

第32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32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18名（実習10名）の参加を得て、2016年8月29日～31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、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、続く2日間でその知識をもとにした実習を実施した。本年度は、大阪大学と大阪市大で、それぞれ「超伝導基礎物性の測定および磁気分離技術」、「低温物性基礎実験」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）

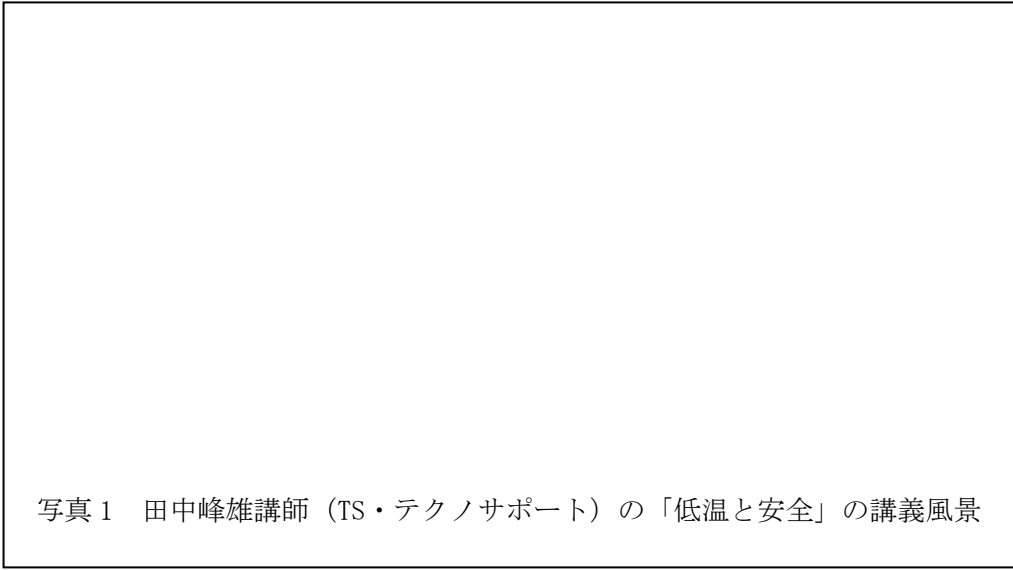


写真1 田中峰雄講師（TS・テクノサポート）の「低温と安全」の講義風景

~~~~~実習風景1~~~~~

### 「低温物性基礎実験」

大阪市立大学大学院理学研究科 超低温研究室

大阪市立大学では、「低温物性基礎実験」の実習を行った。参加者は、一日目は社会人6名、二日目は学生4名であった。以下のプログラムに従って実習を進めた。午前中は講義

とビデオにより液体窒素・液体ヘリウムの寒剤としての説明を行った。午後は実験室で、透明ガラス魔法瓶を用いて、液体窒素・液体ヘリウムの移送を実際に行い、超流動ヘリウムの特徴ある現象を観察した。

午前中については、一日目は企業からの参加者だけであり、真空断熱や輻射シールドなどの実践的な側面についての活発な質疑応答となった。二日目は、物理・応用物理系からの学生の参加者であり、超流動特有の物理現象について質問が多かった。

午前の内容：

1. (講義) 温度の単位 セルシウスとケルビン (およびファーレンハイト)
2. (講義) 温度の範囲 人類の創りだした最高温度と最低温度
3. (講義) 黒体輻射 光が通れば真空でも熱を伝える
4. (安全講習) 液体窒素について 窒息・失明・爆発、凍傷の予防について実例
5. (講義と実演) 寒剤で冷却できる理由 「冷たい」 = 「冷える」ではない
6. (講義) 液体窒素と液体ヘリウムの物理的性質と移送方法

液体窒素：潜熱は大きく顕熱が小さい、液体ヘリウム：潜熱は小さく顕熱が大きい

7. (講義) 熱伝導・断熱のメカニズム 真空断熱と輻射シールドの意義
8. (ビデオ解説) 冷凍機の組み立て
9. (ビデオ解説) 超熱伝導
10. (ビデオ解説) フィルムフロー

午後は、液体窒素、液体ヘリウムの移送を受講者が実際に行った。液体窒素の液面は直ぐに認識出来るが、液体ヘリウムの液面を認識するには少しコツを掴む必要があり、最初のうちは難しいようであったが、すぐに目が慣れてくると誰でもわかるようになった。受講者にとって、ガラス製の透明魔法瓶を利用すること、また実際に移送管から液体ヘリウムが霧状に噴き出しているのを目撃するのは初めてであり、貴重な機会であったと思われる。今後の技術開発時に、この経験が有効に利用されれば幸いである。タコニス振動がなぜ起こるのかという説明には関心を持つ参加者が多かった。