

# MERIT 長期海外派遣報告書

工学系研究科 応用化学専攻 博士課程 2年  
岸尾研究室 瀬戸山結衣

2015年4月12日から6月30日にかけて、イギリスのケンブリッジ大学工学部長 David Cardwell 教授率いる Bulk Superconductivity Group (BSG)にて研究活動を行った。

## これまでの自分の研究における課題

私の学位論文のテーマは、学部4年時から従事している「REBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>y</sub> 超伝導バルク磁石 (REBCO; RE = 3 価希土類元素)の高機能化」である。REBCO バルクは内部を周回する永久電流により、大型超伝導マグネットの発生磁場と同程度の強磁場を捕捉できるため、強力超伝導磁石としての応用に向けて研究が行われている材料である。これらの応用の殆どで冷凍機冷却(40 - 60 K)による使用が想定されており、強力(数 T 級)なバルク磁石開発が期待されている。捕捉磁場向上には臨界電流密度( $J_c$ )向上とバルクの大型化が必要である。私は4年間で、化学組成制御による超伝導母相の強化や新たな磁束ピンニングセンターの導入などの手法を確立し、小片試料レベルで  $J_c$  特性改善に成功してきた。しかし超伝導バルク磁石高機能化で最も重要な値は「捕捉磁場」である。私は捕捉磁場を直接測定する技術を持ち合わせていないため、これまではバルク全体のおおよその捕捉磁場値を小片試料の  $J_c$  値から見積もるまでであった。達成した高  $J_c$  化が捕捉磁場にはどのように反映されるかを解明できていなかったのである。

## BSG への長期海外派遣の志望理由・研究計画

Cardwell 教授は欧州における超伝導研究を代表する著名な研究者の一人である。研究室全体で超伝導バルク高機能化に取り組む BSG は、10年以上破られなかった捕捉磁場の世界記録を昨年塗り替えたことでも話題である。これまで何本もの論文を読んできた私にとって、憧れの研究室だ。しかし彼らは超伝導母相そのものの化学組成制御には注力していない。そのため、彼らの持つ優れたバルク作製・評価の技術と、私の持つ固体化学的観点を融合させることに興味を抱いていた。具体的には、「①母相の化学組成制御を行った大型バルクの作製」「②60 K 以下の中低温および 77 K での捕捉磁場測定技術の取得」「③自分で作製したバルクの捕捉磁場の温度依存性の評価」を目的とし、長期海外派遣に臨んだ。

## BSG の強み

私の研究室において REBCO バルクの研究は数人の学生で行われている「研究室内の1つの小テーマ」に過ぎない。しかし BSG では「研究室全体で取り組む大テーマ」である。そのため力の入れ様が異なり、他の追従を許さないスピードで成果を出している。Cardwell 教授は“paper maker”と呼ばれるほどである。その強みの源をついに知ることができた。

まずは、試料作製・特性評価・シミュレーション・機器応用などテーマが幅広く設定されている点である。テーマを分担することで作業の効率化が達成されている。応用に向けて

どのような試料作製が求められているかを、研究室での議論で知ることができる。装置の不具合があれば、私の研究室では業者が直すまで使用停止となるが、BSG では技官の Dennis 氏がその場で修理してくれる。また、彼らは必要な装置は自分で作ってしまう。液体窒素温度下での捕捉磁場測定装置は 19 個ものホールプローブが備わった複雑なものであったが、これも機械工学を専門とするメンバーのお手製のものであった。これらは応用化学専攻の学生しかいない私の研究室では決して真似ができない。BSG はまさに MERIT というところの異分野同士での「融合研究」を研究室で行っているのだ。

さらに、研究のスケールも大きかった。例えば粉末の混合は、私の研究室では 10 g 程度を 30 分かけて乳鉢と乳棒を使って行う。筋力を要する作業である。しかし BSG では 200 g の粉末を、自動混合機を用いて 2 時間かけて混合する。大容量を一度に混ぜることで秤量時の誤差は減少し、機械を用いることで混合粉体の均質性は向上することが期待される。また、筋力の強さにも依存しないし、疲れにくい。試料を焼成する電気炉は新品のものが大量に用意されていた。16 個もの試料を一度に熔融凝固できる大型の電気炉もあり、その高価な価格を教えていただいた際は卒倒しそうになった。試料表面の研磨は、これまでは手で行っていたため 1 日に 1 個のペースであったが、BSG では機械で行うため 6 個を半日で終わらせられた。また、私が必要であると相談した試薬も簡単に購入してくださった。真似したくてもできないレベルの研究環境であった。

## BSG での成果

残念ながら 4 月末になるまで装置に空きがなく、実験をスタートさせてもらえなかったが、その期間は他のテーマ(バルクのパルス着磁装置開発)の研究を見学した。自分の作る材料に関連する装置が開発される現場を初めて見るのができた良い機会であった。

