

# 高等学校における理科と工業の関連性に関する研究

—教科書における「プラスチック」の取り扱いを事例として—

Study on Connectedness between Science and Engineering of Upper Secondary School Subjects:  
“Plastic” in Textbooks on Chemistry and Industrial Chemistry

内海 志典<sup>1</sup>

UTSUMI Yukinori<sup>1</sup>

[キーワード Keyword] 理科, 工業, 高等学校, 教科書, プラスチック

[所属 Institution] <sup>1</sup>岐阜大学教育学部 (Faculty of Education, Gifu University)

## [要 旨 Abstract]

本研究では、「プラスチック」に焦点をあてて、高等学校の「化学」と「工業化学」の教科書を比較し、高等学校における理科と工業の関連性について検討するとともに、「理科」と「工業」における教科横断的な視点での学習への示唆を導出する。

本研究では、高等学校における理科と工業の関連性について、次の3点を明らかにした。(1)「化学」では、「技術的な人工物」である「プラスチック」を「物質」として捉え、「工業化学」では「高分子材料」として捉えられる。(2)「プロセス」を「化学」では「合成(方法)」として、「工業化学」では「製造の過程」として捉えられる。(3)「専門的知識」については、「化学」では「科学的概念」として、「工業化学」では「工業化学に関する知識と技術」として捉えられる。

結果として、「技術的な人工物」である「プラスチック」は、「化学」と「工業化学」という2つの異なった科目の教材の1つであるが、「理科」と「工業」の2つの教科の見方・考え方を働かせることで、自然の事物・現象を多角的・多面的に捉えることができる。

## 1. はじめに—問題の所在と研究の目的—

欧米では、科学技術を支える人材の育成と確保という点から、理数教育の重要性が認識され、理数教育の充実が重点課題として位置づけられており(堀田, 2011), 科学・技術<sup>1)</sup>・エンジニアリング・数学(Science, Technology, Engineering and Mathematics, 以下STEMとする)の教育が展開されている。

我が国においても、『幼稚園, 小学校, 中学校, 高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について(答申)』(中央教育審議会, 2016)において、教育内容の改善・充実の視点から、「STEM教育においては、問題解決型の学習やプロジェクト型の学習が重視されており、我が国における探究的な学習の重視と方向性を同じくするものである。探究的な学習は教育課程全体を通じて充実を図るべきものであるが、観察・実験等を重視して学習を行う教科である理科がその中核となって探究的な学習の充実を図っていくことが重要である。」と述べられている。

松原・高阪(2017)は、STEM教育の教科横断的な

視点と我が国の新学習指導要領で育成が目指している資質・能力が一定程度対応していることを指摘している。これらのことから、教育課程の編成において、STEM教育の教科等横断的な視点に立った資質・能力の育成を図っていくことが求められているといえる。

次に、STEM教科に該当する理科と他教科を関連させた研究について概観する。

まず、理科と数学との関連に関する研究について見てみる。石井・箕輪・橋本(1996)は、理科と数学の関連を重視した学習内容に関する指導が有効であることが示唆されると述べている。小原・安藤(2011)は、数学と理科における生徒の意識には文脈依存性の存在が見られ、数学と理科が関連する学習内容について再検討する必要があることを指摘している。石井・橋本(2013)は、理科と数学の「学習の転移」を促す条件として、「気づき」と「関連づけ」の両者が必要なことを指摘している。安藤・中村・小原(2014)は、理科と数学の関連性を重視した授業では、「共通の文脈」を有する「場面性」としてマラルディの角を題材にし

たことが有効であると指摘している。

理科と技術科<sup>2)</sup>との関連について、朝井(1984, 1991)、大谷(2002)や鈴木(2009)は、両者が密接に関連を保ってきたことを指摘している。理科と技術科の指導内容を比較した大谷・渡津(2015)は、科学技術リテラシーを育むために、知識や技能の活用という側面において、教科書には理科と技術科の関連する指導内容が含まれていると推察できると述べている。

技術科、理科と数学との関連に関する研究では、谷田・大谷(2014)が、算数・数学、理科、技術科の各教科の固有性に準じた概念・能力を発達させることによって、バランスのよいリテラシー能力が備わった市民が育成される可能性があることを指摘している。さらに理科、数学、技術科等の枠組みを越えた教科横断的アプローチに関する研究では、西村・松原・上野(2015)が、科学技術的意思決定のプロセスにおいて、教科固有のアプローチを複数有することは、多面的に検討し、複数の選択肢を創出することや、根拠を明確にしながらかみ合形成を図り、意思決定をすることに当たり、他者を含めた複数の人間の間で根拠に基づき調整を加えていき合意形成を行う能力が育成されると述べている。

理科と数学との関連に関する研究や、理科と技術科との関連に関する研究では、2つの教科における学習内容や学習指導の関連性といった内容論について言及している。他方、3つ以上の教科の関連に関する研究では、各教科固有の概念・能力やアプローチを統合させることの意義を見いだしている。

