

■関西支部だより

低温工学・超電導学会関西支部では、第35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25名（実習17名、女性4名）の参加を得て、2019年9月24日～26日に開催した（日本表面真空学会関西支部、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、初日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、2日目～3日目に実習を行った。なお実習は、京都大学と大阪大学で、それぞれ「低温物性基礎実験」、「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。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）



講義風景

実習風景 1

「低温物性基礎実験」

京都大学大学院理学研究科 低温物理学研究室
京都大学では、9月25日（水）および9月26日（木）に「低温物性基礎実験」の実習を行った。参加者は各々9名（社会人9名）および8名（社会人3名、学生5名）であった。実習項目は、以下のとおりである。

- (1) 液体窒素による予冷と液体ヘリウムの低温装置への移送
- (2) 液体ヘリウムを用いたタコニス振動の実習
- (3) 超流動転移に伴う沸騰現象の消失の観測
- (4) 超流動ヘリウムを用いたスーパーリークの観測
- (5) " フィルムフローの観測
- (6) " 噴水効果の観測

(7) カーボン抵抗温度計の温度特性測定

集合後に、液体ヘリウムの性質を調べるグループと温度計測を行うグループの2つの班に分かれて実習することを伝えた。最初に、実習に関連する講義内容の復習を簡単に行った。約1時間の復習であったが、前日の講義が多彩であったために十分理解出来ていない箇所もあり、よい復習になったようである。

班分け後、1つの班は別の建物の実習室へ、残った班は地下の実習室へ移動した。使用する低温装置は液体窒素と液体ヘリウムの2つのガラスデュワーを用い、液体ヘリウムの減圧により低温を生成するものである。装置の説明を受けた後に、予冷を行うために参加者に液体窒素を装置へ注いでもらったところで、昼の食事・休憩時間となった。

それぞれの実習室へ再集合して、液体窒素の補充を行い、(1)の液体ヘリウムの移送を行った。トランスファーチューブによる液体ヘリウムの移送の経験がない参加者がほとんどで、貴重な経験となったようである。液体窒素内では沸騰による気泡が液中を下から上に移動しており、その内側の液体ヘリウム液面は見にくい状況であるが、溜まり始めた液体ヘリウムの液面を目視できたときは「見えた！」と歓声があがった。

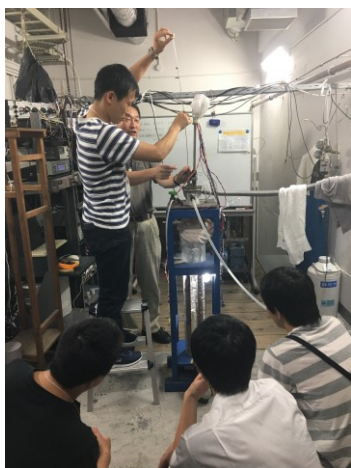
液体ヘリウムの性質を調べる班では、上記(2)から(6)の順で行った。最初に、参加者一人ずつ実際に細い管を液体ヘリウムデュワー内に入れてタコニス振動を体感してもらい、他の参加者は低温の端管とヘリウム液面との位置関係や液面変化の様子を観察した。減圧による強制蒸発によって徐々に温度を下げていくと(3)の観測を行うことが出来た。(4)～(6)の現象を観測するためのガラス製の容器がそれぞれ用意してある。ポットの下部にスーパーリークと呼ぶ詰め物（細かなアルミナ粉が詰められて製作）があり、その穴から液体が細い糸のように落下する様子が観測出来た。別のポットには穴はないが、フィルムフローのために、ポットの下部から液滴が滴り落ちる様子が観測出来た。噴水効果を観測するガラス容器内の下部にはスーパーリークがあり、上部は内径の細い管状になっている。スーパーリークのアルミナ粉の直上にあるヒーターに熱を加えて容器内外に温度差を作ると、アルミナ粉を通して移動してきた超流動ヘリウムが、上部の管の先端から勢いよく噴き出す様子を観測出来た。(3)～(6)の観測時は写真撮影・スマホでのビデオ撮影を許可したので撮影大会となり、きれいな画像を撮るために同じ現象を数回繰り返す状況となった。

温度計測を行う班では、(7)を実習してもらった。4端子法を用いた抵抗測定である。準備したのはゲルマニウムとカーボン抵抗の2つの物質である。ゲルマニウムの抵抗値は既に温度校正済であり、これを温度計

として、市販のカーボン抵抗の抵抗値の温度変化を測定し、カーボン抵抗温度計の温度校正を行うことになる。測定システムは、高抵抗と安定化電源を用いた簡易型の定電流源と高インピーダンスの電圧計だけで構成されている。ゲルマニウムとカーボン抵抗は液体ヘリウムに直接浸っており、液体ヘリウムの減圧により温度を制御する方法であるが、1つのバルブ操作だけで温度を一定に保たねばならず、調整に苦勞する受講者が多かった。温度が一定となったところで、ゲルマニウムとカーボン抵抗の抵抗値を測定し、温度を徐々に下げながら最低温度まで数点の測定を行った。低温になると輻射により温度計自身の温度が上昇する現象が顕著になることを、外に置いた白熱灯を低温装置に近づけることにより実習してもらった。LED電灯ではほとんど温度上昇がないことと合わせて考えると、赤外線輻射が原因であることを理解してもらった。実習中には低温で使える金属材料について例を挙げて説明したところ、実際の業務に大変参考になると好評であった。

最後に、京都大学のヘリウム液化施設の見学を行った。京大の液化施設は大学としては国内でも最大級の規模であり、実際にその設備を見て受講者の中には度肝をぬかれている人もいた。

(大阪市立大学 小原 顕・石川修六, 京都大学 佐々木 豊・松原 明)



