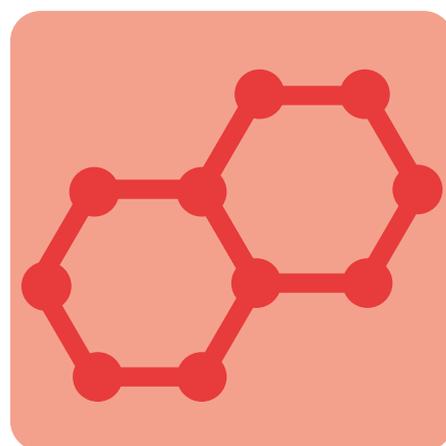
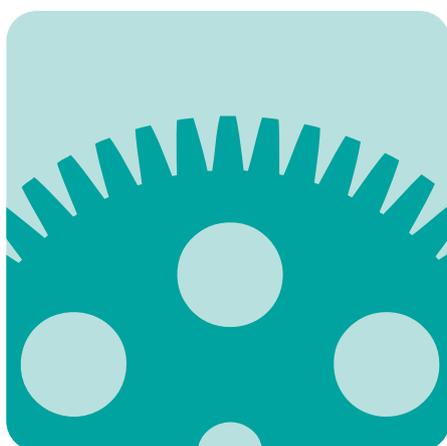
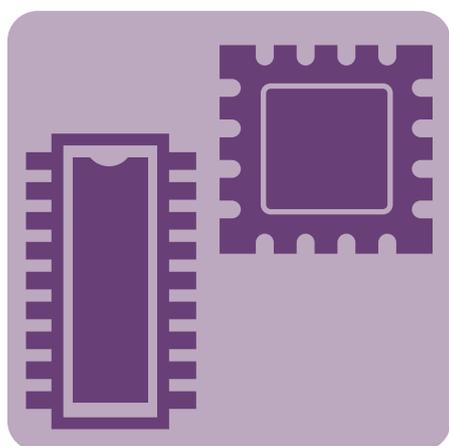


# Annual Report 2016



**Equipment Development Center**



自然科学では、目に見えないものを計測と想像力（作業仮説）によって理解し、あるいは数式化することによって、対象をより深く知る、ということを繰り返します。この「計測と想像力・数式による可視化」が進むと、これを使った予測や制御が出来るようになり、新しい技術が生まれます。私の専門である「電界効果トランジスタ」では、電場という目に見えない力を使って、電氣的につながっていない部分の電気抵抗を変化させるという不思議なことが起きています。そして全く同じ原理で動くCMOS回路技術によって、実際に皆さんのパソコンやカメラを初めとする多くの電子機器が動いています。

装置開発室は分子研の中でも、最も初期の頃からある組織のひとつかと思いますが、その目的というのはこれまで職員のあいだに目に見えない形で継承・共有されてきました。それはそれで大変すばらしい事なのですが、最近では外部からの依頼も積極的に受けるようになるなど、自分たちがどこまで何を請け負ったらよいのか判断に迷う機会も増えてきたように思います。装置開発室規則にも、そのミッションは何も書いてありません。そこでこの機会に、技術職員の今までの暗黙知や思いを、目に見える形で明文化し、これを共有することによって自分たちの行動基準を作ることにしました。これは仕事の進め方に関する可視化であり、将来の方向性を予測・制御するための羅針盤です。言ってみれば、装置開発室の仕事に関する科学的アプローチとも言えるでしょう。その結果、できあがったミッションステートメントを次ページに記します。これを作るにあたっては、取りまとめを頂いた青山さん・近藤さんを初めとする装置開発室メンバー、そして運営委員会の皆さまに色々なアイデアを頂きました。おかげさまで、とても良いミッションステートメントが出来たと思います。この場を借りて厚く御礼申し上げます。ミッションステートメントは、日々の仕事を方向付けるとともに、時代や室の状況に合わせて改良・進化させていくものですから、これから大事に使っていきたいと思います。

装置開発室の皆さんからは、いつも「ものを作る喜び」を感じます。私も中学生のころ、毎月書店に並ぶ「トランジスタ技術」を熱心に読み耽って工作をしていましたので、その気持ちはとても共感できるものがあります。回り回って現在、自分が自然科学の対象として「電界効果トランジスタ」を扱っているのも、もしかすると偶然ではないのかもしれない。上では自然科学が新しい技術を生み出すという話をしましたが、その逆に「新しい技術が新しい科学を生み出す」ということも頻繁に起きています。装置開発室の技術が、これからも皆さんの新しい自然科学研究の創出に役立つよう、室員一同精一杯務めていきたいと思います。

平成 29 年 1 月

山本 浩史

### 「装置開発室のミッションステートメント」の制定について

装置開発室はメンバーの意識を同じ方向に向けるために、メンバーとして重視すべき考え方について室内で議論を重ねて参りました。そしてこの度、装置開発室の羅針盤として、「装置開発室のミッションステートメント」を以下のとおり制定しました。

装置開発室は、「装置開発室のミッションステートメント」を室内全体で共有し、実践していくことで、分子科学研究所をはじめとする自然科学研究にかかわる機関とともに技術と研究サポート体制の向上を図って参ります。

#### 【ミッション】

「研究者にとって一番身近な技術者集団となる」

#### 【ビジョン】

・学ぶ ・挑戦 ・貢献 ・リーダーシップ

#### 【バリュー】

- ・自然科学に興味を持ち、科学的考え方と発想を身につけ、分子科学研究所の発展につながる次世代技術に挑戦します。
- ・研究機器の設計製作および関連する技術分野において、室員一人ひとりが主体的な心構えを持ち高度な技術力を身につけます。
- ・研究者と協働する意識を持ちディスカッションを重ね、要望に近づく装置づくりを目指し、所内の先駆的な研究を支援します。
- ・所外の大学・研究機関からの設計製作依頼に応え、自然科学研究に関する技術ネットワークを拡充し、分子科学研究に役立つ技術ノウハウを集約するハブとしての役割を担います。

以上

構成スタッフ	1
イベント in 2016	2
セクション報告	6
主要設備	9
研究会発表一覧	10
利用者報告	11
申請課題一覧	21
技術報告	22
トピックス	36
特集	38
JAXA 新工作室の立ち上げに赴いて	
民間企業で学んだこと	
新人研修報告	
2016 年 製作品	44
2016 年 工作依頼リスト	50

## 構成スタッフ



(後列左から) 水谷伸雄、吉田久史、青山正樹、豊田朋範、近藤聖彦、田中隆、澤田俊広、小杉優太  
(前列左から) 中野路子、木村幸代、山本浩史、高田紀子、浦野宏子

### 装置開発室長（併任）

山本浩史	YAMAMOTO, Hiroshi	協奏分子システム研究センター 教授
------	-------------------	-------------------

### 技術職員

#### 機械グループ

青山正樹	AOYAMA, Masaki	技術班長
------	----------------	------

水谷伸雄	MIZUTANI, Nobuo	係長
------	-----------------	----

矢野隆行	YANO, Takayuki	主任	(※ 2016年3月まで)
------	----------------	----	---------------

近藤聖彦	KONDO, Takuhiko	係長
------	-----------------	----

高田紀子	TAKADA, Noriko	
------	----------------	--

中野路子	NAKANO, Michiko	
------	-----------------	--

#### 電子回路グループ

吉田久史	YOSHIDA, Hisashi	技術班長
------	------------------	------

豊田朋範	TOYODA, Tomonori	主任
------	------------------	----

### 特任専門員

木村幸代	KIMURA, Sachiyo	(※ 2016年4月より)
------	-----------------	---------------

小杉優太	KOSUGI, Yuta	(※ 2016年4月より)
------	--------------	---------------

### 技術支援員

杉戸正治	SUGITO, Shouji	(※ 2016年3月まで)
------	----------------	---------------

田中隆	TANAKA, Takashi	
-----	-----------------	--

澤田俊広	SAWADA, Toshihiro	(※ 2016年4月より)
------	-------------------	---------------

### 事務支援員

浦野宏子	URANO, Hiroko	
------	---------------	--

1月

21日  
～22日 出張 国立天文台・JAXA(青山)

2月

8日  
～11日 出張 岩手大学(豊田)

25日  
～26日 床上操作式クレーン運転技能講習(半田市)(矢野)

3月

3日 平成27年度実験・実習技術研究会 in 西京  
～4日 (山口大学)(豊田)(写真1) (記事36ページ参照)

3日 床上操作式クレーン運転技能講習  
(半田市)(矢野)



写真1：スライドを指しつ発表する豊田氏

17日 平成27年度高エネルギー加速器研究機構技術研究会  
～18日 (高エネルギー加速器研究機構)(吉田、青山、水谷、矢野、豊田)

23日 ANSYS セミナー(機械グループ)(写真2)

30日 技術課セミナー「3Dプリンタ造形技術の基礎と応用」(岡崎コンファレンスセンター)(写真3)  
(記事36ページ参照)



写真2：UVSOR と合同開催したセミナーの様子



写真3：ホットな話題の講演に熱心に耳を傾ける聴講者

31日 杉戸正治氏 退職

4月

1日 矢野隆行氏 異動(光技術班へ)  
小杉優太氏 着任(新任)  
木村幸代氏 着任(新任)

4日 澤田俊広氏 着任(新任)

5月

- 25日 機械工作に関する安全講習会 (写真4)
- 26日 出張 岩間電機製作所 (名古屋市)(吉田、青山)  
Altium セミナー (名古屋市)(吉田、豊田)



写真4：旋盤の特徴などを説明する水谷氏

6月

- 2日 出張 松浦機械 (福井市)(青山)
- 4日 日本機械学会公認 CAE 講習会第1回 (刈谷市)(木村)
- 8日 出張 デンソー (刈谷市)(吉田、青山)
- 9日 第11回自然科学研究機構技術研究会 (国立天文台)(豊田、近藤)
- ～10日
- 15日 回路工作に関する講習会 (写真5, 6)
- ～16日



写真5：回路技術全般に関する講義の様子



写真6：回路工作実習の様子

- 16日 Magics 講習会 (近藤、中野)
- 16日 職場体験学習  
(高浜市立高浜中学校 1名)(写真7)



写真7：初めてのCAD作業に意欲的に取り組む中学生

23日  
～24日  
ものづくりワールド、DMM.com、早稲田大学  
(青山、水谷、近藤、高田、中野、木村、小杉)(写真8)



写真8：早稲田大学での集合写真

29日  
～7月1日  
リソグラフィに関する講習会 (写真9, 10)



写真9：リソグラフィについて紹介する高田氏



写真10：イエロールームで説明する高田氏

## 7月

- 8日 第29回中部CAE懇話会(木村)
- 9日 日本機械学会公認CAE講習会第2回(刈谷市)(木村)
- 30日 日本機械学会公認CAE講習会第3回(刈谷市)(木村)

## 8月

- 1日 青山正樹氏 出向(JAXAへ) (記事38ページ参照)
- 20日 日本機械学会公認CAE講習会第4回(刈谷市)(木村)
- 25日 職場体験学習(岡崎市立北中学校 2名)(写真11)
- 31日 真空ウォーキング (記事37ページ参照)  
～9月2日 (東京都立産業技術研究センター)(中野、木村)



写真11：吉田氏の説明に熱心に聞き入る中学生

9月

- 5日 出張 國電機製作所(名古屋市)(木村)
- 8日  
～9日 ガス溶接技能講習(住友建機教習所)(小杉)  
平成28年度機器・分析技術研究会  
(名古屋大学)(豊田)
- 13日  
～15日 アーク溶接特別教育  
(名古屋市工業研究所)(木村、小杉)(写真12)
- 28日～  
10月3日 玉掛けクレーン技能講習(ARMS株式会社)(小杉)



写真12：指導を受けてアーク溶接に取り組む木村氏

10月

- 14日 Keysight World 2016 名古屋(吉田、豊田)
- 17日 装置開発室運営委員会
- 28日 核融合・加速器科学分野合同計測ワークショップ(核融合研)(豊田) **(記事37ページ参照)**

11月

- 9日 自由研削砥石の取替え等の業務に関わる特別講習(住友建機教習所)(近藤・小杉)
- 15日  
～16日 第5回微細加工に関する技術サロン会(写真13, 14) **(記事37ページ参照)**



写真13：質疑応答の内容をつぶさに記録する木村氏



写真14：製作事例について発表する高田氏

- 26日 機械・プラント製図実技試験準備講座(名古屋市)(木村)

12月

- 3日 機械・プラント製図実技試験準備講座(名古屋市)(木村)
- 5日  
～6日 ガス溶接技能講習(住友建機教習所)(木村)

## メカトロニクス・セクション報告

近藤 聖彦

メカトロニクス・セクションは、主に機械加工・設計技術、フォトリソグラフィ技術、デジタルエンジニアリング技術を有する技術職員の集団である。これらの技術を利用して、分子科学研究に必要とされる実験機器の設計製作、マイクロデバイスなどの微細な形状製作、分子模型などの立体模型製作に対応できる体制を整えている。さらに、このような技術支援は所内研究者に限らず、全国の大学および分子科学分野を中心とした研究機関の研究者も対象としている。また、2016年はミッションステートメントを制定し、ミッションを達成できる技術者集団を目指して活動を行っている。

## 1. 製作依頼件数

平成28年1月～12月の所内製作依頼は247件で、過去5年ほぼ同件数であった。依頼内容については、1週間以内で完了する部品加工が7割程度、設計製作、試作など開発要素が含まれ、完了までに2週間以上必要な依頼が3割程度であった。一方所外研究者に対する技術支援サービスは19件であった。その内、完成までに3週間以上要する依頼が5件であった。このようなエフォートが大きくなる依頼については、今までの設計製作の経験に加え、試作テストなどをおこない製作を進めている。

表1の民間企業については、ナノテクノロジープラットフォームで公開している3次元光学プロファイラーシステムの利用件数を示している。所内においても、この装置の特徴が理解されはじめ利用が多くなっている。

## 2. 製作依頼内容

## ・機械工作

依頼者から提供される部品図をもとにして加工する依頼内容は、レーザ、真空に関する実験部品、サンプルホルダー、水冷ベース、アスペクト比の大きい細穴加工、複雑な形状をした銅製コイルなど、多品種にわたった。図1に繰り返し依頼を受けた高さ調整ベースを示す。このような部品加工については、納期と依頼件数の状況を考慮しながら内作と外作を振り分けている。

## ・実験機器の設計・試作

開発要素を含み部品を組み合わせて製作する依頼内容は、図2に示すようなアンビルセルの温度変動を抑制する水循環式の高圧セルホルダー、AFMに使用する特殊ホルダー、接合装置に使用するホルダーなど、サンプルホルダーの設計依頼が多かった。その他に、アルミ製の大型真空容器、真空容器内のサンプル交換時に部品の衝突を防止する機構、燃料電池セルなどがあげられる。全般に制限された空間内で装置を組み込む設計が多く、設計の自由度も制限されるために多くの時間が必要であった。

## ・フォトリソグラフィ

フォトリソグラフィ講習会を所内に限らず、基礎生物学研究所、生理学研究所の職員も対象に行った。講習後に所外の参加者からも依頼があり、装置開発室のフォトリソグラフィ技術を認識してもらうことができた。

依頼内容は、これまでと同様、金属薄膜による電極やスリット構造のパターニング、PDMSやガラスへの溝および流路構造の製作が多かった。新規としては、ガラスへの段差溝の製作、ウェットエッチングによるスリガラス状の加工などがあつた。

これらの製作については経験を積んでいる段階であり、新規の依頼については挑戦要素が含まれるため、多くの製作時間が必要となる。例えば、ガラスへの段差製作については、これまでに深さが一定のマイクロ流路を製作した経験はあつたが、このような段差溝の製作経験はなかつた。そのため、試作を繰り返し、ノウハウを蓄積しながら、製作を行った。

表1 2016年所外依頼の申請機関名と件数

機関名	件数
名古屋大学	5
新潟大学	2
東京工業大学	1
産業技術工業研究所	1
早稲田大学	1
神戸大学	1
名古屋工業大学	1
愛知教育大学	1
統合バイオサイエンスセンター	1
基礎生物学研究所	1
民間企業	4
合計	19



図1 高さ調整ベース



図2 高圧セルホルダー

流路製作に限らず、液体を導入するためのコネクタを付帯したデバイス作製の依頼にも取り組んでいる。このような依頼については、所内でガラス板に穴を加工し、コネクタを接着し製作を行っている。こうして、コネクタを付けた付加価値の高いデバイス製作についてのノウハウも蓄積している段階である。様々な依頼に対応するには、接着剤の選定、接合技術について、さらに技術蓄積を行うことが課題である。また、新技術の蓄積を目指し、スパッタ成膜材料の多種の条件検討、グレー露光を利用した半円筒形状を有するレジストの立体加工に挑戦する予定である。

### ・デジタルエンジニアリング

2016年度から、装置開発室の新たな支援サービスの柱として開始した。FDM方式の3Dプリンタを使用し、主にタンパク質の模型造形を行っている。最近では複雑な構造のタンパク質模型を造形できるようになった。さらに、2色造形できる機種を新規導入し、色分けが必要な模型についても対応できるようになっている。また、図3に示すように、イラストを元に作図し、模型データを作成してから造形する支援も行っている。このように、様々な要求に対応できる体制を整備している段階であるが、すでに所内の依頼件数は増加傾向にある。また、装置開発室で造形した模型を見た所外の研究者からの製作依頼があり、成果有体物提供契約を締結して対応する予定である。



図3 作図した模型の造形例

このように軌道に乗ってきている状況ではあるが、装置開発室が所有する3Dプリンタでは造形精度、表面粗さ、素材、造形エリアに制限があるため、依頼要求に対応できないことがある。このような場合は、様々な機種を所有し、樹脂、石膏、金属の素材を選択できる外注を利用している。これを活用することも含め、模型データ作成技術を向上させることが当面の目標である。

### 3. 新人研修

4月から2名の特任専門員を採用し、機械加工、機械設計分野の研修を中心に行っている。基礎的な研修は一通り終了しており、現在は、工作伝票から機械加工、機械設計に関する依頼を担当し、所内で要求される加工精度、溶接部品のはめ合い公差、Oリング溝の幅・深さの設計ポイントなどについて経験を積んでいる段階である。このような経験を多く積むことにより、依頼内容が理解でき、的確な支援を行える人材の育成を目指している。また、この研修と平行して、業務に必要な資格の習得を行った。

### 4. 将来技術

#### ・メッキ技術

これまで、スパッタ成膜により厚さが数100nmまでの金属パターンの製作を行ってきた。しかし、1 $\mu$ m以上の膜厚を有するメタルマスク、ビームストップなどの製作要望があり、スパッタでは残留応力による膜の破損、成膜時間が長いなどの短所があることから、要望に応えることが難しい状況であった。そこで、メッキ技術を習得するため、図4に示す電気メッキ方式の装置とノンシアンメッキ液を購入し、単一金属のメッキ条件の検討から開始することにした。この技術を育成し装置開発室の新技術にすることが目標である。



図4 導入したメッキ装置

#### ・解析技術

所内で以前から望まれている技術であり、基礎的な解析については、講習会などで学びながら徐々に対応できる状況になりつつある。しかし、複雑な解析になると所有する解析ソフトの習熟に時間が必要となり、迅速な対応が難しい状況である。そこで、解析技術に関するネットワークを構築し、その情報収集に力を入れる予定である。色々な解析分野でのエキスパートから情報を収集することで、少しでも所内の要望に応えられる解析手法のヒントを得ることができると考える。また、フリーソフトウェアの活用についても考慮しており、このソフトに関する情報収集を行いながら、所内で利用できるソフトがあれば、導入し活用できるようになることを目指している。

### 5. セミナー開催

新しい技術の情報収集、製作中に発生する問題など室内のメンバーでは解決できないことについての解決策となるヒントを得ることを目的に下記セミナーを開催した。

- ・平成28年3月30日 技術課セミナー「3Dプリンタ造形技術の基礎と応用」
- ・平成28年11月15日～16日「第5回 微細加工に関する技術サロン会」

## エレクトロニクス・セクション報告

吉田 久史

エレクトロニクス・セクションでは、所内外からの工作依頼を受け、研究者と協力しながら分子科学の先端的な研究に必要な実験装置の設計・製作を行っている。製作する電子回路はアナログ回路からデジタル回路およびそれらの複合回路まで、またソフトウェアはハードウェアに付随したハンドラープログラムから実験に必要な計測・制御のためのアプリケーションに至るまで広範な回路技術で支援を行っている。工作依頼の多くは比較的小規模な回路であるが、近年では高機能な集積回路やマイコンモジュールを駆使することで、部品点数が少なく小面積の回路基板で済んでしまう場合もある。研究者の要求に応えるために、

技術職員は日頃から基盤となる回路技術の育成と共に最新デバイスや新しい回路技術の情報収集に心掛け、それらをいつでも応用できるように技術の習得に努めている。特にエレクトロニクスにおける最先端技術として、FPGA に代表されるプログラマブルデバイスを用いたカスタム LSI の製作技術と機器組み込み用マイコンの応用技術について重点を置いて取り組むようにしている。

図 1 は 2004 年からの工作依頼件数の推移である。2016 年は 48 件の受付を行った。その中で新たに組み込んだ回路技術として、最近話題の IoT:Internet of Things 向けの小型高性能コンピュータである Raspberry Pi を用いた環境モニターシステムがある。これは種々の環境センサーのデータを Linux OS が得意とする LAN 経由で収集するもので、プログラム開発には新たに Python を用いた。高周波回路の技術分野では、誘電体バリア放電に使用する RF パルス電源を製作した。ここでは、トロイダルコアによる高電圧用の高周波トランスの設計・製作を行い、スイッチング電源等のトランス設計に繋がる技術を積み上げることができた。またその他、ToF 型質量分析器などに用いられる高速高電圧パルス発生回路では従来よりも高い繰り返し率が求められ、電圧振幅は 200V 程であるが従来の 2 ～ 20 倍 (100kHz ～ 1MHz) の周波数で動作するものを製作した。高速アナログ回路分野では、インピーダンス 50 Ω 伝送系において振幅：3.3V ～ 5V、パルス幅 <100ns の短パルスを歪みなく出力する機構が求められ、電流帰還形オペアンプを用いた高速出力回路を開発した。これらについては、本誌の技術報告 (P.32 及び P.34) や 2016 年製作品 (P.48) の頁で紹介されているので参考にして頂きたい。

工作業務以外では、本誌のトピックスにあるように岩手大学技術部と共同で特許出願を行い受理された (P.36)。また、岩手大学技術部と共同開発した機器について、奈良先端大学院大学を含めた 3 機関による MTA(Material Transfer Agreement) を締結し、対価を得た。

その他の活動では、6 月 15 日、16 日に電子回路工作に関する講習会を開催した。本年は二日間で計 6 名の受講者を受け入れた。また、8 月 25 日にはアウトリーチ活動として中学生 2 名の職場体験を行った。

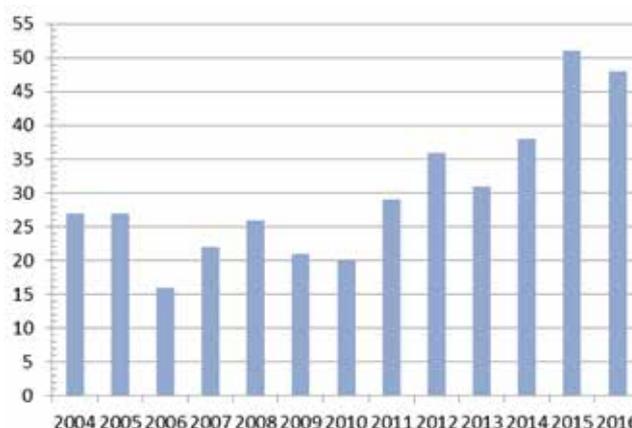


図 1 工作依頼件数の推移

## 主要設備

### メカトロニクス・セクション

#### 工作機械

種別	形式
精密旋盤	RBL-50 (理研製鋼)
普通旋盤	LR-55A (ワシノ機械)
	LEOG-80A (ワシノ機械)
	LS 450 × 550 (大隅鐵工所)
	TAL-460 (滝澤鐵工所)
NC 旋盤	SUPER QUICK TURN 100MY (Mazak)
タッピングボール盤	BT13RL (日立工機)
フリーボール盤	DMB (帝人製機)
ボール盤	TYPE DD-4300 (日立工機)
	KID-420 (KIRA)
	NRD-340 (KIRA)
フライス盤	KSAP (牧野フライス)
	VHR-SD (静岡鐵工所)
	RUM-5 (碌々産業)
NC フライス盤	BN5-85A6 (牧野フライス)
	SBV400 (遠州工業)
	AEV-74 (牧野フライス)
ワイヤ放電加工機	DWC90H (三菱電機)
	ROBOFIL2020Si (アジェ・シャルミー・ジャパン)
形彫放電加工機	A35R (Sodick)
切断機	ファインカット HS-100 (平和テクニカ)
電子ビーム溶接機	EBW(1.5)500 × 400 × 500 (日本電気)
抵抗溶接機	NRW-100A (日本アビオニクス)
ノコ盤	HB-200 (フナソー)
コンターマシン	VA-400 (AMADA)
シャーリング	SHS3 (コマツ産機)
ダイヤモンド	VW-55 型 (LUXO)
カッティングマシン	UT-3 (三和ダイヤモンド工業)

