわかりやすいことを説明したのち、実施した。結果と考察から、酸化チタンは光を使って有機物を除くことができることを確認した。 ・実験2（本節末参照参照） 光触媒はどのようにして水溶液中からメチレンブルーを除いたのか調べるという実験の趣旨を説明したのち、光触媒が有機物を酸化したと仮定して、この仮定が正しいか確かめる実験を行うことを説明した。次に、有機物が酸化されたら二酸化炭素が発生すると予想されること、二酸化炭素量を簡便に測るにはテトラテストという検査試薬があること、この試薬は魚類を飼育した水槽の水質を検査するのに使われていることを説明したのち、実施した。結果から、酸化チタンは光を使ってメチレンブルーを酸化したと考えられることを確認した。
--	---

回	日時	内容
第2回	10月28日 (3時限)	<ul style="list-style-type: none"> ・実験3（本節末参照） 光触媒を活用した製品例としてコーティング液があること、この実用性を調べるという実験の趣旨を説明し、塗布方法について説明したのち、実施した。結果から、コーティング液は多量の有機物を短時間で酸化できないことを確認した。 ・実験4（本節末参照） 酸化チタンが有機物を酸化する能力は低いことを確認するという実験の趣旨を説明したのち、実施した。結果から、高濃度のメチレンブルー水溶液を酸化するのは、長時間を要することを確認した。 ・今回学習した光触媒のように、環境にやさしい物質を利用したり、合成しようとする新しい化学の考え方があり、これをグリーンケミストリーということ、これには12か条があることを説明した。また、酸化チタンの特性について付記したので、記述の参考にすることを指示した。このあと、まとめプリントの提出期限を示した。なお、グリーンケミストリーの12か条の内容は説明しなかった。また、光触媒について学習前に知っていたこと、学習後にはわかったことをプリントの余白に書かせた。

3 調査結果（資料1参照）

光触媒の知識はほとんどない生徒が多かったが、学習を通して、光触媒は光を使って働く物質であることや繰り返し利用できることなどの特性についてほぼ理解できていた。

今回の教材とグリーンケミストリーとの関わりについて、「人体と環境に害の少ない反応物・生成物を作る。」の回答率が79%と最も高く、「環境と経費への負荷を考え、省エネを心がける。」の回答率が68%、「機能が同じなら、毒性のなるべく少ない物質を作る。」と「できるだけ触媒反応を目指す。」の回答率が62%、「化学事故につながりにくい物質を使う。」の回答率が56%であった。

洗剤と光触媒の利用については、環境にやさしいという理由から光触媒を選択する生徒、実用性を考えて洗剤を選択する生徒、悩んだ末にどちらかわからないという生徒、使い分けすべきという生徒がいた。いずれも理由づけがしっかりとしており、自分なりの結論を導き出していた。

すでに製品化されているものや今後製品化されうるものなど、各生徒がそれぞれ理解できた知識をもとに豊かな発想を発揮していた。

実践の反省として、今回は汚れたガラスのコップを提示して、洗剤による洗浄をもとに学習を展開したが、同様の目的のために光触媒を用いたガラスのコップは市販されておらず、洗剤と光触媒を対比させて学習を進めるためには、窓ガラスなどを例にとって学習を進めるべきだったと考えている。

4 今後の課題

今回の実践では、時間的な制約から課題を与えたり、教材の説明をしたりなど教師主導の場面が多かった。生徒が自ら探求する学習へと改善できれば、よりよい教材になると思われる。このためには、化学Ⅱの課題研究で実施することが望ましいと考えられる。生徒自らが、光触媒とはどんな物質であるか、どのような働きをするのか、社会ではどのように使われているのかを書籍やインターネットで調べ、実験を実施して、その効果を検証する。そして、光触媒についての疑問点や興味のあることを見だし、さらに調べていく。光触媒をじっくりと探求することで、物質を事前によく調べることで物質の安全性を確認したり環境への影響の低減につながることを、より多くの生徒が理解できると思う。光触媒は、生徒が自ら多くの情報を得られる題材であり、これに関わる実験も簡便で結果がわかりやすく、生徒が考案できうるレベルのものがある。このような生徒の主体的な学習を支援するために、ワークシートの記述を精選し、授業の組み立てにも検討を加えていきたい。また、質問4の記述では光触媒に関わる内容が多く、グリーンケミストリーの考え方に言及している内容は少なかった。グリーンケミストリーの考え方を理解させるという本実践の目的が達成されたといえるのか、検討を加えていきたい。

(資料1) 調査項目と回答内容

① 光触媒について学習前後の記述の比較

A 学習前の記述の分類とその割合

学習前に光触媒について知っていたことを書いて下さい。	人数、回答率	
・記述なし。	27名	77%
・水をはじく、臭いを消す。	1名	3%
・住宅などを清潔に保つ。	1名	3%
・汚れを落とす。	5名	14%
・日焼け止めクリームに使われている。	1名	3%

B 学習前後の記述

生徒	学習前	学習後
1	なし。	汚れを落とすことができるが、強い汚れには対応できない。強い汚れには酸化チタンを使う量も増える。実用性は低いかもしれないが、身の回りの生活の細かな点で活用できると思う。
2	なし。	汚れを落とすのに洗剤を使わずに太陽光を使うので、水を汚さないが、CO ₂ が発生するので空気には悪いと思う。光触媒を使う場を増やすなら、植物を増やし、CO ₂ を循環させることができればもっと発展すると思う。
3	なし。	光をエネルギーとして有機物を分解し、繰り返し何度も使える物質なので、これからの発展に期待できる技術だと思った。
4	なし。	光触媒は、使い方によっては様々な応用できる。もっとよいものができるかもしれない。
6	水をはじく。臭いを消す。	日光に当てるだけで汚れをとり、現在では窓や椅子などに利用されている。余計な薬品を出さないで環境にやさしいが、分解する力は低い。
6	なし。	光触媒とは、太陽光に当てて汚れを落とすことができるものである。何度も使えて省エネになるが、強い汚れには効果が低い。
7	なし。	光触媒は、汚れをきれいにできるとわかった。酸化チタンは無害であり地球上に大量にあるので、これから重要な物質になるとわかった。
8	住宅などに用いて清潔に保つことは聞いていた。	酸化チタンを用いた光触媒技術は、日光を照射するだけで汚れを分解し、きれいにする効果があるが、その能力は低いことがわかった。日光を用いて繰り返し使えるという点で、使いやすいつ技術であると感じた。
9	光を使って汚れをとる。	光が必要。酸化チタンが必要。有機物を酸化させる。強い汚れを落とすには時間がかかる。環境にやさしい。安全である。時間がかかる。再利用できる。晴れないと使えない。

10	なし。	汚れをきれいに落とし、環境にとってもやさしく、コストが低いという点でとてもいいものであるが、入手しにくい。最初の自分の予想とはほぼ同じで光を利用するものであった。光触媒をもっと広めることができれば、環境問題を改善できると思う。
11	なし。	光触媒は環境にやさしく何度も利用できるが、長時間太陽の光にあてないといけない。この技術が発展するといいな。
12	なし。	光触媒は人体に無害で生活にとっても役立つとわかった。また、自分の知らないところで役立っているとわかった。発展途上の技術なので、もっと調べて役立つものを作ってほしいと思った。
13	なし。	光触媒は有機物除去作用がある。強い汚れは落とせない。光触媒は環境にいいし、汚れも落とすことができる。
14	なし。	光触媒は効果を発揮するのに時間がかかるが、何度も利用が可能なので、将来その実用性は高くなるだろう。しかも、太陽光だけでなく紫外線の光でも力を発揮するので、天気や季節を問わず使えることも利点である。
15	水の膜ができて、汚れをはじく。	光触媒は汚れをきれいにすることから、有機物を無機物に変える。酸化の働きがあることがわかった。しかし、酸化チタンを塗るのは大変である。また、色素が濃いものには時間がかかる欠点があることがわかった。実用性に難があることもわかった。
16	汚れを落とす。	光触媒は何回も使用できるが、分解するのが遅く、膜を均一につくるのも難しい。
17	汚れを落とす。	光触媒は人や環境への害や危険性が少ないことを知った。汚れを分解し、除菌もできるが、大量の汚れを分解するのに時間がかかることが欠点だとわかった。
18	なし。	光触媒には有機物を除去する力があることがわかった。酸化チタンは人体や環境に害を与えないが、有機物を除去するのに長い時間を要するので、実用性を高めるのは難しいことを知った。
19	なし。	光触媒はきれいにする効果があるけど、反応が遅いのが欠点なので、急いでるときには不向きだと思った。しかし、窓ガラス等に利用すれば、ふいたりする手間がはぶけるので、そのようなことにはとんとん利用すべきだと思った。
20	なし。	自然環境にやさしい物質を使うという考えは、選んできたかもしれない。でも、それによって汚れが消え、繰り返し使えるのはとてもエコな技術だとわかった。
21	なし。	洗剤を使用しないので、水質汚染防止になるし、光触媒は環境に優しいといえる。光触媒はとてもよいものだとわかった。
22	汚れを落とす。	光触媒は、強い汚れを落とす働きはすごいが、強い汚れにはあまり働かないことがわかった。二酸化炭素が発生するので、環境にあまりよくないこともわかった。

23	なし。	光触媒は繰り返し使うことができる。環境にやさしい。汚れや色素などを取り除く働きがある。濃いものには長時間光を当てると、汚れや色素を取り除くことができる。
24	なし。	光触媒は日光に当てることで、使用していたものを新品のようにきれいにできると知った。例えば、高層ビルの窓に酸化チタンを塗ると、上に昇って窓をみががなくてもよくなる。
25	なし。	光触媒には汚れを落とす働きがあるので、生活に役立つものだとわかった。しかし、光がないとできないうえに、時間もかかるという問題点もあるとわかった。
26	なし。	光触媒が働くには時間がかかる。酸化チタンは液体に接けないので、何度でも使えて便利だ。酸化チタンでしか光触媒はできないのかなと思った。
27	なし。	地球上にたくさん存在していて、何回も使えて、人体や地球にあまり有害でない。濃いものは汚れが落ちるまでに時間がかかるが、少しの汚れなら簡単に落ちる。
28	なし。	光を利用して汚れを分解する。環境によい。
29	なし。	光触媒で汚れをとるには時間がかかる。酸化チタンは液体に接けてなくなるので、何回もリユースできて便利である。
30	なし。	光触媒は便利だけれど、時間がかかる、強い汚れは取れにくいという欠点があるようだ。でも、害がなく、汚れが落ちるのでとてもよいと思う。
31	なし。	酸化チタンには、有機物を除去するすごいパワーがある。しかし、日光に当てることが必要で、有機物濃度の高い溶液の場合、その時間が長くなる。これを日常生活でも利用することができれば、いろいろなものを清潔に保つことができると思う。
32	なし。	酸化チタンは光に当てると有機物を除去することができる。酸化チタンは有機物を酸化し、二酸化炭素を発生させる。酸化チタンは有機物を分解するのに時間がかかる。酸化チタンの量が多いほど早く分解できる。
33	なし。	日光に当てると汚れをとるはたらきをする。温度が高くなるにつれて有機物を分解する時間は長くなる。二酸化炭素が多く発生したり、吸収したりする働きがある。
34	汚れを落とす。	光触媒には有機物を除去する能力がある。二酸化炭素が多く含まれている。少しずつ汚れてくる場所には強い威力を発揮するなど様々な利点があり、社会でこれらの利点を応用させ、製品として使われたり、様々な方法で活用されている。
35	日焼け止めクリームに使われている。	光触媒は多様な場面で使われている。

② 質問1の回答結果

「コップなどについて汚れを落とすために、今後、洗剤と光触媒のどちらを使うか、また、その理由を答えて下さい。」についての回答結果

A 記述の分類とその割合

汚れを落とすために使う方法	人数	回答率
光触媒	10名	29%
洗剤	17名	49%
どちらにすればよいか迷う	4名	11%
どちらも使う	4名	11%

B 記述

生徒	汚れを落とすために使う方法	その理由
1	光触媒	洗剤は環境に悪い。光触媒は環境に影響を与えないし、コストも抑えられる。
2	洗剤	コップにつく汚れはとれにくいものもあるので、光触媒だと不安だから。
9	光触媒	時間は多少かかるが、環境にやさしいし、何度でも使用することができるから。
4	洗剤	光触媒は実用的でない。洗剤は短時間で落とせるのがよいから。
5	洗剤	楽に落とすことができるから。
6	洗剤	光触媒は時間がかかるし、効果がはっきりしないから。
7	洗剤	服を利用する機会が多いので、短時間で洗えるのが望ましいから。
8	どちらともいえない。	光触媒は環境にやさしい反面、汚れを取り除く能力が弱い。一方、洗剤は汚れをよく落とすが、環境によいとは言えない。場合に応じた使い方が求められるのではないかな。
9	洗剤	光触媒を使うと時間もかかるし、磨けていないとダメなので洗剤を使う。
10	悩む。	洗剤はいつでも手に入るけど環境に悪い。光触媒は環境によく、コストも少ないが、入手しにくいのではないかな。
11	光触媒	環境にやさしく、何度でも使えるため。

12	光触媒	再利用が可能で、地球にも優しいから。
13	どちらも使う。	光触媒は再利用できるし環境にもよいが、天候によって使えない日もあるので、晴れた日には光触媒を、太陽が出ていない時には洗剤を使いたい。
14	洗剤	洗剤は確実にきれいになるし、時間も短くてすむ。光触媒は太陽の光が必要で、天気が悪い日や冬場は少し使にくいから。
15	洗剤	確かに光触媒はいい方法だと思う。洗剤などに比べて環境にいい。けど、汚れを分解するまでにはまだまだ時間がかかるので、今はまだ洗剤の方が効率がよいので洗剤を使いたい。
16	送う。	両方に長所と短所があるから。光触媒は環境を汚さずによいと思うが、汚れを落とすまでに時間がかかるし、本当にきれいになっているか心配になって、最後に洗剤で洗ってしまいそうだから。
17	光触媒	どちらかすごく悩んだ。洗剤などは水質汚染などの原因になるし、光触媒だと晴れているときしか利用できない欠点があるから。だけど、やっぱり多くの洗剤を使って環境を悪化させるより、自然の力を上手に利用して光触媒を使うほうがプラスだと思うから。少しでも環境や私たち自身に害のないほうがいいと思うから。
18	洗剤	光触媒を使った方が環境にはいいけど、短時間で汚れを落としたい時は洗剤を使ったほうが早くできるから。
19	どちらにするか悩む。	とても急いでいるときは洗剤を使うが、時間に余裕のあるときは光触媒を使う。そうすれば、洗剤の量も減るし、環境にもやさしいと思う。
20	洗剤	自然には悪いけど、早く洗えるから。でも晴れて余裕のある日には光触媒を使えば、繰り返し使えるのでよい。
21	洗剤	洗剤の方がきれいによく汚れを落とせる気がするから。
22	光触媒	コップなどの汚れは、そんなに強い汚れではないので、光触媒でも落とせると思うし、光触媒の方が汚れにくくなるから。
23	光触媒	繰り返し使うことができるし、環境も汚さないから。
24	両方使う。	洗剤を使う場合、その日の天気を気にする必要はない。光触媒を使う場合、雨の日や太陽が雲に隠れている場合、いくら便利でも、その原理が使えないから。
25	洗剤	光触媒だと時間がかかってしまうから。

