

■関西支部だより

低温工学・超電導学会関西支部では、第40回低温工学基礎技術講習会を、2024年9月12日-13日（実習の部）、9月14日（講義の部）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16名と学生1名の計17名（うち4名は講義のみに参加）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。昨年はコロナ禍の影響で4年ぶりの対面開催となり、今年は昨年を引き続いて対面開催を実施した。コロナ禍の影響のためか7月には実習の定員が満員となり、その後キャンセルが出たものの、本分野のニーズの高さがうかがえる。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。

例年では1日目が講義で2日目と3日目が実習だが、今年は最終日に、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 矢野 英雄
- (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 京都大学 掛谷 一弘
- (7) 超伝導の応用 —電力機器、産業機器他—
京都大学 白井 康之

講義後には受講者から質問や講師との交流があり、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。

初日と2日目には、京都大学と大阪公立大学で、そ



講義の様子

れぞれ「低温物性基礎実験」、「金属・超伝導物質の基礎物性測定」のテーマで実習を行った。以下は、実習風景の報告である。

（大阪公立大学 矢野英雄）

実習風景 1

「低温物性基礎実験」

午前10時に集合し、講師・受講者の自己紹介から始まった。受講者の多くは新入社員であり、中途採用の方も見受けられた。今回は講義・実習の順番が入れ替わっているため、午前の部では初めに実習の内容およびスケジュールに加えて、実験で扱う実験装置や物理現象について簡単な説明があった。その後、2つの班に分かれて実習を行った（理学研究科6号館3階および総合研究5号館地下）。1班は理学研究科6号館3階へ移動し、実験装置の説明を受けた後、液体窒素（10 L）の汲み出しを体験した。皮手袋・ゴーグルの着用、換気的重要性に関する説明を受け、エレベーターで液体窒素容器を運ぶ場合は、同乗してはいけないことを教わった。実験室に戻り、液体窒素を用いて実験装置の予冷を開始した。並行して、ゴム風船と液体窒素を用いて簡単なデモンストレーションが行われ、窒素ガスが1/700に凝縮することを体験した。その後、カーボン抵抗温度計の温度特性測定について説明があった。温度計の電気抵抗測定では、直流4端子法に基づいて電流を反転させて熱起電力をキャンセルすること、微小な直流電流を流してジュール発熱を防ぐことなどを学習した。午後からは、トランスファーチューブを用いて液体ヘリウムを移送した。液体ヘリウムがデュワー瓶に溜まり始めると、受講生は食い入るように見つめていた。その後、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を校正した。温度校正には、校正済みゲルマニウム抵抗温度計を用いた。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。観測データを片対数グラフにプロットする実習では、グラフの取扱いに四苦八苦していた。最後に、白熱灯を用いて、赤外線輻射が真空層を通して低温感温部の温度を上げるほどの熱を伝えることを観察した。

2班は総合研究5号館地下へ移動し、実験装置の説明を受けた後、液体窒素を用いて実験装置の予冷を開始した。午後から、トランスファーチューブを用いて液体ヘリウムを移送した。透明なデュワー瓶に溜まった液体ヘリウムを用いて、タコニス振動を観察した。これが最も簡単な液面計の原理となっていることを学習

するとともに、タコニス振動を起こさないことが液体ヘリウム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。さらに、超流動ならではの3つの現象であるスーパーリーク（常流動状態では細孔中に液体が流れないが、超流動状態になると液体が流れる現象）、フィルムフロー（超流動状態の薄膜が容器の壁をよじ登り滴り落ちる現象）、噴水効果（熱機械効果）の観察を行った。温度計測では、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なので、液面を明確に識別できた人からは歓声が上がっていた。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構内液化棟の巨大な液化施設の見学を行った。この液化施設の液化能力（最大360 L/h）は大学として世界トップレベルである。また、世界でも数少ない超低温回転クライオスタットの見学も行い、そのスケールの大きさに受講生は驚きを隠せなかった。

（神戸大学 武田 実，前川一真
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

「金属・超伝導物質の基礎物性測定」

第40回講習会はこれまでとは異なり、講義の前に実習を行うことになった。まず集合から40分程度、実験の背景となる物性物理学について簡単に説明した。

本テーマでは、これまでの実習内容を改訂し、純金属（ ϕ 0.05mm銅線）、合金（ ϕ 0.10mmMnNi線）、超伝導線（ ϕ 0.12mmCuNiクラッドMF-NbTi線）の電気抵抗、Si-Diode（1N4148）の順方向電圧、および、超伝導体（PbSn共晶ハンダ）の自己誘導定数（インダクタンス）の温度変化測定をおこなう。温度計に100K以上は白金抵抗（ 0°C 100 Ω ）、100K以下は校正済炭素抵抗（3.3k



真空容器(左)とその内部の測定試料(右)

Ω)を用いた。すべての測定試料と温度計を写真(左)の真空容器に収め、直接寒剤に導入し冷却した。これらと測定装置（冷凍機や定電流電源）は大阪公立大学で新たに作成した。

実習は2班に別れ、一方の班は室温～液体窒素温度（約80K）、他方は液体窒素温度～液体ヘリウム温度（4.2K）でおこない、昼休みを挟んで入替えた。受講生は、純金属（銅線）の電気抵抗が高温で線形に温度変化すること、40K以下の低温では一定値に近づくことを確認し、銅にわずかに含まれる不純物や結晶格子の不整合が低温で影響することを学んだ。一方、MnNi線は合金であり、不純物が多い金属とみなせる。受講生は、電気抵抗が4K～室温でほとんど温度変化しないことを確認し、合金の典型的な性質を学んだ。

超伝導線はNbTi線をCuNiでクラッドしたもので、電気抵抗は9K以上でありあまり変化しないが、超伝導転移すると測定限界を下回りゼロとなる。この変化は劇的で、受講者は転移温度を見極めることに興味をもって測定を行っていた。また受講生は、超伝導転移（約9K）によって、PbSnの自己誘導定数が突如半分以下になることを体験した。これは超伝導体が磁場を物質外へ押し出す完全反磁性のため、自己誘導定数の劇的な変化として観測される。

Si-DiodeはPN接合を舞台とした半導体の物性で、その順方向電圧は熱励起されたキャリアの密度を直接反映する。受講生は、室温で0.6V程度の順方向電圧が、冷却に伴って線形に増大し、20K程度で発散することを確認した。この大きな電圧変化をもつダイオードは、液体水素温度領域で良い温度計として働き、水素業界の参加者には良い体験になったと思われる。

これらの測定は広い温度域で行われ、測定値の温度変化をリアルタイムでグラフ化しながら行われた。教科書の内容を再現・体感したことで、参加者の金属・超伝導体物性への理解が深まったと思われる。アンケートでもこの点が高評価であった。

なお寒剤の沸点温度付近で冷却速度が極端に遅くなったため、真空容器に交換ガス（ヘリウムまたは空気）を導入した。この操作は熱交換ガス導入による温度制御で、低温工学の基本が実習できたと思われる。

（大阪公立大学 小原 顕，矢野 英雄）