また、この振動が液体ヘリウムの液面を測定するものとして応用されていることや、この振動が制御できない振動となると蒸発量が極端に増大することに関心を持たれたようである。超熱伝導の観測を 1.9K の超流動ヘリウム中で行った。液中に入れた豆電球 (豆電球のガラスを割りタングステン線がむき出ている) に電流を流すと点灯するが、午前中に説明した黒体輻射の理論を使うとタングステン線の温度が約 3000℃ になっていることわかる。この超高温の物質が 1.9K の超流動ヘリウム中に存在することと沸騰が起こらないことの不思議さを理解できたようである。準備していたフィルムフローの観測実験では、機器の不調により温度が下がりきらずにほとんど観測出来なかったのが、残念であった。具体的な作業中に、随時質問を受け付け、また、考えてもらいながら実習を進めたので、非常に有意義な実習となったと思われる。透明魔法瓶を用いる本実習がいつまでも記憶に残っていることを期待します。

午後の内容：

1. 冷凍機の排気、断熱真空の準備
2. 交換ガスの導入
3. 液体窒素による冷凍機の予冷
4. 交換ガスの排気
5. 液体ヘリウム移送
6. タコニス振動と液面測定
7. 減圧排気冷却と超流動転移
8. 超熱伝導
9. フィルムフロー（失敗）
10. （施設見学：断熱消磁冷凍機・液化施設・ $^3\text{He}$  精製機）

最後に、大阪市大の施設見学を行った。まず世界最低温度を記録した冷凍機と電波シールド室を見学した。これらがいずれも手作りである点とそれが故に最高性能を出し得たことに驚いたようであった。次にヘリウム液化施設内で、リンデ社製の液化機と回収システムを見学した。最後に、日本で最も活躍している手作りの $^3\text{He}$  精製機も見学した。

（大阪市立大学 石川修六）

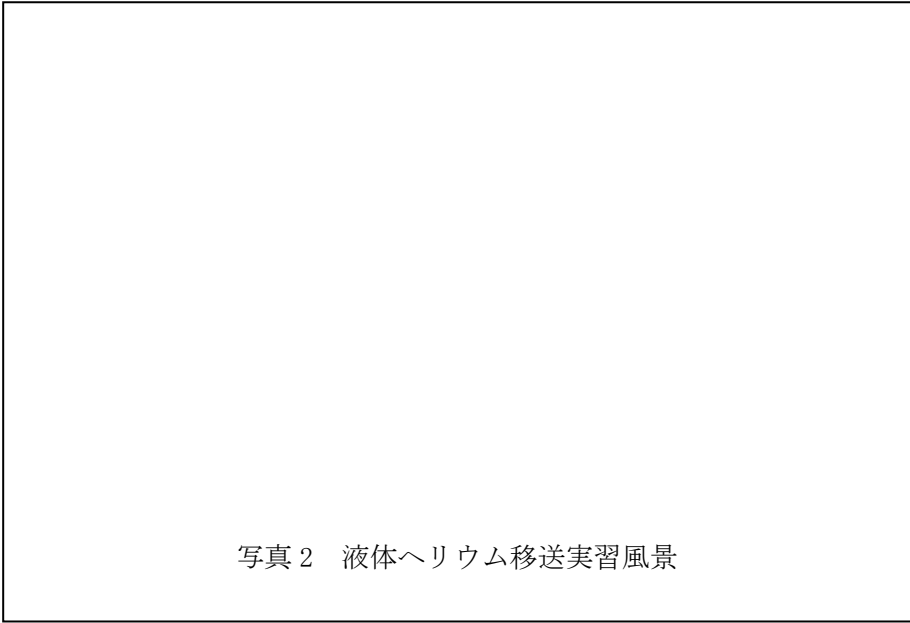


写真2 液体ヘリウム移送実習風景

~~~~~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

大阪大学での実習は 10:00~12:00 の前半を、レーザーエネルギー学研究センター・斗内

研究室で超伝導基礎物性の測定を行った。超伝導基礎物性の測定では、試料として $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-\delta}$ (YBCO) 線材を用いた。実験に先立ち、寒剤を扱う際の注意点、熱伝導の形態とクライオスタットの構造等について説明した。その後、GM 型冷凍機のコールドヘッドに取り付けられた超伝導試料の電気抵抗を行った。講習では抵抗測定の基本である 4 端子計測について説明した後、直流電源を用いた測定方法と交流電源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、実際にそれぞれの手法で抵抗測定を行った。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、断面積の大きいバルク試料などで抵抗が非常に小さいときに有用であり、抵抗測定に限らず物理量の微小変化の計測に非常に有効な方法である事を説明した。ただし、交流法では交流電流による誘導電圧の影響を注意する必要がある、また、一般に電流の安定性も直流電源より劣り精度が高くないため、絶対値の高精度な計測は難しいことなどを説明した。

