

材料系教育のための教材研究の現状と展望

北村 一 浩*

1. はじめに

筆者は教育大学で、中学校技術・家庭(技術分野)の教員を養成する講座の教員をしており、主に機械分野および金属加工分野の講義や実習を担当しているが、講義や実習を通じて、材料に関する知識が不足していることを痛感する場面が増えている。理系の裾野を広げるためには、すべての生徒に材料の基本的な知識を身につけさせる必要があると筆者は考えている。

平成26年度(2014)から高等学校・理科の教育課程が改訂され、基礎的な科学的素養を幅広く養う科目は、これまでは2科目履修であったが、平成26年度からの課程では、「物理基礎」、「化学基礎」、「生物基礎」、「地学基礎」が新設され、これらのうち3科目が選択必修科目となった。これらの科目の中で、全ての生徒に履修させる科目として、基礎を付した科目のうち3科目(例 物理基礎、化学基礎、地学基礎)または、「科学と人間生活」を含む2科目(例 科学と人間生活、生物基礎)を選択している生徒が多いことが、教科書需要冊数から明らかになっている。また、現行課程の履修状況は、平成27年度(2015)公立高等学校における教育課程の編成・実施状況調査(普通科等の結果)より、以下のことが明らかになった。

物理分野では、「物理Ⅰ」の履修率が平成14年度(2002)では29.2%であったが、平成27年度には「物理基礎」の履修率が65.6%と大幅に増加した。化学分野でも、「化学Ⅰ」の履修率が平成14年度では69.8%であったが、平成27年度には「化学基礎」の履修率が93.4%と大幅に増加した。生物分野でも、「生物Ⅰ」の履修率が平成14年度では63.8%であったが、平成27年度には「生物基礎」の履修率が94.3%と大幅に増加した。地学分野でも、「地学Ⅰ」の履修率が平成14年度では9.2%であったが、平成27年度には「地学基礎」の履修率が34.6%と大幅に増加した。特に、高等学校の「化学基礎」

の履修率が、93.4%となっていることは、文系・理系問わず生徒が、材料関係のある程度踏み込んだ内容を学習していることを表している。また、高等学校において、課題学習をおこなう「理科課題研究」(選択科目)、日常生活や社会との関連を重視した「科学と人間生活」(選択必修科目)が新設されており、高等学校段階での材料教育の基礎が、ますます強化される方向に進んでいることは、喜ばしいことである。

本稿ではまず、初等・中等段階で行われている材料教育に関連する各科目の、学習指導要領における目標と材料分野の実践例を紹介する。

2. それぞれの校種での学習指導要領における目標と材料分野の実践例

材料に関する学習内容は、初等教育では、小学校の生活科、理科、総合的な学習の時間、中等教育では、中学校の理科、技術・家庭(技術分野)、総合的な学習の時間、高等学校の理科(科学と人間生活、化学基礎、化学)、総合的な学習の時間、課題研究(家庭・農業・工業・商業・水産の各科目)などで行われている。それぞれの校種での学習指導要領における目標と内容、教材研究の例を以下に示す。

(1) 小学校・生活科における学習指導要領における目標と材料分野の実践例

次に、小学校・生活科における学習指導要領における目標と材料分野の実践例を示す。

(a) 小学校・生活科の目標⁽¹⁾

小学校学習指導要領(平成29年(2017)告示)解説 生活科編によると、小学校・生活科の目標は、「具体的な活動や体験を通して、身近な生活に関わる見方・考え方を生かし、自立し生活を豊かにしていくための資質・能力を次のとおり育成することを目指す」、「(1)活動や体験の過程において、自分自身、身近な人々、社会および自然の特徴やよさ、それらの

* 愛知教育大学 教育学部；教授(〒448-8542 刈谷市井ヶ谷町広沢1)

Current Status and Prospects of Research on Teaching Materials for Materials Education; Kazuhiro Kitamura>(*Department of Technology Education, Aichi University of Education, Kariya)

Keywords: materials education, teaching materials, elementary and secondary education, technology education, 3D crystal model, shape memory alloy

2024年2月14日受理[doi:10.2320/materia.63.390]

関わり等に気付くとともに、生活上必要な習慣や技能を身に付けるようにする」, 「(2)身近な人々, 社会および自然を自分との関わりで捉え, 自分自身や自分の生活について考え, 表現することができるようにする」, 「(3)身近な人々, 社会および自然に自ら働きかけ, 意欲や自信をもって学んだり生活を豊かにしたりしようとする態度を養う。」である。

