

機器開発

電子機器開発

光

機器利用

計算科学

学術支援

分子科学研究所 技術課 Activity Report 2014



ISSN-0919-9233

CONTENTS

巻頭言	1
-----------	---

2014 年度ハイライト

機器開発	2
電子機器開発	4
光	6
機器利用	8
計算科学	10
学術支援	12

技術課活動報告	13
---------------	----

技術レポート	16
--------------	----



分子科学研究所 技術課について

分子科学研究所(愛知県岡崎市)は、昭和50年に創設され、同時に、技術分野での研究支援を目的として技官を組織した技術課が発足しました。技術課は所長直属の技術者組織であり、各個人のもつ高い専門的技術により支援しています。

技術課の役割は研究の動向により変化していくので、これからも幅広く柔軟に技術支援体制を構築していきます。

分子科学研究所長

技術課

技術職員計 33 名(平成 27 年 5 月時点)

機器開発技術班

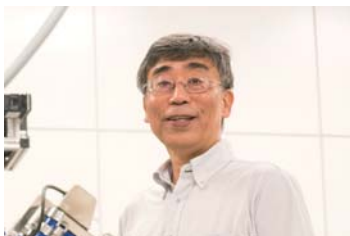
電子機器開発技術班

光技術班

機器利用技術班

計算科学技術班

学術支援班



横山 利彦

よこやま としひこ

【分子科学研究所 教授・物質分子科学研究領域研究主幹・機器センター長】

平成26年9月から機器センター長を拝命しました。私が分子研に着任したのは平成12年1月で、その後、平成19年4月～25年3月までは分子スケールナノサイエンスセンター長を務めていましたが、まとまった人数の技術職員の方々が配属されている施設の長になったのは今回が初めてで、まだ機器センターの皆さんから現状を伺いつついろいろ考えているだけの段階ですが、この巻頭言を書く機会をいただきましたので、現時点での雑感を綴ってみたいと思います。

大学等から分子研に着任する教員は誰もまず感じることと思いますが、分子研は技術職員が圧倒的に充実しています。教授・准教授30数名に過ぎない組織において、同等数の技術職員を配置し、先端測定機器・汎用機器・寒剤供給・大型計算機の維持管理、金属工作・電子回路製作、広報・ネットワークの支援等、極めて多岐にわたる研究機関として不可欠な業務を滞りなく実行していることは、対外的に強く誇れることです。共同利用機関として、外部の利用者の方々に対しても十分な対応ができていて、特に、外部利用者が直接金属工作・電子回路製作を申請できたり、液体Heをすぐに利用できる体制は他にはない素晴らしい対応と言えます。大学・研究機関における承継職員数の漸減の中、今後も、このような共同利用機関として所内外から重責を期待される体制が続くことをまずは希望しております。

さて、本稿は鈴木課長から執筆依頼をいただき、その内容は特に「技術職員の在り方」についてというご指定でした。大変難しい課題をいただき、筆が進みにくいのですが、気にせず私見をつれづれに書いてみることにします。分子研では、准教授や助教の内部昇任が禁止されていて、事務組織がありません。このため、日本の普通の民間企業ではごく当たり前である、若い人が承継職員として採用されそのまま定年退職まで勤務することが、むしろ分子研では技術職員に限られる特例的なことになっています。長ければ40年にもなる分子研勤務を大きな実りのあるものにするためには、民間企業や大学・他の公的機関では普通の間接職と思われる、長期勤務する承継職員が共通の認識のもと目指すところをもつということが重要でしょう。

機器センター長になってすぐに配属の技術職員の方々に申し上げたところですが、常に自分自身にとって開発的な仕事を1つ以上持って、時間のあるときはその仕事をしたいということでした。担当している装置等を外部利

用者がいつ来ても仕様通り支障なく使えるように維持管理すること、あるいは、外部利用者の要望に応じた臨機応変な対応をとることは非常に重要な業務に相違ありません。しかし、特に市販装置を整備することに自身の仕事の発展性を追求することはむしろ難しいかもしれません。現状では実施できない新しい測定技術の導入など、常に自分にとって発展性のあるチャレンジングな仕事を1つ必ず持つことを期待します。そのためには、所属する施設外の教員との一層の交流をもつことが望まれます。

次に、短期であっても外の機関に出られる体制を望みます。共同利用機器等の専門性はますます高度化され、所内の教員や他の技術職員が教えられることは限られます。自身の専門分野を磨き、あるいは新たに取り組む業務の能力を高めるためには、積極的に外に教えを乞うことが第1歩です。交流は、単に自身の専門技術知識を増やせるだけでなく、より多くの他機関の方々と知り合うこと自体が自身の能力向上につながると信じます。また、外に出るということは外からも受け入れるということであり、自身の技術を他機関の若い人にも積極的に伝授することも大切な仕事であり、かつ、自分の指導力を向上させるためにも必要でしょう。長期の出向は少し時間がかかるかもしれませんが、不在中の業務代行などに対応できるきちんとした体制づくりを期待します。短期の出向(出張)はすぐにでも積極的に推進すべきではないでしょうか。

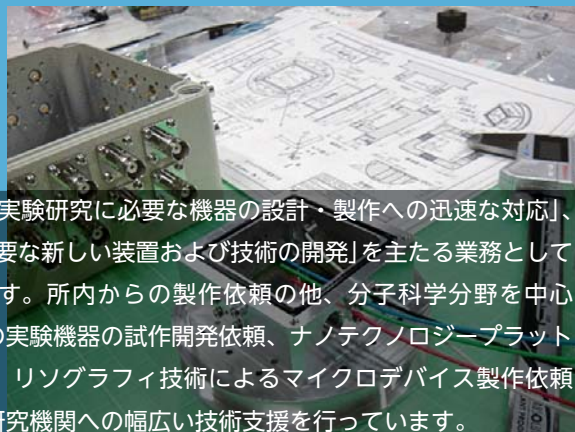
指導力というと、前号巻頭言でも山本装置開発室長がマネジメントの重要性について書かれていました。技術課ではこれまでほとんどマネジメント習得の機会がなかったように聞いています。技術課には、きちんとした課長―班長―係長―主任―係員の人事組織構造がありますが、失礼ながら、この構造が必ずしも十分に機能していないようにも見えます。ビジネス講習や討論などファカルティデベロップメントの機会を設けた方がいいかもしれません。また、このためにも出向は効果的で、特に若い世代の技術職員に接する機会が得にくい現状では、出向によるさまざまな世代との交流もマネジメント習得にとって重要でしょう。

いろいろ面倒な話をしてしまったかもしれませんが。要は、技術職員に限らず、勤務において一番大事なことは、振り返ったとき、長い間勤務して有意義だったといえるかどうかでしょう。技術課、技術職員の方々のますますのご活躍を期待いたします。

機器開発 技術班

担当施設：装置開発室
http://edcweb.ims.ac.jp/

機器開発技術班は、「実験研究に必要な機器の設計・製作への迅速な対応」、「分子科学の新展開に必要な新しい装置および技術の開発」を主たる業務として技術支援を行っています。所内からの製作依頼の他、分子科学分野を中心とする所外研究者からの実験機器の試作開発依頼、ナノテクノロジープラットフォームを窓口とした、リソグラフィ技術によるマイクロデバイス製作依頼への対応など、全国の研究機関への幅広い技術支援を行っています。



製作依頼

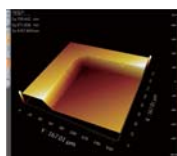
2014年度の所内製作依頼は、昨年度より50件ほど多い305件でした。スピーディーな対応が求められる部品製作や装置部品の改良のほか、実験装置の構想段階から研究者と綿密な打ち合わせを行いながら長期にわたり設計・試作を行うものや、技術開発や試行錯誤を伴う以下のよう

な製作課題も行っています。また施設利用などによる外部研究機関からの製作・利用については、昨年度の2倍の24件（施設利用8件、ナノテクノロジープラットフォーム利用16件）の依頼に対応しました。

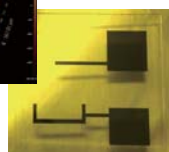


先端レーザー開発部門で進められている各種レーザー機器開発に協力しています。パルス幅可変レーザー筐体の詳細設計やレーザー結晶を接合するための装置の試作開発を行っています。（水谷、近藤）

レーザー開発研究機器の設計・製作



深さ3 μmの
反応槽部



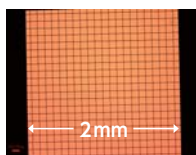
有機結晶を成長させるために使用する反応槽（深さ3 μm）と白金電極を、リソグラフィ・成膜・エッチング技術を用いて、石英ガラス基板上に製作しました。（高田、中野）

石英製マイクロ電解セル



カーボンナノチューブを使った分光実験用の真空チャンバの製作を行いました。ICF305をメインとするチャンバを手動で回転させるための機構を架台部分に盛り込んで設計しました。（矢野）

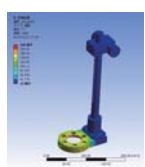
カーボンナノチューブ気相分光用
真空装置



メンブレン部
拡大

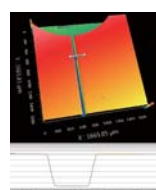
放射光を用いた顕微XAFS測定で触媒粒子を探すための目印として、厚さ100nmのSiN（チタ化シリコン）メンブレン上に、幅5 μm、間隔100 μmの白金格子パターンをリソグラフィで製作しました。（高田）

SiNメンブレンへの位置出し用格子パターンの製作



真空チャンバのICF70のビューポートから272.5mm離れた□1 μmの加工面をCCDカメラで観察するのを目的にカメラスタンドとミラーユニットを製作しました。ベークリング時の熱影響が懸念されたため、ANSYSで伝熱解析を行いました。（矢野）

マイクロフォーカス加工観察ユニット



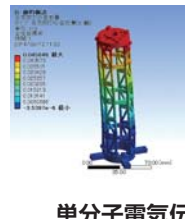
流路部にSiNメンブレンを張り合わせて使用するための、溝幅、深さともに50 μmのPDMS製マイクロ流路を製作。液導入部はPDMSに張り合わせたガラス基板上にPEEK製通液チューブを接着しました。（中野、青山）

X線吸収分光実験用マイクロ流路



極低温環境において、有機FETのチタン酸ストロンチウム基板にひずみを印加する機構を備えたプローブの設計・製作を行いました。先端の曲げ機構部は着脱可能な構造にし、基板の交換を簡易に行うことができるよう工夫して設計を行いました。（近藤）

STO基板曲げ歪測定用プローブ



既存の低温プローバーに組み込んで使用するMCBJ装置の製作を行いました。既存ステージに重量制限があり簡素かつ振動に強い構造とするため、有限要素法解析ソフトを用いて構造設計を行って製作しました。（青山）

単分子電気伝導度測定装置

その他にも、技術レポートP.21（水谷）、P.23（矢野）、P.25（青山）のような技術支援・技術研鑽も行っています。

スタッフInformation

青山 正樹	AOYAMA, Masaki
水谷 伸雄	MIZUTANI, Nobuo
矢野 隆行	YANO, Takayuki
近藤 聖彦	KONDO, Takuhiko
高田 紀子	TAKADA, Noriko
中野 路子	NAKANO, Michiko
杉戸 正治*	SUGITO, Shouji

*技術支援員



技術開発

装置開発室では研究機器の製作依頼に対し常に新しい技術で対応できるよう、研究現場での需要を意識しながら、以下の技術について高度化への取り組みを行っています。

レーザーアブレーションによる微細加工

機械加工では製作が難しい形状および材質に対応するため、分光実験用ピコ秒レーザーを使った技術研鑽を機器センターと共同で行っています。切削反力を伴う機械加工では難しい薄板の形状加工やスリット加工、小径パイプへの加工対応、またガラスや光学結晶材料への微細で熱影響の少ない高品質な加工を目的として、アブレーション条件の基礎的検討を試みています。

リソグラフィ

装置開発室の新たな支援サービスの柱の一つとして、バイオセンサー基板やマイクロミキサーなどの試作開発に応えてきました。現在は所内の研究者の協力を仰ぎながら、ウェットエッチングによる石英ガラスの微細加工や反応性スパッタによる窒化ニオブ超伝導薄膜の製作について試作検討を重ねています。マスクレス露光装置、3次元光学プロファイラーなどの設備が新たに導入され、対応可能な支援の幅も広がったことから、所内外からの製作依頼も増えています。

デジタルエンジニアリング

構造解析や伝熱・磁場解析などのCAE技術の適用による、機器設計作業の効率化や形状の最適化を推進しており、マイクロフォーカス加工観察用熱遮蔽板の伝熱解析や単分子電気伝導度測定装置の支柱構造の最適化に適用を試みました。今後は試作検討段階での3Dモデリングおよび3Dラピッドプロトタイプ、分子模型の3Dモデルデータ作成など、さらにデジタルエンジニアリングの適用を模索していきます。

精密加工

超精密加工は国立天文台先端技術センター、名古屋大学理学研究科装置開発室と共同で光学素子製作技術の確立をテーマに取り組んできました。現在では、IPES用楕円面鏡や、コクーンミラーなどの製作依頼に応えられる成熟した技術にまで成長しました。今後は精密加工に必須となる精密計測技術の高度化に取り組んでいきます。

その他活動報告

－受け入れ研修 / 中学生職場体験－

【加工技術の効率化向上に関する研修】2014年9月8日～9月12日
受講者：名古屋大学 工藤哲也、担当者：杉戸正治、青山正樹

【リソグラフィによる微細加工を体験しよう】

2014年10月22日、受講者：岡崎市立福岡中学校

担当者：高田紀子、中野路子

－セミナー企画開催－

【共同開発セミナー「超精密加工」】

2014年12月2日 分子研研究棟201号室

【微細加工に関する技術サロン会】

2015年3月19、20日 分子研研究棟201号室

－技術発表－

(1) 高田紀子「リソグラフィを中心とした微細加工支援の紹介」第9回自然科学研究機構技術研究会 2014年6月19日、20日

(2) 近藤聖彦「高磁場超伝導線材の引張歪印加機構プローブの開発」(口頭発表) 平成26年度北海道大学総合技術研究会 2014年9月4日、5日

(3) 高田紀子「窒化ニオブマイクロパターンをもつ高圧アンビルの製作」平成26年度北海道大学総合技術研究会 2014年9月4日、5日

(4) 矢野隆行「分光実験用超短パルスレーザーを用いたレーザー加工の試み」第11回放電加工ネットワーク勉強会 2014年11月6日、7日

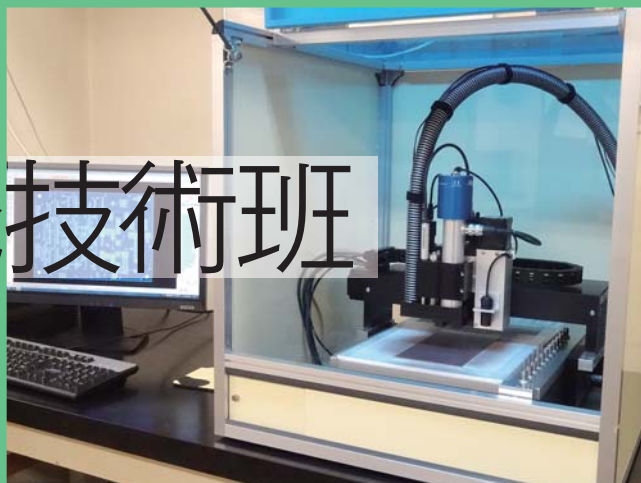
(5) 近藤聖彦「MgF₂非球面レンズの製作(テスト加工)について」共同開発セミナー「超精密加工」2014年12月2日

(6) 高田紀子「イメージリバーサルフォトレジストを用いたSiNメンブレンへのパターニング」第3回微細加工に関する技術サロン会 2015年3月19日、20日

電子機器開発技術班

担当施設：装置開発室

<http://edcweb.ims.ac.jp/>



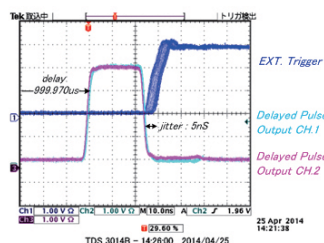
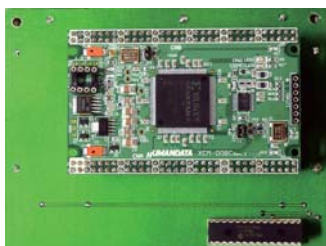
電子機器開発技術班の紹介

電子機器開発技術班は、分子科学研究所の研究施設・装置開発室にあって、所内外の分子科学分野の先駆的な研究に必要な実験装置の開発を行っています。

私達は、基盤技術の育成および先端的な新しい回路技術の導入の両面から技術向上に努めています。近年では、大規模集積回路設計製作技術、機器組み込みマイコン応用技術、カスタム・ロジックIC設計技術に重点を置いて取り組み、その成果は本誌の技術レポートや技術研究会等で報告されています。

2チャンネル高速ディレイ・パルサーの製作

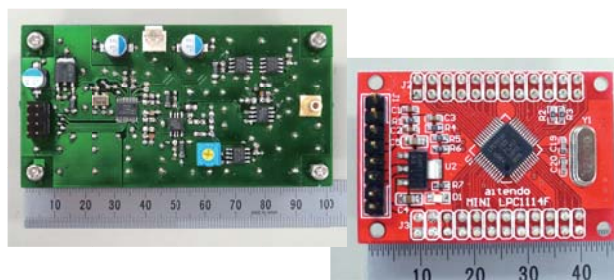
トリガー信号を受け任意の遅延時間後にパルスが発生するディレイ・パルサーは、実験機器間の同期を取るための信号発生器としてよく利用されます。製作したパルサーは、FPGAを利用したデジタル方式のもので、遅延時間を計測する32ビットと出力パルス幅を決める16ビットの二つの同期式カウンタで構成されています。そして、これらをできるだけ高速なクロックで動作させることで、高精度かつ長時間の遅延に対応したものを実現しました。出力パルスのパラメータ等を設定するためのユーザー・インターフェースは、別途マイコンを搭載することで敢えてFPGAのリソースを使わないようにしました。ディレイ・パルサーの最終的な仕様は、動作クロック:200MHz、遅延時間:40ns～3S(5ns刻み)、パルス幅:10ns～300μs(5ns刻み)、ジッター:5ns、出力:TTLレベル、チャンネル数:2です。 **技術レポート P.28 吉田**



DDSとARMマイコンを用いたTTLレベル出力パルスジェネレータの開発

ステッピングモータの駆動パルス供給やデジタル回路の動作試験など、TTL (Transistor-Transistor Logic) レベルのパルスジェネレータ (発生器) が必要な場面は多くあります。一方、市販装置では、TTLレベルのパルス以外にサイン波や三角波など多彩な波形を出力できるファンクションジェネレータという装置が使えますが、前述の用途に対しては価格面でも機能面でもやや大仰な感があります。かと言って、アナログタイマICを使ってパルス発生器を作ろうとすると、周波数の安定性が低かったり、温度によって周波数が変動したり、微調整が難しいなどの問題が生じます。

今回、レーザーセンターからの製作依頼を受けて、DDS (Direct Digital Synthesizer) とARMマイコンでTTLレベルのパルスジェネレータを開発しました。DDSは市販のファンクションジェネレータでも用いられているICで、アナログタイマICより周波数精度や安定性が格段に高い振振を得られます。また、ARMマイコンで集中制御することで装置全体をコンパクトにすると同時に、ロータリーエンコーダとスイッチを組み合わせ、市販装置で用いられる快適な操作性の導入も図りました。 **技術レポート P.30 豊田**



スタッフ Information

吉田 久史 YOSHIDA, Hisashi
内山 功一 UCHIYAMA, Koichi
豊田 朋範 TOYODA, Tomonori



回転セル制御装置の製作

生体分子情報研究部門からの製作依頼により、2012年度に製作した回転セル制御装置について改良型装置の新規製作依頼がありました。制御対象である回転セルとは、光受容タンパク質の赤外分光計測に用いる回転型のセルで、サンプルを効率よく利用するために回転と上下動を組み合わせ動作します。

以前製作した制御装置は、回転セルに取り付けられた2台のステッピングモータを単純に速度制御して回し続ける回路でした。今回製作した物は、赤外光による励起を行った後ステッピングモータを駆動して次のサンプル位置まで移動させ

る制御を行います。ステッピングモータを高速に駆動するためには、脱調を起こさないよう徐々に速度を上げてから一定速度を保ち、その後徐々に減速を行う必要があります。このような制御を台形制御といいます。台形制御を行うには、モーションコントロールICなどの専用素子を使う方法もありますが、今回は汎用のPICマイコンでソフトウェア的に制御を行っています。



技術レポート P.32 内山

共同利用機関として

他大学から製作の依頼を受け入れています。

マイクロ波イメージング

この課題は核融合科学研究所の長山好夫教授から申請されたものです。長山教授はマイクロ波を用いた2次元イメージングの研究を行っており、本装置は16chのイメージング信号を順次切り替え、計測・解析システムに送信するアナログマルチプレクサ（切替器）です。

回路はほぼXilinx社のFPGAであるSpartan6で構成されていて、外部トリガ入力により、Ch1からCh16まで順次切り替えることを繰り返します。本装置の16chに同じサイン波を入力し、順次切り替えによりサイン波が正しく繋がって出力されることが確認できました。現在、切り替え周波数の向上や伝送経路の改良などを行っています。

2014年度【後期】製作依頼実績

施設利用申請課題名	申請機関名
マイクロ波イメージング	核融合科学研究所
A/D変換基板を用いた健康センサーシステムの開発	名古屋工業大学

A/D変換基板を用いた健康センサーシステムの開発

この課題は、名古屋工業大学の増田秀樹教授から申請されたものです。増田研究室では、直接的かつ選択的なNO検出を可能とする金属錯体の研究開発を行っており、本装置はAu電極に修飾したNOセンシング機能を有する金属錯体の応答変化を測定・記録するために用いられます。

開発したA/D変換器は分解能16bit、入力電圧範囲±2.5V、最大サンプリング周波数470Hzなどの基本性能を有し、内部回路の機能選択は外部のマイコンなどからSPI通信で設定可能です。現在、基本的な性能の確認が完了し、SDカードへの記録や小型化、Au電極との接続などを設計・検討中です。

発表報告 2014年度の研究会発表は以下のとおりです。

第10回情報技術研究会(九州工業大学) 「ARMマイコンと高分解能A/D変換器を用いた汎用計測システムの開発」 豊田 朋範

2014年度ハイライト

光技術班

担当施設：

極端紫外光研究施設 (UVSOR)

<http://www.uvsor.ims.ac.jp/>

分子制御レーザー開発研究センター

<http://groups.ims.ac.jp/organization/LC/>



光技術班は極端紫外光研究施設 (UVSOR) と分子制御レーザー開発研究センターに所属する技術職員8名によって構成されています。主な業務は放射光の供給支援、利用支援、レーザー技術支援です。

《放射光供給支援》

安定したシンクロトロン光を供給するための加速器の運転、管理、保守を主な業務としています。コヒーレントシンクロトロン光発生・自由電子レーザー実験などの光源開発研究の技術支援も行っています。真空技術・制御技術・維持管理技術などが要求されます。

《放射光利用支援》

シンクロトロン光を利用し、質の高い観測実験に関与できるように維持、保守、改良、開発、技術支援を主な業務としています。共同利用ビームラインにおいては各担当者がユーザ実験の世話をを行い、スムーズに実験が行われるようにサービスを提供しています。真空技術・制御技術・放射光ビームライン光学技術・低温技術・機器設計技術などが必要とされます。

《レーザー技術支援》

分子制御レーザー開発研究センターに所属する技術職員はセンター所有の共通機器管理やセンターに関わる業務全般を担当しながら、光分子科学研究領域やUVSORの研究グループに対してレーザー関連の技術支援を行っています。また、凝縮系におけるコヒーレント制御を目指した計測システムをはじめ、各種開発業務も行っています。

2014年度活動報告

2014年6月 機構技術研究会

6月 職場体験 (豊田市上郷中学生1名)

7月 受け入れ研修 (富山大学技術職員2名)

8月 加速器学会参加 (青森市)

9月 総合技術研究会参加 (札幌市)

10月 職場体験 (岡崎市福岡中学生2名)

11月 UVSORシンポジウム2014 参加

2015年1月 放射光学会参加 (草津市)

3月 第10回情報技術研究会参加 (飯塚市)

3月 技術課セミナー開催

報告

職場体験受け入れ



2014年度は、6月に豊田市上郷中学校から1名、10月には岡崎市福岡中学校から2名の計3名の中学生を職場体験として受け入れました。6月の職場体験では、ガラス板への金属蒸着による鏡の作成を体験しました。ガラス窓の付いた真空容器にガラス板をセットして、フランジを閉めた後に真空ポンプを動作させて真空にした状態で金属を抵抗加熱して蒸発させ、ガラス板の表面に金属膜が生成される過程を観察しました。10月の職場体験では、放射線測定器を使用していろいろな場所の自然放射線を測定しました。ばらつきを小さくするために10回測定して平均値を求めました。

自然放射線量測定結果

測定した場所	測定値 (μSv/h)
部屋の中央	0.036
エレベーターホール	0.057
階段の踊り場	0.061
2階の渡り廊下	0.031
アスファルトの上	0.051
調整池の水上	0.020

スタッフ Information

堀米 利夫	HORIGOME, Toshio
蓮本 正美	HASUMOTO, Masami
山崎潤一郎	YAMAZAKI, Junichiro
酒井 雅弘	SAKAI, Masahiro
林 憲志	HAYASHI, Kenji
近藤 直範	KONDO, Naonori
手島 史綱	YESHIMA, Fumitsuna
岡野 泰彬	OKANO, Yasuaki
禿子 徹成*	TOKUSHI, Tetsuzyou
林 健一*	HAYASHI, Kenichi
水口 あき*	MINAGUCHI, Aki

*技術支援員



TOPICS

2013年度末～2014年度春期に実施した電子蓄積リング高度化改造

2014年3月に行われたビームラインBL5Uの一新工事に伴い、当ラインで長年自由電子レーザー開発用に併用されてきたヘリカルアンジュレータを更に輝度向上のために、磁気回路を光クライストロン型磁石配列から通常アンジュレータ型磁石配列に変更し、ビームラインBL5U専用とし運用を開始した。本更新以外にもB4～B5セクションの加速機器改造も合わせて実施した。 **技術レポート P.34 山崎**

更新後のビームラインBL5U



加速器室監視ロボットに向けて

加速器室監視ロボットはシンクロトロン室や電子蓄積リング内など人が運転中に入ることができない場所を監視し、加速器の運転を止めることなく異常発生の有無などを判断できるようにするためのものである。このロボットはWi-Fi対応のネットワークカメラを搭載しており、12Vのバッテリーで自走し、LabVIEWで作成したプログラムによってノートPCで遠隔操作することができる。 **技術レポート P.37 林**

試験運転風景



UVSORの真空インターロックの現状と課題

今年度は新規に建設されたビームラインBL5UでPLCを用いた真空インターロックシステムを作成した。そして今は来年度に建設されるBL1Uの真空インターロックシステム作成の準備をしている。約9年間で作成した6本のビームラインのシステムのまとめと今後の課題について述べる。 **技術レポート P.39 近藤**

イオン・NEGポンプの再活性化

イオンポンプとNEGポンプを組み合わせた小型で高排気速度のNEXTorrポンプをビームラインBL1Bで使用していたが、正常に稼動していないようだったので詳しく調べた結果、コントローラーに設定不備と動作不良があることが分かった。 **技術レポート P.41 手島**

NEGポンプの特徴と使用する時に注意すべきこと **技術レポート P.44 蓮本**

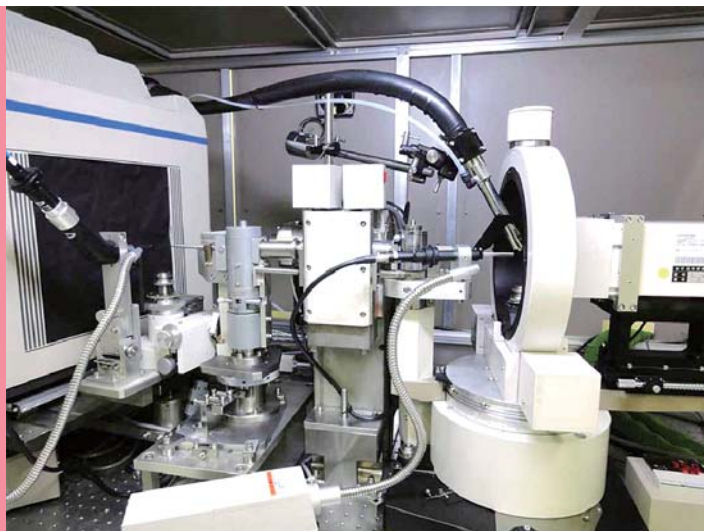
平成22年度までBL1Bの分光器で使用していたNEGポンプを、テスト用の真空容器に取り付けて調べて分かったことや、NEGポンプの性能を十分に発揮するために知っておくべき特徴と使用時に注意すべきことが分かった。

