

# 形状記憶合金学習教材の開発

北村 一浩

技術教育講座

## Development of Learning Materials for Shape Memory Alloys

Kazuhiro KITAMURA

Department of Technology Education, Aichi University of Education, Kariya 448-8542, Japan

### 1. 研究の背景と目的

中学校技術・家庭科（技術分野）では、平成29年告示の学習指導要領によると、「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。これらのうち、「C エネルギー変換の技術」の「(1) 生活や社会を支えるエネルギー変換の技術について調べる活動などを通して、次の事項を身に付けることができるよう指導する。」の「ア 電気、運動、熱の特性等の原理・法則と、エネルギーの変換や伝達等に関わる基礎的な技術の仕組み及び保守点検の必要性について理解すること。」では、「エネルギーの変換、効率及び損失の意味、電気に関わる物性、電気回路及び電磁気特性、機械に関わる運動、熱及び流体の特性等のエネルギー変換についての原理・法則と、自然界にあるエネルギー源から電気エネルギーや力学的エネルギーへの変換方法、電気エネルギーの供給と光、熱、動力、信号等への変換方法、力学的エネルギーの多様な運動の形態への変換と伝達方法等の基礎的なエネルギー変換の技術の仕組みと、それを支える共通部品や製品規格等の役割について理解することができるようにする。」とある<sup>(1)</sup>。一方、平成26年度中学校・技術・家庭科に関する第3回全国アンケート調査（技術分野）調査報告書によると、「B エネルギー変換に関する技術」（旧分類）では、製作する題材の分野は、電気が74.5%、機械が2.8%、電気と機械の両方が20.7%となっており、このアンケート調査からもわかるように、「エネルギー変換に関する技術」の分野では、機械の題材を取り上げることが少ない<sup>(2)</sup>。一方形状記憶合金は、T社の中学校技術・家庭（技術分野）の教科書に「新しい素材」として、携帯電話のアンテナ（超弾性効果を利用）とロボットのアーム（形状記憶

特性を利用）が掲載されており<sup>(3)</sup>、技術科の教材に適用しやすい材料である。

形状記憶合金は、「エネルギー変換に関する技術」の分野の教材に応用可能な題材であると考えられるが、形状記憶効果をわかりやすく説明する教材はほとんどない。そのため本論文では、中学校・技術科の「エネルギー変換に関する技術」の機械分野の教材の一例として、形状記憶合金の持つ「形状記憶効果」と「超弾性効果」を学習する教材の開発を目的としている。

### 2. 形状記憶合金について

形状記憶合金は、温めると元の形状に戻る材料で、熱エネルギーを運動エネルギーに変換することができる、固相エネルギー変換材料である。このような金属は20種類以上が報告されている。その中で、疲労寿命が長く、一番多く実用化されている合金がTi-Ni系合金である。本合金は、TiとNiの配合組成を変えることにより、元に戻る温度（逆変態温度という）を-100℃から100℃まで変化させることができる。また、形状記憶熱処理の手順を変えることにより、逆変態温度を変化させることもできる。本研究では、この方法を用いて、逆変態温度を変化させた。形状記憶合金は、室温が逆変態温度以上か以下で、力学特性が大きく異なる。逆変態温度が室温よりも高い材料は「形状記憶特性」を持ち、逆変態温度が室温以下の材料は「超弾性特性」を持つ。そのため、形状記憶特性を理解させる教材を開発するとともに、形状記憶特性と比較して力学特性の理解が難しい、超弾性特性の教材の開発も大変重要である。そのため、形状記憶特性と超弾性特性両方の力学特性を理解させる教材の開発を行った。

### 3. 形状記憶効果について

形状記憶効果は、材料を逆変態温度以上に加熱を行うことにより、あらかじめ記憶した形状に戻る効果と言う。この効果は、「形状記憶効果」として一般的に知られている。この効果を利用して、携帯電話のカメラのピント調整機構や、シャワーの温度調節機構に应用されている。

### 4. 超弾性効果について

「超弾性効果」は、逆変態温度が室温以下の材料で発現し、室温ではあらかじめ記憶された形状になっている。この材料に力を加えると形が変わるが、力を取り除くと瞬時に記憶した形状に戻る。この現象は金属の弾性変形に似ているが、変形可能量が弾性変形の100倍以上あるため、「超弾性効果」と呼ばれる。