#### 測定機

種別	形式
電子顕微鏡	VE-8800 (KEYENCE)
双眼実体顕微鏡	EMZ-5TRD (メイジテクノ)
測定顕微鏡	STN6 (オリンパス)
マイクروسコープ	VHX-1000 (KEYENCE)
非接触三次元測定装置	NH-3SP (三鷹光器)
表面粗さ計	SURFTTEST SV-400 (ミツトヨ)
万能投影機	V-24B (ニコン)
硬さ試験機 (ロックウェル)	RH-3N (東京試験機)
走査型プローブ顕微鏡 (SPM)	SPA3800N/SPA-400 (日立ハイテクサイエンス)
三次元光学プロファイラー	ZYGO Nexview
段差計	KLA-Tencor P7

#### 設計・解析

種別	形式
2D CAD	Advance CAD (伊藤忠テクノソリューションズ)
3D CAD	SolidWorks (ソリッドワークス)
CAM	ナスカプロ・ワイヤー (ゴードーソリューション)
数値解析	ANSYS DesignSpace (アンシス・ジャパン)

#### フォトリソグラフィ

種別	形式
スピナー	MS-A100 (ミカサ)
マスクアライナー	MA-10 (ミカサ)
プラズマクリーナー	PDC-32G (HARRICK PLASMA)
精密手動スクライバー	SC-100 (ムサシノ電子)
超純水製造装置	アリウムプロ UV-DI (ザルトリウス)
マスクレス露光装置	DL-1000IMS (ナノシステムソリューションズ)
クリーン恒温恒湿室	イエロー クラス 1000 (アイテックス)
小型 2 源 RF スパッタ装置	デポダウン式 RSP-4-RF3x2 (クライオバック)

### エレクトロニクス・セクション

#### 計測器

種別	形式
デジタル オシロスコープ	6200A(LeCroy)
	354(LeCroy)
	TDS3014B(Tektronix)
	TDS2014(Tektronix)
	DS-5354(IWATSU)
ミックスドシグナル オシロスコープ	MSO2024(Tektronix)
ロジックアナライザ	TLA5201(Tektronix)
ネットワーク / スペクトラム / インピーダンス アナライザ	4396B(Agilent)
データロガー	GL900(GRAPHTEC)
マルチメータ	2001(Keithley)

#### 計測器

種別	形式
エレクトロメータ	6513(Keithley)
LCR メータ	ZM2353(NF)
ユニバーサルカウンタ	53132A(Agilent)
ファンクション ジェネレータ	AFG3251(Tektronix)
パルスジェネレータ	Model8600 (Tabor Electronics Ltd.)
直流電源・電流モニタ	6243(ADCMT)

#### 加工機

種別	形式
プリント基板加工機	A427(Accurate CNC)

## 2016年 研究会発表一覧

研究会等名称	発表項目	発表者氏名
平成27年度実験・実習技術研究会in西京 2016年3月3日～4日	ARM マイコンを用いたシンプルなTTLパルスジェネレータの開発(口頭発表)	○豊田朋範 千葉寿 藤崎聡美 古舘守通
平成27年度高エネルギー加速器研究機構技術研究会 2016年3月17日～18日	CPLDとARM マイコンを用いたTTLダブルパルサーの開発(口頭発表) 分光実験用超短パルスレーザーによる微細加工への取り組み(ポスター発表)	○豊田朋範 ○上田正 矢野隆行 青山正樹 中野路子
第11回自然科学研究機構技術研究会 2016年6月9日～10日	～技術トピック～ 3Dプリンタで造形するタンパク質模型(口頭発表) 汎用マイコンによるインターロック装置の構築 —保守運用面からPLCと比較する—(ポスター発表)	○近藤聖彦 ○豊田朋範
第5回微細加工に関するサロン会 2016年11月15日～16日	ウェットエッチングによる製作事例(口頭発表) 測定器の違いによる金属薄膜の厚さ測定検証(口頭発表)	○高田紀子 ○木村幸代

## 温度可変広帯域誘電分光用液体セルと窓板による 水の複素誘電スペクトルの測定

神戸大学分子フォトサイエンス研究センター 富永 圭介

### 1. はじめに

水分子は、水素結合により3次元的に広がる水素結合ネットワーク構造を形成しており、このネットワーク構造は、水素結合の生成・解裂によりサブピコ秒からピコ秒の時間スケールで動的に揺らいでいる。このネットワーク構造の揺らぎが水を持つ特異性の原因であると考えられている。そのため、水素結合ダイナミクスおよび水素結合ネットワーク構造についての理解は、水溶液中の化学反応や生体高分子の機能発現を理解する上で必要である。水は広範囲の周波数領域に特徴的な運動を持つことが知られている。例えば、MHz から GHz の周波数範囲では、集団的な回転緩和、THz (1 THz  $\approx$  33.3  $\text{cm}^{-1}$ ) の周波数範囲では、水素結合ネットワークの揺らぎが観測される。そこで、広帯域で水の複素誘電率測定を行うことにより、水素結合ダイナミクスおよび水素結合ネットワーク構造についての知見を得ることができる。

このような水の複素誘電率スペクトルの測定は以前から行われているが、異なる周波数帯のスペクトル成分が重なり合っているため、一つのスペクトル成分を調べるためには、その成分と重なり合う他の成分の測定が不可欠である。水の場合は、少なくとも、MHz 帯からライブラレーションによるバンドが観測される  $1000 \text{ cm}^{-1}$  までの広帯域の複素誘電率スペクトルを測定しなければならない。また、誘電応答の温度変化はそのダイナミクスの本質を調べるうえで非常に重要であるため、温度可変の測定も行う必要がある。

本研究では、水と二種類の同位体置換した水 ( $\text{D}_2\text{O}$  と  $\text{H}_2^{18}\text{O}$ ) の広帯域分光測定 ( $200 \text{ MHz}$  から  $1000 \text{ cm}^{-1}$ ) を行うための、液体組み立てセルを製作し、あわせて THz 帯から  $1000 \text{ cm}^{-1}$  の帯域で使用することができるスペーサー付の窓材の製作を依頼した。得られた水の複素誘電率スペクトルの温度変化を報告する。なお、温度を  $273 \text{ K}$  から  $323 \text{ K}$  まで変化させて測定した。

### 2. 手法

$200 \text{ MHz}$  から  $1000 \text{ cm}^{-1}$  の帯域で分光測定を行うが、 $200 \text{ MHz}$  から  $20 \text{ GHz}$  はベクトルネットワークアナライザー (キーサイトテクノロジー社、E5071C) を用いた。本研究では、サブ THz 領域 ( $40 \text{ GHz} \sim 300 \text{ GHz}$ ) に特化したスパイラル型の光伝導アンテナを用いた時間領域分光装置を製作した。THz 領域 ( $300 \text{ GHz} \sim 2.5 \text{ THz}$ ) では、ダイポール型の光伝導アンテナを用いた。製作された温度可変セルを図 1 に示す。サンプルとリファレンスからなり、同一の冷媒を流すことにより二つのセルの温度を同一に保った。これを 1 軸ステージの上に乗せ、交互に透過した電磁波の時間波形を測定した。また、通常の FTIR 分光器を用いて  $80 \text{ cm}^{-1}$  より高波数側の吸収スペクトルを測定した。

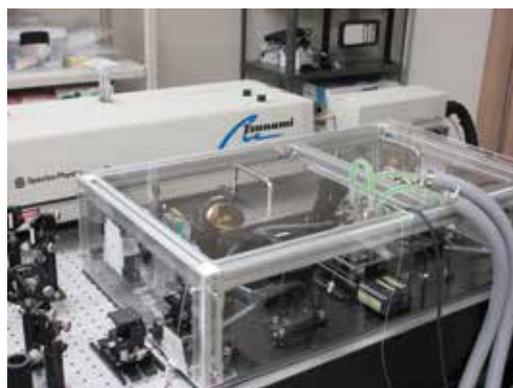


図 1. サブテラヘルツ時間領域分光装置内の温度可変用液体セル。二つのセルは 1 軸ステージに乗っており、サンプルとリファレンスを交互に測定する。

### 3. 結果と考察

図 2 に得られた複素誘電率の実部と虚部の  $20^\circ\text{C}$  におけるスペクトルを示す。この複素誘電率スペクトルを次式を用いて解析した。

$$\tilde{\varepsilon}(\nu) = \frac{\Delta\varepsilon_1}{1 - i2\pi\nu\tau_1} + f_{\text{THz}}(\nu) + \frac{A_3}{\nu_3^2 - \nu^2 - i\nu\gamma_3} + \sum_{i=4}^6 \frac{A_i}{\nu_i^2 - \nu^2 - i\nu\gamma_i} + \varepsilon_\infty$$

第1項は、集団的な回転緩和、第2項はTHz帯の成分に相当し、水素結合ネットワークの揺らぎに対応する。第3項は水素結合による分子間伸縮振動、第4項はライブラーションによる項である。図中には、解析結果を示している。このように各スペクトル成分が重なり合うため、上式のパラメータを高い精度で求める場合、広帯域での測定が不可欠となる。解析では、特に第2項のTHz帯の成分に興味をもっており、この項をどのような関数を用いて表現することができるのか、検討した。 $f_{THz}(\nu)$ として以下の3つのモデルを用いた。すなわち、(i) Debye緩和:

$$f_{THz}(\nu) = \frac{\Delta\epsilon_2}{1 - i2\pi\nu\tau_2} \text{、(ii) 減衰振動: } f_{THz}(\nu) = \frac{\Delta_2}{\nu_2^2 - \nu^2 - i\nu^2\gamma_2} \text{、(iii) Debye緩和と減衰振動の和:}$$

$$f_{THz}(\nu) = \frac{\Delta\epsilon_2}{1 - i2\pi\nu\tau_2} + \frac{\Delta_2}{\nu_2^2 - \nu^2 - i\nu^2\gamma_2} \text{、である。図にはモデル (i) を用いて解析した結果を示している。}$$

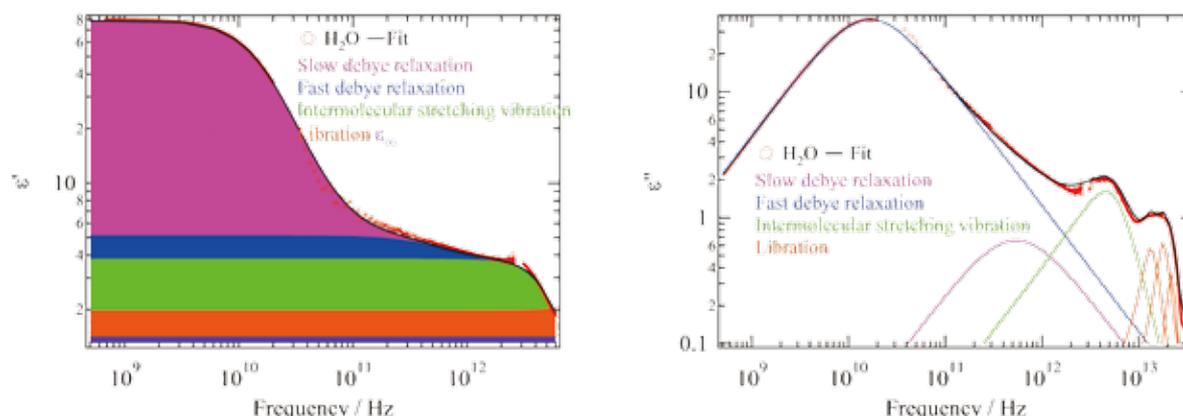


図2. 水の20°Cにおける複素誘電率スペクトル。左が実部、右が虚部。赤い点が測定値。図中には、(1)式を用いて解析した結果も示している。

この3つのモデルを用いた場合、全てのモデルで実験結果を再現することができたが、低温のD<sub>2</sub>Oでは、特にモデル(iii)が実験結果をよく再現した。モデル(iii)を用いる場合、減衰振動のパラメータ(共鳴波数 $\nu_2$ と減衰項 $\gamma_2$ )は、フェムト秒光カー効果の測定により求めたラマンスペクトルの解析から求めた値を用いた。そこで、本研究では、3つの水(H<sub>2</sub>O、D<sub>2</sub>O、H<sub>2</sub><sup>18</sup>O)について、全てモデル(iii)を用いて解析した。H<sub>2</sub>Oについて得られたパラメータの温度変化を図3に示す。

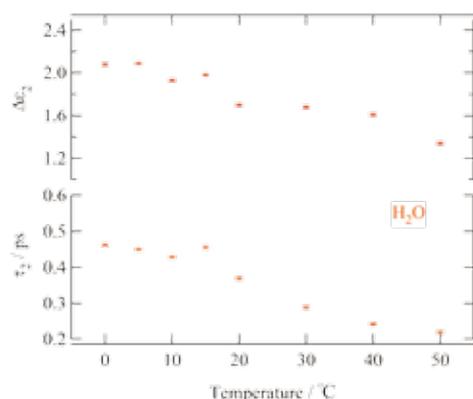


図3. モデル(iii)におけるパラメータの温度変化。減衰振動における中心波数と減衰項はフェムト秒カー効果の測定から得られるラマンスペクトルの解析で得られた値を用いた。

緩和時間 $\tau_2$ が低温領域では温度とともに短くなり、30°C付近で一定になる。これは、低温領域では遅いデバイ緩和によるスペクトル成分が低波数側にシフトしているが、分子間伸縮振動のバンドはほとんど温度に依存しない。そのため、THz帯のスペクトル成分が”広がって”おり、減衰振動の低波数側に現れる緩和成分が観測されやすい。一方、30°Cより高い温度では、減衰振動と緩和成分が”重なって”しまうため、温度変化が観測されないものと思われる。

## マイコンを用いた電圧モニター回路の開発

分子科学研究所 光分子科学研究領域 武田俊太郎

### 1. はじめに

実験では、何らかの信号を目で常時監視し、異常がないか見張っていなければならない場面にはしばしば直面する。信号とは、例えば部屋の温度であったり、真空計が示す圧力であったり、レーザーのパワーであったり、場面によって様々である。信号を人間の目で監視し続けるのは、退屈な上に神経を使うので精神的に不衛生である。信号に異常があった時だけアラームで知らせてくれる装置があれば、人間は監視作業から開放される上、異常の検知はより確実になるだろう。

このようなニーズから、今回、装置開発室の豊田朋範氏のご協力の下で、電圧信号を常時モニターし、信号が設定した範囲から外れると、LED 及び警告音で知らせてくれる「電圧モニター回路」を製作した。汎用性が高くスタンドアローンの装置であるため、実験の様々な場面で気軽に使えて重宝している。

### 2. 電圧モニター回路に求める性能

電圧モニター回路の基本動作は単純である。まず、この回路に監視したいアナログ電圧信号を入力する。ユーザーは電圧の上限及び下限の閾値をノブで任意の値に設定しておき、入力信号がその範囲を外れた時にアラーム（赤色の LED とブザー）が動作する。例えば、真空装置の圧力を計測する真空計のコントローラーに、圧力の測定値を外部モニターするための電圧出力端子があるとする。その出力を電圧モニター回路に入力することで、「圧力が指定範囲外になるとアラームが発動」のようなアラームが設定できる。

電圧モニター回路を私の実験系に組み込むためには、以上の基本動作に加えて、アラーム機能自体の on/off を外部信号により制御できる必要があった。私の所属している光分子科学研究領域・大森グループの実験では、連続波レーザーのパワーがある設定値に安定に保たれるよう、レーザーパワーをフォトディテクターで測定してパワー制御素子へフィードバックしている（図 1(a)）。しかし、レーザー光源の出力パワーが減少してパワーを設定値に維持できなくなった場合や、振動などの外乱によってフィードバック制御が乱れてしまった場合、気づかずに測定を続けてしまうとデータが全て無駄になってしまう。そこで、フォトディテクターの出力電圧を電圧モニター回路に入力することで、レーザーパワーを常時監視しようと考えた。一方で、実験では同じパワー制御素子を用いてレーザーを数秒サイクルで on/off する制御も行っている。レーザーを off している時間はフォトディテクターの出力電圧がゼロになるが、この時間は電圧モニター回路のアラームが発動する必要はないため、アラーム機能自体を off にしなくてはならない（図 1(b)）。従って、電圧モニター回路には外部制御信号によりアラーム機能自体を on/off 制御できる機能が必要となる。

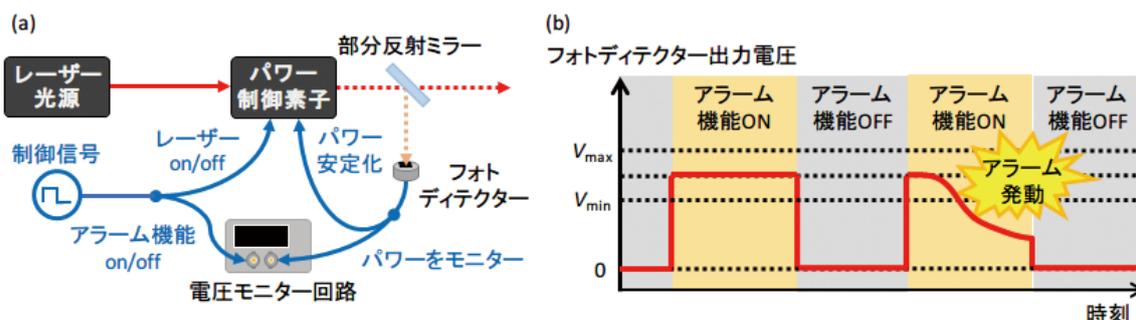


図 1：電圧モニター回路を用いたレーザーパワーの監視。(a) 実験システムと電圧モニター回路の配線図。フォトディテクターの出力電圧を電圧モニター回路に入力し、レーザーパワーを常時監視する。レーザーの on/off と同期させて、電圧モニター回路のアラーム機能も on/off させる。(b) 電圧モニター回路によるアラームの判定動作。レーザーが off の時間はアラーム機能も off となり、フォトディテクターの電圧が指定範囲を外れてもアラームは発動しない。

### 3. 電圧モニター回路の設計と製作

以上で電圧モニター回路に必要な性能はイメージできたので、次は具体的な設計である。私は実験で用いるオペアンプ等を用いたアナログ回路はある程度自作しており、今回もアナログ回路での製作を考えた。しかし、アナログ回路で上記の動作を実現するには比較的複雑な配線になることが想像できた。そこで、マイコンを用いて条件判定などをデジタル処理すれば、回路の配線自体はシンプルになり、後々の機能の拡張性の面でも優位であると考えた。

実は私は、東京大学の博士課程に在籍していた頃、実験に必要な回路をマイコンで製作したいと思う機会があっ

た。しかし、マイコンに精通していて、かつ気軽に質問できる人が周りにいなかった。このため、とある雑誌の付録のマイコンで少し遊んだだけで、本格的に手を出すのをためらってしまった。幸いなことに分子研は回路工作の熟練スタッフに恵まれている。この環境を最大限活用し、単にスタッフに依頼して回路を製作して頂くのではなく、教えていただきながら私自身の手で製作し、マイコンの基礎技能を修得したいと考えた。

以上の要望を装置開発室の豊田氏に相談し、ARM マイコンを用いた回路の設計方法やプログラムの書き方を事細かに指導して頂いた。本回路の配線は実にシンプルで、スイッチやディスプレイ、BNC 端子など、制御素子 1 つ 1 つをマイコン (NXP LPC1114/302) のピンに接続していくだけである。あとは各制御素子がどのような条件の時にどう動作するかというプログラムをマイコン本体に書き込めば完成する。まず、自らユニバーサル基板上にマイコンを含む素子を配線し、自作のプログラムを書き込んだ試作機を製作した。実際に試作機を利用しながら機能の追加・変更を行い、ようやくプロトタイプが完成した。様々な場面で役に立つと期待できたので、専用基板を製作して複数台を一気に製作することにした。試作機をベースに、豊田氏に基板を設計して頂き、その図面を用いて最終的には基板加工や半田付け、ボックス加工を外注して容易に量産できる体制が整った。完成した回路の写真を図 2 に示す。



図 2：完成した電圧モニター回路の写真。左が外観、右が内部の基板及び配線。

#### 4. 電圧モニター回路の応用例

完成した電圧モニター回路は、大森グループの実験を様々な場面で支えている。本回路はマイコンで製作しているため、配線を変えることなく、プログラムを書き換えるだけで、回路の機能を変更・追加できることが大きな利点である。一例として、本回路の機能を変更し、実験系の安全性を高めるインターロックとして導入した事例を紹介したい (図 3)。

大森グループでは、磁場を発生させるためにコイルに数アンペア程度の電流を流している。電流値は実験中に最大 10 アンペア以上にまで変化するのだが、万一コイルに大電流が流れ続けると、コイルが発熱して非常に危険である。この危険性を常時監視するために、電圧モニター回路が活躍する。まず、コイルの電流源には、電流値を電圧情報として外部出力する端子があるため、この信号を電圧モニター回路に入力して監視する。次に、電圧モニター回路のマイコンのプログラムを変更し、「入力電圧が指定範囲を一定時間外れ続けるとアラームが動作」するよう設定する。さらに、「アラームの発動/非発動の情報をデジタル出力端子から High/Low の信号として出力」させる。この出力信号を、コイルの電流を on/off できるスイッチ (リレー) に接続すれば、コイルに大電流が流れ続けた際に自動で電流を off するインターロック回路として動作する。この例のように、本回路は汎用性が高く機能の拡張もできること、またスタンドアロンで実験系に気軽に導入できることが強みである。他の研究グループでも役立つケースが多々あるように思うので、ご興味のある方は豊田氏に相談に乗っていただくと良いだろう。

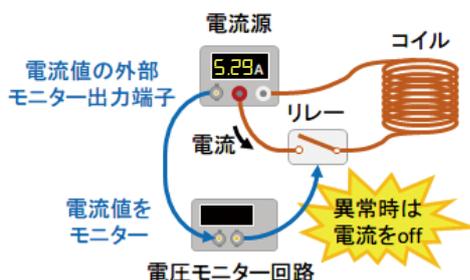


図 3：電圧モニター回路を用いたコイルに流れる電流のインターロック機構

#### 5. むすび

今回は、豊田氏のご指導・ご協力の下、信号に異常がないか常時監視する電圧モニター回路をマイコンを用いて製作した。本回路の開発自体も大きな成果であり大変役立っているが、マイコンの基礎技術を熟練スタッフから教えて頂いたことも私にとって大きな財産である。この手の技術を独学で身につけようとした場合、つまらない所で躓いて時間を浪費してしまうケースも多い。電子回路の専門スタッフに気軽に相談できる分子研の環境がいかに恵まれているかを改めて実感した。大森グループは、電圧モニター回路以外にも、自作が難しい高電圧パルス発生器の製作や良く自作する音響光学素子ドライバー専用基板の製作など、回路工作室のスタッフの皆様には大変お世話になっている。この場を借りて、感謝の意を示したい。

## 気相イオンの NMR 分光法の開発

分子科学研究所 機器センター 富宅喜代一

### 1. 研究概要

核磁気共鳴 (NMR) 分光法は物質の組成や構造と物性を分析する方法として確立され広範に利用されているが、測定感度は低く溶液や固体試料の分析に限定されてきた。しかし、科学研究の進歩と相俟って気相、特に気相イオンの化学分析が益々重要となり、この物質相に適用可能な NMR 分光法の創出は物理化学の喫緊の課題となっている。本研究では気相分子イオンの NMR 分光を初めて実現するため、超伝導磁石内に設置したペニングトラップ内で Stern-Gerlach 型実験を行うという新しい測定原理を提案している。本方法では非常に弱い磁気共鳴信号を核スピン分極として検出するため分子イオンの極低温冷却が要となる。ここでは新しい極低温冷却法を開発し、気相イオンの核スピン分極を初めて観測するとともに、気相イオンの NMR 分光法の基礎を築くことを目的としている。

