

機器開発

電子機器・
ガラス機器

光

機器利用

計算科学

低温

学術支援

分子科学研究所 技術課 Activity Report 2011

CONTENTS

巻頭言 1

2011 年度ハイライト

機器開発 2
電子機器・ガラス機器 4
光 6
機器利用 8
計算科学 10
低温 12
学術支援 13

技術課活動報告 14

技術レポート・
技術課活動レポート 17



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 36 名(平成 24 年 4 月時点)

機器開発技術班

電子機器・ガラス機器技術班

光技術班

機器利用技術班

計算科学技術班

低温技術班

学術支援班



大峯 巖

おおみね いわお

【分子科学研究所・所長】

分子研に再び就任してあっという間に2年がたった。創設以来37年となる分子科学研究所の研究の将来像を所員と一緒に定めようとしているところである。この間、様々なことで研究所の研究者、事務職員と話す機会があったが、技術職員とは今まで直接接する機会があまりないのが気になっている。

分子研に戻ってくる前、16年間のほとんどを名古屋大学で過ごした。ひよんな切っ掛けから学部長、理事（副総長）として7年間、理学研究科、また大学の管理運営に携わることとなった。理学部長の時は現場との交わりがありまだ良かったが、理事になってからは、研究現場から離れ、本部組織の中であって、大学の中の「人間社会が起こす」様々な問題と朝から晩までつきあってきた。また大学を取り巻く社会環境の対処にヒートアップを繰り返す執行部と、本部を取り巻く教員たち、その間であって途轍もなく忙しい日々であった。それでも、時間が少し空くことがあり、その時、よく訪れたのは、化学科のガラス工作室の野田さんの所である。あの大きなガラス工作用回転機、また青・オレンジ色の炎が懐かしい。野田さんはどんなに忙しくとも、学生、事務長、教員みんないつもWelcomeである。いつも何人かがガラス工作室の隣の部屋のテーブルを囲んでいた。すると、うまいお煎餅と、お菓子、お茶がでてくる。そこには、学問をはじめようとする学生の悩み・希望があり、また、ものを作る人の芯がある。年々、学生は変わっていく、教員もしっかりである。そのような中であって、野田さんの部屋は、日本屈指のガラス工作であると同時に、化学科の人々心のよりどころであり、研究をする者の“故郷”であった。

自然が穏やかにおこなっている営み、エネルギー変換、物質変換は分子の働きによるものである。我々は、そのような「分子の知恵」によって支えられている。そのような「分子の知恵」にたいする新しいサイエンスを全国の研究者とともに作ることがこの研究所の使命である。全国からくる

共同研究者にとって、技術職員の支援が研究遂行の大きな支えであり、共同研究の要となっていることは明らかであろう。技術職員は日常的な業務に加えて常に最先端の学問を学び、研究を支えていてもらいたい。

ところで、日本全体が、今何か沈みつつある感じを持たれているのではないかと思う。テレビ、白色家電などの落ち込み、大手電器業界の凋落、鉄鋼、造船しかりと、韓国、中国に抜かれたと報道がつづいている。そして自動車もいつか同じ道をたどるかもしれない。しかし、このような流れは、曾ての日本がアメリカの家電、自動車業界を追い抜いていったのと同じである。成熟したものは、いつかは衰退する。日本がこの状態から抜け出すためには、「特徴ある技術」をもつ中小の企業が多数生まれ育っていくような上昇気流をつくることが求められている。「特徴」とは新しい本質的なものが備わることであり、「分子の知恵」はその特徴を作っていく一つの大切な要素であろう。分子科学研究所の技術課によって、超精密レーザー分光・分子マニピュレーション装置など、分子科学に関わるいくつかの最先端計測装置を、次の世代の先端技術として定着させることが、それへの大切な寄与の一つとなる。

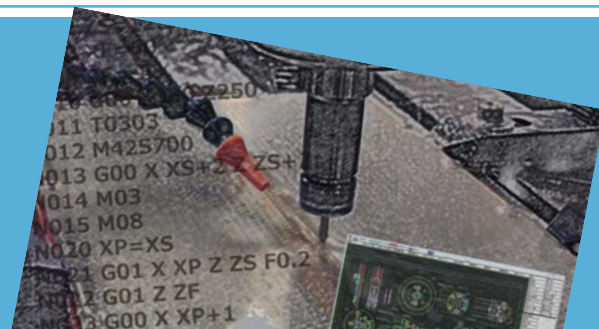
また、研究所の運営に関わる情報技術の確立も、技術者の大きな役割の一つである。研究所の運営の仕方を見ると非効率的なものが多い。平時の効率的・弾力的な対応、緊急時の迅速な対応のためには、的確なる情報伝達・処理が鍵となる。それを支えるためには、事務組織とカップルした、新たな職種をつくることも考えられる。

このように、技術職員のかかわる仕事は、先端科学を支え、新しい科学技術の萌芽を確実に育て、また組織運営の要となる、広汎かつ非常に重要なものである。と同時に、分子研の技術職員の部屋が、名大化学のガラス工作室のような、所員の心のよりどころとなる大切な場の一つになることを期待している。

機器開発 技術班

担当施設：装置開発室
http://edcweb.ims.ac.jp/

機械グループは、機械系技術を基盤として研究者から要求される実験機器の設計・製作を、5名の技術職員と2名の技術支援員の7名で行っています。『日常の実験研究に必要な部品及び機器の設計・製作に迅速に対応すること』『分子科学の新展開に必要な新しい装置および技術を開発すること』を業務の柱として研究者と技術者との密接な対話により、独創的な研究のできる実験機器を提供することを心がけています。



製作依頼

2011年度の製作依頼は、例年並みの277件の利用がありました。依頼内容は、スピーディーな対応が求められる部品製作や装置の改良のほか、実験装置の構想段階か

ら研究者との綿密な打ち合わせを行いながら設計・試作を繰り返す、以下のような開発的要素を含む製作課題も多く行っています。

レーザー開発研究機器の設計・製作



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。詳細設計から組み立て調整、またヒートシンクの設計・製作、性能評価やLDとレーザー結晶の位置調整および動作テストまで、研究者と協力して行い、3点発光プラグ型レーザーモジュール（左写真）やマイクロチップレーザーなどのレーザー研究機器を製作しました。

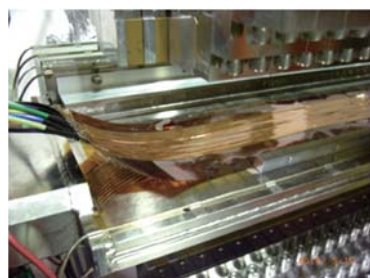
多チャンネルバイオセンサー製作 7軸調整ステージの開発



神経細胞のシグナル伝達などの研究に利用されるセンサー用PMMA基板の所定の位置には、X線リソグラフィーによる $\phi 1 \sim 2$ ミクロン程度の微細貫通孔の加工を行います。そのため、X線マスクとPMMA基板との位置合わせを正確かつ簡便に行うことができる7軸調整ステージの開発を行いました。

技術レポート P.22

アンジュレータ用マルチワイヤ補正コイルの製作



任意の磁場分布を発生させるための、マルチワイヤ補正コイルの製作を行いました。銅製のフラットワイヤを精度よく配列させる製作方法や、アンジュレータ内真空ダクトの上下面への正確な設置方法の提案、組み立てジグの設計・製作を行い真空ダクトへの設置を行いました。

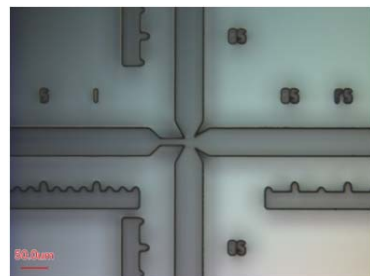
技術レポート P.18

μ -XAFS用セルの製作



蛍光XAFS用に使用するために窓の立体角の確保、高温での使用、密閉性の確保、蛍光スペクトルを妨害しない構造材料の選定などの研究者からの要求に対して、透過窓材の強度評価、各種構造材料に対する溶接やロウ付け、継ぎ手構造などの製作方法の試作検討を行い、 μ -XAFS用セルを完成させました。

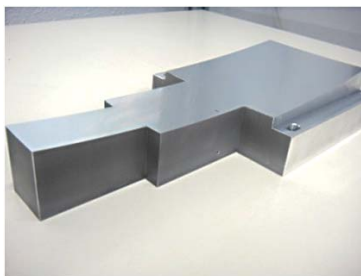
タンパク質の構造変化に関する研究用 マイクロ流路ミキサーの製作



製作しているマイクロ流路ミキサーは、2液混合によるタンパク質の構造変化を、蛍光強度の変化から予想するために使用されます。機械加工では製作することが出来ない幅10ミクロン、深さ50ミクロンの微細な流路構造が必要なため、フォトリソグラフィーとPDMSモールドイングにより製作を行っています。装置開発室では、このようなフォトファブリケーションによる微細加工技術を新たな支援技術として展開しています。

技術レポート P.20

マジックミラーの製作



マジックミラーは、線光源である放射光（SR）を1点に集光するための非球面・非対称の集光鏡です。今回製作したマジックミラーはテラヘルツSRの集光で利用されるもので10ミクロン以下の形状精度が求められています。

技術レポート P.24

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
宮下 治美*	MIYASHITA, Harumi
杉戸 正治*	SUGITO, Shouji

*技術支援員



施設利用

分子科学研究所で展開される共同研究・共同利用を通じて全国の研究者への製作支援を行い、分子科学を中心とする幅広い領域の学術研究に貢献しています。

2011年度施設利用申請課題一覧

申請課題名	機関
【前 期】	
マイクロ波イメージング	核融合科学研究所
高集光効率回転円体鏡の製作	京都大学
視覚と触覚の感覚統合による素材弁別の神経メカニズムについての研究	生理学研究所
固定表面反応の in - situ 赤外吸収分光のための片持ち梁型試料ホルダーの改造	東京大学
高磁界超電導線材の臨界電流特性における曲げ歪み印加効果測定プローブの開発	核融合科学研究所
グラフェン分子読み取りデバイス開発	横浜国立大学
電子ビーム溶接における異種金属の接合・ものづくり教育のための試作装置の製作・開発	名城大学
【後 期】	
マイクロ波イメージング	核融合科学研究所
高磁界超電導線材の臨界電流特性における曲げ歪み印加効果測定プローブの開発	核融合科学研究所
多チャンネル光神経電子集積回路素子の PMMA 基板開発・微細貫通孔形成の精度向上	名古屋大学
時間分解電子運動量分光装置のための超音速分子線源および画像観測イオン検出器の開発	東北大学
ものづくり教育のための試作装置の製作・開発	名城大学

固定表面反応の in - situ 赤外吸収分光のための片持ち梁型試料ホルダーの製作



既存の赤外吸収分光装置に組み込むため、限られた空間内で動作可能な特殊な移動機構、かつ熱的・機械的に安定な試料ホルダーの製作を行いました。申請者との緊密な連携のもと、3次元設計、有限要素法解析などを行い、設計・試作検討を繰り返し行い、市販にないオリジナルな試料ホルダーの開発に協力しました。

技術レポート P.25

高磁界超電導線材の臨界電流特性における曲げ歪み印加効果測定プローブの開発



核融合炉や加速器などの大型超電導マグネットに使用される、新しく開発された Nb3Sn 超電導線材の曲げ歪みに対する臨界電流特性測定用プローブの開発を行っています。せん断応力の発生しない純曲げ機構の提案、プローブ全体の詳細設計・製作、曲げ機構動作検証までを一貫して行っています。

技術開発

日々進歩する最前線の研究に対して、常に新しい工作技術で対応できるように装置開発室独自で技術開発を進めています。

MgF₂非球面レンズ

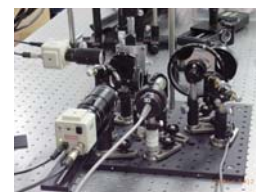


—超精密加工—

光学結晶材料の超精密加工に関する技術開発は、他機関と継続的に実施してきました。今年度は真空紫外放射光を使用したサブミクロンスケールの顕微分光での用途が期待される、MgF₂非球面レンズの製作という所内ニーズも見つかり、ナノレベルの要求精度に應えるために加工条件の検討に取り組んでいます。

—レーザー加工機開発—

3年前より取り組み始めたフェムト秒レーザー加工機開発では、製作依頼を受けてマイクロメートルオーダーの微小な磁性薄膜の作製に使用される蒸着マスク製作を行うなど、具体的な成果が得られました。



レーザー加工装置

TOPICS リソグラフィー室を新設



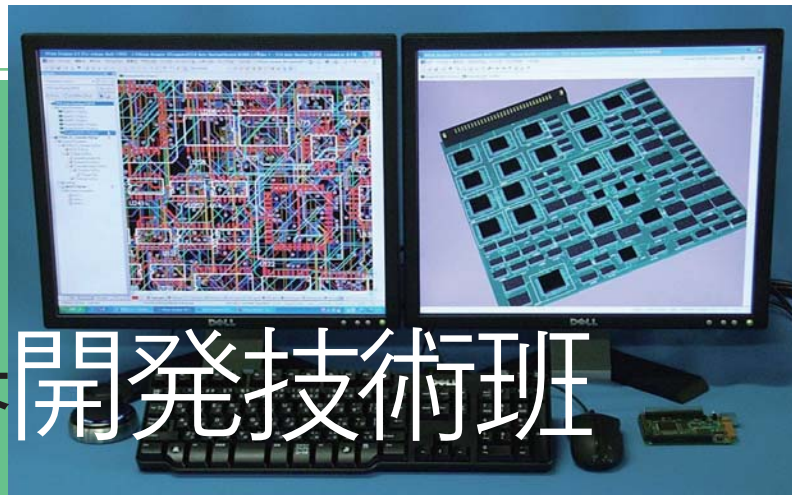
主要設備	
マスクアライナー	ミカサ MA-10
スピナー	ミカサ MS-A100
プラズマクリーナー	PDC-32G
スクライパー	SC-100
走査型プローブ顕微鏡	SII SPA-400
マイクロスコープ	斎藤光学 SKL-Z200B
超純水製造装置	ザルトリウス アリウム H ₂ O

2011年度ハイライト

電子機器・ガラス機器開発技術班

担当施設：装置開発室

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



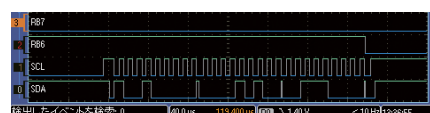
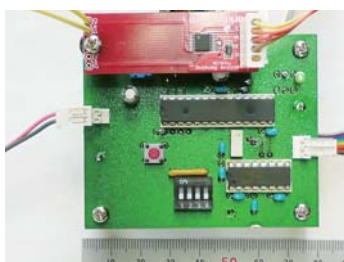
電子機器・ガラス機器開発技術班は、分子科学研究所の研究施設・装置開発室にあって、所内外の分子科学分野の先駆的な研究に必要な実験装置の開発を行っています。

電子機器開発技術係は、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。

ガラス機器開発技術係はガラス部品の加工による科学機器の製作に加え、安全衛生管理室の安全衛生管理者として週に1度、明大寺地区と山手地区の実験室の巡視を行い所内の快適な職場環境作りのための業務を行っています。

微小容量測定回路の製作

容量を直接デジタル値に変換する容量デジタルコンバータと呼ばれる専用ICを使用し、微小容量測定回路の試作を行いました。このICは測定範囲 ± 4 pFの容量を測定精度4 fFで極めて高精度に測定することを可能とします。ICの使用に当たってはマイコンとのインターフェースが必要となり、その間は2線による双方向シリアル通信であるI²C通信方式が採用されています。ここではdsPICマイコンを用いたインターフェース回路を中心に、試作回路による微小容量の測定結果などについても報告します。



技術レポート P.27

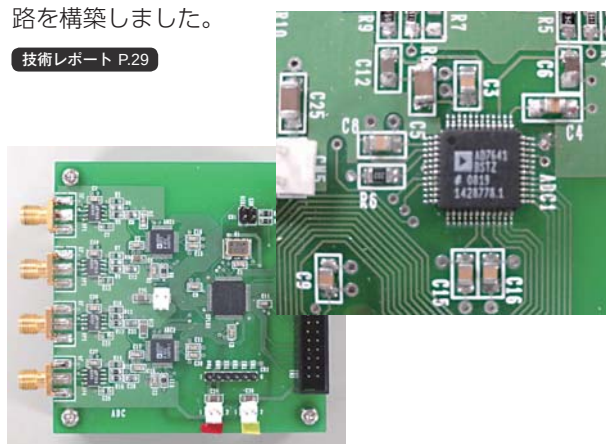
CPLDを用いたNMR用2チャンネル高速高分解能A/Dボードの製作

NMR (Nuclear Magnetic Resonance) とは、強い磁場に置いた試料（正確には原子核）にラジオ波領域の電磁波を照射すると、共鳴した試料（の原子核）から放出される信号を検出して分析する実験手法です。これを医療に応用したものがMRI (Magnetic Resonance Imaging) です。

NMR実験で検出する信号は微弱なので、高速高分解能のA/D変換器で繰り返し測定することでノイズの影響を抑え、精度を高められます。一方、信号は振幅と位相を示すサイン成分とコサイン成分に分離するため、A/D変換器は2回路同時に動かす必要があります。また、A/D変換器を出来る限り高速に動かすには、複数ある制御信号を不必要に引き延ばさず手早く順序良く送信する必要があります。

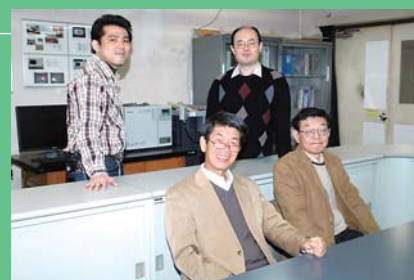
このような複雑な制御信号を送信する回路には、CPLDやFPGAといったプログラマブルデバイスが適しています。今回使用したA/D変換器の変換速度は最高1.5 MSPSですが、CPLDを使用することで約90%の変換速度を実現すると共に仕様変更にも柔軟に対応できる制御回路を構築しました。

技術レポート P.29



スタッフ Information

吉田 久史	YOSHIDA, Hisashi
内山 功一	UCHIYAMA, Koichi
豊田 朋範	TOYODA, Tomonori
永田 正明	NAGATA, Masaaki



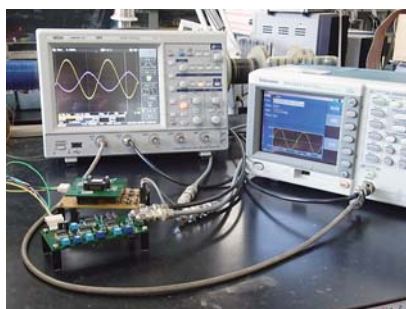
CMOS オペアンプ集積回路の評価試験及び機能性回路(アナログ混載LSI)の設計

昨年度の技術課 Activity Report で CMOS アナログ集積回路の試作について報告しました。今回は、製作した LSI が設計時の仕様を満たしているかを確認するために特性評価を行いました。

この試験結果では、オペアンプの周波数特性が設計した値よりも大幅に低下していることが判明しました。そこでその原因を考察し、性能向上のための対策を施した上で 2 回目の CMOS 集積回路の試作設計を行いました。

今回は、オペアンプを用いた機能性集積回路として三角波発振回路の設計も同時に行いました。発振回路はオペアンプと論理ゲート、スイッチング回路の組み合わせで構成されています。

技術レポート P.31



出張報告 KYT 講習受講報告

技術課活動レポート P.59

私は 11/9 ~ 11/11 に核融合科学研究所で開催された、東海北陸地区国立大学法人等技術職員合同研修(複合領域コース)に参加しました。研修の中心であった KYT(危険予知訓練)講習は、旧国鉄時代に始まり多くの企業に取り入れられている労働災害防止訓練の中核をなすものです。KYT 訓練の概要と研修内容について報告します。

発表報告 2011 年度の研究会発表は以下のとおりです。

第 6 回自然科学研究機構技術研究会	「地磁気キャンセラーの製作」	豊田 朋範
平成 23 年度静岡大学技術報告会	「VHDL と CPLD を用いたカスタムロジック回路の製作手法」	豊田 朋範
北海道大学低温科学研究所技術部セミナー	「磁気キャンセラーの製作」	吉田 久史

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。

多チャンネル光神経電子集積回路開発

名古屋大学の宇理須恒雄教授からの申請であるこの課題は、バイオセンサのためのイオンチャンネル電流測定回路の多チャンネル化に加え、測定回路に容量補正機能を付加することで測定器の機能向上を目的とするものです。今回は 4 チャンネル分の電流測定回路と容量補正回路を含むアナログ信号処理回路を設計・製作しました。



多チャンネル高電圧高周波・低周波ハイブリッドマイクロコンピュータ制御電源の開発

東邦大学の菅井俊樹准教授からの申請である本課題は、原子数の異なるクラスターなどを気相移動度によって分離し、それらを高周波と低周波を重ねた電場により長時間にわたって保持するための装置です。この目的のためには、高周波として数十 KHz ~ 数 MHz, 1 KVpp、低周波として数 Hz ~ 数百 Hz, 数 V ~ 100 V の電源が必要となります。また、それら電源回路のパラメータ設定および制御は、ホスト・パソコンとオン・ボードのマイコン間のデータ通信で行います。現在、4 チャンネル分のプリント基板を設計し開発を進めています。最終的には 10 チャンネル分の電源回路を開発する予定です。

2011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/>



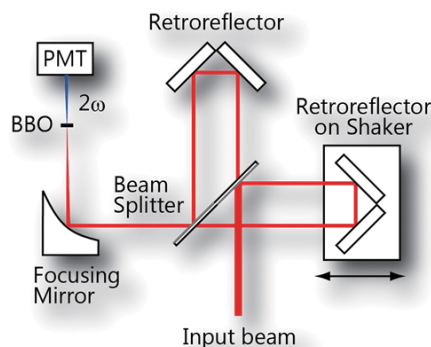
光技術班は極端紫外光研究施設 (UVSOR) と分子制御レーザー開発研究センタに所属する技術職員7名によって構成されています。主な業務は放射光の供給支援、利用支援、レーザ技術支援です。

《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。また、液体ヘリウムなど寒剤準備、真空機器・観測計器の管理・更新や観測用プログラムなどの製作・更新・実験機器の開発・製作などの業務を行っています。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に関わる業務全般を担当しながら、光分子科学研究領域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、数サイクルレーザー用自己相関計や凝縮系でのコヒーレント制御を目指した計測システムの構築など、装置開発業務も行っています。

技術レポート P.40



自己相関計の構成

見学の対応

UVSORでは、総務課企画評価係と技術課学術支援班を通して外部からの見学を受け入れています。見学者は、35m四方の蓄積リング室を一望できる歩廊(テラス)に上り、職員からの説明を受けます。昨今、広報活動の重要性がクローズアップされつつあるなかで見学者は増加傾向にあり、特に夏休み期間は高校からの見学が大変多くなってきています。最近は、一般企業からの見学も増えつつあります(ほかに、文科省などの視察を受けることも大変重要で、これも広い意味での見学としてカウントしています)。平成23年度には、延べ500人以上の見学者がUVSORを訪れました(なお、UVSORは今年の秋に行われる一般公開の際にも自由に見学することができます)。



2011年度活動報告

2011年5月	機構技術研究会参加(天文台)
6月	国際会議STAC5-AMDI2参加(横浜市)
8月	職場体験(岡崎市立常磐中学生2名)
8月	職場体験(岡崎市立額田中学生1名)
9月	信州大学機器分析技術研究会参加(長野市)
9月	分子科学討論会参加(札幌市)
11月	東海北陸合同技術研修(複合領域)参加(核融合研)
12月	職場体験(豊田市立藤岡中学生1名)
12月	中部SR光施設見学(瀬戸市)
2012年1月	放射光学会参加(鳥栖市)
3月	九州工業大学情報技術研究会参加(飯塚市)
3月	分子研技術研究会参加・開催協力

スタッフInformation

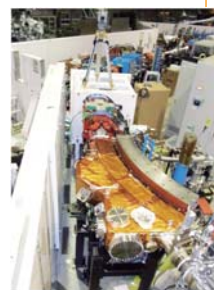
堀米 利夫	HORIGOME, Toshio
蓮本 正美	HASUMOTO, Masami
山崎潤一郎	YAMAZAKI, Junichiro
中村 永研	NAKAMURA, Eiken
酒井 雅弘	SAKAI, Masahiro
林 憲志	HAYASHI, Kenji
近藤 直範	KONDO, Naonori
岡野 泰彬	OKANO, Yasuaki
禿子 徹成*	TOKUSHI, Tetsuzou

* 技術支援員



TOPICS 量子ビーム基盤技術開発のための環境構築

UVSORではレーザーと電子ビームを用いた光発生とその実用化を目指した研究計画が、2008年度に量子ビーム基盤技術開発プログラムに採択され、加速器光源グループはその研究遂行のために必要な加速器の改造を進めてきました。今年度は春期に2.5ヶ月間、秋期に1週間共同利用運転を停止し、加速器関連の改造と同時にビームラインの移設を合わせて行い、実験・研究が可能な環境を構築しました。これら改造においては、共同利用実験に影響がでないように作業を進めることが強く求められます。そのためには綿密な作業工程と事前の精密な設計と準備が必要でした。特に、技術職員は作業内容を把握し工程表を作成して、改造・整備作業を積極的に進めました。



主な整備作業

- A. 加速器改造 **技術レポート P.34**
 - ・可変偏光アンジュレーター 2基を電子蓄積リングS1長直線部に設置
 - ・2基のアンジュレーター間にバンチング用電磁石の設置
- B. ビームライン移設 **技術レポート P.37**
 - ・THzビームライン (BL1B) の新設 (B1及びB2ダクトの更新)
 - ・BL1AをBL2Aに移動、BL1BをBL3Bに新設移動

新設されたベンディングダクト

量子ビーム基盤技術開発用挿入光源



真空部品のリサイクル (再生)

UVSORでは、技術支援員と協力の下、真空部品のリサイクルを心掛けています。ビームラインの移動解体などによって真空フランジ・短管・小型チェンバなどの再生利用できる部品が多くストックされています。しかし、再生利用するには修理・洗浄など、時間と手間がかかります。部品リサイクルは機能確認後（修理が必要なものも多々ある）、中性洗剤による流水洗浄、超音波純水洗浄（40℃、1h以上）、真空乾燥（100℃、24h以上）、部品によっては真空パック包装の工程で行い、保管しています。リサイクル品にはマークを付け新品購入品との区別を心掛けていますが、リサイクル品の洗浄度は新品と遜色ない状況にあります。ただし、超音波洗浄器の大きさなど保有する設備から全てをリサイクル部品とするには限界があります。

出張報告 中部シンクロトロン光利用施設 (中部SR) 見学

昨年暮れ（12月）に、建設が進められている中部シンクロトロン光利用施設（中部SR）を見学しました。

中部SRは、実験ホールの中に直線加速器、ブースターシンクロトロン（周長48m）、その外周をエネルギー 1.2GeVの電子蓄積リング（周長72m）の加速器群を配置し、その周りを遮蔽壁が覆う構造と成っていました。蓄積リングには超伝導偏向磁石を配置し、硬X線領域の放射光を発生させることが予定されています。UVSORに比べ偏向電磁石や、真空ダクトなど加速器の構成エレメントがコンパクトであることに技術の進歩を感じます。