前述したように、STEM教育の教科等横断的な視点に立った資質・能力を育成することが求められているが、STEM教育の推進にあたり、STEM教育を構成する科学、技術、エンジニアリング、数学のうちの2つの教科間の関連性を明らかにすることで、3つ以上の教科の統合への基盤となることにつながると考えられる。しかしながら、理科と数学、理科と技術科といった教科間の関連性に関する研究は見られるが、「理科」と「工業」との関連性に関する研究は見られない。

「理科」と「工業」の2つの教科に関連するものの1つに、「プラスチック」がある。「プラスチック」は、主に石油を原料として、人工的に製造された合成高分子化合物であり、成形や加工がしやすいことから、さまざまな製品に利用されている。そのため、我々の生活の身近なものであり、生活を豊かにしてくれるものとなっており、日常生活には欠くことはできない物質

となっている。『高等学校学習指導要領』（文部科学省、2015a）の学習内容の項目として「プラスチック」が取り扱われているのは、「理科」と「工業」の化学に関係がある科目であり、「理科」では、「化学基礎」と「化学」であり、「工業」では、「工業化学」、「化学工業」、「地球環境化学」である。これらの科目のうち、「プラスチック」の取り扱いが最も多く見られる科目は、理科では「化学」であり、工業では「工業化学」である。

他方、STEM教育では、教授内容と教授法の2つの点から取り組まれてきたが、それらの教授内容と教授法が何であるか正確には明らかにされていないため(Dare, Ring-Whalen & Roehrig, 2019)、本研究では、STEM教育における教授内容について検討するものとして位置付けられる。「国際数学・理科教育動向調査(TIMSS)」では、カリキュラムが「意図されたカリキュラム」、「実施されたカリキュラム」、「達成されたカリキュラム」の3つのカリキュラム・モデルで提案されているが(Mullis & Martin, 2013)、教科書は教室における授業の「実施されたカリキュラム」のモデルを示していることから(中山・猿田・森・渡邊, 2014)、教科書を分析することは教室における授業の教授内容を分析することに相当するものであると考えることができる。

そこで、本研究は、項目「プラスチック」について焦点をあてて、高等学校の「化学」と「工業化学」における教科書での取り扱い内容を比較、それらの取り扱いの特徴から、高等学校における「理科」と「工業」との関連性について考察することを目的とする。加えて、本研究で得られた知見から、「理科」と「工業」における教科横断的な視点での学習への示唆を導出する。

## 2. 研究の方法

研究の方法としては、項目「プラスチック」について焦点をあてて、「化学」と「工業化学」の教科書を比較し、取り扱い内容に関する共通性と固有性の特徴から、高等学校における「理科」と「工業」における「プラスチック」の位置づけについて検討する。その際、Aikenhead(1994)は、科学教育のカリキュラムにおけるSTS(Science, Technology & Society)の教材の内容の定義<sup>3)</sup>の1つとして、科学と技術の中での相互作用において、「技術的な人工物、プロセス、あるいは専門的知識」とであると指摘していることから、「化学」

と「工業化学」の関係について、Aikenhead (1994) が指摘する「技術的な人工物、プロセス、あるいは専門的知識」の視座から検討する。さらに、本研究で得られた知見から、「理科」と「工業」との関連性について考察するとともに、「理科」と「工業」における教科横断的な視点での学習への示唆を導出する。

なお、教科書の分析にあたって、「工業化学」の教科書は、実教出版の1社のみが教科書を発行しているため、この教科書(小林ら, 2016)を分析の対象とした。他方、「化学」の教科書は、発行者3社が1種類の教科書を、発行者2社が2種類の教科書を発行しているが、「工業化学」の教科書と同一の発行者である実教出版が発行している2種類の教科書(以下、「化学」教科書A(井口ら, 2018a)、「化学」教科書B(井口ら, 2018b)とする)を分析の対象とした。それらの2種類の教科書の発行者は、「化学」教科書Aは、基礎が身に付く教科書、「化学」教科書Bは、理系進学者が学ぶべき内容を完全に網羅している教科書と位置付けている<sup>4)</sup>。

### 3. 学校教育における「理科」と「工業」の関係

学校教育における「理科」と「工業」の関係<sup>5)</sup>について考えてみる。

文献研究により学校教育における科学、技術、工業の関係について整理したNorström (2013) は、科学と学校教育における「科学」の関係について、以下のように指摘している。

科学の目的は、自然界の現象を記述し、予測し、説明することである。科学を行うことは新しい知識を生み出す。学校教育における科学は、子どもや若者により理解されうる簡単な方法で、部分的に科学を再生(再現)することである。科学と学校教育における科学は関連しているが、異なった目的と範囲を有する異なった知識の領域である。生徒は、多くの場合、その解決が教科書で見出すことができる問題に取り組む。科学者は、そのようなことはしない。科学的な理論は科学的研究で用いられるために定式化される一方、学校教育における科学の理論は主に学ばれるために意図される。生徒は科学を学ばないが、科学の概観と社会との関係を獲得する。

また、Norström (2013) は、エンジニアの仕事と学校での技術の関係について、以下のように指摘している。

専門職であるエンジニアの仕事は、実際の製品のデザイン、あるいは実際の問題解決に関係しているが、学校教育における技術の目的は学習である。

これらのNorström (2013) の指摘から、科学と学校教育における「理科」は関連しているが、異なった知識の領域であると考えられる必要がある。そして、学校教育における「工業」は、「技術」について学習する教科であり、その目的は学習することであると捉えることができる。そのため、工業と学校教育における「工業」は関連しているが、異なった知識の領域であると考えられるであろう。