### 2. 気相イオン NMR 分光装置の概略と要請される実験条件

本原理に基づく NMR 検出装置のイオン光学系の概略を図 1A に示す。光学系はイオン源とイオントラップ (NMR セル) で構成され、NMR セルは図 1B で示す超伝導マグネットの磁場強度分布に合わせ傾斜磁場内に設置する。

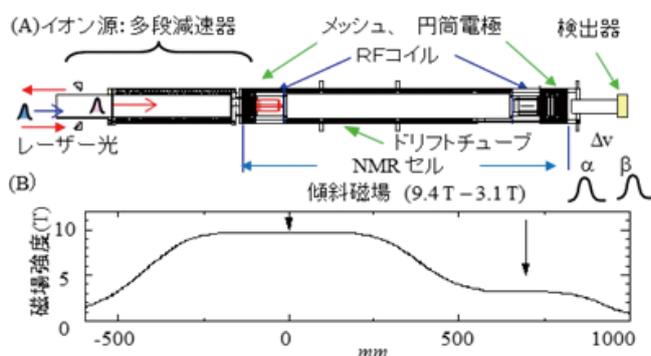


図 1 : 気相 NMR 装置の概略図

測定原理の詳細は文献に記載している<sup>[1][2]</sup>。この場合、イオンは高感度で計数できるため、測定感度は試料濃度よりは核スピン分極に伴う飛行時間差の観測精度で決まり、イオン束が低速で初期速度分布幅が狭い (並進温度が低い) ほど感度が高くなる。具体的な例として、質量数 100 程度の試料イオンについて初期速度  $v_0$  と初期速度分布幅  $\Delta v_0$  は 100 m/s, 0.5 m/s (FWHM) 程度に制御する必要があり、この速度分布幅は並進温度として数百  $\mu\text{K}$  に相当する。NMR セル内で極低温イオン束を無衝突状態で発生させ、非常に弱い核磁気共鳴相互作用を観測するために、セル内の浮遊電場の抑制と超低エネルギーイオン束の発生と精密制御が要となる。

### 3. 開発指針

本研究で用いる傾斜磁場型超伝導磁石と真空装置は科学技術振興機構 先端計測技術・機器開発プログラムの支援で準備した。平成 24 年度に分子科学研究所に装置を移設した後、機器センターの装置の開発の一環として後述の研究計画を遂行した。実験で要請される数 meV 以下の超低エネルギーのイオン束の発生と制御のために、イオン光学系に残存する浮遊電場の抑制が不可欠である。浮遊電場の発生源は、異種金属の接触で発生する接触電位、電極表面への水の吸着や表面の汚れ等のパッチ効果が考えられる。浮遊電場の抑制と主磁場の乱れを最小限にするため、電極材料は銅を採用し表面に銀メッキをベースとして金メッキを施した。特に水等の吸着物の除去のために新たに非磁性のベーキングシステムの設計、製作を行った。

本試行実験で速度分布幅の狭いイオン束を発生するために、イオン源は超音速ジェット法で生成した分子線をレーザー光イオン化する方式を採用した。超音速分子線法による冷却により、分子線中で数 K 程度まで分子の速度を揃えることができるが、中心速度は 600 m/s (Ar キャリアー) と非常に速い。実験で要請される 100 m/s 以下の速度と速度分布幅が mK 以下のイオン束を発生するために、新しい減速法と精密な速度選別法の開発が必須となる。以上の点から、分子科学研究所に移設した気相 NMR 装置について、(1) イオン光学系のベーキングシステム、(2) 減速器を組み込んだイオン源と (3) 磁気共鳴とイオンの極低温冷却機能を兼ね備えた NMR セルの開発を進めてきた。

### 4. 研究開発の経過

#### (1) NMR セルの非磁性ベーキングシステムの開発

本装置で NMR セルは超伝導マグネットの均一磁場部に設置するため、ボア内に全長 2060 mm、内径 135 mm の真空単管を挿入し、この中に NMR セルを保持している。ここでは図 2 のようにセルを銅パイプで囲み、抵抗加熱で熱して輻射熱で内部のセルを加熱する方式を採用した。またこの加熱に伴う単管の温度上昇で超伝導磁石が影響を受けないようにするために、単管の外部に銅管を巻き付け水冷により冷却した。

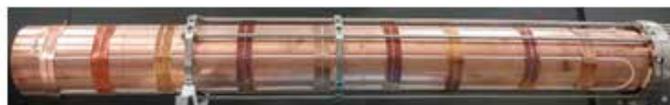


図 2：非磁性ベーキングシステム

## (2) イオン源と超低速イオンの生成法の開発

本開発では初速度のできるだけ揃ったイオン束を発生するために、イオン源として分子線法で冷却した分子を 1) レーザーで光イオン化する、2) 放電励起し発生するラジカルを光イオン化する方法を採用している。(2) では安定な放電が得られる誘電障壁放電法を導入し、装置開発室で新たに高周波高圧電源を開発して頂いて、イオン発生法を確立した。図 1A で示すように分子線冷却した分子のイオン化で生成したイオンは 440 mm 下流に設置した NMR セルに急激な磁場勾配に逆らって並進する。ここでは NMR セルまでの空間を利用してイオンを減速するため、分子研でこれまでに数種の減速器の開発を試みたが、以下で最新の進行波型多段減速方法について述べる。

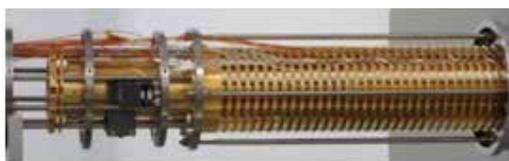


図 3：進行波型多段減速器の写真

イオンの減速は通常、ポテンシャルスイッチを用いるが、減速に伴って光イオン化で発生したイオンの大半はポテンシャルスイッチ内に残留するため、イオン源としては非常に暗いものである。減速過程ではイオン束の位相空間体積の圧縮はできないため、この体積を保存しながら多段階で効率よく減速し移送する進行波型多段減速器を開発した。

図 3 は SIMION による計算を基に製作した減速器の写真である。8段の電極対に 1 V 以下の電圧パルス印加して、イオン束の通過時間に同期してポテンシャル障壁を発生し逐次的に減速する。この減速器の低電圧駆動回路は装置開発室で製作して頂いた。この方法により光イオン化で生成したイオンは定量的に減速され、中心速度が 170 m/s 以下に、また遅いイオンは 100 m/s 以下まで減速される。以上のイオン源の開発過程で、図 3 の進行波型多段減速器を組み込んだイオン源が最も明るく、定量的に減速できることが明らかになってきた。

## (3) NMR セルの開発

図 1 に示すように NMR セルは超電導マグネットの定位置に設置し、上流のイオン源から導入したイオン束を捕捉し、その往復運動に同期してセル両端に設置した RF コイルにより  $\pi$  パルスを照射して核スピンを順次に反転させ、磁気共鳴加速により核スピンの分極を誘起させる役割をもつ。NMR セルは上流側と下流側の両端に設けたイオン捕捉用の電極と、磁石の 9.4 T、3.1 T の均一磁場の位置に設置した一対の RF コイルで構成される。また核スピンの検出で要請される試料イオンの極低温冷却のため、NMR セル内でイオンをさらに減速し速度分布を圧縮する必要がある、一対のメッシュ電極が組み込まれている。RF コイルは溶液 NMR でプローブとして使われているサドル型のコイルを銅パイプから切り出して製作し、超高真空下で利用できるよう開発している。このコイルに RF 電流を流し指定の RF 磁場を発生するために、二つの可変コンデンサーを用いて同調とインピーダンスマッチングする必要がある。

分子科学研究所に装置を移設後、以下の改良点を考慮しベーキングの可能な NMR セルを新たに製作した。

- ① 二つの RF コイルの同調とマッチングを 4 つの回転導入器で真空外から調整可能にする。
- ② RF 回路は非常に放電し易いので、セラミック製の治具を設計・製作して非磁性のトリマーを固定する。
- ③ 電気ノイズの発生を極力抑えるため、パルス電流用のケーブルは NMR セル支持パイプ内を通す。
- ④ 主磁場を乱さないために、非磁性の材料（銅製、Au(1  $\mu\text{m}$ )/Ag(3  $\mu\text{m}$ ) メッキ) で NMR セルを製作する。



図 4：NMR セルの設計図と写真 中央部は超低速イオンの安定捕捉のためのドリフトチューブ

図 4 に製作した NMR セルの設計図と写真を示す。NMR セルの全長は 912 mm、左端は速度選別用のメッシュ電極とイオントラップ用の円筒電極である。また右端は下流側の捕捉電極に相当する。NMR セルは図 5 に示す Ti 製の支持部により支持され全長 2060 mm の真空単管内に設置される。NMR セル駆動用の電圧はセミリジッドケーブルを支持部の Ti 製パイプ内を通して供給し、電気ノイズの影響を極力抑えている。

## 1) NMR セルの速度選別と減速機能の開発

上記のイオン源により核スピンの分極の観測で要請される初速度 (100 m/s 程度) に減速したイオン束の発生が可能となってきた。しかし、速度分布幅は超音速分子線で得られる初期速度分布幅 (約 20 m/s FWHM、並進温度 2K) より狭めることは、イオン源の工夫だけでは困難である。さらなるイオンの極低温冷却のために、NMR セルに冷却機能を付加することが不可欠である。



図 5 : NMR セル全体図の写真

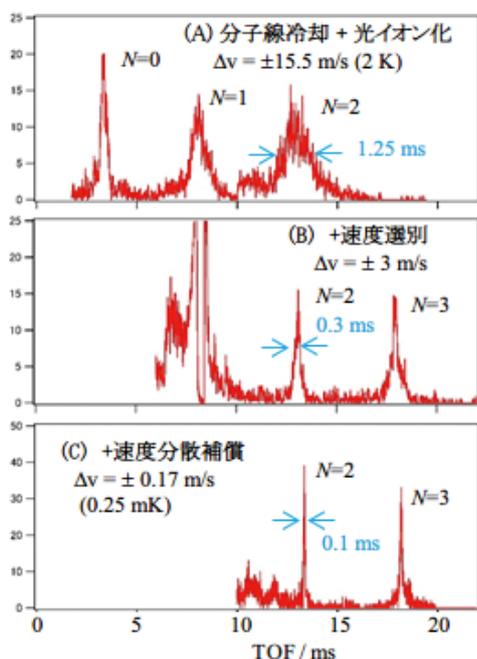


図 6 : DMA<sup>+</sup> の速度選別と圧縮の例

が前方に小さいイオンが後方に分布し伝搬する。この伝搬の特徴はフェムト秒光パルスに類似して負チャープ状態に相当し、正チャープを与える分散補償を加えることにより、速度分布の大きな圧縮が実現できる。この分散補償効果を生ずるポテンシャルスイッチを SIMION で計算して設計・製作した。この補償法を NMR セルに組み込み冷却機能を改良するために、図 4 のセル中央のドリフトチューブに換え、図 7 に示す約 50 枚の円筒電極からなる速度制御器を製作した。図の左半分の電極対は上記の速度分散補償器に、また分散補償後さらに NMR セル内で減速を実現するために右半分の電極対は前記と同様の進行波型多段減速器となっている。この補償器を図 8 のよう



図 7 : 速度分散補償器と進行波型減速器



図 8 : 速度分散補償器を組み込んだ改良型 NMR セル

に NMR セルの中央部に設置し、イオン束が勾配の中央部に来る時間を見計らって、負電圧パルスを適切な時間幅で印加するとポテンシャルの負の勾配が発生し、補償器の右側の出口から出るイオン束は速度が揃いつつ減速される。このようにして速度分散に相当する電場勾配を生ずさせてエネルギー分散を補償することにより、イオン束の減速・圧縮と同時にピーク強度の数倍以上の増強が起こり、極低温冷却を達成することが期待される。現在、新たに改良した NMR セル (図 8) の速度分散補償法による冷却特性を調べている。図 6C は DMA<sup>+</sup> を用いた予備実験の結果を示しており、速度分散補償器に 30 mV のパルス電圧を印加した場合のイオン束の圧縮の結果を示している。速度選別されたイオン束の速度分布幅  $\pm 3 \text{ m/s}$  からさらに  $\pm 0.17 \text{ m/s}$  まで狭められ、1 mK 以下に冷却される。このようにして速度選別法と分散補償法を組み合わせることにより目標のイオン束の発生が可能となってきている。

### 1-1) メッシュ電極を用いた速度選別法

速度選別法として NMR セルの高磁場側の捕捉電極の上流側に一对のメッシュ電極 (透過率 90%) を設置し、この電極にパルス電圧を印加してイオン束の一部を切り出す方法を採用している。速度選別の重要なポイントは、速度を変えないで速度分布を切り出すことである。具体的な操作として、初めにこれらの電極を接地してイオン源で生成したイオンを NMR セルに導入した後、円筒電極に捕捉電圧を印加してイオン束を NMR セル内にトラップする。イオンはこの後、セル内を往復運動する。イオン束を数回往復させてイオンの速度が分散した後に、円筒電極を 0 V に落としてイオンを上流側に開放し、イオン束のピークが通過する時間を見計らって、隣接するメッシュ電極に 200  $\mu\text{s}$  程度のパルス電圧を印加する。この操作によりイオン束の一部がピーク強度を保ったままセル内に切り出される。この速度選別法はイオンの冷却手段として新たに考案したもので、予め SIMION を用いて詳細にシミュレーションを行っている。図 6 は新たに製作した NMR セルで行った速度選別実験の一例を示す。ジメチルアミン (DMA) の光イオン化で発生した DMA<sup>+</sup> をイオン源で 335 m/s (26 meV) まで減速し、NMR セルに導入して往復運動 ( $N$ : 往復回数) させる。分子線冷却では 2 K 程度まで冷却できるが、速度分布幅は  $\pm 15.5 \text{ m/s}$  と非常に広く往復回数とともに広がる (図 6A)。セル内を 2 回往復後、上記の方法でイオン束を切りだして速度選別しセル内に捕捉したイオンの飛行時間スペクトル (図 6B) では速度分布幅は  $\pm 3 \text{ m/s}$  まで狭められ、0.1 K 以下に冷却される。このようにしてメッシュ電極を用いた速度選別操作によりイオン束の速度に変化を与えないで非常に有効に冷却できることが明らかになった。

### 1-2) 新しい速度分散補償法によるイオン束の極低温冷却

上記の方法だけでは目標の 1 mK 以下の冷却は困難である。ここでは速度分布をさらに圧縮し冷却する新しい方法として速度分布の分散補償法の開発を行った。NMR セル内で並進運動中のイオン束は特定の温度に相当する速度分布幅をもち、飛行時間とともに空間幅が広がる傾向を有する (図 6A 参照)。この熱的広がりの特徴は、並進エネルギーの大きいイオン

## 2) RF コイルと RF 回路の開発



図 9 : 3.1 T 用 RF 回路の写真

磁気共鳴加速法で核スピン分極を起こすために NMR セル両端での RF コイルを用いたイオンの  $\pi$  パルス励起が必須となる。ここでは新たに超高真空中で動作可能な RF コイルと回路系の開発を独自に進めた。RF コイルは極低温イオン束に RF 磁場を有効に照射できるようにサドル型の形状を採用し、機械的強度と安定動作を考慮して、2.5 mm 厚の銅パイプから切り出して製作し、金 (1  $\mu\text{m}$ )/ 銀 (3  $\mu\text{m}$ ) のメッキを施している。上記の NMR セルには、9.4 T 側に内径 26 mm、3.1 T 側に 30 mm のコイルを設置している。真空外から RF 電流を導入してコイルを動作させるために、コイルにできるだけ近いところに図 9 に示すように周波数の同調と RF 磁場発生効率 (Q 値) を上げるインピーダンス整合用の

2 個の非磁性トリマーを設置した RF 回路系を組み込んでいる。この回路系は振動に非常に敏感で機械的強度が必要であり、また真空中では放電を起こし易い。これらの点を考慮した熱伝導性の高い  $\text{ZrO}_2$  製の治具を設計・製作してコンデンサーを固定し図 5 の回転導入器で調整を可能にした。RF コイルによるパルス磁場励起の動作確認はコイル中に水試料を挿入して NMR スペクトルの強度測定をすることにより行った。

## 3) グラファイトコートした NMR セルの製作

イオン光学系内面の金属表面の浮遊電場の発生原因は、表面吸着物質以外に金属自体の多結晶構造に由来するパッチ効果も原因となる。ここではパッチ効果を抑えるため、金属表面からイオンを遠ざけるよう電極内径を拡大したセルを製作してきた。浮遊電場をさらに抑制した NMR セルを検討するために、表面電位の制御がより容易なグラファイトで表面処理を施したセルを製作した。図 10 は新たに製作した NMR セルを示す。このセルのイオン透過率等の特性の評価は現在進めている。



図 10 : グラファイトコートした NMR セルの写真

## 5. まとめ

以上のようにして気相イオンの NMR 検出で要請される極低温イオンの発生と精密制御の目的で、(1) イオン光学系のベーキングシステム、(2) 減速器を組み込んだイオン源と (3) NMR セルの開発を進めてきた。ベーキングシステムの製作により超高真空下で NMR セルを 120 度程度に加熱でき、浮遊電場の抑制が可能になってきた。イオン源の開発では、新たにポテンシャルスイッチを組み込んだタイプや進行波型の多段減速器を製作し比較検討することにより、後者の減速器がイオンの損失が少なく最も定量的に減速できることを明らかにした。また NMR セルの開発では、セル内で速度選別と速度分散補償を行う新しい極低温冷却法を確立し、目標の極低温イオン束の発生が可能となってきている。今後、この NMR セルの特性を詳しく検討し技術を集約するとともに、RF コイルと組み合わせた核スピン分極の観測実験を進める。

## 6. 文献

- [1] "Design and development of a novel nuclear magnetic resonance detection for the gas phase ions by magnetic resonance acceleration technique", K. Fuke, et al., Rev. Sci. Instrum., 83, 085106-1-8 (2012).
- [2] "Preparation of cold ions in strong magnetic field and its application to gas-phase NMR spectroscopy", K. Fuke, et al., Hyperfine Interactions, 236(1), 9-18 (2015).

## 7. 謝辞

装置製作に当たって、当初から分子科学研究所技術課と装置開発室のご支援を頂きました。特にイオン源の進行波型減速器の駆動電子回路および誘電障壁放電用の高周波高圧電源の設計・製作に当たって、電子機器開発技術班にご支援頂きました。気相イオンの NMR 分光法の研究開発を実現させて頂きました、分子科学研究所に深く感謝致します。

## 3D プリンター—分子模型 思わぬ嬉しい効果

分子科学研究所 研究力強化戦略室 原田 美幸

## 1. はじめに

分子研の広報室では年数回、一般の方向けの展示会に出展しています。分子研の紹介はとても難しく、“分子”という言葉が一般の方にはハードルが高いため、例年、ダイヤモンドや水等身近な分子模型、水の動画（水が凍る、水がとける、<https://www.ims.ac.jp/public/vlibrary.html> よりご覧いただけます）等を展示しています。毎回、両者ともなかなか好評で、分子模型に関しては、手に取ってみたい、写真を撮ったりする方もいれば、時には「どこで買えるのですか？」と聞いてくる方もいらっしゃいます。

好評と言ってもマンネリ感もあります。そろそろ新しい展示品が欲しいなあと考えていた時、正岡先生が講演される展示会に出展することになりました。正岡先生は金属錯体の触媒を研究されているのですが、その触媒の模型があれば正岡先生の研究を説明しやすいのでは？と思い、装置開発室の3Dプリンターで作っていただくことにしました。3Dプリンターの分子模型が1つでは寂しいので、装置開発室が以前作成したATP酵素模型を拝借し、2つ展示することになりました。

身近でない模型を展示してどうなるか？！ わくわくの試みでした。



11/27に開催された大学共同利用機関シンポジウムの展示風景  
会場：秋葉原 対象：一般の方 参加人数：732名

## 2. 思わぬ効果

11月に開催された大学共同利用機関シンポジウムで展示を試みました。このシンポジウムは、一般向けのシンポジウムで会場も秋葉原駅に直結し、ぷらっと誰でも立ち寄れるようになっているので、老若男女、様々な方が展示会場に来てくださいました。実際展示してみたところ、なじみのない分子模型に少し遠めから見る方が多かったのですが、「3Dプリンターで作ったんですよ」とお伝えすると「そうなんですかー。」と急に身近に感じてくださり、そこから模型を使って錯体の紹介をスムーズに行うことができました。“3Dプリンター”の言葉で分子模型に興味を持っていただき、分子研の研究を紹介することが出来たのです！そして、やはり模型を使っただけの説明は、とてもやりやすかったです。

3Dプリンターの知識がある方は、じっくり観察したり、写真を撮られる方もちらほらみられました。

また、熱心に分子模型を見ていた中学3年生の男子は、ATP酵素模型にも大変興味を持ってくれたのですが、私の勉強不足で説明がうまく出来ず……。ちょうどその模型を見ていた東大薬科出身の見学者（この方はATP酵素のモデルに感動していました）



12/27に開催された科学三昧での展示風景  
会場：岡崎市  
対象：愛知県内のSSH（スーパーサイエンスハイスクール）の高校生  
参加人数：842名

が中学生に大変丁寧に説明をしてくださり、そこから様々な分子や分子の測定方法まで話が広がりました。中学生の男子は研究に興味があるようで（知識は豊富でした！）、将来は研究者になりたいそうです。別れ際には「一般公開に行きたいなあ」とクールに言って下さいました。

次に12月に開催された『科学三昧』で展示を行いました。『科学三昧』は愛知県内のSSHの高校生が成果発表を行う会で毎年12月に分子研の隣にある岡崎コンファレンスセンターで行われます。展示会場も設けられ、分子研の他に県内の大学や企業も展示を行います。毎回、理科好きの学生が集まるだけあって、分子模型には興味を持ってくださいますが、3Dプリンター模型を初展示したところ、ATP酵素模型に女子学生がぐらいついたのです！「わ～、これがATP酵素なんだ～。すごい～」みたいな会話を楽しそうにしているではないですか！そして、そのような生徒が続々いたのです。高校の先生にお伺いしところ、「ちょうど習っている生徒が多いんですよ。教科書では写真だけだから立体で見られるのはとても嬉しいです。」とのこと。学校教材としては、3Dプリンターは大いに役立つことを実感した展示会でした。



ATP 酵素模型をじっくり見る高校生@科学三昧

### 3.3Dプリンター分子ってすごいかも

展示会を終えての感想は、3Dプリンターは想像以上に身近で、“分子”という難しいワードの敷居を下げてくれるツールとしてとても有効だと感じました。分子研の研究内容を3Dプリンター分子模型にして持ち込めば、一般の方にも分子研の研究紹介につなげていけそうです。研究内容によると思いますが……。

なお、石膏はやはり壊れやすく、運搬中に壊れたり、触りたい方も多いので、展示用には壊れにくい素材のものがよさそうです。

最後に突然のお願いにも快くご対応してくださった正岡先生、中野さんにこの場をかりてお礼申し上げます。

## 申請課題一覧

### 2016年 施設利用申請課題一覧

申込者名	所属	研究課題
銘苅春隆	産業技術総合研究所	超音波ヘッド固定における冷やしばめ構造の複数化効果の検証実験
宇理須恒雄	名古屋大学 未来社会創造機構	神経細胞ネットワークハイスループットスクリーニング装置の開発
宇理須恒雄	名古屋大学 未来社会創造機構	神経細胞ネットワークハイスループットスクリーニング装置の開発

### 2016年 ナノテクノロジープラットフォーム施設利用申請課題一覧

申込者名	所属	研究課題
日野和之	愛知教育大学 教育学部	ガラス流路の作製
宇理須恒雄	名古屋大学 未来社会創造機構	神経細胞ネットワークハイスループットスクリーニング装置用基板製作
古川 貢	新潟大学 研究推進機構	特殊 ESR セルの製作
非公開	民間企業	
羽根田 晃	(株) JP カンファレンス	アスベスト RCF 処理液 JP010 を添加する事による検体の経時変化の観察
非公開	民間企業	
富田拓郎	岡崎統合バイオサイエンスセンター	硬度を変化させた細胞培養用 PDMS チャンバーの作製
非公開	民間企業	
松井公佑	名古屋大学大学院 理学研究科	異方性を有する酸化鉄粒子の顕微 XAFS 計測
宇理須恒雄	名古屋大学 未来社会創造機構	神経細胞ネットワークハイスループットスクリーニング装置用基板製作
佐藤俊之	基礎生物学研究所 生殖細胞研究部門	マイクロ流体培養系を用いたマウス精巣組織ライブイメージング系の確立

