

オリジナルモノ作りと 工作技術センターの重要性

畑 徹 (はた とおる)



所属：理学研究科 数物系専攻

専門分野：物性物理学（超低温物理学）

趣味：テニス，料理

1. 実験装置製作の伝統

私は、大学院の博士課程より大阪市大にお世話になり、そのまま教員として残ることになったので、40年近く本学にいることになります。その間、東京大学物性研究所との共同研究や客員研究員、オランダ・ライデン大学での研究もやりましたが、理学部の工作室時代と理系共通の工作技術センターがなければ、私の研究は成立しなかったであろうというほどに、お世話になりました。私自身も工作依頼だけでなく、何十年も自分で旋盤を回し続けていますので、旋盤工作に関してはプロ級に近いレベルにあると自負しています。

さて、私が市大に来た時にまず驚いたことは、出来合いの機械ではなく、自ら実験装置を作っているということでした。私の研究分野が低温物理ということもあって、低温を作り出すための低温工学の技術は不可欠で、特に、1 K以下の温度を作り出す希釈冷凍機は、当時まだ市販品がない状態でした。現在では、市販品がありますが数千万円と高額です。日本にはOxford社製のものが100台以上あります。もちろん、現在でも、我々が自作した希釈冷凍機の性能が上であることは言うまでもありません。そうでないと、お金が勝負ということになりやられてられません。この希釈冷凍機はベース温度として液体ヘリウム温度の4 Kを用いるため、液体ヘリウムが貯まる大きなスペースが必要であり、そのための魔法瓶が巨大となっています。また、液体ヘリウムは自然蒸発するため、数日に1回補充する必要があります。このタイプの希釈冷凍機を3台作りました。最も大型の希釈冷凍機は、世界のトップクラスの性能を持つものです。最近、機械式冷凍機が液体ヘリウム温度に到達できるようになったため、液体ヘリウムを使わない無冷媒希釈冷凍機開発があちこちで行われ、我々もその開発を進めています。残念ながら、日本で希釈冷凍機を使って研究しているグループは百以上ありますが、希釈冷凍機を製作できるところはほとんどありません。多くが、市販品を買ってきているからです。砂上の楼閣とまでは行かないまでも、基盤技術の蓄積ができていないことに危機感を持っています。海外からの多くの研究者が来校しましたが、彼らが一堂に「日本に来ても見べき装置がほとんどない、お金にものを言わせOxford社の製品を買いたくっている」と言い、「市大にきて、自作のものがあることに感動した」と言ってもらえています。もちろん、私が旋盤を回して作った部品も多くありますが（大学院生時代の3年間

は毎日旋盤を廻していました。), 工作技術センターで作っていただいたものが圧倒的に多くあります。これらは後で写真をお見せします。

これは、余談ですが、市大に来て驚いたことがもう一つあります。それは教員、技術職員、職員、大学院生、学生の中の壁がほとんどないということです。私は、学部時代は静岡大学で大学院修士課程は神戸大学で過ごしてきたわけですが、先生との間には大きなギャップが常にあるように感じてきました。恐れ多いという感じでしょうか。でも市大にはそれがほとんどなかったのです。研究室でよく飲んだりもしましたが、普通に話ができるというのに驚きでした。大阪人がそうなのかわかりませんが、市大カラーが心地よく感じられたものでした。その雰囲気は今でもそのままに残っているのは貴重だと思います。

2. 市大オリジナルの重要性と本当の競争力

私が神戸大の大学院生の頃、阪大の「低温センターだより」というものが、低温関係の研究室に送られて来ていました。月間だったか、季刊だったかは忘れましたが、その中の研究紹介の欄のところに、どのような記事を書けるかの基本的な考え方というものが書いてありました。それが「阪大オリジナル」で、阪大で開発した装置を用いて行ったオリジナルな研究のみを載せるというものでした。どんなに良い研究成果でも、買ってきた出来合いの装置を使った研究成果は掲載しないとも書いてありました。研究とは何かに関して強い信念みたいなものを感じ感動した経験があります。市大に来たら、同じような精神の研究スタイルの研究室だったこともあって、研究はこうでなければと確信を持ちました。以来、3年間も毎日旋盤を回していましたが、苦痛に感じることはなく、部品が出来上がっていき、組み立てて形になっていく喜びの方が大きかったと思います。