26	洗剤	光触媒は何なのかよくわからないし、汚れを落とすのに時間がかかるから。
27	光触媒	コップなどについた汚れなら、それほど強いものではないので、光触媒で落ちるから。
28	送う。	光触媒は繰り返し使えるし環境にもよいが、時間がかかるうえに、天気に左右されるから。洗剤は早くできるし、身近にあるが、繰り返し使うことができないし、環境に悪いから。
29	洗剤	光触媒は環境にいいが、洗剤で洗ったほうが清潔なような気がする。時間がかからない。
30	洗剤	まだ、光触媒は開発しきれていないと思うし、洗うという作業は自分でやった方がいいと思う。でも、光触媒がよくなったなら、光触媒でいいと思う。
31	洗剤	光触媒だと時間がかかるし、本当に汚れが落ちたのかわからない。しかし、洗剤だとしっかり汚れが落ちた気がするから。
32	どちらも使う。	汚れが少ないコップなどは光触媒で洗い、油汚れがひどい物は洗剤で洗う。油汚れがひどいものを光触媒で洗っても洗剤で洗わないときちんと洗えた気がしないから。でも、環境にやさしいので、汚れが少ないものには光触媒を使う。
33	洗剤	普段も洗剤を使って洗った物をしてるので慣れてるほうがいいかな。光触媒は汚れをとるまでに時間がかかるので洗剤の方がいいと思った。
34	光触媒	洗剤のように社会でとても広く用いられているわけではないが、最近になって社会に登場してきた光触媒は環境によく、繰り返し使えるなど様々な利点があり、洗ってしまうと水質汚濁になる洗剤などのように悪影響を与えることがないから。
35	光触媒	洗剤の方がスピーディーではないかと思いましたが、紫外線を当てる機械を使えば早いし、そのまま外に置いてもいいし、何よりも環境によいので光触媒を選びました。

③ 質問2の回答結果

「今回の学習内容と関係するグリーンケミストリーの考え方を並びなさい。」についての回答結果

選択肢	人数	回答率
1 廃棄物は「出してから処理」ではなく、出さない。	8名	24%
2 原料をなるべく無駄にしない形の合成をする。	9名	28%
3 人体と環境に害の少ない反応物・生成物を作る。	27名	79%
4 機能が同じなら、毒性のなるべく少ない物質を作る。	21名	62%
5 補助物質はなるべく減らし、使うにしても無害なものを使う。	13名	38%
6 環境と経費への負荷を考え、省エネを心がける。	23名	68%
7 原料は枯渇性資源ではなく、再生可能なものを心がける。	18名	53%
8 途中の修飾反応はできるだけ避ける。	5名	15%
9 できるだけ触媒反応を目指す。	21名	62%
10 使用中に環境中で分解するような製品を目指す。	12名	35%
11 プロセス計画を導入する。	0名	0%
12 化学事故につながりにくい物質を使う。	19名	56%

④ 質問3の回答結果

「光触媒の利用例を考案して下さい。」についての回答結果

内容	回答数
車に塗る。	17
帽子や服など衣類に塗る。	13
めがねやコンタクトに使う。	12
屋根や壁に塗る。	10
窓ガラスに塗る。	9
食器に塗る。	8
公共の場所(学校、公園、病院など)に塗る。	5
洗濯で使う。	5
厨房や台所に塗る。	4
風呂場に塗る。	4
テレビの画面に塗る。	3
スポーツの道具に塗る。	3
靴に塗る。	3
ダムや水路の浄化に使う。	3
タイルに塗る。	2

消臭スプレーにして使う。	2
靴に塗る。	2
トイレに塗る。	2
携帯電話に使う。	2
喫煙所に塗る。	2
赤ん坊や老人のいる部屋の床や壁に塗る。	1
カーテンに塗る。	1
お墓に使う。	1
網戸に塗る。	1
まな板に塗る。	1
ビニールハウスに塗る。	1
試験管に塗る。	1
便器に塗る。	1
布団に塗る。	1
東京タワーなど大きな建造物に塗る。	1
世界的な文化遺産に塗る。	1
温泉の浄化に使う。	1
床などの外で汚れやすいものを使う。	1
教室の床に塗る。	1
掃除しにくいクーラーなどに塗る。	1
水槽の内側に塗る。	1
カバンや制服に塗る。	1
人に塗る。(風呂に入れないので)	1
自転車に塗る。	1
ヴィンテージ物に塗る。	1
機密文書に塗る。(時間がたつと消えるから)	1
天井に塗る。	1
洗剤料として使う。	1
実験器具に塗る。	1
鏡に塗る。	1
手垢道具に塗る。	1
黒板に塗る。	1
建物の素材に塗る。	1
文化財に塗る。	1
飛行機や新幹線に塗る。	1
空中散布してスモッグをきれいにする。	1

④ 質問4の回答

「学習を通して学んだことを書いて下さい。」の回答結果

生徒	内 容
1	光触媒は知恵をしまれば、利用できることがたくさんあるので、自分達の住む場所をきれいにするのにとても便利だということがわかった。光触媒は、自らを変化せず、相手の物質を変化させることができるので、リサイクル性がある。
2	化学の世界にはいろんな物質があり、新たな性質を持つものが今になっても発見されるということは、いまだに見つけられていない物質がたくさんあり、環境にやさしく、役立つものもあると思った。
3	人体への危険性や環境負荷の少ない方法で、安全かつクリーンな物質を作るというグリーンケミストリーという考え方は、安全で便利な生活を送るために重要になってくると思う。特に酸化チタンのような触媒反応は、何度も繰り返し使えるという点で優れているので、この技術が発展していけば廃棄物の少ない世界が実現できると思う。
4	最先端の技術には、化学が関わっていることがわかった。
5	光触媒は便利で環境にもやさしいが、きれいにするまでにとても時間がかかる。しかし、洗剤や漂白剤を使えば時間もかからないし、確実にきれいにできる。光触媒のレベルが更に上がり便利になれば、人々の考えが変わると思う。
6	環境や資源のために光触媒というものが考えられ、いろんな所で活用しようとされていることがわかった。そんな開発をがんばっている人はすごいと思った。
7	酸化チタンは人体に対する危険が少ない。環境問題が騒がれている現在、地球のために役立つ重要なものが光触媒だとわかった。
8	酸化チタンを用いた光触媒技術は、効果の持続や汚れを落とす力が弱いなどの問題点はあるが、これからの研究によってさらに向上していくと思った。酸化チタンのように人体に無害で洗剤のように汚れを落とす力がある技術が開発されれば、地球はもっと住みやすい場所になるのではないだろうか。
9	光触媒は安全で環境にやさしくて、これから必要になると思う。しかし、少しの汚れでも取り除くのに時間がかかるのと、太陽光が必要という問題点がある。これを改良していけば、よりいっそう光触媒が重要視されると思う。
10	今回の学習を通して深く学んだのは光触媒の働きである。初めてこの言葉を知ったとき、何のことか全然わからなかったが、光触媒とは汚れをきれいに落とすし、何回も使えて環境にやさしいことを深く学んだと思う。洗剤の代わりに光触媒を使うことによって環境問題を解決できるのではと思う。今回の学習はなかなか充実していた。もっとこのことについて学んでみたいと思った。
11	光触媒はまだ実用段階まで研究が進んでいないけれども、将来的にとっても素敵な技術であることがわかった。
12	僕がこの学習を通して学んだのは、光触媒を使うと人体にほとんど無害で、しかも地球に優しいものができるということです。

13	光触媒を実用化させると、地球にとってもよいことだとわかった。世界で、環境問題が騒がれているが、あと60年くらい生きる私たちが真剣に考えていかなければならないと考えさせられた。
14	便利なものには必ず欠点があり、完璧なものはこれからも出てこない気がする。その欠点を補いながら人類は進歩してきたのであって、これからもこの方法で進んでいくのだなと思った。
15	光触媒はとても便利だし、害もなくていいものだと思ったと同時に、色素を分解するまでに時間がかかってしまうという欠点もあることがわかった。そして、光触媒は実用性を改善しなければならない点があるとわかった。今、光触媒を利用したものはたくさん製品として世の中に出始めている。これからもっとたくさんの製品ができ、光触媒はますます普及すると思うので、分解する時間をもっと短縮する方法を考えなければいけないと思う。
16	洗剤を使わずに汚れを落とせることを学んだ。光触媒は分解速度が遅いという欠点はあるが、ビルのガラスや街灯に使うのは支障がないと思う。早く膜を均一に塗る方法を見つけてほしい。将来、コインランドリーならぬ太陽ランドリーができるかも。
17	光触媒はいろんな形での利用の仕方があることを実感した。除菌もできるし、危険性も少ないし、なおかつ地球上に大量に存在している。だから、最大限に活用するために、さらに細かく研究する必要があると思う。例えば、臭いがなければ水槽に混ぜて、水を長持ちさせることもできる。もっと活用できる範囲を調べてみたい。
18	実験などからわかることが日常生活でいろいろと役立つことがわかった。環境や人体に害のない物質、地球上に大量に存在していて余剰のある物質は、生活に利用されていくと思った。
19	この学習をするまで、光触媒という言葉を知ったことがなかったけど、勉強を通して光触媒のことがわかり、すごいと思った。でも、反応が遅いのが欠点だから、もっと早く反応する方法が見つかれば、環境にやさしくなると思った。
20	グリーンケミストリーの12ヶ条を見て、こういうことに当てはまる物質があるんだと知った。科学技術の発展に伴うのは危険や自然破壊が多くなると思った。光触媒のような安全で利用価値の高い物質の存在を知り、それがどれだけの力を持つのか、この目で見られてよかった。もっと、こういったクリーンな物質が発見されていけばよいと思った。
21	光触媒は酸化チタンによって有機物を分解する周期的なものであることがわかった。まだ、実用段階ではないが、深く突き詰めていけばよりよいものになるのではないかと考えた。
22	光触媒は、薄い汚れは落とせるが、濃い汚れには効かないことがわかった。
23	光触媒は、太陽を使えば繰り返し使えるし、汚れを落とすしてくれる働きがあることを知って、すごいなと思いました。太陽を使うのは環境にいいと思う。濃い汚れは時間をかけると落ちる。地球が汚れてきている時代に、地球に優しい光触媒がもっと発展すればいいなと思います。

24	光触媒という言葉はあまり聞いたことがなかったけれど、実験を通して、これからの私たちの生活に役立っていくだろうと思った。
25	光触媒は汚れを落とす、生活に役立つものだとわかった。自然にもいいので、今のようないろんな環境問題が話題になっている日本ではとても良いことだと思った。
26	実験した限りでは、光触媒は日光で反応を起こさせるから省エネにつながるし、洗剤などを使うよりはるかに環境にやさしく、再利用も可能なので環境問題も起こさないし便利だと思ったが、それでも世間一般には広まっていないので、何か不都合があるのだと思う。早く解決されて普及されれば、より良い環境になるだろう。
27	ナリドマイドなど作ってから有害なことに気づいたことがけっこうあるので、光触媒は安全そうだし、汚れも落ちるので、いろいろなことに使われていけばいいなと思った。
28	光触媒という言葉すら知らなくて、最初は何のことか全然予想が付きませんでした。でも、この学習をしていくうちに、環境によい、汚れを分解する、光を使うことがわかりました。光触媒を使った衣類を見てみたいと思いました。
29	光触媒は多くの可能性を持つけど、使用方法や時間の面で多くの課題が残っているのだから、問題点を解決し、環境を害さないものとして、早く日常生活の中で利用されるとよいと思う。
30	光触媒のことを今まで知らなかったのだから、初めて知ることだらけであった。まだ、欠点があると思うけど、これからどんどん活用していけばいいと思う。また、これを発展させて害がないものがどんどん生まれればいいなと思う。
31	酸化チタンはクリーンな物質なので、これからどんどん普及して欲しい。しかし、日光に長時間当てなければならぬことがあるので、それを解決できる何かが必要だと思う。
32	環境を考えた物を使えるようにできればいい。光触媒を使い、酸化チタンのよさを利用していければいいと思う。
33	実験や授業をするまでは、光触媒という言葉やはたらきなど何も知りませんでした。この言葉を知ってよかったです。光触媒の働きは何とんでもなく汚れをとることが一番のいいところだと思います。水溶液の実験では、あきらかに色が落ちてわかりやすかったです。けっこう便利なので、今後の日常生活にいろいろ使われてくるのではないかと思います。
34	光触媒には、利点があり、環境に悪影響を及ぼすこともない。深刻な環境問題に立ち向かっている日本にとってよいものと思う。だから、これが社会に広く浸透してほしい。光触媒には少ないながらも実用例がある。これらを使ってみたいと思う。
35	私は今まで化学といえば洗剤や有毒ガスなど、どちらかといえば環境や人体に悪いイメージがありました。しかし、今回の光触媒は地球からもらったものを元通りにして戻すような環境への配慮があり、私自身の価値観も変わりました。よく考えてみると、光触媒はたくさんの場所で多くの人々を助けていると思います。発明家気分がたくさんのことを考えることができ、楽しかったです。

(資料2) 補足

- 1 テトラテスト及び光触媒コーティング剤の入手先
 ・テトラテスト (清浄二酸化炭素検査試験) 魚類の飼育用品の取扱店で購入できる。
 ・光触媒コーティング剤提供: 光触媒研究所 〒485-0011愛知県小牧市大字岩崎400番地

