

■関西支部だより

低温工学・超電導学会関西支部では、第39回低温工学基礎技術講習会を、2023年9月11日（講義の部）、9月12-13日（実習の部）の日程で開催した（日本表面真空学会関西支部、応用物理学会関西支部協賛）。参加者は、関係企業の若手技術者21名と学生4名の計25名（うち6名は講義のみ、1名は実習のみに参加）であった。

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4年ぶりに講義の部も含めて全面的に対面開催を再開した。久しぶりの全面対面開催となったためか、7月半ばに実習の定員が満員となり、本分野のニーズの高さがうかがえた。講習会開催にあたり、講義・実習の講師の先生方、事務局、アルバイトの学生さんに多大なご協力をいただき、心より感謝申し上げます。

講義の部

1日目には、大阪公立大学文化交流センター（ホール）にて7名の講師による座学講義を実施した。講義の部の内容は以下のとおりである。

- (1) 寒剤の性質 神戸大学 武田 実
- (2) 低温生成 —パルス管冷凍— 畑 徹
- (3) 低温と安全 HyTReC 児玉 格
- (4) 温度計測 —高磁場下温度計測—
大阪公立大学 石川 修六
- (5) 低温材料 —実学的低温材料—
大阪大学 中本 将嗣
- (6) 超伝導の基礎 大阪公立大学 野口 悟
- (7) 超伝導の応用 —電力機器、産業機器—
京都大学 白井 康之

講義後には受講者から多数の質問があり、受講者の低温工学分野への熱意が伝わってくるとともに、対面での講義の良さを実感した。



講義の様子

2-3日目には、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」のテーマで実習を行った。以下は、実習風景の報告である。

（大阪大学 秋山庸子）

実習1

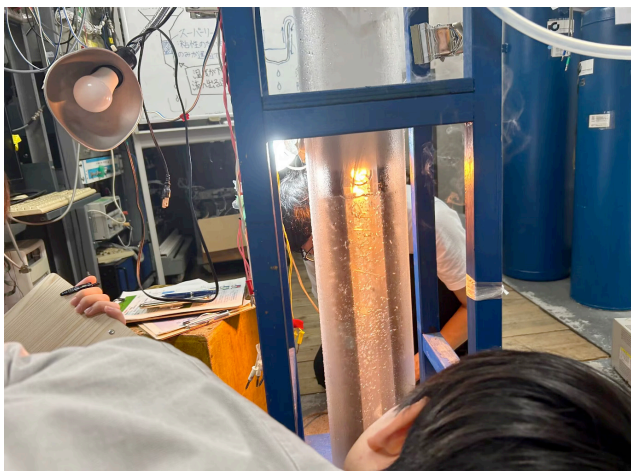
「低温物性基礎実験」

午前の部では本日の実習・実験で実際であつかう現象についての簡単なレビュー講義を行った後、2班に分かれて実習を行った（総合研究5号館地下、及び理学6号館）。各班で用いるクライオスタットはともに室温状態であったので、まずは液体窒素の汲み出しを行い、その液体窒素を用いて装置の予冷を行った。午後は各班液体ヘリウム導入を行った後、個別の実習を行った。1班はタコニス振動を観察し、それが最も簡単な液面計の原理となっていることを学習すると同時に、タコニス振動を起こさないことが寒剤の長期保存に繋がることを学習した。次に、液体ヘリウムの減圧排気冷却を行い、超流動転移に伴う沸騰停止現象を観察した（図2）。さらに、超流動ならではの3現象であるスーパーリーク（常流動状態では細孔中に流れはないが、超流動になると液体が流れる現象）、フィルムフロー（超流動の薄膜が容器の壁をよじ登り滴り落ちる現象）、噴水効果の観察を行った。温度計測は、室温部に置かれた圧力計によって液体ヘリウムの蒸気圧を直接測定し、ITS-90温度スケールにより温度換算を行った。沸騰停止現象は劇的な現象であるから、液面を明確に識別できた人からは歓声が上がっていた。2班も液体ヘリウム導入を行ったあと、減圧排気冷却を行い、4.2 K ~ 1.4 Kにおいてカーボン抵抗温度計の抵抗値の温度校正を行い、カーボン抵抗の感温部が半導体であり、温度の低下に伴ってキャリア濃度が減少するために抵抗値が急激に増大する様子を観測した。温度は校正済みゲルマニウム抵抗温度計を用いた。参加者はカーボン抵抗温度計が市販の安価な炭素抵抗器から作られたものであるにもかかわらず、それに校正式をあたるだけで数十万円の価値のあるセンサーに変貌するという事実には驚いていた。最後に、白熱灯をもちいて、赤外線輻射が真空を通して低温部の温度を上げるほどの熱を伝えることを観察した。午後の後半は1班と2班のテーマを入れ替えて同様の実験・実習を行った。

