

高等学校理科教科指導における 特異材料を用いた付加価値付与

仲野 純章* 木村 久道**

1. はじめに

高等学校教育の現場は「探求的な学習」が拡充されて大きく変わりつつある。探求的な学習とは、学生が主体的に課題を設定し、教科横断的な視点から、問題解決的な活動が発展的に繰り返されていく一連の学習方法である。このような流れの中、科学技術系人材の育成を目的としたスーパーサイエンスハイスクール(SSH)に全国の約200校が指定されており、既に各校独自のカリキュラムで様々な探求的活動が進められている。そのうちの1校である奈良高等学校においても、科学のトップランナーを育成すべく様々な探求的活動が展開されている⁽¹⁾。特に、理科系の中に設けられたSSHコースにおいては、第2学年からの2年間をかけて課題研究を展開できるカリキュラムになっており、得られた研究成果の一部は学外に向けて公開されている⁽²⁾⁻⁽⁴⁾。学生にとって、こうした一連の活動は個人では成し難く、学校という集団・組織に身を置いて活動するからこそ享受できる、いわば学校教育における付加価値の一つといえる。最近、各教科指導において、いわゆるアクティブラーニングを意識した授業がなされるようになってきたが、依然として、知識伝達型の教科書の内容に沿った教科指導が多い。このような探求的な学習拡大の流れ、さらには、昨今声高に叫ばれている高大接続の議論⁽⁵⁾を考えると、教科指導の中身も同時に変えていかなくてはいけないのではと強く感じる。高等学校段階での探求活動や高等教育以降の学びや研究の土台となるものは、紛れもなく教科指導の内容であるからである。そのため、高等学校段階での探求活動や高等教育以降の学びや研究をよりスムーズにハイパフォーマンスなものにするとすれば、土台と

なる教科指導の内容もその先を見据えたものにしていかねばならない。なお、新しい時代にふさわしい高等学校教育を提言・検討するために設けられた「文部科学省 高大接続システム改革会議」では、各教科で求められる能力が具体的に検討されている。理科(物理)に関しては、図1に示すように、「特に重視すべき思考力・判断力・表現力等のイメージ例」⁽⁶⁾として、

- 自然事象の中に問題を見出し、観察・実験のための予想や仮説を立てる力
 - 予想や仮説を確かめる観察・実験を計画・実施する力
- などが挙げられている。しかし、本質的で広がりを持った知識がない中では、これらの思考力・判断力・表現力を小さく限定しかねない。

こうした状況の中、「敢えて学校で教科を学ぶ意味」は何かと考えたとき、教科指導の中にもやはり、学校だから体験・習得・思考できたという付加価値があるべきであると考えている。

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ○自然事象の中に問題を見出し、観察・実験のための予想や仮説を立てる力 ○予想や仮説を確かめる観察・実験を計画・実施する力 ○観察・実験データを分析・解釈する力 (例)・結果についてモデルを使って考察し、表やグラフで表現する力 ○要因の抽出や観察・実験結果について推論する力 (例)・事象の変化に及ぼす要因を推論によって推測し、結果を予測する力 ・観察・実験結果を帰納的に推論して規則性や共通性を導く力 ○報告書の作成・発表・討論などを通じて表現する力 |
|--|

図1 理科(物理)において特に重視すべき思考力・判断力・表現力等のイメージ例(文部科学省高大接続システム改革会議資料)⁽⁶⁾。

* 奈良県立奈良高等学校；教諭(〒630-8113 奈良市法蓮町836)

** 元 東北大学金属材料研究所；准教授

Imparting Additional Value to Subject Instruction on Science at High Schools Using Unique Substances; Sumiaki Nakano* and Hisamichi Kimura**(*Nara High School, Nara. **Tohoku University, Sendai (former))

Keywords: *physics education, metallic glass, educational tool, spring characteristic, strain*

2017年3月14日受理[doi:10.2320/materia.56.389]

2. 特異材料活用がもたらす可能性の検討

教科指導の中における付加価値付与の一つのアプローチとして、我々は、鉄やアルミニウムといった身近な材料とは異なる性質を持つ特異材料を用いて、科学に対する興味関心と深い学びを促す可能性に着目してきた。こうした特異材料の一つとしては、特徴的な構造と物性を持つ「金属ガラス」が挙げられ、我々は物質の状態変化に関する学習の中でそれを取り上げる試みも行ってきた⁽⁷⁾。金属ガラスはランダムな原子配列を持つアモルファス金属の一種であるが、50 K以上の広い過冷却液体域を持ち、2桁以上の遅い冷却速度でも作製できる点が通常のアモルファス金属との大きな違いである。この金属ガラスは、引張強度が1~4 GPaと高強度であり、一方で、優れた靱性も備えている。また、歪みに対して破断まで弾性的に変形し、大きな弾性限(比例限)および弾性エネルギーがあり、耐疲労特性にも優れる⁽⁸⁾⁽⁹⁾。今回、力学分野で扱う「ばね」を題材にしたとき、こうした金属ガラスを用いた場合に例えばどのような活動の広がりや学びの掘り下げができて得るものかを考えてみたい。