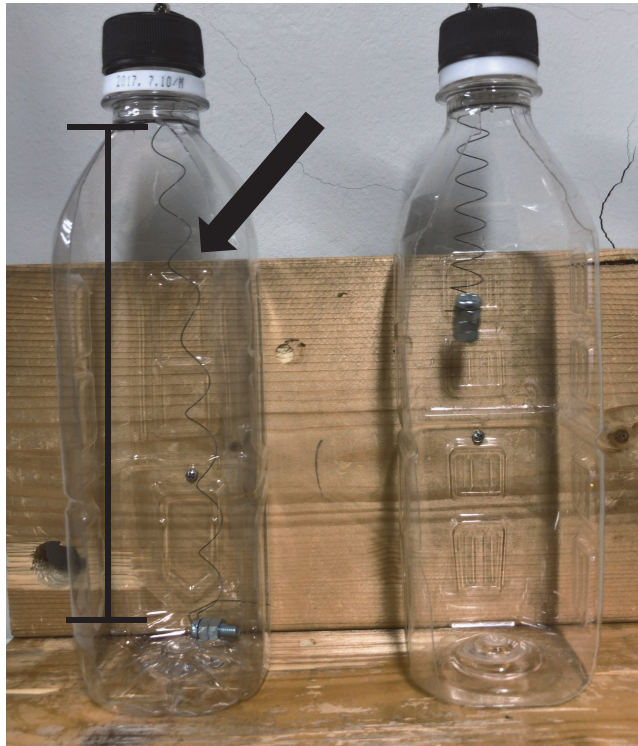


図 1. 形状記憶合金の特性を理解する教材

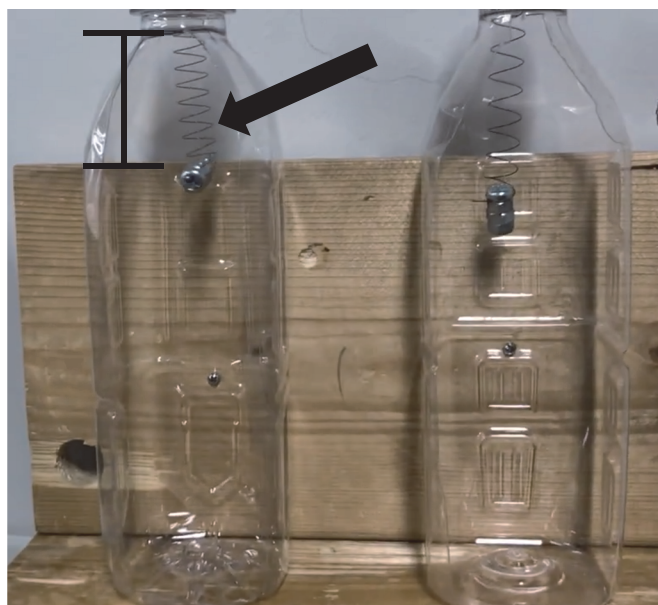


図 2. 形状記憶特性バネ（左側のバネ）をヘアドライヤーで加熱を行った時の教材の概要

## 5. 学習教材について

図1に今回開発した形状記憶合金教材を示す。この学習教材は、四角形状のペットボトルの1面をカッターナイフで切り取り、その中にバネの形に形状を記憶させたTi-Ni合金が配置されている。教材に用いたバネは、吉見製作所製の直径0.3mmの未記憶材（形状記憶特性）をM12のボルトに巻きつけ、2種類の熱

処理を施すことで作製した。「形状記憶特性バネ」は、電気炉の中で、400℃で1時間加熱を行なった後、直ちに水中に急冷を行うことで作製した。「超弾性特性バネ」は、電気炉の中で、400℃で1時間加熱を行なった後空气中に数秒保持し、その後水中に急冷を行うことで作製した。今回作製した教材では、左側に「形状記憶特性」のバネを、右側に、「超弾性特性」のバネを配置した。バネの下端にはボルトとナットを組み合