2 光触媒を学習教材として活用する際の留意点

① 光源

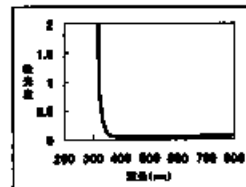
酸化チタンが光触媒の機能を発揮するには紫外線が必要である。光源には太陽光、ブラックライト等が選んでいる。太陽光では季節、時刻、天候により紫外線強度が異なる。一般に、夏で晴れた昼間には強く、冬で曇った朝夕には弱くなる。ブラックライトでは、消費電力が大きいほど放射される紫外線強度が高く、光源からの距離が遠くなると弱くなる。

② 紫外線吸収率

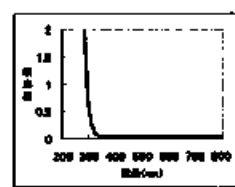
紫外線は各種の物質に吸収されるが、ガラスの吸収率に留意する必要がある。例えば、太陽光を窓ガラス越しに照射したり、水分の蒸発や異物の混入を避けるために容器をガラス板でふたをする場合が考えられる。a~bに、ガラスの紫外線吸収スペクトル、cに、ガラスの紫外線吸収率のデータを示す。a~bから、薄いガラスほど紫外線吸収率が高いことがわかる。

- a ガラス板 (ホウケイ酸ガラス) 3mm厚の吸収スペクトル b スライドガラス (ホウケイ酸ガラス) 1mm厚の吸収スペクトル

波長(nm)	400	350	300	250	200
透光率	0.048	0.110	>2	>2	>2



波長(nm)	400	350	300	250	200
透光率	0.039	0.048	0.444	>2	>2



③ 接触面積

光触媒の作用は表面反応であり、光の吸収、酸化剤の生成、対象物質の分解はいずれも表面で起こる。反応速度を高めるには、細かい(例えば粉末)光触媒を用いて、対象物質との接触面積を広げる等の工夫が必要になる。工業的には、流動層による処理や吸着剤の併用が考えられる。一方で、粒子が細くなるほど、光触媒の固定化や使用後の回収が難しくなるデメリットがある。

3 光触媒のメチレンブルーに対する作用

メチレンブルーを還元すると無色になるが、光触媒がメチレンブルーに及ぼす作用は還元ではないことを実験により確認している。メチレンブルー水溶液と光触媒を混ぜて太陽光を当てたのち、無色になった水溶液に酸素を吹き込む実験を行ったら、水溶液の色は無色のままであった。

3 配布プリント①

実験1 酸化チタンの有機物分解作用の有無の確認

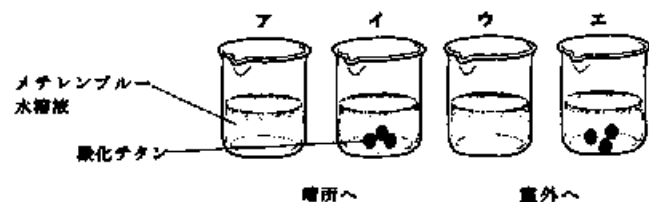
【課題】酸化チタンが、有機物を分解する能力があるかどうかを確かめる。

【試薬】酸化チタン、メチレンブルー水溶液 (10mg/l)

【器具】100mlメスシリンダー、100mlビーカー (4)

【手順】

- ① 4つの100mlビーカーに、メチレンブルー水溶液を10mlずつ入れる。
- ② 2つの100mlビーカーに、酸化チタンを1gずつ入れたのち、かるく振り混ぜる。
- ③ ア、イのビーカーを暗所に、ウ、エのビーカーを太陽光にあてる。(5分間)
- ④ メチレンブルー水溶液の色をの濃さを比較する。



【結果】

【考察】

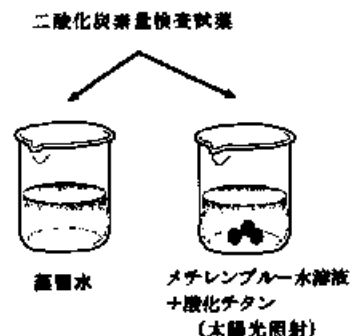
実験2 酸化チタンの酸化作用の有無の確認

【課題】酸化チタンは、有機物を酸化する力があるかどうかを確かめる。

【薬品】テトラテスト (溶存CO₂量検査試薬)

【手順】

- ① 蒸留水10mlを、100mlビーカーにとる。
- ② ①のビーカー、実験1のエのビーカーにテトラテストを加える。
- ③ 二酸化炭素濃度を比較する。



【結果】

【考察】

配布プリント②

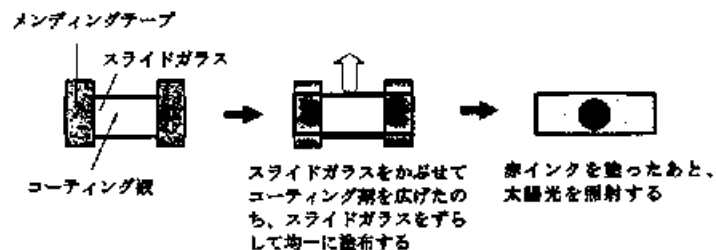
実験3 酸化チタン膜の塗布と酸化作用の確認

【課題】酸化チタンをスライドガラスにコーティングして、その効果を検討する。

【材料】酸化チタンコーティング液、スライドガラス、メンディングテープ、赤インキ

【手順】

- ① 1枚のスライドガラスに、メンディングテープをはる。
- ② 光触媒コーティング液を1滴たらす。
- ③ もう一枚のスライドガラスをかぶせたのち、ガラスをずらして、コーティング液を薄く、均一にする。
- ④ あおいで乾かしたのち、赤インキを薄く塗る。
- ⑤ 太陽光を5分間あてる。



【結果】

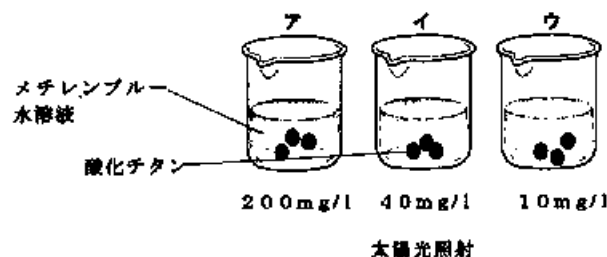
【考察】

実験4 酸化チタンの色素分解能力の検討

【課題】有機物濃度の高い溶液を、酸化チタンで除去するには長時間の光照射が必要であることを確認する。

【手順】

- ① 図のように、3種類の濃度のメチレンブルー水溶液を、3つのビーカーに入れる。
- ② 酸化チタンを1gずつ入れる。
- ③ 同じ時間いっせいに太陽光を照射する。



【結果】

【考察】

配布プリント③

質問1) コップなどについて汚れを落とすには、洗剤を使う方法と光触媒を使う方法が考えられますが、あなたはどちらを使いますか。また、その理由を答えて下さい。

汚れを落とすために使う方法	その理由
_____	_____

質問2) 近年、グリーンケミストリーという考え方が化学の世界で注目されています。これは、物質を合成する過程や合成される物質を事前によく検討し、なるべく危険性や環境負荷の少ない方法で安全でクリーンな物質を作るという考え方です。これには、12か条の考え方が示されています。12か条のうち、今回学習した内容と関わりが深いと思う内容を選び、その番号に○をつけなさい。(なお、酸化チタンの特徴を、右の欄にのせておきますので、参考にして下さい。)

- 1 廃棄物は「出してから処理」ではなく、出さない。
- 2 原料をなるべく無駄にしない形の合成をする。
- 3 人体と環境に害の少ない反応物・生成物を作る。
- 4 機能が同じなら、毒性のなるべく少ない物質を作る。
- 5 補助物質をなるべく減らし、使うにしても無害なものを使う。
- 6 環境と経費への負荷を考え、省エネを心がける。
- 7 原料は枯渇性資源ではなく、再生可能なものを中心に考える。
- 8 途中の廃棄物はできるだけ避ける。
- 9 できるだけ触媒反応を目指す。
- 10 使用中に環境中で分解するような製品を目指す。
- 11 プロセス制御を導入する。
- 12 化学事故のつぎにくく物質を使う。

酸化チタンの特徴
① 常温、常圧の通常の使用条件では酸、アルカリ、水、有機溶媒に溶解せず、フッ化水素、塩素、硫化水素など反応性の強いガスとも反応しない極めて安定な物質である。
② 安価であり、地球上に大量に存在している。
③ 人体に対する危険性が極めて低い。

質問3) 光触媒の利用例(どんな場所でどのように使うのか)を、たくさん考案して下さい。

利用例①	利用例③
_____	_____
利用例②	利用例④
_____	_____

質問4) この学習を通して学んだことを、書いて下さい。

V. グリーンケミストリー学習教材

(大気汚染対策教材)

メニュー・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 190

ワークシート・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 194

学習履歴シート・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 210

学習の資料・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 212

(新しい資料)

【実験資料】アンモニアソーダ法による炭酸ナトリウム製造実験
(深野哲也)・・・・・・・・・・・・ 216

【資料：No.34】主要国の火力発電における電力量あたりの
SO_x・NO_x 排出量 (高野裕恵、大平和之)・・・・ 219

【実験資料】探究活動 二酸化硫黄の吸収 (大谷龍二)・・・・・・・・ 220

【資料：No.44】窒素酸化物の排出削減技術 (大平和之)・・・・・・・・ 226

グリーンケミストリー

Green and Sustainable Chemistry



はじめに

GSC が注目され始めました。

でも GSC ってなに？

?

G S Cの学習について

大気について考えるワークシート

1 学習のねらい

大気汚染を引き起こす物質の理解と問題対策を考え、解決策を考える

学習を始めるまえに： ～大気について考える意味～

われわれは、地球の表面で生活しているが、大気の中にいることも確かである。魚が水に囲まれて生活しているようにわれわれは空気に包まれて生活している。そして地殻や水がそうであるように大気も化学資源の宝庫であり、かつ同時に廃棄物を捨てる場所でもある。われわれは、呼吸をし、燃料を燃やし、いろいろな工業生産を行う過程で大気を利用する。人類や他の生物および自然現象でさえも、大気中に気体・液滴・固体粒子を放出する。このようにして大気中に放出される物質には大気に特に影響を与えないものもあるが、その地域、地球環境に重大な悪影響を及ぼす、すなわち大気汚染もある。

わが国やヨーロッパ、北アメリカなどでは酸性雨（酸性の霧やちりなども含む）が、今日大きな問題となっている。酸性雨は酸性のガスである硫黄酸化物（SO_x）や窒素酸化物（NO_x）などが原因と言われている。大気中の硫黄酸化物や窒素酸化物は雨滴に取り込まれ、硫酸の雨や硝酸の雨に変化する。このような雨水は河川や湖沼を酸性化して、そこにすむ生物に影響を与え、樹木などに直接被害をもたらす。

このように、人間活動によっても大気汚染がおこることがあり、その現実を知ることは重要なことである。そのためには、気体の化学的性質や自然界での気体の動きに関する知識が必要である。さらに、大気汚染の歴史的な理解と、人類がとってきた対策についても知る必要がある。また、今後の社会生活において適切な判断を養うため、ワークシートを真剣に考えていく必要がある。

2 学習の方法

大気汚染を引き起こす物質の理解と問題対策をワークシートにそって考える。

1. ワークシートの学習目標とワークシートの構成

過去の大気汚染問題の理解と解決（HCl問題を中心に）

ワークシート1：塩化水素の問題（Na₂CO₃の古い製造法）

ワークシート2：塩化水素の汚染の問題解決（アンモニアソーダ法）

現在の大気汚染問題の理解と今後の解決に向けて（硫黄酸化物と窒素酸化物）

ワークシート3：硫黄酸化物についての理解と問題解決策

ワークシート4：窒素酸化物についての理解と問題解決策

まとめ

ワークシート5：グリーンケミストリーの考え

2. ワークシートの進め方

- 大気汚染についての文章を読み、課題について資料を参考にしながら答えること。
- 本文は途中とばさずに、流れをつかみながら順に読み進めていくこと。
- 設問には資料をよく参考にしながら必ずすべて答えを記入していくこと。

ワークシートと学習の資料 WSはワークシートを示す。

導入ワークシート 大気について考える

資料：No.14 大気汚染物質一覧

WS 1, 2をはじめめるまえに 過去の大気汚染の問題と解決

ワークシート1 塩化水素について

資料：No.11 炭酸アトリウム工業の発達（ルブラン法；アンモニア法以前）

資料：No.12 ルブラン法の化学反応式

資料：No.13 塩化水素による大気汚染の対策（ルブラン法の改良）

資料：No.15 日本の主な大気汚染（図版）

ワークシート2 アンモニアソーダ法

資料：No.21 炭酸アトリウムの新しい製法（アンモニアソーダ法）

実験資料 アンモニアソーダ法による炭酸ナトリウム製造実験（演示）

WS 3, 4をはじめめるまえに 硫黄酸化物や窒素酸化物の問題解決策

資料：No.35 大気汚染関係年表

ワークシート3 硫黄酸化物について

資料：No.31 硫黄酸化物による被害とその対策

資料：No.32 四日市公害とその対策

資料：No.33 脱硫法

資料：No.34 主要国の火力発電における電力量あたりのSO_x・NO_x排出量

実験資料 探究活動 二酸化硫黄の吸収

ワークシート4 窒素酸化物について

資料：No.41 酸性雨の化学反応式

資料：No.42 環境汚染物質の濃度と生物への影響

資料：No.43 窒素酸化物の大気中の増加の影響・環境汚染・被害

資料：No.44 窒素酸化物の排出削減技術

WS 5をはじめめるまえに これまでの復習をしてみよう

ワークシート5 グリーンケミストリーとリスク評価

資料：No.51 年表(1900年代の日本)

資料：No.52 1900年代における日本経済の移り変わり

大気について考えるワークシート

・・・大気汚染を引き起こす物質の理解と問題対策を考え、解決策を考える

学習を始めるまえに： ～大気について考える意味～

われわれは、地球の表面で生活しているが、大気の中にいることも確かである。魚が水に囲まれて生活しているようにわれわれは空気に包まれて生活している。そして地殻や水がそうであるように大気も化学資源の宝庫であり、かつ同時に廃棄物を捨てる場所でもある。われわれは、呼吸をし、燃料を燃やし、いろいろな工業生産を行う過程で大気を利用する。人類や他の生物および自然現象でさえも、大気中に気体・液滴・固体粒子を放出する。このようにして大気中に放出される物質には大気に特に影響を与えないものもあるが、その地域、地球環境に重大な悪影響を及ぼす、すなわち大気汚染もある。

