

令和 2 年 6 月 10 日現在

機関番号：57102

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16K00994

研究課題名（和文）電磁石を採用した超伝導関連教材「超伝導コースター」の作製とその多面的評価

研究課題名（英文）Development of the teaching materials "superconducting coaster with electromagnet" and its multilateral evaluation

研究代表者

竹内 伯夫 (Takeuchi, Norio)

有明工業高等専門学校・一般教育科・教授

研究者番号：70413870

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000 円

研究成果の概要（和文）：有明工業高等専門学校では樹脂ブロックを用いた教材「小型超伝導コースター」の製作やその教材を用いたピン止め位置に関する研究、超伝導体YBCOの作成などを行ってきた。本研究ではさらに自由度を高めるために電磁石を用いて電流を制御しながら超伝導体を浮上させる教材作成に取り組んだ。電磁石を用いた超伝導コースターの作成までは至らなかったが、板状の超伝導体を用いて3次元の超伝導コースターを完成させ、今後の可能性を広げた。これらの学習および製作を通じて、学生達は磁場や超伝導現象、電子回路等の物理学に関する理解、問題解決能力の向上、実験報告書作成および成果発表等、大きな成長の機会を得ることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は「速度制御が可能な超伝導コースター」という世の中に無い教材を作成する点が一番の特徴であった。また、本研究は有明高専2年生の課題研究で学生達が主体となって実施し、教材そのものをゼロから学生の手で製作するため、製作行程が材料の段階から可視化できる点も独創的な点であった。受講生が磁場や超伝導に関する知識を獲得しながら、実習工場で装置等を作成し、深く考察する能力を育成することができた点は、「高専」という特徴を考慮した研究企画であったと考える。当初計画した装置は時間的に作成できなかったが、軽い超伝導体を用いた3次元超伝導コースターという別の形の教材作成に成功し、教材活用の幅を広げた意義は大きい。

研究成果の概要（英文）：The teaching materials "small superconducting coaster with resin block", the location about pinning effect, and making of superconductor "YBCO" had been studied since 2012 in National Institute of Technology, Ariake College. In this research, making of teaching materials using an electromagnet with electric current control system was worked on. We didn't come to making of a superconducting coaster using an electromagnet because it was very difficult to make a strong electromagnet to lift a usual YBCO, but a three-dimensional superconducting coaster has been completed with a board-like small superconductor. The students could get understanding of a magnetic field and superconductivity, an experimental report writing, outcome announcements and a big grown-up chance through these research activities.

研究分野：物理教育

キーワード：超伝導 超電導 電磁石 3次元 超伝導体 超電導体 超伝導コースター 超電導コースター

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

有明工業高等専門学校では物理科教員と有志の学生により、平成 24 年度から樹脂ブロックを用いた教材「小型超伝導コースター」の製作やその教材を用いたピン止め位置に関する研究、超伝導体 YBCO の作成などを行ってきた。磁場や超伝導に関する物理現象をより楽しく、より深く理解するために、新しい視点に立った教材および教材の改良が望まれていた。超伝導現象は応用物理学および複合的な分野のため、高等学校や大学低学年では扱わない分野である。しかしながらマイスナー効果とピン止め効果は非常に興味深く、知的好奇心を刺激するのに大変魅力的な現象である。したがって、超伝導現象を大きな枠組みとして、電磁気学の分野を包括的に学習できる教材があれば、新しい視点に立った素晴らしい授業の展開が期待できた。

2. 研究の目的

超伝導コースターは通常は永久磁石であるネオジムを採用して作成されるが、電磁石を用いて電流を制御しながら超伝導体を浮上させることができれば、さらなる学習および製作を通じて、学生達は磁場や超伝導現象、電子回路等の物理学に関する理解、問題解決能力の向上、実験報告書作成および成果発表等、学生達に大きな成長の機会を得ることができる。また、電流制御ができる分、教材としての自由度が高くなる。装置等はすべてゼロからの自作となるので、作成・実験にかかるすべてのエネルギーや価格等が多面的に算出および評価でき、資源・エネルギーや経済を考える教材にも発展できる。

3. 研究の方法

本研究の各年度における実施方法を表 1 に示す。

表 1 各年度の研究実施方法

時期	研究内容
平成 28 年度 (採択 1 年目)	・ 作成した超伝導体 YBCO の温度特性調査 ・ 電磁石の一般的な特性研究
平成 29 年度 (採択 2 年目)	・ さまざまな電磁石の作成
平成 30 年度 (採択 3 年目)	・ 3 次元磁場分布測定 ・ 強力な電磁石の作成
令和元年度 (採択 4 年目)	・ 板状の軽量超伝導体の導入 ・ 板状の軽量超伝導体の成分分析 ・ 電子回路キット「Arduino」を用いた電流制御研究 ・ 作成した教材の公開(授業および公開講座への適用)