さらに、Norström (2013) は、学校教育における「科学」と「技術」の関係<sup>6)</sup>について、以下のように指摘している。

学校では科学と技術の境界は常に明らかであるとは限らない。技術的な人工物は、科学を学習する際に事例を提供するために用いられる。

つまり、「技術」は、「科学」を学習するための事例を提供している側面がある。しかしながら、「科学」と「技術」は、密接に関連しており、各教科で育成すべき資質・能力においても関連があると考えられる。

### 4. 学校教育における「理科」と「工業」の関係

『高等学校学習指導要領』は、各教科・科目の目標を規定している。各教科・科目の目標から、高等学校における科目「化学」と科目「工業化学」の位置付けについて概観する。

#### 4.1. 教科「理科」と教科「工業」の目標

現行の『高等学校学習指導要領』の教科「理科」(以下、「理科」とする)の目標では、自然の事物・現象に対する関心や探究心を高め、目的意識をもって観察、実験などを行い、科学的に探究する能力と態度を育てるとともに自然の事物・現象についての理解を深め、科学的な自然観を育成することが示されている(文部科学省, 2015a)。

他方、現行の『高等学校学習指導要領』の教科「工業」(以下、「工業」とする)の目標では、工業の各分野に関する基礎的・基本的な知識と技術を習得させ、現代社会における工業の意義や役割を理解させるとともに、環境及びエネルギーに配慮しつつ、工業技術の諸問題を主体的、合理的に、かつ倫理観をもって解決し、工業と社会の発展を図る創造的な能力と実践的な

態度を育てることが示されている（文部科学省，2015a）。

#### 4.2. 教科目「化学」と科目「工業化学」の目標と取り扱い内容

『高等学校学習指導要領』の「理科」の科目「化学」（以下、「化学」とする）の目標では、化学的な事象・現象に対する探究心を高め、目的意識をもって観察、実験などを行い、化学的に探究する能力と態度を育てるとともに、化学の基本的な概念や原理・法則の理解を深め、科学的な自然観を育成することが示されている（文部科学省，2015a）。そして、『高等学校学習指導要領解説 理科編理数編』では、項目「プラスチック」に関連する項目「高分子化合物」では、日常生活や社会とかかわりのある代表的な高分子化合物について観察、実験を行い、その構造、性質及び反応を理解させることが主なねらいであるとしている。また、内容の範囲や程度については、プラスチックなどの合成高分子化合物の構造、性質及び合成について理解させることが求められている（文部科学省，2015b）。

他方、『高等学校学習指導要領』の「工業」の科目「工業化学」（以下、「工業化学」とする）の目標では、工業化学に関する知識と技術を習得させ、実際に活用する能力と態度を育てることが示されている（文部科学省，2015a）。そして、『高等学校学習指導要領解説 工業編』では、「化学」の項目「プラスチック」で取り扱われている物質は、項目「工業材料」で取り扱われ、材料と化学に関する知識と技術を習得させることをねらいとしている。また、内容の範囲や程度については、高分子工業で活用される各材料の性質及び用途を取り上げ、工業材料の概要について理解させ、実際に活用できるようにすることに配慮するものとしている（文部科学省，2016）。

各々の高等学校学習指導要領解説から、「化学」の項目「高分子化合物」では、高分子化合物の構造、性質及び反応を理解させることを、「工業化学」の項目「工業材料」では、材料と化学に関する知識と技術を習得させることが求められていることがわかる。

### 5. 教科書における主な取り扱い内容

#### 5.1. 項目「プラスチック」における取り扱いの概略

「化学」と「工業化学」の教科書における主な取り扱い内容（抜粋）を、表1に示す。

「化学」教科書Aでは、可塑性をもつ合成高分子化合

物を「プラスチック」と称するとしている。取り扱い内容については、小単元「高分子化合物の分類と特徴」では、高分子化合物の特徴、高分子化合物の生成反応を取り扱っている。小単元「合成樹脂」では、「熱可塑性樹脂」と「熱硬化性樹脂」の性質、合成、構造、用途をそれぞれ取り扱っている。小単元「イオン交換樹脂」では、「イオン交換樹脂」の合成、構造、特徴、用途について取り扱っている。小単元「プラスチック」では、「プラスチック」の種類と用途、「プラスチック」のリサイクルについて取り扱っている。

「化学」教科書Bでは、「プラスチック」の特徴として、金属やセラミックスよりもはるかに形成・加工がしやすい合成高分子化合物としている。取り扱い内容については、小単元「高分子化合物」では、高分子化合物の分類、重合の種類、高分子化合物の特徴を取り扱っている。小単元「合成樹脂（プラスチック）」では、「熱可塑性樹脂」と「熱硬化性樹脂」の性質、合成、構造、用途をそれぞれ取り扱っている。小単元「機能性高分子化合物」では、「イオン交換樹脂」の合成、構造、特徴、用途や、感光性高分子の性質、用途について取り扱っている。

