

特異材料を活用した物理教育 —非晶質金属を例にとって—

仲野 純章（奈良県立奈良高等学校）

木村 久道（前 東北大学金属材料研究所）

例えば、「学校」だからこそできる体験や「授業」であるからこそ促された思考活動、といったものをどれだけ盛り込むことができるか。物理教育の現場において、こうした「学校」の「授業」で学ぶ価値を追求したいと考えている。今回、結晶構造をもたないいわゆる非晶質金属を取り上げ、「特異材料を題材にしてより深い学びを促す」ことを狙った。

キーワード：物理教育、高大連携、特異材料、非晶質金属、金属ガラス

1. はじめに

物理教育の現場において、個人学習では成し難い体験や思考活動をいかに盛り込むかを考えたとき、大学等で研究開発されているような一風変わった題材を活用して知識や思考を深めさせるという手段は一つの方法であり、また、それは、今求められている高大連携の思想にも背かない。ただ、現地まで出向かなければ実際に手にすることができないような題材や安全性・安定性に課題がある題材では、授業の中で活用するのが難しい。そういう点では、例えば、「ハンドリングしやすい材料」が現実的な題材の一つであり、そういったものとして、今回、非晶質金属の可能性に着目した。

そもそも、真空蒸着や電解めっきによって金属が非晶質（amorphous, non-crystalline）として得られることは古くから知られており、特異材料とはいえないかもしれない。ただし、その形成能の低さゆえ、ハンドリングに適したサイズにまでならないという難点が長年存在した。ところが、その後の 1990 年以降、東北大学が様々な合金組成でバルク状の非晶質金属創製に成功した。非晶質金属は一定の熱処理を行うと結晶化することが知られているが、こうしたバルク状で得られる非晶質金属は、結晶化前にあたかもガラスのような過冷却液体状態を経ることから、金属ガラスとも呼ばれる（図 1）。一般的に、非晶質金属が結晶化を起こすためには長周期の原子再配列が必要で

あるが、金属ガラスの場合、この再配列が困難な組成から成っている、ということがこうした独特の熱的挙動の所以の一つである。金属の長い歴史からすると、この金属ガラスはまだ研究開発・実用化が始まったばかりといえる特異材料の一つであろう。

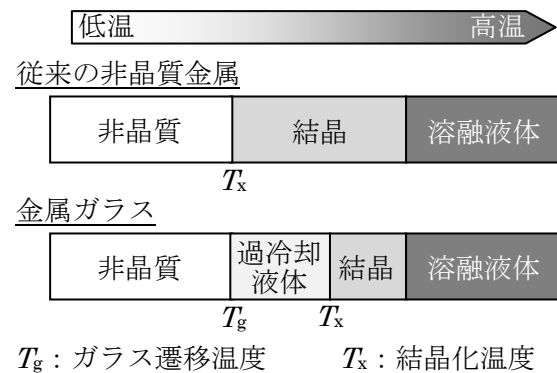


図 1 従来の非晶質金属と金属ガラスの熱的挙動

こうしたバルク状の非晶質金属、つまり金属ガラスの創製が可能になった今、非晶質金属をハンドリングしやすいサイズ・形状で得ることができ、教育の場でも比較的活用しやすい状況にあるといえる。こうしたことから、金属ガラスという非晶質金属を物理基礎「熱とエネルギー」分野の学びの総括として取り上げることが試みた（以下、本稿では金属ガラスも非晶質金属と表現する）。

2. 方法と結果

対象は物理基礎を学ぶ第1学年160人(4学級合計)とした。いずれの学級においても、前時までに「熱とエネルギー」分野に関する一通りの基礎知識を学習した後、非晶質金属を題材にして、その分野の知識・思考を深めさせた。

