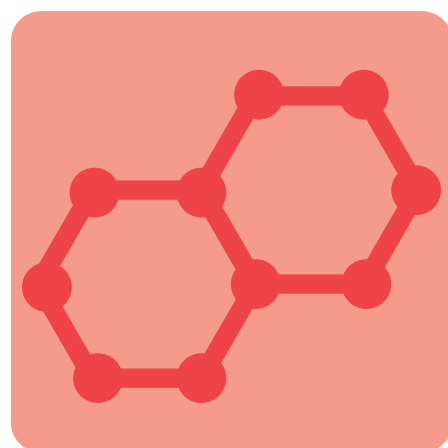
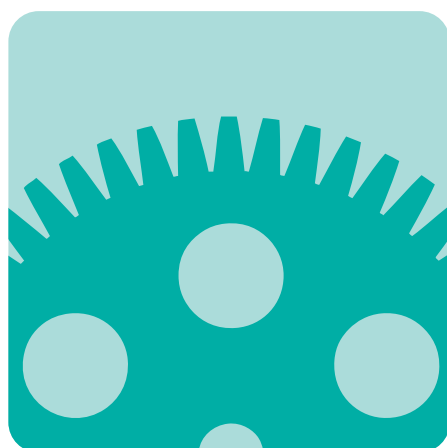
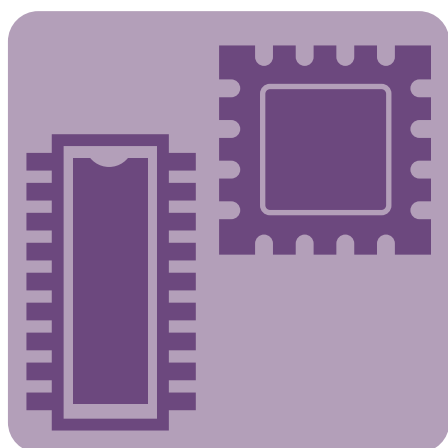


Annual Report 2023



Equipment Development Center

【ミッション】

「研究者にとって一番身近な技術者集団となる」

【ビジョン】

・学ぶ ・挑戦 ・貢献 ・リーダーシップ

【バリュー】

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

アイコンについて

本号では、「技術報告」「トピックス」「特集」に、上記ミッション・ステートメントのバリューに対応するアイコンを付加しました。バリューとアイコンの対応は以下のとおりです。



・・・学ぶ



・・・挑戦



・・・貢献



・・・リーダーシップ

2024年は突然の地震から始まりました。被害にあわれた方々には心よりお見舞い申し上げたいと思います。我が国は世界的に見てもこのような自然災害が多く、日本人のメンタリティの根幹に災害復興への適応があるように感じます。起きたことは起きたこととして受け入れ、黙々と復旧作業をする際の精神的強さは、類まれなものがあるでしょう。

一方で人的な災害に対しても似たような対応をする傾向があり、起きたことに対してあまり強く責任を問わないという場面も見られます。ひとつの決裁に何人ものハンコをそろえて責任を分散する結果、だれの責任が分からなくなると同時に、決定にかかる時間をロスしてスピードで国際競争に勝てなくなる、そんな構図も垣間見えるような気がします。

最近ではガバナンスの考え方が導入され、内部不正などに対しては責任が明確になりつつある面がありますが、今のところは形式先行で、その考え方が根付くにはもう少し時間がかかりそうです。何せ民主主義でさえ、日本では与えられたもの、という感覚が強く、命を賭して守るものであるとの意識は低いように感じます。我々はそれで済んでいることが幸運であることを、より意識していきたいものです。

近年は災害対応も、先手を打つことでだいぶ防災が可能であることが分かってきました。「天災は忘れたことにやってくる」とは寺田寅彦の警句ですが、先人がたゆまず鳴らしてきた警鐘が引き継がれることによって、少しずつ我々の対応法も変わってきているのでしょう。組織運営でも、人災を減らすためには過去の経験から謙虚に学び、先手を打っていくことが大切と感じます。

昨年は長年装置開発室に貢献して頂いた水谷さんが急逝され、装置開発室にとっては大きな損失となりました。一方で宮崎さんが着任され、新たなメカトロニクスのメンバーとして育ちつつあります。本年も装置開発室をよろしくお願いいたします。

2024年1月

山本浩史

目次

| | |
|---------------------|----|
| 構成スタッフ | 1 |
| イベント in 2023 | 2 |
| セクション報告 | 6 |
| 主要設備 | 12 |
| 研究会発表一覧 | 13 |
| 利用者報告 | 15 |
| 申請課題一覧 | 22 |
| 活動レポート | 23 |
| トピックス | 34 |
| 特集 新装置紹介「プリント基板加工機」 | 39 |
| 新人研修レポート | 41 |
| 2023 年 製作品 | 43 |
| 2023 年 工作依頼リスト | 49 |



(前列左から) 水谷伸雄、澤田俊広、近藤聖彦、山本浩史、宮崎芳野、高田紀子
 (後列左から) 木村幸代、木村和典、菅沼光二、菊地拓郎、松尾純一、豊田朋範、稲垣いつ子、石川晶子

装置開発室長 (併任)

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

技術職員

| | | | | |
|---------------|------|-----------------|------|-----------|
| メカトロニクス・セクション | 近藤聖彦 | KONDO, Takuhiko | 主任技師 | 装置開発ユニット長 |
|---------------|------|-----------------|------|-----------|

| | | | | |
|--|------|-----------------|-----|--|
| | 菊地拓郎 | KIKUCHI, Takuro | 技術員 | |
|--|------|-----------------|-----|--|

| | | | | |
|--|------|-------------------|-----|--|
| | 宮崎芳野 | MIYAZAKI, Yoshino | 技術員 | |
|--|------|-------------------|-----|--|

| | | | | |
|----------------|------|------------------|------|--|
| エレクトロニクス・セクション | 豊田朋範 | TOYODA, Tomonori | 主任技師 | |
|----------------|------|------------------|------|--|

| | | | | |
|--|------|-----------------|-------|--|
| | 松尾純一 | MATSUO, Junichi | 主任技術員 | |
|--|------|-----------------|-------|--|

| | | | | |
|--|------|------------------|-----|--|
| | 木村和典 | KIMURA, Kazunori | 技術員 | |
|--|------|------------------|-----|--|

| | | | | |
|--------------|------|----------------|-------|--|
| リソグラフィ・セクション | 高田紀子 | TAKADA, Noriko | 主任技術員 | |
|--------------|------|----------------|-------|--|

| | | | | |
|--|------|-----------------|-----|--|
| | 木村幸代 | KIMURA, Sachiyo | 技術員 | |
|--|------|-----------------|-----|--|

技術支援員

| | | | | |
|--|------|-------------------|--|--|
| | 澤田俊広 | SAWADA, Toshihiro | | |
|--|------|-------------------|--|--|

| | | | | |
|--|------|-----------------|--|--|
| | 石川晶子 | ISHIKAWA, Akiko | | |
|--|------|-----------------|--|--|

| | | | | |
|--|------|-----------------|--|--|
| | 菅沼光二 | SUGANUMA, Kouji | | |
|--|------|-----------------|--|--|

| | | | | |
|--|------|-----------------|--|--|
| | 水谷伸雄 | MIZUTANI, Nobuo | | |
|--|------|-----------------|--|--|

| | | | | |
|-------|-------|-----------------|--|--|
| 事務支援員 | 稲垣いつ子 | INAGAKI, Itsuko | | |
|-------|-------|-----------------|--|--|

1月

29日
～30日 技術交流プログラム(電気通信大学)(菊地) **(記事 34 ページ参照)**

2月

16日
～17日 第45回生理学技術研究会(オンライン)(豊田)

20日 名古屋大学・中部大学の技術職員との交流会(写真1)

28日 出張(東京大学本郷キャンパス)(菊地) **(記事 34 ページ参照)**



写真1：所外からの参加者にクリーンルームを説明する高田氏(左から3人目)

3月

2日
～3日 実験実習技術研究会 2023 広島大学(オンライン)(豊田)

3日 出張(京都大学)(近藤、高田、木村(幸)、石川) **(記事 34 ページ参照)**

8日 第2回東海国立大学機構技術報告会岐阜会場(オンライン)(豊田)

9日
～10日 2022年度分子科学研究所技術研究会(オンライン)(近藤、菊地、豊田、木村(和)、高田、木村(幸)、水谷)



写真2：受講者とプリント基板について討論する豊田氏(左から2人め)

14日 出張(名城大学)(菊地)

16日
～17日 技術職員受入研修：岩手大学・鳥取大学(豊田、松尾、木村(和))(写真2)



写真3：稲垣さんの労をねぎらい、全員で記念撮影

31日 稲垣いつ子氏 定年(写真3)

4月

1日 宮崎芳野氏 採用 (記事 35、41～42 ページ参照)

13日
～14日 愛知県主催スキルアップ講座 (岡崎高等技術専門学校)(松尾) (記事 35 ページ参照)

20日
～21日 愛知県主催スキルアップ講座 (岡崎高等技術専門学校)(松尾) (記事 35 ページ参照)

5月

11日
～12日 愛知県主催スキルアップ講座技術研修 (岡崎高等技術専門学校)(松尾) (記事 35 ページ参照)

18日
～19日 出張 (岩手大学)(豊田)

23日
～26日 第58回真空技術基礎講習会 (大阪産業技術研究所)(菊地、宮崎) (記事 35 ページ参照)

22日 THK 豊田支店技術セミナー (知立市)(近藤)

6月

15日
～16日 愛知県主催スキルアップ講座 (岡崎高等技術専門学校)(松尾) (記事 35 ページ参照)

15日
～16日 リソグラフィ及びクリーンルームの紹介 (高田、木村(幸)、石川)(写真4, 5)

20日
～21日 機械工作安全講習会 (近藤、菊地、宮崎、水谷)(写真6, 7, 8)

22日
～23日 愛知県主催スキルアップ講座 (岡崎高等技術専門学校)(松尾) (記事 35 ページ参照)

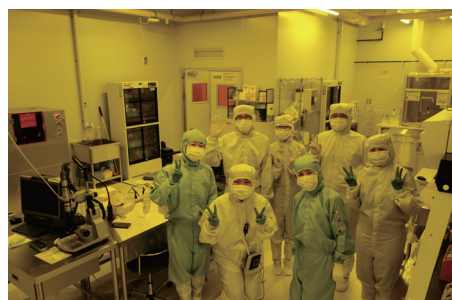


写真4：参加者とスタッフ全員で記念撮影



写真5：参加者に設備を紹介するスタッフ



写真6：参加者に工作工場の説明をする近藤氏(左奥)

イベント in 2023

22日 自然科学研究機構技術研究会(オンライン)
(近藤、宮崎、豊田、木村(和)、高田、木村(幸))
(記事 36 ページ参照)

22日 第35回日本ものづくりワールド(東京)(菊地)
(記事 36 ページ参照)

23日 回路工作講習会(豊田、松尾、木村(和))(写真9, 10)
27日

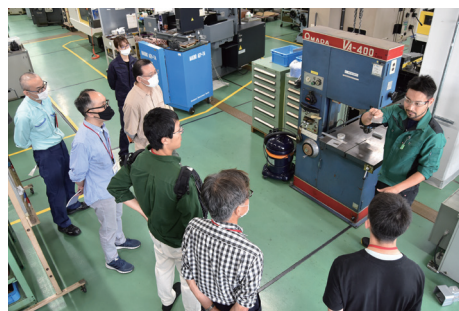


写真7:参加者にバンドソーを説明する菊地氏(右奥)



写真8:参加者にフライス盤の使用
方法を説明する水谷氏

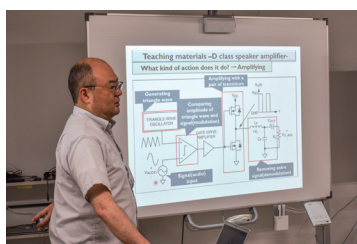


写真9:英語版スライドと英語で回路
を説明する豊田氏



写真10:回路工作に取り組む受講者
を見守る松尾氏(右)と木村和氏(左)

7月

12日 愛知県主催スキルアップ講座
～13日 (岡崎高等技術専門学校)(松尾) **(記事 35 ページ参照)**

26日 技術職員受入研修:名古屋大学
～28日 (豊田、松尾、木村(和))(写真11)



写真11:受講者にプログラミングのコツを
説明する豊田氏(右奥)

8月

27日 令和5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」(名古屋大学)(高田)
～29日

28日 出張(京都)(近藤、松尾、木村(和))

29日 マネジメント研修(名古屋)(近藤) **(記事 36 ページ参照)**
～30日

29日 令和5年度東海北陸地区国立大学法人等
～31日 技術職員合同研修「機械コース」(金沢大学)(宮崎) **(記事 37 ページ参照)**

9月

5日
～8日
2023年度機器・分析技術研究会
(熊本大学黒髪キャンパス)(豊田)
(写真12) (記事37ページ参照)

18日
～21日
出張(大阪大学産業科学研究所)(菊地)
(記事37ページ参照)



写真12：質疑応答で聴講者からの質問に答える豊田氏

10月

3日
出張(名古屋工業大学)(近藤、菊地、宮崎)

11月

12日
～13日
技術スタッフ交流プログラム(Spring-8)(菊地) (記事38ページ参照)

13日
水谷伸雄氏 逝去

12月

5日
出前授業(小豆坂小学校)(菊地、豊田)(写真13, 14) (記事38ページ参照)

5日
第29回静岡大学情報技術研究会(静岡大学浜松キャンパス)(豊田)



写真13：倒立振子の説明のため、箸でバランスを取る実演をする菊地氏



写真14：倒立振子の教材を動かそうとする豊田氏

メカトロニクス・セクション報告

近藤 聖彦

メカトロニクス・セクションは、メカニカルエンジニアリング、デジタルエンジニアリングの技術・技能を有する職員が所属している。これらの技術を活用して、分子科学研究に必要とされる実験機器の設計製作、試作部品の加工、金属部品の形状確認として樹脂製部品の3D造形、樹脂製タンパク質の3D造形、設計過程で重要となる構造、伝熱等に関する解析をおこなっている。さらに、このような技術支援は所内研究者に対してだけでなく、全国の大学および分子科学分野を中心とした研究機関の研究者を対象としている。

「研究者にとって一番身近な技術者集団となる」および「人々のくらしや環境などが持続的に発展する社会の実現」を目指し、技術や知見を活用して研究開発に貢献する研究所のものづくり集団として活動をおこなっている。

1. 製作依頼件数

図1に6年間の所内外の製作依頼件数の推移を示す。2023年1月～12月の機械工作関係の所内依頼は233件で、実験に使用する部品加工の依頼が多い。2020年4月から3Dプリンタ9台を計算科学研究センターから移管し3D造形の依頼受付を開始した。3D造形は、複雑な形状を有し、工作機械で加工が困難な部品の造形に適している。さらに、金属加工と比べて短納期かつ樹脂材料を使用すれば低価格で製作が可能である等の長所があり、試作段階における依頼が多い。今年の3D造形の所内依頼は168件であった。

所内の依頼内容は、1週間以内で完了する部品製作が9割程度、設計製作、試作など開発要素が含まれ、完了までに2週間以上必要な依頼が1割程度であった。

2019年に社会連携研究部門が発足し、所外依頼として扱っている。2020年から民間企業と社会連携研究部門に対して装置開発室有償利用を開始、2021年7月に自然科学研究機構分子科学研究所装置開発室装置製作受託規則(以後、製作受託と記す)が施行され、民間企業と所外公的研究機関の依頼を受付けている。今年の機械と3Dに関する製作受託は4件であった。

製作受託の注意点は、所内外の effort の比重を考慮することが重要となり、事前に製作内容を確認し、分子科学分野の技術的貢献、装置開発室の技術向上等を十分に考慮して引き受けている。

その他、マテリアル先端リサーチインフラで3次元光学プロファイラーシステムの施設利用があった。

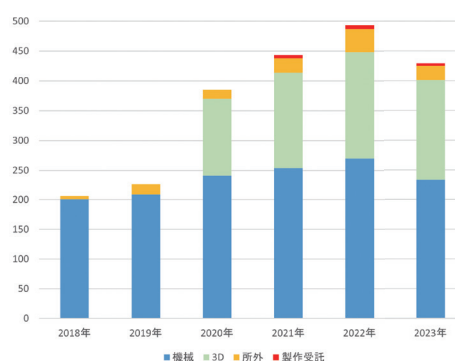


図1：製作依頼件数

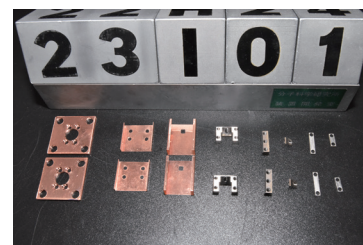


図2：圧力セル部品

2. 主な製作依頼内容

● メカニカルエンジニアリング

主な依頼は、(1) 部品製作：依頼者から提供される部品形状の手書き図面、簡単な絵、要求される仕様を反映して図面を作成後に加工する内容、(2) 装置製作：設計・開発要素を含み部品を組み合わせて製作をおこなう内容の2つに分類できる。

(1) は、放射光施設で使用する真空部品、極低温環境で使用する部品、金属めっきで製作したスキマー等、様々な部品製作があった。近年は小型で薄い加工依頼が増加傾向である。

図2に真空環境の実験で使用する圧力セル部品を示す。このような部品製作については、納期と依頼件数の状況を考慮しながら内作と外作を振り分けている。

(2) は、図3に示すような真空装置で使用するウォブルスティック機構用タッチセンサ、レーザ実験で使用するセル冷却機構、真空または不活性ガス環境で使用する機構、高温加熱炉の水冷ホルダ、レーザ結晶を接合する装置等、力学、熱学、真空、低温、光学に関する高度な知識と技術が必要とする設計製作依頼があった。これらの依頼は、全般に制限された空間内で装置を組み込む設計が多く、設計の自由度が制限されるため、培ってきた経験が役立っている。

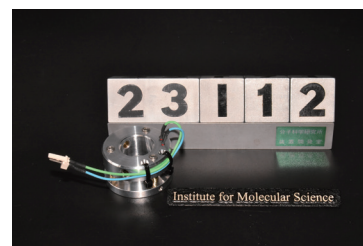


図3：ウォブルスティック機構用タッチセンサ

● デジタルエンジニアリング

近年導入した5軸加工機は3次元の複雑な動作になるため、制御するプログラム作成は難解になる。これをサポートするのにCAMソフト(hyperMILL)を使用している。従来は工具軌跡だけを表示する機能で工具とワークの干渉チェック(図4参照)をおこなっていたが、加工シミュレーションでチェックできるようにアップグレードした。加工シミュレーションは、PC上で5軸加工機の動作を再現し、工具やホルダの干渉チェックのほか、機械干渉やオーバートラベルを正確に検出することが可能である。また、原点からの移動動作や割出動作など、ツールパス以外の早送り動作に関しても検証が可能で、実機での確認作業やエラーは大幅に削減され、安全に加工を行うことができる。

(参照 URL : <https://www.ai-sols.co.jp/products/hypermill/>)

図5にテーパ形状の部品を加工する際の加工開始頃、図6に加工終了頃の加工シミュレーションの画面を示す。図4と比較して加工時の工具とNC円テーブルなどの動作がバーチャル上で視認できるので、5軸加工機で加工をおこなう際、工具の長さが短く、加工ができないなどのエラーを最小にすることが可能になった。図7に加工シミュレーションをおこなったテーパ形状の部品を5軸加工機で実際に加工した時の様子を示す。

タンパク質の3Dモデルを造形する際は、Magicsと呼ばれる3Dデータ編集用ソフトウェアを使用することで、複雑なSTLデータを細かく編集することができ、例えば造形物にマグネットを埋め込むための空間を作成するなどの修正を加えて造形することで、構造体の脱着が容易なタンパク質模型を造形することができる。

タンパク質模型は構造体ごとに色分けするとわかりやすくなるため、フルカラーの造形を希望されることが多く、2021年度に樹脂材料でフルカラー3D造形が可能なプリンタを導入した。カラー造形以外にも透明な模型を造形することができ、空間にボールが浮いているような造形も可能となった。

3. 新人教育

本年度は4月から新人教育を実施した。機械加工の基礎、溶接、測定技術、NC工作機械実習、真空装置組立などを主におこなった。特に真空に関しては、分子研の基礎技術として必要になるので、教育時間を多くした。NC工作機械は理論を学ぶ時間よりも実習時間を多くし、経験値を積むことに主体を置いた。復習を兼ねた5軸加工機の簡易操作マニュアルの作成は実機が自動で加工している時間に並行して進めた。マニュアルを作成することで、複雑な作業工程が理解しやすく、5軸加工機を使用するときのハードルが低下するので、今後の稼働率の向上が期待できる。

10月中旬ごろから工作伝票の依頼を課題として、都度必要となる技術の習得に努めている。特に銅輻射シールドの作製は、NC工作機械に使用する治具の作製、汎用旋盤の生爪の切削など、様々な加工知識が要求されたので、総合的な教育をおこなうことができた。

4. 安全講習会

参加者は10名程度で、6月下旬に2回にわけて実施した。ストック品の持ち出し手続き、工作室の利用手順、材料庫の説明、利用率が高い工作機械(旋盤、フライス盤、ボール盤、コンターマシン、帯鋸盤、シャーリング)の操作と安全について説明(図8)をおこなった。昨年度に実施したワークショップを計画していたが本年度は日程の都合を合わせることが難しく開催を見送った。

5. その他

近年は見学対応が増加している。見学人数の増加は装置開発室をより広く知っていただける良い機会である。B棟2階のショーケース上に電光掲示板を設置し、3Dプリンタで造形した実験装置、5軸加工機で切削した部品など立体的な展示品を多く設置し、写真の展示よりもわかりやすい工夫をおこなった。

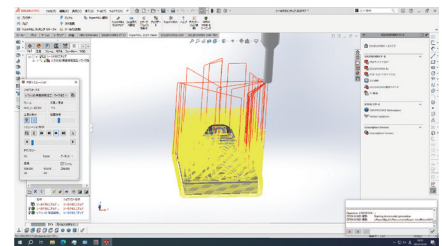


図4：工具軌跡の画面

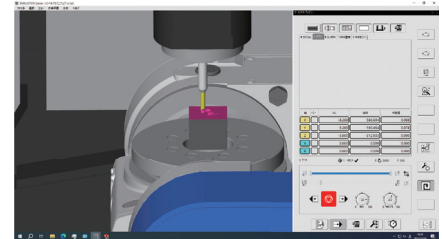


図5：加工シミュレーションの画面
(加工開始頃の様子)

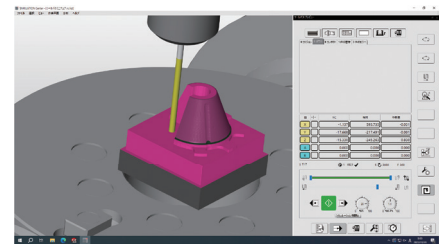


図6：加工シミュレーションの画面
(加工終了頃の様子)



図7：5軸加工機で加工した時の様子

エレクトロニクス・セクション報告

豊田 朋範

1. エレクトロニクス・セクションの基本方針

エレクトロニクス・セクションでは、所内外からの工作依頼を受け、研究者と協力しながら分子科学の先端的研究に必要な実験装置の設計・製作を行っている。

製作する電子回路はアナログ回路からデジタル回路およびそれらの複合回路まで、ソフトウェアはハードウェアに付随したハンドラープログラムから実験に必要な計測・制御のためのアプリケーションに至るまで、広範な回路技術で支援を行っている。

研究者の要求に応えるために、技術職員は日頃から基盤となる回路技術の育成と共に最新デバイスや新しい回路技術の情報収集に心掛け、それらをいつでも応用できるように技術の習得に努めている。特に「エレクトロニクス技術の3本の柱」として、FPGAに代表されるプログラマブルロジックデバイスの製作技術、機器組み込み用マイコンの応用技術、アナログ回路製作技術に重点を置いて取り組んでいる。(図1)

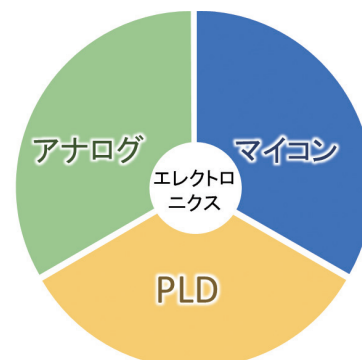


図1：エレクトロニクス技術の3本の柱

2. 工作依頼件数の推移と状況

図2は2004年からの工作依頼件数の推移である。2023年は151件を受注し、昨年(2022年)の110件を大きく上回り過去最多を更新した。大幅な増加の要因としては、(1)実験の進捗や生じた課題に応じた機器開発や改良の増加 (2)過去の成果の展開やリピートの増加 (3)高電圧回路の需要の復活 (4)実験現場で破損あるいは急遽必要になったケーブルの製作や修理の増加の4点が挙げられる。

工作依頼の内訳は、回路やプリント基板・ソフトウェアの設計・製作を伴うものが102件(67.5%)、故障・破損した機器の修理やケーブル製作など突発的・改修的なものが49件(32.5%)である。近年の工作依頼は複合的な技術要素を要するものが多く、技術分野を明確に区分することは難しいため、このように分類した。

依頼元を所内と所外で分類すると、所内が142件(94.0%)、所外(社会連携部門を含む)が9件(6.0%)である。

2023年も製作受託制度やMTA(成果有体物譲渡)制度に基づく工作依頼を断続的に受注した。今後もエレクトロニクス・セクションは、装置開発室や分子研内外において一定の存在感を維持できる見通しである。

近年の特徴として、実験の進捗に応じて仕様を変更しながら製作・改修することや、1件の工作依頼で複数台製作することが増加していることが挙げられる。また、ピン間が狭小な表面実装部品が主流であり、所有するプリント基板加工機では製造が困難、あるいは製造効率が低下する場合は、P板(<https://www.p-ban.com>)やFusion PCB(<https://www.fusionpcb.jp/>)などの基板製造サービスを活用しての対応を進めている。更に、(1)使用頻度が多い回路のモジュール化 (2)Pmodなど著名な共通インターフェース仕様に準拠したプリント基板の設計—という従来から推進する2項目に、(3)機械CADとの連携による筐体配置の検証と最適化 (4)卓上CNCフライスや3Dプリンタを活用したパネルやケース加工の内製—の2項目を加えることで、パネルやケース全体を含めた製作工程の効率化や、複数案件の並行処理を進めている。その結果、工作依頼件数の大幅な増加に対して、完了率は2023/12/31現在で91.4%と高い水準にあり、これらの対策が効果を上げていると見られる。

ここ数年、マイコンやFPGAを使用しない純粋なアナログ回路の比重が高まっている。2023年も、アナログ回路のみで構築する大規模な実験システムや、これまでにない実験装置を開発する工作依頼を複数受注した。マイコンやFPGAが高速化・大規模化し、それらを用いた機械学習が隆盛しているが、信号の検出や増幅、高電圧大電流を扱う実験現場ではアナログ回路が必要不可欠である。引き続き、「3本の柱」の1本であるアナログ回路技術の研鑽に努める所存である。

3. 資格取得

2023年は、松尾が第二種電気工事士試験に合格し、免状を取得した。これにより、分電盤等からの装置設備への配電工事を受注する体制を整備でき、早速複数の工作依頼を受注した(図3)。

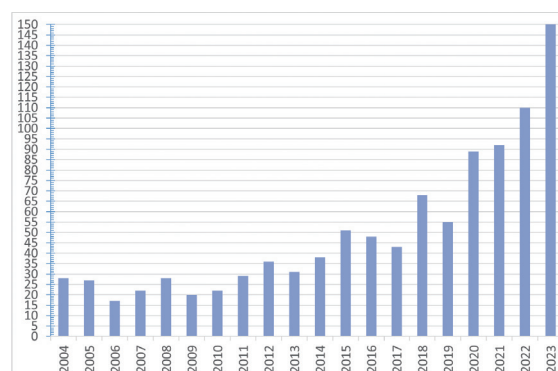


図2：エレクトロニクス・セクションの工作依頼件数の推移

近年、若手研究者が主宰する研究グループや新規の実験設備の立ち上げが多いが、その過程で分電盤等からケーブル長とコンセントの形状を特定して配電する必要が生じることが多い。研究者にとって文字どおりの「実験環境のインフラ」を内製できる時間的・金銭的メリットは大きい。今後もエレクトロニクス関係の資格取得を進めたい。

