



Title	低温センター設立拡張から吹田キャンパスのヘリウム回収配管の完成まで
Author(s)	濱口, 智尋
Citation	大阪大学低温センター 50周年記念誌. 2025, p. 1-5
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/102090
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

低温センター設立拡張から吹田キャンパスのヘリウム回収配管の完成まで

大阪大学名誉教授 濱口 智尋

低温センター長: 1991年4月～1993年3月, 1995年4月～1997年3月, 1999年4月～2001年3月

副センター長: 1989年4月～1991年3月, 1993年4月～1995年3月, 1997年4月～1999年3月

1. はじめに

旧低温センターは現在コアファシリティ機構低温科学支援部門と呼ばれて、部門の機能・サービス共に大変充実しております。本文ではコアファシリティ機構低温科学支援部門を低温センターと呼ばせていただきます。始めにお断りいたしますが本記事は執筆者の記憶を基に文章化したもので、年代については正確でないものもあります。センター長を3期務めました、著者自身が液体ヘリウムを利用して低温での半導体物性の研究では大変お世話になったことを今でも感謝いたしております。

さて、私が工学部電気工学科を卒業したのは1961年(昭和36年)で、大学院修士課程を1963年に博士課程を1966年(昭和41年)に修了しました。その間一貫して半導体の電気伝導を担うキャリアー(電子と正孔)の高電界下での振る舞い(hot carrier)の研究をしてきました。研究開始当時は半導体の物性はほとんど不明で、解説書は勿論テキストと呼ばれるものは一切存在しませんでした。卒業論文、修士論文、博士論文の研究では必要な装置は全て真空管などを用いて自作しました。当時の我が国では半導体物理の著書はなく、論文誌を読んでも理解不能といっても過言ではありませんでした。理学部の川村肇先生が1961年に出版された「半導体の物理」(槇書店)は革命的な名著でした。いまだにこれ以上のテキストを探すことはできません。隅から隅まで毎日読みふけておりました。川村先生は1957年に設立された東京大学物性研究所の教授として赴任、Geのサイ

クロトロン共鳴の実験を行い1962年にバレー構造の電子散乱の異方性などを発表されました。後に大阪大学の理学部物理学科教授として就任され、前述のテキストを用いた講義をされることを知り、毎週聴講させていただきました。その後、公私にわたり大変お世話になりました。私は工学部に所属しておりましたが、キャンパスは都島区東野田にあり、正門が近松門左衛門の「心中天の網島」の舞台となった大長寺(墓標あり)の真正面にあり、近くから大阪市電で中之島の理学部に毎週通い、川村先生の半導体物理の講義以外にも、内山龍雄先生の量子力学の聴講を2年間続けました。私の研究ではこの二つ講義は言葉で表現できないほど重要で、半導体物理の理解に役立ち、著書“Basic Semiconductor Physics”(Springer, 2001, 2010, 2017, 2023年)を執筆できたのはこれらの聴講無くして不可能だったと思います。そのありがたさは測り知れません。今年になって、オッペンハイマーの映画が注目されましたが、オッペンハイマー博士の講演会が中之島の松下講堂で催され、永宮先生が司会(?)を務められたか質問されたのか定かではありませんが、講演内容よりも会場の雰囲気圧倒されました。

2. 低温センター設立当時の状況

さて、大阪大学の低温センターの設立当時の話に戻ります。東京大学物性研究所設立の成功と低温センターの重要性が注目される中、大阪大学に低温センターの設置を計画されて

いることを学生時代に知りました。物性研究所を大阪大学に設立する企画もあったことを工学部の学生時代に聞いたことがあります。東大物性研究所の短期研究会が頻繁に開催されたので大学院生のころから、六本木の物性研へは足しげく通いました。半導体のホットキャリアの温度依存性を調べるため、最初はドライアイスアルコール液に入れ、摂氏 -79° (194K)まで冷却する方法をとり、後に液体窒素で77Kの実験が私の最低温度でした。1966年3月に博士課程を修了し、4月から基礎工学部電気工学科の助手となりました。9月には日本で最初の国際会議だと言われた第8回半導体物理国際会議が京都で開催され、多数の著名な研究者が海外から参加されましたが私にとっては特別な国際会議でした。半導体における不安定性現象(Instability)が1960年代に大きな注目を受けていましたが、CdSとp-GaSbは電子と音響フォノン相互作用で音波が増幅され電流振動が起こることや、n-GaAsでは Γ 点のバレーからL点への電子の遷移によりマイクロ波領域でガン発振(Gunn Effect)する原理も解決した会議でもありました。会議ではEsther M. Conwell博士とPurdue大学のRalph Bray教授に会い、1967年から1969年まで約2年間アメリカでの共同研究に招かれる機会を得ました。アメリカ滞在中の1968年に工学部に低温センターが設置され、工学部の吹田移転後の1971年に、理学部に設置されていた極低温実験室(1958年に設置)が統合され、共同利用施設として豊中分室と吹田分室が発足しました。

