

附属高等学校・大学の高大連携による 超伝導体試料の作製と応用実験の実習

山口幸雄¹⁾, 芝原寛泰²⁾

1) 京都教育大学附属高等学校 yyukio@kyokyo-u.ac.jp

2) 京都教育大学 理学科 shiba@kyokyo-u.ac.jp

キーワード：超伝導，高大連携，SSH

(受付け：2004年9月24日)

Ⅰ．はじめに

京都教育大学附属高等学校のSSH（スーパーサイエンスハイスクール）クラスの授業のひとつである「物質科学Ⅰ」における授業実践の例を報告する。「物質科学Ⅰ」における生徒実験の一つとして、超伝導体試料の作製と応用実験をとりあげた。附属高等学校と京都教育大学の高大連携の一環として共同研究を行い、授業実践に取り組んだ内容について報告する。

現在、全国で72校がSSHの指定を受け、それらの大半が高大連携の下に研究実践を行っている。大学教員による講演、大学における実験体験など様々な形態で実施されている（野瀬，2004）。本報告は、大学の研究室で行っている研究テーマおよび学生実験の実践の成果を参考にしながら、高大連携による共同研究の下、SSHの授業に向けてその内容を教育的観点および生徒の興味関心を引き起こす事を念頭に再構成したものである。報告は①超伝導体試料の作製、②超伝導性を利用した応用実験の2つからなる。

SSHでの「物質科学Ⅰ」授業の指導方針は「日常生活の中で活躍する材料に目を向けさせ、合成と分析を通して考察を深め、反応のしくみを理解させる。これら一連の過程を通してものづくりへの志向に結びつける」である。この方針のもとに、①超伝導体試料の作製では、様々な面で応用が期待される超伝導酸化物を生徒自身が作製し、そのプロセスを通して化学反応のしくみを理解し、化学の立場から、取りあげる材料物質と超伝導現象の関係を捉えることを目的とした。後半の②超伝導性を利用した応用実験では、超伝導現象の不思議さを体験し、また超伝導材料の実用面に関心をもつための実験を行った。ピン止め効果の大きい市販のGd系超伝導酸化物（臨界温度＝92K）を利用して超伝導トレインを作製した。超伝導トレインは超伝導性の確認実験として用いられるマイスナー効果を利用して、磁場の上で模型の列車を走らせるものである。生徒達が超伝導トレインの動作原理を考えることによって、新たな実験装置を独力で創造的に開発する可能性が期待される。さらに、未来に向けての応用的な技術の一端に触れ、今後の科学技術のあり方を推察し開発する能力を培うことを目的とした。

II．超伝導体試料の作製

1) 授業の概要

Y系の超伝導体 ($\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$, YBCOと略記) を作製した。得られたペレット状のサンプルを用いてマイスナー効果による確認実験をおこない超伝導性を確かめた。時間配分と作製手順および確認実験の方法を次に(1)～(7)の段階にわけて示す。

＜作製および確認実験の方法＞ (行末のカッコ内に授業時間の目安を示す)

- (1) 原材料物質の秤量, 湿式混合 (1+6) 時間
- (2) 原材料物質の混合物の乾燥 1 時間
- (3) 原材料物質の混合物の仮焼 (1+4) 時間
- (4) 仮焼生成物の粉碎 1 時間
- (5) ペレット状の仮焼生成物の作成 1 時間・・・夏季休業中に作成
- (6) ペレット状の仮焼生成物の本焼, Y系超伝導酸化物(YBCO)の完成 13時間
- (7) 超伝導性の確認実験 マイスナー効果を確認 1 時間

2) 実験の方法および結果

作製方法(1)については, 授業で物質量の単元が終わり, モル数などの量的関係がある程度理解できてから行う方が効果的と判断した。そこで, Y:Ba:Cu=1:2:3の物質質量比にするために, 原料である Y_2O_3 , BaCO_3 およびCuOの質量比をいくらにすればよいかを自ら計算させた。さらに, 量り取った化合物をそれぞれエタノールとともに湿式混合させた。湿式混合を採用したのは乾式混合の場合よりも均一に混合できるためである。混合時間は約6時間とした。試料は各生徒1個ずつ作製した。(図1)