ビームライン関係では、当初6本の設置が計画されており、すでに2本のライン設置が進んでいました。今年中（2012年）にはビーム供用が予定されているそうです。

平成24年4月からは中村永研氏がこの施設でご活躍されます。



ホール中心シールド壁外観
(この中に加速器群が設置されています)

2011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・測定支援などの業務を行っています。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センターの小型機器が統合されて平成19年4月に発足した研究施設で、所全体で共通で利用するNMRやESR等の汎用測定装置を有しています。これらの設備は所内はもとより、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、に大別出来、それぞれ以下のような設備を備えています。

(1) 化学分析

NMR(400, 500, 600MHz)、質量分析計(MALDI-TOF-Mass)、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

※詳しくは <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。(発足当時の名称は「化学系研究設備有効活用ネットワーク」)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。

出張報告

「2011年度 信州大学 機器・分析技術研究会」に参加

9月に信州大学にて開かれた「2011年度 信州大学 機器・分析技術研究会」に参加し「3価リン化合物の構造解析における条件検討」という題目でポスター発表を行いました。当研究会は文部科学省所轄の大学共同利用機関法人、国立大学法人および独立行政法人国立高等専門学校機構に所属する技術系職員が技術発表、討論を通じて技術の研鑽、向上を図ると共に相互の交流と協力により技術の伝承をふまえ、学術振興における技術支援に寄与することを目的としています。今回の発表では、酸化しやすい3価のリンを含む化合物において、イオン化法の異なる質量分析から得られる結果の相違を発見し、その証明において他の分析機器を用いて構造を確定させたという内容でした。当研究会を通じて有意義な情報交換ができ、今後の業務に役立てたいと考えています。(牧田 誠二)

出張報告

ラマン分光法に関するセミナーに参加

7月に開催された、ラマンセミナー「カーボン材料分野への最新ラマン分光法の応用」に参加しました。ラマン分光法はグラファイト、ダイヤモンド、フラーレンなどのカーボン材料の構造分析に有用であり、特に近年では、カーボンナノチューブの直径や電気的特性の評価に使われています。このセミナーでは、多くのカーボン材料の測定例を見ながら、ラマンスpektrumが示す特徴をおさえることができました。また、SiCの結晶評価やLiイオン電池の解析など、最新の分析事例も見ることができました。さらには、ラマン分光法とともに広く用いられている赤外分光法との違いや、メリット・デメリットなどの基礎的なことを確認する講演もあり、非常に有意義なセミナーでした。このセミナーで得た知識を、機器センターでのこれからのサポートに役立てていきたいと思っています。(齊藤 碧)

スタッフ Information

山中 孝弥	YAMANAKA, Takaya
岡野 芳則	OKANO, Yoshinori
上田 正	UEDA, Tadashi
牧田 誠二	MAKITA, Seiji
藤原 基靖	FUJIWARA, Motoyasu
中野 路子	NAKANO, Michiko
齊藤 碧	SAITO, Midori



機器センターで新たに導入された装置を以下に紹介します。

TOPICS

400MHz 核磁気共鳴装置 (担当：中野 路子)

平成23年8月に、基本測定に頻繁に使用されている Lambda400がECS400という新機種に更新されました。マグネットの磁場は同じ9.4テスラですが、ここ十数年の間に大きく技術は進歩し、測定感度は上昇し、磁場勾配 (PFG: Pulse Field Gradient) を使った様々な応用測定も簡単にできるようになりました。オプションで Autotuning ユニットおよび低温 VT ユニットがついていますので、多核測定や-150℃までの低温測定も可能です。 [技術レポート P.43](#)



電子スピン共鳴装置 (担当：藤原 基靖)

電子スピン共鳴 (Electron Spin Resonance: ESR) 法とは、磁場中に置かれた不対電子のエネルギー準位間遷移を観測する分光法です。一定のマイクロ波を照射しながら磁場を掃引していくと、電子スピンのエネルギー準位とマイクロ波のエネルギーが等しくなった時に共鳴吸収が観測されます。この共鳴磁場や吸収強度などから、物質の電子状態や構造情報を得ることが出来ます。ESR装置は、有機ラジカルや遷移金属などの物性分野の他にも、材料、放射線線量、酸化還元・触媒反応の分野でも利用されます。機器センターでは、3台のESR装置を所有しており、H22年3月にはQ-bandパルスESR装置、H24年3月にはX-band CW-ENDOR装置が追加されました。これら多くのESR装置が所外公開されており、全国的にも貴重な施設となっています。 [技術レポート P.46](#)



2011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の技術集団であり、現在7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。

TOPICS 最先端のキャンパス間通信

キャンパス間通信に100Gigabit Ethernetを導入しました。これは世界的に見てもまだ導入事例が少ない最先端の通信規格です。詳細は技術レポート(P.49)を御覧ください。



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、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、ネットワーク網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。

2011年度発表一覧

次世代ナノ統合シミュレーション ソフトウェアの研究開発 第5回公開シンポジウム

2012年3月に開催されたナノ・ライフ公開シンポジウムで以下の発表をしました。

水谷文保	密結合環境の開発
岩橋建輔	科学技術計算プログラム用入力支援ツール Nano-Ignition

分子科学研究所技術研究会

2012年3月に開催された技術研究会で以下の発表をしました。

水谷文保	vSMPによるマルチノード間スレッド並列環境の実現
手島史綱	スーパーコンピュータの更新
内藤茂樹	ネットワークサーバのリプレースブレードからクラスターへ
岩橋建輔	フリーな実装を使ったRFIDの活用
澤 昌孝	技術研究会講演のライブ配信と双方向放送の実施報告
松尾純一	ポートスキャンお断り装置
長屋貴量	X Window高速リダイレクトソフトを使う意義

スタッフ Information

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



TOPICS

大規模システムの更新

本年度の一番のトピックは、計算科学研究センターのHPCシステムと岡崎キャンパス全体の情報ネットワークの2つの大規模システムの更新があったことです。詳細はそれぞれの活動レポートを参照下さい。1年以上の期間がかかる調達手続きの間には、各社提案の検討から仕様書策定、導入時の調整やその後の検証など長期間に渡り様々な対応が必要ですが、特に日常使用する情報機器ということで、システム入れ替え時のサービス停止期間を極力減らすことや、導入後の安定運用のために細心の注意を払っています。

技術レポート P.51



クラスタ演算サーバ



高速I/O演算サーバとディスク装置



床下に配線される電源ケーブル。これでも半分です。



設置時には多くの作業員が力を合わせて1ラックずつ接続します



重量級機器の搬入にはクレーンが使われました



搬入口より背が高い機器は、結局人力で斜めにして入れました

2011年度ハイライト

低温技術班

寒剤供給
高圧ガス保安管理

スタッフInformation

高山 敬史 TAKAYAMA, Takashi

水川 哲徳 MIZUKAWA, Tetsunori



担当施設：機器センター

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

分子研では、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。平成23年11月、明大寺地区のヘリウム液化機が更新され、これまで行われていた山手地区からのバックアップ体制は終了し、各地区独立して液体ヘリウムの供給が再開されました。明大寺地区では、平成23年度の寒剤供給量は、それぞれ液体ヘリウム41,744ℓ、液体窒素20,920ℓ、山手地区では、液体ヘリウム11,692ℓ、液体窒素34,908ℓを供給しています。

寒剤の供給

寒剤の供給業務は主に以下に掲げる項目があります。

液体ヘリウムの供給——高分解能核磁気共鳴装置・電子スピン共鳴装置・各種物性機器など、超電導マグネットを有した実験機器の運転には必要不可欠な冷媒です。

液体窒素の供給——主にサンプルの冷却用に用いますが、液体窒素トラップによる不純物の除去、あるいは低温実験装置内部への輻射熱を抑える断熱を目的とした用途に用いられるなど使用用途は幅広いです。

高圧ガス製造施設の管理——寒剤は高圧ガス保安法の対象となる物質なので、高圧ガス製造施設としての保安の管理も重要な業務となっています。

液体ヘリウムの供給

各地区独立して液体ヘリウムを供給する体制に戻りました。

明大寺地区の供給体制——現在は、更新されたヘリウム液化機リンデ社製L280により製造された液体ヘリウムを研究者へ安定的に供給しています。共通容器はパソコンを介してフリーに使用できる体制を取っています。また、研究室専用容器は使用者自ら液を汲み出すセルフサービスの体制を整えて研究者の利便性を図っています。

山手地区の供給体制——8年目を迎えるヘリウム液化機リンデ社製TCF20は大きな故障もなく安定的な供給を担っています。NMRへの液の供給が9割を超えるため供給ロスも少なく、ヘリウムガス回収純度低下によるトラブルも皆無です。明大寺地区同様、共通容器の持ち出しはフリーの体制で利便性を図っています。

液体ヘリウムの持ち出し自動化システム——ヘリウム容器の持ち出しは、『液体ヘリウム供給自動システム』により

パソコン制御で行うため完全に全自動で管理されています。システムに付随するタッチパネルとスキャナで必要な情報の読み込みを行うだけで、初心者でも簡単に取り扱うことができるのが特徴です。

液体窒素の供給

セルフサービス方式——ユーザー自身が液体窒素を汲み出すシステムとなっています。

供給の予約は特に必要なし——勤務時間内であれば好きな時間に汲み出すことができます。

液体窒素の汲み出しは完全自動化——分子研ではすでに25年ほど前から自動化に対応しています。両地区共通のバーコードによる管理情報の読み取り方式を採用。操作画面にタッチするだけの簡単操作で初心者でも取り扱うことができるのが特徴です。

高圧ガス製造施設の管理

液体ヘリウム製造装置、ヘリウムガス回収装置、液体窒素貯槽は何れも高圧ガス保安法に則り有資格者が管理をしています。

ヘリウム液化機の更新

明大寺地区のヘリウム液化装置は平成23年11月に更新が行われました。液化機・液化用圧縮機・液体ヘリウム貯槽・バッファタンク・ガスバグ・回収用圧縮機・中圧ガスドライヤー・ガスホルダーおよび周辺装置が、ほぼ全て一新されました。新装置の主な特徴は、今までの機器と比較して省エネ型になっています。具体的には、ほぼ同じ液化率に対して、液化用圧縮機の電動機が旧型410KWに対し、新型では160KWの能力で実現できる等、今の時代に相応しい環境エコロジーを意識したものとなっています。

技術レポート P.55

2011年度ハイライト

学術支援班

スタッフInformation

責市 幹大 URUICHI, Mikio
南野 智 MINAMINO, Satoshi
原田 美幸 HARADA, Miyuki
寺内かえで TERAUCHI, Kaede
中村 理枝* NAKAMURA, Rie

* 技術支援員



担当施設：広報室、史料編纂室、研究室

学術支援班は4名の技術職員が広報室、史料編纂室、研究室にて、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2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、学会発表ポスター印刷、写真撮影等

今年度の新たな試みの一つとして、イベント情報配信サービスをはじめました。分子研主催の市民公開講座・分子科学フォーラムや自然科学研究機構シンポジウム等市民向けの情報をメールで配信することにしました。配信の頻度は、開催日の1か月前と1週間前に送付することを基本としています。登録は分子研ホームページから出来る他、ポスターやリーフレットに掲載しているQRコードからも行っていただけます。

まだ、登録者数は80名程度ですが、フォーラムの定員が200名（溢れることもあります）であることを考慮すればまずまずでしょうか。科学関係のセミナーが少ない岡崎市です。少しでも多くの方にご参加いただけるよう、次年度も広報活動に力を注いでいきます。

史料編纂室

平成18年1月、分子研・史料編纂室が設けられ、分子研創設に至る十数年にわたる長い歴史を物語る多数の資料（史料）が失われないよう、関連史料をできるだけ収集・保存するため、アーカイブズ活動を進めています。学術支

援班では、史料目録の作成やホームページの作成等技術的サポートを行っています。

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・研究室では赤外反射およびラマン分光法、X線結晶構造解析、磁化率測定など、一つの大学や研究室では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電子物性の解明につながる研究をサポートしております。これらの支援には機器センターに所属する共通機器も利用しており、分野領域を超えて若い研究者達がそ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。

技術レポート P.58

TOPICS 分子研レターズ表紙

分子科学コミュニティー誌である分子研レターズを作成しています。年2回の発行ですが、特に表紙の作成は、いつも悩まされます。着任当初は写真を並べるだけの表紙でしたが、54号の全面リニューアルを皮切りに、表紙に悩む日々が始まりました。試行錯誤を繰り返し、最新号である65号は今までになく柔らかな印象に仕上げる事が出来ました。「読みたい!」いやせめて「読んでみよかなあ」と思っていただけの表紙を作るために、表紙を巡る日々は続きます。(原田 美幸)



平成23年度の技術課について

技術課長 鈴井 光一



技術課は研究所の技術職員を一つの集団として組織したもので、技術分野に応じて7つの技術班があります。班は主として所の研究施設などに対応して組織され、技術職員は各施設で技術業務を行っています。本誌「かなえ」は平成23年度の各班の業務内容や成果を紹介しています。このページでは、技術班や研究施設ごとではなく、技術課として実施した活動を紹介します。

機構技術研究会

自然科学機構5研究機関に所属する技術職員のための研究会で、平成23年度は国立天文台が中心となって開催されました。法人化以降毎年続いて第6回目となっています。この研究会は機構内の様々な技術分野に携わる技術者が一堂に会して開催するため、参加者は異分野の技術にはなかなか深く入り込めず、研究会として常に内容や形態が模索されていました。そこで、この回は各研究機関共通のテーマとして「研修について」を取り上げ、テーマセッションが設けられました。開催後のアンケートでは賛否ありましたが、なるべく参加者が共有できる有意義な研究会を目指した試みとしては効果的でした。また、この研究会では自然科学研究機構の技術職員全員が参加できるよう、インターネット中継で機構内の研究機関や天文台の野辺山やハワイなど7カ所を双方向で参加できる環境を作り、後から見られるVODも提供できるようにしました。これには前準備も含め分子研の計算科学技術班が中心となって活躍しました。

以下に研究会での分子研からの技術発表について示します。

第6回自然科学研究機構技術研究会

会期：2011年5月26日～27日

主催：国立天文台技術系職員会議 会場：国立天文台三鷹キャンパス

テーマセッション	
分子科学研究所技術職員の研修について	鈴井光一
研究所紹介 技術セッション	
磁気キャンセラーの製作	豊田朋範
分子研レーザーセンターにおける装置開発業務の紹介	岡野泰彬
磁気物性測定装置の紹介	藤原基靖
HD品質のライブ配信の実用性	澤 昌孝

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23年度は以下の受入研修を行いました。

所 属	氏 名	内 容
名古屋大学 全学技術センター	大西 崇文	型彫放電加工技術研修
	福田 高宏	ヘリウム液化機運転研修
	松下 幸司	ヘリウム液化機運転研修
	松岡 博	ヘリウム液化機運転研修
	小林 和宏	ヘリウム液化機運転研修
岩手大学 工学系技術室	千葉 寿	レーザー光による量子干渉 実験についての研修
	藤崎 聡美	広報活動の実務研修
	武田 洋一	溶接技術に関する研修
舞鶴高専 教育支援センター	眞柄 賢一	3D表示技術研修
		マネジメント研修
		技術研究会

名古屋大学からは、新人研修の一環で分子研の装置開発室で延べ5日間の加工技術研修を行いました。また理学部のヘリウム液化装置の管理・運転をする専任者が退職のため、現在は他部署からの応援で運転業務を担う体制となっているようで、液化装置の運転業務の研修を受入研修で実施しました。ちょうど分子研に新しいヘリウム液化装置が導入されたばかりで、その導入講習のタイミングに合わせ受講してもらいました。

岩手大学からは3名を3日間、それぞれの専門技術を高める研修を行い、舞鶴高専からは延べ13日間（土日も岡崎に滞在）の研修を行いました。内容は専門技術に関する研修および、特に舞鶴高専の眞柄氏は技術職員組織の運用について生理研や基生研にも出向いて意見交換を行ったりしていただきました。岩手大学、舞鶴高専の研修者からは、分子研だけが受け入れるのではなく相互に受け入れていく

事が重要であるとの認識で、これからの若い技術職員の専門技術に関する研修や交流を促進させるよう働きかけていただけるとのこと。今後の発展に期待したいと思います。

技術研究会

KEK、核融合研、分子研、各大学での持ち回り開催の技術研究会は、平成23年度は分子研で開催する年でした。3研究機関と大学とで持ち回り開催ですので、前回の開催から6年ぶりとなります。昨年度の3月に熊本大学で開催された総合技術研究会の直前に、光技術班の山崎係長を実行委員長とする委員会を立ち上げ、開催準備に取りかかりました。概略は以下の様になっています。その他詳細は、技術研究会Webページがまだ残されていますので参照して下さい。

<https://www.tech.ims.ac.jp/ws2011/>

今回の参加状況は44機関から約240名の参加者があり、分子研で開催するにはこの規模が最大で、これ以上の大きな研究会は分子研で開催することは困難であろうと感じます。

第18回分子科学研究所技術研究会
会期：2012年3月8日(木)～9日(金)
会場：岡崎コンファレンスセンター

開催分野

機械・ガラス工作技術（機械・ガラス・セラミック工作技術）
回路技術（計測・制御技術、アナログ・デジタル信号処理技術）
極低温技術（低温機器装置の維持・管理、低温技術）
情報・ネットワーク技術（システム運用管理、情報処理、通信技術）
装置運用技術（加速器等研究施設関連技術、実験装置の設計）

その他

ポスターセッション 特別講演 情報交換会 施設見学

ところで、研究会の冒頭に述べさせて頂きましたが、この技術研究会が分子研で発足してから36年経過しました。持ち回りの研究機関や大学など、これまでに関係された方々の努力でここまで続き、歴史も出来上がってきました。より良い研究会にしようと全国から集まって議論もされます。そういった過程を経て現在の技術研究会となり、それを踏襲する形で今回の技術研究会を準備しました。数年前からですが、古くから研究会で一緒になる旧知の人々と話をしてみると、かつては教えられたり教えたりする刺激のある研究会だったと言います。また、その頃が懐かしい、そういった技術研究会にしてほしいという声も聞きます。まったく同感で、例えば分科会ももう少し分野を絞り込むなり、研究会のスタイルを変えることで解決すると思います。ただ、これだけ全国規模になった今では、そう簡単には行かないのが実情です。どうやら技術研究会の意義として何を求めるかの方向が分化していると思います。今回、開催担当機関で準備する側として、そのあたりを明確にできなかったことが反省点の一つでした。



TOPICS ゴーヤ節電

電気の無い生活などあまり気にしたこともなかったと思うのですが、1年前の震災による原発事故から、「節電」は誰もが意識するようになりました。2011年5月に中部電力の浜岡原発が停止することが決まった際に、所内で夏場の節電の対策事項を考えてもらうよう皆さんから様々なアイデアを出して頂き、出来る事項から実施しました。募ったプランの中に、エアコン効率を良くするために建物の南側壁面にゴーヤを栽培するというのが数件あり、やはり出たかと思いましたが、さすがに実施とまでは行きませんでした。次の夏に向けて電力需要を抑える節電対策をまた準備しないといけません。ゴーヤに朝夕と水やりして世話をする、今度はこれも実施事項に入れて見ようかなと考えてます。まずは所長室のエアコン室外機の回りから始めてみるか。

技術課セミナー

昨年度に引き続き「技術課セミナー」を開催しました。以前より不定期に開催を行ってきましたが、今後は定例行事として定着させるようにして行く予定です。平成23年度は「フォトリソグラフィ技術の基礎と応用」として、下記に示すように所外より講師を2名招き、合わせて4件の講演で開催しました。

このセミナーは機器開発班が中心となって活躍しました。機器開発班（装置開発室の機械工作グループ）がこれまで製作技術として持ち合わせていた機械加工技術に、新たな手法として取り入れようとしているのが、このフォトリソグラフィ技術です。この技術はそもそも半導体製造技術と共に発展し、今ではかなり成熟した技術ですが、その半導体製造以外にも様々な応用がされています。装置開発室では7～8年ほど前から「マイクロ加工」として実

験装置のキーとなる要素部品の製作技術を機械加工の範囲で対応してきました。その頃、フォトリソグラフィ技術は手を出そうにも設備を整えることもできないため、別分野の技術として棲み分けていました。最近になって研究グループから一部設備を譲り受け、マイクロ流路などの微細構造物を手がけるようになり、従来からの機械加工技術と融合させることで、実験装置製作の支援技術の幅が広がってきています。今回は、フォトリソグラフィ技術を基礎から学ぶことと、実際の実施例とその実績を紹介する企画としました。

参加者は所内外の技術職員および教員と、岡崎商工会議所に後援をお願いし、呼びかけて頂いた近隣の企業からも数名参加され合わせて約50名の充実したセミナーとなりました。

その他研修等

平成23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「放送大学による職員研修」「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）による研究活動も行われました。さらに、研究施設ごとに必要とされる専門技術について、例年どおり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。

技術課セミナー「フォトリソグラフィ技術の基礎と応用」 開催日：2012年3月27日（火）

「マイクロ波イメージング計測の開発」

核融合科学研究所 教授 長山好夫

「フォトエッチングの基礎と展開する加工技術製品例の紹介」

東洋精密工業（株） 回路基板事業部 部長 井上晴夫

「生体分子反応の実時間観察を可能にする溶液混合装置の開発と応用例」

分子科学研究所 生体分子機能 助教 木村哲就

「フォトリソグラフィによるマイクロ流路ミキサーの製作」

分子科学研究所 研装置開発室 高田紀子



技術レポート

機器開発技術班

アンジュレータ用マルチワイヤ補正コイルの製作と設置	近藤 聖彦	18
フォトリソグラフィーによるマイクロ流路ミキサーの製作	高田 紀子	20
LIGA プロセス位置合わせ用7軸調整ステージの設計製作	水谷 伸雄	22
マジックミラーの製作	青山 正樹	24
一軸試料ステージのばね機構の製作	矢野 隆行	25

電子機器・ガラス機器開発技術班

微小容量測定回路の製作	吉田 久史	27
CPLDを用いたNMR用2チャンネル高速高分解能A/Dボード製作	豊田 朋範	29
CMOSオペアンプ集積回路の評価試験及び機能性回路（デジアナ混載LSI）の設計	内山 功一	31

光技術班

量子ビーム技術開発に向けて～電子蓄積リング改造(2)	山崎潤一郎	34
ビームライン移設	中村 永研	37
数サイクルレーザー用パルス評価装置の製作	岡野 泰彬	40
コラム UVSOR高度化のための複合機能型偏向磁石の設計 林 憲法 BL3Bにおけるエンコーダ値・Top-Up表示について 酒井 雅弘		42

機器利用技術班

400MHz NMR装置（JEOL ECS400）	中野 路子	43
電子スピン共鳴装置	藤原 基靖	46
コラム 昭和の香り 山中 孝弥 超短パルス、ピコ秒波長可変レーザー 上田 正		48

計算科学技術班

ネットワーク機器の更新および増強	内藤 茂樹	49
スーパーコンピュータの更新	手島 史綱	51
コラム ICカードを使うフリーなソフトウェア開発はどこまでできるか？ 岩橋 建輔 ライブ配信する際の注意点 澤 昌孝 新スパコンとGPGPUにおける行列計算時間の比較調査 長屋 貴量		54

低温技術班

更新されたヘリウム液化機L280について	高山 敬史	55
----------------------	-------	----

学術支援班

赤外・ラマン分光法による電子状態の研究	売市 幹大	58
---------------------	-------	----

技術課活動レポート

東海北陸地区国立大学法人等技術職員合同研修(複合領域コース)におけるKYT講習受講報告	永田 正明	59
コラム 職場体験での自然放射量の測定 蓮本 正美 KYTトレーナー研修会に参加して 近藤 直範		61

アンジュレータ用マルチワイヤ補正コイルの製作と設置

近藤 聖彦 機器開発技術二係

キーワード：アンジュレータ、電子ビーム寿命、補正コイル

はじめに

UVSORには、様々な偏向状態の光を発生させることができる挿入光源として、図1に示す長さ3 m程度のアンジュレータが導入されている。しかし、このアンジュレータは縦偏向モードにて運転した場合、蓄積リングの電子ビーム寿命が極端に低下することが確認されている。これは、電子ビームが不均一な磁場中を蛇行運動することによって、あたかも多極磁場成分中を運動しているかのような挙動となり、その運動が不安定になるためだと考えられている。そのため、この多極磁場成分の補正には、アンジュレータ内真空ダクトの上下面に図2に示す複数本の銅製フラットワイヤを設置し、それぞれのワイヤに異なる電流を流すことにより、任意の磁場分布を発生させ、電子の運動を補正する方法が有効であることが知られている。UVSORにおいてもこの方法を導入することとなった。この複数本のフラットワイヤをマルチワイヤと呼び、補正コイルとして機能させるため、これを真空ダクトの上下に設置する。このペアのマルチワイヤを総称してマルチワイヤ補正コイルと呼ぶ。この製作と設置について報告する。

マルチワイヤの製作

マルチワイヤは図2に示すように14本のフラットワイヤとポリイミドシート、これらを結合するポリイミドテープで構成される。フラットワイヤの形状は長さ3000 mm程度、厚さ0.3 mm、幅3 mmである。また、上下のマグネットは可動することができ、その間の距離は最小24 mmまで接近できる。これと真空ダクトの厚さ22 mmを考慮すると上下のマグネットを最接近させた時の真空ダクトとマグネットの隙間は1 mmとなる。これにより、マルチワイヤの厚さは最大で1 mm未満でなければならない。ただし、本製作の設計においては、マルチワイヤとマグネットが接触しないように安全を考慮し、その厚さを0.5 mm未満にした。

フラットワイヤを精度良く平行かつ等間隔に並べて固定するため、図3に示す長さ3000 mm、幅3 mmの溝が1

mm間隔に加工されたアクリル製治具を用いた。図4に示すように、この治具の各溝に14本のフラットワイヤ、その両側にポリイミドシートを設置後、厚さ0.07 mm、幅38 mmのポリイミドテープを使用して、この2種類の部材を図



図1 アンジュレータの外観

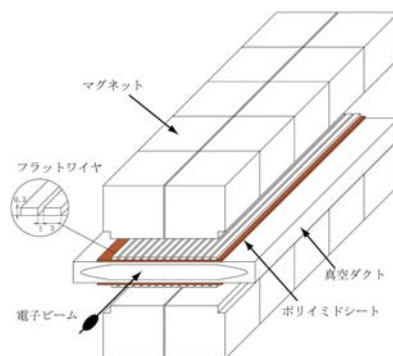


図2 マルチワイヤ設置簡略図

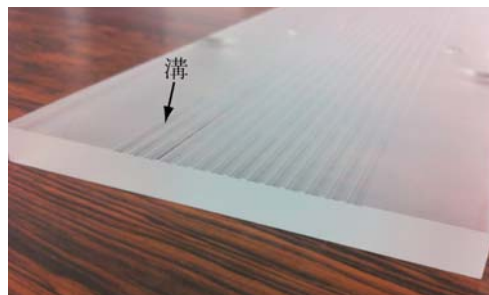


図3 アクリル製治具

4に示す治具の端側から順に固定する方法でマルチワイヤの製作を行った。このシートは、テープが治具に接着するのを防ぎ、治具からの取り外しを容易にするために用いた。その後、電流を流すための被服電線をフラットワイヤの両端にハンダ付けし、電流制御器と接続できるようにした。