(b) 小学校・生活科の材料分野の実践例⁽²⁾

小2生活科, 単元「うごく うごく わたしの おもちゃ」は, 児童が動くおもちゃを, 友達と協力しながら, 児童自身で作り上げる実践である。この単元では, 例えば, 牛乳パック, 紙コップ, 段ボール, イチゴパックなどを工夫しておもちゃを作る。遊びの例には, 紙皿フライング, 輪ゴム飛ばし, ストロー飛行機, 牛乳パックの車などがある。ことごと車(ノタノタ人形)の例を次に示す。

ことごと車(ノタノタ人形)は, 本体がユーモラスな動きをするおもちゃである。このおもちゃは, ねじれたゴムが元に戻る力で粘土などの玉が回転することによって, 本体が引きずられるように動き, 使用する素材によって動きが変わる。本体に, プリンカップ, 牛乳パック, 紙コップ, 段ボール, イチゴパックなどの材料が使われる。この実践例で, 児童は材料について学ぶ。

(2) 小学校・理科における学習指導要領における目標と材料分野の実践例

次に, 小学校・理科における学習指導要領における目標と材料分野の実践例を示す。

(a) 小学校・理科の目標⁽³⁾

小学校学習指導要領(平成29年告示)解説 理科編によると, 小学校・理科の目標は以下になる。身近な自然の事物・現象の中には, 時間, 空間の尺度の小さい範囲内で直接実験を行うことにより, 対象の特徴や変化に伴う現象や働きを, 何度も人為的に再現させて調べることができやすいという特性をもっているものがある。児童は, このような特性をもった対象に主体的, 計画的に操作や制御を通して働きかけ, 追究することにより, 対象の性質や働き, 規則性などについての考えを構築することができる。主にこのような対象の特性や児童の構築する考えなどに対応した学習の内容区分が「A物質・エネルギー」である。「A物質・エネルギー」の指導に当たっては, 実験の結果から得られた性質や働き, 規則性などを活用したものづくりを充実させるとともに, 「エネルギー」, 「粒子」といった科学の基本的な概念等を柱として, 内容の系統性が図られていることに留意する必要がある。「粒子」といった科学の基本的な概念等は, 更に「粒子の存在」, 「粒子の結合」, 「粒子の保存性」, 「粒子のもつエネルギー」に分けて考えられる。

(b) 小学校・理科の材料分野の実践例⁽⁴⁾

小学校・理科の材料分野の実践例である, 小学校第4学年「温度変化に伴う固体の体積変化を学ぶ発展学習の開発」について示す。

小学校第4学年「金属の温度と体積変化」では, 金属球

を加熱し体積膨張を確認する教材が使われ, この教材により, 児童は加熱した時の体積変化は概ね理解できるが, 冷却時の体積変化が観察できる教具がない。そのため, 金属は冷却しても元に戻っただけで, それ以上冷やしても収縮しない」という誤概念が生じやすい。本実践では, プラスチック板に金属板を貼り付けた「プラメタル」を作製し, 恒温槽中で温度を0°Cから45°Cまで変えながら「プラメタル」の曲がり具合を, レーザ光を使って測定する実験が行われた。この実験により, 児童は金属やプラスチックの膨張・収縮について正しく理解することができた。

(3) 小学校・総合的な時間における学習指導要領における目標と材料分野の実践例

次に, 小学校・総合的な時間における学習指導要領における目標と材料分野の実践例を示す。

(a) 小学校・総合的な時間の目標⁽⁵⁾

小学校学習指導要領(平成29年告示)解説 総合的な時間編より, 総合的な学習の時間のねらいや育成を目指す資質・能力を明確にし, その特質と目指すところが何かを端的に示したものが, 以下の総合的な学習の時間の目標である。第1目標, 探究的な見方・考え方を働かせ, 横断的・総合的な学習を行うことを通して, よりよく課題を解決し, 自己の生き方を考えていくための資質・能力を次のとおり育成することを目指す。(1)探究的な学習の過程において, 課題の解決に必要な知識および技能を身に付け, 課題に関わる概念を形成し, 探究的な学習のよさを理解するようにする。(2)実社会や実生活の中から問いを見だし, 自分で課題を立て, 情報を集め, 整理・分析して, まとめ・表現することができるようにする。(3)探究的な学習に主体的・協働的に取り組むとともに, 互いのよさを生かしながら, 積極的に社会に参画しようとする態度を養う。と示されている。

