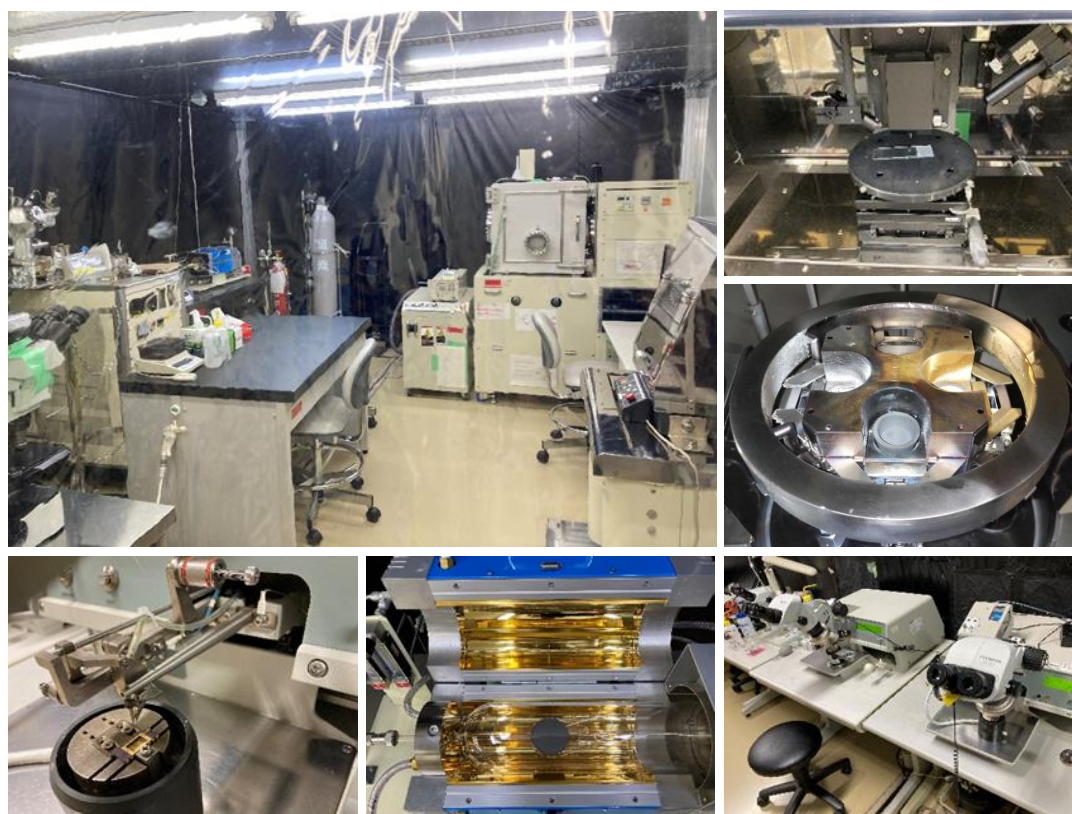


# 令和5年度 技術部報告



Vol. 36 Mar. 2024

東北大学大学院理学研究科・理学部

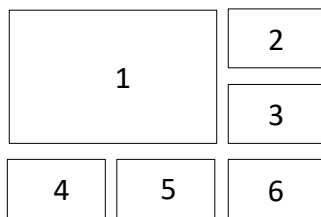
## 表紙写真

東北大学 大学院理学研究科 物理学専攻

量子ダイナミクス研究グループは、半導体試料に存在する電子の電荷やスピン、ホール、励起子、核スピンといった粒子や準粒子が量子力学によって織りなす物理を研究しています。このような物理現象は物性だけでなく基礎物理学の面から見ても意義があります。特にビッグバンのような宇宙創成の初期段階で現れるプランクスケールの宇宙である「量子宇宙」やブラックホールの検証を行うためのトイ模型を、半導体チップ上で実現する研究に特に力を入れています。

写真は実験室の様子で、リソグラフィー等の複数の半導体製造工程を経てクリーンルームにある電子ビーム蒸着装置、赤外線ランプ加熱装置、微細形状測定機などの用いて半導体チップを作製します。また、ワイヤ・ボンディングやエポキシダイボンダーは、切り分けた半導体チップをリードフレームに細い金線で固定したり、半導体チップをパッケージに載せて固定する装置です。私は、これらの装置を用いて半導体デバイスの作製や装置の維持管理などの研究支援を行っています。

物理学専攻 佐藤 健



- 1: 実験室の様子
- 2: 微細形状測定機
- 3: 電子ビーム蒸着装置 (金属ターゲット)
- 4: ワイヤ・ボンディング
- 5: 赤外線ランプ加熱装置
- 6: ワイヤ・ボンディングとエポキシダイボンダー

## 巻頭言

理学研究科長・理学部長

都築 暢夫

私は専門が数学なので、これまで技術部と関わることはほとんどありませんでした。関わりと言えば、昨年度まで研究科・学部の教務を担当していましたので、コロナ禍における授業継続のための取り組みとして、講義室へのカメラの設置と換気システムの作動状況の確認で、お世話になりました。私自身は情報機器の使い方に疎いので、誰でも簡単に使えるようにして頂き、コロナ禍における授業を乗り切ることができました(引き続き、ハイブリッド型のセミナーなどで重宝しています)。このようにお世話になったにも関わらず、研究科の情報基盤整備や安全衛生管理について、その最も重要な役割を担っているのが技術部(の方々)と認識しておりませんでした。それぐらい何も知らなかった私ですが、今年度から研究科長を拝命し、技術部関係の各種会議に参加することになりました。様々な専門を持つ個性的な方々が技術部に属し、理学研究科・理学部の研究・教育活動をそれぞれの専門技術を駆使して幅広く支えていることを少しずつ知るようになりました。この場を借りて、技術部の皆様のご活動に深く感謝を申し上げます。

2023年12月5日に開催されました「理学研究科・理学部技術研究会」では、電子光物理学研究センターの南部健一氏、長澤育郎氏、高橋健氏、柴田晃太郎氏、菅原由美氏による「東北大学電子光物理学研究センターにおける放射線安全管理に対する貢献」が「理学研究科技術賞」を受賞しました。東北大学電子光物理学研究センターには、全国共同利用に供している4台の電子加速器があり、厳重な放射線安全管理を敷いて運用されています。OSやソフトウェア、ハードウェアの老朽化のためのシステムを更新に加え、稼働中の閉じ込め事故防止機能の追加など抜本的な改修を行い、放射線安全管理のみならず教育・研究環境の改善に大きく貢献する成果をあげ、さらに、汎用ソフトの活用などで、システムの構築・維持経費を削減することも同時に成し遂げて頂きました。受賞した取り組みだけでなく、技術研究会においては多数の発表があり、高い技術と創意工夫で理学研究科・理学部の研究・教育や安全管理を支援していることを勉強することができました。

本学は「国際卓越研究大学」の候補に認定されました。既に公開されている本学の計画には、研究力強化を図るために研究スタッフの充実が盛り込まれています。現在進行中の総合技術部の改革と合わせて、技術部を含む教育・研究活動の支援体制の充実が期待されます。

最後に、引き続き理学研究科・理学部の研究・教育を支える原動力として、技術部の皆様のご活躍を祈念いたしております。

# 目次

巻頭言

理学研究科長

都築 暢夫

1. 令和5年度 東北大学大学院理学研究科・理学部 技術研究会報告 .....	5
開催要項 .....	7
技術研究会の様子 .....	9

## 【理学研究科技術賞受賞者講演】

「東北大学電子光理学研究センターにおける放射線安全管理に対する貢献」 .....	11
電子光理学研究センター	○南部 健一 長澤 育郎 高橋 健 柴田 晃太郎 菅原 由美

## 【特別講演】

「細くて小さなガラス細工が立証した、鳥類恐竜起源説」 .....	16
大学院生命科学研究所(理学部生物学科)	田村 宏治

## 【技術関連発表】

「放射線業務従事者に対する理学部再教育の改善の取り組み」 .....	18
物理学専攻	梅津 裕生
「石英ガラス製フランジ付き容器の研削加工」 .....	21
硝子機器開発・研修室	澤田 修太
「学生実験(熱プローブリソグラフィ)の紹介」 .....	25
物理学専攻	佐藤 健
「東北大学電子光理学研究センターにおける受変電設備の年次点検について」 .....	28
電子光理学研究センター	○南部 健一 長澤 育郎 高橋 健 柴田 晃太郎
「薄片作製装置の導入とその効果の考察」 .....	30
地学専攻	○阿部 道彰 伊藤 嘉紀 川野部 裕之
「能登半島臨時地震観測点設置作業の紹介」 .....	33
地震・噴火予知研究観測センター	○木村 洲徳 平原 聡



「古い Mac の修理(電源編)」.....	38	
生物学科	東海林 和康	
<b>2. 令和5年 その他研究会</b> .....	41	
「自然科学研究機構・核融合科学研究所 技術交流研修 計測制御技術報告」.....	43	
物理学専攻	芳賀 健也	
<b>3. 令和5年 発表・論文・受賞一覧</b> .....	45	
各種学会・研究会等での発表一覧.....	47	
各種学術雑誌・報告書などに掲載された論文等一覧.....	49	
各種機関・団体からの表彰・受賞一覧.....	50	
<b>編集後記</b>	技術部報告編集委員会委員長	橋本 久子



令和 5 年度

東北大学大学院理学研究科・理学部

技術研究会報告



## 令和5年度

### 東北大学大学院理学研究科・理学部技術研究会開催要項

目的 理学研究科・理学部及び関連部局の技術系職員は、それぞれの専門的な知識・技能を生かし、幅広く研究・教育を支援しています。本技術研究会は、発表を通して技術上の創意工夫などを共有するとともに、他分野の技術についても知識を広げ、技術系職員全体の技術力向上を図ります。

日時 令和5年12月6日(火) 9:30 - 16:00

場所 東北大学大学院理学研究科 大講義室

主催 東北大学 理学研究科・理学部

参加対象者 理学研究科・理学部及び関連部局の技術職員、その他の聴講希望者

#### 内容

9:30 受付

9:50 開会

挨拶 大学院理学研究科 研究科長 都築 暢夫

#### 【理学研究科技術賞表彰】

9:55 講評 技術賞選考委員会委員長 橋本 久子

表彰 大学院理学研究科 研究科長 都築 暢夫

#### 【理学研究科技術賞受賞者講演】

10:00 「東北大学電子光理学研究センターにおける放射線安全管理に対する貢献」

電子光理学研究センター ○南部 健一、長澤 育郎、高橋 健、柴田 晃太郎、菅原 由美

10:45 休憩

#### 【特別講演】

11:00 「細くて小さなガラス細工が立証した、鳥類恐竜起源説」

大学院生命科学研究所(理学部生物学科) 教授 田村 宏治

12:00 昼休み

【技術関連発表】

- 13:00 1. 「放射線業務従事者に対する理学部再教育の改善の取り組み」  
物理学専攻 梅津 裕生
- 13:20 2. 「石英ガラス製フランジ付き容器の研削加工」  
硝子機器開発・研修室 澤田 修太
- 13:40 3. 「学生実験(熱プローブリソグラフィー)の紹介」  
物理学専攻 佐藤 健
- 14:00 休 憩
- 14:10 4. 「東北大学電子光理学研究センターにおける受変電設備の年次点検について」  
電子光理学研究センター ○南部 健一、長澤 育郎、高橋 健、柴田 晃太郎、菅原 由美
- 14:30 5. 「薄片作製装置の導入とその効果の考察」  
地学専攻 ○阿部 道彰、伊藤 嘉紀、川野部 裕之
- 14:50 6. 「能登半島臨時地震観測点設置作業の紹介」  
地震・噴火予知研究観測センター ○木村 洲徳、平原 聡
- 15:10 休 憩
- 15:20 7. 「古い Mac の修理(電源編)」  
生物学科 東海林 和康

【理学研究科技術部報告】

- 15:40 今年度の活動報告と今後の予定  
統括技術長 根本 潤
- 15:55 閉会挨拶  
技術部 企画・研修委員長 橋本 久子

## 技術研究会の様子(1)



左から技術賞選考委員会委員長の橋本久子先生、菅原由美さん、柴田晃太郎さん、都築暢夫研究科長、南部健一さん、高橋健さん



理学研究科技術賞表彰式の様子



南部健一さんによる技術賞受賞者講演

## 技術研究会の様子(2)



生命科学研究所(理学部生物学科) 田村宏治教授による特別講演



澤田修太さんによる発表



木村洲徳さんによる発表



橋本久子技術部企画・研修委員長による閉会挨拶



# 東北大学電子光理学研究センターにおける放射線安全管理に対する貢献

電子光理学研究センター

○南部 健一・長澤 育郎・高橋 健・柴田 晃太郎・菅原 由美

## 1. はじめに

東北大学電子光理学研究センター(以下、当センターとする)は、4 台の電子加速器を有し、全国共同利用に供している。加速器は放射線管理区域内に設置されており、厳重な放射線安全管理を敷いて運用されている。放射線安全管理には、管理区域入退室管理システムや放射線安全インターロックシステム、放射線モニタリングシステムなどを用いてきた。しかし、近年、ハードウェアやソフトウェアの老朽化に伴う不具合や、仕様変更への対応が困難になりつつあったことから抜本的な対応が必要であった。放射線安全管理業務を円滑に行うためには、これらの課題を解決する必要があり、今回、これらのシステムを更新又は改修を行ったことで、放射線安全のみならず教育・研究環境の改善に大きく貢献した。

## 2. システム更新・改修の背景

加速器を有する共同利用施設のような、比較的規模の大きな放射線取扱施設では、日々の管理区域への入退室者を把握するために、入退室管理システムは必要不可欠である。このような入退室管理システムは、管理区域の配置や作業従事者の動線などを考慮して構築する必要があり、当センターも独自に管理区域入退室管理システムを開発し、2003 年度から運用していた<sup>[1]</sup>。幾度かの改修を経て運用を続けていたが、先ほど述べたように近年ソフトウェアのサポート切れやハードウェアの老朽化による不具合が多発し、抜本的な対策が必要となっていた。また、放射線発生装置室内に人がみだりに入ることを防止するためのインターロック(以下、放射線安全インターロック)は、放射線発生装置(加速器)の使用承認条件に含まれており、これらについても、独自に開発したものを設置・運用していたが、ビームパワーの増強等もあり、追加の安全対策を講じる必要があると判断し、改修計画の策定を行っていた。放射線モニタリングシステムについては、配線や測定回路の老朽化が深刻であったが、これらのシステム更新には多額の費用を要するため、予算措置を含め、容易に更新を行える状況ではなかった。しかしながら事業所境界及び実験室内の線量率測定を老朽化や予算不足を理由に停止することはできないため、対応に苦慮していた。このような背景のもと、限られた予算のなかでこれらの課題を解決するために、保有する技術と知見を活用して、センター内で新たに開発・改修することとした。

## 3. 開発・改修したシステム

### 3.1 管理区域入退室管理システム

従来の管理区域入退室管理システムは 2003 年度から運用が開始され、運用当初は入退室処理に個人カード Radio Frequency Identification (RFID)を用いていたが、その後個人線量計の個人識別番号(バーコード)を使用していた。データベースは幾度か更新され最終的には Microsoft SQL Server 2012 を使い、制御プログラムは Visual Basic を用いて作成されていた。管理区域及び実験室出入口ドアの制御には三菱製のシーケンサーを用いていた。使いやすさや、機能追加のために幾度かの改修を繰り返したことで、データベースアクセス時の処理時間が増大し、短時間に多数の入退室処理が発生すると、スループットが極度に低下することから、ユーザーから改善要望が出されていた。またデータベースや三菱製シーケンサーの保守切れにより、これらについても更新する必要があった。

更新に際し、今後の維持管理コスト及び拡張性を考慮し、入退室管理システムは、すべて Linux ベースの OS (Ubuntu 20.04 LTS) 上で動作し、かつ仮想環境(Oracle VM VirtualBox)で稼働させる形式とした。データベースには、アクセス時のスループットを考慮し、パフォーマンスが高い MariaDB を採用した。予算が限られていたため、電気錠は、シーケンサーからイーサネットリモート I/O を介して制御する方式に変更した。またユーザーからの改善要望を反映し、処理時間の目標値は 100ms 以下として開発を行った。図 1 に新たに開発した入退室管理システム<sup>[2]</sup>のブロック図を示す。データベースには、個人識別番号、実験室入室許可、入退室記録、被ばく記録など