2014年度ハイライト

機器利用技術班

担当施設：機器センター

<http://ic.ims.ac.jp/>



機器利用技術班の技術職員は機器センターに配属され、センターの所有する装置の維持管理、利用者の受入・測定支援等の業務を行っています。機器利用技術班は平成25年度に低温技術班と合併されて、現在の機器利用技術班となりました。また、機器センターとは分子スケールナノサイエンスセンターと分子制御レーザー開発研究センターの汎用機器が統合されて平成19年4月に発足した研究施設で、所全体において共通で利用するNMRやESR等の汎用測定装置を有しています。更には、新たに低温冷媒の供給施設も加わり、充実した研究支援体制を構築することが出来ました。これらの設備、所内はもとより、所外からも「施設利用」「協力研究」の形で利用されています。装置によっては元素分析等の様に、所内限定ですが依頼測定を受け付けている装置もあります。

機器センターの所有する設備は(1) 化学分析、(2) 磁気・物性、(3) 分子分光、(4) 寒剤供給、に大別出来、それぞれ以下の様な設備を備えています。

(1) 化学分析 NMR (400、500 (平成26年度末で廃止)、600、800、920MHz)、質量分析計 (MALDI - TOF-MS)、有機微量元素分析装置、蛍光X線分析装置、熱分析装置

(2) 磁気・物性 ESR、SQUID、単結晶X線回折装置、粉末X線回折装置、15T超伝導磁石付希釈冷凍機

(3) 分子分光 ナノ秒およびピコ秒パルス光波長可変レーザー、高感度蛍光分光光度計、顕微ラマン分光装置、円二色性分散計、可視紫外分光光度計、赤外分光計、各種小型機器

(4) 寒剤供給 液体ヘリウム供給装置、液体窒素供給装置
※最新情報は<http://ic.ims.ac.jp/>をご覧ください。

また、2007年度よりスタートしたプロジェクト「大学連携研究設備ネットワーク」の全国事務局としての業務も行っています。このプロジェクトは全国の大学の所有する各種汎用測定設備を相互に利用することで設備の有効活用を目指すものでコンピューターネットワークを利用した設備の予約システムを構築しています。

さらに、機器センターでは、明大寺地区および山手地区において液体窒素・液体ヘリウムの供給を行っています。両地区の寒剤供給体制は統合的に確立されており、非常に使いやすいものとなっているのが特徴です。明大寺地区においては、平成25年度の寒剤供給量は、液体ヘリウ

コラム 機器センターホームページ リニューアル

H26年度より機器センターホームページ担当になりました。ちょうど分子研のホームページも一新された頃だったので、勉強も兼ねてデザインを一新することにしました。基調色は機器センターたより表紙にも使われている「緑」。統一性を持たせようと分子研、UVSORから拝借したCSSを読み解いて何とか雰囲気は似せました。10年以上前からサークル等でホームページに関わることは度々ありますが、毎回、私自身の感性が古いなぁと感じます。今はフラットデザイン (グラデーションやドロップシャドウなどの3D装飾を利用しないフラットなデザイン) が流行りらしいです。余計な装飾がないため、デザインの時代感を排除でき、表示速度も向上し、タブレットやスマートフォンとの相性も良いようです。Windows8のタイル状のスタート画面もその実例ですが、個人的にはまだまだ馴染めないでいます。機器センターのホームページでもフラットデザインを取り入れようと試みましたが、良く分からなくなりました……。フラットデザインはさておき、内容的には分かりやすくなり一段落したはずでしたが、H27年度よりナノプラット室が機器センターへ統合され、機器センター公開設備はすべてナノプラットを通じての利用となるので、内容的にも修正する必要ができました。分かりやすくなりやすいホームページになるよう検討中です。(藤原 基靖)

スタッフ Information

高山 敬史	TAKAYAMA, Takashi
水川 哲徳	MIZUKAWA, Tetsunori
岡野 芳則	OKANO, Yoshinori
上田 正	UEDA, Tadashi
牧田 誠二	MAKITA, Seiji
藤原 基靖	FUJIWARA, Motoyasu
長尾 春代*	NAGAO, Haruyo

*技術支援員



ム42,355 ㍓、液体窒素23,336 ㍓、山手地区においては、液体ヘリウム14,072 ㍓、液体窒素28,697 ㍓をそれぞれ供給しています。

両地区ともに、寒剤の供給システムは完全に自動化されており、初心者でも簡単操作で取り扱う事が出来るのが特

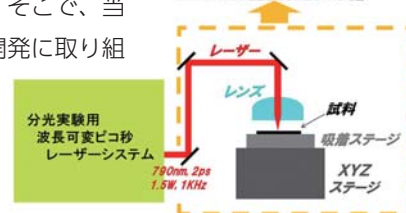
徴となっています。

各職員の活動報告を掲載しましたので、詳細は別枠の報告書をご覧ください。

TOPICS

共同利用装置ピコ秒レーザーを用いた微細加工への取り組み (担当：上田 正)

機器センターでは、分光実験用光源としてピコ秒レーザーを所有しています。ピコ秒レーザーは時間分解能とエネルギー分解能の両方において高い分解能が得られるという特徴を有し、その意味において優れた分光実験用光源です。また、極端に短いピコ秒のパルス幅であることは同時にピークパワーが極めて高く、近年、精密微細加工用のツールとして広く応用されるようになってきています。その極めて高いピークパワーによって、多光子吸収で電子を励起させ分子レベルで結合を分解できるため、熱影響が少なくデブリが少ない精密な微細加工を実現することができます。そこで、当センターの分光実験用ピコ秒レーザーを用いて、レーザー微細加工機の開発に取り組んでいます。なお、本テーマは、装置開発室の提案によって、共同で加工機開発を進めています。 [技術レポート P.48 上田](#)



液体ヘリウム容器の予冷検証実験 (担当：高山 敬史)

機器センターでは、液体ヘリウム製造装置を保有しており、寒剤の供給業務も担っております。室温状態に戻った液体ヘリウム容器はそのままでは使用することができません。そのような容器に液体ヘリウムを充填する際は、液体窒素で予冷する方法・超低温の冷却窒素ガスで予冷する方法およびまったく予冷しない方法があります。それぞれの予冷方法で液体ヘリウムを充填した時に、使用する液体ヘリウムの総量・充填に要する時間・充填後に蒸発した液体ヘリウムの量などにどのような違いが生じるのか検証しました。今回、新たに冷却窒素ガスで予冷する方法を考案しましたので、その方法についても詳しく紹介します。 [技術レポート P.51 高山](#)



2014年度ハイライト

計算科学 技術班

担当施設：計算科学研究センター

<https://ccportal.ims.ac.jp/>



計算科学技術班は、計算科学研究を支えるHPC（High Performance Computer）や研究活動に不可欠なICT（Information and Communication Technology）機器の運営およびソフトウェア開発を始めとして、システムの立案、調査、分析、研究に携わる情報工学系技術集団であり、現在6名の班員によって構成されています。主な業務を以下に示します。

計算科学研究センター業務

岡崎共通研究施設である本センターでは、分子科学にとどまらず、生理学、基礎生物学にも開かれた計算科学研究の共同利用に供しているHPCの管理・運用を主軸として、ハードウェア環境およびオペレーションシステム、ミドルウェア等のソフトウェア環境における技術調査、アプリケーションのプログラミング、チューニング、ライブラリ、可視化、通信ツール等のソフトウェア開発や支援を行っています。

岡崎情報ネットワーク管理室業務

自然科学研究機構岡崎キャンパス全体の情報ネットワークインフラの運用管理を行っている当室において、SINETや民間プロバイダ等の外部ネットワークとの接続、Firewallを始めとしたセキュリティ管理や対策、情報通信サービスなどの整備およびコンテンツ提供環境の運用、ネットワーク管理に関わるソフトウェア開発などを行っています。

分子科学研究所ネットワーク業務

分子科学研究所職員の情報通信に関する相談や調査の窓口となり、情報通信サービスの運営管理を始めとして、TV会議やビデオ配信の様な応用技術への積極的な取り組みなど、コンピュータと情報通信に関わる幅広い技術支援を行っています。また共同利用研として重要なサービスである共同利用申請をWebで行うためのソフトウェア開発や、技術課の活動として技術職員の研鑽の場でもある技術研究会報告集のデータベース開発、所内情報提供サービスへの支援なども行っています。

スパコン節電対策

本年度のトピックは、3つあります。1番目は、節電対策です。本年度初頭に消費増税及び電気代値上げが行われ、その結果請求単価が18.7%も高騰しました。本センターで運用しているスパコンを含めた年間電気代は昨年度実績で約1億円だったことから、今年度も同等に電気を利用すれば単純に2000万円増額されることとなります。そこで昨年度から行っている消費電力削減対策の検討を今年度も引き続き強力に推進してきました。そのうちの1つは、外気温が設定以上になると自動的に空調機の室外機に撒水を行うシステムの開発です。その状況と効果について、本誌技術レポートをご覧ください。 **技術レポート P.54 松尾**

またサーバールームの湿度に着目し、節電効果の高い気化式加湿器の導入と高湿度の方が節電に有効である点について、今年度の総合技術研究会で報告していますので、こちらをご参照頂ければ幸いです。これ以外には、サーバールームの床下の冷気がサーバラックの底から大量に漏れていたことから、サーバ前面へ吹き上げる冷気量が減少していた点への対策としてサーバラック用底板を作成、設置しています。最後に、消費電力量を分析した結果、1つ

TOPICS

スタッフInformation (前列左から)

澤	昌孝	SAWA, Masataka
長屋	貴量	NAGAYA, Takakazu
水谷	文保	MIZUTANI, Fumiyasu
内藤	茂樹	NAITO, Shigeki
岩橋	建輔	IWAHASHI, Kensuke
松尾	純一	MATSUO, Junichi



のサーバールームに設置している冷媒レヒート型空調機が、他方サーバールームに新導入したインバータ型に比べ、同じ冷房能力で倍の電力を消費していることが判明したため、必要最少の5台の空調機を更新しました。上部集合写真の背景の機器が更新後の空調機です。空調機更新前の時点で9.4%の消費電力削減を達成したことから、今年度の増額は7.5%以下に抑えられそうです。今後は空調更新効果でさらに10%程度の削減を期待しています。

■スパコンの更新

2番目のトピックは、スパコンの更新です。2セットあるクラスタのうちの1セットを、最新のCPU (Intel Xeon[Haswell]) を搭載したノードに入れ替えました。1ノードあたりの理論演算性能比で3.1倍、クラスタ全体の理論演算性能比で2.2倍増強しました。CPUあたりのcore数は1.8倍に増えていますが、CPU総数は0.7倍と減っており、TDPが1.1倍に増加した点を考慮しても消費電力量削減が期待できそうです。このCPUからAVX2命令が増え、積和演算レジスタが追加されています。これらの新機能を使わなければ、性能向上は見込めないことから、ライブラリの再構築等も行っています。



サーバラック内のコンピュータだけを新しい物と入れ替えています。配線等はそのまま利用する予定でしたが、本体側の電源ケーブルのコネクタ規格が代わってしまったため、電源ケーブルを全部張り替える作業が余分に発生しました。

■電子メールセキュリティ対策

最後のトピックは、セキュリティに関することです。今年も新たな脆弱性への対応に追われました。昨年度に引き続き、本年度も計算科学研究センターが運用するマシンで発生しましたが、本年度の原因は、運用を監視する仮想マシンの設定ミスに起因する事象で、従来型のサーバを攻撃することでそのサーバを不正利用した事例でした。しかし昨年度の原因は、電子メール等を利用しているPCクライアント側を攻撃して情報を入手することによりサーバを不正利用した事象で発生していました。このような事例を再発させないためには、サーバ側の設定だけでなく、PCクライアント側の環境を見直すなどの対策について継続的な検討が必要です。その対策の1つとして、各自で対応すべき電子メールの取り扱いについて、本誌技術レポートをご覧ください。 **技術レポート P.56 内藤**

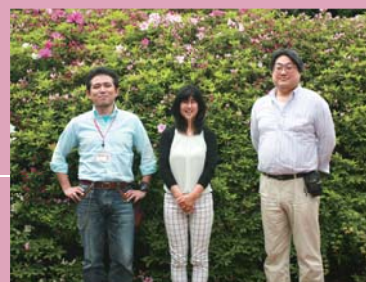
2014年度発表一覧 2014年9月に開催された北海道大学総合技術研究会で以下の発表をしました。

水谷 文保	サーバールームへの気化式加湿器の導入
岩橋 建輔	Selenium IDE を用いたウェブサイトの更新
澤 昌孝	技術研究会講演の複数方式によるライブ配信
松尾 純一	TWE-Lite DIP を使った環境測定ネットワークの構築

学術支援班

スタッフ Information

内山 功一 UCHIYAMA, Koichi
 責市 幹大 URUICHI, Mikio
 原田 美幸 HARADA, Miyuki



担当施設：研究所全般、広報室、研究室

学術支援班は3名の技術職員が日々研究所をソフト面よりサポートしています。

広報室

広く一般の方々に分子研の研究活動や役割を分かり易く伝えることの重要性が益々増加しています。このような広報活動を進める組織として、分子研には広報室が設置されており、技術職員が1名配置されています。主な業務内容は以下のとおりです。

情報発信：プレスリリース、分子研ホームページ運営、展示会出展等

各種作成：出版物、ポスター・ホームページ等

その他：見学対応、写真撮影等

前号にも書きましたが、2014年4月に分子研HPをリニューアルし1年ほどが経ちました。ブログタイプになったため、更新は派遣職員にかなり任せられるようになり、管理は随分楽になりました。ただ情報発信の向上はまだまだ発展途上で引き続きの課題となります。



研究所共通業務

学術支援班二係はこれまで安全衛生管理室の技術職員1名が所属する部署でしたが、2014年3月末日をもってその技術職員が退官されたため空き部署となっておりました。この部署を同年7月から、研究所の特定部署に属さない共通業務に従事する部署として再編しました。これまで共通業務は、技術課長がその都度技術課職員から人員を割いて行ってきましたが、専任職員を配置することにより所内のさまざまな要望に迅速に対応できるようになりました。

業務内容は、研究所の職員が利用する大判プリンターなど共用機器や備品の管理、研究所主催イベントの人員配備、研究室や実験室など建物の改修、メンテナンスに関する業務などを行っています。これらの業務を通して、研究所の職員が快適に仕事できるよう環境整備を行っています。

研究室

学術支援班では様々なテーマで各大学との共同研究・協力研究を行い、大学共同利用機関として分子研の果たすべき役割を担っております。分子研・研究室では赤外およびラマン分光装置、X線結晶構造解析、磁性測定など、一つの大学や研究室ですべてを負担するのが困難な機器を相互に補完して利用に供することで多くの研究者達の物性解明につながる研究をサポートしております。さらに平成24年度よりナノテクノロジープラットフォーム事業が始まり、上で挙げた装置以外にも支援要素として機器センターから移行しております。機器センターとナノプラットの有機的な運用により、分野領域を超えて若い研究者達がこれまで触れたことのない測定機器や分析法に対する知見を広げる役も果たしております。それによって得られた成果は国内外での学会で発表されております。

平成26年度の技術課について

技術課長 鈴井 光一



技術課は技術業務の分野に応じて7つの技術班を設けています。本誌「かなえ」は平成26年度の各班の業務実施の状況や成果等を報告していますが、ここでは各技術班や研究施設ごとの技術レポートではなく、技術課として実施した主な活動を報告します。また、研究所の共通的な業務も技術職員が協力しながら担っており、その部分についても併せて紹介します。

各種技術研究会への参加

大学や研究機関の技術職員が主体となって企画し開催する技術研究会・研修会は近年多くの大学および研究機関で開催され、その内容は専門分野の学会とは違い、研究・教育支援の中での技術開発やその現場での技術諸課題に対する解決策など、広い分野に渡って技術職員が活動している事が話し合われています。分子研でも同じように技術課が主催して開催する研究会として研究所創設の頃から実施してきた「技術研究会」があります。この研究会は現在、大学と研究機関が持ち回りで開催となっており、平成26年度は北海道大学主催で開催されました。その他に自然科学研究機構内で技術職員による研究会として法人化以降に実施している「機構技術研究会」があります。これら技術研究会への参加状況について以下に示します。

機構技術研究会（岡崎コンファレンスセンター）

平成26年6月19日～20日

■口頭発表4件

1. リソグラフィを中心とした微細加工支援の紹介
2. 分子研750MeV電子蓄積リングにおける現在までの高度化改造について
3. 岡崎3機関における情報セキュリティの強化
4. 分光実験用ピコ秒レーザーを用いたレーザー加工への取り組み

北海道大学総合技術研究会（北海道大学）

平成26年9月4日～5日

■口頭発表2件

1. 高磁場超伝導線材の引張歪印加機構プローブの開発
2. 技術職員が携わる広報

■ポスター発表9件

1. アウトリーチ活動における光速測定体験
2. 低真空電界放射分析走査電子顕微鏡の紹介
—X線分析装置を中心に—
3. サーバルームへの気化式加湿器の導入
4. 技術研究会講演の複数方式によるライブ配信
5. Selenium IDE を用いたウェブサイトの更新
6. 室温状態に戻った液体ヘリウム容器の予冷検証
7. Raspberry Pi による A-D 変換システム
8. TWE-Lite DIP を使った環境測定ネットワークの構築
9. 窒化ニオブマイクロパターンをもつ高圧アンビルの製作

技術課セミナー

技術職員研修の一環で実施している「技術課セミナー」は、今年度は放射光利用技術をテーマとしました。2年前にも放射光ビームライン技術をテーマに開催しており、その際は光を特定の波長に切り出す分光技術に着目しました。今回は切り出した後の光をどのように使い試料を分析するかという利用技術の方に焦点をあてることとしました。所外から5名、所内から1名の講師を招き、なるべく平易な解説で他の分野の技術職員にも理解できる内容での講演となるようお願いしています。光技術班以外の班や所外からの参加も多く、有意義な交流が図れたのではないかと思います。

技術課セミナー「放射光利用技術最前線」

開催日：平成27年3月9日（月）

「高輝度放射光を用いた軟X線分光計測の最前線」

為則雄祐 副主席研究員（高輝度光科学研究センター SPring-8）

「固体の発光・励起スペクトル測定とエリプソ測定 - 定量性を意識して -」

福井一俊 教授（福井大学 工学研究科）

「UVSOR BL5Uにおけるスピン分解・角度分解光電子分光」

田中清尚 准教授（分子科学研究所 極端紫外光研究施設）

「DMDを用いたマスクレス露光技術とその応用」

足立純一 講師、田中宏和 技師（高エネルギー加速器研究機構）

「X線自由電子レーザー実験のX線イメージング検出器」

初井宇記 チームリーダー（理化学研究所 SACLA）



技術職員研修等

受入研修

全国の大学や研究機関の技術職員を受け入れ、技術課の職員と互いの技術向上および交流を目的として、平成26年度は1件の受入研修を実施しました。

受入研修については全国の大学・高専・大学共同利用機関の技術職員に向けて、それぞれの専門技術について実施しています。この研修は受入側の分子研技術課職員に対しても研修となるよう、相互の課題解決型の企画に重点を置いています。

所 属	氏 名	内 容
名古屋大学	工藤哲也	加工技術の効率化に関する研修

その他の研修

平成26年度の技術課の職員は研修として、前述した研究会等以外に「東海・北陸地区国立大学法人等技術職員合同研修」にも参加しています。また、奨励研究（科研費）の採択、所長奨励研究費（所内制度）による研究活動で必要とされる専門技術について、他機関や民間が開催する講習会等へ参加し、技術の研鑽に努めています。詳しくは本誌の技術レポート等を参照して下さい。

共通支援業務

中学生の職場体験学習

職場体験学習は文部科学省でも学校教育の活動として推奨しており、分子研も体験先の事業所として協力しています。毎年多くの岡崎市を中心とした中学校から受入希望が寄せられ、技術課は年間



4校程度まで受け入れ、研究所での体験学習を技術職員が対応することになっています。平成26年度の状況を下記に示します。

労働安全衛生

法人化以降には研究所の安全衛生に関して実務を行うための安全衛生管理室が設置されています。そこには専任の教員と事務支援員が配置されていますが技術職員は所属していません。しかし、安全衛生管理業務の実際の執行には化学物質、放射線、高圧ガス、電気、機械といった数名の専門の技術職員が安全衛生管理室の兼任メンバーとして実務を行っています。平成26年度からは毎週の所内巡視に輪番制でほとんどの技術職員が携わることとしました。これによって各技術職員が安全に対する知識および安全意識の向上が図られています。

研究環境の整備

技術課は分子科学研究に関する直接的支援や、研究施設の管理・運用に関係した技術的支援を担う役割の他に、事務方との協力体制で研究所の業務を行う事が多くあります。平成26年度も研究室・実験室の研究環境整備や、インフラの老朽化改善のための多くの改修工事が生じました。このような整備事業には施設建築の事務部署が大きく関係しますが、技術課も研究所マネジメント業務の1つとして深く関わり取り組んでいます。

平成26年度は前年度末からの積み残しで4つの研究室の整備を年度当初から開始し各方面の調整を行い早期に実験研究が開始できるようにと進めてきました。また、分子研は27年度には創設40年目となります。創設当初の建物群も、かなり老朽化が進んでいることから順次改修整備を行っています。実験室や研究室も研究活動を停止させないよう移転計画や移転先の準備など教員や事務職員と緊密な連携を進めています。

表 平成26年度職場体験受入状況

日 程	受入学校	担当部門/施設	内 容
6/10～6/11	豊田市立上郷中学校	UVSOR 機器センター	光を作る、鏡を作る。 極低温実験ほか。
8/6～8/7	岡崎市立竜海中学校	計算センター 機器センター	コンピュータネットワークを敷いてみよう。 光の実験と極低温の世界を体験。
10/8～10/9	岡崎市立東海中学校	装置開発室（電子回路） 計算センター	簡易デジタル・アンプ回路の製作と動作試験。 コンピュータネットワークを敷いてみよう。
10/22～10/23	岡崎市立福岡中学校	装置開発室（機器開発） UVSOR	リソグラフィーによる微細加工を体験しよう。 光を作る、自然界の放射線を測定する。
11/17～11/18	岡崎市立美川中学校	技術課	いろいろな実験を体験してみよう。

■ その他技術課に関すること

技術課の班は研究所の研究施設とほぼ一致するように構成しています。本誌の各技術班の紹介には研究施設とその業務について詳しく記述されているのでご理解いただければと思います。その研究施設ごとの技術班（技術職員）をひとまとめにしているのが技術課となりますが、研究支援としての定型業務、技術開発、課題解決といった技術職員の業務は、所属する技術班つまり研究施設が主体となります。各技術職員は研究施設の方針や将来計画などに沿って日々業務を遂行しますが、実務の上では他の技術班（研究

施設）とまったく無関係に進めることはできません。技術課としてはこの研究施設ごとの状況をより深く施設間で共有し各技術班をまとめて行くことが重要な役割の1つと感じています。これを踏まえて平成26年度の中頃から各施設長と技術課長との会合を現在は不定期ですが持つことを始めました。そこでは研究施設運営や技術課の運営、施設間の技術職員の関わりなど技術職員に関係した総合的な情報交換が行われます。今後は、各技術班がさらに他の技術班との係わりを深めて相乗効果が生れる場面が出てくるかもしれませんので期待して頂きたいと思います。

コラム

視点を考える

昨年11月に埼玉の「ものづくり大学」で放電加工に関する研究会に出席した際に、「もしドラ」(※1)でブームになったあのP.F.ドラッカーのマネジメント論に関する講演を聞く機会を得た。その講演ではマネジメントの具体的手法というよりはマネジメント論の基礎「人が幸せに生きられるような社会はどうあるべきか」というドラッカーの根源となる考え方が大半で、これにはいたく感銘した。

さて、ここでは講演でも話された「イノベーション」について紹介してみようと思う。技術屋は「イノベーション」と聞くと生産や技術の革新として捉えがちだが、本来の意味はもっと幅広く、新しい発想から社会的意義のある価値を創造することなのだ。ビジネス本によく出る、エスキモーに冷蔵庫を販売する逸話がある。電器メーカーの営業が顧客であるアラスカのエスキモーに冷蔵庫を売ってこいと命令される。エスキモーは屋外に天然の冷蔵庫を持っているようなもので、そんなところで電気冷蔵庫など売れるわけがない、と営業マンは頭を抱えた。そう思い込むのも当然だ。しかし、顧客の状況をマーケティングしてみたら、何でもかんでも凍ってしまう極寒の地では食材を「適度な温度で保存できる箱」として冷蔵庫が機能する事を見出した。営業マンが早速セールスすると「これで真冬でもいつも通りの食生活がおくれる！」と、顧客も喜び爆発的に売れたという例である。冷蔵庫の機能を従来の概念から外れて新機軸を打ち出し新しい市場を開拓したこと、これもイノベーションだと言う。

ここでポイントの1つは既成概念から視点を少し変える、ということじゃないだろうか。本誌2013年版のこの紙面で、技術課には変革が必要と言った。まだ今でも言い続けているが、それには小さなイノベーションでも構わない、切り口を変えて新たな創造という意識が重要なのだ。私を含め技術課の皆さんも日々の技術業務や自身の置かれている状況に少し見方を変えてみて、新しいアイデアでもってイノベーションを起こす気持ちを持って頂ければと思う。

※1 もしドラ：

「もしも高校野球の女子マネージャーがドラッカーの「マネジメント」を読んだら」という小説(2009)の略称。ダム野球部員の意識改革をして甲子園を目指すストーリー。日本でのドラッカーブームの火付け役となる。



技術レポート

機器開発技術班

チタン酸ストロンチウム基板曲げプローブの設計・製作	近藤 聖彦	17
SiN メンブレンへの位置出し用格子パターンの製作	高田 紀子	19
NMR プローブ用スリーブの製作	水谷 伸雄	21
走査トンネル顕微鏡 (STM) 用クロム探針の製作	矢野 隆行	23
メカトロニクスセクションにおける基盤技術について	青山 正樹	25
コラム 装置開発室に移動して 中野 路子		27

電子機器開発技術班

2チャンネル高速ディレイ・バルサーの製作	吉田 久史	28
DDSとARMマイコンを用いたTTLレベル出力パルスジェネレータの開発	豊田 朋範	30
回転セル制御装置の製作	内山 功一	32

光技術班

2013年度末～2014年春期に実施した電子蓄積リング高度化改造について	山崎潤一郎	34
加速器室監視ロボットに向けて	林 憲志	37
UVSORの真空インターロックの現状と課題	近藤 直範	39
イオン・NEGポンプの再活性化	手島 史綱	41
NEGポンプの特徴と使用する時に注意すべきこと	蓮本 正美	44
コラム 第28回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウムへの発表参加報告	山崎 潤一郎	36
技術課を去る——柔軟性を忘れないで—— 堀米 利夫		43
光学キットの活用 岡野 泰彬		43
真空チャンバー内にあった粉末の元素分析 酒井 雅弘		47

機器利用技術班

共同利用装置ピコ秒レーザーを用いた微細加工への取り組み	上田 正	48
液体ヘリウム容器の予冷検証実験	高山 敬史	51
コラム 機器センター (山手地区) の新体制について 牧田 誠二		53
山手地区液体窒素供給システムの不具合 (雨天限定) 水川 哲徳		53
「大学連携研究設備ネットワーク研究成果報告会」に参加 岡野 芳則		53

計算科学技術班

空調機室外機に散水する	松尾 純一	54
電子メールのセキュリティ	内藤 茂樹	56
コラム ライブラリーアプリケーション 岩橋 建輔		59
学術ネットワーク更新と所内外ネットワーク通信量予測 澤 昌孝		59
今年度の活動 長屋 貴量		59

学術支援班

ラマン分光法による電子状態の研究	売市 幹大	60
コラム 開放的なオフィス整備 内山 功一		61

チタン酸ストロンチウム基板曲げプローブの設計・製作

近藤 聖彦 機器開発技術二係

キーワード：有機FET、曲げひずみ、極低温

1. はじめに

私たちの身の回りにあるデジタル回路のスイッチング素子などに使用される電界効果トランジスタ（Field Effect Transistor：FET）は図1（a）に示すように、チャンネル（水路）上にソース（水源）とドレイン（排水口）があり、絶縁体の上にゲート（水門）がある構造となっている。このゲートに電圧を印加することで、図1（b）に示すようにソースからドレインに電子が流れ、あたかも水門が開き水路に水が流れるような現象が起こる。これは、ゲートに電圧を印加することにより絶縁体が帯電し、チャンネル内の自由電子が界面に引き寄せられることで電子が移動しやすくなるためである。