マルチワイヤの設置

本設置においては、2つの設置条件があった。一方は、既設のアンジュレータの真空ダクトにマルチワイヤを設置することであった。このため、設置作業スペースに制約があり設置手順を十分に考える必要があった。

特に注意した点は、3000 mm程度の長さを有する剛性の小さいマルチワイヤをアンジュレータの隙間から真空ダクトまで、そのままの状態で挿入するとフラットワイヤが折れ曲がり、ダクトに密着させ固定することが困難になることであった。そこで、長さ3000 mm、幅150 mm、厚さ10 mmの板上にマルチワイヤを固定し図5に示すように、この板と一緒にマルチワイヤをアンジュレータ内真空ダクトまで搬送した。これにより、フラットワイヤの曲がりを抑えることができ、真空ダクトとマルチワイヤの隙間を極小にすることができた。

他方は、磁場の補正精度をより良くするために、マグネット中心とマルチワイヤ中心が一致するように、マルチワイヤを真空ダクトに設置する必要があった。この設置の位置決め精度を向上させるため、マルチワイヤの両側に図4に示す位置決め用のアルミニウム製ロッド（152 mm×□10 mm）を等間隔に8本ずつ取り付け付けた。また、これらを固定する位置決め治具（図6参照）を8個製作し、図7に示すように、これらをマグネットサポートに固定すると、マルチワイヤ中心がマグネット中心と一致するように設計を行った。これにより、マグネットサポート上に等間隔に設置した8個の位置決め治具に8本のアルミニウム製ロッドをそれぞれ固定するだけで、位置決めを容易に行うことができた。

ダクト下面の設置は、自重によりマルチワイヤが下方にたわむため、図6に示す治具中央のロングプレートをス

ライドさせ、マルチワイヤの長手方向側を引っ張ることで、このたるみを抑えた。たるみを抑えた状態でマグネットサポートを真空ダクトにゆっくり接近させ、マルチワイヤが真空ダクトに接触した位置で、これを停止しポリイミドテープを使用してマルチワイヤを真空ダクトに固定した。その後、固定したテープが剥がれないように注意しながら、アルミニウム製ロッドをマルチワイヤから取り外すことにより設置を完了した。

おわりに

長さ3000 mm程度、幅110 mm、厚さ0.5 mm程度のマルチワイヤを2個製作し、これらを真空ダクト上下に設置して、補正コイルとして機能するようにした。この製作したマルチワイヤ補正コイルを励磁することにより、電子ビーム寿命が大幅に改善されることが確認された。また、アンジュレータマグネットとマルチワイヤをそれぞれ励磁した2つの条件で、電子ビームの位置とチューンシフトの関係を調べ、両者を比較することにより設置精度の確認を行った。その結果、0.5 mm程度の精度で設置できていることがわかった。今後、マルチワイヤを励磁するための電源制御装置の導入と諸調整を経て、ユーザー利用時に稼働される予定である。

謝辞

この製作と設置にあたり、UVSORの林技術職員、禿子技術支援員、装置開発室メンバーの協力を得て行うことができた。ここに深く感謝の意を表す。

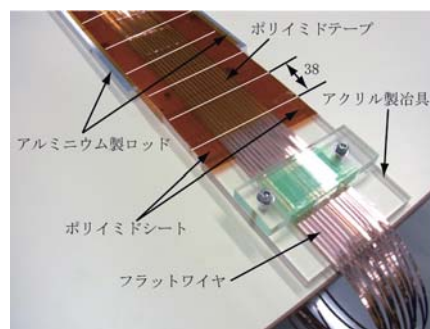


図4 製作に使用した部品



図5 設置作業の様子

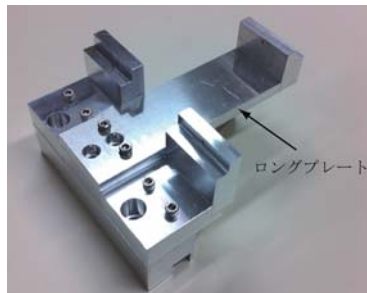


図6 位置決め治具

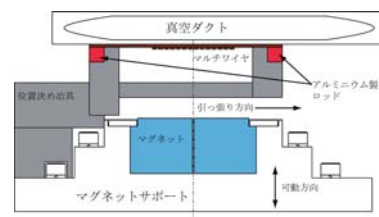


図7 位置決め治具の設置図

フォトリソグラフィーによる マイクロ流路ミキサーの製作

高田 紀子 機器開発技術二係

キーワード：フォトリソグラフィー、マイクロ流路ミキサー、エッジビード、SU-8、PDMS

今年度は、分子科学研究所 生体分子情報研究部門 木村助教から製作依頼を受けて、2液混合のマイクロ流路ミキサーの製作を行った。マイクロ流路ミキサーとは、2種類の溶液をマイクロ流路内で混合させ、混合による化学反応や物質の構造変化を調べるのに利用されている。マイクロスケールであることの利点には、少量のサンプルでかつ迅速に実験できることが挙げられる。今回製作を行うミキサーは、蛍光強度変化および蛍光寿命測定によって、タンパク質の構造変化を検出するために使用するものである。

マイクロ流路ミキサーの構造

マイクロ流路ミキサーの構造を図1に示す。φ2 mmの穴からAとB2種類の溶液を注入し、それぞれが流路を流れ中心まで来たところで、幅10 μm、長さ50 μmの混合部分で拡散による混合が起こる。そして次の幅50 μm、長さ10 mmの観察部分で蛍光顕微鏡観察を行うものである。

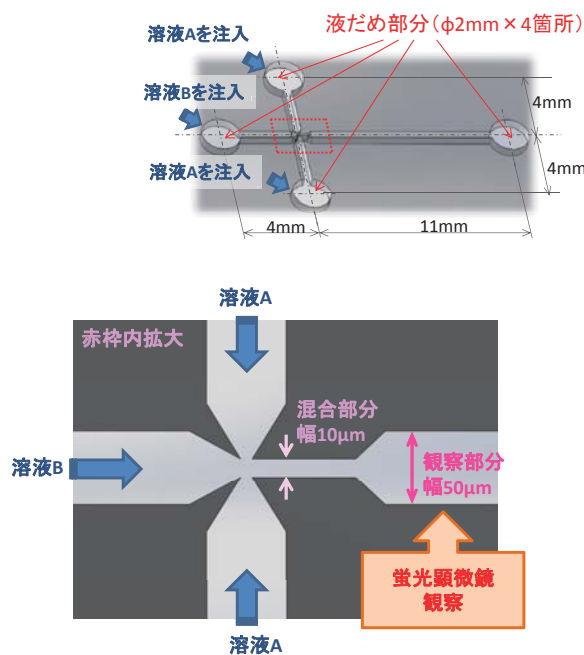


図1 マイクロ流路ミキサーの構造

マイクロ流路では、ほとんどの場合溶液は層流で流れるため、混合は拡散によってのみ起こる。十分な混合を行うため混合部分の幅は小さい方が望ましく、幅10 μmで製作を行っている。また、蛍光強度を強くするには流路深さは深い方が良く、深さ50 μmでの製作を行っている。また、顕微鏡観察用に、目盛を25 μmごとに、さらに数字を100 μmごとに1～99まで記している。

製作方法

装置開発室では現在フォトリソグラフィーの設備を有しており、2年前前からマイクロ流路パターンの製作に取り組んでいる。フォトリソグラフィーとはもともと半導体の分野で発展してきたもので、フォトレジストと呼ばれる感光性有機膜に光を照射することで、基板上にパターンを転写する技術のことである。利点としては、同じ面に対しては、一度の露光で同時にミクロンレベルの加工が可能な点を挙げることができる。今回のミキサーに必要な幅10 μm、深さ50 μmの微細構造は、通常の機械加工では製作が困難であるため、フォトリソグラフィー技術を用いて製作を行った。

製作工程を図2に示す。工程は大きく分けて、(1) フォトリソグラフィーによるレジストパターンの製作、(2) PDMSでの成型、(3) PDMS流路へのガラスとコネクタの接着、の3つに分けることができる。各工程において実験条件や手順を考える必要があるが、特に(1)のレジストパターンの製作に関しては詳細な条件検討が必要で、その最適化に最も多く時間を要した。ここではその内容について報告する。

フォトリソグラフィー実験条件の検討

フォトリソグラフィーでは、レジスト塗布、バーク、露光、現像の各工程において、レジストの膜厚に応じて条件が異なる。大まかな条件はレジストのデータシートに記載されているので、それを基に、最適な条件を検討する必要

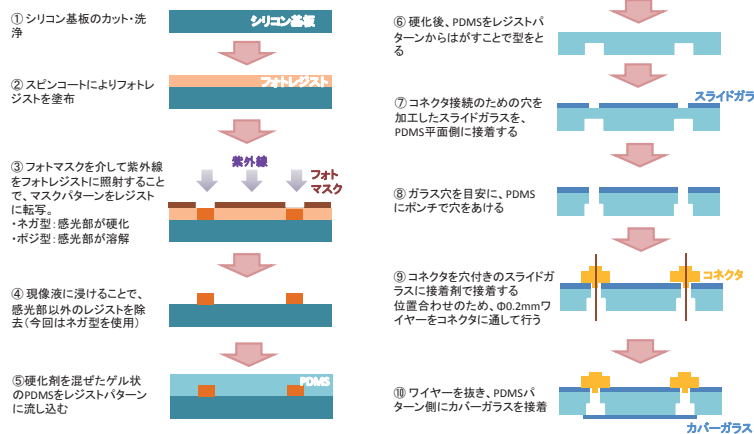


図2 マイクロ流路ミキサーの製作方法

がある。

フォトリソグラフィーの工程の中で、最も問題になったのがレジストの厚さムラである。特に、表面張力の影響で基板の端でレジストが盛り上がるエッジビードとよばれる現象が、今回のような厚膜レジストでは顕著に表れる。レジスト塗布後、フォトマスクとレジストを密着させた状態で露光するコンタクト露光を行うため、このようなエッジビードの発生はパターンの精度を下げる原因となる。

実際、どの位置にどの程度の高さのエッジビードが生じているのかを把握するため、レジスト塗付後の基板を切断し断面を顕微鏡観察することで、膜厚分布を確認した（図3）。レジストはSU-8 3025を使用し、スピンの回転数と保持時間を調整することで、厚さが20 μm 、30 μm 、40 μm 、50 μm となるように基板に塗付した。その結果、いずれの膜厚においても、基板中心から15 mmの辺りからエッジビードが生じ、レジストの膜厚が厚いほどエッジビードの高さが高いことが分かった。

エッジビードを除去するには試薬で余分なレジストを溶解する等の方法があるが、試薬の滴下量や滴下位置等のノウハウが必要となるため、今回は単純に基板ごとダイヤモンドペンで切断することでエッジビードの除去を行った。

エッジビード除去の効果を図4に示す。エッジビードを除去していない場合、幅10 μm 間隔のラインアンドスペースのマスクパターンが、レジストパターンでは幅14.3 μm まで広がっていることが分かる。また、幅4 μm の流路構造に関しては幅12.1 μm まで広がり、さらにパターンの縁がギザギザになっている部分が多く見られた。それに対してエッジビードを除去した場合では、パターンの広がりが9.7 μm から12.9 μm と完全ではないが多少抑えられ、また、縁のギザギザもほとんど見られなくなった。その他にも、塗付したレジストの乾燥（ソフトベーク）条

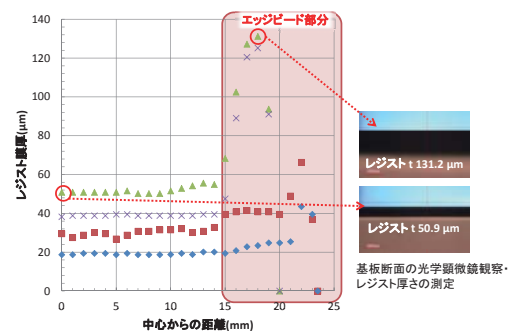


図3 フォトレジストの膜厚分布

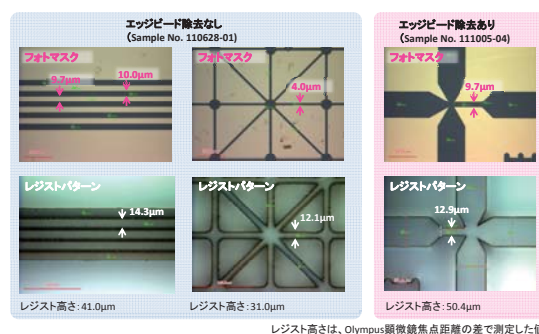


図4 レジストパターンの形状に対するエッジビード除去の効果

件の検討やフォトマスクの洗浄を行う等して、レジストの高さ50 μm に対して幅10 μm の突起パターンを形状精度+3 μm 程度で製作できることが分かった。

今後の予定

今後は、レジストパターン形状精度の向上、PDMS成型条件や接着方法の最適化、さらにレジストの基板に対する密着性の向上を図っていく。さらに、タンパク質の反応開始時間におけるバラツキを抑制することを目的としたマイクロ流路ミキサー Ver.2の製作に取り組む予定である。

最後に

今年度は、いくつかの部屋に散らばっていたフォトリソグラフィーの設備が、化学試料棟の208、209号室にまとまりました。スピナーや超純水製造装置なども新しく購入し、徐々に実験環境が整いつつあります。2月には、北海道大学のオープンファシリティ制度で公開しているレーザー描画装置でマイクロ流路パターン製作のための条件検討を行ったり、3月には、分子研技術課の主催で「フォトリソグラフィーの基礎と応用」という題目で技術課セミナーが開催され、勉強や交流の機会もできました。まだまだ課題はたくさんありますが、話し合いをしながら進めて行けると良い点かと思っています。もしご興味や用途がございましたら、いつでもお問い合わせください。

LIGAプロセス位置合わせ用 7軸調整ステージの設計製作

水谷 伸雄 機器開発技術一係

キーワード：7軸調整機構、手動式、分割式、放射光エッチング

はじめに

本ステージは、生命錯体分子科学研究領域、生体分子情報部門、宇理須恒雄教授（平成23年4月より名古屋大学革新ナノバイオデバイス研究センター特任教授）の依頼により設計製作した。宇理須教授のグループと装置開発室は、これまでに1チャンネルの培養型プレーナーパッチクランプバイオセンサー（以下バイオセンサー）を開発してきた。しかし、1チャンネルのバイオセンサーでは一度に得られるシグナルに限りがある。そこで、一度に多くのシグナルを得る為に16（4×4）チャンネルのバイオセンサーの開発が求められた。

16チャンネル培養型 パッチクランプバイオセンサー

16チャンネルバイオセンサーの開発に当たり、1チャンネルのバイオセンサーで使用しているSi基板の加工上の課題である製作時間とコストの低減、及び量産を考慮して、プラスチック材料（PMMA）を使用することになった。厚さ0.2 mmのPMMA板はホットエンボス加工により升目状にならんだ16（4×4）個のくぼみが熱成型される。くぼみは100 μm × 100 μm の正方形で残膜厚さ10 μm 以下を目指す。この基板はさらに、16箇所の薄膜部分の中央に ϕ 1.5 ~ 2 μm の貫通穴が必要になるが、この穴の加工手段としてLIGAプロセスの放射光エッチングを応用する。放射光エッチング用マスクには、ステンレス枠に張られたポリイミドメンブレン上の金薄膜に16個の ϕ 1.5 ~ 2 μm の穴があいたものを使用する。今回製作したステージは、上述のPMMA基板とマスクを10 μm 以下の精度で位置あわせし固定するための装置である。

ステージ設計にあたり

設計にあたり研究室所有の何台かの顕微鏡が提示され、これらを用いて（改造して）低予算での製作が求められた

が、近年の工業製品は外観の美しさに反し改造や追加工が難しく、構造上の問題もあり装置開発室で古くから使用していた工具顕微鏡の鏡筒部分を流用した。また、放射光エッチングは、兵庫県立大学のニュースバル放射光実験施設を利用するため手軽に持運べるサイズを目指し調整機構は全て手動式で最小限の調整量にとどめた。顕微鏡とステージは分割式とし、ステージ単体での使用も考慮した（図1）。

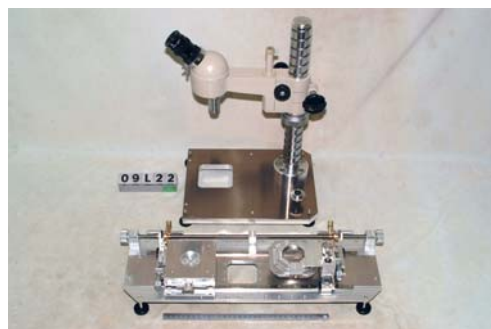


図1 分割した顕微鏡とステージ

仕様

システム全景を図2に示す。



図2 システム全景

顕微鏡を含む全体の寸法は、幅542 mm、奥行300 mm、高さ303 mmとなり、ステージ単体での寸法は、幅542 mm、奥行160 mm、最大高さ94.5 mmで、中央には60 mm × 60 mmの開口部を持つ（図3）。



図3 ステージ単体

移動部分には、スライドガイド、クロスローラーベアリング、ボールスプラインが組み込まれX軸の早送り機構とZ軸以外はマイクロメーターヘッドにより微調整する。

顕微鏡

対物レンズ10倍、接眼レンズ10倍で、接眼レンズ内のクロスワイヤーによりPMMA基板とマスクの位置合わせを行う。焦点調整部にある専用ポストにダイヤルゲージを取付ける事でZ軸移動量の読取も可能である。

PMMA 基板用調整機構

ステージ左側にPMMA 基板用調整機構を備え、ホットエンボス加工されたPMMA基板はアクリルベースに接着後、アルミ板を介してネジ止めされる。中央には $\phi 44$ mmの開口部がある。X軸はハイリードネジ ($L=6$ mm) による早送り機構 (移動量140 mm) とマイクロメーターヘッドによる微調整機構 (± 3 mm) を併せ持ち、Y軸 (± 6 mm) θ 角 ($\pm 3.5^\circ$) の調整が可能である。図4にアルミ板を取付けた状態のPMMA 基板用調整機構を示す。

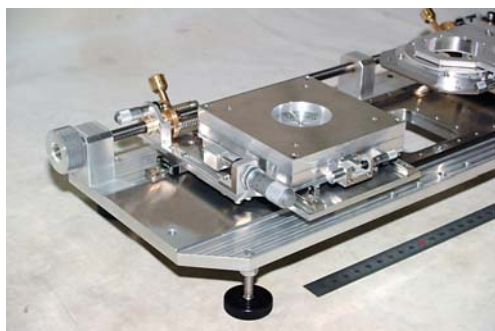


図4 PMMA 基板用調整機構

メンブレンマスク調整機構

ステージ右側にはメンブレンマスク調整機構を備え、ステンレス枠に設けられた8箇所 of M2 ネジにより取付ける。中央には $\phi 44$ mmの開口部がある。X軸はPMMA 基板用調整機構と同様の早送り機構 (移動量145 mm) と微調整機構 (± 3 mm) を持ち、Y軸 (± 6 mm) Z軸 (5 mm) θ 角 ($\pm 4.5^\circ$) の調整が可能である (図5. 図6)。

PMMA 基板とマスクの位置合わせの様子を図7に示す。

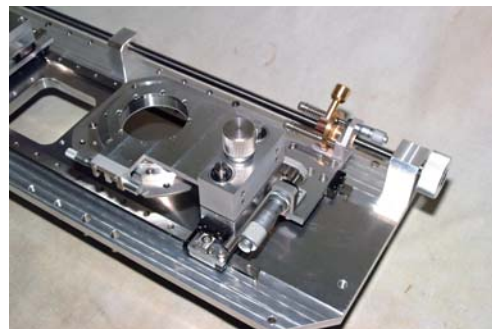


図5 メンブレンマスク調整機構

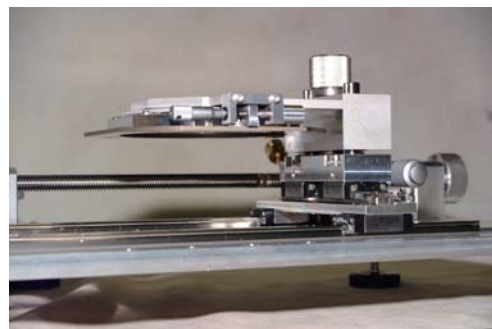


図6 メンブレンマスク調整機構

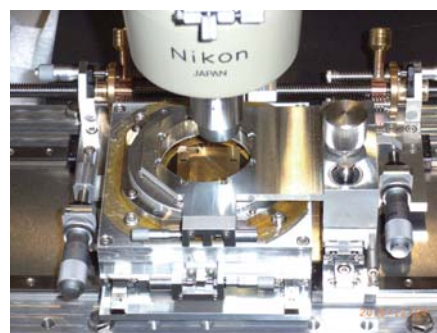


図7 位置合わせの様子

使用状況 (おわりに)

設計時には持運びを考慮してPMMA基板とマスクの位置合わせ専用設計であったが、後にマスク全体の観察にも使用可能のように市販のX-Yステージを顕微鏡ベースとステージの間に組込んだ (図8)。対物レンズの倍率も20倍の物に交換し、現在は兵庫県立大学に常駐する廣瀬氏によって、ニュースバルBL-11での放射光エッチング実験に用いられている。



図8 市販のX-Yステージを組込んだ状態

マジックミラーの製作

青山 正樹

機器開発技術班

キーワード：非球面形状、切削加工

マジックミラーは、線光源である放射光（SR）を1点に集光するための非球面・非対称の集光鏡であり、今回製作するマジックミラーはテラヘルツSRの集光で利用されるもので10ミクロン以下の形状精度が求められている。マジックミラーを装置開発室に設置されているNCフライス盤により製作を行ったので加工結果について報告する。

材質には残留応力除去熱処理を施した、アルミニウム合金A5052を用いた。工具には超硬ボールエンドミルφ6 mmを使用した。

今回製作を行ったマジックミラーの外観写真を図1に示す。大きさは270 mm×150 mm、最大厚み部は約47 mmとなっている。曲面形状を加工する時は、形状表面の各座標点に工具経路を指令すると工具R形状の影響による干渉のため曲面形状が正しく加工されない。そのためミラー表面非球面式から各座標点におけるX方向（長手方向）の傾きを求め、各座標表面の法線方向に工具半径分だけオフセットさせた座標値を求めた。次にY軸方向の傾き分だけその座標点を移動させてX軸方向、Y軸方向ともに工具干渉を起こさない工具

位置座標点を求めた。さらにボールエンドミル工具の回転中心部が切削に関与しないように、ワークを15度傾斜させて加工を行うため、15° Y軸周りに回転移動させた座標点を加工経路指令値とした。各座標点間隔は直線移動送りで加工を行う。そのため形状誤差を必要精度以下にするため、X軸方向の座標点は2 mmピッチ、Y軸方向は0.1 mm間隔で座標点を求めた。指令座標点は約20万点に及んだ。

加工後の形状測定結果を図2に示した。X軸（長手）方向、Y軸方向ともに約20ミクロンから30ミクロン程度の形状誤差が生じている。長手方向には、加工により生じた加工歪みの影響によるものと思われる形状誤差が、またY軸方向の形状誤差については、送りネジ反転に起因するものと考えられる。今後誤差要因については検証を行う予定である。切削加工後は、形状精度を悪化させないように、必要最小限の手磨きによる研磨加工を行いマジックミラーを仕上げた。図3に研磨加工後のミラー外観写真を示した。現在さらに形状精度の向上を目的に、熱処理工程を追加するなど仕上げ加工工程の見直しを行っている。

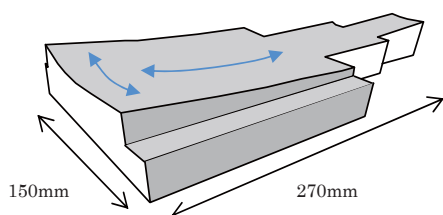


図1 マジックミラー形状図



図3 マジックミラー外観写真

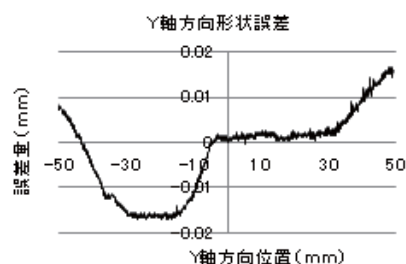
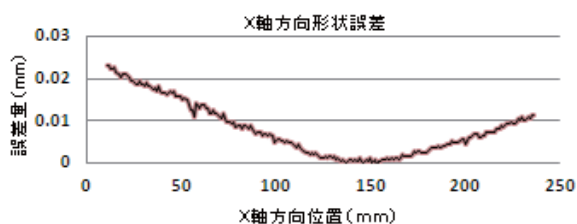


図2 切削加工後のミラー形状精度

一軸試料ステージのばね機構の製作

矢野 隆行

機器開発技術一係

キーワード：微細加工、ばね機構、CAE

はじめに

本課題は、東京大学物性研究所との施設利用（課題名：固体表面反応の in-situ 赤外吸収分光のための片持ち梁型試料ホルダーの製作）として採択された課題である。シリコンなどの固体表面で原子・分子が反応し化学結合を形成すると微小な歪みを発生することがわかっており、その発生する歪みをリアルタイムに精密測定すること、および予め外部から力を加えて反応の制御をめざす試料ホルダーが提案された。外力を加える方法としては片持ち梁型の構造を採用することになり、高温対応でしかも熱膨張が少なく非常にコンパクトなばね機構が必要となった。ここでは一軸試料ステージのばね機構の製作に関して報告する。

ばね機構の構造と材質

今回使用する材料は、スーパーインバーである。鉄63%、ニッケル32%、コバルト5%で構成されており、鉄と比較して熱膨張係数が約100分の1と非常に小さいのが特徴である。

この材料を用いてコイルばねを参考に図1に示すような形状でステージを移動させる構造をとった。中央のステージ部分をなるべく平行に移動させるため、ばねの接続部分はステージを中心に点対象とした。また加工方法は、ばね構造のばねとばねの間隔が1.2 mmでばねの厚さが0.6

mm、幅が9 mmとなり切削加工を行うためには直径1.2 mm以下刃長9 mm以上の刃物が必要となり加工も困難で、さらに通常の切削加工では加工歪の影響が懸念されるためワイヤ放電加工を選択した。

製作上の問題点

製作上の問題点は、使用するばね構造がコイル型ではないため、ばね定数などの算出が困難であり、どのような構造にするとどのぐらいの強さのばねになるか、というのが考えにくいことである。そこで実際に設計・製作したばね構造を使って実験を行い、ばね定数と変位量を求めた。また3次元CAD SolidWorksにバンドルされている設計・製造支援ツールSimulationXpressを使って構造解析を行い、2つの結果を比較し、その信頼性を検討することにした。なお、スーパーインバーは非常に高価でサイズによっては入手が困難なものであるため、この実験にはステンレス（SUS304）を使用した。

