分子科学研究所の装置開発および 他機関との技術交流*

Equipment Development in Institute for Molecular Science and Technology Exchange with Other Institutes

青山正樹**
高田紀子**

水谷伸雄**
木村幸代**

近藤聖彦***
菊地拓郎**

Masaki AOYAMA, Nobuo MIZUTANI, Takuhiko KONDO, Noriko TAKADA, Sachiyo KIMURA and Takuro KIKUCHI

Key words

technical associate, personnel exchange, spectroscope, precision machining, micro-channel, lithography, electroforming

1. はじめに

装置開発室は分子科学研究所の研究施設の一つとして1975年の研究所創設と同時に設置され、①分子科学の発展に必要な新しい装置を開発する、②日常の実験に必要な部品類を迅速に製作する——という二つの役割を担っている。創設時からクライオスタット、各種真空容器、極端紫外光施設（UVSOR）に設置する分光器を含むビームライン、NMRプローブなど、市販されていない物性測定装置の製作を行っている。また、従来の機械工作に加え、2000年ごろからはバイオおよびナノサイエンスなどの研究で必要とされる、微細な形状を有する実験機器の製作が求められるようになり、これに対応するためマイクロ形状加工の取り組みを始めた。現在はより微細な形状のデバイス製作にも対応できるよう、リソグラフィによる製作を行うなど、新しいニーズへの対応も随時進めている。

本解説では、これまで装置開発室で製作されてきた実験装置の紹介および装置開発室職員の手機関との人事および技術交流を紹介する。

2. 装置開発室の概要

装置開発室は室長と12名の技術職員および技術支援員で構成される。機械設計、機械工作およびリソグラフィを行うメカトロニクスセクションに8名、電子回路設計、ソフトウェア開発および3Dプリンタによる製作支援を行うエレクトロニクスセクションに4名が配置されており、両セクションを合わせて年間300件を超える所内からの製作依頼に対応している。一方、2005年からは所外の分子科学および関連する研究分野の研究者からの実験機器製作に

も審査を経た上で対応している。また、2013年度からはナノテクノロジープラットホームを窓口としてフォトリソグラフィ技術によるマイクロ流路などの微細構造物の製作依頼や設備の利用にも対応し、大学共同利用機関として全国の大学・研究機関への技術支援を広く行っている。さらに今年度からは民間企業からの装置利用・技術開発・設計製作依頼にも対応できるよう窓口を設けている。

ホームページ（<http://edcweb.ims.ac.jp/index.html>）に利用の案内が記載されているのでご参照いただきたい。

3. 製作事例の紹介

今回は主にメカトロニクスセクションで製作された実験装置を紹介する。

装置開発室では1983年のUVSORの立ち上げにともない、いくつかの分光器の設計製作を担当した。図1はUVSORに設置された瀬谷浪岡型分光器、図2は複合入射型分光器である。複数のグレーティングを切り替えて使用するためのグレーティング交換機構、波数走査を精密に行うためのサインバー駆動機構、軸外の放射光をカットするスリット機構など、前置鏡室、分光器、後置鏡室、試料室、各駆動制御回路など一連のビームラインの設計から製

図1 UVSORに設置された瀬谷浪岡型分光器

*原稿受付 令和2年6月25日

**自然科学研究機構分子科学研究所装置開発室（愛知県岡崎市明大寺町西郷中38）

***正会員 自然科学研究機構分子科学研究所装置開発室（愛知県岡崎市明大寺町西郷中38）

図2 複合入射型分光器

図3 試料加熱冷却クライオスタット

作，設置まで担当した。当時は真空に関する知識も少なく超高真空に関する技術を学びながら分光器を設計した。これらの設計・製作を行う過程で，超高真空に必要な構造材料から真空ポンプに関する知識，チェンバー製作に必要な溶接技術や真空内での精密な駆動技術など，超高真空装置の製作ノウハウを蓄積した。瀬谷浪岡型分光器は1995年まで，複合入射型分光器は2012年まで UVSOR 施設の共同利用ポートで使用され多くの研究成果を上げている。

図3はX線ラマン散乱により局所構造解析を行うためのクライオスタットである。試料を500℃まで加熱しガスと反応させ，そのまま液体窒素温度まで冷却し10時間ほど冷却保持できる装置である。従来の装置は加熱反応部と冷却測定部を別のチェンバーに設けていたが，製作担当者のアイデアで加熱反応および冷却を一つの試料室内で行うことを可能とした。また，これ以外にも多くのクライオスタットの製作を手掛けており，アルゴンアーク溶接，電子ビーム溶接および銀ロウ付けなど接合に関する技能，組み立て順序が問題とされることが多いクライオスタット製作ノウハウを得て，その後製作依頼が増加した固体NMRプローブなどの機器製作に適用した。