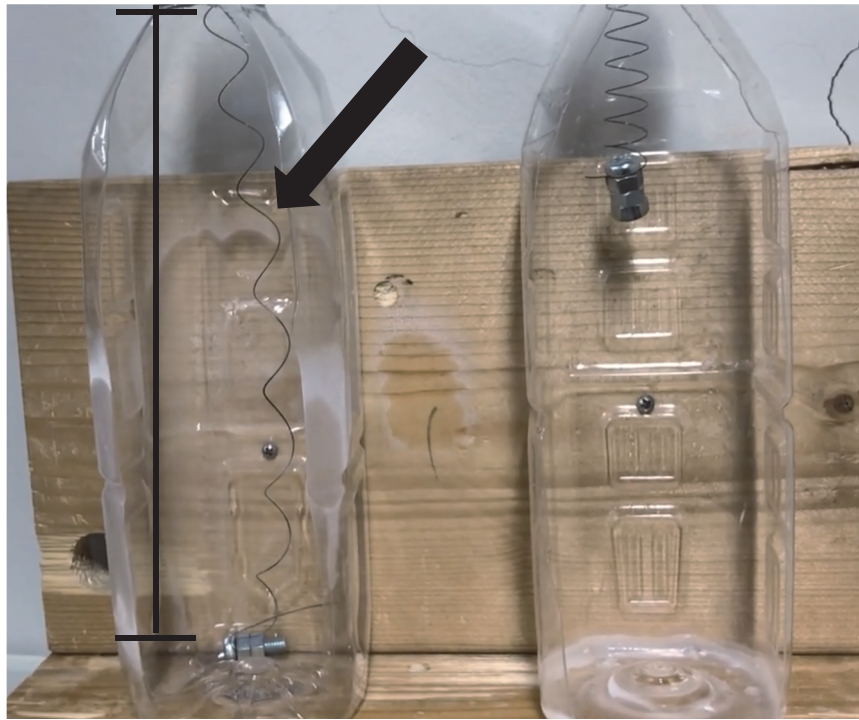


図3. 形状記憶特性バネを冷却スプレーで冷却を行った時の教材の概要

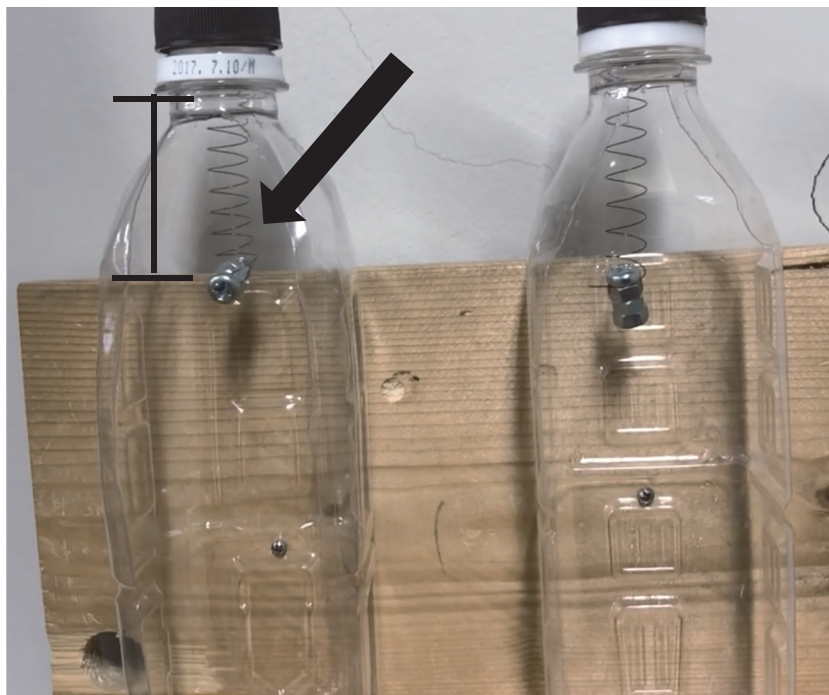


図4. 形状記憶特性バネを冷却スプレーで冷却後ヘアドライヤーにより加熱を行なった時の教材の概要



わせたおもりをそれぞれ取り付けた。

本教材では、2種類の違う特性の形状記憶合金バネに対して、冷却スプレーで冷却、ヘアドライヤーで加熱を行うことでバネの動きを観察し、形状記憶合金の「形状記憶特性」と「超弾性特性」を学習できるようになっている。

## 6. 形状記憶特性バネの動作

図2から図5に「形状記憶特性バネ」の冷却・加熱による動きを示す。図2は、形状記憶特性バネ（左側のバネ）をヘアドライヤーで加熱を行った時の教材の概要を示している。加熱によりバネが縮み、おもりが