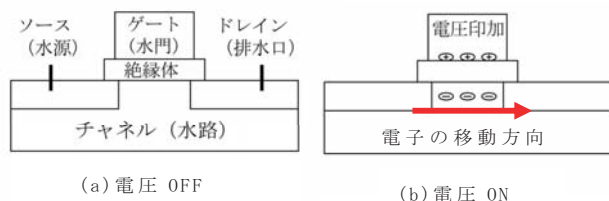


図1 FETの概念図

このようにゲートをON-OFFすることで電子の流れを制御する仕組みを利用して、分子研の協奏分子システム研究センターでは図2に示すようなゲートにチタン酸ストロンチウム基板（以後、STO基板と呼ぶ）、チャンネルに有機物、絶縁体にアルミナを使用した有機FETを作製している。このFETを極低温まで温度を下げた状態におき、ゲートに電圧をかけると、絶縁物であった有機物が超伝導状態に転移し、その内部で電気が流れることが世界で初めて明らかとされた。また、同様のデバイスをフレキシブル基板上に製作し、ひずみを与えることでも、電子の流れを制御できることもわかった。このように、極低温下で基板にひずみを印加したときの電気特性を測定するのに、図3に示すQuantum Design社の物理特性測定装置（Physical Properties Measurement System：PPMS）を使用す

る。これまで樹脂製の基板をひずませる装置はあったが、STOのような硬い基板にひずみを印加する機構を備えたプローブはなく、これを開発する必要があったため、設計・製作を行った。

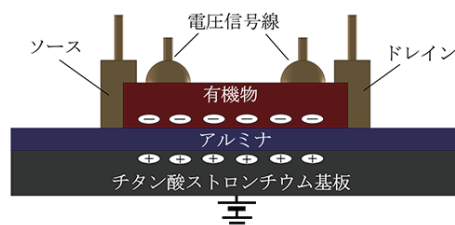


図2 有機FETの模式図



図3 PPMSの外観

2. STO基板のたわみ量測定

有機FETのSTO基板にひずみを印加するために、基板を曲げる手法を採用した。STO基板（15×3×t 0.3mm）の曲げ方法は、図4に示す曲げブロックの基板固定溝にSTO基板を固定した後、曲げ発生軸を下方に移動させて行った。使用した曲げ機構は、曲げブロック、リンクバー、ガイドプレート、曲げ発生軸から構成されている。この発生軸と曲げブロックは2本のリンクバーで連結している。これらの接続にはヒンジピンを使用しており、このピンが、ガイドプレートに設けた曲率ガイドに沿って移動するので、曲げブロックの板バネに曲げモーメントが作用し、板バネの曲がり方に応じて、STO基板が下方凹形状に曲がる構造となっている。このように基板に曲げ荷重が印加される

ことでひずみが発生する。

この機構を用いてSTO基板がどの程度曲がるかについて実測を行った。STO基板のたわみ量測定には、図5に示すZ軸方向の分解能1nmの非接触3次元測定機NH-3SPを使用した。測定結果から最大8 μ m程度のたわみまで、STO基板を曲げることが可能であることがわかった。測定結果を図6に示す。このたわみ量はSTO基板の断面形状0.3 $\times$ 3mmに20N程度の力を作用させたときのひずみ量に相当する。

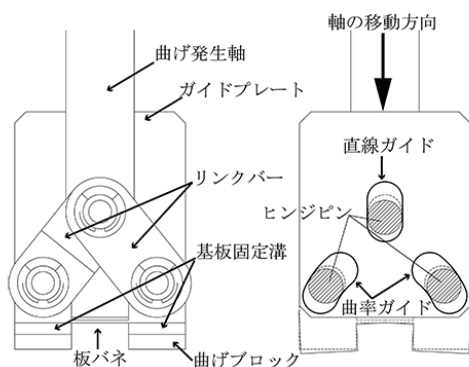


図4 曲げ機構



図5 たわみ量測定の様子

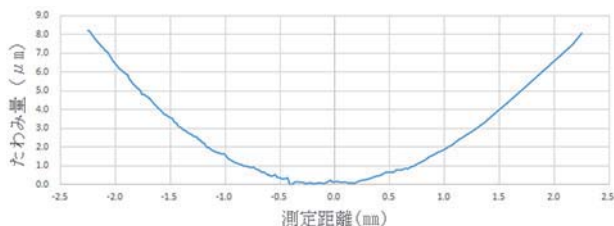


図6 たわみ量測定結果

3. STO基板曲げプローブの設計

PPMSのボア内に挿入するため、プローブの外形状は ϕ 25mm以下で設計する必要があった。また、PPMSの挿入口からプローブ先端までの長さは0.9m程度となるので、図7に示すように全長は1.1m程度となった。

設計したプローブは図8(a)に示す曲げ機構部と(b)に示

す直動機構部から構成されている。曲げ機構部は図9に示す曲げユニットが着脱できる構造とすることで、有機FETの交換作業並びに配線作業が容易に行えるように設計した。また、曲げユニットとプローブ本体の接続は市販されているソケットピンを利用した。このユニットの曲げ発生軸は図8(b)に示すアクチュエータ軸に固定したステンレス製パイプにM2ボルトで接続する。これにより、曲げ発生軸はアクチュエータ軸の動きと連動する。使用したアクチュエータは分解能20nm、最大移動速度0.3mm/s、位置決め精度0.01mmであるため、微小速度で移動量を制御することができる。

STO基板の曲げ量を評価するのに、極低温環境において定評のあるひずみゲージを曲げブロックの板バネに接着して使用する。このひずみゲージの出力は微量であるので、製作したインストルメンテーションアンプに接続し、増幅した出力値をPCモニタ上で確認できる設計となっている。

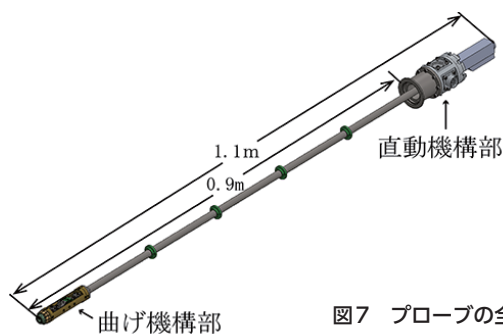


図7 プローブの全体図

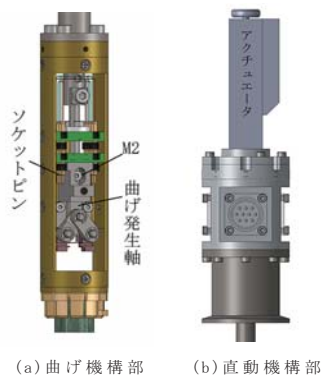


図8 プローブの各部

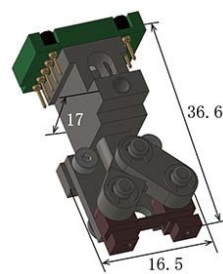


図9 曲げユニット

4. おわりに

PPMSに装着した状態で、有機FETのSTO基板に曲げひずみを印加できるプローブの設計を行った。これにより、極低温下での基板にひずみを印加した時の電気特性を評価することができる。

現在は、部品加工が終了しており、今後組み立て作業を行う。組立て完了後、PPMSに装着して極低温下において動作試験を行う予定である。

SiN メンブレンへの位置出し用格子パターンの製作

高田 紀子 機器開発技術二係

キーワード：SiN メンブレン、リバーサルレジスト、リフトオフ

はじめに

ナノテクノロジープラットフォームを通して名古屋大学から依頼を受けたもので、厚さ 100 nm と非常に薄い SiN（チ化シリコン）メンブレン上に、微細な白金格子パターンをフォトリソグラフィで製作したので報告する。

SiN メンブレンチップの構造を図 1 (a) に示す。チップ全体の大きさは $\square 10$ mm、厚さ 0.625 mm で、中央部分に $\square 2$ mm の範囲で厚さ 100 nm の SiN メンブレンが保持されている。これは、放射光を用いた顕微 XAFS (X-ray Absorption Fine Structure) 測定で使用するもので、SiN メンブレン上に分散させた触媒粒子を探すための目印として、線幅 5 μ m、間隔 100 μ m の格子パターン (図 1 (b)) を製作した。

製作工程

製作工程を図 2 (a) に示す。まず始めに、メンブレン上にフォトリソで格子パターンを製作し、その上に白金を成膜、最後レジストを除去することで白金のパターンを得るリフトオフ法を用いた。今回の製作の中で一番の問題点は、メンブレンの厚さが薄いため壊れやすい点であった。特に、レジストを除去する工程でこれまで超音波洗浄を行ってきたが、メンブレンが破壊されるため、本製作では

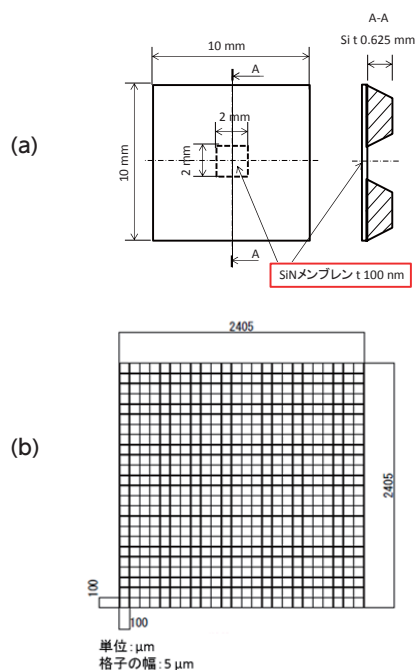


図 1 (a) SiN メンブレンチップ (NTT AT) (b) $\square 2$ mm の SiN メンブレン上に製作した格子パターン

超音波洗浄を行うことができなかった。そこで、より緩やかな条件でのレジストの除去が期待できるイメージリバーサルフォトリソ (以下、リバーサルレジスト) を使用して製作を試みた。

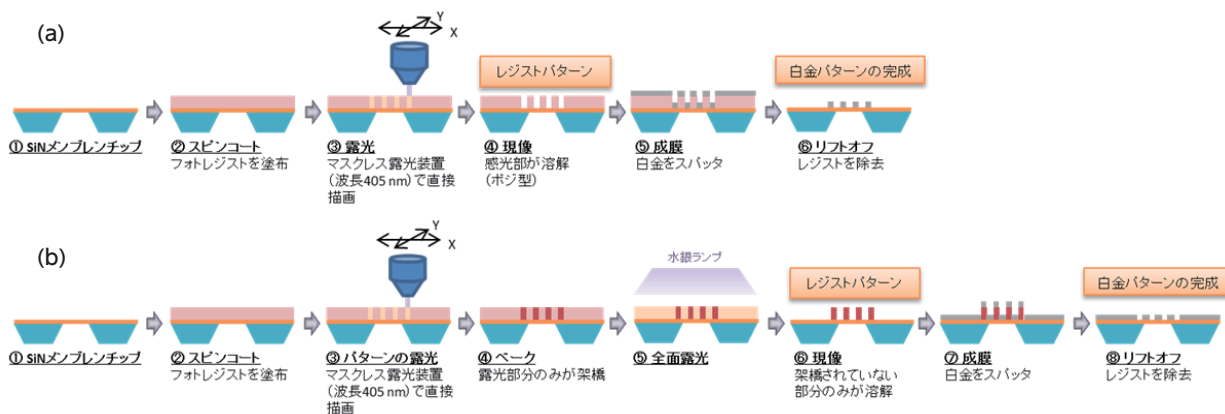


図 2 リフトオフの工程
(a) 通常のフォトリソ (ポジ型) を使用した場合 (b) リバーサルレジストを使用した場合

リバーサルレジストの条件検討

リバーサルレジストは、断面形状が逆テーパになることから成膜材料がレジストパターンの側面に回り込みにくく、そのためリフトオフに適したレジストとして市販されている（図3）。製作工程は、「③パターンの露光」後、「④ベーク」と「⑤全面露光」の工程が追加される（図2(b)）。ベークにより露光部のみが架橋されることから、次の「⑤全面露光」と「⑥現像」を経ることで、パターン形状でレジストが残るネガ型の構造が得られる。リバーサルレジストを使用するにあたってまずは、断面形状への影響が大きいとされる「③パターンの露光」量と「④ベーク」の温度の検討をシリコン基板を用いて行った。それぞれの条件でレジストパターンを製作後、白金を成膜し、最後は50℃程度に加熱したレジストリムーバー液中で緩やかに振とうすることで、レジストの除去を試みた。加熱したレジストリムーバー液に浸けてから20分後の顕微鏡画像を図4にまとめた。いくつかの条件できれいにリフトオフを行うことができたが、その中でも特にレジストが除去されるまでの時間が短く、かつ寸法精度がよかった条件（パターンの露光量 20 mJ/cm²、ベークの温度 120℃）を、SiNメンブレンへの製作に適用することとした。

リフトオフのしやすさには、パターンの露光量やベークの温度によるレジストの架橋の程度、そして断面形状

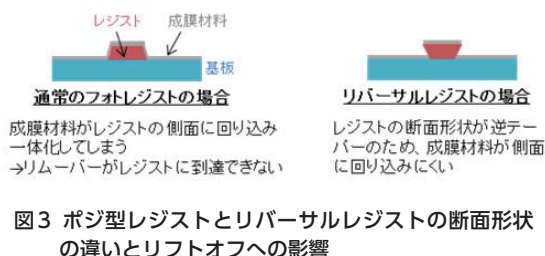


図3 ポジ型レジストとリバーサルレジストの断面形状の違いとリフトオフへの影響

が影響すると考えられ、これら2つのパラメーターのバランスが重要なようである。ベーク温度120℃におけるレジストの断面形状を、SEMで観察した結果を図5に示す。露光量によってレジストパターンの寸法や形状が変わることが確認できる。露光量が高くなるほど角が丸くなっており、そのためリフトオフがしにくくなることが予想される。

SiNメンブレンチップへのパターンニング

SiNメンブレン上に製作した格子パターンを光学顕微鏡画像を図6に示す。超音波洗浄を行わずに、0.5 μm程度の寸法精度で格子パターンを製作することができた。

おわりに

今回の実験から、リバーサルレジストを使用することで超音波洗浄を行わずにリフトオフを行うことができた。このことから、壊れやすい基板上へのパターンニングや、密着性の弱い成膜材料でのリフトオフへの応用が期待できる。

謝辞

白金を成膜する際スパッタ装置を使用させていただいた、分子科学研究所 協奏分子システム研究センター 山本浩史教授に紙面を借りてお礼申し上げます。

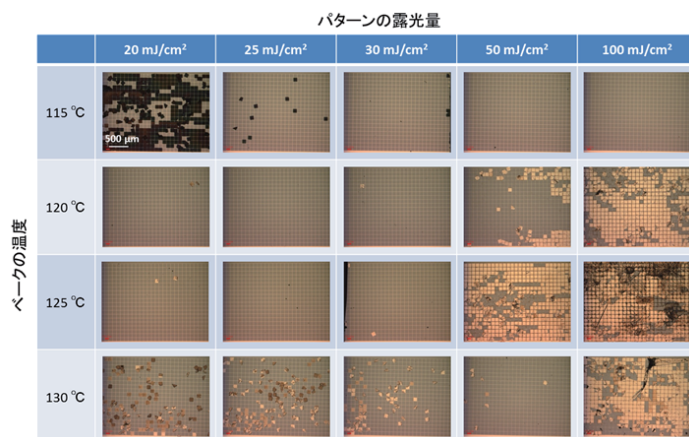


図4 リバーサルレジストの条件検討の結果

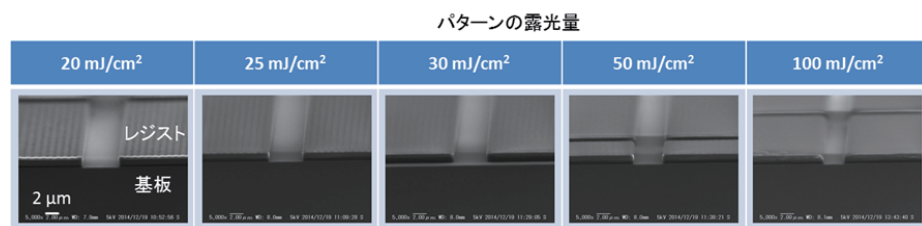


図5 レジスト断面形状のSEM画像（ベーク温度120℃の時）

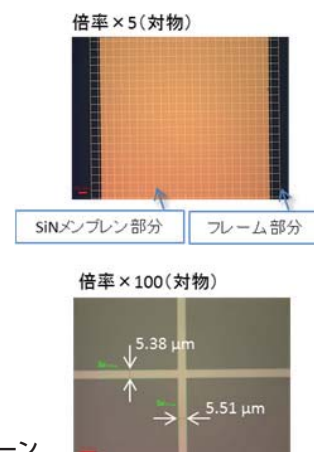


図6 SiNメンブレン上に製作した白金格子パターン

NMRプローブ用スリーブの製作

水谷 伸雄 機器開発技術一係

キーワード：スリーブ、旋削加工、ビビリ

はじめに

物質分子科学研究領域 分子機能研究部門 西村勝之准教授は、機器センター所有で実験棟119号室に設置してあるBruker社製AVANCE600分光器に山手地区で使用していたJEOL社製ECA600分光器用固体NMR¹H-X二重共鳴4mmMASプローブが使用できるように改造を行ってきた。そのためにはプローブの外径を細くし全長を短くする等の改造の必要があり、その他の構成部品についても製作し直さなければならなかった。装置開発室では、これら改造に必要な部品の製作を行ってきたが、今回は、外装スリーブの製作について紹介する。

スリーブとフランジ

図1、図2に製作した2組のスリーブとフランジを示す。



図1 スリーブ (540×φ39.0×0.5t)



図2 スリーブとフランジ (φ53.5×4.5t)

スリーブは全長540mm外径φ39.0mm内径φ38.0mm(肉厚0.5mm)で、幅4mmのフランジ接合部分のみ外径φ39.7mm(肉厚0.85mm)とした。ちなみに、フランジは、外径φ53.5mm厚さ4.5mmである。スリーブは、素材として真鍮パイプ(外径φ40mm、内径φ38mm、肉厚1mm)が、依頼者より提供され内径はそのまま外径のみ旋削加工した後、側面に直径φ20mmの穴とM2ねじ用の皿ザグリ加工を行った。フランジのハンダ付け作業は、プローブ本体との整合性を確認しながら西村准教授が行った。

治具の製作

全長540mmのスリーブを加工するために、全長765mm直径φ40mmのアルミ合金製の治具を製作した(図3)。



図3 加工治具全景



図4 治具先端部分

図の左奥の部分を旋盤に固定し、真鍮パイプをはめ込むために右手前から615mmの所まで直径 $\phi 38\text{mm}$ の段付加工を行った。なお、先端部分には、はめ込んだ真鍮パイプを固定するためのねじ加工が施しており、真鍮製の押しねじによって軸方向に圧縮力を加え固定される。図4は、治具先端部分と真鍮パイプを固定する際のアルミ製サポートリングと押しねじを示す（奥の部品は、パイプ端面や穴あけ加工用の治具）。幅10mmのアルミ製サポートリングは、片側5mmを真鍮パイプ内径に隙間無くはめ込む事でパイプ切削時に端面がつぶれたり変形したりするのを防いだ。サポートリングの外径は真鍮パイプ切削時に共に直径 $\phi 39.7\text{mm}$ まで削った（図5）。サポートリングを挿入した側がフランジの接合部分になり、その後、幅4mmのフランジ接合部分を残し、それ以外は、直径 $\phi 39.0\text{mm}$ （肉厚0.5mm）まで削り込んだ。

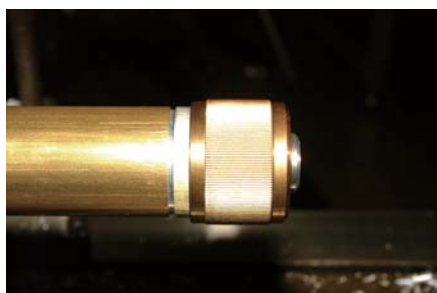


図5 サポートリングの挿入

スリーブ加工

真鍮パイプは、長さ1000mmの素材から、真円度、直進性共にできるだけ良好な部分を仕上げ寸法より30mm長い570mmに切り出して使用したが、それでもアルミ合金製治具とのはめ合いでは場所により僅かな隙間ができ回転させると振れとなって現れた。はじめに、フランジ接合部分を直径 $\phi 39.7\text{mm}$ で切削した時もフランジ接合部分以外の場所では大きく削られる部分と全く削られない部分があった。2回目の切削は、切込み量を0.2mmとしたが不均一な切削状態と材料が細長いこともあり切削面にはビビリ痕とうねり模様が残った。ちなみに、図6に示すようにアルミ合金製治具製作時はスリーブ製作時に比べ主軸回転数が速く切込量も多かったためビビリ痕やうねり模様がより顕著に現れていた。このため、3回目のスリーブ切削時は、切込み量0.1mm、送り速度0.14mm/rev、回転数155rpmで行ったが、完全にビビリを無くす事はできず切削中は手でパイプの振動を押えていなければならなかった。仕上げ切削となる4回目は、切込み量0.05mm、送り速度0.07mm/rev、回転数118rpmで行ったが、パイプの中央付近では振動を押える必要があった。直径を仕上げた後に全長540mmの位置で突っ切り

（図7）フライス盤で $\phi 20\text{mm}$ の穴あけとM2ねじ用ザグリ穴の割振り加工をして完成した。

あらかじめ長めのパイプを用意し、あえて端部の肉厚を残しておいたのは、切削により肉厚が薄くなったときにパイプを固定するためのねじの締付け圧力で端部がつぶれてしまう事を防ぐためでありフランジ接合部分の肉厚を厚めに残したのもこのためである。



図6 ビビリ痕とうねり模様

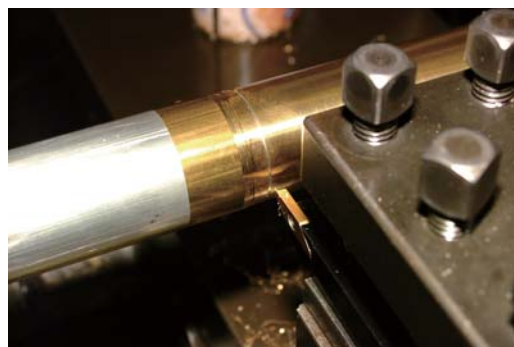


図7 全長540mmで突っ切り仕上げとする

おわりに

今回製作したスリーブの長さは、装置開発室の所有する旋盤では加工限界に相当し、パイプを着脱するには芯押台を外す必要があった（図8）。また、長年の使用による主軸ベアリングの傷みにより、切削時には細かい振動が発生する。この振動もビビリ痕やうねり模様の一因と考えられる。老朽化による振動の発生や精度低下は避けられないが、今後も加工方法や治具等を工夫して製作依頼に対応して行きたい。



図8 作業風景

走査トンネル顕微鏡 (STM) 用クロム探針の製作

矢野 隆行 機器開発技術一係

キーワード：測定, 顕微鏡, 材料

はじめに

本課題は、物質分子科学研究領域電子構造部門の研究グループから依頼のあったもので、このグループが走査トンネル顕微鏡（以下、STM）で観察する際使用しているタングステン針の代わりにクロムの針を用いて測定したいとの要望があり製作したものである。

探針について

STMについてここで詳しく説明しないが、簡単に言えば、先端の尖った探針を使用することで物質の表面構造を非接触で観察するものである。さらにこの探針を強磁性体や反強磁性体にするすることで、物質表面構造と共にスピンの方向も測定できることがわかっている。この探針は、それぞれの薄膜をコーティングすることで実現しているようであるが、今回純度99.99%以上のCr材から直接探針を製作することになった。

材料としてのクロムは、流通量も少なく、入手できる形状やサイズも多くはないので、板材（1×20×20mm）から1mmずつワイヤ放電加工機で切り出し、□1×20mmの角材にして、依頼者に提供した。

探針の製作方法

図1に探針製作の模式図を示す。

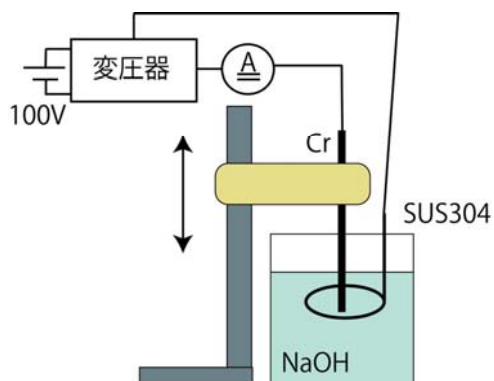


図1 探針製作の模式図

2mol/lの水酸化ナトリウム水溶液を使用して、電極の陽極側にこのCrの角材を陰極側にSUS304のリング電極を使用した。水酸化ナトリウム水溶液面からCr材の先端が2mm浸るようにした後、電圧を10Vかけ、電流値が1mAになるまでCr材を溶液中に沈める。電流値が1mAになったところでCr材を引き上げ、水、エタノールの順で2回洗浄を行った。

製作した探針

製作したCr製探針の先端形状と拡大を図2に示す。

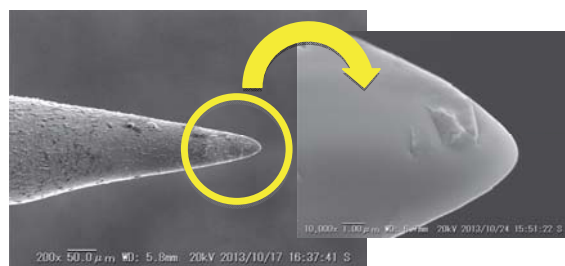


図2 製作したCr探針 Ver.1

写真のように先端が尖らず、比較的円弧の大きい先端形状になってしまった。これでは、STMの探針としては使用できないため、改良を行った。

対策としては、製作工程の水酸化ナトリウム溶液に浸す前の段階に着目した。□1×20mmの角材になっているCrを形彫放電加工機の電極成形モードを使用して、φ0.8×20mmの丸棒に成形し、その後前述した探針の製作工程を施して試作した。

角材を円柱状にしたことで、水酸化ナトリウム溶液に浸した後の形状が鋭利な先端となった。先端形状を図3に示す。さらにその先端を拡大したものを図4に示す。

図4の中央部に細長い針形状を確認できた。さらに拡大して観察したところ、φ70×300nm程度の針形状をしているようなので、探針に利用できると考えられる。

Cr材切断時における問題

この探針を角柱に切断する手段として、ワイヤ放電加工機による切断を選択した。しかし、依頼者から提供していただいた時期によって、加工途中でCr材が折れてしまうことがあった。結晶の方位等が関係することも考慮したが、Crの精製法が粉末冶金法だと考えられるので、判断基準の一つとして、ロットの異なるCr材の材料組織観察を行うことにした。

今回腐食液には、STM探針を製作する時に用いた2mol/lの水酸化ナトリウム溶液を使用した。したがって試料製作方法も探針を製作したときの方法を応用している。電極の陽極側には1×3×3mmのクロムを、陰極側にはSUS304材のリングを使用した。電極には、初めの30秒は、電圧6V、電流0.5Aを印加し、その後30秒間、電圧1V、電流0.005Aを印加した。

ロットの異なる2種類のCr材の腐食前の状態と腐食後の状態を図5、6に示す。

結果と考察

図5のサンプル1は最初に支給され材料で比較的折れなかったものであり、図6のサンプル2は2度目に支給された材料で折れが多かったものである。どちらのサンプルも

切断方向によって折れやすさに差があった。

今回の材料組織観察から黒く線状に見るものが結晶粒界で欠損と考えるのであれば、サンプル1はその密度が粗であり、サンプル2は密であることがわかる。サンプル2で製作したCr角材に加工中、折れが多かったことを考えると、この結晶粒界が原因の一端であると考えられる。そのため、できれば加工前に端材で材料組織観察を行ってから、切断加工に移行することが望ましい。

まとめ

今回、コーティングではなく純度99.99%以上のCrからSTM用の探針を製作した。最後に示したナノオーダーレベルの針形状は、Cr材から角材を切り出す時の方向によって出現する方向に違いがある可能性があることまでは確認した。しかし現在のところその要因について追究していないため、これについては今後の課題である。現在、この探針を利用した研究は中断されているが、今後同ような工作依頼があった場合の貴重な経験となった。