### 2016年 ナノテクノロジープラットフォーム協力研究申請課題一覧

申込者名	所属	研究課題
田嶋尚也	東邦大学 理学部	分子性ディラック電子系デバイスの表面評価
猪股智彦	名古屋工業大学大学院	イオン液体を利用した金属錯体修飾電極による水素製造モジュールの開発
水瀬賢太	東京工業大学大学院	荷電粒子断層画像観測装置の開発と最適化
竹延大志	早稲田大学 理工学術院	物性測定用歪み導入機構
古川 貢	新潟大学 研究推進機構	特殊 ESR セルの製作
富永圭介	神戸大学 分子フォトサイエンス研究センター	サブテラヘルツ遠赤外対応温度可変用液体セル
中村雅一	奈良先端科学技術大学院大学	原子間力顕微鏡用温度勾配印加ホルダの開発

## 卓上型 CNC フライス盤について

青山 正樹

近年3Dプリンターをはじめ、レーザーカッターや切削加工機など、さまざまなタイプの卓上サイズの加工機が普及し、だれもが手軽に「ものづくり」ができるようになってきています。装置開発室で所有する卓上型 NC フライス盤も 100 mm × 100 mm までの大きさに限られますが、ジグや部品などを簡単に製作することができます。今回はこの卓上 NC フライス盤を使って、どれくらいの精度で加工できるのか？どんな操作方法でどのようなものが作れるのか？について紹介します。

加工精度を確認するために、アルミ板に一定間隔で溝加工を行い、測定顕微鏡で溝間隔を測定しました。図 1 に一方向に動作させて位置決めを行った時の加工誤差を、図 2 にプラス方向、マイナス方向を交互に繰り返して位置決めした時の加工誤差を示します。一方向の位置決めによる加工では、最大 50 mm の移動量で 60 $\mu$ m の誤差が生じ、両方向に交互に動かしたときは、最大 25 mm の移動量で 35 $\mu$ m の加工誤差が生じました。バックラッシュによる誤差が生じる両方向の移動においても誤差の大きな乱れもなく許容精度  $\pm 0.1$  mm 以下の製品加工に十分対応できそうです。

次に操作方法ですが、この機械を使って加工するためには、作りたい部品の 3D 形状データと、その形状を削り出していく工具経路が書かれたプログラムファイル (G コード) が必要になります。これには AUTODESK 社が無償で提供している FUSION360 という 3DCAD/CAM ソフトを使用しました。FUSION360 で 3D 図を描いて、工具送り速度、切り込み量などの加工条件を設定すれば、最適な加工経路の G コードを自動的に生成してくれます (図 3)。あとは加工機の制御ソフトに G コードを読み込み、工具を主轴にセットして加工開始位置を加工機に教えれば、数時間後には加工が完了します。製作例を図 4 に示します。

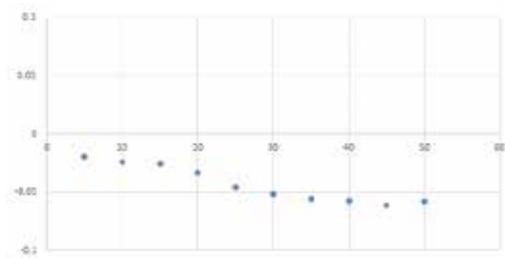


図 1 一方向位置決め加工誤差

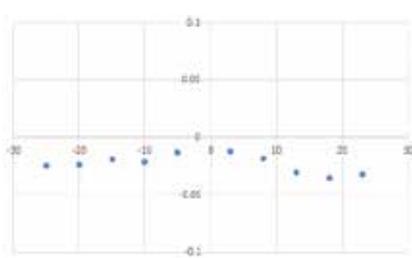


図 2 両方向位置決め加工誤差

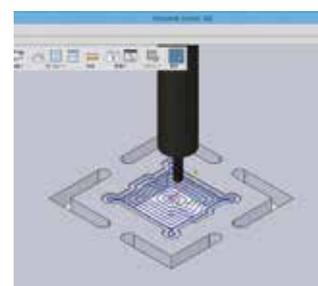
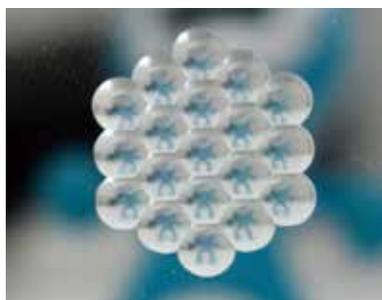
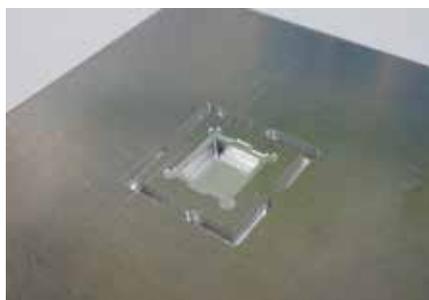


図 3 FUSION360 の加工経路作成画面



レンズアレイ形状  
(材質アクリル)



サンプルホルダ  
(材質アルミ)



基板スタンド  
(材質テフロン)

図 4 製作例

## アルミ製角型真空チャンバーの製作

水谷 伸雄

### 1. はじめに

私たちの身の回りや、通信産業、生産現場などにおいてレーザーを用いた機器は数多く存在し、それらの性能には日々改良が加えられている。このことは、実験研究分野においても例外ではなく、レーザー光の高効率化、高出力化はもとより、波としての光の本質を追求する研究も進められている。

### 2. 製作の経緯

今回製作したアルミ製角型真空チャンバー（以下、真空チャンバー）は、レーザーセンター、藤貴夫准教授より依頼を受けた。研究内容の詳細を報告することは出来ないが、波長  $2\mu\text{m}$  のフェムト秒パルスレーザーの増倍実験を目的として製作した。波長  $2\mu\text{m}$  の光は、水に吸収されるため大気中の水分（水蒸気）は大敵であり、空調管理された実験室と言えども、その影響は大きい。

これまでも、光学アライメント済みのレーザー実験システムに図 1 に示すようなアクリル製の覆いをかぶせ、空気と窒素ガスを置換（窒素パージ）させることで、観測精度を向上させる手法が取られていたが、今回は、さらなる観測精度の向上を目指し、主要な光学系を真空チャンバー内に配置することで、水分を完全にシャットアウトすることを試みた。



図 1：窒素パージボックスの例  
(920W × 380D × 188H, 天板 10t, 側板 5t)

### 3. 製作にあたり

ここで問題視されたのは、大気圧の影響である。窒素パージボックスを用いた場合には、窒素パージの前後で光学アライメントに悪影響を及ぼすことは無い。しかし、真空チャンバーの場合は、光学アライメント後にチャンバーを真空引きする必要があり、この時、光学素子が真空チャンバーの底面や側面に直接配置されていた場合には、大気圧によるチャンバーの僅かな変形でも光学アライメントに悪影響を及ぼす。

そこで今回は、光学素子はいっさい真空チャンバーには直接配置せず、チャンバーから独立したブレッドボード上に配置することにした。

図 2 に示すように、ブレッドボードは、ペDESTALピラーを介し基礎となる光学定盤に固定してある。このように、真空チャンバーから光学素子を独立させることで、大気圧による悪影響を回避した。ペDESTALピラーと真空チャンバーの間には、太い（断面積の大きい）Oリングを配置することで真空を保ちつつ、その弾力性を生かして、大気圧による真空チャンバーの変形も吸収している。

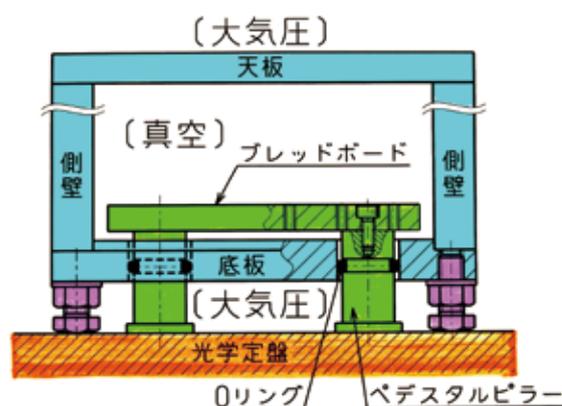


図 2：ペDESTALピラー配置模式図

### 4. チャンバー構成

光学系全体を 1 つの真空チャンバーに納めるには、大気圧による真空チャンバーの変形を少なくするために天板、側壁、底板の厚みを増す必要があり重量も増加する。また、工作機械の加工範囲にも制限があるので、図 3 に示すように大小 2 つの真空チャンバー（幅 410 mm × 奥行 370 mm × 高 215 mm）（幅 220 mm × 奥行 370 mm × 高 215 mm）を真空配管（長さ 430 mm）でつなぐ構造にした。図 4 に製作したチャンバー部品を示す。

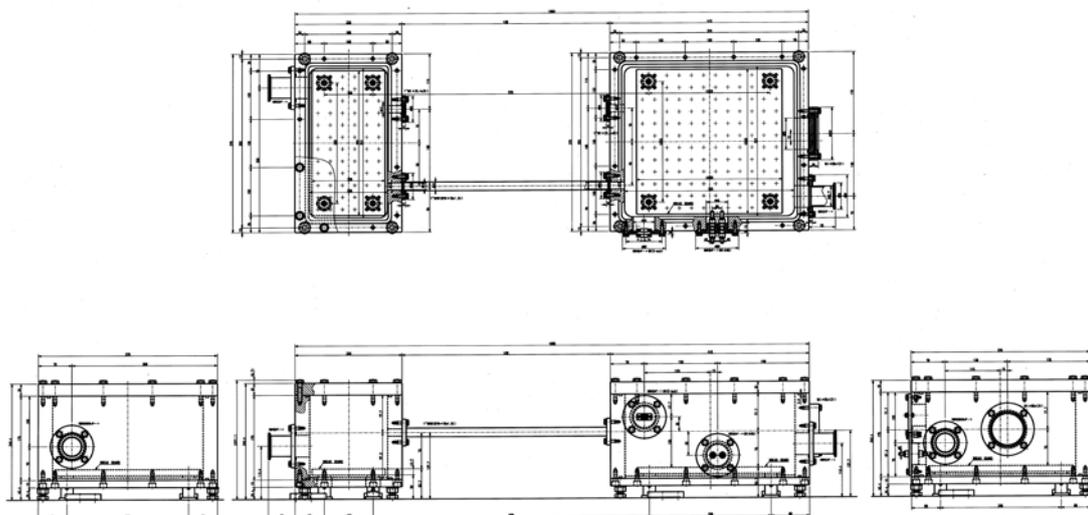


図 3 : アルミ製角型真空チャンバー構成図

それぞれの真空チャンバーには、排気ポート、冷却水入出ポート、光入出射ポートなどが設けられ、天板には透明アクリル板を使用した。組立後の大きさは、幅 1170mm × 奥行 370mm × 高 247mm となった。

図 5 に民間企業で長年培って来た経験と高度な加工技術を持つ澤田技術支援員がチャンバーを加工している様子を示す。また、図 6 にアルミ材料の削り出しの様子と、図 7 に、実験室での光学アライメントの様子を示す。



図 4 : 製作したチャンバー部品の一部



図 5 : NC 加工中の澤田技術支援員



図 6 : アルミ材料の削り出し



図 7 : 実験室での光学アライメント風景

## 5. 終わりに

現在、真空引きによる光学アライメントの不具合はないと報告を受けている。今後の実験結果に期待すると共に、実験室での写真撮影を快諾して頂いた藤先生に感謝します。

## 分光実験用レーザーを用いたレーザー加工への取り組み（2）

矢野 隆行

### 1. はじめに

装置開発室在籍中から所長奨励研究費の援助を受けて行ってきた分光実験用レーザーを用いたレーザー加工も少しずつ加工実績を積んで、研究所内外の試作依頼を受ける段階になってきている。今回は、最近の加工事例を中心に報告する。

### 2. 従来のレーザー加工機

改めて現在加工に使用しているレーザー加工機の概略を図1に、加工機の基本性能を表1に示す。レーザー光を一旦上に跳ね上げ、上から打ち下ろしてレンズで集光し試料に照射している。これが三号機になるが、過去の二台は、安全面を第一にしていたため、水平方向に照射する形式をとっていた。しかし、縦方向に被加工物を精度よく設置するのが難しい、作業性が悪いなどの問題があり現在の方式に変更した。なお、安全面に関してはレーザー光路を全面覆うことで対応している。

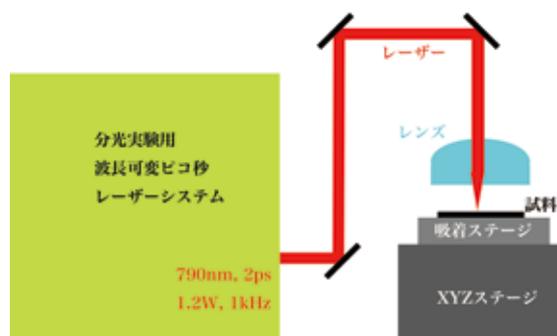


図1：レーザー加工機の概略

次に吸着ステージの表面にセラミックス製のポーラスチャックを使用しているので、薄膜材料の加工が可能である。ポーラスチャックに使用しているセラミックスの種類は、事前に何種類かのサンプルを取り寄せ、使用しているピコ秒レーザーの最大出力で加工しても損傷のないものを選択した。

操作は手動も可能であるが、基本的にはコンピュータによる自動制御で操作を行い、装置開発室に設備されている他の自動機と同じようにNC言語を用いることで描画加工などが可能である。

表1：加工機の基本性能

波長	790nm
最大出力	1.2W
繰り返し	1kHz
パルス幅	2ps
加工範囲（幅×奥行）	25×25mm
最大積載可能寸法	60×60mm
最大加工速度	30mm/sec

### 3. 改良型レーザー加工機

より清浄な加工面を実現するための対策として、ビームの照射痕を真円に近づける方法をとった。そのためにスペシャルフィルタ<sup>1</sup>を導入し、テスト加工を行ったところ、ビームプロファイル<sup>2</sup>が以前よりもきれいな円形状になることを確認した。導入前と導入後のビームプロファイル画像とステンレス（厚さ10μm）への穴加工の結果を図2～5に示す。

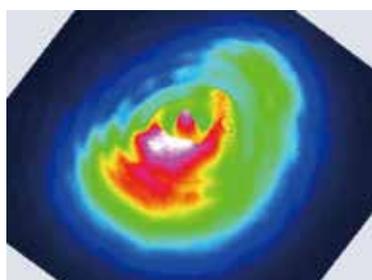


図2：ビームプロファイル画像（スペシャルフィルタ導入前）

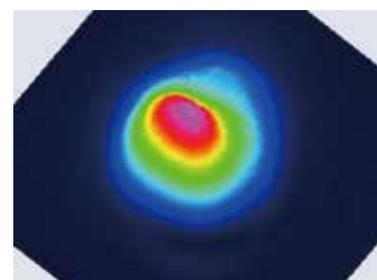


図3：ビームプロファイル画像（スペシャルフィルタ導入後）

<sup>1</sup>スペシャルフィルタはレンズとピンホールで構成されており、一度崩れてしまったビーム波面から崩れた波面成分だけを取り除き、きれいな球面波を得ることができる装置。

<sup>2</sup>ビームプロファイルはレーザーのビーム径や空間的な強度分布を測定したものの。



図4：SEM画像  
(スペシャルフィルタ導入前)

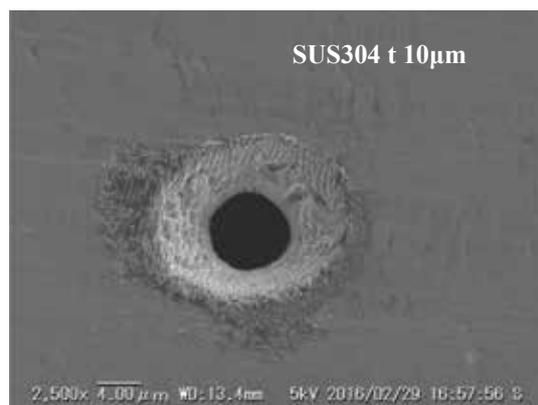


図5：SEM画像  
(スペシャルフィルタ導入後)

#### 4. 改良型レーザー加工機による加工例

ビームの径や強度分布を見直したことにより、非金属への加工が安定してできるようになってきている。ここでは、現在までに行った非金属材料への加工例を示す。図6は石英ガラス（厚さ500 $\mu\text{m}$ ）へエネルギー700 $\mu\text{J}/\text{pulse}$ 、露光時間4秒以下で加工したものである。貫通穴の直径はおおよそ30 $\mu\text{m}$ である。図7は厚さ1mmのPDMSをレーザーで切断加工したものである。通常、刃物で切断すると切り口が潰れしまいきれいな側面は得られないが、レーザーで切断した場合、潰れることなく切断することが可能であった。

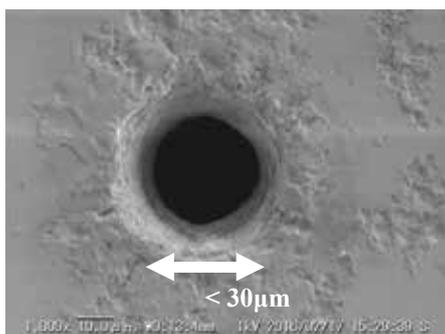


図6：石英ガラス加工

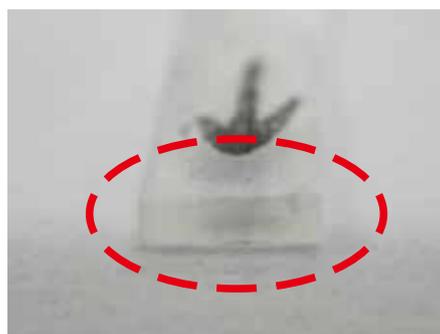


図7：PDMS切断加工

#### 5. まとめと今後の展開

今回スペシャルフィルタを導入することで、ビームのプロファイルが円形になり、改良する前よりもエネルギーを効率良く使って加工することができるようになった。その結果として、非金属への加工も熱によって焼きただれることなく、加工できる事が確認できた。

ここで紹介した加工以外にも、テフロン切断加工やホウケイ酸ガラスへの溝加工等を行っており、良好な結果を得ている。

さらに現在、ポリイミド樹脂の切断・穴加工や、ポリスチレンの切断加工のテストを行っている。今後の目標として、これらの材料に構造体を成形するような加工を行いたいと考えている。

最後にレーザー加工を一緒に行っていたいただいた機器センターの上田技術職員に謹んでお礼申し上げます。

## 3D プリンタを活用した設計製作

近藤 聖彦

所外から極薄の有機単結晶を張り合わせたアクリル樹脂基板（以後、アクリル板と呼ぶ）を曲げ、有機単結晶に圧縮歪と引張歪を印加する装置の製作依頼を受けた。この装置により、分子間距離を自在に変化させ、有機材料の発光特性および熱電特性制御が実現できる。

図1に有機単結晶曲げ装置の3D図を示す。この装置の設計段階で、熱溶解積層方式の3Dプリンタを使用して構成部品を造形し、図2に示すように樹脂製の造形部品と購入した部品を使用して試作模型を製作した。この模型を利用して、アクリル板の曲がる様子、引張バネの引張力など、ディスプレイ上では判断が難しい部分について確認を行うことができ、設計の変更点を簡単に発見することができた。また、依頼者との打合せ時に模型を使用して、アクリル板が曲がる仕組みを動作させて説明するなど、図面上では説明が難しい細かい部分の立体構造についても簡単に説明ができ、依頼者が設計内容を理解するのに役立った。

従来の試作模型の構成部品は、旋盤、フライス盤などを使用して金属に加工を行い製作していた。この方法と3Dプリンタを使用して部品造形する方法を比較すると、3Dプリンタは、(1) 無人での造形が可能のため、夜間に部品造形を行うことが可能、(2) 金属加工であれば、機械を使い分けて加工する複雑な形状部品においても、単一工程で造形が可能、(3) 造形エリア内であれば、異形状の部品を数点ならべて一度に造形することが可能といった特徴を有することから、今後は3Dプリンタを活用した設計が有効であると考えられる。

しかし、所有している3Dプリンタは造形精度、表面粗さなどが金属の加工部品よりも低下するため、例えば表面粗さRa1.6以下が必要な部品は金属加工品を使用するなど、依頼者の用途を理解し金属と樹脂の部品を使い分けて試作模型の製作を行う必要がある。



図1 有機単結晶曲げ装置の3D図



図2 3Dプリンタで製作した試作模型

## フォトリソグラフィによる段差溝の製作

高田 紀子

### 1. はじめに

光分子科学研究領域 成島助教から依頼を受けて、ガラス基板上に深さの異なる段差溝構造をフォトリソグラフィ（以下、リソグラフィ）で製作した。

これは、溶液と表面の化学反応を評価するために使用するものである。微小な流路構造であっても、流路の高さが高すぎると化学反応に寄与できる分子の数（割合）が減ってしまうため、効率的に表面領域における化学反応を誘起することができない。本構造では、反応領域における流路構造の高さを制限することにより、反応の効率を改善することを目的としている。

リソグラフィでは、基板上に感光性樹脂であるフォトリソレジスト（以下、レジスト）を薄く塗布し、そこへ目的のパターン形状を描くように光を照射（露光）することで、基板上にパターンを製作する（図1）。その後、スパッタなどの成膜と組み合わせることで金属薄膜のパターンを製作したり、基板の一部を除去するエッチングの工程により基板上に直接溝を加工したりする。一度の工程でできる高低差は基本的に一定で、レジストや金属薄膜の厚さ、またはエッチングの深さがパターンの高低差に相当する。これまでは一定の深さをもつマイクロ流路や溝構造、金属薄膜による電極やスリット構造の製作が多かったが、今回初めて段差溝の製作依頼を受け、試作検討を重ねながら製作を行った。

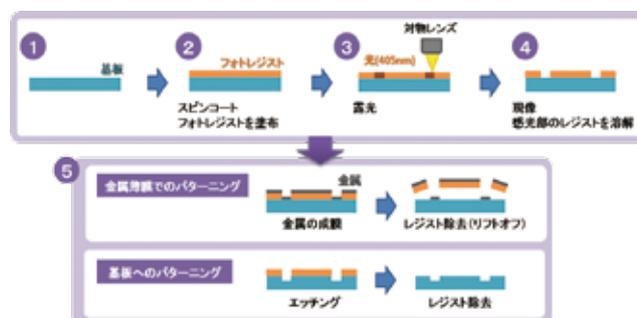


図1：リソグラフィの工程

### 2. 製作工程

製作サンプルの図面を図2に示す（一部省略）。基板は、ホウケイ酸ガラスの一種であるテンパックスガラス基板（70 × 30 × t0.7 (mm)）を使用した。この基板上に、幅 300  $\mu\text{m}$ 、深さ 50  $\mu\text{m}$  の溝構造が数本あり、それぞれの中心部分のみ、1.4 mm の長さで深さ 1  $\mu\text{m}$  の浅い溝構造となっている。

製作工程を図3に示す。深さ 50  $\mu\text{m}$  と 1  $\mu\text{m}$  とで別々に露光とエッチングの工程を繰り返し、段差溝の製作を行った。まず1層目は深さ 50  $\mu\text{m}$  の溝を製作し、そこへ2層目である 1  $\mu\text{m}$  の溝を位置合わせしながら製作する。これまでの経験では、ホウケイ酸ガラス上に 20  $\mu\text{m}$  のエッチングが最大の深さであるため、今回深さ 50  $\mu\text{m}$  のエッチングをするのに適したエッチング液とマスクの選定が必要であった。また、2層目はすでに 50  $\mu\text{m}$  の深さの溝があるところにレジストを塗布するため塗布ムラが懸念されたのと、1層目と2層目との位置合わせが当初の課題であった。

