

液体ヘリウム奮闘記

船木, 和夫

九州大学大学院システム情報科学研究所 | 九州大学超伝導システム科学研究センター | 九州大学低温センター

<https://doi.org/10.15017/27449>

出版情報 : 九州大学低温センターだより. 7, pp.23-29, 2013-03. 九州大学低温センター
バージョン :
権利関係 :

液体ヘリウム奮闘記

船木 和夫

九州大学システム情報科学研究所／超伝導システム科学研究センター／低温センター

まえがき

九州大学にて学部卒業研究で旧入江／山藤研究室（当時，工学部電子工学科）のお世話になって以来定年を間近に控える昨今まで，実に約 35 年の長きに亘って液体ヘリウム（LHe）を使う研究教育に携わってきました。一時，九州大学を離れたり液体ヘリウムから遠ざかったりの時期もありましたが，その多くの期間は液体ヘリウムのお世話になっていたことを今さらながら思い起こします。その意味では，研究の結果は抜きにしても，戦後の高度成長期，バブル崩壊期，平成のグローバル化期などを通して，大学等における液体ヘリウムのユーザー環境の変遷をまとめることは，私の個人的な体験ではありますが，これからの見通しを考えていただく上で何かのお役に立てるのでないかと思い，寄稿することになりました。肩の力を抜いてお付き合い頂ければと思います。

学生時代

40 年ほど前の記憶をたどることになります。断片的な印象に残るシーンが中心ですので多少色が褪せているに違いないことをご容赦願います。第 2 種超伝導体の磁化特性に関連するテーマの実験やら解析などをさせてもらっていました。実験設備としては，内径 100 mm 弱のガラス製デュアで，これに LHe を確か 5 L 程度注入してもらっての実験でした。小振幅の磁界を発生させる超伝導コイルの中に試料を置き，ピックアップコイルで検出する手順ですが，つぎ込むパワーが小さいものですから，5 L 程度の LHe でも，実験をはじめる夕暮れ時から翌未明まで実験が楽しくもできたものでした。その当時，LHe の供給は一手に理学部極低温実験室が担っておられました。実験日のお昼前後に，木製のガラスデュアスタンドを工学部の実験室から運んで液注入をお願いします。うまく注入できれば一安心ですがそうでないと苦言がきます。そうやって供給してもらった貴重な寒剤の蒸発ガスをゴム製バルーンで回収しながらの徹夜の実験が通常でした。卒業論文追い込み時期には，縦型のガストープに載せたやかんの水を切らすことなく補充しながらの実験で，明け方に大粒の水滴がついた窓越しに朝日を眺めいていた記憶が鮮明です。明けて翌朝，大きく膨らんだバルーンを背負って極低温実験室に向かい，受取ってもらえて実験完了です。ところが，たまには，ガス量が少ない，あるいは多すぎるのではないかなどの点検異常が指摘されますと陳謝と反省をもって実験完了でした。それほど貴重なヘリウムですから，その思いは学生の身にも切実に伝わり，回収のヘリウムガスで風船を膨らまそうなどとの考えは頭をよぎることはあっても，決して実行に移すまでには至りませんでした。

通研時代

修士を修了した後、当時の日本電信電話公社蔵野電気通信研究所（通称、通研）に勤務しています。赴任しました研究室では、パルス符号変調に関する諸々の研究テーマの中で、なぜか超電導通信ケーブルのテーマが走っておりそこに配属が決まりました。もちろん民営化前とはいえ実用化研究が中心でしたが、その中でもかなり独自性のある研究が認められていた「特別研究室」でこそ環境でした。