図3 試作したCr探針 Ver.2



図4 Cr探針 Ver.2拡大

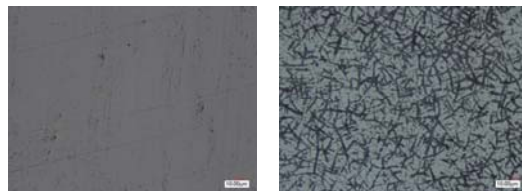


図5 サンプル1 (1000倍)
(左: 処理前 右: 処理後)

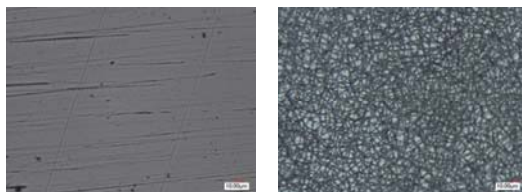


図6 サンプル2 (1000倍)
(左: 処理前 右: 処理後)

メカトロニクスセクションにおける 基盤技術について

青山 正樹 機器開発技術班

キーワード：マイクロ加工、微細加工

はじめに

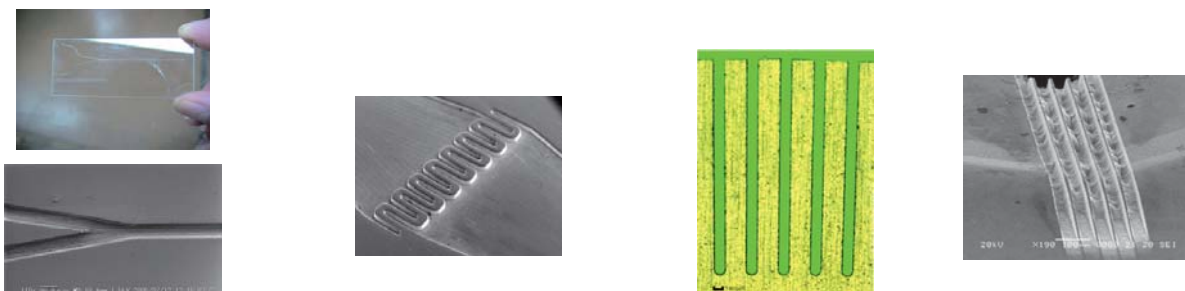
装置開発室メカトロニクスセクションでは、研究所創設当時から数多くの装置製作に携わることにより、特徴的な基盤技術が蓄積されてきた。極端紫外光施設で利用される超高真空容器、分光器および真空装置内でのマニピュレーション機構など、超高真空機器の製作に関連した技術、低温装置の製作に必要なロウ付け、TIG溶接、電子ビーム溶接などの接合技術、分子線スキマーの製作に代表されるような高度な機械工作技術などが、研究者の要求に応える形で蓄積されてきた。近年では、ナノテクノロジーや微細加工技術などの未成熟な技術分野や、設計作業の効率化のための解析技術などに重点技術を向けて、メカトロニクスセクションの新たな基盤技術の構築に向けて取り組みを行っている。

マイクロ加工および超精密加工技術について

マイクロ加工は、「一般的な工作機械による微細形状の加工技術」と位置付けて、おもにサブミリサイズの形状が必要とされる工作技術の高度化を行ってきた。このサイズの加工は、半導体プロセスでは加工領域が大きく効率が悪い。一方、機械加工では工作機械の限界能力に近く簡単ではない。我々はこれまで蓄積してきた工作技術に、加工条件や工程、さらに加工環境などに注意を払うことでこれらの製作要求に応えてきた。図1 (a) のガラス製マイクロ

リアクターは、NCフライス盤による機械加工で、脆性破壊を生じないような工具回転数や送り速度など、加工条件を模索し、耐熱ガラスに溝幅100 μm のY字型流路の加工を実現した。(b) のハステロイ製マイクロミキサーは、専用のマイクロ加工用の加工装置を自作して製作効率を高めた。(c) の分子線速度選別ディスクは、 $\phi 70\mu\text{m}$ ワイヤーによる放電加工で製作した。放電加工はアーク放電により材料を溶融させながら加工するため、細かな形状部では熱歪による変形が生じる。各部の熱影響が同じ条件になるように加工経路および加工プログラム、また固定ジグなどの工夫により高精度な製作を実現している。(4) の高圧実験用セルの微細配線溝は、フェムト秒レーザーにより加工した。セル素材のインコネル材に適切な条件でビーム照射を行うことで、熱影響の少ないアブレーション加工を実現した。レーザー加工装置は装置開発室では保有していないが、所内からの微細加工の要求が多くあったため、企業のオープンラボを利用し加工を試みてきた。現在は、所内で保有している分光実験用で使用するピコ秒レーザーを、レーザー加工装置として加工用に光学配置し、金属板だけでなく、ガラスなどの透明材料に対する微細加工も試みている。

超精密加工は、数nmの駆動分解能をもつ超精密加工機と単結晶ダイヤモンド工具を使って、形状および表面精度をナノレベルで加工することが可能である。図2 (a) は



(a) ガラス製マイクロリアクター (b) ハステロイ製マイクロミキサー (c) 分子線速度選別ディスク (d) 高圧実験用セルへの微細溝加工

図1 マイクロ加工による製作例

理化学研究所が所有している超精密加工機を利用して製作した。高さ200 μm の微小なピラミッド状の突起構造のバイオセンサー基板用の金型である。(b)は現在試作しているMgF₂の非球面レンズで、クラックのない平滑な加工表面を得られる条件を模索検討している。(c)はアルミ製のIPES用楕円面鏡で、表面粗さRa5.8nmの鏡面が得られている。このようなナノレベルの平滑性を必要とする加工を通じて、素材特性や加工時の切削力や振動および発熱などの加工精度への影響など精密加工技術に関する貴重なノウハウが蓄積された。

リソグラフィ技術について

機械工作技術を基軸としたマイクロ加工を進めていく過程で、より微細形状が必要な製作要求を受け、重点技術をリソグラフィにも向けてきた。図2(a)に示すPDMSマイクロ流路ミキサーは、タンパク質の構造変化を調べるために2液の瞬間的な混合に使用される。SU-8レジストの流路パターンにPDMSをモールドイングし、酸素プラズマ処理によりPDMSとガラスを接着して流路を形成させた。(b)の高周波共鳴高圧実験用アンビルは、高圧環境下における金属試料の特性実験のために使用される。アルミナ製のアンビル上には窒化ニオブを成膜し、リフトオフによりミランダパターンを製作した。(c)の有機結晶作製用石英ガラス電解セルは、深さ3 μm の電解槽をウェットエッチングによって製作し、スパッタリングとリフトオフによって白金電極をパターンニングした。その他にも、顕微XAFS測定用SiNメンブレン上への白金格子パターン、特殊な顕微鏡下で細胞を観察するために使用されるガラス製ウェルなど、さまざまな研究分野からの製作依頼があり、着実に装置開発室の新しい基盤技術の一つとなっている。

解析技術について

実験装置の設計作業の効率化および最適化を図るた

め、有限要素法解析を取り入れることを推進している。図3(a)は単分子電気伝導度測定装置の設計では重量制限があったため、より軽く剛性が高い支柱構造設計の検討に適用した。(b)の超伝導電子銃用フォトカソードプラグの設計では、弾性並行ヒンジ構造によるサンプル保持機構を適用し、構造解析により板バネ構造部の最適形状を検討した。(c)のマイクロフォーカス加工観察ユニットでは、観察用CCDカメラへのベークアップ時の熱影響が懸念されたため、伝熱解析を実施した。また(d)のマイクロ流路ミキサーでは、3方向からの溶液の混合シミュレーションなどに適用した。

おわりに

「新規な装置の開発」、「部品類の迅速な製作」という装置開発室の二つの役割に加えて、研究現場の需要に応じた「新しい製作技術・支援技術への対応」も重要と考えている。また新しい技術だけでなく、これまで蓄積してきた基盤技術の伝承も必要であり、限られた人数での厳しい状況ではあるが、研究現場の声を聞き入れながらより充実した支援体制を確立していければと思っている。

装置開発室では、製作の端緒から完成までを一貫して一人の技術職員が携わることになっている。これは、設計-製作-組立調整-測定さらには研究者と装置を用いて性能テストまでを一人の技術職員が担当することにより、全体を正しく見通せる能力を養い、総合力のある技術者となることが大切との考えからである。効率的な仕事の進め方ではないが、そのことが他機関では見られない総合的な高い技術力を有する工作室として認知されているものと自負している。

現在、施設利用や製作依頼を申し込まれた方に対して、完了後に利用者アンケートをお送りしている。是非忌憚のないご意見を頂くとともに、今後ともご理解とご協力をお願いしたい。



(a) ホットエンボス用精密金型

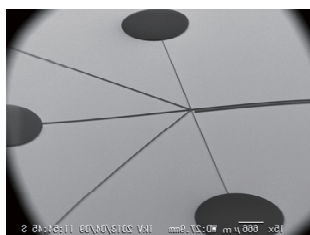


(b) MgF₂非球面レンズ



(c) IPES用楕円面

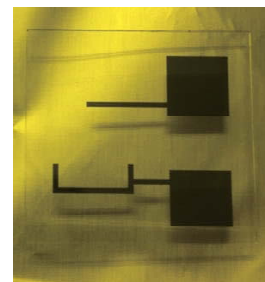
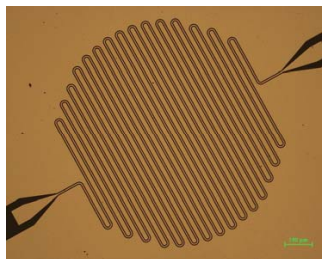
図2 超精密加工による製作例



(a) PDMS マイクロ流路ミキサー

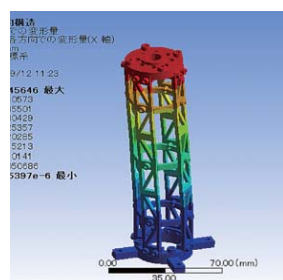


(b) 高周波共鳴高圧実験用アンビルセル

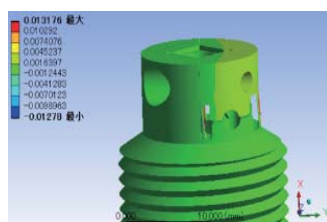


(c) 有機結晶作製用電解セル

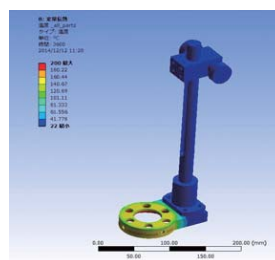
図3 リソグラフィによる実験機器の製作例



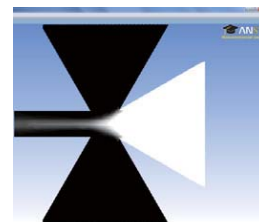
(a) 単分子電気伝導度測定装置



(b) 超伝導電子銃用
フォトカソードプラグ



(c) マイクロフォーカス加工
観察ユニット



(d) マイクロ流路ミキサー

図4 解析事例

コラム 装置開発室に移動して

機器開発技術二班 中野 路子

7月に機器センターから装置開発室に異動しました。分子研に就職以来ずっとNMRとともに過ごしてきましたが、自分の成長を求めて異動を希望し、今回新しいことにチャレンジする機会をいただきました。

山手にいた私にとって明大寺は会議に来るだけの場所でしたが、毎日明大寺で過ごしてみて初めて、秋の紅葉が赤や黄色のグラデーションでとても美しいことを発見しました。うれしくなって晴れた日に散歩をしてしまったほどです。

仕事としては、リソグラフィによる微細加工を担当させていただくことになり、実践の依頼製作の中でリソグラフィの技術を教えていただいています。最初はクリーンウェアを着てクリーンルーム、しかもイエローの空間に居ることに、少々閉塞感を感じましたが、いつのまにかそんなことも忘れていました。リソグラフィの実験に必要な繊細さが私には少々足りないと感じつつも、出来上がった数 μm のパターンは美しく、私に達成感を与えてくれます。同じ目線で製作品の完成を喜んだり、失敗の原因を考えたりできる人がいることも、今楽しいと感じるところです。

またリソグラフィだけでなく、CADに始まり機械工作や真空技術など、先輩方の技術を少しずつ教えていただける予定なので、皆さんからそれぞれの技術を少しずつおすそ分けしていただければと思っています。装置開発室全体でも技術の共有・伝承が増えることで、機械工作技術とリソグラフィ技術を組み合わせて、より多様な研究者の要望に応えることができ、それは他の工作室にはない装置開発室の強みになるのではないかと思います。依頼製作に必要な治具や装置があると、「作っときました」とか「じゃあ作りましょう」と言われることにまだ驚きを隠せませんが、ものづくりの楽しさと可能性も感じています。私のメモリーはすでに容量オーバーと表示がでていますが、あれもこれもやってみたいと気軽に言えるのは新人の特権だと思いますので、新人らしく皆様に迷惑もかけつつ、いろいろ教わって成長していきたいと思っています。初めてのことばかりで1つ1つを自分のものにするには相当時間がかかりそうですが、しばらくは修業期間ということで、温かく見守っていただければ幸いです。

2チャンネル高速ディレイ・パルサーの製作

吉田 久史 電子機器開発技術班

キーワード：高電圧・高速半導体スイッチ、モノステーブル・マルチバイブレータ、時定数

はじめに

外部信号に同期した遅延パルスが発生するディレイ・パルサーは、レーザーを用いた実験装置など外部機器との同期化のためによく利用されている。ディレイ・パルサーに求められる性能は、遅延時間の設定範囲と共にトリガー信号と出力パルス間のジッターが評価されることがある。ディジタル回路方式によるディレイ・パルサーの場合、原理的にはシステム・クロックの1サイクル分のジッターが発生する。従って、高精度化するためにはより高い周波数のクロックでシステムを動作させる必要がある。近年、FPGAに代表されるLSIの高集積化に伴い、素子の動作周波数も向上している。ここでは、ザイリックス社のFPGA (Spartan-3) を用いてシステム・クロック200MHzで動作する2チャンネルの高速ディレイ・パルサーを製作したので報告する。

高電圧スイッチング素子とパルス発生器の仕様

製作したディレイ・パルサーのブロック図を図1に示す。回路はLCD表示器とスイッチからなるユーザー・インターフェース、それらの制御とFPGA内のモジュールとのデータ通信を行うマイコン、そして外部水晶クロック(48MHz)で動作するFPGA (Spartan-3) で構成されている。ディレイ・パルス生成するためのハードウェアは全てFPGA内に製作し、遅延時間とパルス幅の設定およびスタート信号をマイコンから与えれば、後は外部トリガー信号に同期した遅延パルスをFPGAが出力し続ける。また、ブロック図は1チャンネル分の回路だけが描かれているが、2チャンネル化に際して二重化したモジュールと信号名を赤い文字で表記した。

ディレイ・パルサーの回路構成は、遅延時間(32ビット)と出力パルス幅(16ビット)を計測する2つのプリセッタブル・ダウンカウンタを中心に、カウンタへのプリ

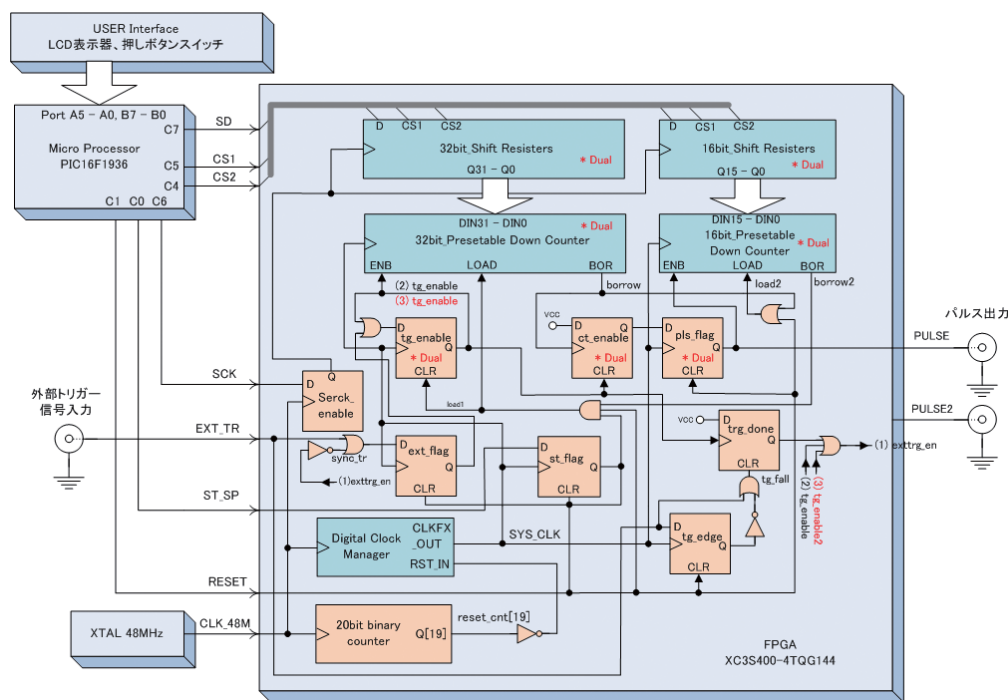


図1 2チャンネル高速ディレイ・パルサーのブロック図

セット・データをシリアル・パラレル変換し保持するための2つのシフトレジスタ、クロックを逡倍しシステム・クロックを生成するためのデジタル・クロック・マネージャ(DCM)、そして2つのダウンカウンタをトリガー信号に同期して順番に動作させるためのフリップフロップとゲート回路による制御回路から成っている。

高速動作の検証

FPGAボードはオンボードにXC3S400-4TQG144を搭載したヒューマンデータ社のXCM-008-400を使用した。主な仕様は、システム・ゲート数:400K、CLB:896、ユーザIO:97とザイリンクス社のFPGA中でも比較的小規模なデバイスである。また、システム・クロックを分数値M/D ($M=[2\ldots 32]$, $D=[1\ldots 32]$) で逡倍する周波数合成や入力クロックの位相をある割合でシフトさせるなどの高度なクロック制御機能を提供するDCMを内蔵し、今回このモジュールを利用してシステムの動作クロックを生成した。

デバイスのデータシートによれば、CLBのフリップフロップの最大動作周波数は630MHzとなっている。しかしながら、実際の回路は複数のCLBを組み合わせることで使用になり、配線間の信号伝搬遅延などで動作周波数は低下する。本器では32ビットのプリセッタブル・ダウンカウンタが一番多くのCLBを利用し、このカウンタの動作周波数が最も重要となるので、このモジュールから設計・シミュレーション検証・動作試験を開始した。DCMの動作周波数の制限から、試験したクロックの最大値は240MHz ($M=5, D=1$) である。結果的に、32ビットのプリセッタブル・ダウンカウンタは240MHzのクロックで動作することを確認した。次に、1チャンネルのディレイ・パルサー回路を、そして最後に2チャンネル化のための回路を増設するというように段階的に回路規模を大きくしつつテストを行った。

最終的に、2チャンネルのディレイ・パルサーは200MHzのクロックで動作することを確認した。図2は、市販のファンクション・ジェネレータが出力する1KHzの矩形波を本器の外部トリガー入力に加え、2つのチャンネルの遅延時間を0.99997mS、パルス幅を25nSに設定し動作させた時の入出力応答波形である。両出力とも同じ設定値で動作しているため、2つの出力パルスはちょうど重なり合って観測されている。また、オシロのトリガー位置は出力パルスの立ち上がり部に設定されており、立ち下がり位置に観測される上段の波形は外部トリガー信号の1周期分遅れたパルスの立ち上がり部分である。この波形の幅から本器のジッターは約5nSとなる。これはシステム・クロック(200MHz)の1周期分に相当する。本器の回路基板を図3に操作パネルの様子を図4に示す。

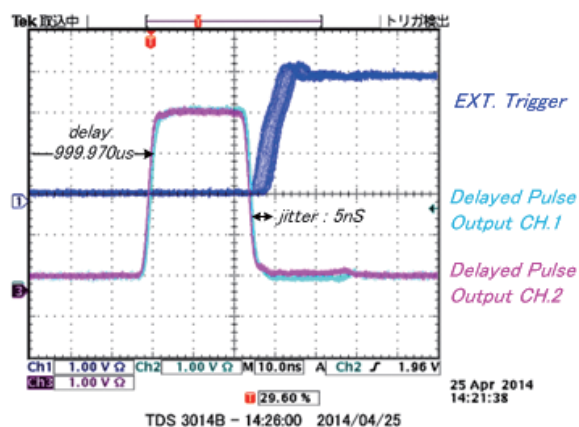


図2 ディレイ・パルサーの入出力波形



図3 本器の操作パネル

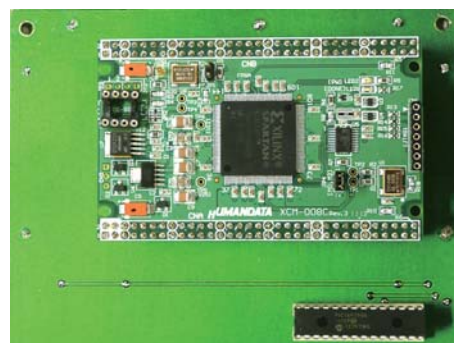


図4 本器の回路基板

おわりに

本器の主な仕様は、動作クロック:200MHz、遅延時間:40nS ~ 3S (5nS刻み)、パルス幅:10nS ~ 300uS (5nS刻み)、ジッター:5nS、出力:TTLレベル、チャンネル数:2である。開発途中では様々なトラブルが発生し、その都度回路構成の見直しを余儀なくされた。ページ数の都合により割愛するが、最も苦労した点は2つのカウンタを順序立て繰り返し動作させる制御回路であり、この部分の回路構成とタイミング設計には試行錯誤を重ねた。FPGAにおいては使用するリソースの規模で配線ルートが制限され、システムの動作速度に影響を与える。今後は開発ツールを上手く利用することで、この辺りのタイミング設計をもう少し効率的に行えるようにしたいと考えている。

DDSとARMマイコンを用いたTTLレベル出力パルスジェネレータの開発

豊田 朋範 電子機器開発技術係

キーワード：パルスジェネレータ、ARMマイコン、DDS、SPI

序論

ステッピングモータドライバの駆動や同期信号の発生、デジタル回路の動作試験などでしばしばTTLレベルの発振器を必要とする。市販のファンクションジェネレータでは「SYNC」と表記された出力端子から取り出せるが、必要な機能に対して価格やサイズの面でやや大仰な感が否めない。一方、安価で済ませようとして、有名なタイマICであるNE555でTTLレベル発振器を構成すると、周波数を抵抗とコンデンサで決定するため周波数の温度依存性が高く安定性が低い、周波数可変にするために抵抗をボリュームにすると、一般的なボリュームでは回転量と周波数の変化量がリニアでない、回転量と抵抗値がリニアなボリュームは高価であるなどの問題点がある。

今回、研究グループから、ステッピングモータドライバ駆動用に周波数範囲5Hz～2kHz、分解能1Hzという仕様のTTLレベル出力パルスジェネレータの製作依頼があった。周波数の高い安定性並びに操作量に対してリニアな周波数変化量を実現するために、DDS(Direct Digital Synthesizer)方式のICを用いてTTLレベル出力パルスジェネレータを開発した。

DDSの制御は過去にも報告したが(2010年)、今回はCPLD (Complex Programmable Logic Device) では

なく、ARMマイコンを用いた。これにより、ロータリーエンコーダや液晶ディスプレイなど周辺装置の接続が容易になり、操作性においてもより使いやすいものを製作できた。

装置の構成と動作

装置のブロック図を図1に、製作したDDS発振器回路基板を図2に示す。今回はDDSにAnalog Devices社のAD9834BRUZ(図3左)を用いた。

AD9834BRUZの出力周波数の分解能は、28bitのレジスタ値と動作クロックの周波数で決まる。動作クロックの最大値は50MHzで、その時の分解能は0.2Hzとなる。今回は1MHz水晶発振器を用いたので、分解能は $1\text{MHz}/2^{28} = 0.003725\text{Hz}$ となる。

出力周波数の温度依存性はほぼ水晶発振器の温度依存性である。本装置の周波数安定性は $\pm 0.0001\%$ 、出力誤差は $+0.075\%$ (いずれも2kHz出力時)である。

AD9834BRUZの出力は最大600mVp-pの差動出力のサイン波か三角波(レジスタ設定で切り替え可能)なので、差動アンプAD8130ARZで6倍に増幅した後コンパレータAD8611ARZでTTLレベルの矩形波に変換して出力する。

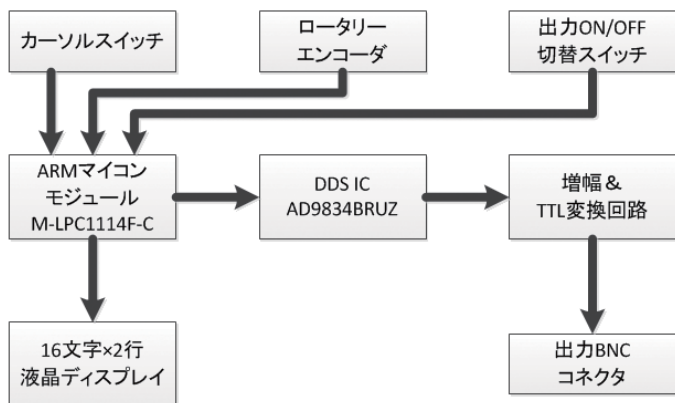


図1 開発したTTLレベル出力パルス

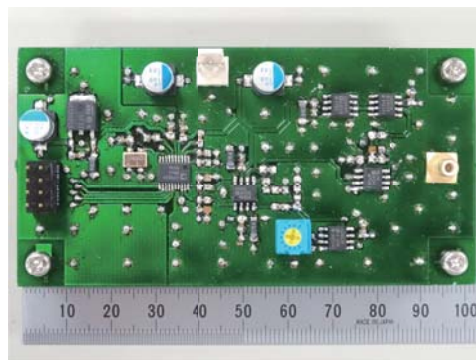


図2 開発したTTLレベル出力パルスジェネレータのDDS発振器回路基板

DDSの制御はNXP社のARMマイコンLPC1114FBD48/302を搭載したaitendo社のモジュールM-LPC1114F-C(図3右)を用いた。M-LPC1114F-CはDDSの制御の他、液晶ディスプレイの表示、ロータリーエンコーダとカーソルスイッチ並びに出力ON/OFFスイッチの処理、カーソルの移動、カーソルがある桁における周波数値の増減などを行う。

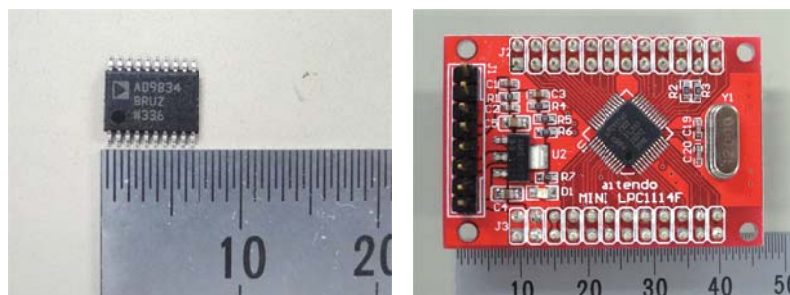


図3 DDS IC AD9834BRUZ (左) と ARMマイコンモジュールM-LPC1114F-C (右)

AC電源の位相制御

ARMマイコンを用いた操作性の向上については、過去にも報告した(2013年)。今回は複数の操作機構を組み合わせることで、さらなる操作性の向上を図った。

電源投入時の液晶ディスプレイとスイッチ類を図4に示す。この時、カーソルは1の位の下にある。

左右のカーソルスイッチを1回押すごとに、カーソルは左右に1つ移動する。カーソルが1000の位にある時に左カーソルスイッチを押すと、カーソルは1の位に移動する。逆に、カーソルが1の位にある時に右カーソルスイッチを押すと、カーソルは1000の位に移動する。

ロータリーエンコーダを回すと、カーソルがある桁で周波数値が回転方向に応じて増減する。たとえば、周波数値が1000Hz、カーソル位置が1の位とする。ロータリーエンコーダを時計回りに回転すると、1001Hz、1002Hz、……と増加する。反時計回りに回転すると、999Hz、998Hz、……と減少する(図5-1)。

次に、周波数値が1010Hz、カーソル位置が100の位とする。ロータリーエンコーダを時計回りに回転すると、1110Hz、1210Hz、……と増加する。反時計回りに回転すると、910Hz、810Hz、……と減少する(図5-2)。