平成 28 年度は超伝導体の温度特性を調べ、いろいろな形状および巻き数の電磁石を作成し、その特性を調べた。平成 29 年度は強力な電磁石を作成するために、引き続き電磁石に関する研究を進めた。平成 30 年度はより強力とされる「キャップ型電磁石」の作成にあたり、令和元年度は視点を変えて、軽量な超伝導体探しと導入に踏み込んだ。板状の超伝導体は走査電子顕微鏡 (SEM) を用いて成分分析を行い、その特性を理解した。また、電流を制御するために電子回路キット「Arduino」を用いた開発を進めた。新たな教材「3 次元超伝導コースター」が完成次第、公開講座で小・中学生対象に実演しながら、学会や学術雑誌において成果発表を行った。

4. 研究成果

本研究で製作した主な教材および実験装置を図1～図4に示す。図1は製作したさまざまな巻き数のコイル、図2は加工した板状の超伝導体、図3はゴム磁石をレールとして採用した3次元超伝導コースターの全体図、図4は速度制御システム概念図であり、コイルを巻いた電磁石に電流を流して発生する磁場を調整し、超伝導体の速度を制御するものである。

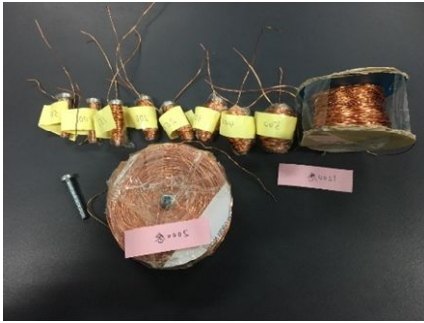


図1 さまざまなコイル

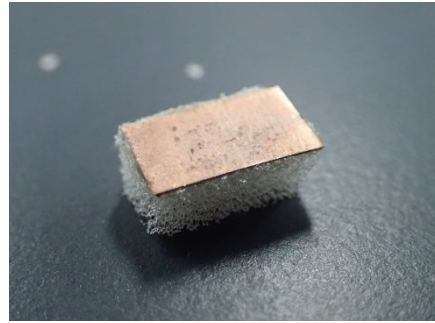


図2 加工した板状の超伝導体



図3 3次元超伝導コースター

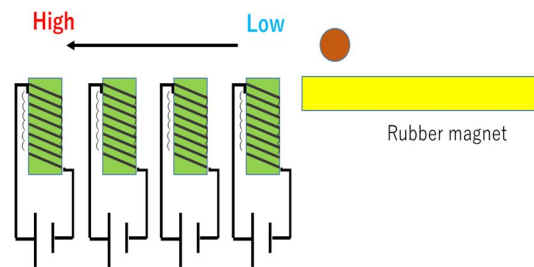


図4 速度制御システム概念図

また、論文などの成果を以下に示す。電磁石を用いた超伝導コースターの製作には通常の超伝導体 YBCO を浮上させるための強力な電磁石が必要であり、その研究について進展があった。その成果は論文として1件、国内の学会発表として1件、海外の学会発表として1件報告を行った。3次元の超伝導コースター製作については国内の学会発表として1件報告を行った。本研究4年間全体の取り組みとして、海外雑誌への論文として1件、国内雑誌に1件、海外の学会発表として1件にまとめた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Norio Takeuchi, Tomoko Sameshima, Takeshi Sakai, Keiichi Morita	4. 巻 1123
2. 論文標題 Development of Physics Teaching Materials Using a Simple Superconducting Coaster	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 1-4
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1742-6596/1123/1/012018	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 竹内 伯夫、居石 桃夜、鮫島 朋子、森田 恵一、酒井 健	4. 巻 53
2. 論文標題 円形コイルおよびソレノイドを用いた電磁石に関する検討 ～高専の特徴を生かしたアプローチ～	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 有明工業高等専門学校紀要	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 竹内 伯夫、酒井 健、鮫島 朋子、森田 恵一	4. 巻 22
2. 論文標題 有明高専3年次における物理科による課題研究および学外発表への取り組み	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本高専学会誌	6. 最初と最後の頁 3-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件/うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Norio Takeuchi, Tomoko Sameshima, Takeshi Sakai, Keiichi Morita
2. 発表標題 Development of Physics Teaching Materials Using a Simple Superconducting Coaster
3. 学会等名 ESTCON2018 (ICFAS2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 居石 桃夜
2. 発表標題 円形コイルおよびソレノイドを用いた電磁石に関する検討
3. 学会等名 2017年日本物理学会Jr.セッション
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Momoyo Sueishi
2. 発表標題 An investigation of electromagnet with coils and solenoids
3. 学会等名 Science Castle 2017 in Singapore (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 林 拳士朗、鎌田 眞綸、松藤 颯大、坂倉 可紳.
2. 発表標題 3次元超伝導コースターの作成とその特性
3. 学会等名 第4回高専生サミット
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

竹内研究室研究業績一覧 http://tsubaki.ge.ariake-nct.ac.jp/~takeuchi/academic.html
--

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	酒井 健 (Sakai Takeshi) (70290830)	有明工業高等専門学校・一般教育科・教授 (57102)	
研究分担者	鮫島 朋子 (Sameshima Tomoko) (40413869)	有明工業高等専門学校・一般教育科・准教授 (57102)	
研究分担者	森田 恵一 (Morita Keiichi) (90649683)	有明工業高等専門学校・技術部・技術専門員 (57102)	