3. 「金属ガラス」の特徴を活かし、ばねを見つめ直す

(1) 金属ガラス活用のメリット

強度・靱性・耐疲労特性等の面で一般の金属より優れた機械的特性を持つ金属ガラスは、圧縮加工を施してのばね成形と、このばねを用いた力学的評価に適しているといえる。また、金属ガラスを活用するもう一つのメリットとして、金属ガラスという特異材料を使用しているという特別感が学生の科学的興味をくすぐり、大学等研究機関の「空気」を感じることができるということも挙げられる。こうしたメリットを活かし、以下の実験を行った。

(2) 方法

上述した金属ガラスの機械的特性を活かし、以下のような折り曲げ成形式の各種ばねを作製した。数百種類以上の金属ガラスがある中、今回は比較的作製しやすい $Zr_{55}Cu_{30}Al_{10}Ni_5$ 金属ガラス⁽¹⁰⁾を選択した。液体急冷法により作製された $Zr_{55}Cu_{30}Al_{10}Ni_5$ 金属ガラス薄帯から、幅3 mmの短冊形状を6本切り出し(長さ: 24, 34, 44, 54, 64, 74 mm)、両端から2 mmの2箇所切欠きを形成した。そして、切欠きとその直近の折り曲げ位置との距離、及び隣り合う折り曲げ位置の距離がいずれも10 mmになるよう手作業による圧縮加工を施し、図2(a)から(f)のように折り曲げ回数の異なるばねを成形した。各切欠きには糸製のフックを括りつけ、図3(a)から(f)のように、一方の糸製フックでばねをつり下げ、他方の糸製フックに質量が10, 20, 30, 40 gのおもりを順に付加して荷重-伸び特性を測定した。ここで、それぞれのばねには糸製フックとの接合点(荷重点)が2箇所存在するが、荷重点間距離の初期値からの変化量を伸び量と定義した。

(3) 結果

奇数回折りの場合の荷重-伸び特性を図4に、偶数回折りの場合の荷重-伸び特性を図5に示す。1回折りの(a)形状の場合、伸びの値は荷重に比例せず、図4(a)のように曲線状のグラフとなった。しかし、2回折りの(b)形状に至ると、グラフ形状は図5(b)に示すように直線状となり、教科書等でよく目にする「ばねの伸びと弾性力の関係」と類似のグラフとなった。ところが、3回折りの(c)形状になると、図4(c)のように再び直線性は損なわれた。しかし、4回折りの(d)形状になると、図5(d)に示すように再び直線状となった。同様に、5回折りの(e)形状になると、図4(e)のように