わが国やヨーロッパ、北アメリカなどでは酸性雨（酸性の霧やちりなども含む）が、今日大きな問題となっている。酸性雨は酸性のガスである硫黄酸化物（SO_x）や窒素酸化物（NO_x）などが原因と言われている。大気中の硫黄酸化物や窒素酸化物は雨滴に取り込まれ、硫酸の雨や硝酸の雨に変化する。このような雨水は河川や湖沼を酸性化して、そこにすむ生物に影響を与え、樹木などに直接被害をもたらす。

このように、人間活動によっても大気汚染がおこることがあり、その現実を知ることは重要なことである。そのためには、気体の化学的性質や自然界での気体の動きに関する知識が必要である。さらに、大気汚染の歴史的な理解と、人類がとってきた対策についても知る必要がある。また、今後の社会生活において適切な判断を養うため、このワークシートを真剣に考えていく必要がある。

大気汚染を引き起こす物質の理解と問題対策をワークシートにそって考え、解決策を考える。

1. ワークシートの学習目標とワークシートの構成

過去の大気汚染問題の理解と解決（HCl問題を中心に）

ワークシート 1：塩化水素の問題（Na₂CO₃の古い製造法（アンモニアソーダ法以前））

ワークシート 2：塩化水素の汚染の問題解決（アンモニアソーダ法）

現在の大気汚染の理解と今後の解決に向けて（硫黄酸化物や窒素酸化物の問題解決）

ワークシート 3：硫黄酸化物についての理解と問題解決策

ワークシート 4：窒素酸化物についての理解と問題解決策

まとめ

ワークシート 5：まとめ（グリーンケミストリーの理解）

2. ワークシートの進め方

- 大気汚染についての文章を読み、課題について資料を参考にしながら答えること。
- 本文は途中とばさず、流れをつかみながら前から読み進めていくこと。
- 設問には資料をよく参考にしながら必ずすべて答えを記入していくこと。

過去の大気汚染の問題と解決（HCl を中心に）

酸性の物質を原因とする環境汚染は、19 世紀前半のイギリスですでに問題になっていた。当時、酸性ガスと呼ばれていた二酸化硫黄（ SO_2 ）や塩化水素（HCl）はぜんそくや気管支炎などの原因になったり、植物を枯らしたりするなどの被害をもたらしていた。塩化水素（HCl）による環境汚染の問題はさまざまな対策や経済的ないきさつを経て、19 世紀末に解決された。

ここでは塩化水素（HCl）についての学習を深め、歴史的な背景や流れ、とってきた対策、解決にいたる様子を学ぶ。

ワークシート 1 では塩化水素（HCl）の問題を（ Na_2CO_3 の古い製造法（アンモニアソーダ法以前））ワークシート 2 では塩化水素（HCl）の汚染の問題解決（アンモニアソーダ法）について学習する。

塩化水素について

Na₂CO₃の古い製造法 (アンモニアソーダ法以前)

酸性の物質を原因とする環境汚染は、19世紀前半のイギリスですでに問題になっていた。当時、酸性ガスと呼ばれていた二酸化硫黄 (SO₂) や塩化水素 (HCl) はぜんそくや気管支炎などの原因になったり、植物を枯らすなどの被害をもたらしていた。塩化水素 (HCl) による環境汚染の問題はさまざまな対策や経済的ないきさつを経て、19世紀末に解決された。

1. 塩化水素 (HCl) はどうして出ているのか?

塩化水素の主な発生源は、かつては炭酸ナトリウム (Na₂CO₃) 工場であった。炭酸ナトリウムは工業界にとって大変重要な物質である。18世紀までは木灰や海藻灰などから抽出されたが、ヨーロッパで毛織物工業が発達するにつれて、毛織物の洗浄剤として炭酸ナトリウムが使われ、1789年フランスのルブランは、炭酸ナトリウムの大規模な工業的製法 (ルブラン法) に成功した



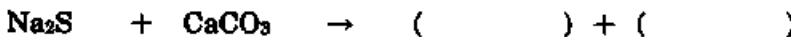
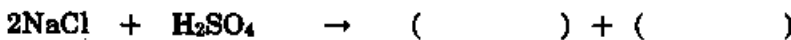
ルブラン

※ 塩化水素はどのようなものか? 教科書や資料からまとめてみよう。

a. 性質	
b. 工業的 利用法	
c. 自然界 での存在	
d. 人体の 健康への 影響	

2. 炭酸ナトリウム (Na₂CO₃) をつくるルブラン法とはどんな方法か?

ルブラン法について資料を参考にして次の化学反応式を書きまとめてみよう。



この反応式を見ながら、どのようにして、炭酸ナトリウムを得たのかことばでまとめてみよう。

[]

3. ルブラン法によって生活はどう変わったか？（資料を参考し説明しよう。）

4. ルブラン法の問題点とは何か？（2の反応式で問題になる物質に下線を引いてみること。）

下線が引けたらどうか？この方法による炭酸ナトリウムの生産は、19世紀に入り急速に拡大したが、同時に塩化水素（HCl）が副生物として出てくる。塩化水素（HCl）が原因の大気汚染も激しくなっていた。

5. 問題点に対して行われたいろいろな対策はどんなことか？

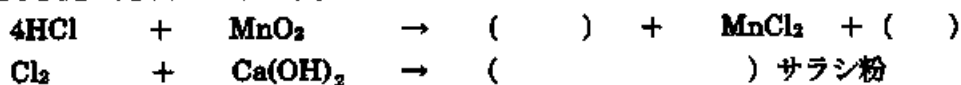
a. 新たな問題が起こった対策（資料を参考にして表にまとめよ。）

○どう解決しようとしたか	1) 具体的な方法	2) 結果としてどのような影響があったか。
①空気中に拡散させた。		
②水で希釈した。		

b. 効果があった対策（資料を参考にして表にまとめよ。）

○どう解決しようとしたか	1) 具体的な方法	2) 結果としてどのような影響があったか。
③回収し利用価値の高いものにかえた。		

※ ③の補足 回収された塩酸はさらに塩素やサラシ粉として利用されるようになった。その化学反応式を表してみよう。



アンモニアソーダ法の登場

塩化水素 (HCl) についての環境問題は、さまざまな対策や経済的ないきさつを経て 19 世紀末に解決されていった。ワークシート 2 ではその過程を学習する。

1. 19 世紀中ごろ考え出されたアンモニアソーダ法ってどんな方法か？

ベルギー人のソルベーは、食塩水にアンモニアと二酸化炭素を吸収させると炭酸水素ナトリウムができることに着目した。炭酸水素ナトリウムを焼けば容易に炭酸ナトリウムを得ることができるので、1861 年にこの製法で炭酸水素ナトリウムの生産を始めた。



ソルベー

教科書などを参考にしてアンモニアソーダ法の化学反応式を何段階かに分けて書こう。

2. アンモニアソーダ法はルブラン法と比べて違いは何か？

以下の点でまとめてみよう。

	ルブラン法	アンモニアソーダ法
① 公害問題はあったか。		
② 副生物は何か。		
③ 原料は何か。		
③ どちらの方法が複雑か。		

3. アンモニアソーダ法の出現でルブラン法はどうなったのか？

アンモニアソーダ法のほうが上でまとめたとおり、利点が多そうに見えるが、イギリスなどでは20世紀はじめまで残ってすぐにはなくならなかった。

4. ルブラン法がすぐにはなくならなかったのはなぜだろうか？

その理由を副生物の利用法を参考にしてまとめよう。



5. ルブラン法が衰退していったのはなぜだろうか？

19世紀末には塩素は電気分解によって安く製造されるようになった。結果、経済的採算が合わなくなり、ルブラン法の工場は順次閉鎖されていった。

ワークシート1、2のまとめ

塩化水素発生による公害問題の解決過程は現在の大气汚染の対策についても参考になる。解決しようとして試みた対策や新しい技術のどんなところが環境に対して効果があったか。ワークシート2の2番などを参考にしながらまとめてみよう。



硫黄酸化物や窒素酸化物の問題解決策

18、19 世紀のヨーロッパでは、工場から塩化水素、硫黄酸化物、窒素酸化物、粉塵、ばい煙などの大気汚染物質が大量に大気中に排出されていた。産業革命が始まったため、製鉄所・火薬工場、セッケン工場、ガラス工場などが多く、各地に建設されたからである。また家庭では、燃料として石炭の消費が急速に拡大した。そのためロンドンなどの大都市では頻繁にスモッグが発生し、ときには死者が出ることもあった。

最近世界各国で酸性雨が問題になっているが酸性雨の原因物質のひとつは硫黄酸化物と窒素酸化物であるといわれている。

ここでは硫黄酸化物（ワークシート3）と窒素酸化物（ワークシート4）について歴史的な背景と、とってきた対策、現在とっている対策を学ぶ。

まず、酸性雨は森林や湖、金属やコンクリートの建造物などにどのような被害をもたらしているだろうか、知っていることを書いてみよう。

硫黄酸化物について

1. 大気中の硫黄酸化物が増えるとどんなことが起こるだろうか。知っていることを書いてみよう。

2. 硫黄酸化物とはどんなものだろうか？

硫黄酸化物について、教科書や資料をもとに次の項目についてまとめてみよう。

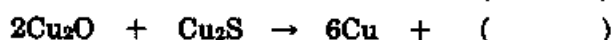
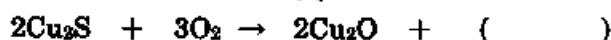
a. 性質	
b. 人体や生物への影響	

3. 硫黄酸化物はどうして発生するのか？

石炭や石油にはたいてい硫黄分が含まれており、燃やすと硫黄分は酸化されて、硫黄酸化物が発生する。また、鉄鉱石や銅鉱石など金属の鉱石には硫化物が含まれていることが多く、金属精錬の過程では、たいてい硫黄酸化物が発生する。

4. 銅の鉱物の精錬過程から硫黄酸化物はどのように発生するのか？

b. 黄銅鉱 CuFeS_2 や輝銅鉱 Cu_2S の精錬の過程で、どのようにして硫黄酸化物が発生するのか、化学反応式を用いてまとめよう。



5. 精錬による被害（日本）はどんなものがあったか？

硫黄酸化物による被害は銅山での精錬によるものが古く知られている。資料をもとに、わが国で起きた被害をまとめよう。

6. 代表的な銅山では硫黄酸化物に対してどのような対策がとられたか。その対策後、どのような問題が起こったか？

硫黄酸化物の対策として栃木県の足尾銅山ではかつて排煙を水を洗って川に流した。愛媛県の別子銅山では精錬所を島に移し農地から遠ざけようとした。これらの足尾、別子の銅山で試みられ硫黄酸化物への対策技術はその結果新たな問題を作った。これまで学習したことを基に問題点を推測せよ。

	対策	その後の課題
足尾銅山		
別子銅山		

7. 四日市では、石油の燃焼で発生した硫黄酸化物によって、どのような被害があり、どのような対策がとられどのような問題が起こったか？

公害問題の一つである四日市ぜんそくは、石油の燃焼による硫黄酸化物、特に二酸化硫黄が原因とみて市は対策をとった。資料を参考に、被害状況と当時とった対策についてまとめてみよう。

8. 現在、火力発電所や金属精錬所でとられている対策にはどんなものがあるのか？

現在の火力発電所や金属精錬所でとられている対策は、排煙脱硫や原油脱硫である。

9. 排煙脱硫とはどんな方法だろうか？

排煙脱硫とは、排煙中の硫黄酸化物を除く方法であり、代表的なものは、二酸化硫黄の石灰乳（水酸化カルシウム） $\text{Ca}(\text{OH})_2$ で中和し、セッコウ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ にして、無害化をする方法がある。教科書や資料を参考にしてその過程を化学反応式で書いてみよう。



10. 原油脱硫とはどんな方法だろうか？

原油脱硫とは、原油から硫黄分を取り除く方法である。これについて、資料を参考にしてまとめ、原油脱硫の利点と問題点について考えよう。

利点	問題点

窒素酸化物について

つぎに窒素酸化物についてみていこう。

1. 大気汚染の原因である窒素酸化物が大気中に増加するとどのようなことが起こるのか？

()

2. 環境問題を引き起こす窒素酸化物 (NO_x) にはどのようなものがあるか？

環境問題を引き起こしている窒素酸化物は、おもに一酸化窒素 NO と二酸化窒素 NO₂ であり、これらの物質について、教科書や資料をもとにまとめてみよう。

	性質	人体への影響
一酸化窒素		
二酸化窒素		

3. 窒素酸化物はどのようにできるのか？

窒素 N₂ と酸素 O₂ が直接化合する反応は、常温では起こりにくい。もし普通の温度で起こってしまったら、空気中の 80% は窒素で 20% は酸素だからほとんどが窒素酸化物になってしまつて地球は窒素酸化物で満たされてしまうことになる。窒素酸化物ができる反応は、高温では反応が起こり、まず、一酸化窒素を生成する。生成した一酸化窒素は、空気中の酸素と早々に反応し二酸化窒素になる。一酸化窒素と二酸化窒素が生成する過程を、化学反応式に書いてみよう。

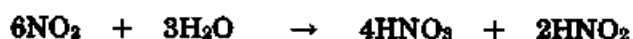
()

4. 生じた二酸化窒素は水に溶けると何になるのか？

生成した二酸化窒素は水に溶けやすく、強い酸である硝酸 HNO₃ ができる。硝酸の工業的製法であるオストワルド法 (高温) での反応を、化学反応式で書いてみよう。

()

※ 低温では、次の反応式で反応する



5. 日本での窒素酸化物の被害の状況はどのようなものであったか？

[]

6. 人間活動で窒素酸化物はどこで発生するのか？ 主なものを二つ書いてみよう。

[]

7. 自然界ではどのように、窒素酸化物は発生しているのか？

[]

8. 人間活動からの窒素酸化物が、自然界で発生するのより少ないのに、なぜ環境汚染として問題になるのか？ 資料を参考にして、その理由を考えてみよう。

[]

9. 窒素酸化物の対策技術として考えられるものは何か？

窒素酸化物による環境問題を解決するには、人間活動を制限する（昔の生活にもどる）のが一つの方法であるが、それは現実的ではない。窒素酸化物の対策技術としてどのような方法が考えられるだろうか。今まで学習してきた対策技術も参考にして、あなたが考えた方法をいくつかあげてみよう。あなたの考えが将来、地球や人類を救うかもしれません。

[]

ワークシート5の前に、これまでの復習をしてみよう。

ワークシート1	塩化水素の問題 (Na_2CO_3 の古い製造法)
ワークシート2	塩化水素による汚染の問題解決(アンモニアソーダ法)
ワークシート3	硫黄酸化物についての理解と問題解決策
ワークシート4	窒素酸化物についての理解と問題解決策

