

## センターの現状

### 低温科学部の現状

極低温科学センター 准教授 野島勉 (t.nojima@tohoku.ac.jp)

現在、低温科学部では野島と中村慎太郎助教が金属材料研究所との兼任教員として研究室（低温物質科学実験室）を運営しながら共同利用や共同研究実験の支援を、丹野伸哉、細倉和則、緒方亜里の3名の技術職員（いずれも金属材料研究所からの出向）がヘリウム液化業務を主として担当し、これに技能補佐員（ヘリウム運搬と研究室事務）と事務補佐員（ヘリウム供給・回収の集計）が各1名ずつ加わった、計7人の体制でセンター全般の業務を担っている（図1）。液体ヘリウムの供給先は、片平キャンパスの金属材料研究所、多元物質科学研究所（旧反応化学研究所、旧科学計測研究所、旧素材工学研究所が2001年度に再編統合）、電気通信研究所、流体科学研究所、材料科学高等研究所（AIMR、2009年度より）、星陵キャンパスの東北メディカル・メガバンク機構（2014年度より）であり、供給量は年間およそ16万リットルに及ぶ。

現在稼働しているヘリウム液化機は2009年度に導入された、Linde社のL280-S型であり（図2）、200L/hの液化能力に加え、容量5,000Lの液体ヘリウム貯槽からポンプを用いて約20L/分の速度で



図1 低温科学部スタッフ



図2 低温科学部3代目ヘリウム液化機（上図）と液化用、回収用コンプレッサー（下図）

小分け容器に液体ヘリウムを汲み込める仕様となっている[1]。このヘリウム液化システムは1971年（昭和46年）低温センター発足時に導入されたものからかぞえて3代目（1952年に日本で初めて金属材料研究所に設置された液化機も含めると4代目）となり、1台の液化機としては国内でも最大級の供給量を出す程の稼働状況にある。10年以上にわたる高い稼働率での運転に伴い、液化機本体の故障が2018年度頃より散見されるようになった[2]。幸いにも極低温科学センター関係者や金研および大学本部事務部の方々をはじめとした関係

各所のご尽力により、更新の予算要求が認められ、2021年度末に現状と同等の能力を有する4代目ヘリウム液化システムへの更新を控えている。よって液化システムそのものは少なくとも後10年間は安泰であろうと考えている。

過去の低温センターだより等の資料によると、1971年の低温センター発足当時の液体ヘリウム年間供給量は60 L/hの能力（当時としては国内最高レベル）を持つ液化機を用いて約20,000リットル（実験での使用量は約6,000リットル）であった。これが年を追う毎に増加を続け、約20年後の2代目への更新前（1992年）で80,000リットル（使用量60,000リットル）までに達している。この大幅な需要増加への対応は、(i)1代目大型液化機が国産初の試みの設備であり常に故障を抱えていたこと、(ii)使用後のヘリウムガスは各サブセンターでカードル（5本組ポンプ）へ高圧にして詰められ、それをトラックで回収していたこと、(iii)液化機本体にまだ内部精製機能がなく、回収したヘリウムガスを液化前処理として液体窒素で精製（高純度化）する作業が必要であったこと、(iv)さらには発足当時7人いた技術職員（当時技官）が定員削減の影響で20年後には5人に減員になったこと等々といった

負の要因を鑑みると、いかに困難を伴うものであったかがわかる。これは歴代センター長をはじめとしたセンター関係教職員のご尽力（トラブル対応や整備計画への予算獲得とそれらの実行）によるものである。特にいつの時代も実働の中心であった技術職員のがんばりには頭が下がる思いである。当時の記録を読むと液体ヘリウムの安定供給（実験を滞りなく進めること）のため時には夜を徹して液化作業も行っていらした。金研からの出向である技術職員は、極低温科学センターだけでなく、強磁場超伝導材料研究センターに設置されている別のヘリウム液化機運転の支援業行っており、現在でも日々多忙な業務をこなしている。

