

平成 22 年 6 月 17 日現在

研究種目：若手研究 (B)
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20700628
 研究課題名 (和文) 燃料電池・超伝導体を用いた小中学校実験理科学習のための教材開発
 研究課題名 (英文) Development of teaching materials using superconductor and fuel cell for the experimental science study of primary and junior high school
 研究代表者
 吉田 健一 (YOSHIDA KENICHI)
 東京都立産業技術高等専門学校・ものづくり工学科・准教授
 研究者番号：60252201

研究成果の概要 (和文)：

本研究では、小学校や中学校の理科出前授業で使用可能な、超伝導と燃料電池を用いた教材開発に取り組んだ。超伝導体を用いた教材に関しては、最高フィッシング(吊り下げ)力196g重(1.9N)、磁気浮上高さ13mmの性能を有する直径36mmφ、重量50gの熔融体型酸化超伝導体を合成し、これらを用いて総重量250gの地球儀バルーンの吊り下げ実験に成功した。開発した教材を用いて平成22年3月の荒川区産業展では、小中学生用を対象にした実演を行った。固体酸化燃料電池の教材開発に関しては、教材利用可能なNi+YSZ多孔質燃料極基板の開発に成功した。

研究成果の概要 (英文)：

I have developed teaching materials using fuel cell and superconductor for the experimental science study of primary and junior high school. As for the teaching materials of superconductor, I have successfully synthesized melt-processed oxide superconductor. The maximum efficiency of the material such as diameter, weight, fishing power and magnetic rise height was 36mm, 50g, 1.9N and 13mm, respectively. Using materials, fishing experiment of earth balloon (total weight 250g) was succeeded. The demonstration of melt-processed superconductor has operated on 13 March 2010. An audience was mainly primary and junior high school students. As for the development of teaching materials using solid oxide fuel cell, I have succeeded to prepare Ni+YSZ porous anode substrate which can use teaching materials.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,800,000	840,000	3,640,000
2009年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：教育

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学・科学教育

キーワード：超伝導、燃料電池、小学校、中学校、理科教室、熔融体、磁気浮上、固体酸化燃料電池

1. 研究開始当初の背景

現在日本では、児童・生徒の理科離れや学力低下が顕著となり、それに伴う理数系人材の不足や能力低下は、技術立国の根幹を揺るがしかねない事態となっている。

一方教育現場では、小学校低学年では理科好きが多いのにも関わらず、小学校高学年から中学生にかけて理科嫌いな生徒が急速に増加することから、この問題は初等・中等教育機関を跨いだ問題となっている。さらに近年では高等学校や大学においても、学生の学力低下、理工系の敬遠などが問題になっており、問題の解決のためにも理科嫌いが始まる初等・中等教育機関での理科離れ対策が重要になっている。

2. 研究の目的

本研究では、燃料電池、超伝導体を用いた小中学生にとって魅力のある実験理科教材の開発を行う。開発した教材は出前授業、体験理科教室などでの実践を目指し、理科離れに対する一つの取り組みとする。

3. 研究の方法

(1) 熔融体型酸化物超伝導体の教材開発

申請者は市販品では 10 万円近くする熔融体型の酸化物超伝導体を、グラム単価で約 1/40 のコストで合成することにすでに成功している。しかしながら直径 13mm φ、重量 2g 程度の物質の合成しか成功しておらず、市販品のように直径 50mm φ、重量 80 g の大型材料は合成できなかつた。そこで本研究では製法にさらなる改良を加え、実際の授業で演示効果の大きい大型試料の合成を目指した。また超伝導体の電気抵抗をその場で測定できるシステム、磁気浮上力の強弱を付けた試料も合成し、磁気浮上、超伝導や電気について理解が深まる教材を合わせて開発することを目指した。

(2) 固体酸化物型燃料電池の教材開発

申請者は燃料極に $\text{NiO}+\text{Sm}_{0.2}\text{Ce}_{0.8}\text{O}_2$ 、電解質に $\text{Sm}_{0.2}\text{Ce}_{0.8}\text{O}_2$ 、空気極に $\text{Sm}_{0.5}\text{Sr}_{0.5}\text{CoO}_3$ を用いた、電解質支持型のメタン直接酸化型の固体酸化物燃料電池の単セルを作製し、LED の点灯実験に成功している。しかしながらガスコンロで加熱することで発電は可能となるが、度重なる使用により電解質が破損してしまう問題が発生している。また電解質基板は市販品で 1 枚数千円と高価であり、継続的な利用は困難である。そこで本研究ではこれらの問題点を解決する技術開発を行った。