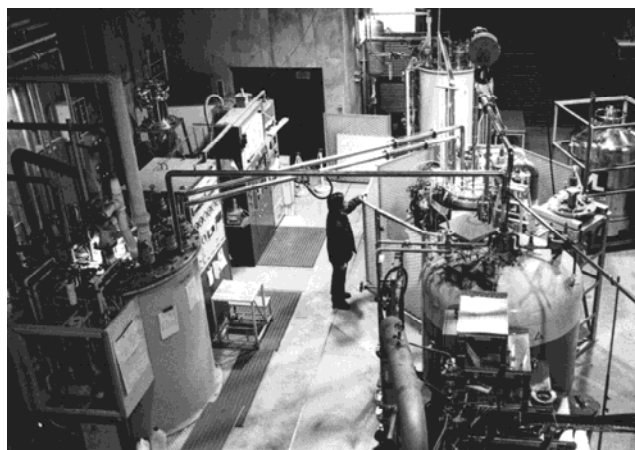
研究背景としては、まだ光ファイバーの減衰特性の改善に必ずしも先が見通せない時期で、研究所で光ファイバー通信と超電導通信の研究が並行している時期でした。（ただ、その勝敗の決着はほとんどついていたと後で思い知らされます。）細長い実験棟には、数 10 m 級の藤倉製の試作ケーブルがピットの中に横たわり、某国立研究所から払下げの数 L/H 程度の能力のコリンズ型ヘリウム液化機を使った冷却性能試験が行われていました。液化能力が落ちてきたと言っでは、レシプロ式膨張器のテフロン製弁座の清掃・取替えなどの作業で中断をされながらの手作り試験でした。それでも貴重な LHe を自家製で使用できるということの便利さは実感できました。私自身は、そのようなチーム（3 人）挙げての試験の支援の傍らで、断熱管路の吸着剤による低温封じ切り特性のサブテーマを 2 年間でまとめました。

超電導マグネット研究センター設立

光ファイバーの伝送特性の飛躍的な改善の傍らで、超電導通信ケーブルの研究の出口が色あせたものにならざるを得ず、私の入社後 2 年で終了することになりました。その期に乗じて大学にもどる身勝手を皆様のご寛大なご理解で受入れていただき、古巣（旧山藤研究室）にもどりました。

当初数年は超伝導関連のテーマから外れて代わりに試験管を使うテーマを進めていましたが、やはり LHe を使ったテーマとの相性でしょうか、元テーマの続きのような超伝導線の興味ある磁化特性の研究を始めました。学生の頃と比べて実験の規模（磁界の強さ、周波数領域）が大きくなり、まだガラスデュアのお世話になりましたが、一度に 10 L を超す LHe の利用となりました。その分、ガス回収のバルーンの個数や容量が増え、実験頻度と共に回収作業の負担が重くなっている時期でした。遅めの学位論文作成までの期間、従来からの状態が続いていました。

このようなヘリウムの使用状況を一変させたのが、超電導マグネット研究センターでした。当初旧入江研究室の実験室として、実験棟と共に超伝導実験装置（高磁界マグネットなど）とヘリウム液化装置などの設備一式が導入され、2 年後の 1983 年に工学部附属省令施設として組織化されたものです。この時、3 階建ての実験棟 1 階には、超伝導実験装置本体とこれに LHe を供給する BOC 製コールドボックス（60 L/H）や圧縮機、精製機などの液化設備一式が配置され、各階の実験室にはヘリウム



超電導マグネット研究センター 1 階の実験装置とヘリウム液化設備

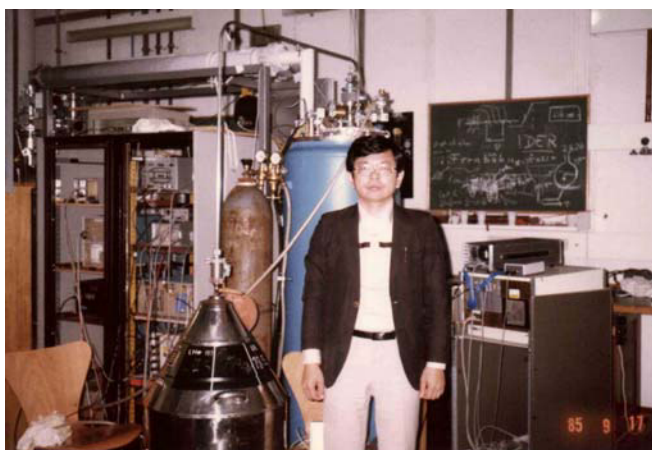
回収配管も敷設されて、実験棟内に限られていたものの本格的なヘリウム回収系が完備されました。バルーンを持って何回も極低温実験室を訪れるパターンから卒業できることになった訳です。研究センターには、特別設備運転要員として技官も配属されており、LHe を利用した研究環境は格段に改善されることになりました。

ベルリン自由大学滞在

超電導マグネット研究センター発足後、関連研究グループの一員として、研究棟の実験室にてヘリウム回収系が完備した実験環境のもと、その恩恵を受けることになり、自ずと実験の様も変わっていきました。1つは、回収の労からの縛りがとれて、使用量への制約がある程度軽減されたことです。超伝導線をクエンチさせるために液体ヘリウム中へのヒータの投入などもあり、の世界になりました。つまり、扱えるパワーの制限緩和で研究の対象領域が拡大されていきました。もう1つは、ヘリウム使用量が数 10 L を超すことから、ガラスデュアからステンレスあるいは G-FRP (交流仕様) 製容器への転換でした。ただ、LHe の液面を目を凝らして探すというようなガラスデュア時代の教育効果は確かに無くなっていきました。