博士課程修了後1966年3月に基礎工学部電気工学科の山口次郎先生の研究室の助手となり、翌年2月には工学部の電子工学科講師、8月には助教授となりアメリカのPurdue大学物理工学科の客員研究員として赴任しました。私が帰国した1969年の秋から翌年にかけて大学紛争で建屋が占拠されたり、投石で窓ガラスが壊

されたりしてその対応のため研究がほとんどできない状況でした。その間、半導体のバンド構造を決定する変調分光装置を作り(電子のバンド間遷移エネルギーを測定する)、強磁場下での磁気抵抗が周期的に振動する磁気フォノン共鳴(電子が光学フォノンを吸収・放出してランダウ準位間を遷移するため)から電子の有効質量を決定する研究の準備を始めました。変調分光はアメリカ滞在中に必要な装置の準備をするよう研究室に連絡しておりましたので、比較的早く世界で最も精度の高い分光装置を開発できました。紛争が解決した後、強磁場が必要となり、超電導コイルを用いた強磁場発生装置(11T)を用いて、磁場変調法で磁気抵抗の磁場に関する2回微分した値を測定する技術を開発し、磁気フォノン共鳴の測定精度を世界一に導きました。変調コイルは小さな円筒形コイルを自前で作り、正弦波の変調電流は基本周波数に対して高調波が非常に少ない電源を作り、超電導磁場を変調しました。シリコン(Si)、ゲルマニウム(Ge)などのインターバレーフォノン散乱やInSb, InP, GaAsの有効質量など多くの半導体での成果を得ました。当時は、吹田キャンパスで最も多い液体ヘリウムを使用する研究でしたが、実験を担当した学生は大変だったと思います。液体ヘリウムを利用する2, 3日前から装置を真空に保ち、前日には断熱層に液体窒素を投入して液体ヘリウムの断熱スペースやサンプルを入れた部分を冷却、当日は試料を装着したクライオスタット外部の液体窒素を排出し、2時間ほどを要して液体ヘリウムを投入、安定するのは夜の10時頃となります。実験結果が出るのは早くて夜の11時から12時となりますが、私は毎回、実験のデータが出始めるまで見守り、安全を確認してから夜中に帰宅することとなりました。朝には家内の弁当を持参して学生の労をねぎらい、大まかな結果を聞きとり研究室で検討しておりました。当時の学生は

超電導マグネットの液体ヘリウムを使いきるまで実験を続け、中には昼食時間帯まで続けてくれたことを思い出しております。したがって私達の研究にとって低温センターは必要で不可欠な存在でした。

3. 低温センター長としての運営

1988年4月に低温センター運営委員となり、副センター長(1989年4月～1991年3月)を経てセンター長を1991年4月～1993年3月まで務めました。その後、副センター長とセンター長を交互に2001年3月の退職まで務めさせていただきました。長期にわたって低温センターの運営に携わることになったのには理由があります。低温センターの運営を務めヘリウム液化機の更新と拡張やスタッフの増員などに貢献された理学部の伊達宗行教授が1993年に退官される折、豊中のヘリウム液化機の更新ができず、後のことを濱口に頼むと言われ、懸案に深く携わった結果です。センター長になったの初仕事が豊中分室のヘリウム液化機を更新することで、本部との交渉にあたりました。その結果、液化機とヘリウムガス回収装置の建屋増築などを完成することができました。1980年代頃からNMRや強磁場装置など超電導コイルを冷却するため液体ヘリウムの需要が増え、より大型の液化機が必要となり吹田キャンパスでも蛋白研究所、産業科学研究所や化学系学科などでNMRの高周波数化が進み同時に大量の液体ヘリウムを使用するようになり、大容量液化機への更新が必要となり、本部との交渉が相次ぎました。幸い大学の最終予算請求審査会では金森総長、熊谷総長、岸本総長の理解を得て私の任期中にほとんどの要望を実現することができました。