4. 研究会発表・共同開発・アウトリーチ活動

2023年は10件(共著含む)の研究会発表を行った(関連記事p13)。コロナパンクがようやく収束に向かう中、対面方式もしくはハイブリッド方式の研究会が復活・増加しているが、開催形式に拘らず、成果発表や課題の提案と討論、人と人との繋がりがりやそこからの新しい共同を目指して、各種研究会への積極的な参加と発表を推進している。

岩手大学と共同開発を進めている一斉警報通知防災システムは、昨年に引き続き、出願中だった関連特許1件が査定(認可)された(特許第7341426号)。これにより、関連特許はすべて査定(認可)された。

2023年は引き続き、岩手大学が代表研究機関として、消防庁の令和5年度消防防災科学技術研究推進制度に採択(継続)された。各種研究会や展示会、企業との打ち合わせにおいて低コスト化の要望が非常に多く寄せられたことから、防災システムの中核をなす基本モジュールの改良を行なった。昨年の成果^[1]を踏まえ(1)給電方式を単3電池2本とMicro-USBから選択可能(2)単3電池2本で3年以上連続駆動可能一の2点はそのままに、(3)BLE(Bluetooth Low Energy)の削除と、低コストマイコンの採用で低コスト重視の構成とした(図4)。

改良した基本モジュールを搭載した防災システムのデモ機は、危機管理産業展2023で展示され、好評を得た。改訂した基本モジュールは、C棟クリーンルームなどで稼働中の汎用一斉警報通知システム(WAN-WAN: Wireless Alarm Network for Wide Area Notification)への応用展開に繋がる重要な成果であり、分子研と岩手大学をはじめ、複数の大学・研究機関において実証試験を進めるとともに、ケースを含めた小規模量産を進めている。

2020年より研究力強化戦略室と連携して、中学生を対象とする出前授業に参画している。2023年は、振り子の発展形である倒立振り子を取り入れ、市販の教材の筐体を3Dプリンタで透明なものに置き換えたものを使用し、Pythonによるシミュレーションと合わせて視覚的に分かりやすく、体験を重視した内容とした。生徒の関心は非常に高く、アンケートでも総じて大変好評であった(関連記事p38)。

「理科離れ」が叫ばれて久しいが、教育現場の実態は「多くの生徒は理科、特に実験が好きである」「教員は実験の機会を増やしたい」「実験に向ける予算と時間が少ない」であり^[2]、出前授業前後の対談でも出された重要な課題である。この課題に対し、技術で教育現場に貢献できる余地は数多く存在すると思われる。エレクトロニクスをはじめとする科学技術を分かりやすく伝え、実験を通じて関心を高め、理解を深める教材開発は社会貢献の一環であり、「社会と連携し、外部に開かれた国際的研究組織として活動する」^[3]ことの実践でもありと考える。

5. 参考・引用文献

- [1] 「エレクトロニクス・セクション報告」装置開発室 AnnualReport2022 p8-9
- [2] 「理科嫌い・理科離れに関する研究－児童生徒および教員を対象にした調査をとおして－」山城芳郎、森本寿文、廣瀬友良 https://www.hyogo-c.ed.jp/~kenshu-p-lib/research/108_04.pdf
- [3] 自然科学研究機構 機構憲章 http://www.nins.jp/about/folder2/post_1.html

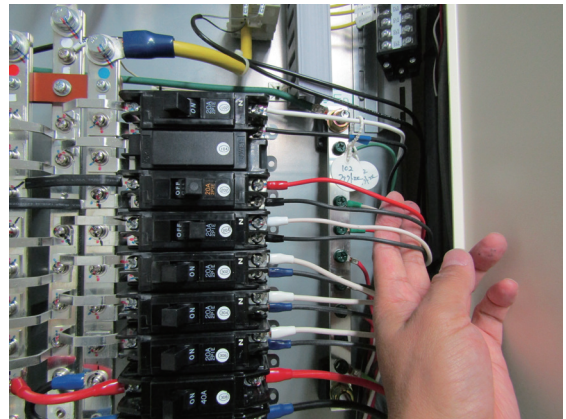


図3：松尾による配電工事の例

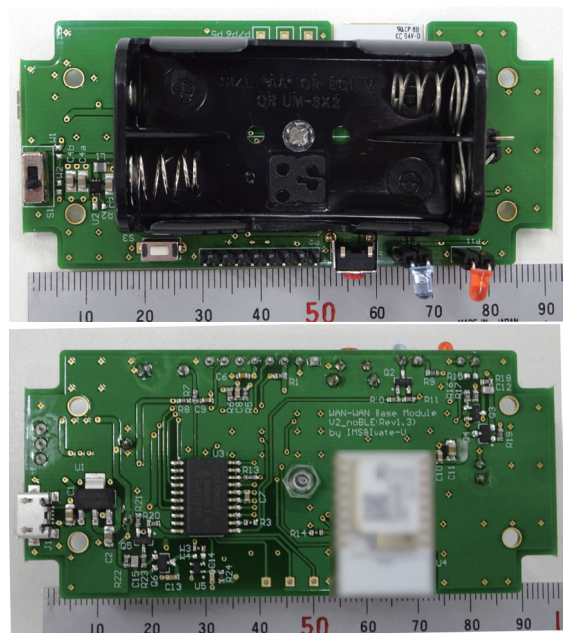


図4：改訂した防災システムの基本モジュール基板サイズや穴位置は前回(2022年)と同一

リソグラフィ・セクション報告

高田 紀子

リソグラフィ・セクションは、主要メンバー3名（技術職員2名、技術支援員1名）で、フォトリソグラフィ、電子ビーム（Electron Beam: EB）リソグラフィをはじめとした微細加工に関する製作依頼や施設利用者への対応、および共用クリーンルームや加工・測定機器の維持管理を主な業務として行っている。

1. 依頼状況

2023年の依頼件数は、フォトリソグラフィが2件、EBリソグラフィが13件、その他（スパッタ成膜、PDMS成型、測定等）が14件の計29件である。過去6年間における依頼件数の推移を図1に示す。

依頼内容に関しては、EB描画装置によるナノレベルのパターニングが増加傾向である。パターンの材質は、これまでと同様Auで製作することが多いが、NiやSi等新たな材質でのパターニングや、新たなレジストの使用等、要望に応じてチャレンジしている。その他にはスパッタ装置の利用も増えてきている。今年にはスパッタ装置の不調が相次いだこともあって、真空計やOリング、ターゲット背部のマグネットユニットの交換（図2）、チャンバー内の清掃やベーキング等、メンテナンスの面でも力を入れ、より安定した状態で装置を利用できるよう努めている。フォトリソグラフィに関しては、「製作依頼」という形ではなく、ユーザー自身が作業を行う「施設利用」での利用の方が多かった。

所外からの施設利用の件数は計4件あり、そのうち新規の利用機関が1件あった。新規の施設利用者に対しては、クリーンルームの利用方法に加え、製作したいものに合わせた各装置の操作手順や製作プロセス等についてレクチャーを行っている。

新規の依頼者やユーザーが徐々に増えてきたことも嬉しい点である。年に1回、所内向けに開催している「リソグラフィおよびクリーンルームの紹介」が一つきっかけになっていると考えている。

2. 新規装置の立ち上げと加工プロセスの拡大

新規装置の立ち上げや、既存の装置における加工プロセスの拡大にも少しずつ取り組んでいる。今年、他研究グループより譲渡いただいた蒸着装置の立ち上げと、リアクティブイオンエッチング（RIE）装置へのプロセスガスの増設を行った。蒸着装置に関しては、ターボ分子ポンプを新たに取付けたり、必要なガスや冷却水の配管を整備したりして、蒸着源としてAuを蒸着できるところまで確認した（図3）。RIE装置に関しては、これまでのO₂ガスに加えCF₄ガスでもエッチングができるように、廃ガス除害装置やHFガス検知器の設置を行った。CF₄ガスの導入により、SiやSiO₂のドライエッチングが可能となり、製作の幅が大きく広がった（関連記事p32～33）。

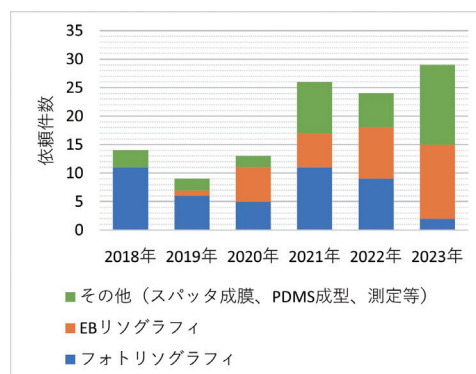


図1：製作依頼件数の推移

(主なイベント)

2018年：EB描画装置の新規導入

2019年：EB描画装置での依頼対応開始

2019-2020年：クリーンルームの移設

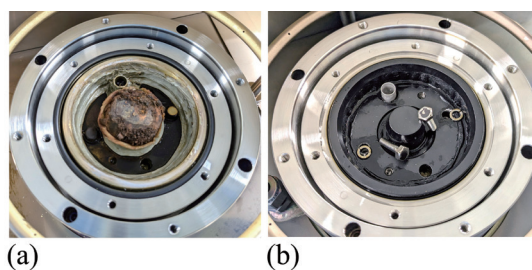


図2：マグネットユニットの交換

(a) 旧マグネットユニット：経年劣化によりコーティングが剥がれ、マグネット部分に錆が析出している。

(b) 新マグネットユニット



図3：蒸着装置の立ち上げ

(a) ターボ分子ポンプの取り付け作業

(b) Au蒸着源を加熱している様子

(c) Au蒸着後のガラス基板

3. ユーザーへの対応

ユーザーへの対応に関しては、「新規ユーザーに対する運用方法の確立」と「海外からの研究者や留学生を想定した操作手順書等の英語版の作成」を進めている。前者については、まず始めに、クリーンルームへの入室手順や利用するにあたっての注意事項を伝え、クリーンルームに入室するためのカードの登録を行うようにしている。どのユーザーに対しても分かりやすく、そして漏れなく情報を伝えることができるよう、入室の流れやルールを示す動画(図4)や、安全面やクリーン度の維持という点からの注意事項をまとめた説明原稿の作成を行っている。後者に関しては、主な装置における操作手順書や、現地のラベルや貼紙等の英語化を進めている。

Paper that cannot be brought in 持ち込みできない紙類



クリーンルーム専用紙以外の紙類は持ち込めません
Paper other than cleanroom paper cannot be brought in.

図4：クリーンルームへの入室動画の例

4. セミナー受講・研究会発表等

【セミナーや講習会の受講】

- ・情報機構セミナー「スパッタリング薄膜の膜質制御・装置管理とトラブル対策」受講(高田、木村(幸))
- ・令和5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「化学物質のリスクアセスメントの進め方等」受講(高田)
- ・大学連携研究設備ネットワーク講習会「技術職員のための英語研修(スピーキング)」受講(高田)

【研究会等での発表】

- ・2022年度分子科学研究所技術研究会「Pt電極を用いたPDMS流路の製作」口頭発表(木村(幸))
- ・大学連携研究設備ネットワーク講習会「分子研のクリーンルーム～維持管理の実例を紹介～」口頭発表(高田)

主要設備

メカトロニクス・セクション

工作機械

| 種別 | 形式 |
|-----------|--------------------------------|
| 精密旋盤 | RBL-50 (理研製鋼) |
| 普通旋盤 | LR-55A (ワシノ機械) |
| | LEOG-80A (ワシノ機械) |
| | LS 450 × 550 (大隅鐵工所) |
| | TAL-460 (滝澤鐵工所) |
| NC 旋盤 | SUPER QUICK TURN 100MY (Mazak) |
| ボール盤 | TYPE DD-4300 (日立工機) |
| | KID-420 (KIRA) |
| | NRD-340 (KIRA) |
| フライス盤 | KSAP (牧野フライス) |
| | VHR-SD (静岡鐵工所) |
| | RUM-5 (碌々産業) |
| NC フライス盤 | BN5-85A6 (牧野フライス) |
| | SBV400 (遠州工業) |
| | AEV-74 (牧野フライス) |
| ワイヤ放電加工機 | α-C400iB (FANUC) |
| 形彫放電加工機 | A35R (Sodick) |
| 切断機 | ファインカット HS-100 (平和テクニカ) |
| 抵抗溶接機 | NRW-100A (日本アビオニクス) |
| ノコ盤 | HB-200 (フナソー) |
| コンターマシン | VA-400 (AMADA) |
| シャーリング | SHS3 (コマツ産機) |
| ダイヤモンド | VW-55 型 (LUXO) |
| カッティングマシン | UT-3 (三和ダイヤモンド工業) |

測定機

| 種別 | 形式 |
|--------------|-------------------------|
| 電子顕微鏡 | VE-8800 (KEYENCE) |
| 測定顕微鏡 | STM6 (オリンパス) |
| マイクロスコープ | VHX-1000 (KEYENCE) |
| 非接触三次元測定装置 | NH-3SP (三鷹光器) |
| 表面粗さ計 | SURFTTEST SV-400 (ミツトヨ) |
| 三次元光学プロファイラー | ZYGO Nexview |
| 段差計 | KLA-Tencor P7 |

設計・解析

| 種別 | 形式 |
|--------|-------------------------------|
| 2D CAD | Advance CAD (伊藤忠テクノソリューションズ) |
| 3D CAD | SolidWorks (ソリッドワークス) |
| CAM | hyperMill (Aiソリューションズ) |
| CAE | ANSYS DesignSpace (アンシス・ジャパン) |

3D プリント

| 種別 | 形式 |
|---------------------|--------------------------|
| FDM 型 3D プリント | CreatorPro (FLASHFORGE) |
| | Pro2 (RAISE3D) |
| | Guider2 (FLASHFORGE) |
| | L-DEVO (フュージョンテクノロジー) |
| SLA 型 3D プリント | Form2 (formlabs) |
| バインダー・ジェット型 3D プリント | ZPrinter450 (3D Systems) |

エレクトロニクス・セクション

計測器

| 種別 | 形式 |
|--------------------------------|---------------------|
| デジタルオシロスコープ | 6200A (LeCroy) |
| | 354 (LeCroy) |
| | TDS2014 (Tektronix) |
| | DS-5354 (IWATSU) |
| | DS-5624A (IWATSU) |
| ミックスドシグナルオシロスコープ | MSO2024 (Tektronix) |
| ロジックアナライザ | TLA5201 (Tektronix) |
| ネットワーク / スペクトラム / インピーダンスアナライザ | 4396B (Agilent) |
| データロガー | GL900 (GRAPHTEC) |
| マルチメータ | 2001 (Keithley) |

計測器

| 種別 | 形式 |
|---------------|------------------------------------|
| エレクトロメータ | 6513 (Keithley) |
| LCR メータ | ZM2353 (NF) |
| ユニバーサルカウンタ | 53132A (Agilent) |
| ファンクションジェネレータ | AFG3251 (Tektronix) |
| | AFG1062 (Tektronix) |
| パルスジェネレータ | Model8600 (Tabor Electronics Ltd.) |
| 直流電源・電流モニタ | 6243 (ADCMT) |

加工機

| 種別 | 形式 |
|---------------|-------------------------------|
| プリント基板加工機 | A427 (Accurate CNC) |
| 卓上 NC フライス加工機 | KitMill SR200 (ORIGINAL MIND) |
| レーザーマーカ | LP-GS051-L (Panasonic) |

リソグラフィ・セクション

| 種別 | 形式 |
|------------|-----------------------------|
| スピナー | MS-A100 (ミカサ) |
| | MS-B100 (ミカサ) |
| マスクアライナー | MA-10 (ミカサ) |
| プラズマクリーナー | PDC-32G (HARRICK PLASMA) |
| | PDC-001-HP (HARRICK PLASMA) |
| | PR200 (ヤマト科学) |
| 精密手動スクライバー | SC-100 (ムサシノ電子) |

| | |
|------------------|------------------------------|
| 超純水製造装置 | アリウムプロ UV-DI (ザルトリウス) |
| | PURELAB Flex3 (ELGA) |
| マスク露光装置 | DL-1000 (ナノシステムソリューションズ) |
| 小型 2 源 RF スパッタ装置 | デボダウン式 RSP-4-RF3x2 (クライオバック) |
| 電子ビーム描画装置 | ELS-G100 (エリオニクス) |
| 結晶基板切断機 | ファインクリスタルカッターⅢ (クリスタルベース) |
| リアクティブイオンエッチング装置 | RIE-10NR (サムコ) |

2023年 研究会発表一覧

| 研究会等名称 | 発表項目 | 発表者氏名 |
|---|---|--|
| 第18回労働安全衛生に関する情報交換会 2023年1月26日 | 既存装置をDX化しあらゆる警報をスマホ等に通知するシステムの開発 (口頭発表) | ○千葉寿 古舘守通 藤崎聡美 庄司愛子 玉木俊昭 稲角直也 戸所泰人 島崎秀行 須恵耕二 木村和典 豊田朋範 |
| 第45回生理学技術研究会 2023年2月16日～2月17日 | 汎用一斉通知システム(WAN-WAN)を用いた分子研クリーンルームの環境構築・維持(口頭発表) | ○豊田朋範 千葉寿 木村和典 古舘守通 藤崎聡美 松尾純一 |
| 実験・実習技術研究会 2023広島大学 2023年3月2日～3月3日 | 広範囲温度測定ユニットの開発及び抵抗温度依存性測定キットへの展開と事例(口頭発表) | ○豊田朋範 千葉寿 木村和典 古舘守通 藤崎聡美 片柳英樹 原田美幸 |
| 第2回東海国立大学機構 技術発表会岐阜大会 2023年3月8日 | AFM信号分配・増幅器の開発ー研究現場の課題と研究者との協同ー(口頭発表) | ○豊田朋範 千葉寿 木村和典 古舘守通 藤崎聡美 |
| 2022年度分子科学研究所 技術研究会 2023年3月9日～3月10日 | FFU制御ユニットの開発と課題(口頭発表) | ○豊田朋範 千葉寿 木村和典 古舘守通 藤崎聡美 松尾純一 |
| | 電鋳技術を用いた製作事例(口頭発表) | ○菊地拓郎 |
| | Pt電極を用いたPDMS流路の製作(口頭発表) | ○木村幸代 |
| | あらゆる既存装置をDX化!さまざまな警報をスマホに通知する(口頭発表) | ○千葉寿 古舘守通 藤崎聡美 庄司愛子 玉木俊昭 稲角直也 戸所泰人 島崎秀行 須恵耕二 木村和典 豊田朋範 |

2023年 研究会発表一覧

| | | |
|--|--|--|
| 設備ネットワーク講習会 「クリーンルーム維持・管理 情報交換会」 2023年6月28日 | 分子研のクリーンルーム～維持管理の実例を紹介～(口頭発表) | ○高田紀子 |
| 2023年度機器・分析技術研 究会 2023年9月7日～9月8日 | 広範囲温度測定ユニットの開発とWAN-WANへの適用(口頭発表) | ○豊田朋範 千葉寿 古館守通 藤崎聡美 松尾純一 木村和典 |
| | 分析機器のエラー店頭検出器の開発～汎用警報システムWAN-WANを用 いた遠隔管理の取り組み～(ポスター発表) | ○河尻直幸 横野瑞希 水田敏史 千葉寿 豊田朋範 古館守通 藤崎聡美 |
| | 実験装置の振動を検出する警報通知システムの開発(口頭発表) | ○庄司愛子 千葉寿 古館守通 藤崎聡美 豊田朋範 |
| 第29回静岡大学技術報告会 2023年12月25日 | K型熱電対を用いた広範囲温度測定ユニットの開発 | ○豊田朋範 千葉寿 古館守通 藤崎聡美 松尾純一 木村和典 |

新任放射光施設職員の基礎工作研修 - 旋盤・フライス他 -

分子科学研究所 清水康平

1. はじめに

筆者は2023年4月1日付で分子科学研究所の技術職員として採用された。配属先は放射光施設 UVSOR を担当する光技術ユニットである。放射光施設は、真空中を進む電子が磁場によって曲げられるときに放出（シンクロトン放射）する、高輝度かつ広帯域な光を利用者へ提供することを使命とする。したがって、その運営に携わる職員は、真空、加速器・ビーム物理、光学の知識を備えていることが望ましい。そのうえ現場では、クレーンの操縦から機器の通信・制御、情報処理、電気設備や電子部品・回路の取り扱い、機械加工、CAD による設計やシミュレーションまでさまざまな技術がときに求められる。筆者はこれまで超高真空装置を用いた物性研究に従事しており、真空および測定機器を利用してはいたものの、電気工事や電子工作、プログラミングなどの経験は多くなかったため、各種技能の習得が課題となった。

とりわけ、機械加工についてはまったくの未経験であった。施設においては、利用者のリクエストや作業現場で求められる治具・部品を（しばしば応急的に）調達するため工作機械を用いる場面がある。また、ビームラインや加速器の真空系・光学系の立ち上げや改造にもなって部品や装置の設計をすることもままあり、そのとき切削や溶接といった加工法の知識がなければ、およそ加工ができない、もしくは難しい図面を描いてしまい、加工者の負担やコストの増加につながりかねない。

そこで、装置開発室へも新入職員として宮崎芳野氏が加わるタイミングであったことを契機に、筆者もその新人研修に参加させていただく形で工作の基礎の基礎を学習した。

2. 旋盤による切削加工研修

2023年5月10日から12日にかけて、水谷伸雄氏の指導のもと、汎用旋盤による切削加工の方法を学んだ。講習はまず内部構造を知ることから始まり、どのように変速やブレーキが実現されるのか、ギアボックス内をじかに見て理解することができた。つぎに、ブレーキや一見大量にあるハンドルの操作、速度と送りの調整など動かすための最低限の知識を教わり、実際に動かしてアルミ合金 A5056 の丸棒を切削した。

ようやくとりあえず金属を削ることができたら、次は寸法どおり削ることを習う。バイトの高さ出しを行い、被切削物をセンターで支え、目盛りを意識しつつ送りハンドルを一定の速度で回せるよう訓練する。課題はM12のおねじ・めねじであった（図1、金属板上に載っているもの。ねじ切りはタップ・ダイスによる）。刃を進める距離・方向・順番を考え、面取りや突っ切りバイトによる切断を教わったうえで完成した2つの部品は、めねじの面取りがやや大きすぎたせいもあるが、座面まで締めることができた。

銅・ステンレス・真鍮を加工し、材質による注意点を体得するカリキュラムも予定されていたが、進捗上時間が不足したため受講できなかった。やはりハンドルを思いどおり動かすことは難しく、また一歩誤れば大変な事故になる工作機械を扱うのは、器用でない人間にとってはとくに神経のすり減る作業であった。しかしそのため、さほど器用でなくとも規定の操作によって一定程度精密に金属を切り出せる機械加工の強力をかえって実感することになった。



図1：旋盤研修で製作したM12ねじと、フライス研修で製作したペン立て付メモスタンド

3. フライス盤による切削加工研修

2023年6月5日・6日の2日間の研修では、汎用フライス盤およびボール盤、コンターマシン、シャーリングマシンによる加工について水谷氏に教授いただいた。旋盤と同様、チャックやハンドルの取り扱いから、エンドミルを動かすべき方向、ゼロ点の決定などを習い、図面にしたがって加工を施した。エンドミルとドリルが形成する穴の違いも、実際に切削して確認した。

最終的に、図1に示すようなペン立て付メモスタンドが完成した。ペン立て部分の4面の平面切削と側面切削、およびペン立て穴やザグリの加工はエンドミルで行い、ねじの下穴はドリルで開けている。メモを置く金属板の切り出しにシャーリングマシン、ペン立て部の母材からの粗い切り出しにコンターマシンを用いた。



図 2：水谷氏によるボール盤講習



図 3：近藤氏による表面性状評価講習

4. 研修全体に関して

旋盤やフライス盤などによる切削加工のほか、TIG 溶接、Zygo 社製 NexView や三鷹光器製 NH-3SP による表面性状評価についての研修にも参加させていただいた。

水谷氏には単に機械や工具の操作法を教わるのみでなく、金属製品を設計する際の注意点、一般的に装置を扱うにあたってのポイントなど、加工以外の業務にも役立つアドバイスを数限りなく与えていただいた。あまりに多かったため、書き留めきれなかったことが無念である。実際、筆者の業務ではみずから加工する場合は精度をさほど必要としないことも多く、設計まで行った品を外注することも往々にしてある。依頼に応じた精度で日常的に加工をこなさなければならない機械工作のエキスパートとはやや事情が異なるところ、さまざまなことを教えてくださり非常にありがたかった。また、工作に馴染みのない筆者に対し、どのようにすれば工作機械、加工物、さらには自分を傷つけずに、次の人が安心して作業できるかといった心得についても懇切丁寧に教えていただいた。このような心構えは一朝一夕に身に着くものではなく、また工作を行うことがあるにしてもたいの研究室では熟練者から親身に教わることが難しいものであり、貴重であった。

5. 実践

筆者の部署では日常的に工作機械を使用するわけではないため、研修の際には可能な限り写真を残し、教わったこととあわせてノートや PowerPoint のスライドにまとめるよう努めた。

フライス盤の研修を終えて 2 か月後、ビームラインの利用者から部品のリクエストがあり、習作として適しているのではないかと筆者に案件が回ってきた。外径 152 mm のドーナツ状のアルミ円板に、ICF152 のフランジの穴と対応する位置に $\phi 5$ の貫通穴を開けたものを作ってほしい、というのが依頼であった。実際は 1 か所おきに穴を開けた既存のパーツがすでにあり、そこへ追加工してもよかったのだが、パーツが 1 点ものであること、材料費も高くないことから、ノートを見て旋盤の操作方法を復習しつつ新規に作ることを検討した。

ところが、単純な形状に反して、入門者がこれを新しく作るのは困難であった。単純に工程を考えると、板を多角形に切り出したあと外周を真円に整え、続いて中ぐりバイトを使って内径切削をすることになる。多角形の切削やボーリングどころか、まずチャックの爪を交換するところからはじめなければならない。手順を一から教わって加工を行う時間は当時なかったため、やむなく既存パーツへの追加工とし、フライス盤で座標を頼りにして 8 つの穴を開け、面取りを行った。加工を主な業務としてはいないが、利用者や業務上のニーズに応えるにあたり、はるかに多くのステップが待ち構えていることを知る経験となった。



図 4：キリ穴を追加工(左から 2 番目・4 番目)したアルミ円板

6. おわりに

研修を通して、基礎的な金属加工法を学習したのはもとより、身の回りにある軸対称や方形の部品がどのように加工されているかに関する感覚を涵養することができた。このことは将来、業務上加工のみならず設計を行うにおいても少なからず有用であると期待している。

研修の受講にあたっては、ここまで述べてきたとおり故・水谷伸雄氏に大変お世話になった。また、表面性状評価についてご教授くださり、異部署からの新人研修への参加を許可いただいた近藤聖彦ユニット長、本来の研修時間の割り当てを分けていただき、ともに研修を受けてくださった宮崎芳野氏に対し、ここに御礼申し上げたい。

同時計測可能な水分解光触媒反応活性評価とオペランド分光装置の開発

分子科学研究所 電子構造部門 林 仲秋

太陽光を活用して水を分解し、水素を生成する光触媒水分解反応は、持続可能な社会への転換を促進するための重要な技術である。この反応は光触媒表面で進行するため、効率的な反応場を設計するためには、界面水分子の水素結合ネットワークに関する理解が求められている。電子構造部門では、このような「微視的な界面水の水素結合ネットワーク」と「巨視的な光触媒反応活性」の相関を明らかにすることを目的としている。これにより、界面水分子を戦略的に制御、最適化することで、光触媒の高性能化が期待できる。

一般に、水分子のOH伸縮振動の波数は水素結合ネットワークを敏感に反映することが知られている。しかし、従来の光触媒研究は主に水中環境で行われてきたため、反応に寄与する表面吸着水分子と溶媒として反応に無関係な水分子を切り分けた分光計測が困難である。この課題を克服するため、従来の水中環境とは異なる、水蒸気雰囲気条件に焦点を当てた新たな実験方法を開発した。水蒸気雰囲気条件では、水分子の吸着量を水蒸気圧力によって制御する。これにより、低い圧力では水分子の吸着量が少なく、主に表面と相互作用し、高い圧力では水分子の吸着量が多く、表面に加えて分子間とも相互作用する状況を作り出すことができる。この方法を実現すべく、図1に示す装置を構築した。