このように、左右のカーソルスイッチとロータリーエン

コーダを組み合わせることで、市販機器でよく使われている操作方法と同等の機能を実現した。なお、この操作は出力のON/OFFに依存しない。

総論と考察

DDSをARMマイコンで制御することで、TTLレベル出力パルスジェネレータを開発した。ロータリーエンコーダや複数のスイッチを用いることで、直感的で分かりやすく、操作量と周波数値の変化量が直線で微妙な調整がしやすいインターフェースを構築できた。ARMマイコンに処理を集約することで、回路規模を小型化し、バッテリー駆動も可能な低消費電力を実現した。

本装置は斬新ではないものの、一般的な実験現場や電子回路の動作試験に耐える性能を有しつつ、手軽に使える場所を取らない、痒いところに手が届くタイプの装置である。近年の市販機器は機能を詰め込む傾向が強いが、実験現場に求められる装置は必要な機能を素早く使えるタイプではなかろうか？ 求められる機能を最適な方法で実現するために、技術者は様々な技術分野に手を伸ばし、開拓を進める必要があると考える。



図4 スイッチ類と液晶ディスプレイ



図5-1 周波数値の調整例1 1000Hz、カーソル位置は1の位



図5-2 周波数値の調整例2 1010Hz、カーソル位置は100の位

回転セル制御装置の製作

内山 功一 電子機器開発技術係

キーワード：赤外分光計測、PIC マイコン、シーケンス制御、台形制御

はじめに

昨年度、生体分子情報研究部門の古谷グループからの依頼により製作した回転セル制御装置の改良版を、新規に製作してほしいと依頼があった。(写真1) 回転セルとは、光受容タンパク質の赤外分光計測に用いる回転型のセルである。この回転セルはサンプルを効率的に利用するため、回転動作だけではなく上下動を組み合わせ動作する。(写真2) 以前に製作した制御装置は、2軸のパルスモータを定速で回転させるだけの単純制御を行う回路であった。今回製作した装置は、光励起を行う際の外部トリガ入力によりステッピングモータを駆動させ、次のサンプル位置で停止するシーケンス制御を行う物である。

制御装置について

回転セル制御装置のブロック図を図1に示す。制御装置は、操作部、表示器、メインコントローラ、ドライバコントローラ×2、モータドライバ×2、電源×2で構成されている。本装置の動作は、手動モード、自動モード、テストモードの3通りである。手動モードは、回転、上下動それぞれに用意した正転、逆転スイッチを入れることでモータの粗動、微調整を行う。この操作は、操作スイッチを1回ずつ入れることでモータが1ステップずつ進み、スイッチを入れ続けることで高速回転する。自動モードは、外部入力により、シーケンスの開始、停止を行い、各シーケンスは光励起用のレーザーを打ち込むシャッターからのトリガ入力により動作する。テストモードは各モータの移動量調整、確認のためのモードで、操作部により設定した時間間隔でテスト動作を行う。

次に制御装置各部を説明する。操作部は各モータの1シーケンス毎の移動量（最大9999ステップ、1ステップ 0.0072° ）とテストモードの時間間隔（1～99秒）を設定するサンプッシュスイッチ、手動モードの操作スイッチ、シーケンス開始・テストモード開始・停止スイッチとなっている。またPCからのリモート制御用に、開



写真1 回転セル制御装置（改良版）

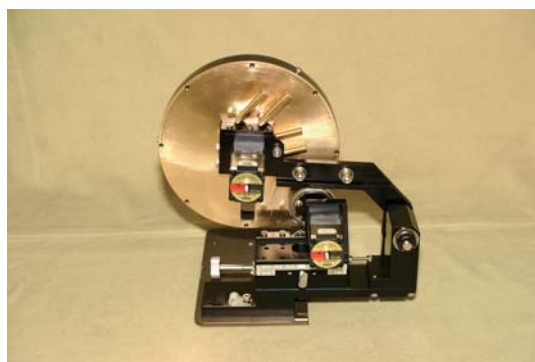


写真2 回転セル本体

始、停止信号の外部入力も備えている。表示部は、4桁の7セグメントLEDによりシーケンス回数を表示するようになっている。電源は制御系の+5Vとモータ駆動用の+24Vの2種類あり、共にスイッチング電源モジュールを使用している。モータドライバはオリエンタルモータ製のCRD5107HPBを使用しており、ステッピングモータはハーモニックギアにより回転数が1:100になっている。メインコントローラは操作部からの入力と表示器への出力、ドライバコントローラとの通信を行うためI/Oポートが豊富なPIC16F877を使用した。ドライバコントローラは、回転と上下動を独立制御するためにそれぞれPIC16F628を1台ずつ用意した。メインコントローラ

とドライバコントローラは、シリアル通信を用いて動作制御を行う。設定ステップ数が多い場合は短時間で移動が完了するように台形制御を行うが、この制御をPICのプログラムにより実装している。また、手動モードの1ステップ移動と、粗動の制御もプログラムで実装している。測定終了時には、総移動距離（シーケンス回数×設定ステップ数）を逆回転して原点復帰を行うようになっている。

性能について

完成した制御装置の回転動作は、動作周波数2KHz～3KHz、設定500ステップ時の動作時間250msec、2000ステップ時で約690msecであった。上下動については、動作周波数4KHz～16.6KHz、設定2000ステップ時の動作時間500msec、9999ステップ時で約640msecである。当初、回転セルの重量からくる負荷の方が重く、上下動の動作速度が遅くなると見込んでいたが、結果として回転動作の方が遅くなった。この原因は、セルを水冷するための機構からくる負荷が想定以上だったことに加え、PICのプログラムで作り出す台形制御の勾配に限界があったためだと考えられる。回転制御について上下動と同程度の速度を出すことができなかったが、外部トリガの間隔はシャッター開閉の時間調整で行うため装置の性能として問題はなかった。

最後に

2014年7月1日をもって、電子機器開発技術班から学術支援班第2係へ異動となりました。居室も26年間お世話になった装置開発棟から離れ、研究棟1階に移動いたしました。業務内容はこれまでの回路製作とは異なり、施設整備や共通設備の管理などの研究支援を行っております。施設整備業務は実験室や居室などの改修工事、空調機修理や雨漏り補修などの営繕作業を施設課や業者などやりとりしながら日々進めております。まだまだ覚えることが多いですが、気持ちを新たに日々の業務に励んで参ります。今後とも、ご指導のほどよろしくお願い申し上げます。

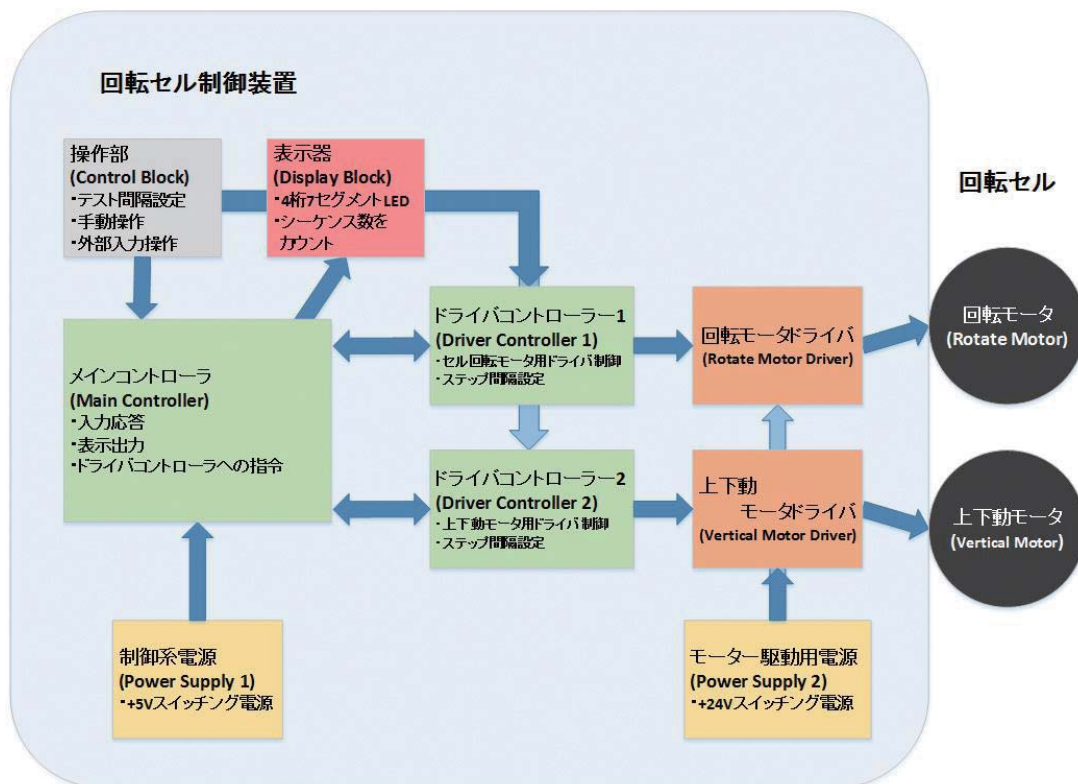


図1 ブロック図

2013年度末～2014年春期に実施した電子蓄積リング高度化改造について

山崎 潤一郎 極端紫外光技術二係

キーワード：高調波Cavity、アンジュレータ、パルス六極電磁石、FEL

はじめに

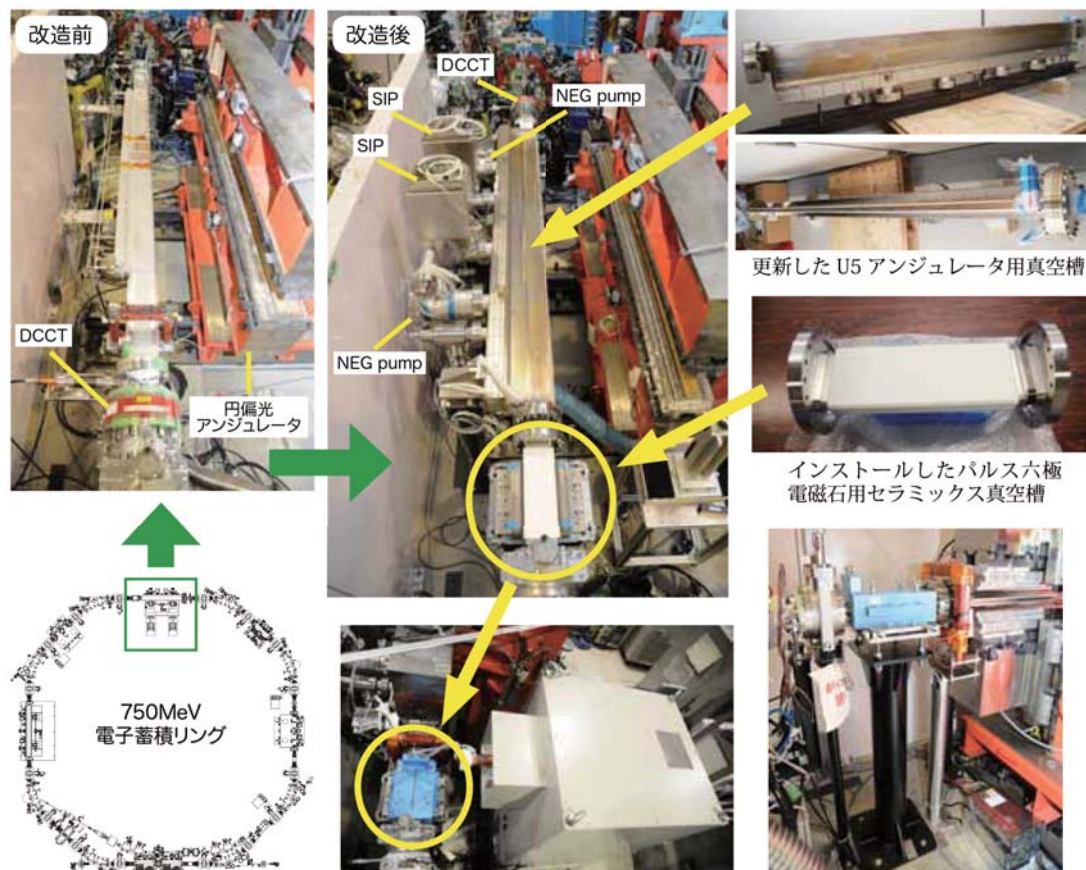
分子研UVSOR施設の光源加速器はこれまで、低エミッタンス化改造やアンジュレータ増設など様々な高度化改造を実施し、2013年初頭にUVSOR IIからUVSOR IIIと改名され順調に稼働を継続している。2013年度3月には円偏光アンジュレータの高度化およびこれに伴う光源リングS5直線部の改造を行った。FEL開発用に併用されてきた円偏光アンジュレータの磁石配列を、光クライストロン型磁石配列から通常アンジュレータ型磁石配列に変更した。本報告ではこれら高度化改造について述べる。また光源グループで現在設計・整備を進めているBL1Uビームラインの進捗状況についても述べる。

ンの進捗状況についても述べる。

2014年3月に実施した電子蓄積リングS5長直線部の改造について

2013年3月～同年4月にB4～B5の長直線部において、FEL開発用に併用されてきたヘリカルアンジュレータを現在の光クライストロン型磁石配列から通常アンジュレータ型磁石配列に変更した。これに伴い並行してビームラインBL5Uも一新した。

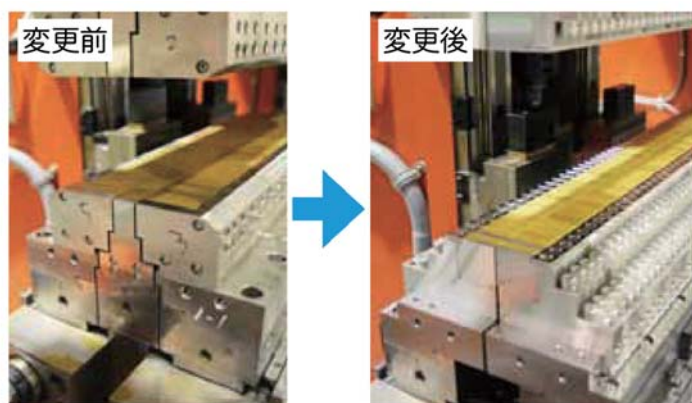
新BL5Uビームラインにおいては、下限13.3eVとするエネルギー範囲で水平直線偏光のアンジュレータ基本波



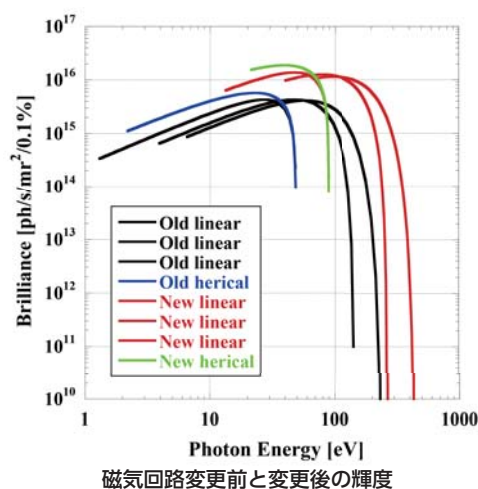
改造前（写真左上）と改造後（写真中上）の電子蓄積リングS5長直線部とS5長直線部に設置したパルス六極電磁石入射システム（写真中下、写真右下）

を、下限を27.7eVとするエネルギー範囲で垂直直線偏光のアンジュレータ基本波を、また、下限を21.2eVとするエネルギー範囲で左右円偏光のアンジュレータ基本波が要求されるため、磁極間隙最小値を24mmにする必要があり、旧真空槽では30mmが限界で対応不可のため新規に製作した。また旧真空槽はNEGモジュール内蔵型のAnte-chamber方式でNEGのみで排気を行っていたが、

排気能力の観点からこの方式を廃止し、新規真空槽にはNEGポンプおよびSIPをそれぞれを2台ずつ配備し排気系の見直しを行った。またトップアップ運転時における蓄積ビーム振動を抑制するために、2012年にパルス六極電磁石入射システムを構築し、ビーム入射可能なことを確認したが、S5直線部にも同システムを構築した。近日中にビーム入射試験を行う予定である。

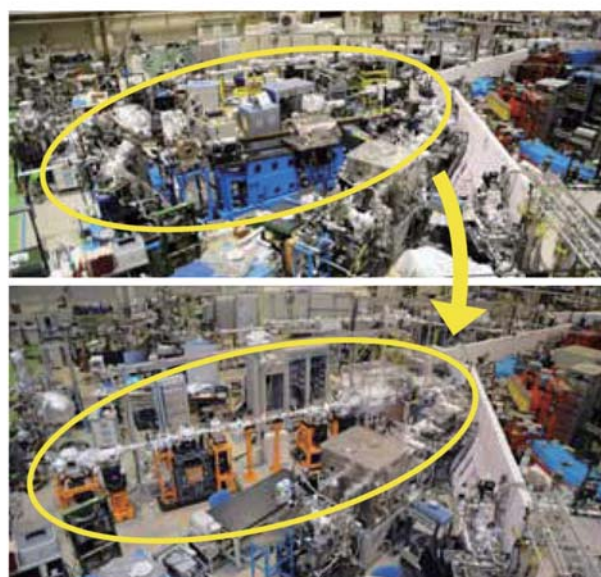


変更前（写真左）と変更後（写真右）の磁気回路



磁気回路	APPLE-II方式
周期長	60mm
磁石列全長	2365mm
磁石間隙可変域	24mm-190mm
磁石材質	NEOMAX-46CH

磁気回路変更が完了した円偏光アンジュレータ（写真上）

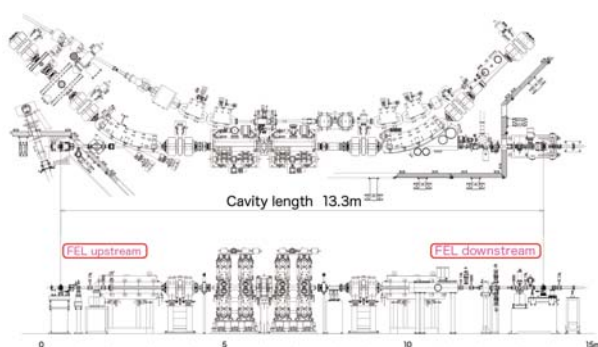


更新前（写真上）と更新後（写真下）のビームラインBL5U

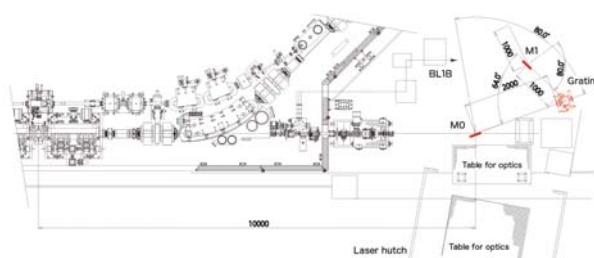
BL1U整備計画について

当ビームラインにおいては概ね設計を完了させた。建設は2015年度から行う予定である。当ラインではFEL実験の他に、光渦関連、レーザーコンプトンガンマ線、レーザーสライス・CHG・CSR、CHG-CSR利用、円偏光照射および運転用ビーム診断など様々な用途を予定しており、FEL下流側にはビームラインを展開する計画で、光学

系配置案を上図に示す。FEL実験においてはこれまでに199.8 nmでの発振を達成しているが、更なる短波長発振も計画している。また800 nm～500 nmの領域を連続でカバー可能なワイドバンドミラーの開発も並行して行う予定である。次号にてビームライン建設の報告を行う予定である。



ビームラインBL1U 概念図



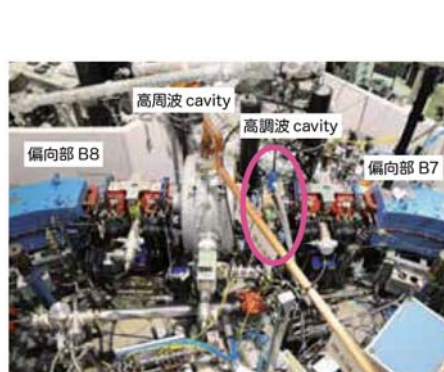
ビームライン展開用光学系配置案

2014年4月に発生した高調波 Cavity の真空リーク事故について

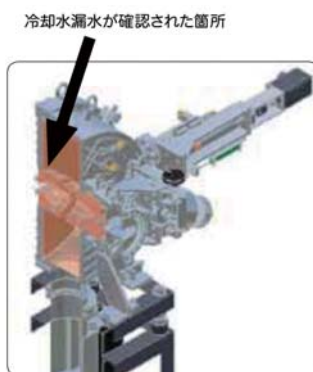
2014年春期のshutdown作業完了後、ビームによる電子蓄積リングの枯らし運転中に突然高調波 Cavity の真空度悪化が発生し、枯らし運転が不能に陥ったため、B7～B8直線部を大気開放し、高調波 Cavity 内部を調査した結果、水冷電極から僅かに冷却水漏水が確認された。応急処置として冷却水 channel に超高真空対応のリキッドシール剤を圧縮空気で循環させて、余分なシール剤を圧縮空気で押し出した後十分

乾燥させ、再度冷却水を通水したところ真空度悪化を抑えることが出来たため、この状態で枯らし運転を続行し、今日現在まで共同利用に影響することなく運転可能な状態を維持している。これと並行して、水冷電極の予備を現在準備中である。

真空リーク事故後の高調波 Cavity の真空度推移を図1に示す。2014年12月末現在でOFFビーム時で 5×10^{-7} Pa、ONビーム時で 3×10^{-7} Pa (何れも多バッチ時) で、リーク事故前の真空度には回復していない。水冷電極の交換に関しては、2014年度末までに決断する予定である。



高調波 Cavity の設置位置



高調波 Cavity 断面図

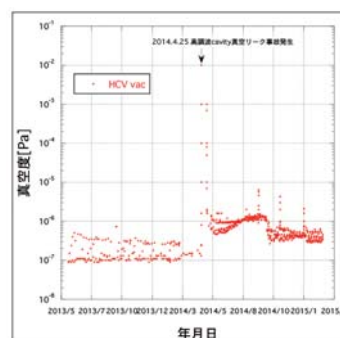


図1 真空リーク事故後の高調波 Cavity 真空度の推移

コラム

第28回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウムへの参加発表報告

山崎 潤一郎

毎年1月に開催される日本放射光学会年会に今年も発表参加しました。2000年より本年会・シンポジウムでの発表を開始し、今年度で14回目の発表となりました。今回は2013年度末から2014年春期に実施した円偏光アンジュレータ磁気回路変更およびそれに伴う電子蓄積リング一部改造、高調波 Cavity の真空リーク事故についてポスター発表を行いました。一方、Spring-8、佐賀LS、PF、あいちシンクロトロン光センター等からの発表も数多くあり、他施設の動向を把握することが出来ました。また放射光における産業利用の現状と展望に関する講演も行われ、放射光の必要性が再認識できた企画でした。

本年会・シンポジウムへの参加はUVSORでの加速器運転で発生したトラブルの解決方法や加速器への新技術導入のヒントが数多くあり、毎年欠かせない学会となっています(立命館大学びわこ・くさつキャンパスにて開催)。



加速器室監視ロボットに向けて

林 憲志 極端紫外光技術二係

キーワード：ロボティクス、LabVIEW、加速器室監視

はじめに

2014年度所長奨励研究費でナショナルインスツルメンツ社のロボティクススターターキット（以下、そのハードウェア部分の名称である“DaNI”と呼びます）を購入し、加速器室監視自走車のための技術検討をしておりますので、報告します。このキットはsbRIOと呼ばれるスタンドアロンでも実行可能なプロセッサボードにフレームと車輪動力を加えたもの（自走3輪車）で、プログラミングソフトウェアLabVIEWのRoboticsオプションの評価キットとなっています（図1）。

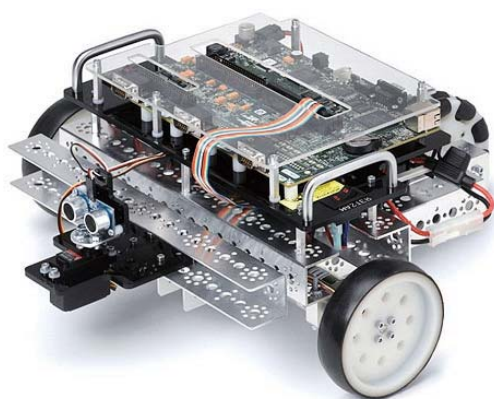


図1 DaNI外観

動機と目的

今回の最終的な目標は、カメラを装備した自走車で（シンクロトン室や電子蓄積リング内など）人が運転中に入ることができない場所を監視し、異常発生の有無などを加速器運転を止めることなく判断できるようにするための技術要件を確認することです。後述するように本当の意味での実用性を持たせることには課題があるので、当面は試験走行を行うことを目標に進めました。

方法

まず、目となるカメラですが、通常のネットワークカメラ（Wi-Fi対応）を使用しました。DaNIは有線イーサ

ネットポートのみを備えていますがケーブルを引っ張って動くのでは実用性はゼロなので、これをWi-Fi化します。DaNI自身は12Vバッテリーで動作しますが、イーサネットアダプタやネットワークカメラはACアダプタからの電源を必要としますので、これらを当面電池駆動に改造しました。またカメラを高い位置にマウントするために追加のフレームキットを購入するなど、現実的なところでまずクリアすべきことが多くありました。組みあがった改造後のDaNIを図2に示します。



図2 DaNI改造後

使用するプログラミング言語LabVIEWは、UVSORの分光器制御で最も多く使用されているものです。プログラミングのコードに相当する部分はダイアグラムと呼ばれ、機能ブロック間をワイヤーでつなぐ形で視覚的に分かりやすくプログラミングを行えることが特徴となっています。今回使用しているダイアグラムの例を図3に示します。

今回遠隔操作に使用するノートPCの画面は最もシンプルな構成になっており、何も表示のないLabVIEWのウィンドウとネットワークカメラの画像ウィンドウから構

成されています（図4）。LabVIEWはノートPCのキーボード入力を監視しており、たとえば“A”を押すと左に曲がるといった形で動作します。画像はLabVIEWを介さずネットワークカメラのアプリ（Web経由）で取得しております。最後に、試験走行を電子蓄積リング内で行った時の様子を図5に示します。まだテスト運転に成功した段階で、これから拡張していきたいと考えております。

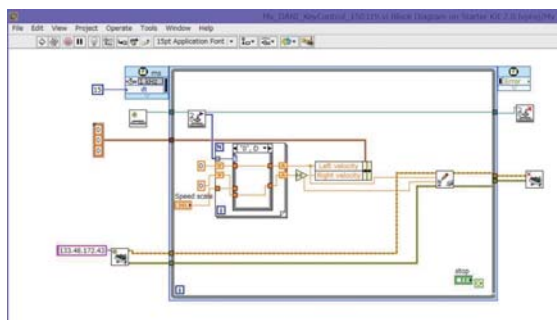


図3 LabVIEWダイアグラム例

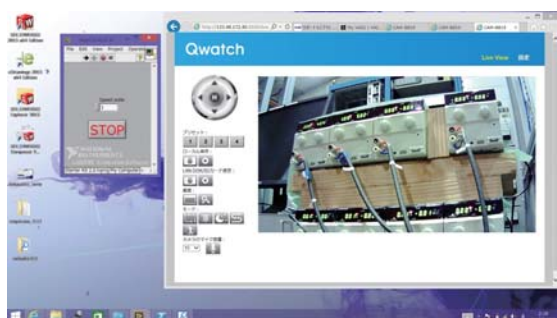


図4. 操作画面
(上：通常 下：カメラ全画面表示)

課題

動き回って映像を送るという所定の動作はするように（とりあえず）できました。考えられる問題の内、特にスイッチが入っているだけで電源がどんどん消耗していくようでは（普段は放っておいて）必要な時に走らせることはできません。運転中人が入れない場所に普段から待機させておく必要があるからです。これが実用性を持たせるための最大の課題と思っています。また、カメラのみを頼りにして込み入った場所を縫って動くためには車のアラウンド

ビューモニターのような機能が備えられるとよいなと思っています。本当は、腕のようなものを備えてスイッチ（電源ボタンや、リセットスイッチ等）を押せるようにできるとさらに実用性が高くなるのですが、このような質量の軽い車体ではある程度の慣性力を働かせることは難しいと考えられ、これは将来的な課題としたいと考えております。