実習後は、京都大学環境安全保健機構低温物質管理部門北部液化棟の巨大な液化施設の見学を行った。この施設の規模と液化能力の高さは大学としては世界ト

ップレベルであるので、受講者は大変興味深く見学していた。

(大阪公立大学 小原 顕,
京都大学 佐々木 豊, 松原 明)



京都大学での実習風景

実習 2

「超伝導基礎物性の測定および磁気分離技術」

午前の部では、「超伝導基礎物性の測定」に関する実習を行った。実習内容をより効果的に理解してもらうため、低温計測にとって必要な基礎知識について1時間程度の講習を行った。また、マイスナー効果や第2種超伝導体における磁束のピンニング効果について予めある程度の理解を得てもらうため、これらの現象を紹介するために制作しているYouTube動画(約12分)を視聴していただいた。このあと約1時間半の実習を行った。実習で観察した内容は、以下のとおりである。

① 超伝導体の完全導電性 ($R=0$) の観察

- ・ 熱電対を使った温度測定について
- ・ 極低温測定における熱流入について
- ・ 4端子法による電気抵抗測定について

② 完全反磁性状態の観察

③ 第2種超伝導体における渦糸状態とピンニング効果の観察

実習①では、厚み3mmのアルミニウムチャンネル(コの字型の台)の天板の上に絶縁テープを使って貼り付けられた高温超伝導テープ線材試料の超伝導転移を観察した。このアルミニウムチャンネルの脚部分を液体窒素に浸すことで天板部分を徐々に冷却していった。その際、アルミニウムチャンネル天板と試料との熱コンタクトを良好にするためApiezonグリスを使った。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0.2mmφの銅-コンスタンタン熱電対:T熱電対を使用)との位置関係や温度計の温度に対するレスポンスが重要であるが、試料中央部真横に

取り付けしたT熱電対ヘッド部分を実際に指先で軽く触れたときの熱起電力の変化の即応性(レスポンス)を確認してもらい、極細の熱電対であれば余程の急速冷却や急速加熱でない限り十分に温度変化に追従して熱起電力が変化することを体験してもらった。このような冷却装置を用いて4端子法によって試料の抵抗の温度変化を観測するのだが、電気抵抗を測定するために試料に流した電流は約1アンペアであった。この際の室温での電圧降下は約3 mVであった。室温における試料の抵抗を確認させ、その後ゆっくりと試料を冷却していったときの抵抗変化や超伝導転移点で抵抗が突然ゼロになる様子を観測してもらった。また配布したT熱電対の熱起電力表から、超伝導転移が実際に何度で生じたかを確認してもらった。

さらに、この超伝導転移を起こしたあとの最低到達温度の熱平衡状態において、固体伝導による熱流入や輻射による熱流入を実際に観察してもらうため、4端子測定用の銅のリード線を巻き付けた銅円柱棒を液体窒素の中に浸けた場合や、アルミニウムチャンネルを含んだ試料台全体を厚み1 mmの冷却した銅板で取り囲んだ際の最低到達温度の変化を観察してもらった。これらにより、低温実験におけるサーマルアンカーや低温の輻射シールド板が如何に重要であるかを実感してもらった。

このあと、高温超伝導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を行ったが、これについては、講習で用いたYouTube動画「超伝導と磁束のおもしろい関係」で見た内容を受講生一人一人に実際自分自身で再現してもらった。特に、磁束フリー状態にある高温超伝導線材のリング内部や高温超伝導ペレットに永久磁石を自分たちの手で持って近づけた際に反磁性電流によって生じるとも強い反発力を実際に体感してもらうことで、超伝導体のもつ潜在的能力について少なからず理解してもらえたと思う。



大阪大学での実習風景

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、(3)「磁気分離技術を用いた排水処理の基礎実験」を行った。まず磁気分離の基礎と応用について簡単な説明を行ったのち、吸着法と凝集法の2種類の方法を用いた模擬排水の磁気分離実験を行った。

吸着法を用いた実験では、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。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。

凝集法を用いた実験では、米のとぎ汁やみそ汁希釈液などの身近な生活排水の浄化実験を行った。無機凝集剤と高分子凝集剤を併用して水中の懸濁物を凝集させ、最後に強磁性体であるマグネタイトを添加して凝集体を磁場で高速に回収できることを体験していただいた。最後に最大10 Tの磁場を発生できる超電導ソレノイド磁石と、表面最大磁束密度約3.5 Tの超電導バルク磁石を見学いただいた。ほとんどの参加者は超電導磁石を実際に見るのは初めてとのことで、酸化鉄粒子で磁力線を目で見たり、磁気アルキメデス法によるプラスチック分離、1円玉による渦電流の体感をしていただいた。参加者は大変熱心に取り組みされており、実習中や実習後には多くのご質問をいただいた。

（大阪大学 村上博成，秋山庸子）