他方、「工業化学」教科書では、ある適当な条件で、目的の製品に形成できる合成高分子材料やその成形品を「プラスチック」と定義している。取り扱い内容については、小単元「高分子材料」では、高分子化合物の利用と反応を取り扱っている。小単元「プラスチック」では、「ポリ塩化ビニル」、「ポリエチレン」、「ポリプロピレン」、「ポリスチレン」、「ポリエステル樹脂」、「フェノール樹脂」、「その他のプラスチック」で各樹脂の製造、性質、用途について取り扱っている。その中でも、具体的な「プラスチック」の製造方法について詳細に取り扱われている。

#### 5.2. 項目「プラスチック」で取り扱われている主な樹脂

「化学」と「工業化学」の教科書における項目「プラスチック」で取り扱われている物質を、表2に示す。教科書における項目「プラスチック」で取り扱われている物質は、「熱可塑性樹脂」と「熱硬化性樹脂」の2つに大別されて取り扱われている。「化学」と「工業化学」において、共通して取り扱われている主な樹脂は、熱可塑性樹脂では、ポリ塩化ビニル、ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレン、ポリメタクリル酸メチル、ポリ酢酸ビニル、ポリエチレンテレフタレート（PET）といった樹脂であり、熱硬化性樹脂で

表1 教科書における主な取り扱い内容（抜粋）（筆者作成）

「化学」教科書A	「化学」教科書B	「工業化学」教科書
<p><b>1節 高分子化合物</b></p> <p><b>1 高分子化合物の分類と特徴</b></p> <p><b>A 高分子化合物の分類</b> 高分子化合物, 合成高分子化合物 合成樹脂</p> <p><b>B 高分子化合物の特徴</b> 平均分子量, 結晶構造</p> <p><b>C 高分子化合物の生成反応</b> 単量体, 重合体, 重合度 縮合重合, 付加重合, 開環重合</p> <p><b>3節 合成高分子化合物</b></p> <p><b>2 合成樹脂</b> 合成樹脂 (プラスチック), フェノール樹脂, 可塑性</p> <p><b>A 熱可塑性樹脂</b> 熱可塑性, 熱可塑性樹脂, <b>&lt;図&gt;PETボトル製造</b> 「合成・構造・性質」 付加重合, 縮合重合 [表] 熱可塑性樹脂の例 「単量体・重合体 (構造)・用途」 高密度ポリエチレン, 低密度ポリエチレン</p> <p><b>B 熱硬化性樹脂</b> 熱硬化性, 熱硬化性樹脂</p> <p><b>① フェノール樹脂</b> 「合成・構造・性質」, 付加縮合 ノボラック, レゾール</p> <p><b>② アミノ樹脂</b> 「合成・構造・性質」, 付加重合 [表] 熱硬化性樹脂の例 「単量体・用途」</p> <p><b>4 イオン交換樹脂</b> 陽イオン交換樹脂, 陰イオン交換樹脂 「構造・性質」</p> <p><b>4節 高分子化合物と人間生活</b></p> <p><b>2 プラスチック</b></p> <p><b>A プラスチックの種類</b> [表] プラスチックの種類と用途 熱可塑性樹脂, 熱硬化性樹脂 「用途」</p> <p><b>B プラスチックのリサイクル</b> マテリアルリサイクル, サーマルリサイクル, ケミカルリサイクル</p>	<p><b>1節 高分子化合物</b></p> <p><b>1 高分子化合物の分類と特徴</b></p> <p><b>A 高分子化合物の分類</b> 高分子化合物, 合成高分子化合物 単量体, 重合体, 重合度</p> <p><b>B 高分子化合物の特徴</b> 付加重合, 縮合重合, 付加縮合</p> <p><b>3節 合成高分子化合物</b></p> <p><b>2 合成樹脂</b> 合成樹脂 (プラスチック)</p> <p><b>A 熱可塑性樹脂</b> 熱可塑性, 熱可塑性樹脂, <b>① 付加重合による樹脂</b> <b>&lt;図&gt;PETボトル製造</b> 「合成・構造・性質」 [表] 付加重合による熱可塑性樹脂の例 「構造・用途」</p> <p><b>② 縮合重合による樹脂</b> 「合成・構造・性質」 [表] 縮合重合による熱可塑性樹脂の例 (ポリエチレンテレフタレート, ナイロン66, ポリカーボネート) 「単量体・重合体 (構造)・用途」 <b>&lt;写真&gt;エンジニアリングプラスチック,</b> 「用途」 高密度ポリエチレン, 低密度ポリエチレン, イソタクチック構造, シンジオタクチック構造, アタクチック構造</p> <p><b>B 熱硬化性樹脂</b> 熱硬化性樹脂</p> <p><b>① フェノール樹脂</b> 「合成・構造・性質」, 付加縮合 「用途」 ノボラック, レゾール</p> <p><b>② アミノ樹脂</b> 「合成・構造・性質」, 付加重合 「用途」 [表] 熱硬化性樹脂の例 「単量体・重合形式, 用途」</p> <p><b>4 機能性高分子化合物</b></p> <p><b>A イオン交換樹脂</b> 陽イオン交換樹脂, 陰イオン交換樹脂 「構造・性質」</p> <p><b>B その他の機能性高分子化合物</b> 感光性高分子 (光硬化性樹脂) 「性質, 用途」</p>	<p><b>3節 高分子材料</b></p> <p><b>1 高分子化合物</b> 高分子化合物, 合成高分子化合物</p> <p><b>B 合成高分子化合物</b> 単量体, 重合体, 重合度 付加重合, 縮合重合, 開環重合</p> <p><b>2 プラスチック</b> プラスチック (合成樹脂), 熱可塑性樹脂, 熱硬化性樹脂</p> <p><b>A ポリ塩化ビニル</b> ビニル単量体, 「製造法 (工程)」 懸濁重合, 硬質ポリ塩化ビニル, 軟質ポリ塩化ビニル <b>&lt;図&gt;ポリ塩化ビニルの加工系統</b> <b>&lt;図&gt;押出成形機による形成品の</b> <b>製造「用途」</b></p> <p><b>B ポリエチレン</b> 「製造法・性質」 高圧法, 低圧法, 低密度ポリエチレン, 直鎖状低密度ポリエチレン 「用途」</p> <p><b>C ポリプロピレン</b> 「構造<sup>6)</sup>」アイソタクチック構造, シンジオタクチック構造, アタクチック構造, チーグラマー・ナッタ触媒 <b>&lt;図&gt;立体規則性の分類 「用途」</b></p> <p><b>D ポリスチレン</b> 「構造・用途」, 共重合, 共重合体 <b>&lt;図&gt;共重合体中のモノマーの結</b> <b>合のしかた</b> A S樹脂, A B S樹脂 「用途」 <b>&lt;図&gt;A B S樹脂の種類</b></p> <p><b>E ポリエステル樹脂</b> ポリエステル樹脂, 縮合重合, ポリエチレンテレフタレート (PET), ポリブタジエンテレフタ レート (PBT) 「構造・用途」 <b>&lt;図&gt;延伸吹込み成形によるPET</b> <b>ボトル製造</b> エンジニアリングプラスチック <b>&lt;写真&gt;エンジニアリングプラスチ</b> <b>ック製の機械部品「用途」</b></p> <p><b>F フェノール樹脂</b> 付加縮合反応, 「構造・用途」 ノボラック, レゾール</p> <p><b>H 接着剤<sup>7)</sup></b> シアノアクリレート</p>

