

A-8

理工系大学・短大向け熱電効果の教育を目的とした安価な物理学実験教材の開発

Development of inexpensive teaching materials for thermoelectric effect in physics experiment of Science and Technology universities and junior colleges

○佐藤稜太¹, 大久保尚紀², 伴周一², 岡田悟志²

*Sato Ryota¹, Ohkubo Naoki², Ban Shuichi², Okada Satoshi²

We study the new educational program about a thermoelectric effect experiment in a physics laboratory for university students. This program is included making samples and a measurement of thermoelectric effect, less than 3 hours. It is enabled by carrying out one heat-treatment and other weighting materials at the same time. We have found that the required final heat-treatment time at 850°C in precursor of $\text{Na}_{0.5}\text{CoO}_2$ is 1 hour.

1. はじめに

平成 25 年度から, 高校に理科課題研究という科目が新設された. 全国の理科課題研究の報告^[1]では, 熱電効果を学ぶための実験は熱電対を使った実験はあるものの, 試料の合成から測定まで行う実験は見当たらない. 熱電効果を学ぶことは大変重要であるにも関わらず, 理工系の大学・短期大学の基礎教育(1 年生の物理学実験等^{[2][3]})においても同様の状況である.

高校 3 年～大学・短期大学 1 年生を対象とした熱電効果を学ぶための実験教材が求められている. これまで高校の理科課題研究で導入可能な実験教材の開発(装置・試料・合成方法)を行い, その成果について第 14 回日本熱電学会学術講演会で報告した^[4]. 高校の理科課題研究は 1 時限(50 分)の授業を 1 週間に 1 回 35 週行う(実験は 35 回中 6 回を想定). しかし多くの理工系の大学・短期大学の物理学実験の時間は, 1 時限(90 分)×連続 2 時限程度で 1 つの実験テーマを行うため, 開発した一連の実験プログラムを単純にこれらへ導入することはできない. つまり試料の合成から測定までのすべての工程を 2 時限程度に収まる新たな実験プログラムを構築しなければならない.

本研究では, 理工系の大学・短期大学の基礎教育向けの熱電効果を学ぶ実験教材及び教育プログラムの作成を目標とする.

2. 理工系大学・短期大学基礎教育向け実験

一般的な理工系大学・短期大学同様, 日本大学理工学部併設短期大学部の 1 年生の物理実験は, 2~3 人の班で行い, 授業時間の連続 2 時限(休憩時間 10 分を含め 190 分)で可能な実験を行っている.

我々が作成した装置において熱起電力の測定時間は

1 : 日大理工・院(前)・精機 2 : 日大理工・教員・一般

45 分程度である^[4]. 試料合成は残りの 120 分程度で行う必要がある. 本来の試料(多結晶 $\text{Na}_{0.5}\text{CoO}_2$)の合成は原料を秤量・混合・熱処理をし, 試料 S_1 を作成する. 次に試料 S_1 を摩砕・混合することで試料を均一にする. 混合した試料をプレス成型した後 2 回目の熱処理を行い試料 S_2 を作成する. プレス成型した試料は水分が急激に気化し破裂するのを防ぐため, 850°C で加熱する前に 120°C で 1 時間保持する. 試料 S_2 を再度摩砕・混合・プレス成型し 3 回目の熱処理を行い試料 S_3 を焼結させ完成する. このように, 3 回の熱処理が標準である.

高校の理科課題研究は, 秤量～混合までを授業時間内に行い, 試料合成は授業時間外(放課後や夜間)に行うことができるため, 長時間の熱処理が可能である. しかし短期大学部の物理学実験では, 1 つのテーマとして 1 回の授業時間中にすべての工程を行わなければならない. そこで最終熱処理を短時間で行った, 試料を作成した熱処理の温度推移を Figure1 に示し, 合成した試料の XRD 結果を Figure2 に示す.

120°C での保持を 1 時間から 10 分に短縮したが試料は破裂せず, さらに短縮し 8 分でも破裂しなかった.