実験方法

実験は、図2に示すようなばね構造にアルミニウム合金製のアングルを取り付け、その上に分銅を乗せ、電気マイクロメータで変位を計測した。結果を図3に示す。

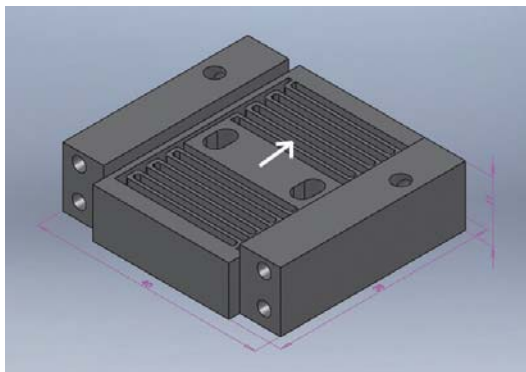


図1 解析対象のステージ部品



図2 実験方法

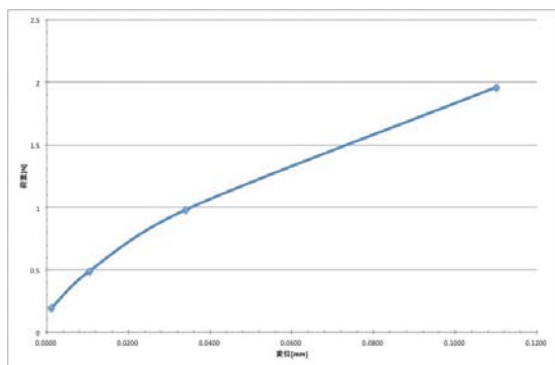


図 3 ばね構造の変位量と荷重の関係

実験結果

構造解析ソフトウェアでは、図 1 の中央部分に位置する可動部分に 1.2 N の力を矢印方向に加え、この部分の変位量を計算した。結果を図 4 に示す（ただし、変形のスケールは 70 倍に拡大した）。

実験の結果、今回製作したばねのばね定数は 約 20 N/mm となり、1.2 N の荷重をかけたとき変位量は、0.06 mm となる。またコンピュータでの構造解析の結果から同量の荷重をかけた場合、可動部分の変位量は 0.05706 mm と算出された。

この 2 つの結果は実験での様々な誤差等を考慮すると妥当であり、その信頼性は充分であると考えた。

次に実際に使用するスーパーインバーの物性値を入力して構造解析を行った。計算結果を図 5 に示す。これにより 1.2 N の荷重をかけたとき変位量は、0.04019 mm となった。これによりスーパーインバー製のばね定数は 29.858 N/mm と算出された。今回このばねに力を加える New Focus 製のピコモーター（Model 8301-UHV）は、最大出力が 22 N であるので、最大移動量として 0.737 mm が期待できることになる。

まとめと今後の課題

今回限られた空間にばね構造を持った一軸試料ステージを製作するため、構造解析ソフトウェアを使用して形状を検討した。またシミュレーション結果の妥当性を検討するため、テスト用の実機を製作し、実際の動きを検証した。これにより、低熱膨張材料を使用した非常にコンパクトなばね構造を製作することができた。

しかし、今回使用した構造解析ソフトウェアは、解析方法にかなりの機能制限があり、部品単位での解析作業しか行えなかった。次回はより高度な解析を行える ANSYS Design Space によって解析を行い、装置全体の構造解析を行う予定である。

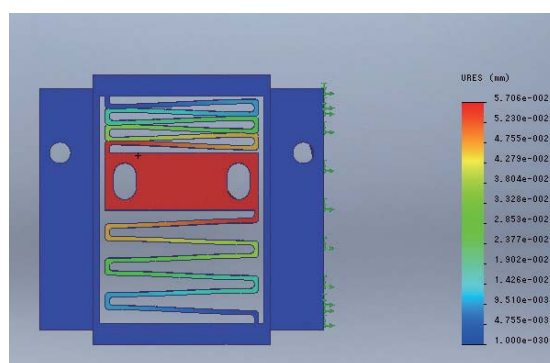


図 4 構造解析ソフトウェアによる結果

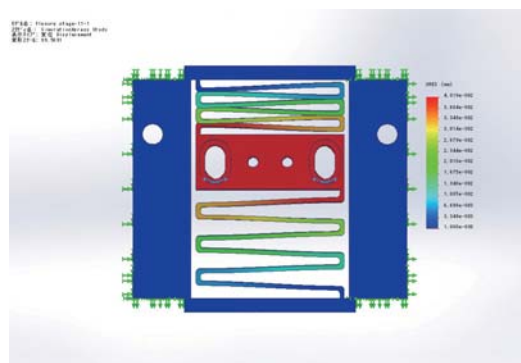


図 5 構造解析ソフトウェアによる結果（スーパーインバー）

微小容量測定回路の製作

吉田 久史

電子機器・ガラス機器開発技術班

キーワード：容量デジタルコンバータ、I²C通信、dsPICマイコン

はじめに

平成22年度の施設利用課題である「走査トンネル顕微鏡用増幅回路」に関連し、探針と試料間にある微小容量の測定方法について相談を受けた。測定対象となる容量の大きさは数十pF程度であると予想され、微小容量を高精度に計測する必要がある。そこで、アナログデバイス製の容量デジタルコンバータ（CDC）と呼ばれる専用ICを用いて微小容量測定回路を試作した。これは、入力端子に接続したコンデンサの容量を直接デジタル値に変換する集積回路である。測定範囲としては8 pF程度の微小容量であるが、精度4 fFの高精度な測定が可能となる。CDCの使用に際しては内部レジスタの設定やデータの読み出しを行う必要があり、マイコンとのインターフェースは不可欠となる。本稿では、この間の通信方式であるI²C通信を中心に試作回路による微小容量の測定結果などを報告する。

容量デジタルコンバータ

表1は、分解能24 bitの高精度タイプのCDCシリーズの基本性能を示している。今回使用したAD7747は、シングルエンド（一方の端子が接地）入力の容量センサとしてデザインされ、フローティング用にはAD7745/AD7746がある。これらは単一電源（2.7 V～5.25 V）で動作し、他に外付けする部品を殆ど必要としない。また、内蔵AD変換器の入力はマルチプレクサ入力であり、コンデンサだけでなく電圧や内蔵の温度センサを入力とすることも可能である。内蔵温度センサによる温度測定は、分解能:0.1℃で精度:±2℃である。

図1はAD7747の代表的な応用回路を示す。AD7747の入力容量範囲は±8.192 pF（簡易的に±8 pFと表記）であり、シングルエンドの回路構成では0～8 pFの測定範囲となる。ここで、内蔵された2つのCAPDAC（コモンモード容量）を設定することで、入力範囲の変更が可能となる。図のように、CIN(-)に接続されたCAPDAC(-)を0に、CIN(+)に接続されたCAPDAC(+)を8 pFに設定した時、入力範囲は0～16 pFとなる。また、CAPDACの設定値は最大17 pFであり、この時の入力範囲は9～25 pFとなる。

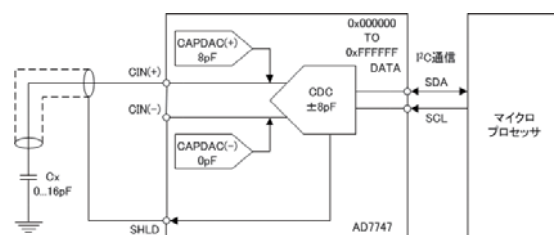


図1 AD7747の代表的な応用回路

マイコンとのインターフェース

CDCの各種設定とデータの読み出しは、内部の19個（レジスタ・アドレス:0x00～0x12）のレジスタを介して行われる。この時の通信プロトコルであるI²C通信は、SCL（クロック）とSDA（データ）の2線による双方向シリアル通信である。一般的に、マイクロプロセッサがマスターとなってデータ転送メッセージを開始し、アドレス指定されたスレーブがメッセージに応答してアクノリッジを返す。図2にAD7747のデータ転送プロトコルを示す。

AD7747のアドレスは書き込みの場合0x90、読み出

表1 容量デジタルコンバータ

項目	更新レート	チャンネル数	測定範囲	コモンモード容量	最小分解能	精度	直線性
AD7745	90SPS	1	±4 pF	Max. 17 pF	4 aF	4 fF	0.01%
AD7746	90SPS	2	±4 pF	Max. 17 pF	4 aF	4 fF	0.01%
AD7747	45.5SPS	1	±8 pF	Max. 17 pF	20 aF	10 fF	0.01%

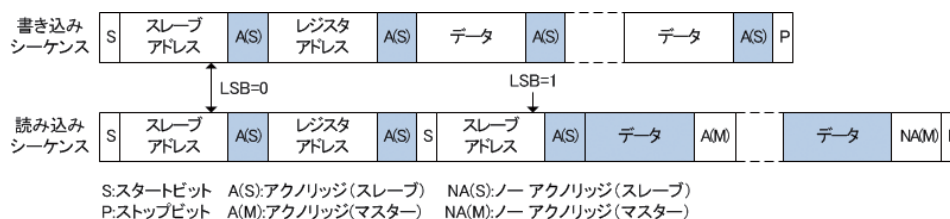


図2 データ転送（書き込み/読み出し）プロトコル

しの場合0x91で固定であり、複数のCDCを一つのI²Cインターフェース上で使用することはできない。レジスタへのデータ書き込み（スレーブアドレスのLSB=0）時は、マスターがスタートビットに続きスレーブアドレス、レジスタアドレス、データ、ストップビットの順で送信する。この時、各データの区切りでスレーブはアクノリッジを返して受信が完了したことを示す。データの読み出し（スレーブアドレスのLSB=1）時は、スレーブアドレスを受信したAD7747が指定されたレジスタのデータをSDAラインに送信し、マスターはSCLクロックを出力してそのデータを読み取る。スレーブはマスターからのアクノリッジを受け取ると次のデータをSDAラインに送信する。この読み出し動作は、マスターがノーアクノリッジ、ストップビットを送信することで終了する。AD7747のI²C通信の通信速度は、最大400 Kbpsである。

試作回路は、マイクロチップ製のワンチップマイコンdsPIC30F4012を使用し、プログラムはMPLAB C30コンパイラで開発を行った。dsPIC30F4012はI²C通信モジュールを内蔵し、C30コンパイラにはそのモジュールをサポートする関数ライブラリがある。その関数を使って前述の転送プロトコルを実現したプログラムの一部をリスト1,2に示す。

おわりに

チップ積層セラミック・コンデンサ1 pF～6 pF（許容差:0.25 pF）を用いて、試作回路で測定した結果を表2に示す。試験容量の絶対値を計測していないが、測定した値はいずれも許容誤差範囲内に収まり、データのばらつきも約±15 fFと極めて安定した結果が得られた。しかしながら、測定ケーブルの浮遊容量の影響で配線に触れただけで数百fFの変動があった。容量の絶対値を正確に測定したい場合には、ケーブルの配線を固定し、既知のコンデンサ等を用いて測定値の校正を行う必要がある。

表2 試験容量測定結果

試験容量	1pF	2pF	3pF	5pF	6pF
測定値	1.16~1.18	2.03~2.06	3.18~3.21	5.05~5.08	5.82~5.84

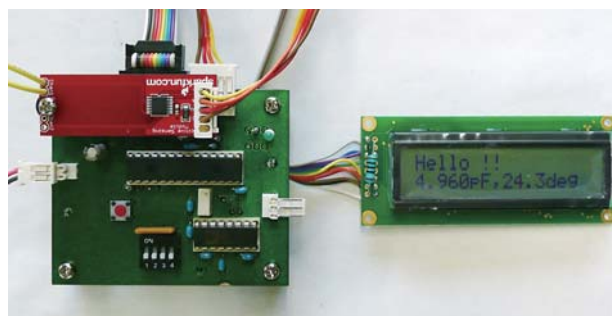


図3 試作した微小容量測定回路

```
#include "i2c.h"
...
// Baud rate is set for 100kHz, Fcy:30MHz
config2 = 0x111; // 0x30 --- 400KHz
// Configure I2C for 7bit address mode
config1 = (I2C_ON & I2C_IDLE_CON & I2C_CLK_HLD
           & I2C_IPMI_DIS & I2C_7BIT_ADD & I2C_SLW_DIS
           & I2C_SM_DIS & I2C_GCALL_DIS & I2C_STR_DIS
           & I2C_NACK & I2C_ACK_DIS & I2C_RCV_DIS
           & I2C_STOP_DIS & I2C_RESTART_DIS & I2C_START_DIS);
OpenI2C(config1,config2);
IdleI2C();
...
```

リスト1 I²C通信モジュール初期設定

```
// ----- I2C transfer for AD774X -----
void tx_start(void)
{
    StartI2C();
    // Wait till Start sequence is completed
    while(I2CCONbits.SEN);
    // Write Slave address and set master for transmission
    MasterWriteI2C(*p_tx_buff);
    // Wait till address is transmitted
    while(I2CSTATbits.TBF);
    // Wait ACK bit receipt
    while(I2CSTATbits.ACKSTAT);
    // Indispensable wait
    IdleI2C();
    // Transmit string of data
    p_tx_buff++;
    MasterputsI2C(p_tx_buff);
    StopI2C();
    // Indispensable wait
    IdleI2C();
}
```

リスト2 データ書き込みプロトコル

CPLDを用いたNMR用 2チャンネル高速高分解能A/Dボードの製作

豊田 朋範

電子機器開発技術係

キーワード：NMR、A/D変換器、CPLD、VHDL、シーケンス制御

はじめに

NMRの原理は、強磁場中の試料にRFパルス波を照射し、共鳴した原子核が放出した運動エネルギーをFID (Free Induction Decay：自由誘導減衰) 信号として受信することである。FID信号はフーリエ変換などの演算を行うため、最終的にはPCに取り込む。

FID信号は微弱で様々な周波数成分が混在する信号であるため、高速高分解能で差動入力タイプのA/D変換器が必要である。また、FID信号はA/D変換前に位相敏感検波器でコサイン成分とサイン成分に分離するため、A/D変換器は2チャンネル必要である。

今回は北海道大学大学院理学研究院の河本充司准教授らと共同で、CPLDを用いて2つの高速高分解能A/D変換器の信号制御を行うA/Dボードを製作した。CPLDの回路構築にはXilinx社のISE Webpackを、ハードウェア記述言語はVHDLを用いた。

回路構成

今回製作したA/Dボードの全体像を図1に示す。

A/D変換器はAnalog Devices社の1.5 MSPS (Normal Mode時)、18 bit分解能で差動入力のAD7641BSTZを用いた。高速なA/D変換にはパイプライン型が適して

いるが、NMRではDCレベルから広範囲の周波数を対象にした高精度のA/D変換が求められることから、逐次変換型のものを使用した。

CPLDはXilinx社のXC9572XL-VQ64-7Cを用いた。内蔵するマクロセルは72個と現在のプログラマブルデバイスの中では小規模であるが、マクロセルを多く消費する演算回路や多段カウンタが少ないため、今回の用途には十分である。

ブロック図を図2に示す。

CPLDは100 MHz水晶発振器で駆動して、2個のA/D変換器を同時に制御する。

A/D変換器はCNVST入力を'L'にすることでA/D変換が開始され、A/D変換中はBUSY出力が'H'となる。A/D変換が完了するとBUSYが'L'となって、データ読み出しが可能になる。CNVST入力のパルス幅は最小15 nsecで最大70 nsec、BUSY出力が'H'の時間、すなわちA/D変換時間は最大520 nsecである。

A/D変換器は2 bitのMODE入力により、データの出力形式を18 bitパラレル、16 bit×2組 (後半の16 bitは上位14 bitが'0')、8 bit×3組 (最後の8 bitは下位6 bitが'0')、シリアル4つから選ぶことができる。今回

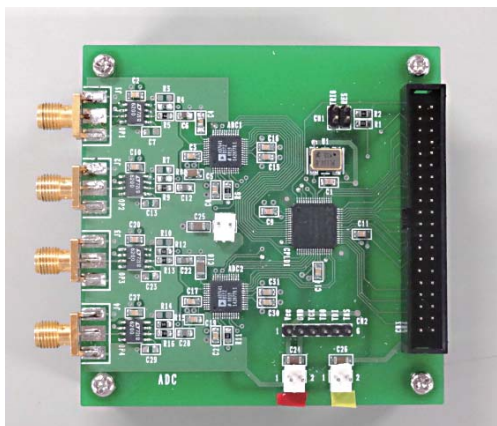


図1 製作したA/Dボードの全体像

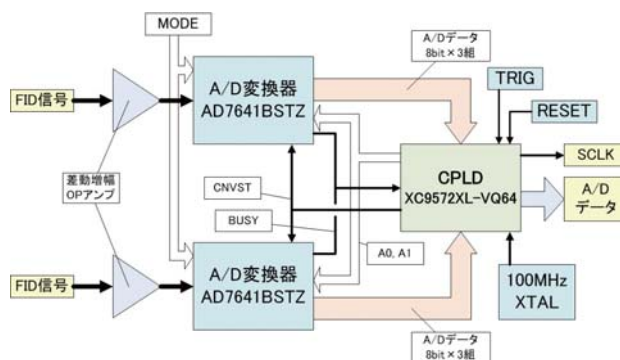


図2 製作したA/Dボードのブロック図

は配線を減らすことと変換速度の向上を両立させるために、8 bit × 3組の出力形式とした。この時、3組のデータの切り替えは、2 bitのセレクト入力信号A0,A1で行う。

2つのA/D変換器からの8 bitデータはCPLDを介して40 pinの出力コネクタに集約される。クロストークや外部ノイズの影響を抑えるため、片側20 pinを全てGNDにすることで、フラットケーブル接続時に信号線とGNDが交互に並ぶようにした。残りの20 pinには、2バイトのデータと、データ読み取り用の同期クロックSCLKを接続した。PCなどの外部機器はSCLKの立下りエッジでA/Dデータを読み取る。

CPLDによるA/D変換器のシーケンス制御信号の構築

A/D変換器の8 bit × 3組のデータ出力シーケンスを図3に示す。最大1.5 MSPSの変換速度に近づけるには、BUSY出力が'H'→'L'になってからのデータ読み出し時間であるA0,A1の保持時間を不必要に長くしないことが必要である。また、A0,A1の切り替え後最大20 nsecのセトリングタイムが存在するため、この期間は待機することもある。

このようなシーケンス制御をVHDLで構成するには、図4のような状態遷移図を描いて、それに基づいてステートマシンを構成するのが適切である。

まず、電源を投入するかRESET入力を'L'にすると'INIT'で制御信号を初期化する。A0とA1は共に'L'になる。次に外部トリガ信号TRIGが'L'になるまで'WAIT_T'で待機する。

TRIG入力が'L'になると、CNVST信号を生成して2つのA/D変換器のBUSY出力が'H'になるまで'WAIT_BH'で待機し、2つのBUSY出力が'L'になるまで'WAIT_BL'で待機する。

ここからデータを順次選択・転送する。最初はA0=A1='L'なので上位2バイトが選択されている。READ_H1'でSCLKを'H'にして20 nsec待機する。続いて'READ_H2'でSCLKを'L'にして20 nsec待機する。この過程でSCLKが'H'→'L'と変化するので、SCLKの立下りでデータを読み取れば安定したデータを読み取れる。

続いて'SET_A1'でA0='H'、A1='L'として中間2バイトを選択し、'READ_M1'と'READ_M2'で上位2バイトと同様の手順でSCLKを'H'→'L'としてデータを出力する。最後に'SET_A2'でA0='H'、A1='H'として下位2バイトを選択し、'READ_L1'と'READ_L2'でやはり同様の手順でデータを出力する。

20nsec待機した後A0=A1='L'とし、'WAIT_BH'に

戻ってA/D変換とデータ出力を繰り返す。

構築したシーケンス制御によるA/D変換速度は750 nsec ÷ 1.33 MSPSとなった。また、CPLDのマクロセル使用率は84%となった。

まとめ

CPLDを用いることで、高速かつ安定した時間間隔で遷移するシーケンス制御回路を構築できた。今後もプログラマブルデバイスとVHDLを用いたディジタル回路の幅を広げていく所存である。

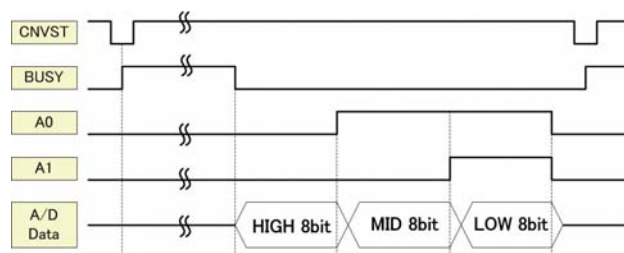


図3 AD7641BSTZのA/D変換・8 bit × 3組データ出力シーケンス

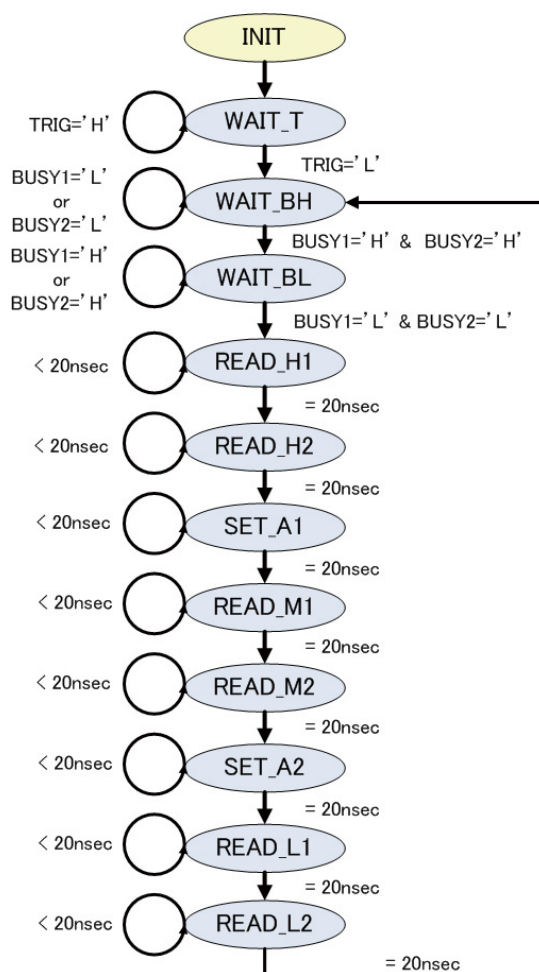


図4 AD7641BSTZ制御の状態遷移図

CMOS オペアンプ集積回路の評価試験 及び機能性回路 (デジアナ混載LSI) の設計

内山 功一

電子機器開発技術係

キーワード：VDEC、デジアナ混載LSI、オペアンプ、三角波発振器、論理ゲート、Stream Out

はじめに

昨年度エレクトロニクスセクションでは、VDEC（東京大学大規模集積システム設計教育研究センター）の試作サービスを利用してCMOSアナログLSIの試作を行った。LSIの設計環境の構築から第1回の試作までの報告は、Activity Report 2010に掲載しているのでそちらを参照されたい。今年度のLSI設計を行うにあたり、前回試作したLSIの評価試験を行った。この試験結果を元に、問題点の解決や性能の改善案を検討し2回目のLSI試作設計を行った。そこで今回行った評価試験の結果と、今年度製作したCMOSアナログLSIの設計について報告する。

第1回試作LSIの仕様

試作したLSIの仕様を表1に示す。試作LSIは特性の異なる3種類の差動入力オペアンプを5個ずつ（1種類のみ10個）の計20個集積している。また、位相補償用のコンデンサとして内部にMIMキャパシタを用意しているため外付けする必要が無い。また、入出力用のパッドにはクランプダイオードを接続し、ESD対策用の保護回路としている。

表1 第1回試作LSI仕様

	アンプ1	アンプ2	アンプ3
ゲイン (dB)	20	40	60
帯域幅 (kHz)	2700	900	120

評価試験

評価試験を行う前に、LSIの動作確認をするためにオシロスコープによる波形観測を行った。テスト基板を用いて20 dB、40 dB、60 dBのオペアンプから1回路ずつ抽出して動作確認を行った。最初は出力波形が歪んだり電源電圧近くまで振り切れたり正しい動作が得られなかった。この原因は、適正なバイアス電圧や入力信号を加えていなかったことであった。試験に用いた発振器を確認したとこ

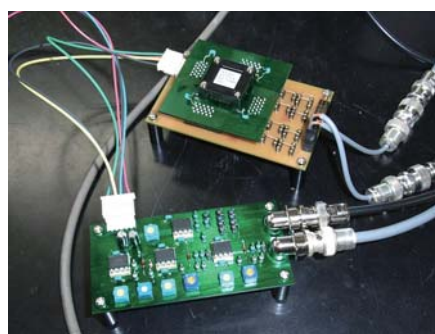


写真1 LSIテスト基板 (上)、評価用回路基板 (下)

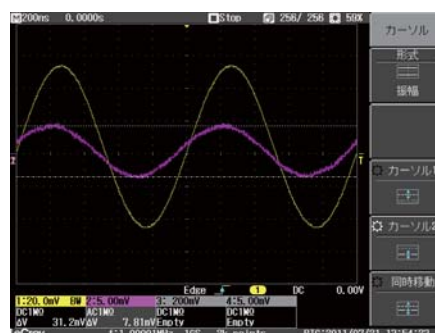


図1 20 dB オペアンプ波形図

ろ、出力振幅は最小で50 mV_{p.p}であったため、60 dBのアンプに通すと出力が飽和してしまい波形が歪んでしまう。このため、減衰率34 dBのアッテネータで入力信号レベルを1/50にした。また、バイアス電圧源も安定度の高い基準電源ICを用いて製作した。これらの回路は、テスト用回路基板として製作を行った（写真1）。この基板を用いて再度行った動作試験で得られた波形図を図1に示す。紙面の都合により20 dBのオペアンプの動作波形のみであるが、10 mV_{p.p}の入力に対して10倍の100 mV_{p.p}の出力波形が観測された。同様に3種類の回路全ての波形観測を行い、アンプとして正しく動作していることを確認した。

オペアンプの動作確認ができたので、続いて評価試験を行った。評価試験は、周波数特性とDC特性の測定を行った。周波数特性の測定結果は、DCゲイン/帯域幅の表

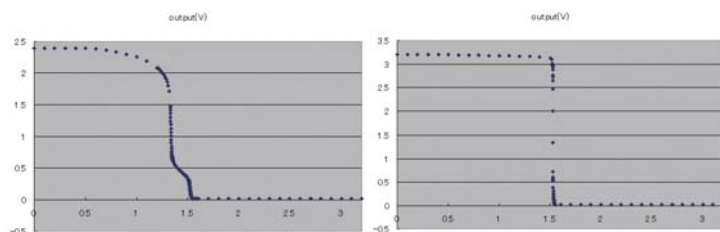


図2 左：DC特性（20 dB）、右：DC特性（40 dB）

記でそれぞれ、22 dB / 470 KHz、40 dB / 150 KHz、62 dB / 30 KHzとなり設計仕様と比べて帯域幅がかなり低減していることがわかった。その原因は、測定に用いた同軸ケーブルの寄生容量（約100 pF）が過大な容量負荷となっていると考え、シミュレーションにて検証を行った。シミュレーションの結果は、評価試験とほぼ同じ周波数特性となった。これにより帯域幅が低下している原因が特定できた。次にDC特性の結果を図2に示す。図右に示すようにMOSFETのスイッチング動作からしきい値電圧を境に出力が急峻に反転するような結果が得られるはずである。しかし、20 dBのオペアンプについては測定結果に異常が見られた。これは設計時に行ったMOSFETのパラメータの最適化において、回路を構成するMOSFETのゲートサイズ比を考慮しなかったためであると推測される。この問題を解決するためには、MOSFETのゲートサイズ比を式1に示した条件式のように設定し、オペアンプ中の各トランジスタを正しく飽和領域で動作させる必要がある。