4. 研究成果

(1) 熔融体型酸化物超伝導体の教材開発

熔融体の磁気浮上力のアップと試料の大型化に焦点を置いて研究を行い、原料の混合比率、Y211 粒径の制御、種結晶の付加と Ce 添加の効果について検討した。

まず Y211 の粒径によって磁場のピン止め特性が変化し、磁気浮上特性が向上するという報告があるので、Y123、Y211、 Ag_2O の重量配合比は固定し、Y211 試料をボールミルで 0 ~ 120 時間粉碎することで粒径を変化させ、特性変化を調べた。試料は直径 25mm φ のプレス心棒で成型した重量 5g のものを用い、5 回の浮上時間の平均時間を性能の目安とした。表 1 にその結果を示す。種結晶を付加しない場合、表 1 の 1 ~ 4、7、10 番の結果より、Y211 の粉碎時間が長くなるにつれ磁気浮上時間は増加した。熔融体では、試料中央に核となる高融点種結晶を置いて結晶成長させることで、磁気浮上特性が向上する。また Y123 では 2 重量%の CeO_2 添加により特性が向上するという報告がある。そこで Gd123 熔融体のために開発された、Nd123、Nd422、MgO を混合した種結晶を Y123 系に適用し、その効果を調べた。種結晶付加の効果として表 1 の 4 と 5 番、7 と 8 番を比較すると、それぞれ 8.3 秒から 16.9 秒、11.8 秒から 21.5 秒と 2 倍近く特性が向上した。市販の CeO_2 粉末を添加し、種結晶を付加した表 1 の 6、9 番の試料にも、4、7 番試料と比

較すると特性の向上が見られた。この内 Y211 の粉碎時間が 96 時間、CeO₂ を添加し種結晶を付加した試料 9 番が、最も長い磁気浮上時間 22.7 秒を示した。一方、Y211 の粉碎時間が 120 時間の 11、12 番試料は、96 時間の 8、9 番試料と比較すると浮上時間が減少した。

表 1 重量比が Y123+Y211+Ag₂O=1 : 0.273 : 0.191 の配合で合成した、直径約 22mm φ、重量 5 g 試料の、Y211 粒径、種結晶付加、CeO₂ 添加による磁気浮上時間の変化

Y211 粉碎時間	SEM で測定した Y211 概算粒径	種結晶なし	種結晶	種結晶 + CeO ₂
		浮上時間 [秒]/試料番号		
0 時間	5 μm 前後	5.6/1		
12 時間	2~3 μm 前後	9.3/2		
24 時間	1~2 μm 前後	8.1/3		
48 時間	1 μm 前後	8.3/4	16.9/5	12.8/6
96 時間	0.2~0.3 μm	11.8/7	21.5/8	22.7/9
120 時間	0.2 μm 以下	16.7/10	17.9/11	16.8/12

この結果は Y211 の粒子径が 0.3~0.2 μm 以下になると、種結晶を付加した熔融体中心部分の Y211 の分散が不均一となり、特性が悪くなるという報告と一致する。以上の結果より、重量配合比 Y123+Y211+Ag₂O+CeO₂=1 : 0.273 (96 時間) : 0.191 : 0.025 (2 重量%) に、種結晶付加を最適条件とした。

次に総量を 50g とした大型試料を作製した。試料は 40mm φ のプレス心棒で厚さ約 10mm に成型した。厚さが 15mm 以上の試料では、試料内部に十分に酸素が付加できず、試料が超伝導体にならないという報告があるので、15mm 以下の厚さとした。また 50g の試料の成型は、通常の混合だけではプレスの際に形が崩れやすい。したがって大型試料の成型にはイソプロピルアルコールで原料を湿らせ、混合したものをプレスした。これにより 40mm