[ワークシート1] 塩化水素の問題 (Na_2CO_3 の古い製造法)

ワークシート1ではルブラン法による炭酸ナトリウム工業の功罪について見てきた。再確認してみよう。18世紀後半に始まった産業革命で盛んになった織物産業から作り出された多量の織物の漂白が、ルブラン法により大量に生産されるようになった炭酸ナトリウムを使って可能となった。それだけでなく、炭酸ナトリウムはセッケンや薬品の原料となり、都市の衛生状態を改善するのに一役買っている。しかし、その一方でルブラン法では副生成物の塩化水素や残滓(カリギユ)からの硫化水素が発生し、大気中に放出されることにより大気汚染が起こった。その対策としてまず採られたのは、高い煙突を建てて塩化水素などを放出したり、水に溶かして川に流したりする方法であった。高い煙突を建てた結果としては、汚染地域の拡大となり、川に流した結果は川の汚染となって現れた。

次に、採られた対策としては塩化水素から塩素やサラシ粉を生成するものであった。これらの生成物は殺菌剤として利用されるようになった。残滓(カリギユ)から発生した硫化水素からは硫黄が生成され、これも試薬の原料として利用されるようになった。これらの改善の結果、ルブラン法としては汚染対策が完了した。ただし、工場は炭酸ナトリウムを生産するとともに副生成物から試薬などを作るため、その規模は大きく複雑になった。

[ワークシート2] 塩化水素による汚染の問題解決(アンモニアソーダ法)

ワークシート2では、ワークシート1を受け、新たな炭酸ナトリウムの製法として、ソルベーによって考案されたアンモニアソーダ法を扱い、ルブラン法と比較した。アンモニアソーダ法では副生成物として固体の塩化アンモニウム(塩安)ができるだけであり、この物質はそのまま肥料として利用される。

上記のように、ルブラン法により大気汚染が発生し、その対策を実施していくのと並行して、大気汚染の発生しないアンモニアソーダ法が開発されていく流れは、まさに炭酸ナトリウム工業におけるグリーンケミストリー(汚染の発生を断つ方法)への転換を示している。すなわち、大気汚染の対策として、まず発生する汚染物質が外に出るとき、高い煙突や水に流すことで対応しようとした。しかし、この方法は汚染を拡大する結果となり、汚染物質が外に出る前に有用な製品(塩素やサラシ粉、硫黄など)に変えるようになった。一方、アンモニアソーダ法は汚染物質そのものが発生しない製法であり、この製法が最も環境にやさしい方法といえる。この一連の流れは、汚染物質が外に出る際の処理、外に出ないようにする処理、汚染物質を発生させないようにする方法への移行である。

[ワークシート3] 硫黄酸化物についての理解と問題解決策

ワークシート3では、化石燃料の燃焼や、鉱石から金属を取り出す精錬などの際に発生する硫黄酸化物による大気汚染とその対策について考えてきた。二氧化硫黄など硫黄酸化物による大気汚染は、足尾銅山や別子銅山などで古くから、また、太平洋戦争後は四日市ぜん息を引き起こした四日市コンビナートでの汚染が知られている。その対策として採られた方法は、足尾銅山では排煙を水で洗って川に流す、別子銅山では農地から離れたところへ精錬所を移転する、日立鉱山や四日市では煙突を高くすることであった。日立鉱山のように気象データを使って成功した例もあったが、多くの場合、汚染を拡大する結果となった。

その後、排煙中の硫黄酸化物を煙突の中で取り除く排煙脱硫が行われるようになった。さらに、原油中の硫黄分を先に取り除いておく原油脱硫が開発され、現在では原油脱硫と排煙脱硫を使ってほぼ完全に硫黄酸化物の大気への放出は抑えられている。

硫黄酸化物による大気汚染の対策も炭酸ナトリウム工業における対策と同様に、まず、発生する汚染物質が外に出るとき、水に流すことや離れた場所への移転、高い煙突などで対応しようとした。しかし、この方法は汚染を拡大する結果となり、汚染対策は汚染物質が外に出る前に取り除く排煙脱硫による方法に変わっていった。さらに、原油脱硫による汚染物質そのものを発生させない方法が組み合わされて行われるようになった。この一連の流れは、炭酸ナトリウム工業と同様に、汚染物質が外に出る際の処理、外に出ないようにする処理、汚染物質を発生させないようにする方法への移行である。

[ワークシート4] 窒素酸化物についての理解と問題解決策

ワークシート4では、現在のところまだ完全には解決されていない窒素酸化物による大気汚染について考察した。窒素酸化物は、光化学スモッグや酸性雨の原因物質の一つとされ、また、幹線道路沿いの住民の健康被害についても問題となっている。

人工的に発生する窒素酸化物は、ボイラーやエンジンの中で空気中の窒素と酸素が高温状態で反応して生成したものである。その大気汚染対策として工場など固定発生源では、硫黄酸化物の排煙脱硫とともに排煙脱硝によりその多くは外に出る前に取り除かれている。一方、移動発生源である自動車では、排気管に触媒をつけて排気の際に窒素酸化物を窒素と酸素に分解しているが、窒素酸化物として排気されるものも少しあり、完全な除去にはなっていないのが現状である。より完全な対策としてどのような方法が考えられるか、案を出してもらった。なお、開発されつつある方法としては、排気管の触媒の改良とともに、エンジン内の空気中の酸素濃度を減らしたり、温度を上げないようにしたりして窒素酸化物の生成を抑える方法や、電気自動車など空気を取り入れて燃焼する過程を経ない方法などが考えられている。この対策でも、汚染物質が外に出ていたものを、外に出ないようにする処理、汚染物質そのものを発生させない方法へと移行していくことが考えられよう。

以上、これまでの汚染対策の推移は同じように進んでいることが認められる。最後の汚染物質そのものを発生させない方法を、最初の段階から念頭に置いて研究開発するように、化学者自身が意識を変えようとしているのがグリーンケミストリーである。

グリーンケミストリーとリスク評価

[リスク評価]

環境汚染などに対するリスク評価としては、一般に次の四つの方法が考えられている。

- (1) 自然状態との比較による方法：バックグラウンド法
例えば、テレビからの放射線の影響を自然からの放射能と量的に比べて見積もる。
- (2) 代替となるものとの比較による方法：バランス法
例えば、発電方法として、火力発電や原子力発電、水力発電、自然エネルギーを使った発電等のコストや問題点などを比べる。
- (3) 全く違った種類の危険性との比較による方法：比較法
例えば、自動車旅行で事故にあうリスクと水泳で事故にあうリスクを比較する。
- (4) 当面している問題の利益と害との比較による方法：リスク（コスト）－便益法
例えば、農薬を使うリスクと野菜を安く買える益を比べる。

これらの評価法はエネルギーと環境問題などいろいろな判断・意思決定をする際に役立つ方法である。

環境汚染に対して環境基準などが決まっているが、これは一般に「危険性は普通の個人や社会が許せる程度に小さい」と判断される量のことである。実際には「現在の科学的知識で、普通の人の体にも、その子孫にも異常が起こらないであろうと考えられる量」を職業人の限度とし、一般人に対する限度はその100分の1というように安全率を見込んで設定し、安全を図るようにしている。

ところで、これからは一般社会における問題と科学や技術との関連がさらに強まっていくことが考えられる。例えば、医療では納得診療（インフォームド・コンセント）に象徴されるように患者自身の判断・意思決定が重視されるようになってきた。エネルギーや環境の問題でも同様である。社会に出て科学技術の知識が必要な対象者は、研究者や技術者ばかりでなく、ジャーナリストや一般市民も含まれるようになってきている。科学や技術に関連した社会問題に関して判断・意思決定する場合には、文科系を含めた一般の人々にとってもその基礎として自然科学的な素養、総合的な自然観を身につけていることが、多くの個人や社会全体に利益をもたらす方向への結論を導くために重要なことと思われる。

また、これからの技術革新においても研究者や技術者だけでなく、一般市民がその意思決定に参加する機会が増えるであろう。さらには、一般市民も交えた科学技術の推進が必要となろう。科学技術を一般市民に受け入れてもらえばよいとしていた考え（Public Acceptance）は、科学技術を理解してもらうよう（Public Understanding）に変わってきている。これはさらに科学技術者とともに一般市民も主体的に科学技術に関われるよう（Public Commitment）に移行していくものと思われる。

[グリーンケミストリー]

一方、研究者や技術者も考え方を切り替え始めており、その一つがグリーンケミストリー（環境にやさしい化学）である。グリーンケミストリーとは環境汚染を防ぎ、化学物質の合成や設計をする化学であり、汚染が発生してからの処理ではなく、汚染そのものの発生を断つための原理や方法論のことで、欧米や日本の化学会で汚染を防ぐ画期的な手段として注目を浴びている。また、それを推進する運動のことも指す。

グリーンケミストリーを推進していく大事なポイントの一つに、対症療法ではなく、物質の科学である化学を駆使して抜本的にリスクを除こうとすることがある。

リスクは次のように表せる。

$$\text{リスク} = \text{危険性} \times \text{暴露量}$$

これまでは産業界も社会も、危険性が同じであるなら暴露量（危険にさらされる人数と汚染の程度）を減らすことでリスクも減らすことを中心に考えてきた。グリーンケミストリーでは、危険性そのものも減らそうとしている。グリーンケミストリーでの手段を使えば、物質そのものを無害に近づけていくことになるのでリスクは確実に減り、無害となれば漏れてもリスクが増えることはなくなり、環境に出ても心配はいらないことになる。

グリーンケミストリーにはその精神を表した12か条がある。

1. 廃棄物は「出してから処理」ではなく、出さない。
2. 原料をなるべくむだにしない形の合成をする
3. 人体と環境に害の少ない反応物・生成物にする。
4. 機能が同じなら、毒性のなるべく小さい物質をつくる。
5. 補助物質はなるべく減らし、使うにしても無害なものを。
6. 環境と経費への負荷を考え、省エネを心がける。
7. 原料は、枯渇性資源ではなく再生可能な資源から得る。
8. 途中の修飾反応はできるだけ避ける。
9. できるかぎり触媒反応を目指す。
10. 使用後に環境中で分解するような製品を目指す。
11. プロセス計測を導入する。
12. 化学事故につながりにくい物質を使う。

上記の中で、1と11は暴露量の低減を、2と6～9は廃棄物の低減を、3～5と10、12は危険性の低減をねらいとしているものと考えられる。

この中で、2では、目的物の収率が100%であっても、原料の原子それぞれが100%目的物に利用されているとは限らないことから、利用の割合を示すアトムエコノミー（原子の利用率）の考えが必要とされてきている。9でも、多様な試薬を使うと、一般にいろいろな副生成物が生じてアトムエコノミーも小さくなるので、それを避ける意味で触媒反応を目指す。また、触媒を使うことで必要な反応だけを選択的に起こすことも可能となる。

このように、これからの科学技術を望ましい方向へ進めていくためにも、判断・意思決定に役立つ科学的な見方や考え方が研究者にも、技術者にも、一般市民にも必要な素養となってきた。

学習履歴シート

【学習前】

「大気汚染」という語を使って文を三つ書いて下さい。

____年 ____組 ____番

氏名 _____

ワークシート1

学習した内容を要約してください。

ワークシート3

学習した内容を要約してください。

ワークシート2

学習した内容を要約してください。

ワークシート4

学習した内容を要約してください。

【学習後】

この学習で何を学びましたか。
「大気汚染」という語を使って文を三つ書いてください。

○学習前—学習中—学習後をふり返って、あなたはどう思いますか。自由に書いてください。

○学習しての感想を書いてください。

その5で学習した内容を要約してください。

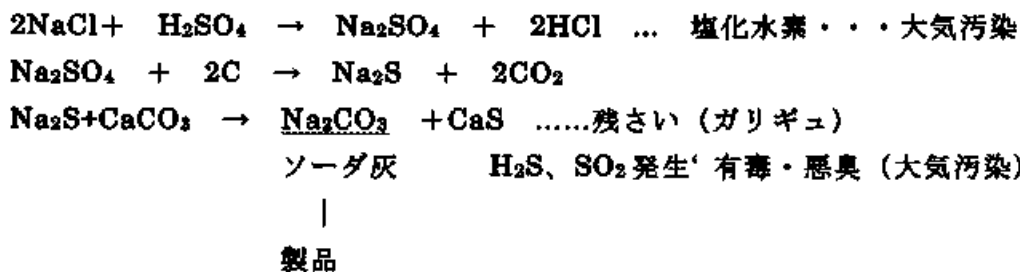
将来、科学技術をどうしたらよいと思いますか。それはなぜですか。

学習しての感想を書いてください。

18世紀末、ヨーロッパでは産業革命が急速に進む中で、織物産業が盛んになり、織物を漂白するため大量のアルカリが必要になった。それまでの漂白法は、灰汁による煮込み、天日さらし、酸敗したミルクに浸すなどの方法であった。機械による織物の大量生産にともない、漂白剤の原料である木灰・海藻灰やミルクが不足し、それにかわる剤の大量生産が必要になった。

1789年、ルブラン法の成立によって植物の灰に代わる炭酸ナトリウム（ソーダ灰）の工場生産が可能になり、これが織物の漂白に大量に使用されるようになった。また、炭酸ナトリウムは織物の漂白の他に、ガラス、石けん、染料、薬品の製造にも使用された。特に石けんは織物の仕上げに使用されたため、産業革命の進行とともに、石けん製造業が急速に拡大した。また、人口が急増した都市の衛生環境を保つために、安価に製造された石けんが庶民の間でも必需品となった。このように、炭酸ナトリウムは織物産業や人々の日常生活に必要不可欠な物として、ルブラン法により大量に生産された。