現在でも、門外不出のものが研究室にあります。それは、超小型低温弁というもので、特許申請すればその製造方法がわかってしまうので、特許にしていないノウハウです。かつて、東大や高エネルギー研究所などから

設計図面を見せて欲しいと言われましたが、写真はお見せしましたが、設計図はダメですと断ってきました。隠しているわけではないので、九大と筑波の産総研、大阪府大には現物を差し上げました。

写真を見て頂きたいのですが、これのすごいところは、まず切削工具から独自につくるところにあります。もちろん、その切削工具は材料を選びゼロから作ることもできるらしいのですが、人間国宝級の人に頼まないといけないと言われました。もち

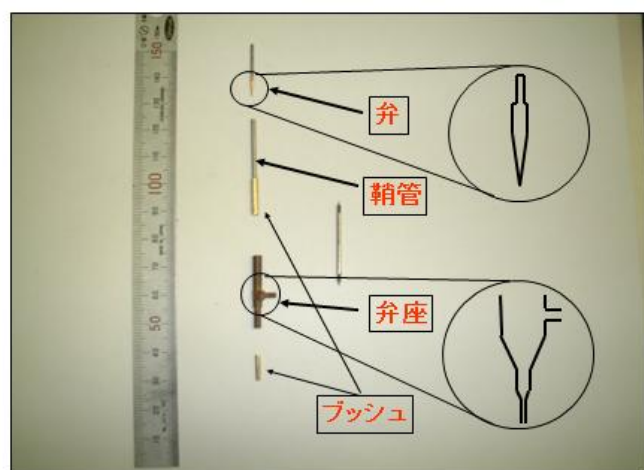


写真1 低温用超小型弁

ろん、すごく高額になるということでした。そこで、既存のものに手を加えて加工する方法をとります。卒業生を介して、東大阪の町工場で加工して頂きました。町工場の機器がある条件の時だけ作ることができるので、納期はなしで、何時できるかは保証できない、直ぐかもしれないし、数ヶ月かかるかも知れないと言われましたが数ヶ月後に作って頂くことができました。この切削工具をもとに、本学の工作技術センターで製作をして頂きました。この超小型低温弁は、循環気体のジュール・トムソン膨張に用いるもので、この膨張によって気体を冷却し液化することができるのですが、真空を維持できるほどきちんと閉まります。また、循環気体や液体の流量調節、圧力調整用としても使うこともできます。低温の装置は、低温部のスペースが限られているため、すべての部品は出来るだけ小型であることが望まれるため小型でなければならぬわけです。あとで述べる希釈冷凍機でもこの弁が不可欠で重要な役割を果たしています。

3. 自作の最先端装置—希釈冷凍機開発

当研究室のテーマは、絶対零度近くまで冷却された物質がどのような振る舞いをするかということ調べることにあります。特に、元素のなかでもヘリウムだけが絶対零度近くでも固体にならず液体のまま存在することがわかっています。しかも、この液体はある温度を境に、超流動と呼ばれる特別な状態に移ります。この超流動状態では、流れに対する抵抗すなわち粘性がないため、一旦流れ出すと永久に流れ続ける状態となります。ヘリウム元素には質量数が4と3の2つの同位体がありますが、液体ヘリウム4は約4 K (Kは絶対零度を基準にした温度目盛で、 -273.15°C が0 K) 液体ヘリウム3は約2 mK (0.002K) 以下で超流動状態となります。質量数が4と3と僅かにしか違わないのに、超流動に移る温度が3桁も異なるのは不思議ですが理屈は既にわかっています。この mK という超低温を作るためには、希釈冷凍機が不可欠となるわけです。この希釈冷凍機を大学で自作しているのはもはや世界的にもほとんどなく、市大はその技術を有している数少ない大学となっています。何百という部品を必要とするため、きちんとした設計図が必要となります。研究室には、歴代の設計図がすべて残されています。これらは、研究室の財産となっています。