一方、発足から50年経った現状を見ると、20年目の年間使用量からさらに倍以上と増えた160,000リットルの供給を、たった3人の技術職員でまかなっている。これが可能となっているのは、液化機本体の性能が向上した（液化能力は2代目で150 L/h、3代目で200 L/hと上昇、内部精製機能が追加され回収ガスの高純度化という作業が不要となった）だけでなく、1998年の片平地区ガス回収網の完成（図3）、2009年のヘリウムポンプ導入、というヘリウム液化システム全体の進化に

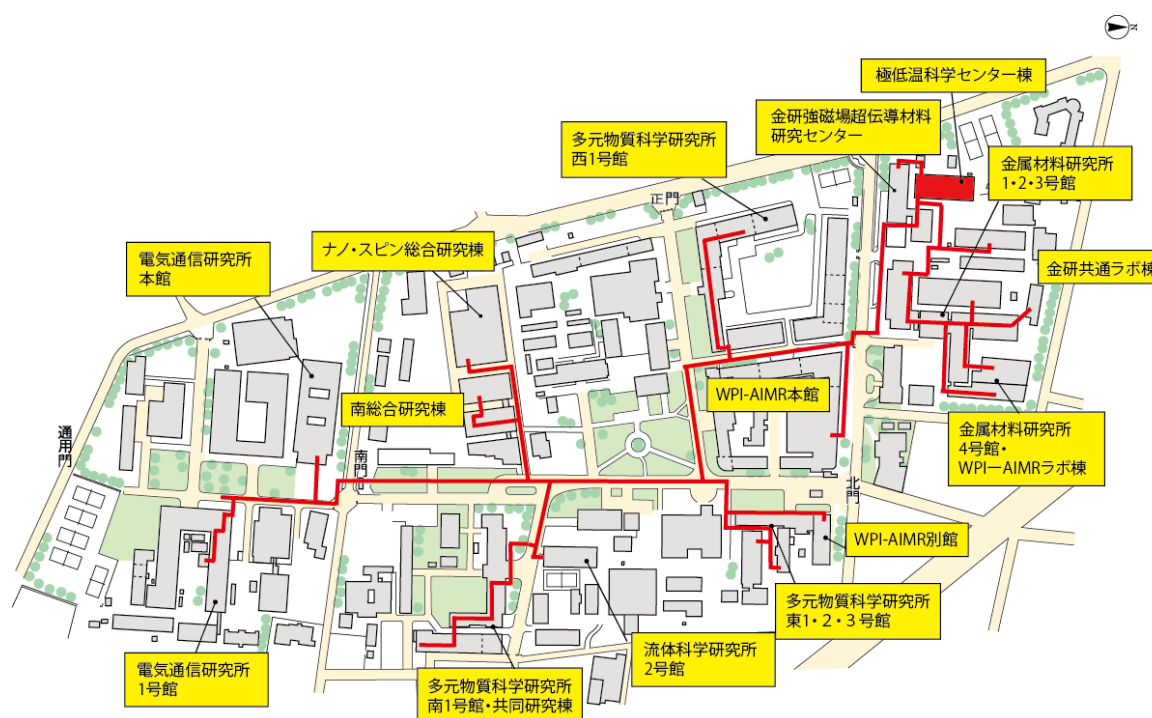


図3 片平キャンパスヘリウムガス回収網

よるものであろう。年々増加する液体ヘリウム需要に対して、その都度ネックとなってきたガス回収や小分け容器へのくみ込みにかかる時間や手間を設備改善により解消してきたわけである（当然、技術職員の故障対応等へのがんばりは言うまでもない）。私が本センターに着任した時はすでに片平キャンパスのガス回収網の主要部分は完成した直後であり、トラックによるサブセンターからのガスボンベ回収はほぼ終了していた。当時この建設に関わった坂爪先生を始めとするセンター教職員、片平キャンパス各部局の運営委員の先生方、事務部施設関係者に深く感謝する次第である。その後も回収配管網の枝管は電気通信研究所ナノスピ棟、金研4号館、AIMR3棟、多元研2棟へと広がり現在に至っている。

ヘリウムポンプは国内でも使用例が少ないこともあり、導入当時想定した機能が得られず多少の苦戦はしたものの[1]、現在は技術職員の努力もあり、それなりにうまく使用できている。課題として残るのが、くみ込みの自動停止機能である。ヘリウムは密度が小さいため重量検知による動作の確度が悪い（くみ込み時の圧力変動で誤作動してしまう）。次期4代目ヘリウムシステムではこれも改善される予定であるが、これが上手くいくと、技術職員の負担はより軽減されると期待している。