抵抗測定と並行して、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に関するデモンストレーションを行った。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ピン止めにより YBCO ディスクにぶら下がる、いわゆるフィッシング効果のデモンストレーションを行い好評であった。

この様に、約 2 時間と言う短い時間であったが、超伝導体のゼロ抵抗への転移の観測、マイスナー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 西嶋研究室にて、「磁気分離技術を用いた排水処理の基礎実験」を行った。

最初に A1 棟 1 階の会議室にて、秋山より動画を交えながら超電導磁石を用いた磁気分離の様々な応用について紹介を行った。次に 2 階の実験室に移動して、排水処理とリサイクルのための磁気分離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。

①吸着法を用いた染料の磁気分離

排水処理の磁気分離では、対象となる物質が反磁性や常磁性である場合が多く、高速大量処理のためには強磁性粒子によって磁気シーディングを行う必要がある。ここではまず磁気シーディングの手法の一つとして、吸着法による磁気分離の実験を行った。最初に磁気シーディングに用いる強磁性の酸化鉄であるマグネタイト粒子の合成を行った。(II) にアルカリを加えて水酸化鉄の青色沈殿を生成させ、バブリングによって空気酸化を行った。5 分ほどで青色沈殿は黒色に変化し、しばらく熟成させたのちにネオジウム磁石を近づけると磁石に引き付けられることが確認できた。こうして合成したマグネタイトを染料 (オレンジ II) 模擬排水に少量添加し、攪拌したのちに永久磁石で粒子を分離すると、オレンジ II の色が薄くなっており、吸光度測定により分離率を評価したところ、90%以上

の分離率が得られた。吸着の駆動力や適切な粒子径、粒度分布などについて、踏み込んだ質問をいただいた。

②凝集法による生活排水の磁気分離

上記の吸着法では分離が難しい場合、凝集法を用いることで、さまざまな排水を処理することができる。ここでは身近な生活排水として、米のとぎ汁と食器洗浄水を対象に凝集法を用いた磁気分離を行った。まず無機凝集剤である硫酸アルミニウムを加え、それにアルカリを加えて水酸化アルミニウムを生成させることで微小な凝集体を生成させた。そこに少量のマグネタイトを加えて凝集体に絡めて磁化させ、最後に高分子凝集剤を加えて肉眼で確認できるくらいの大きさの凝集体を形成させた。そこに永久磁石を近づけると上澄みが澄んだ状態になっており、濁度も大幅に下がっていることが確認できた。実用化した場合の廃棄物量、マグネタイトの再利用の可能性等に関する質問をいただいた。

③磁気アルキメデス法を用いたプラスチックの分離

ここまでの実験は強磁性体を用いた磁気分離法による水質浄化の実験であったが、強磁場を用いることで、反磁性体や常磁性体を分離することができ、リサイクル分野への応用も期待されている。今回は表面最大磁束密度約 1.5T のハルバツ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分離のデモ実験を見学いただいた。常磁性の媒質を用いて流路内でプラスチックを水中で浮かせ、連続的に分離することができる装置を用いて、特定の色のプラスチックだけが選択的に回収されてく様子には驚きの声が上がリ、その原理について多数のご質問をいただいた。

④超電導磁気分離のその他の応用についての紹介

超電導磁気分離の応用先は排水処理やリサイクルにとどまらず、磁気薬剤配送システム (MDDS) や福島でのセシウム汚染土壌の減容化、火力発電所の発電効率の低下の抑制など多岐にわたる。また核融合炉用超電導磁石絶縁材料の極低温における照射効果の検討も行っている。これらの西嶋研究室で目下研究中の各テーマの最近の成果について、西嶋研究室の学部 4 年生と大学院生が紹介を行った。特に 2 日目は企業の方々から、基礎的なメカニズムから応用に関することまで、多数の質問をいただき、関心の深さを実感した。

最後に総括として全体を通しての質疑応答を行った。1 日目の学生の参加者は超電導材料に関する研究に携わっている方が多く、磁気分離については全員が初めて耳にされたとのこと、超電導応用の一つとして新たな認識をして頂けたようであった。2 日目は西嶋茂宏教授を交え、企業からの参加者と、国際的な磁気分離研究の動向とその中で日本での研究の位置づけについて議論を行った。国内での応用においても世界的な市場動向を視野に入れる必要もあるなど、超電導技術の普及に向けての今後の課題についても議論された。

(大阪大学 川山 巖、秋山庸子)

写真3 磁気アルキメデス法による
プラスチック分離装置の見学の様子