

装置を作って学べた低温技術

多元物質科学研究所 教授 米田忠弘 (tadahiro.komeda.a1@tohoku.ac.jp)

筆者は現在、多元物質科学研究所に所属しており、西1号館(旧科学計測研究棟S棟)においてヘリウムを寒剤に用いた研究を行っている。この建物には多元の低温室も配置されており多くの研究室が安定したヘリウム供給を受けて成果を上げている。改組前には科学計測研究所として、計測手法の開発に長い歴史があり低温を用いた手法開発も行われてきた。筆者が赴任した当時、自分の研究室にピットを作れないものかと思案しながら、建物を見て回っていたとき、角の部屋に今の基準からすればこぶりなサイズのピットが放置されているのが、入り口ガラス戸ごしに目に入ってきて、何に使われていただろうと興味を抱いた。人づてに聞いて、後藤輝孝先生が以前使っていたとのこと。科学計測研究所の歴史を紐解いて、低温との関わりを知るためにも御仕事を調べてみた。後藤先生は東北大の後、新潟大学に移られ装置も一緒に移動したようだが、応用物理に図1のような記事を書いておられる。これは1992年の記事であるが、同じ研究所の技術室・機械工場と共同して希釈冷凍機を自作で組み立てられている。筆者には自作で希釈冷凍機を作っ

てしまうということが当時想像できなかった。その記事に参照されているように、機械工場技法に詳細が記録されている。また当時同じく東北大の物理教室、青葉山の低温センター所属で、その後京都大学に移られた澤田安樹先生もやはり自作の希釈冷凍機を作成運営しておられ、退任された佐藤武郎先生と一緒に作成に関する詳細の技術をお聞きする幸運を得た。ガスハンドリングに関しても複雑な設計・作成・運営を熱く語っていただいたことが、いまでも鮮明に思い出される。

私自身は長く走査トンネル顕微鏡(STM)に関わってきたのであるが、1K以下の極低温技術を用いた測定が必要になった経緯を簡単にまとめてみる。STMは1980年頃からスタートして原子が見える顕微鏡として注目されたが、基本的に一つの画像測定に数分かかる遅い顕微手法であるので、表面の原子や分子の拡散を追いかける動的測定は不得手であるばかりか、表面を移動している原子・分子は全く見えないということになる。表面拡散を抑えるためには低温が必要となる。他方、単一分子や原子を探針でつまみ上げ人工的に原子・分子の構造体を作ることが1990年あたり

 技術ノート(自作の参考)



1. ま え が き
希土類、およびアクチノイド化合物などのf電子系には、伝導電子とf電子との混成効果に起因する多体電子状態——重い電子——が出現する。重い電子系の示す特異な磁性や超伝導は大きな注目を

3. 設計と製作
標準的な希釈冷凍機についての基本的技術は、すでに確立されている。たかさんの優れた教科書²⁾、解説³⁾、そして研究論文⁷⁻⁹⁾が発表されており、自作の参考になる。

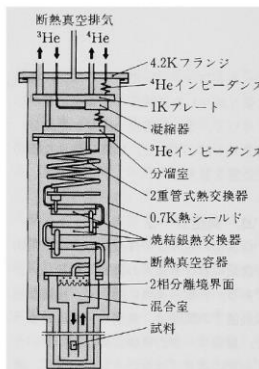


図1 応用物理で紹介された、科学計測研究所(現多元研)および機械工場で作られた希釈冷凍機の技術ノート(希釈冷凍機, 後藤輝孝, 坂爪新一, 応用物理 1992年 61巻 3号 p.283-284.)

<https://doi.org/10.11470/oubutsu1932.61.283>

で実現され低温観察への関心が広まった。しかしながら、低温化の真のメリットは、トンネル分光のエネルギー分解能の向上にあった。トンネル分光は閉回路・全電子分光であり、そのエネルギー分解能は温度に正比例して向上し、その効果は大きい。このようなことを背景に 1990 年代後半では、徐々に高いエネルギー分解能を必要とする素励起に関する分光が研究の中心となってきた。分子の振動分光に引き続き、スピン励起分光が報告されている。一つの大きな目標としては従来多数の分子の集合でのみ可能であった、ESR あるいは NMR 測定を単分子・電子分光のみで達成することと考えられる。よく知られているようにこれらのスピン分光手法は化学の標準分析手法となっており、更に医療の MRI 手法としていまや診断に欠かせない存在となっている。しかしながら、RF の入射と、強磁場で構成される分光装置は、もしも小型化され電流で検知が可能となれば一挙にその応用範囲は拡大し、波及効果は計り知れない。現在盛んに議論される量子コンピューターの読み書きへの応用も可能である。高周波をトンネル接合に導入する、高いエネルギー分解能を持



図 2 多元技術室で作成した希釈冷凍機。STM ヘッドを組み合わせて試料搬送に対応した構造。

つスピン分光が開発の競争対象となっている。

このような背景のもと、2000 年半ばから超低温での STM 測定を開始した。希釈冷凍機の装置も手持ちにない状況ではあったが、前述の後藤先生の工場での自作装置作成の例は大変励まされるものであり、自分自身も工場と共同して希釈冷凍機の作成を開始した (図 2)。すでに時間が立っていたため多元研の機械工場のメンバーにも、当時作成に関わられたが、すでに退任されている方もおられ、必ずしも冷凍機の作成は簡単ではなかった。また STM はそれ自体がかなりの大きさを持つ装置であり、かつ試料は同じ真空装置で準備して最後に STM ヘッドに搬送というのが標準分析手法となっており、外部からの熱輻射を複数の熱シールドで防ぐという設計からの変更は複雑な機構が必要である。このような困難があったが試作機が機械工場で作成することができたのは、私にとっては驚きであり、工場の高い技術力が為せる技であると考ええる。しかしながらこの装置自身は震災によって大きなダメージを受けてしまい、修復は不可能となってしまった。しかしながらその作成はその後、様々なタイプの低温 STM 作成のプロトタイプとなり我々の低温技術の拠り所となった。

ヘリウムは現在世界的な供給不足で、センターでの運営はご苦労を伴うものと想像され、我々ユーザーにとってもヘリウム料金を捻出するのは容易ではない。この構図は当分変化がなさそうである。加えて、ヘリウム冷凍機全般も高性能化や自動化が進み、ありがたい反面、価格も高騰しカタログの最上位にある機種は中国が主顧客といった状態が日常化している。しかし物理・化学は言うに及ばず様々な応用分野で低温がもたらす精密分光が必要となっており、その実現のために低温技術は欠かせない。上で述べた話を改めて眺めてみると、昔話にしか聞こえない気もするが、装置を自分で作ってみる以上に新しい手法の発想に至る道は無いと信じている。低温室をもつ恵まれた環境で我々はよりユニークなチャレンジを続けていくことが使命では無いかと考える。