【資料：№ 12】 ルブラン法の化学反応式



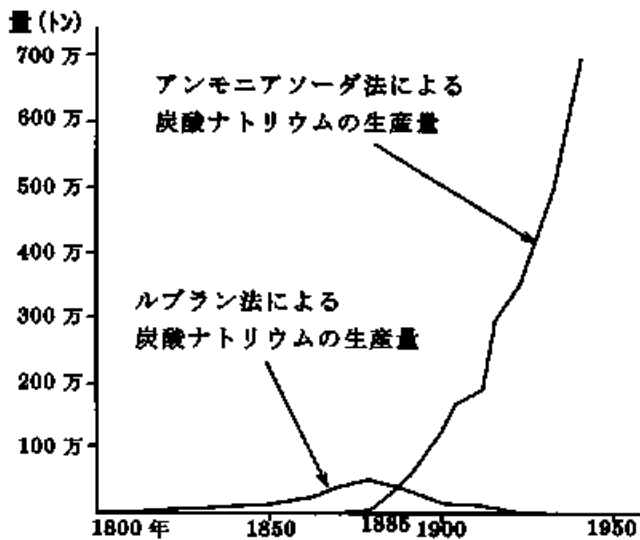
【資料：№ 13】 塩化水素による大気汚染の対策（ルブラン法の改良）

- 1791 フランス人のルブランが炭酸ナトリウム（ソーダ灰）製造法の特許を取得。
- 1810頃 ルブラン法による炭酸ナトリウム製造の過程で、塩化水素（HCl）ガスが発生し、それによる大気汚染が問題となった。
- 1814 フランスのソーダ灰生産量が、年間1万トンに達した。
- 1823 イギリスのリバプール市に高煙突（90m）の工場を建設した。HClガスを拡散しようとしたが、結果は、さらに汚染地域が広がった。
- 1828 同工場、HCl公害のため人口の少ないセント・ヘリンズへ移転させられた。
- 1836 イギリス人のゴッセージが水にHClガスを溶かし塩酸として回収する吸収塔を開発した。しかし、塩酸の用途が少なく、川に流し捨てたので河川の汚染が発生した。
- 1863 イギリスでは、ルブラン法工場に対する規制法（アルカリ条例）が制定された。（濃度5%以上のHClガスの放出を禁止）

- 1870 頃 ゴッセージの吸収塔で回収した塩酸を原料とする、さらし粉（漂白剤）の製造（ウェルドン法）が普及した。これによって、HCl 公害はほぼ解決した。
- 1880 ルブラン法による世界のソーダ灰生産量が、年間 54.5 万トンのピークに達した。
- 1881 アルカリ条例をルブラン法以外の工場にも適用し、アルカリ工場規制法とした。
- 1887 廃棄物のガリギユ（ H_2S などの発生源）対策として、イギリス人のチャンスが硫黄（S）の回収法を発明した。これによって、ルブラン法の公害対策は、ほぼ完成した。

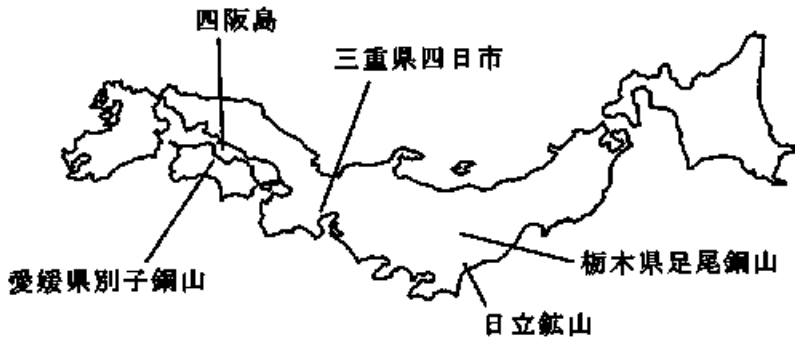


ガリギユ



世界の炭酸ナトリウムの生産量

	塩化水素(HCl)	硫黄酸化物(SO _x)	窒素酸化物(NO _x)
工業的利用方法	塩化水素HClは水に溶け易く、水に溶けると塩酸になる。様々な化学工業に使われ、さらし粉(漂白剤)、薬品、マッチ、塩化ビニルなどの原料になる。 (例) $4\text{HCl} + \text{MnO}_2 \rightarrow \text{Cl}_2 + \text{MnCl}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$ 塩素 $\text{Cl}_2 + \text{Ca(OH)}_2 \rightarrow \text{CaCl}_2(\text{ClO}) \cdot \text{H}_2\text{O}$ さらし粉	SO _x はS(硫黄)やH ₂ SO ₄ (硫酸)として回収し、工業に利用される。また、水と石灰を用い石こうにする。 $\text{SO}_2 + \text{Ca(OH)}_2 + \text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2}\text{O}_2 \rightarrow \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 石こう	
自然界での発生源	火山ガスなどに含まれ、大気中にごく微量存在する。	火山ガス、生物の遺体、湿地帯や干潟などから発生する。年間2,000万トン。	主に、土中のバクテリアの活動などにより発生する。いなづま(空中放電)によっても発生するがごく微量である。年間18,000万トン。
人工的な発生源	19世紀前半から20世紀初め、ヨーロッパでは炭酸ナトリウム工場からHClガスが大量に放出され、深刻な大気汚染を招いた。現在ではゴミ処理などでHClガスが発生するが、その量はごく僅かである。	化石燃料の燃焼(火力発電所、工場・ビルのボイラーなど)、鉱石の精錬所などで発生する。年間21,200万トン。	主に化石燃料の燃焼による。工場・事業場のボイラーなどの固定発生源や、自動車・航空機のエンジンなどの移動発生源がある。家庭の暖房などからも発生する。年間7,500万トン。
人体への影響	のど、目、鼻などを刺激し、それらの炎症や気管支炎などをおこす。工場などで作業する場合の、許容限界濃度は5ppmである。1,200ppm以上の所に約1時間いると死亡することがある。	のどや肺を刺激して気管支炎、ぜんそくを引き起こし、肺炎になることもある。慢性の中毒では鼻やのどがはれたり、歯をいためたりすることもある。 SO ₂ の環境基準は、1時間値の1日平均が0.04ppm以下で、その1時間値が0.1ppm以下と規定されている。600ppmの所に約1時間いると死亡することがある。	のどや鼻を刺激し気管支炎を引き起こすが、その作用は硫黄酸化物ほど強くない。しかし、高濃度のNO _x を吸収すると肺に障害をおこす。 NO ₂ の環境基準は、1時間値の平均が0.04~0.06ppm以下と規定されている。また、工場などでの許容濃度は3ppmとされている。320~530ppmの所に30分~1時間いると死亡することがある。
生物への影響	植物の葉を変色、変形させる。雨滴に取り込まれると酸性雨となり植物を枯らす。	一般に植物はSO _x に弱く、30~60ppmでも枯れることがある。このため、農作物には大きな影響を及ぼす。また、SO _x は酸性雨の原因となり、広範囲に植物を枯らし、湖を酸性化し魚類などに影響を及ぼす。	酸性雨の原因となり植物を枯らし、湖を酸性化し魚類などに影響を及ぼす。

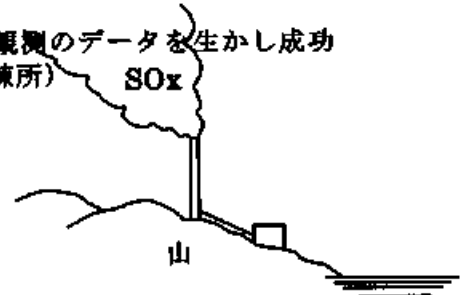


高煙突による拡散の効果

海上気象のデータ不足で失敗
(四阪島精錬所)



高層気象観測のデータを生かし成功
(日立精錬所)



方法が同じでも、条件が違うと、効果が違う。
結果と条件は、必ず結びつけて考えなければならない。

【資料：No. 21】 炭酸ナトリウムの新しい製法(アンモニアソーダ法)

19世紀半ば、新たにアンモニアソーダ法(ソルベー法)が確立し、その後、ルブラン法に代わって炭酸ナトリウム生産の主流になった。アンモニアソーダ法は、原料のアンモニアが安く供給され、また、アンモニアや二酸化炭素を回収し、再び原料として使用するので、生産効率が高く、製品を安く作ることができる。塩化水素(HCl)や硫化水素(H₂S)などの汚染物質を排出することもない。アンモニアソーダ法では、塩化アンモニウム(NH₄Cl)を副産物としてとり出すこともできる。NH₄Clは農産物の肥料になる。

一方、ルブラン法では、副生するHClや硫化カルシウム(CaS)を、有用なサラン粉(CaCl(ClO)・H₂O)、硫黄(S)、塩素(Cl₂)などに変えるための設備が必要であり、全工程が複雑で、製品の炭酸ナトリウムの価格が高くなった。Cl₂は都市生活を支える飲料(水道)水の滅菌・消毒になくてはならないもので、当時も多く必要があった。このため、アンモニアソーダ法が主流になってからも、ルブラン法による工場は、Cl₂やさらし粉など副産物の需要に支えられて、経済的に採算が成り立っていた。

しかし、19世紀末から20世紀初めに食塩水の電解法が確立し、Cl₂が安く生産されるようになると、ルブラン法では炭酸ナトリウムは生産されなくなった。

ワークシート2の学習と並行して実験を進める。

なお、反応（3）は授業開始10分前に開始。

準備 器具：ガラス円筒容器（直径3cm、長さ30cm程度）、マグネチックスターラー、500mlフラスコ、温度計、500mlビーカー、ガラス管、ゴム管、洗気瓶

試薬：濃アンモニア、塩化ナトリウム、石灰岩（大理石）、塩酸

実験方法

(1) 200ml三角フラスコ等を用い、濃 NH_3 溶液25mlに水25mlを加え、さらに NaCl 15gを加えて激しく攪拌し、 NH_3 を多量に含む NaCl の飽和溶液をつくる。これをガラス円筒容器に移す。 NaCl が溶けきらない場合は上澄みを使用する。

(2) 二酸化炭素発生の準備

500mlフラスコに、大理石塊を40g程度入れておく。

濃 HCl 60ml 蒸留水を加え、全量を200mlにした希 HCl を準備する。

(3) 二酸化炭素との反応

3-1) 下のような装置を用意。

今回、反応容器には直径3cm、長さ30cmのガラス製円筒容器を使用した。

反応容器には、ガラス製円筒型容器以外に、三角フラスコ、洗気瓶等が使用できる。

（経験的に、細長い容器が反応時間が短いようである。）

3-2) NH_3 と NaCl の混合飽和溶液に CO_2 を通じる。

この際、スターラーで攪拌し反応を促す。

温度は28～32℃程度に保つ。（水浴で実験し、氷や湯で調節すると良い。）

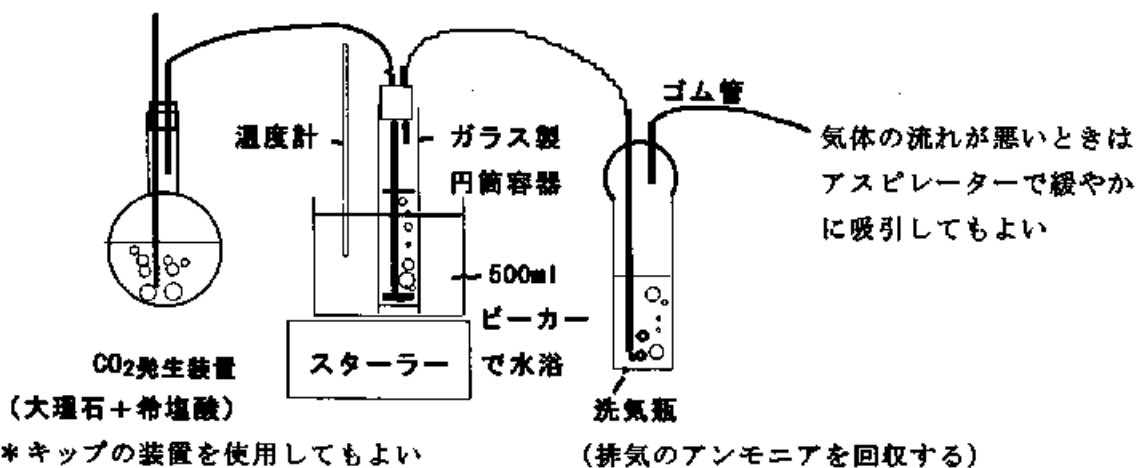
おおよそ30分程 CO_2 を通じ続けると反応液が白濁し始め、その後5～10分で炭酸水素ナトリウムの微細な白色針状結晶が多量に生じ液全体が真っ白になる。

この間、 CO_2 が発生し続けるよう、適宜大理石や希 HCl を適宜追加する必要がある。

(4) 生じた結晶を吸引ろ過し水洗後、少量を試験管にとり水に溶かす。フェノールフタレインを加えると微赤色を示す。

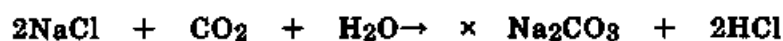
また、生じた結晶をろ紙に挟んで押さえて水分をできるだけとった後、蒸発皿で加熱すると炭酸ナトリウムの白色微粉末結晶ができる。

水に溶かしてフェノールフタレインを加えてみると濃い赤色が確認できる。



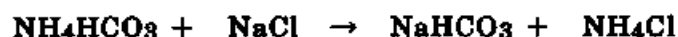
反応の仕組みについて

食塩から炭酸ナトリウムを製造する目的で、食塩水に二酸化炭素を通じても炭酸ナトリウムは得られない。この反応は逆反応に進みやすい反応である。



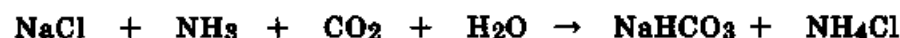
- ・ CO_2 は水にわずかに溶けて一部 H_2CO_3 になる。
- ・ H_2CO_3 はその一部が電離し、 HCO_3^- となるが、わずかな量である。
- ・ CO_3^{2-} にいたってはさらにわずかである。
- ・ そこで NaHCO_3 や Na_2CO_3 が結晶となって析出することはできない。

しかし、 NH_3 を十分に溶かしておく、と、 H_2CO_3 との中和反応がおこる。 $(\text{NH}_4\text{HCO}_3)$ 等) そして、 HCO_3^- の濃度が充分大きくなれば、 NaHCO_3 が析出し始める。



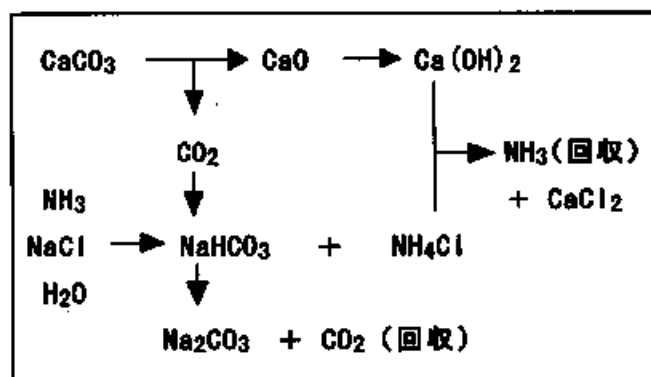
まとめ

反応をまとめると次のようである。



工業的には、石灰石を焼いて発生する二酸化炭素を反応に使い、得られる水酸化カルシウムはアンモニアの回収に用いる。

また、炭酸水素ナトリウムを焼いて発生する二酸化炭素も回収して利用する。



これら全体を一つの式にまとめると、



a. 金属精錬による硫黄酸化物

(栃木県足尾銅山の煙害)