図1は、水蒸気雰囲気下で反応活性と分光測定が同時に行うことができる、自ら設計・構築した真空装置の一部である。この装置は反応室と分析室の二つの主要部分から構成されている。反応室では、 10^{-3} Pa から大気圧まで広範囲にわたる絶対圧力を測定でき（図2左）、水蒸気や他のガスを多様に導入し、実験の条件を細かく、広い圧力で調節することが可能である。また、反応室内の試料ホルダーは、複数の試料を同一条件下で計測できるように設計された内製品で、実験効率の向上に大きく寄与している。更に、反応中の試料温度を精密に計測するため、応答性に優れた熱電対が直接試料に挿入されている。試料ホルダーは熱電対を固定できるような構造にもなっている（図2右）。その結果、表面に吸着する水分子の量を単分子層から多分子層まで自在に制御できるため、界面水を系統的に計測・解析できるようになった。一方、分析室では四重極質量分析計が整備されており、ベース圧力が 10^{-9} Paに達している。これにより、微量の生成物でも高精度に検出し定量評価が可能となっている（nmol/hのオーダー）。また、この分析室は反応室とは独立した排気システムを有しており、反応室からの排気による逆流の影響を除去でき、安定した検出環境を維持できる。

この真空装置の構築は、装置開発室の協力的な環境と専門技術が融合した結果である。装置や真空ポンプを安定的に支えるための棚、試料ホルダーの構造設計や製作には、菊地さん、近藤さんの機械的な技術の支援の下で作製できた。また、計測ケーブルは豊田さんに作製していただいた。加えて、ノイズの対策と微弱信号を検出する熱電対や圧力計の信号安定化に関しても、豊田さんから提供された貴重なアドバイスによって改善でき、計測精度が大幅に向上できた。研究過程では、予期せぬトラブルに多く直面した。圧力計の調子が悪くなるなど、突然の問題が発生した際には、菊地さん、近藤さんをはじめとするチームメンバーの迅速な対応により、研究を順調に進めることができた。

このように、改めて分子研の協力的で革新的な研究環境に感銘を受けた。これから、高性能な光触媒を設計し、炭素循環型社会への転換を加速させる。自らの研究成果を分子研から世界へと発信する研究者として、さらなる進歩と発展を目指す所存である。

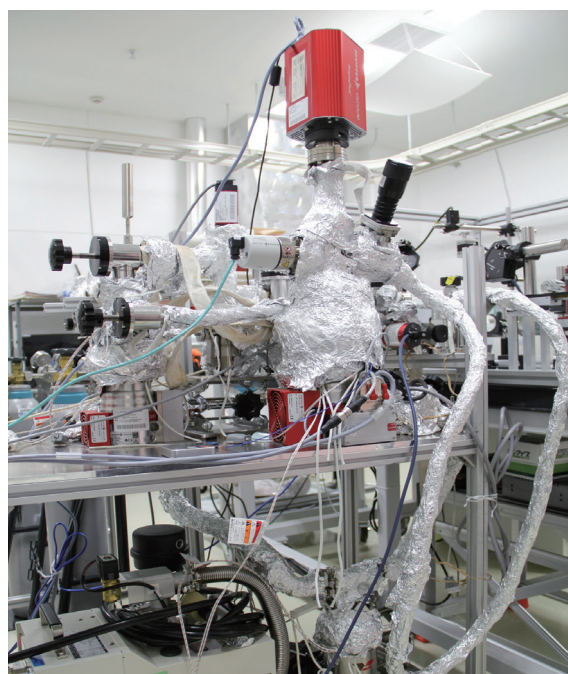


図1：構築した水蒸気雰囲気下で反応活性評価と分光計測が同時に測定可能な装置の一部の写真

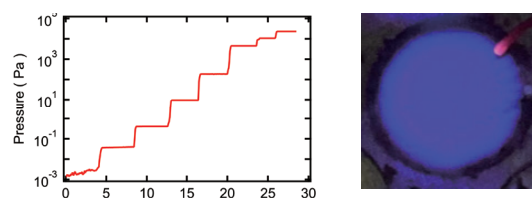


図2 左：反応室の絶対圧力を測定（ 10^{-3} Pa~ 大気圧まで制御・測定可能）右：反応中の熱電対による試料温度の計測の様子

電子回路技術に関する分子研受入技術研修

－ 汎用一斉警報通知システム（WAN-WAN）用周辺モジュールの製作 －

鳥取大学 河尻直幸，岩手大学 庄司愛子

1. はじめに

汎用一斉警報通知システム（Wireless Alarm Network for Wide Area Notification：通称 WAN-WAN）は、岩手大学技術室長千葉寿氏と分子科学研究所装置開発室豊田朋範氏らが共同開発を進めている。WAN-WAN は実験装置等の異常時に遠隔地にいる実験者へ警報通知できるシステムであり、分子科学研究所・岩手大学・鳥取大学をはじめとする複数機関で協力しながらシステムの配備・実証試験を行っている。

本報告では、2023年（令和5年）3月16日～17日に我々2名が受講した分子研受入技術研修「汎用一斉警報通知システム（WAN-WAN）用周辺モジュールの製作を通じた電子回路技術研修」の内容と、受講後に我々が各大学で展開したモジュール製作について報告する。

2. 電子回路技術研修

我々は各大学で電気・電子系の研究教育活動の支援業務を行っている。プリント基板製作は電気・電子回路を含む装置開発において重要な技術であり、表面実装部品を用いることによる小型化や基板加工機を用いることでの時間短縮、大量生産においてメリットを享受できる。本研修では、分子科学研究所装置開発室にて豊田氏ご指導の下、WAN-WAN 用周辺モジュールの開発を例題に、プリント基板製作に必要な電子回路や回路設計の基礎、回路 CAD の使い方を学んだ。

研修では初めに、プリント基板製作の基礎知識について講義を受講した。プリント基板製作の基本的な流れは、①回路設計、②基板製作、③部品実装、④動作試験・評価となる。プリント基板の完成が近づくほど修正が困難になっていくため、回路設計の段階でできるだけ欠陥を無くしておくことが重要であることを理解した。

実践演習としてまず、回路 CAD「Altium Designer」(Altium 社)を用い、フォトランジスタを用いた光検出モジュールの回路図及び基板レイアウトを作成することで、回路 CAD の操作方法や回路・レイアウト設計における注意点を学んだ。続いて、作成した基板レイアウトをもとに基板加工機を用いたプリント基板の製作（図1）、はんだ付けによる電子部品の実装を体験した（図2）。今回使用した基板加工機は、生基板表面の薄い銅箔を CNC 加工によりエンドミルで削り取ることで回路パターンを作製する。それにより、切り込みが浅いことによる銅箔の削り残りやエンドミルの消耗によるバリの発生などで基板不良が発生することがあるため、完成したプリント基板の各配線が互いに絶縁しているかの確認もテスターを用いて行った。作製したプリント基板は銅箔面が露出した状態であるため、絶縁コーティングスプレーを塗布して乾燥させた後にランド部分のコーティングを削り取り、部品のはんだ付けを行った。回路部品の実装完了後、回路基板に電源供給し動作試験・評価を行った。フォトランジスタに小型ペンライトで光を照射させると、光を検出した結果として LED が点灯し回路動作を確認することができた。

今回の研修では WAN-WAN 用周辺モジュールの開発を通じて、プリント基板製作を一通り実際に体験することで、その基礎となる電子回路技術を習得し理解を深めることができた。また、研修中には分子科学研究所で実際に利用している WAN-WAN とその周辺モジュールを視察し、今後の装置開発につながる知識やアイデアを得ることができた。

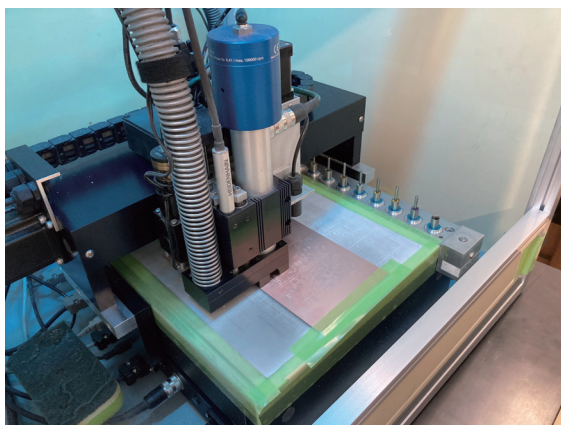


図1： 基板加工機でプリント基板が作製されている様子

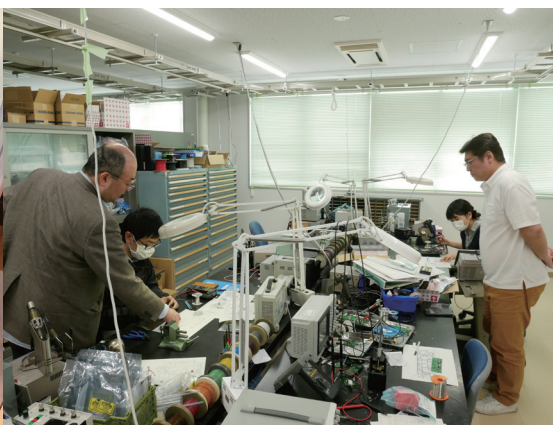


図2： 研修風景(はんだ付け作業に取り組む様子)

3. 鳥取大学における受講後の展開

鳥取大学では、分析機器がエラー状態になったことを WAN-WAN を用いて遠隔地にいる管理担当者に通知するシステムを構築した。エラー状態の検出はカラーセンサーを用いて分析機器のステータスランプから動作状態を識別することでやっている。

本研修で学んだことを活かして、Autodesk 社の EagleCAD を用いた検出回路の設計と ORIGINALMIND 社の mini-CNC HAKU を用いた基板の作製を実施した。使用した CNC 基板加工機には両面加工用の機能が搭載されていないため、実装する部品をスルーホールタイプに制限してパターンが片面のみで完結するように回路・レイアウトを設計した。基板加工においては送り速度や切り込み量などの加工条件を実際に加工しながら微調整して最適な値を検討した。完成した基板(図3)は銅箔面をコーティングで保護した後に部品をはんだ付けしてケースに格納した。

作製したエラー点灯検出器(図4)を WAN-WAN と組み合わせ、分析装置に取り付けて動作検証を行った。実際のステータスランプの発光に合わせて検出器の受光感度やエラー点灯検出における閾値を調整することで、正常にエラー点灯のみを識別することができた。現在は、事前調整の手順をより簡素化するためのアルゴリズムについて検討している。本開発内容は 2023 年度機器・分析技術研究会にてポスター発表を行った。

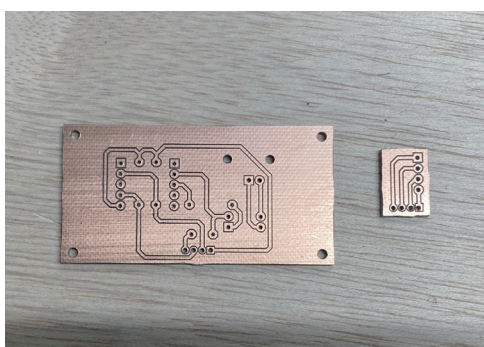


図3： 作製した基板(コーティング処理前)

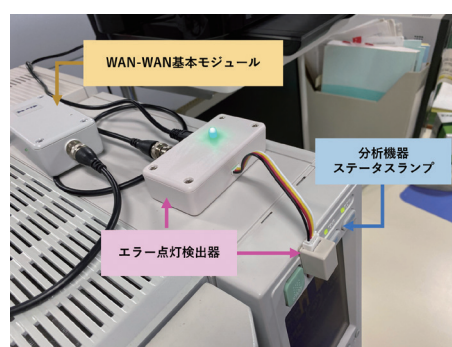


図4： エラー点灯検出器

4. 岩手大学における受講後の展開

岩手大学では WAN-WAN の活用事例として、冷却水の漏水や NMR 室の酸素濃度低下等を警報通知するシステムの配備・展開を進めてきた。分子研での研修後、真空ポンプをはじめとする実験装置の“振動”を検出することで異常時に警報通知するシステムの開発に着手した。

WAN-WAN 基本モジュールは接点出力等の信号を検知することで、警報通知動作を開始させることができる。基本モジュールに接続して使用する振動検出用回路の設計では、電源電圧 DC3.5 ~ 5V 駆動で振動時に電源電圧と同等の電圧信号 (High) を出力する振動センサーを用いた。しかし、振動センサーから出力される電圧信号のパルス幅が数 ms 程度であり、チャタリングによる誤動作防止機能を備える WAN-WAN 基本モジュールで信号を検知できない課題があった。そこでマルチバイブレータ回路を構成して信号パルス幅を調整(整形)することで WAN-WAN システムで振動センサーからの信号検知を可能にした。

回路設計後は回路基板のはんだ付けや回路基板を収納するケースの加工等を行ってモジュール化し、試作品を完成させることができた。実際に真空ポンプに試作モジュールを設置し、真空ポンプ停止後にスマートスピーカーやスマートフォンで警報通知の動作を確認できた。他の実験装置等に設置して引き続き動作試験の実施を検討している。本開発内容は 2023 年度機器・分析技術研究会にて口頭発表を行った。

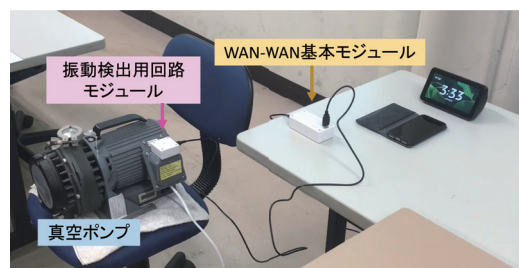


図5： 振動検出型警報通知システム試作品

5. おわりに

本研修を受講して、回路設計や回路 CAD 操作、基板加工などを体験しながら電子回路技術の基礎を実践的に学ぶことができた。また、研修後も WAN-WAN の拡張モジュール開発などに展開したことで、各大学における業務の課題解決や効率化に貢献することができた。今後も装置開発を継続することで技術研鑽を重ねていきたい。

謝辞

本研修の実施及び WAN-WAN 用周辺モジュールの開発にあたり、分子科学研究所の豊田朋範氏、岩手大学の千葉寿氏には大変お世話になりました。この場をお借りしてお礼申し上げます。

アンジュレータ光渦の性能評価のための回折用アパーチャの製作

分子科学研究所 加藤政博

1. はじめに

近年、光科学の分野では光渦やベクトルビームといった特異な空間構造を有する光の発生やその利用の開拓が活発に進められている。光渦はそのドーナツ状の強度分布が超高解像度顕微鏡に利用され、2014年のノーベル化学賞に結び付いたことでよく知られているが、光渦の真の特異性はその位相構造にある。通常の光では、その波面（等位相面）が平面ないしは球面であるのに対し、光渦の波面はらせん状となっている。光渦の中心軸上は位相の定まらない特異点となっており、電磁場が強度を持たない暗点となることから、ドーナツ状の強度分布となる。物理学的に見て光渦が興味深いのは、このらせん位相構造が角運動量と結びついている点にある。光の角運動量という、光の円偏光がスピン角運動量に結び付いていることはよく知られている。これに対し、光渦は軌道角運動量を運ぶことが30年ほど前に理論的に示され、このような光が物質系とどのように相互作用をするのか、幅広い研究分野で注目されるようになった。

光渦は、可視光や赤外線領域では、レーザー光のような通常の（平面波や球面波の）光を特殊な光学素子を通すことで光渦に変換する技術が確立されている。その一方で、近年、放射光源で広く用いられている円偏光アンジュレータと呼ばれる装置からも光渦が放射されることがわかってきた。放射光を利用すれば、光渦の波長域は、光学素子の有効波長域に限定されることなく、真空紫外線からX線に及ぶ広大な領域に拡大できる。分子科学研究所の放射光源 UVSOR-III ではこの光渦の放射やその物質系との相互作用を探索する研究に取り組んできた。さらに今年度より、広島大学と共同で渦二色性の可能性を探る研究も開始された。円偏光の光を物質に照射した場合に、吸収率や反射率が偏光方向の左右に依存する場合があります。渦二色性と呼ばれている。広島大学では紫外から真空紫外線領域の円偏光放射光を利用し、生体分子構造の研究に応用している。光渦のらせん方向の左右に対する吸収率・反射率の依存性、すなわち渦二色性は存在するのか、これを UVSOR-III の BL1U において実験的に検証しようとしている。

放射光は加速器中を周回する高エネルギーの電子ビームから放射されるが、これを加速器から取り出し実験装置まで導く。上述した UVSOR-III でのこれまでの光渦研究、また、今後の光渦の応用展開において、今、目の前に来ている光が通常光であるのか、光渦であるのか、右巻きなのか左巻きなのか、こういったことを迅速に判定することは実験上極めて重要である。光渦の判定手法として最も簡便なものは、光断面の強度分布を観測するというものであり、光渦の場合、上述した通り、特有のドーナツ状の強度分布が観測される。しかし、このような強度分布は、ベクトルビーム等、他の種類の光でも見られるものであり、これだけでは光渦であるとは言えない。また、渦方向の左右に関する情報も得られない。これらを判定するには、光の位相の空間構造を観測することが必要である。そのためには、光を微小な開口（アパーチャ）を通して回折し、その回折模様を観測するのが最も簡便で実用的である。先行する光学分野での光渦研究では、ダブルスリット、三角アパーチャ、マルチピンホールなど様々な手法が提案され、それぞれにおいて光渦特有の回折模様が観測され、その有効性が実証されている。しかし、放射光分野ではこのようなアパーチャを用いた系統的な実験研究はほとんど行われていなかった。

分子研の放射光源 UVSOR-III では円偏光アンジュレータから放射される紫外線領域の光渦を光学窓を通して大気中に取り出すことのできる世界的にも唯一といってよい研究環境が整っている。この環境を活用して、放射光起源の光渦研究で世界を先導する成果を挙げてきたが、その中で、装置開発室で製作した各種のアパーチャ類は非常に重要な役割を果たしてきた。また、今後の光渦の応用展開へ向けた技術開発の中でも、ビーム診断技術の核になる素子として重用されると考えられる。

2. フォトリソグラフィによるアパーチャの製作

放射光源からの光渦に関する我々の研究では、多種多様な形状と大きさのアパーチャを利用する。単なる開口であれば、金属板などを加工して製作することもできるが、例えば三角スリット、すなわち正三角形の各辺がスリットになっているような、閉じた経路を描くスリット状のアパーチャの場合、機械加工的な手法での製作は不可能である。我々の実験は紫外線領域で行うことが多いため、紫外線を透過する熔融石英基板上にクロムを製膜し、開口部分をエッチングして製作することとし、これを装置開発室に依頼した。製作の詳細は本レポートの製品紹介で報告されている[1]。この手法であれば、あらかじめ画像データ化できれば、非常に複雑な形状の開口でも製作が可能である。これまで我々が製作依頼したアパーチャは、ダブルスリット、三角スリット、三角アパーチャ、マルチピンホールなどであり、比較的単純な形状であったが、将来的にはフォーク状回折格子のような複雑なものの製作も依頼したいと考えている。なお、今年度の製作依頼では、装置開発室職員の指導のもと、広島大学理学部4年生が、自分の卒業研究の実験で使用するアパーチャの一部を製作した。クリーンルーム内での製作作業などを通じて、フォトリソグラフィに関する知識を身に付けさせることができた。

3. UVSOR における回折実験

製作した各種アパーチャ類を用いた研究は現在も進行中であるが、これまでの成果の一部を以下で紹介する。我々の研究は、そもそも、アンジュレータから光渦が放射されるのか、というところからスタートした。我々はこれをダブルスリット回折を用いることで実証した [2]。その結果を図 1 に示す。円偏光アンジュレータから放射される基本波と呼ばれる波長成分ではその回折模様が単純な縞模様となるのに対し、2 次高調波では縞模様に歪が観測された。この歪みは位相がらせん状となっておりその中心に位相特異点が存在することで生じており、計算機シミュレーションともよく一致した。このことから、円偏光アンジュレータの基本波は平面波であり、高調波は光渦であることを実験的に示すことができた。また、そのような特異な光が放射されることに関して理論的に解明することにも成功した [3]。さらに光の強度を極端に弱めて、ダブルスリットを一つの光子だけが通り抜ける、すなわち、同時に二個以上の光子がダブルスリットを通過することがない条件下でも実験を行った。その結果、光渦の場合には、やはり歪が観測された [4]。これはたくさんの光子が集まって渦を構成しているのではなく、一個一個の光子が渦性を有している、ということを示す結果である。上述した実験により、ダブルスリットが渦性の確認に有効であることがわかったが、光学分野ではさらに視認性の良い三角アパーチャの回折模様が報告されている。我々は、これをアンジュレータ光渦のビーム調整用の診断手法として利用できないかと考え、回折実験を行った。予備的な結果であるが、図 3 に示す通り、光渦特有の回折模様が確認でき、さらに渦の左右方向の判定もできることが分かった [5]。

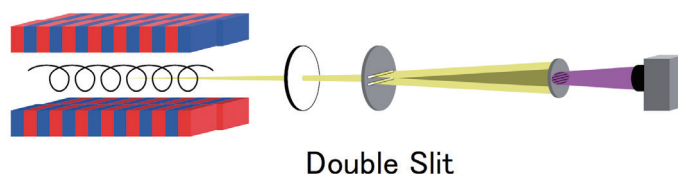


図 1. UVSOR BL1U におけるアンジュレータ光渦回折の実験配置の概略

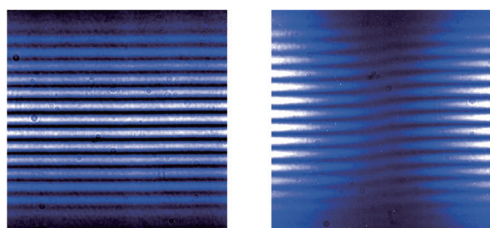


図 2. ダブルスリットによる回折模様 [2]。円偏光アンジュレータから放射される平面波成分 (左) と光渦成分 (右) に対する観測結果。測定波長は 355nm

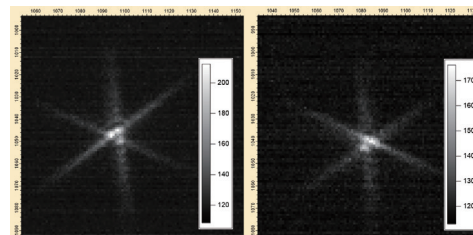


図 3. 三角スリットによる光渦の回折模様 (左：左回り渦、右：右回り渦) [5]。測定波長 355nm。

4. おわりに

UVSOR のビームライン BL1U で取り組んできた光渦に関する研究は、先にも述べたが、取り扱いの容易な紫外線領域の放射光を大気中に取り出して実験ができるという、世界的にも唯一といってよい研究環境を活かして世界を先導する成果を生み出すことができた。その中で、装置開発室に製作依頼した各種アパーチャが非常に重要な役割を果たしてきた。様々な要望に迅速に対応していただいた装置開発室の職員にこの場を借りてお礼申し上げる。

今回報告した一連の実験研究は、通常の放射光利用とは大きく異なり、比較的安価な CCD カメラや各種フィルター類などを持ちいて、小規模なセットアップで行えるものである。使用する実験装置の原理の理解や操作方法の取得も容易であることから、最近の研究課題の一部は広島大学理学部 4 年生の卒業研究として実施している。装置開発室製アパーチャも含む各種小型機器類を学生自ら一つ一つ設置して実験をすることで、実験内容の理解も深まり、関心も高まるのではないかと期待している。実験としては簡便なものであっても、UVSOR の独自の研究環境を活かすことで、発想次第では最先端の成果を出すこともできる。参考文献 [4] はそのようにして行った卒業研究の成果を論文にまとめたものである。また、[5] は今年度実施中の卒業研究の成果報告である。

5. 参考・引用文献

- [1] 高田紀子、本報告
- [2] M. KATOH et al., Sci. Rep. 7, 6130 (2017)
- [3] M. KATOH et al., Phys. Rev. Lett. 118, 094801 (2017)
- [4] S. WADA et al., Sci. Rep. 13, 22962 (2023)
- [5] 西原佑 他、日本放射光学会年会 (JSR2024) , 12P-4S (2024)

申請課題一覧

2023年 施設利用一覧

| 申込者名 | 所属 | 研究課題 |
|-------|-------------|----------------------------|
| 宇理須恒雄 | (株) NANORUS | 培養型プレーナーパッチクランプの Si 基板微細加工 |
| 宇理須恒雄 | (株) NANORUS | 培養型プレーナーパッチクランプの Si 基板微細加工 |
| 宇理須恒雄 | (株) NANORUS | 培養型プレーナーパッチクランプの Si 基板微細加工 |
| 宇理須恒雄 | (株) NANORUS | 培養型プレーナーパッチクランプの Si 基板微細加工 |
| 宇理須恒雄 | (株) NANORUS | 培養型プレーナーパッチクランプの Si 基板微細加工 |
| 宇理須恒雄 | (株) NANORUS | 培養型プレーナーパッチクランプの Si 基板微細加工 |
| 宇理須恒雄 | (株) NANORUS | 培養型プレーナーパッチクランプの Si 基板微細加工 |

2023年 製作受託一覧


| 申込者名 | 所属 | 研究課題 |
|-------|--------------------|--------------------------|
| 宇理須恒雄 | (株) NANORUS | 培養型プレートパッチクランプ装置の接続プレート他 |
| 林元 | 東京都立蔵前工科高等学校 | 酵素模型 |
| 堀尾眞史 | 東京大学 | 雰囲気舌光電子分光装置用ノズル |
| 本林健太 | 名古屋工業大学大学院工学研究科 | 界面選択的な振動分光を実現するナノ構造電極基板 |
| 朝倉清高 | 北海道大学触媒科学研究所 | 循環ポンプ電源制御用インバータ装置 |
| 水谷泰久 | 大阪大学大学院工学研究科応用化学専攻 | 光学セル恒温セルホルダー |
| 山田貴大 | 東京工業大学理学院物理学系 | 円偏光近接場誘起磁化反転用デバイス |
| 平原徹 | 東京工業大学 | 真空スーツケース用イオンポンプモバイル電源 |
| 西海 望 | 基礎生物学研究所神経行動学研究部門 | 画像トラッキング用カメラ制御ソフトウェア |

2023年 技術相談一覧

| 申込者名 | 所属 | 研究課題 |
|-------|-------------|---|
| 宇理須恒雄 | (株) NANORUS | 培養型プレーナーパッチクランプ装置の電子回路について回路図の構成と動作原理について説明を受ける |

2023年 マテリアル先端リサーチインフラ申請課題一覧

| 申込者名 | 所属 | 研究課題 |
|--------|--|---------------------------------------|
| 小林純 | 分子科学研究所社会連携研究部門平等 G | ビームスポットの深さ測定 |
| 久保田亜紀子 | 分子科学研究所機器センター | ヒドリドの物質研究 |
| 高田紀子 | 分子科学研究所装置開発室 | リソグラフィによる微細構造の製作および評価 |
| 神永真帆 | 豊田工業高等専門学校機械工学科 | がん細胞特異的結合分子探索効率を向上させるマイクロ流路デバイスの開発 |
| 富田隆文 | 分子科学研究所光分子科学研究領域 | Phase noise cancellation system の研究開発 |
| 佐藤拓朗 | 分子科学研究所 協奏分子システム研究センター | キラリティーと結合した新奇量子伝導ナノデバイスの作成 |
| 杉山博紀 | 生命創成探求センター | 分裂酵母ライブイメージングとデバイス内部からの選択的回収 |
| 日野和之 | 愛知教育大学 | フラーレン誘導体 LB 薄膜の表面観察と光電気化学測定 |
| 湊丈俊 | 分子科学研究所機器センター | 走査プローブ顕微鏡で得られる画像解析用のナノデバイスの作成 |
| 本林健太 | 名古屋工業大学大学院工学研究科 | 界面選択的な振動分光を実現するナノ構造電極基板の開発 |
| 熊谷崇 | 分子科学研究所 メゾスコピック計測研究センター | リコンナ構造の作製 |
| 平等拓範 | 理化学研究所 放射光科学研究センター レーザー駆動電子加速技術開発グループ | 高出力極限固体レーザー実現に向けた結晶表面形態観察 |
| 加藤政博 | 極端紫外光研究施設 光源加速器開発研究部門 | 放射光光渦用光学素子の開発 |
| 中本圭一 | 分子科学研究所機器センター | 金属材料をスパッタコートしたカンチレバの作製 |