写真2 大型の希釈冷凍機の全体写真

4. 新しいタイプの希釈冷凍機開発—無冷媒希釈冷凍機

ここ数年、液体ヘリウムを用いない新しいタイプの希釈冷凍機開発を行っています。希釈冷凍機の原理は従来のものと同じですが、液体ヘリウムを使う代わりに機械式の4 K 冷凍機を用います。液体ヘリウムは4 K のベース温度を作ると同時に、そこから1 K ポットというところに液体を誘導し減圧することで1 K というもう一つ低い温度を作り出すことができます。一方、4 K 冷凍機を用いる方式では、それができないため新たに1 K に相当する温度を作り出す必要があります。その方法は、希釈冷凍機の循環ガスであるヘリウム3のジュール・トムソン膨張を利用して作り出します。このジュール・トムソン膨張に前述の超小型低温弁が活躍します。この希釈冷凍機でも、本体の部品はほとんど工作技術センターで製作して頂いたもので、写真の真ん中の魔法瓶の中に収まっています。製作は2年ほどで完成しましたが、ビギナーズラックで第一回目に温度がそこそこ下がりました。ところが何回かの冷却テストを繰り返しているうちに全く温度が下がらなくなり約3年悪戦苦闘しました。でも、最初にうまく働いたという経験があったため諦めるということにはなりません。もし、最初からうまくいかなかったら、諦めていたかもしれないと思うとラッキーだったと思っています。結局、原因は低温になると断熱用の真空が悪くなるいわゆる低音リークでした。原因がわかれば解決は簡単で、その後は完璧に動作するようになりました。そして、このタイプの希釈冷凍機としては世界の最低温度4.5 mK を記録しました。

現在は、機械式4 K 冷凍機を分離して、無振動タイプのものを製作しています。機械式4 K 冷凍機を分離したため、また動作条件が変わり、やはりわからないことがたくさん出てきました。一応、振動は無振動とまでは行かないまでも一桁近く小さくするに成功しました。最低温度は、50 mK とまだ高く、現在格闘中です。ただ、この無振動タイプの希釈冷凍機は、超伝導素子を使い精密測定を行っている研究者からは強く求められており、なんとか期待に応えたいと思っています。



写真3 新しいタイプの無冷媒希釈冷凍機

真ん中が希釈冷凍機本体で、左の小さなボックスが機械式4 K 冷凍機の圧縮機、右が希釈冷凍機のヘリウム3ガスの循環制御盤。

5. 他大学の工作センターの行末

最近の傾向として私が憂慮していることは、本当に研究をするということと、お金にものを言わせて高額な既製品をいち早く手に入れ手っ取り早く研究することが同義語のように使われるようになってきていることです。その結果として、自前で新しい装置開発をすることが減ってきているように思います。特に、大きい大学ではその傾向が一段と強くなってきています。文科省も重点的にお金を回すと称して、研究に大きな偏りを意図的に奨励してきています。集中投資のため、一部の大学では偏ったところに金余り現象が生まれているとも聞いています。残念ながらというより、幸いなことに市大にはこのような現象はまだ見られていません。これらの大学では、既に自前の研究装置を作る努力を放棄しており、工作技術センターなどが消滅していっています。もし、市大も同じ道をたどるなら、お金の規模からして絶対に勝つことはできなく、前途は悲惨なことになりかねないと思います。「市大オリジナル」の精神を常に持ち続けることができれば、必ず前途は明るいものになってくると思います。そう言う意味で、工作技術センターの存在は重要です。町工場では、単品の試作品などなかなか作ってくれませんし、作ってもらえたとしても高額なものとなり、研究予算を圧迫することになります。

私が東京大学の物性研究所と共同研究していた30年も前に、物性研究所は、既にこの悪い傾向に向かっていた。お金にものを言わせ、企業や町工場に丸投げした研究装置開発になりつつありました。これは、教員がものを作らなくなったことと関連しているように思います。あるいは、教員がもはやそのように訓練されてきていないので、作れないのかもしれない。市大はこのようになってはいけないと思います。新しい技術の開発こそ、新発見のきっかけとなると信じています。既存の装置で精度を上げて、画期的なものは生まれて来ないのは皆分かっているのですが。