- 1877 足尾銅山で、銅の大規模な生産が始まった。
- 1882 SO_xによる煙害が表面化した。山林が枯れ、農作物も大きな被害を受けた。
- 1888 栃木県松木村で桑の木がすべて枯れ、養蚕ができなくなった。
- 1890 SO_xにより森林が枯れ、山に保水能力がなくなり、渡瀬川が大洪水を起こした。
- 1903 住民の立ち退きにより松木村が消滅した。
- 1907 洪水対策として、谷中村を強制移転し、遊水池をつくった。
- 1967 公害対策基本法公布。
- 1973 足尾銅山閉山。

(愛媛県別子銅山の煙害)

- 1885 別子銅山で洋式溶鉱炉が使用され、銅の生産量が増すとともに、米や麦に SO₂による煙害が広がった。
- 1904 精錬所を、農地から離すため、瀬戸内海の四阪島(シカジマ)へ移転したが、SO₂ガスは海上を広がり、かえって煙害の区域が拡大した。
- 1910 別子銅山の生産を制限した(米・麦生産期間の40日間操業を制限し、10日間は停止した)
- 1939 中和工場の完成により、煙害はほぼ解決された。
- 1973 別子銅山閉山。

三重県四日市の大気汚染の主な原因物質は二酸化硫黄(SO₂)と、硫酸ミスト(硫酸を含んだ霧)である。これらはぜんそく、気管支炎、肺炎などの呼吸器障害をひき起こした。四日市コンビナートは、わが国の高度経済成長に役立ったが、同時に大気汚染、水質汚濁などの公害を招いた。

- 1960 第1コンビナートが完成し、本格的に稼働を始めた。同時に、ばい煙被害が表面化した。
- 1962 SO₂濃度が最高2.5ppmに達した。(日本公衆衛生協会の許容値は0.1ppm)
- 1964 四日市市、「ばい煙(ススや煙)規制法」の対象地域に指定された。
- 1965 火力発電所が120mの高煙突を使用し始めた。これにより煙突の近くの濃度は低くなったが、汚染地域が広がった。
- 1966 「ばい煙規制法」によりSO₂の排出基準を0.18%以下とした。
- 1968 企業側が「使用燃料を硫黄分1.7%以下の重油とする。」と発表した。
- 1969 脱硫装置により硫黄分1.7%以下の重油が作られるようになった。
コンビナートと住宅地の間に、緑地帯を作ることが考えられた。
- 1984 四日市公害による公害病の認定者数が、12月末で約1,000名になった。

a. 排煙脱硫

1.石灰乳または石灰石粉末の水スラリー（泥状の混合物）に SO₂ を吸収させる。

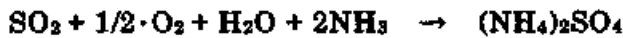
生成する亜硫酸カルシウムを空気酸化して石膏にする。



2.SO₂ を活性炭に吸着させ、これを酸化し、水に吸収させ硫酸として回収する。



3.NH₃ と H₂O により SO₂ を硫酸アンモニウムに変える。



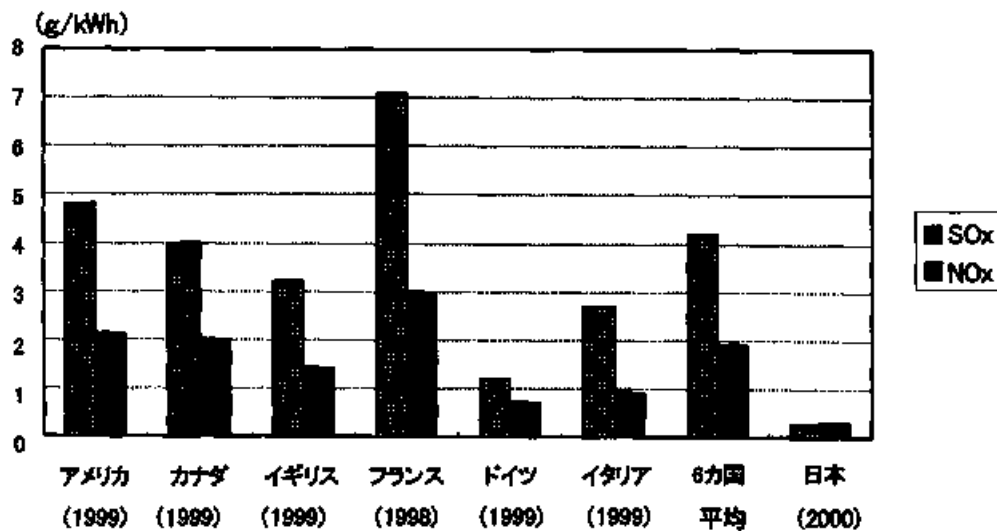
b. 原油脱硫（水素化脱硫）

石油に含まれる硫黄は、水素ガスを数十気圧、300～400℃で触媒を用いて反応させると、硫化水素(H₂S)として除去できる。H₂S は次の反応により硫黄として回収される。



原油脱硫は、石油製品を燃焼させる前に硫黄分を除くので、多量の硫黄酸化物を大気中に放散させずにすむ利点がある。しかし、現在の方法では原油中の硫黄分を完全に取り除くことはできない。原油の中にわずかに残った硫黄分を完全に取り除くには、複雑で大規模な装置が必要となり、経済的にも多くの問題が残っている。そこで排煙脱硫と組み合わせることで大気への放出をほとんど抑えている。

【資料：No. 34】 主要国の火力発電における電力量あたりの SO_x・NO_x 排出量 [WS3,WS4]



化石燃料を燃焼させる火力発電所からは、大気中に硫黄酸化物 (SO_x) や窒素酸化物 (NO_x) が排出されるが、日本の火力発電所から発生する SO_x や NO_x の排出量は対策に早くから取り組んだ結果、先進諸国と比較して、極めて低い値となっている。

【課題】 二酸化硫黄は、炭酸カルシウムと水の混合物に吸収されるだろうか。

【仮説】 二酸化硫黄は、炭酸カルシウムと反応して亜硫酸カルシウムになるだろう。

【準備】 器具：二股試験管 1 個、三角フラスコ (300 ml) 1 個、ビーカー (50 ml) 3 個、
 ビーカー (100 ml) 2 個、ロート、ゴム管、ガラス管、ガラス棒、ゴム栓、ろ紙、
 自動かくはん器、かくはん子
 薬品：亜硫酸ナトリウム 1.26 g、6 mol/l 希硫酸 2 ml、炭酸カルシウム 1 g、
 純水 30 ml、バックテスト ClO、うすい塩素水 60 ml

【操作】

- (1) 亜硫酸ナトリウム 1.26 g、6 mol/l 希硫酸 2 ml を二股試験管に入れ、これらを反応させることにより二酸化硫黄を発生させ、下方置換により 300 ml 三角フラスコに捕集する (図 1)。捕集した後は、三角フラスコにゴム栓をしておく。
- (2) 二酸化硫黄を捕集した三角フラスコの栓をはずし、手で仰ぎながら二酸化硫黄のにおいを嗅ぐ。次に、炭酸カルシウム 1 g と純水 30 ml を入れ、再びゴム栓をした後、よく振る (図 2)。
- (3) 三角フラスコの栓をはずし、手で仰ぎながら、再びにおいを嗅ぐ。



図 1 二酸化硫黄の発生

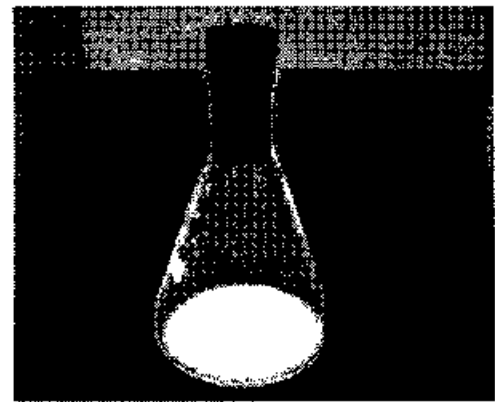
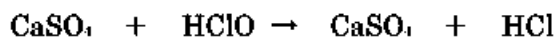


図 2 二酸化硫黄の吸収

- (4) (2)で三角フラスコに生じた反応物をひだつきろ紙を使ってろ過する。
- (5) 50 ml ビーカーに 30 ml の塩素水を入れ、これに得られた生成物 (亜硫酸カルシウム) を薬さじで加え、よくかき混ぜる。再び、ひだつきろ紙を使ってろ過し、ろ液の残留塩素濃度をバックテストで調べる。また、塩素水の残留塩素濃度を同様に、バックテストで調べ、両者の濃度を比較する。
- (6) 対照実験として、50 ml ビーカーに 30 ml の塩素水を入れ、これに炭酸カルシウム 1 g を加えよくかき混ぜる。ひだつきろ紙を使ってろ過し、ろ液の残留塩素濃度をバックテストで調べる。

【学習のポイント】

- (1) 亜硫酸カルシウムは、空気中で安定であり、水にもわずかししか溶けない。脱塩素作用があるため、水道水中の脱塩素剤（残留塩素除去物質）として市販されている。



- (2) 二酸化硫黄と炭酸カルシウムの反応の化学反応式を答えよ。
-

【結果の処理】

	反応前	反応後
におい		
	炭酸カルシウム	生成物
脱塩素作用		

【考察】

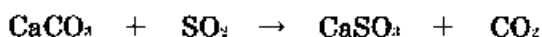
実験結果から仮説が正しかったかどうかを判断せよ。

【感想】

教師用手引き

1 化学反応式

炭酸カルシウムと二酸化硫黄の反応の化学反応式

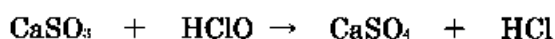


2 留意点

- (1) 二酸化硫黄を発生させるときは、ドラフト内で行う（ SO_2 の危険性より）。あるいは、予め三角フラスコに二酸化硫黄を捕集したものを用意しておいてもよい。
- (2) 排煙脱硫装置では、二酸化硫黄を石灰石と水の混合物に吸収させて、亜硫酸カルシウムとしているが、本実験は、その扱いやすさから炭酸カルシウムを使用した。
- (3) 二酸化硫黄が炭酸カルシウムと反応して亜硫酸カルシウムが生成したことは、二酸化硫黄のおいがなくなること、生成物が脱塩素作用を示すことにより確認できる。炭酸カルシウムは脱塩素作用を示さない。

3 グリーンケミストリー教材としての評価

- (1) 本教材は、高校の無機化学教材であり、また、本教材を化学Ⅰにおける発展的な探究活動として位置付けた。本実験は、火力発電所の排煙脱硫装置で行われている方法の一部を再現したものであり、12 か条の2『原料をなるべくむだにしない形の合成をする』、12 か条の3『人体と環境に害の少ない反応物・生成物にする』に該当する。
- (2) 亜硫酸カルシウムは、空气中で安定であり、水にもわずかししか溶けない。脱塩素作用があるため、水道水中の脱塩素剤（残留塩素除去物質）として市販されている。



亜硫酸カルシウムを脱塩素剤として使用すること（塩素水中の残留塩素を測定することによりその効果を確認する）により教材としての付加価値を高めた。使用したパックテストは、パックテスト ClO 残留塩素（株式会社共立理化学研究所）である。

実験結果 → 塩素水の残留塩素濃度 5 ppm以上

亜硫酸カルシウム処理後の塩素水の残留塩素濃度 0.1 ppm以下

炭酸カルシウム処理後の塩素水の残留塩素濃度 5 ppm以上

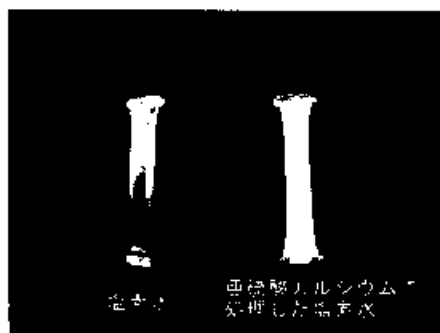


図7 亜硫酸カルシウムによる脱塩素効果



図8 炭酸カルシウムによる脱塩素効果（効果なし）

また、亜硫酸カルシウムは食品業界では大量に使用されている。例えば、還元果汁の製造時には薄めるための水道水の脱塩素処理に使用され、炭酸飲料水のベンダーマシンの紙コップにも発泡性をよくするため表面にコーティングされている。このため、学習内容が、日常生活に関連している。

なお、本研究の一部は科学研究費基礎研究(B) (課題番号 14380066、代表松原静郎) による。

4 参考文献

- (1) 『東京電力横須賀火力発電所案内』 1992年 東京電力横須賀火力発電所
- (2) 風呂用脱塩素剤ソフトパウダーについて、2003年8月21日以下より検索，
the World Wide Web : <http://www.spice.or.jp/~torex/soft2.html>
- (3) ミネラルシャワー、2003年8月21日以下より検索，
the World Wide Web : <http://www.mahoraba.ne.jp/~mellisa/user/shower/genri.html>