リニアガイドの技術セミナーについて 

近藤 聖彦

1. はじめに

装置作製において、サンプルなどを移動させる機構に市販のステージを用いることが多い。ただし、設置する空間に制限があると、適合するサイズのステージがないので、リニアガイドと呼ばれる直動部品とボールねじ（図1参照）を組み合わせる設計することがある。その際、THK株式会社（以後、THK）の製品をよく利用するので、THKが主催している技術セミナーを受講した。THKはリニアガイドの国内シェアが高い機械メーカーである。1972年に「Linear Motion Guide」（LMガイド）と称するレールに取り付けた台座（ブロック）が移動する部品を開発したことから、THKはリニアガイドをLMガイドと呼んでいる。ここでは、技術セミナーで得た技術情報について報告する。

2. LMガイドについて

図2はLMガイドのブロックの断面図である。このように、ブロックとレールの隙間にボールを挿入し、位置決め精度と移動の滑らかさを両立している。LMガイドの主な特徴（※1）は、下記A、B、Cになる。

A：摩擦抵抗の小さい樹脂板をレールとブロックの隙間に挟むなどの方法でブロックをすべらす「すべり案内」と比較するとボールがレールに接触するので、ガタがなく軽く動作する。

B：図3に示すように転動面をR溝形状とすることで、ボールと転動面の接触を面接触にしている。点接触と比較して、許容荷重（ $P1 > P2$ ）が大きくなる。

C：図4に示すサーキュラーアーク溝を採用することで、ゴシックアーク溝と比較して、摩擦抵抗が小さくなり自動調整能力が大きくなる。摩擦抵抗は、図5に示す差動すべり量が関係する。差動すべり量はボールが1回転するときの、内側接触径の円周長さ（ $\pi \times d1$ ）と外側接触径の円周長さ（ $\pi \times d2$ ）との差である。この差が大きいとボールは滑りながら回転するため摩擦係数が大きくなり、摩擦抵抗が増加する。サーキュラーアーク溝はゴシックアーク溝より差動すべり量が小さいので、摩擦抵抗が小さくなる。

その他、LMガイドの精度規格は並級、上級、精密級、超精密級、超超精密級の5段階があり、レール長さに応じて走り平行度の値が異なる。例えば、レール長さが50mm以下の走り平行度の各精度は5、3、2、1.5、1 μ mである。設計の仕様を考慮して、LMガイドの精度規格を選定する必要がある。

3. 組立実習

技術セミナーの最後に組立実習が開催された。LMガイドの一般的な設置に関する説明があり、講師の組立実演の後に、受講者がグループにわかれ、用意された教材を使用して組立をおこなった。一般的な組立方法は、図6に示すように基準面にレールを押し当て、ボルトで固定する。ボルト固定時の注意点として、レール長さによって、締め付け順序が違う説明があった。レール長さが1m以下は片側から順番にボルトをトルクレンチで締め付けるが、1mを超える場合はレールの中央から両サイド方向にボルトを締め付けて固定する。これは、長いレールを片側から順番に固定すると最後の方で、ボルトの通し穴とネジ位置の誤差が大きくなり、ボルトの固定が困難になるためである。

4. おわりに

分子研は真空容器内にステージを設置することがある。特殊環境用のリニアガイドを選定できればよいが、標準のリニアガイドを選定する場合、塗布されているグリスは真空対応でないため、真空中で使いたい場合は発注時に真空対応のグリスを指定するとよい。様々な種類のリニアガイドが販売されているので、リニアガイドの選定でお困りの際は相談いただけると幸いである。※1：セミナー配布資料と直動システム サポートブックを参照

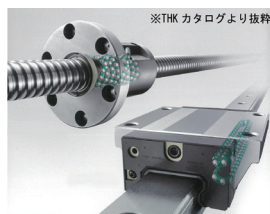


図1：ボールねじ（左上）とリニアガイド（右下）

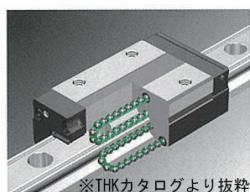


図2：LMガイドの断面図

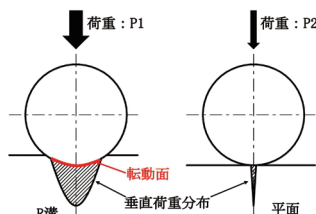


図3：ボール1個の負荷能力

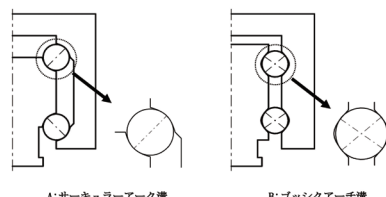


図4：2種類の溝形状

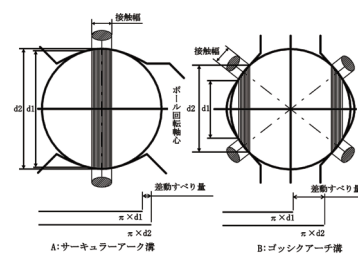


図5：差動すべり量の比較

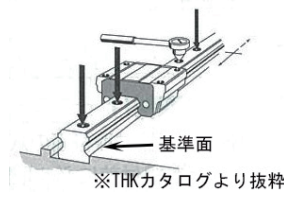


図6：リニアガイドの設置方法

軸外し放物面鏡 

菊地 拓郎

1. はじめに

分子研では物質の最小構成単位である原子、あるいは分子を対象にその性質や基本原理を解明するための研究や測定が行われている。分子の性質を探る方法として、様々な研究でレーザー、放射光といった光を利用することが有効な手段となっており、分子研の共用施設のひとつである極端紫外光施設（UVSOR）では、極端紫外光を利用した実験を日々行っている。今回は、UVSOR 技術職員の中村永研氏からの依頼で赤外光までの波長範囲を反射する軸外し放物面鏡の製作を依頼され、それに取り組んだので報告する。

2. 仕様

入射光を任意の焦点距離で集光させるため、反射面（以下、鏡面）は放物線の一部を面として展開した形状をしている。素材は、反射特性が赤外範囲までであるアルミ（A5052）の丸棒を使用した。加工表面が赤外範囲を反射するためには、表面粗さがサブミクロン、つまりナノオーダーである必要がある。可視光領域まで反射するにはそこからさらに研磨をして鏡面を作り込んでいく。

3. CAD/CAM

まずは、仕様に基づいた設計図面から 3DCAD（Solidworks）で立体モデルを作成した。円柱の中線を通る任意の放物線を表す式を記述し、回転により断面を切り出す（図1）。これが放物面鏡の反射面になる（図2）。

その後、CAM（hyperMILL）を用いて、製図した立体モデルに合わせて選択した工具の加工経路をシミュレーションで確認をしながら、適正な加工経路の NC データを作成した。

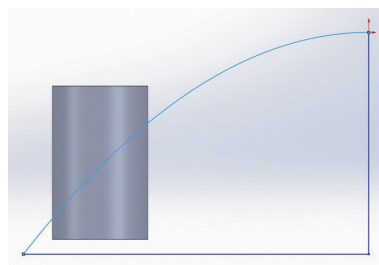


図1：放物線の設定

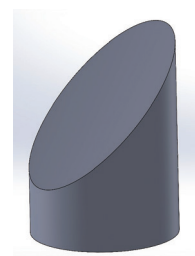


図2：立体モデル

4. 加工

鏡面の加工には、同時5軸加工機（FANUC ROBODRILL α-D21LiB5）を使用した。各軸の最小移動単位は、1/1000mm である。表面粗さの精度を向上するために、この加工機が制御できる最大主軸回転数、最小切り込み量を設定することも可能ではあるが、明らかに過剰な条件設定である。主軸の高速回転による軸ブレやびびりの発生、加工時間が増大してしまう等の問題が生じる恐れがある。そのため、加工機が再現可能な表面粗さの精度と加工時間を経験的に適正と思われる条件を設定した。その加工条件は、主軸回転数 $n=10,000\text{rpm}$ 、送り速度 $F=40\text{mm/min}$ 、Z 軸切り込み量 $f_z=0.04\text{mm}$ とした。

図3に加工後の外観を示す。右半面は5軸加工後の状態であるが、微細な溝が模様として見て取れるため、少しモヤが掛かったような反射像が見え、角度によっては可視光が虹色に反射する。これを40000番手までの紙やすりで磨き込むことで左半面のように可視光も反射するように調整することが可能となる。

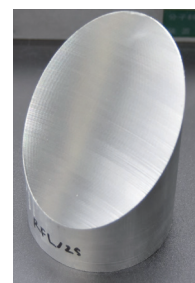


図3：放物面鏡

5. 本当に必要な表面粗さになっているか？

UVSOR での反射テストでは、必要な波長領域を反射できたことが確認されている。実用上の反射性能は確かめられたが、果たして加工条件は適切な条件であったかは検証ができていない。

そこで、テストサンプルを製作し、加工条件ごとによる表面粗さの測定を行うことにした。

放物面鏡作製時の加工条件をもとに、均一な平面の理論表面粗さを計算してみた。

図4のように、被削材表面上を紙面奥から手前を送り方向として、ボールエンドミルで加工していく時の断面を表す。一定量ごとに Z マイナス方向へ先端点を斜め45度に沿いながら切削していく。この時、理論表面粗さ（高さ）を H、面沿い方向の送り量を f、ボールエンドミルのコーナ半径を r とする。r を斜辺とする直角三角形を考えるとその式は、

$$r^2 = \left(\frac{f}{2}\right)^2 + (r - H)^2$$

r : コーナ半径 (mm)
f : 面沿い送り量 (mm)
H : 仕上げ面粗さ (mm)

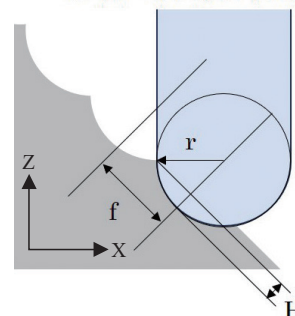


図4：理論表面粗さ

と表せる。これを展開したとき、 H^2 は r に比べ非常に小さいため、 $H^2 \approx 0$ と見なせる。そのため、式を整理すると

$$H = \frac{f^2}{8r}$$

となる。

ここで、 f は加工平面と並行な方向の送り量であるから、 Z 方向の切り込み量を f_z と置くと、

$$f = f_z \cdot \sin^{-1} \frac{\pi}{4} = f_z \cdot \sqrt{2}$$



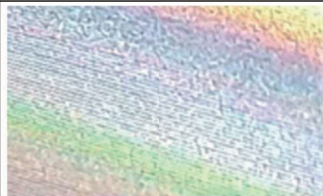
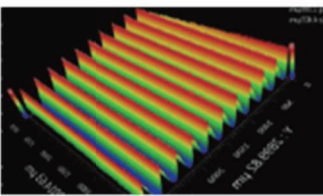
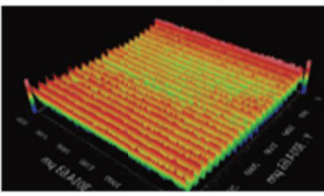
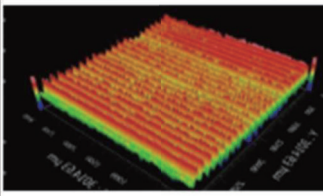
である。

ボールエンドミルは、直径 6mm (R3) の DLC (Diamond-Like Carbon) を使用した。したがって、 $r=3\text{mm}$ 、 $f_z=0.04\text{mm}$ の加工条件から、計算式より $H=0.133\mu\text{m}$ となり、近赤外光の波長より小さくなることが確かめられた。以上から、 Z 軸方向の切り込み量を 3 条件 (0.2、0.1、0.04mm) で加工し、比較を行なった。主軸回転数は $n=6,000\text{rpm}$ 、送り速度は $F=40\text{mm/min}$ で同一条件とした。

サンプルは、アルミ A5052 の角棒 (□ 14mm) をボールエンドミルの周速ゼロ点を回避するよう 45 度の傾斜に沿って切削した。加工後の表面画像とそれらを 3 次元プロファイラーで表面粗さを測定した結果を表に示す (表 1)。

切削後の外観は、 $f_z=0.2\text{mm}$ は目視でも明らかに段差があるように見え、指でなぞると段差を感じる。 $f_z=0.1\text{mm}$ までは概ね理論値と同様に精度が向上する傾向であるが、枠内を色付けした 0.1mm から 0.04mm の間で表面粗さの精度が頭打ちのようになった。これは、5 軸加工機自体の加工精度の限界に依存していると考察される。

表 1. 加工外観と測定結果

| Z 切り込み量(f_z) | 0.2mm | 0.1mm | 0.04mm |
|------------------|---|--|---|
| 外観 |  |  |  |
| 光学測定 |  |  |  |
| 仕上げ面粗さ(H) | 3.333 μm | 0.833 μm | 0.133 μm |
| 算術平均(Sa) | 0.942 μm | 0.289 μm | 0.256 μm |
| 二乗平均平方根(Sq) | 1.086 μm | 0.349 μm | 0.314 μm |

6. まとめ

以前は、NC フライスでも放物面鏡を加工する事は可能であったが、手動で加工経路を設定する部分もあり、手間が非常にかかっていた。しかし、3DCAD を用いることにより自動で NC データを作成できるため、精度が必要な複雑な曲面も加工することが可能となっている。

5 軸加工機自体の機械精度のため、ボールエンドミルによる鏡面の加工精度に限界はあるが、旋盤モードでテーブルを回転させる方法など、表面精度が向上する可能性もあるので今後、試してみたい。

USB Type-C 搭載シリアル変換モジュールの開発と 狭小部品を用いたプリント基板設計の課題



豊田 朋範

1. はじめに

研究用電子機器の開発において、PC とのインターフェースを搭載する際は、USB (Universal Serial Bus) を使用することが標準になって久しい。USB の形状は複数存在するが、現在はモバイルバッテリーなどの充電アダプタを流用出来る Micro-B を採用することが多い。一方、2022 年 10 月、EU(欧州連合)の立法議会である欧州議会がスマートフォンなどの充電端子に Type-C 搭載を義務付けることを可決した^[1]のを契機に、市販の携帯機器では Type-C が急速に普及している。また、筆者が岩手大学と共同開発を進める汎用一斉警報通知システム WAN-WAN(Wireless Alarm Network for Wide Area Notification)^{[2][3][4]}においても、Type-C 搭載の機運が高まっている。

これらの背景から、筆者は先行的な技術開発の一環として、従来から採用している Micro-B 搭載 USB シリアル変換モジュール(秋月電子通商)とピン互換を持たせた USB Type-C 搭載 USB シリアル変換モジュールを開発した。本稿では、開発した回路や狭小部品を用いたプリント基板設計の課題について報告する。

2. 開発した USB Type-C 搭載シリアル変換モジュールの概要

開発した USB Type-C 搭載シリアル変換モジュールの回路図を図 1 に、プリント基板を図 2 に示す。

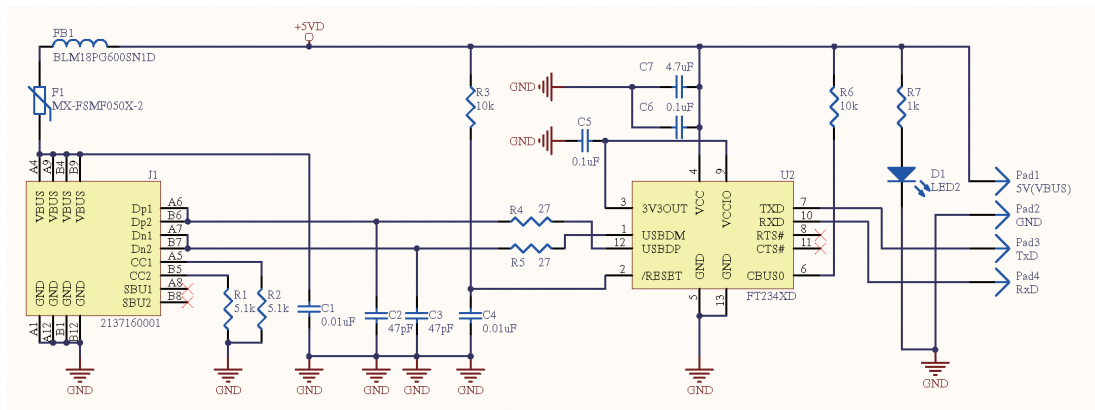


図 1 : 開発した USB Type-C 搭載シリアル変換モジュールの回路図

Micro-B 搭載シリアル変換モジュールとの互換性を優先すると、シリアル通信規格の 1 つである UART(Universal Asynchronous Receiver Transmitter) 用端子は TxD と RxD の 2 つに絞られる。そのため、USB と UART を仲介するブリッジ IC である FT234XD(FTDI 社)と、Type-C コネクタである 213716-0001(Molex 社)の他、電源供給を示す LED(D1)、過電流保護のためのオンボードヒューズ(F1)、ノイズ除去用フィルタ(FB1)、並びに標準的な抵抗とコンデンサ数点で構成される比較的シンプルな回路である。

USB は 1 対の差動信号であり、そのままではマイコンなどに多い UART に接続できない。今回はブリッジ IC として、FT234XD を用いた。(1) Windows、Mac、Linux で使用できる仮想 COM ドライバがメーカーから無償で提供されている (2)Micro-B 搭載 USB シリアル変換モジュールでも採用されていて、情報が豊富の 2 点が採用の理由である。

Type-C コネクタは Micro-B などと比較してピン数が多く、ピン間隔が狭小である。今回は実装難易度を考慮して、スルーホール型の 213716-0001 を用いた。

PC とのインターフェースを持つ機器開発では、比較検証や置き換えのため、従来から採用している Micro-B 搭載 USB シリアル変換モジュールとの互換性を確保することが望ましい。そのため、スルーホールを有する両面パッドを 4 個配置し、

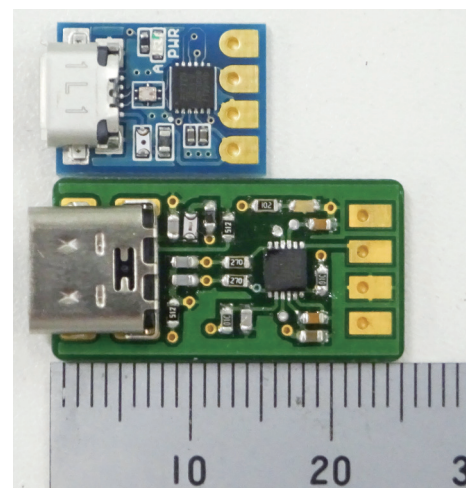


図 2 : 開発した USB Type-C 搭載シリアル変換モジュールのプリント基板(下)
上は Micro-B 搭載 USB シリアル変換モジュール(秋月電子通商)

2.54mm の間隔と配置を Micro-B 搭載シリアル変換モジュールと同一とした。ピン互換性を優先したことで、通信速度は FT234XD の最高通信速度である 3Mbps^[5] が上限になるが、装置開発室における機器開発では殆どの場合、115200bps 以下で十分である。

Type-C 最大の特徴である「プラグの挿入で表裏を考慮しなくて良い」ことは、調査の結果、CC1 端子と CC2 端子を 5.1k Ω でプルダウンすれば良いことが判明した^[6]。Type-C における CC1 端子と CC2 端子はデバイスの接続やコネクタの裏表検出、供給可能電流の通知に用いられる^[6]。CC1 端子か CC2 端子のいずれかがプルダウンされるとデバイス(今回は変換モジュール)の接続が認識されるが、両方を 5.1k Ω でプルダウンすることで、プラグの挿入で表裏を考慮する必要がなくなるという仕組みである。

3. 狭小部品を用いたプリント基板設計の課題と解決

FT234XD はピンが本体と一体化しているパッケージである DFN(Dual Flatpack No-Leaded) で、パッド間隔は 0.45mm、パッド幅は 0.25mm である。また、213716-0001 の端子間隔は 0.85mm、端子径は 0.18mm と非常に狭小である。このため、プリント基板に適用する端子パターン(フットプリント)の設計では、製造委託時の最小標準間隔である 0.127mm を適用した。それでもプリント基板の製造委託時に、基板メーカーから修正要請を受けた。

1 つは、213716-0001 のパッドの間隔である。Molex 社のデータシートでは端子穴径 0.40mm、パッド径 0.7mm の円形であるが、実際のプリント基板設計に適用すると、パッド間隔が 0.1mm を下回り、エッチング液が回りにくく、十分な絶縁が確保できないことでショートの原因になったり、銅箔が露出したりする不具合が生じると指摘を受けた(図 3 上)。この対策として、213716-0001 はパッドを楕円形にすることで、パッド間隔を基板メーカー推奨の 0.3mm としつつはんだ付けが十分可能な領域を確保した。

もう 1 つは、FT234XD のパッド幅のクリアランスである。通常では、手動ではんだ付けにおける部品配置のズレなどを考慮して、パッド幅に 0.1mm 以上の余裕を持たせるようにしているが、前述のとおり、FT234XD のパッド間隔とパッド幅は狭小であり、パッドに 0.1mm の余裕を持たせると、パッド間のクリアランスが不足してショートする懸念が生じると指摘を受けた(図 3 下)。この対策として、FT234XD はパッド幅の余裕を基板メーカー推奨の 0.05mm に絞った。

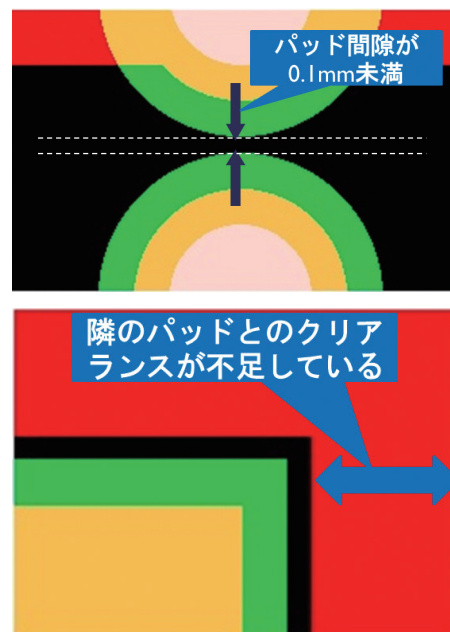


図 3：基板メーカーから指摘を受けた箇所

4. おわりに—実験現場の悩みや要望に応える技術開発の重要性—

今後普及が見込まれる USB Type-C を搭載し、従来の Micro-B 搭載のモジュールからの置き換えが可能なシリアル変換モジュールを開発した。部品を実装した本モジュールは、PC と接続して給電や仮想 COM ポートとして認識することが正常にできることを確認し、本稿執筆時点で小規模量産中である。部品メーカーが推奨するフットプリントと、基板メーカーが実現可能な製造ルールには乖離があり、プリント基板として実現可能な製造ルールを十分把握する必要があると感じた。

本モジュールの試作評価が成功した直後、エレクトロニクス・セクションを訪れて工作依頼を発注したある研究者の「電源コネクタとして Type-C を使えるようにしてほしい。モバイルバッテリーは最近 Type-C が殆どだから。」というコメントを受け、担当者に設計情報やモジュールを提供し、無事開発成功に至った。実験現場が抱える悩みや要望が重要な動機となり、開発した機器や回路が現在も所内外で展開する例が増加している。これからも先行的な技術開発に取り組み、実験現場の悩みや要望に応える力を高める所存である。

5. 参考・引用文献・特許情報

- [1] 「欧州、スマホなどが対象の”USB Type-C 統一法”を 2024 年秋施行へ」ITmedia NEWS 2022 年 6 月 8 日公開、<https://www.itmedia.co.jp/news/articles/2206/08/news065.html> など
- [2] 特許第 6954530 号「警報連動型防災システム」千葉寿、豊田朋範、古舘守通、藤崎聡美
- [3] 特許第 7170260 号「緊急防災ドッキングステーション」千葉寿、豊田朋範、古舘守通、藤崎聡美
- [4] 特許第 7341426 号「通知システム、通知システムにおける制御装置、及び通知システムにおける制御方法」千葉寿、豊田朋範、古舘守通、藤崎聡美
- [5] FT234XD データシート FTDI
- [6] じがへるっ「入門!USB-シリアル変換 Type-C 化回路」、トランジスタ技術 2023 年 6 月号 p62-66

電動アイリスシャッターの開発

松尾 純一

1. はじめに

光学実験回路を調整するなどの際に光路を開閉する操作が煩雑であるため自動化したいという要請が研究者から寄せられた。今回、そのアイリスシャッターの開閉をボタンや PC から実行できる「電動アイリスシャッター」とそのコントロール装置を開発したので、その仕組みや製作について報告する。

2. 電動アイリスシャッター

基本となるアイリスシャッターは Edmund Optics 社の「High Performance Motorizable Irises」シリーズの #34-287 を使用した。これは外部からギアを使って開閉動作させることが可能な製品である。対応するギアはモジュール 0.4 で、市販されているものの中では選択肢があまりないため比較的流通のある 10T40T のギアを多段で使用し、8T のピニオンギアはワイヤ放電加工にて内製した。モータはトルクが大きくて薄いものを探し Faulhaber 社の 1506N006SR を採用した (図 1)。ギアボックスを内蔵するアイリスマウンターは 3D プリンターで試作を繰り返した (図 2)、アイリスシャッターやギア、モータを組み付け動作を確認した後アルミを素材として外注した (図 3)。また、モータやギアケースの固定、モータの電源端子の絶縁、配線の固定を兼ねた配線カバーも 3D プリンターで作成した (図 4)。

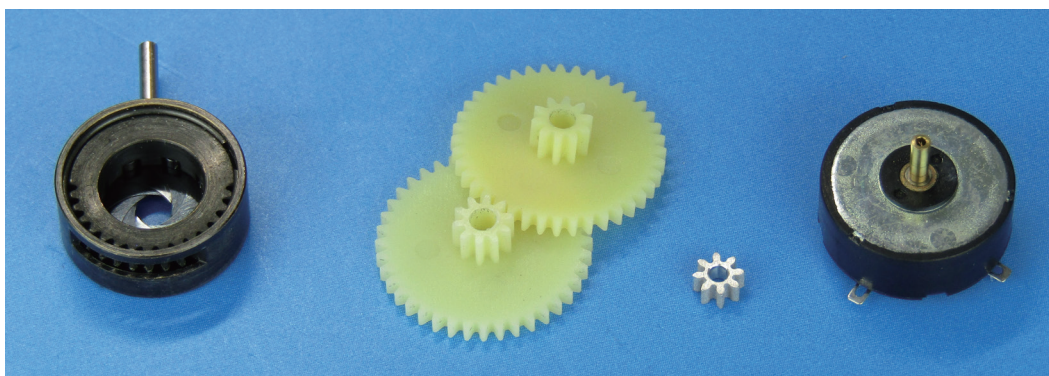


図 1：使用した部材（左から、アイリスシャッター、10T40T ギア、8T ピニオンギア、モータ）

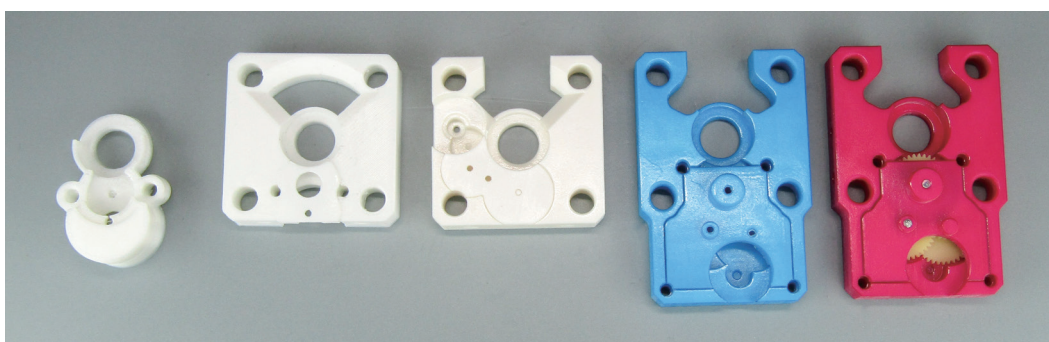


図 2：3D プリンターによるギアボックス内蔵アイリスマウンターの試作

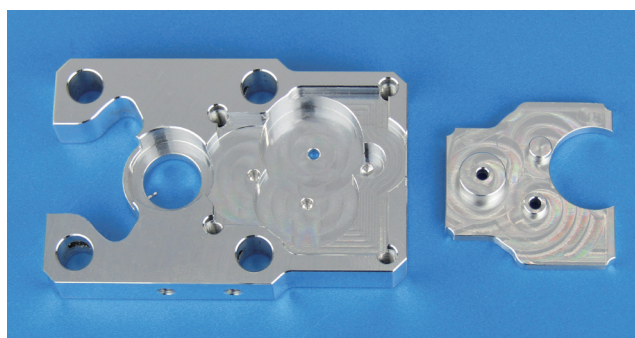


図 3：アイリスマウンターのアルミ加工品

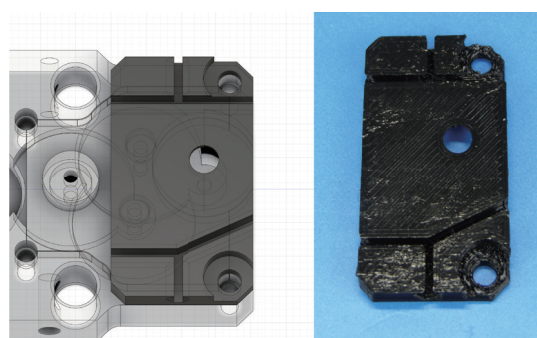


図 4：3D プリンターで作成した配線カバー

3. コントローラ

マイコンは Arduino Nano Every、モータドライバには秋月電子通商の「DRV8835 使用ステッピング & DC モータドライバモジュール」を使用した。操作するアイリスをロータリースイッチで選択し、開閉ボタン（緑・黄）により操作する。ロータリースイッチからの配線 8 本をそのままマイコン入力に接続すると出力に使用するピンが不足するためバイナリ/デシマル変換のロジック IC を介することで 3 本に集約した。