注) 専門的な用語は「ゴシック体」, 用途に関するものについては下線で示している。

表2 教科書における項目「プラスチック」で取り扱われている物質（筆者作成）

	「化学A」	「化学B」	「工業化学」
熱可塑性樹脂	ポリ塩化ビニル, ポリエチレン, ポリプロピレン, ポリスチレン, ポリメタクリル酸メチル, ポリ酢酸ビニル, ポリエチレンテレフタレート (PET), ポリカーボネート		
	ナイロン66	ポリ塩化ビニリデン, ポリフッ化ビニリデン, ナイロン66	AS樹脂, ABS樹脂, ポリブチレンテレフタレート (PBT)
熱硬化性樹脂	フェノール樹脂, 尿素樹脂, メラミン樹脂, 不飽和ポリエステル		
	アルキド樹脂	アルキド樹脂, シリコーン樹脂	エポキシ樹脂
その他	該当なし		
	イオン交換樹脂	イオン交換樹脂	シアノアクリレート

注) 上段(網掛け)は、「化学」と「工業化学」で共通に取り上げられている物質を示しており、下段(網掛け無)は、「化学」と「工業化学」の一方でのみ取り上げられている物質である。

は、フェノール樹脂、尿素樹脂、メラミン樹脂といった樹脂である。これらの樹脂は、その用途として日常生活や産業用としてよく使用されているものである。

他方、「化学」と「工業化学」のどちらか一方で取り扱われている主な樹脂は、「化学」では、溶液中のイオンを別なイオンと交換するイオン交換樹脂が取り扱われ、「工業化学」では、AS樹脂、ABS樹脂、ポリブチレンテレフタレート (PBT)、ポリカーボネートといった機械的強度に優れたものが取り扱われている。

### 5.3. ポリ塩化ビニルの主な取り扱い内容

ポリ塩化ビニルは、「化学」と「工業化学」において、共通して取り扱われている主な熱可塑性樹脂であり、水道管のパイプなどに使用されており、常温では硬質であるが、可塑剤を加えることにより軟質になるといった特有な特徴を有しているため、その特徴について教科書における「プラスチック」の取り扱いにも差異が見られる。そこで、「化学」と「工業化学」の教科書における項目「プラスチック」で取り扱われている主な内容を、ポリ塩化ビニルを事例として分析する。

「化学」教科書Aでは、付加重合させて得られ、鎖状の分子構造をもつ熱可塑性樹脂であること、パルプ・シートに利用されているといった用途が取り扱われている。また、「化学」教科書Bでは、付加重合により生じる鎖状構造の熱可塑性樹脂であること、水道パイプに利用されているといった用途が取り扱われている。