2000年ごろからマイクロ流路などの微細な溝構造を有する実験機器の製作依頼が増加し，当室で所有する一般的なNCフライス盤を使って製作してきた。図4はタンパク

図4 マイクロ流路チップ（左）とPDMS成形用モールド（右）

図5 ガラス製マイクロ流路（左）とSEM画像（右）

質選別のテストに使用するためのマイクロ流路チップと流路製作用金型のSEMである。切削加工により流路形状の凸型を製作し，そこにシリコンゴムの一種であるPDMS（ポリジメチルシロキサン）を流し込み，溝形状を転写しシリコン基板に貼りつけた。金型の流路となる凸部は幅100μm，高さ400μm，合流部のコーナーRは50μmである。図5には触媒創成の実験に使用するガラス製マイクロ流路チップの外観および溝部のSEMを示す。当時はフォトリソグラフィーの設備を所有していなかったため，ホウケイ酸ガラスに幅100μm，深さ40μmの溝を，電着ダイヤモンド砥石を設置したNCフライス盤で製作した。

マイクロ流路は，タンパク質の時間分解測定やX線吸収分光実験などに使用される。分子科学研究所においてタンパク質等を対象とする研究テーマが増加するにともない，製作依頼が増加した。しかし，合流部のコーナーRが実験上好ましくないケースや，より微細な溝形状の要求など機械加工によるモールド製作では対応が困難な製作依頼が増加してきた。そのためSU-8レジストによるモールド作製や，ホウケイ酸ガラスおよび石英ガラスのケミカルエッチングによる製作などリソグラフィ技術を導入した。さらに最近ではフォトリソグラフィで製作した微細パターンにニッケルおよび銅電鍍を行い，真空蒸着などで使用するメタルマスクも所内で製作が可能となっている。図6はリソグラフィにより製作した実験デバイス，図7はメタルマスクの外観である。

一方，機械加工においても，より高精度な機器製作の要求が生まれている。細胞のイオン電流計測に使用する多チャンネルプレーナー型バイオセンサー基板は，厚み200μmの亚克力板に電極構造を構成するための10μmの薄膜部を多数形成する必要がある。そこで図8に示すよう

図6 リソグラフィによる製作例

図7 ニッケル電鍍で製作したメタルマスク（左）と拡大写真（右）

な微小な突起の付いた高精度な金型を用いたホットエンボス加工により、薄膜部を形成することを検討した。10 μm の均一な薄膜部厚さを得るには、金型の突起先端部は高精度な平滑面が必要である。また、突起高さがそろっていないとすべての薄膜部を正確な厚みに形成することが難しい。そのため、一般的な精度の工作機械ではなく超精密加工機によりこの金型の製作を行った。当室では超精密加工機やナノレベルの加工精度を得るような加工技術を所有していなかったため、理化学研究所の大森整先生の設備を利用させていただき技術指導を仰ぎながら金型製作を行った。図9に製作したホットエンボス用精密金型、図10に成形されたアクリル基板を示す。成形条件によっては薄膜部にクラックが生じることもあったが、適切な条件で成形を行うことで安定的に10 μm の薄膜部をもつ基板を製作することが可能となった。また、超精密加工技術を学んだことにより、所内から金属ミラーの製作相談も受けるようになり、逆光電子分光用アルミミラーやレーザー分子分光で使用する回転楕円集光ミラーなどを、国立天文台先端技術センターの施設利用による協力を頂いて製作した。

さらに近年は、従来の機械設計・機械工作に加えて、異なる分野の技術が必要な実験装置の設計・製作が求められる機会がある。装置の詳細については諸般の事情で本稿では説明を省略するが、結晶どうしを貼り合わせるための装置やサンプルに磁場を印加するための装置など、真空技術や機械要素技術だけでなくプラズマプロセスや磁気回路設計などに関する知識や技術が必要とされた。特に磁場印加装置の製作では、これまで行っていなかった磁場解析を取り入れ、飽和磁束密度などを確認しながら磁路形状設計を

図8 ホットエンボス加工

図9 製作した金型の外観と突起部のSEM像

図10 成形したアクリル基板平面側（左）とFIB加工した10 μm 薄膜部のSEM（右）

行った。最近では多くの実験装置の設計製作には、このように解析ソフトを活用して依頼者と緊密に打ち合わせを行いながら新しい装置の開発に取り組んでいる。

本報告ではメカトロニクスセクションの製作事例のみ紹介したが、装置開発室のHP (<http://edcweb.ims.ac.jp/product.html>) にはエレクトロニクスセクションの製作品も紹介されているのでぜひご覧いただきたい。