一方で、研究領域の拡大に伴い、研究協力の範囲も広がっていきました。その一環として、超伝導線の安定性と LHe の冷却効果に関する研究をベルリン自由大学のグループと共同研究することになり、西ベルリンに半年間滞在する機会を得ました。27-8 年前になりますが、キャンパスの一角にある物理系学科の低温関連研究室の口の字型の 4 階建てビルの中庭に液体窒素 (LN₂) の CE が設置され、どの実験室からもほぼ等距離でアクセスできる設計です。その 1 階にはヘリウム液化機が設置され、LHe の供給体制も当り前のように機能していました。設備自体はそんなに新しくない記憶でしたので、その当時よりもかなり前からそのような寒剤利用の体制が整備されていたものと思います。そのような設備・運用の先進性も然る事ながら、寒剤利用の際の安全対策もしっかりしていました。例えば、CE から LN₂ を小型容器にユーザー自ら小分けするものでしたが、断熱手袋と保護ガラスの着用は徹底されていました。少し滑稽にも思えたのは、寒剤の容器をエレベータで運搬するときには、当然同乗は厳禁でしたが、一人作業のときは大変で、エレベータのドア閉めの後到着階まで近くの階段を一目散に駆け上がるのもよく見かける光景でした。

そのような先進的な寒剤の利用環境の下で、言葉の不自由さや勤務時間の徹底などに少しは戸惑いながら、直径 500 mm 程度もあるガラスデュアを使ってテーマを進めました。また、ガラスデュアに戻るのか、と最初とっさの印象でしたが、ここではデュアは固定式で、ヘリウム容器の方を移動する体制であることで納得しました。それに、滞在の研究室では、超流動ヘリウムを利用する宇宙ロケットでの設備開発を NASA との共同研究で進めているところで、超流動ヘリウムの状態を目視するためにはスリット付きのガラスデュアが好都合ということでもありました。滞在も終わりに近い頃、私のテーマでも超流動ヘリウムを使うことになり



ベルリン自由大学低温実験室にて

ました。LHe を注入したガラスデュアの内圧を大容量の真空ポンプで下げることによる減圧超流動ヘリウムの生成です。減圧を続け温度が 2.2 K 付近になると秒読み体制となり、そして次第に沸騰が止み液面が分からなくなる程の静寂の世界を初めて体験しました。結局、超流動ヘリウムを使ったテーマは完結できませんでしたが、その後、博士コースに入ってきた学生の学位論文のテーマとして引き継がれ、相互訪問などの共同研究を経て首尾よく彼の学位論文は完成しました。

超伝導科学研究センター／超伝導システム科学研究センターへの継承

前述のように、超電導マグネット研究センターでの LHe や LN₂ の供給・回収体制はベルリン自由大学のものと比べてもそんなに遜色はありませんでしたので、帰国後も滞在時と同様のテーマでも超流動ヘリウム生成を除くとほぼ支障なく継続できていました。しかし、そのような寒剤供給設備は、もともと研究センターの実験装置や関連研究設備の冷却用として措置されたものですので、10 年時限の研究センターの廃止をもってお役を解かれるものでした。つまり、学内寒剤供給用設備とは性格が異なるので、基本的には更新はないものでその後の時間の経過と共に老朽化への対応が課題になっていきました。

私自身としては、それまでは関連研究の一員として研究センターに関わる立場でしたが、研究センターの時限の数年前にセンター教員の職を頂くことになりました。単なるユーザーから一気に研究センターや設備と運命を共にする立場になった訳です。折しも研究関連のトピックとしましては、液体窒素温度を越える臨界温度をもつ酸化物超伝導体の発見でフィーバーが起こり、これからは超伝導の応用研究では LHe から LN₂ を使うことになる、ヘリウム液化機へのニーズは減少していくといような機運が高まった時期でもありました。