4. 低温寒剤利用者のための講習会と利用許可証の発行

私が低温センター長に就任した当時、国内の大学や研究所で低温実験中に研究者が事故死することが2件ほどありました。死亡事故の原因は密閉した部屋で気化した窒素ガスが充満して酸欠となるものでした。また、直接液体窒素に触れて低温やけどを起こすなど安全性を保つ必要性を感じました。液体の窒素やヘリウムを安全に利用するためには、それらの利用の方法を学習する必要があることに気づきました。そこで、低温寒剤利用者のための講習会を実施することにし、講習会の受講者のみが液体寒剤の利用が可能となるシステムを構築しました。初めころは寒剤の危険性などこれまでの事故や失敗の話を私自身が行い、講習会を低温センターのスタッフに実施していただきました。多分、このシステムはわが国では唯一ではないかと思います。センター利用者がこれまでに無事故で実験を行ってこられたとしたらこの安全講習会の功績だと低温センターのスタッフに感謝します。私が東野田の工学部に在籍していた当時低温寒剤として液体窒素を用いておりましたが、液体窒素は大阪酸素や大陽酸素が製造備蓄しており、無料で提供してもらうためにステンレス製の球形のデュアール瓶を携行して行きました。その往復は公共交通機関を利用しておりましたので、電車などの乗客が不審な顔で眺めていましたが、今思うと危険物にかかわる法令で公共交通機関での運搬は禁止であったのではと反省しております。

液体窒素の利用は講習を受けた研究者自身がタンクからくみ出し、使用料を自己申告する方法をとりました。液体ヘリウムは液化機のそばに置いた大容量(100リッター)貯蔵装置に蓄え、低温センターのスタッフが支援してトランスファーチューブを用いて各研究者の装置や容器に転送しました。初めころはNMR装置のある部屋まで容器を移動させ、気化したヘリウムガスを大きな風船に回収して、低温センター

まで学生が移動させボンベに回収しておりました。低温センターから我々の研究室までのヘリウムガスの回収配管工事を早くから進めていたので学生が風船をセンターまで移動させる必要はありませんでした。その後、共同利用の申請をして低温センター内に実験装置を置き、液体ヘリウムの挿入、ガスの回収や超電導マグネットのクエンチによる大量のヘリウムガスが発生してもセンター建屋の天井に設置した大型風船で回収できるようになりました。液体ヘリウムの取り扱いはかなり知識と技術が必要です。筆者自身はPurdue大学の物理学科で習得しましたが、注文はシカゴにある会社から、タンクは貯蔵所から研究室まで運び、液体ヘリウムをトランスファーチューブで装置に入れますが直前にヘリウムガスでチューブ内を充填されることや、どこまで液体ヘリウムが入っているかを確認する手作りの装置などを習得しました。これらを研究室の学生に伝授し、事故もなく実験を終えることができました。余談ですが超電導マグネットがクエンチしたとき、すさまじい勢いのヘリウムガスが天井の風船を満たしていった光景はいまだに鮮明に残っております。また、アメリカのPurdue大学で利用していた超電導マグネットにはパーシステント・モード(persistent mode)というスイッチが付いており超電導コイルの閉回路を作り永久電流を流して、自宅に帰り夕食を済ませてから研究室に戻り実験を再開できるという大変便利なモードでした。超電導現象の講義で永久電流の事は知っていましたが、実際に使ってみて大変参考になりました。

5. 吹田キャンパスのヘリウムガス回収配管の完成

大阪大学では1990年代には液体ヘリウムの利用が毎年増加しておりました。小型の実験装置から超電導マグネットを用いた実験、NMRを用いた分析や病院でのMRI装置など欠かすこ

とのできないのが低温寒剤です。しかしヘリウムガスは輸入に頼らなければなりません。気化したガスを高効率で回収し、再利用する必要があります。吹田キャンパスは広大で約100万平方メートルの面積があり、液体ヘリウムを使用する可能性のある施設は微生物病研究所、蛋白研究所、産業科学研究所、工学部、医学部附属病院、歯学部附属病院、薬学部などです。私が低温センター長に就任した折には先に述べたような風船を用いたヘリウムガスの回収を継続していたのは薬学部で、医学部附属病院などのMRI装置を稼働していたところでは大気中に放出していました。工学部が吹田に移転した折、共同溝が作られ、電気、水道、通信などの配管・配線が通されました。ここにヘリウム回収配管を敷設すれば、比較的安価にキャンパス全体に回収網を広げることができ、センターでヘリウムを回収できるようになります。しかし、薬学部のエリアは吹田キャンパスの第2期造成部分であったため、工学部のある第1期造成部分と共同溝でつながっていませんでした。センター長を務めた期間中にヘリウム液化装置の更新が二度実現しました。まず豊中分室の液化装置更新が平成4(1992)年度(平成5(1993)年3月完成)が、二度目は吹田分室の液化装置更新が平成7(1995)年度(平成8(1996)年3月完成)に、三度目は豊中分室の申請に携わり、平成13(2001)–14(2002)年度(平成15(2003)年3月完成)の更新が認められました。二度目の更新が認められ文部省からの予算配分の通達があった早い時期に、技官と薬学部の教官が業者を呼び、ヘリウムを圧縮して送れば配管を細くすることができて材料費や工事費を下げられるという計画を立ててしまいました。この案では薬学部で圧縮機を用いるため回収ヘリウムに空気の混入リスクが高まり、センターでは圧縮ガスのため短時間に大量のヘリウムを処理する対応を迫られるため、配管設置