4 月末から上級研究員 Shi 博士の指導の下、研究を開始した。①については、基本的なバルク作製手法は日本と変わらなかったが、論文には載せない程度の技術であるものの大型バルクの結晶育成を成功させるために重要な「コツ」を惜しみなく教えてくださり有難かった。これまで日本で挑戦できなかった大型バルク(結晶成長後で $\sim 25\text{ mm}\phi$ )を 4 種類育成することに成功した。私がここ 2 年ほど温めていた「RE 組成勾配のついたバルク育成」の計画もついに実現することができた。帰国後に物性を評価するのが楽しみである。

②・③については、中低温での捕捉磁場測定装置は高価な液体ヘリウムを大量に消費するため、使用が制限されており、残念ながら私は使用できなかった。しかし液体窒素温度(77 K)下での測定装置はたびたび使用させてもらった。手作りの装置は特殊なもので、日本で簡単にできないところが悔しいが、論文の中で述べられている手順を実際に目で見るのができたのは意義のあることであった。日本から持参した複数の試料の捕捉磁場値の大小関係は、 $J_c$  値からの見積もりに基づいた予想と反する結果が得られた。私は高  $J_c$  を示す RE 混合バルクが優れた捕捉磁場値を示すと予想したが、実際は最も低かった。複数の RE 元素を用いた試料では、RE の分布が不均一で結晶成長も不均一となった可能性が考えられる。帰国後、小片試料に切り出し磁化測定からこの原因を明らかにする。

REBCO バルクの作製は物性評価できる段階に至るまで 2 週間以上かかるため、今回の滞在期間ではあまり多くのことを挑戦はできなかった。しかし参考になるノウハウをたくさん教えていただいたため、今後の自分の研究の質を向上できると想定できる。

Cardwell 教授は工学部長としてのお仕事でご多忙であったようで、お会いできる機会がほぼ無かったが、唯一、6 月中旬に開催していただいた私の研究発表でお話しすることができた。英語での口頭発表がほぼ未経験であった私はかなり神経質になっていたが、発表後「発表内容も英語も良かったから今後は緊張するな」とアドバイスをしてくださり、涙が出そうになるほど嬉しかった。

## 異文化交流

BSG は構成員の半数が中国・台湾出身の学生・スタッフあり、研究室では英語よりもむしろ中国語の方を耳にした。大学全体を見ても、多くの中国・台湾・香港出身の学生でどこも溢れかえっている印象で、積極的な海外留学の姿勢が見て取れた。一方で日本人研究者は両手で数えられる程度にしか会わなかった。日本は OECD 諸国の中でも留学生の割合が少ない国であるが、その縮図を見たように感じた。

もちろん大学内・寮内ではさまざまな国籍の学生と交流できた。日本では英語を使う機会が全くない私にとって最初は、英語での会話は聴き取ることが最低限できたときでも、議論への参加は至難の業であった。しかし日本人には散々馬鹿にされる私の英語を、ケンブリッジでは誰も嘲笑しなかった。真摯に発言を聞いてくれる態度に大変感動し、お蔭で伸び伸びと英語が話すことが出来た。いろいろな国の文化や考え方を知ることができ、研究面以外も実りのある滞在であったと感じる。

## 謝辞

海外派遣を受け入れてくださった David Cardwell 教授、Yunhua Shi 博士および Anthony Dennis 氏をはじめとする研究生活を支えてくださった BSG の皆様、留学を許可してくださった岸尾光二教授、Cardwell 教授に私を紹介してくださった青山学院大学下山淳一教授、このような貴重な機会をくださった MERIT プログラムに厚く御礼申し上げます。



図 1 作製試料の上面写真の一例

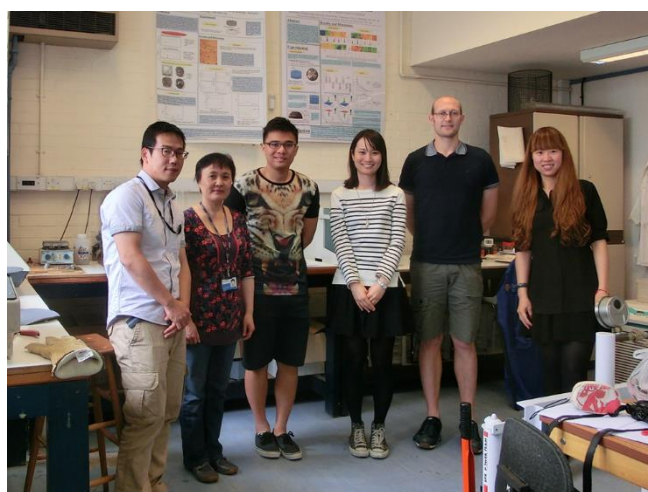


図 2 BSG の方々と