図1 原材料物質の秤量
(薬品, 左から Y_2O_3 , BaCO_3 , CuO)

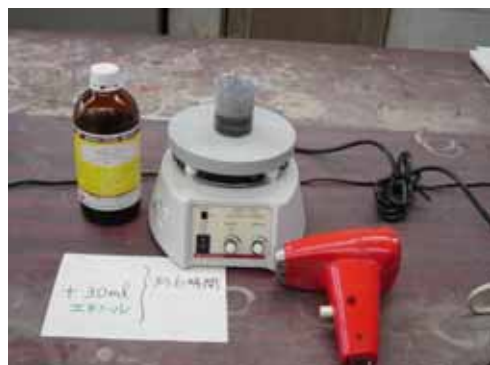


図2 ヒーターによる混合物の乾燥

作製方法(2)については, 加熱機能を備えたマグネティックスターラーで湿式混合した後, さらにドライヤーで乾燥させ, 粉末状態でデシケーター内に保存した。(図2)

作製方法3)については, 各自のサンプルを, アルミナのボートに詰め,

条件にしたがってマッフル炉で仮焼した。仮焼の際、加熱には4時間、自然放冷には数時間が必要なため、プログラムによる自動化で対処した。（図3）



図3 アルミナボートに詰める



図4 仮焼後の物質の粉碎

作製方法（4）では、乳鉢内で仮焼生成物を粉碎し、粉体としてデシケーター内に保存した。（図4）

作製方法（5）では、マイスナー効果を確認するため、圧縮成型機を用いてペレット状にした。1試料につき、約30分～1時間程度の作業時間を要するため夏季休業期間を利用して行った。（図5）

作製方法（6）では、ペレットにしたものを条件にしたがって再びマッフル炉で本焼した。本焼の加熱には13時間、自然放冷には数時間がかかるため、仮焼時と同様プログラムによる自動化で対処した。（図6）



図5 圧縮成型機でペレット作製
($500\text{kg}/\text{cm}^2$ で5分間圧縮)



図6 本焼後のY系高温超伝導酸化物
(直径30mm、厚さ2mm)

作製方法（7）の超伝導性の確認実験では、各自が作製したペレット状のY系高温超伝導酸化物（YBCO）のマイスナー効果の有無を調べた。超伝導酸化物を液体窒素で冷却し、上からNd磁石を静かに載せ、浮上することで確認した。確認後、生徒の中で希望者には、電圧、電流及び温度測定による4端子法を用いて、電気抵抗が0となる臨界温度を測定させた。それによると、臨界温度が約95Kとなり、通常の臨界温度約90Kに相当する測定値を