他方、「工業化学」教科書では、単量体の構造式、エチレンを塩素化してできるEDC<sup>8)</sup>を熱分解する工程とエチレンのオキシ塩素化工程<sup>9)</sup>で塩化ビニルを製造する工程、生成した塩化ビニルを付加重合させる工程、可塑剤、安定剤、滑剤、充填剤を加えることによって

目的の加工製品の特性に合うように形成する工程であるポリ塩化ビニル製品の製造工程と加工品の性質、押出成形機による成形品の製造とその用途が取り扱われている。

以上のことから、「化学」では、ポリ塩化ビニルが付加重合、熱可塑性樹脂といった科学的概念やその用途を中心として取り扱われているのに対して、「工業化学」では、ポリ塩化ビニルの製造工程、成形品の製造といった製造に関することを中心として取り扱われているといえる。

### 5.4. 「化学」と「工業化学」の教科書における取り扱い

「化学」と「工業化学」の教科書における項目「プラスチック」における取り扱いについての分析から、以下のことが指摘できる。

- ・「化学」と「工業化学」の教科書で取り扱われる物質には共通しているものが多い。
- ・「化学」では「プラスチック」を「物質」として捉え、「合成・構造・性質」といった科学的概念と化合物の用途が中心として取り扱われている。
- ・「工業化学」では「プラスチック」を「高分子材料」として捉え、その「性質・用途・製造」が中心として取り扱われている。

## 6. 考察

### 6.1. 学校教育における「理科」と「工業」における「プラスチック」の位置づけ

Norström (2013) は、前述したように、「技術的な人工物」は、科学を勉強する際に事例を提供するために用いられることを指摘している。

本研究で焦点をあてた「プラスチック」は、前述し

たように、第5章で「化学」では「物質」として捉えられ、「工業化学」では「高分子材料」として捉えられている。また、「プラスチック」は、「技術的な人工物」であり、工業の基盤となる技術であるため、学校教育における「工業」に内包される。そして、「技術的な人工物」は、学校教育における「理科」と「工業」の両方で取り扱われ、学校教育における「理科」と「工業」という2つの教科をつなぐ架橋となる教材であるといえるであろう。

## 6.2. 「化学」と「工業化学」の架橋としての技術的な人工物

Aikenhead (1994) は、科学教育のカリキュラムにおけるSTS (Science, Technology & Society) の教材の内容の定義の1つとして、科学と技術の中での相互作用において、「技術的な人工物、プロセス、あるいは専門的知識」であると指摘している。

本研究で分析した教科書における項目「プラスチック」をもとに、「化学」と「工業化学」の関係について、Aikenhead (1994) が指摘する「技術的な人工物、プロセス、あるいは専門的知識」の視座から考察する。

「化学」では、「技術的な人工物」である「プラスチック」を「物質」として捉え、「工業化学」では「高分子材料」として捉えることができる。「プロセス」を「化学」では「合成(方法)」として、「工業化学」では「製造の過程」として捉えることができる。また、「専門的知識」については、「化学」では「科学的概念」として、「工業化学」では「工業化学に関する知識と技術」として捉えることができる。

これらの違いが生じた理由として、「化学」では、科目の目標として、化学の基本的な概念や原理・法則の理解を深めることがあり、高分子化合物に関しては、その特徴を生かして人間生活の中で利用されていることを理解することが求められているが、他方、「工業化学」では、科目の目標として、工業化学に関する知識と技術を習得させ、実際に活用する能力と態度を育てることが求められていることからであると考えられる。つまり、『高等学校学習指導要領』の枠組みの中で、これらは科目の目標に応じてカリキュラムにおいて取り扱い内容の強調が図られている。

しかしながら、「プラスチック」という1つの物質を、「化学」と「工業化学」という2つの異なった科目の視点から捉えると、「プラスチック」という1つの物質が、「技術的な人工物」、「プロセス」、「専

門的知識」について、多角的に捉えることができる教材となりうることを示唆している。

ここで、教科の「見方・考え方」の視座から、「プラスチック」という教材の取り扱いについて考えてみる。主体的・対話的で深い学びの実現に向けた授業改善を進める際に、深い学びの鍵として「見方・考え方」を働かせることが重要になることが示されている(文部科学省, 2019a)。「化学」は、「粒子」を柱とする領域であるため、「理科」の見方では、自然の事物・現象を主として質的・実体的な視点で捉えることができ、「理科」の考え方では、比較したり、関係付けたりするなどの科学的に探究する方法を用いて考えることを働かせる(文部科学省, 2019b)。他方、「工業化学」では、「工業」の見方・考え方であるものづくりを、工業生産、生産工程の情報化、持続可能な社会の構築などに着目して捉え、新たな時代を切り拓く安全で安心な付加価値の高い創造的な製品や構造物などと関連付けることを意味している(文部科学省, 2019c)。

以上のことから、「プラスチック」などの「技術的な人工物」を、「理科」では「工業」の見方・考え方であるものづくりの視点や付加価値の高い創造的な製品と関連付ける視点で捉えたり、「工業」では「理科」の「粒子」を柱とする領域の見方である質的・実体的な視点や「理科」の考え方である科学的に探究する方法を用いて捉えたりすることで、自然の事物・現象を多面的に捉えることにつながると考えられる。