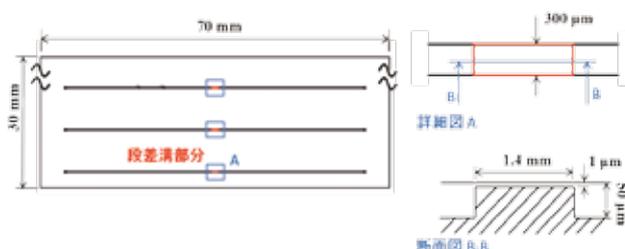


図2：製作サンプルの図面

### 3. エッチング液とマスクの選定

まずは、深さ 50  $\mu\text{m}$  をエッチングするためのエッチング液の選定を行うために、「半導体用 50% フッ化水素酸（森田化学工業）（以下、フッ化水素酸）」と「ホウケイ酸ガラス用エッチング剤クリアタイプ リキッド BOE-CL3N（フロステック）（以下、ホウケイ酸用エッチング液）」の2種類を使って、エッチングレートを確認した。フッ化水素酸はガラスのエッチングで一般的に使用される一般的な溶液のため参考文献も多いが、毒物のため取り扱いに注意を要する。それに対してホウケイ酸用エッチング液は毒劇物でなく、フッ化水素酸と比べて安全に使用できる点の特徴である。エッチングレートの結果を図4に示す。基板にはテスト用として、テンパックスガラス基板（ $20 \times t0.7$  (mm)）を使用した。フッ化水素酸のエッチングレートが 8.1  $\mu\text{m}/\text{min}$ 、ホウケイ酸用エッチング液が 0.15  $\mu\text{m}/\text{min}$  と、エッチングレートに大きく差が見られることが分かった。今回必要な深さが 50  $\mu\text{m}$  と 1  $\mu\text{m}$  であるため、前者にはフッ化水素酸を、後者にはホウケイ酸用エッチング液を使用することにした。

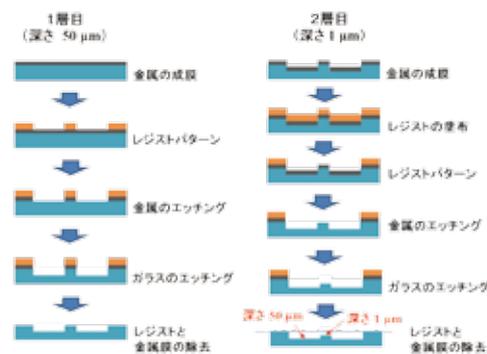


図3：製作工程

フッ化水素酸によるガラスエッチングの文献によると、「エッチング時は緩やかな攪拌が必要」と記載されている<sup>[1]</sup>。その理由には、エッチングで生成した塩の除去やガラス表面で HF 濃度を一定に保つことが挙げられているが、実際どの程度効果があるのか攪拌の有無によるエッチングレートへの影響を調べることにした。攪拌の有無に加え、基板の向き（エッチング面を上向きにして溶液に沈めた状態・エッチング面を下向きにして溶液に浮かせた状態）について調査した。結果を図 5 に示す。「上向きで攪拌なし」、「上向きで攪拌あり」、「下向きで攪拌なし」の 3 通りで比較したところ、若干の差ではあるが、「下向きで攪拌なし」の場合エッチングレートが最も速いことが分かった。攪拌しない分操作性が良く、再現性も高いことが予想されるため、本番の製作では「下向きで攪拌なし」でエッチングを行った。

次にマスクの選定である。エッチングでは、エッチング液に対する腐食や基板への密着性など、エッチングの間十分に耐え得るマスクの選定が必須である。これまでの経験から、ホウケイ酸用エッチング液に対しては、レジスト / Cr の 2 層マスクで十分であった。しかし、同様のマスクだとフッ化水素酸には耐性がないので、参考文献より、レジスト / Au / Cr / Au / Cr の 5 層マスクを試みた<sup>[1]</sup>。Cr は基板への密着性、Au はエッチング液への耐性、レジストはエッチング液からの金属薄膜の保護に寄与するとされている。また、成膜による欠陥の位置を変えるため、1 回目の Au / Cr の成膜後一度基板の位置を変えてから 2 回目の Au / Cr の成膜を行う点もポイントのようである。フッ化水素酸で深さ 50  $\mu\text{m}$  のエッチングをした場合、図 6 に示すように、2 層マスクだとエッチング液に腐食されてしまい結果として基板面に多数の穴が生じるが、5 層マスクではエッチング面がきれいに保護できることが分かった。

#### 4.2 層目の製作

当初懸念していた 2 層目のレジストの塗布ムラに関しては、1 層目である 50  $\mu\text{m}$  の溝にレジストが溜まりやすい傾向が見られたが、露光量を通常の 100 mJ から 160 mJ まで上げることで不要なレジストを除去することができた。また、1 層目と 2 層目の位置合わせに関しては、使用しているマスク露光装置「DL-1000 (ナノシステムソリューションズ)」に付属の位置合わせ機能を使って問題なく行うことができた。

これらの検討結果を考慮して製作した段差溝構造の三次元プロフィールを図 7 に示す。

#### 5. おわりに

製作した段差溝構造付ガラス基板は、今後ガラスとの接合によりフタをした後、溶液を流して実験に使用される予定である。今回の製作を経て、ガラスへの深さ 50  $\mu\text{m}$  の深彫りエッチングや段差溝の製作技術を習得することができ、リソグラフィによる製作の幅が広がった。今後は、寸法精度の向上やエッジ部分のシャープさなど、より正確なものを作ることと、不要な工程を見直すことでよりシンプルな製作方法を確立したい。

#### 6. 参考・引用文献

[1] Minqiang Bu, Tracy Melvin, Graham J. Ensell, James S. Wilkinson, Alan G.R. Evans, “A new masking technology for deep glass etching and its microfluidic application”, Sensors and Actuators A 115, p476-482, 2004

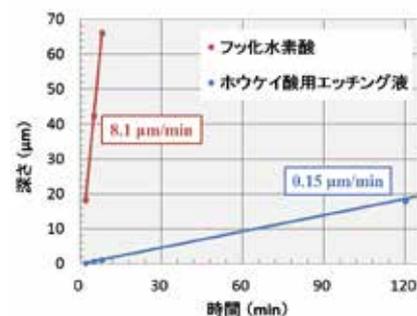


図 4：フッ化水素酸とホウケイ酸用エッチング液のエッチングレート

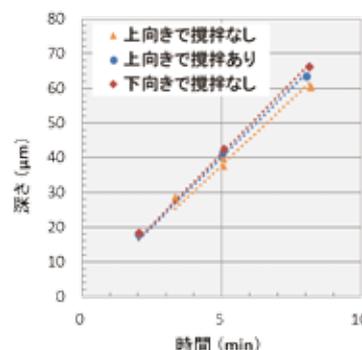


図 5：基板の向きと攪拌の有無によるエッチングレートへの影響



図 6：2 層マスクと 5 層マスクによるエッチング面への影響

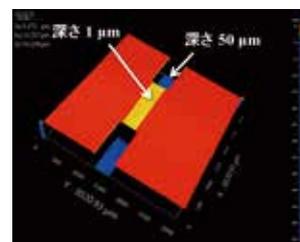


図 7：段差溝構造の三次元プロフィール

## 3D プリンタでタンパク質のリボンモデルを製作

中野 路子

### 1. はじめに

タンパク質はアミノ酸が複数つながって出来ており、アミノ酸の鎖が3次元の立体構造を取ることによって、機能を発現する分子である。そのため、タンパク質の機能の研究に立体構造の理解は欠かせないものであり、立体構造を手にとって見られる3Dモデルの要望は多い。タンパク質の立体構造の表示方法は多数あるが、主鎖の2次構造である $\alpha$ ヘリックス、 $\beta$ シート、ループがどのように並んでいるのかをリボンで表示したモデルの模型製作依頼が最も多い。そこで、タンパク質のリボンモデルの具体的な3Dデータの作成方法を報告する。

### 2. リボンモデルの3Dデータ作成方法

タンパク質の分子模型を製作する流れとしては、原子の座標データ→3Dデータ→3Dプリンタの制御コードデータ→3Dプリント、である。原子座標のデータであるpdbファイルを3Dプリンタで使用できるファイル形式の3Dデータへの変換が必須であり、そのために2つのソフトウェアを使用している。1つ目はpdbファイルを開くことが出来、かつ3Dプリンタ用のSTLファイルまたはVRMLファイルに変換できる分子のViewerソフトである。3Dプリンタでは、三角形の集合体で表現されるSTLファイル(.stl)が最も一般的で、色情報を持ったデータ形式としてはポリゴンの集合体で表現されるVRMLファイル(.wrl)がよく使用される。最近ではViewerソフトも3Dプリンタに対応して、STLやVRML形式に直接変換できるものも増えているが、タンパク質のような複雑な形状のデータを完璧に変換することは容易ではないようで、変換されたデータは一見問題なく見えるものの、実際は3Dプリンタ用のデータとしては欠陥だらけのデータとなってしまう、そのままではプリントすることが出来ない。そこで2つ目として、それらの欠陥を修正・編集するソフトウェアが必要となる。タンパク質の3Dデータ作成にはこのような2つのソフトウェアが必要であり、私たちが現在使用しているPyMOLとMagicsを使用したデータ作成方法を以下詳細に示す。例として76個のアミノ酸から成るタンパク質：ユビキチンのpdbファイル(ID:lubi)をタンパク質の構造データベースからダウンロードして使用した。

#### ● Viewerソフトウェア：PyMOL

PyMOLはオープンソースの生体分子可視化ソフトウェアである。具体的な作業の流れを図1に示す。タンパク質の原子座標のデータであるpdbファイルを開くと、水分子を含めたすべての原子がlineモデルで表示されるので、まずはリボン表示に変更する。次にデフォルトの設定のままではリボンが薄すぎて、3Dプリンタで造形するのは難しく、強度的にも問題になるため、必要な太さと厚みに変更する。必要な太さと厚みはプリンタの種類と作りたい模型の大きさや強度に依存するが、今回は熱溶解積層型のプリンタで造形することを想定し、強度も重視して一番細いところで2mm程度になるように設定した。最後にVRMLファイルとして保存する。

タンパク質分子のViewerソフトにはPyMOL以外にも複数あり、当初はChimeraを使用して模型製作を行っていた。Chimeraでは、 $\beta$ シート間の水素結合や指定した2つのアミノ酸の間に強制的に水素結合を作成できたため、3D造形した際の構造安定化に役立ち、3Dプリント用のデータ作成に向いていた。しかし、Chimeraのリボン表示が他のViewerソフトと異なり、図2に示すようにループ部分の表示がかなり簡略化されていることが問題となったため、PyMOLへ変更した。

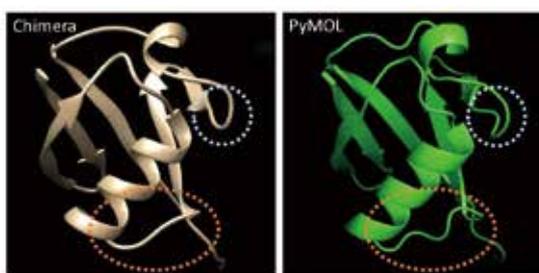
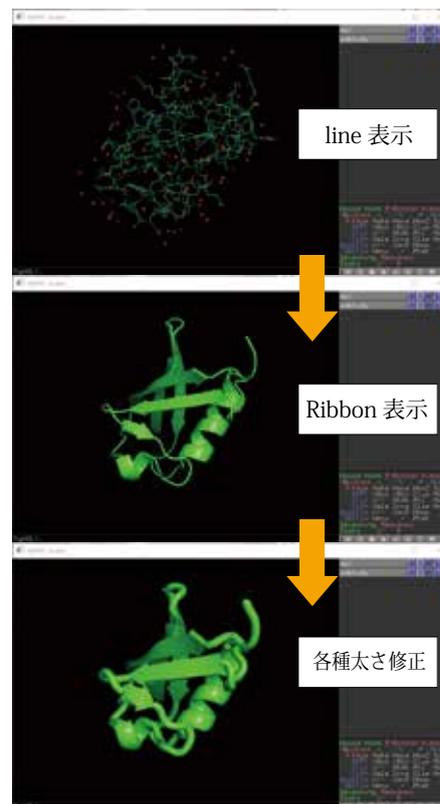


図2：Viewerソフトによる表示の違い(左：Chimera, 右：PyMOL)



```
File → Open
Hide → everything
Show → cartoon
Setting → Edit All
cartoon_loop_radius:0.7 (ループの太さ)
cartoon_loop_cap:2
cartoon_oval_length:1.7 (αヘリックスの幅)
cartoon_oval_width:0.7 (αヘリックスの厚み)
cartoon_rect_length:2.2 (βシートの幅)
cartoon_rect_width:0.7 (βシートの厚み)
Save Image As → VRML2
```

図1：PyMOLでのデータ作成の過程

● 3D データを修正・編集するソフトウェア：Magics

Magics は Materialise 社のソフトウェアで、大変高価な点で誰でも利用できる手軽なソフトではないが、3D プリンタ用のデータ作成に特化した様々な便利な機能を備えている。

PyMOL で作成した VRML ファイルを図3 (a) に示した7つのステップで編集した。ファイルを開くと図3 (b) のような三角形の集合体のファイルに変換されて表示される。まずは造形したい大きさに縮小・拡大する。次にデータのエラーチェックを行うと、49 個のエラーが検出された。隣接する三角形の間に隙間があったり、三角形が重なり合っていたり、不要な三角形があるとエラーとして検出されるが、自動修正機能を使用してこれらの欠陥を修正することが出来る。しかし、欠陥の具合によっては自動修正によって元の形状が変わってしまったり、必要な部分が削除されてしまうこともあるので、確認しながら行う必要があり、そういった場合は手動でデータを修正することもできる。次に造形した際の形状安定化に必要なブリッジを追加する。つなぎたい位置の両端の三角形を削除した後、そこにブリッジとなるような新たな三角形を追加していく (図3 (c))。次の表面形状の編集は見た目の好みになるが、PyMOL では角のある形状の 3D データとなるため、リファイン & スムーズ機能を使って、滑らかな曲線の形状に変更した。これによって④で作成したブリッジもリボン部分と一体感のある形状となる。次に三角数削減機能を使用して造形に必要な精度 (積層ピッチ) を保ちつつ、データ容量を減らした。あまりに大きいデータはその後 3D プリンタの制御コードデータ (G コード) に変換する際に問題となるので、大きなタンパク質の場合には特に有用である。最後に STL 形式に変換して完成である (図3 (d))。

Magics には今回使用した機能以外にも以下のような便利な機能がある。

- ・パーツの中空化ができる
- ・3D モデル同士のブーリアン演算によって形状の足し算や引き算などができる
- ・モデルをカットする際に、はめ合い段差を作製できる
- ・ラッピングという全体を覆うように新しい面を作る機能があり、修復が難しい形状のパーツも 1 クリックでエラーのないデータに変換できる
- ・色情報も併せてインポートでき、色ごとにパーツ分けすることができる
- ・パーツの表面に任意の文字を追加できる

また、フリーのデータ修正ソフトとして NetFabb や、編集ソフトとしては MeshMixer などもあるので、もっと単純な形状のモデルや複雑な編集が必要ない場合には、フリーのソフトで十分である。

3. まとめ

3D データが作成できれば、機種を選ばず世の中のどの 3D プリンタでも印刷可能である。プリントする際の条件設定や造形後の仕上げ作業は 3D プリンタによってもノウハウはいろいろあるが、表現したい形状で欠陥のない 3D データを作成することが最も重要である。タンパク質に限らず様々な模型を製作するためには、ソフトウェアはそれぞれ複数あるので、作製したいモデルに適した変換・編集できるソフトウェアを見つけることが必要と考えている。

今回作成したデータを熱溶融積層型の 3D プリンタで造形中の様子と完成したモデルを図 4 に示す。これまでに作製した模型については製作例 (47 ページ) を参照いただきたい。

最後に、3D データの作成方法やソフトウェア、3D 造形のノウハウについて大変多くの助言をいただきました山形大学の川上勝先生にはこの場を借りてお礼申し上げます。

- (a) ① ファイルのインポート  
 ② スケール変更  
 ③ データの検証・修正  
 ④ ブリッジの追加  
 ⑤ 表面形状の編集  
 ⑥ 三角数削減  
 ⑦ STL データとして保存

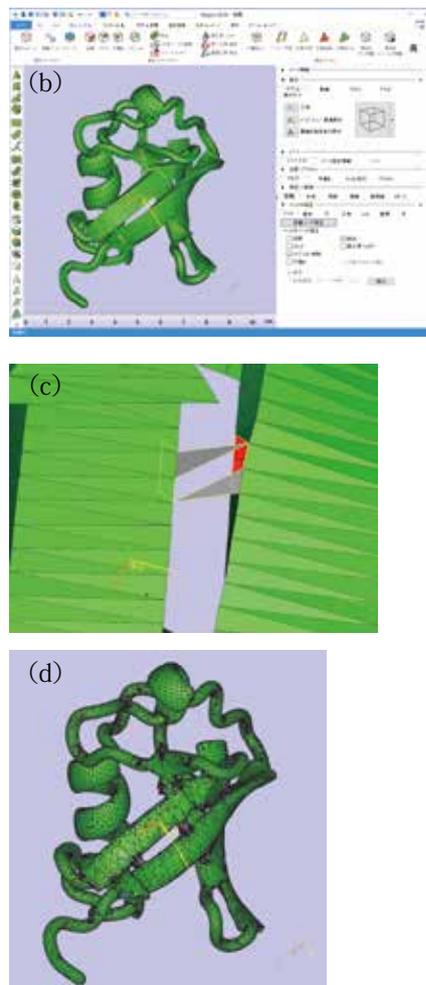


図 3 : Magics でのデータ編集の流れ

- (a) : 手順  
 (b) : 初期データ  
 (c) : ブリッジ追加の様子  
 (d) : 完成したデータ

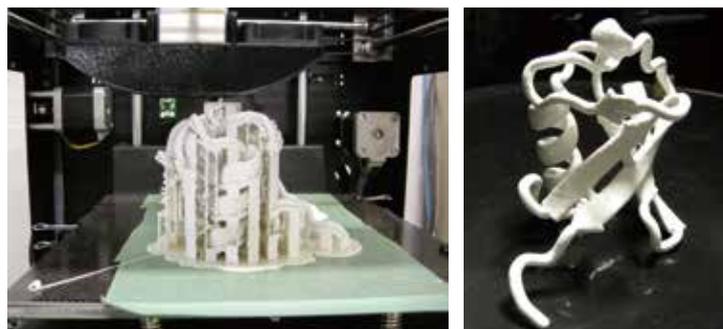


図 4 : 造形中の様子と完成したリボンモデル

## 誘電体バリア放電用 RF パルス電源の製作

吉田 久史

## 1. はじめに

超音速分子線源のイオン化の手法の一つとして、誘電体バリア放電 (Dielectric Barrier Discharge, 以下 DBD と表記) が利用される。DBD は二つの放電電極間に誘電体を挟んだ構造で、電極間に高周波の高電圧を印加することで放電を断続的に起こすガス放電の手法である。挿入した誘電体は、ガス中に起こる絶縁破壊で流れる放電電流を制限し、放電がアーク放電になる前の極短い時間 (数百 nS 程度) で終息する。これにより、DBD はガス分子の温度を低く保つことができるといった特徴を持つ。DBD に必要なパルス電源の仕様として、電圧振幅 : 4kVp-p, RF 周波数 : 約 1.7MHz, RF 出力持続時間 : 約 4.8 $\mu$ S, 外部同期パルス : 10Hz を目標に製作を行った。

## 2. RF パルス電源の構成

図1は製作した DBD 用 RF パルス電源のブロック図である。本装置は、マニュアルまたは外部トリガー信号入力によりロジック・レベル (5V) のパルス列を出力するパルス列発生回路、最大 3kV の高圧回路を開閉する高電圧スイッチ回路、そして巻線間の昇圧および電氣的絶縁を目的とするフェライトコアによるトランスで構成されている。パルス列発生回路は、32MHz で動作するワンチップマイコン (PIC16F1827) で製作した。TTL ゲートで構成したトリガー信号検出回路からの割り込み信号により、割り込み処理で外部信号との同期を取る。そして、割り込み処理ルーチンの中は、パルス周期 : 約 600nS, デューティ : 約 50% のパルス 8 個を連続的に I/O ポートに出力するプログラムを記述した。マイコンを利用することで、パルス幅や周期の制御、パルス数のカウントなどがソフトウェアで制作できるためにハードウェアが大幅に簡略化できる。しかしながら、ハードウェア割り込みを利用することで、割り込み発生からその処理ルーチンに移るまでに 3~5 マシンサイクル (375nS ~ 625nS) の潜在的なディレイが生じる。これは同時に、2 マシンサイクル (250nS) のジッターを生むことにもなるが、今回の応用では特に問題とはならない。

高電圧スイッチ回路は、Behlke 製のトランジスタスイッチ (HTS31-06) を使用した。主な仕様は、最大動作電圧 : 3kV, 最大ピーク電流 : 60A, 連続動作時の最大スイッチング周波数 : 70kHz である。また、バーストモードと呼

ばれるさらに高速なスイッチ動作も可能で、その際には 3.3MHz (但し、連続パルス数  $\leq 10$ ) の周波数で動作する。今回は周波数 : 約 1.7MHz (周期 : 600nS), パルス数 : 8, 繰り返し周波数  $\leq 10$ Hz といった条件のバーストモードで使用している。

RF パルス電源は電圧振幅 : 4kVp-p を目標とするので、最終段は巻き数比 1 : N ( $N \geq 2$ ) のトランスを置いて昇圧することにした。トランスの一次側コイルを高電圧スイッチで励磁し、スイッチの開時に二次側に誘起される高電圧パルスを放電電極に印加する。

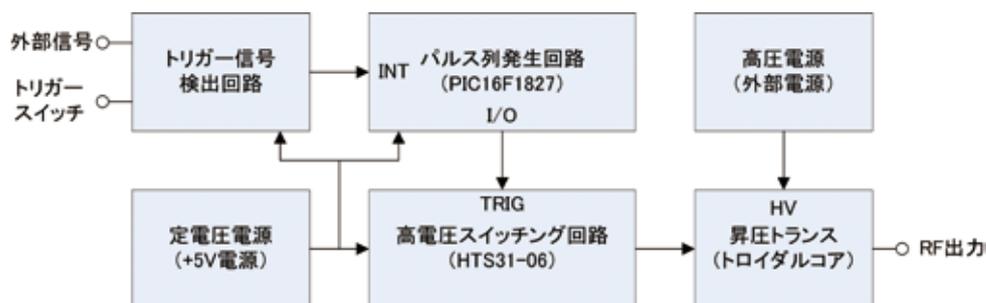


図1. DBD 用 RF パルス電源のブロック図

## 3. 昇圧トランスの試作テスト

高電圧かつ高周波で利用する市販のトランスが見当たらず、またその設計例等の情報も少ないために、手持ちのトロイダルコアで試作することにした。当面の目標としては、励磁電圧 : 2kV, トランスの巻き数比 : 1:2 で設計を行った。フェライトの材質が NiZn あるいは MnZn で、外径  $\geq 50$ mm, 内径  $\geq 30$ mm 程度のトロイダルコア数種類について、一次側に 20 ターン、二次側に 40 ターンの巻線を手巻きした。動作テストは、一次巻線の励磁電流とパルス電圧波形、そして

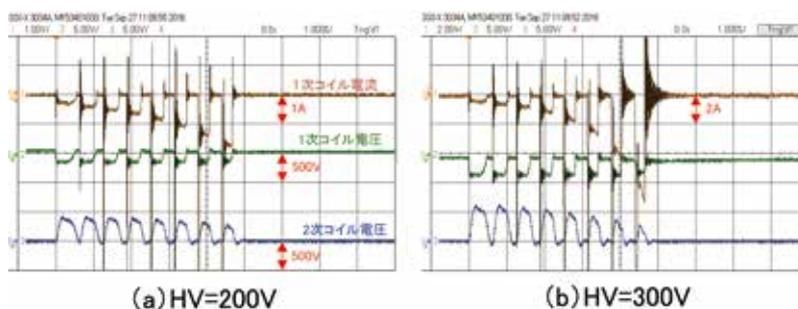


図2. 5943003801 で製作したトランスの応答波形

二次巻線の電圧波形をオシロスコープで観測し、高圧電源の出力電圧を徐々に上げながら励磁電流が急激に増加するところで終了した。これはコアの磁束密度が飽和することによりコイルのインダクタンスが急激に低下する現象で、これ以上はトランスとして機能しなくなる。

テスト結果の一部を図2および図3に示す。前者はトロイダルコアにFair-Rite Products製の5943003801(材質:43材,初透磁率 $\mu_i=800$ , $AL=1075[nH/n^2]$ )を、後者はTDK製のB64290L0082X830(材質:N30材,初透磁率 $\mu_i=4300$ , $AL=8700[nH/n^2]$ )を使用した時のものである。前者は印加電圧