(b) 小学校・総合的な時間の材料分野の実践例⁽⁶⁾

総合的な時間の材料分野に関係する実践例を以下に示す。この実践は, 「地元の三川鉱山および阿賀町の近代産業を通じて, 阿賀町の昔の社会や歴史を学ぶ」を学習テーマに, 新潟県阿賀町立三川小学校で行われたものである。これは, 新潟県阿賀町でかつて栄えた三川鉱山について, 学習する取り組みである。まず児童は, 鉱山の選鉱施設について学習するとともに, 三川鉱山について, 有識者から三川鉱山に関する歴史や見聞きした昔の様子を語ってもらった。その後, 三川鉱山跡の現地見学をおこなった後, 昔の産業や暮らしの様子に関する実感を深めた。

(4) 中学校・理科における学習指導要領における目標と材料分野の実践例

次に, 中学校・理科における学習指導要領における目標と材料分野の実践例を示す。

(a) 中学校・理科の目標⁽⁷⁾

中学校学習指導要領(平成29年告示)解説理科編によると, 中学校・理科の目標は以下となる。自然の事物・現象に

関わり、理科の見方・考え方を働かせ、見通しをもって観察、実験を行うことなどを通して、自然の事物・現象を科学的に探究するために必要な資質・能力を次のとおり育成することを旨とする。(1)自然の事物・現象についての理解を深め、科学的に探究するために必要な観察、実験などに関する基本的な技能を身に付けるようにする。(2)観察、実験などを行い、科学的に探究する力を養う。(3)自然の事物・現象に進んで関わり、科学的に探究しようとする態度を養う。第1分野の目標は、物質やエネルギーに関する事物・現象を科学的に探究するために必要な資質・能力を次のとおり育成することを旨とする。第1分野の目標は、教科の目標を受けて示しているものであり、第1分野の特質に即して、ねらいをより具体的に述べている。第1分野の目標(1)は、教科の目標の「自然の事物・現象についての理解を深め、科学的に探究するために必要な観察、実験などに関する基本的な技能を身に付けるようにする」を受けて、物質やエネルギーに関する観察、実験などを行い、それらの事物・現象について理解するとともに、科学的に探究するために必要な観察、実験などに関する基本的な技能を身に付けるというねらいを示している。目標(2)は、教科の目標の「観察、実験などを行い、科学的に探究する力を養う」を受けて、小学校で身に付けた問題を見いだす力や根拠のある予想や仮説を発想する力などを発展させ、物質やエネルギーに関する事物・現象について規則性を見いだしたり、課題を解決したりする方法を身に付け、思考力、判断力、表現力等を養うというねらいを示している。目標(3)は、教科の目標の「自然の事物・現象に進んで関わり、科学的に探究しようとする態度を養う」を受けて、物質やエネルギーに関する事物・現象に進んで関わり、自然を科学的に探究する活動を行い、科学的に探究しようとする態度を養うとともに、自然を総合的に見ることができるようにする。と示されている。

(b) 中学校・理科の材料分野の実践例⁷⁾

生徒の身近な「IH調理器」を教材とした授業実践が行われている。2004年以降、高周波のオールメタル対応のIH調理器が発売されており、鉄やステンレスのみではなく、アルミ容器や銅製の鍋のように、電気抵抗の低い金属でも対応できるようになっている。そもそもIHは「Induction Heating」の略であり、「電磁誘導加熱」を意味している。これは、IH調理器が作る磁界によって、鍋(調理器具)に電磁誘導が起これば、電流が流れることによって加熱されている原理を表している。つまり、IH調理器は電磁誘導が原理であり、磁石は無関係である。IH調理は、磁石と関係があると誤解している生徒が多く、磁石に付かないアルミニウムの鍋は、使用できないと予想していたが、演示実験により使えたため、生徒が驚いていた。生徒は、IH調理器で加熱できる材料と加熱できない材料があることを理解した。

(5) 中学校・技術科の学習指導要領における目標と材料分野の実践例

次に、中学校・技術科における学習指導要領における目標

と教材研究の例を示す。

(a) 中学校・技術科の目標⁸⁾

中学校学習指導要領(平成29年告示)解説技術編によると、中学校・技術の目標は以下となる。技術の見方・考え方をはたらかせ、ものづくりなどの技術に関する実践的・体系的な活動を通して、技術によってより良い生活や持続可能な社会を構築する資質・能力を次のとおり育成することを旨とする。「(1)生活や社会で利用されている材料、加工、生物育成、エネルギー変換および情報の技術についての基礎的な理解を図るとともに、それらに係る技能を身につけ、技術と生活や社会、環境との関わりについて理解を深める」「(2)生活や社会の中から技術に関わる問題を見出して課題を設定し、解決策を構想し、製作図等に表現し、試作等を通して具体化し、実践を評価・改善するなど、課題を解決する力を養う」「より良い生活の実現や持続可能な社会の構築に向けて、適切かつ誠実に技術を工夫し創造しようとする実践的な態度を養う。」と示されている。

