

第33回 低温工学基礎技術講習会開催報告

関西支部

低温工学・超電導学会関西支部では、第33回低温工学基礎技術講習会を、大学院学生、大学教職員、関係企業の若手技術者ら計18名（実習17名、内女性3名）の参加を得て、2017年9月11日～13日に開催した（日本真空学会関西支部、応用物理学会関西支部協賛）。本講習会は、企業・大学の若手研究者や低温工学の初学者を対象として、寒剤の取扱い・低温生成・低温と安全・温度計測・低温用材料の性質・超伝導などの基礎的技術を習得していただくことを目的としている。今回は講師の都合により、初日～2日目に実習を行い、3日目に大阪市立大文化交流センター（大セミナー室）にて7名の講師による座学講義を実施した。なお実習は、神戸大学と大阪大学で、それぞれ「寒剤の性質とその取り扱い方」、「超伝導基礎物性の測定および磁気分離技術」のテーマで行った。また講義は、午後の講義順を一部変更して行った。講師の先生方、実習を担当していただいた両大学の関係者の皆様に感謝申し上げます。以下は、実習風景の報告である。

（神戸大学 武田 実）



写真1 講義風景

「寒剤の性質とその取り扱い方」

神戸大学大学院海事科学研究科 超伝導科学研究室

神戸大学では、9月11日（月）および9月12日（火）に「寒剤の性質とその取り扱い方」の実習を行った。参加者は各々8名（社会人9名、うち欠席1名）および8名（社会人6名、学生2名）であった。実習項目は、以下のとおりである。

- (1) 液体窒素の取り扱い方
- (2) 液体ヘリウムの取り扱い方
- (3) サーマルオシレーションの観測
- (4) 超流動転移の観測
- (5) フィラメントを用いた超熱伝導性の実験
- (6) 噴水効果の実験

午前10時に極低温実験棟に集合した後で自己紹介をして頂き、低温実験に関する経験について聞いたところ、液体ヘリウムを使ったことはあるが見たことがないという実習生が大半を占めていた。続いて当日の実習内容について説明した後、テキストを用いて超流動ヘリウムに関する追加説明を行った。これは、今回の講習会では講義より先に実習が実施されることになったので、上記の実習項目(4)~(6)の予備知識が必要になったからである。

その後、液体窒素の取り扱い講習を行った。始めに、液体窒素を取り扱う上での注意点を説明した。続いて、ゴーグルおよび皮手袋を装着し、クライオジェットを用いて液体窒素移送の実習を行った。ほとんどの実習生はクライオジェットを触るのが初めてであったが、すぐにその使用方法をマスターしていた。この間、実験用ガラスデュワーの予冷に用いていた液体窒素の取り出しに手間取り、真空引きの開始が少し遅れた。

午後からは、トランスファーチューブの機能や構造などを説明した上で、液体ヘリウムの移送を行った。なお、トランスファーチューブの断熱真空槽の真空排気弁（シールオフバルブ）の取り扱い方の説明も行った。移送の前には予冷に用いた液体窒素を完全に取り去り、真空引きをした後で、ヘリウムガスに置換した。その後、トランスファーチューブ（脱着式）を用いて、貯蔵容器から実験用ガラスデュワーに液体ヘリウムを移送した。

サーマルオシレーションの観測では、ステンレスの薄肉パイプの上端にマイクロフォンを取り付けて、ゆっくりと液体ヘリウムの液面へ近づけて行った。パイプの下端が液面上部にあるときは激しい振動と蒸発が起こるが、液面内部にあるときは著しく減衰することをまず目で確認した。次に、オシロスコープを用いてサーマルオシレーションの周波数と振幅を測定し、振動および減衰の様子を確認した。サーマルオシレーションを利用すれば、簡単な液面計（タコニス振動液面計）になることが知られている。これを用いて、実習生全員が液体ヘリウム貯蔵容器の液面を計測した。液面計の下端が液面に着いた途端に、

ビビビーという音の周波数が下がり、「液面が確認できた」と満足していた。

続いて、超流動の実験に移った。大型真空ポンプとマノスタットを用いて、液体ヘリウムの減圧を始めた。ガラスデュワー内のヘリウムが激しく蒸発する様子を見ながら蒸気圧を計測し、蒸気圧のデータから温度に換算した。超流動直前になると実習生はガラスデュワーの前に釘付けになり、蒸気圧の値を見ながらカウントダウンが始まった。温度が 2.2 K となり、超流動転移と同時に思わず「オー」という歓声が起こった。それまでの激しい沸騰状態とは打って変わって全く静寂な液面が現れ、実習生は食い入るように見つめていた。その後超流動中でフィラメントを点灯させる実験を行った。