2011年度のLSI試作設計

評価試験の結果を踏まえ、今年度は特性の異なる2種類のオペアンプを設計した。どちらのオペアンプも、同軸ケーブルなどの数百pFの容量性負荷にも対応できるように、出力段のドライブ能力を強化した。また、外部電源として3.3 Vを接続すれば動作可能なように、バイアス電源回路の設計も行った。また、インバータやNANDのデジタルゲート回路の設計も行い、それらとオペアンプを組み合わせた三角波発振器の設計も行った。

今回設計したオペアンプの回路図を図3に示す。1つめのオペアンプは位相補償用のキャパシタを内蔵し、DCゲイン73 dB、帯域幅12 KHzの特性である。こちらは位相余裕が72度確保され、ユニティゲインまで安定に負帰還動作させることが可能である。もう1つは外部に位相補償キャパシタを取り付けるDCゲイン72 dB、帯域幅400 KHzの特性である。こちらは位相補償キャパシタを接続しない状態では位相余裕が17.5度しかない。そのため外部に20 pFのキャパシタを接続するのだが、この場合でも位相余裕は50度しか確保できないので少々安定度

$$\frac{\text{出力段のPMOS}}{\text{カレントミラーのPMOS}} = 2 \frac{\text{出力段のNMOS}}{\text{テイル電流源のNMOS}}$$

式1 飽和領域で動作させるためのMOSFETのゲートサイズ比

に問題が残る。また、この場合帯域幅も減少し92 KHzとなるが、前出のオペアンプよりも若干高い周波数まで使用可能である。今回設計したオペアンプも前回と同様の差動入力オペアンプである。評価試験で問題になった容量性負荷のドライブ能力不足は、オペアンプの出力段に使用するMOSFETの個数を増加することで対応している。また、オペアンプのDC特性を改善するため、上述の条件式を満たすように各MOSFETのゲートサイズを設計した。

次にバイアス電源の回路図を図4に示す。今回設計したバイアス電源は帰還回路によって安定化されており、シミュレーション上では変動率が0.014%に収まっていることを確認している。

また、今回は機能回路の組み込み例として三角波発振器の設計を行った。三角波発振器は、RCによる積分回路、オペアンプで構成した三角波の振幅の上限下限を判別する比較回路（コンパレータ）、積分回路の充放電を行うFETスイッチ回路の組み合わせにより構成されている。比較回

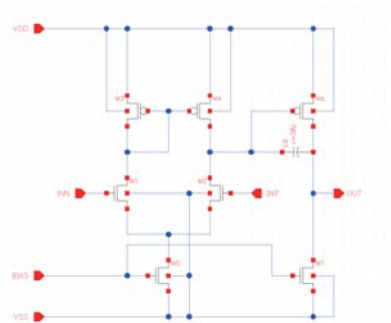


図3 オペアンプ回路図

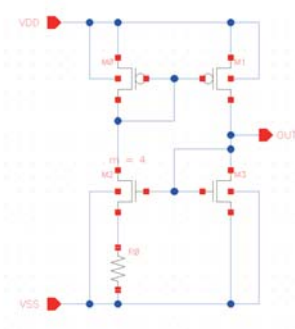


図4 バイアス電源回路図

路で使用するインバータおよびNANDゲートの回路図を図5および図6に示す。これらは三角波発振器だけではなく、それぞれ単体で評価試験を行えるように入出力用のパッドに接続した素子も設計している。次にオペアンプ回

路と論理ゲートを組み合わせた三角波発振器の回路図を図7に示す。この発振器は発信周波数308 KHzの三角波と方形波を出力することができる。

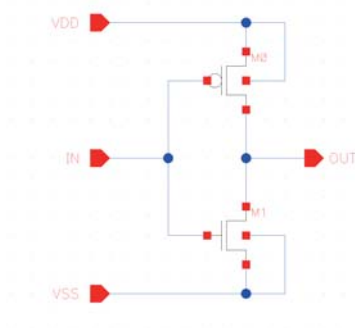


図5 インバータ回路図

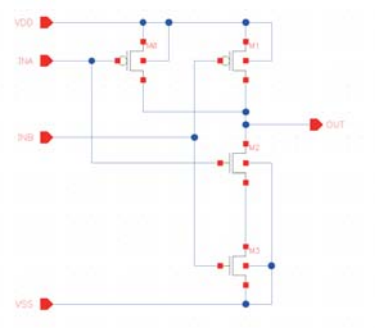


図6 NANDゲート回路図

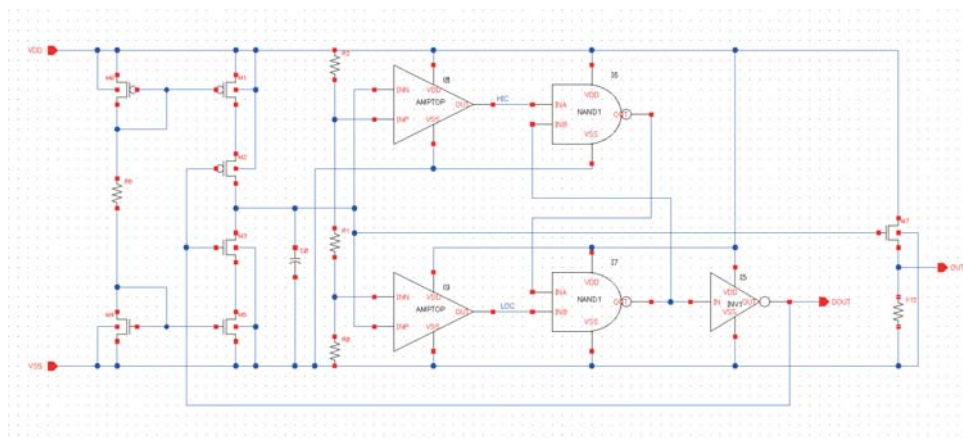


図7 三角波発振回路図

おわりに

今回設計したLSIのレイアウト図を図8に示す。機能回路として三角波発振器を組み込んだことによりデジタル回路とアナログ回路が混在することとなったが、時間的制約から回路の分離を考慮せずにレイアウトを行っている。これによりアナログ回路の動作になんらかの悪影響を及ぼすのではないかと想定される。LVSやDRCなどのルールチェックにおいては、前回のレイアウト設計の経験が生かされ、今回の設計ではエラーの対処を的確に行うことができた。今回最も問題となったのは、データ提出時に提出用webサイトのスクリプトエラーによりデータが提出できなかったことである。提出期限間際でこの問題が起きたため、最悪試作工程に入れない恐れがあった。提出用データに何らかの不具合があると考え再度データ出力を行ったところ、Stream Outでエラーメッセージが確認された。エラー内容への対応方法がわからなかったため、VDECのメーリングリストに質問することで迅速に解決方法を知ることができた。原因は、デフォルト設定されていた

Stream Outと提出用webサイトのバージョンが異なるためであった。Stream Outのバージョンを変更して出力したところ、無事にデータの提出を行うことができた。今回設計したLSIは昨年末に完成し、1月早々に納品された。このLSIは、今年度中に評価試験を行う予定である。

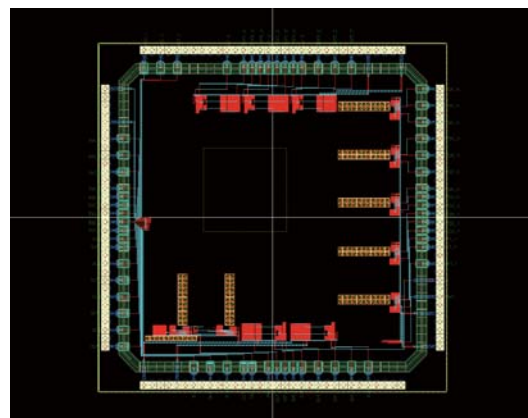


図8 LSIレイアウト図

量子ビーム技術開発に向けて ～電子蓄積リング改造 (2)～

山崎 潤一郎

極端紫外光技術二係

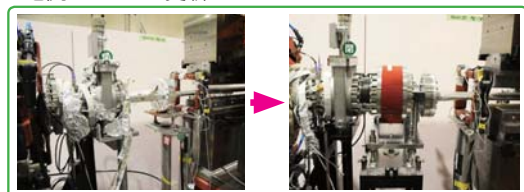
キーワード：電流モニター、ビームスクレーパー、アンジュレーター光、バンチング用電磁石、NEG ポンプ

はじめに

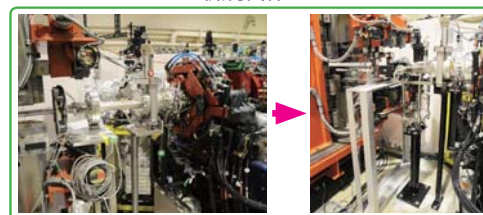
UVSORIIでは、レーザーと電子ビームを用いた光発生とその実用化を目指した研究のために、2011年春に約2.5ヵ月間、2011年9月に1週間運転を停止し、挿入光源の設置およびB1、B2偏向部の真空ダクトを一新した。

加速器改造後の立ち上げ、調整は順調に進み、6月上旬からユーザー運転を再開した。本報告では上記の他に、これに伴う光源リングの機器配置の変更など加速器改造の詳細について述べる。また2012年春に予定されている改造についても述べる。

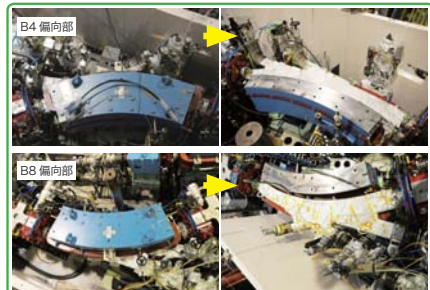
「電流モニターの更新」



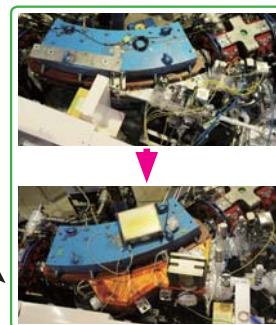
「ビームスクレーパー新規製作」



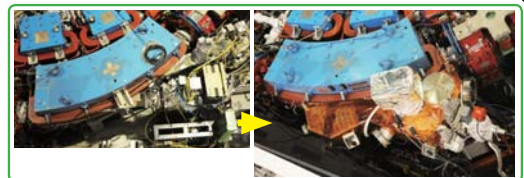
「B4、B8 偏向部真空ダクト入れ換え」



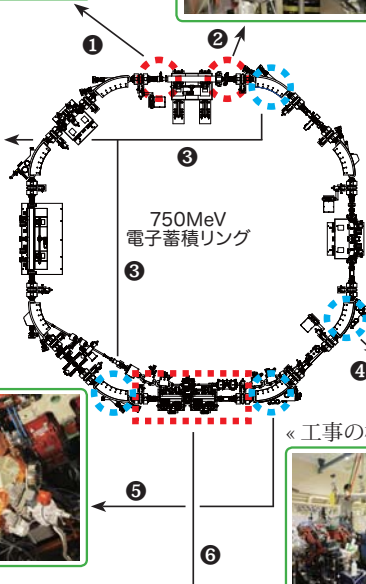
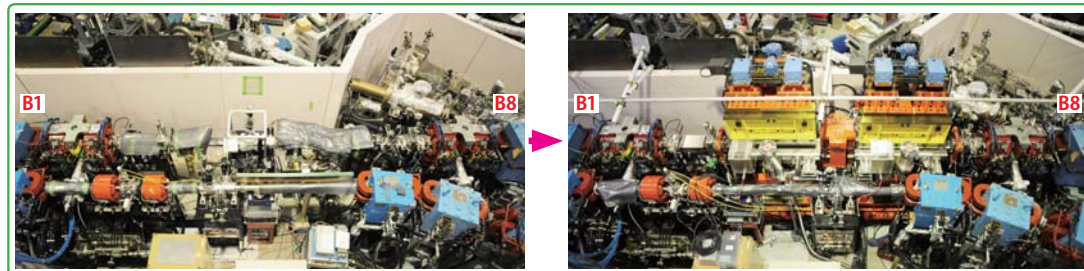
「B2 偏向部真空ダクト更新」



「B1 偏向部真空ダクト更新」



「可変偏光アンジュレーター設置」



「工事の様子」



写真1 2011年度に行った電子蓄積リング改造工事

2011年春に行った電子蓄積リング改造について

2011年3月末から2011年6月上旬にかけて、B8～B1長直線部に可変偏光アンジュレーター設置、電流モニターの更新、新ビームライン建設に伴うB1およびB2偏向部真空ダクト更新、FELビームライン移設に伴うB4偏向部真空ダクトとB8偏向部真空ダクトの入れ替えを行った。アンジュレーター設置においては、計画では2台設置を予定していたが、3月11日に発生した東日本大震災の影響により春期に1台、秋期1台の設置に急遽変更した。アンジュレーター設置工事を除き改造は計画通り完了し、工事後の加速器コミショニングにおいても順調に進み、2011年6月に予定通りユーザー運転を再開した。

①電流モニターの更新

Bergoz社のIn-flange型電流モニターに更新した。

②ビームスクレーパー新規製作

可変偏光アンジュレーター設置に伴いビームスクレーパーを移設した。既存のチャンバーでは移設先のスペースが狭くインストールできないため、チャンバーのみ新規製作し、ビームを削るための稼働軸は再利用した。

③B4、B8偏向部真空ダクト入れ換え

B4-B5長直線部を用いて開発してきたFELラインを来年度B8-B1長直線部に建設する。これまで使用してきたB4偏向部真空ダクトを再利用するためB8偏向部に移設した。既設のB8偏向部ダクトはB4偏向部に移設し、2012年3月末まで使用した後、2012年4月から実施する加速器改造工事において、BL4Bビームラインの新設に伴いB4偏向部ダクトを一新する計画である。

④B2偏向部ダクト更新

B1ライン新設に伴い、BL1AラインをB2に移設するため新規に製作した。排気系は、旧ダクトは内部にイオンポンプセルを搭載していたが、これを排気速度の高いNEGポンプに置き換え、さらにカートリッジ式NEGポンプを別ポートより追加して排気能力を強化した。

⑤B1偏向部ダクト更新

テラヘルツ光実験ライン新設およびFELライン移設に伴い新規に製作した。排気系はB2と同じ仕様とし、テラヘルツ光を効率的に集光させるミラーを配置した。

⑥可変偏光アンジュレーター設置

量子ビーム基盤技術開発のために電子蓄積リングB8-B1長直線部の改造を進めてきたが、2011年9月末に可変偏光アンジュレーターの設置が完了した。同年10月上旬に電子エネルギー600 MeVにてアンジュレーター光の観測に成功した（写真2）。

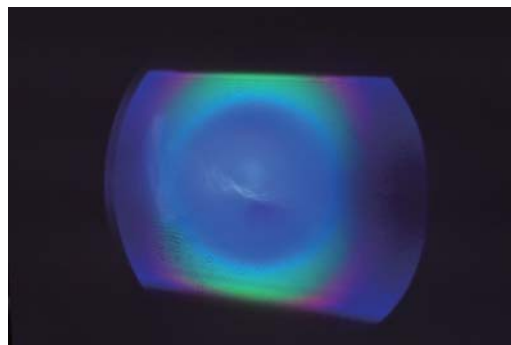


写真2 観測されたアンジュレーター光

量子ビーム基盤技術開発用ライン関連の改造

レーザー光導入用チャンバー設置に伴うBL7Bライン一部改造

現在ストレージリングB8-B1間において量子ビーム基盤技術開発用ラインを建設中であるが、本ビームライン上流からレーザー光を導入するためのチャンバーを設計・製作した（図1参照）。レーザー光導入口付近にはBL7B実験ラインがあり、レーザー光導入口はその実験ラインを跨ぐ必要があり、且つレーザー導入光軸高さが7B実験ラインとほぼ同じため、7B実験ラインとの共用チャンバーが必須となった。そのチャンバーを設置するためには、一度7Bラインの一部を大気開放し、設置後7Bラインを再立ち上げる必要が出てきたため、7Bライン共同利用実験に影響がないように迅速に対応した。

バンチング用電磁石架台設計・製作、バンチング用電磁石設置

量子ビーム基盤技術開発用ラインにおいて、バンチング用電磁石（写真3）の設置が急務となっていたが、2012年1月中旬によく設置を完了した。今回設計・製作および設置した電磁石用架台を図2および写真4、電磁石設置の様子を写真5、電磁石設置後の量子ビーム基盤技術開発用ラインを写真6に示す。2基のアンジュレーター間の距離が553 mmと狭小なため、電磁石架台においては寸法およびアライメント用調整機能を作業性の面から必要最小限にする必要があり、また電磁石架台および電磁石設置、電磁石アライメントや電磁石コイルから電源への配線等の作業においても、放射線遮蔽壁が隣接しているため、作業スペースが一人一人立てる程度の極小スペースしか確保できず、これら設置・アライメント作業はかなり苦労した。

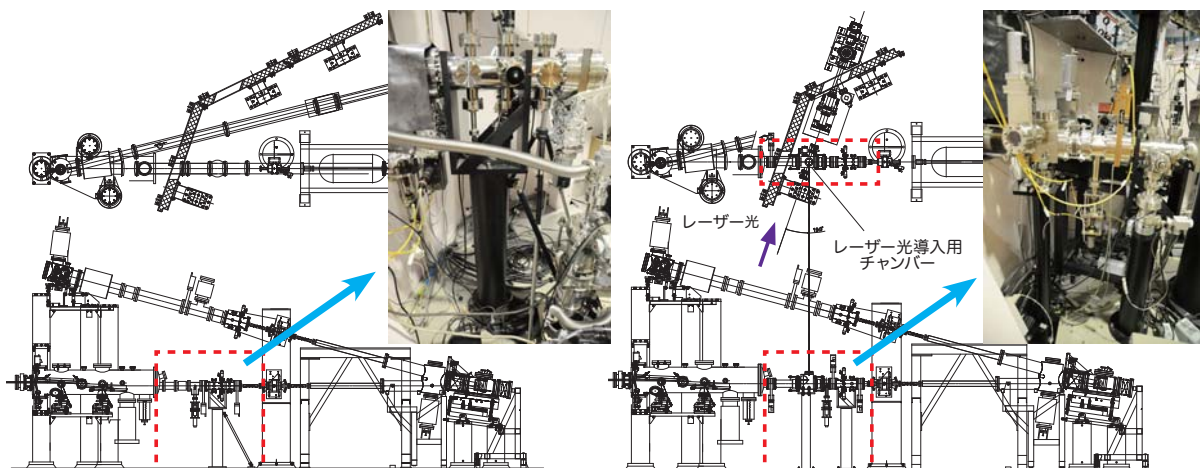


図1 改造前（左）と改造後（右）のBL7Bライン4象限マスク周り

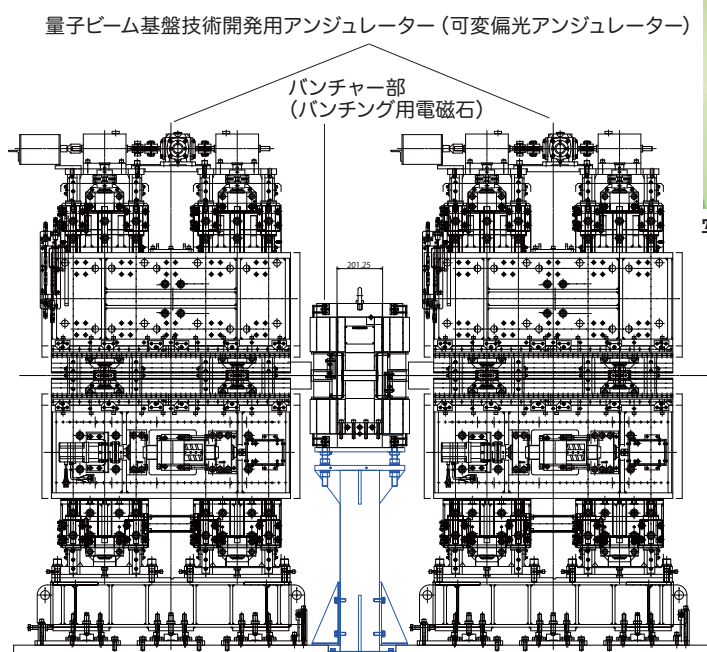


図2 パンチング用電磁石架台設置図



写真3 パンチング用電磁石

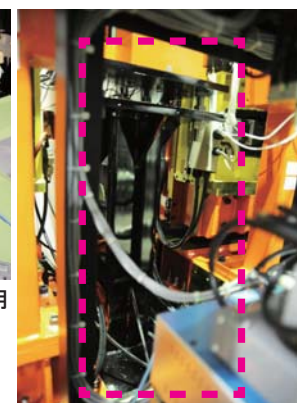


写真4 設置されたパンチング用電磁石架台



写真5 パンチング用電磁石設置の様子

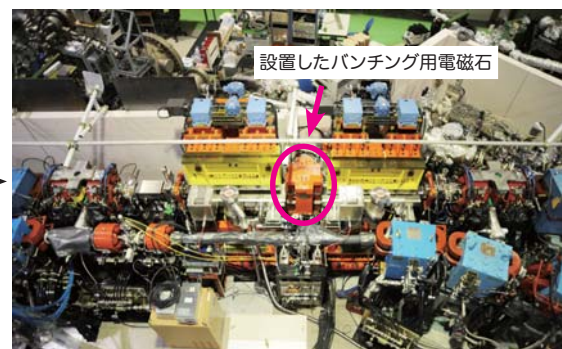
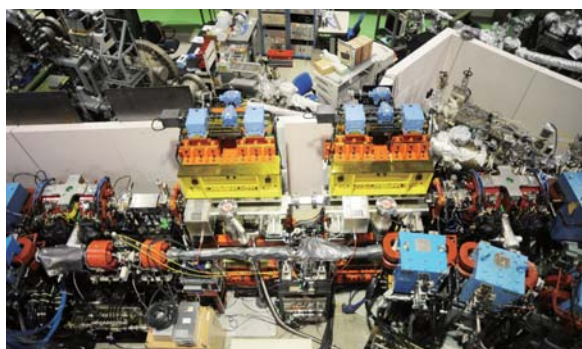


写真6 パンチング用電磁石設置前（右）と設置後（左）の量子ビーム基盤技術開発用ライン

ビームライン移設

中村 永研

極端紫外光技術三係

キーワード：CSR、THz光、マジックミラー、二結晶分光器、直入射分光器

はじめに

量子ビーム基盤技術開発の研究として、UVSORではFEL実験と並行して、CSR発生実験に成功している。ここで発生したCSRの特性の研究とその利用を目的としてTHzビームラインをBL1Bへ新設することとなった。この計画に伴い既存ビームラインの移設も必要となり、BL1Aに設置されていた2結晶分光器をBL2Aへ移設し、BL1Bの瀬谷浪岡型分光器の使用を中止して、新しく直入射分光器をBL3Bへ建設することとした。

BL1B、BL2A並びにBL3Bのビームライン構築は、共同利用実験に影響がでないように1年以上前から設計と製作をすすめ4月～6月初旬のシャットダウン期間に施行するように計画を進めた。

本稿では、各ビームラインの概略とあわせて、技術職員の関わりを紹介する。尚、光技術班員の敬称は省略した。

THzビームライン (BL1B)

ストレージリング内の電子ビームに進行方向に微細構造を作る事により、微細構造に寄与する電子数の二乗に比例する強力なコヒーレント放射光 (CSR) が発生する。CSRは主にテラヘルツ領域 (THz) で発生するため、強力な光源がないTHz領域では、CSRの利用が期待されている。UVSORでは、これまでにストレージリングからのCSRの発生に関する基礎的な開発研究を進めてきた^[1]。その成果を利用するために、CSR専用のビームラインの設置を計画し、平成23年度に建設をした。

ビームラインの上面図を図1に示す。電子ビームの微細構造は、偏向電磁石 (B1) の上流に設置されたアンジュレータ内で、強度変調したTi-Sa laser (繰返し周波数: 1 kHz) を周回する電子ビームに当てることで作り出している^[2]。この場合、得られるCSRはバンド幅1 GHz程度の準単色光であり、1 THz (~ 4 meV) での平均光子密度およびパルス強度は、それぞれ 2×10^{17} ph/s/0.1%b.w., 120 nJ/pulse/0.1%b.w.と見積もられている。B1で

発生したCSRは三次元マジックミラー (M0) で横方向288 mrad、縦方向80 mrad取り込まれ、平面鏡M1でB1チャンバーから取り出される。その後、放物面鏡M2、平面鏡M3によって放射線遮蔽シールド壁の外に導かれる。取り出されたTHz光は、フーリエ干渉計でスペクトル範囲や強度が測定され、低エネルギー励起光源や、分光実験に利用される計画である。

ベンディングダクトの設計は、山崎・中村が担当し、光学設計は木村准教授が担当した。マジックミラーの製作加工は分子研装置開発室の青山技術職員により内作された。ベンディングダクト等の設置作業は、山崎の指揮のもとUVSOR職員による作業で設置した。

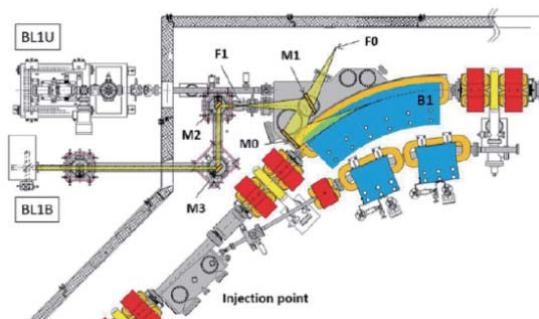


図1 THz-CSRビームライン (BL1B) の上面図

二結晶分光器の移設 (BL2A)

ビームラインを移設する際、光源点までの距離が変わる場合には、前置集光光学系の更新は避けられないが、BL1AからBL2Aへの移設に関しては、距離の変化が175 mmと小さかったため (図3)、前置集光光学系をそのまま移設することとした。

移設後の、サンプル位置でのフォトン数はおおむね同程度であり、また、ビームサイズについては、光源から前置鏡までの距離の伸長の影響は見られず、むしろ若干改善していた。

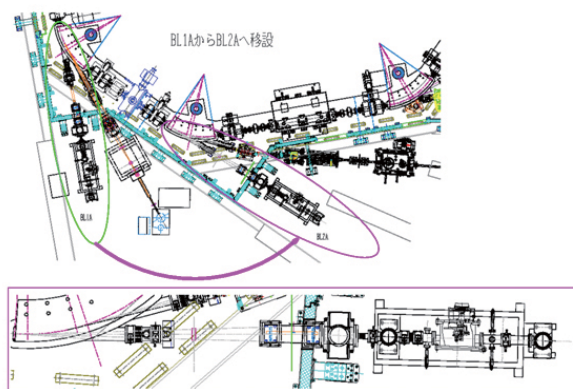


図2 BL1AからBL2Aへの移設

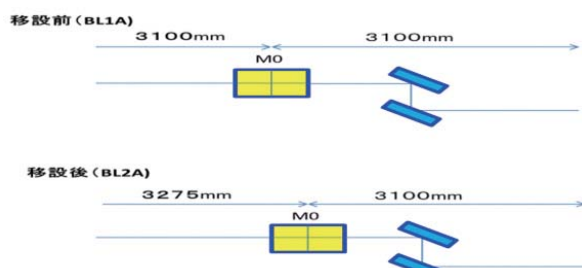


図3 移設前と移設後のミラー配置距離



図4 移設後の二結晶分光器ビームライン

利用者の利便性の向上を目指して、今回の移設作業に合わせて、エネルギー分散型X線検出器、SDD (Silicon Drift Detector) を用いた蛍光測定が出来るように整備を行った。

SDDは、200 eV ～数 KeVまでの蛍光分光測定ができるので、本ビームラインにおける部分蛍光収量測定に有用である。BL2Aの二結晶分光器とSDD測定の同期プログラムも同時に開発し、蛍光スペクトルを光のエネルギーの関数として二次元計測することを可能とした。

この移設作業に際し、光学系のレイトレースは、一般的な光線追跡ソフトであるシャドウを使用して近藤と中村が再計算した。ビームラインの光軸アライメントと分光器の設置に対する精密アライメントは、近藤が中心となり、堀米・蓮本・中村にて遂行した。

SDDの測定プログラム並びに分光器との同期プログラムはJASRI所属の為則氏の協力を得て、近藤が立ち上げた。

直入射分光器の建設 (BL3B)

新しく建設された分光器は、オフプレーンイーグル型球面回折格子分光器 (an off-plane Eagle-type monochromator) を採用している。

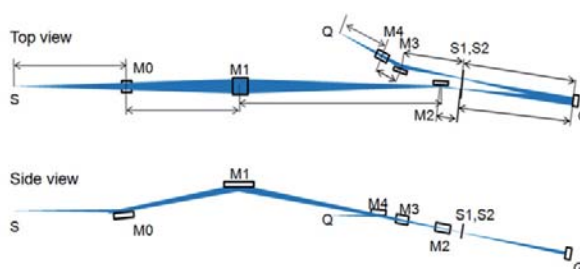


図5 BL3Bの光学配置

分光範囲はこれまでと同等であり、強度と分解能を向上させ偏光度も損なわないことを念頭に光学設計をしている。強度を得るため、偏光電磁石からの光取り込み角を、水平方向40 mrad、縦方向14 mrad取り込む。H23年8月から分光器の調整と性能評価を始め、12月より共同利用を開始している。

使用可能な波長範囲は1.7 eV ～ 50 eV、フォトンフラックスは0.8 ～ 3×10^{10} Photons/s/300mA (@E/dE $\sim$ 1000)、分解能は>10000 (G1@6.9 eV)、>4000 (G3@6.9 eV) であり、サンプル位置でのビームサイズはFWHMで0.5 mm(V) × 0.75 mm(H)である。

このビームラインは、設計から調整までUVSORの共同利用者と協力のもと立ち上げたビームラインである。

光学設計は、福井大学と東北大学が中心となり蓮本・中村が協力した。装置設計には、堀米・蓮本・中村が参画した。建設では、ビームラインの光軸アライメントとベースプレート設置を技術職員が行った。分光器設置には、ミラーの形状誤差を加味したレイトレースを再計算し、現場で最適な光学配置に変更する作業を技術職員が実施した。分光器の性能評価は、蓮本・中村が中心となり福井大学、神戸大学並びに山形大学の共同利用者と測定・評価を行った。

ビームラインの駆動プログラムは全て、酒井が担当し

た。エンコーダーの自動原点検索プログラムなど幾つかの試みを施した新しいプログラムである。



図6 建設直後のBL3Bビームライン

おわりに

今回報告した3つのビームラインについては、平成24年1月の放射光学会にて各発表した。また、ベンディングダクトについては構造解析を含む内容で、平成23年1月の放射光学会にて報告している。

参考文献

- [1] ex. M. Shimada et al., *Phys. Rev. Lett.* **103**, 144802, (2009).
- [2] S. Bielawski et al., *Nat. Phys.* **4**, 390 (2008).