授業は、図2に冒頭部分を示すようなパワーポイント資料を用意し、これに沿って進めた(図3)。

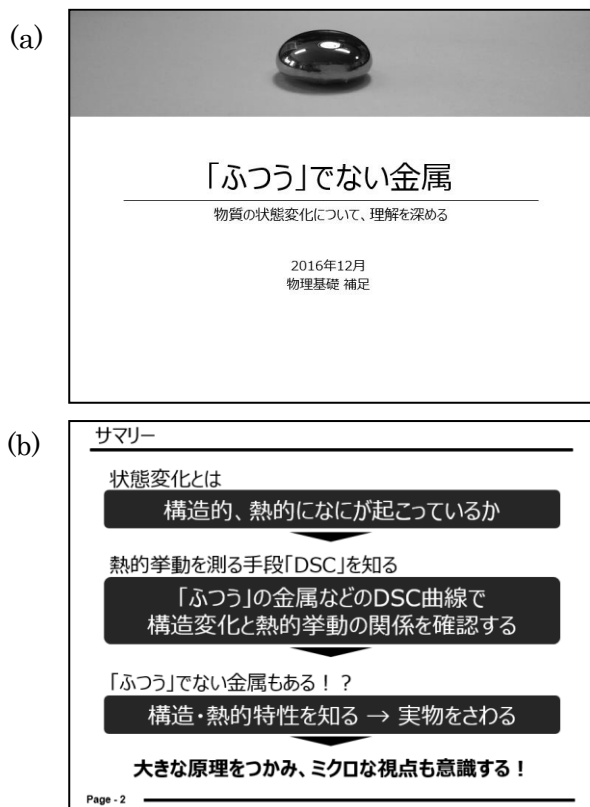


図2 授業資料の冒頭部分
(a)タイトル, (b)サマリー



図3 授業風景

まずは、前時までのつながりが唐突にならないよう、状態変化や熱について改めての整理を行った。この際、特に状態変化における構造的な挙動と熱的な挙動(吸熱・発熱)の関連を大きくつかめるよう心がけた。

次に、物質の熱的挙動を把握する代表的な手段として示差走査熱量測定²⁾(DSC: Differential Scanning Calorimetry)というものがあることを紹介した。これを知ることによって、構造変化と熱的挙動の関連をより伝えやすくなると考えたためである。今回は、

- ・でんぷんの糊化に伴う吸熱過程
- ・加熱硬化型の接着剤の硬化に伴う発熱過程
- ・はんだの熔融に伴う吸熱過程

を例に挙げ、物質の外観変化写真・イメージとDSC曲線を並べ、構造変化と熱的挙動の関連の理解を促した。

はんだの話に触れたところで、「ふつう(結晶質)」の金属へ論点を移し、その作製方法や典型的な構造(結晶構造+結晶粒界)について説明した。作製方法の説明では、インターネットで公開されている動画を活用することが便利である³⁾。

そうした「ふつう」の金属の概要を把握した上で、構成成分・作製方法によっては「ふつう」でない、つまり結晶構造を持たない非晶質金属が得られる事実を提示した。その作製方法を説明する際も、インターネットで公開されている動画を積極的に活用した^{4),5)}。

そして、こうした非晶質金属が示す独特の状態変化と熱的挙動を、図4に示す温度-体積グラフを活用しながら説明した。さらに、構造的な挙動と熱的な挙動(吸熱・発熱)の関連を把握した冒頭部分の応用として、この温度-体積グラフにおける①液体→非晶質固体、②非晶質固体→結晶質固体、③結晶質固体→液体、といったそれぞれの相転移現象が吸熱・発熱のいずれになるかを問うた(一定時間思考させた後に、図4内に示す通り、解答となる矢印を全て表示した)。こうした一連の説明と思考活動から、表1に挙げるような思い込みに対する驚き・気づきを与えることができた。

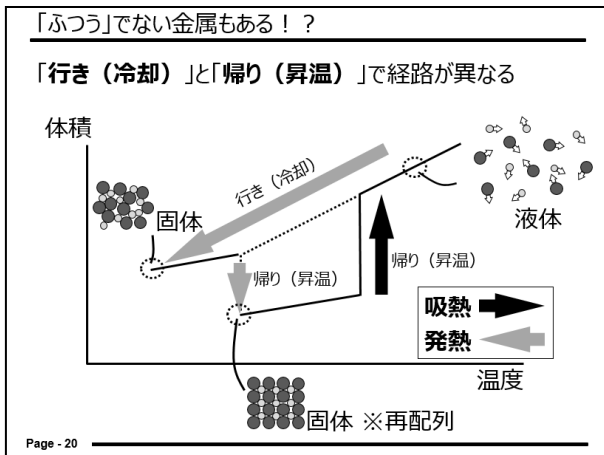


図 4 非晶質及び結晶質金属の温度-体積概念図

表 1 思い込みに対する驚き・気づき例

| 思い込み | 驚き・気づき |
|--------------------------|---|
| 結晶構造はひたすらに規則正しい | 結晶粒界を境界として、規則性が変化する |
| 構成成分が同じなら、できあがってくる物も同じはず | 構成成分が同じでも、作り方（例えば冷却速度）を変えるとできあがってくる物が異なる場合がある |
| 状態変化の行きと帰りは同じはず | 行きと帰りで様子が違うこともある |
| 昇温過程での状態変化は吸熱のはず | 吸熱も発熱もありうる |

その後、現物に触れる時間も設けた。用意したサンプルは $Zr_{55}Cu_{30}Al_{10}Ni_5$ 組成（数字は原子%）の非晶質金属及びそれを熱処理して得た結晶質金属である。図 5 に外観を示すような、薄帯状の $Zr_{55}Cu_{30}Al_{10}Ni_5$ 非晶質金属を短冊状の小片に切り取り、これを用いた。なお、この $Zr_{55}Cu_{30}Al_{10}Ni_5$ 非晶質金属は結晶構造をもたないことから、XRD パターンは図 6 のようにブロードなハローパターンとなる。こうした非晶質金属を得るには、アー