そのような背景で、第 1 期のセンターの廃止と次期センター（超伝導科学研究センター）の立ち上げのための概算要求を提案すべく、これまでの研究の傍らでエフォートの大きな割合を割くことになりました。超伝導マグネット研究センターの主要な目標として金属系超伝導線による高磁界マグネット技術の構築を掲げていました。研究センターとこれを支援する研究グループの成果として掲げていました目標をある程度達成することができたこと、今後はこれまでの成果をステップとして新規に発見された酸化物超伝導体の特性改善と線材・導体特性の高度化を実現する新センターの設立が必要なこと、を全面に出した概算要求でした。冷却コストの面で、液体窒素温度でも利用できる新超伝導体をアピールすることとヘリウム液化装置の老朽化による更新との両立を謳うのはたいへん難しいことになり、残念ながら、研究センターの更新は実現できたもののヘリウム液化装置の方は置いてきぼりとなる結果になりました。

超伝導科学研究センターでの研究対象は、従来の金属系超伝導線から開発途上の酸化物超伝導線へとシフトしていきました。しかし、確かに LN₂ を使った実験的研究が登場し、それ自体は長年超伝導に関わったものとしてはたいへん感動的なことであることには違いがありませんが、優れた超伝導特性を LN₂ 温度で実現するにはまだ限定的でした。従来の金属系超伝導線が発揮した優れた特性（高磁界発生、高電流密度など）を同じように酸化物超伝導線で達成するにはやはり温度を下げざるを得ず、LHe 温度から LN₂ 温度までの幅広い温度領域での実験空間を用意する必要がありました。その結果、新しい材料への期待と相まって、LHe の需要はむしろ今まで以上に膨らむことになりました。

この第 2 期の研究センターでも既設の建物とヘリウム液化装置をそのまま引き継いでいますが、

液化装置は膨らんでいく LHe の需要にまだ応えられる性能を維持できていました。装置の稼働はすでに 10 年を超す時期でしたが、専属スタッフによるシステム管理がうまくできていたことによります。このような LHe と LN₂ の整備された研究環境で、研究センターでの酸化物超伝導体に関する基礎研究は関連研究グループの積極的な協力にも支えられて当初の目標を達成する成果を上げていくことができたと思います。

第 2 期研究センターにも 10 年の時限がついていました。そのような組織に所属していると、任期制の前倒しのように、時限が近づくにつれて新しい研究設備の概算要求や外部資金の調達に大きなエフォートを費やすことになりませんが、液化設備のような大型の要求には中々手が届かないという現実もありました。幸いにも、第 2 期研究センターの活動でも新しい材料である酸化物超伝導体を中心にして評価が頂ける成果を上げることができ、現在の 3 度目の研究センター（超伝導システム科学研究センター）の設立につながっています。この第 3 期の研究センターは学内共同利用施設としての発足で、複数の部局からの複担による組織構成となり、主に酸化物超伝導体を電力や医療分野へ応用するための土台となる要素技術を開拓する、これまでの基礎研究から応用に向けて一段階段を上る目標が設定されています。研究体制の充実が図られて、研究センターでの研究活動もさらに活発になった訳ですが、その基盤となります寒剤の供給もさらに重要になっていきました。

このような時限付き研究センターの中にいますと研究に直結する実験設備の要求については実現できることが多いのですが、その基盤設備については、回収系等の周辺設備の増強までで本体の更新には相変わらず手こずっていました。第 3 期研究センターが発足して一段落するころには、研究センターの世代交代に取り残されて、受け継がれてきた液化設備は 25 年を越える稼働でした。その設備維持費はとうの昔に期限が切られていて、その維持管理は研究センターの運営経費で辛うじて賄われている状況でした。経済的な面は各研究グループからの支援もあり乗り切ることができていましたが、如何せん設備の老朽化に対しては専属のスタッフの努力だけでは対処が難しい時期になっていました。確かに、これまでの保守管理のお陰で液化率は 50 L/H のレベルが維持されていましたが、コールドボックスの心臓部ともいえる膨張タービン等の代替品調達が難しい状態でした。つまり、今度異常が出たらシステム全体のダウンにつながるというものでした。

基盤設備の末期的状況を転換する好機が到来です。伊都新キャンパスへの移転計画で、工学系部局に続く第一陣の末席に位置していました。この好機を逃す手はありません。早速、概算要求の準備をして提案しました。結果としては、研究センター単独での基盤設備としての液化設備の要求は難しいものがありました。しかしながら、大学執行部の方々のご理解をいただいて、理学部の低温センター構想と協力する体制で新キャンパスに基盤設備としてのヘリウム液化・冷凍設備を実現することが可