数サイクルレーザー用パルス評価装置の製作

岡野 泰彬

光計測技術係

キーワード：数サイクルレーザー、フェムト秒、パルス評価、自己相関測定、FRAC

はじめに

筆者の所属する分子制御レーザー開発研究センター（レーザーセンター）は光分子科学研究領域と連携して分子科学分野における先端装置・方法論の開発研究を行なうことを目的とした施設である。光技術班の技術職員（光計測技術係）は、センターのミッションである装置・方法論開発を中心に、共通機器の維持管理、蓄積技術を基にした技術・研究協力の3つを核に相互に関連した立場から装置開発業務に取り組んでいる（図1）。

本稿では、センター内のニーズにより製作した装置の一例として、数サイクルレーザー用自己相関計について紹介する。

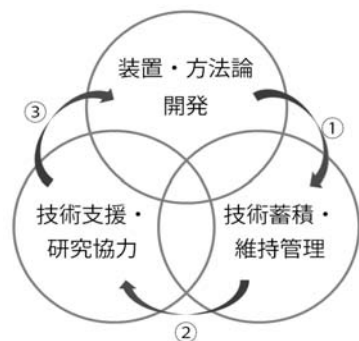


図1 装置開発業務の概要

- ①センター内のニーズによる装置開発と技術蓄積。
- ②蓄積技術を活用した施設内外への研究支援。
- ③研究グループと密に連携した先端装置方法論開発。

製作の背景

分子科学の分野では、物質の診断・制御・機能発現をはじめとして多岐にわたり先端レーザーを用いた研究が行われている。先端レーザーの中でも短パルス性・高強度性を持つものに超短パルスレーザーがあるが、近年の技術発展によりパルス幅が10 fs (10×10^{-15} 秒) を切る最先端のレーザーを市販品として利用することが可能となってきた。このようなレーザー光は、パルス幅内に光の振動電場が数回しかないと数サイクルレーザーとも呼ばれ、短パルス性だけでなく光の振動電場の影響があらわになるなど極限光としても注目されている。最近では本センター内に

おいてもこのような超短パルスレーザーが導入されており、数サイクルレーザーに対応した機器整備の必要性が高まってきた。このような背景の下、機器開発とともに数サイクルレーザー光に対するノウハウの蓄積を目的として、パルス評価装置であるフリンジ分解自己相関計の製作を行った。

超短パルス光の特徴とパルス評価法

超短パルス光は、様々な色の光の重ね合わせ（波長の異なる波の山の部分を重ね合わせることでパルス波形になる）により実現されており、パルス幅の逆数に相当する広いスペクトル帯域をもっている。この広帯域特性のため、ガラスのような分散媒質（波長によって屈折率が異なる媒質）を透過すると、光の色（波長）によって媒質中では光の進む速さが異なるためにパルス幅の広がり（チャープ）が生じる。特に数サイクルレーザーでは、スペクトル幅が100 nmを超えるため、分散の影響が顕著になる。そのため、超短パルス光を扱う上ではミラーをはじめとした光学素子の波長特性と分散特性を考慮した光学系の組み上げが重要となる。

一方、超短パルス光の評価には一般に相関計測が用いられる。これは、フェムト秒のパルス波形を直接計測できる機器が現状では存在せず、超高速の光検出器でも応答速度は高々数10 ps (10×10^{-12} 秒)、最速のストリークカメラでも時間分解能は数100 fs とフェムト秒の時間変動には追従できないためである。現在、レーザーセンターでは共通機器として、相関法を応用した高度なフェムト秒パルス評価装置（FROGやSPIDERと呼ばれる機器）を保有しているが、波長特性および分散特性の点で数サイクルレーザーには適用できない。本報告で取り上げる装置では、相関計測法のうち最も基本的な評価法であるフリンジ分解自己相関法（Fringe-Resolved Autocorrelation: FRAC）を採用し、専用に設計された市販の広帯域低分散素子を用いることで数サイクルレーザーに対応させた。自己相関法は、ビームスプリッターなどにより計測対象のパルスを二つに分岐し自身のコピーとの間の相関信号を得る。FRACでは、一

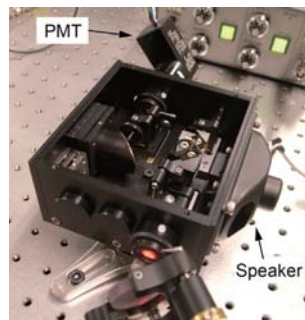
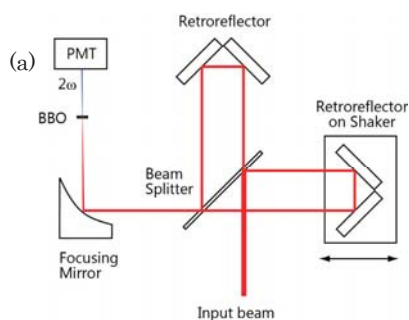


図2 (a) FRAC の原理図、(b) 製作した小型FRAC 装置の外観

方のパルスに光路差をつけ二つのパルスの相対時間をずらしながら非線形媒質上で重ね合わせ二次高調波を測定することで二次の相関信号を取得する。このとき、どのくらいの時間パルス同士の重なりが残っているか測ることでパルス幅やパルス波形を知ることができる。特にFRACの場合、パルス間の干渉信号からパルス幅だけでなく位相情報を反映した信号を得ることができるため、数サイクルレーザーのような超短パルス光の診断に広く用いられている^[1,2]。

次に、製作したFRACの光学配置を図2(a)に示す。装置は大きく分けて干渉計、非線形光学結晶（BBO： β -ホウ酸バリウム）を用いた二次高調波発生系および検出器（PMT：光電子増倍管）の3部から構成される。干渉計の一方の腕にはシェイカー（ここではスピーカー）を配置し、腕の長さを連続的に変化させることで二つのパルスの重なるタイミングを高速でスキャンし制御する。相関信号はオシロスコープなどの機器により記録する^[3]。図2(b)に装置の外観写真を示すが、共用装置としての利用を考慮し、突起部を除く本体を $118 \times 108 \times 57 \text{ mm}^3$ とコンパクトな筐体内に納めた。

超短パルス光の評価例

計測対象のレーザー光は市販の数サイクルレーザーから出射した光であり、そのスペクトルを図3(a)に示す。波長 $650 - 1000 \text{ nm}$ にわたって広帯域なスペクトルを有している。このレーザー光に対し製作したFRACを用いて取得した相関信号を図3(b)に示す（青実線）。横軸はシェイカーの移動量に対応した相対遅延時間である。スペクトルを用いてFRAC信号を解析すると波長成分毎の位相のずれを見積もることができる[図3(a)青破線]。これらの情報からパルス波形を再構築したのが図3(c)青実線である。本測定では見積もられた位相は平坦でなく、再構築された波形には、位相を平坦と仮定した場合の波形（フーリエ限界パルス、黒点線）と比べて、顕著なプレパルスやポストパルス成分が現れている。

このように、計測したFRAC信号をポストプロセスにより解析することで、位相情報を抜き出しパルス波形を評価することが可能である。

おわりに

本報告では、レーザーセンターにおける技術職員の業務の概要を紹介するとともに、装置開発課題の一つである数サイクルレーザー用フリンジ分解自己相関計について紹介した。本装置は、必要に応じて所内へ貸し出しをしており、今年度は総合研究大学院大学の夏の体験入学プログラムにおいても活用されている。また、装置の分散特性や計測に与える影響などについては参考文献[3]にまとめてあ

るので、興味のある方は参照して頂きたい。

謝辞

本装置の製作をすすめるにあたって、装置評価に際し大森賢治教授の支援を受けた。また、FRAC筐体の加工を装置開発室メカトロニクスセクションに、シェイカー制御用の波形発生器およびPMT用電源の製作をエレクトロニクスセクションの豊田朋範氏に依頼した。ここに関係各位に感謝の意を表する。本装置の一部は分子研所長奨励研究費により製作した。

参考文献

- [1] J. M. Diels *et al.*, *Applied Optics* **23**, 1270 (1985).
- [2] F. Träger (Ed.), *Springer Handbook of Lasers and Optics*, (Springer, 2007).
- [3] 岡野泰彬, “超短パルスレーザー用パルス評価モジュールの開発,” 第18回分子科学研究所技術研究会報告集, 5-09 (2012).

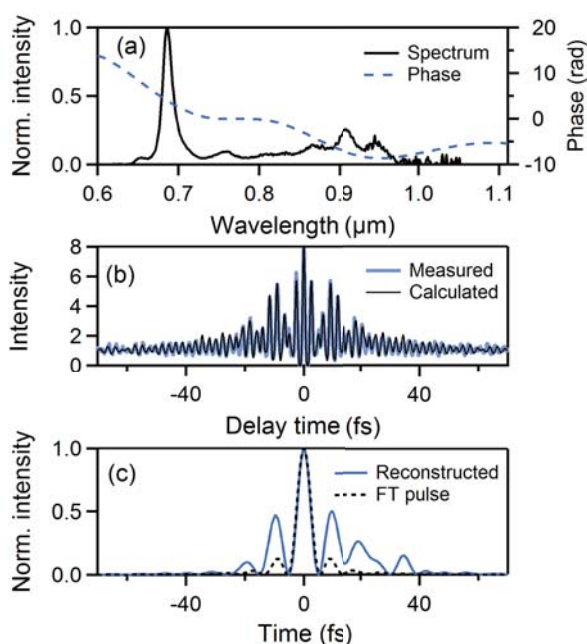


図3 (a) パルス光のスペクトルと(c)のFRAC信号より見積もったスペクトル位相。(b) 計測したFRAC信号と分散を考慮した計算値。(c) スペクトルとスペクトル位相より再構築したパルス波形。

コラム BL3Bにおけるエンコード値・Top-Up表示について

極端紫外光技術三係 酒井 雅弘

BL3Bでは、回折格子の回転角度を測定するロータリーエンコードと回折格子チャンバーの前後駆動の移動量を測定するリニアエンコードが取り付けられている。今回採用されたエンコードシステムには、読み取り値をPCへ出力することができるデジタル表示器はないので、エンコードインターフェイスから直接PCへ取り込み・表示をすることになった。

図1に示すようにエンコードの読み取り値は専用インターフェイスから、A、B、Z相として差動出力される。National Instruments (NI) 社のNI-6608カウンターボードはシングルエンド入力のため、インターフェイス-カウンターボード間に差動→シングルエンド変換器を入れてレベル変換を行った。今回のエンコードは両方ともインクリメントタイプのため、停電復旧などエンコードを初期化するにはエンコード原点（リファレンス）を通過させてカウンター値（エンコード値）をリセットする必要がある。本カウンターボードにはデジタル入出力機能もあるため、原点通過の際パルスが出力されるZ相をデジタル入力にも接続し、デジタル入力による原点通過検知機能も追加した。またマシングループから配信されているTop-Upシグナルもこのデジタル入力に入れ、Top-Up中に一時的に測定（積算）停止を行えるようにした。

図2はBL3B用にLabviewで作成したエンコード値・Top-Up状態表示パネルである。エンコード値の背景色が赤色の場合は正常に原点通過がされていないことを示し、青色の場合は正常に原点通過が行われたことを示している。また入射時には図のように「Top-Up」と赤く光る。これらエンコード値・Top-Up表示はグローバル変数として他のLabviewプログラムでも利用可能となっている。

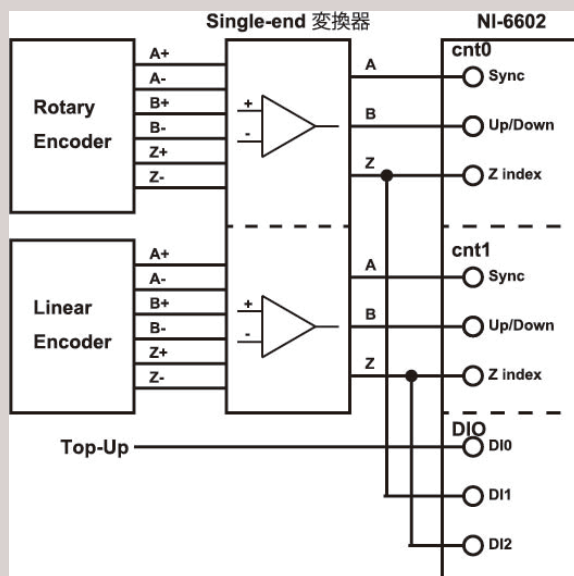


図1 ブロック図

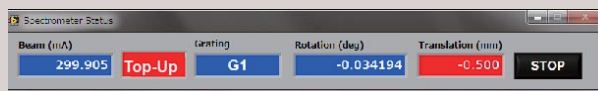


図2 表示パネル

コラム UVSOR高度化のための複合機能型偏向磁石の設計

極端紫外光技術二係 林 憲志

UVSOR施設は2003年に高度化を行い、大幅な低エミッタンス化や挿入光源用直線部の創出などを果たした。その際ビーム収束系のすべての電磁石を更新したが、偏向磁石の更新については、その後の高度化のために残された。現在、新たな高度化が進行中であり、その一部としてさらなる低エミッタンス化のため偏向電磁石（全8台）の更新を行うこととなった。新しい偏向電磁石は複合機能型とし、磁極断面形状によって四極磁場を、ビーム進行方向の両端部の磁極形状によって六極磁場を発生する。新旧偏向電磁石のパラメーターを表1に示す。

磁石形状の現状案を図1、図2に示す。四極磁場はdefocusに選んであるので、軌道外側に向かって磁極間隙が広がる形状となる。六極磁場は、水平方向位置によって磁場有効長が変化するように、放物面状に削り込むことによって発生させる。これらの形状は、端部以外の断面形状は2次元磁場解析コードPoisson、両端部の形状は3次元磁場解析コードOpera等を用いて設計した。2012年春のシャットダウン期間に設置する予定である。

表1 新旧偏向電磁石のパラメーター

	New (Combined Function)	Present
Bending Radius (m)	2.2	2.2
Bending Angle	45deg	45deg
K1 (m^{-1}) (Quadrupole)	-1.2	0
K2 (m^{-2}) (Sextupole)	-2.43 (x2)	0

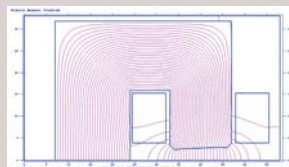


図1 磁極断面形状 (Poisson)



図2 磁極端部形状 (Opera)

400MHz NMR装置 (JEOL ECS400)

中野 路子

機器利用技術二係

キーワード：NMR、スペクトル、PFG

はじめに

NMR装置は、特に合成を行う研究者にとってその構造を確認する手段として不可欠な装置であるが、高価なため各研究室で維持するのは難しく、共同利用が重要な役割を担っている。機器センターでは共同利用装置として400 MHz、500 MHz、600 MHzの3台のNMR装置を管理している。3台それぞれ特徴があり、測定内容によって使い分けをしている。その中で400 MHzのNMR装置は15分程度のルーチン測定を主として ^1H 、 ^{13}C の室温測定に限定した利用をしてきた。所内9グループに利用者があり、1日平均15件程の利用がある、非常に稼働率の高い装置である。そのためLambda400は老朽化が懸念されていたが、平成22年度の予算にて更新されたので、今回は新しい装置ECS400を紹介する。この装置は山手4号館4階のNMR室に設置されている(図1)。



図1 ECS400概観

NMRとは

核磁気共鳴 (NMR:Nuclear Magnetic Resonance) とは磁気モーメントをもつ原子核を含む物質を磁場の中におき、これに共鳴条件を満足する周波数の電磁波を加えたときにおこる共鳴現象である。核磁気共鳴装置はこの共鳴現象を観測することによって、原子の化学的環境を反映し

た原子個々の情報(どの原子とどの原子が隣り合っているか、原子間の距離がどの程度かなど)が得られるので、化合物の分子構造や組成、物理化学的性質を分析する方法として様々な分野で日常的に用いられる。

NMR装置は主にマグネット、プローブ、分光計、制御コンピュータから構成されている。

主な仕様と特徴

(1) マグネット

強力で安定な磁場を作るために超伝導磁石が使われている。今回納入されたマグネットはこれまでのものと異なり、磁気シールドされているために漏洩磁場が非常に少ない。マグネットの中心から1 m地点で0.5 mTである。漏洩磁場が少ないことは、より近くに周辺機器を配置することができるなど多くのメリットがある。

(2) プローブ

プローブは磁石の中心にサンプルを保持するとともに、サンプルに電磁波を与えて、サンプルからの弱い信号を検出する。標準搭載プローブは新設計され、室温プローブとして世界最高感度を実現し、より短時間でSN比がよいデータを得られるようになった。

(3) 分光計

共鳴する電磁波をつくってプローブに送信し、プローブからの信号を受信する。分光計の性能は、得られるスペクトルに大きく影響する。JNM-ECSシリーズは溶液2チャンネル測定に限定した分光計で、固体測定や3チャンネルなどへの拡張性はないが、その分小型化されているため狭いスペースに設置できる。マルチシーケンサ方式を踏襲し、より複雑なパルスを正確に出せるようになったため、非常に多くの測定法を標準搭載している。また以前はオプションだった磁場勾配電源も標準搭載しており、グラジエントシムによる自動分解能調整が使えるようになった。磁場勾配(PFG:Pulse Field Gradient)を使った様々な測定もできるようになり、特に異種核相関測定ではスペクトル

の質が劇的に向上するため、大幅な測定時間短縮が可能となった。

(4)制御コンピュータ

分光計制御/データ処理ソフトウェアDeltaは少し操作に慣れるのには時間が必要だが、非常に多機能である(図2)。また、JEOL USAのホームページからデータ処理用のDeltaを無料でダウンロードできるので、個人のPCで測定データの解析が可能である。Deltaは他機種や他社のNMRデータの処理にも対応している。

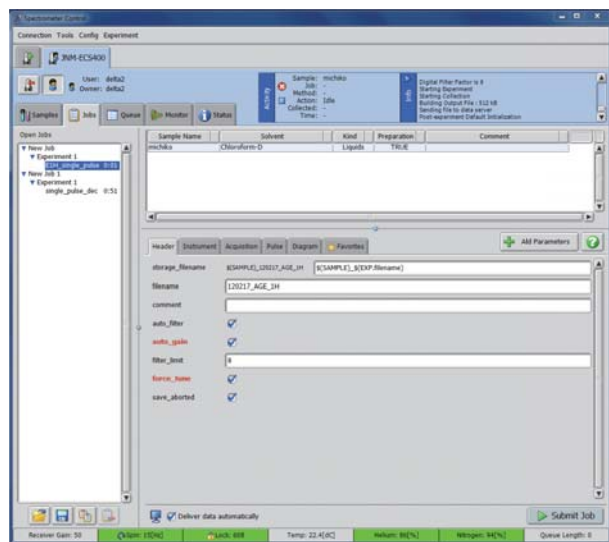


図2 ソフトウェアDelta

■主な仕様

磁場	9.4T
感度 (S/N)	$^1\text{H} \geq 280$ 、 $^{13}\text{C} \geq 190$
プローブ	TH5AT/FG
システム	OS : Windows7、Software : Delta5.0.1

オプション

<Autotuningユニット>

$^1\text{H}/^{19}\text{F}$ および ^{15}N (40 MHz) ~ ^{31}P (162 MHz)の核種の自動チューニングが可能のため、簡単に多核測定ができる。

<低温VTユニット>

液体窒素を利用して-150℃までの低温測定が可能である。液体窒素の入った10Lのメタルデュウとデュウアダプタを接続して、液体窒素を加熱して一定量の窒素ガスを発生させ、プローブヒータで加熱制御することによって目的の温度が得られる(図3)。

測定例

標準サンプル(2% AGE/ CDCl_3)で一般的な測定を行ったので、その結果を下記に示した。

図4は、もっともよく用いられる ^1H の1Dスペクトルである。各ピークの化学シフト、積分比やピークの分裂から構造の情報が得られる。サンプルの濃度に依存するが、たいいては数分の積算で十分である。

^1H の1Dで十分な構造情報が得られない場合、 ^1H - ^1H の相関測定や ^{13}C の1D測定を用いる。図5のCOSY測定はJ結合した ^1H - ^1H 間の相関が得られる測定で、感度はよく、数十分から1時間程度で十分である。一方 ^{13}C は天然存在比が1%であるため、 ^1H に比べて感度が落ちるので、



図3 低温VTユニット

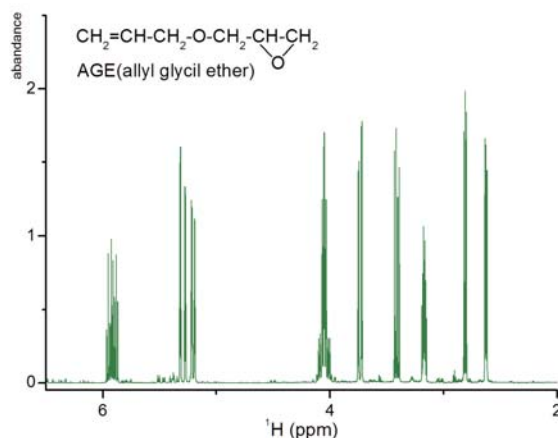


図4 ^1H 1Dスペクトル (積算: 4回、測定時間: 1分)

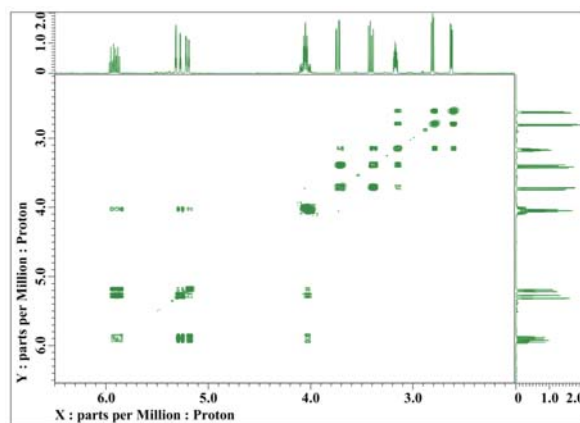


図5 COSYスペクトル
(ポイント: 1024×256、積算: 4回、測定時間: 30分)

十分な感度を得るために overnight 程度積算を必要とするのがふつうである。より多くの情報を得るために、 ^{13}C に結合している ^1H の数で編集できる DEPT 測定も合わせて測定されることが多い。

次にこの装置でお勧めしたいのが、図6の ^1H - ^{13}C HMQC 測定である。これは直接結合している ^1H と ^{13}C の相関が ^1H 観測で得られるため、感度もそれなりによく、 ^1H と ^{13}C の化学シフト値が同時に得られる。ただしこの測定にはパルス磁場勾配が絶大な効果を発揮する。これまでの Lambda400 にはこの機能がなかったために非常にスペクトルの質が悪く実用的ではなかった。Lambda500 には PFG のオプションがあるが、PFG 専用のプローブに交換する必要があるため、この測定のハードルが高いと感じるユーザーも多かった。その点では、プローブ交換することなく測定できるので、気軽に測定できるようになった。ただし、TH5AT プローブは ^1H のコイルが外側にまいてあるタイプであり、 ^1H のコイルが内側に巻いてあるインバースタイプのプローブに比べると ^1H 観測測定の感度や分解能は劣ることを気に留めておいていただきたい。