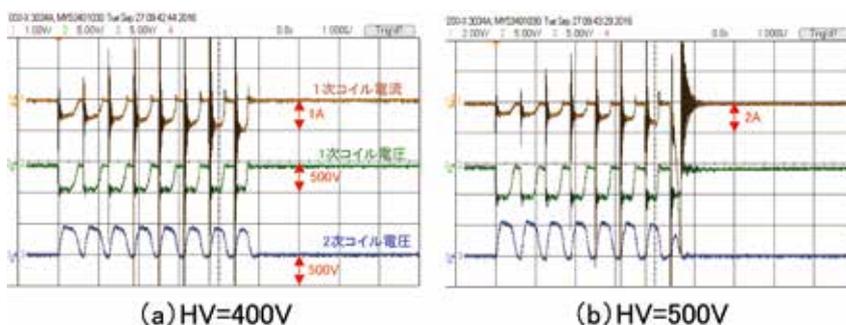


図3. B64290L0082X830で製作したトランスの応答波形

が300Vの時(図2-b)、また後者は500Vの辺り(図3-b)でコイル電流が急激に増加し、二次コイルのパルス電圧が磁気飽和する前に比べ低下しているのが分かる。試作した中では後者のトロイダルコアが一番高い電圧で稼働することが分かり、このコアでさらに高い電圧で動作するトランスの製作方法を工夫した。最終的に2個のトロイダルコアを重ね合わせ、一次側に30ターン、二次側に60ターンの巻線を施したトランスを製作した。図4にその試験結果を示す。印加電圧が2kV時(図4-c)、最後のパルスの所で磁気飽和を起しているのが観測されるが、この辺りまではなんとか使えそうなことが分かった。使用したコアのサイズは、外径:50mm,内径:30mm,高さ20mmである。

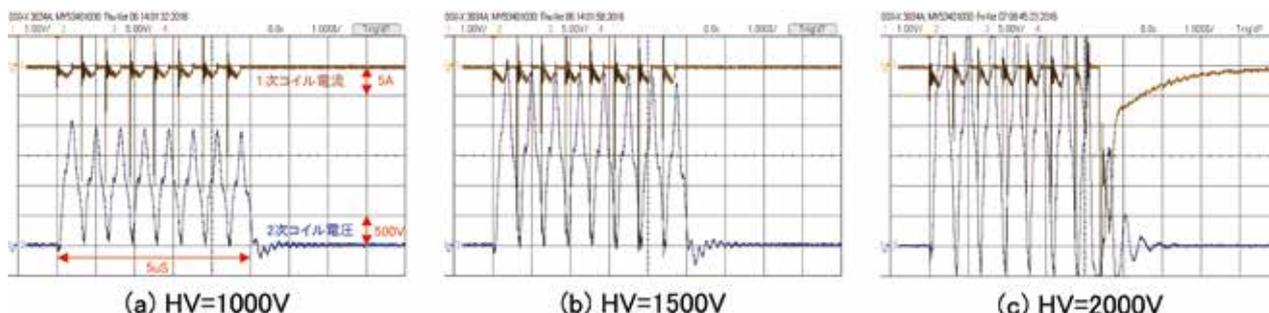


図4. 製作したRFパルス電源の応答波形

#### 4. おわりに

現状の出力振幅は当初の目標まで到達していないが、とりあえずこの状態でDBDの試験を行うことにした。図5に本装置の外観を示す。ブロック図(図1)の高圧電源以外の回路が筐体内に実装されている。また、低電圧ロジックの回路基板は、高電圧スイッチの奥に見えるアルミダイカスト・ボックス(写真中央奥)に実装している。図6はArガスを使ったDBD試験の様子である。DBD用の誘電体を挟む円筒電極は分子線源用の電磁バルブの先端に取り付けられ、写真はそれを真正面から撮影したものである。試験は印加電圧:約1.5kV,繰り返し周波数:10Hzの条件で行った。

トロイダルコアによるトランスは、電圧が高くなるほどコア形状を大きくすることが必要で製作もまた困難となる。一方、スイッチング電源用のフェライトコア(EI型,EER型,など)を用いる場合は、磁路中にギャップを入れることで磁気飽和を抑えることができる。今後はこの種のコアを利用して小型軽量のトランスの設計に挑戦して行きたいと考える。



図5. RFパルス電源の外観



図6. Arガス中の誘電体バリア放電の様子

## Raspberry Pi を用いたネットワーク対応環境センサシステムの開発

豊田 朋範

### 1. はじめに

気温や湿度、気圧や地磁気など、通常環境に起因するノイズが、実験においては正確なデータの取得を阻害する可能性がある。例えば成膜技術の一つである蒸着では、周辺の磁場が蒸着膜の厚みを均一にするのを妨げる。装置開発室では、周辺磁場を測定しつつ、ヘルツホルムコイルで逆ベクトルの磁場を生成して周辺磁場をキャンセルする装置の開発実績がある。<sup>[1]</sup> また、高分解かつ長時間連続測定をする場合、得られたデータが周辺環境による外乱なのか識別が困難である。このような場合、周辺環境の要素を常時測定し、サーバに転送・蓄積しておき、得られたデータと共に解析することで、データの正確性や周辺環境の影響の検証が容易になる。

筆者は、協奏分子システム研究センターの鹿野豊特任准教授と共同で、気温、湿度、気圧、地磁気を常時測定し、LAN 経由でサーバに転送するネットワーク対応の環境センサシステムを開発している。本稿では、これまでの成果について述べる。

### 2. システムの概要

開発中の環境センサシステム(以下「システム」図1)は、Raspberry Pi 3 Model B(以下「ラズパイ3」)と、温湿度、気圧、地磁気の3種類のセンサを搭載したセンサ基板を基本ユニットとする。

ラズパイ3とセンサ基板はI<sup>2</sup>C(Inter IC)で通信を行い、初期設定と測定データの送受信を行う。基本ユニットは、有線/無線LANによってネットワークに接続され、センサ基板で測定した各種環境データは、ネットワークを介してサーバに蓄積される。

ラズパイ3(図2)は、Raspberry Piの第3世代である。<sup>[2]</sup> クレジットカードサイズの基板に、1GBのRAMとGPU(Graphics Processing Unitの略。画像処理装置)を内蔵した4コアARMマイコンBCM2837を中心に、USB 2.0コネクタ×4、10/100 ETHERNETコネクタ×1、HDMIコネクタなどを搭載し、Raspbianなど様々なLinux OSが動作する。

ラズパイ3が他のモデルと大きく異なる点は、無線LANとBluetoothを搭載していることである。システムは屋外での使用も想定しているが、屋外は有線LANのインフラが存在しない或いは十分でない。このような場面では、アクセスポイントがあれば遠距離でも通信できる無線LANは非常に有効である。一方、消費電流が2.5A推奨<sup>[2]</sup>とされており、電源供給には注意を要する。

センサ基板は、温湿度センサにSHT25(Sensirion社)、気圧センサにLPS25HTR(STMicroelectronics社)、地磁気センサにMPU-9250(InvenSense社)を採用してプリント基板を設計した。センサは、それぞれDFN(SHT25)やLGA(LPS25HTR)やQFN(MPU-9250)パッケージで供給され、手作業での実装が不可能なため、外部業者にプリント基板製造と実装を委託した。(図3)

### 3. Python を用いた I<sup>2</sup>C 制御プログラミング

I<sup>2</sup>Cで制御や通信を行うには、これまではマイコンとC言語を用いて来た。今回はRaspberry Piシリーズにおけるプログラミング資料が豊富であることから、Pythonを用いた。PythonはRaspbianに最初から搭載されているため、統合開発環境のインストールなど環境構築の必要はない。

Pythonは、C言語のようにソースをコンパイルしてから実行するのではなく、1行ずつ実行する言語(インタプリタ)である。このため実行速度は比較的遅いが、1行ずつ入力して動作を確認できるため、プログラムの挙動を理解しやすい。

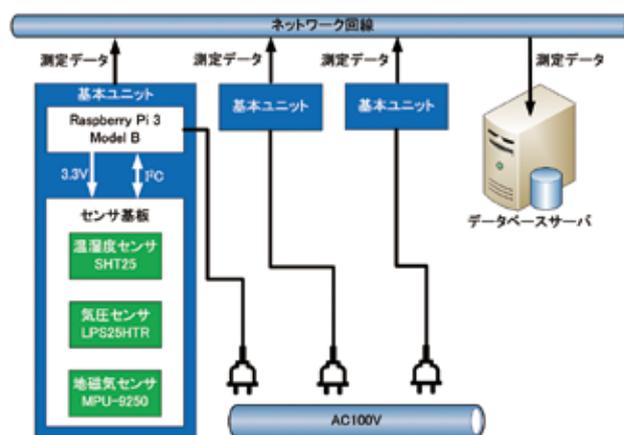


図1：開発中の環境センサネットワークのブロック図



図2：Raspberry Pi 3 Model B

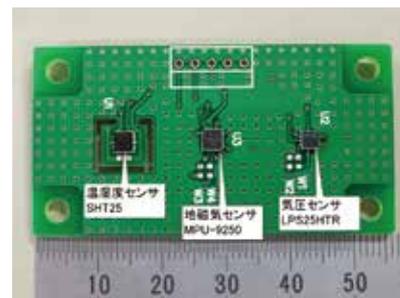


図3：開発したセンサ基板

Python を用いた I<sup>2</sup>C 制御のソースをリスト 1 に示す。今回は Linux 上で動作する Python 用 I<sup>2</sup>C ライブラリである SMBus<sup>[1]</sup> を用いた。

SMBus を用いたセンサの制御は次のように行う。(1) まず SMBus をインポートして、(2) 制御するセンサのデバイスアドレスを指定する。次に (3) 書き込み関数を用いることで、所定のレジスタに 1 バイトの値を書き込み、センサを初期化する。そして (4) 測定結果の入ったレジスタのアドレスを指定して 1 バイトずつ測定データを読み込む。測定結果が 3 バイトのバイナリデータである LPS25HTR と、2 バイトのバイナリデータである MPU-9250 はこの方式で容易に制御できる。

一方、SHT25 は 1 回のデータ転送で不定コード 1 バイト+測定結果 2 バイト+チェックサム 1 バイトの計 4 バイトを読み込む必要がある。<sup>[4]</sup> しかし、SMBus ではバイト数を指定したブロック転送の関数が存在しないため、SHT25 の測定データは読み込めない。この対策として、今回は公開されている SHT21 用のライブラリ<sup>[5]</sup> を使用した。このライブラリは SHT21 用となっているが、仕様がほぼ同一の SHT25 でも問題なく使用できる。

SHT21 用のライブラリを用いるには、(5) まず、ライブラリをインポートする。(6) ライブラリには温度と湿度の測定結果を読み込む専用の関数 `read_temperature` と `read_humidity` が用意されているので、それらを用いて温度や湿度を読み込む。測定結果は関数の中で数値化されているので、表示のフォーマットを与えれば良い。

Raspberry Pi では、SMBus を用いることで、センサの仕様や通信プロトコルを深く理解しなくても容易に I<sup>2</sup>C を使用できるが、I<sup>2</sup>C のブロック転送が必要なセンサを制御するには、個別のライブラリを探すか GPIO (General Purpose I/O) を制御して自らプログラミングする必要がある。一方、マイコン単体では、入出力に必要な関数をすべてプログラミングする必要はあるが、センサの仕様にきめ細かく対応できる。どちらを用いるかは目的や仕様に応じて臨機応変に選択するべきである。

```

1 #! /usr/bin/env python
2
3 import sht21
4 sht25 = sht21.SHT21(1) ← (5)
5 import lps25lib
6 #lps25 = lps25lib.LPS25
7
8 #id = lps25.read_id
9 #print ("Check Result: 32x" % (id))
10
11 import smbus ← (1)
12 i2cbus = smbus.SMBus(1) ← (2)
13 LPS25_ADDRESS = 0x5C ← (2)
14 # Control constants
15 _LPS25_I2C_ADDR = 0x0f # Device ID (fix 0x0f)
16 _LPS25_RES_CONF = 0x10 # Pressure & Temperature internal average
17 _LPS25_FIFO_CTRL = 0x2e # FIFO control
18 _LPS25_CTRL_REG1 = 0x20 # Control register 1
19 _LPS25_CTRL_REG2 = 0x21 # Control register 2
20 _LPS25_PRESSURE = 0x28
21 _LPS25_TEMPERATURE = 0x2b
22
23 #id = i2cbus.read_byte_data(LPS25_ADDRESS, _LPS25_I2C_ADDR)
24 if id != 0x0f:
25     print ("LPS25 I2C Error...")
26 #print ("Check Result: %02x" % id)
27 # Initialization LPS25
28 i2cbus.write_byte_data(LPS25_ADDRESS, _LPS25_RES_CONF, 0x05) ← (3)
29 i2cbus.write_byte_data(LPS25_ADDRESS, _LPS25_FIFO_CTRL, 0xc1)
30 i2cbus.write_byte_data(LPS25_ADDRESS, _LPS25_CTRL_REG2, 0x40)
31 i2cbus.write_byte_data(LPS25_ADDRESS, _LPS25_CTRL_REG1, 0x00)
32
33 if __name__ == '__main__':
34     with sht21.SHT21(1) as sht21:
35         while 1:
36             print "Temperature: %.2f Humidity: %.2f" % (sht25.read_temperature() ← (6),
37 sht25.read_humidity())
38
39     pres_low = i2cbus.read_byte_data(LPS25_ADDRESS, _LPS25_PRESSURE)
40     pres_mid = i2cbus.read_byte_data(LPS25_ADDRESS, _LPS25_PRESSURE + 1)
41     pres_hi = i2cbus.read_byte_data(LPS25_ADDRESS, _LPS25_PRESSURE + 2)
42     pres = (pres_hi * 65536 + pres_mid * 256 + pres_low) / 4096
43     print "Pressure: %.2f" % pres
44

```

リスト 1 : SMBus を用いた I<sup>2</sup>C 制御による  
センサ制御のソースリスト

#### 4. まとめと展望並びに謝辞

ラズパイ 3 とセンサ基板を基本ユニットとするネットワーク対応環境センサシステムを開発中である。現在までに、Python を用いたプログラミングにより、基本ユニットにおける I<sup>2</sup>C 制御と環境データの測定並びに取得を確認できた。複数の測定を NTP (Network Time Protocol) に同期させ、Raspberry Pi シリーズだけでなく様々な機器を容易に接続できるよう、EPICS (Experimental Physics and Industrial Control System)<sup>[6]</sup> ベースにするべく引き続き開発を進める。

本システムは大学や研究機関の研究実験環境に関する情報インフラにもなる。既存の酸素濃度計などを USB 接続できるようにすれば、労働安全衛生にも活用できる。本稿では省略したが、市販の Web カメラを用いて遠隔モニタとすることも出来るため、様々な応用が可能であろう。

Linux におけるソフトウェアの展開とインストール手法は、計算科学技術班の長屋貴量技術職員に指導いただいた。この場を借りて厚く御礼申し上げます。

#### 5. 参考・引用文献

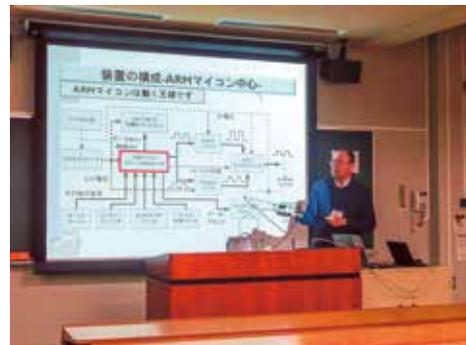
- [1] 吉田久史, “MI センサを用いた磁場キャンセル装置の開発”, Annual Review 2010, p26-27, 2011 など
- [2] RS Components, "Raspberry Pi 3 Data Sheet"
- [3] <https://pypi.python.org/pypi/smbus-cffi/0.5.1>
- [4] SENSIRION, “Datasheet SHT25”, p8
- [5] [https://github.com/jaques/sht21\\_python/blob/master/sht21.py](https://github.com/jaques/sht21_python/blob/master/sht21.py)
- [6] <http://www.aps.anl.gov/epics/index.php>

## 平成 27 年度実験・実習技術研究会 in 西京

豊田 朋範

2016年3月3日～4日に山口大学で開催された平成27年度実験・実習技術研究会 in 西京に参加し、「ARM マイコンを用いたシンプルな TTL パルスジェネレータの開発」なる題目で口頭発表を行った。今回は、ARM マイコンが PWM の周波数とデューティ比を広範囲に設定できることを利用し、大学や研究所の現場においてしばしば必要になる TTL レベルパルスジェネレータをごく小規模の回路構成で開発したことを中心に発表した。

発表ではデモ機とオシロスコープを用いて実際に出力波形を提示し、周波数やデューティを調整する実演を行った。(写真) デモを行いながらの発表は聴講者の強い関心を集め、質疑応答ではロータリーエンコーダによる調整処理のプログラミングをはじめ多数の質問があり、機器の設計情報を求める声も複数出された。今後も教育研究現場の需要を探り、電子回路技術の可能性を広く発信していきたい。



写真：筆者の発表の様子

## 技術課セミナー「3D プリント造形技術の基礎と応用」

中野 路子

平成27年から技術課の3Dプリンタ造形技術育成プロジェクトとして、装置開発室の2名を含む5名のメンバーでタンパク質の3Dプリントに取り組んできました。そのメンバーが中心となり、平成28年3月30日に、「3Dプリンタ造形技術の基礎と応用」というテーマで技術課セミナーを開催しました。タンパク質モデル製作の第一人者である山形大学の川上勝先生をはじめ、4名の方にご講演いただきました。3Dプリンタで何ができるのか、分子模型の製作方法、今後の医療等への応用など、様々な角度から見た3Dプリンタ技術についてお話いただきました。また、先生方が製作されたモデルの展示スペースを設け、柔らかい樹脂モデルや組替えられるペプチドモデルなどを実際に触らせていただくことができ、大変好評でした。3Dプリンタは最近のトピックスでもあり、所内外から多くの方に聴講していただきました。



## 特許出願—緊急警報を用いた防災システム—

豊田 朋範

2013年4月より、千葉寿氏、藤崎聡美氏、古舘守通氏(いずれも岩手大学技術部 理工学系技術部)と共に研究開発を進めてきた「緊急警報を用いた防災システム」が、2016年7月付で特許出願に至った。

本件は地震発生時に発令される緊急地震速報(EEW: Earthquake Early Warning)が放送されるNHK FMラジオ電波を親機で常時監視し、受信すると直ちにあらかじめ認証した任意台数の子機に動作開始を指示する一連のシステムである。子機は親機から動作開始指示を受信すると、TVであれば消えていても自動的に電源を入れてNHKへの自動選局と音量設定、LED照明であればフラッシュ、非常口であればフラッシュと音声案内など、特有の機能を追加する。子機の接続は、ACタップのようにAC電源と制御対象機器(TVやLED照明、非常口など)の間に挿入する形で容易に行え、市販機器をそのまま使用できる。

親機と子機の認証は、両者を物理的に接触させ、赤外線通信により独自フォーマットの認証コードを送受信することで行う。また、通信は安全性の高い暗号化処理であるAES(Advanced Encryption Standards)を用いたZigBee規格で行い、定期的に認証コードを含む通信を行うことで、システムの安全性を高めた。

本件は、岩手大学地域防災研究センターを拠点として研究開発を行い、早期の実用化を目指している。多大なご支援をいただいた堺茂樹元センター長、南正昭現センター長に感謝申し上げます。

## 第 22 回真空ウォーキングコース（真空技術基礎講習会）への参加

木村 幸代

8月31日から3日間、東京都立産業技術研究センターにおいて、日本真空工業会主催の真空技術基礎講習会に中野技術職員と参加しました。この講習会は真空技術の基礎理解を目的としたもので、これから真空技術に携わる方々が中心に参加されていました。1日目は真空、メンテナンス、薄膜、リークをテーマとした座学で、残り2日間はポンプやバルブの分解組立、リークテスト、真空計などの実習を行いました。14の分野に分かれた座学と実習ではそれぞれ専門メーカーの職員が講師として迎えられ、教科書には記載されていない経験に基づいた助言なども聞くことができました。実験装置の操作や製作では広い専門知識が必要となりますが、一度に多くの分野を関連付けて学べたことは、今後の業務に大変役立つと感じています。また、会場である産業技術研究センターは、中小企業支援に向けて研究開発や技術相談などを行う組織で、当室と同様に支援する組織として共通する面もあり、様々な設備や取組に刺激を受け、外部講習の醍醐味を感じることができました。



油回転ポンプの分解・組立実習

## 核融合・加速器分野合同計測ワークショップ

豊田 朋範

2016年10月28日に核融合科学研究所で開催された核融合・加速器分野合同計測ワークショップに参加した。近年、FPGAは大規模化と共に、ARMマイコンを内包するSoC (System On Chip) が台頭し、複雑な演算処理や高機能なインターフェースを1個のFPGAに集約する動きが始まっている。筆者は奇しくも今年度からFPGAとARMマイコンとLinuxの融合技術への挑戦を所長奨励研究課題で打ち出したこともあり、本ワークショップの開催は千載一遇の機会であった。

本ワークショップの参加者は20名ほどで、かなりこじんまりした印象を受けた。しかし、発表内容は実に多岐にわたり、FPGA + LabVIEWで入室管理システムやプラズマ制御システムを構築した事例や、VHDLなどHDL (Hardware Description Language) ではなくC言語の一種であるSystemCでロジック回路を生成した事例など、興味深い報告がなされた。SoC開発の事例では、Linux上に開発環境をも搭載する試みや、FPGAに信号処理やネットワークなど、一部のアナログ回路以外を全て集約し、FPGAのロジック回路更新でシステム全体の更新を図る試みなど、先進的な事例が多数報告された。質疑応答も非常に活発で、情報も交流も密度が濃い貴重な機会であった。

## 第 5 回 微細加工に関する技術サロン会

高田 紀子

11月15、16日の2日間、「第5回 微細加工に関する技術サロン会」を開催した。今年度はリソグラフィに関連した研究、技術にテーマを絞って行ったが、関係者全員が発表、もしくは司会を担当することで、より親密な意見交換ができるよう心がけた。特別講演には、ドライエッチング装置をはじめ半導体等電子部品製造装置の製造・販売メーカーであるサムコ株式会社の中野製品技術部長から、プロセスプラズマ技術の基礎と応用についてご講演いただいた。宇宙航空研究開発機構からは新たに宮地氏が発表くださり、最先端のクリーンルーム設備の内容が印象的だった。分子科学研究所からは私を含め2名が発表を行い、普段抱えている課題や疑問に対して、具体的なアドバイスや情報をいただくことができた。この会で得た情報を忘れないように業務につなげていくと同時に、今後もより活発な技術交流を続けていきたい。

【プログラム】	
特別講演「プロセスプラズマ技術の基礎と応用」	中野 博忠 (サムコ株式会社 製品技術部長)
「Deep-RIEにおけるエッチング側壁の組成分析」	松谷 晃空 (東京工業大学)
「宇宙ナノエレクトロニクスクリーンルームの紹介と宇宙研でのデバイス作製について」	宇宙研でのデバイス作製について
	宇宙研でのデバイス作製について
	宇宙研でのデバイス作製について
「半導体ナノワイヤの作製」	宇宙研でのデバイス作製について
「可視域で低損失なシリコンナイトライド薄膜の作製」	宇宙研でのデバイス作製について
「蒸着用ニッケルマスクの作製」	宇宙研でのデバイス作製について
「測定機の選いによる金属薄膜の厚さ測定検証」	宇宙研でのデバイス作製について
「ウェットエッチングによる製作用例」	宇宙研でのデバイス作製について
「微細加工によるめくれ性制御」	宇宙研でのデバイス作製について
「3Dプリンタによる分子模型の製作」	宇宙研でのデバイス作製について

## JAXA 新工作室の立ち上げに赴いて

宇宙科学研究所 先端工作技術グループ 青山 正樹

平成 28 年 8 月より分子研装置開発室を 1 年間離れ、宇宙航空研究開発機構（JAXA）に新しく設置される新工作室（先端工作技術グループ）立ち上げのため、宇宙科学研究所に来ています。同じく国立天文台から平成 28 年 4 月より期限を限って、先端工作技術グループ長として赴任している岡田則夫氏と 2 人で奮闘中です。（宇宙科学研究所で新工作室立ち上げに至るいきさつなどについては分子研レターズ 75 号の岡田則夫氏の記事をご参照ください。 [https://www.ims.ac.jp/about/publication/bunshi\\_publication.html](https://www.ims.ac.jp/about/publication/bunshi_publication.html)）