回収ガスの貯蔵に関しては、機会を見ては増設を続け、2021年現在、長尺カードル（500リットル）を56本（図4）、通常のガスボンベ（47リットル）約120本（図5）が整備されている。これらと液化機に接続する貯層も加えると12,000リットルの液体ヘリウムの貯蔵能力に達する。2012年から続く世界的なヘリウム不足に対応するため、上記ヘリウム液化システム更新と合わせて、ヘリウム貯層の貯蔵量を10,000リットルに増加させ、かつ長尺カードルを16本追加予定である。これにより、最大貯蔵量は18,600リットルとなり、ヘリウムの調達が困難な状況となっても、回収率が現在の90%が維持される限り、1年以上の供給が継続できる見込みとなった。

ヘリウム供給のソフト面に目を向けると、2006



図4 回収ガス長尺カードル群



図5 回収ガスボンベ群

年度より Web によるオンライン注文を開始したこともセンター職員の負担軽減につながった[3]。それまで液体ヘリウムの注文は、ユーザーからの e-mail、電話、ファックス等により行われ、それを技術職員が、カレンダー上に整理し、供給可能であること（もしくは供給可能な日）をユーザーに返信後、準備するという流れで進んでいた。オンライン化することにより、これらの手間はほとんどなくなり、集計の作業効率も大幅に向上した。またユーザーにとっても24時間いつでも注文やキャンセルができるほか、研究室の積算料金や回収率もリアルタイムで分かるようになり利便性は増した。現在では Web 注文はいたるところで存在し当たり前になっているが、当時としては大きな進歩であった。このシステム作成には、当時技術補佐員として低温科学部の共同利用に関してハード・ソフト両面で様々なサポートをしてくれた、渡辺好治氏の寄与が非常に大きかったことを特に記しておきたい。

共同利用機器を用いた低温実験環境の提供は、発足時から本センターの液体ヘリウム供給と並ぶもう一つの柱となる業務であった。2006年の法人化後、極低温科学センターの使命はヘリウム供給のみと規定されたが、ユーザーの強い要望もあり現在でも共同利用実験室は継続されている。1971年の発足時、一般の研究室で実現が難しい大型低温実験装置を提供することが基本理念としてあったことから、当時としては最高レベルの10T超伝導マグネット(1974年)と希釈冷凍機(1978年)が主力機器として整備され、多くのユーザーを獲得してきた(そのほか6T高均一マグネット、リークディテクター等もありこれらも広く利用されてきた)。希釈冷凍機の導入と利用に関しては小林先生が書かれた本誌中およびセンターだより中の記事[5]に、当時の様子が詳細に書かれている。興味のある方はご覧いただきたい。

その後、低温実験装置の普及とともに10T以上の磁場は一般の研究室レベルでも実現可能となり、1K以下の極低温に到達可能な研究室も珍しく無くなるとともに、これらの利用頻度は減少してきた。2000年くらいから、極低温物理学部の青木先生と相談し、共同利用実験室の方針を「一般の研究室では長期維持管理が難しい装置を集中管理して使いやすくする」ことに変更し、実験室の再整備を

進めてきた。現在では、共同利用設備として、SQUID磁化測定装置(MPMS)2台、SQUID顕微鏡システム、X線回折装置、リークディテクター2台、共同研究設備として9/11T超伝導マグネット、トップロードン式<sup>3</sup>He冷凍機、ファラデー型マグネット付<sup>3</sup>He冷凍機、ベクトル超伝導マグネットシステム、希釈冷凍機が整備されており(図6)、夏期と冬期の休業期間を除いて、常に実験室で誰かが実験している状況となっている。特にMPMSは古い装置にもかかわらず利用頻度が非常に高い。ユーザーに話を聞くと、一年中、常に液体ヘリウムが入っているためなのか、精度的な安定性が高く(いつ使っても調子と同じで)扱いやすい、さらにヘリウムガス回収率がいつも100%に近いため使用料金も安く済むので、頻繁に利用しているとのことである。液体ヘリウム利用環境のよいセンターで機器を集中管理した効果が現れた結果と言える。ただ装置自身の老朽化はいがめなくなり(現在はメーカーのサポートが終了している)、現在この更新を図っているが予算の都合上、困難な状況にある。今後この整備に関してユーザーの皆様のお知恵やお力を借りることができればと考えている。