排煙脱硫装置



火力発電所では、排ガス中の硫黄酸化物を石灰石と水の混合液に吸収させ、酸素と反応させることによりセッコウとして除去しています。

大気汚染関連の年表

年号	大気汚染、煤煙、酸性雨(霧)	備考
1789	ルブラン法の発明	エネルギー源としてはおもに石
18前半	(欧米)公害の被害報告	
1853	(英)煤煙法成立	
1861	(ベルギー)アンモニアソーダ法の発明	
1893	(日)別子銅山の煙害発生	
1930	(ベルギー)大気汚染(亜硫酸ガスなど)のため60人死亡、数千人に被害	
1945	(米)ロサンゼルスで光化学スモッグ(炭化水素と窒素の酸化物が紫外線により過酸化物質となる)が観測される	(米)最初の原爆、広島、長崎へ投下
1948	(米)ドラノで二酸化硫黄などによる汚染で5900人が中毒20人が死亡	
1952	(英)ロンドンでスモッグ(亜硫酸ガス)より4000人死亡	エネルギー源として石油が中心
1954	(米)ゴーム、雨の酸性化は化石燃料によることを明らかにする	
1956	(英)大気清浄法	
1961	(日)四日市でぜん息患者多発	
1962	(英)ロンドンで煤煙により340人死亡 (日)日本1週間にわたって光化学スモッグ(日)煤煙規制	
1967	(スウェーデン)土壌学者オーデン博士酸性雨の原因の論文発表	(日)公害対策基本法制定
1968		国連ではじめて環境問題が登場
1969	(日)大気汚染防止法制定	(日)東京都公害防止条例法
1970	(日)東京で光化学スモッグの被害発生 (日)四日市地方でアサガオの花弁脱色事件	このころよりエネルギー源として原子力力がつかわれはじめる
1971	(日)千葉県木更津中心に約6千人が光化学スモッグによる被害、その後東京で集団被害 (日)自動車の排ガス規制強化 (加)オンタリオ州で雨のあとや雪解け時にマス、スズキの大量死	(日)環境庁発足 (日)悪臭防止法施行
1972	(日)四日市ぜん息の裁判で患者側の勝訴 (日)無鉛ガソリン適合者へ切替 (米)アラスカのバローがアリゾナの2倍の大気汚染度 (スウェーデン)国連人間環境会議はじめて酸性雨が人々にしられた	
1973	(日)窒素酸化物の排出基準決定 (日)二酸化炭素、光化学オキシダントの環境基準決定 (日)静岡県3地区で強酸性の霧雨降る一このころより酸性雨に対する関心が高まり始めるが、当時は湿性大気汚染と呼んでいた	ワシントン条約-絶滅のおそれのある野生動物種の国際取引に関する取り決め
1975	(米)ニューヨークで酸性の湖が51%のうち90%でマスが死滅	(日)有吉佐和子「複合汚染」出版
1976	(日)硫黄酸化物の総量規制実施	
1978	(日)二酸化窒素の環境基準改正	
1979	(国連)欧州委員会環境大臣会議で長距離越境大気汚染条約採択 (日)市原、川崎市にpH3.3の酸性雨が降る	
1980	(日)前橋市H2.86の強酸性雨 (米)国家酸性雨影響計画(NAPAP)制定 (加)オンタリオ州の約140の湖で酸性により魚がいなくなった	IUCN、世界自然保全戦略発表
1981	(独)酸性雨による森林被害の報告 (米)北東部からカナダにかけて森林被害調査がはじまる	FAO西暦2000年の農業-食糧生産と有効購買力の分配の改善
1982	(中)酸性雨調査	
1984	(米)政府技術評価局、酸性雨と大気汚染の移動を報告 (日)東京各地で杉木の枯死 (加)オタワで環境問題担当閣僚会議-酸性雨の基になる硫黄酸化物を今後10年以内に30%減少を採択	
1985	(ノルウェー)南部の酸性雨の被害深刻 (国連)ヘルシンキ議定書締結(SOx排出量削減)	
1987	ヨーロッパで長距離越境大気汚染防止条約に基づくヘルシンキ議定書発効-硫黄酸化物の排出量を1993年までに1980年の30%削減	
1988	(国連)ソフィア議定書締結(NOx排出量凍結)	
1990	(日)粉じん公害の原因であるスバイクタイヤの使用を規制する。	
1992	(日)自動車NOx法策定 (国連)地球サミットの開催	
1995	(日)西淀川公害訴訟で始めて国の賠償責任を認める判決	
1997	(米)ディーゼル排気微粒子(DEP)排出環境基準を制定	
2001	(東アジア)10カ国で酸性雨モニタリングネットワーク開始 (日)改正自動車NOx法制定 (日)東京都環境確保条例施行(ディーゼル車対策) (日)自動車税制グリーン化	

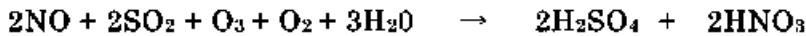
【資料:No. 41】 酸性雨の化学反応式

[WS3,WS4]

大気中で SO_x 、 NO_x はおもに O_3 、 O_2 、 H_2O 、 H_2O_2 などと反応し酸性雨となる。



硝酸



硫酸 硝酸

【資料:No. 42】 環境汚染物質の濃度と生物への影響

[WS3,WS4]

大気汚染物質が生物にどの程度の影響を与えるかは、通常、その物質の濃度によって決まる。発生量が全体としては少なくとも、部分的に高い濃度のところがあれば、そこにいる生物は強い影響を受ける。塩化水素ガスによる被害は、ルブラン法による炭酸ナトリウム製造工場周辺でおきた。また、光化学スモッグの被害は、たくさんの自動車が集まる大都市で発生した。

NO_2 ガスの発生する工場などで働く人について、 NO_2 の許容濃度は 3ppm 程度と考えられている。許容濃度とは、その濃度の所で働き続けても、障害は起きないだろうと考えられる濃度の事である。

二酸化炭素の増加によって地球の温暖化が心配されるなどの例は、大気汚染のもう一つの型である。 CO_2 の濃度増加は、生物に直接被害をもたらすようなものではないが、地球上の環境を変化させるので、その環境の変化が生物に被害を与えるのではないかと心配されている。

【資料:No. 43】 窒素酸化物の大気中での増加の影響・環境汚染・被害

[WS4]

窒素酸化物が大気中に増加すると、それ自身による影響だけでなく、光化学スモッグの原因物質ともなり、のどや鼻を刺激し、気管支炎の原因にもなる。自動車先進国であるアメリカのロサンゼルスなどでは、かなり以前から窒素酸化物を主体としたスモッグに悩まされてきた。窒素酸化物は、硫黄酸化物とともに、大気汚染や酸性雨の原因となっている。

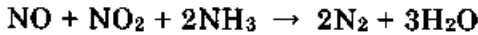
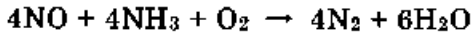
日本においても東京などの大都市で、昭和 40 年代中ころから同様の被害が出始めた。大都市の幹線道路沿いの住民の健康に深刻な影響を与えるようになり、その周辺でも窒素酸化物から生じる酸性物質や酸性雨による被害が広がってきた。

二酸化窒素は、炭化水素などがあるところで紫外線にあたると、それらと反応して刺激性のある物質を生じる。これが、ロサンゼルスや東京で大きな環境問題となったオキシダント(酸化性物質)である。また、二酸化窒素が雨に取り込まれると、硝酸を生じて酸性雨になる。

オキシダントとは、工場や自動車などから排出された窒素酸化物や炭化水素などが、太陽光線中の紫外線をうけて光化学反応を起こして生成する酸化性物質のことである。オゾン(O_3)を主成分とし、アルデヒド(RCHO)などを含んでいる。オキシダントは、目や呼吸器などの粘膜を刺激する。紫外線の強い夏季の昼間に出現することが多い。

a. 排煙脱硝法 — アンモニア接触還元法

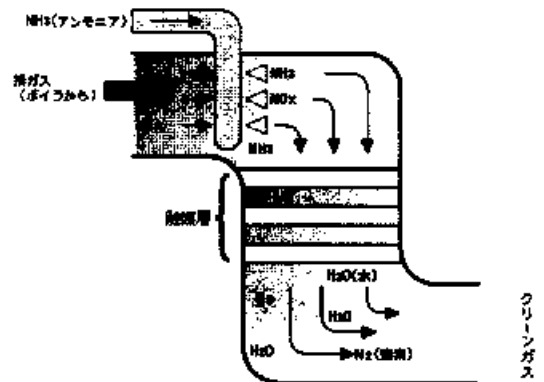
窒素酸化物 NO_x(NO、NO₂)を含む排ガス中にアンモニア(NH₃)を注入し、250～450℃で触媒を用いて反応させると、NO_xを窒素と水とに還元し、除去できる。



触媒：Pt、V₂O₅ など

<利点>

- ・ 簡単なプロセスであり、かつ 90%以上の高い脱硝率。多種多様な排ガスへの適用が可能。
- ・ 排ガスは無害な窒素と水蒸気であり、二次公害となる副産品や廃液が発生しない。



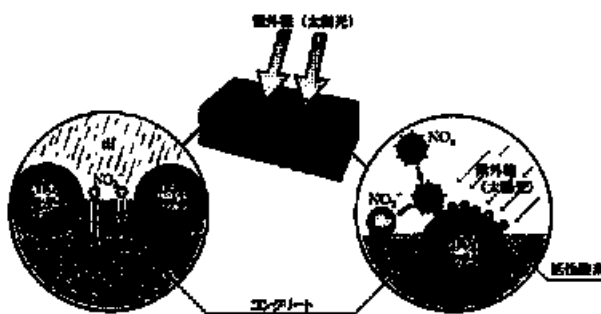
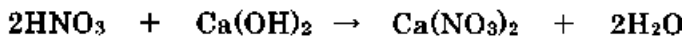
b. NO_x 生成抑制技術 — 低 NO_x バーナー

燃焼装置で高温域が生じると、空気中の窒素 N₂ と酸素 O₂ が反応し、NO_x が生じる。

低 NO_x バーナーとは、NO_x の生成を抑えるために、燃焼域での O₂ 濃度を下げ、局所的な高温域の発生を少なくするなどの機能を備えたバーナーをいう。

c. 光触媒による脱硝

光触媒である酸化チタンを道路舗装ブロックなどにコーティングすることで、大気中の NO_x を酸化し、硝酸(HNO₃)に変える。生成した硝酸(HNO₃)はコンクリート中の水酸化カルシウム(Ca(OH)₂)によって中和され、洗い流される。



d. 土壌による脱硝

幹線道路の道路端、トンネル内、地下駐車場などの汚染された空気を土壌に通気して、土壌が持っている吸着機能や微生物分解機能を利用して大気汚染物質を除去する技術。

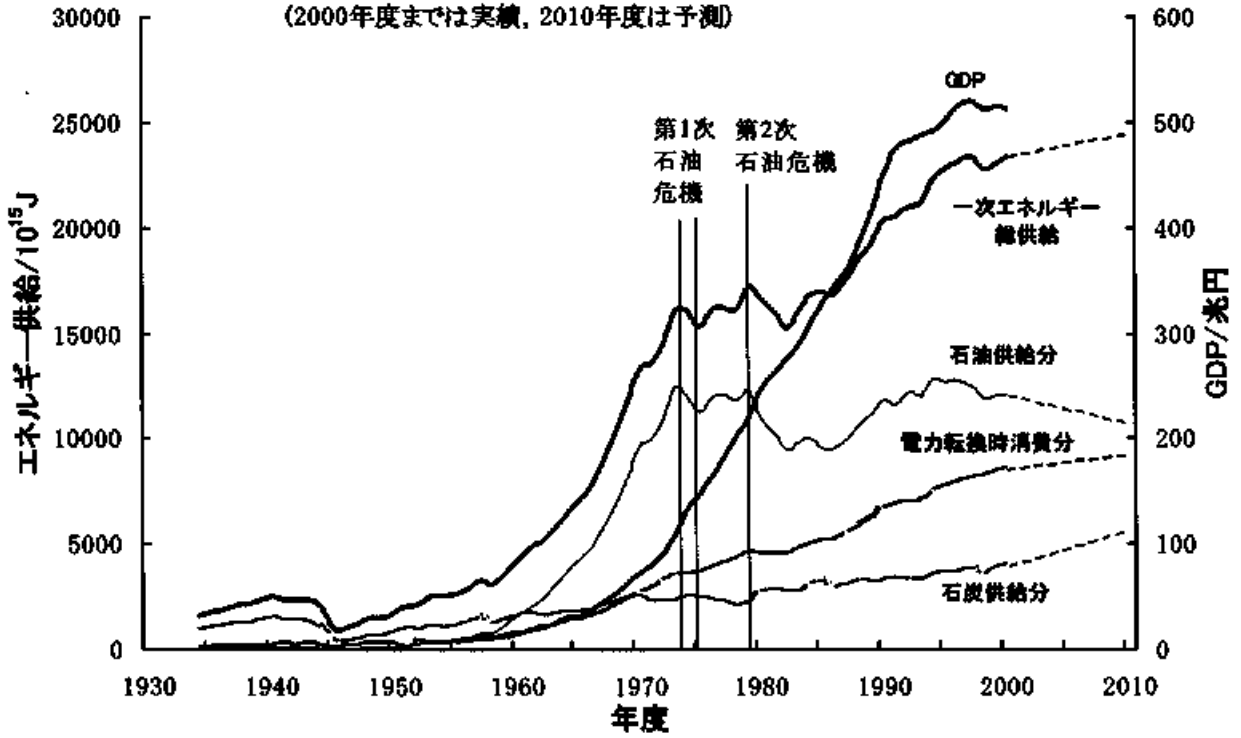


出典：国土交通省 HP 「低濃度脱硝技術の開発」

<http://www.mlit.go.jp/road/road/new5/01/1b.html>

年度	できごと
1914	第1次世界大戦始まる（日本経済、輸出を軸に急成長）
1918	第1次世界大戦終結
1923	関東大震災
1929	世界経済大恐慌始まる
1931	日本、中国大陸への進出を図る
1937	日中全面戦争へ発展
1941	太平洋（日米）戦争へ発展
1945	第2次世界大戦終結（日本経済、壊滅的打撃をうける）
1950	朝鮮戦争始まる（日本経済、米軍需要を軸に回復を始める）
1956	日本、国連に加盟
1960	日本経済、高度成長に入る
1964	東京オリンピック開催、新幹線開業
1967	公害対策基本法公布
1968	大気汚染防止法公布
1968	日本のGNP、世界第2位となる
1969	通産・厚生両省、SO ₂ 排出基準設定
1970	大阪万国博開催、公害問題全国的にクローズアップされる
1973	第1次オイルショック（アラブ産油国、石油供給を制限、日本経済マイナス成長になる）
1973	NO _x 排出基準設定
1979	第2次オイルショック（国際石油資本、石油供給を削減、日本、省エネルギー対策を迫られる）
1980	日本の自動車生産台数、世界第1位になる
1989	東西冷戦終結
1960	日本経済、高度経済成長に入る（石炭から石油へ移行） 「国民所得倍増計画」の発表
1973	化学物質の製造および審査に関する法律（化審法）制定
1979	第2次オイルショック 省エネルギー対策、代替エネルギーの導入 → 省エネルギー法
1985	科学万博つくば85開催
1997	気候変動枠組み条約第3回締結国会議（温暖化防止京都会議、COP3）の開催 → 温室効果ガス排出量削減目標の決定

エネルギー供給とGDPの変化
 (2000年度までは実績, 2010年度は予測)



注:「電力転換時消費分」とは、一次エネルギー総供給のうち、発電用に使われたエネルギー量