## 6.3. 「理科」と「工業」における教科横断的な学習への示唆

「理科」では、化学の基本的な概念の理解を深く、系統的に学習することに焦点があてられるが、「工業」では、工業化学に関する知識と技術を習得させ、実際に活用することに焦点が置かれる。

「化学」と「工業化学」では、本研究で焦点をあてた項目「プラスチック」については、取り扱われている物質は共通しているものが多いが、前述したように、これらの物質の教科書における取り扱い内容の違いがあるのは、「理科」と「工業」では、教科の目標が異なるために、各カリキュラムにおいて取り扱われる内容に強弱が生起しているからである。

STEM教育の目標を達成するためには、教科の固有性と共通性を柔軟に行き来することが重要で、教科の枠組みはその教育目標の達成に向けて変わりうるものと考えられる(西村・松原・上野, 2015)。今後、STEM

教育を推進していくためには、「理科」と「工業」の関連性を図り、それらの2つの教科をつなぐ架橋となる教材の取り扱いを増やしていく必要があるだろう。そして、各授業でそれらの教科をつなぐ架橋となる教材を取り扱う際には、「理科」では「工業」の見方・考え方を、「工業」では「理科」の見方・考え方を加味した授業を展開することで、我々の身の回りに見られる自然の事物・現象を多角的・多面的に捉え、教科横断的な視点で学習を行っていくことができる。

## 7. おわりに

各教科の「見方・考え方」には教科等ごとの特質があり、各教科等を学ぶ本質的な意義の中核をなすものとして、教科等の教育と社会をつなぐものである（中央教育審議会、2016）。

「技術的な人工物」である「プラスチック」は、「化学」と「工業化学」という2つの異なった科目の教材の1つであるが、「理科」と「工業」の2つの教科の見方・考え方で見ることで、自然の事物・現象を多角的・多面的に捉えることができるとともに、教科横断的な視点で学習を行っていくことができる。身の回りで見られる自然の事物・現象は、「理科」や「工業」といった教科の枠組みに関係なく存在している。しかしながら、学校教育の中では、それらについて教科の枠組みの中で学習することになるが、1つの自然の事物・現象を、「理科」と「工業」の2つの教科の見方・考え方を総合的に働かせ、多角的・多面的に捉えることで、1つの教科の枠組みの中で捉えられていた生徒の学びを、もう1つの教科の枠組みの中で捉えさせる生徒の学びに拡張させ、教科横断的な視点に立った資質・能力を育成するSTEM教育につなげていくことが重要となると考えられる。

## 附記

本稿は、日本科学教育学会第41回年会において発表した「高等学校における理科教育と工業科教育の関連に関する研究－化学と工業化学の教科書の比較を事例として－」の内容を、大幅に加筆・修正したものである。

## 註

1) 英文引用文献中の‘technology’の訳として、「科学技術」は‘science and technology’の訳と混同されるため、本論文では、「技術」を用いた。

2) 本論文では、「技術・家庭科」の技術分野を「技術科」と表記している。

3) Aikenhead (1994) は、STS 教材の内容について、以下のように定義している。

科学教育のカリキュラムにおけるSTSの内容は、科学と技術の間、あるいは科学と社会の間での相互作用および以下のうちの1つ、あるいは組み合わせで構成されている。

- ・技術的な人工物、プロセス、あるいは専門的知識
- ・技術と社会の間の相互作用
- ・科学、あるいは技術に関連した社会的な問題
- ・科学、および技術に関連した社会的な問題に焦点をあてた社会科学に関する内容
- ・科学的、あるいは技術的なコミュニティ内での哲学、歴史、あるいは社会に関する問題

4) 教科書の発行者のウェブページによる。「化学」教科書Aと、「化学」教科書Bについては、それぞれ以下のウェブページに、教科書の位置付けが示されている。

教科書A : <http://www.jikkyo.c.jp/book/detail/18000023>

教科書B : <http://www.jikkyo.co.jp/book/detail/18000022>

5) 本論文では、Norström (2013) の考え方を援用し、科学と学校教育における「理科(諸外国においては、科学)」, 工業と学校教育における「工業」、技術と学校教育における「技術」を区別している。

6) ポリプロピレンでは、アイソタクチック構造、シンジオタクチック構造、アタクチック構造といった「構造」が図示されている。これは、科学的概念というよりは、これらの「構造」によって性質が異なり、形成材料として適するかどうかを決めており、どのような用途に用いられているかと関係していることが示されている。したがって、「工業化学」では、「構造」は科学的概念というよりは、性質、用途について取り扱われているといえる。

7) 接着剤は、節のタイトルとして用いられたものであり、樹脂の名称と用いられたわけではない。

8) ethylene dichloride (二塩化エチレン) の略である。

9) 塩化水素と酸素を用いて行う塩素化をいう。

## 参考文献

- 井口洋夫・相原惇一・中村暢男・村上真一・宮城政昭・渡辺徹・川端康広・小松寛・長沢博貴 (2018a) 『新版化学 新訂版』実教出版。
- 井口洋夫・木下實・中村暢男・宮本健・大野公一・村