京都大学での実習風景

実習風景 2

「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、9月25日(水)および9月26日(木)に「超伝導基礎物性の測定および磁気分離技術」の実習を行った。参加者は各々8名(社会人3名, 学生5名)および9名(社会人9名)であった。

実習項目は以下のとおりである。

- (1) 高温超伝導体の超伝導転移現象の観察
- (2) 高温超伝導体ペレットを用いたマイスナー効果および磁束ピンニング効果の観察
- (3) 吸着法を用いた染料の磁気分離
- (4) 凝集法による生活排水の磁気分離

大阪大学での実習で前半の午前の部を、レーザーエネルギー学研究センター・超伝導フォトンクス研究棟で行った。ここでは「超伝導基礎物性の測定」として高温超伝導体 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (YBCO)テープ線材試料を用いた超伝導転移温度の測定、および高温超伝導体 YBCO ペレットを使ったマイスナー効果や磁束ピン止め効果に関する実験を磁気浮上列車や地球儀などの模型を使って行った。これらの実験に際し、まず全体に対して装置の操作手順や取扱注意事項について一通りの説明を行い、その後 3~4 人のグループに分かれて受講生自らが実験を行った。

先ず実験に先立ち、今回観測する現象や測定器の原理などに関してより理解を深めてもらうため、超伝導現象の熱力学的考察やロックインアンプの測定原理、また電氣的ノイズの一般的性質などについての講義を1時間ほど行った。その後実験室へ移動して以下の実験を行った。

YBCO テープ線材試料を用いた超伝導転移温度の測定では、GM型冷凍機のコールドヘッドに取り付けられた超伝導体試料の電気抵抗を4端子測定法により行った。今回測定した試料のように、超伝導体以外の部分(銀シースや銅被覆)の断面積が大きく、線材の抵抗が100ナノオーム程度と非常に小さな試料ではロックインアンプを用いた交流変調法が有効であること、また、直流電源を用いた電圧降下測定法では熱起電力(数マイクロボルト程度)の影響があるため、微小な測定電流での計測は非常に困難であることを説明した。また低温で温度を変化させながらの物性測定においては、試料と温度計(今回は半導体センサーを使用)との位置関係や熱コンタクトの状況、測定系の熱平衡状態、さらに外部からの熱輻射や対流、さらに固体伝導による熱流入などを十分考慮する必要があることを説明し、超伝導転移温度測定時の昇温および降下過程で転移温度に違いが出ることを実際に見てもらうことで理解を促した。

またこれと並行して、磁気浮上列車や地球儀の模型を使って超伝導体のマイスナー効果および磁束のピン止め効果の観察を行った。YBCOディスクが埋め込まれた列車の模型が、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、磁石が取り付けられた地球儀がYBCOディスクにぶら下がる、いわゆるフィッシング効果などの観察を各自で実際に体験してもらった。

以上の説明および実験を、約2時間半から3時間と

いう短い時間で行ったが、超伝導体の抵抗が実際にゼロへと転移する瞬間や、マイスナー効果や磁束のピンニング効果によって列車が浮いて走行したり、地球儀がぶら下がって回転したりする様子を実際に体験し、大いに興味を持っていただいたと思う。

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 量子線生体材料工学領域にて、「磁気分離技術を用いた排水処理の基礎実験」を行った。実習に参加された方はいずれも磁気分離という用語について初めて聞かれたとのことであったため、まず磁気分離の基礎的な概念と手法、これまでの応用例について、動画を交えて説明を行った。その後、実験室に移動して、(3)吸着法を用いた染料の磁気分離、(4)凝集法による生活排水の磁気分離の 2 つの実験を行った。

まず(3)の実験では、磁気シーディング剤となるマグネタイト（酸化鉄の一種）を調製し、それに染料を吸着させて磁石で分離する方法で排水浄化実験を行った。本手法は主として水溶性物質の除去に適用される手法である。マグネタイトの調製では、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、グループでどちらが磁石に引き寄せられやすくなったかの比較を行った。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。マグネタイトの添加量を変化させ、最適な添加量について検討した。実験を行う中で、吸着の相互作用に関する質問や、酸化性物質が入った溶液中での磁気シーディング剤の変性の可能性などの質問をいただいた。

次に、みそ汁希釈水、米のとぎ汁、歯磨き粉希釈水、ケチャップ洗浄水、ミルクコーヒー希釈水の 5 種の身近な生活排水を対象に凝集法を用いた磁気分離を行った。今回用いた凝集法は、無機凝集剤と高分子凝集剤の併用による手法で凝集体（フロック）を作り、そこに市販マグネタイトを添加してフロックを磁場により回収する手法である。5種類の排水のうち、米のとぎ汁と歯磨き粉希釈水はほぼ透明になったが、他の排水については、濁りはなくなったものの、抽出物など水溶性の物質の色が残った。この結果をもとに、本手法は粒子性物質の除去を得意とする手法であること、残った水溶性物質は吸着法で分離できることを説明した。

最後に 10 T 超電導ソレノイド磁石と火力発電所給水系を模擬した循環型実験装置、および表面最大磁束密度約 3.1 T の超電導バルク磁石を見学いただいた。磁気アルキメデス法によるプラスチックの分離、アルミ板による渦電流の体感をしていただいた。

最後の質疑応答では、基礎研究から排水処理システムとしての実利用への障壁が大きい理由や、実用化に

向けて現場で使える超電導磁石のニーズについて、活発な議論が行われた。磁気分離の既存技術に対する有用性や課題を実感いただけただけでなく、本技術の社会実装への道筋について建設的な意見交換がなされた。

（大阪大学 村上博成，秋山庸子）



大阪大学での実習風景