が格納されている。入退室処理には従来と同様、個人線量計の個人識別番号を用いる。適切なインデックス設定によるデータベース検索の高速化により、バーコード読み取りから、電気錠開錠処理までの処理時間は  $66 \pm 14\text{ms}$  (試行回数 10000 回の実測値) となり、目標値を十分満足することができ、管理区域や実験室への入退出処理が円滑に行えるようになった。詳細については後ほど述べるが、入退室管理システムから放射線安全インターロックシステムに対して、実験室内に人が立ち入っていることを示す信号を送出する機能を追加した。確実性と信頼性が要求される信号のため、送出元の入退室管理クライアントが正常に動作しているか確認する信号を追加し、これを放射線安全インターロックシステムが常時監視することで、実験室在室信号の信頼性を高めている。入退室管理クライアントは、図 2 に示すように実験室入口に設置され、入室者リストや加速器運転状態を表示するディスプレイ、小型パソコン、個人識別番号読取用のバーコードリーダーなどから構成される。

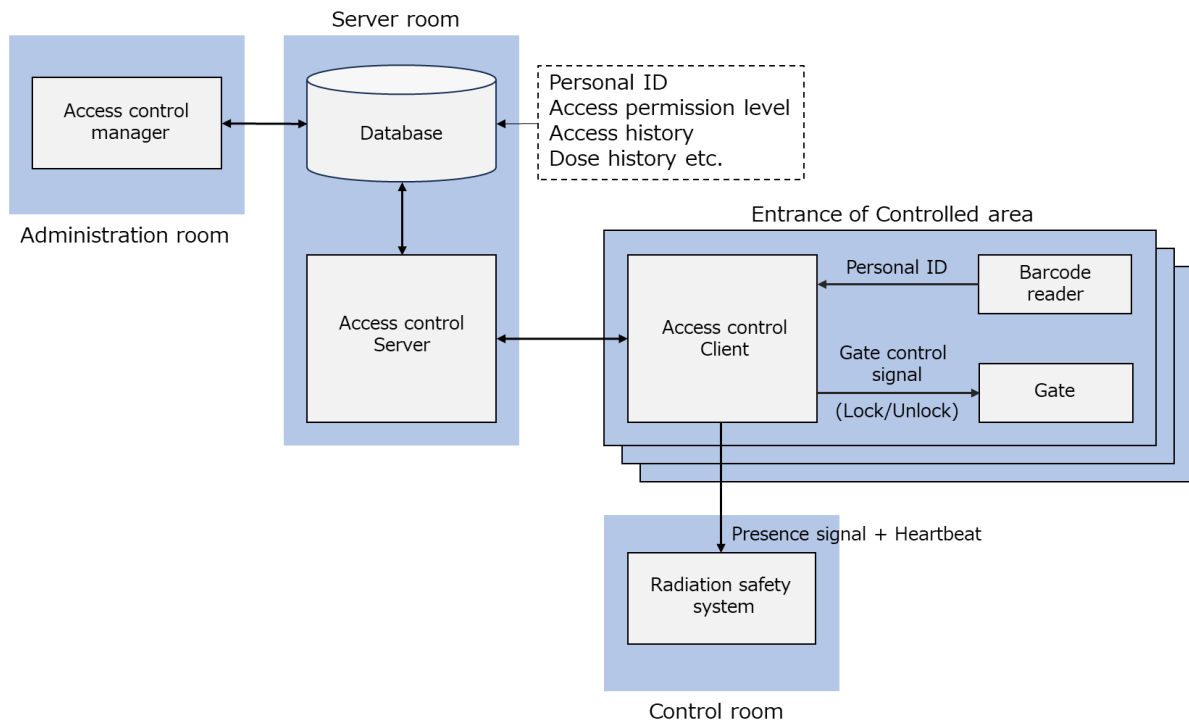


図 1 開発した入退室管理システムのブロック図。入退管理クライアントは実験室の出入口に設置されている。入室時は、バーコードリーダーで読み取った個人識別番号が、当該実験室への入室許可を有するかサーバーに問い合わせを行い、サーバーから入室許可が発行されると、電気錠へ開錠信号を送出する。サーバーでは、入室許可を発行した時刻を入室時刻として記録する。退室時は読み取った個人識別番号を、サーバーに通知し、電気錠を開ける。サーバーではクライアントが発行した退室通知に含まれる時刻情報を退出時刻として記録する。

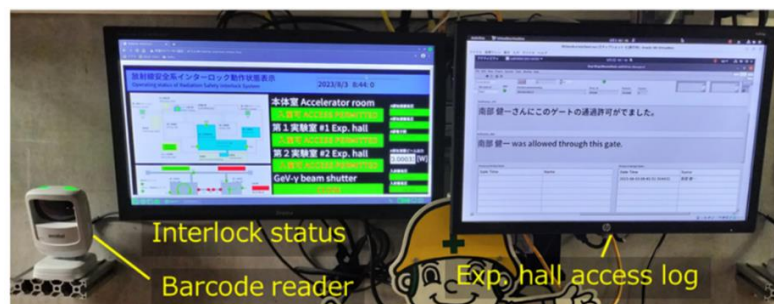


図 2 実験室出入口に設置されている入退室管理クライアントの設置状況。各実験室への入室者リストと放射線安全インターロックシステムの動作状態を常時表示している。本クライアントも仮想マシン上で動作している。

### 3.2 放射線安全インターロックシステム

放射線安全インターロックシステムは、実験室の閉鎖状態などを監視し、あらかじめ定められた条件を満足しているときのみ、加速器に対して運転許可信号を送出するものである。放射性同位元素の製造に使用する大電流電子線形加速器のビームパワーの増強等もあり、放射線安全インターロックシステムについても追加の安全対策を講じる必要があると判断し、論理演算部の二重化と先ほど述べた実験室内在室信号を追加し、加速器運転時の安全性を向上させることとした。

図 3 に改修後の放射線安全インターロックシステム<sup>[2]</sup>のブロック図を示す。論理演算部は、横河電機製のプログラマブルコントローラ FA-M3 を用いて構築しており、極めて信頼性が高いものであるが、故障など想定外の事態が発生したとしても、放射線安全インターロックが誤動作することは許されない。そこで入出力部を含めた論理演算部を二重化し、両者の演算結果が同一の時のみ加速器に対して運転許可信号が送出される構成とし信頼性を向上させた。これに加え、演算処理を行うプログラムは人間が作成するため、不具合(バグ)が残ってしまう可能性は排除できない。つまり論理演算部を二重化したとしても、両者で同じプログラムを実行すれば、潜在的な不具合は解消されない。そこで本改修では、論理演算部毎にプログラム作成担当を決め、論理演算部の入出力条件を満足するように各々個別にプログラムを作成し、それを実行する方式をとることとした。たとえプログラム中に不具合があったとしても、同じ場所で同じ間違いを犯さない限り、両者の演算結果は異なるため、加速器に運転許可信号が送出されず、加速器運転時の安全性向上を図ることができたと考える。

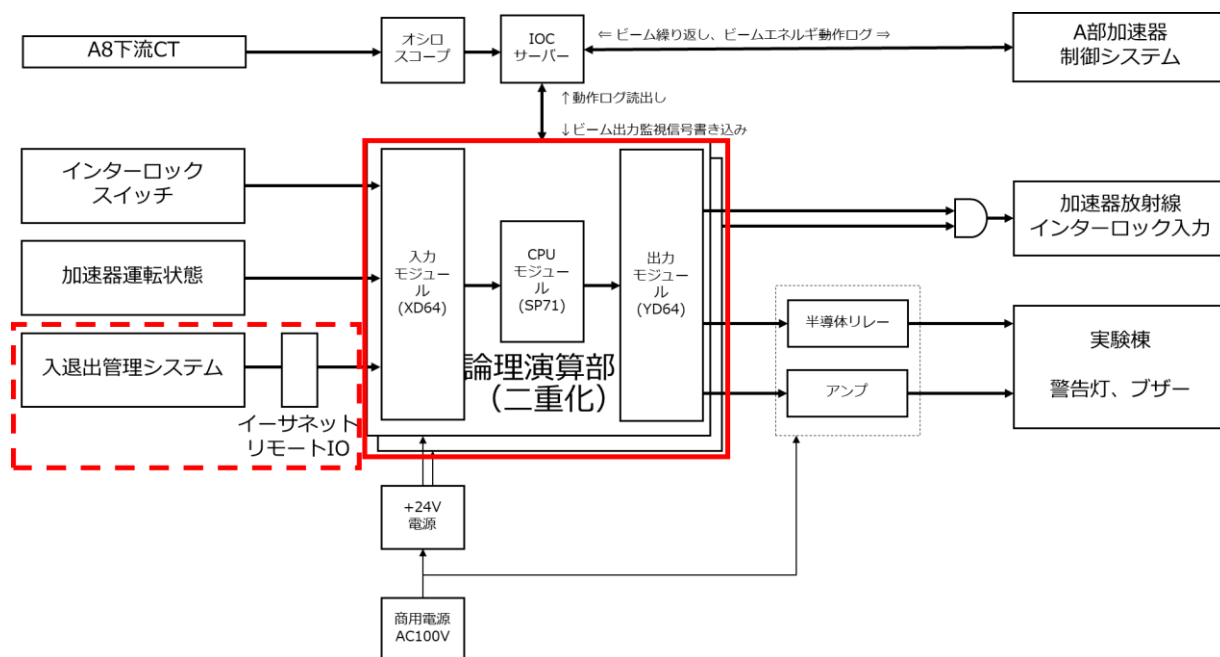


図 3 放射線安全インターロックシステムのブロック図。実線で囲った部分が二重化した論理演算部を示し、破線で囲った部分が追加した実験室内在室信号部を示す。発生装置室や実験室入口には放射線発生装置の運転条件を示す自動表示器(実験棟の警告灯やブザー)が設置されているが、これらの制御信号に関しても放射線安全インターロックシステムが送出する構成となっている。

実験室内在室信号は、入退室管理システムからイーサネットリモートI/Oを経由して論理演算部に入力される。在室信号は計算機で生成される信号のため、在室信号の信頼性を担保する必要がある。計算機の信頼性向上には限界があるため、本改修では計算機が正常に動作しているか確認するための信号を追加し、論理演算部が計算機の動作を監視する方式を採用した。具体的には、ウォッチドッグタイマー(WDT)と呼ばれるシステム監視用の機構を論理演算内に実装した。計算機は一定時間ごとに、WDT クリア信号を出力して、正常に動作していることを、論理演算部に通知する必要がある。プログラムの暴走や、計算機のハングアップなど、何らかの不具合により WDT クリア信号出力が停止すると、WDT は入退室管理システム異常と判断し、加速器を即座に停止させる構成となっている。また改修に合わせて、放射線安全インターロックの動作記録の取得方法も、ログの取りこぼしを

未然に防止するためにリングバッファを用いた方式に変更している。また改修後の放射線インターロックの処理時間を 100 回測定したところ、論理演算部 1 は  $12.22 \pm 0.13\text{ms}$ 、論理演算部 2 では  $12.44 \pm 0.15\text{ms}$  であり、目標値である 20ms 以下を十分満足していることを確認した。

### 3.3 放射線モニタリングシステム

放射線モニタリングシステムを用いて、事業所内で 3 か所、実験室内で 8 か所の合計 11 か所の空間線量を常時測定し、得られた測定データは、制御室に集約され、プロッターを用いて記録していた。測定場所と制御室間には、高圧ケーブル等の専用ケーブルが敷設され、測定値はアナログ信号で伝送されており、特に事業所内に 3 か所設置されている放射線測定器の信号処理回路は老朽化のため修理が困難で、システム更新を視野に入れた抜本的な対策が必要な状況であった。しかしながらシステム更新には多額の費用が必要で、予算措置を含めて対応に苦慮していた。老朽化や予算不足を理由として放射線モニタリングシステムを停止することは、一般的に許容されないと考えられ、限られた予算で、放射線モニタリングシステムを更新できないか検討することとした。検討の結果、信号処理方式を変更し、新たに信号処理装置を開発してそれを用いることで専用ケーブルが不要となり、比較的廉価で放射線モニタリングシステムの信号処理回路とデータ収集部を更新できることを見出し、開発に着手<sup>[3]</sup>した。

図 4 に開発した信号処理装置を示す。本装置は事業所内に設置されている放射線測定器の近傍に設置され、放射線測定器に検出器用の高圧を供給するとともに、放射線測定器の測定信号を、空間線量率に変換し、放射線安全ネットワーク(以下ネットワーク)経由でデータ収集部に送出する機能を有している。ネットワーク経由で測定値の収集を行うようにしたことで、配線工事を大幅に簡略化でき、工事費を削減することができた。ネットワークが未整備の箇所については、コンセント LAN を用いてネットワークを拡張している。信号変換回路には Field Programmable Gate Array (FPGA)を採用し、測定値を D/A 変換して出力するように構成した。FPGA から出力された測定値は、イーサネットリモート I/O で A/D 変換している。データ収集部は従来と同様に制御室に設置され、放射線測定器毎に試験用線源を用いて取得した変換係数を用いて、得られた値を空間線量率に変換している。測定値の記録については、プロッターを廃止し、加速器制御システムで稼働実績があるアーカイバーを用いてデータの記録を行うこととした。また管理区域入退管理システムと同様にこれらのアーカイバーについても仮想化したことで耐障害性の向上を図った。制御室では、各測定場所の空間線量のトレンド表示を行うとともに、空間線量があらかじめ定められた値を超過し、それが継続する場合は、加速器運転者に通知する機能を実装した。

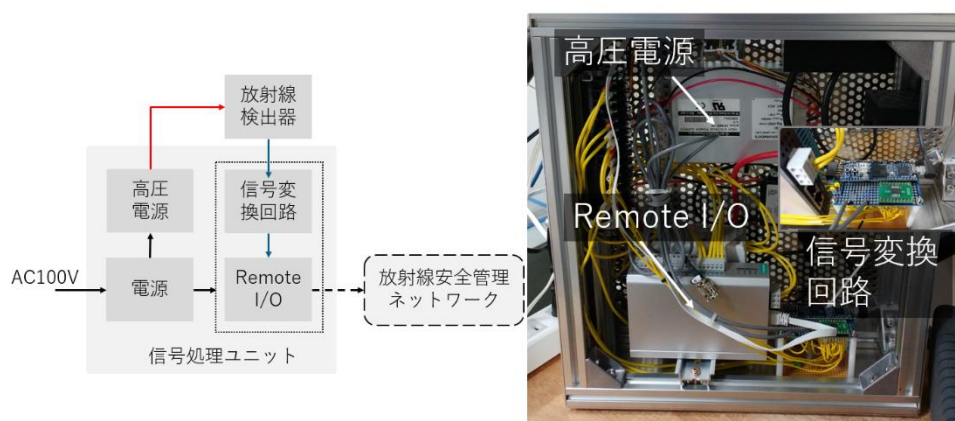


図 4 信号処理装置のブロック図(左)とその写真(右)。電源投入時に放射線測定器に定格電圧を印加すると故障するため、高圧電源にはスロースタート機能を持たせた。

## 4. まとめ

新たに運用を開始した管理区域入退室管理システム、放射線安全インターロックシステム及び放射線モニタリングシステムは、東北大学電子光物理学研究センターの放射線安全管理に活用され、放射線安全のみならず教育・研究環境の改善に大きく貢献した。開発したシステムは、特定のソフトウェアやドライバの採用を極力避け、基

本的に Linux や MariaDB 等のオープンソースソフトウェアを用いて構築した。また配線工事費を抑える方式を採用するなどし、これらによりシステム構築時の費用を抑えると共に、システムの維持経費を削減した。放射線安全管理業務は、このようなシステム構築や改修の他にも、教育記録の照合、関係機関との調整、RI 使用量の管理、線源の管理の他、施設の維持管理など様々な業務を行う必要がある。このような業務を効率的に遂行するために、今回新たに開発した管理区域入退室管理システムに、RI 使用量管理機能を追加するアップグレードが計画されている。

## 参考文献

- [1] A. Miyamoto et al., “管理区域入退管理システムの開発”, RADIOISOTOPES, Vol.52, No.12, 693-698 (2003).
- [2] K. Nanbu et al., “東北大学電子光理学研究センターにおける入退室管理システムと放射線安全インターロックシステムの更新について”, Proc. 20th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2023), Funabashi, Japan, Aug. 2023, pp. 790-792.
- [3] 高橋健, “加速器施設における空間線量モニタリングシステムの更新”, 技術部報告 Vol.35, Mar.2023, 16-20 (2023).