コントローラ全面の USB ポートは内部の Arduino と接続されており電源の供給源となる。また、PC と接続した場合には COM ポートとして認識しコマンド制御が可能のようにプログラムした。それにより操作するアイリスシャッターの番号や回転の向き、回転時間（ミリ秒）を個々に指定して開閉操作できる。



図 5 : コントローラ

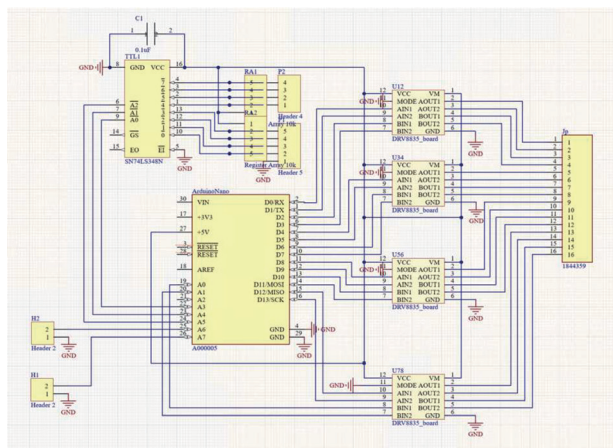


図 6: 回路図

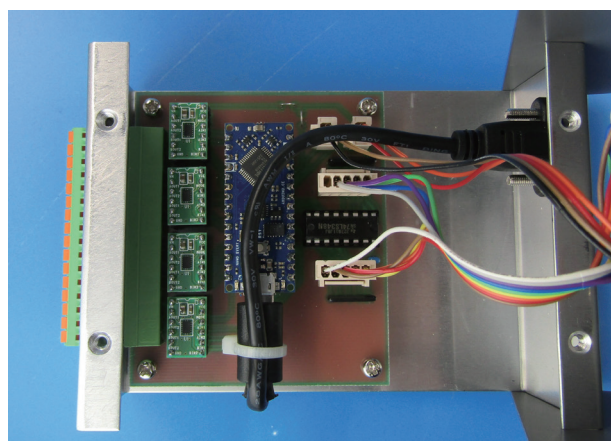


図 7: コントローラ内部構造

4. まとめ

電動アイリスシャッターとコントローラを開発した。ギアボックス内臓アイリスマウンターはアルミで製作したもののほうが 3D プリンターで試作したものよりギアがスムーズに回転した。また、3D プリンターで作成したギアボックスが実用に耐える耐久性や精度を有するかという課題があったが、今回の仕様では問題ない範囲であった。

本開発ははメカトロニクスからエレクトロニクスまで幅広い分野を統合したものとなり良い経験になった。今後も様々な製作にチャレンジしていきたい。

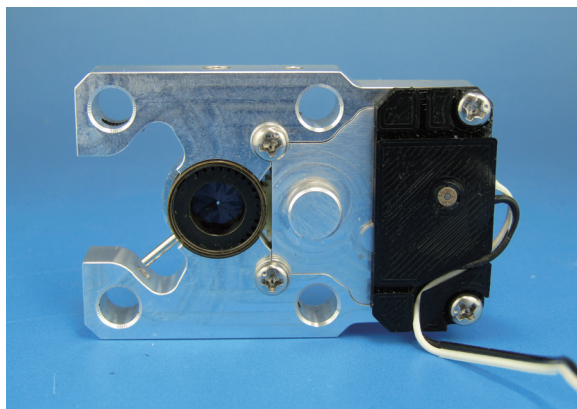


図 8 : open 時

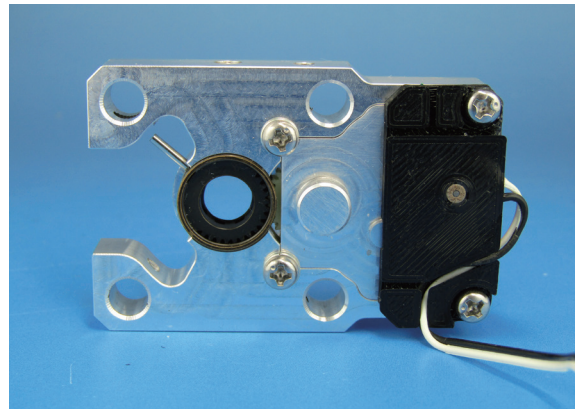


図 9 : close 時

ARM マイコンを用いたパルスジェネレータの 出力周波数精度改善

木村 和典

1. はじめに

回路工作室では ARM マイコンを用いた電子機器を数多く製作してきた。中でもマイコンに内蔵された 4 系統のタイマーとカウンター、およびカウンターの値に応じてプログラマ的に挙動を変更できるマッチレジスタの出力を用いた機器は少なくない。たとえばこの出力をバッファを介してそのまま出力するパルスジェネレータ^[1]、アクティブフィルタのリファレンスクロックとして用いることでデジタル的にカットオフ周波数を設定できる周波数ミキサーなどがある。

このように多くの製作品がある一方で、出力周波数を決定するアルゴリズムについては検証されてこなかった。今回は依頼者からの要望もあり、目標値に対する出力周波数の精度の確認と改善を試みたので報告する。

2. 製作品

今回は、市販されている UV-LED ドライバーの点灯・消灯切替用信号として用いるパルスジェネレータの製作依頼を受けた。最大出力周波数 100Hz、Duty 50%、出力電圧 0(Low) - 24V(High) の矩形波を出力するものである。また打ち合わせの過程で、汎用パルスジェネレータとしても使用できる 0V(Low)-5V(High) 出力に切り替えられるようにし、このとき最大出力周波数を 100kHz に緩和したいとの要望を受けた。

今回は豊田氏が以前に製作したステッピングモータ用パルスジェネレータ基板を流用する形で製作を進めることにした。この基板は制御・パルス生成用マイコン (NXP 社製 LPC1114FBD48/302) を中心に、ディスプレイや操作スイッチ等の周辺基板を接続するためのヘッダー、設定値保存用 EEPROM やパルス出力バッファなどを搭載している。そのためほとんどの機能は流用できたが、出力パルスの電圧は 0V(Low)-5V(High) という仕様であった。そこでトランジスタを用いた単純な電圧増幅回路を出力段に接続し、装置前面に設けたスイッチでこの出力を切り替えることで仕様を満たす設計としている。

当初はプログラム自体もほとんどを流用して製作を進めていたが、動作を確認していたところ高周波になるにつれて設定値に対する出力周波数の誤差が大きくなるような挙動が確認され、また依頼者に確認したところ誤差がやや大きいため改善するよう要望があった。そのため、まず出力周波数を設定するアルゴリズムについて検証を行った。

3. 周波数設定原理

LPC1114FBD48/302 にはシステムクロックに連動したタイマーが 16-bit、32bit 各 2 系統搭載されている。各タイマーは個別に有効化・無効化でき、それぞれにカウンター TC とプリスケaler PR、マッチレジスタ MR0 ~ MR3 が紐づけられている。TC はクロック PR+1 周期ごとに 1 カウント増加する。このタイマーはカウンターが所定の値に達した時の挙動を①割り込み (interrupt) イベントを発生させたのち続行②カウンターの値をリセット③タイマーを停止、から選択できる。TC、PR および MR0~MR3 のデータ幅は先述の 16bit / 32bit である。たとえば 16bit タイマー TMR16B0 のカウンターがとり得る値は $0 \sim 2^{16}-1 (=65535)$ である。マッチレジスタもまた、カウンターが MR0~3 の値に達したときに①何もしない②対応するピンを low に設定③対応するピンを high に設定④対応するピンの low/high を反転、といった具合にプログラムから挙動を変更できる。詳細はユーザーマニュアルの所定の章^[2]に記載されている。

マッチレジスタは所定のピンの機能の一つとして設定されている。この挙動を適切に設定すれば、あるピンの出力電圧を一定の周期でトグルさせる、つまりパルスジェネレータとして使用することができる。このとき出力周波数 f_o はシステムクロック周波数 f_{sys} と周期設定用マッチレジスタ MRn、PR を用いて以下の式で求められる。

$$f_o = f_{sys} / \{ (MRn + 1) \times (PR + 1) \} \quad (1)$$

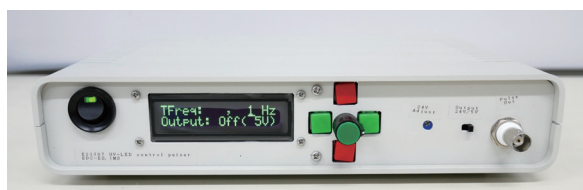


図 1: 製作した UV-LED 駆動用パルスジェネレータ

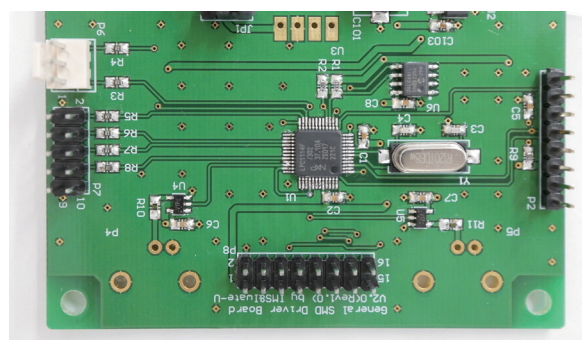


図 2: 内蔵したパルスジェネレータ基板

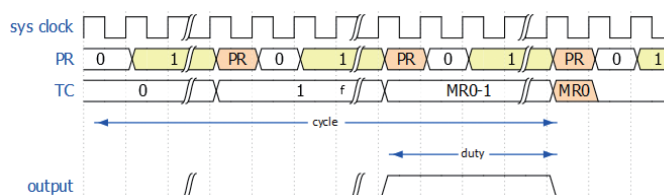


図 3: LPC111x タイマーを用いた PWM 概念図

4. アルゴリズムの改善と誤差比較

従来の周波数設定プログラムでは、TC1 カウント分の時間が区切りの良い値となるように PR を固定していた。今回の例では PR=5 としており、システム周波数が 48MHz であるから分解能 125ns のパルスが生成できる。プログラムが短いほか、計算量が少ないため高速に動作することが期待される一方、すでに指摘されている通り出力周波数に応じて誤差が大きくなることが懸念される。

本アルゴリズムを個別のファイルに切り出し、開発 PC 上で 1Hz から 100kHz までの目標周波数を与えたときに生成される周波数と誤差のリストを作成した。これをグラフにしたものを図 4 に示す。事前に確認された挙動のとおり周波数増加につれて誤差も大きくなる傾向にあり、最大で 1.25% ほどの誤差が生じていることが確認できる。また高周波において波模様が確認できるが、目標周波数がシステム周波数を PR で除したものの公約数であれば理論上は誤差が 0% となるためこのような模様が表れているものと考えられる。

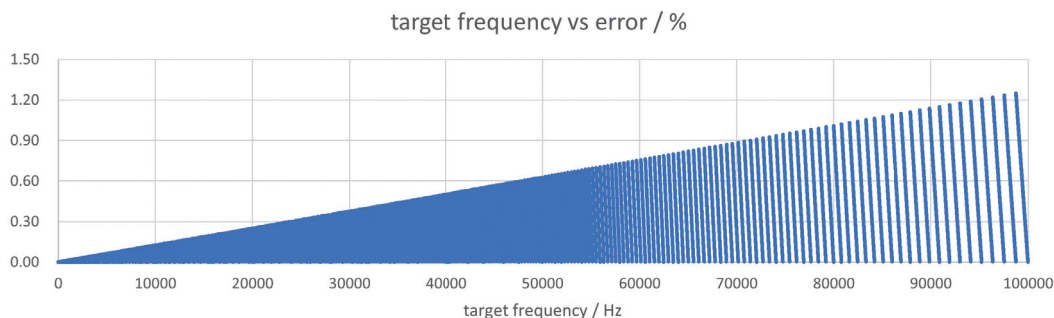


図 4：目標周波数 – 生成された周波数の目標周波数に対する誤差 (従来版)

マイコンのカウンターを用いた現行のハードウェアでは周波数に応じて誤差が大きくなることは避けられないため、アルゴリズムを見直すことで誤差の改善を図った。具体的には、固定されていた PR を可変できるようにし、二つの変数 PR と MRn を用いた式 (1) を解くようにした。同様に PC 上でこのアルゴリズムを評価し、グラフにしたものを図 5 に示す。大まかな傾向は変わらないものの、最大誤差が 0.2% ほどに改善された。計算量が増えることによりレスポンスが遅くなるなどユーザー操作への影響が懸念されたが、ほとんど差異は感じられなかった。もともとユーザー操作のサンプリング間隔を 10ms に制限しており、周波数計算処理がユーザー操作と比べて十分に高速であったため問題が生じなかったものと考えられる。依頼者に状況を伝えたところ了解を得られたため、本方式でプログラムを完成させ納品した。

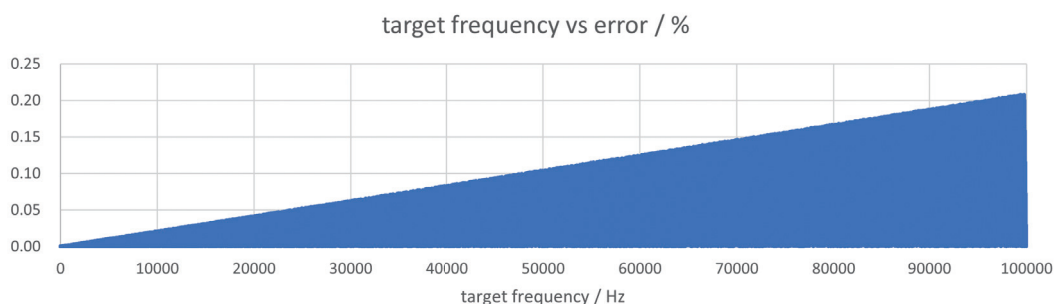


図 5：目標周波数 – 生成された周波数の目標周波数に対する誤差 (改善版)

5. おわりに

今回は依頼者の要望により機会を得て、流用されてきたプログラムの検証を行った。地味な部分ではあるが確実な性能改善が見られた。装置開発室で製作する機器は多くが単品製作であり、また製作中の簡単な動作確認と検証で問題がなければよい場合が多い。近年は工作依頼件数も増加傾向にあり、とくに組み込み機器のプログラムが流用された場合にはそのアルゴリズムが顧みられる機会は少なかったが、その重要性について認識を改める機会となった。

6. 参考・引用文献

- [1] 「ARM マイコンを用いたシンプルな TTL パルスジェネレータの開発」, 豊田朋範, 平成 27 年度実験実習技術研究会
- [2] たとえば “Chapter 18: LPC1100/LPC1100C/LPC1100L series: 16-bit counter/timer CT16B0/1” , “UM10398 LPC111x/LPC11Cx User manual Rev. 12.4 – 22 December 2016” P334, NXP Semiconductor, <https://community.nxp.com/pwmxxy87654/attachments/pwmxxy87654/lpc/28119/2/UM10398.pdf>

リアクティブイオンエッチング装置の活用 

高田 紀子

1. はじめに

基板上にパターンを転写する際の手段としてドライエッチングがある。リアクティブイオンエッチング (Reactive Ion Etching: RIE) 装置はドライエッチングを行う装置の一つで、フォトソグラフィや電子ビーム (Electron Beam: EB) リソグラフィにより製作したレジストパターンをマスクに、基板や基板上に堆積した各種薄膜のエッチングを行うための装置である。RIE装置の特徴は、プラズマ放電によって励起されたイオンにおける基板表面への衝突による物理的エッチングと、化学反応による化学的エッチングの両方の効果を併せもつことで、被加工材料の選択性とエッチング形状の異方性を実現したという点である。プロセスガスとして O_2 ガスを用いることによる有機物のエッチングや、フッ素系ガスによるSiや SiO_2 のエッチング等を行うことが可能である。

2020年度、共同研究棟C棟1Fのクリーンルームに、新たにRIE装置「RIE-10NR (サムコ株式会社)」が設置された。これまで装置開発室ではドライエッチング装置を有していなかったため、溶液を用いたウェットエッチングを行ってきた。ウェットエッチングは、材料に合ったエッチング液があれば処理できる手軽さがメリットである。一方、基本的に等方性エッチングのため、深さ方向にエッチングが進むにつれて横方向への広がりも大きく、仕上がりの寸法精度が低い点が課題であった。RIE装置の設置によりドライエッチングが可能となり、製作できるパターンの微細化と寸法精度の向上が期待できる。ウェットエッチングとドライエッチングの模式図を図1に示す。

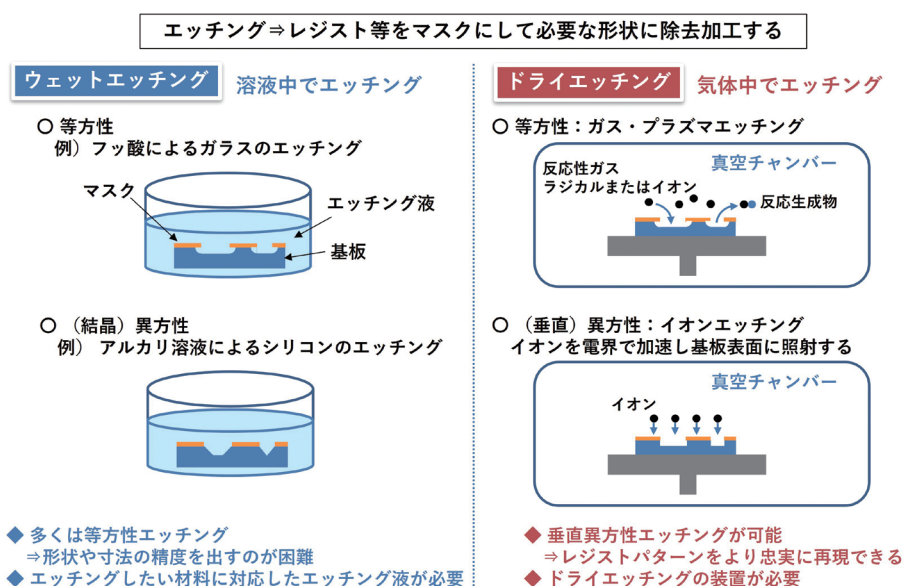


図1: ウェットエッチングとドライエッチングの模式図

2. プロセスガスの増設

RIE装置の設置当初は、プロセスガスとして流せるのは O_2 ガスの1種類であったが、より幅広い材料に対応できるように、フッ素系ガスとして CF_4 ガスの導入を行った。フッ素系ガスを用いてSi系材料のドライエッチングを行うと、反応副生成物として SiF_4 が生じる。 SiF_4 は、それ自身が燃焼したり爆発したりすることはないとされるが、水と激しく反応し、加水分解して、有毒ガスであるHFを生成する。そこで、プロセス後の廃ガスから SiF_4 やHFを除去するための「廃ガス除害装置」を設置する必要がある。それに加え、ガス漏れ対策として「HFガス検知器」も合わせて設置した。RIE装置とその周辺機器の写真を図2に示す。



図2: RIE装置と周辺機器

3. RIE 装置を用いた製作例

CF₄ガスを用いた製作例を図3に示す。ガラス基板の上にSi膜をスパッタ成膜し、その上に製作したレジストパターンをマスクにSi膜をエッチングしている。Si膜の厚さは約60nm、パターンの最小線幅は約100nmである。CF₄ガスによるエッチングでは、Si膜だけでなく基板であるSiO₂もエッチングされてしまう。そのため、始めにSi膜の厚さとCF₄ガスによるエッチングレートを実験により確認し、実験結果により算出した理論時間をもとにSi膜のエッチングを行った。

O₂ガスによる製作例を図4に示す。ガラス基板の上に塗布したCYTOP（アモルファスフッ素樹脂：AGC Inc.）を、レジストパターンをマスクにエッチングしている。1枚の基板の上に、φ4μmの微細孔構造を約200万個製作している。

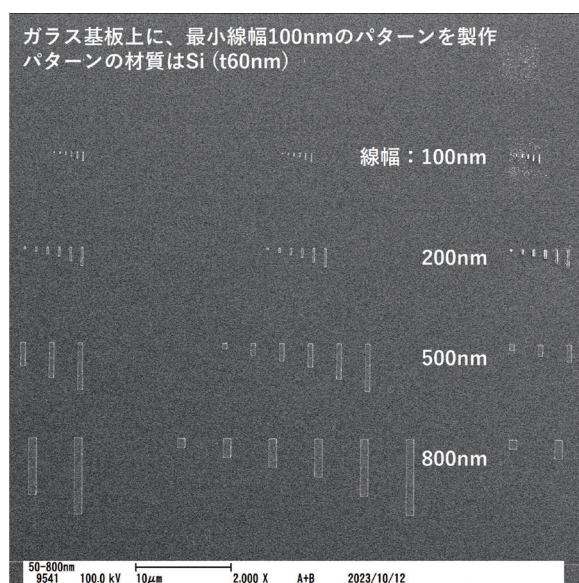
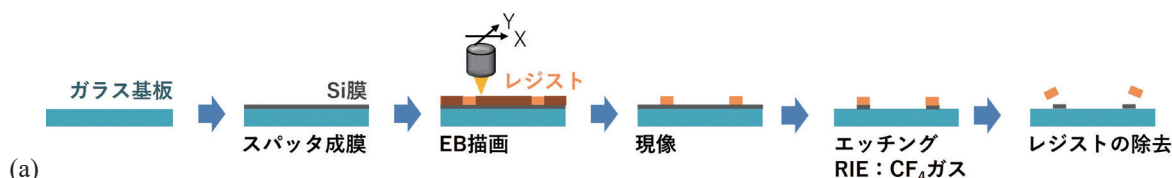
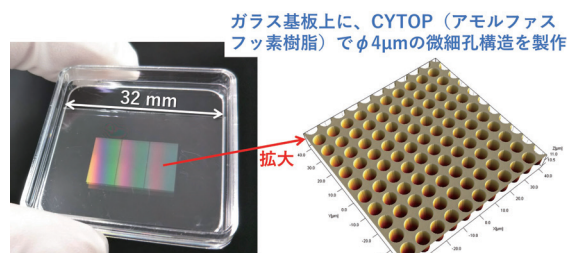


図3：CF₄ ガスを用いた製作例

(a) 製作プロセス

(b) 製作パターンのSEM画像



4. 今後の展望

これまでの実験において、O₂ガスによる有機物のエッチングやCF₄ガスによるSi膜のエッチングを実際に行い、それぞれにおけるエッチングレートや仕上がりのパターン幅に関するデータを得ることができた。今後は、エッチング条件に耐え得るマスクの材質や、エッチングにより変質したレジストマスクの除去について、必要に応じて検討していきたい。また、パターンの形状が変化すると、同じ条件であってもエッチングレートやエッチング部分の断面形状が異なる可能性があるため、注意を要する点である。今後も試作を重ね、データやノウハウを蓄積していくことで、製作プロセスの選択肢の一つとして、積極的にRIE装置を活用していきたいと考えている。

ARIM 技術スタッフ交流プログラム I 

菊地 拓郎

2023年1月29日～30日に電気通信大学において、2022年度ARIM技術スタッフ交流プログラムの「物理特性測定システム(PPMS)装置の実習」を受講した。



PPMSは、幅広い温度範囲(1.9K-400K)と最大9T(90000Oe(エルステッド))の磁場印加を同時に行うことができ、その制御がすべて全自動で行われる装置である。そのため、様々な物性物理分野のユーザーが実験に利用している。

実習では、超電導転移温度を磁場の強さを変えながら測定を行い、相図を作成した。また、超電導転移における比熱異常の測定も行ない、その特性を観察した。

以前まで超伝導特性の測定は、難しく手間のかかるものというイメージがあったが、今回の実習でそのイメージが覆されたという意味でとても良い実習であった。



PPMS

東京大学先端知ビルクリーンルーム見学  

菊地 拓郎

2023年2月28日に東京大学浅野キャンパスにある武田先端知ビルのクリーンルームを見学させて頂いた。クリーンルームは、ビルの地下1～3階にあり、完全ダウンフロー方式でクラス1、クラス100、クラス1000の3フロアに仕切られている。クラス1エリアは、エアシャワー通過後、さらにエアシャワーを通して入室した。ダウンフローのため、グレーチング床になっており、下階フロアにも実験装置や設備があり、空間が有効利用されていた。

利用者が非常に多いため、受付PCから利用するエリア、実験設備を時間ごと選択するようになっており、非常にシステムチックであった。分子研のクリーンルーム運用との違いを見ることができ、非常に有意義であった。

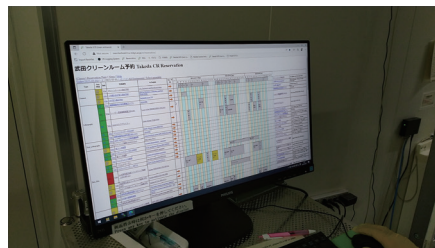


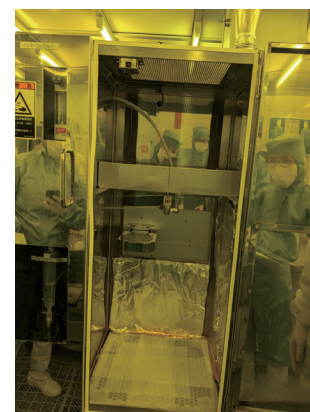
写真1：クリーンルーム(左)、予約システム

京都大学クリーンルームの見学 

高田 紀子

2023年3月3日、リソグラフィ担当スタッフと近藤ユニット長の計4名で、京都大学 吉田キャンパスにあるクリーンルームを訪問した。京都大学ナノテクノロジーハブ拠点(ナノハブ)は、文部科学省「マテリアル先端リサーチインフラ事業(ARIM)」の「マルチマテリアル化技術・次世代高分子マテリアル重要技術領域」のハブ機関として、100台以上の微細加工・評価・分析装置群を所有し、機器利用、技術補助、技術代行といった形で技術支援を行っている。年間の支援件数は300件近くにもおよび、企業からの利用件数も多いということである。専任の技術者は14名で、1人10台以上の装置を担当していると聞き、とても驚いた。なにより印象的だったのは、クリーンルームや各装置の維持管理にかかる費用および人件費を、ARIMから支給される予算と装置の利用料金のみから運営しているという点である。他にも、クリーンルームの管理の様子を実際に見たり、微細加工に関する技術的な情報も聞くことができたりして、大変参考になった。