最後に、噴水効果の実験を行った。1.8 K の状態で、熱機械ポンプのヒーターに電流を流し、噴水の出る様子を観測した。始めは要領がわからず噴水がスケールオーバーすることがあったが、次第に慣れてきて、加える電流値および電圧値を少しずつ変えながら、噴水の高さを計測した。実習生はヒーター入力値と高さの実験結果をまとめて考察を行った。以上の実験を進めながら、その都度質疑応答を行なった。残りの時間を利用して、極低温実験棟および水素実験棟にある実験装置等の見学を行い、午後 5 時頃に終了した。

今回参加された実習生の多くから、見聞きするものが新鮮で非常に有意義な実習だったとの報告を受けております。最後になりましたが、この実習をご支援して頂きました低温工学・超電導学会に、また準備段階からご協力頂きました関係者および学生諸君に感謝申し上げます。

(神戸大学 武田 実、前川一真)

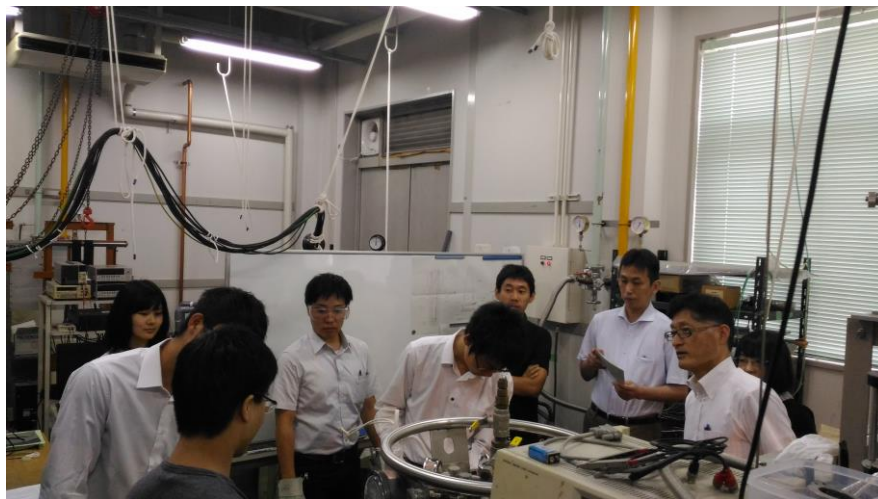


写真 2 神戸大学での実習風景

「超伝導基礎物性の測定および磁気分離技術」

大阪大学大学院工学研究科

大阪大学では、午前の部として超伝導基礎物性の測定、午後の部として磁気分離技術に関する実験を行った。

まず午前の部では、試料として $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (YBCO) 線材を用いて抵抗の温度依存性を測定し、その合間にマイスナー効果およびピン止め効果のデモンストレーションを行った。温度依存性の測定では GM 型冷凍機を用いたが、その際にクライオスタットの構造や低温測定の際の注意点等を説明した。その後、抵抗測定の基本である 4 端子計測について説明し、直流電源を用いた測定方法とロックインアンプを用いた交流法の 2 種類の方法を解説した。直流測定では、電流を反転させるなど、必ず複数の電流値で電圧を測定し、試料と電圧計との間に生じる熱起電力を取り除く必要がある事などを説明した。ロックインアンプを用いた交流法は、参加者にはあまり馴染みがない手法だったようであるが、抵抗が非常に小さい試料を計測するときに有用である事などを説明した。実際にそれぞれの手法で抵抗の温度依存性の測定を行った。

抵抗測定と並行して、バルクの YBCO を埋め込んだ列車の模型を液体窒素で冷却し、ピン止めとマイスナー効果の影響により、磁石で作られたレールの上を浮上しながら走行する様子や、磁石を貼り付けた地球儀の模型を使って磁束のピン止めを利用したフィッシング効果のデモンストレーションを行った。

この様に、超伝導体のゼロ抵抗への転移の観測、マイスナー効果やピン止め効果による磁気浮上のデモンストレーション、各種冷凍機や計測装置および試料の特性に関する説明を行った。