## 「細くて小さなガラス細工が立証した、鳥類恐竜起源説」

東北大学大学院生命科学研究科(理学部生物学科)

田村 宏治

「鳥の祖先は恐竜だ(鳥類恐竜起源説)」とはじめて発表したのはイギリスのハクスリーという学者で、160 年も以前のことだった。この主張は始祖鳥と呼ばれる恐竜と鳥の形質を併せ持った動物化石の発見に基づくが、動物の進化を世に問うていたダーウィンは、始祖鳥の存在と鳥類恐竜起源説を彼の著書である「進化論」の第二版に掲載したのだそうだ。その後、150 年余りのあいだ鳥類恐竜起源説は賛否両論の議論がなされてきた。当初この仮説はかなり疑問視されていたようで、その根拠の多くは「鳥にあるはずのいくつかの骨が恐竜には無い」ことであった。しかし、始祖鳥の発見後 100 年ほどのあいだに恐竜化石が次々と発見され、鳥類に見られる骨は恐竜も持っており、やはりいちばん鳥に類似しているのは恐竜(中でも獣脚類という肉食恐竜の一群)であることが示されていった。きわめつけは 20 世紀末から相次いで発見された羽毛恐竜で、鳥類ととてもよく似た獣脚類恐竜が数多く報告されると、鳥類恐竜起源説はほぼ 100%間違いないとまで言われるようになった。

ここで「ほぼ」100%と書いたのには理由があって、最後に一つだけどうしても鳥の祖先が恐竜だと考えては説明がつかない矛盾(あるいはパラドクス)が存在していたからだ。そのパラドクスとは、「鳥の手の指は“人差し指、中指、薬指”で構成されているが、獣脚類恐竜の手にある指は“親指、人さし指、中指”だ」というもので、別の指を持つ動物から違う構成の指を持つ動物は生じ得ない、という理屈だった。残り 99%の類似性はすべて収斂(他人の空似)であり、恐竜と鳥類はそれぞれ独立に別の爬虫類から進化したという学説は、鳥類の指の発生過程で最初に形成される、尺骨の延長上に形成される指が薬指であるからだ(したがって鳥類は恐竜には無い薬指を持っている)、という発生学上の研究が根拠となっていた。

このパラドクスを解消する新たな発生学的知見を私の研究室が発表したのは 2011 年 2 月 11 日<sup>[1]</sup>で、大震災のちょうどひと月前であった。私の専門は実験発生学的に指の発生過程を調べることで、たとえば「細いガラス管に封じた直径 100  $\mu$  m のタングステン線(図 1)」を用いてさまざまな移植実験を繰り返し(図 2)、どの場所からどの指が形成されるかを調査していた(図 3)。繰り返しのさまざまな移植実験から、5 本指のマウスで薬指が形成される領域は、ニワトリの

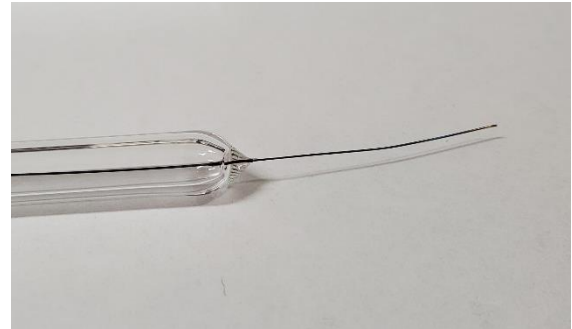


図 1. ガラス管とタングステン線を用いて作られたタングステンニードル(技術部製作)

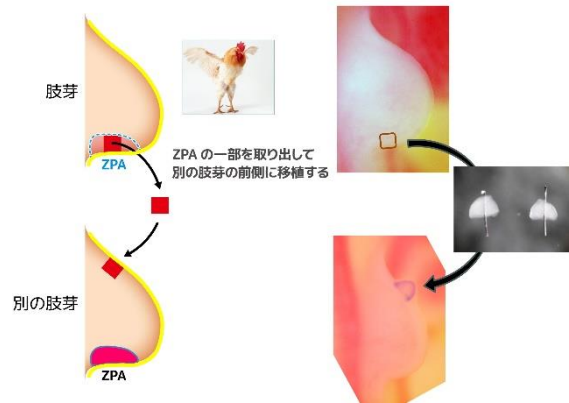


図 2. ニワトリ胚肢芽を用いた移植実験の実際(肢芽の直径は約 1mm)

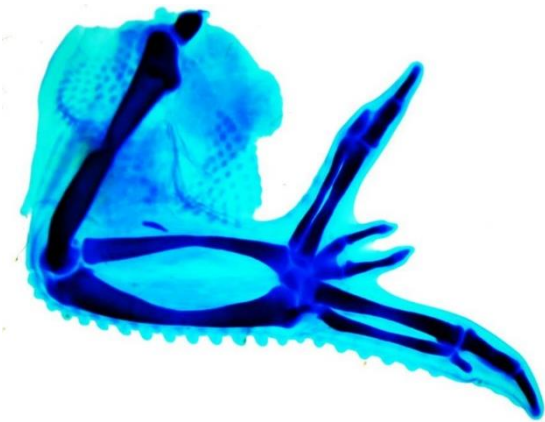


図 3. タングステンニードルを用いた微細移植実験によって、実験的に作られたニワトリ鏡像対称重複指

後肢(4本指)ではやはり薬指になるが、前肢では指にならないことがわかった。この実験の意味することは、ニワトリの後肢は薬指を持つが前肢は薬指を持たないということで、ニワトリに代表される鳥類の手の指は発生学的に見ても“親指、人さし指、中指”と考えられる、と結論された。

はたしてこのパラドクスが解消され「鳥の祖先は恐竜だ」と100%言ってもよい状態になった<sup>[2]</sup>(図4)。本講演ではその研究が「発生学」という研究分野の実験であったこと、そしてその実験のために「細いガラス管に封じた直径100 $\mu$ mのタンゲステン線」が大活躍したことを具体的にお話した。日頃、技術部のみなさんにお世話になりながら作る「細く小さな道具」を使った実験が導いた理屈が、鳥は恐竜だと言わせてくれたという、スケールのふり幅が大きな話である。あらためて技術部のみなさんの日頃のご協力とプロの繊細な技術供与に心から感謝申し上げます。

[1]Tamura, K., Nomura, N., Seki, R., Yonei-Tamura, S., and Yokoyama, H. (2011). Embryological evidence identifies wing digits in bird as digits 1, 2, and 3. *Science*, 331, 753-757.

[2]田村宏治. 進化の謎をとく発生学:恐竜も鳥エンハンサーを使っていたか. 岩波ジュニア新書. 2022.



図4. ミクロラプトル(羽毛恐竜)とニワトリ胚全身骨格の模式図。文献[2]より転載

# 放射線業務従事者に対する理学部再教育の改善の取り組み

物理学専攻  
梅津 裕生

## 1. はじめに

理学研究科には放射線取扱等業務に従事するために放射線管理区域に立ち入る放射線業務従事者が約 500 名登録されている。その内訳は、当該年度に初めて登録する新規登録者が約 100 名、登録 2 年目以降の継続者が約 300 名、一度登録したものの放射線利用を停止している休止者が約 100 名である。理学部再教育は、主に継続者に対して理学研究科で毎年実施している教育である。

この再教育は、放射性同位元素等の規制に関する法律<sup>[1]</sup>(RI 規制法)第二十二条で定められた教育である。また、RI 規制法と電離放射線障害防止規則に基づいて作成された理学研究科放射線障害予防規程<sup>[2]</sup>の第二十九条で教育を受ける時期として以下のように規定されている。「放射線業務従事者として登録した後であっては登録後、前回の受講日の属する年度の翌年度の開始日から 1 年以内」。すなわち、年度内に 1 回の受講が義務付けられている。

## 2. 再教育の改善の取り組み

### 2.1 対面・DVD 方式の再教育

2019 年度まで、再教育は第 1 回目を対面式の講義で実施し、受講できなかった従事者のために、第 2 回目以降は講義室や会議室での講義の様子を収録した DVD の集団視聴で実施していた。本方式時代の特徴として、サイクロロン・ラジオアイソトープセンター(以下、CYRIC)や電子光理学研究センター(以下、電子光)といった学内のほかの事業所の教育と一緒に受講できたことが挙げられる。

1. 炭素14を用いた AMS 研究	45 分	山形大学理学部	門叶冬樹
2. 法改正の要点	10 分	東北大学 CYRIC	結城秀行
3. CYRICからの報告	10 分	東北大学 CYRIC	結城秀行
4. 理学研究科からの報告	10 分	東北大学理学研究科	木野康志
引き続き「電子光からの報告」			

表 1 2018 年度再教育のプログラム

表 1 の 2018 年度の再教育を例に教育内容を紹介する。実施日は 7 月 9 日、会場は理学研究科大講義室、受講者は 208 名(表 2 参照)であった。受講者に興味を持ってもらうための工夫として、例年、外部から招いた講師による放射線に関する講演を実施しており、この年度の講師は山形大学の門叶氏であった。その後、放射線取扱主任者による法改正の説明や各事業所からの報告が行われた。これら事業所からの報告をもって、各事業所の再教育と認定していた。受講者へは会場への入場の際に受講票用紙を配布し、講義中に記入された受講票を退場時に回収して出欠を確認した。私たち放射線業務を担当する技術職員(生物・川崎、生物・東海林、私の 3 名)は放射線業務従事者でもあるため、受講しながら講義の様子をビデオカメラで撮影した。事務職員は講義室の外で受講者が持参した放射線取扱者手帳(通称赤手帳または青手帳、従事者資格により表紙色が異なる)に教育の記録を記帳した。

上述のとおり撮影した動画を技術職員が DVD に編集し、参加できなかった従事者の DVD 集団視聴による再教育に利用した。なお、電子光の再教育を理学研究科で受講できるのは、第 1 回目再教育の出席者への優遇措置であったため、DVD には「電子光からの報告」は収録しなかった。この DVD 再教育については理学研究科全体へ周知し、月一回程度の開催を目安にしていたが、リクエストがあれ

開講日	受講者数	教育形式
2018/7/19	208	対面
2018/8/7	59	DVD
2018/9/14	2	〃
2018/9/21	24	〃
2018/11/12	1	〃
2018/11/13	11	〃
2019/1/10	1	〃
2019/2/13	8	〃
2019/3/14	2	〃
2019/3/26	3	〃
2019/3/28	1	〃
受講者計	320	

表 2 2018 年度再教育の受講者の推移



ば少人数でも随時開催していた。実施は技術職員が担当し、会場の確保、手帳の記帳、受講票の回収・整理・保管などの業務を行っていた。2018 年度再教育の受講者数の推移を表 2 に示す。9 月 14 日や 11 月 12 日のように受講者が少ない回はリクエストによる随時開催である。2018 年度の再教育受講者の総数は 320 名であった。

この方式の再教育の大きな問題点として、運営する放射線管理担当教職員の負担が大きかったことが挙げられる。当時の再教育は、放射線管理を担当する放射線取扱主任者、技術職員、事務職員が総出の一大イベントであった。また、開講日時・場所が決まっている、受講者の理解度が確認できない、受講記録が電子化されておらず紙媒体で保存していた、などの問題があったほか、運営側の意図に反し、放射線管理に関係がない・興味を持っていないなどの招聘講師の講義に対する意見もあった。

## 2.2 moodle によるオンライン教育

2019 年度末からの COVID-19 の流行により、講義室に多数の受講者を集めることが忌避されたため、理学部再教育は上述の問題点の解決を念頭に置いたオンライン教育へと実施形態を変更した。2020 年度から CYRIC が運用していた e-Learning 用の学習管理システム moodle を使ってオンライン教育を実施した。2021 年度の moodle 再教育画面の一部を図 1 に示す。受講者は配布資料のダウンロード、再教育動画の視聴、確認テストの受験ができる。再教育の主たる教材である動画は、放射線取扱主任者の岩佐准教授



図 1 2021 年度 moodle 再教育の画面の一部

が作成したスライド原案に私が音声やアニメーションを追加するなどして制作した。従事者にとっての従来再教育からの改善点として、ネット環境があればいつでもどこでも一人で受講できるようになったことがある。運営側にとっては、多くの放射線管理担当教職員の負担が減った、確認テストで受講者の理解度チェックができる、受講記録が放射線管理担当者の共有 Excel シートで電子化できたことなどが改善点である。moodle は、動画の最後にチェックマークを出し、受講者がこれをクリックすることで視聴完了の記録が取れる利点もあった。また、教育内容は放射線管理に特化した内容に改めた。このように従来方式に対して大幅に改善されたオンライン教育であるが、受講者が ID を作成して受講する方式であったことにより、ID やパスワードを忘れたという問合せが出るようになった。そして、教育システムの管理が CYRIC に任せっきりであったため、問合せ対応としてのパスワードリセットのほか、教材の差し替えなどの作業も都度 CYRIC 担当者に対応してもらう必要があった。また、受講記録は電子化できたが、Excel シートが手動更新だという問題があった。

## 2.3 Google フォームと YouTube によるオンライン教育

2022 年度よりこれらの問題点を改善する方式として、Google フォームと YouTube によるオンライン教育を実施している。従事者には Google フォームの URL が通知され、そこにアクセスすると YouTube の教育動画(図 2 参照)や配布資料へのリンクがある。受講者は Google フォームで身分・所属・学生の場合は学籍番号・氏名を入力し、最後に小テストに回答する。これらの受講者の入力・回答結果は、放射線管理担当者間で共有されているスプレッドシートで収集している。YouTube の動画は moodle の再教育で使用していたものをベースに、音声を聞き取りやすく変更したり、英語の字幕をつけたりと少しずつ改善している。



図 2 2023 年度の YouTube の再教育画面

moodle 方式と比べると、東北大メールアカウントでログインするので ID やパスワードを忘れた

という問合せがなくなったこと、教育システムを理学研究科の放射線管理担当者が全て管理できるようになったこと、受講記録が自動で更新されるようになったことが主な改善点である。また、Google フォームの回答の控えを送信することで、受講者が自身の修了日を確認できるようになった。そのほか、受講記録のスプレッドシートに過去の再教育や全学講習会(東北大学全学で実施される「1.はじめに」で述べた新規登録者に対する放射線教育)の教育項目・教育時間数などの情報も盛り込むことで、放射線管理担当者への便宜を図った。一方、作業時間が確保できず、Google フォームの日英併記ができなかったため、これは来年度以降対応したい。

### 3. まとめ

対面の講義とDVDの集団視聴で実施していた理学部再教育を、COVID-19を契機として、2020年度よりオンライン教育へと変更した。オンライン化後も、理学研究科内で教育システムの管理が完結することを目指して2022年度にGoogleフォームとYouTubeによる教育へと変更した。これらの改善の取り組みにより、受講する放射線業務従事者にも、運営する放射線管理担当者にも大きなメリットがあった。受講者は時間と場所に縛られずに、放射線管理に特化した教育を受講できるようになった。多くの放射線管理担当者の再教育実施の負担が軽減し、受講記録の電子化・共有・自動更新や、受講者の理解度を確認できる小テストの実施ができるようになった。今後も再教育改善の取り組みを継続していく。

### 参考文献

- [1] 放射性同位元素等の規制に関する法律  
<https://elaws.e-gov.go.jp/document?lawid=332AC0000000167>
- [2] 東北大学大学院理学研究科放射線障害予防規程