(b) 中学校・技術科の材料分野の実践例⁹⁾

中学校技術・家庭(技術分野)の材料分野の実践例を以下に示す。これは、中学校技術・家庭(技術分野)のガイダンス授業の授業実践である。授業の初めに、生徒の身近にどのような金属があるかを発表させた。生徒からは、金属(金・銀・銅・鋼・アルミニウム)について、それぞれの金属への理解が深まるように実物を見せながら用途を説明した。生徒に金のインゴットを見せ、その後生徒に渡すと、すごく重いと生徒から歓声が挙がった。次に金属の溶解性を示すため、低融点金属(Sn-Bi合金)を電気コンロで実際に溶かす実演がおこなわれた。金属が融点以上の温度になると液体になり、玉のように丸まり流れることを教員が教卓で実演した。次に形状記憶合金について知るために、教卓の前で熱エンジンの実演が行われた。熱エンジンは、「プーリー型」と呼ばれるもので、2個のプーリーの間に直線記憶処理を施したワイヤ材をつなぎ、上下のプーリーの間に掛け、下部のプーリーに湯が接する程度に保持することにより、プーリーが回転する。このような技術科の授業実践が行われている。

(6) 中学校総合的な学習の時間の学習指導要領における目標と材料分野の実践例

次に、中学校・総合的な学習の時間の学習指導要領における目標と材料分野の実践例を示す。

(a) 中学校学習指導要領総合的な学習の時間の目標¹⁰⁾

中学校学習指導要領解説 総合的な学習の時間編(平成20年(2008)9月)によると中学校での総合的な学習の時間の目標は、以下になる。「探究的な見方・考え方を働かせ、横断的・総合的な学習を行うことを通して、よりよく課題を解決し、自己の生き方を考えていくための資質・能力を次のとおり育成することを旨とする。」(1)探究的な学習の過程において、課題の解決に必要な知識および技能を身に付け、課題に関わる概念を形成し、探究的な学習のよさを理解するようにする。(2)実社会や実生活の中から問いを見だし、自分で課題を立

て、情報を集め、整理・分析して、まとめ・表現することができるようにする。(3)探究的な学習に主体的・協働的に取り組むとともに、互いのよさを生かしながら、積極的に社会に参画しようとする態度を養う。」とある。内容について、配慮する事項の中に、「(4)自然体験や職場体験活動、ボランティア活動などの社会体験、ものづくり、生産活動などの体験活動、観察・実験、見学や調査、発表や討論などの学習活動を積極的に取り入れること。」と示されている。

(b) 中学校・総合的な学習の時間の材料分野の実践例⁽¹¹⁾

新居浜市立西中学校の取り組みで、中学校の総合的な学習の時間を利用して、毎年1年生が「ふるさと学習(地域学)」の活動を行っている。この実践はまず、学年集会で共通理解を図った後、個人の学習希望テーマを調査した。その調査を元に5つの講座を設定した。次に、講座別に3名ほどのグループを編成し、各グループごとにテーマを決定した。12月中旬の発表会に向けて発表資料を作成する活動をした。まず事前学習として、新居浜市内の「山根公園」にある別子銅山記念館や当時使用されていた機関車、取銅所、精錬所跡の煙突山などについて事前学習を行った。その後山根公園に行き、3クラスがローテーションを組んで、別子銅山記念館や大山積神社、取銅所を見学した。精錬所跡の煙突山は有志の生徒が登った。別子銅山記念館では、館長さんから丁寧な説明を受けた。取銅所では、理科の先生からその仕組みについて説明を受けたクラスもあった。マイントピア別子では、観光用の鉱山列車に乗り、観光坑道で別子銅山の歴史を学習しながら、銅鉱石発掘の擬似体験を行った。

(7) 高等学校・理科の学習指導要領における目標と材料分野の実践例

次に、高等学校・理科の学習指導要領における目標と材料分野の実践例を示す。

(a) 高等学校・理科の目標⁽¹²⁾

高等学校学習指導要領(平成30年(2018)告示)解説 理科編・理数編によると、高等学校・理科の目標は以下となる。自然の事物・現象に関わり、理科の見方・考え方を働かせ、見通しをもって観察、実験を行うことなどを通して、自然の事物・現象を科学的に探究するために必要な資質・能力を次のとおり育成することを目指す。(1)自然の事物・現象についての理解を深め、科学的に探究するために必要な観察、実験などに関する技能を身に付けるようにする。(2)観察、実験などを行い、科学的に探究する力を養う。(3)自然の事物・現象に主体的に関わり、科学的に探究しようとする態度を養う。この目標は、小学校および中学校理科の目標との関連を図りながら、高等学校理科においてどのような資質・能力の育成を目指しているのかを簡潔に示したものである。初めに、どのような学習の過程を通してねらいを達成するかを示し、(1)では育成を目指す資質・能力のうち「知識および技能」を、(2)では「思考力、判断力、表現力等」を、(3)では「学びに向かう力、人間性等」をそれぞれ示し、三つの柱に沿って明確化している。