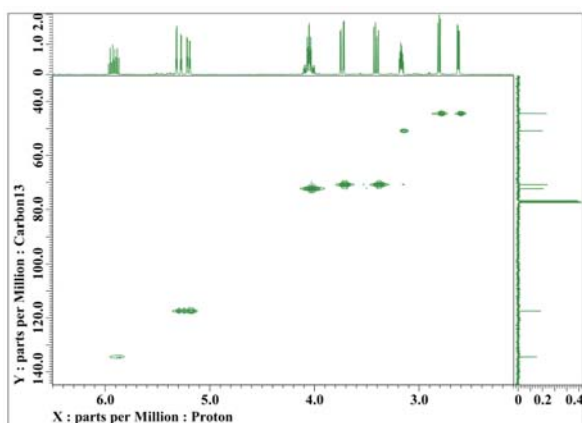


図6 HMQCスペクトル
(ポイント：1024×128、積算：4回、測定時間：35分)

最後に

ECS400は基本測定が簡便にできるのはもちろんだが、今までできなかった測定も簡単にできるようになったので、様々な応用測定にも挑戦していただきたいと思う。多くの研究者、学生の皆さんに活用していただきたい。

電子スピン共鳴装置

藤原 基靖

機器利用技術一係

キーワード：電子スピン共鳴、多重共鳴、時間分解

はじめに

電子スピン共鳴 (Electron Spin Resonance : ESR) とは、静磁場中に置かれた不対電子 (電子スピン) を持つ物質が、マイクロ波を吸収して共鳴を起こす現象です。光 (可視、紫外) を用いて試料固有の振動エネルギーや遷移エネルギーを観測する光分光装置に対し、ESR装置では、電子スピンによって誘起される磁気的なエネルギーを観測しています。試料の形状 (固体、液体、気体) によらず、非破壊で電子スピンの状態を調べることが可能で、有機ラジカルや遷移金属などの物性分野の他にも、材料、放射線線量、酸化還元・触媒反応の分野でも利用されます。

装置の概要

ESR装置は主に、ブリッジ、電磁石、キャビティ、クライオスタット、コンソールから構成されます (図1)。

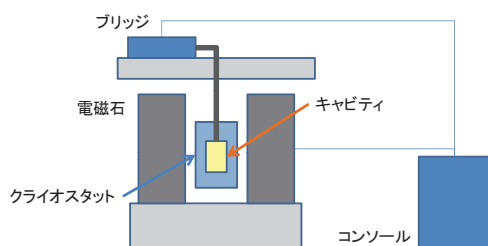


図1 ESR装置の概要

(1)ブリッジ

マイクロ波発振器と検出器を備えます。マイクロ波として9.4 GHz帯 (X-band) がよく利用されます。より高周波の34 GHz帯 (Q-band)、94 GHz帯 (W-band) を用いると、高分解能・高感度で測定出来るようになります。検出には位相敏感検出器や磁場変調方式などを用いて、高感度で測定出来るようになっています。

(2)電磁石

不対電子に磁場を加えてスピン準位を分裂させます。

X-bandやQ-bandでは、1.5 Tまでの磁場を発生出来る電磁石が利用されます。より高周波になると、超伝導磁石も利用されます。

(3)キャビティ

ブリッジから発振されたマイクロ波エネルギーを貯めておく共振器で、X-bandの場合は約3 cm四方の空間です。共鳴条件が満たされるとエネルギーの授受が行われ、シグナルが観測されます。測定に応じて、光照射用やENDOR用など、使い分けが可能です。

(4)クライオスタット

液体窒素や液体ヘリウムなどの気化ガスをヒーターで制御し、極低温から高温までの幅広い温度域での測定が可能です。また液体ヘリウムをポンピングすることで、ヘリウム温度以下の測定も可能です。

測定例

(1)CW-ESR

静磁場中に置かれた電子スピンのエネルギー準位はいくつかに分裂 (ゼーマン分裂) します。一定のマイクロ波 (Continuous Wave : CW) を加えながら、静磁場を掃引した際、電子スピンのエネルギー準位とマイクロ波のエネルギーが等しくなった時に起こるESRを観測します (図2)。この共鳴磁場や吸収強度などから、物質の電子状態や構造情報を得ることが出来ます。

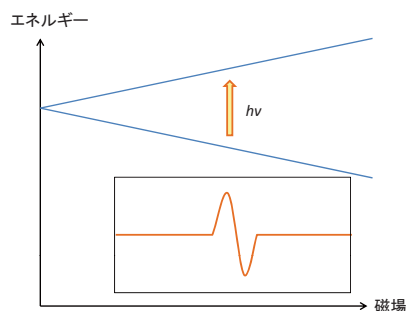


図2 ゼーマン分裂とESRスペクトル

(2) 多重共鳴

多重共鳴とは、複数の磁気共鳴を組み合わせた手法のことで、電子-核二重共鳴 (Electron-Nuclear Double Resonance: ENDOR) や電子-核-核三重共鳴 (TRIPLE) などがあります。電子スピンと核スピンの相互作用がある系では、複雑なスペクトルになったり、複数が重なって一本の広がったスペクトルになることがあります。これらの手法を使うことで、分解能や検出感度が向上したり、新規知見を得ることが可能になります。ENDOR測定では、ESR遷移を誘起するマイクロ波照射に加えて、核スピン遷移を誘起するラジオ波の照射を行います。図3にPNT (perynaphthalene) の測定例を示します。

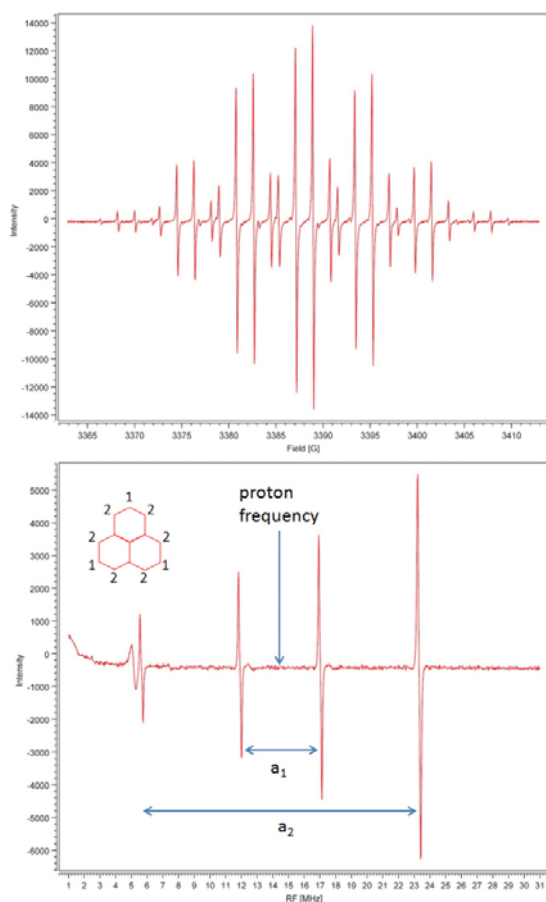


図3 PNTのCW-ESRスペクトル (上) と CW-ENDORスペクトル (下) (T=RT)

(3) 時間分解ESR

時間分解ESR測定は、光照射直後に生じるナノ秒からマイクロ秒領域の短寿命の中間体や反応性の観測に用いられます。CW-ESR装置に、励起させるためのナノ秒パルスレーザー、シグナルを観測・積算するためのデジタルオシロスコープ、これらを同期させるパルスジェネレータを加えることで測定が可能になります。図4にC₆₀の測定例を示します。

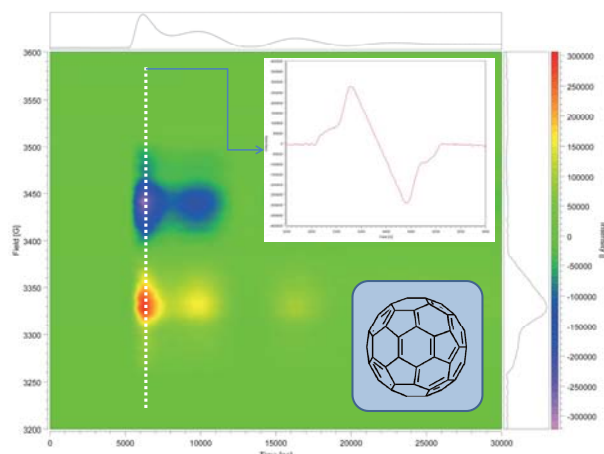


図4 C₆₀の時間分解ESRスペクトル (T=10K)

(4) パルスESR

通常のCW-ESRでは、スピン系を乱さないような弱いマイクロ波を定常的に照射しますが、パルスESRでは、強いマイクロ波をパルス照射してスピン系を倒し、その後の緩和過程・時間変化を観測します。電子スピンの存在や構造などの静的な情報だけでなく、照射するパルス系列を変えることにより、選択的にスピンの動的情報を得ることが出来ます。図5に緩和時間T₂の測定シーケンスを示します。

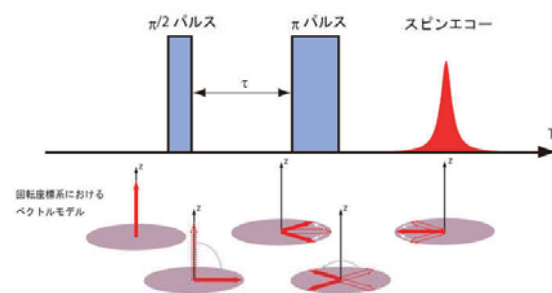


図5 緩和時間T₂測定シーケンス

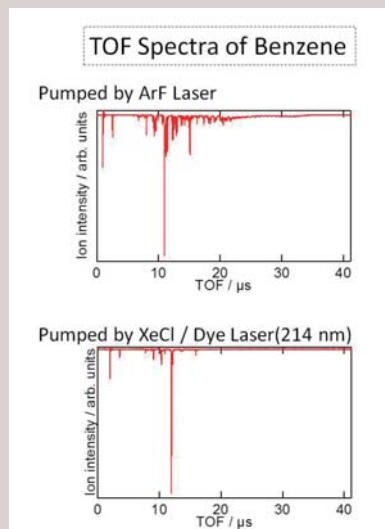
おわりに

機器センターでは、3台のESR装置を所有しており、H22年3月にはQ-bandパルスESR装置、H24年3月にはX-band CW-ENDOR装置が追加されました。これら多くのESR装置およびオプションは所内外に公開されており、全国的にも貴重な施設となっています。今後も、より多様なニーズに対応出来るよう整備していきたいと思えます。

コラム 昭和の香り

機器利用技術班 山中 孝弥

フルークと聞けば少し上等なテスターを連想される方は多くいるだろう。もし高圧電源を思い浮かべられた方がいるなら、昭和に青春時代を過ごされた研究者や技術者の方ではないだろうか。今般、ご縁があってフルークの高圧電源やニキシー管表示の定電圧電源などを占有させて頂く機会を得た。いずれも分子研創設期に旧機器センターの小型貸出機器として所蔵されてきたもので、一定の役割を終えて筆者のところへ還御されたと言っていいくらい崇められた機器であった。2012年の幕開けと同時に、旧知の研究者との実験において、これらの機器を使う機会があったが安定度抜群で左図に示すようにベンゼンのTOFスペクトルを得る活躍をしてくれた。これは正しく「もったいない」を超越した共同利用研究の原点であったと考えている。次の実験が楽しみである。



コラム 超短パルス、ピコ秒波長可変レーザー

機器利用技術二係 上田 正

レーザーの特徴の1つに単色性がある。特に連続発振の場合には、極めて狭い波長幅となり、その波長は多くの場合レーザー媒質によって決まる。これに対し、時間幅の極めて短いパルス光が得られる点もレーザーの重要な特徴である。分光実験における超高速時間分解実験に用いる光源には、時間幅が極めて短く、また波長を選択できるパルスレーザーが要求される。それに答えられる光源として、機器センターではピコ秒 (10^{-12} 秒) の時間幅の波長可変レーザーを所有し、施設利用に供している。最近では、特殊な装置によって100アト秒 (10^{-16} 秒) 領域でレーザー発振が実現されているようであるが、可視光の1周期が1フェムト秒 (10^{-15} 秒) 程であることから、理論限界に迫る技術の進歩には驚かされる。しかしながら、時間幅が短くなればなるほど不確定性原理によって波長幅の広がり避けられないが、ピコ秒領域ではその両者、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が得られるとされている。当センターのピコ秒波長可変レーザーは、再生増幅器内にピコマスクを備えており、パルス幅は自己相関法で測定したところ2～3ピコ秒であった。波長可変領域については、外付けの非線形結晶を取り替えることで、原理的には紫外光 (250 nm ～) から赤外光 (～10500 nm) のレーザー光を発振させることができる性能を有している。また再生増幅器出力のピークパワーは、0.5ギガワット (1ギガ = 10^9) にも達する。

ネットワーク機器の更新および増強

内藤 茂樹

計算科学技術三係

キーワード：ネットワーク、仮想化、100GbE Ether、ファイアーウォール

平成23年度にネットワーク機器のリプレイスおよび新規調達を行いました。今回調達した主な機器は以下の通りです。

サーバ機器

- ・仮想化サーバ: HP Proliant DL580G7
- ・管理運用サーバ: HP Proliant DL380G7
- ・予備サーバ: HP Proliant DL360G7
- ・仮想化ストレージシステム: EMC VNX5300 DPE
- ・バックアップ用ストレージ: DataDomain DD630-12Xi
- ・仮想化ソフトウェア: VMware vSphere5

ネットワーク機器

- ・明大寺地区基幹集線スイッチ: Brocade MLXe-32e
- ・山手地区基幹集線スイッチ: Brocade MLXe-8
- ・支線ノードスイッチ: 日立電線 Apresia 13200-48X
- ・無線LANコントローラ: Aruba6000
- ・無線LANアクセスポイント: Aruba AP-105
- ・ファイアーウォール機器: Palo Alto Networks PA5060



ファイアーウォール機器



新規サーバ群



サーバ用外部ストレージ (HDD)



下記スイッチの100GbEインターフェース

明大寺地区基幹集線スイッチ

今回リプレイスされるネットワークサーバは、上記の仮想化サーバを3台使ってクラスタを組むことにより冗長化を行います。そして仮想化ソフトウェアを使って、その上に各サーバをヴァーチャルマシン (VM) として構築して、その上で各種のサービスを提供します。この仮想化に関しては今までと同じですので、ハードウェアの変更と各ソフトウェアのバージョンアップが今回のリプレイスの主目的になります。ハードウェア自身は、

- ・旧サーバ

CPU : Xeon X5355 × 2 (全 core 数 64 core)

- ・新サーバ

CPU: Xeon E7-4870 × 4 (全 core 数 120 core)

と強化されています。

一方のネットワーク機器に関しては、平成21年度に整備したものの増強となります。増強箇所は、

- ・明大寺地区-山手地区間が100 GbE 化
- ・各フロアスイッチ-基幹スイッチ間が10 GbE 化
- ・全所内的に無線LANを整備

が主な内容になります。このうち無線LANに関しては、今まではUVSORのストレージリング室と、研究棟の201号室、301号室のみでしたが、無線LANアクセスポイントを構内PHS網のアンテナと同程度配置することによって、建屋内のほぼ全ての箇所での無線LANの利用が可能になります。また現在使用しているフロアスイッチの上流に10 GbE対応のスイッチを入れることによって、基幹スイッチとの接続を10 GbE化します。10 GbE対応スイッチと現在のフロアスイッチとの間の接続は1 GbEを束ねることにより、4 Gbpsから8 Gbpsの帯域で接続します。

もっとも変わったのは明大寺地区と山手地区との接続です。今までは山手地区の各建屋(1号館～5号館)ごとに集線スイッチがあり、そこと明大寺地区の基幹スイッチとが10 GbEで接続されていました。今回山手地区に基幹集線スイッチを導入し、各建屋の集線スイッチの上流をそこに集め、明大寺地区の集線スイッチとの間を100GbEで接続しました。10 GbE×5本から100 GbEへですので、大凡2倍の帯域になりました。また使用する光ファイバーの芯数も1/5に減らすことが出来ました。明大寺地区と山手地区の間の光ファイバーは、所謂ダークファイバーを借りているのではなく、中部電力さんに電柱の使用料を支払って自前のファイバーを敷設しています。使用芯数を減らすということは、今後の拡張性や芯の断線時のための予備芯の確保という意味で、ネットワークを運用する上で大きな意味があります。この100 GbEの導入は国内で2例目と言う話であり、メーカーの話では納入実績が世界

で100例ほどと言うことで、現時点では最先端の機器を導入できたと考えております。

ネットワーク機器としてはファイアーウォールもリプレイスしました。今までの機器は基本的にポート単位での設定ですので、同じポート番号を使う通信の区別が出来ません。例えばポート80番は一般的にWWWのhttp通信で使われますが、同じポート番号を使ったP2Pソフトも存在します。従ってWWW閲覧用にポート80番を開けておいたら、P2Pでのファイル交換が行われていた、ということが起こります。今回導入したファイアーウォールはアプリケーション単位での設定が出来ますので、同じポート番号を使っている、許可されたアプリケーションと違うものの通信は遮断されます。ですから同じポート80番でも、httpの設定のみしておけばWWWの閲覧が可能になり、それ以外のP2P等の通信は遮断されます。また通過するパケットと、メーカーから提供されるシグネチャーと呼ばれるパターン・データとを照合し、その通信が悪意あるものかどうかを検出する機能があります。この機能を使えば公開サーバへの外部からの攻撃や、外部のWWWサーバから送られてくるデータに問題があるかどうかを検知することが出来ます。この機能によって公開サーバだけで無く、職員のWWWの閲覧などの外部との通信をより安全にすること可能となります。

スーパーコンピューターの更新

手島 史綱

計算科学技術一係

キーワード：スーパーコンピュータ、超高速分子シミュレータ、消費電力量、vSMP、pNFS、Sandy Bridge

概要

自然科学研究機構 岡崎共通研究施設 計算科学研究センター（以下、センターとする）では、平成21年より超高速分子シミュレータ（以下、スーパーコンピュータとする）の更新手続きを始めました。従来の更新では、調達性能を10倍程度に設定しています。そのまま調達手続きを進めた場合、性能面では問題ないものの消費電力が増大することが明確になり、電気代が増大し無視することができず、調達性能の目標値を下方修正する必要性がでてきます。しかし、今回は目標値を下方修正することなく増える電気代を考量しながら導入することができました。

はじめに

平成21年8月からスーパーコンピュータの調達（更新）検討が始まりました。従来から5年毎に更新するスーパーコンピュータの調達性能は、現有システムの10倍程度を目標（ムーアの法則）に設定にしています。図1は、これ

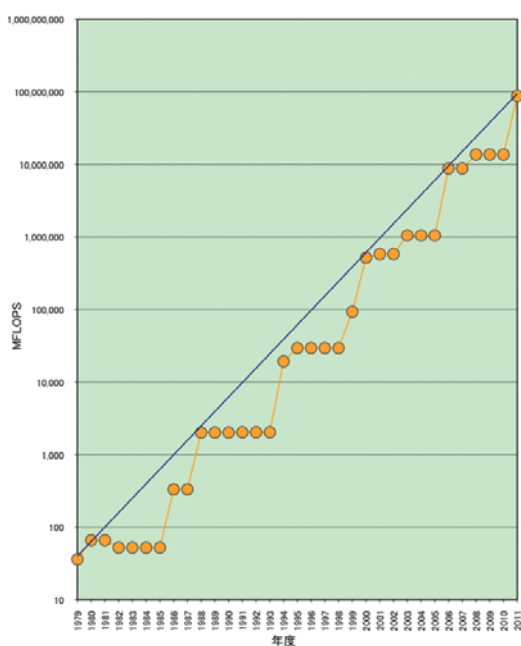


図1 演算性能変遷図

までに調達したスーパーコンピュータの演算性能変遷図です。これまで、概ね10倍以上の性能を有するシステムを調達出来ています。今回も同様な設定でメーカーへの資料提供招請を行い、詳細情報の検討を行いました。その結果、性能では全く問題はありませんが、消費電力量では現有機の3倍を超えてしまうのがほとんどであり、現有機の電気代をからみてその増加分は無視することができません。もし、この超過電気代をシステム借料から賄うことを想定すると、確実に調達性能目標値を下方修正せざる得なくなります。性能を下方修正して調達するか、下方修正することなく目標値のシステムが調達可能な時期まで遅らせるかを検討する事になりました。

調達手続き

図2（グラフ内の赤枠はその次期に導入されていた計算機システム名です。計算機システムの消費電力量は青線です。橙線はグリッド実証研究プロジェクトによって導入されたグリッドコンピュータシステム（平成16年1月から平成21年3月まで稼働です）はセンター設立当初から現行スーパーコンピュータまでの消費電力量の推移を表しています。昭和60年4月頃は、約150 Kwhでしたが、平成6年4月のスーパーコンピュータ更新（NEC SX-3導入）

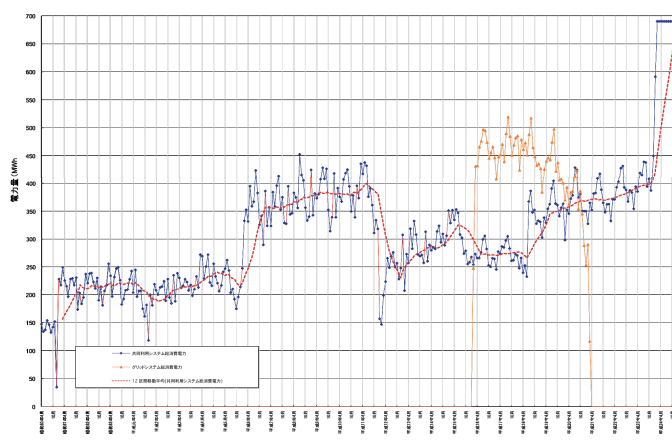


図2 システムと消費電力量

時から消費電力量が約2倍にはね上がっています。これは、この時期に新棟が完成し、主機室の面積が約2倍になり、汎用コンピュータとスーパーコンピュータを各々の主機室に設置（コンピュータ価格が下がり調達出来るシステム構成が大きくなったため）されたためです。今回の調達開始時における現有計算機システムの借料と電気代の割合は、およそ10:1ですので、特に消費電力量については深く考えていませんでした。

調達前のスーパーコンピュータは、富士通 PRIMEQUEST とSGI Altix4700システムです。両システム共、CPUにItanium2(Montecito1.6 GHz)を使用し、各々が640 Core 4 TFLOPS（合計8 TFLOPS）です。このスーパーコンピュータの合計消費電力は192 Kw、発熱量は203 Kwです。今回の調達では、このシステムの12.5倍の100 TFLOPSを目標値に決め資料提供招請を始めましたが、目標値のものを導入するには電気代が3倍以上になることが分かりました。計算機システム借料と電気代の比率が10:3となり、予算的には $13/11=1.182$ 倍に増えないと目標する性能のシステムを導入する事が出来ません。しかし、予算増など見込む事が出来ない現状では、現

状予算での調達となります。両辺を1.182で除算して8.46:2.54（借料:電気代）という割合での調達を考えないといけません。つまり、計算機システムにかけられる予算が現状より84.6%に下げなければいけないことになります。このことから、電気代が無視出来ない状況が認識され、あくまで現予算を超過させないことを重視することになりました。資料を精査したところ、平成24年1月頃になれば、低消費電力の秀でた次世代スーパーコンピュータ「京」の普及機が調達可能であることやIntelのCPUもクロック数は落ちるものの低消費電力のものを調達可能かもしれないことが分かってきました。これらのことから、性能のみでなく、消費電力（電気代）も重要なファクターでありますので低消費電力CPU（それでも電気代は今の1.5から2倍程度増加します）の調達を行うため調達時期を7ヶ月遅らせることにしました。

導入したスーパーコンピュータ

導入したスーパーコンピュータは、図2の通り2つのサブシステムから構成されます。「高速I/O演算サーバシステム」のSGI UV1000システム（図3）は、CPUに

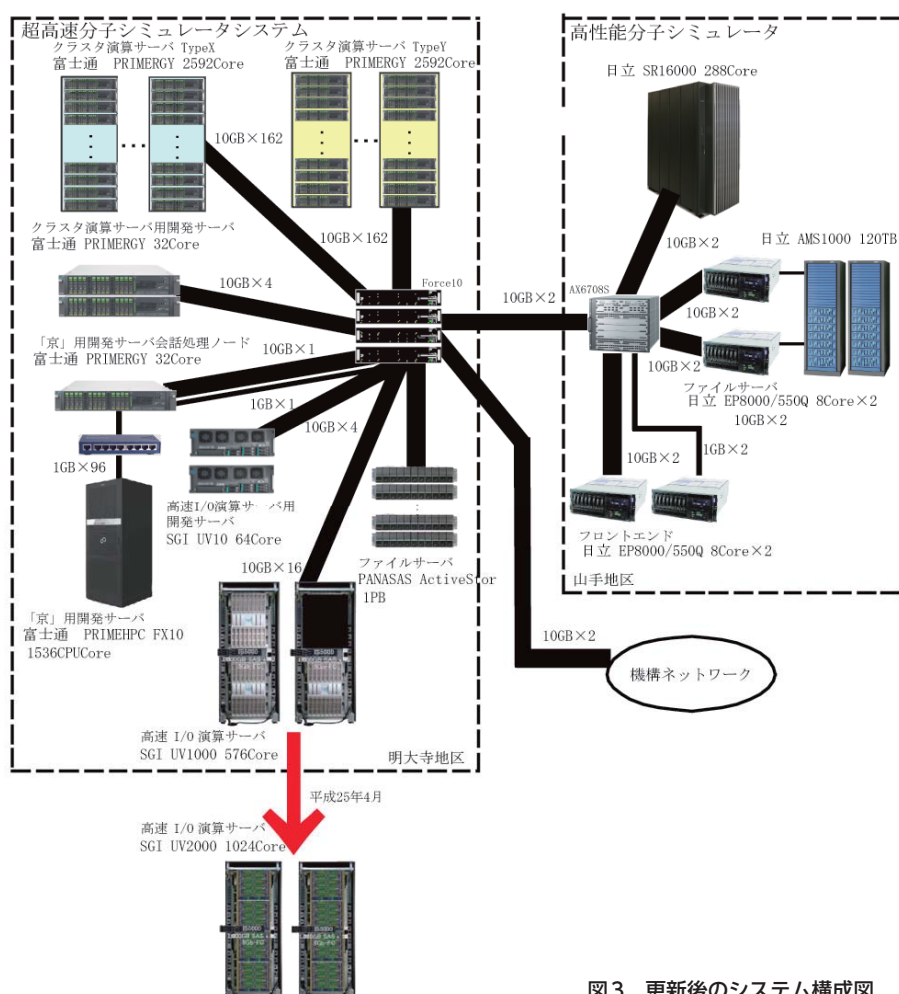


図3 更新後のシステム構成図

Intel Westmere-EX 2.66 MHz (576 Core)、主記憶 9 TB で処理性能は 6 TFLOPS です。特徴としては、I/O 速度が高速 (8 Gbps FC × 16) な /work (SGI IS16000。ディスク容量 400 TB) ディスクや CPU 間が高速インターコネクト接続 (NUMALink5 15 GB/s) の高 SMP 環境が利用可能でジョブの高速化が期待出来ます。このシステムは、約 1 年後の 2013 年 4 月に CPU を Sandy Bridge-EX にした UV2000 システムに更新されます。主記憶は 8 TB とやや減るものの、Core 数を 1,024、処理性能を 20 TFLOPS、インターコネクトを NUMALink6 (53.6 GB/s) と大きく性能アップします。「クラスタ演算サーバシステム」の富士通 PRIMERGY RX300 システム (図 4) は、CPU に Intel Sandy Bridge 2.9 GHz、インタコネクトに InfiniBand を使用した、それぞれ 162 ノード (1 ノード 16 Core 合計 5,184 Core) の 2 タイプです。TypeX は、主記憶 64 GB (1 ノード 4 GB) であり TypeY は、主記憶 128 GB (1 ノード 8 GB) です。TypeY には、vSMP というサーバ仮想化ソフトが導入されています。これは、一般的な仮想化 (単一マシンに複数サーバを構築) とは違い、「複数のサーバを単一の SMP システムに構築」という先進的なものです。この vSMP を使用する事によって、高 SMP 環境が動的に構築する事が出来ます。これらのシステムは、外部ディスク Panasas ActiveStore (1,380 TB) を pNFS マウントして使用しています。このディスクシステムは、ファイルサーバを経由せずにクライアントとストレージが直接パラレルにデータ転送を行う