後の運用に大いなる懸念を抱える方法でした。およそヘリウムガス回収の方法を知らない関係者が企画したものと思われ、吹田地区における共同溝の延長と常圧による広範囲・高効率回収というセンターの将来計画とは全く相いれないものでした。私と百瀬英毅助手(後に本部安全衛生管理部の教育研究部門・教授)とが急遽本部の担当者に会合を開いていただき、その企画では大きな問題が発生することを指摘しましたが、学生が風船でヘリウムガスをセンターまで運搬するのは苦痛であると主張して撤回してくれず物別れの結果となりました。本部事務官、百瀬氏と濱口が最後の詰めを相談し、施設部の協力も得て、2つの共同溝間をつなぐヘリウム回収配管を道路下に埋設して薬学部もこれまでの他部局と同様に回収する案を最終的にまとめました。予算については大型液化機の設置に関連する施設整備の工事費として事務局で対応してくれることになり、無事我々の将来計画が実現しました。私のセンター長の務めは無事故と吹田キャンパスのヘリウムガス回収回路の完成で終わり、2001年3月をもって退職をいたしました。

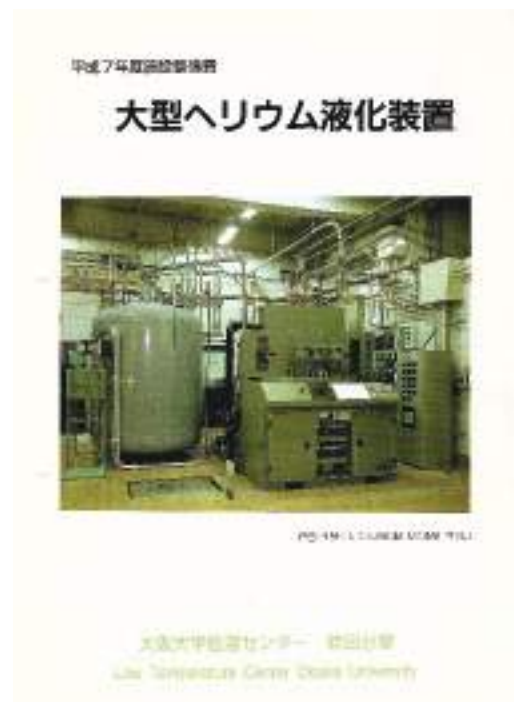
現在、吹田キャンパス内のヘリウム回収配管としては、以下の9系統を運用しているとのことです。百瀬教授から吹田分室の技術職員に確認していただいたところ

(1) 産研系統, (2) 環境+核物系, (3) 応物系系統, (4) 電気系系統, (5) 吹田分室共同利用実験室+産連C棟+総合研究棟+旧超電導系統, (6) GSE高層棟+化学系+分析センター+蛋白研系統+機械系・材料記念館系統, (7) 材料記念館系統, (8) 薬学+21世紀プラザ+レーザー研+医学部系統+NICT脳情報通信融合研究センター, (9) 産連D棟系統

以上のように多部局にわたり液体ヘリウムの利用と回収が行われているそうです。それ以外に、医学部附属病院には多数のMRIなどの液

体ヘリウムを使用する測定装置がありますが、こちらに対しては(緊急時対応を除いて)液体ヘリウムの供給は行っていません。医療機器であるため、通常の機器保守契約に加入すると、定期的な機器メンテナンスに加えて、液体ヘリウムの調達や充填作業までもこの保守契約内に含まれており、わざわざセンターから液体ヘリウムを供給してもらう必要性がないようです。

最後に、在任中色々と努力して下さった低温センターの豊中および吹田分室の職員並びに利用して下さった研究者の皆さんに改めて感謝を申し上げます。百瀬英毅教授には本稿を仕上げるためにいろいろと資料を用意して助言して下さいました。ここで改めてお礼を申し上げます。研究室の卒業生は広い範囲で活躍されておりますが、苦しい実験生活から素晴らしい成果を挙げて下さったことに感謝しております。



平成7年度施設整備費で設置された吹田分室のヘリウム液化装置パンフレット。