得た。図7に絶対温度－電気抵抗値の変化を示す。

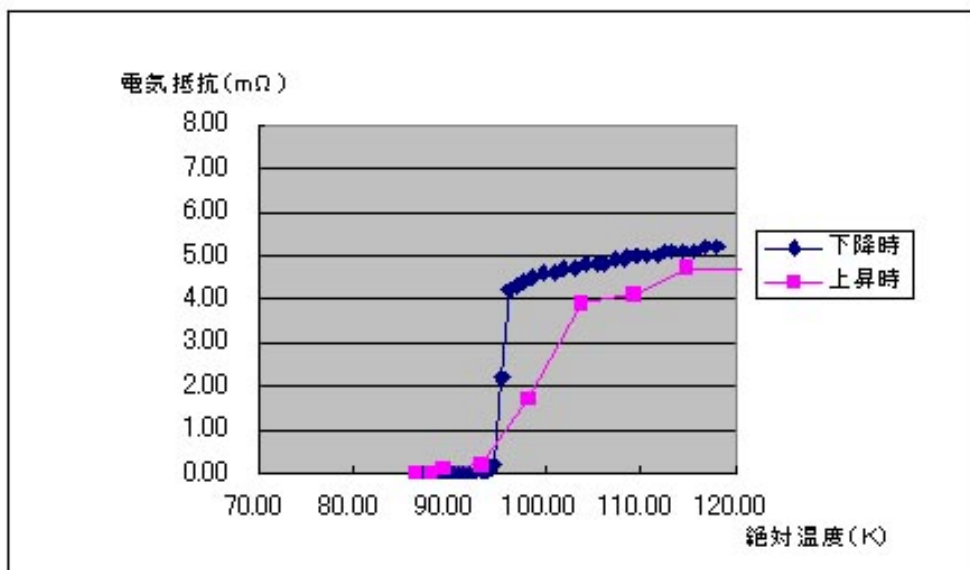


図7 作製した超伝導酸化物の電気抵抗値と絶対温度との関係

III．超伝導性を利用した応用実験

1) 授業の概要

ピン止め効果の大きいGd系超伝導酸化物を用いて、超伝導トレインを作製し、超伝導現象の不思議さやその応用面に目を向けさせた。Gd系超伝導酸化物は市販品を用いた。次の①～③の実験を行うための装置を作製した。

- ①環状の水平レールの上を超伝導トレインが加速して浮上走行する。
- ②水平と垂直を繰り返す環状のレールの上を超伝導トレインが浮上・懸垂走行する。
- ③回転する円形の水平レールの上で超伝導トレインが順走、逆走あるいは静止する。

いずれも超伝導性のもつマイスナー効果，ピン止め効果を応用した実験として興味深いものである。

2) 装置の作製および実験結果

①では、進行方向2cm，幅1cmのNd磁石3個を1組（N極・S極・N極）にして水平レールを作製した。ただし，進行方向は同極性より磁石の反発を低減させるため，厚さ0.5mmのトタン板5枚を下部に敷いた。直線部の途中2ヶ所と同じ4個のNd磁石を円盤状の木の側面に固定しモーターで回転させ加速器した。ガーゼとAl箔で包んだ超伝導体を発泡ウレタン製の車体に埋め込み，その上部にAl板を取り付けた。電磁誘導の原理を利用してAl板上に渦電流を発生させ，その渦電流と回転磁石との相互作用で前方への推進力を得るように作製した。回転磁石とAl板との距離の調節が重要で，可変式としたことで安定的に加速させることができた。約4秒で1周し超伝導状

態がブレイクするまで、すなわち臨界温度を超えるまでに、約20周ほど浮上走行を繰り返した。その様子を図8、9に示す。

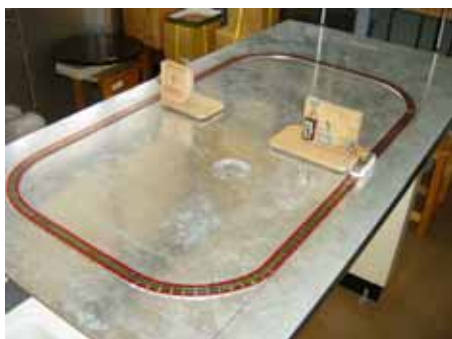


図8 水平レールの全体図



図9 回転磁石を使った加速器

②では、浮上走行と懸垂走行を連続した形で走行できるように装置を作製した。上下の直線部の長さは88cm、曲線部の曲率半径は30cmである。3組のNd磁石の構成は水平レール①と同じである。そのレールの固定には、木材と釘を利用した。収納や運搬しやすいように中央で2分割してある。強いピン止め効果が得られる磁場内冷却で、ある程度初速度を与えれば浮上走行から懸垂走行へと一周させることは十分に可能であった。（図10,11）