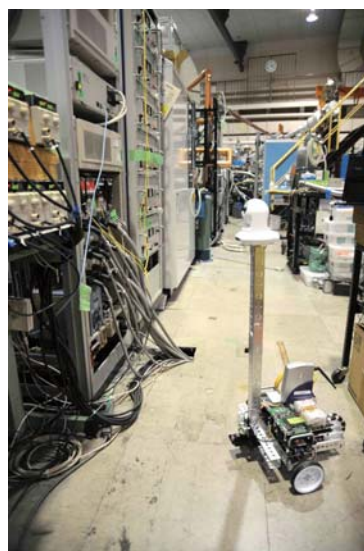


図5 蓄積リング内での試験運転風景

今後

上述の課題をクリアし、実用性を持たせるための道筋をつけるところまで進めたいと考えております。そうした中で、実際にやってみると本来課題としていたこと以外に色々と考えなければならないことが出てくるのが、難しくもあり面白くもあるところかと思っています。

なお、もともとはスターターキットはLabVIEW（のロボティクスオプション）の習熟のためのものですので、希望される方に試用していただくことで、そうした本来の目的のために役立てていただくこともできるかと思います。所内の皆様でご興味を持たれましたらお気軽に声をかけていただければ幸いです。

謝辞

本件は以前、高エネルギー加速器研究機構(KEK)の常名氏が（ハードウェアは違いますが）同様な目的のものを学会でデモンストレーションされていたのを目にした記憶がきっかけになって始めております。この場を借りて感謝申し上げます。

UVSORの真空インターロックの現状と課題

近藤 直範 極端紫外光技術二係

キーワード：真空計、接点、フロントエンドバルブ

はじめに

今年度は新規に建設されたビームライン（BL）5UでPLCを用いた真空インターロックシステムを作成した。そして今は来年度に建設されるBL1Uの真空インターロックシステム作成の準備をしている。約9年間で作成した6本のビームラインのシステムを簡単にまとめ、今後の課題について述べる。

UVSORでは設立当初から各ビームラインに共通の真空インターロックシステムが設置されていた。これはストレー징リングとビームラインを繋ぐ部分（基幹部、出射部）にあるフロントエンドバルブ（および、このバルブと連動するビームシャッター）と出射部の次に配置されているミラー（前置鏡）チャンバーの下流に設置されているビームラインバルブの2つの圧空作動式ゲートバルブ（ニューマチックバルブ）を制御するシステムである。これより下流にあるバルブはビームライン各々でインターロックを整備していた。新規に真空インターロックを整備する際はビームラインバルブ以下を対象とした。フロントエンドバルブは加速器の制御室で監視・制御できる仕様になっているので、ビームラインのインターロックには含めなかった。

図1にBL5Uの真空インターロックシステムの写真を示す。表1に真空インターロックシステムの比較を示す。

最初に作成したのはBL3Uです。使用した真空計は圧力のセットポイントを設定でき、設定値が測定値より大き

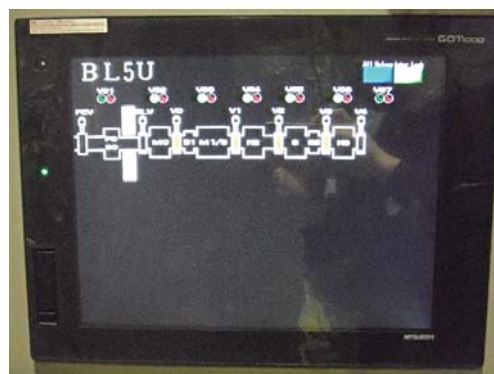


図1 BL5Uの真空インターロックシステム

い（あるいは小さい）ときに開閉する接点を持っている。この接点を利用してインターロックを作成した。この方式はPLCに読み取る情報（PLCへの入力）が少なくすむため、PLC用ユニットの数も減らせるので費用を抑えることができる。シーケンスのプログラム作成も比較的容易になる。ただ、真空計の接点とバルブのステータスのログの記録は容易にできるが、圧力値のログを取ることはできない。

次に作成したのはBL7Uのシステムです。ここで使われている真空計は測定した圧力値をBCDで出力する。そのため、PLCに圧力値を読み込むことが可能で、ここでは読み取った圧力値とバルブのステータスをPCに出力しログを記録している。しかし、真空計からPLCへの配線増えるので作業増加する（圧力値を読み込むためには真空計

表1 真空インターロックシステムの比較

ビームライン	使用開始年	真空計の読み取り	ステータスログの記録
BL2B	2014 年	接点	なし
BL3U	2005 年	接点	なし
BL4U	2012 年	接点	なし
BL5U	2014 年	接点	なし
BL6U	2009 年	電圧（圧力に変換）→ 接点	なし
BL7U	2007 年	BCD 出力（圧力）	あり

1台につきPLCの入力端子への配線が15本必要)。また、BCDで圧力値を出力している真空計が少なく、真空計を他の機種への変更することが困難になる。

BL6Uでは電圧を出力しそれを計算式で圧力に変換できる真空計を使用した。これならば配線作業も少ない。しかし、出力電圧が振動するため正確な圧力を読み取れなかった（桁が一致する程度）。RS-232Cで圧力値を読み取ることも可能だが、PLCに読み込むためにはユニットが複数台必要になり、それに伴いユニットベースを増設するなど改造も必要となり費用がかさむ。よって、BL3Uのシステムと同様に真空計の接点を利用することにした。

これ以後製作したシステムは全て接点を利用して動作している。接点を利用すれば特殊なPLCユニットを用いる必要もなくまた台数も少なくすむ。また、真空計を他の機種に変更した場合にも比較的対応しやすいという利点もある。

そして現在は来年度使用開始予定のBL1Uのシステムの作成準備をしている。BL1Uの出射部は従来型のインターロックシステムが撤去されているので、フロントエンドバルブ（とビームシャッター）もシステムに組み込むことにする。

今後同様のシステムを作成する場合、出射部のインターロックとの兼ね合いが課題になる。BL1Uの作成依頼以前にもシステムにフロントエンドバルブを組み入れて欲しい（ビームラインに関わる全てのバルブの制御をできるようにしてほしい）という要望はあったのだが、加速器制御室で監視・制御できる仕様を壊さないという観点から組み込まなかった。しかし、使用者の利便性やビームラインのス

ペースのことなどを考えると、今後はまとめるようにした方が良いのではないかと考えている。そして加速器制御室でフロントエンドバルブの監視・操作をできる新たにシステムを製作するようにしたい。

これに関連して、設立当初から使用されている真空インターロックシステムの更新も課題である。従来のシステムは加速器制御室でフロントエンドバルブの監視・操作ができるが、バルブのステータスを監視できていないビームラインもある。また、ステータスはPCなどで読み取っているわけではなく、ランプが点灯するだけでログを取っているわけではない（ランプの状況をビデオカメラで録画している場合もある。図2参照）。ビームラインに設置されているバルブの制御装置も2つのバルブを制御するのに

ラックを1台使っていて場所を必要としている。加えて、出射部の真空計、イオンポンプのコントローラーはストレージリングの中心（放射線防護壁の内側）にあり、トラブルが発生した場合は加速器の運転を停止する必要がある。であるので、真空インターロックを更新あわせてこれらの真空機器をリングの外側へ移設する作業も必要になる。

出射部の真空インターロックを更新するのであれば、それより下流もこのシステムに組み込むことも検討しなければならない。全てを行うとなると作業量と費用が多くなるので、どのように進めていくのか検討が必要である。



図2 フロントエンドバルブのステータス表示器

中央の赤、緑のランプが点灯しているユニット。

上段のランプがバルブステータスで緑が閉、赤が開、無点灯はステータスが読み取れていない。

下段はインターロックのステータスで赤点灯はエラー。

イオン・NEGポンプの再活性化

手島 史綱 極端紫外光技術二係

キーワード：イオンポンプ、NEG、ゲッター、真空度、NEXTorr

平成25年5月に計算科学技術班から光技術班に異動し、その年の10月から極端紫外光研究施設（UVSOR）におけるビームライン（赤外・テラヘルツ利用）BL1BとBL6Bを担当することになった。引継ぎがあまりできていない状態からのスタートということもあり、取扱が分からない機器や自分が管理すべき機器が分からない状態であった。計画停電前に出射部の遮蔽バルブが閉じた時、遮蔽バルブ下流（フロントエンド部分）の真空度が悪いという状態となった。その部分には、小型で高排気が発売のイオン・NEGポンプ（商品名：NEXTorr。以下NEXTorrとする）が設置されているが、どうもうまく稼動していないようである。このポンプを正常に稼動させるまでを報告する。

はじめに

写真1の真ん中にある赤い箱がNEXTorr D100-5である。約80cm³の超小型のイオン・NEGポンプである。同様の排気速度のイオンポンプと比較し10倍から50倍も小型であるのが売りである。私が担当する1年以上前に導入設置されているものである。このNEXTorrが排気対象としている空間は、BL1B遮蔽バルブと赤外を透過させるダイヤモンド窓との間で空間的に非常に小さい。設置時には、小型で高排気のNEXTorrなら十分超高

真空にすることができる。ということだったようで、このNEXTorrのみが設置されている。停電などにより、電気が途絶えると遮蔽バルブは真空度を保持するためにバルブを閉じる。その際、NEXTorrが設置されている区間は袋小路になるが、NEXTorrがポンプとして真空度を維持するはずである。ところが、停電明けに真空計を見ると10⁻⁵Pa代と真空度が悪くなっている（停電前は10⁻⁸Pa代）。このままでは、遮蔽バルブを開けて放射光リング接続すれば、リングに悪影響を与えることになる。急遽、排気セットを接続して粗引きを開始したが、10⁻⁶Pa前半が精一杯であった。また、NEXTorrのコントローラーに真空計があり真空度を表示できるが表示できていない。エラーは出ていないがポンプとしても動いていないため、NEXTorrのマニュアルを探し操作方法などを確認することにした。

NEXTorrとは

NEXTorrは、「NEGとイオンポンプの技術を相補的に組み合わせた設計となっており、小型のイオンポンプがNEGによって排気されなかった不活性ガスを取り除いている間、ゲッターカートリッジが主なUHVポンプとして働きます」と宣伝文句にあるのですが、初心者の自分には意味が分からなかった。

簡単に言えば、いくつかの技術を組み合わせて、小型ながら高排気なポンプである。ということでしょうか。ならば、この狭い空間を超高真空にするにはもってこいのポンプである。

まず、NEG（Non-Evaporable Getter Pump：非蒸発型ゲッターポンプ）とは何でしょうか。NEGと同じようなものにチタンゲッターポンプがある。このポンプは、化学的に活性なチタンのフィラメントを加熱し、気体中に昇華させることによって、ポンプ内壁面に気体となったチタンの蒸着膜をつくり化学的に吸着させるゲッター作用（水素、

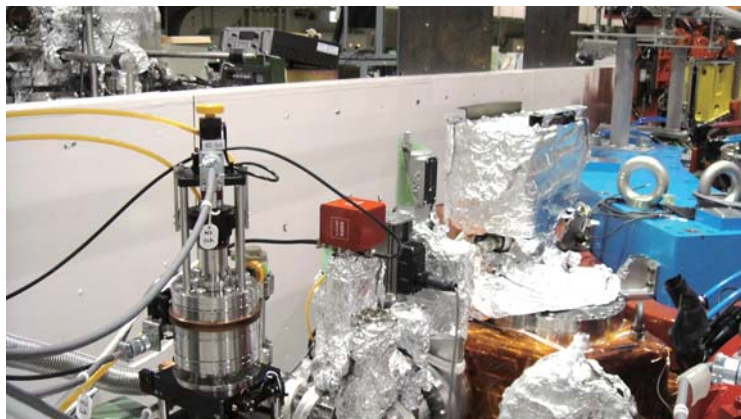


写真1 BL1BのNEXTorr D100-5

酸素、一酸化炭素もしくはその他の活性ガスを化学的に吸着する現象)を利用したポンプであり蒸発型のゲッターポンプである。NEGは、予め吸着のためのゲッター面が用意されており、チタンゲッターポンプのようにチタン蒸着膜が不要で、蒸着膜による真空槽内の汚染、蒸着膜の剥離及び絶縁抵抗などの問題を起こす心配がない。しかし、不活性ガスをまったく排気しないこと。水素を吸着するとわずかながらメタンガスを放出するという欠点がある。

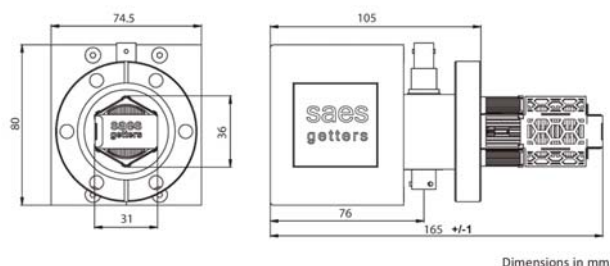


図1 NEX Torr D100寸法



写真2 コントローラー NIOPS-02

イオンポンプは、NEGで排気できない不活性ガス（窒素やヘリウムなど）を排気できる。このため、他の放射光施設でもNEGとイオンポンプを同一ライン上に設置して超高真空を実現している。NEX Torrは、1台にNEGとイオンポンプを組み込むことにより、小型ながら超高真空を維持できるようにした機器である。

再活性化作業と思わぬ原因

NEGは、先に述べたゲッター作用によって、ガスを吸着していくため、いずれ飽和状態になる。そうした場合はNEG素子を再活性化すれば、排気能力が回復する。再活性化は、NEGに9V-5A (45W) を60分間かけてNEG素子に吸着した気体分子を放出させる。このとき、放出されるガスは、排気セットなど使用して外部に排気する。このことによって、NEG素子は全容量を使用できるようになる。

再活性化においては、イオンポンプを停止させておく必要がある。なぜなら、NEGから放出された気体分子を

イオンポンプが吸着してしまうからである。マニュアルの手順にしたがい、イオンポンプを停止させ、NEGのモードを「Timed Activation」にしてNEGをスイッチオンにする。NEGに電圧がかけられ加熱されていきガス放出が始まる。真空計をみていると、みるみる真空度が下がっていき 10^{-3} Paまで下がる。60分経過するとNEG素子の過熱が終了し、放出されたガスは排気セットによって外部に排気されるため、徐々に真空度は回復していく。再活性化は、利用者が居ない週に行わないといけな。また、その他の作業などを考慮して、2度（6ヶ月くらいの期間をおいて）再活性化を行った。1度目は、普通に再活性化を1回行い、しばらくしてNEGをOFF、イオンポンプをONにした。状況は再活性化の前と変わらなかった。半年ほどおいて、2度目を行った。知識が足りない自分は、ガス放出が十分でないから状況が変わらないと考え、再活性化の回数を増やした（合計2回）。それでも、状況は変わらなかった。根本的に自分の作業方法が間違っているかもしれないと考え、別のビームラインで既にNEX Torrを使用している方（千葉大学のRasikaさん）が見えたので、その方に相談した。Rasikaさんの説明では、私が2度目にした再活性化はやってはいけないとのことだった。何回も行くとNEGの寿命が悪くなるとのことだ。Rasikaさんと一緒に、再度、排気セットを接続して 10^{-6} Pa代の高真空状態にして、再活性化を行った。再活性化後、十分日数を取ってNEGの温度を下げ、NEGをOFFにしてイオンポンプをONにした。それでもやはり状況は変わらなかった。しかし、コントローラーの表示状況を見て、設定がおかしいのでは？とRasikaさんの指摘があり、設定を確認することにした。ところが、コントローラーのボタンをマニュアルどおりに操作しても設定モードにならない。しまいには、イオンポンプがOFFにできない状態になった。これはおかしいということで、Rasikaさんが直接製造元（イタリア）のSaes getter社の技術者とやりとりをして状況確認をしていただいた。その結果、コントローラーの設定値がおかしいということが分かった。とりあえず、イオンポンプ起動の電圧が低いということなので、電圧を上げてみる。するとどうだろう、イオンポンプが動き出し、コントローラーにも真空度が表示されるようになってきた。ただ、ボタンがおかしいので、しばらく電圧ボタンが入りっぱなしになり、電圧がどこまで上がったのかがはっきり確認が取れない状況にはなったが、イオンポンプは動き出し排気を行っていた。最終的には 7×10^{-8} Paくらいまでになった。結果として、イオンポンプの起動電圧が低いためにポンプが動いていなかったということであり、コントローラーの設定不備（コントローラのボタンもおかしい）であった。メー

カーに問い合わせると、このモデルのコントローラーは初期不良が多々あるとのことで、上位機種のコントローラーへの交換を勧められた。ただし、保証期間が大幅に過ぎているので、新規購入ということになった。なんともお粗末な結果である。コントローラー設定を変更してから、遮蔽バルブを閉じて袋小路にしても、超高真空状態を維持できている。コントローラー購入は納期などのこともあり（年度内納品が間に合わない）、来年度早々に購入して置き換えを行う予定である。

さいごに

今回は、NEXTorrを利用しているRasikaさんに助けていただき大変助かった。この場を借りてお礼申し上げる。やはり、ちゃんと英語マニュアルを理解できるようにしておかないといけないこと。ポンプなど個々の製品の原理、特徴などを理解しておくことが重要であると再認識した。

コラム 技術課を去る——柔軟性を忘れないで——

光技術班 堀米 利夫

研究所の組織はその時々に応じて変化を続けております。その陰にある技術課は創設以来（約40年間）、その組織形態は大きく変わることなく現在に至っています。技術職員が研究に寄与できる支援形態や求められる人材も創設期とは変わってきているように思われる。次期技術課を背負う人達による、研究現場に技術を提供しやすい支援組織や技術職員の能力が十分発揮できる組織を再構築する意欲が必要な時期ではないでしょうか？ 組織は知らず知らずのうちに硬直化し、中で働く技術職員もいつの間にか柔軟性を欠くような状況になっていないでしょうか？

技術課の組織・技術職員は常に柔軟性を持ち続けて、『技術』を追求して欲しいと願う。最後に、長い間ありがとうございました。

コラム キット製品の活用

光技術班 岡野 泰彬

光分子科学の分野など、レーザーを使った研究では目的に合った実験系を研究者自らが光学素子やメカニクスを用いて組み上げます。構築した実験系は研究者の経験や個性が表れる部分であり、実験の鍵となる部分でもあります。新しい実験系を組み上げるときは、これまでの経験に加え、論文や既存の装置などを参考にしますが、新しい技術を短時間で導入したい場合には、光学機器メーカーで用意されているキットやシステムを活用するののも一つの選択肢になります。

近年では、総合光学機器メーカーだけでなく、レーザーメーカーや新興の商社からも先端研究で用いられている技術が素子やモジュール、キットなど様々な形態で販売されています。

このようなキットは、単に導入コストの削減だけでなく、基本原理を効率よく学ぶ教材として、また、より高度なシステムへ発展させるベースとして活用できます。製品によっては、ユーザー側にも内部に改良を加える余地があるため、目的に応じて有効に活用したいものです。

レーザーセンターでも来年度にかけて、このようなキットを活用したフェムト秒ファイバーレーザーの製作を予定しています。基本構成にキットを活用して技術導入を図るとともに、安定性やポータビリティを考慮してメカニクスや筐体を設計することで、レーザー励起電子銃開発研究への光源提供や汎用のパルス光源として計測機器開発での活用を計画しています。

NEG ポンプの特徴と使用する時に注意すべきこと

蓮本 正美 極端紫外光技術二係

キーワード：ゲッター材、活性化、残留気体、不活性気体、イオンポンプ

UVSORではNEGポンプを多数使用しているが、自身はNEGポンプがどのような特性を持っているのかを良く知らずに、チタン・ゲッターポンプの代わりとして、平成14年から平成22年までビームラインBL1Bの瀬谷・波岡型分光器で使用していた。その後に分光器を撤去する際に取り外して保管していたNEGポンプをテスト用の真空容器に取り付けて調べた内容を報告します。

はじめに

写真1は今回のテストに使用した真空容器で、ICF203、ICF114、ICF70のフランジが付いたポートがあり、真空容器本体の容量は約20ℓ、電解研磨などの表面処理はしていない。ターボ分子ポンプ(TMP)をICF152のポートに、NEGポンプ(NEG)をICF203のポートに、小型のイオンポンプ(IP)をICF70のポートに、それぞれバルブを介してして接続して、真空容器を排気するポンプを選べるようにした。また、残留ガスの圧力を測定するためにSPECTRA社の四重極質量分析計MONITOR(MAS)を取り付け、全圧力を測定するために、日本真空社の真空計AXTRANを取り付けている。NEGポンプは、Saese Getters社のNEGポンプで型番は、GP-200-MK4-707、ゲッター材ST707(Zr-V-Fe合金)を使用したカートリッジを取り付けている。カタログに記載されている排気速度は、単管を取り付けずに真空容器に直接取り付けた場合に、 H_2 に対して500ℓ/sec、COに対して190ℓ/secであるが、ICF203の短管に取り付けているので実質的な排気速度は50%程度に低下すると思われる。ターボ分子ポンプはOerlikon Leybold Vacuum社のTURBOVAC 1000Cで、排気速度は H_2 に対して970ℓ/sec、 N_2 に対して1100ℓ/secであるが、ICF152の短管を介して接続しているので実質的な排気スピードは30%程度まで低下すると思われる。イオンポンプは日本真空社のPST-05Cで、排気速度は、 N_2 に対して10ℓ/secである。真空容器をターボ分子ポンプで排気しながら150℃



写真1 テストに使用した真空容器

～200℃で12時間ベーキングした後、ターボ分子ポンプのみで 2×10^{-7} Paまで圧力が下がるのを確認した。

NEG ポンプとは

NEGポンプとは、非蒸発型ゲッターポンプ(Non Evaporable Getter Pump)で化学的に活性なゲッター材(Zr-V-Fe合金)を利用して表面吸着および内部への拡散によって H_2 、 O_2 、 N_2 、COなどの活性な気体を排気するポンプであり、ゲッター材をひだ状に折り曲げてカートリッジの表面積を大きくすることによって排気スピードを大きくしている。ゲッター材にはST101、ST707、ST172、ST185などがあり、活性化の温度や総排気量などの違いはあるが、基本的な性能はあまり変わらないので、今回はST707のカートリッジを付けたNEGポンプを使用した。NEGポンプは H_2 、 O_2 、 N_2 、COなどの活性な気体を排気できるが、 CH_4 に対する排気スピードはかなり小さいので、 CH_4 はあまり排気することはできない。

さらにHe、Ne、Arなどの不活性な気体は全く排気することができない。また、活性化後のゲッター表面での吸着可能な気体の量は決まっており、再活性化が必要になるまでの時間は、真空容器内の圧力に比例して変わり、典型的な残留気体(H₂とN₂の合計が90%以上、その他の気体が10%以下)で室温の場合は、圧力が 1×10^{-8} Paでの連続使用で約5万時間、 1×10^{-7} Paでは約5千時間、 1×10^{-6} Paでは約500時間である。室温で 1×10^{-5} Pa以上の圧力では、再活性化までの時間が短くなり実用的ではない。これらのことはカタログには明記されていないので注意が必要である。ゲッター材を常に280℃の温度に加熱しておき、ゲッター材の表面に吸着した気体の内部への拡散スピードを上げることで、 1×10^{-5} Pa以上の圧力でも連続的に排気することも可能であるが、カートリッジの寿命が短くなるので、このような使い方はお勧めしません。ST101およびST707のゲッター材は大気暴露を30回繰り返すと排気スピードは40%まで低下するので注意が必要である。乾燥窒素で大気圧にして、その雰囲気を保った状態にすれば、30回繰り返しても排気スピードは80%を維持することはできるが、乾燥窒素の雰囲気を保ったままにしておくのは難しいので、頻繁に大気圧にするのであればバルブを付けてNEGポンプを真空中に保ったままにしておくのが望ましい。

ゲッター材の活性化

ゲッター材を活性化する前にNEGポンプを含めて真空容器を12時間ベーキングして、脱ガスを十分に行った後にゲッター材の活性化を行った。ST707、ST172、ST185の活性化の推奨温度と時間は、450℃で45分間であり、ST101は700℃で45分間である。図1は活性化中の真空容器内の典型的な残留気体、H₂、H₂O、N₂、CO₂の各圧力の変化を示したものである。加熱を開始してから15分でカートリッジの温度は、430℃に達した後一旦415℃まで低下した後、ゆっくり上昇し80分後に

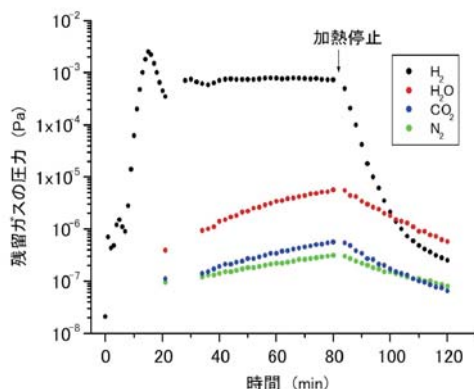


図1 活性化中の残留気体の圧力

加熱を停止した時の温度は445℃であった。

カートリッジの温度上昇に伴ってH₂の圧力は上昇し、15分後に 4×10^{-3} Paまで上昇した後は、 8×10^{-4} 程度の圧力でゆっくり変動した。加熱停止後35分で 3×10^{-7} Paまで回復した。その他の気体の圧力は、加熱開始から停止時までゆっくりと上昇し、加熱停止後ゆっくりと下降した。これはNEGポンプを取り付けた短管の温度変化に対応しており、加熱を停止した時の短管の温度は75℃まで上がっていた。H₂以外の気体はゲッター材からではなく、熱せられた短管の壁より放出されたものと考えられる。活性化中に放出される気体の99%以上はH₂であった。

残留気体の圧力

図2は真空容器をターボ分子ポンプのみで排気している時の残留気体の圧力を示したものである。H₂、H₂O、N₂、CO₂が残留気体全体の99%以上を占めており、Arはわずかに残っているのが分かる程度である。図3はNEGポンプのみで排気している時の残留気体の圧力を示したものである。H₂、H₂O、N₂、CO₂に加えてCH₄とArが残っているのがはっきりと分かり、NEGポンプはArなどの不活性な気体やCH₄は排気されていないことが確認できる。

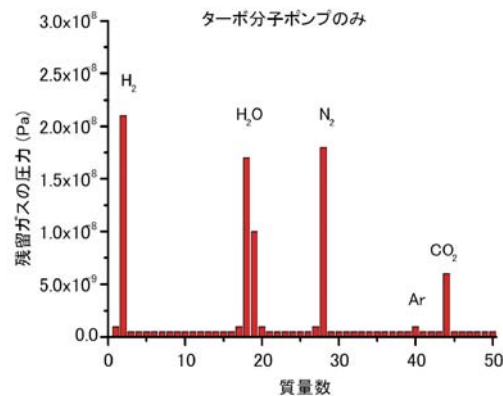


図2 ターボ分子ポンプのみで排気

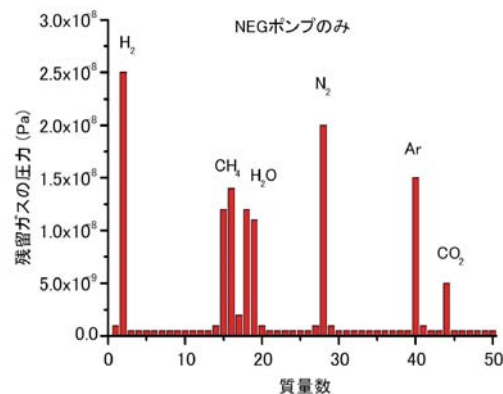


図3 NEGポンプのみで排気

NEGポンプとイオンポンプの併用

図4はNEGポンプではArやCH₄を排気できないという欠点を補うために、小さなイオンポンプと併用して排気した時の残留気体の圧力を示したものである。イオンポンプの排気速度は10ℓ/secと非常に小さいけれども、NEGポンプのみで排気している時に比べて、CH₄とArの圧力は5分の1程度まで改善されている。排気速度が50ℓ/sec程度のイオンポンプを使えば、ターボ分子ポンプで排気している時と同じレベルまでCH₄とArの圧力を下げることが可能である。しかしイオンポンプは立ち上げ時に大量の気体を放出するために、NEGポンプと併用する時は、イオンポンプのベーキングおよびNEGポンプの活性化のタイミングに注意が必要である。イオンポンプのベーキングが不十分な状態でイオンポンプを立ち上げると、イオンポンプの電源をONにした直後に真空容器の圧力は10⁻³Pa台まで上昇し、10⁻⁴Pa台まで下がるのに数分間から十数分間かかることがある。NEGポンプは1×10⁻³Paの圧力に30分間程度さらされると再活性化が必要になるほどゲッター材の表面に気体を吸着してしまうために、イオンポンプの立ち上げ時にNEGポンプのカートリッジが10⁻³Paから10⁻⁴Paの圧力にさらされる時間を出来る限り短くすることが重要である。そのためにイオンポンプは150℃から200℃の温度で12時間以上のベーキングを行い、温度が室温まで下がってからイオンポンプの電源をONにして、真空容器の圧力がイオンポンプの電源をONにする前の圧力以下になり、イオンポンプからの気体の放出が十分に少なくなるまで待った後に、イオンポンプの電源を一旦OFFにして、NEGポンプの活性化を行い、再びイオンポンプの電源をONにすることで、イオンポンプの立ち上げ時にNEGポンプが吸着する気体の量を減らすことができる。しかし、このような手順を踏むのは、面倒であり時間もかかるので、やはり真空容器とNEGポンプの間にバルブを取り付けて、NEGポンプがイオンポンプ立ち上げ時に放出する気体を吸着しないようにしておけば、イオンポンプの立ち上げも楽になる。また、真空容器を大気圧にしてもNEGポンプを真空に保てれば、再活性化を行う必要もなく、ゲッター材の寿命を長くすることもできるので、可能ならばこのようにすることをお勧めします。