- 田滋・村上忠幸ほか12名 (2018b) 『化学 新訂版』実教出版.
- 小林基義・山脇正隆・坂脇康文・手良村知央・中田信行・梨木良平・山田享 (2016) 『工業化学2』実教出版.
- 引用文献**
- Aikenhead, G. (1994). What is SRS teaching? In J. Solomon and G. Aikenhead (eds), *STS Education: International Perspectives on Reform*, New York: Teachers College Press, 47-59.
- 安藤秀俊・中村孝之・小原美枝 (2014) 「マラルディの角を題材とした理科と数学の関連性を重視した指導事例の有効性」『科学教育研究』第38巻, 第2号, 148-156.
- 朝井英清 (1984) 「技術教育と科学教育との総合化を求めて: 技術教育の立場からの提言」『科学教育学会年会論文集』第8巻, 22-24.
- 朝井英清 (1991) 「技術教育の基盤: 科学技術教育の総合体系化を指向して」『科学教育学会年会論文集』第15巻, 317-322.
- 中央教育審議会 (2016) 『幼稚園, 小学校, 中学校, 高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について(答申)』. (Retrieved from [http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/\\_icsFiles/afieldfile/2017/01/10/1380902\\_0.pdf](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/_icsFiles/afieldfile/2017/01/10/1380902_0.pdf)) (accessed 2018. 10. 23)
- Dare, E.A., Ring-Whalen, E.A. & Roehrig, G.H. (2019). Creating a continuum of STEM models: Exploring how K-12 science teachers conceptualize STEM education, *International Journal of Science Education*, 41(12), 1701-1729.
- 堀田のぞみ (2011) 「科学技術政策と理科教育—初等中等段階からの科学技術人材育成に関する欧米の取組み」『科学技術に関する調査プロジェクト調査報告書: 科学技術政策の国際的な動向 [本編]』国立国会図書館調査及び立法考査局, 121-134.
- 石井俊行・橋本美彦 (2013) 「教科間における学習の転移を促す条件に関する考察とその提言: 理科『光の反射』と数学『最短距離』の作図を通して」『科学教育研究』第37巻, 第4号, 283-294.
- 石井俊行・箕輪明寛・橋本美彦 (1996) 「数学と理科との関連を図った指導に関する研究: 文脈依存性を克服した指導への提言」『科学教育研究』第20巻, 第4号, 213-220.
- 松原憲治・高阪将人 (2017) 「資質・能力の育成を重視する教科横断的な学習としてのSTEM教育と問い」『科学教育研究』第41巻, 第2号, 150-160.
- 文部科学省 (2015a) 『高等学校学習指導要領 (平成21年3月)』東山書房.
- 文部科学省 (2015b) 『高等学校学習指導要領解説 理科編理数編 (平成21年12月)』実教出版.
- 文部科学省 (2016) 『高等学校学習指導要領解説 工業編 (平成22年5月)』大日本図書.
- 文部科学省 (2019a) 『高等学校学習指導要領 (平成30年告示) 解説 総則編』東洋館出版社.
- 文部科学省 (2019b) 『高等学校学習指導要領解説 理科編 理数編 (平成30年7月)』実教出版.
- 文部科学省 (2019c) 『高等学校学習指導要領解説 工業編 (平成30年7月)』実教出版.
- Mullis, I. V.S. & Martin, M.O. (Eds.). (2013) *TIMSS 2015 Assessment Frameworks*, TIMSS & PIRLS, International Study Center, Lynch School of Education, Boston College.
- 中山迅・猿田祐嗣・森智裕・渡邊俊和 (2014) 「科学的教育における望ましい「問い」のあり方—日本の中学校理科教科書における「問い」の出現場面と種類—」『理科教育学研究』第55巻, 第1号, 47-57.
- 西村圭一・松原憲治・上野耕史 (2015) 「科学技術的意思決定能力の育成をめざす教科横断的アプローチに関する研究—COMPASS教材の分析を通して—」『科学教育研究』第39巻, 第2号, 77-85.
- Norström, P. (2013) Engineers' Non-scientific Models in Technology Education, *International Journal of Technology and Design Education*, 23, 377-390.
- 小原美枝・安藤秀俊 (2011) 「数学と理科の問題における文脈依存性に関する生徒の意識: 自由記述の回答と解法から探る」『科学教育研究』第35巻, 第1号, 38-46.
- 大谷忠 (2002) 「技術・家庭科成立時における理科教育と技術教育の系統的な科学技術教育の試み, 教育研究」『科学教育研究』第26巻, 第2号, 113-120.
- 大谷忠・渡津光司 (2015) 「科学技術リテラシーを育成するための教育課程編成に関わる課題—技術科と理科における指導内容の比較を通して—」『科学教育研究』第39巻, 第2号, 186-194.
- 鈴木寿雄 (2009) 『技術科教育史 - 戦後技術科教育の展開と課題 -』開隆堂出版.

谷田親彦・大谷忠（2014）「科学技術リテラシーの発展に向けた技術教育と理数教育の連携・協働・デザイン・モデリングの観点から技術・理科・数学の位

置づけと関係の在り方 - 」『日本科学教育学会年会論文集』第38巻, 72-82.