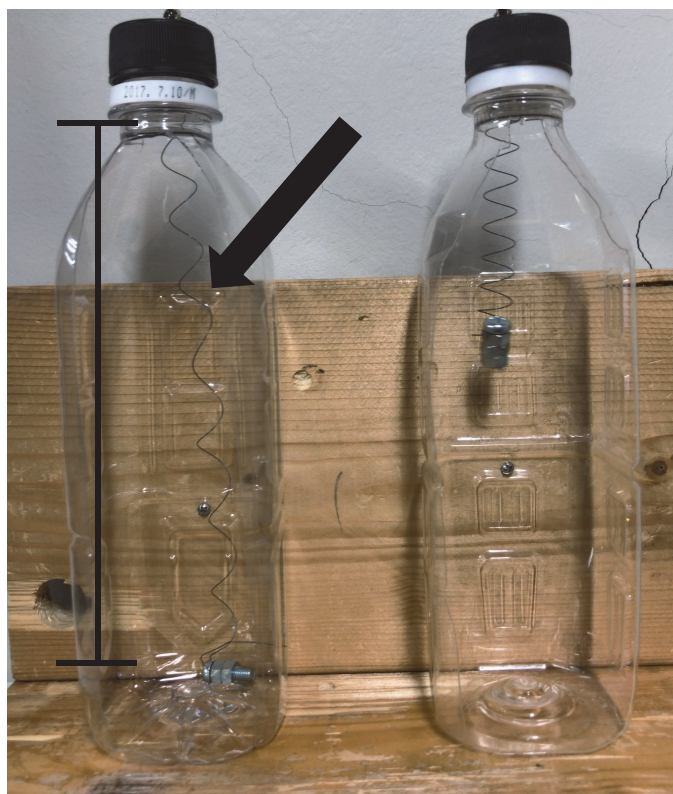


図5. 形状記憶バネを加熱後に自然冷却を行なった時の教材の概要



図6. 超弾性特性バネを室温からヘアドライヤーで加熱を行った時の教材の概要



上昇する様子が見て取れる。図3は、形状記憶特性バネに対し冷却スプレーで冷却を行った時の教材の概要を示している。冷却により、バネが室温よりもさらに伸びる様子が見て取れる。図4は、形状記憶特性バネを冷却スプレーで冷却後、ヘヤドライヤーにより加熱

を行なった時の教材の概要を示している。バネは加熱により、記憶した短いバネの形に戻る。図5は、形状記憶バネを加熱後に自然冷却した時の教材の概要を示している。自然冷却によりバネが伸び、バネは初期の長さに戻る。本教材により、形状記憶特性バネの一連