その後も、京都大学ナノハブのホームページを通して、技術的な内容で何度か問い合わせをさせていただいているが、内容に合った専門の方から迅速にお返事をいただくことができ、とても役立っている。これらで得た情報をもとに、今後の我々の業務に活用していきたいと考えている。



クリーンルーム見学の様子

新人採用

近藤 聖彦

現代は、変化に対応できる柔軟性、分野を超え他者と協働する能力、新たな価値を生み出す能力などを兼ね備えた人材が求められ、これらを意識して育成する重要性が高まっている。しかし、人口減少もあいまって、育成以前に人材確保が難しく、どの業界も人材の確保に全力を尽くしている。装置開発室においても数年間、人事公募をおこなってきたが、採用にいたらなかった。

このような中、夏の暑い時期にかかわらず、遠方より装置開発室の見学を希望された学生が宮崎芳野氏だった。見学後に職場体験の申し込みがあり、2日間の日程で実施した。その後に採用試験をおこない、宮崎氏の採用が決定した。採用から加入までの1年間は長く感じたが、2023年末までに機械関係の基礎技術の習得を終え、NC加工機を操作できるようになり、早速、複雑な形状の工作依頼品を作製した。しかし、テクノロジーは日々進歩するので、教育段階で獲得した知識や能力の期限は短く、継続的に更新や拡張が必要となる。技術だけでなく、働き方も変化すると想像できるので、時代の潮流にのって、共に成長していきたい。

職業訓練（県立岡崎高等技術専門校）

松尾 純一

愛知県が実施している職業訓練であるスキルアップ講座2023について、県立岡崎高等技術専門校にて2023年4月13日～14日「旋盤作業の基本操作Ⅰ」、2023年4月20日～21日「旋盤作業の基本操作Ⅱ」、2023年5月11日～12日「旋盤作業の応用操作」、2023年6月15日～16日「フライス盤作業の基本操作Ⅰ」、2023年6月22日～23日「フライス盤作業の基本操作Ⅱ」の5講座を受講し修了した。実際に旋盤やフライスを操作し、端面切削、外形切削、テーパ加工、面取り、中繰り、ネジ切り、溝加工、やすり掛けなど一通りの実技を行い、基本的な切削加工技術や知識を習得することができた。



第58回 真空技術基礎講習会

菊地 拓郎

2023年5月23日～26日の4日間にわたり、大阪産業技術研究所本部・和泉センターで開催された第58回真空技術基礎講習会を新人の宮崎氏とともに受講した。日本表面真空学会が主催で毎年開講している講習会であり、講師には関西近隣の大学教員や真空関連企業の技術者による講義と実習が行われた。真空工学の基礎から真空ポンプ、真空計などの真空設備、スパッタ装置などの真空を利用した装置まで幅広い知識を得ることができた。最終日には講師たちによるパネルディスカッション方式で受講者からの質問に答えていた。筆者からの「真空工学の夢、真空技術の最高到達点は何か」という問いに対して、「完璧な真空を作ること、短時間で超高真空に到達する真空ポンプを作ること」との回答を頂いた。総合的な真空技術に関する知見を得ることができ、大変有意義な講習会であった。



写真1：大阪産業技術研究所前で筆者(右)と宮崎氏

2023 年度機構技術研究会 

近藤 聖彦

2023年6月22日にZoomによるオンラインで、2023年度機構技術研究会を開催し、5機関の技術職員100名程度が参加した。今回は、グループディスカッションと研究所トピックスの2部構成とした。参加者全員が集う研究所トピックスの発表前に川合機構長のメッセージ動画配信をおこない、技術職員の意欲向上に繋がった。

グループディスカッションは研究会の開催前に9テーマ12議題を決めて、希望順位を募り、できる限り希望にそって割り振りをおこなった。当日は割り振った70名程度のメンバーがグループごとに集まり、各々の意見を述べて、情報交換をおこなった(表1)。各テーマで進行度の違いはあったが、進行役の協力を得て無事に終えることができた。

グループディスカッションの内容

| テーマ | 議題 | 参加人数 | 天文台 | 核融合研 | 基生研 | 生理研 | 分子研 |
|------------|--------------|------|-----|------|-----|-----|-----|
| 回路の設計工作 | FPGA開発 | 5 | 0 | 3 | 0 | 0 | ○2 |
| | AI技術 | 5 | 0 | 0 | ○2 | 2 | 1 |
| 制御・プログラミング | Python | 5 | 0 | 0 | 1 | 2 | ○2 |
| | GAS | 5 | 0 | 1 | 0 | ○2 | 2 |
| 検査・保守管理 | 放射線測定器の校正と点検 | 5 | 0 | ○3 | 0 | 2 | 0 |
| 遠隔技術 | 遠隔監視 | 12 | 1 | 1 | ○5 | 5 | 0 |
| 安全衛生 | 化学物質の管理と安全対策 | 6 | 0 | 1 | ○3 | 1 | 1 |
| | 安全指導 | 6 | 0 | 1 | ○4 | 1 | 0 |
| プレゼン・資料作成 | 研究会のハイブリッド開催 | 8 | 0 | 1 | 2 | ○5 | 0 |
| 運営 | 新人研修・新人教育 | 5 | 0 | 1 | 1 | 1 | ○2 |
| 装置運用 | リスク分散と対策 | 5 | 0 | ○2 | 0 | 1 | 2 |
| 技術職員の在り方 | 産学連携 | 5 | ○1 | 1 | 1 | 0 | 2 |

※○は司会

第35回ものづくりワールド 

菊地 拓郎

2023年6月22日に、東京ビッグサイトで開催された第35回ものづくりワールドの見学をしてきた。COVID-19の第5類感染症移行後、初の展示会参加となり、会場は数年前の活況が戻ってきた印象であった。

展示品目は、数年前から金属材料を含む3DプリンタなどのAdditive Manufacturing(付加造形技術)が活況であり、この展示会でもそれが見て取れた。その他、AR(拡張現実)ゴーグルを用いた、技術継承やデザインレビュー用途の展示も目立った。



AR技術 コードが印字されたところに3Dが表示される

マネジメント研修 

近藤 聖彦

2023年8月30～31日、愛知職業訓練会館で、【リーダーと先輩社員のための「人財の育て方」研修】を受講した。

1日目は「1. リーダーの役割と求められる能力として4つの項目(A. コミュニケーション、B. 働く場面での人間関係の作り方、C. リーダーの役割、D. 人を育てる3つの力)」と「2. 人間関係作りのスキル」を学ぶことができた。2日目は1日目に習ったことを実践した。受講者がリーダーと部下に分かれてそれぞれの役を演じることで、より現場に近い状況での判断力、対応能力、表現の仕方など総合力が求められた。2日間の受講は両日とも疲労したが、有意義であった。受講したことを少しでも実行していきたいと考えている。



会場

東海・北陸地区国立大学法人等技術職員合同研修（機械コース）



宮崎 芳野

1. はじめに

2023年8月30日～9月1日に金沢大学にて実施された、技術職員合同研修(機械コース)に参加した。この研修は、東海・北陸地区の技術職員に対し、専門的な知識及び技術等を修得させ、技術職員としての資質の向上と職員相互の交流に寄与することを目的としており、私自身も多くの人と関わり、共に技術を学ぶことができた。

今回は、工作機械振動、金属3Dプリンタ、SEM、炭素繊維複合材料など、機械加工に関わる幅広い分野について講義を受けた。講義のほかには、金沢大学にある工作機械を用いたミニハンマーの製作や学内を見学し、分子科学研究所とは異なる環境、技術職員各々の工夫について見識を深めることができた。



写真：金沢大学での研修の様子

2023年度機器・分析技術研究会



豊田 朋範

2023年9月6日～7日に熊本大学で開催された、2023年度機器・分析技術研究会に参加した。約4年ぶりのオンサイト形式での研究会参加となる今回は、(1)「広範囲温度測定ユニットの開発とWAN-WANへの適用」なる題目での口頭発表(2)汎用一斉警報通知システム(WAN-WAN)の展示参加の2つを主要な目的とした。本稿では、特に後者について報告する。

岩手大学と共同開発を進めているWAN-WAN(Wireless Alarm Network for Wide Area Notification)は、分子研ではC棟クリーンルームでの運用が2年を超えるのをはじめ、東北大学、大阪大学、熊本大学、鳥取大学、北海道大学で実証試験中であるなど、機関を超えた展開が進んでいる。本研究会では、岩手大学と協力して分析機器を手掛ける企業と同様に展示ブースを設け、WAN-WAN基本モジュールや周辺ユニットを展示し、通知動作を体験できるようにした(写真1)。3月の技術職員受入研修で筆者らが技術指導した若手技術職員が開発した周辺ユニットも展示対象とした。

2日間の展示は、研究会参加者や展示企業からの注目を集め、WAN-WANの仕組みや導入費用、通知動作の設定など多くの質問やコメントが寄せられ、終日大きな盛り上がりを見せた。WAN-WANを通じた特許の実践的運用や若手技術職員の育成の道筋が出来つつある。



写真1：展示ブースの様子

出張報告（大阪大学産業科学研究所）




菊地 拓郎

2023年9月18日～21日の4日間にわたり、大阪大学産業科学研究所の集束イオンビーム装置を利用した。電鍍製ノズルの先端に $\phi 30\mu\text{m}$ の小径孔加工をするためである。今回は、装置利用により操作レクチャーを受講の後、条件設定から加工までを自ら行った。Carl Zeiss製のFIB装置であったが、加工範囲はbitmap imageの図形を照射したい位置に設定するのみで直感的であり、操作自体はすぐに行えるようになった。穴を貫通するための条件設定に苦心したが、貫通させたサンプルを作ることが出来た。

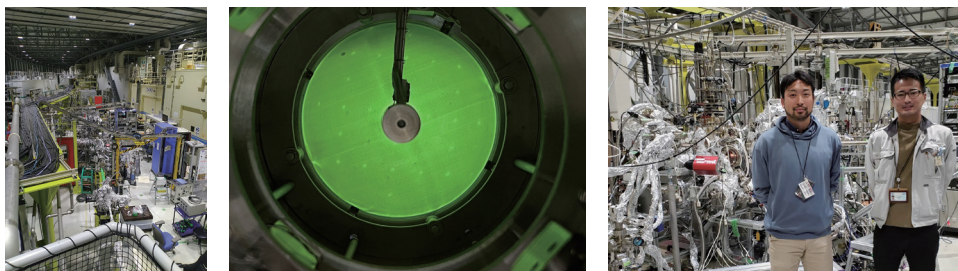


産業科学研究所


ARIM 技術スタッフ交流プログラムⅡ 

菊地 拓郎

2023年11月11日～13日にSpring-8で開催された技術スタッフ交流プログラムに参加した。「固体の放射光X線光電子分光測定の実習」という内容で実験の実習を行った。BL23SU表面化学実験ステーションにて、シリコン(Si)基板上のSiO₂膜成長の過程を観測した。ここ数十年ほど、触媒反応などの表面におけるその場観測(in-situ)が盛んであり、それに関連した実験用の部品を依頼されることも多かったため、実際の装置や測定の様子を学ぶことができた。非常に有意義な実習であった。



左からビームライン全景、LEED 測定の様、筆者(左)と津田氏

出前授業（岡崎市立小豆坂小学校） 

豊田 朋範、菊地 拓郎

2023年12月5日に、岡崎市立小豆坂小学校で「振り子の仕組みと活用例」というテーマで出前授業を行なった。当日は、講義のうち、分子研と技術職員の紹介並びに倒立振子を豊田が、振り子の仕組みと応用例(二重振り子など)を菊地が主に担当した。

教材の準備において、児童の興味関心を高めるには、動きがあり視覚的に理解しやすいことが望ましいと考えた。しかしながら、小学校理科の単元で学習する振り子は実用例や教材が少ない課題があった。調査と議論の結果、振り子の発展形である倒立振子を取り入れることにした。教材は入手性も考慮して、倒立振子制御学習教材ビュートバランサー2(ヴィストン株式会社)を採用した。付属の筐体を3Dプリンタで透明なものに置き換えて製作し(担当:松尾純一氏)、回路基板など内部の構造が見えるように工夫した。

教材の実演では、教材の初期角度を分度器で計測してもらってから稼働させるなど、参加・体験を重視した(写真1)。児童は終始熱心に聞き入り、教材の実演やPythonによる振り子のシミュレーションでは驚きの声や歓声が度々上がった。

授業前後の校長先生との談話では、児童が科学体験する機会が近年ますます失われていること、似非科学が横行する実社会と理科教育のあり方など、多岐にわたる課題や要望が話題に上がった。今後も、教材開発を含めた出前授業を推進していく所存である。

最後に、今回の出前授業にご協力いただいた、小豆坂小学校の永田祥晃教諭に御礼申し上げます。



写真1：出前授業における教材実演の様子

新装置紹介 「プリント基板加工機」

豊田 朋範

1. はじめに

電子機器の小型化の需要に応えるため、ICをはじめとする電子部品の小型化は著しく、プリント基板に貼り付けるように実装する表面実装タイプのみが製造・販売されることも珍しくない。ICのピン間隔も1.27mmから0.65mm、さらには0.5mmなど狭小化の一途を辿っている。

ICの小型化やピン間隔の狭小化は、信号の検出や増幅の要となるオペアンプなどアナログICも例外ではない。アナログ回路における高速動作や高精度の実現には配線インピーダンスの低減が重要だが、そのためにはピンが短い、すなわちピンのインピーダンスを低く出来る表面実装タイプの部品の採用が必要である。

装置開発室エレクトロニクス・セクションでは、プリント基板の小型・高密度化による配線インピーダンスの減少や高速動作への対応のため、1990年代後半から表面実装タイプの部品を導入し、実装技術の取得・向上に努めている。また、ほぼ時を同じくして、プリント基板加工機を導入し、試作評価の効率化や小規模量産に対応している。現在は3代目となるA427A(Accurate社：イープロニクス株式会社取扱)が稼働中である(図1)。

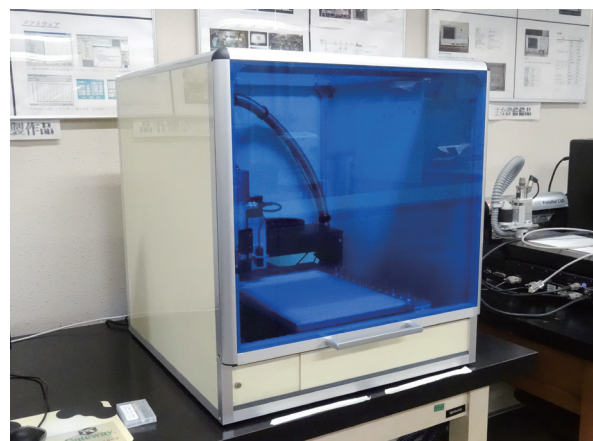


図1：3代目となる新型プリント基板加工機 A427A の外観

2. プリント基板加工の製作方法

プリント基板の製作方法は、(1)エッチングによる化学処理 (2) 工具による切削加工の2通りに大別できる。

(1)は硫酸銅を用いてレジストを塗布してマスクしたパターン以外の銅箔を溶解して除去する、リソグラフィのウェットエッチングと同等の方式である。微細なパターンを高精度に構成でき、一度に複数枚の処理が可能で生産性が高いが、強酸性の溶液を使用するため廃液処理が必要であり、人体や環境に悪影響を及ぼす場合がある。

一方、(2)は先端が鋭利な工具で銅箔を切削することでパターンを構成する形式で、機械工作で用いられるフライス盤と同等である。廃液処理が不要なため人体や環境への悪影響が小さいが、1台の機器で順に製造するため生産効率が低く、パターンの精度が工具の摩耗に影響される。プリント基板加工機は、(2)の方式である。

3. プリント基板加工機 A427A の特徴

プリント基板加工機 A427A の最大の特徴は、180穴/分、移動速度150mm/秒の高速性能と、10万rpmの高速回転スピンドル¹⁾である(図2)。

従来のプリント基板加工機では狭小な配線の加工精度が十分でなく、工具の摩耗によって切削深さが徐々に浅くなることで、手動で切削深さを調節して特定の領域を繰り返し加工する必要が生じることが多く、効率の低下や切削不良による配線の欠損などの課題があった。本加工機は、高出力スピンドルの採用により、ツール先端に十分な力を加え、かつ安定した高速回転によって加工精度を高めている。また、切削深さをリアルタイムで調整する機能が搭載され、手動調整の手間が大幅に減少した。

また、従来は加工内容によってツールを手動で交換する必要があったが、本加工機は基板データに応じて自動でツールを交換する。このため、基板加工と他の作業を並列処理できる割合が高まり、増加の一途をたどる工作依頼を迅速に処理できるようになった。

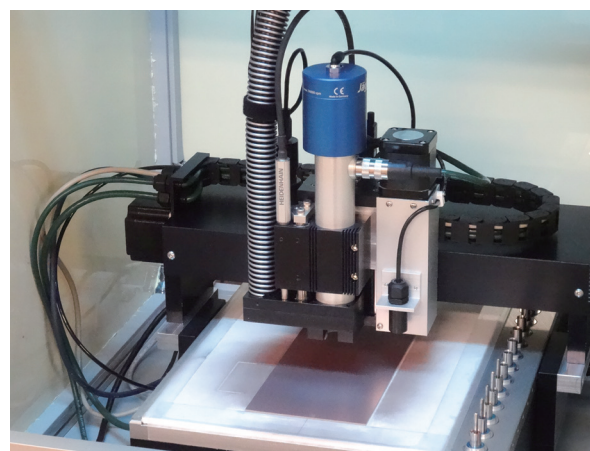


図2：新型プリント基板加工機 A427A の本体とスピンドル部分

4. プリント基板加工機による製作例

本加工機によるプリント基板の加工例を図3、4に示す。

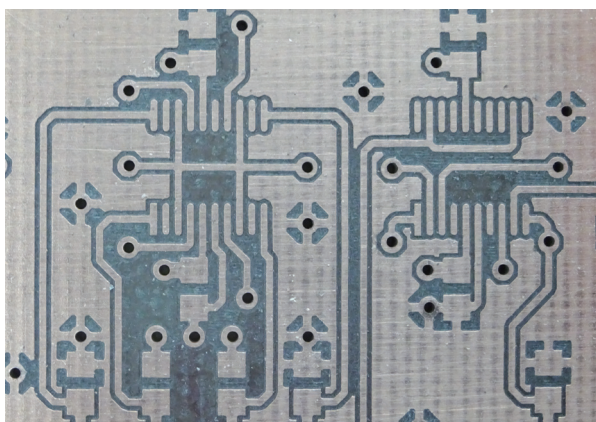


図3：A427Aによるプリント基板の加工例(1)
ピン間隔 0.65mm の TSSOP パッケージ IC と
周辺部品

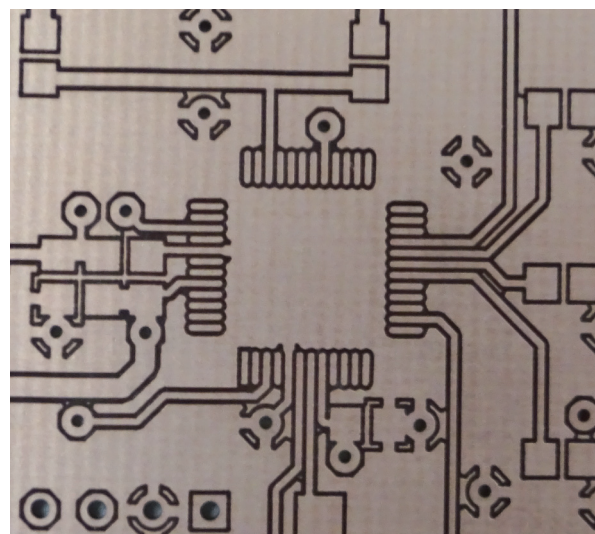


図4：A427Aによるプリント基板の加工例(2)
ピン間隔 0.5mm の LQFP パッケージ IC と周辺部品

本加工機は0.65mmや0.5mmといった狭小なピン間隔も高精度で加工できるため、効率を高めるとともに実装時のはんだショートのリスクを低減できる。また、高速加工性能により、図5のような大型のプリント基板を従来比約1/2～1/3の時間で加工できる。BNCコネクタなども一体化したプリント基板を高速・高精度で製作できるため、試作評価の迅速化や少量量産の効率向上が可能である。

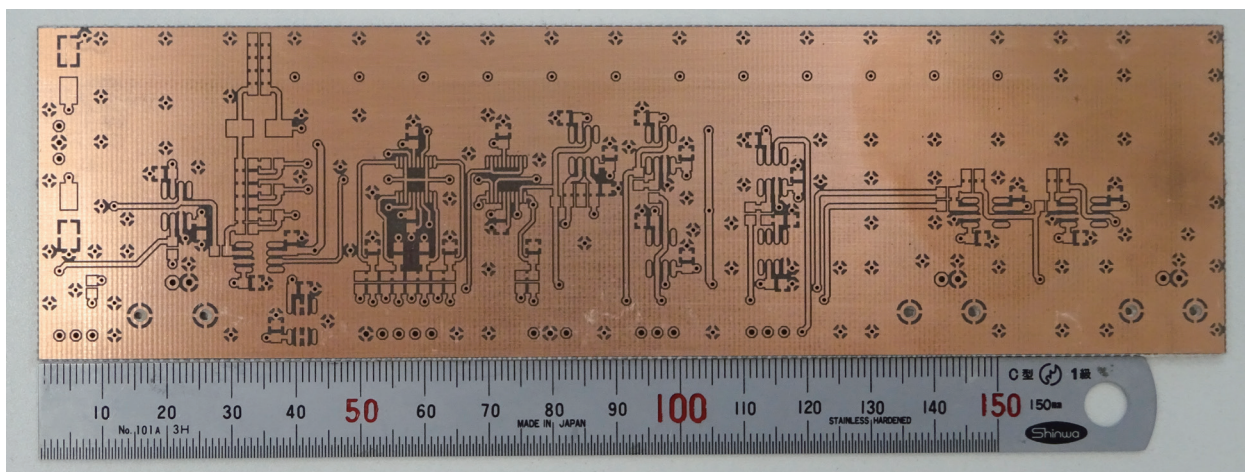


図5：A427Rによるプリント基板の加工例(3)
BNCコネクタまで一体化した 186.0mm × 52.0mm のプリント基板

5. おわりに

最近、装置開発室の工作依頼ではアナログ回路の比重が高まっている(関連記事p8～9)。現場の需要により正確かつ迅速に応え、かつ信頼性の高いプリント基板の設計・製作を進めていきたい。

6. 参考・引用文献

[1] A400シリーズ仕様 イープロニクス株式会社 https://www.epronics.co.jp/products_4_2/2_index_detail.php

新人研修レポート

宮崎 芳野

1. はじめに

2023年4月より装置開発室の技術職員として着任し、メカトロニクスセクションを担当することになった。着任から今日に至るまで、本当にたくさんのことを経験した。ここに9か月間の研修報告をする。

2. 研修内容

新人研修は表1のようなスケジュールで行った。

表1：研修のスケジュール

| 4月 | 5月 | 6月 | 7月 | 8月 | 9月 | 10月 | 11月 | 12月 |
|----------|----|--------------|------------|------------|----|---------------|-----|-----|
| 見学 製図 | 旋盤 | フライス盤 講習会 | 溶接 表面観察 | 真空 依頼業務 | | NC旋盤 5軸加工機 | | |

- ・製図：CADソフト(SOLIDWORKS)の使い方、実習
- ・旋盤：ねじ切り(タップとバイト)、ローレット加工の実習、だるま落としの製作、はめあいの実習
- ・フライス盤：だるま落とし、コレットチャック収納ボックス、スマホスタンドの製作
- ・溶接：TIG溶接(しき板入れ、ペン立て、加工槽の製作)、銀ロウ付け(銅、ステンレス)、はんだ付けの実習
- ・表面観察：走査型白色干渉計(Nexview)、非接触三次元測定装置(NH-3SP)の原理や使い方、データのまとめ
- ・真空：真空実験用装置、リークチェック装置の立ち上げ、圧力計算などの勉強
- ・NC加工機：NCプログラム(MAZATROL)、CAMソフト(hyperMILL)の使い方、実習、マニュアル作成
- ・その他：ボール盤、コンタマシン、帯鋸盤、曲げ機構、ガラスブラスト、グラインダー、刃物研削盤の使い方
- ・見学：分子研、生理研、基生研、事務センターの見学、ラボツアー(研究室の見学)
- ・講習会：放射線、寒剤、機械、回路、リソグラフィ、ARIM、機構技術研究会など
- ・出張：真空技術基礎講習会、国立大学法人等技術職員合同研修、FIB装置の加工見学

3. 研修報告

・だるま落としの作製

だるま落としは、様々な材料の特性や加工方法および、旋盤とフライス盤の使い方を学ぶという目的で作製した。材料には、アルミニウム、ステンレス、銅、真鍮、アクリル、デルリン、ガラスエポキシの丸棒を用いた。

だるま落としは、頭(アルミニウム)、胴(アルミニウム、ステンレス、銅、真鍮、アクリル、デルリン、ガラスエポキシ)の部品を組み合わせて作る。頭と胴は中心に穴が開いており、そこに作製した金づちの柄を挿せるようになっている。だるまの頭は主に旋盤で加工し、一般的なバイトと倣い加工用のバイトを用い、丸みを帯びた形状に仕上げた。中心の穴は、ドリルで穴を開けた後にリーマで仕上げ、柄が滑らかに通るようにした。また、曲面である顔のパーツのネジ加工は、フライス盤を用いて行った。胴は分割されており、形状はすべて同じである。また金づちは、アルミニウムの頭とステンレスの柄の部品を、ネジ止めて組み立てられるようになっている。

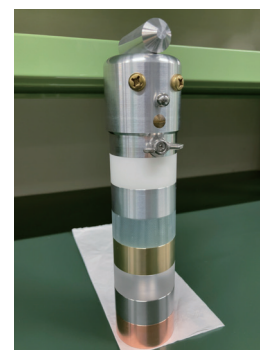


図1：だるま落とし

・Nexviewでの測定実習

表面観察技術を学ぶにあたって、Zygo社のNexviewを用いて表面粗さ測定の実習を行った。この装置は、非接触で測定ができる走査型白色干渉計である。実習のために、フライス盤で送り速度のみ変化させて平面を仕上げたブロックを準備した。

測定には2つの方法を用いた。1つは、同じ倍率で各ブロック平面の決まった位置を測定することである。送り速度を速くするほど表面の凹凸の高さと幅、表面粗さは大きくなった。もう1つの方法は、異なる倍率(2.75倍、10倍、50倍の干渉対物レンズ)で1つのブロックの決まった位置を測定することである。倍率を高くするほど測定範囲は小さくなるが、レンズの倍率が10倍と50倍でPV(Peak to Valley)値に大きな差はなかった。

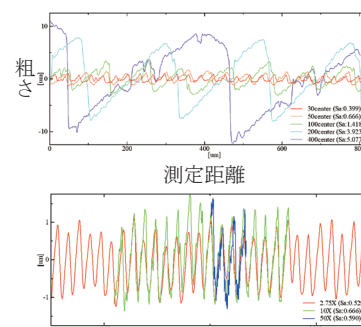


図2：Nexviewでの測定実習(上：送り速度、下：倍率による違い)

4. 依頼業務報告

・ヘリウム回収管の溶接

UVSORのビームラインのヘリウム回収率が低下した。当時のヘリウム回収管は6か所で繋がれた全長12mの成形ベローズで構成されていたので、回収率低下の原因特定が難しかった。成形ベローズは自在性があるが、耐久性に不安があること、コストが高いことから、直管で代用することになり、研修の一環として製作を担当した。

回収管は、2mのステンレスパイプ1本に対して、NW25フランジを両端に溶接した。ただし端面と端面のつき合わせ溶接は、パイプとNWフランジの中心がずれるため、旋盤でフランジに段を付けてパイプにはめ込んだ。このとき、既製品であるパイプの径がどれも全く同じであるとは限らないため、それぞれに合うように寸法を変えて切削した。