# 石英ガラス製フランジ付き容器の研削加工

硝子機器開発・研修室  
澤田 修太

## 1. はじめに

ニュートリノ科学研究センターから宇宙線観測用の石英ガラス製フランジ付き容器の製作依頼があった。普段行っているバーナーを使用した溶融加工では材質、形状的に製作が困難だった為、ガラスブロックから研削加工での製作を検討した。既存の研削機械だけでは加工しきれない部分があったが、新しい研削工具の購入と専用治具を製作する事で対処した。依頼されたガラス容器の製作に使用した工具や治具、製作工程について報告する。

## 2. 製作内容

- 用途: 容器内に液体キセノンを満たして過飽和状態にし、宇宙線が通過した際の微細な反応を観測する。
- 材質: 石英ガラス
- 寸法: フランジ部分 外径  $\phi 70\text{ mm}$  内径  $\phi 21\text{ mm}$  厚さ  $15\text{ mm}$  ねじ穴の中心径  $\phi 55\text{ mm}$  ねじ穴の径  $\phi 6.6\text{ mm}$   
容器部分 外径  $\phi 30\text{ mm}$  内径  $\phi 21\text{ mm}$  長さ  $30\text{ mm}$  (図1)
- 製作条件: 全面透明研磨(特に容器部分は目に見えるキズ、研磨残りによる曇りは厳禁)

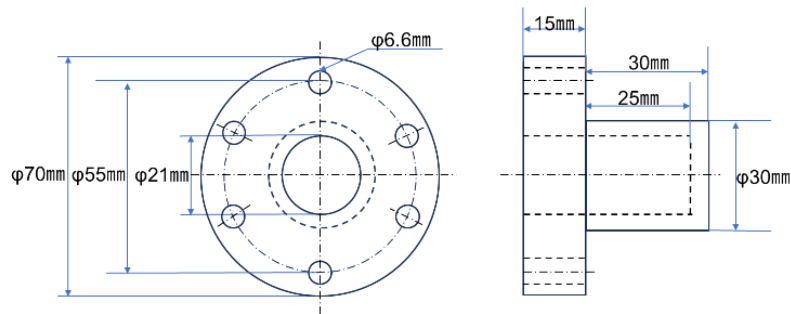


図1 ガラス容器の図面と寸法

## 3. 製作上の問題と解決策

### 3.1 溶融加工の問題

通常、ガラスでフランジ成形するときはガラス管を十分に溶かし、カーボン製の型を使用して製作していくが、石英ガラスの場合は溶融温度が非常に高く 1800 度以上も必要になるため変形し辛く、カーボン型を使用した成型が非常に難しい。なので、フランジ部分とガラス管を別々に用意し、ガラス加工用旋盤を使って回転させながら接合部だけを溶かしてつなぎ合わせるという方法が基本となる。(図 2)

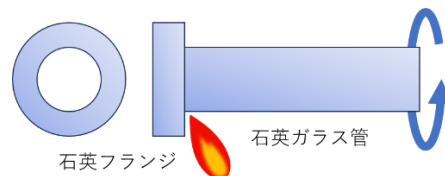


図2 石英ガラスのフランジ加工

しかし、この製作方法は基本的にガラスの厚みが約 2 mm 程度までの薄い場合に有効な製作方法である。今回製作したものはフランジが 15 mm 厚、容器部分が 4.5 mm 厚と全体的に肉厚であるため、この方法で加工しようとすると当室の設備では石英ガラスを十分に溶かすことができず、完全に溶着することが難しい。結果、破損しやすい製品が出来てしまう。以上の理由から溶融加工での製作は不可能と判断した。

### 3.2 研削加工の問題

次に研削加工での製作を検討したが、当室では研削加工の依頼が頻繁にあるわけではないため、フライス盤、各種ダイヤモンドカッター、研磨用円盤などの基本的な研削機械しか設置されていない。既存の機械だけでは機械の性能や適切な工具が無いなどの理由で加工が困難な部分が出てきてしまう。(図 3)

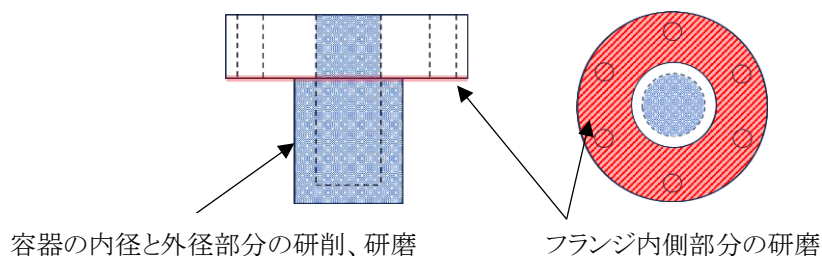


図 3 既存の設備では加工が困難な部分

### 3.3 解決策

容器部分の内径、外径の研削用に穴開け加工でよく使われるダイヤモンドホールソーを購入し、使用することにした。(図 4) 今回の製作では  $\phi 4 \sim 20 \text{ mm}$  と  $\phi 35 \text{ mm}$  を使用。そして、研削加工後の研磨用としてフランジ容器の寸法に合わせたステンレス製治具を機器開発・研修室に2種類製作して頂いた。(図 5)



図 4 ダイヤモンドホールソー

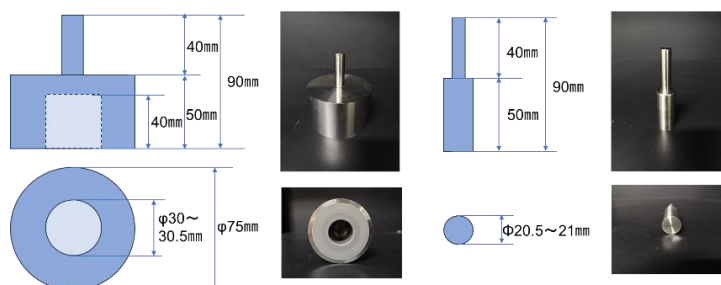


図 5 ステンレス製研磨用治具  
(機器開発・研修室製作)

## 4. 製作工程その1「研削加工(粗削り)」

### 4.1 ねじ穴、容器部分の研削

縦 50 mm 横 70 mm 奥行き 70 mm の石英ガラスブロックにマスキングテープを張り、そこに穴あけ位置の印を予めつけておきエレクトロンワックスを使ってアルミ板の台座に固定後、フライス盤に取り付けた。(図 6)

次にネジ穴 6 ケ所をダイヤモンドバー  $\phi 6 \text{ mm}$  で研削、後から研磨をして  $\phi 6.6 \text{ mm}$  に開ける。中央の内径部分はダイヤモンドホールソー  $\phi 4 \text{ mm} \sim 20 \text{ mm}$  を使い、段階的に穴を大きくして研削した。(図 7)

ガラスブロックを一度台座から外し、裏返して再度エレクトロンワックスで固定した後、容器外径部分を研削する。ここではホールソー  $\phi 35 \text{ mm}$  を使用した。これはホールソーの内径が約  $\phi 31 \text{ mm}$  で丁度よく外径部分が削りだせるためである。(図 8)

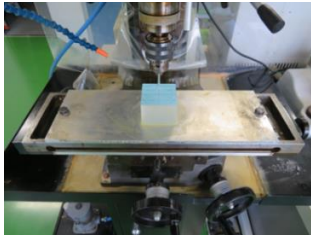
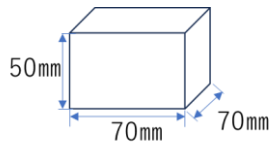


図6 フライス盤への取り付け

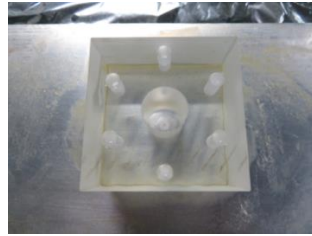
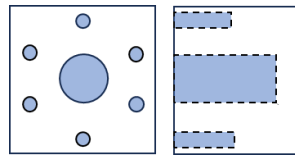


図7 ねじ穴、容器内径部分の研削

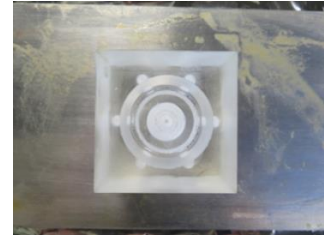
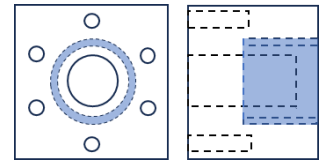


図8 容器外径部分の研削

#### 4.2 フランジ部分の切出し

ダイヤモンドカッターを使い、指定のフランジの厚さより若干余裕を持たせて切断し、余分な部分を切り離す。(図9)次にダイヤモンドバンドソーを使ってフランジ外径部分を切り出す。(図10)

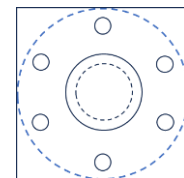
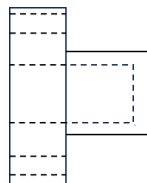
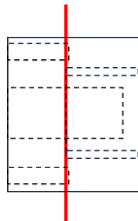


図9 フランジ部分の切出し

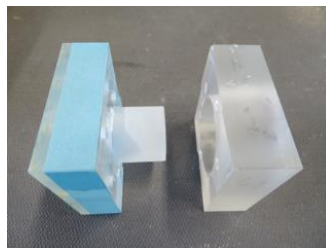


図10 フランジ外径の切出し

### 5. 製作工程その2「研磨、透明研磨」

#### 5.1 研磨

研磨用治具を研磨用三つ爪チャックに噛ませ、カーボランダム(研磨剤) #350、#600、#1500、#3000 の順に研磨を行って粗削りをしたガラス容器を指定の寸法に仕上げていく。治具は研磨剤の番数毎に新しい物に取り換える。(図11)

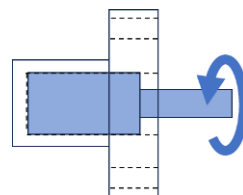
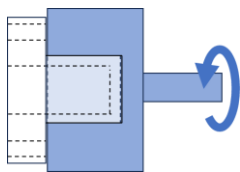


図11 治具を使用した研磨



## 5.2 透明研磨～完成

石英ガラス容器をエレクトロニクスで研磨用治具と図11の様に合わせた状態で固定し、チャックに噛ませて回転させバフと透明用の研磨剤である酸化鉄を使って全面を透明に磨き上げる。内径部分の研磨は適当な金属棒にバフを貼り付けて中に差し込む様にして研磨した。(図 12)

最後にキズや曇りが無いか十分に確認して完成となる。(図 13)



図 12 透明研磨加工

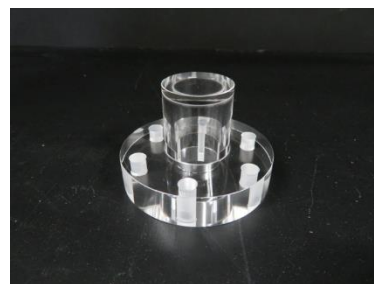


図 13 完成した石英ガラス容器

## 6. まとめ

当室ではこれまで主にバーナーワークを中心とした製作を行ってきたが、近年では基板製作やアルミナの加工など、研削加工の需要が増えてきている。今回の様なガラスブロックを使用した研削製作は初めてだったためスキル向上に繋がる良い経験となった。また、他の技術職員との協力により既存の設備だけでは難しかった製作に対応できた事は、加工方法の幅が広がっただけでなく、今後の研究支援に大きく役立つと考える。引き続き様々な要望に応えられるよう依頼者とのコミュニケーション、技術職員同士の連携を大切にしながら業務に従事していきたい。

## 7. 謝辞

今回の製作に当たり研磨用治具を製作して頂きました機器開発・研修室の小野寺様、藤井様にこの場を借りて感謝申し上げます。

# 学生実験(熱プローブリソグラフィー)の紹介

物理学専攻  
佐藤 健

## 1. はじめに

理学部物理学科では学生実験授業「物理学実験Ⅲ」を開講している。この授業は3年生後期に開講され、これまでの実験の知識と技術をもとに研究への導入となる実験を行うことを目的の一つとしている。授業は物理学専攻の実験系の各研究室が分担して行っている。実験は1日2時限(90分×2)で全9日間、1テーマ7名程度の学生を受け入れ2グループに分けて作業を行う。今回担当した研究室の学生実験のテーマは、リソグラフィーによる半導体微細加工技術を用いて、SWCNT(単層カーボンナノチューブ)+TbPc2(単分子磁石)デバイスを作製し、電気特性を調べることである。また、微細加工プロセスで使用するリソグラフィー装置は、研究と併用のため、装置の利用が制限される問題もあり、試料観察で使用する原子間力顕微鏡(AFM)のサーマル機能を用いて熱プローブリソグラフィーの導入を試みた。本報告では、これらの担当した半導体微細加工実験の一部を紹介する。

## 2. 学生実験

学生実験は、はじめにオリエンテーション→アドレスマーカー基板の作製→実験用試料の作製→AFMで試料を観察→電気測定→AFMで熱リソグラフィー体験→最後に実験まとめという流れで行われ、学生は、時間と実験装置の都合により作業工程の順番を調整しながら、半導体微細加工の一部の工程を行う。

### 2.1 アドレスマーカー基板の作製(半導体微細加工を学ぶ)

半導体基板に塗布したカーボンナノチューブ(CNT)の位置を確認するため、数字、文字、十字マークなど数ミクロンのパターンを電子線リソグラフィー(EB描画)で作製する。使用するSi基板は、1cm角程度にカットして有機溶剤で洗浄、レジスト(感光材)を塗布し、EB描画装置で描画する。現像を行い、電子ビーム蒸着装置でTiとAuをそれぞれ蒸着する。蒸着装置から取り出し後は、有機溶剤に浸しリフトオフ、最後に純水で洗浄して作製の過程は終了である(図1、2)。

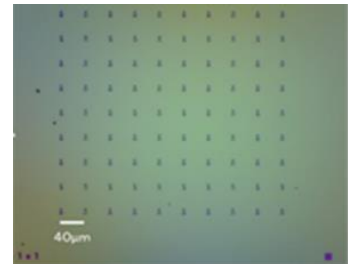


図1 Si基板上に作成したアドレス



図2 半導体微細加工プロセス

完成したアドレスマーカー基板に分散溶液のCNTをマイクロピペットで滴下し乾燥して固着させる。次に光学顕微鏡を使用してCNTと思われる試料の固まりの位置を確認し、AFMを用いて電極パターンに接合しやすい長めの試料を探索する(図3)。数nmから数十nmというCNTは、束状のバンドル、また互いに複雑に絡み合った凝集体であるため、条件の良いSWCNTをAFMで探し出す。学生実験では時間の都合上、AFMを操作しCNTを探す作業で終了となるが、その後、私がAFMで観察したCNT画像をCAD図面

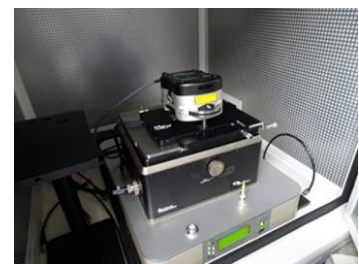


図3 AFM(ヘッド、ベース)

に取り込んでマッピングし、CNT 電極のパターンと電極と端子を接続するためのボンディング用のパッドの設計を行う(図4、5)。

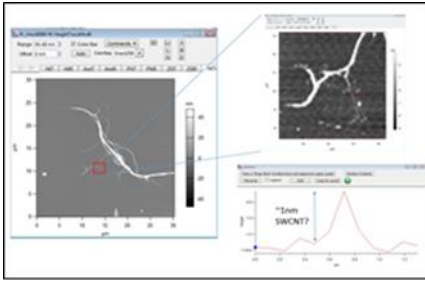


図4 AFM 画像(CNT)

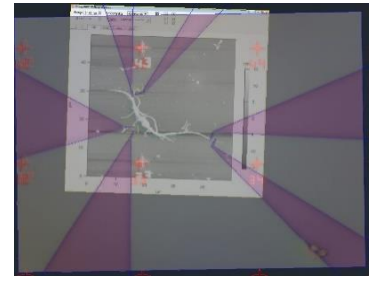
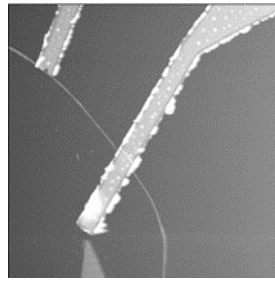