(b) 高等学校 理科の材料分野の実践例⁽¹³⁾

この内容は、Ti-Ni形状記憶合金バネと3次元結晶格子モデルを用いて、結晶構造が温度により変化する形状記憶合金の形状変化が変態により起こっていることを通して、結晶構造について理解を深めるための教材を開発する取り組みである。まず生徒は、形状記憶合金ばねにオモリを吊るし、バネの全長を測定した後、形状記憶合金バネをドライバーで加熱し、縮み距離を測定する。形状記憶合金は、加熱によりマルテンサイト相(面心立方格子)から母相(体心立方格子)にマルテンサイト逆変態起こることによってバネが縮む事を生徒に説明する。次にそれぞれの格子の原子模型を生徒に渡し、原子の移動により結晶構造が変わることを説明した。この実験から、生徒は形状記憶合金が形状変化する原因を結晶構造の変化で説明できることを通して、格子模型を用いた学習により、結晶構造が化学の基本原則を学ぶ上で重要であることに気付いた。以上のことから、本研究で開発した形状記憶合金が形状変化する原因を結晶構造の変化で説明する教材は、結晶構造の理解を促すために有用であることが示唆された。

(8) 高等学校・総合的な探求の時間における目標と材料分野の実践例

次に、高等学校・総合的な探求の時間の学習指導要領における目標と材料分野の実践例を示す。高等学校学習指導要領(平成30年(2018)告示)から、「総合的な学習の時間」から「総合的な探求の時間」に名称が変更されている。ここでは、高等学校・総合的な学習の時間および総合的な探求の時間両方の材料分野の実践例を示す。

(a) 高等学校・総合的な学習の時間の目標⁽¹⁴⁾

高等学校学習指導要領(平成30年告示)解説 総合的な探求の時間編によると、総合的な探求の時間の目標は、探求の見方・考え方を働かせ、横断的・総合的な学習を行うことを通して、自己との存り方生き方を考えながら、よりよく課題を発見し解決していくための資質・能力を次のとおり育成することを目指す。(1)探求の過程において、課題の発見と解決に必要な知識および技能を身に付け、課題に関わる概念を形成し、探求の意義や価値を理解するようにする。(2)実社会や実生活と自己との関わりから問いを見出し、自分で課題を経て情報を集め、整理分析してまとめ・表現することができるようにする。(3)探求に主体的協働的に取り組むとともに、お互いのよさを生かしながら新たな価値を創造し、より良い社会を実現しようとする態度を養う。目標は大きく分けて二つの要素で構成されている。一つは、総合的な探求の時間に固有な見方、考え方を働かせ、横断的・総合的な学習を行うことを通して、自己の在り方、生き方を考えながら、よりよく課題を発見し、解決して行くための資質・能力を育成するという、総合的な探究の時間の特徴を踏まえた学習過程のあり方である。もう一つは、総合的な探究の時間を通して育成することを目指す・資質能力である。育成することを目指す資質・能力は、他教科等と同様に、(1)では総合的な探究の時間において育成を目指す「知識および技能」を、(2)では、「思

考力、判断力、表現力等」を、(3)では「学びに向かう力、人間性等」を示している。

(b) 高等学校・総合的な探求の時間の材料分野の実践例⁽¹⁵⁾

岩手県立黒沢尻北高等学校では、総合的な探求の時間を使い「黒陵教育講座」の一環として、岩手県八幡平市にある「松尾鉱山」についての学習を行っている。学習内容を以下に示す。松尾鉱山の歴史や中和処理の意義、地熱エネルギー利用のあり方について多面的・多角的に理解を深めることを目的とし、八幡市平の松尾鉱山資料館や中和処理施設、松川地熱発電所を訪問し、「松尾鉱山と中和処理施設」について学んだ。まず、黒沢尻北高等学校卒業生の高橋国之先生から、松尾鉱山のあった場所、当時の生活の様子、閉山の理由など歴史的な面や、中和処理に関する化学的な面など幅広い内容について、わかりやすく説明していただいた。説明の合間には、中和処理施設で行っている化学処理について、実験を通して確認した。実験では、生徒が沈殿や反応を観察し、実験から新たな疑問が生じた生徒も居た。別の日に、実際に松尾鉱山中和処理施設や資料館、松川地熱発電所などを見学し、理解を深めた。

