

第28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28回低温工学基礎技術講習会を、大学・大学院学生、関係企業の若手技術者ら計21名の参加を得て、2012年9月24日～26日に開催した（日本真空協会関西支部、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。一日目に、基礎的な関連項目について7名の講師による座学講義を行い（写真1）、その知識をもとにして、二、三日目は大阪市立大学と神戸大学で、それぞれ「低温物性基礎実験」、「寒剤の性質とその取り扱い方」のテーマで二日間の実習を実施した。今回は、定員一杯の参加者を得ることができ賑やかな講習会となった。講師の先生方、実習を準備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。

（京都大学 白井康之）



写真1 神戸大学武田先生の「寒剤の性質」の講義風景

「低温物性基礎実験」

大阪市立大学理学研究科 畑 徹

大阪市大では「低温装置と温度計測および超伝導特性」の実習を行った。

今回は参加者数が多く、初日は7名、2日目は8名で、部屋が狭いため窮屈な中での実習となった。午前「低温装置と温度計測」の実験、午後「超伝導特性」の実験を行った。

「低温装置と温度計測」では、校正した温度計（ダイオード抵抗温度計）を用いて「金属と半導体の抵抗の温度特性」を計測し、その後に、「100 リットルの液体ヘリウム容器」の入口から液面までの温度分布の測定実験を行った。

1. 「金属、半導体の抵抗の温度特性」

まず、抵抗測定の基本としての四端子法についての説明をした後、3つの抵抗温度計（シリコンダイオード、白金線、カーボン）を取り付けた銅ブロックを、まず温度定点として氷と液体窒素に浸け抵抗値を読み取った後、液体窒素から室温までステップ的に昇温し、校正されたシリコンダイオードの温度計を基準に、温度に対する抵抗値の表を作成した。さらに、100リットルの液体ヘリウム容器に温度計のセットされた銅ブロックを入れていき、液体ヘリウム温度までの校正を行い、表を作成し温度に対する抵抗値のグラフを作成した。半導体と金属では温度に対する抵抗変化が逆になっていること、それが伝導電子数とイオンの熱振動の大きさで決まっていることが実感できたようです。

2. 「低温装置へのヘリウム移送」

透明ガラス製の液体ヘリウム魔法瓶と液体窒素魔法瓶からなるクライスタットを用い、実習生に風船による加圧で液体窒素、液体ヘリウムの移送を行ってもらった。液体窒素と液体ヘリウムでは泡の大きさが異なること、液体窒素とちがって液体ヘリウムは霧のような小さな液滴状に吹き出していることが実感できたと思われる。また、液体窒素は大きな潜熱をもつが顕熱は小さいこと、逆に、液体ヘリウムは潜熱は小さいが顕熱が大きいこと、またそれら寒剤の性質を利用して効率的な冷却を行うことの重要性が作業を通じて認識できたと思われる。

3. 「超伝導特性」

「超伝導特性」は、超伝導体の特性の1つである臨界磁場の温度依存性を調べる実験である。第1種超伝導体の鉛 ($T_c = 7.2\text{K}$ 、 $B_c(T=0\text{K}) = 80\text{mT}$) を用い、ガラス製の液体ヘリウム魔法瓶と液体窒素魔法瓶からなるクライスタットで、約3Kから7Kの温度範囲での実験です。鉛は円筒形で内部に磁場検出素子であるホール素子を設置してある。初歩的な注意・説明の後、実習生が液体窒素、液体ヘリウム移送を実際に行った。液体ヘリウム液面より少し上に鉛を置き4.2K以上の温度で、液体ヘリウムに漬けて4.2Kの温度

で、さらに液体ヘリウムを減圧して得られた 4.2K 以下の温度で測定した。この温度域で感度のよい Allen-Bladley 社のカーボン抵抗温度計 (100Ω) を用いた。液体ヘリウム中にある超伝導マグネットで磁場掃引しその値を X-Y レコーダーの X 軸へ、内部に設置したホール素子の出力電圧を Y 軸に記録させ、出力電圧の特徴的な変化から臨界磁場を求めた。常伝動状態になった時点でホール素子の出力電圧は磁場に比例するようになる様子が捉えられた。X-Y レコーダーはアナログ量での読み取りであり比較的簡単なため実習生は要領よく測定をこなしていた。得られたデータを臨界磁場と温度の関係を図にプロットしたところ、臨界温度に近い点では理論直線からのずれが見られたが、その他の測定点は理論直線にと良い一致を示した。超伝導物質のもつ臨界磁場という特性の典型的な温度変化を実感してもらえたものと思われる。