図5 CAD の作図画面

EB 描画の工程は、電極パターンとボンディングパッドのパターンの蒸着材が違うため2回に分けて行う。はじめに細い電極の方を描画して現像を行い(図6)、Pd などの蒸着材を電子ビーム蒸着や抵抗加熱を利用して蒸着する。ボンディングパッドの方は、別のレジストを塗布して EB 描画後、現像、電子ビーム蒸着で Ti と Au を蒸着し、最後にリフトオフ、洗浄をして終了となる(図7)。その後、ウエハカット、アニール、ワイヤボンディングなどのプロセスを行い測定用のデバイスが完成となる(図8)。



図6 電極パターン

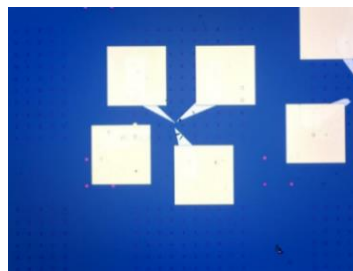


図7 ボンディングパッド

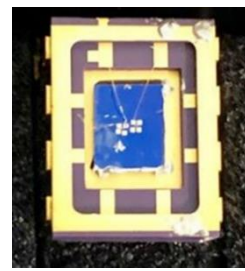


図8 作製したデバイス

## 2.2 熱プローブリソグラフィー

CNT の観察で使用した AFM 装置は、測定モードの他にサーマル機能があり、熱用のカンチレバーと専用ホルダがあれば熱プローブリソグラフィーが可能である。熱プローブリソグラフィーは、探針(カンチレバー・プローブ)の先に電圧をかけ、抵抗加熱で熱に反応するレジストを加熱することで描画ができるリソグラフィーである(図9)。このリソグラフィー技術は、一般的な用途にはまだ確立されていない新しいリソグラフィー技術の1つであるが、この技術を研究や学生実験へ導入できるかどうか検討するため、簡易的な熱用探針ホルダを作製し描画テストを行った。描画した結果は、自作のホルダでも熱プローブリソグラフィーが可能なのは確認できたが、描画したパターンが状態が悪いことに加え、普段使用している測定用の探針ホルダに比べ取り付け調整が難しく、交換作業に多くの時間を要することから、ホルダへの取り付けがしやすいようホルダの構造を見直し、材料から新しく設計・製作することにした。熱用探針は通電しながら探針を加熱する構造であることから、探針を装着する先端部に銅材を用い、この先端部を固定する箇所には両ホルダの間隔を保持

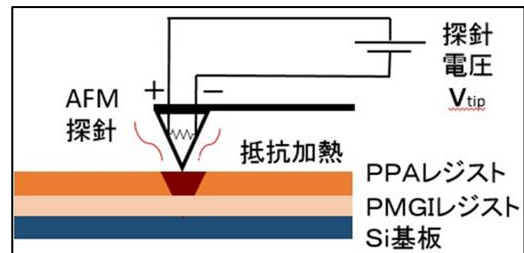


図9 熱プローブリソグラフィーの模式図

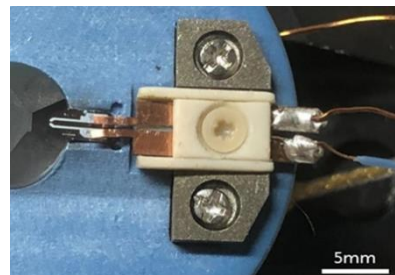


図10 探針ホルダ



するためのセンターガイドやネジで固定の強弱を調整する機構を設け、絶縁対策と高温にも耐えられる樹脂材(PEEK)などを用いて製作した(図10)。製作したホルダは、探針を装着して加熱試験、段差測定等性能試験を行い描画が可能なことを確認し、半導体微細加工の学生実験の中に導入することができた(図11、12)。

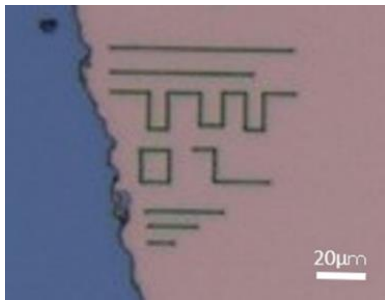


図 11 レジスト塗布面に描画したパターン

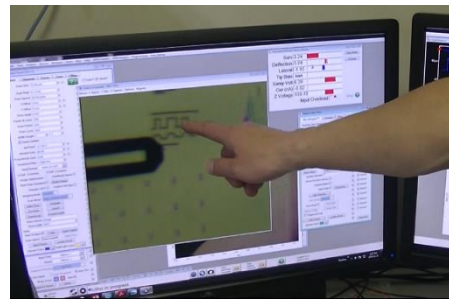


図 12 学生実験の様子

### 3. まとめ

学生実験授業で半導体微細加工を行った。半導体微細加工プロセスは、どの工程も時間のかかる作業ではあるが、今回ホルダを改良した結果、熱探針の取り付けが以前のホルダに比べ容易になり測定用と熱描画用の探針交換・装置調整等の時間が大幅に短縮することができた。また、実際に授業の中で熱プローブリソグラフィーのデモ実験を行った結果、操作やスキャン(走査)に時間がかかるため、学生一人一人にリソグラフィーを体験してもらうことはできなかったが、AFM装置を用いたリソグラフィーを導入可能なことが確認できた。

### 4. 謝辞

熱探針用ホルダの作製にあたって、物理学専攻の橋本克之助教、八戸工業高等専門学校の角館俊行助教(当時多元物質科学研究所)には、多大なるご指導とご助言をいただきました。また、設計・製作に関して多元物質科学研究所機械工場の皆様、理学部の梅津裕生氏、機器開発・研修室の皆様にご協力をいただきました。ここに記して感謝を申し上げます。

# 東北大学電子光理学研究センターにおける受変電設備の年次点検について

電子光理学研究センター

○南部 健一・長澤 育郎・高橋 健・柴田 晃太郎

## 1. はじめに

東北大学は複数の特高変電所を有し、各キャンパスに電力を供給している。当センターは、主要なキャンパスから地理的に離れていること、当センターの前身である理学部附属原子核理学研究施設の設定当初においては、加速器施設のための消費電力が比較的大きなものであったことから、特高変電所が整備され、現在もそれを用いてセンター内に電力を供給している。これらの受変電設備は点検が義務付けられているため、点検の際には加速器などを全停止し、全所停電する。その準備や当日の作業、復電後の作業の概要について報告する。

## 2. センターの受変電設備の概要

センターの受変電設備は、特高変電所と電気室に集約されている。特高変電所は富沢キャンパスの南東に位置し、特高変圧器で電圧を 6.6kV まで降圧したのちに、電気室に送り出している。電気室は富沢キャンパスの北に位置し、各機器・負荷が要求する電圧(400、200、100V)まで降圧し、配電盤を経由して、センター内に電力を供給している。電気室には係員が 24 時間体制で勤務し、受変電設備の監視・点検を行っている。

特高変電所は、老朽化対策のため平成 19 年度から順次遮断器や特高変圧器などの機器の更新が行われた。また、この更新に合わせて、加速器制御系からデマンド監視装置の測定値をネットワーク経由(MC プロトコル)で読み取れるように環境を構築した。デマンド情報をリアルタイムで把握できるため、契約電力を超えないように加速器の運転パラメータを微調整することが可能となり、加速器のデューティーファクター(ビームの加速時間/加速器の運転時間)の向上に貢献できた。東北大学電力モニタリングシステム整備時には、大学全体の電力モニタリングシステムと本センターのデマンド監視装置が両立するようにシステムを再構築している。

## 3. 全所停電の準備と当日の作業

### 3.1 事前準備

特高変電所の操作手順は、施設部と情報共有しながら事前に東北電力と打合せを行い、当日は給電指令票に従って特高変電所の操作を行う。あらかじめ決められた時間内で点検作業を完了する必要があり、複数の点検業者が作業にあたることから、点検業者らと事前に打合せを行い、停電時間や作業内容及び手順の確認、連絡体制などを確認する。メール、Web、DNS サーバーは停電中でも稼働させるため、その電源となる発電機のオイル交換や試運転、補充用ガソリンの準備などを行う。発電機とサーバー室間には、研究棟の改修時に専用配線を敷設しているため、停電毎に仮設ケーブルを敷設する必要はない。図 1 にサーバー用発電機とサーバー室内のコンセント、接続箱の写真を示す。接続箱には NFB が内蔵されている。



図 1 (a)デンヨー製インバーター発電機(出力 2kVA)、(b)サーバー室内に設けられた発電機用コンセント、(c)発電機はエアコン屋外機の近傍に設置し、発電機の出力ケーブルは接続箱内の端子台に接続する。

### 3.2 停電作業

停電当日は、概ねAM7:00頃から、加速器制御システム、管理区域入室管理システムのシャットダウンや、加速器真空排気システムの停止を行う。メール、Web、DNS サーバー等の電源の発電機系統への切替え作業に関しては、これらのサーバーは電源が2重化もしくは無停電電源装置に接続されているため、発電機を稼働させ、電圧等の確認を行った後に、コンセント差し替え作業を行い作業完了となる。その後、特高変電所内であらかじめ定められた手順に従い停止操作を行い、東北電力の給電指令所から操作指示があるまで待機する。その後、給電指令所からの操作指示に従い、電気室及び特高変電所で停電操作を行う。すべての停電操作が完了すると作業引き渡しとなり、点検作業が開始される。点検作業前に、点検業者とセンター担当で朝礼を行い、当日の注意事項や、作業手順の最終確認を行っている。

### 3.3 停電中の作業

停電中は、放射線管理区域内の絶縁抵抗試験立ち合いや、ネットワークケーブルやサーバー類の電源ケーブルの整理等を行う。当センターには、消火栓ポンプ駆動用のための非常用発電設備が設置されており、基本的に毎週無負荷での動作試験を行っているが、年次点検に合わせて、消火栓ポンプを使って非常用発電設備の実負荷試験を実施している。あらかじめ定められた手順に従い流量を調整した後に、送水圧力、流量、電圧、電流、力率などを測定し記録している。またこれらの測定記録は消防設備の定期点検報告書(図2)に記載され、消防署に提出している。

### 3.4 復電作業

停電作業と同様に、給電指令所からの操作指示があるまで待機する。その後、給電指令所からの操作指示に従い、特高変電所の復電操作を実施し、一連の作業が完了すると充電引渡しとなり、特高変電所の復電作業が完了となる。その後、センター内の遮断器を順次投入し、センター内の復電操作を行う。復電後には、加速器真空排気システムの立ち上げや、サーバー類の電源を商用電源に切替えを行い、最後に停電作業で使用した資機材を片付けて停電作業は完了となる。

## 4. 課題

近年、特高変電所の定期交換部品の交換時期を迎え、さらに引込線などを支持する引留鉄構の老朽化対策が必要となっている。これらの部品交換や補修には多額の費用を要し、特に引留鉄構の補修には10日間程度の停電が必要である。部品交換等の保守管理費用などを考慮すると、概ね25年程度で機器を更新することが望ましいため、今後の維持管理に要する費用等を勘案し、保有する設備を出来るだけ維持するという考え方を換え、キュービクル方式への更新を検討するなど、経済性と安全性を考慮した維持管理計画の策定が必要であると思われる。いずれにしても部品交換や補修を怠り、それが原因で受変電設備が故障し、他の需要家の設備に被害を及ぼす事態は絶対に避けなければならないため、施設部とこれらの情報を共有して、計画的に保守管理を行ってきたい。

## 5. まとめ

東北大学電子光理学研究センターでは、電気設備点検のために1年に1回全所停電を行っている。施設部と情報共有を図りながら、研究・教育環境の基盤となる本設備の適切な維持管理を行ってきたい。

別記様式第2-4		非常電源(自家発電設備)(その3)	
総合点検		種別	
接地抵抗	種別	Ω	○
絶縁抵抗	種別	MΩ	○
自家発電装置の接続部			○
始動用蓄電池設備	24V 40A		○
始動用空気圧縮設備		/	
始動補助装置	冷却水ヒーター		○
保護装置			○
負荷	負荷運転	実負荷(下記参照)	○
運転	内部観察等	最終室温 ℃	/
切替	運転切替装置		/
性能	蓄電池切替装置		/
	密始動燃料切替装置		/
第3種電気主任技術者 氏名 〇〇 〇〇 〇〇 負荷運転又は内部観察等の最終実施年月(令和3年8月 実負荷運転実施済) 実負荷にて運転: 消火栓ポンプ(3000/min)流量試験にて運転 (三相発電機)			
備考	定格出力	47.5 kVA	発電機
	定格電圧	200.0 V	電圧 203.0 V
	定格電流	137.0 A	電流 31.0 A
	有効電力	38.0 kW	力率 0.75
	力率	0.75	電力 7.9 kW
		温度 77 ℃	消火栓ポンプ
		水温 75 ℃	電圧 200 V
		油圧 0.3 Mpa	電流 31 A
		回転数 3000 rpm	力率 0.72
			電力 7.9 kW
			(容量使用率20.7%)
測定機器	機器名	型式	校正年月日
			製造者名

備考 1 この用語の大きさは、日本産業規格A4とする。 2 種別・容量等の内容は、該当するものについて記入すること。 3 判定値は、正常の場合は○印、不良の場合は×印を記入し、不良内容欄にその内容を記入すること。 4 測定値のある欄は、該当事項に○印を付すこと。 5 検閲内容欄には、点検の際検査した内容を記入すること。 6 裏中印のあるものは、非常電源(自家発電設備)点検票を添付すること。 7 裏中印のないものは、当該設備項目の最終実施年月を最終欄に記入し、別表(別記様式第2-5)に該当する運転性能の維持に係る予防的保全策が講じられている場合は、当該保全策を添付すること。

図2 非常用発電設備に関する定期点検報告書(抜粋)



# 薄片作製装置の導入とその効果の考察

地学専攻

○阿部 道彰・伊藤 嘉紀・川野部 裕之

## 1. はじめに

地球科学の分野において、薄片は欠かせない存在である。薄片とは、表面を研磨した試料とスライドガラスを接着し、その後試料部を  $30\mu\text{m}$  程度の厚さまで削る事で偏光顕微鏡での透過観察を可能としたものの事である。この顕微鏡観察により、岩石試料に含まれる鉱物の種類や量比、化石の種類などを調べ、その岩石の成り立ちを考察する事で地球科学の解明に繋がる。

地学専攻技術室では、教員および学生から依頼を受けて薄片を作製しているが、加工や処理が容易な試料については学生自身でも薄片が作れるよう技術指導も行っている。しかし作製経験の浅い学生にとって、精度の高い薄片を作る事は難しいのが現状のようである。その理由の一つが、元来、我々が薄片を作製する際に使用しているグラインダー(図 1)の扱いが難しいためだと考えられる。



図 1 グラインダー

この機械は岩石を切削および研磨するための機械で、高速回転するロクロの表面に研磨剤を塗布し、そこに岩石を押し当てることで切削・研磨する。その切削力はとても強く、削れ過ぎるがゆえに薄片の試料部全体を均一かつ目的の厚さに留めるのは難しいという欠点がある。我々技術職員は熟練しているため失敗することはあまり無いが、作製経験が浅い学生にとってはこの工程に苦慮し失敗する事が多いようであった(図 2)。

今回この問題に対処すべく、マルトー社製 薄片作製装置 プレパラップ(図 3)を導入した。本装置は薄片の試料切削を行うためのもので、半自動の機構を備えており、試料切削の工程の大半を装置に委ねることが可能となる。装置購入前に本装置を調べた限りでは、前述のグラインダーでの切削工程をこの装置を使った切削に置き換えることで、学生が薄片作製に失敗する事がかなり少なくなると想定できた。しかし導入後にテスト運用したところ、本装置にはいくつか問題点がある事も分かった。

本稿では導入した薄片作製装置が、従来の作製法で使用するグラインダーと比較してどのような特徴があるか、そして薄片作製装置使用時に発生した問題点にどのように対処したかを報告する。