4. 他機関との人事交流および技術交流について

4.1 人事交流について

分子科学研究所装置開発室では全国に先駆けて1995年から2004年の間に名古屋大学理学部装置開発室との間で3件の人事交流を行った。また、北陸先端大学院大学創設時には工作室の立ち上げのために技術職員1名が3年間出向して新規採用職員の教育を行い、工作室業務を軌道に乗せた。また、2016年には宇宙科学研究所に筆者のうち1名（青山）が1年間出向し、宇宙科学研究所に新たに設置された先端工作技術グループの立ち上げに協力した。これ

ら人事交流などでは、所属する機関で取り扱う技術とは異なる技術に触れる機会も多く、身につけてきた技術を別の側面から見ることで、さらに高めていくヒントが得られるなど学ぶことが多い。また、技術者どうしの横のつながりを得られ、組織の違いや仕事の進め方、使用する道具の違いなど、技術以外にも新しく体験することが多く、技術者として大きく幅を広げることができる。これらは大学・研究機関で研究をサポートする人材育成には必要なことであり、今後さらに技術職員の人事交流が活発に行われるようになっていくことを期待する。

4.2 技術交流について

分子研では大学共同利用機関として全国の大学・研究機関の技術職員に対して多くの技術研鑽の場を設け、活発な技術交流が行われている。その一つが現在全国規模で大学・研究機関の持ち回りで開催されている技術研究会である。1975年に分子科学研究所の初代技術課長として名古屋大学理学部工作室から赴任した高橋重敏氏が、学術研究を発展させるためには研究者と協働する高度な技術者の存在が重要であるとの考えから、1976年に全国で初めて技術職員の研鑽や技術習得の場として、第1回技術研究会を開催したのが始まりである。

受け入れ研修は、他機関からの要望に応じて分子研の施設などを使って行う研修制度で、研修内容および研修期間は先方と相談して実施している。来所する交通費、滞在費なども必要に応じて分子研で負担している。装置開発室でもこれまで多くの受け入れ研修を行い、全国の大学・研究機関の技術職員の技術研鑽に協力している。

技術課セミナーは各研究施設で必要とされる専門技術に関する知見を深めることを目的に、その分野に精通した先生方を招聘している。他機関の技術職員にも開催をお知らせし受け入れ研修の一つとして参加いただいている。装置開発室でもこれまで多くのセミナーを企画実施してきた。

また、リソグラフィ技術立ち上げ時には、これまでまったく取り扱ったことのない技術分野であったため、機関を超えて技術的な相談ができる「横のつながり」が必要とされた。そこで、各機関でリソグラフィに携わっている技術職員に交流を呼び掛け、さまざまなアドバイスを受けたリ、情報交換をしたりする緊密な技術交流の場として、微細加工に関する技術サロン会を開催している。

5. お わ り に

装置開発室では製作依頼に応える一方、将来の研究ニーズを見据えた新しい技術の導入も、装置開発室の重要な業務と位置づけ、自主的に進めている。現在は、研究室で行われているピペット作業などの試料作製の工程をロボットに行わせるために、AI画像認識による液量制御やさまざま

なガラス器具などの把持や操作などに必要な要素技術に取り組んでいる。

技術職員は幅広くかつ高度な技術を身につけることができ、また研究者と協働して日本の学術研究の発展に貢献できる魅力的な職業である。一人でも多くの方が技術職員の道を目指すことを期待している。

青山正樹

1985年名古屋大学技術職員として入職。2004年から分子科学研究所技術職員。実験機器の機械設計・機械工作業務に従事。精密加工を必要とする実験機器の製作を担当。2016～2017年JAXA宇宙科学研究所先端工作技術グループ(出向)。2020年4月～名城大学非常勤講師(兼務)

水谷伸雄

名城大学理工学部機械工学科。学士(工学)。1979年分子科学研究所に入所。分光器、クライオスタット、NMRブロープ、分子線スキマーなど実験機器の機械設計、機械工作に従事。真空関連機器の溶接・ロウ付けを担当。

近藤聖彦

福井大学大学院工学研究科博士前期課程機械工学専攻修了。修士。1996年分子科学研究所に入所。主に分子科学に関する装置の設計・製作、実験に使用する部品加工に従事。近年はレーザー開発に関する実験用部品の設計・製作を担当。

高田紀子

東京農工大学農学研究科修士課程応用生命化学専攻修了。民間企業を経て2009年分子科学研究所に入所。所内外から依頼されるマイクロ流路などのリソグラフィによる実験機器の製作を担当。

木村幸代

弘前大学大学院理工学研究科知能機械システム工学専攻修了。修士。民間企業を経て2016年に分子科学研究所に入所。実験機器の機械設計、機械工作に従事。現在はリソグラフィによる実験機器の製作を担当。

菊地拓郎

信州大学理学部物理科学科卒業。学士。民間企業を経て2018年分子科学研究所入所。実験機器の機械設計、機械工作に従事。電気鋳造、メッキなどの表面処理技術を担当。