6. ヨーロッパの大学や研究所における工作部門

30代の頃、オランダのライデン大学のカマーリング・オンネス研究所に客員研究員として1年半滞在しました。ここは、ヘリウム気体の液化に世界で初めて成功した研究所ですがその後、カマーリング・オンネスは超電導の発見でノーベル賞を受賞しています。九州ぐらいの大きさと人口しかない国ですが、自然科学分野でのノーベル賞受賞者は今でも日本より多いのです。この研究所のすごいところは、技術部門の充実ぶりです。ヨーロッパでは当たり前だそうで、それは中世からのギルド制の伝統で、技術に対する価値観が非常に高く、この研究所でも、研究所の所長の給料と技術部門の長の給料が同じという待遇だそうです。また人数も研究者の半数ぐらい居ました。日本は戦後アメリカの真似をしていますので、技術職員が不当に低く見られています。オランダの大学進学率も日本の戦前と同レベルでほとんど増加していないそうです。学歴だけが偏重されるようにはなっていないのです。当然、希望者と入学定員がほぼ同じだから、大学進学も無試験です。その代わり、高校卒業試験すなわち大学進学資格の獲得は難しく、また、進学しても3割は辞めていくと言っていました。いずれにしても、「モノづくり」が大事と言われていますが、社会的にもっと考えないといけ

ないと日本は「地に足が付いていない国」になってしまいそうで心配だと思っているのは私だけではないと思います。

7. ガラスの魔法瓶

ガラスについても一言。ガラスのもつ特質の中で研究に欠かせないものは、表面が綺麗であることと透明であること、そして熱伝導度が悪いということです。表面のきれいさは、真空の魔法瓶を作った時にその優位性が出てきます。最近では、ステンレスの真空魔法瓶が出回るようになってきましたが、それはステンレスの表面をきれいにする技術と真空中での溶接技術が開発されたおかげです。ガラスでは、特別なことをしなくても表面に付いている気体分子がすぐに外れてくれるので、一旦真空にすると表面気体の離脱による真空層の劣化がほとんどないのです。中が見えることから光を使った実験が可能であるので我々は重宝しています。また、ヘリウムや液体窒素の液面位置が分かることも利点です。これらは、光ファイバーやガラスの窓で置き換わりつつありますが。熱伝導が悪いため、真空の魔法瓶にはうってつけです。ただ、ガラスは割れやすいので、割れにくいFRP（ファイバーと樹脂にからなるプラスチック）の魔法瓶に代わられている部分もありますが、丁寧に扱えば、割れることなく、数年に一度、真空の引き直しをガラス部門にお願いしていますが、10年以上持っています。

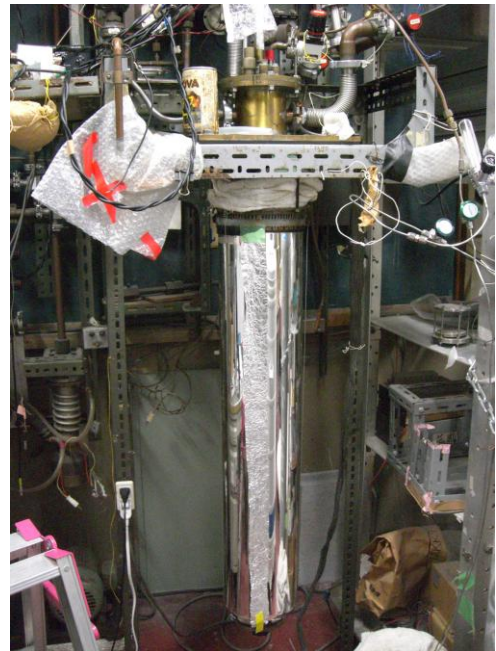


写真4 ガラスの液体ヘリウム用魔法瓶。外側は液体窒素の魔法瓶。

8. 火の祭り

最後にどうしても触れておきたいこととして、「火の祭り」があります。工作技術センターの「火の祭り」は、講演会とその後の懇親会で構成され、工作技術センターに関わってこられた方やお世話になった方が集う年1回のお祭りです。この祭りの良いところは、普段ほとんど交流のない工学部の先生あるいは同じ学部でも他学科の先生、あるいは若い院生と話ができる点にあります。年に1回しかないのですが、毎年やっているため、だんだん顔見知りになり、それをきっかけに何度か装置を使わせて頂くなどの交流が生まれました。こういう機会は、同じ大学に居ながらこれが唯一といってもよいでしょう。同じ大学で研究しているという実感と学部を越えた連帯感が得られる貴重な機会だと思います。金蒸着や電子顕微鏡写真など撮っていただいたこともありました。このように、学部を越えた貴重な交流の機会となっている「火の祭り」は今後とも続けられることを期待します。