図 2 削り過ぎて上側の半分が欠損した薄片



図 3 薄片作製装置 プレパラップ

## 2. 薄片作製装置の構造と特徴

本装置はホルダに薄片をセットした後、高速回転するカップ砥石へ薄片の試料表面を横から擦り当てていくことで試料切削を行う(図 4)。本体右側にはステージを左右送りするハンドル、本体上側にはカップ砥石を上下送りするハンドルがあり(図 5)、本装置の構造は平面切削を行うときのフライス盤に近い。また、左右送りにのみ自動

送りの機構が備わっている。

本装置の最大の長所は、試料をほぼ平行に切削することが可能な点である。薄片を作ることに不慣れた学生がグラインダーで試料を切削する場合は、図 2 のように試料を削り過ぎて一部欠損することが非常に多かったが、本装置では上下の送り量を正しく与えれば試料を欠損する事が無くなった。

短所としては、切削に非常に時間が掛かる点である。具体的には薄片一枚につき、グラインダーで試料を薄くする場合は 15 分程度の作業となるが、本装置で薄くする場合はテスト運用の結果、上下送りおよび左右送りを最適な条件で設定した場合に約 4 倍の 1 時間ほど要する事が分かった。模索した最適な条件については、次項で述べる。

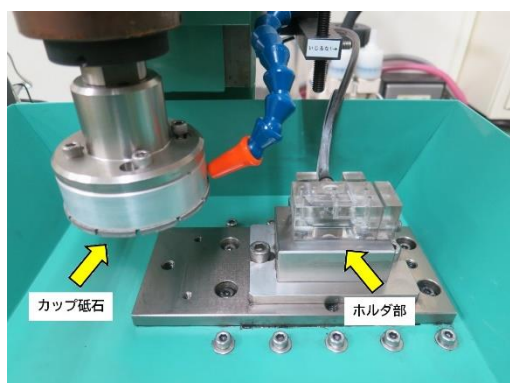


図 4 カップ砥石と薄片ホルダ部

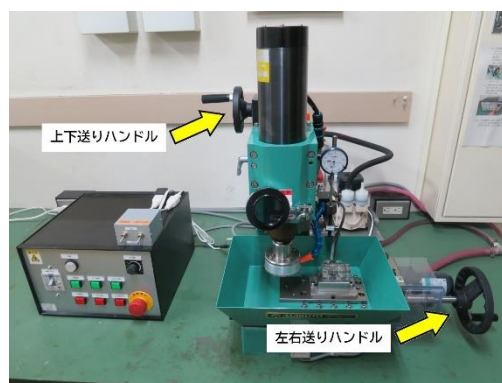


図 5 操作用ハンドル

### 3. 薄片作製装置の問題点と対処

本装置を使う上での問題点は主に二つあった。

一つ目の問題点は、切削条件次第によっては観察する岩石組織が破損してしまうことである。図 6 と図 7 は共に花崗岩を 150  $\mu\text{m}$  程度まで薄くした薄片の顕微鏡写真で、図 6 はグラインダーで #400・#800 の研磨剤を用いて切削した場合、図 7 は作製装置で #200 のカップ砥石を用いて切削した場合の写真である。上記の条件で、グラインダーで切削した場合は図 6 で示すように組織の破損は確認出来なかったが、作製装置で切削した場合は図 7 で示すように組織に細かい破損が確認された。なお、作製装置のカップ砥石を細かい粒度のものに変更して仕上げたとしても、組織破損の具合にそれほど変化は見られなかった。グラインダーで切削を行った場合、極端に荒い研磨剤を使った上で尚且つ極端に薄くない限り図 7 のような破損は発生しないが、作製装置では比較的簡単に組織が破損してしまう事がテスト運用で確認された。これが発生する原因としては、作製装置のカップ砥石での切削はグラインダーでの切削と比較して、非常に強い摩擦が加わるためだと思われる。この摩擦を軽減して組織が破損しないようにするために、上下の送り量と左右の送り速度を小さくする事で対処する事とした。ただし必要以上に送りを小さくするとそれだけ切削に時間が掛かる事となり実用性が低くなってしまいため、組織が破損せず、かつ出来る限り大きな送り量・速い送り速度をそれぞれ見出し、その条件をマニュアル化し利用者に周知した。

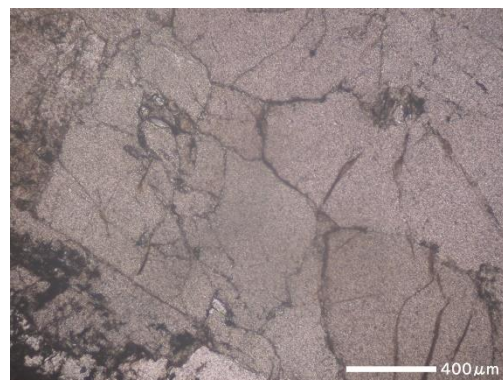


図 6 グラインダーで切削

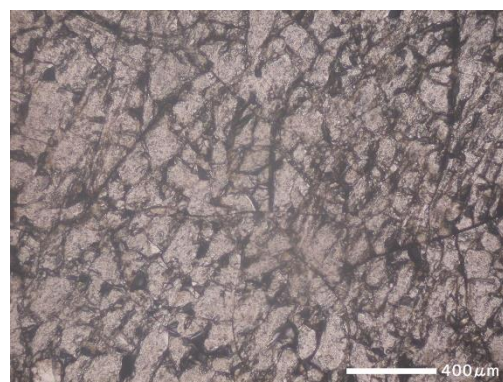


図 7 薄片作製装置で切削

二つ目の問題点はホルダの保持力不足である。本装置は、前項で述べた通りホルダに薄片をセットして切削を行っていくが、その薄片の固定方法は付属のロータリーポンプによる真空吸着と、ホルダ自体に備わっているガイ

ドでの抑えによるものである。しかしこれだけでは前述した摩擦が保持力を上回ってしまい、切削中に薄片がホルダから外れる事態が頻発していた。この問題点に対処するために、ホルダの手前側に手製のガイドを新たに取り付けた。補強前のホルダを図 8 に、補強後のホルダを図 9 に示す。この補強によりカップ砥石の回転方向に対しての抑えが効き、切削中に薄片がホルダから外れる事が無くなった。



図 8 ホルダ補強前

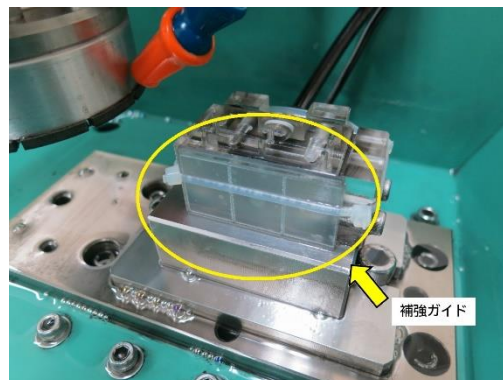


図 9 ホルダ補強後

#### 4. まとめ

学生自身で薄片を作製する場合に頻発していた失敗に対処すべく、薄片作製装置を導入した。本装置には摩擦による組織の破損、ホルダの保持力不足という二つの問題点があったが、それぞれ対処する事で実用的な運用が可能となった。ただし本装置での加工は、従来の作製法であるグラインダーを使った加工と比較して時間が掛かるため、自分自身(薄片技術者)が本装置を使う機会は少ないと思うが、学生など不慣れな者が使うものとしては作製に失敗する可能性が少ないので良いと思われる。今後も学生自身でより良い薄片を作れるような環境整備に努めたい。



# 能登半島臨時地震観測点設置作業の紹介

地震・噴火予知研究観測センター

○木村 洲徳・平原 聡

## 1. はじめに

石川県能登半島北東部付近にある珠洲市周辺域(図 1)では、2018 年頃から地震数が増加している。2022 年 3 月から 4 月にかけて有感地震数が一層増加し、2022 年 6 月 19 日に最大震度 6 弱となるマグニチュード(以下 M とする)5.4 の地震が発生し、2022 年 6 月 20 日には最大震度 5 強となる M5.0 の地震が発生した。図 2 は能登半島北東部の震央分布図である。2022 年 6 月の震度1以上の地震は 45 回発生しており、北東部とその周辺で非常に地震活動が活発となっている。<sup>[1]</sup>

このような地震活動の活発化を受けて、地震の震源分布をより高精度に把握することによって、地震の発生機構を明らかにすることを目的として東京大学や金沢大学などと協力して、震源域付近で臨時地震観測を行うこととなった。

本稿では、石川県珠洲市で 2022 年 7 月より行った臨時地震観測点設置作業について紹介する。



図 1 石川県能登半島北東部

(Google Map より作成)

📍 : 気象庁・防災科学技術研究所既存観測点

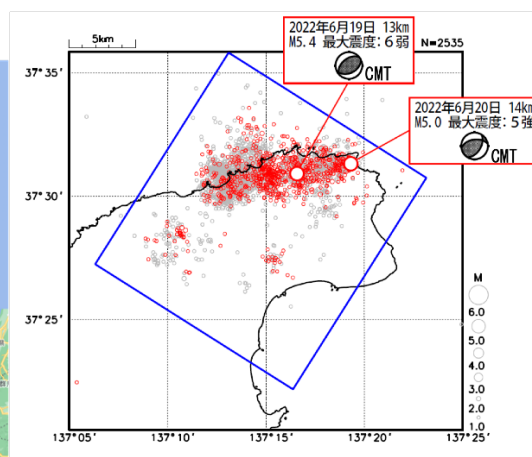


図 2 震央分布図 (地震本部 web より引用)

2022 年 4 月 1 日～7 月 6 日の間に発生した地震(深さ:0-25km,  $M \geq 1.0$ )を丸でプロット

## 2. 臨時地震観測点設置場所の選定

### (ア) 現地調査

2022 年 7 月 4 日から 7 月 8 日までの計 5 日間、石川県珠洲市にて臨時地震観測点設置場所の選定と設置作業を実施した。現地に向かう前に、Google Map を用いて設置場所の候補地 4 箇所を机上で検討した。

現地では臨時地震観測点設置場所を選定するにあたり、以下のことを考慮した。

1. 静かである場所(人工的な機械等による振動を受けない場所)  
理由:近くに工場や車道などがあると、ノイズが増加してしまう原因になるため。
2. 日当たりがよい場所  
理由:観測機器の電源として、ソーラーパネルを用いた太陽光発電を行うため。
3. 携帯電話によるデータ通信が可能な場所  
理由:モバイル回線を用いて観測点から大学にデータを送信するため。

#### 4. 公共施設であること

理由:私有地・共有地と比較して、地権者が明確であり、観測に長期間協力してもらうことが可能である。そのため、公共施設に観測点を設置することに決定した。

#### 5. 近くから AC 電源が供給できる場所

理由:冬は積雪のためソーラーパネル発電が望めない。通年で観測を行うために電気工事を行なって引込柱を設置するか、近くの建物等から AC 電源を供給して観測する必要があるため。

これらの条件を考慮した結果、適地である 2 箇所にて東北大学の臨時地震観測点を設置することにした(図 3)。1 箇所目が珠洲市西部の旧上黒丸小学校である。この小学校はすでに閉校しており、年に 1 度芸術祭の会場として使用されている。小学校の中庭を地震計の設置場所を選定した。2 箇所目は珠洲市北部の高屋集会所である。集会所の敷地内を地震計の設置場所を選定した。どちらの観測点も、人工的な振動源によるノイズの影響は少なく、また、AC 電源の利用も可能な場所である。図 4 は臨時地震観測点の位置図である。臨時地震観測点は約 10km 間隔で選定している。これまで珠洲市内の地震観測点は気象庁・防災科学技術研究所のみであったが、より詳細な調査をするため他大学とも協力して観測網を補完した。



図 3 臨時地震観測点設置場所

丸枠で囲っている場所に観測機材を設置した。



図 4 臨時地震観測点の位置図(Google Map より作成)

- :気象庁・防災科学技術研究所既存観測点
- ◆:東北大学臨時地震観測点  
TU.KK2S:旧上黒丸小学校  
TU.TK2S:高屋集会所
- ▼:東京大学地震研究所臨時地震観測点
- ✕:震災

#### (イ) 観測機器

図 5 は 1 箇所の観測点で使用した観測機器を示している。ソーラーパネル(100W)2 台、地震計(L-22D-3D)1 台、モバイルルーター(サン電子 Rooster RX210)1 台、データロガー(計測技研 HKS-9700)1 台及び信号入力端子台 1 個、チャージコントローラー(電菱 SunSaver SS-10L)2 台、鉛蓄電池(バッテリー)(12V 105Ah)4 台を用いた。ソーラーパネルと地震計以外の機器はプラスチックボックス内に設置した(図 7)。また、地震計は汚れ防止のために透明な袋に入れて土の中に埋設した(図 6)。

図 5 に示しているように、今回の臨時地震観測点ではソーラーパネルを用いた観測を行った。今回は 2 箇所とも、地震計の設置場所の近くに、引込柱を設置可能な場所が無かったため、冬以降は電気を借りて観測を行う必要があった。しかし、電気契約を行うためには、時間がかかってしまう。2022 年 6 月 19 日の本震発生からすでに 2 週間以上が経過していたため、余震活動あるいは群発地震活動を捉えるために、観測開始を急ぐ必要があった。また、オンラインシステムは、データ伝送を行うために、オフラインシステムに比べて消費電力が高いデメリットがあり、そのためにソーラーパネルを利用した。



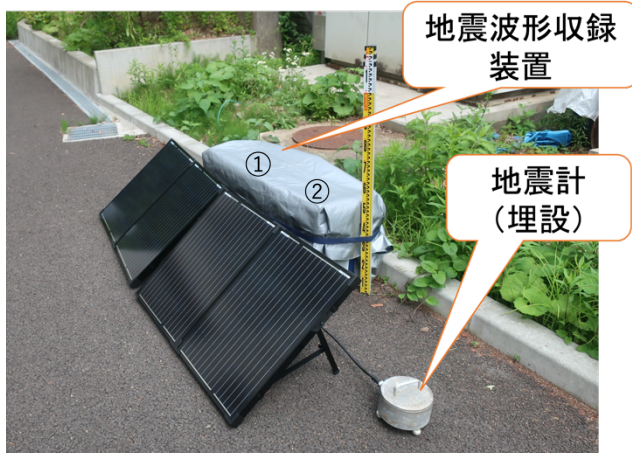


図5 臨時地震観測点外観

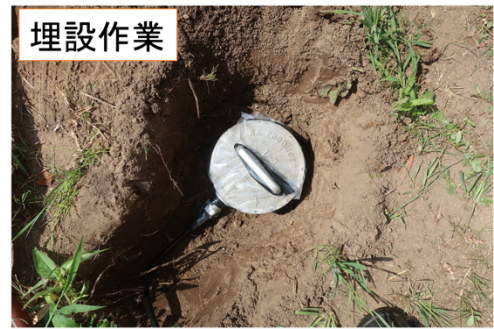


図6 地震計埋設状況

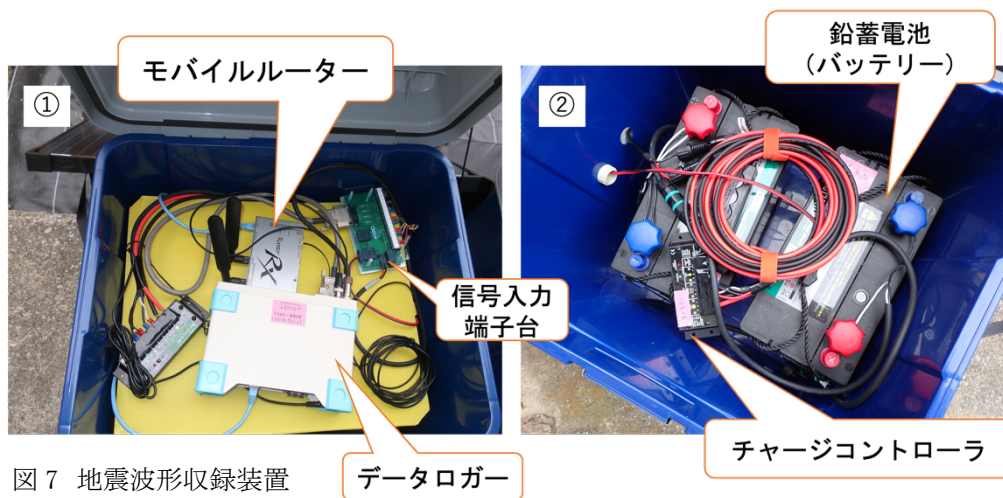


図7 地震波形収録装置  
(図5の①と②を示す)