図10 水平・垂直レール全体図

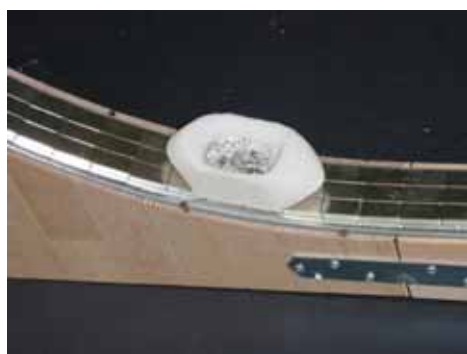


図11 浮上走行から懸垂走行へ

. ③では、円形の超伝導レールの上を超伝導トレインが浮上走行をするが、初速度を与えない限り、静止し続けるので次のような工夫をした。①と②では固定した超伝導レールの上で超伝導トレインを走行させたが、③ではレールの方を回転させた。超伝導レールの回転には、速度可変式のターンテーブルを用いた。ターンテーブルの上に、外形25mm、内径21mmのドーナツ状のトタン板を1枚敷き、その上に①、②と同じ3組のNd磁石の構成で放射状に配置した。外側でNd磁石の間隔が空くことによる磁力線の乱れにより超伝導トレインが多少左右に振動するがある程度静止を続けた。途中でターンテーブルの速度を可変させても静止は保たれた。ある一定の初速度を与えると、下の円形レールの回転に対して順走、逆走、静止を制御

しながら自由に浮上走行させることができた。

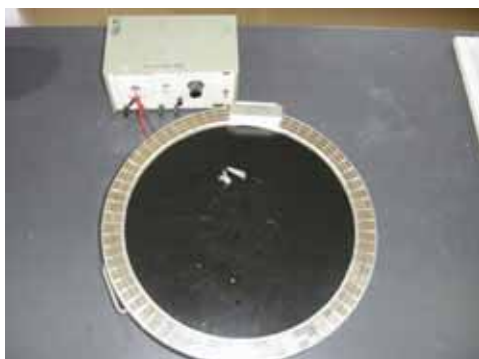


図12 回転するレール

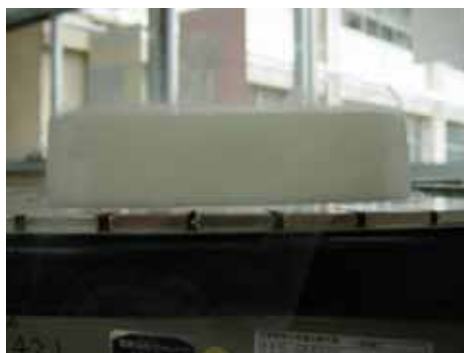


図13 4mmほど浮上しているトレン

4. 評価と課題

前半の①超伝導体試料の作製では、時間的な制約がかなりあったが、生徒の作業面では大変円滑に進んだ。ただ、エタノールの蒸発など時間がかかった作業については、事前に教師側である程度の処理をしなければならず、どのようにすれば時間短縮がはかれるかを生徒自身に考えさせて実習する方がより教育的である。

今回は、初めてのY系超伝導酸化物の作製ということもあり、教師が示した解決済みの課題を生徒が追体験する確認実験となった。今後は混合物の組成を変えたり、また混合物の組成は同じでも混合比を変えたりして、臨界温度がどのように変化するかを試行錯誤の中で考察させる実践を取り組む予定である。

後半の超伝導性を利用した応用実験では、既製の超伝導酸化物を使用して、様々な超伝導現象を利用した演示装置を作製することが目的であり、ピン止め効果による懸垂走行など非日常的な現象を観察した時の驚きと同時に現象の不思議さや面白さを体験させることができた。生徒のものづくりへの志向もより強まり、創意工夫して装置を作る楽しさや困難さも体感できたのではと思われる。

今回の実験を通して、何故このような現象が起こるのかという疑問が湧き、それを解決するように考えることで、科学的思考力も大いに鍛錬されたように思われる。今後さらに、これらのレールを利用して、水平・垂直・回転が組み合わされた「メビウスの輪」などの独創的な実験装置や超伝導現象を応用した装置を作製したいと考えている。

謝辞 ピン止め効果を応用した様々な実験については、高重正明氏（いわき明星大学）、濱崎真一氏（福島工業高等専門学校）の貴重なアドバイスをいただきました。また、図9に示す回転磁石を使った加速器の製作には桜井昭三氏（サイエンスEネット副代表）の全面的な協力を得て実現しました。ここに謝意を表します。

文献

野瀬重人 2004. 日本科学教育学会 年会論文集28 : 216-218