NEGポンプの長所と短所

NEGポンプは、排気速度が50ℓ/secから3500ℓ/secまで、フランジは排気速度に応じてICF70からICF253まで、全部で10種類程あり、写真2はその一部である。カタログに記載されている排気速度は、真空容器に直接取り付けられた場合であり、短管を付けた場合は、その

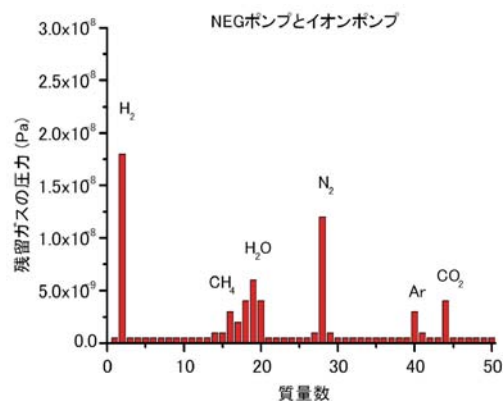


図4 NEGポンプとイオンポンプを併用して排気

短管の断面積に比例して小さくなってしまいます。ICF152の短管を取り付けた場合の排気速度は、約30パーセントに低下する。連続使用する圧力が低くなるほど再活性化までの間隔が長くなるので10⁻⁷Pa以下の圧力で使用すれば、性能を十分生かすことができるが、10⁻⁵Pa以上の圧力で連続使用には適さない。CH₄とArなどの不活性な気体は排気できないが、小型のイオンポンプと併用すればその欠点を補える。また、イオンポンプをメインのポンプとしている場合でも、イオンポンプの排気速度と同程度かそれ以上の排気速度のNEGポンプを追加すれば、到達圧力をより下げることができる上に、停電時に真空容器内の圧力上昇を小さくすることが可能である。ゲッター材のカートリッジを大気に何度もさらすと排気速度が低下するので、なるべく真空に保ったままにしておくのが望ましい。



写真2 NEGポンプの一例

おわりに

今回のテストに使用した真空容器は、NEGポンプ(500ℓ/sec)とイオンポンプ(10ℓ/sec)で排気した場合、NEGポンプを活性化した24時間後には全圧が1.5×10⁻⁷Pa、7日後には3.3×10⁻⁸Paの真空に到達した。排気速度が100ℓ/sec以上のイオンポンプと1000ℓ/sec以上のNEGポンプを使用すれば、10⁻⁹Pa台の真空に到達できると思う。

コラム 真空チャンバー内にあった粉末の元素分析

極端紫外光技術二係 酒井 雅弘

UVSOR加速器グループより、「ストレージリングの加速空洞チャンバーで電極を出し入れしているフランジのガスケット表面の変色及び、内部に落ちていた粉末の分析ができないか？」との相談を受け、平成25年度末に導入された低真空分析走査電子顕微鏡を用いて特性X線分析（元素分析）を行った。本コラムでは、粉末の分析結果の一部を示す。

図1は分析領域の二次電子（SE）像、図2は同じ領域の特性X線スペクトル、図3-A, B, C, D, E, F は同じ領域の C, O, Zn, Cl, Fe, Cr の元素マップである。

粉末試料は、カーボン両面テープ上に固定して観察・分析を行った。カーボン両面テープの接着面には Al, Si が含有されており、特性X線スペクトルに表れている。Cl が観測されているが、Naが観測されていないので直接試料を素手で触るなど汗由来の Cl ではない。図1～図3より

1. 粉末の粒径は $10\ \mu\text{m}$ 程度
2. 次の3つの粒子が存在すると予想される
 - I. C と O から構成されメタルを含まないもの
 - II. Zn, Cl から構成されるもの
 - III. Fe, Cr, Ni から構成されるもの

の結果を得た。

この結果を加速器グループに伝えたと共に、粒子Ⅱ及び粒子Ⅲの生成原因を以下のように考察した。

《粒子Ⅱ》

- ・電極がZn メッキされていて、何らかの原因でメッキがはがれClと結合してチャンバー内に存在し、粉として落下した（実際にメッキされていたかは不明）
- ・Clの起源は不明

《粒子Ⅲ》

- ・稼働部にステンレスが使われていて摩耗した粉が落ちた

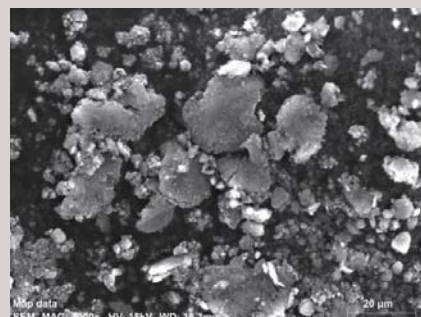


図1 粉末の二次電子像

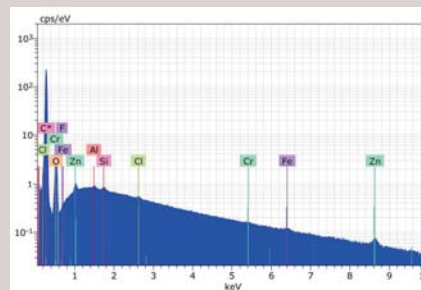


図2 図1と同領域における特性X線スペクトル

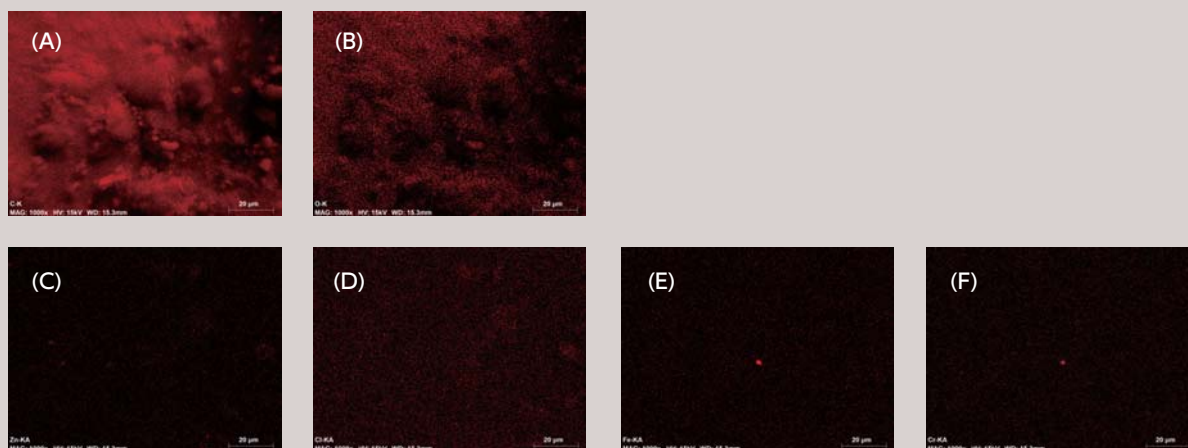


図3 図1と同領域の元素マップ

(A)C マップ, (B) O マップ, (C)Zn マップ, (D)Cl マップ, (E)Fe マップ, (F)Cr マップ

共同利用装置ピコ秒レーザーを用いた微細加工への取り組み

上田 正 機器利用技術二係

キーワード：ピコ秒レーザー、微細加工、多光子吸収、熱影響、アパーチャー

はじめに

機器センターでは、分光実験用光源としてピコ秒レーザーを所有している。超短パルスレーザーでは、不確定性原理によってパルスの時間幅と波長幅（バンド幅）を同時に狭くすることは相反するが、ピコ秒のレーザーはその両者、つまり時間分解能とエネルギー分解能の両方において高い分解能を得ることができ、その意味において優れた分光実験用光源であると言える。またピコ秒レーザーは、極端に短いパルス幅であることと同時にピークパワーが極めて高いため、精密微細加工に広く応用されるようになってきている。ピークパワーが極めて高いことで、多光子吸収によって電子を励起させ分子レベルで結合を分解できるため、熱影響が少なくデブリが少ない精密な微細加工が実現できる。そこで、当センターの分光実験用ピコ秒レーザーを用いて、レーザー微細加工機の開発に取り組んでいる。なお、本テーマは、装置開発室の提案によって、共同で加工機開発を進めている。

ピコ秒レーザーの紹介

レーザーシステム全体の写真とブロック図を図1に、パワースペクトル（メインカーブ）を図2に示す。本システムは、パルス幅2～3 ps、繰り返し周波数1 KHzのチタンサファイアベースのアンプシステムで、2台の波長可変装置：TOPAS（Travelling-wave Optical Parametric

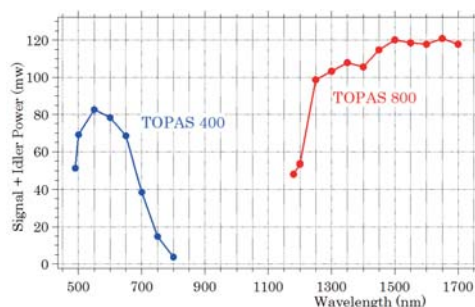


図2 パワースペクトル（メインカーブ）

Amplifier of Superfluorescence) によって、原理的には250 nm～10 μmの範囲で波長が可変できるレーザー光を発生させることができる。制御用PCから波長を入力することで、任意の2波長のレーザー光を出力できるため、ポンプ・プローブ実験、高速時間分解実験等の分光実験が可能である。今回のレーザー微細加工機では、出力の大きいアンプのアウトプット（波長790 nm、出力1.5 W）を利用している。

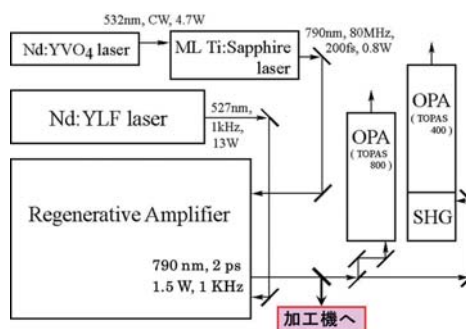
ピコ秒レーザーの詳細については、機器センターホームページ、或いは冊子「機器センターたより」をご参照頂ければ幸いである。

レーザー微細加工機の概要

レーザー微細加工機の写真と概略図を図3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



図1 ピコ秒レーザーシステムの写真とブロック図



集光し、水平に設置した試料を加工する。加工精度の向上のため、試料の固定には吸着ステージを使用し、加工によって試料が歪むことがないようにした。また試料の両側から不活性ガスを吹き付けて、加工時のデブリや酸化も抑えることができる。試料ステージには、XYZの自動ステージを取り付け、PCで制御も可能である。上部にはCCDカメラを設置し、試料の加工状態をリアルタイムで観察することもできる。

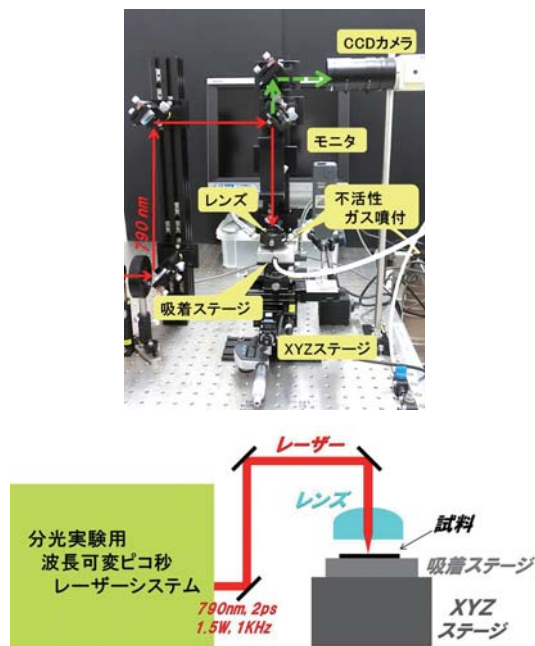


図3 レーザー加工機の写真と概略図

加工例

微細加工を行うために、ビームのスポット径はできる限り小さくする必要がある。ビームの集光にはレンズを用いるが、ふつう、回折限界によって波長より小さく絞ることはできず、一般に、平行ビームをレンズで集光した場合に得られるスポット径 D_0 (m)は、波長を λ (m)、レンズの焦点距離を f (m)、入射ビームの直径を D (m)とすると、

$$D_0 = 4 \lambda f / \pi D \quad (1)$$

で計算できる。従って、波長を短く、焦点距離を短く、入射のビーム径を大きくすれば、より小さく集光できるはずであるが、実機では単純ではない。波長変換によって短波長化は可能であるが、出力が大幅に減少してしまう。焦点距離の短い対物レンズを使用する例もあるが、高価であり操作性も悪い。また入射ビーム径を大きくすることも簡単であるが、その分集光レンズの収差の影響が大きくなる。そのため、今回波長は790 nmに固定し、集光レンズには比較的安価な非球面レンズ（焦点距離18 mm）を使用、入射ビーム径は直径約5 mmに細くコリメートして加工評価を行った。

加工材料には厚み10 μm のステンレス製 (SUS304)

の板を用いて、穴加工を行った。式(1)から、スポット径は約3.6 μm と計算できるが、実際に加工してみると穴径20 μm が限界であった。その大きな原因は、熱影響によって加工面が溶けテーパー状に広がってしまうためである。レーザー出力を瞬時(1秒以下)に貫通穴が加工できる程度(100 mW以下)に落としても、レーザーのエネルギーが過剰で熱影響を生じてしまう。単にこれ以上レーザー出力を落とせば、加工に時間を要してしまうか、貫通穴が開けられない。そこで、余剰エネルギーをカットしビーム中心のピークパワー部分のみを試料に照射すればよいと考え、集光レンズの手前にアパーチャー(径300 μm)を設置してみた。しかしながら、このことは入射ビーム径を細くすることとなり、式(1)に従えばスポット径を逆に大きくしてしまう。加工結果を図4に示す。式(1)に反し、非常にきれいな小径穴加工を行うことができた。現状では、およそ9 μm の貫通穴を0.2秒以下で開けることに成功している。これは、熱影響を大幅に取り除けたことやレンズの収差の影響を抑えることができたためであると考えている。なお、後日調査を行ったところ、アパーチャーを入れることは他の研究グループでも行われていることが判明した。考え方が間違っていないことは良いが、情報収集の必要性を痛感している。

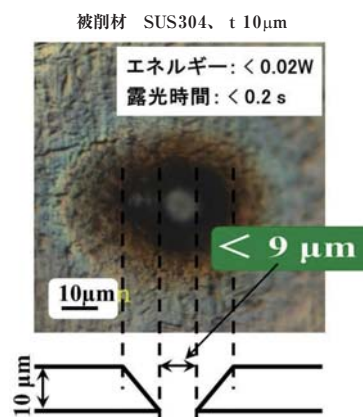


図4 貫通穴加工【金属材料】

応用例として、レーザー描画にも取り組んでいる。試料ステージをプログラミング制御すれば可能である。図5に分子科学研究所のロゴマークをレーザー描画した例を示す。

その他、透明材料への加工も試みている。例えば、アクリル樹脂や石英ガラスでは、波長780 nmの光は「透過」してしまうはずであるが、本ピコ秒レーザーを照射することによって貫通穴を開けることに成功した。穴加工のSEM写真を図6に示す。これは、ピークパワーが極めて高いピコ秒レーザーパルスによって非線形吸収が誘導され、加工が可能となったと考えられる。従って、超短パルスレー

ザーで加工を行う場合、基本的に加工対象を光が透過してしまうかどうかは関係無く、レーザーの波長には依存しないと考えている。



図5 レーザー描画【分子研ロゴ】

の可能性も実験によって試していきたい。レーザー波長の短波長化によるスポット径の更なる縮小化も検討すべき課題である。まだまだ試作機のレベルであるが、一日も早くレーザー加工機として所内外の研究者に利用して頂けるよう努めていきたい。

最後に、本レーザー微細加工機開発は、加工の技術・知識を有する装置開発室の青山班長、矢野主任、中野技術職員と施設の枠を越え共同で取り組んでいるものであり、大峯所長奨励研究費の支援を頂いて進めていることを申し添える。

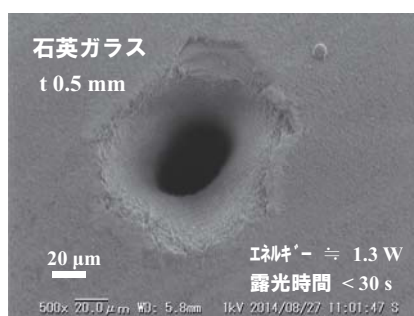
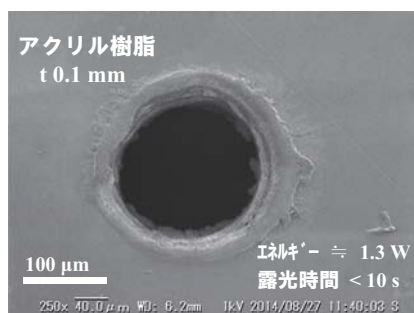


図6 貫通穴加工【透明材料】

おわりに

アパーチャーの設置は、入射ビーム径を細くし理論的にはスポット径を大きくしてしまうことになるが、実験によって微細加工精度が向上することがわかった。実機では、単純な式では図れない場合があることを痛感している。それでもまだ熱影響は大きく、更に微細化できる可能性があると考えている。引き続き、アパーチャーの大きさや設置する位置について検討していく。加えて、材料に対する加工に適当なレーザーエネルギー値も調査する。また、透明材料にも加工できることが分ったことで応用範囲も広がった。レーザー描画だけでなく、内部加工やレーザー接合等

液体ヘリウム容器の予冷検証実験

高山 敬史 機器利用技術班

キーワード：LHe容器、予冷、超低温、冷却用窒素ガス

はじめに

室温状態に戻った液体ヘリウム容器に液体ヘリウムを充填する際に、液体窒素で予冷する方法・超低温の冷却窒素ガスで予冷する方法およびまったく予冷しない方法がある。それぞれの予冷方法で液体ヘリウムを充填した時に、使用する液体ヘリウムの総量・充填に要する時間・充填後に蒸発した液体ヘリウムの量などにどのような違いが生じるかを検証したので報告する。

今回、新たに冷却窒素ガスで予冷する方法を考案したので、その方法についても詳しく紹介する。

超低温の冷却窒素ガスによる予冷方法

図1のように株式会社ジェック東理社から市販されているクライオトロール（液化窒素電動ポンプ）を使用して液体窒素を液体ヘリウム容器内へ移送する。ただ移送するだけでは、液体ヘリウム容器内に液体窒素が溜まってしまうため、株式会社チノのデジタル指示調節計DB600を用いて液体ヘリウム容器の内底部に設置した测温抵抗体の温度指示により、クライオトロールのON/OFF制御を行い液体窒素が容器内に貯留しないよう特殊な環境下でのトランスファー実証を行った（写真1）。

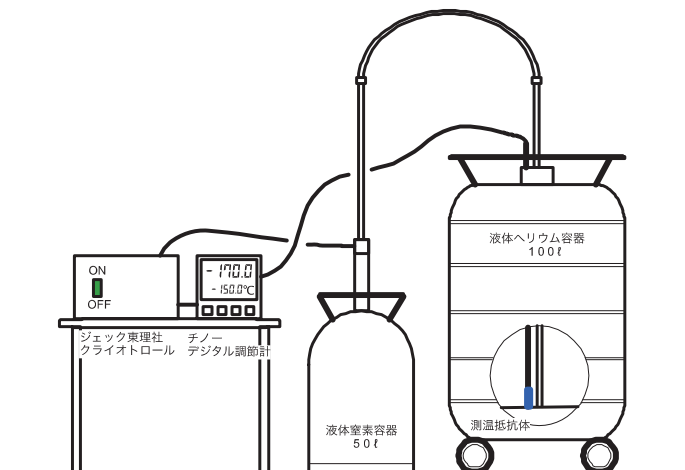


図1 液体窒素トランスファー概略図



写真1 予冷②検証実験の様子

実験段階の当初、デジタル指示調節計の温度指示を-180℃に設定してクライオトロールの制御を行ってみたが、設定温度が低過ぎたらしく液体ヘリウム容器の内部には、ほんのわずかな液体窒素が液面の高さ数ミリほど溜まっていた。そこで、設定温度を-170℃に上げてからトランスファーのテストを繰り返し行ったところ、液体窒素の貯留が完全になくなり、温度設定はこの値のまま進めることにした。

上記の様に、トランスファーした液体窒素が蒸発して気化した超低温の冷却ガスを液体ヘリウム容器の予冷に使用することで、液体窒素をそのまま充填する従来の予冷方法と比較して、液体ヘリウムの充填開始前に予冷で溜めた液体窒素を抜き取る手間が省けて、作業効率の改善にもつながる。更に、液体窒素を抜き取る際によく問題となっていた、液体窒素の不完全な抜き取り作業に起因する不純物の残留も無くなり、液体ヘリウム容器の真空ガス置換も手軽に行うことができる。

しかし、液体窒素を直接充填する予冷方法と異なり、冷却ガスによる予冷方法となるため、液体よりも熱容量の小さいガスを使用して、本来の目的である液体ヘリウム容器の予冷が完全に行えるのかという不安もあった。

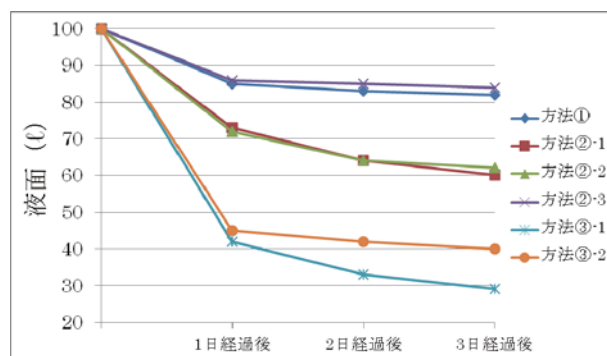
次の章では、それぞれ異なった予冷方法による検証結果を比較して掲載する。

異なる予冷方法での液体ヘリウム充填の検証結果

今回、以下3通りの方法で室温状態に戻ったヘリウム容器に液体ヘリウムを充填して、充填に使用した液体ヘリウムの量・予冷に使用した液体窒素の量・充填後に液体ヘリウムが蒸発した量などを比較した。

予冷方法は、従来の液体窒素で予冷する方法（方法①）・今回新たに考案した超低温の冷却窒素ガスで予冷する方法（方法②）およびまったく予冷しない方法（方法③）の3通りである。各種予冷方法の違いによりどのような事象が見られるのか比較した結果を表1およびグラフ1に記載する。

まず、従来の予冷方法である方法①を基準値と考え、新たに考案した予冷方法の方法②と比較する。方法②はガスの比熱を利用してヘリウム容器内部を冷却するためか、予冷で使用する液体窒素の使用量が多い。ガス置換にかかる真空引きに要した時間は、方法①とほぼ同じであった。充填時に使用した液体ヘリウムの量は貯槽の液面計指示によるもので、若干、計測誤差があるため今回は参考程度とする。検証結果から、やはり予冷方法①が1日経過した後の蒸発量が最も少ない。それに比べて、まったく予冷しない方法③は、2日経過した後でもなお蒸発量が多いことが分かる。当初、予冷方法②において、予冷時間を短時間（約0.5日）で検証を行ってみたが、結果が予想よりも芳しくなかったため予冷時間を長時間（約1日）に変更して、再度検証を行った。結果は良好で、方法①と比較して遜色のないデータが得られた。充填時間においては、予冷方法③に関してヘリウム容器内部を初期冷却する時間を要したため、最も時間を必要とした。なお、今回の検証で使用した液体ヘリウム容器はすべて異なる固体を使用したため、同じ予冷方法においては個体差の影響を理解するうえで、複数回同じ実験を行っている。



グラフ1 各種予冷方法における液体ヘリウム液面の変化

おわりに

今回、新たに考案した冷却窒素ガスで予冷する方法でも予冷を保持する時間を十分に取れば、従来の液体窒素を溜める予冷方法と比べても見劣りしない良好な結果を得ることができた。冷却ガスで予冷するために、使用する液体窒素の消費は多少多くなるが、液体を溜めないのので、溜まった液を抜き取る必要もなく、更に抜き取った液体が不完全で不純物を残したまま液体ヘリウムを充填してしまうこともない。この予冷方法により、総合的にみて比較的簡単に効率よく予冷を行うことが可能となった。このシステムを利用することで、超電導マグネットを用いた低温実験装置の予冷にも応用できると考えられる。特に、超電導マグネットは液体ヘリウム中の残留不純物に気を使う必要があるため、この予冷システムは大いに有効である。

今後の課題として、同じヘリウム容器を使用した場合、それぞれの予冷方法の違いによりどのような検証結果が得られるのか、容器の個体差を考慮したうえで引き続き考察したいと考える。

表1 各種予冷方法における現象の比較

	方法①	方法②-1	方法②-2	方法②-3	方法③-1	方法③-2
予冷で使用した液体窒素(ℓ)	21.6	30.7	30.5	38.9	0	0
真空引き時間(分)	5	5	5	5	1.5	1.5
充填で使用した液体ヘリウム(ℓ)	197	203	181	179	218	190
充填時間(分)	18.5	19.5	19.5	18.5	23.5	23.5
He 貯槽圧力(kPa)	45	45	47	50	45	47
1日後の液体ヘリウム残量(ℓ)	85	73	72	86	42	45
2日後の液体ヘリウム残量(ℓ)	83	64	64	85	33	42
3日後の液体ヘリウム残量(ℓ)	82	60	62	84	29	40
備考(予冷保持時間)	0.5日放置	0.5日放置	0.5日放置	1日放置		

コラム 機器センター（山手地区）の新体制について

機器利用技術一係 牧田 誠二

平成26年6月より技術支援員として長尾春代氏を新たに採用しました。民間の分析会社に勤められた経験を活かし、主に核磁気共鳴（NMR）装置、熱分析装置を担当しています。

山手地区では合成を行っている研究室が多く、そのニーズに応えるため、化学分析を主体とした汎用的な装置（NMR、質量分析、元素分析など）を揃えています。従来はそれぞれの装置に1名の技術職員が担当していましたが、より効率的な運用を行うため、担当以外の装置への理解を深める取り組みを行っています。

一方、装置の状況においては、平成7年度に導入したNMR（JEOL JNM-LA500）は老朽化がすすんだため、本年度末にて運用を停止しました。汎用的に利用するNMRとしてはJEOL JNM-ECA600、JNM-ECS400の2台体制となりますが、これら2台は同じSoftware（Delta5.0.3）を使用しているため、利用しやすい環境が整っています。また、本装置用として①5mm C5FHプローブ（¹H/¹⁹Fの同時照射の測定）②10mmT10Lプローブ（低周波核種の測定）を所有していましたが、新たにJNM-ECA600用として10mmT10Lプローブを導入しました。従来の物と比較し、より高感度の測定が期待できます。その他のプローブについては所内利用者や施設利用者の必要性を考慮し今後、検討していく予定です。

コラム 山手地区液体窒素供給システムの不具合（雨天限定）

機器利用技術二係 水川 哲徳

昨年3月頃、雨の日限定で液体窒素供給システムに不具合が頻発した。このシステムは液体窒素汲み出しが完了すると電子ブザーが鳴り、容器をロードセルから取り除くと重量表示（充填容量表示）がゼロに戻り、リセットされブザーが止まる設定になっている。しかし、雨天で多湿の時に汲み出すと、終了後、容器をロードセルから取り除いても充填用量表示がゼロに戻らずブザーが止まらないことがあった。この場合、その都度、手動で強制的にリセットをかけてブザーを止めていた。他方、天候の回復に伴い液体窒素供給システムの動作は正常に戻り、天気の良い時には、上記の不具合は再現しない。メーカーに点検を依頼したところ、ロードセル内部にホコリが堆積していたものの四隅にあるセンサーは全て正常であった。内部清掃、較正のみしてもらい、しばらく様子を見ることにした。