(ウ) オンライン臨時地震観測システム  
 これまでオフライン臨時地震観測システム(図8)は、多数の観測点を高密度に配置するために用いていた。オフラインシステムでは、データロガーで地震計のデータの現地収録を行う。そのため、以下の短所があった。

- ・現地まで行かないとデータを回収することができず、リアルタイムでデータの確認ができない。
- ・観測点が遠隔地にあると、移動に時間を要するため頻繁に保守に行くことができない。

今回の観測ではこれらの短所を補完するために、オフラインシステムに加えてオンラインシステムを構築した。

今回設置したオンライン臨時地震観測システム(図9)について紹介する。図9は図5をシステム構成図として表したものである。ソーラーパネルで太陽光発電を行い、チャージコントローラーでは、ソーラーパネル発電によって得られた電力でバッテリーへの充放電を

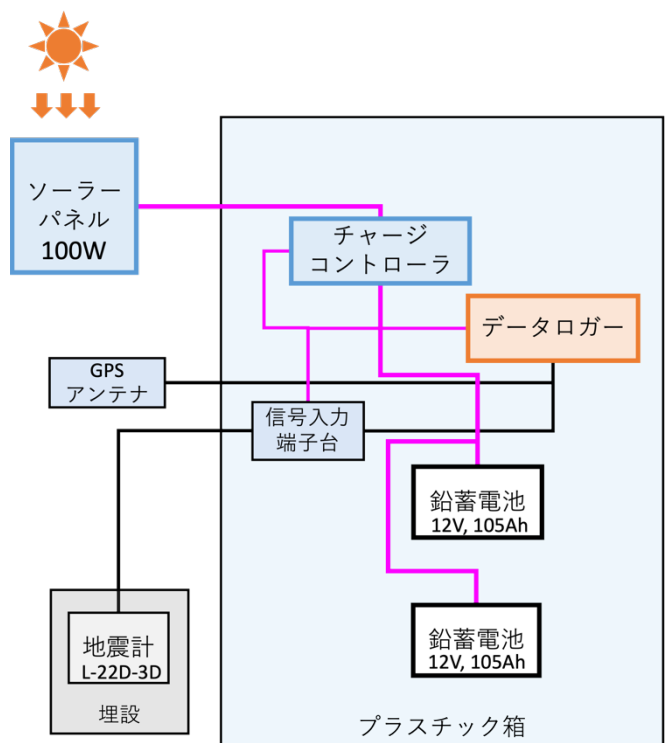


図8 オフライン臨時地震観測システム構成図

制御しつつ、モバイルルーターとデータロガーに電力を供給している。地震計でとらえた振動は電気信号として出力され、それをデータロガーでデジタルデータに変換して収録し、モバイル回線を通じて大学まで常時データを送信している。オフラインシステムのみの場合、現地に行かないとデータを回収できなかったが、このようなオンラインシステムも構築したことで、現地に行かなくてもリアルタイムでデータを取得でき、保守作業の負担の軽減につながった。

機器の不調等で大学へのデータ送信(オンライン側)が止まってしまっても、現地のデータロガーにはオフラインでデータが収録され続け、データの欠損を防ぐことが可能である。そのため、今回はオフラインとオンラインに分けて設置を行なった。

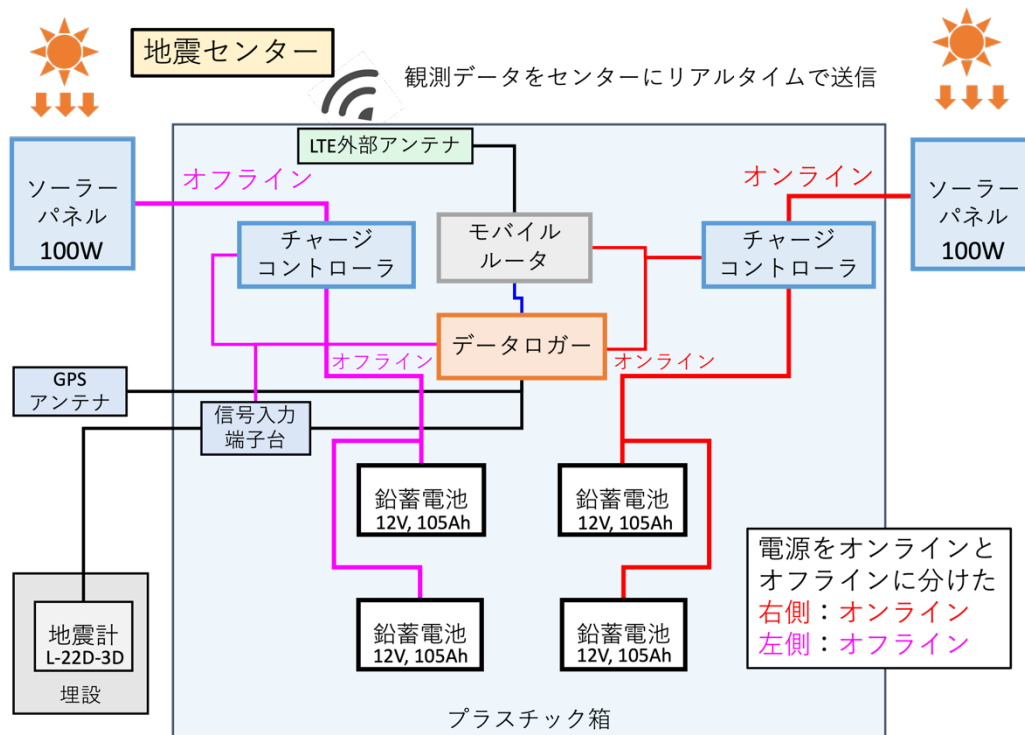


図9 オンライン臨時地震観測システム構成図

(エ) 臨時地震観測点設置状況

旧上黒丸小学校と高屋集会所で臨時地震観測点の設置作業を3~4名で行った。図10に示しているのが臨時地震観測点設置後の状況である。丸枠部分に地震計を埋設している。今後の保守作業時に、地震計の埋設位置が分かるように目印として杭を打った。観測機器を入れているボックスは日除け防止やいたずら防止のため、断熱効果のあるシルバーシートで覆い、ベルトで固定した。ボックス内への虫の侵入を防ぐため、ケーブルを通す穴は粘土で塞いでいる。ソーラーパネル下には雑草対策のため、防草シートを設置した。



図10 オンライン臨時地震観測点設置状況

### 地震波形データ (24時間表示) 2023/5/5 00:00-23:59 U成分

#### 3. 観測によって得られた地震波形データ

2023年5月5日14時42分に石川県能登半島沖を震源とする最大震度6強であるM6.5の地震が発生した。図11は、2023年5月5日1日間の旧上黒丸小学校観測点で記録された地震波形データである。14:42にこの地震による大きい揺れが記録されており、それ以降にこの地震の余震と思われる地震が多数発生しているのが分かる。今回オンライン臨時地震観測網を構築したことにより、このような規模の大きい地震波形データを捉えることができた。

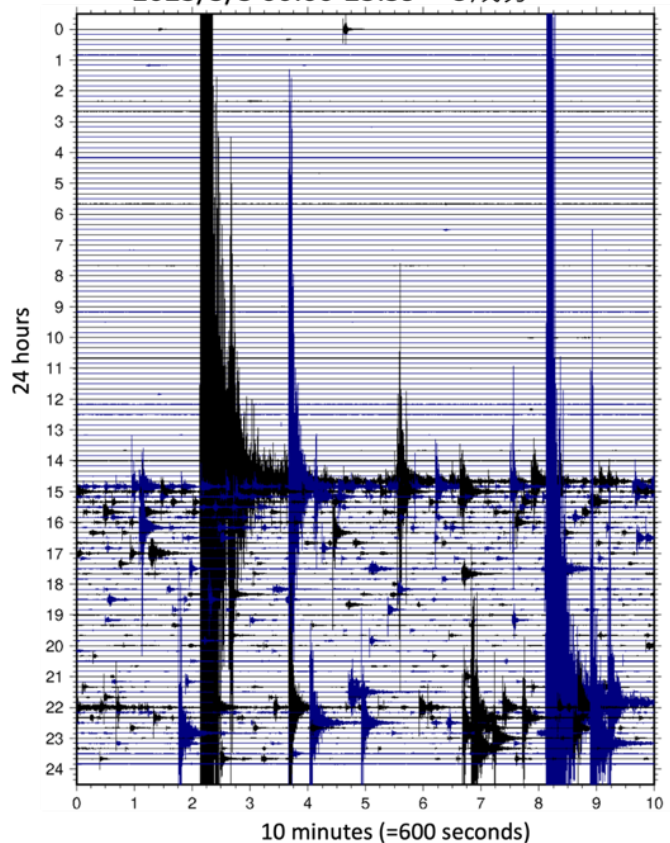


図11 2023年5月5日の地震波形データ▶  
(旧上黒丸小学校観測点)

#### 4. まとめ

近年石川県能登地方で活発化する地震活動をより詳しく調査するため、2022年7月4日～8日までの計5日間石川県珠洲市で臨時地震観測点設置作業を実施した。東北大学は旧上黒丸小学校と高屋集会所に臨時地震観測点を設置し、他大学とも協力して長期観測が可能なオンライン臨時地震観測網を構築することができた。観測点設置後には、2023年5月5日に発生した石川県能登半島沖を震源とするM6.5の地震が発生するなど、今回設置した観測網で多くの地震を捉えている。

2022年に入職してから初めて臨時地震観測点の設置業務に携わった。地震発生から観測点設置までに機材の準備や市役所とのやり取り等、設置までに多くの人に協力していただき1つの観測点が完成することを学んだ。今後は観測機器個々の役割をより理解し、適切な観測網を構築できるように自身の知識や技術を向上させていきたい。

#### 5. 謝辞

能登半島群発地震の臨時地震観測の実施にあたり、地震観測にご協力をいただきました、珠洲市役所の皆様、高屋地区町内会の皆様に、心より感謝申し上げます。

また、地震・噴火予知研究観測センターの岡田知巳准教授、内田直希准教授、高木涼太助教、吉田圭佑助教、事務室の鈴木芳男さん、博士課程後期1年の織茂雅希さんには、観測点設置の際に、ご支援をいただきました。皆様に心より感謝申し上げます。

#### 参考文献

[1] 石川県能登地方の地震の評価(令和4年7月11日公表)

[https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2022/2022\\_ishikawa\\_1.pdf](https://www.static.jishin.go.jp/resource/monthly/2022/2022_ishikawa_1.pdf)



# 古い Mac の修理(電源編)

生物学科  
東海林 和康

## 1. はじめに

先日、先生の古い Mac を修理する機会がありました。今回、その修理の過程について報告します。修理を行った Mac は、2002 年に発売された「Power Mac G4(Quicksilver)」です。電源ボタンを押しても起動せず、電源ユニットの交換が必要でしたが、年代的に純正部品の入手は難しく、汎用の電源ユニットを用いて修理を行うことにしました。

## 2. 故障箇所の推定

電源ボタンを押したときの挙動や起動音の有無などから、OS の起動に至っていないため、ファイルの破損などによるソフトウェア的なトラブルではなく、ハードウェア関係の故障であることが分かりました。さらに、エラーメッセージやビープの有無などから、CPU やメモリ関係の故障ではないこと、また、電源ユニットの排熱ファンが回っていないことから、電源ユニットが故障している可能性が高いと判断して修理を進めました。

## 3. 修理の流れ

### 3.1 故障箇所の特定

Mac の挙動からは電源ユニットの故障が疑われましたが、単に電源スイッチが故障しているだけの可能性もあります。そこで、電源ユニット単体で起動させることが出来るか否かを検証することにしました。はじめに、パソコンのマザーボードに接続されている電源ケーブル(メインケーブル)を外します。次に、そのピン・アサイン(各端子と電圧の対応)についてインターネット等を用いて情報を収集、確認し、「PS\_ON(パワーサプライ・オン)」端子と「GND(グラウンド)」端子を適当なケーブルで短絡させます。このとき、電源ユニットが故障していなければ、電源ユニットの排熱ファンが動くはずですが、今回は、排熱ファンが動きませんでしたので、Mac の故障の原因は、電源ユニットであると断定することができました。電源ユニットを単体で起動させている様子を図 1 に示します。



図 1 電源ユニットを単体で起動させている様子

### 3.2 データのバックアップ

電源ユニットの修理には時間がかかることが予想されましたので、取り急ぎ、必要なデータを他のパソコンに移動させる必要がありました。この Mac のハードディスクには、IDE タイプのコネクタが採用されておりましたので、「PATA-USB 変換アダプター」を用いてデータの移動を行うことにしました。なお、今回は、変換アダプターを接続するにあたり、パソコンの筐体やマザーボードへの物理的な干渉はありませんでしたので、ハードディスクをパソコン本体から取り外すことなく、(別途、データ移動用に準備したパソコンに対して、)一般的な外付け



図 2 変換アダプターを接続している様子

ハードディスクとして認識させることができました。Mac のハードディスクに、「PATA-USB 変換アダプター」を接続している様子を図 2 に示します。

### 3.3 電源の修理

今回の場合、電源ユニットの交換が必要でしたが、同一モデル (Mac はモデルごとに電源の色々な規格が異なる) の電源を入手するのは困難です。一方で、Windows パソコンなどに用いられる汎用の電源ユニット (ATX 電源) であれば容易に入手でき、また、規格も統一的ですが、電源ユニットの各端子と電圧の組み合わせ (ピン・アサイン) が Mac のそれとは異なるのがネックになります。そこで、Mac の電源ユニットのピン・アサインとなるよう、ATX 電源のケーブルを入れ替えて半田付けした電源を作成して、修理を行うことにしました。

図 3 に、この Mac と ATX 電源 (20pin) のピン・アサインについて示します。ピンの総数やピン・アサインに若干の違いはあるものの、用いられている電圧、及び、その物理的なレイアウトは共通するものが多いことが分かります。図 4 は、両者のピン・アサインを見比べて、Mac の電源のピン・アサインになるよう、ATX 電源の配線から、Mac のコネクタに向けての再配線のイメージを図示したものです。この図には含まれませんが、図 3 の右側に示される 4pin のコネクタについても、同様に再配線を行いました。ケーブルの半田付けが終了した電源ユニットについて図 5 に示します。

半田付けが終了した電源を Mac に戻し、無事に起動することを確認して、修理完了となりました。

ATX (汎用電源)																				電源コネクタ (4pin)	
メイン電源コネクタ (20pin)																		3pin	4pin		
11pin	12pin	13pin	14pin	15pin	16pin	17pin	18pin	19pin	20pin	3pin	4pin										
+3.3V	-12V	GND	PS_ON	GND	GND	GND	-5V	+5V	+5V	+12V	+12V										
1pin	2pin	3pin	4pin	5pin	6pin	7pin	8pin	9pin	10pin	1pin	2pin										
+3.3V	+3.3V	GND	+5V	GND	+5V	GND	PWR_OK	+5VSB	+12V	GND	GND										

Power Mac G4 (Quicksilver)																						電源コネクタ (4pin)	
メイン電源コネクタ (22pin)																				3pin	4pin		
12pin	13pin	14pin	15pin	16pin	17pin	18pin	19pin	20pin	21pin	22pin	3pin	4pin											
+3.3V	-12V	GND	PS_ON	GND	GND	GND	GND	+5V	+5V	不明	GND	GND											
1pin	2pin	3pin	4pin	5pin	6pin	7pin	8pin	9pin	10pin	11pin	1pin	2pin											
+3.3V	+3.3V	GND	+5V	GND	+5V	GND	+3.3V	不明	+12V	GND	+12V	+12V											