4. 研究室見学

実験終了後に、研究室の自作の希釈冷凍機やリンデ社の液化機の見学をした。後日、実習生から「電気抵抗及び飽和磁場の低温度特性という、ハード設計業務に直結する内容であり、充実した 1 日となりました。また、研究室の紹介もして頂き、サブミクロンという低い温度オーダーの実験装置に驚くとともに、研究室を見る中で少し学生時代を思い出し、リフレッシュすることが出来ました。」とのメールも届いた。

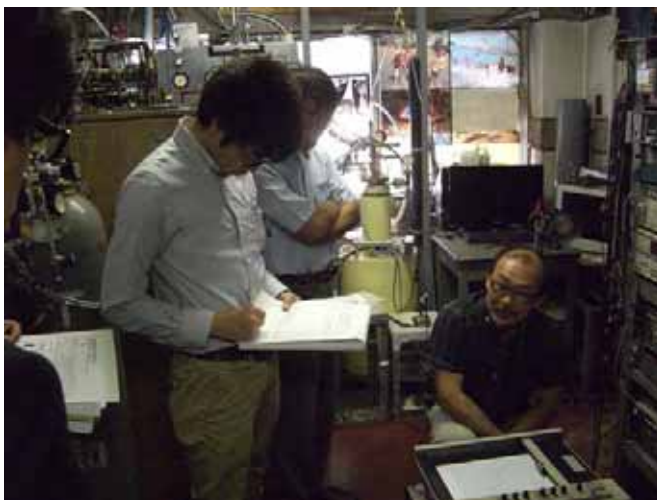


写真 2 「超伝導特性」で、磁場を掃引しながらホール電圧の出力を X-Y レコーダーに記録させて臨界磁場を測定している様子。右は担当の石川教授。

「寒剤の性質とその取り扱い方」

神戸大学海事科学研究科 武田 実

神戸大学では、9月25日（火）および9月26日（水）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名および7名であった。実習項目は、以下のとおりである。

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

昨年の参加者は8名であったが、今年は定員一杯の15名であり、この内9名は会社の新入社員、3名は大学職員、残り3名は院生・学部生という内訳であった。新入社員の多くは超伝導材料・超伝導応用に係る部署に配属され、研修の一環として参加していた。両日ともに、午前10時から実習を行い、午後5時前に終了した。

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、半数以上の実習生が液体ヘリウムを見たことがないとのことであった。続いて当日の実習内容について説明した後、ヘリウム液化装置（レシプロ型、PSI社製）および液体窒素貯蔵タンクの見学を行った。その後、物理学実験室へ移動し、午前中は液体ヘリウムを用いる実験のための窒素予冷を行った。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。

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。移送の前には予冷に用いた液体窒素を取り去り、真空引きの後でヘリウムガスに置換した。実験室の事情により、液体ヘリウム貯蔵容器にトランスファーチューブを接続する作業は廊下で行った。その後、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。実習生は、ガラスデュワーの底に液体ヘリウムが溜まり始めると目を凝らして観察していた。初めて見る液体ヘリウムはさらさらで、非常に小さな泡が印象的であった。

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。実験中パイプの下端が見えにくく、改善の余地があった。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。

続いて、超流動の実験に移った。実験室外部にある大型真空ポンプを見学した後、このポンプ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の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集まり、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。その後フィラメントを超流動中で点灯させ、その周りから気泡が発生せずに静寂な液体のまま約 2000°C の温度差が発生していることを観察した。その際、周りを暗くして、超流動中でフィラメントが発光する様子を写真に撮った。最後に、噴水効果の実験を行った。1.6 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していたが、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が、例年より質問が多いように感じた。

今回参加された実習生の多くから、見聞きするものが新しく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。

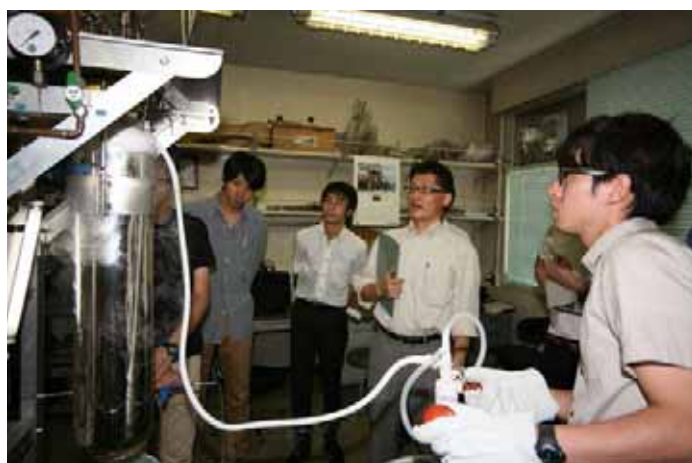


写真3 液体窒素の補給を行っている様子