平成 28 年 4 月から新たに発足した先端工作技術グループは、学生や職員が実験機器を自ら製作するための汎用機械工作室（写真 1）、電子回路工作室および部品ストックルーム（写真 2）、半導体製造技術によりデバイス開発を行うクリーンルーム（写真 3）、そして今回新たに設置される高度な加工および機器設計支援を行う新工作室（写真 4）で構成されています。新工作室の 2 名を含めて現在 7 名で活動しています。

私が赴任した 8 月には、新しく工作室となる実験室の床補強工事やクレーン設置などインフラ改修工事が急ピッチで行われていました。最近の工作機械は加減速が大きく、その反動をしっかり支える床が必要で、それが加工精度に大きく影響します。そこにかかなりの予算をつぎ込んでの改修作業で、本気で高度な工作室を作ろうという姿勢がうかがえました。



写真 1：従来からある汎用機工作室



写真 2：電子回路工作室および回路部品ストックルーム

9 月からは、JAXA 内への新グループの説明とニーズの把握のために、つくば、調布、角田などの事業所に向きました。そこではちょっとした改良や技術相談する身近な工作室がないため苦労が多く、当グループへの大きな期待を感じました。しかしここで必要な実験機器は専門性が高く、これまで経験したことのないような高いレベルの見識や技術が必要であり、期待に応えていくためにはかなり厳しい取り組みになるという印象を受けました。

10 月に入ると毎週のように工作機械が搬入され、交通規制など所内ルールに付随する慣れない手続きや、他の施設や工事業者との調整、また新たに入った機械のとりあつかい操作説明の受講やらで急に忙しくなってきました。そのうえ気の早い学生や研究者は技術相談や製作依頼を持ち込むようになり、オープンしたら一番に対応してくださいと予約されていかれる方も見えました。

12 月に入っても、5 軸マシニングセンタをはじめ、その他の付属機器の入札や一部残っていたインフラ改修の契約などの立ち上げ準備が続いていますが、事前の触れ込みでは 12 月から新工作室オープンとなっていたこともあり、他の事業所からの依頼も舞い込んできて、忙しさに拍車がかかるようになってきました。しかし導入された最新の工作機械をトレーニングスクール受講なしで、すぐに使いこなすのは至難の業ですが、そんな言い訳は通用しません。夜遅くまで分厚いマニュアルを見ながらの対応が続きました。天文台、分子研から来た JAXA にとっては助っ人外国人選手の我々は、すぐにゴールを決めなければいけません、結果を求められるので 2 人とも必死です。天文台、分子研の技術者はこんなものかと思われかねません。



写真 3：デバイス開発を行う  
ナノエレクトリックルーム



写真 4：整備中の新工作室

今後、新工作室がユーザーに受け入られて軌道に乗せて行くことができるか、この先を引き継いでいく方々のためにも足元を整えるとても重要な時期です。宇宙研新工作室は、構想段階からかつてない非常に高いレベルの工作室を目指し、検討を重ね「コンセプト」を作り上げて来ました。そこに到達するには地道な専門技術の積み重ねや技術者の教育など、長い月日をかけて作り上げていく必要があります。その中で我々の仕事は、立ち上げの段階においてしっかりとその方向に向けたインフラ整備およびユーザーから信頼される工作室運営、依頼業務対応など、次のステップへの土台作りだと思っています。まだしばらくの間 2 人で奮闘の毎日が続きます。

これまで多くの研究成果を支えてきた有数の研究機関の工作室が、業務の効率化や人員削減などにより風前の灯火、あるいは閉鎖された、という話をここ数年よく耳にします。そのたびに実験研究を支える工作室のあり方について、深く考えさせられるようになっていました。また、そこで汗を流している機械技術者のことを思うと心が痛む思いでした。その中でやはり大事なことは、技術者の教育と日々進歩変化する技術への対応だと思っています。基盤となる技術をしっかりと継承し、かつ高度化させること。従来の技術にとらわれずトレンドにあった技術を先取りし、自主的に取り入れていく柔軟な対応。このようなことは、岡田、青山が経験してきた名古屋大、分子研装置開発室が心がけてきた考えです。

宇宙研工作室も年々縮小化され、非常勤職員が 2 名で対応しているだけでしたが、奇跡的に工作室の再建・高度化という方向が打ち出されました。さらに、ここを中心として技術者の交流も推進していこうという流れもあります。残りわずかな期間ですが、宇宙研工作室の再建・発展になんとか少しでも力になりたいと思っています。

## 民間企業で学んだこと

木村 幸代

以前は民間企業に勤めており、装置開発室では色々な仕事の考え方やしくみも異なり驚くこともありましたが、異なる環境で働けることは私にとって良い経験となり、以前の環境で自分なりに気づき学んだことについて、いくつか紹介させていただきたいと思います。

### 1. 業務の効率化

民間企業と装置開発室での仕事の明確な違いは、営利目的かどうかでしょうか。以前勤めた会社での教育で、利益を多くするには経費を減らすことが最も効率的で、一番多くかかっているのが人件費であると教えられました。入社してすぐに教育担当者からは『トイレも迅速に済ませ、私語は慎み、必ず5分前行動を下さい』と指導されました。また、上司の賃金は部下の賃金よりも高いので、簡単な仕事は部下が請け負い、上司にさせてはいけないという考え方もありました。図1の例のように、同じ書類を1時間かけて作成するのであっても時給が異なるので、上司がやれば2,500円かかるが、部下がやれば1,200円で安くできるということです。“マンアワーレート”と言って会社が1人雇うのに設備や光熱費、保険なども含めて1時間あたりどのくらいのお金が発生しているかという単位が毎年経理から発表され、その平均はおおよそ総合職で3,000円強、事務職で2,000円強でしたが、毎年部署毎に人員の作業時間の削減目標があり、個人が常に自分の作業を工夫して改善し、どのくらい作業時間を減らしたかを月末に集計する仕組みもありました。驚かれるかもしれませんが、現場のラインに従事する人では、“部品を組む時に取った部品を持ち替えていたものを、持ち替えなくて済むようにしたことで1つの作業時間が0.5秒縮まった”というような些細なことでも重要な改善となり、表彰の対象ともなりました。経費削減は塵も積もれば山となるので、1人1日100円削減すれば、年間でグループ総計1億5千万円ほどになりました。100円削減するとは、経費が1時間あたり3,000円であれば2分早く仕事を終えるということです。逆に言えば、各人がそういった努力をしなければ、簡単に1億5千万円やそれ以上の損失が出るということにもなり、利益が減れば、新事業に投資するお金も賞与も減ってしまいます。それゆえ、会社が社員に課せていたことが業務の効率化で、私達は常にそれを日々の目標としていました。

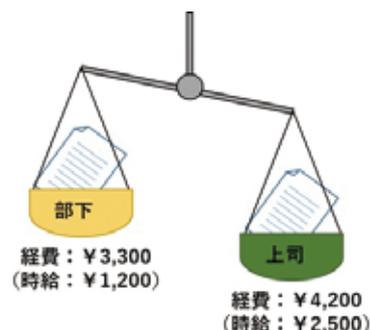


図1：上司と部下が同じ資料を作成した場合の経費と時給の例

### 2. 目的目標と手段目標

以前の環境は、自分に考えがあったとしても、上司の考えを目標とするものだという雰囲気がありました。この仕組みは会社が丸となって、高品質なものを大量生産しなくてはならない製造業には欠かせなかったのではないかと思います。しかし、自分が重要だと感じていることに、上司、そのまた上司の考えとずれがあると、何が正しいのかわからなくなり、重役に『目的が違う!』などと叱責されて、しばしば混乱して悩むことがありました。

ある時重役から教わったのが、『目的目標を達成するために手段目標がある』という区別の話で、それまで自分を含め、悩んでいた同僚達の目標としていたものが、トップの目線から見える目的目標ではなく、それぞれの立場から見やすいところにある手段目標なのではないかということに気がつきました。私が社長の話や会社の歴史などから自分なりに解釈していた目的目標と、それを達成するために考えられる手段目標の例を図2に示します。真上の手段目標を達成しようとしても、目的目標からずれる可能性もあることがわかります。組織が大きいと上層の様子が見えにくいので、近くにある情報から使命を見つけざるを得ないですが、目的目標を考えると、自分の留意していたことが実はさほど重要ではなかったことに気がついたり、他にすべきことが見つかることもありました。この気づきから私が考え至ったのは、組織が滞りなく回るためには、1人1人が一番大事な目的は何かを理解し、それを達成するために自分が何をすべきかを考え続けることが重要なのではないかということです。それには日頃から上司や仲間とどんな職場にするべきか、していききたいのかについてよくコミュニケーションを図り、色々な立場の意見を聞いて擦り合わせていくことが大切なのではないかと感じており、その様な同じ方向を向いた雰囲気作りさえできれば、一時的に上司や同僚と意見が食い違ったとしても話をしていくうちに理解し合えるものではないかと思っています。同じ方向と言えば、今年度装置開発室ではミッションステートメントが制定され、職場の皆さんと同じ方向を向いて頑張っていく機会が得られました。

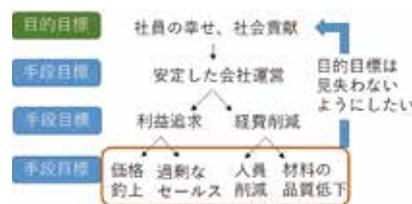


図2：目的目標と手段目標の例

### 3. 仕事の進め方

社員教育で最も重視されていたのが仕事の進め方についての教育だったと思います。仕事を潤滑に進めるための整理術やガイドラインのようなものがたくさんあり、方法どおりにやれば、最短でミスが起きにくく、うまく仕事が進められるといったようなものです。

よく出てきたキーワードが“QCD”、“4M”、“PDCA”、“QC手法”などですが、“QCD”はものづくりで重視しなければならない3大要素で、Quality: (品質)、Cost: (コスト)、Delivery: (納期)の略です。この3つが揃わなければお客様に商品を買ってもらえないので、常に製品がこの3つを満たしているかどうか、また製品だけでなく問題の対策がいくつか上がった場合には、それらを比較するために表1のようにQCDを指標として見比べることがよくありました。“4M”は品質管理に関わる要素で、Man: (人)、Machine (機械や設備)、Material (材料)、Method (方法)で、Measure (測定)を含めて5Mという時もあります。図3のような特性要因図という魚の骨に似た図と合わせて使うことが多いのですが、問題の要因になりうるものを5つの要素に分けて書き出していくと、どのような要因が結果に影響を及ぼしているのか把握しやすく、製品品質だけに関わらず、課題や問題、困りごとがあった場合に最も重要な原因である真因を探るためにも用いました。特性要因図は、“QC 7つ道具”と言って品質とコストを管理するための7つある手法の1つです。“PDCA”は、Plan: (計画)、Do: (実行)、Check (評価)、Action (実行/改善)の略で、一連の活動を継続的に向上させていくための考え方で、上記の特性要因図などで絞られた真因に対する対策が決まれば、それを図4のようにサイクルを回して何回も修正しながら繰り返します。また、活動の質が徐々に螺旋を描きながら上がっていく様子をスパイラルアップと表現し、これらはビジネス本や雑誌などにもよく紹介されていますし、研究者の方々は特に意識せずに行われている作業かもしれません。“QC手法”は問題解決のための手法で、“1 現状把握→2 要因解析→3 対策立案→4 対策実施→5 効果確認→6 歯止め”というように取り組みの順番と、それぞれのフェーズでの取り組み方が細かく決まっており、そこに自分の置かれている問題を当てはめていくと、問題解決のための無駄のない道筋が見えてくるというものです。職場の小集団などでの困りごとを解決するのによく用いられ、全国的に活動を紹介する大会も開催されていました。聞き慣れないところは6の“歯止め”ではないかと思いますが、取り組みの最後に発生した問題を2度と繰り返さないための対策を行うことを歯止めと言います。歯止めでの作業は対策を行った人だけでなく、誰もが同じ問題を繰り返さないような方針やルールを決める必要があり、それを“標準化”と言います。QC手法を使った活動は以前の会社では前期と後期に分けて年に2回発表する機会があり、職場の小集団のリーダーになると手法を学ぶための教育もあり、徐々に理解していくことができました。

これらの手法は1度覚えてしまうと仕事のみならずすべての困りごとで使えるとわかったため、私はちょうど後輩に説明ができるくらいQC手法をよく理解しはじめた頃、自分の結婚したい時期を目標納期と見立て、それまでに自分にどういった改善や対策が必要か考えたりしながら楽しく婚活を進めました。これほど教育を受けてありがたかったものはありません。

これらは1度覚えてしまうと仕事のみならずすべての困りごとで使えるとわかったため、私はちょうど後輩に説明ができるくらいQC手法をよく理解しはじめた頃、自分の結婚したい時期を目標納期と見立て、それまでに自分にどういった改善や対策が必要か考えたりしながら楽しく婚活を進めました。これほど教育を受けてありがたかったものはありません。

### 4. 最後に

一言で民間企業と言っても目的や種別が様々で、今回私が紹介した民間の考え方は、中小製造業のごく1部に過ぎないと思います。しかし、考え方や施策の違いがあっても、業績が振るわないと成り立たないというところはどこであっても共通しているのではないかと思います。それを経験できたことが民間企業で学んだことだったかもしれません。

異動してみて実感するのは、“組織の目的が違うと考え方も仕組みも人も空気も皆違ってくるのだな”ということです。たった1歩出ただけで、自分の居た環境がどうだったのかがより客観的に感じられ、良いところも悪いところも見えてきて視野が広がりました。今年からは技術課研修も始まっておりますが、隣の部署を知ることでさえ様々な違いを感じることができ、大変勉強になります。もうすぐ1年になりますが、装置開発室の文化もまだわかりきれていない部分が多々あり、それゆえ皆様に驚かれるような行動をする場合もあると思いますが、都度教えていただければありがたいです。私の経験してきたことから、皆様の何かにお役立ていただければ幸いです。

表1: QCDで点数を付ける対策検討の例

○3点、○2点、△1点、×0点

	Q:品質	C:コスト	D:納期	点数
対策A	◎	△	△	5
対策B	◎	×	○	5
対策C	○	◎	△	6

対策Cを採用

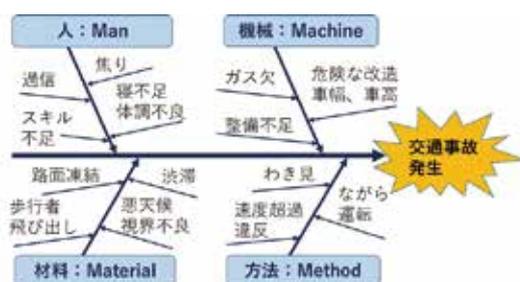


図3: 4Mで分けた特性要因図の例



図4: PDCAサイクル

## 新人研修報告

小杉 優太

### 1. はじめに

平成 28 年 3 月に大学院を修了し、同年 4 月 1 日付けで技術課 装置開発室に特任専門員として採用された。学生から社会人へと環境が変わったことにより多くの不安を抱えていたが、装置開発室の温かな人々に囲まれて月日を過ごすうちに不安は徐々に軽減された。入所して間もなく鈴木光一課長から技術課職員のあり方と志について伺い、研究発展の背景にはそれを支える技術者の存在が必要不可欠であると知った。私もいち早く仕事を覚えて、技術課職員の皆さまのように分子科学の発展に貢献したいと感じた。

ここに 9 ヶ月間にわたる研修報告をする。

### 2. 研修報告

表 1 に示す研修スケジュールに沿って 9 ヶ月間の研修を受けた。以下に各研修内容を示す。

表 1 研修スケジュール

4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
技術紹介 製図	旋盤	フライス盤	溶接	CAD		ワイヤー放電 NC工作機	測定機	
		依頼業務 (8件)						
					外部講習 ガス溶接 アーク溶接	玉掛け クレーン	自由研削砥石	

- 技術紹介：装置開発室、計算科学研究センター、機器センター、UVSOR の見学・技術紹介
- 製図：製図の座学、手書き製図
- 旋盤：旋盤の座学、加工実習（外・内面削り、穴あけ、リーマ通し、ネジ切り、突っ切り、テーパ削り など）
- フライス盤：フライス盤の座学、加工実習（エンドミル、ドリル、フルバックを使用）
- 溶接：アーク溶接（TIG 溶接）、銀ろう付け
- CAD：Advance CAD、SOLIDWORKS を用いた製図
- ワイヤー放電加工機：CAM の使用方法、テスト加工
- NC 工作機：NC プログラムの作成、テスト加工
- 測定機：SEM（刃物先端の観察）、NH-3SP（平面度の測定）、ZYGO（表面粗さの測定）

上記のとおり機械工作に関連する様々な研修を受けたが、その中でも旋盤は入所してから初めて携わった工作機械であったことから、最もノウハウの習得に時間を要した。旋盤研修で取り組んだ課題を以下に示す。

#### ● だるま落しの作製

所内で扱っている様々な材質の加工に触れることを目的として図 1 に示すようなだるま落しを作製した。使用した材質はアルミニウム、ステンレス、銅、真鍮、塩化ビニル、テフロン、アクリルである。それぞれ  $\phi$  35、厚さ 15 mm に切削した後、ハンマーの柄の部分を通すために中心に  $\phi$  12 の貫通穴を開けた。ハンマーはアルミニウム製の柄とテーパ削りをしたアクリル製の頭を M3 ネジでとめて組立てを行った。カバーと土台はアルミニウムを使用して加工を行った。

寸法公差を  $\pm 0.05$  mm 以下に仕上げたかったが、 $\pm 0.1$  mm 以上の部品もあった。被削材の材質によってそれぞれ適切な加工条件が異なることを知り、大変勉強になった。



図 1 だるま落し

#### ● ネジ切りの練習

旋盤とフライス盤の研修で何度かネジ切りを行ったが、全てタップとダイスを使用した。それ以外の加工法の研修として、旋盤とネジ切りバイトを用いてネジ切りの練習を行った。図 2 に M24 ピッチ 2.0 のオネジとメネジを示す。図 2 のネジは少しガタつきのあるものとなった。この原因として、オネジとメネジの仕上げの際に、はめ合いを確認せず、切込み過ぎていたことが挙げられる。今後、確認作業は怠らないように気をつけたい。



図 2 M24 ネジ

### 3. 外部講習

装置開発室の業務において、溶接、荷重1トン以上の材料の吊り上げ、グラインダー砥石の取替え作業がある。この業務に従事する際は、労働安全衛生法で定めた特別教育・技能講習を修了する必要がある。従って、労働安全衛生規則に基づく講習を受講した。講習日数と学科試験の有無は各講習によって違い、以下に示す通りである。

- ガス溶接技能講習：2日間 学科試験あり
- アーク溶接特別教育（図3）：3日間 学科試験なし
- 玉掛け・クレーン技能講習：4日間 学科試験あり
- 自由研削砥石特別教育：1日間 学科試験あり

講習は安全に従事することを目的としたカリキュラムが組まれており、学科で基礎化学、電気、力学等に関して学んだ後に、実技で手法を習得した。これらの講習を受講して、より一層安全に配慮して作業にあたりたいと感じた。



図3 アーク溶接特別教育の実技

### 4. 依頼業務

研修の一環として依頼業務に8件携わった。今回、設計から加工・組立てまでの一連の作業に携わった冷却水用パーツについて報告する。図4に示す冷却水用パーツは、協奏分子システム研究センター 小林グループの渡邊氏からの依頼で設計製作した。以前に装置開発室で設計製作した炉心管に取り付ける冷却水用パーツが欲しいという依頼であったが、より軽量で着脱のし易いものを新たに設計し直した。軽量化と着脱の簡便化を図って銅の使用を冷却に必要な箇所に絞り、他の箇所には銅より軽量のアルミニウムなどを使用した。冷却水が循環する銅パイプと銅板の間にワイヤーを挟み、高熱伝導率の接着剤（COM-G52：熱伝導率4.22 W/m・k）でそれぞれ接着した。ワイヤーを挟んだ理由は伸縮性を持たせるためである。また、装着方法は図5に示すように炉心管の六角ナットに4枚の銅板を押さえつけて直接固定する。銅板を押し出す部分には、断熱材として熱伝導率が0.28～0.33 W/m・kのGFRP（ガラス繊維強化プラスチック）を使用した。この冷却水用パーツを使用した状態で合成実験を行ったときに炉心管内部のOリングの溶け込みや変形の報告を受けていないことから、目的とする冷却効果を達成していると考える。また、この依頼業務は、最初に1個作製し、その後改良したパーツを作製した。2個目の完成品を依頼者に納品した際に、“軽くて使いやすい”というお言葉をいただいたことがとても嬉しく、印象に残っている。

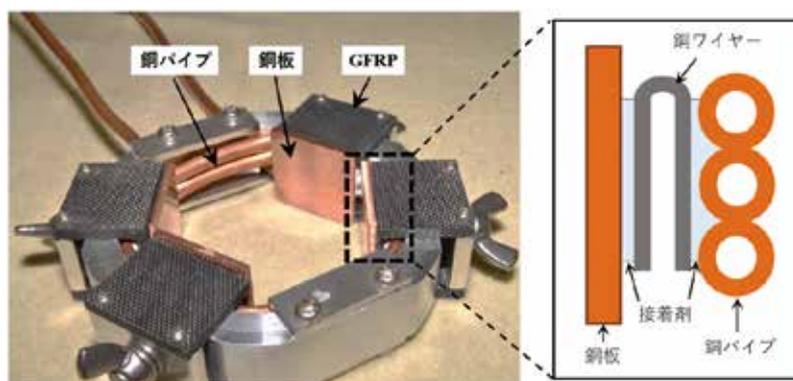


図4 冷却水用パーツの外観と断面

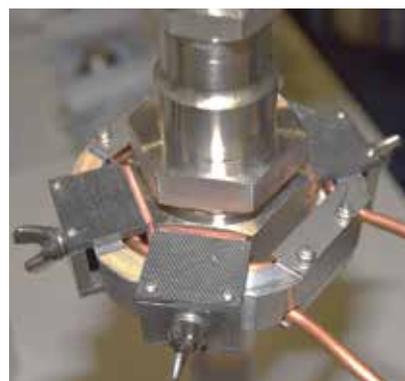


図5 炉心管に取り付けた様子

### 5. おわりに

この9ヶ月間、装置開発室の皆さまが時間を割いて研修にあてていただいた分量に見合った技術の成長を遂げられるように、その意識を持って研修にあたった。様々な研修の中で、細かな手先の動きを必要とする溶接は唯一苦手意識を持ってしまった。“これぞ職人技”と思わせる難易度に挫けそうになったが、研修期間中指導していただいた近藤係長、水谷係長のアドバイスのお陰で、徐々に苦手意識を克服しつつある。また、依頼業務では旋盤やフライス盤の研修で覚えたことが、製作品として形になることにとってもやりがいを感じた。今後更にモチベーションを上げて研究支援業務に従事し、技術力の向上に貪欲になって日々努力したいと考える。

16A05 パルスバルブ開閉電極



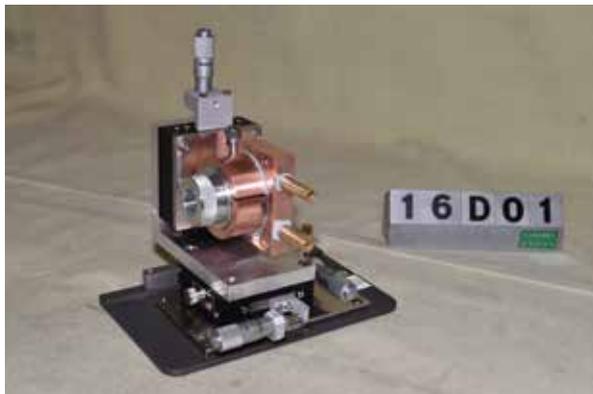
電流制御方式にて、ガス放出するバルブを開閉するのに必要な電極。

16C14 アルミ製角型真空チャンバーⅡ（関連記事：P23）



レーザー実験において、空気中の水蒸気の影響をさけるためにアルミ材料を削り出して製作した真空容器。

16D01 高圧セルホルダー



ダイヤモンドアンビルセルを手回しネジで銅製部品に圧着させ、真鍮継手から冷却水等を流して温度を一定に保つ。XYZ 軸方向のステージで、位置の微調整が可能。

16G07 管つきスキマー固定 ICF203



真空中で分子線用ノズルを摺動可能な機構をICF203フランジに設計製作した。

15H15 インピーダンス測定用ガラス流路



液体試料に外部電場を印加した状態で吸収スペクトルや小角 X 線散乱の測定を行うためのガラス製フロー型電場セル。測定部である溶液槽、通液用の穴と PEEK 製コネクタ、外部電場を印加するための透明導電膜をカバーガラス上に製作した。