図 3 Mac と ATX 電源 (20pin) のピン・アサイン

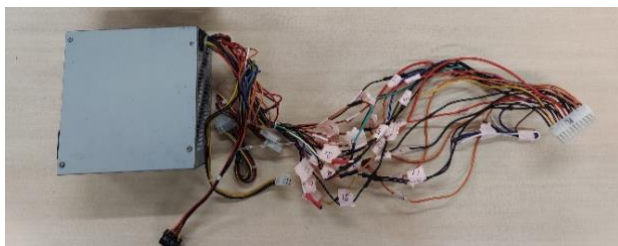


図 5 ケーブルの半田付けが終了した電源ユニット

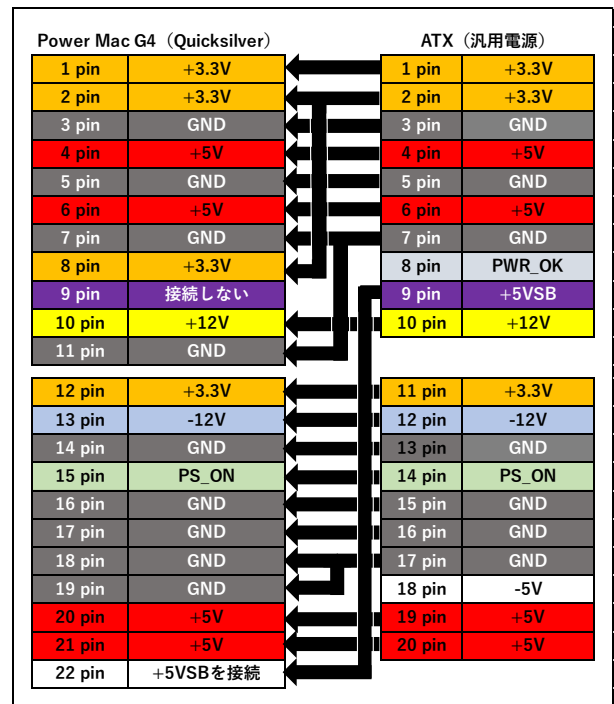


図 4 Mac のコネクタに向けての再配線のイメージ

## 4. 最後に

昨今のインターネット・セキュリティ事情を踏まえると、古いパソコンの活躍の場は非常に限られてきているものの、インターネットに接続しないことを前提とした旧式のパソコンも一定数、存在していると考えられます。もちろん、ハードウェアの耐久性が高いことは良いことですが、長く稼働している分、それが故障したときに与える影響 (例えば、交換部品が無いことによるシステムの総入れ替え等) も大きくなってしまいます。このとき、近くにいる技術職員が故障した箇所をピンポイントで修理することができれば、先生方にとって色々とお難いのではないのでしょうか。私は今回の修理を通じて、これまであまり意識したことなかったパソコンの電源ユニットについて詳しく知ることができました。本研究会を通じて、これらのノウハウを皆さんと共有できれば幸いです。





令和5年  
その他研究会等報告



# 自然科学研究機構・核融合科学研究所 技術交流研修 計測制御技術報告

物理学専攻  
芳賀 健也

## 1. はじめに

CFC スキル開発センターの技術研修である自然科学研究機構・核融合科学研究所での技術交流研修に参加した。<sup>[1]</sup> 令和4年度は、総合技術部 電子回路・測定・実験群の推薦にて、会田俊介(工学研究科)と芳賀健也の2名が派遣された。研修のテーマは「計算機を用いた計測制御技術」である。研修内容について報告する。

## 2. 研修の概要

### 2.1 概要

2023年2月20-22日の3日間、岐阜県土岐市に位置する核融合科学研究所で行った。研修では、「計算機を用いた計測制御技術」の実技研修と核融合科学研究所の施設見学を行った。実技研修の内容については、オンライン会議にて事前打ち合わせを行った。受講者側から習得したい具体的な技術について提案を行い、デバイスのリモート制御をテーマに実施することとした。

### 2.2 施設見学

核融合研究所の所有する、核融合炉を実現するための基礎研究を行う大型ヘリカル装置を中心に、施設の見学を行った。大型ヘリカル装置は高温高密度のプラズマを生成するための装置で、本体だけでも直径13mもある巨大な装置である。装置の設置してある大きな部屋自体が放射線管理区域であり、装置運用中は部屋に入ることができない。装置の制御のほか、真空ポンプやセンサー類など多くの機器がリモートで制御されており、100人以上が作業することができる制御室の大型ディスプレイでモニターできるようになっていた。

### 2.3 デバイスのリモート制御

Pythonによるシリアル通信を介した機器の制御について、実際にコードを作成しながら実施した。対象とした機器は、コンピュータとシリアルで接続したスイッチャー(映像入出力の切り替え機)である。グラフィカルユーザインターフェイスのデザインも行った。ここではQt(キョウト)を用いてユーザインターフェイスの作成を行なった。作業時間は1日半であったが、Pythonの導入に始まり、制御プログラムの作成、インターフェイスの作成、動作確認までの一通りの作業を実施することができた。

## 3. 研修で習得した技術の応用

マイクロインジェクター(FemtoJet, eppendorf)の遠隔制御に取り組んでいる。マイクロインジェクターは顕微鏡観察下で、試料に対して圧力を設定して水流を当てたり、溶液など微量に注入したりすることができる装置である。顕微鏡制御を行っているコンピュータ上から、マイクロインジェクターを遠隔操作できるようになることで、実験者の作業効率が改善されるだけでなく、データのログを確実に取ることができるようになる。Pythonを使用してコンピュータから装置を制御することでこれらを簡便化するとともに、測定の自動化へと繋げたいと考えている。

## 4. まとめ

核融合科学研究所技術交流研修に参加した。大型ヘリカル装置をはじめとして、核融合科学研究所の研究施設見学とデバイスのリモート制御の実技研修を受講した。実技研修では、コンピュータを用いた計測機器制御の基礎的な技術を習得し、実際にシリアル接続のスイッチャーをコンピュータ上のグラフィカルユーザインターフェイスを用いて遠隔制御することができた。今回の研修では、受講者が希望したテーマについて、少人数で研修を実施していただいたことで、技術への理解が進んだと感じた。習得した技術は、研究支援に応用し、実験の効率化へと活かしている。

[1] 令和5年度東北大学総合技術部技術職員研修 技術発表会 CFC 派遣型研修報告



令和5年  
発表・論文・受賞一覧





## 各種学会・研究会等での発表一覧

対象期間:2023年1月から2023年12月まで

### 阿部 道彰

- ○阿部 道彰・伊藤 嘉紀・川野部 裕之,「薄片作製装置の導入とその効果の考察」, 2023.12.5, 令和5年度東北大学理学研究科・理学部技術研究会, 東北大学理学研究科大講義室, 口頭発表

### 梅津 裕生

- 梅津 裕生,「放射線業務従事者に対する理学部再教育の改善の取り組み」, 2023.12.5, 令和5年度東北大学理学研究科・理学部技術研究会, 東北大学理学研究科大講義室, 口頭発表

### 佐藤 健

- ○佐藤 健・澤口 亜由美,「東北大学理学研究科・理学部技術部における安全衛生の取り組み」, 2023.9.13-15 令和5年度東北地区国立大学法人等技術職員研修発表会, 秋田大学, ポスター発表
- 佐藤 健,「学生実験(熱プローブリソグラフィ)の紹介」, 2023.12.5 令和5年度東北大学理学研究科・理学部技術研究会, 東北大学理学研究科大講義室, 口頭発表

### 澤田 修太

- 澤田 修太,「石英ガラス製フランジ付き容器の研削加工」, 2023.12.5 令和5年度東北大学理学研究科・理学部技術研究会, 東北大学理学研究科大講義室, 口頭発表

### 東海林 和康

- 東海林 和康,「古いMacの修理(電源編)」, 2023.12.5 令和5年度東北大学理学研究科・理学部技術研究会, 東北大学理学研究科大講義室, 口頭発表

### 鈴木 秀市

- 鈴木 秀市,「重錘型圧力天びんを用いたRBR社製海底水圧計の室内加圧実験および実海域試験による精度評価」, 2023.5.21-26, 日本地球惑星科学連合大会2023, 幕張メッセ, ポスター発表

### 高橋 健

- 高橋 健,「Current Status of the Control System at Research Center for Electron Photon Science, Tohoku University」, 2023.9.10-15 13th Workshop on Accelerator Operations, つくば国際会議場, ポスター発表
- 高橋 健,「加速器の真空リーク事故に発展したヒューマンエラーとその背景要因」, 2023.11.17 令和5年度東北大学総合技術部技術職員研修技術発表会, 電気通信研究所 ナノ・スピン総合研究棟4階カンファレンスルーム, ポスター発表

## 出町 知嗣

- ○出町 知嗣・海田 俊輝・鈴木 秀市・佐藤 真樹子・太田 雄策・三浦 哲,「東北大学におけるGNSS観測ナレッジベースの構築」, 2023.10.11-13  
日本測地学会第140回講演会, 仙台市福祉プラザ, ポスター発表

## 長澤 育郎

- 長澤 育郎,「Current Status of the Control System at Research Center for Electron Photon Science, Tohoku University」, 2023.9.10-15  
13th Workshop on Accelerator Operations, つくば国際会議場, ポスター発表
- 長澤 育郎,「電子光物理学研究センター加速器制御系の現状と課題」, 2023.11.17  
令和5年度東北大学総合技術部技術職員研修技術発表会, 電気通信研究所 ナノ・スピンの総合研究棟4階カンファレンスルーム, ポスター発表

## 南部 健一

- 南部 健一,「東北大学電子光物理学研究センターにおける入退室管理システムと放射線安全インターロックシステムの更新について」, 2023.8.29-9.1  
第20回日本加速器学会年会, 日本大学理工学部船橋キャンパス, ポスター発表
- ○南部 健一・長澤 育郎・高橋 健・柴田 晃太郎・菅原 由美,「東北大学電子光物理学研究センターにおける放射線安全管理に対する貢献」, 2023.12.5  
令和5年度東北大学理学研究科・理学部技術研究会, 東北大学理学研究科大講義室, 口頭発表
- ○南部 健一・長澤 育郎・高橋 健・柴田 晃太郎,「東北大学電子光物理学研究センターにおける受変電設備の年次点検について」, 2023.12.5  
令和5年度東北大学理学研究科・理学部技術研究会, 東北大学理学研究科大講義室, 口頭発表

## 芳賀 健也

- 芳賀 健也,「英語研修受講報告(ClassB)」, 2023.10.24  
2023年度東北大学英語研修・国際関係業務長期派遣研修報告会, オンライン, オンライン発表
- 会田 俊介・芳賀 健也,「技術交流研修報告計測制御」, 2023.11.17  
令和5年度東北大学総合技術部技術職員研修技術発表会, 電気通信研究所 ナノ・スピンの総合研究棟(E04)4階カンファレンスルーム, 口頭発表

## 各種学術雑誌・報告書などに掲載された論文等一覧

対象期間:2023年1月から2023年12月まで

### 梅津 裕生

- K. Miki, Y. Utsuki, M. Hara, Y. Hatano, N. Imai, M. Inoue, M. Itoh, K. Kameya, S. Kitayama, Y. Maruta, Y. Matsuda, Y. Saito, D. Sakai, T. Uesaka, H. Umetsu, R. Urayama, J. Wang, K. Kamada, Y. Shoji, A. Yoshikawa, 「Development and fabrication of a thick Ti-3H target for the  $3\text{H}(t,3\text{He})3n$  experiment at intermediate energies」,  
Nucl. Instrum. Meth. A, Volume 1056, 168583, 2023

### 鈴木 貴士

- K. Ichimura・H. Ikeda・Y. Kishimoto・M. Kurasawa・A.A. Suzuki・Y. Gando・M. Ikeda・K. Hosokawa・H. Sekiya・H. Ito・A. Minamino・S. Suzuki, 「Development of a low-background HPGe detector at Kamioka Observatory」,  
Prog. Theor. Exp. Phys. 2023 123H01(11 pages)

### 南部 健一

- 南部 健一 他, 「東北大学電子光理学研究センターにおける入退室管理システムと放射線安全インターロックシステムの更新について」,  
Proc. 20th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan (PASJ2023), pp. 790-792, 2023

## 各種機関・団体からの表彰・受賞一覧

対象期間:2023 年 1 月 から 2023 年 12 月まで

### 梅津 裕生

- 梅津裕生,「令和 4 年度総長業務功績賞」, 加速器原子核物理学実験に用いる特殊装置の設計・製作支援, 東北大学片平さくらホール, 2023.3.14

### 南部 健一

- 南部 健一・長澤 育郎・高橋 健・柴田 晃太郎・菅原 由美,「令和 5 年度理学研究科技術賞」, 東北大学電子光理学研究センターにおける放射線安全管理に対する貢献」, 東北大学理学研究科大講義室, 2023.12.5

### 平原 聡

- 平原 聡,「令和 4 年度地震火山災害予防賞」, 地震観測・データ伝送・流通・表示システムの開発・運用ならびにそれらに基づく地震火山災害軽減への貢献, 東京大学地震研究所職員研修会, 2023.2.3



## 編集後記

令和5年度の技術部報告をお届けいたします。本報告は、東北大学大学院理学研究科・理学部の令和5年1月から12月までの一年間の技術職員の活動をまとめています。

窓から入る暖かい日差しに春の兆しを感じる頃となりました。今年度は、ようやく「コロナ禍」の制約から脱して通常に近い生活が戻った一年になりましたが、技術職員の方々には教育・研究活動に対して変わらぬご支援を頂き、心より感謝申し上げます。今年度から技術部運営協議会の協議委員長に都築理学研究科長が着任され、新しい体制のもと技術部運営に継続的なご支援を頂いております。

本技術部報告も例年通りの構成となっており、巻頭言では、都築研究科長からの技術職員の方々へ日頃の支援に対する感謝が述べられています。続いて、優れた活動を称える技術賞の受賞並びに技術関連発表を取りまとめた「技術研究会報告」が紹介されています。今年の技術研究会は、12月5日に理学研究科大講義室にて、完全対面で開催されました。「技術賞」は、放射線管理区域の安全管理に関して大きな貢献をされた電子光理学研究センターのグループに授与されました。「特別講演」では、生命科学研究科の田村宏治先生の鳥類恐竜起源説のお話を頂きました。定説に疑問を持ちそれを覆す発見をしたプロセスの話は非常に感銘深く、理学の研究の真髄を見せられた気がしました。「技術関連発表」は例年より多く7件ありました。これらに加えて、「発表・論文・受賞一覧」等がまとめられております。物理学専攻の梅津さんが、令和4年度の東北大学総長業務功績賞(技術部門)を授与されています。この場を借りてお祝い申し上げます(例年、総長賞が決定する前に編集後記を書くので紹介が遅れてしまいます)。是非、お目通し頂きたくお願い申し上げます。なお、冊子体は関連する部署への配布に留め、その他の方は技術部ホームページからPDF版を閲覧できる体制に変更となっております。

最後になりますが、ご多忙の中、この技術部報告に執筆くださった皆様、そして編集を担当してくださった佐藤さん、阿部さんをはじめとする技術部研修小委員会の方々に、深く感謝申し上げます。

令和6年3月 技術部報告編集委員会委員長 橋本 久子

### 令和5年度 技術部報告 Vol. 36 2024年3月発行

技術部報告編集委員会

技術部運営協議会副協議員長/教授

橋本 久子

統括技術長

根本 潤

副統括技術長

齋藤 誠

技術長

伊藤 嘉紀

技術長

小野寺 知美

技術長

佐藤 健

技術長

扇 充

総務課人事係長

丹治 真智子

編集担当 技術部研修小委員会

佐藤 健、阿部 道彰、根本 憲一、阿部 隆行、澤田 修太、藤井 登、

高橋 直生、柴田 晃太郎、山田 達也、出町 智嗣、佐藤 慎也、川崎 智之

発行元 東北大学大学院理学研究科・理学部

連絡先 〒980-8578 仙台市青葉区荒巻字青葉6番3号

技術部総務運営委員会研修小委員会

佐藤 健

TEL 022-795-3103/E-mail ken.sato.e6@tohoku.ac.jp

技術部ホームページ <http://www3.tech.sci.tohoku.ac.jp/HP/>

技術部ホームページにて、PDF版を公開しております。こちらからご覧ください。



技術部では、技術部レターも発行しております。WEB版の閲覧はこちらからどうぞ。