ものです。通常のファイルサーバに比べデータ転送の高速化が期待できます。この他、次世代スーパーコンピュータ「京」開発用サーバとして、普及機 (市販品) である富士通 PRIMEHPC FX10 が 1 ノード (シングルラックモデル) あります。これは、CPU に富士通 SPARC64 IXfx (1,536 Core)、主記憶 3 TB、処理性能 20 TFLOPS です。理研の次世代スーパーコンピュータ「京」利用を考えている利用者に対してプログラム開発用として提供します。ネットワークスイッチは、Force10 Z9000 で、40 Gbps × 32 ports (10 Gbps × 128 ports で使用) のものです。

最後に

情報を吟味して、電気代を考慮にいれて低消費電力量の CPU システムを組み合わせで調達することによって、CPU 性能目標値の 100 TFLOPS を上回るシステムを導入することができました。気になる消費電力量と発熱量は、消費電力量約 340 Kw と発熱量約 320 Kw であり、現行システムの約 1.8 倍と約 1.6 倍となり、それぞれ 2 倍以内に収まりました。そして、増加する電気代も借料内で納めることができました。



図4 SGI UV1000



図5 PRIMERGY RX300



図6 PRIMEHPC FX10

コラム

ICカードを使うフリーなソフトウェア開発はどこまでできるか？

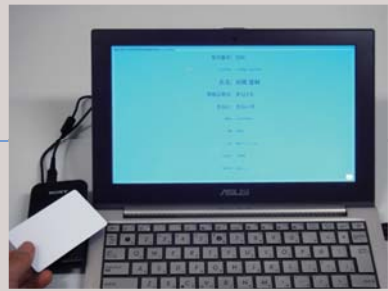
計算科学技術二係 岩橋 建輔

交通カードや電子マネーなどで広く普及したICカードですが、自分で書いたプログラムからICカードを活用できないものなのでしょうか。その答えは「最近になってようやくできるようになってきている」です。どのようなものを揃えれば活用できるようになるのかを次に説明します。

パソコン以外の必要なハードウェアはICカードリーダーライターとICカードです。現在日本で入手できる安価なICカードリーダーライターはSony製PaSoRi（約2,900円）のみです。ICカードは個人所有のFelicaを流用するか、調達コストを考慮してMifare Ultralight（1枚あたり約100円）という種類のICカードを用意します。

ソフトウェアはLinuxとLGPLv3ライセンスの最新のlibnfcを使えば上記のハードウェアでICカードの暗号化されていない情報（カードの識別番号など）を読み取ることができます。ICカードがMifare Ultralightの場合、40バイトのデータを書き込むことが可能です。Felicaの公式開発キットは有料だけでなく法人を代表して契約する必要がありますが、お手軽な開発環境ではありません。

ICカードを実際に使った応用として、技術職員向けの研究会での受付システムを作成しました。受付でICカードをかざすことで、ICカードの識別番号を読み取り、あらかじめ準備していた氏名・所属・支払い状況をパソコンの画面に瞬時に表示されます。この受付システムにより、受付での行列はほとんど発生しませんでした。他の応用としては、研究所の一般公開でスタンプラリーの代替として使えるようにしていきたいと考えています。



コラム

ライブ配信する際の注意点

計算科学技術一係 澤 昌孝

昨年5月に開催された自然科学研究機構技術研究会で、HD品質画像による中継放送をライブ配信（ストリーミング）で行った。中継した際に起きた問題や行った対応などについて紹介する。

中継で重視した点の1つは、講演中のプレゼン内の画像・文字を鮮明に見える状態で配信することがあった。プレゼン画面を高画質で取り込むには、演者PCのミニD-sub15端子などからデータを直接入力する方法が最善である。しかし、演者の交代で入力元のPCが替わると、中継画面が初期化するなどの問題が起きることが事前テストで判明した。PCからの入力が途中で変更しないよう、演者が使用するPCを会場で予め用意したものに限定することを検討したが、プレゼン用ファイルが表示ソフトのバージョン違いなどで正しく表示されない危険性があった。そのため、プレゼン画面はプロジェクトで映っているものをHDカメラで撮影し、これを入力することで対応とした。

また、他に中継で重要なこととして、安定した映像を配信することもあるが、何回かノイズの多い固まった映像を配信してしまった。ストリーミングのエンコード処理は差分圧縮を行っているため、カメラの撮影対象を替えたときなどに入力画面を大きく変化させたことにより、送信PCのエンコード処理が追いつかなくなったからである。撮影対象を替えるときは、広角で撮影するなどして、大きな画面変化を起こさないようにすることで対応とした。

コラム

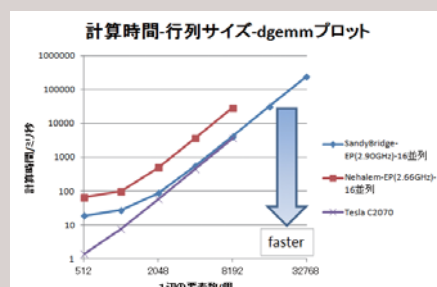
新スパコンとGPGPUにおける行列計算時間の比較調査

計算科学技術二係 長屋 貴量

今年、センターのスパコンがSandyBridgeマシンに更新されたため、行列計算のベンチマークを行った。テスト内容として、Intel CompilerのMKLに含まれる、BLASのsgemm/dgemm関数を利用し、1辺が128～32658要素ある2次元行列の積を計算するプログラムを作成した。この行列計算にかかる時間を100回計測して平均値を求め、昨年度購入/調査したGPGPUマシン（CPU：Nehalem、GPU：NVIDIA Tesla C2070）と比較した。

図は、計算に最も負荷がかかる、倍精度（dgemm）で16thread並列計算した場合のSandyBridgeとNehalem、及びTesla C2070で倍精度の計算を行った場合をプロットしたものである。

その結果、新システムのSandyBridgeは、Nehalemより1桁近く高速であり、さらに行列のサイズが大きくなれば、倍精度計算が高速と謳われたTesla C2070とも引けを取らない結果となった。また新システムならば、GPGPUマシンのメモリに乗り切らない巨大行列でも計算が実行可能であり、SandyBridge + Intel Compilerの計算処理能力の強さや有望性を示す結果となった。



更新されたヘリウム液化機L280について

高山 敬史

低温技術係

キーワード：省エネ、高効率、最新設計

概要

平成21年5月、分子研大寺地区のKOBELCO製ヘリウム液化機が設置後21年目に故障した。その後、概算要求が通り、平成23年11月にLINDE製のヘリウム液化機L280が設置された。円高の影響もあり、既存の装置はほぼ希望通り更新することが出来た。本報告では、変更されたヘリウム液化機およびヘリウム液化システム周辺機器を新旧対比しながら詳細に紹介する。

ヘリウム液化機 LINDE L280

KOBELCO製ヘリウム液化機の能力は液体窒素予冷を用いて、99%以上の不純ガスを使用した内部精製運転において液化率は160 ℓ/hほどであった。それに対してLINDE製のヘリウム液化機L280は、同条件で180 ℓ/h前後の液化能力を有する。純ガス運転に限れば、優に200 ℓ/hを超える。更に、液化能力は落ちるが今までは不可能であった液体窒素予冷無しの運転も可能となり、その能力は約60 ℓ/hである。

その他の特徴として、液化運転の制御システムが格段に使いやすくなったことがあげられる。液体窒素予冷を行うか、あるいは内部精製運転を行うかあらかじめ選択しておけば、パソコン上からボタンのクリックのみで選択した条件のもと液化運転が開始される。これらは、遠隔操作が可能でスマートフォンあるいはタブレット等によりインターネットが使える環境であれば、外部からも運転可能な機能を有する。更に、停止操作も簡便であらかじめ設定したセットポイントにより自動停止ができる。例えば、回収ガスのカードル圧力が低下して内部精製が出来なくなるのを想定するとか、液体ヘリウム貯槽が満量に近づきあふれる事態などを想定して前もって液化運転を自動的に停止するのに役立つ。

純ガスを一時保管するバッファ（中圧）タンクは10 m³を2基、合計20 m³室内に設置して内部精製器が再生モードに入っても、購入ボンベからの純ガスを消費しない設計となっている。内部精製器の制御方法は、台形制御を採用

して精製時はバッファータンクの圧力を最高圧に保持して、精製器内部の圧力差がある程度生じるまで運転を持続する方式を採用した（写真1）。



写真1 ヘリウム液化機L280

液化用圧縮機 KAESER DSDX302

更新したKAESER製スクルー型圧縮機は、運転圧力が1 MPa未満となり高压ガスの対象から外れる。そのため、保安検査が簡素化されランニングコストからの面でも非常に有利である。以前の圧縮機は神戸製鋼所製であったが、モーター出力は410 KWと大きく更新したKAESER製160 KWと比べれば、今の時代にマッチした省エネ型と言える。液化能力が向上したのにもかかわらず、消費電力が1/2以下に抑えられているのは20年の進歩を感じる。

液化用圧縮機は水冷方式を採用するが、今回、冷却システムのシステムも一新した。旧型の冷却塔は、開放式を採用していたが、同時に液化機タービンの冷却も行うことから、今回は密閉型の冷却システムとした。密閉型の利点は、循環する冷却水が外部要因で汚染されることがないのが特徴でメンテナンスも最小で済む。また、冷却水の制御は、液化用圧縮機の運転と連動しているので、その都度電源をON/OFFする手間が省ける。

この圧縮機の特筆すべき点は何と言っても騒音・振動ともに今までの圧縮機とは比較にならないほど全てが低レベルになったことであろう（写真2）。



写真2 液化用圧縮機と油分離器

液体ヘリウム貯槽 WESSINGTON CH4000

今までの3,000 ℓの液体ヘリウム貯槽から4,000 ℓの貯槽へ容量をアップした。液化機からの3重管と超伝導液面計およびトランスファチューブが2本刺さった状態で、蒸発量は0.45%となる。その他、予備のアクセスポート1個が備わっている。貯槽の大きさは、以前使用していた3,000 ℓとほぼ同じでこれまた20年の歩みの中で、断熱性能が格段に良くなったことがうかがえる。

ただ唯一の欠点は、超伝導液面計の出来があまり良くなく液化中の液面計測が不安定となり、常に安定して計測できないことは非常に残念である。

トランスファチューブ

進化したH型のトランスファチューブを2本設置して、同時に2か所で汲み出すことを可能とした。トランスファチューブは一部にフレキシブルチューブを用いて、スムーズに上下に稼働できることで、充填時においてリフター使用の必要性は全く感じない。開閉のバルブは、空気作動弁を使用しており、新たに導入した液体ヘリウム自動供給装置と連動して動作する。供給元の液体ヘリウム貯槽内圧によって左右されるが、供給圧0.02 MPaの時100 ℓを充填するのに要する時間は約20分前後となる。これは、回収ラインの配管径を太くしたことに起因する。

トランスファチューブのヘリウム貯槽内の先端には簡易式逆止弁がねじ込まれていて、オシレーション防止効果があるので、常時トランスファチューブは貯槽にセットした状態である（写真3）。



写真3 液体ヘリウム貯槽とH型トランスファチューブ

中圧ガスドライヤー

撤去する前のドライヤーは高圧タイプで1塔のみの仕様であったため、連続した液化運転には向いていなかった。更新したドライヤーは中圧タイプとなり2塔自動切り替え方式を採用した。このため、長時間の液化運転にも対応でき再生も自動で行われるので、液化の運転スケジュールにドライヤーの運転再生を合わせる必要がない。1塔当たりの除湿可能時間は24時間となる。

ただ、残念なことは塔の再生に窒素ガスを必要とするため、一回の再生運転で液体窒素が250 ℓほど消費することだ。撤去前のドライヤーは再生時に窒素ガスを使用しない仕様であったため、窒素ガスの消費は特に目につく。なお、このドライヤーの再生に要する時間は12時間である。

ヘリウムガス回収用圧縮機 C5N型 50 m³

処理量90 m³のC5U型ブルックハルト製圧縮機は老朽化のために更新を行った。導入した圧縮機は、同じくブルックハルト製の処理量50 m³のC5N型圧縮機で既存のものと同一タイプの型を選択した。タイプを同じ仕様にするにより、消耗品および吸吐弁を他から流用できるメリットがある。これで、C5N型の圧縮機を並列運転の2台体制で運用することとなった。山手地区の回収圧縮機と合わせると同型の圧縮機が4台となる（写真4）。

写真4 回収圧縮機 処理量50 m³

ガスホルダー更新およびガスバッグ導入

ガスホルダーの入れ替えと、ガスバッグの新規導入を行った。ガスホルダーは、老朽化のため同じ容量50 m³のものを作り直すこととなった。ガスホルダーの内部のゴムが亀裂を生じるなど故障した場合を想定して、新たにガスバッグを導入することにした。ガスバッグは以前より空いていた実験室を有効利用して設置されており、容量は41 m³を確保し、材質はヘリウムガス透過率の低いスカイピアの生地を選択した。ガスホルダーとガスバッグはそ

れぞれ独立して運用することで運転制御を簡素化し、非常時である計画停電等に備えてヘリウムガスを同時に回収することもできる（写真5）。



写真5 ガスバッグ 容量41 m³

長尺ガスカードル増設

液体ヘリウム貯槽の容量アップに備えて、長尺ガスカードルの増設を行った。更新されるまでは、75 m³×25本、60 m³×24本の合計3,315 m³だったが、60 m³を12本追加して合計のヘリウムガス貯蔵量を4,035 m³とした。今回、設置スペースが十分に確保できなかったため、既存の回収カードルの上部に積み重ねることで2階建て風に設置した。

回収可能な容量を増やすことにより、液化機が故障してもその修理期間中、ヘリウムガスは余裕を持って回収できるようになった。

最後に

超円高のおかげで、既存の設備を希望通りの仕様で更新することができた。今回更新した設備は、今後20年の寒剤供給の安定した運用を想定して作られている。その間、山手地区の液化供給システムが万が一ダウンしても、より強固なバックアップ体制でそれを補うこともできる。その場合は概算要求が通るまでの間、両地区の寒剤供給という大事な一役を担っていただけたら幸いである。今回、明大寺地区のヘリウム液化機を更新するに当たり、ご尽力いただきました関係者の皆様方に変感謝申し上げます。

赤外・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。赤外反射およびラマン分光法、X線結晶構造解析、磁化率測定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および国際学会 ISCOM2011 で発表され、あるものは論文誌に掲載された。

α' -ET₂IBr₂の強誘電相転移の研究

α -ET₂I₃は電荷秩序に伴って電気分極することが光学第二高調波測定 (SHG) により確認されている。それに対し非常によく似た構造の α' -ET₂IBr₂では200 K付近で半導体-半導体転移を起こすだけでなく、磁化率の測定の結果、200 K付近だけでなく160 K付近にも異常が観測された。この結果と合わせ山本 (分子研) らはSHGの測定と相転移に伴う比熱の異常について検討を行い、IBr₂塩では電気伝導度が変化する200 K付近ではなく、SHGの活性化が確認される160 K付近から強誘電相への転移が起きて結晶学的に等価な分子が不均化されていること、さらに2種類の異なる秩序状態が近いエネルギーで拮抗している電荷フラストレーション効果と逐次的に進行する電荷秩序転移の関係を明らかにした (山本ら、2011年化学会春季年会*。山本ら、2011年ISCOM)。

ET₂ReO₄の電子状態

ET₂ReO₄の低温下の赤外・ラマン測定について比江島 (東工芸大) らと協力研究を行った。この物質がPc~4 kbar、Tc~2 Kで超伝導転移する原因について、低温でのラマンスペクトルで観測された電荷秩序化と電荷ゆらぎの関係から検討した (比江島ら、2011年ISCOM)。

TTF類縁体の振動スペクトル

BEDT-TTFやEDO-TTF誘導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 (京大) らが

B3LYP/6-31G(d,p)法での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 (石川ら、2011年化学会春季年会*。平松ら、2011年ISCOM。石川ら、2011年ISCOM。中野ら、2011年ISCOM。石川ら、2011年分子科学討論会。平松ら、2011年分子科学討論会)。

アルカリ-TCNQ系電荷移動塩のヨウ素吸蔵

持田 (神戸大) らはアルカリ金属ヨウ化物とTCNQの固相反応を適用し、ヨウ素を含む3成分系のTCNQ塩の合成と、ヨウ素の脱着に基づく物性転換の実現を行ってきた。3成分系のCT塩 (M-TCNQ-I) のラマン測定によりTCNQおよびヨウ素の電荷を見積もり、ヨウ素脱着反応における挙動を明らかにした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 π - π 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^{2,3)}。

参考文献

- 1) A. Funabiki et al., J. Mat. Chem., in press
- 2) T. Kubo et al., JACS, **133**, 14240 (2011)
- 3) A. Shimizu et al., Chem. Commun., accepted

* 震災のため中止となったが、予稿集発行を以って発表成立となった。

東海北陸地区国立大学法人等技術職員合同研修 (複合領域コース)におけるKYT講習受講報告

永田 正明 ガラス機器開発技術係 安全衛生管理室（併）

キーワード：KYT、合同研修、出張報告

はじめに

私は11/9～11/11に核融合科学研究所で開催された、東海北陸地区国立大学法人等技術職員合同研修(複合領域コース)に参加しました。1日目は労働基準法、労働安全衛生法を中心に労働安全衛生に関する講義を受講しました。後の2日は中央労働災害防止協会から派遣された講師の指導の下で、KYT講習を受けました。本稿では研修の中心であったKYT講習について報告します。

KYTとは

KYTとは危険予知訓練の略称で、旧国鉄の蒸気機関車の時代に行われた「指さし点検」等が起源であり、中央労働災害防止協会の行うゼロ災害全員参加運動の中核となる訓練です。安全な職場環境を作るために中央労働災害防止協会が昭和48年に「ゼロ災害全員参加運動」を提唱したのを契機として、多くの企業に取り入れられています。

KYTで重要なことは、(1)正解は1つではないこと(2)発生するかもしれない危険とその対処法を話し合うことで危険の存在と回避の方法を共有することの2点です。

KYTの手順

今回のKYT講習では5、6名でチームを編成し、危険予知と対策立案を行う一連の手順を学習しました(写真1)。



写真1 KYT講習の様子

KYTの手順を以下に示します。

第1段階：図1のような作業風景を見て、危険と思われる個所を各自1つ以上指摘し、列挙します。

第2段階：列挙された危険の中で、重要と思われるものを絞り込みます。

第3段階：絞り込んだ危険の回避方法をそれぞれ具体的に挙げます。

第4段階：一定期間、全員で実行するスローガンとして1つを選び、「〇〇する時は△△しよう！ヨシ！」と全員で3回唱和して実行に移します。

第1段階で重要な点は、些細な事でも発言することです。起こる被害を可能な限り想定することで、実際に遭遇した時の対処の仕方が違ってくると思いました。

第2段階では危険の大きさと実行できる対策を話し合い、危険の回避策を共有することが重要です。

第3段階で最適な方法が取れない時は、別の方法を選択することを想定しておきます。

第4段階のスローガンは毎回変わっても良く、スローガンが毎回変わる方が多くの行動目標を正しく実行できますし、他者の作業にも注意喚起できると思います。

一つのテーマのまとめでは各班の代表により作成した

●このイラストを見て考えられる危険をどんどん出し合おう



図1 KYT講習の例題

スローガンと決定までの経緯が発表され(写真2、3)、講師の講評と助言の後スローガンを三唱して次のテーマに取り組みました。現場では実際の業務に着手します。仕事前の雰囲気作りを考えて、緊張を解すために肯定的に、と講師から助言を受けました。

KYTの実例

KYT講習の例題に分子研でよく見かける液体窒素の運搬がありましたので、これを題材としたKYTの実例について順を追って解説します。

まず液体窒素の入ったデュワー瓶を手で持って運搬している様子(図2)を見て、考えられる危険を挙げました(第1段階)。重くて歩き難い、転ぶと窒素で凍傷をする、靴底が滑ると危険、サンダル履きは靴下に窒素がかかる恐れがある、等が挙げられました。

次にそれらの中から特に重要と思われるものとして、「重量物の人力運搬は転倒の危険があること」「液体窒素の漏れによって凍傷を負う危険がある」を選びました(第2段階)。軍手は液体窒素が浸み込むことで凍傷の危険が高まるため素手より危険である、皮手袋の着用が最適である、靴下に窒素がかからないことが重要だから安全靴がなければ運動靴でも良い、等の意見が交わされました。

次にそれらの回避方法を検討し「ベルトでデュワー瓶を固定して台車で運搬する」「安全靴と皮手袋を着用する」を挙げました(第3段階)。必要な保護具、道具の有無について検討があり、スリッパの時はベルトが無くて台車を用いる、皮手袋が無い時は安全靴と素手でも可とするが台車を推奨する、等が挙げられました。

最後にグループの全員で1週間のスローガンとして「液体窒素の運搬時は、ベルトでデュワー瓶を固定して台車で運搬しよう！ヨシ！」と3回唱和して実行することにしました(第4段階)。

まとめ

KYT講習は企業の朝礼や作業前に長く続けられている内容で、最初は恥ずかしさもあり大きな声での指差し点検ができませんでしたが、慣れてくると声も出るし、作業の区切りにメリハリがつくことに気が付き、安全衛生指導などに取り入れていきたいと思いました。

国立大学や研究機関も法人化に伴い労働安全衛生法などの適用対象となり、安全衛生意識の高揚や確立が求められています。講習で学習したKYTの考え方を安全巡視に組み込み、安全な研究環境の構築に寄与していきたいと思っています。



写真2 KYT講習における発表の様子



写真3 講師によるKYTの講評



図2 KYT講習で実例として挙げられた、液体窒素の運搬

去年の3月に発生した東京電力福島第一原発事故によって大量の放射性物質が放出されてから毎日、新聞に各地の空間放射線量が掲載されている。しかし、その数値が正常値の範囲内なのか、正常値よりもどの程度大きいのかを判断するための材料となる科学的データーをほとんどの人は知らないで、大勢の人々が毎日の生活に不安を抱えて、不要なストレスを背負って生活していると思う。そこで職場体験にきた中学生に、人が普段浴びている放射線量(γ線)を実際に測定することによって、放射線に関する正しい知識の一つとして身につけてもらいたいと思って計画した。自然放射線量(γ線)を測定するのに使用した測定器は信頼性の高い国産のもので、HORIBA社製のRadi PA-1000とクリアパルス社製のMr.Gamma A2700を使用した。どちらの測定器も0.01μSv/hに対して毎分10カウント以上の感度があり、1分間の積算値を線量当量に換算して表示している。また、測定する場所の環境によって放射線量が少し異なるので、あらかじめ研究所内のいろいろな場所で測定して、有意な差が見られる場所を数箇所選び出していた。今年度は3回の職場体験を受け入れ中学生に自然放射線量を測定してもらい、表のような計測値(μSv/h)が得られた。測定のばらつきを小さくするために5回測定した平均値を計測値とした。

単位: μSv/h

12月2日は雨が降っていたために屋外での測定が制限されたので、部屋の中央に置いた3Kgの肥料の入った袋の上に測定器を乗せて、肥料に含まれているカリウム40などの放射性同位元素が崩壊する時に発生する放射線の影響を測定した。量販店で肥料が山積みになっている上の放射線量は0.1μSv/hであった。今後は自然放射線量の測定に加えて、空気中のラドンをフィルターで集めて霧箱の中に入れ、ラドンが崩壊する時に放出される

測定した場所	8月5日測定	8月19日測定	12月2日測定
部屋の中央	0.051	0.051	0.056
部屋の壁際	0.067	0.062	0.066
地面の上10cm	0.049	0.049	
地面の上1m	0.045	0.046	
アスファルトの上10cm	0.069	0.069	
アスファルトの上1m	0.063	0.062	
新しいアスファルトの上10cm	0.071	0.075	0.083
古いアスファルトの上10cm	0.058	0.063	0.061
家庭菜園用肥料(3kg)の上			0.071

アルファ線の軌跡を目で見て観察できれば面白いと思うが、どういう方法を用いれば効率よくラドンを採取できるかが課題である。

今年度読んだ原子力発電や放射線に関する本の中で分かりやすく役に立ったと思うものは以下のものである。

原発のうそ(扶桑社新書 小出裕章) 原発はいらない(幻冬舎ルネッサンス 小出裕章)
放射性物質の正体(PHPサイエンス・ワールド 山田克哉) 放射線の話(ワック株式会社 大脳博善)
知っておきたい放射線の基礎知識(サイエンス・アイ新書 齊藤勝裕) X線が拓く科学の世界(サイエンス・アイ新書 平山令明)
「想定外」を想定せよ!(NHK出版 畑村洋太郎) 原発のしくみと放射線(ニュートン別冊) 地震列島と原発(ニュートン別冊)

平成23年11月9日～11日に核融合科学研究所で行われた平成23年度 東海・北陸地区国立大学法人等技術職員合同研修(複合領域コース)に参加した。1日目は核融合研の安全衛生管理室管理者の講義、研修参加者のプレゼンテーション、施設見学を行い、2、3日目は中央労働災害防止協会中部安全衛生サービスセンターの講師によるKYT(危険予知訓練)トレーナー研修会を受講した。KYTトレーナー研修会是指差し呼称のやり方から始まりグループで行うKYT、個人で行うKYT、朝礼・終礼の方法などを学んだ。この研修会は座って講義受ける時間よりも実際に体を動かす実習の時間が多く、理解しやすい講習会だった。

実際の職場において、指差し呼称など作業中に声を出すことは導入が難しいと思われる。KYTは短時間で行うため作業前のミーティング等で導入しやすいと思われる。

これまでも職場の安全対策について考えることはあったが、その場合はまず「対策(結論)ありき」で危険を考えていたように思われる。KYTでは第一に「どのような危険が潜んでいるか」を考えるため、危険に対する意識をより高められると思われる。

KYTをグループ作業前に行えば、安全意識を高めるだけでなくグループの団結も高まり作業効率が良くなる効果も得られると思われる。

またKYTはグループで行う方法だけでなく、少人数や個人で行う方法もある。加えて、作業に関する方法だけでなく健康KY(危険予知)や交通KYTなどもあり、作業員(職員)の総合的な安全対策に有用だと思われる。

この講習で学んだことを生かして常日頃から安全意識を高め、労働災害0(ゼロ)を継続したいと思う。

分子科学研究所技術課 Activity Report 2011

発行年月 平成24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 株式会社コームラ

本誌記載記事の無断転載を禁じます