午後の部では、吹田キャンパス A1 棟大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 秋山研究室にて、「磁気分離技術を用いた排水処理の基礎実験」を行った。以下にそれぞれの実習の概要を報告する。この実習ではまず動画を交えた磁気分離の応用と最新の研究紹介を行ったのち、2 つの実験を行い、最後にアルキメデス磁気分離と、低温センターの超電導磁石の見学を行っていただいた。まず化学実験室にて 2 つの実験、

① 吸着法を用いた染料の磁気分離

② 凝集法による生活排水の磁気分離

を行った。吸着法を用いた染料の磁気分離は、分子状物質を粒径数十 nm のマグネタイト（酸化鉄）に吸着させて高速に分離する方法である。まず塩化鉄溶液にアルカリを添加し、空気酸化させたのちに 60°C に加温する方法でマグネタイトナノ粒子を合成した。粒子が磁化するまでに少し時間はかかったが、どのグループもうまくマグネタイト粒子を生成させることができ、ネオジウム磁石で粒子が引き寄せられると参加者から歓声が上がった。こ

の粒子を用いて、モデル染料であるオレンジⅡの水溶液を使った磁気分離を行った。オレンジⅡの入った試験管に自分で調製したマグネタイトを添加し、十分に攪拌した後でネオジウム磁石を近づけるとオレンジⅡの色が消え、マグネタイトが磁石に引き寄せられる様子が観察されたが、添加量を変化させるとうまくいかない場合もあり、どのような量が最適か、また実用系を鑑みると添加量はどの程度に抑えるべきかの質疑がなされた。

次に、身近な生活排水として、みそ汁、米のとぎ汁、コーヒーフレッシュなどを対象に凝集法を用いた磁気分離を行った。これは、水中の汚れを無機凝結剤と高分子凝集剤でフロックとしたところにマグネタイトを添加して磁気力で回収する手法である。コーヒーフレッシュは処理後は水道水に近い透明になり、驚きの声が上がった。一方でみそ汁は分子状物質が分離されず、濁度が十分に下がらない結果となったことから、分離対象に応じて磁気シーディングの方法を変化させる必要性が議論された。最後に物理実験室で、表面最大磁束密度約 1.5T のハルバッハ磁石を用いた磁気アルキメデス法によるプラスチック連続分離装置のデモ実験を見学いただいた。その後、当日ずっと降り続けていた雨が止んだので、低温センターに移動し、中心最大磁束密度 10T の超電導ソレノイド磁石と、それを用いた火力発電所給水系を模擬した循環型実験装置を見学いただいた。

今回は企業からの参加者が多く、磁気分離技術の実装に向けた初期コスト削減が最後の質疑では焦点となった。福島の除去土壌減容化や火力発電給水系への導入にあたってのコストに関して議論があり、運転コストはある程度抑えられるが初期コストが高いことが指摘され、重要な課題であることを再認識した。しかし常磁性体の分離など超電導磁石なしには実現できない技術も多いことは理解いただくことができ、多くの参加者に磁気分離技術への興味と期待を持っていただけたようであった。

(大阪大学 川山 巖、秋山庸子)

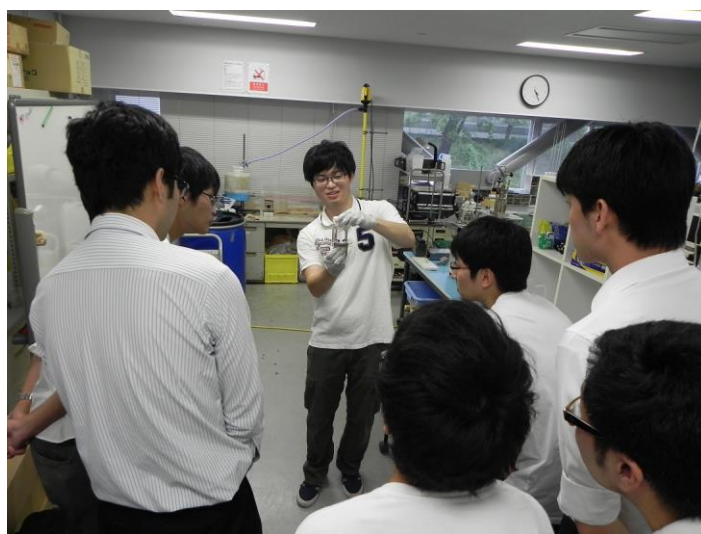


写真 3 大阪大学での実習風景