その結果、その後9ヶ月経過するが雨天時（多湿時）の不具合は再現していない。ホコリ+湿気+冷気の組み合わせで不具合が発生するものと考えられる。内部清掃したことにより問題が解決したと判断された。

出張報告 「大学連携研究設備ネットワーク研究成果報告会」に参加

機器利用技術二係 岡野 芳則

平成27年3月6日、千葉大学で開催された「大学連携研究設備ネットワーク研究成果報告会」に聴講参加しました。設備ネットワークからは参画国立大学に対して毎年予算を配分しており、登録設備を利用した共同研究や設備の利用講習会等に利用していただいています。今回の報告会は千葉大学が中心になり東関東地域、西関東・甲斐地域の大学を交えての成果報告会との事です。今年で4回目を迎え、今回は「固体材料の観察と物性評価」というテーマで6つの発表がありました。固体NMR、TEM、SEM等を利用した研究の紹介で、磁気細菌や光触媒の話など聞いているだけでも非常に面白い発表でした。千葉大学は民間からの利用も多く発表のうち2件は民間からの発表でした。懇親会では各大学の機器分析センターが連携して民間利用等に対処している様子等がうかがえ非常に有意義なひとときを過ごしました。



空調機室外機に散水する

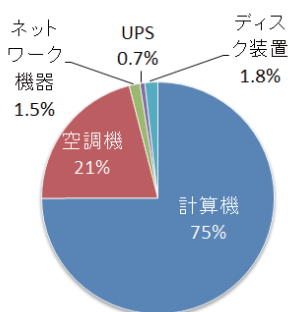
松尾 純一 計算科学技術二係

キーワード：環境データ、空調、省エネ、自動散水

最近、空調の室外機に水をかけると空調の消費電力が下がるという話を聞きます。私の所属する計算科学研究センターでは電気代が年間1億円ほどかかっており、そのうち約2割を空調機が消費しています（右円グラフ）。もし、その1%でも削減が出来れば年間20万円もの電気代節約となるので試してみることになりました。今回は、市販されている空調機用の散水システムを購入するのではなく、ホームセンター等で部品を買い集めて散水器を自作しています。また、せっかくなので日頃の技術を生かしてサーバから散水の制御が出来るようにしてみました。

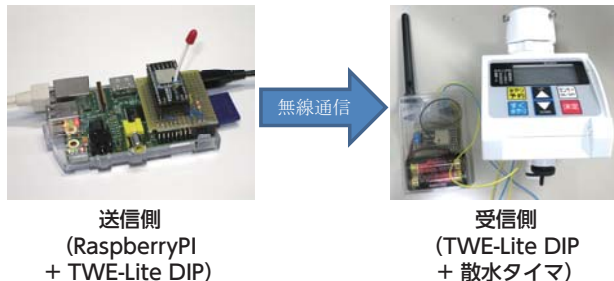
使用した主な部材は下記の通りです。散水部分には庭やベランダ等に設置する加圧ポンプのいないミスト散水器を、水道の開閉には設定した時間になると自動的に水を出してくれる散水タイマーを使いました。また、屋外まで無線

主な機器の消費電力量割合



で命令を伝える部分には、ZigBeeの無線通信機能が内蔵されていて電池で長時間動作が可能なマイコンモジュール TWE-Lite DIPを採用し、気温等を考えて散水実行を判断するためのサーバにはLinuxが動作する格安のシングルコンピュータであるRaspberryPIを使っています。

送信側はRaspberryPIとTWE-Lite DIPをシリアル通信で接続し、受信側は散水タイマーのボタンをハックする形でTWE-Lite DIPのGPIOと接続。外気温や平均気温等を元に散水するかどうかをRaspberryPIで計算し、散水する場合には命令が無線マイコンモジュールを通じて伝え散水タイマーを遠隔操作するようになっています。



ミスト散水器



散水タイマー



無線マイコンモジュール
(TWE-Lite DIP)



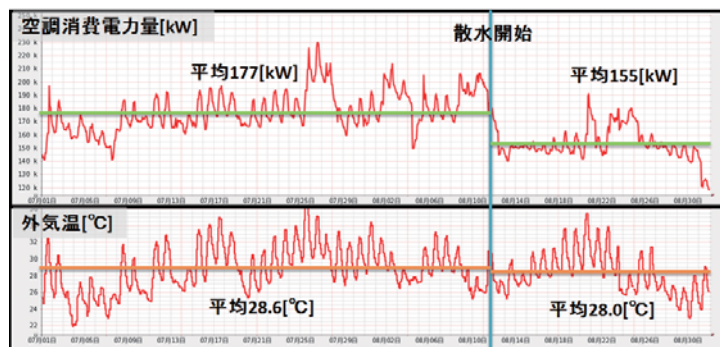
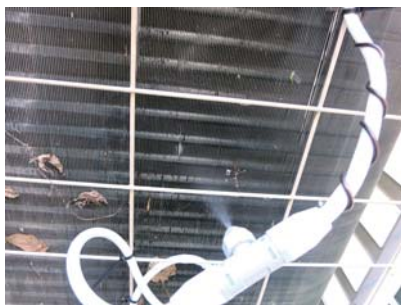
シングルボードコンピュータ
(RaspberryPI)

制御機器の制作が完了した後、次ページの写真のように設置を行いました。散水タイマーの先にスプレー式散水器を接続、室外機1モジュールにつきスプレーは3個付けました。

次ページに散水装置の稼働前後のデータをグラフ化したものを示します。散水装置設置前後で平均気温がだいたい同じようになるような範囲で比較してみたところ、消費電力は約22[kW]減っていました。12%の節電となったようです。

そうは言っても、水道代が削減できた電気料金や構築費用より高ければ意味がありませんので計算してみました。

まずは、かかった水道代を求めます。散水量は76[ml/min]のノズルを24個使いましたので、76[ml/min] × 24[個] × 60[min] = 109.44[l]。1日平均12時間程度散水しましたので1ヶ月(30日)分ですと109.44[l]



7月8月の空調消費電力量と外気温

$\times 12[\text{hour}] \times 30[\text{day}] = 39398.4 [\text{l}]$ 。水道料金の単価は200[円/m³]位ですので、1月の水道代は39398.4[l]/0.001[m³/l] $\times$ 200[円/m³]=7,880円です。

次に削減できた電気代を求めます。使用電力が22[kW]減ったので、1ヶ月分の電力量は22[kW] $\times$ 24[hour] $\times$ 30[day]=15,840 [kWh]、電気料金の単価が19[円/kWh]位ですので、15,840[kWh] $\times$ 19[円/kWh]=300,960円。

1月に30万円近い電気代の削減が出来たようです。構築費用は10万円もかかっていませんし、水道代も1万円程度です。なかなかの効果です。

ただし問題も発生しました。電気ポットに付着するカルキのように室外機に水をかけ続けていると右の写真のように空調室外機のフィン上に白い物質が堆積してしまいました。これは、雨が大地を流れている間に溶け込んだ様々な物質（スケール）が浮き出た物で、このような事を行うと必ず問題となるものだそうです。スケールが堆積することでフィンが目詰まりを引き起こすので出来るだけそれらを含まない水を使いたいところです。調べてみたところ、スケールの中でもこういった場合によく問題となる物質はカルシウムとシリカとのこと。カルシウムであれば濾過器を使えば簡単に減らせるのですが、シリカとなると元はケイ素（ガラスの主成分）ですので化学的に反応しづらく、高価な浄化装置でなくては除去することは難しいということです。全く別の案として、雨水を集めて使えばスケールは問題にならないという話があるのですが、それ用の設備を

整えなくてはなりませんので試していません。写真の様子は半年間散水を行った後のものです。今のところフィンが詰まるほど堆積したという様子は見られませんが数年後はどうなっているかわかりません。ですので、これから散水を行おうという方は自己責任で行って下さい。



今後の展開としては、現在この散水を行っているのはリヒート式（再加熱型）と呼ばれるタイプの空調機で、別にインバータ式のものもあるのでそちらでの効果や、こういう用途に適した水の濾過器や浄化装置といったものが無いのか、カルシウム分だけでも除去出来れば堆積量が減るのか等を確認していきたいと考えています。

電子メールのセキュリティ

内藤 茂樹 計算科学技術三係

キーワード：セキュリティ、メール、電子署名

日々電子メール（以下、メールとします。）を使っていると、フィッシングメールやウィルス等の様々なセキュリティ上の問題に遭遇します。多くはアンチウィルスソフトやスパム・フィルタが防いでくれますが、中にはすり抜けてくるものがあります。そういったすり抜けてきたフィッシングメールやウィルスに引っかからないようにするには、受信したメールを注意深く取り扱うしかありません。

フィッシングメール

フィッシングメールとは受信者を偽のウェブサイトに誘導するなどして、クレジットカードの番号や個人情報を騙し取ろうとするものです。図1はフィッシングメールの例です。銀行を名乗っていますが、差出人のメールアドレスは該当銀行のものではありません。本文中のURLは該当銀行のものが書かれていますが、そこにカーソルを当てると実際のリンク先のURLが表示されます。表示されたURLは図2のものです。実際にリンクされているURLは該当銀行のものではありません。うっかりリンクをクリック

クしてウェブページを開くと、該当銀行の口座名や暗証番号を入力する画面が表示されるという仕組みになります。勿論そのウェブページは犯罪者が用意したページであり、入力情報は犯罪者の手に渡って近いうちには口座の残金が0になるでしょう。このような本文に表示されたURLと実際にリンクされたURLが違うというのは、ウェブページを記述するためのHTMLを使えば簡単に行え、多くのメールソフトはHTMLで書かれたメールをウェブと同じように表示します。でも本文のURLにカーソルを合わせばメールの画面の下端に実際にリンクされているURLが表示されますので、本当にメールを送ってきたところかどうかを確認することが可能です。

もっとも、どの銀行もメールで口座番号や暗証番号を尋ねることは行っていません。ですから、このようなメールは初めから読まずに削除するのが一番の対策です。クレジットカード会社も同様ですし、サーバの管理者がパスワードを尋ねることもありません。

フィルターをすり抜けるメール

フィッシングメールの多くはスパムです。そして本文に表示されるURLと実際にリンクされているURLが違う等の特徴から、フィルタリングすることが可能ではないかと思われるかもしれません。世の中にスパムが出始めた頃は可能でした。しかし近年は巧妙化しており一筋縄ではいかななくなっています。詳しいことは省略しますが、電子メールの規約では本文に使える文字は7bitコードと呼ばれるものと定められています。しかしそれ以外の文字で書いた文章をメールで送れないわけではありません。MIME(Multipurpose Internet Mail Extension)という規格が定められており、これに従えば7bitコード以外の文字で書かれた文章もメールで送ることができます。どのような仕組みかという、ある計算方式によって一度7bitコードの文字に変換し、メールを受信したメールソフトで再度本来の文字に変換します。岡崎3機関でも使用

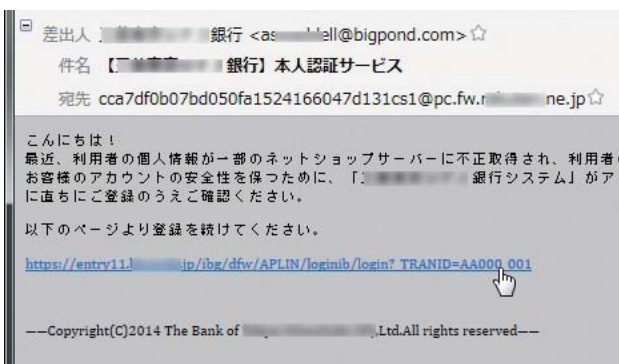


図1 フィッシングメールサンプル_本文



図2 フィッシングメールサンプル_URL

しているスパム・フィルター等はメールの配信経路上に設置されていますので、元の文字ではなく MIME で変換されている文字で書かれたメールをチェックすることになります。図3はMIMEで変換されたメールの例です。赤線を引いた部分で「charset="utf-8"」というのが本来の文字の規格であり、「Content-Transfer-Encoding: base64」というのがMIMEで変換してありますという表示になります。中程の「PCFETONUWV～」で始まる意味不明な文章がMIMEで変換されたものになります。このような状態ですので、本来の文章がフィッシングメールなのかどうかを配信経路の途中で判別することが難しくなっています。

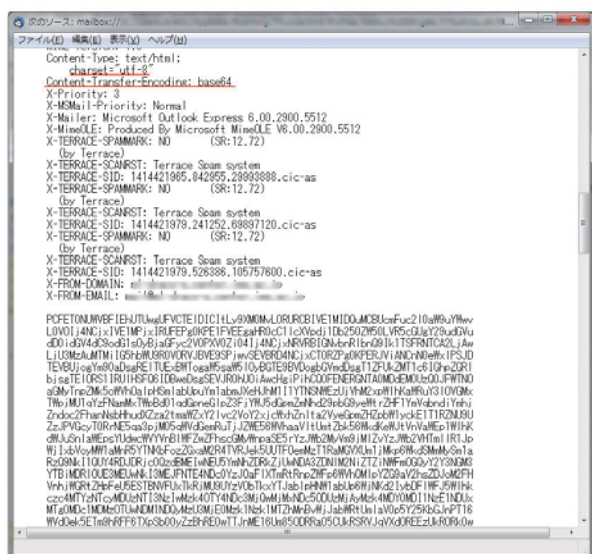


図3 MIME サンプル

差出人 (From) は信用できるか

スパムやフィッシングメールを避けるために良く言われるのが差出人を確認するというものです。たとえば銀行から送られてきたメールなら、その差出人が該当銀行のものになっているかどうかを確認するということです。これが成り立つためにはメールの差出人の情報が正しいという前提が成り立つ必要があります。それを考察してみます。

メールの差出人及び宛先には、実は2種類あります。一つは“エンベロープFrom/To”と言われるもの、もう一つが“ヘッダーFrom/To”と呼ばれるものです。郵便に喩えると、エンベロープは封筒の差出人と宛名に、ヘッダーが封筒の中の便箋に書かれた差出人と宛名になります。メールの配信システムは、エンベロープを見てメールを配信し、Toに書かれたアドレスのメールサーバまで配送します。そしてPC等に入っているメールソフトは、メールサーバからメールをダウンロードしてヘッダーに書かれたFromなりToなりを表示します。郵便に喩えると、メールソフトは封筒から取り出された便箋に書かれた内容を表

示していることになります。つまり封筒と便箋の関係にあるエンベロープの情報とヘッダーの情報が一致していれば問題が無いことになります。では実際にどうなっているかというと、図4を参照してください。“MAIL FROM”と“RCPT TO”が封筒に対応するエンベロープになります。エンベロープには正しいアドレスが記入されています。そして“DATA”以下が便箋に対応するメールの本体となりますが、ここにも“From”と“To”が書かれています。この例ではわざと出鱈目なアドレスが記入されています。実際にこの状態でメールを送信してメールソフトで受信したメールのヘッダーが図5になります。エンベロープに記入された情報ではなく、メール本体に記入された出鱈目なアドレスが表示されているのが判ります。このように、便箋に出鱈目を書いても封筒の宛名さえ正しければ郵便が届くのと同様に、エンベロープさえ正しければ、メール本体のヘッダー情報が出鱈目でもメールは届きます。そしてメールソフトが表示する差出人はエンベロープではなくヘッダーの情報になります。スパムメールなどで自分自身が出たように偽装されるのはこのようなカラクリです。

電子署名

メールソフトに表示される差出人は偽装することが可能なため、本当にその人が出したメールかどうかの判断には使えません。そこで誰が出したメールかを保証する手段として電子署名が用いられています。メールで

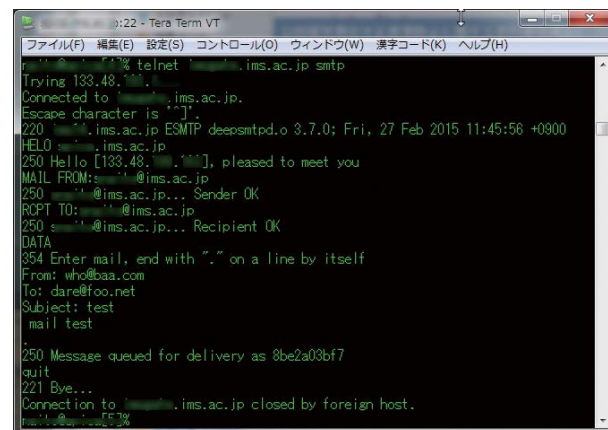


図4 メール送信



図5 受信したメール

使われる電子署名の方式としてはS/MIME (Secure / Multipurpose Internet Mail Extensions)とPGP(Pretty Good Privacy) が一般的です。S/MIMEは認証局から発行された証明書を用いる方法で、主に企業や団体が使用しています。S/MIMEは多くのメールソフトに標準で搭載されているため、S/MIMEで電子署名されたメールを確認するために特別なことをする必要はありません。電子署名されたメールを受け取ると、そのメールが電子署名されていることを示すアイコンが表示されます。図6はThunderbirdと言うメールソフトでの例です。赤い封印を施した封筒のアイコンが表示されます。このアイコンをクリックすると図7のように確認画面が開き、差出人と内容が改変されていないことを確認できます。またPGPで電子署名した場合も同じアイコンが表示され、クリックすると図8の確認画面が開き差出人を確認できます。なお図8のEnigmailとはThunderbird用のPGPアドオンで、ThunderbirdにEnigmailアドオンを入れて、PGPソフトであるGnuPGを別途インストールすればPGPを使うことができます。S/MIMEを利用するためには認証局に証明書を発行して貰わなければなりませんが、PGPは必要なソフトをインストールして秘密鍵/公開鍵のペアを作成し、メールを送る相手に公開鍵を渡せばすぐに使えます。ただしメールを送る相手もPGPが使える環境である必要があります。

このような電子署名を用いれば差出人を信用すること(及び文書が改竄されていないことの確認)が可能になります。

最後に

メールは手軽にできる情報交換の手段であり、今では業務に欠かせないものとなっています。その一方で悪意あるメールが氾濫しているのも事実です。多くはセキュリティ・ソフトやフィルタリング装置等で排除できますが、それも万能ではありません。最終的な安全の確認はメールの受信者自身で行う必要があります。犯罪者の罠にはまらないよう、注意しながら快適にメールを御利用頂ければと思います。



図6 Thunderbirdでの電子署名の例

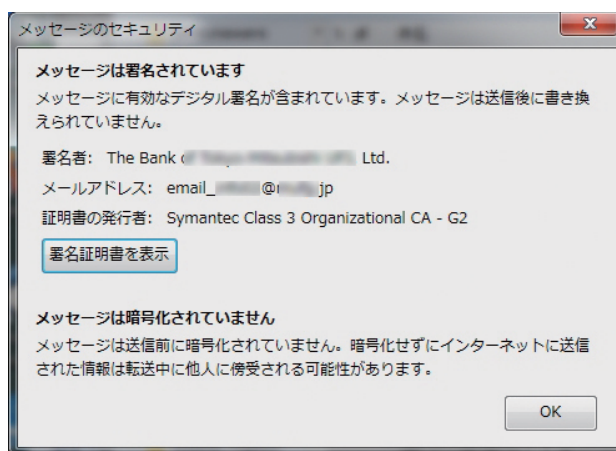


図7 S / MIMEによる電子署名

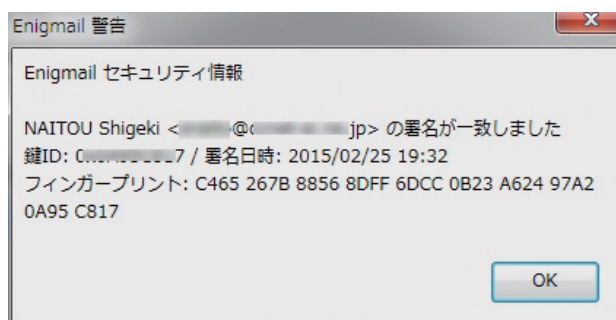


図8 PGPによる電子署名

コラム ライブラリーアプリケーション

計算科学技術二係 岩橋 建輔

計算科学研究センターでは利用者が科学技術計算プログラムを使って直ぐに計算できるようにライブラリーアプリケーションとして19種のアプリケーションがインストールされています。中でもよく利用されているものは、Gaussian、Namd、Amber、Gamess、NTchem、Gromacsです。ライブラリーアプリケーションを使うジョブは全CPU時間のうちクラスター機では33%、大規模共有メモリー機では50%を占めています。

利用者の方に安心して使って頂くために、各アプリケーションが「正常に動作」しなければなりません。いくつかのアプリケーションでは開発元から実行ファイルが配布されており、最低限の検証で済むものもあります。多くのアプリケーションでは、ソースコードとレファレンスの計算結果のみが配布されているので、自分でコンパイルして実行ファイルを作らなければなりません。計算結果がレファレンスとほぼ同じであることを確認する必要がありますが、多くの場合一致しません。その場合、異なるコンパイラを使う、並列化をしない、最適化をしない、高速な算術ライブラリーを使わない、などの試行錯誤を行います。結果が合うようになったら可能な限り高速に計算できる条件を見つけてインストールしています。しかし、元々の不具合で結果が合わない場合もあり「結果不正も仕様」と割り切らなければならない場合もありますが、この判断が非常に難しいです。

コラム 学術ネットワーク更新と所内外ネットワーク通信量予測

計算科学技術三係 澤 昌孝

岡崎3機関ネットワーク（ORION）の所外への通信は、学術ネットワーク（SINET4）を利用しているが、SINET4は平成27年度末に終了となり次のSINET5の利用を予定している。SINET5に接続する回線によって費用が掛かるため、SINET5使用期間中（6年間）のネットワーク通信量予測が必要となる。2012年度から運用している現行ORIONになってから約2年半間の内外間通信量を集計した結果、平均は1Gbps未満ではあるが、ピーク値で初年1Gbps、次年2Gbps、最近3Gbps近くの通信がでることがあり順調に増加している。集計結果のピーク値で線形近似曲線を引くと、SINET5終了時には約5Gbpsになり、現行ペースで増加した場合は10Gbps回線で足りる。

しかし、SINETを提供している国立情報学研究所（NII）開催のオープンフォーラム等でクラウドについての講演が多くされており、クラウド利用等によって現行以上のペースで通信量増加する可能性が高い。現行以上のペース増加を想定して近似指数曲線で予測を出すと、2年目で流出ピーク値が、5年目で流入ピーク値が10Gbpsを超える結果となる。

幸い、SINET5期間中に回線増加の機会を設けるとNIIより案内があるので、SINET5開始時は10Gbpsで接続し、ネットワーク使用量状況をみて途中で回線を追加することで対応できると考える。

コラム 今年度の活動

計算科学技術二係 長屋 貴量

自分は研究所全体のネットワークの管理運用を行っています。今年度も脆弱性の問題で悩まされた一年でした。

研究室・施設のWebサイトを公開するために用いられるLinux系Webサーバーについて、4月中旬にHeartBleed、9月下旬にShellshock、10月中旬にPOODLEと、名前が付くような重篤な脆弱性が次々と発見・公表されました。これら問題が発見される度、各Webサーバー管理者に対して、問題となったプログラムの最新版を適用し設定状況を確認するよう依頼を出すと同時に、脆弱性を突く疑わしい通信が検知されていないのか、ファイヤーウォールのログを注視する事態となりました。

Webサーバーで標準的に搭載されるソフト以外では、Webサイトのコンテンツを管理するソフトであるDrupalでも脆弱性が見つかりました。このDrupalは自分がよく用いている事もありアップデート公開時にたまたま速やかに対応していましたが、もし更新対応が数時間遅れていれば、手の打ちようがない状況であった事が後でわかりました。問題になる前に対応を完了させていたことは、偶然の幸運でした。

サーバーではなく一般のPCでも、岡崎3機関で共通して調達しているアンチウィルスソフトで脆弱性が見つかっています。

今年度はこのように脆弱性がいくつも見つかり対応に追われていましたが、来年度はこの数が減ってほしいと切に願っています。

ラマン分光法による電子状態の研究

売市 幹大 学術支援係

キーワード：分光法、電荷移動塩、相転移、電子状態

はじめに

様々なテーマで他大学との協力研究を行った。ラマン分光法およびX線結晶構造解析を用いて電荷移動塩の電子状態を明らかにした。それらの成果は国内の学会で発表され、あるものは論文誌に掲載された。

ビフェロセン-TCNQ系電荷移動塩の電子状態

持田（神戸大）らはジネオペンチルビフェロセンとCl1-TCNQの錯体を合成し、X線結晶構造解析より成分比が2：7であることを突き止めた。この塩の電荷移動度とラマン測定によりCl1-TCNQの価数や状態を見積もり、磁性の挙動との整合性を明らかにした。¹⁾

非局在型一重項ビラジカルの強い分子間相互作用の実験的解明

久保（阪大）らはこれまでにフェナレニルという不對電子と π 共役系を融合させることで高い非局在化能を有する安定な一重項ビラジカル種の研究を行ってきた。その中でも結晶中で $\pi-\pi$ 一次元鎖を形成した化合物は分子間の不對電子環相互作用の働いていることが構造解析の結果予測された。電子スペクトルの測定を共同研究で行い、溶液中よりも大幅な低エネルギー領域に吸収を与えることを明らかにした。また π 共役系の長さを変えた類縁体と比較することで固体中の分子集合体としての長波長シフトとビラジカル性の関係が明らかになった。またこの化合物の電荷移動錯体の絶縁化の機構を明らかにした。

TTF類縁体の振動スペクトル

TTFの類縁体およびそれらのラジカル塩について分子振動に関する情報を得るためラマンスペクトルを測定した。この結果に対し中野、石川（京大）らのグループが振動解析に基づき振動スペクトルの帰属を行った。スペクトルの温度依存性と合わせることでそれぞれのドナーの電荷分離の状態と相転移の関係について明らかにした²⁾（石川ら、

2014年分子科学討論会。石川ら、2015年化学会春季年会）。

ナノテクノロジープラットフォーム

ナノプラットの立ち上げに伴い、FT赤外と顕微ラマン分光装置を支援要素として担当している。ラマン分光器の利用者数は順調に増加しており、平日のみの稼動ということもあって、希望日時が重なる場合もあり申し訳なく感じているほどである。FT赤外についても民間からの利用の問い合わせがあり、遠赤外までの測定が可能というこの装置の特徴を活かせるようサンプル作成法について検討を進めている。両装置とも利用者自身による測定であるが、マニュアルを作成したことで誤操作による不具合が防がれている。



参考文献

- 1) T. Mochida et al., Chem. Commun., **50**, 13370 (2014)
- 2) M. Ishikawa et al., Eur. J. Inorg. Chem., 3941 (2014)

コラム

開放的なオフィス整備

学術支援二係 内山 功一

世の中には、オープンオフィスという考え方があります。オープンソース方式で開発されたオフィス統合環境のソフトウェア群に、オープンオフィスソフトウェアがあります。今回はそちらの話ではなく、開かれた広い空間にスタッフが一堂に会するオフィスルームスタイルを指すオープンオフィスについてお話いたします。

分子科学研究所では2013年4月に、新しく協奏分子システム研究センター（CIMoS）を発足しました。このセンターには、生命科学、物質科学、理論・計算科学などの異なる学問分野の研究者が所属し、それぞれの研究者が分野の垣根を越えて日々研究を行っています。このセンターの拠点整備を行う際、センター長が打ち出したプランが廊下と隣接する部屋の壁を取り払い一つの大きな居室空間とするオープンオフィス構想でした。このプランを実現するために教員や事務方と何度も打ち合わせを行い、限られた財源の中でより快適なオフィス空間になるようアイデアを盛り込んでいきました。従来型の個別に区切られた居室スペースに比べてそれぞれの研究者が交流しやすく、知的好奇心を喚起してその相互作用が生まれるような空間になったと思います。

同様な事例として、装置開発室の居室が今までメカトロニクスセクション、エレクトロニクスセクションとそれぞれ別であったものを、隣接する3室の壁を取り除きオープンオフィスとして改修を行いました。また、ガラスパーティションを多用してオープンオフィスのような開放感のある室内改修事例も今年だけで3件ありました。

大企業で取り入れられている開放的なオフィス作りの流れが、少しずつではありますが分子研にも到来しているようです。



分子科学研究所技術課 Activity Report 2014

発行年月 平成27年5月
発 行 大学共同利用機関法人 自然科学研究機構
分子科学研究所 技術課
〒444-8585
愛知県岡崎市明大寺町字西郷中38
デザイン 原 田 美 幸
印 刷 株式会社コムラ

本誌記載記事の無断転載を禁じます