その後、溶接部が酸化しないよう、アルゴンガスをパイプに流し入れながら溶接を行った。溶接部になるべく近づけてガスを出し、充満するようにNWフランジをアルミホイルで塞いだ。円周方向の溶接はターンテーブルを使用することが多いが、パイプが長くターンテーブルには乗せられないため、まず2点で点付けをし、その後、手で回しながら線付けを行った(図4)。終部はクレーターができないように接合部からビードを逃がした。

溶接の完了後は、リークチェックを行った(図5)。1本だけ明らかに溶接を忘れていた箇所があり、そこはリークを確認できたが、それ以外のリークはなかった。使用後の回収率はほぼ100%で今のところ問題はないと伺っているので、非常に嬉しく思う。また、最初から最後までほぼ自分で行った初めての依頼業務で、思い入れがある。



図3：完成したヘリウム回収管



図4：ヘリウム回収管の溶接部



図5：リークチェック時の様子

・銅輻射シールドの作製

銅輻射シールドは、極低温・高真空下で外壁からの熱輻射を遮るためのものである。このシールドは、電磁波の反射率や冷却効率の高さから、銅を材料として用いる必要があった。銅は粘り強く、工具が折損しやすい材料なので、自動でプログラムの指令に従って切削するNC旋盤を使うときは、加工条件が重要となる。そこで、試作を兼ねて最初はアルミニウムでシールドを作製した。

このシールドの主な作製工程は、①直径90mm、長さ77mmの丸棒をNC旋盤に固定して、テーパ形状に切削(図6)、②汎用旋盤に固定して、つかみしろを除去(図7)、③内側切削を安定させるためにシールド外径に適合した治具の加工(図8)、④切削した治具にワークを固定して内側切削(図9)、である。

試作の加工完了に至るまで、工具の購入や加工機の設定、図面の相談・作製などすべきことがたくさんあったが、多くの方々の協力を得て、図10に示す試作品を完成させることができた。この試作時の内側切削において、バイトの突き出しが長かったことから、切削振動が大きくなり、加工面に模様として現れるという現象が起こった。これは初めての経験で、加工条件の重要さを感じた。

さらに、銅の加工を行うと想像以上の困難が待ち受けていた。例えば、アルミニウムでは振動が小さかった切り込み量が、銅にとっては切削抵抗が大きくなり、NC旋盤が振動し途中で工具が外れた。このことから、さまざまな加工条件を検討して最適な加工条件で切削した。

銅輻射シールドは初めてのNC旋盤を用いた依頼業務で、当時の私のレベルからすると難易度がかなり高いと感じたため、大変印象に残っている。

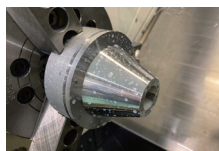


図6：外径切削後

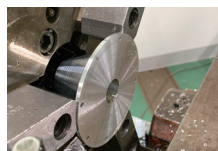


図7：つかみしろ除去後

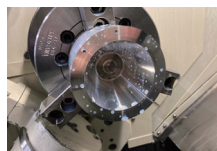


図8：切削した治具

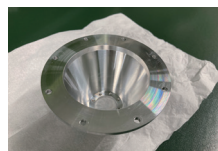


図9：内側切削後

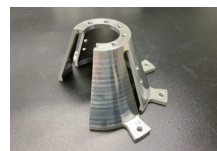


図10：試作品完成

5. おわりに

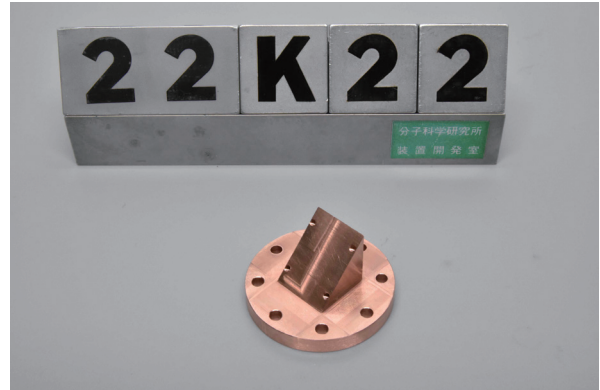
これまでの9か月間をまとめる機会をいただき、本当に多くのことを学習していると改めて実感している。今回報告したのは技術として学んだことだが、それ以外にも人と関わる上で大切なことなども多く教えていただいた。現在は少しずつ業務を担当し、分からないときは相談に乗っていただき、新たな知識を得るということを繰り返している。今後も多くの知識を得て、より利用者のお役に立てるようになっていきたい。いつも丁寧に指導してくださる近藤ユニット長と菊地氏をはじめとする装置開発室の方々、そして汎用工作機械や溶接のことを教えてくださり、加工のときはいつも傍で見守ってくださった水谷さんに感謝いたします。

22J07 SDD マウント



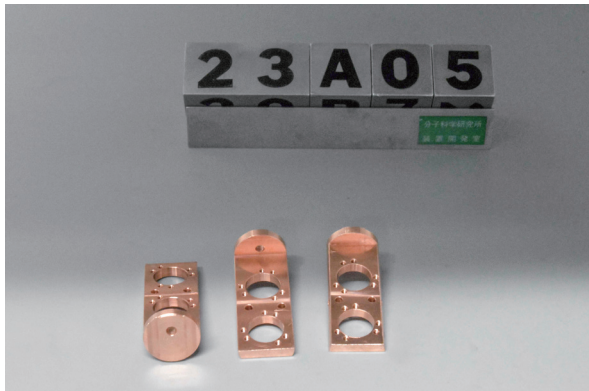
銅部品を加工後、パイプ継手部品を銀ろうで接合した。銀ろう後に付着する酸化被膜は、紙やすりなどを用いて除去したので、写真のような光沢のある仕上がりになった。

22K22 試料ホルダー 45°



分割すると熱伝導性が低下するため、NC工作機械で一体加工をおこなった。

23A05 Microstat コールドフィンガー



熱伝導率が高い銅を使用して作製した。小型形状のため、小径穴は工具の折損に注意を払い加工をおこなった。

23A12 微小引張試験用ユニット



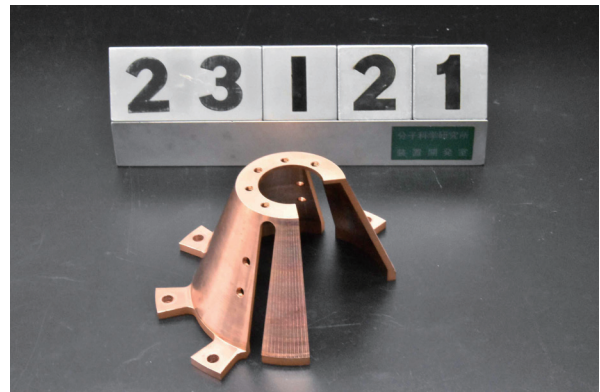
左から 2番目の糸切りばさみの形状をしている薄板の部品、左から4番目の階段状の部品はワイヤー放電加工機を用いて加工した。

23C20 赤外集光軸外放物面鏡 (関連記事 p24)



最初に加工面の表面粗さと加工条件を検討し、その後、5軸加工機を使用し、放物面形状の加工をおこなった。曲率が異なる5種類の形状を加工した。写真はその中の1種類である。

23I21 銅輻射シールド



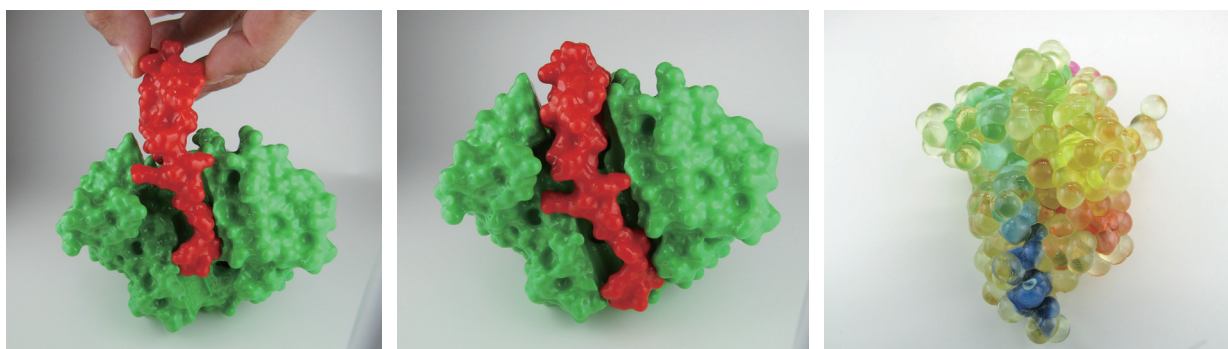
電磁波の反射率と冷却効率を考慮し銅を用いて作製をおこなった。内外のテーパ形状はNC旋盤、放射状のフランジ部分はワイヤー放電加工機を用いて加工した。

23C04 分子研水分子マグネット桐蔭横浜大学 Ver



桐蔭横浜大学の施設見学用のノベルティー用に制作。校章のデザインが細かいので凸表現とした。

23E06 3psg と 4neo の模型



蔵前工業高校からの依頼。磁石により取り外しができる3psgのsurface模型と透明なspheres形状の中にフルカラーのcartoon形状を埋め込んだ4neo。

23F08 警報ランプ用ケース



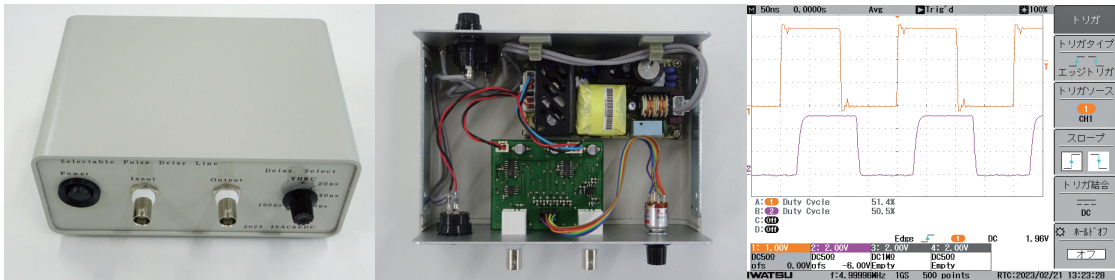
回路工作室が製作した警報ランプ用のケース。警報時に赤色点灯するため透明色で作成。警報音を発するスピーカーも内蔵出来る。

22L06 Time Delay Generator & Modulator



- UVSORのストレージングで発生する5MHz上限の5V TTL信号に0～100nsのディレイを加え、1kHz～1MHzの参照信号とのANDを取り、電氣的に信号の間引きを行なう。
- ディレイは岩手大学と共同開発したディレイパルサーを用い、モジュレータを開発。
- モジュレータは、参照信号を内蔵のDSS(Digital Signal Synthesizer)回路モジュールで生成し、74ACT08DでディレイとのANDを取るシンプルな構成。出力は50Ω駆動可能。
- 実績のある回路モジュールを活用し、短納期に対応。

23B08 分光実験パルスディレイライン



- UVSORのストレージングで発生する5MHz上限の5V TTL信号に、固定時間のディレイを加えて、TTL信号の位相を遅らせることで、実験系の同期を微調整する。
- ディレイ時間はThrough(0ns), 20ns, 40ns, 60ns, 80ns, 100nsから、ロータリースイッチで選択可能。
- アナログディレイICとアナログスイッチを用いた、シンプルでストレスフリーな回路と操作系。

23E07 トリガレベルコンバータ



- 実験系の同期トリガとして使用するため、周期1sec、振幅最大10V、幅1μsec程度の信号を、振幅0-5V、幅10μsec程度に変換・整形する。
- 接続先の入力インピーダンスは、50Ωと1MΩ両方に対応し、フロントパネルのスイッチで選択可能。
- 古典的なワンショット回路とアナログ回路によるシンプルな構成で、必要な機能を実現。

23F02 RIE 用警報パトライト & ブザー



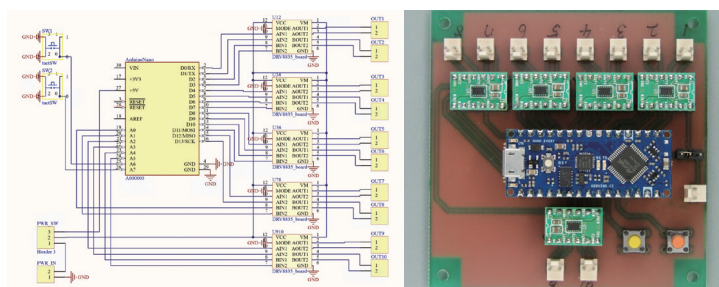
- RIE(Reactive Ion Etching: 反応性イオンエッチング)装置に接続するフッ化水素検出器からの漏洩信号を受けて、既設のスマートスピーカーなどで通知するとともに、LEDの周期点灯と大音量ブザーで RIE 装置至近の利用者などに通知する。
- RIE 装置に据え置きできるように、機能を集約した直径 70mm の円形基板と、3D プリントによる筐体製作で、コンパクトに構成。
- ブザーの周波数推移と音量は、公益社団法人 日本防犯設備協会の「防犯警備音」に準拠。

23F10 水量監視システム



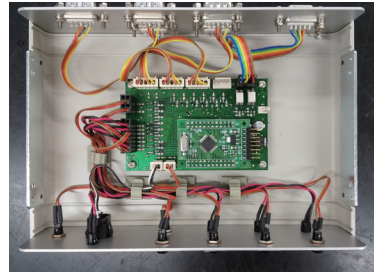
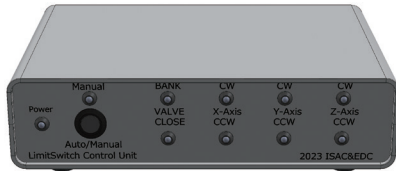
- KEYENCE 社のクランプオン式流量センサの信号を CONTEC 社製のアナログ入力ボードを載せた Raspberry Pi でロギング。グラフ化しモニタ表示すると共に、流量低下時にはメールでアラート通知を行う。

23G16 電動光学アイリスの多チャンネル化 (関連記事 p30)



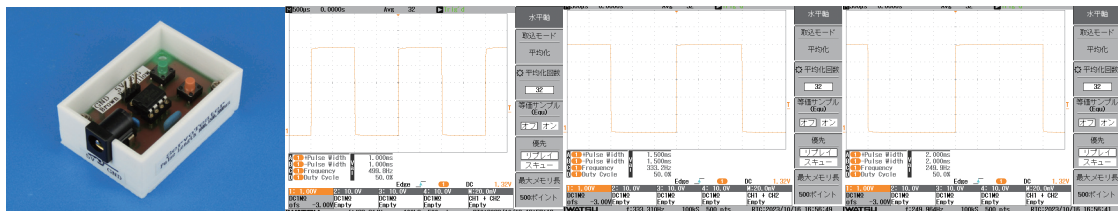
- 電動アイリスシャッター用のコントローラ。可能な限り多く制御するため、使用しているマイコン (Arduino Nano Every) の IO ポートを全て使い、2 入力 10 出力とした。PC と USB ケーブルで接続することで COM ポートとして認識しコマンド制御が可能。出力ポート番号と回転の向き、回転時間をミリ秒で指定する。

23H10 23J08 リミットスイッチ BOX



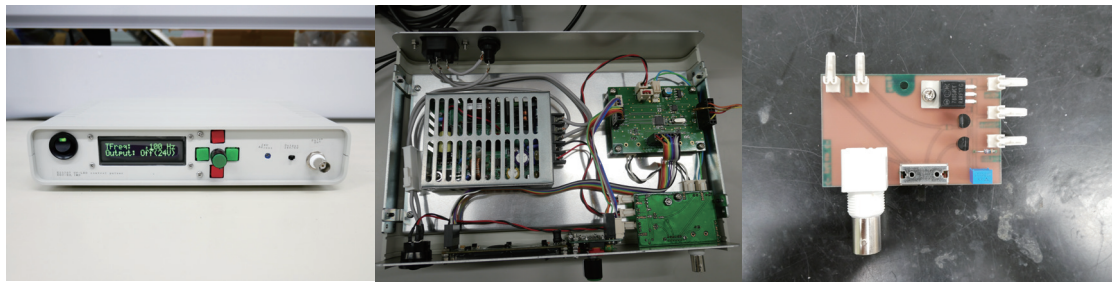
- ステージコントローラーとリミットスイッチを中継し、コントローラーからの12V給電で動作するアダプター
- XYステージのリミットスイッチ検出時に、検出軸に加えてZ・θ軸、バルブ、バンクも停止させる
- 手動復帰のため、リミットスイッチの検出をすべて無視するManualモードを搭載

23J04 サーボモータ 簡易駆動装置



- サーボモータを装置に組み付ける際に原点に戻すための簡易的なサーボモータ駆動装置。通常は1.5ms幅のパルスを発振する。ボタンを押すことで左右の最大角度(1ms,2msのパルス幅)にも調整可能。小型のPICマイコンを使用し50×35×18mmの大きさにまとめた。セラミック発振子を用いてクロックを生成し、アセンブラ言語を使用しステップ数を計算したプログラムとすることでマイコン制御ながら安定したパルスを発振する。

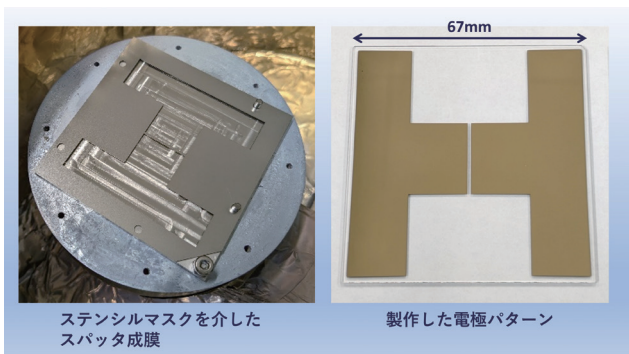
23J07 UV-LED 制御用矩形波発振器



- スポット型紫外光LED照射器の外部トリガー信号として使用する振幅24Vの矩形波を生成する発振器
- 装置前面のスイッチを切り替えることで5V出力となり、汎用パルスジェネレータとしても使用可能
- 最大出力周波数100Hz(24V出力時)、100kHz(5V出力時)

22K02 電解合成用ガラス基板 (Au/Co)

□ 67 × t1.1 (mm) のテンパックスガラス基板上に、Au (t10nm) / Co (t90nm) の電極パターンを製作した。実験を進める上で枚数が必要であったことから、作業性を重視し、ステンシルマスクを介したスパッタ成膜により製作を行った。最小寸法となる電極のギャップは1mmである。

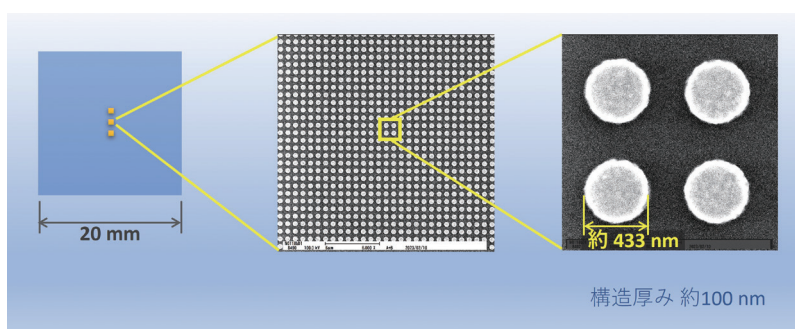


ステンシルマスクを介したスパッタ成膜

製作した電極パターン

22L01 円柱状微細構造体

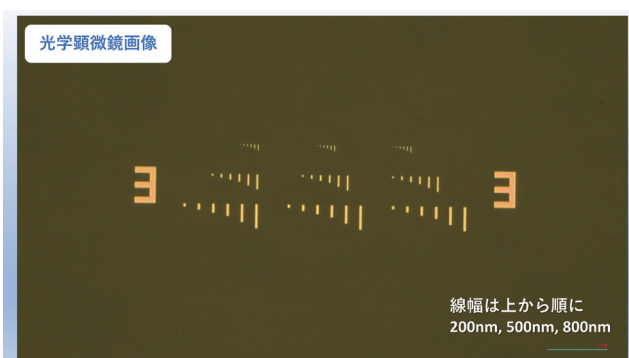
□ 20mm 合成石英基板上的の□ 200μm 範囲内に、図のような金の円柱状構造を作製した。



構造厚み 約100 nm

23C01 ガラス基板への Si ナノパターンニング Ver.2

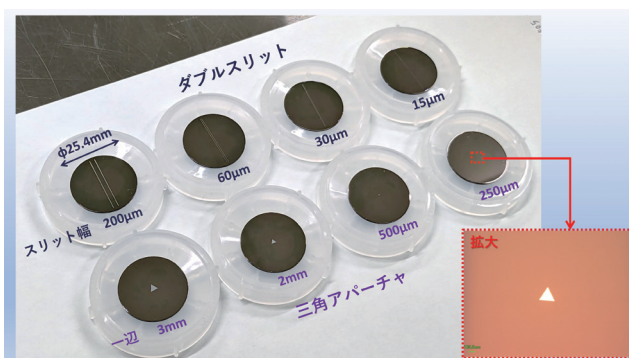
□ 10 × t0.7 (mm) のテンパックスガラス基板上に、最小線幅 200nm のパターンを Si で製作した。パターンの製作は、電子ビーム描画装置でレジストパターンを製作後、Si をスパッタ成膜し、アニソール中でレジストを除去することで Si のパターンを得る「リフトオフ法」により行った。Si の膜厚は、15nm と 60nm の 2 種類で製作している。



線幅は上から順に 200nm, 500nm, 800nm

23F05 φ 1 インチアパーチャ類

φ 25.4 × t0.7 (mm) の石英基板の上に、ダブルスリット、三角アパーチャ、マルチピンホールのアパーチャ構造を計 13 種類製作した。写真はその 1 部 (8 種類) である。石英基板の上にスパッタ成膜した Cr 薄膜 (t200nm) を、レジストをマスクにウェットエッチングすることで製作している。製作中に欠陥として生じたピンホールの観察は、万能投影機で行った。



メカトロニクス・セクション (258 件)

| | | | |
|-------|--|-------|---------------------------------|
| 伝票番号 | 品名 | 23C09 | 目盛台 |
| 23A01 | ネジM1 1mm | 23C10 | シリコンホルダー |
| 23A02 | サンプルホルダー (円形型) 試作 | 23C11 | Wave guide holder |
| 23A03 | サンプルトランスファー板ホルダー | 23C12 | ヒートシンク |
| 23A04 | 光学ターゲット | 23C13 | ホルダー追加工 |
| 23A05 | Microstat コールドフィンガー [写真] | 23C14 | AFM 用液体セル |
| 23A06 | モニターチャンバー追加工 | 23C15 | レーザーテーブル用カバー |
| 23A07 | 培養型プレーナーパッチクランプ装置、 計測ステージの設計製作 | 23C16 | 光学ブレードボード加工 |
| 23A08 | 基準台 | 23C17 | シンクロトロン室遮蔽扉用アダプター |
| 23A09 | FiberStrecher Ver.0 | 23C18 | サンプルクランプ追加工 |
| 23A10 | クラッド鋼円盤切り出し | 23C19 | サブブレード用銅ブロック |
| 23A11 | 金属棒切断 | 23C20 | 赤外集光軸外放物面鏡 [写真] |
| 23A12 | 微小引張試験用ユニット [写真] | 23C21 | Zygo 使用 |
| 23A13 | アルミ調整台 | 23C22 | 電極ホルダー |
| 23A14 | L 型ブラケット材料 | 23C23 | L-Gonio2 固定具 |
| 23A15 | サンプルベース支柱 | 23D01 | ライトガイド |
| 23A16 | サンプルバンカー組付け (溶接) | 23D02 | プローブ固定具 |
| 23A17 | 真鍮部品 | 23D04 | ステージマウンター |
| 23A18 | ボール位置決め台 | 23D05 | クライオスタットスタンド |
| 23A19 | 鉄プレート加工 | 23D06 | ボール位置決め台 |
| 23A20 | クロマトグラフィー変換コネクタ | 23D07 | D_case_2B 一式 |
| 23B01 | アクリル板追加工 | 23D08 | アルミプレート穴加工 |
| 23B02 | バリアブルリークバルブ自動調整部品 | 23D09 | 真空チャンバーセルの加工 |
| 23B03 | 傾き可変サンプルホルダ | 23D10 | 楕円状加工用精密治具 |
| 23B04 | 走査プローブ顕微鏡用電気化学セル底板 | 23D11 | BL7U 架台プレート |
| 23B05 | アクリル板穴あけ加工 | 23D12 | BL7U 架台固定器具 |
| 23B06 | 電気化学セル他 | 23D13 | 真鍮ステージ3 追加工 |
| 23B07 | 細押さえ板ばね | 23D14 | 変換アダプタ |
| 23B08 | BL4U 用サンプルベース | 23D15 | カンチレバーステージ追加工 |
| 23B09 | ミラー固定台 | 23D16 | 演算回路パネル追加工 |
| 23B10 | 光学系 Enclosure 設置部品 | 23D17 | DFC ホルダー組立治具 |
| 23B11 | MO チャンバー側固定具 | 23D18 | 微小引張機構 |
| 23B12 | 位置決めリングセット | 23D19 | 演算回路内部パネル追加工 |
| 23B13 | フランジ土台 | 23D20 | ミラー支持軸フランジの溶接 |
| 23B14 | レンズホルダー追加工 | 23D21 | ESR900 クライオスタット用治具 |
| 23B15 | ステージ-ポスト接続アダプタ | 23D22 | ESR 用クライオスタットスタンド |
| 23B16 | アクリル板加工 | 23D23 | AdraPIX 固定治具 |
| 23B17 | エンコーダーシールド | 23D24 | ファイバークランプ台 |
| 23B18 | 光学アダプタ | 23D25 | BL7Uprep 槽サンプルバンク延長 |
| 23B19 | パネル追加工 | 23D26 | BL7U ベース |
| 23B20 | 光ファイバークランプ | 23D27 | レーザーホルダ穴拡張 |
| 23B21 | バルブ調整用モータ台 | 23D28 | レーザーサポート接続 2-2 |
| 23C01 | シリコンホルダー | 23D29 | レーザーサポートベース |
| 23C02 | Clamp-D-U | 23D30 | クライオスタットスタンド |
| 23C03 | 回転ステージスペーサー | 23D31 | ジグプレート |
| 23C04 | Fiber Stretcher type-D | 23D32 | 探針運搬用ホルダー |
| 23C05 | 試料セルホルダー | 23D33 | アングルバルブのエッジ修理 |
| 23C06 | カメラアダプター | 23D34 | BL7U グローブボックス搬送システム(解良研用) |
| 23C07 | アルミチャンネル加工 | 23D35 | BL7U グローブボックス搬送システム (ビームライン用) |
| 23C08 | セル追加工 | 23D36 | BL7U トランスファー治具修正 |
| | | 23E01 | FTIR 分光器シャーシ追加工 |