ここ10年くらいの出来事を振り返ってみると、東日本大震災と水素問題が印象深く思い出される。

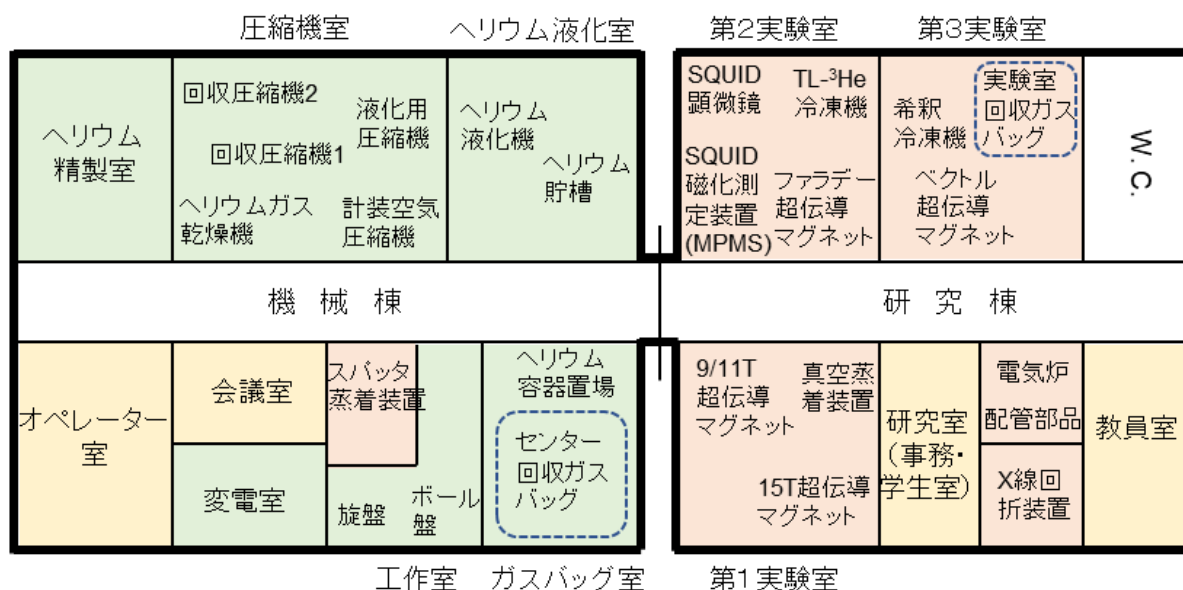


図6 極低温科学センター低温科学部の概略図

2011年3月11日の地震が発生した時点で、ヘリウム液化室では、液化機運転と5,000リットル貯槽から、250リットル大型容器への汲み出しを行っている最中であった。共同利用実験室では、MPMSが7Tの磁場を励磁直後、希釈冷凍機をクレーンで吊り下げている最中であった。液化機の方は幸運にも自動停止機能が働き安全に停止した。しかし汲み込み中の250リットル容器はヘリウムポンプを使っていたため、地上約1メートルの高さにリフターで持ち上げた状態にあり、これがリフターから落下し、3重管トランスファーチューブにぶら下がる格好で止まるという危険な状況となった。幸いなことに250リットル容器の断熱は保たれ(内槽部のネック部分に亀裂が入り断熱が破れることはなかった)、大惨事には繋がらなかったが、結果としてトランスファーチューブと250リットル容器は使用不能となった。希釈冷凍機の方はクレーンにつながっていたせいで倒れることなく無事であった。MPMSの方はその後停電となったため、電気が復旧するまで永久ループで7Tの磁場がかかったままとなった。これも復電後、装置内の液体ヘリウムレベルがマグネット直上の危ない状態であったものの、クエンチすることなく安全に復旧できた。液化システムに致命的なダメージがあった青葉山キャンパスのセンター(極低温物理学部)や大学の他の部局にくらべて、地震の被害は小さいほうではなかったかとは感じている[4]。復電後、液化機を段階的に立ち上げ直し、トランスファーチューブを昔のサイホン式に切り替えたりして、液体ヘリウム供給をほどなく再開することができたのは、技術職員の献身的な作業と経験値の高さによるものだと誇りに思っている。