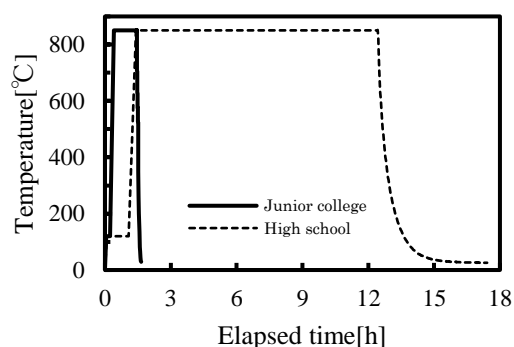


Figure 1. Timetable for heat treatment

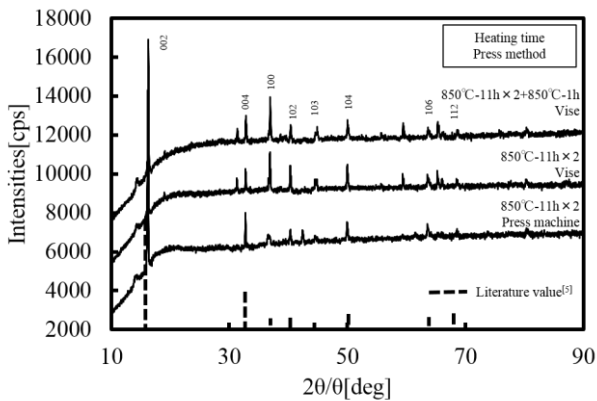


Figure 2. XRD of $\text{Na}_{0.5}\text{CoO}_2$

また、11 時間かけていた 3 回目の 850°C での加熱を 1 時間に短縮しても合成できていることがわかった。

また、プレス機を万力で代用しても問題ないことがわかった。しかし 1, 2 回目の熱処理はそれぞれ 11 時間かけるため、1つの試料を授業時間内に合成できない。

3 回目の熱処理を 1 時間にした試料の起電力測定は我々が作製した装置^[4]で行った。横軸に両ステージ間の温度差をとり、縦軸に起電力をとったグラフを Figure3 に示す。8~89°C における Seebeck 係数は $64 \mu\text{V}/\text{K}$ が得られ、文献値^{[4][6]}と一致した。

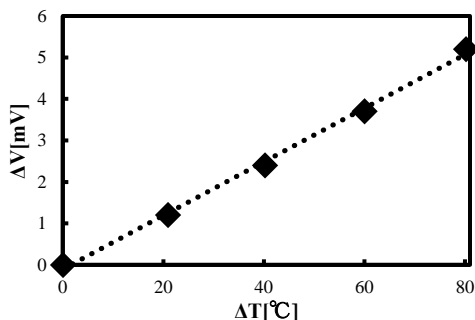


Figure 3. Thermopower of $\text{Na}_{0.5}\text{CoO}_2$

3. 短期大学部物理学実験を想定した教育プログラム
短期大学部の物理実験では、Table 1 の時間配分で実験を行うことを提案する。

説明等		
0	試料 S_3 作成 ・ 試料 S_2 摩砕・混合 ・ プレス成型	
10	熱処理	試料 S_2 作成(成型) ・ 試料 S_1 摩砕・混合 ・ プレス成型
130	測定準備	試料 S_1 作成(混合) ・ 原料の秤量 ・ 原料の混合
150	測定	(電気炉の冷却)
170	グラフ作成 Seebeck係数算出	
180	片付け	
190	試料 S_2 作成 熱処理(11時間)	試料 S_1 作成 熱処理(11時間)

試料 S_1 と試料 S_2 の作成は、熱処理が長時間のため授業時間内では不可能で、試料 S_3 のみ作成可能である。そこで授業時間内に試料 S_1 は原料の秤量と混合のみを行い、実験終了直前に熱処理を始める(11 時間)。熱処理が完了した試料 S_1 は次の実験班の試料 S_1 として用いる。試料 S_2 は前の班が作成した試料 S_1 を摩砕・混合・プレス成型を行い、試料 S_1 と同様に実験終了直前に熱処理を始める(11 時間)。熱処理が完了した試料 S_2 は次の実験班の試料 S_2 を用いる。前の班が作成した試料 S_2 用いて摩砕・混合・プレス成型・熱処理を行い試料 S_3 を作成する。これを熱電効果測定用試料とする。

試料作成手順としてはまず試料 S_3 の摩砕・混合・成型・熱処理開始までを行い、熱処理を行っている間に試料 S_1, S_2 の混合や成型を同時並行で行う。熱起電力測定及びデータ解析を行っている間に電気炉を室温まで冷却させる。最後に次の実験班のために試料 S_1, S_2 の熱処理を開始して実験を終了する。

以上のように試料作成の工程を並行することで限られた時間での実験が可能となる。

4. 最後に

理工系大学・短期大学の 1 年生の物理学実験に使うことを想定した熱電効果の教材の開発及び教育プログラムの作成を行った。本研究結果をうけて、短期大学部の 1 年生の物理実験に試験的に導入する予定であり、授業の内容についてアンケート調査を行いその結果を評価する。

5. 参考文献

- [1] 千葉大学 高大連携専門部会:「平成 27 年度 第 9 回 高校生 理科学研究 発表会」 <http://www.cfs.chiba-u.jp/koudai/happyoukai%20annai/11annai.html>.
- [2] 山本愛士:「工学系のための物理学実験—第 4 版—」, pp. 105-108, 2016.
- [3] 室蘭工業大学物理学実験担当グループ編:「物理学実験 第 2 版」, pp. 117-120, 2011.
- [4] 佐藤稜太 他:「高校の理科課題研究における熱電効果の教育を目的とした安価な熱電変換性能測定教材の開発」, 第 14 回日本熱電学会予稿集, pp. 111, 2017.
- [5] Peleckis, G., *et al.*: "Enhanced thermoelectric properties of Na_xCoO_2 whisker crystals." Applied Physics Letters 83, 26, pp. 5416-5418, 2003.
- [6] Kawata, T., *et al.*: "Na-site substitution effects on the thermoelectric properties of NaCo_2O_4 ." Physical Review B 60, 15, pp. 10584-10587, 1999.