(9) 高等学校・課題研究の学習指導要領における目標と材料分野の実践例

次に、高等学校・課題研究の学習指導要領における目標と材料分野の実践例を示す。

(a) 高等学校・課題研究の目標⁽¹⁶⁾

課題研究は、生徒が自ら研究テーマを設定し1年間かけて研究や製作を行う授業で、平成元年(1989)改定の高等学校学習指導要領において、家庭・工業・商業・水産の各教科に新設された科目であり、大学での卒業研究に相当する科目である。高等学校学習指導要領(平成30年告示)解説 工業編によると、課題研究の目標は「工業の見方・考え方を働かせ、実践的・体験的な学習活動を行うことなどを通して、社会を支え産業の発展を担う職業人として必要な資質・能力を次のとおり育成することを目指す。(1)工業の各分野について体系的・系統的に理解するとともに、相互に関連付けられた技術を身に付けるようにする。(2)工業に関する課題を発見し、工業に携わる者として独創的に解決策を探究し、科学的な根拠に基づき創造的に解決する力を養う。(3)課題を解決する力の向上を目指して自ら学び、工業の発展や社会貢献に主体的かつ協働的に取り組む態度を養う。」とされている。

(b) 高等学校・課題研究の材料分野の実践例⁽¹⁷⁾

工業高校でのたたら製鉄と鍛造の取組の例を紹介する。この研究は、高等学校の「課題研究」の一環として、名古屋市立工業高等学校・機械科で行われたもので、たたら製鉄と鍛造実習の報告は、「日本刀製作プロセスから学ぶ製鉄と加工について」で公表されている。

本取り組みは、課題研究として、1年間行ったもので、生徒8名で取り組んだ。まず、教材用たたら炉をコンクリートブロックの上にレンガを積み上げることで製作し、次にたたら炉の底面に種火を投入した後、たたら炉の上部がいわば

いになるまで松炭を投入し、ブロワで強制送風を行った。さらに、砂鉄と石灰を松炭の上に繰り返し投入した。さらに、石灰20gを混合したものを炉内に振りまき、その後すぐに松炭300gを投入して松炭が燃焼して10cm程下がったところで、およそ50回繰り返し材料を投入した。鋳の組成から見ると、SiやTiなどの不純物は一定量含まれているが、内部のFe量が86.6%とかなり多く含まれていることが測定から明らかになった。次に、玉鋼を、水へし・小割・積沸かしという鍛造を行うために成形する工程に入った。この行程で、玉鋼を赤熱するまで熱したが、沸き花が出るまでは加熱できず、小さな塊になっている玉鋼を鍛接することができず、塊を大きくすることができぬまま課題研究のタイムリミットが来てしまった。鋳の組成から見るとSiやTiなどの不純物は一定量含まれているが、内部のFe量が86.6%とかなり多く含まれていることが明らかになった。

3. ものづくり・技術選修 北村研究室でおこなっている研究

次に、愛知教育大学、ものづくり・技術専修、北村研究室で行っている研究を紹介する。

文部科学省学習指導要領(平成29年度告示)中学校技術・家庭(技術分野)では、「A 材料と加工の技術」、「B 生物育成の技術」、「C エネルギー変換の技術」、「D 情報の技術」の4つの教育内容が示されている⁽⁸⁾。その中で、「C エネルギー変換の技術」の教材として、我々の研究室では、形状記憶合金を中心に、形状記憶ポリマーや釣り糸人筋肉など加熱をすることで動作するアクチュエータ材料を用いた教材の研究を行なっている。また、「A 材料と加工の技術」の教材として、FDM型3Dプリンタを用いたプラスチック材料の加工の教材研究を行なっている。このような教材の一環として、結晶構造などの理解を深めるための3Dプリンタを用いた原子模型教材の開発を行なっている。教材開発の具体的な取り組みを以下に示す。

(1) ミラー指数の学習教材の開発⁽¹⁸⁾

ミラー指数はX線回折や格子変形などで該当する結晶面を表すなど多岐にわたり使用されている。しかし結晶面は三次元空間内に存在する平面であるため、空間的認知が必要となる。本研究では、立方晶{001}面、{011}面、{012}面、{111}面、六方晶{0001}面、{11 $\bar{2}$ 0}面、{10 $\bar{1}$ 0}面、{11 $\bar{2}$ 2}面を表した立体教材を製作した(図1)。製作した教材の効果を検証するために、実際に高等専門学校の学生に対し、教材を使用した学生と使用しなかった学生では学習効果の差がどのくらいあるかを事前・事後試験により明らかにし、教材の学習効果の検証を行なった。