16I12 アース端子



サンプルやサンプルホルダーなどに帯電している電位を除去するためのものである。この金具が取り付けられるスペースには多くの制限があることや、上手く機能する形状を追求する必要があり、3D プリンターで試作を行いながら最終形状を決定した。

16I13 チタン製アパーチャー



直径  $\phi$  79mm、高さ 44mm のコーン形状  
先端部は、FIB 加工で微細穴 ( $\phi$  20 $\mu$ m) を空ける  
ために二分割の嵌め込み構造とした。

16I28 冷却水用パーツ (関連記事:P43)



合成実験で使用する炉心管を4方向から押さえ込ん  
で水冷する機構を設計製作した。

16K04 ソーラーズリット



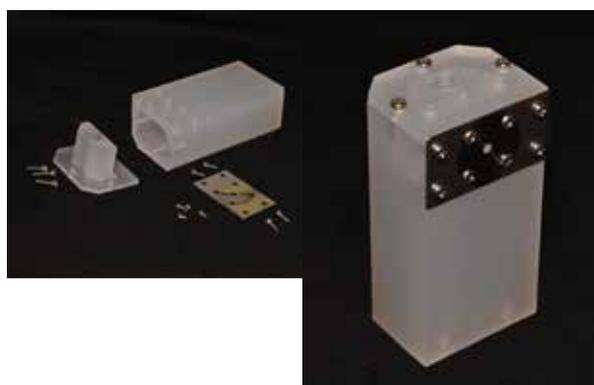
蛍光 X 線測定のためのソーラーズリット (多素子シリ  
コンドリフト検出器用)。

15L03 サブサンプルプレート



光電子分光実験に使用する冷却型サンプルホルダー。

16F15 ダイフロン製電気化学セル



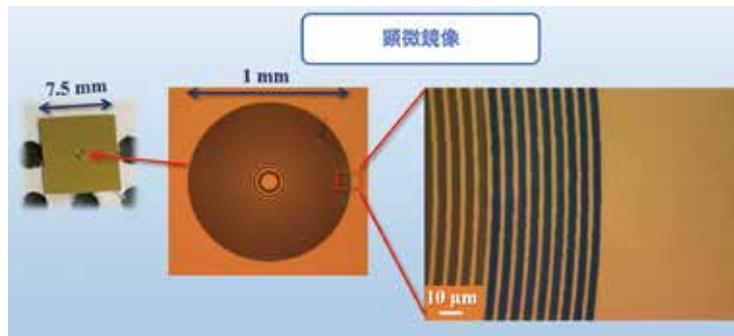
観測窓のあるステンレス板 (厚さ 0.5 mm) には、174  
度のテーパー加工が施してある。  
(Spring-8 で使用)

16G20 ポリスチレン製 ESR 用試料管



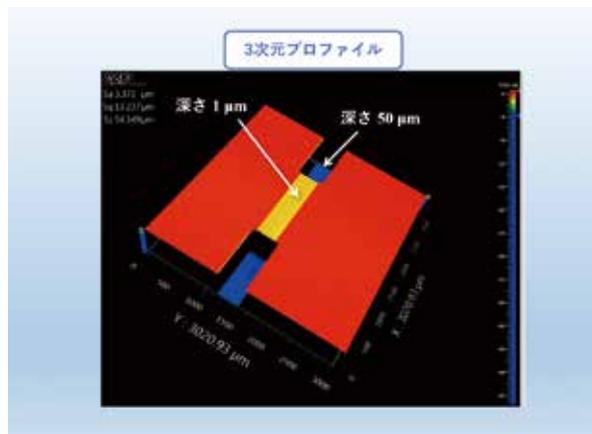
かまぼこ型の断面形状 (幅 4 mm 厚 2 mm) で、全長  
100 mm のポリスチレンロッドに、直径  $\phi$  1.0 mm の貫通  
穴を加工。中央には、反応用の開口部もある。2 本  
一組で使用。 (協力研究 新潟大学)

## 16C15 ゾーンプレート



市販の SiN メンブレンチップにおける SiN メンブレン (□ 1 (mm) × t100 (nm)) 上に、X 線を集光するための同心円状のパターンを Au (t100 nm) で製作。外側にいくほど線幅は細く、最小線幅は 2.6 μm (設計値)。

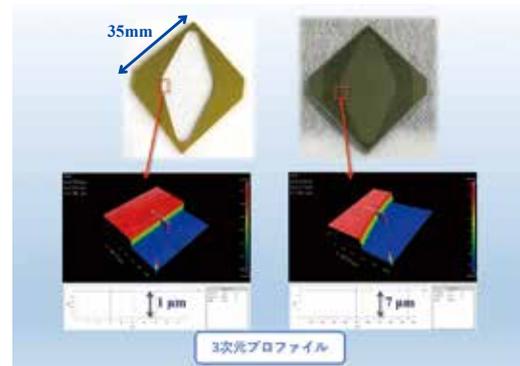
## 16G22 段差溝構造付ガラス基板 (関連記事: P28)



テンパックスガラス基板 (70 × 30 × t0.7 (mm)) 上に、深さ 50 μm と 1 μm の段差溝をウェットエッチングで製作した。溝幅は 300 μm。この構造は、溶液と表面の化学反応における反応効率の改善を目的としたものである。

15I06 温度可変遠赤外吸収セル Ver.2 (CaF<sub>2</sub>) (左)

## 16H05 Ge 赤外吸収セル (右)

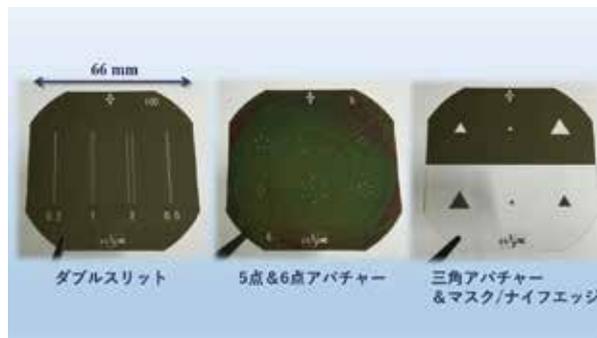


温度変化による水の遠赤外スペクトルを測定するために使用する液体セル。

(左) CaF<sub>2</sub> 基板に Au を成膜することで 1 μm の段差を製作。

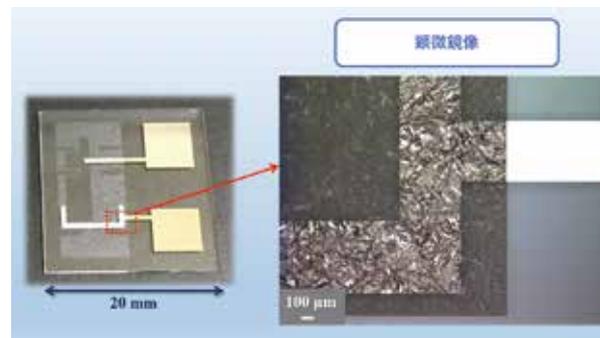
(右) Ge 基板にフォトレジスト SU-8 でパターンニングすることで 7 μm の段差を製作。

## 16H08 光学スリット・アパチャー



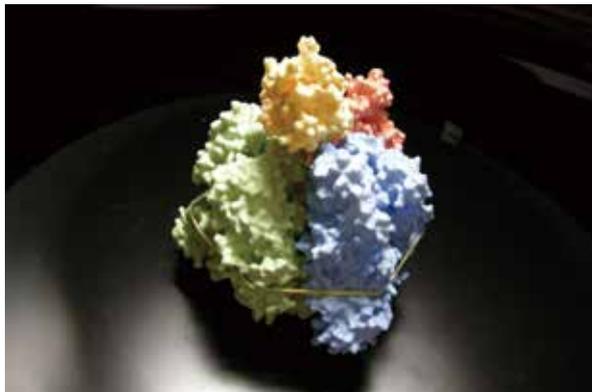
放射光の回折素子として用いる直線や円形、三角形の各種スリット・アパチャーを、合成石英基板上に Cr (中心部分で t200 nm) で製作。

## 16K17 フロストタイプマイクロ電解流路



有機結晶を成長させるために使用する反応槽 (深さ 3 μm) と Pt 電極を石英ガラス基板上に製作。反応槽は市販のフロストタイプのエッチング液を使用することで、すりガラス状に表面を粗くした。

16E07 V型ATPaseの造形



複数ドメインから成るタンパク質のサーフェイスモデル。  
材質：PLA 樹脂

16E09 ヘム結合タンパク質の造形4



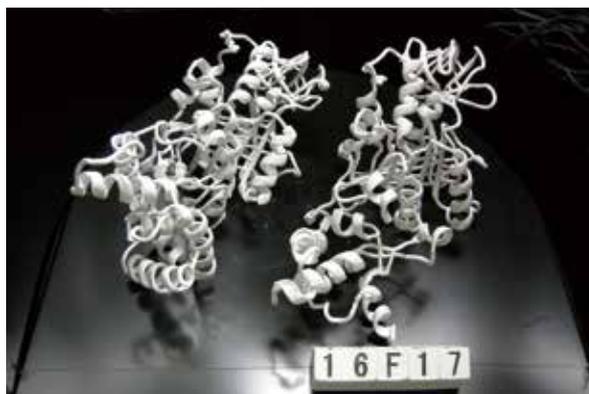
タンパク質のリボンモデルに、一部のアミノ酸の側鎖やヘム分子も表現した。  
材質：ABS 樹脂

16F03/16I23 ベシクル模型



リン脂質二重膜で球状の構造を作るベシクルをイメージ図からCADで3Dデータを作成し、1/2カットして断面を表現したモデル。  
材質：(左)石膏、(右)ABS樹脂

16F17 F型ATPaseのリボンモデル



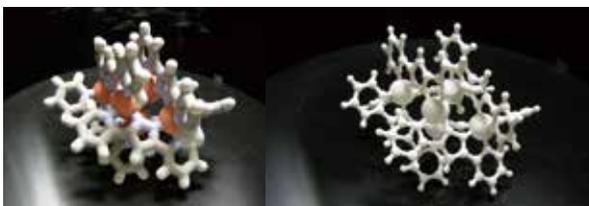
これまでの製作例の中で一番大きい、タンパク質のリボンモデル。  
材質：ABS樹脂

16I16 プロテアソーム $\alpha$ リング模型



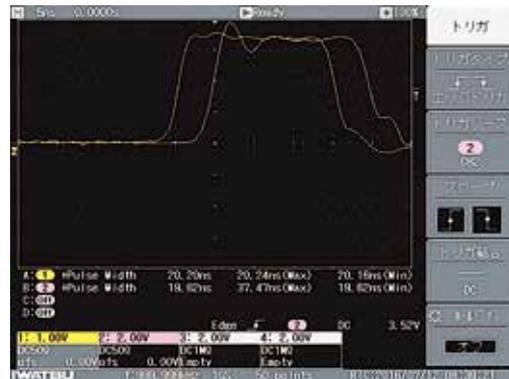
7個のドメインから構成されるリング状のタンパク質のサーフェイスモデル。  
材質：PLA樹脂

16I24 金属錯体の模型



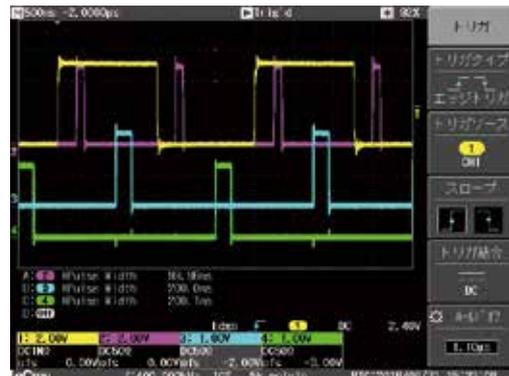
鉄イオンと有機配位子から構成される金属錯体のモデル。  
材質：(左)石膏、(右)PLA樹脂

## 16D03 50 Ω駆動サンプラーホールド検出システム



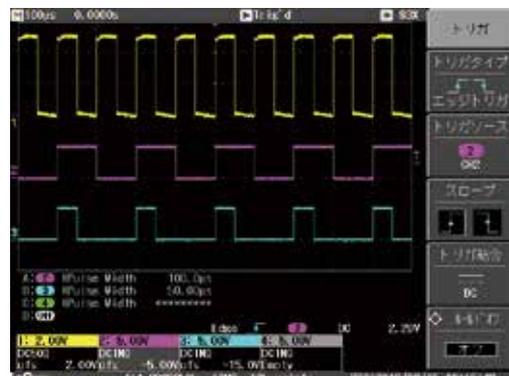
- 2系統のサンプル・ホールド出力を、出力インピーダンス 50 Ωとして出力する。
- 電流帰還 OP アンプの導入により、短パルスにおいても高速応答と 50 Ω 伝送を両立。

## 16F03 デジタルパルスプロセッサ駆動用信号発生器



- 400kHz のレーザーパルスと ICR 信号に同期して、デレイ  $\Delta T$  (共通) と時間幅  $td1$ 、 $td2$  のゲート信号 2 系統を出力する装置。
- CPLD と ARM マイコンの連携により、 $\Delta T$ 、 $td1$ 、 $td2$  の高精度設定と使いやすいインターフェースを実現。

## 16G02 断層画像観測装置用汎用ロジック回路



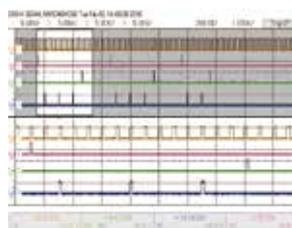
- 東京工業大学との協力研究で開発した、多機能な汎用ロジック回路。
- 5V TTL 6 入力 6 出力を、CPLD のプログラミングにより自由に構成可能。

16G06 電圧モニター回路 (関連記事: P13)



- 昨年開発した電圧モニター回路の量産対応版。
- $\pm 15V$  アナログ入力対応の SPI 通信 A/D 基板、複数のスイッチ入力を備えた ARM マイコン基板など、回路機能やプリント基板の面でも高い汎用性。

15K03 回転セル制御機能付きビームシャッター駆動装置



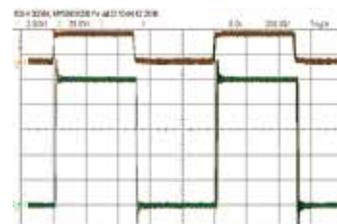
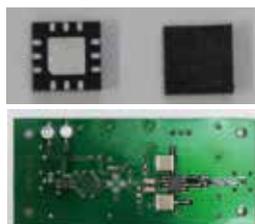
2014 年製作の回転セル制御装置と連動した自動計測のためのビームシャッター駆動装置  
 パラメータ設定用サムロータリスイッチ入力、回転セル制御用コマンドパルス出力

15J03 VoiceCoilMotor ステージによる起振装置



VCM 駆動の高精度 1 軸ステージとリニアアンプを組み合わせた高速スキャン装置  
 最大ストローク  $\pm 3.5\text{mm}$ , 位置分解能  $0.1\mu\text{m}$ , 繰り返し周波数  $20\text{Hz}$  以上

16F01 磁気ボトル用高速高電圧パルサー



MD1213(Microchips) による 2 チャンネル高速パルス発生器  
 MAX.  $\pm 200V$ ( 極性切り換えユニポーラ出力 ), 立上り時間  $\leq 10\text{nS}$ , 周波数:  $\sim 1\text{MHz}$



## 2016年 工作依頼リスト

16F05	ピエゾステージ用板
16F06	ダブルスリット
16F07	回転セルVer.2
16F08	NMRセル支持治具追加工
16F09	M2タップ用固定棒
16F10	カメラ台
16F11	結晶マウント
16F12	蒸着装置用部品
16F13	アイソレーター台
16F14	燃料電池型測定セル
16F15	電気化学セル <a href="#">[写真]</a>
16F16	STO曲げユニット
16F17	F型ATPaseのリボンモデル <a href="#">[写真]</a>
16F18	筒
16F19	冷却水用パーツ
16F20	ピンホール付きアルミ板
16F21	アルミフレームの裁断
16F22	カメラ固定台スライド台
16F23	準備チャンバ台
16F24	Bonding Holder
16G01	回折格子用ホルダー
16G02	レンズプレート
16G03	光学スリット・アパーチャー
16G04	プレート加工
16G05	光学台
16G06	画像観測装置用フランジ式
16G07	管つきスキマー固定ICF203 他 <a href="#">[写真]</a>
16G08	マルチポートフランジ
16G09	φ80スキマー及びVF250スキマーフランジ
16G10	画像観測装置用スキマー及びフランジ修正加工
16G11	スリットICF70(120mmブレード型)の設計製作
16G12	EBカセット用30X70基板位置決めマスク
16G13	カメラ台
16G14	高圧セル用ガスケット
16G15	結晶マウント-斜置型
16G16	ホルダー連結パーツ
16G17	球形結晶ホルダー追加工
16G18	Dilution refrigerator 改造
16G19	SDD検出器用ソーラーユニット
16G20	特殊ESRセルの製作 <a href="#">[写真]</a>
16G21	結晶ホルダー組立治具
16G22	段差溝構造付ガラス基板 <a href="#">[写真]</a>
16G23	試料ホルダ
16G24	光電子増倍管用スリット
16H01	SAB用円形ホルダー
16H02	蛍光X線フィルタ用保持具
16H03	高圧セルホルダーレールシステム
16H04	SmChiA模型
16H05	Ge赤外吸収セル <a href="#">[写真]</a>
16H06	Φ5結晶アダプタ
16H07	積層結晶マウント

16H08	光学スリット・アパーチャー <a href="#">[写真]</a>
16H09	1/2インチミラーホルダー
16H10	回転セル用サンプルホルダー
16H11	ESR用ゴニオメータアダプタ
16H12	結晶カット
16H13	断熱板
16H14	光学ゲージ用アダプタ(追加工)
16H15	窓材ホルダー
16H16	液体セル配管押さえ
16H17	ICF152用暗幕カバー
16I01	回路磁場解析
16I02	ダブルスリット
16I03	結晶ホルダーA
16I04	サンプルバンク パーツ
16I05	結晶カット
16I06	アクリルボックス(フタ)の加工
16I07	V型ATPase
16I08	セルの修理
16I09	レーザモジュール改造
16I10	特殊ESRセルの製作
16I11	セル追加工
16I12	アース端子 <a href="#">[写真]</a>
16I13	アパーチャー先端 <a href="#">[写真]</a>
16I14	積層治具・角度治具
16I15	SmAA10Aのリボン模型
16I16	プロテアソームαリング模型 <a href="#">[写真]</a>
16I17	レンズホルダー
16I18	ミラーホルダー改造
16I19	FTIR装置用カバー
16I20	耐震金具追加工
16I21	光ファイバー導入型PPMS用
16I22	クライオ用サンプルホルダ
16I23	ベシクル1/2カット模型 <a href="#">[写真]</a>
16I24	金属錯体の模型 <a href="#">[写真]</a>
16I25	結晶カバー追加工
16I26	SUS(1)
16I27	SUS(2)
16I28	冷却水用パーツ <a href="#">[写真]</a>
16J01	SUS3
16J02	燃料極電極
16J03	結晶マウント
16J04	Danny_T72V_T74Mの模型
16J05	FAB積層結晶ホルダー
16J06	SDD検出器用ソーラーユニット修正加工
16J07	アダプタネジ切れ
16J08	マイクロチッププレーザーモデル
16J09	積層結晶ホルダー(プロトタイプ)
16J10	結晶ガイド
16J11	球座ホルダーセット
16J12	クライオ用サンプルホルダ
16J13	VCMLレトロミラーホルダー

16J14	ガス導入ポートICF34型
16J15	積層結晶ホルダーt7.5mm
16J16	水路継ぎ手
16J17	結晶マウント
16K01	アルミ角型チャンバー用検出部窓
16K02	セル部品シール面調整加工
16K03	サンプル詰用SUS棒
16K04	SDD検出器用ソーラースリット <a href="#">[写真]</a>
16K05	in situ XAFSセル追加工
16K06	トランスファーチューブのストッパー
16K07	ねじ加工
16K08	Φ5結晶アダプタ
16K09	t0.5シリコン板
16K10	アイリス固定用チューブ
16K11	レーザー結晶ホルダ
16K12	電解セル用カバーガラス
16K13	レーザーヘッドアダプタ
16K14	クライオ冷却用サンプルホルダ(銅製)
16K15	分子模型部品
16K16	ベース台
16K17	フロスタイプマイクロ電解流路 <a href="#">[写真]</a>
16K18	金属錯体模型
16K19	音響式液面計
16L01	アダプタ各種
16L02	SmChiB sphereモデル
16L03	o/wエマルジョン模型
16L04	高圧セルホルダー
16L05	廃炉加速化プログラム用マイクロチップレーザー
16L06	SDD用ソーラースリット羽(Mo)の再加工
16L07	平面回折格子装置展示用部品
16L08	BL6B用レーザーステージ
16L09	SmChiAB sphereモデル
16L10	結晶ホルダー追加工
16L11	アルミワッシャ
16L12	サンプルホルダ
16L13	低振動冷凍機システム
16L14	アイソレータ台
16L15	結晶ホルダー追加工
16L16	プロテアソームαリングゴムライク模型
16L17	平面回折格子装置用拡張部品
16L18	レーザー遮光ボックス
16L19	テーパアンプ周辺パーツ一式
16L20	蒸着マスク&ホルダー
16L21	マイクロチップレーザーヘッドの製作
16L22	直動機構ストッパー
16L23	BL4U用クライオスタット
16L24	平面回折格子展示用窓
16L25	M3ナットのCut

## 2016年 工作依頼リスト

### 電子回路グループ (48 件)

伝票番号	品名
16A01	加速度センサーシステム
16A02	バランスPD用基板
16A03	BL7UモータードライバーBOX
16A04	差動増幅器用LCR共振回路追加版
16A05	環境モニタソフトウェア
16B01	蒸着装置制御ユニット修理
16B02	波形整形アンプ回路
16B03	光路遮断機コネクタ
16C01	同軸リレー駆動回路
16D01	蒸着装置プログラム改良
16D02	モバイル環境センサー
16D03	50Ω駆動サンプル・ホールド検出システム <a href="#">[写真]</a>
16D04	ラドンガス測定器用通信インターフェース
16E01	Lase Diode Driver
16F01	磁気ボトル用高電圧パルサー <a href="#">[写真]</a>
16F02	スタックカードドライバー
16F03	デジタルパルスプロセッサ駆動用信号発生器 <a href="#">[写真]</a>
16F04	4軸駆動用パルスモータコントローラ
16G01	Simple TTL Pulse Generator
16G02	断層画像観測装置用汎用ロジック <a href="#">[写真]</a>
16G03	断層画像観測装置用分周器
16G04	光電子増倍管(H11411)用電源
16G05	BL5U成膜チャンバー用モータコントローラの改造
16G06	電圧モニター回路 <a href="#">[写真]</a>
16G07	AOMドライバー基板
16G08	DPP用クリアパルス発生器
16G09	PMT用制御電源
16G10	顕微鏡赤外線センサー回路
16H01	D-sub変換アダプタ
16H02	高圧高速パルス電源(改造)
16H03	パルス分周器
16H04	差動増幅器LCR共振回路追加版
16H05	インピーダンス整合用パルス発生器
16I01	6KV RF BURST 電源
16I02	蒸着源用ドライバーボックス
16I03	HVカスタム電源修理
16J01	キセノンランプ用電源の修理
16J02	極性切り替え電解電源
16J03	光電子顕微鏡電源モジュール修理
16J04	AOMドライバー基板
16J05	ステップモータ・ドライバの不具合修正
16K01	電圧モニター&アラーム回路とマイコン基板
16K02	カメラケーブル断線の修理
16K03	カンチレバー用電極ホルダー
16L01	モバイル環境センサVer2
16L02	AC-ACインバータ
16L03	プラズマクリーナー ケーブル修理
16L04	PMT用制御電源 外部電圧制御機能

---

装置開発室 Annual Report 2016

平成 29 年 3 月発行

編集・発行所 自然科学研究機構 分子科学研究所 装置開発室  
444-8585 岡崎市明大寺町西郷中 38

---

ISSN 1880-0440