ク溶解炉や液体急冷装置等が必要となるため、今回はこうした装置を製造・販売され、また、東北大学とも密接に研究活動をなされている株式会社真壁技研（仙台市宮城野区）のご協力を頂いた。



図 5 $Zr_{55}Cu_{30}Al_{10}Ni_5$ 非晶質金属の外観

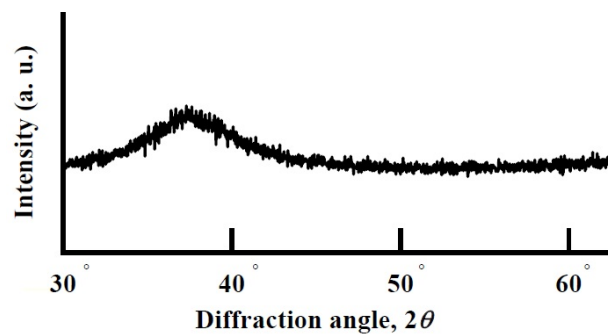


図 6 $Zr_{55}Cu_{30}Al_{10}Ni_5$ 非晶質金属の XRD パターン

こうした $Zr_{55}Cu_{30}Al_{10}Ni_5$ 組成の非晶質金属と結晶質金属を全員に配布し、自由に触れさせ、折り曲げたときの様子・感触等を比較させた。図 7 にそうした折り曲げ体験前後のサンプル写真を例示するが、その前後形態からもわかるように、「非晶質金属の方は、曲げてもしなやかで強い」、「結晶質金属の方は曲げている途中で割れてしまう」という共通した感想が聞かれた。こうした簡単な体験から、概念として理解した結晶粒界の存在が、実感として理解できたはずである。また、たとえ同じ構成成分でも、ミクロな組織が変わると、材料の物理特性も変化することを実感し、「物性・物理現象の裏には、ミクロな理由がある」ことに少

しは意識が向いたのではないかと考えている。

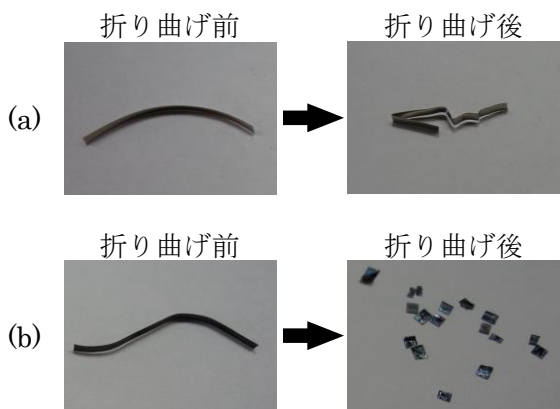


図 7 折り曲げ体験前後のサンプル
(a)非晶質, (b)結晶質

3. 課題と今後の展開

今回は取り急ぎの引用程度に留まったが、非晶質金属の特性を考えると、表 2 に挙げるような分野でも派生的な教育が可能であると考えている。

表 2 非晶質金属の活用可能性と根拠特性

| 分野 | 特性 (結晶質に比べて) |
|-------------|--------------|
| 力 (圧力・ばね) | 優れたばね特性 |
| 音波 (音色) | 良好な響き |
| 電流 (電気抵抗) | 高い抵抗値 |
| 運動量 (反発係数) | 高い反発係数 |
| X 線 (X 線回折) | ランダムな原子配置 |

今や、外部講師による講演会等で、大学レベルの科学技術に触れる機会も少なくない。その一方で、日常的に理科教育に携わる我々授業者もこうした科学技術・材料をことあるごとに取り上げていきたいものである。その際には、

- 1) 今の学習内容へどう効果的にリンクさせるか
 - 2) いかにか噛み砕いて表現するか (例外を恐れず)
- といった 2 点を特に意識していくことが重要であると考えている。

今後、非晶質金属を始め、特異材料の継続的な活用を試みていきたいと考えているが、やはりインフラ面での課題が大きいため、他機関との連携が欠かせない。意義をご理解頂ける外部機関の方々とも連携しながら、教育に有益な素材・活用

方法を検討していきたいと考えている。こうした材料を話題に上げ、実際に触れる・思考する活動を通じて、学習内容の定着は勿論のこと、科学技術への知的好奇心が向上するといった、最も根本的な効果を期待したい。

謝辞

筆者が東北大学民間等共同研究員時代にお世話になり、今回も非晶質金属作製・ご提供にご理解・ご協力頂いた株式会社真壁技研の皆様には深く感謝の意を表します。また、今後の非晶質金属活用について、有益なご助言を頂きました網谷健児准教授 (東北大学金属材料研究所) にも御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 寺島岳史: 神奈川大学工学研究所所報, **36**, 22 (2013).
- 2) 中村允: WINTEC TECHNORIDGE, **293**, 3 (2011).
- 3) <https://youtu.be/SaS-y9L7Brk?t=107>.
- 4) https://youtu.be/P6G_vaU4nkE?t=47.
- 5) https://youtu.be/_keed4gi0pQ.