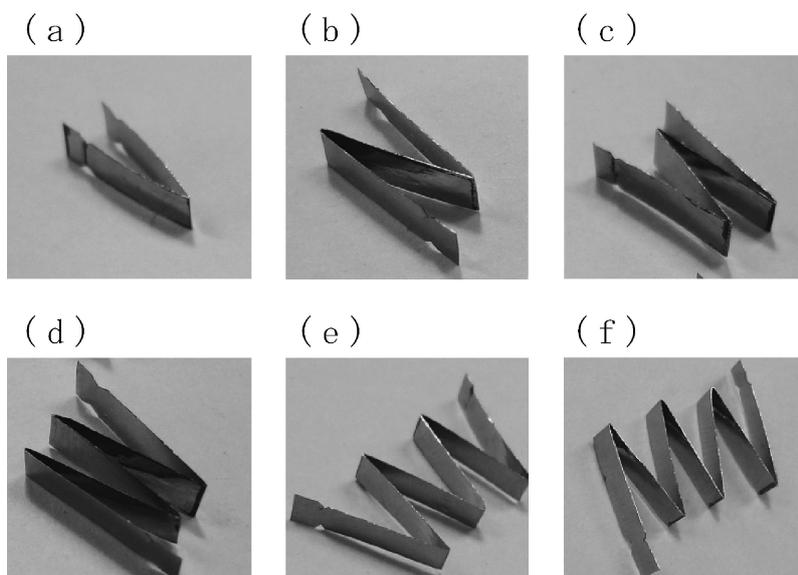


図2 各種供試ばね; (a): 1回折り, (b): 2回折り, (c): 3回折り, (d): 4回折り, (e): 5回折り, (f): 6回折り。

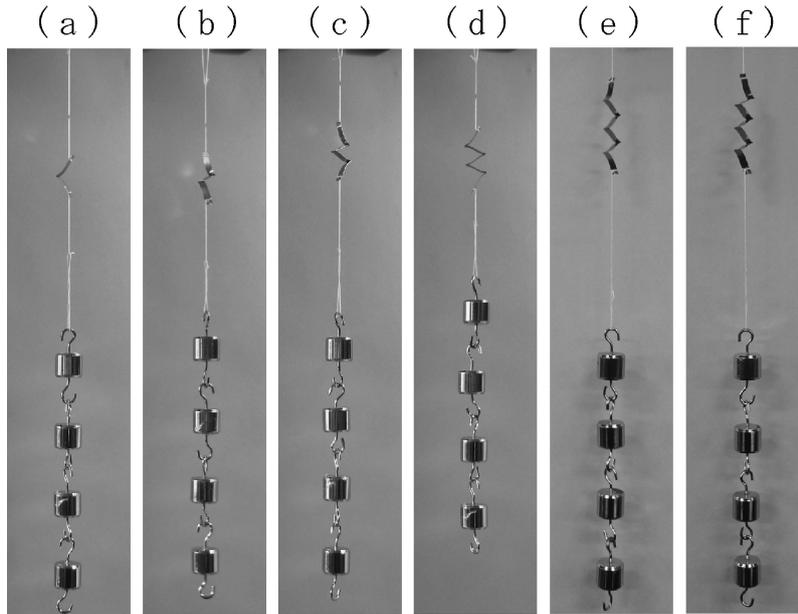


図3 各種供試ばねに対する荷重-伸び特性の測定風景.

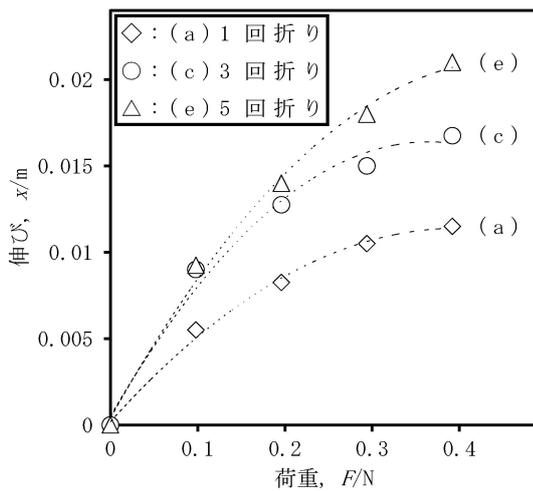


図4 奇数回折りの場合の荷重-伸び特性.

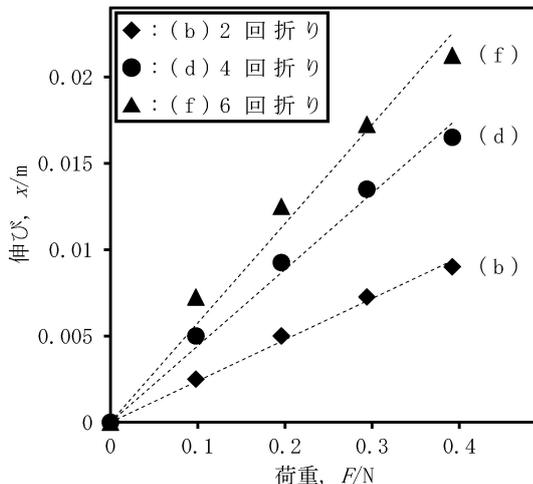


図5 偶数回折りの場合の荷重-伸び特性.

直線性は損なわれ、6回折りの(f)形状になると、図5(f)に示すように再び直線状に近づいた。このように、折り曲げ回数により線形ばねと非線形ばねの両方の性質が交互に現れる結果となった。また、図4に示す3種類の奇数回折りのばねについて比較すると、曲げ回数の増加とともに見かけの弾性係数が小さくなるという傾向が見られ、同様の傾向は、図5に示す3種類の偶数回折りのばねについても見られた。このことは、後述の式(1)に代表されるような「ばねの長さが長いほど弾性係数は小さくなる」というばねに見られる一般的な傾向と合致する。

(4) 学びの掘り下げ

ばねの弾性は、ミクロな視点で見るとばねを作っている金属自身の弾性、つまりは金属内の原子構造に起因する。つる巻きばね全体の話として語られることの多いフックの法則は、第一には、このようにミクロにみたときの話である。そして、その原子レベルの積み重ねの結果として、比例限界内にある金属においては、荷重と伸び(たわみ)の関係には正比例の関係が現れ、フックの法則が満足される。また、上述の自作ばねは、いわゆる引張りではなく曲げによる変形を利用したばねである。引張りでは変形しにくい材料でも、今回のように変形のさせ方によっては変位が大きく現れる。さらに、変位が拡大されるような二次的構造を与えることで、「見かけの弾性」をより増大させることができる。馴染みのあるつる巻きばねも、実はこうした変形のさせ方の工夫や二次的構造で変位を拡大している一例である。つまり、つる巻きばねを伸ばすとき、ばねの各部分はねじれを起こし、各部分のねじれが合成されて全体の大きな伸びとなる。なお、つる巻きばねの伸びに影響する因子は実に様々であり、有効巻き数を N_a 、コイル中心径を D 、材料の横弾性係数を G 、直