3 世代の研究センターを支えた実験棟（背後）
と管理棟（手前）：箱崎キャンパス

能となりました。理学関連部局の新キャンパスへの移転にはしばらく間があることから、低温センターは当面箱崎、伊都キャンパスにそれぞれ地区センターを置く布陣で発足したのです。私は研究院を主務として超伝導システム科学研究センターを複担していましたが、行きがかり上伊都地区センターも支援教員として運営に当たり、責務が重たい三足のわらじを履くことになってしまいました。一方、研究センターと伊都地区センターは隣接する配置を認めていただきましたので、研究センターの長年の課題でした寒剤供給状況の改善は伊都地区に拠点を移してよりしっかりした体制で長期的に見通しをたてることができるようになりました。

低温センターへの期待

研究センター移転の2年前から、伊都地区センターに据え付ける寒剤供給設備特にLHe供給に必要な液化設備やその周辺設備の基本設計に関わりました。伊都地区への今後の移転計画を反映したLHeの需要予測に加えて隣接する研究センターにおける各種超伝導設備の冷却を可能とする冷凍能力などの概算から、本体は液化・冷凍機とすること、また、その容量や周辺装置のガス処理能力も自ずと決まっていきます。競争入札を前提に複数の関連メーカーから設備一式の見積りをとりますと一様に予測を越えたものが届けられました。概算要求にもある一定枠のようなものがあるようで設備の一部スペックダウンも致し方ないと一步引き下がることになりました。その概要は、追加の補充ができない液化・冷凍機本体は当初から予定のものを、後々に補充増強が可能なガス回収・貯蔵・精製装置については当面の需要に応えられる処理能力とするものでした。それでも、大学に設置の同様の設備では最大級のものになっていました。特に大規模な超伝導装置の冷凍機能について、汎用機としてはこれまでにあまり事例がなく、関連メーカーにお願いした詳細設計では大分苦勞があったようです。

平成19年4月に低温センター伊都地区センターが発足し、ヘリウム供給設備の半年間の試験運転の後、伊都キャンパス内でのLHe供給業務を開始しています。LN₂については、地区センターの移転に先駆けること1年前から工学系の移転が完了していましたので、部局対応の業者委託体制が整備されていたこともあり、当面の間は地区センターからの供給と部局対応の共存体制で進めることになりました。現在は、LHeとLN₂の双方共に地区センターの設備を利用しての供給体制に移行しています。ただし、その後もこれら寒剤の配達については従来からの業者委託が部局毎の判断で継続されています。寒剤の供給価格決定等の低温センター全体に関わる運営については、箱崎地区センター（極低温実験室の寒剤供給業務を引継いでいる）と伊都地区センターとの協議により進められています。伊都地区センターの発足から6年が経過しようとしています、両地区ともに、ユーザーの皆さんのご協力のもと、工学系移転前のサービスがほぼ確保できるところにまで体制を整えることができるようになっていないかと思います。また、研究センターについては、低温センターに隣接した地理になったことから、移転の前と比べても便利な供給体制を享受できるようになっているようです。

そしてこれから

平成27年度の理学系部局の移転が計画されています。伊都地区において、現在のLHe供給体制を維持するには、ヘリウムガス回収・貯蔵・精製装置の増強が必要になります。上述のように、設備導入時のスペックダウンを補完する対策として当初からの予定に挙げられていたものです。

その具体的な設備設計と概算要求の準備が本年度から始められています。この概算要求に理解を求めるためのキャンペーンをできるだけ早くに始める必要があります。また、同時進行として、理学系部局の移転後の寒剤の配達体制の整備も重要な課題です。これについては、本年度の間接経費予算で、必要となる寒剤予約システムのソフトウェアの開発が進行しており、次年度からの伊都地区での試験運用が計画されています。

一方、箱崎キャンパスにおいては、箱崎地区センターがこれまでの極低温実験室の業務を継承していますが、理学系部局の移転後には、地区センターはサテライト施設としてLN₂の供給のみを存続させることになるようです。関連部局のユーザーの方々には、キャンパス移転に伴う寒剤供給環境の推移として受け止めていただきたく思います。

液体ヘリウム、液体窒素には長年お世話になった立場から、その利用環境を体験に即してまとめてきました。終わりの方では、話の筋が駆け足になり、また、ユーザー側とサプライ側の立場がこんがらがってしまい、申し訳ありませんでした。

現在、ヘリウムの流通状況が流動的になっていることも検討材料になりつつあります。来春に九大を去る身ではありますが、これまでの仕事柄から今後の成行きが気にかかっています。寒剤供給体制の充実のために、関連の先生方をはじめ皆様方のさらなるご協力・ご支援を祈念してやみません。



平成 19 年 4 月に発足した低温センター伊都地区センターとヘリウム液化・冷凍装置 LR280