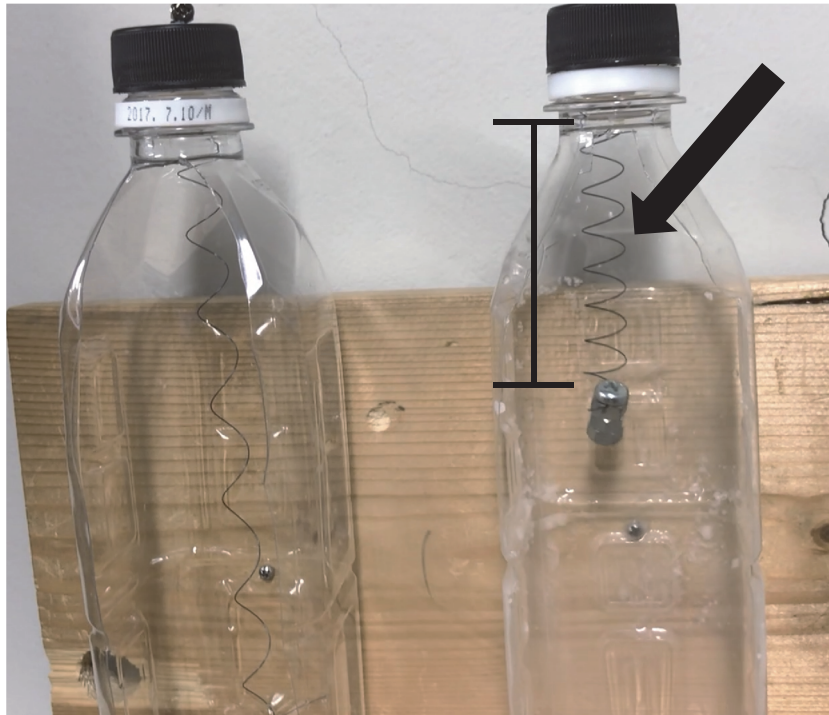


図7. 超弾性特性バネを冷却スプレーで冷却した時の教材の概要

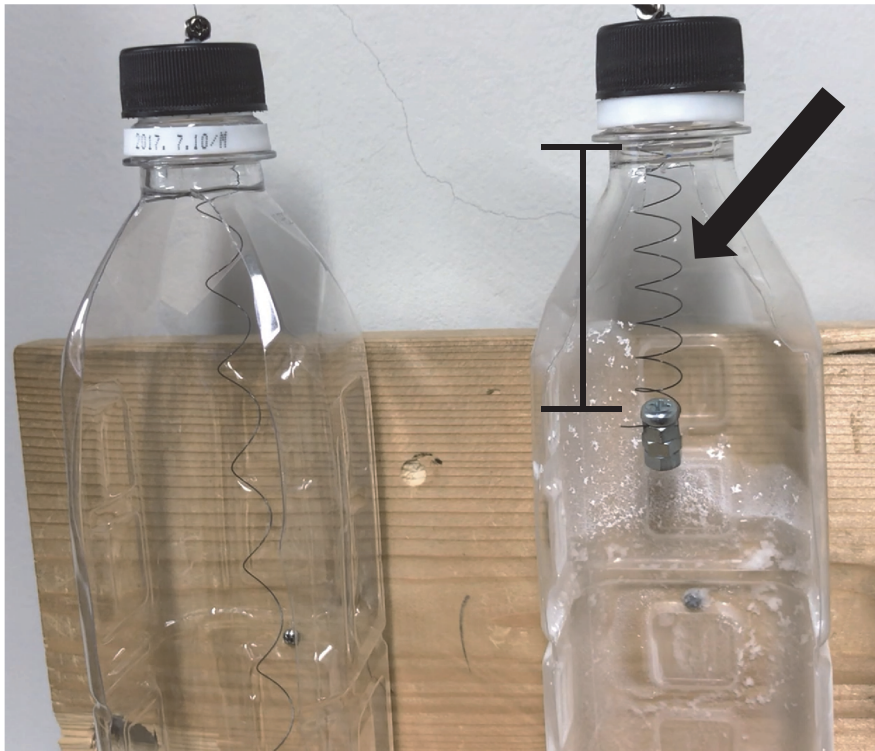


図8. 冷却スプレーで超弾性バネ冷却後 室温で自然加熱を行なった時の教材の概要

の動作を実際に観察することが可能な教材を開発することができた。

## 7. 超弾性特性バネの動作

図6から図8に「超弾性特性バネ」の動作を示す。図6は、超弾性特性バネ（右側のバネ）を室温からヘヤドライヤーで加熱を行った時の教材の概要を示している。加熱によりバネの長さが短くなり、おもりが上昇する。図7は、冷却スプレーで超弾性バネを室温から冷却した時の教材の概要を示している。冷却によりバネが長くなり、おもりが下降する。図8は、超弾性特性バネを冷却後、室温で自然加熱を行なった時の教材の概要を示している。自然加熱により超弾性特性バネは初期の形状に戻っていることが見て取れる。このように、理解が難しい「超弾性特性」を冷却・加熱によりバネが伸び縮する様子を本教材で観察することにより、「超弾性特性」の理解を深めた。

本教材により、超弾性特性バネの動作を学習させる教材の開発に成功した。

## 8. 結 論

本研究により、中学校 技術・家庭科（技術分野）の「C エネルギー変換の技術」の、機械分野のエネルギー変換教材の一例として「形状記憶合金学習教材」を提案した。本教材により、形状記憶合金には「形状記憶特性」と「超弾性特性」の異なる2つの特性があり、これら2つの特性の違いを、バネを冷却スプレーで冷却・ヘヤドライヤーで加熱することにより実験観察可能な教材を開発した。この教材を2019年7月下旬及び8月上旬に実施した技術科教員研修で、現職教員に提案した所、教師が生徒に示す教材として有用であるとの評価を頂いた。

## 文 献

- (1) 文部科学省:中学校学習指導要領解説技術・家庭編 pp.1-41 (2017)
- (2) 全日本中学校技術・家庭科研究会研究調査部、日本産業技術教育学会、公益社団法人 全国中学校産業教育教材振興協会：平成26年度中学校 技術・家庭科に関する 第3回全国アンケート調査【技術分野】調査報告書<http://ajgika.ne.jp/doc/2015enquete.pdf> (accessed 2018-09-22)
- (3) 加藤幸一、永野和男 他 文部科学省検定済教科書 新しい技術・家庭 技術分野、東京書籍 (2011)、pp.33

(2019年9月24日受理)