3代目液化機の稼働2年目に、液化機内に固体水素が蓄積し、それが供給するヘリウム中に混入した結果、多くのユーザー低温装置を詰まらせるという問題(いわゆる水素問題)も生じた。これにより、片平地区では一時的なパニック状態となり、センターへ苦情や対応策に関する質問の電話が殺到する状況となった。購入業者の協力も受けて調べたところ、これは液化機本体の構造に由来するも



図7 低温科学部ヘリウム液化システムに導入された水素除去装置(精製筒内の水素吸着剤として銀ゼオライトを使用)

のであった。根本的修理というわけにいかず、対応に四苦八苦したが[6]、トランスファーチューブにフィルターをつけること(このフィルター使用を各研究室に浸透させること)、液化機運転方法を改善すること、さらには水素除去装置[7,8]を新設することで解消してきた(図7)。この問題により、これまでおぼろげであった、ヘリウム液化機システムへの固体水素混入プロセスに関する新たな知見を得ることができた。4代目の液化機ではこの点は改良されることとなったが、今後似たような問題が発生しても十分に対応できると見込んでいる。

最後に建屋について触れておきたい。現在の低温科学部の建屋は、低温センター開設当時から外壁・天井工事、内装工事や電気工事、回収配管の再整備と手を加えてきたものであるが、骨格は当時のままで50年を経過する(図8)。この間、2度の震災も経験し、各所にひび割れや雨漏りも発生している。このため佐々木センター長を中心として、金研の技術棟の一部も取り込んだ、低温合同棟の建設を計画し、予算要求中である。これが認められ液化システムだけでなく建物も一新されると、今後の極低温科学センターの継続的運営に対する未来も明るいものになると期待している。

以上、低温科学部の現状をこれまでの歴史を交



図8 極低温科学センター低温科学部建屋全景の比較 (左上図：2021年、右上図：1973年理当時)、現在のヘリウム容器受取り入口 (左下図) と玄関 (下図)

えながら述べてきた。近年、冷凍機技術の普及により液体ヘリウムを使わなくても、4K以下の極低温環境が得られるようになり、液体ヘリウムの需要は減少するものと予測されてきた。しかし、東北大学の現状として需要の増加の傾向は止まるまでには至っていない。冷凍機の維持に必要な電気・メンテナンス料金とセンターの供給するヘリウム料金の比較や、それぞれの実験方法の利点と欠点を勘案すると、今後液体ヘリウムと冷凍機をつかった実験装置の比率はある値でバランスするのではないかと予測している。液体ヘリウムの学内需要(あるいはこれからは学外も視野に入れる時代にはいるかもしれない)がある限り、これに答えるべく、極低温科学センターの運営を維持していきたいと考えている。ユーザーの皆様のお力添えを切にお願いする次第である。

[1] 中村慎太郎, 丹野伸哉, 細倉和則, 緒方亜里,

野島勉, 東北大学極低温科学センターだより No.11 (2010) p.11.

- [2] 「最近のできごと」, 東北大学極低温科学センターだより No.19, (2018) p.17.
- [3] 渡辺好治, 野島勉, 東北大学極低温科学センターだより No. 7 (2006) p.15.
- [4] 青木晴善, および「最近のできごと」, 東北大学極低温科学センターだより No.12 (2011) p.1 *ibid.* p.25.
- [5] 小林典男, 東北大学極低温科学センターだより No.13 (2012) p.15
- [6] 野島勉, 木村憲彰, 固体物理 Vol.52, No.1 (2017) p.47, *ibid.* 東北大学極低温科学センターだより No.14 (2013) p.11.
- [7] 木村憲彰, 菊地将史, 森山弘章, 吹上菜穂, 東北大学極低温科学センターだより No.17 (2016) p.17.
- [8] 「最近のできごと」, 東北大学極低温科学センターだより No.21 (2020) p.16.