2023年 工作依頼リスト

| | |
|-------|---|
| 23E02 | カンチレバーホルダー |
| 23E03 | アクリル板の加工 |
| 23E04 | 電気化学セル |
| 23E05 | 真空引き治具 |
| 23E06 | 真空引き治具 NW25-40 |
| 23E07 | テフロンスタンド |
| 23E08 | タンタルマスク |
| 23E09 | 自作プローブ本体固定用部品 |
| 23E10 | ヒーターブロック追加工 |
| 23E11 | 冷却管固定台修正加工 |
| 23E12 | 銅サンプルホルダーセット |
| 23E13 | BL5U ミラーチャンバー接続部 |
| 23E14 | カメラマウント |
| 23E15 | BL7Uトランスファーロード固定具 |
| 23E16 | テフロン円板 |
| 23E17 | カバー穴あけ |
| 23F01 | 原研用押さえ板 |
| 23F02 | 試料ホルダー改 |
| 23F03 | アルミ板タップ穴加工 |
| 23F04 | BL7U 用薄膜サンプルホルダー |
| 23F05 | 拡張天板 |
| 23F06 | BL7U 遠隔棒落下防止板 |
| 23F07 | 純鉄加工 |
| 23F08 | 電極ホルダー丸型 |
| 23F09 | ブラケット SP |
| 23F10 | 引張試験用ヒンジ |
| 23F11 | 検出器用ロッド |
| 23F12 | BL7U 加熱ホルダー保持一式 |
| 23F13 | 放物面鏡穴加工 |
| 23F14 | アルミ板加工 |
| 23F15 | Mo 製押さえ板 |
| 23F16 | マイクロチップレーザーモジュール, 二次高調波発生 |
| 23F17 | DFC 冷却ホルダ (L26.5 L30) |
| 23F18 | 光学ターゲット |
| 23F19 | アンプ用プレート |
| 23F20 | カメラスタンド |
| 23F21 | ダミーブロック |
| 23F22 | 冷却ヘッドコネクタ |
| 23F23 | ESR900 クライオスタット用部品加工 |
| 23F24 | ベースプレート |
| 23F25 | 加熱ステージ |
| 23F26 | 測定ワイヤ固定治具 |
| 23F27 | トルクドライバ専用 BOX 型先端工具 |
| 23F28 | パイロメータ固定台一式 |
| 23G01 | SUS チップ |
| 23G02 | ダミー冷却ブロック |
| 23G03 | アクリル板カット |
| 23G04 | 雰囲気光電子分光用ノズル |
| 23G05 | レンズホルダーロング |
| 23G06 | パイロメータ固定台再加工 |
| 23G07 | テフロン板穴拡張 |
| 23G08 | BL3B 用 He 回収ライン |
| 23G09 | 傾斜マウント |
| 23G10 | 光学ブレットボード切断 |
| 23G11 | グローブボックス内棚 |
| 23G12 | カンチレバーホルダー修理治具 |
| 23G13 | 光学ブレットボードザグリ穴 |
| 23G14 | カメラマウント |
| 23G15 | Au 電極 |
| 23G16 | 光学レール、60mm ケージシステム |
| 23G17 | ブレットボードざぐり |
| 23G18 | 電極ホルダー追加工 |
| 23G19 | プリズムホルダー |
| 23H01 | SAB4 号機 |
| 23H02 | サンプルホルダー他 |
| 23H03 | ブラケット |
| 23H04 | タングステン板加工 |
| 23H05 | tool-A 部品 |
| 23H06 | レンズマウント追加工 |
| 23H07 | スペーサー |
| 23H08 | ケージシステム M4 ねじ穴 |
| 23H09 | Au 電極 |
| 23H10 | CP36 M4 ねじ穴 |
| 23H11 | FSplate |
| 23H12 | カンチレバーホルダー |
| 23H13 | カーブホルダー |
| 23H14 | レセプタ部品 |
| 23H15 | アルミフレーム加工 |
| 23H16 | マイクロチップレーザー M16L05, プラグ口 19 型 |
| 23I01 | ARPES 用一軸圧力セル |
| 23I02 | サンプルホルダー |
| 23I03 | アクリル窓板 |
| 23I04 | puller |
| 23I05 | ニップル側面のタップ加工 |
| 23I06 | 探針保存ホルダ追加工 |
| 23I07 | 時間分解走査プローブ顕微鏡用レンズホルダー |
| 23I08 | ミラーホルダーアーム |
| 23I09 | クライオスタット, マニピュレーター緊急修理 |
| 23I10 | サンプルホルダー用クリップ |
| 23I11 | Heトランスファーチューブ修正加工 |
| 23I12 | ウォブルスティック衝突防止機構 |
| 23I13 | レーザーモジュール一式 |
| 23I14 | 円形シリコンホルダー |
| 23I15 | DFC 結晶ホルダー |
| 23I16 | 樹脂ブロックの加工 (小片の切り出し) |
| 23I17 | Mo 製 STM ベースプレート |
| 23I18 | Mo 製 STM ベースプレート |
| 23I19 | プリズム台 |
| 23I20 | ガラスピーカー切断 |
| 23I21 | 銅輻射シールド |
| 23J01 | ナノ電気化学・生命科学オペランド走査プローブ顕微鏡環境コントロールスペースクローズンググリッパ |

| | |
|-------|---------------------|
| 23J02 | 光学実験用スペーサー |
| 23J03 | ミラーマウントアーム |
| 23J04 | アクリル板追加加工 |
| 23J05 | GaAs 押え板 |
| 23J06 | レンズホルダー追加加工 |
| 23J07 | フランジ固定具追加加工 |
| 23J08 | パイロメーター台固定台 |
| 23J09 | ColdGonio#2 アジムス固定台 |
| 23J10 | フォトダイオード取付台 |
| 23J11 | 銅サンプルホルダー |
| 23J12 | パイロメーター固定台追加加工 2 |
| 23J13 | ホルダー追加加工 |
| 23J14 | チップホルダー |
| 23J15 | 66mm レール加工 |
| 23J16 | 光学セル恒温セルホルダー |
| 23J17 | 偏光子ホルダー |
| 23J18 | 一軸圧セル用試料ホルダー |
| 23J19 | DC モーター工作 |
| 23K01 | ケース穴加工 |
| 23K02 | グローブボックス内シェルフ |
| 23K03 | 40 アルミフレーム貫通穴加工 |
| 23K04 | プリズム鏡面仕上げ |
| 23K05 | 643 台 |
| 23K06 | サンプルホルダー |
| 23K07 | BBO スペース |
| 23K08 | パーツ追加加工 |
| 23K09 | アルミ製固定マウント |
| 23K10 | 三角開口 |
| 23K11 | 光学定盤用足受け |
| 23K12 | DX30AF 台 |
| 23K13 | アルミフレーム追加加工 |
| 23K14 | 試料台支柱 |
| 23K15 | アクリル板追加加工 |
| 23K16 | グローブボックス内シェルフ天板 |
| 23K17 | 15T サーボアーム |
| 23K18 | MCT 検出器固定用アクリル板穴開け |
| 23K19 | アルミ板追加加工 |
| 23K20 | 支柱とベース |
| 23K21 | ステージ用アルミ板加工 |
| 23K22 | 光学ブレードボード切断 |
| 23K23 | ボールヘッドねじカジリ修正 |
| 23K24 | SUS ロッド |
| 23K25 | 放射温度計用アルミアングル |
| 23L01 | サンプルホルダー |
| 23L02 | プリズム台 (ステンレス) |
| 23L03 | ステージ用プレート ステンレス変更 |
| 23L04 | サンプルホルダー |
| 23L05 | サーマルアンカ |
| 23L06 | 電動アイリス用ピニオンギア |
| 23L07 | DPL-3.2GXF BOX 部品 |
| 23L08 | RS517-3260 追加加工 |

| | |
|-------|-------------------|
| 23L09 | UVSOR 測定用セラミックスセル |
| 23L10 | マウント |
| 23L11 | 光学系冷却システム |
| 23L12 | クリスタルホルダ |
| 23L13 | クリスタルホルダ追加加工 |
| 23L14 | 放射温度計用アングルフレーム |

2023年 工作依頼リスト

3D プリンタ (186 件)

| | | | |
|-------|--|-------|---|
| 伝票番号 | 品名 | 23D09 | KCH601-Step v3 |
| 23A01 | lasercover v1 | 23D10 | 230405-1-ver1 |
| 23A02 | AFM ヘッドステイラー v6 | 23D11 | sample_pin-001 |
| 23A03 | C_cover | 23D12 | BL7U 架台固定具 |
| 23A04 | C_cover-ver1 | 23D13 | sample_pin-001_rev2-1900micron |
| 23A05 | Pro2 カップリング交換 | 23D14 | base |
| 23A06 | C_cover-ver2 | 23D15 | sample_pin-001_rev3-1900micron |
| 23A07 | WAN-WAN 人感センサー、アラームライト固定具 | 23D16 | LineEye 用ケーブル固定台 |
| 23A08 | AFM ヘッドステイラー 試作 | 23D17 | R_BINAP_1968818 模型 |
| 23A09 | C_cover-ver2 | 23D18 | MPMS o-ring set half |
| 23A10 | FiberStretcher | 23D19 | 脚ジョイント 3A・3B |
| 23A11 | tenshonerA3_Ver2 | 23E01 | 郵送用試料ケース |
| 23A12 | 回折格子 3D モデルの試作 | 23E02 | 線量計ホルダー |
| 23A13 | M1 mirror model,Grating model | 23E03 | 線量計ホルダー |
| 23A14 | C1F- 前室蓋 -ver2 | 23E04 | 線量計ホルダー v3 |
| 23A15 | Edwards 固定具 | 23E05 | 3相4線200V 電源タップケース [写真] |
| 23A16 | Edwards 固定具 | 23E06 | 3psg と 4neo の模型 |
| 23B01 | MPMS3 用治具 3 種 | 23E07 | DCpowerfix v2 |
| 23B02 | PS2H60-012U v1 | 23F01 | 足ジョイント 3 |
| 23B03 | 脚ジョイント 1 | 23F02 | BNCpanel_forLUCK_2 v2 |
| 23B04 | バブリングパイプ等 | 23F03 | MPMS3 ETO check |
| 23B05 | PS3H70-020UA v1 とマウンター 試作 | 23F04 | 脚ジョイント 3B-2.2M |
| 23B06 | 合成用ステージ | 23F05 | 演算回路固定 v2 |
| 23B07 | 脚ジョイント 1.2、1.3 | 23F06 | MPMS3 ETO checkbox |
| 23B08 | Dummy Block | 23F07 | 脚ジョイント 3 |
| 23B09 | MPMS 3用パーツ一式 | 23F08 | 警報ランプ用ケース [写真] |
| 23B10 | Grating model&Mirror model | 23F09 | マイクロチューブ用スペーサ |
| 23B11 | AFM ヘッドステイラー v9 とヘッドスペーサー_2 v2 | 23F10 | 水量監視システム用 Rpi ケース |
| 23B12 | FiberStretcher | 23F11 | adjust_knov_v1 |
| 23C01 | AFM ヘッドステイラー v10 試作 | 23F12 | adjust_knov_v2 |
| 23C02 | PZT 接着治具 | 23F13 | PiCameraV2 台座 |
| 23C03 | D_jig2.2 | 23G01 | PowerMeterHolder_Cage_Spring2 v5 |
| 23C04 | 分子研水分子マグネット桐蔭横浜大学 Ver [写真] | 23G02 | adjust_knov_v3 |
| 23C05 | LDcover v1 | 23G03 | 六角形状 サイズ調整用試作 |
| 23C06 | LDshell v5 | 23G04 | ballguide |
| 23C07 | MPMS3 用ツール | 23G05 | MPMS3 ETO perp checkbox 等 |
| 23C08 | BL7U 用パーツ | 23G06 | 2L-Airpipe |
| 23C09 | 下部シールド | 23G07 | KON-SAB4_T_holder-07-ver1 |
| 23C10 | 脚ジョイント2A 脚ジョイント2B | 23G08 | adjust_knov_v3 等 |
| 23C11 | 資産パネル v0 | 23G09 | adjust_knov_v4.1 |
| 23C12 | KCUBEmount v1 | 23G10 | isolatorpolarizer v3、isolatorpolarizer v4 |
| 23C13 | MPMS3 部品 | 23G11 | モーター固定具 |
| 23C14 | 脚ジョイント 2 | 23G12 | adjust_knov_v4.12 |
| 23D01 | sample alignment2 | 23G13 | ガルバの固定 v1 |
| 23D02 | KCUBEmount v2 | 23G14 | adjust_knov_vr.23 |
| 23D03 | BNCpanel_forLUCK_2 v1 (1) | 23G15 | adjust_knov_v4.31 |
| 23D04 | スロープ | 23G16 | adjust_knov_v4.32 |
| 23D05 | 引っ張ピン | 23G17 | 顕微鏡カメラホルダ |
| 23D06 | ETO ホルダ | 23G18 | HEX325 の出力テスト |
| 23D07 | KCUBEmount v2 | 23G19 | KS1RS-Step (1) |
| 23D08 | EXER20-10-19_panel v3 | 23H01 | HEX330star |

| | |
|-------|---|
| 23H02 | HEX335star_C、HEX340start_C |
| 23H03 | tool_gripA |
| 23H04 | HEX3425star_C |
| 23H05 | K6XS-Step |
| 23H06 | KS1RS-Step 等試作 |
| 23H07 | HEX3425star_C、HEX340start_C |
| 23H08 | ミラーマウントの調整ノブ |
| 23H09 | sample_locker v7 |
| 23H10 | sample_locker v8 |
| 23H11 | 電動アイリスケースの形状データの Maviy 対応 |
| 23H12 | カバー試作 |
| 23H13 | mount_A,B |
| 23H14 | mount_A |
| 23I01 | NewPort 保護カバーゲージ |
| 23I02 | Meviy 電動アイリス用モータ固定治具作成 |
| 23I03 | NewPort 保護カバー 2 |
| 23I04 | NewPort 保護カバー 3 |
| 23I05 | BE02R_M-Step v3 (1) |
| 23I06 | EOupperplate v33 |
| 23I07 | NewPort 保護カバー 5 |
| 23I08 | アイリスマウントの角度調整ネジ電動化 |
| 23I09 | NewPort 保護カバー 5 |
| 23I10 | Base_Part1 |
| 23I11 | ミラーホルダーのモーターを取り付けるマウント |
| 23I12 | base_plate_r3 |
| 23I13 | base_plate_TR_r1 |
| 23I14 | 電動アイリス完成版用ケース v1 |
| 23I15 | base_plate_r4.STL |
| 23I16 | 光センサー用カバー |
| 23I17 | 京セラレーザーヒートシンク v8 |
| 23I18 | 京セラレーザーヒートシンク v8 |
| 23I19 | 23H12 試作カバー v3 |
| 23I20 | Poraris マウンタ電動化パーツ一式 |
| 23J01 | base_plate_r3.1.3 |
| 23J02 | MY-23I21-01 |
| 23J03 | ビュート バランス 2 カバー |
| 23J04 | フォトダイオード固定治具 |
| 23J05 | ベースプレート 反転型 |
| 23J06 | SHV コネクタ - パネル絶縁固定具 |
| 23J07 | サーボモータ 簡易駆動装置カバー |
| 23J08 | 電動アイリス用ギアケース改良版 |
| 23J09 | 京セラレーザーヒートシンク2 v1 |
| 23J10 | 押さえ治具 |
| 23J11 | 資産管理プレート v1 |
| 23J12 | L 字ギアモータを使った電動アイリス角度調整装置 |
| 23K01 | CDspectrometer_mount v30 |
| 23K02 | EOupperplate v40 |
| 23K03 | 固定具 3-2 試作 |
| 23K04 | PDsetter v2 |
| 23K05 | EOupperplate v48 |
| 23K06 | cage 模型 2 種 |
| 23K07 | フォトダイオード固定治具 v2 |
| 23K08 | PDsetter v3 |
| 23K09 | 固定治具試作 |
| 23K10 | フォトダイオードの取付治具 改良版 |
| 23K11 | XD30AF 台 |
| 23K12 | 資産管理プレート v1 |
| 23K13 | BeagleBone_container |
| 23K14 | SocketHolder |
| 23K15 | SocketHolder_r2 と BeagleBone_container_r2.1 |
| 23K16 | ETO perp attach half と MPMS3 ETO perp holder2 |
| 23K17 | CTL200-0V1_tray |
| 23K18 | TEC-1091_tray、PCB-tray、base_plate_r3.1.3 |
| 23L01 | モバイル HV 電源モックアップ |
| 23L02 | panel-ts |
| 23L03 | ETO perp attach half 1mm |
| 23L04 | 0-2V DC 電源ケース |
| 23L05 | ETO Clip 試作 |
| 23L06 | ETO Clip 等 |
| 23L07 | SB-3_A |
| 23L08 | SB-3_Ar2 |
| 23L09 | cover.STL |
| 23L10 | cover-B |
| 23L11 | cover-C |
| 23L12 | フォトセンサー遮蔽板 |
| 23L13 | 自動調整ミラー用モーターマウント |
| 23L14 | 分子研50周年オブジェ |
| 23L15 | DDS ケース枠 等 |
| 23L16 | C 形状ケーブルカバー |
| 23L17 | polarisplate v3 |
| 23L18 | polarisplate v8,v9 |
| 23L19 | polarisplate v12,v13 |
| 23L20 | polarisplate v15, v17 |
| 23L21 | 電動アイリスケース修正 |
| 23L22 | polarisplate v20, v24 |

2023年 工作依頼リスト

エレクトロニクス・セクション (151 件)

| | | | |
|-------|--|-------|---|
| 伝票番号 | 品名 | 23E04 | FFU 制御ユニット V2(第 2 次開発) |
| 23A01 | AFM 用 BNC ケーブル | 23E05 | WAN-WAN 基本モジュール V2 マイコン版 (Rev1.2) |
| 23A02 | C 棟 1F クリーンルーム FFU 室の多地点カメラ 端末の無応答を修理 | 23E06 | BNC cable for Arduino |
| 23A03 | HV アンプ 1 台目改良 | 23E07 | トリガレベルコンバータ [写真] |
| 23A04 | トリガレベル変換アダプタ | 23E08 | 実験棟 B03 分電盤からの電源引き出し |
| 23A05 | WAN-WAN 人感センサーユニット | 23E09 | 流量計 BOX |
| 23A06 | クリーンルームのスパッタ装置現状確認用多 地点カメラシステムの構築 | 23E10 | HF 検出器からの警報出力 |
| 23A07 | WAN-WAN 基本モジュール v2 マイコン版 (Rev1.1) | 23E11 | ステージ用電源ケーブル |
| 23A08 | クリーンルームスパッタフロントパネル多地点カメラ修理 | 23E12 | AFM 用電源ケーブル |
| 23A09 | クリーンルーム多地点カメラ画面構成修正 | 23E13 | ORTEC 1GHz アンプ用 DC 電源改修 |
| 23A10 | HV アンプ 2 号機修理 | 23E14 | アクチュエータ用 200V 電源ケーブル・タップ |
| 23A11 | ボロメータアンプ (新型) 修理検討 | 23E15 | AFM ステージ用セラミックヒータ導線修理 |
| 23A12 | AC 電源自動切替器 | 23E16 | AFM 演算回路組み立てと IV 変換器接続ケーブル |
| 23B01 | アンビエントモニタへのアラーム出力の接続 | 23E17 | AFM ステージ用熱電対の換装 |
| 23B02 | APD モジュール用電源及びケーブル | 23F01 | AFM ステージ用電熱線換装 |
| 23B03 | 1GHz アンプ用 DC 電源 | 23F02 | RIE 用警報パトライト&ブザー [写真] |
| 23B04 | ブリアンプユニット用 DC 電源 | 23F03 | ステッピングモータドライバ BOX |
| 23B05 | ワイドダイナミックレンジ光電子増倍管モジュール用 DC 電源 | 23F04 | ナノ顕微分光ステージ用アース線 |
| 23B06 | ヘリウムタンクトレースシステム | 23F05 | 電気化学セル CCCV 用ローパスフィルタ |
| 23B07 | BL6B 中赤外実験用 BNC ケーブル | 23F06 | BNC ターミネータ (短絡タイプ) |
| 23B08 | 分光実験パルスディレイライン [写真] | 23F07 | 汎用ローパスフィルタ基板 |
| 23C01 | 超高真空系実験設備用電源ケーブル | 23F08 | イオンカレント測定用 SHV- バナナチップケーブル |
| 23C02 | 電磁石電源用 AC200V 電源プラグ- 圧着端子接続ケーブル | 23F09 | 100Hz(TTL) Trigger Divider V2 修理・改良 |
| 23C03 | AFM 演算回路用入出力バッファモジュール | 23F10 | 水量監視システム [写真] |
| 23C04 | 実験設備電源操作コントローラ&アプリ | 23F11 | 極低温測定用電流・電圧ケーブル |
| 23C05 | 小型ヒータ電熱線 (改良) | 23F12 | ステッピングモータドライバユニット |
| 23C06 | WAN-WAN 基本モジュール v1.1 | 23F13 | 配線修理 |
| 23C07 | HV アンプ用両極性電源 | 23F14 | 3相電源ケーブル |
| 23C08 | AFM 用 DC $\pm 15V$ 電源 | 23G01 | AFM ステージ用セラミックヒータ導線+極細熱電対 |
| 23C09 | レーザー実験用電源ラックモジュール | 23G02 | AdvaPIX トリガー入力回路 |
| 23C10 | BL1U インターロック操作部改良 | 23G03 | BNC ターミネータ (ショート型) |
| 23C11 | モニタリングシステム用 TV 端末不具合修正 | 23G04 | 高耐圧ローパスフィルタ |
| 23D01 | 電動光学アイリス | 23G05 | AFM 干渉計用非反転増幅回路 (増設) |
| 23D02 | マスフロー用 USB-UART 変換ケーブル | 23G06 | Power Supply for Phase Noise Cancellation |
| 23D03 | ステッピングモータ用パルスドライバ | 23G07 | Electronic Delay |
| 23D04 | AFM 信号検出用干渉計 | 23G08 | 流量計出力信号トリミング回路 |
| 23D05 | AFM 信号検出用干渉計フィードバック機構 | 23G09 | SHV ケーブル (軟 X 線蛍光分光用 @UVSOR) |
| 23D06 | AC アダプタ延長ケーブル | 23G10 | 循環ポンプ電源制御用インバータ装置 |
| 23D07 | 汎用両極性 DC 電源モジュール | 23G11 | AFM 用 IV 変換器直流電源改修 |
| 23D08 | 広範囲温度測定ユニット V2 | 23G12 | LoRa 無線モジュール搭載コア基板 V2 |
| 23D09 | EB パネルカメラ故障修理 | 23G13 | バイアス電圧印加時電流測定ケーブル |
| 23D10 | AC アダプタ延長ケーブル (第 2 回) | 23G14 | 真空実験用 SHV ケーブル |
| 23D11 | D-sub - BNC 変換 BOX | 23G15 | 高耐圧ローパスフィルタ (絶縁タイプ) |
| 23D12 | 実験棟 B02 分電盤からの電源引き出し | 23G16 | 電動光学アイリスの多チャンネル化 [写真] |
| 23D13 | コールドカソードゲージ修理 | 23G17 | ローパスフィルタ改修+短距離 SHV ケーブル |
| 23D14 | 電源ケーブル修理 | 23G18 | 電圧モニターボックス |
| 23E01 | スパッタパネルカメラ用照明修理 | 23G19 | ESR 用導波管ケーブル修理 |
| 23E02 | ピエゾステージ駆動用 HV アンプ | 23G20 | SHV-SHV \rightarrow SHV-BNC 変換ケーブル |
| 23E03 | HV アンプ v2 | 23H01 | WAN-WAN 基本モジュール V2 マイコン版 (Rev1.3) |
| | | 23H02 | 軟 X 線実験検証用 SHV ケーブル |
| | | 23H03 | AC250V 接地 2P プラグ-3P ソケット変換ケーブル |

| | |
|-------|---|
| 23H04 | AFM 演算回路用入出力バッファモジュール修理 |
| 23H05 | 流量計出力信号トリミング回路修正 |
| 23H06 | Lemo プラグ修理 |
| 23H07 | 高電圧 DC フローティング電源 |
| 23H08 | イオンポンプ用モバイル電源 |
| 23H09 | 2 象限 PD 光検出回路 |
| 23H10 | リミットスイッチ BOX [写真] |
| 23H11 | 流量計 4-20mA 出力取り出し用ケーブル |
| 23H12 | 90kHz ハイパスフィルタ |
| 23H13 | Protection Board |
| 23H14 | Maviy のアルミフレームを使った電動アイリス |
| 23I01 | 電動アイリスのテスト機作成 |
| 23I02 | 電動アイリス制御基板修正 |
| 23I03 | SHV 延長ケーブル 1m |
| 23I04 | ヘリウム流量計検出用電流増幅回路 |
| 23I05 | 電動アイリスの実用バージョン |
| 23I06 | 小型 PDA 改良 |
| 23I07 | 電動アイリス制御基板 金属ケース版 |
| 23J01 | FFU 制御ユニット V2(第 3 次 + 入換) |
| 23J02 | WAN-WAN 基本モジュール V2(マイコン版) (Rev1.3 : 仕上げ) |
| 23J03 | 配電盤からの電源引き出し |
| 23J04 | サーボモータ 簡易駆動装置 [写真] |
| 23J05 | リミットスイッチ BOX 用ケーブル |
| 23J06 | 電源用ケーブル一式 |
| 23J07 | UV-LED 制御用矩形波発振器 [写真] |
| 23J08 | リミットスイッチ BOX Auto 復帰動作改良 [写真] |
| 23J09 | HV アンプ出力信号切替器 |
| 23J10 | NMR 精密磁場測定器データ読み出し装置 |
| 23J11 | 分光器デモ装置 |
| 23J12 | AFM 信号検出用干渉計 (改良版) |
| 23J13 | AFM 信号検出用干渉計フィードバック機構 (改良版) |
| 23J14 | 電動アイリス用マルチコントローラ |
| 23K01 | CompactDELMA 用ヒーターケーブル |
| 23K02 | B1E-B04 配電盤からの電源引き出し |
| 23K03 | 圧力測定用ケーブル |
| 23K04 | AFM 信号検出用干渉計改良 (発振対策) |
| 23K05 | BIN 電源アダプタ |
| 23K06 | AFM システム用 BNC ケーブル |
| 23K07 | AFM システム用フィードバック機構並びに HV アンプ改良 |
| 23K08 | BL6B MCP 用アンプ電源ケーブル修理 |
| 23L01 | 電動アイリスコントローラ修正 2 |
| 23L02 | イオンポンプ用モバイル電源 |
| 23L03 | イオンポンプ用モバイル電源 (製作受託) |
| 23L04 | 電動アイリスシャッター 実用量産 |
| 23L05 | Changing resistor for Pulase driver |
| 23L06 | PowerSupply for Amplifier |
| 23L07 | 高電圧 DC フローティング電源 時間応答の改良 |
| 23L08 | PowerSupply for Mass flow |
| 23L09 | チャンバー用超高輝度 LED 照明システム |
| 23L10 | 矩形波発振器の表示不具合対策 |

| | |
|-------|--|
| 23L11 | 電圧モニターボックスの加工 |
| 23L12 | Changing resistor for Pulase driver(2nd) |

2023年 工作依頼リスト

リソグラフィ・セクション (29件)

| 伝票番号 | 品名 |
|-------|--|
| 23C01 | ガラス基板への Si ナノパターンニング Ver.2 [写真] |
| 23C02 | マイカ基板への Pt スパッタ |
| 23C03 | 分光計測用微細構造試料② [写真] |
| 23D01 | 走査プローブ顕微鏡画像解析ナノデバイス |
| 23D02 | Si パターン / SiO ₂ 基板のピラニア洗浄 |
| 23D03 | グラファイト / カバーガラスへの SiO ₂ スパッタ |
| 23D04 | O ₂ プラズマ装置・スピコーター利用案内 |
| 23E01 | グラファイト / カバーガラスへの SiO ₂ スパッタ |
| 23E02 | Si パターン / SiO ₂ 基板の O ₂ プラズマ処理 (RIE) |
| 23E03 | ガラス基板への Si ナノパターンニング (RIE) |
| 23E04 | 分光計測用微細構造試料③ |
| 23E05 | フォトレジストマスク |
| 23F01 | EB 操作説明 (現像・SEM 観察まで) |
| 23F02 | マイカへの Pt スパッタ (レクチャー) |
| 23F03 | RF スパッタ装置の操作指導 (Ti+Au 成膜) |
| 23F04 | 走査プローブ顕微鏡画像解析ナノデバイス② |
| 23F05 | φ 1 インチアパーチャ類 [写真] |
| 23F06 | スピコーター利用レクチャー |
| 23G01 | 走査プローブ顕微鏡画像解析ナノデバイス③ |
| 23G02 | TiN 段差測定 (レクチャー) |
| 23H01 | 透明微細穴構造 |
| 23H02 | 走査プローブ顕微鏡画像解析ナノデバイス④ |
| 23I01 | 磁性膜スパッタ基板 |
| 23J01 | EPMA テスト用金属パターン |
| 23J02 | φ 1 インチアパーチャ類追加製作 (レクチャー) |
| 23J03 | TiO ₂ 基板への Pt スパッタ (レクチャー) |
| 23J04 | プラズマクリーナーによる基板クリーニング (レクチャー) |
| 23K01 | サイズ・ギャップ違い金微細構造 |
| 23K02 | 円偏光近接場誘起磁化反転用デバイス |

装置開発室 Annual Report 2023

2024年3月発行

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

ISSN 1880-0440