(2) 3Dプリンタを用いたTi-Ni原子模型の開発⁽¹⁹⁾

Ti-Ni形状記憶合金のマルテンサイト変態における母相(B2)とマルテンサイト相(B19')の結晶構造の変化は参考書



図1 ミラー指数学習教材の概要⁽¹⁸⁾。(オンラインカラー)

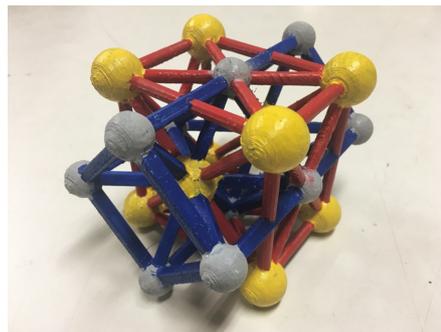


図2 母相構造モデルの概要⁽¹⁹⁾。(オンラインカラー)

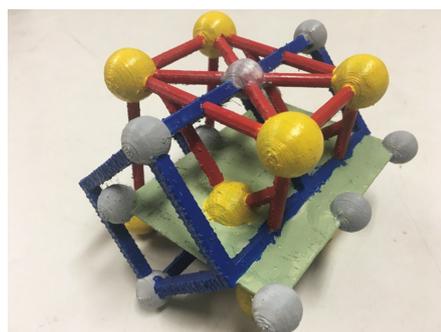


図3 マルテンサイト相モデルの概要⁽¹⁹⁾。(オンラインカラー)

や論文等に示されているが、2次元で描かれているため金属学の初学者は、変態による結晶構造変化を理解することは難しい。本研究では、3Dプリンタで3次元の結晶構造模型を作成することによって、Ti-Ni形状記憶合金でのマルテンサイト変態における変態前と変態後の結晶構造を理解するための模型教材を作成することを目的とした。3DCADデータの作成にはAutodesk社のFusion360を使用した。模型は、作製したCADデータを3D印刷用ファイルに変換し、3Dプリンタへファイルを読み込ませることで行った。造形後、模型表面にサーフェーサー(下地塗装)を行った後、青、赤、黄色、緑の塗料を用いて結晶構造やTiおよびNi原子の配置、格子対応などを表している(図2)、(図3)。

(3) 釣り糸人工筋肉の教材への応用⁽²⁰⁾

近年加熱を行うと動作するアクチュエータの一つとして、釣り糸人工筋肉が注目されている。釣り糸人工筋肉とは、Hainesらの研究グループが2014年に発見した新型人工筋肉であり、形状記憶合金のように伸長収縮動作を繰り返すことができる。また市販の釣り糸をひねり、コイル状に成形することにより製作することができるため、低コスト、軽量、高い量産性を持っている。

釣り糸の材料であるナイロン繊維は、分子の向きが繊維方向に揃って連なっている高分子構造をもっており、この繊維に撓りが加わると、繊維がねじれて断面が「らせん状」になる。このように大量のねじれを挿入していくことで、加熱されたときに元の繊維方向の収縮と膨張が起こり、寸法の異方性が全体で圧縮となって、人工筋肉としての役割を果たす。教材化した人工筋肉は、長さ125mmで、70°Cまで加熱を行うことで7mm程度の変位を得ることができ、中学校技術・家庭(技術分野)のエネルギー変換教材として、有用であることが示唆された(図4)。

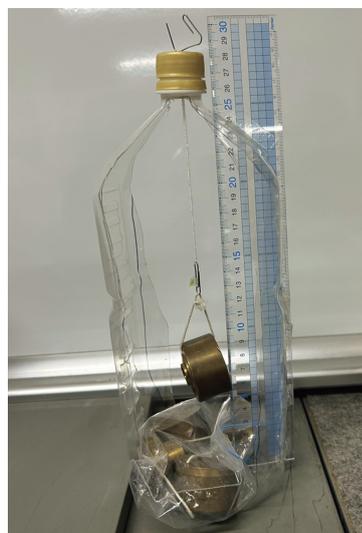


図4 釣り糸人工筋肉教材の概要⁽²⁰⁾。(オンラインカラー)

(4) 形状記憶合金ワイヤを用いた携帯電話のカメラのオートフォーカス機構を模擬した教材⁽²¹⁾

形状記憶合金は、加熱を行うことであらかじめ記憶された形状に戻るスマート材料であり、スマートフォンのカメラのオートフォーカス機構の駆動源として使われている。スマートフォンのカメラのオートフォーカス機構には従来、磁石とコイルを用いた電磁力によってレンズを動作させるVCMアクチュエータが主流であったが、形状記憶合金に通電し加熱