φ の大型試料でも容易に成型できた。

合成した大型試料はシャーレ中で液体窒素に浸し、シャーレの下側にはネオジム磁石を配置した。磁石には容器を取り付け、容器内部に荷重となるセラミックボールを入れた。この磁石付容器の吊り下げ状態が、10 秒以上保持できた容器と荷重の合計重量を、吊り下げ (フィッシング) 力として定義した。またシャーレ中の熔融体上部に磁石を置くことで、安定的に磁気浮上可能となる高さを定規で測定した。表 2 に Y211 の微細化、種結晶の付加、CeO₂ 添加の各種条件を変えて作製した、大型試料のフィッシング力の測定結果一覧を示す。表 2 は表 1 と同様な傾向を示し、試料番号 25 番が 188 g 重と最も良い性能を示した。また Y211 の微細化、種結晶の付加、CeO₂ の添加を行わない 13 番試料でも、43g 重のフィッシング力となった。

表 2 重量比が Y123+Y211+Ag₂O=1 : 0.273 : 0.191 の配合で合成した、直径約 36mm φ、重量 50 g 試料の、Y211 粒径、種結晶付加、CeO₂ によるフィッシング力の変化

Y211 粉碎時間	Y211 概算 粒径	種結晶無	種結晶有	種結晶 +CeO ₂
		フィッシング力 [g重]/試料番号		
0 時間	5 μm 前後	43/13		
12 時間	2~3 μm 前後	101/14	113/15	113/16
24 時間	1~2 μm 前後	150/17	113/18	150/19
48 時間	1 μm 前後	150/20	150/21	119/22
96 時間	0.2~0.3 μm	38/23	113/24	188/25

超伝導状態の熔融体上部に磁石を置いたときに、ネオジム磁石が安定的に浮上する磁気浮上高さを、表 2 の 13 番と 25 番の試料で求めたところ、25 番で 13mm、13 番で 7mm となった。その実験風景を図 1 に示す。試料 25

番は 13 番と比較して、フィッシング力で 4 倍以上、磁気浮上高さで約 2 倍の強力な磁気浮上特性を有した。一方、Y211 の粒径制御、 CeO_2 添加や種結晶の付加を行わない 13 番試料でも、50 g の大型試料を合成すれば、40 g 程度の物体の吊り下げが可能で、出前授業や理科教室で使用可能であることが分かった。

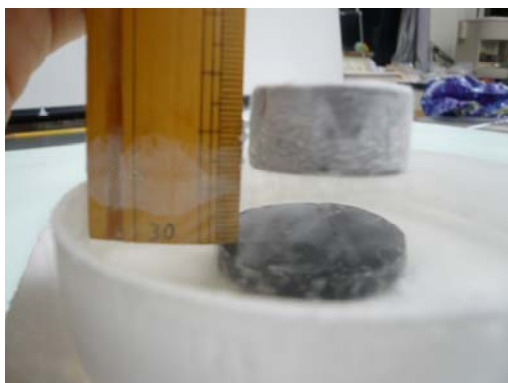


図 1 熔融体超伝導体による磁気浮上(25 番試料)。浮上しているのが磁石で、熔融体は下部のシャーレに入った黒い物体 重量 77 g の磁石が約 13mm 浮上していることが分かる。



図 2 熔融体を用いた地球儀バルーンの吊り下げ

次にフィッシング力が大きかった 19、21、25 番の熔融体を重ねて使用することで、図 2 に示すように地球儀バルーンのフィッシング実験に成功した。

最後に開発した大型熔融体を用いて、平成

22 年 3 月の荒川区産業展において、小中学生向けの理科教室を開催し、開発教材の現場投入を行った。その際の実演風景を図 3 に示す。



図 3 開発教材の実演風景

(2) 固体酸化物型燃料電池の教材開発

本研究では、燃料極支持型の固体酸化物燃料電池の開発に取り組んだ。その結果直径 18mm φ、厚さ 0.5mm の Ni+YSZ、Ni+GDC の燃料極基板の開発に成功した。今後はこの基板上に、緻密電解質の作製を目指す。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

吉田健一、熔融体型酸化物超伝導体を用いた磁気浮上材料の合成Ⅱ、物理教育、査読有、58 巻 2 号、2010、pp75~79

[その他]

ホームページ等

<http://www.metro-cit.ac.jp/~kenyoshi/demae/demae.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉田 健一 (YOSHIDA KENICHI)
東京都立産業技術高等専門学校・ものづくり工学科・准教授
研究者番号：60252201