によりレンズを上下させる方式に変更することにより、小型化が可能となった。

本研究では、中学校技術・家庭(技術分野)におけるエネルギー変換分野の教材開発を目的とし、モータなどのアクチュエータの一つとして形状記憶合金を位置付け、教材の多様化を図ることを目的に身近なスマートフォンのカメラのオートフォーカス機構を題材とすることにした。教材化したオートフォーカス機構は、簡単化するためにレンズを取り付けたレンズ部と、その両側に配置する1組の動作部の3点の部品からなっている。教材を動かすアクチュエータには、Ti-Ni形状記憶合金細線を使用しており、形状記憶合金に通電を行うことで駆動部が移動し、レンズ部が上昇する構造になっている(図5)。オートフォーカス機構の評価は、実際に像をスクリーンに写し、スクリーンに映った画像のコントラストを計測することで行った。

(5) 形状記憶合金を用いた、自由研究教材の紹介⁽²²⁾

紹介する形状記憶合金を用いた工作キット教材は、夏休みの自由研究教材として企画された。第一弾の工作キットは、宇宙をテーマにした内容で、月面を背景に、スペースシャトルや宇宙飛行士が形状記憶合金ばねにより上下する内容である。また、宇宙のテーマの他に海や草原、花畑などのテーマも用意されており、発売元のホームページからダウンロードすることができる。

キットには、形状記憶合金、鋼製おもり、磁石、シール付きアルミニウム板、電池ボックス(電線付き)、チューブ、プラスチック容器、取扱説明書が入っている。

本キットの動作原理を図6に示す。図6のように鋼製のおもりの吊るされた形状記憶合金ばねが、プラスチック容器の上部に取り付けられている。また、プラスチック容器の下部には、磁石の上にアルミニウム板を配置した電極が配置されている。形状記憶合金ばねの、おもりが取り付けられている側と反対の端には、電気コードがつながれている。また、アルミニウム板にも電気コードがつながれており、それぞれ電池につながっている。

用いられている形状記憶合金は、逆変態開始温度が60℃程度で、通電により自己発熱することにより、あらかじめ記憶されている短いばねの形状に形状回復する。室温では形状記憶合金ばねの、みかけのヤング率は低く、おもりの重さにより、鋼製のおもりがプラスチック容器下部に設置されているアルミニウム板に接触する。アルミニウム電極の下の磁石により、鋼製のおもりは、アルミニウム電極に強力につく。通電により形状記憶合金に電流が流れ、記憶されている短いばねの形状に変化するとともに、ばねに大きな力が発生し、磁石の力に逆らって、おもりが上昇する。おもりが上昇すると回路が遮断され、ばねに電流が流れなくなる。ばねに電流が流れなくなると、ばねの発生力がなくなり、おもりが下降する。この動きを繰り返すことで、おもりが上下する。

工作キットの第二弾として、粘土のデザインの監修を行なっているタレントとのコラボレーションで、第二弾のキット



図5 オートフォーカス学習教材の概要⁽²¹⁾。(オンラインカラー)

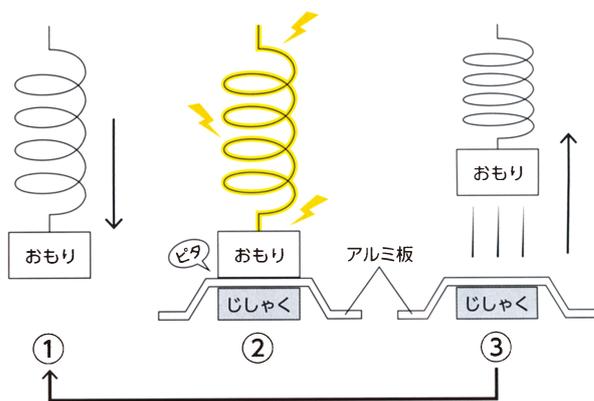


図6 形状記憶合金学習キットの動作原理⁽²²⁾。(オンラインカラー)

が発売された。第二弾のキットは、第一弾の部品の他に、キッチンをイメージした背景と、粘土のレシピ(パンケーキ、ミトン、お花、フライパン、オタマ、フライ返し、泡立て器、時計)が入っている。このキットでは、レシピに従って粘土を作り、鋼製のおもりの上に乗せることで動く。

4. ま と め

このように、初等・中等教育における材料教育は、生活科、理科、総合的な学習の時間、技術家庭(技術分野)、課題研究など、様々な校種の、様々な授業で関わっている。それぞれの段階で、より材料に興味を持つための教育的取り組みが必要である。

