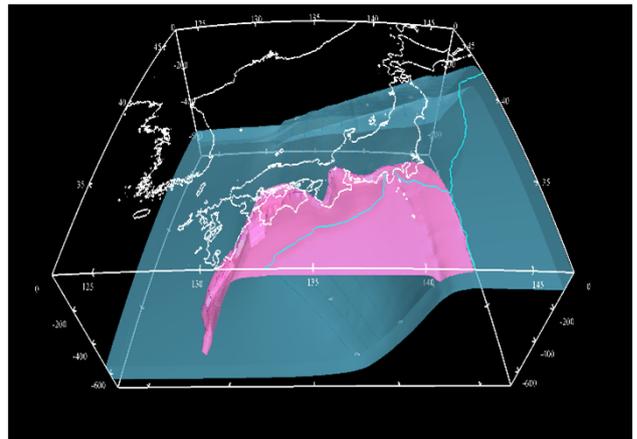
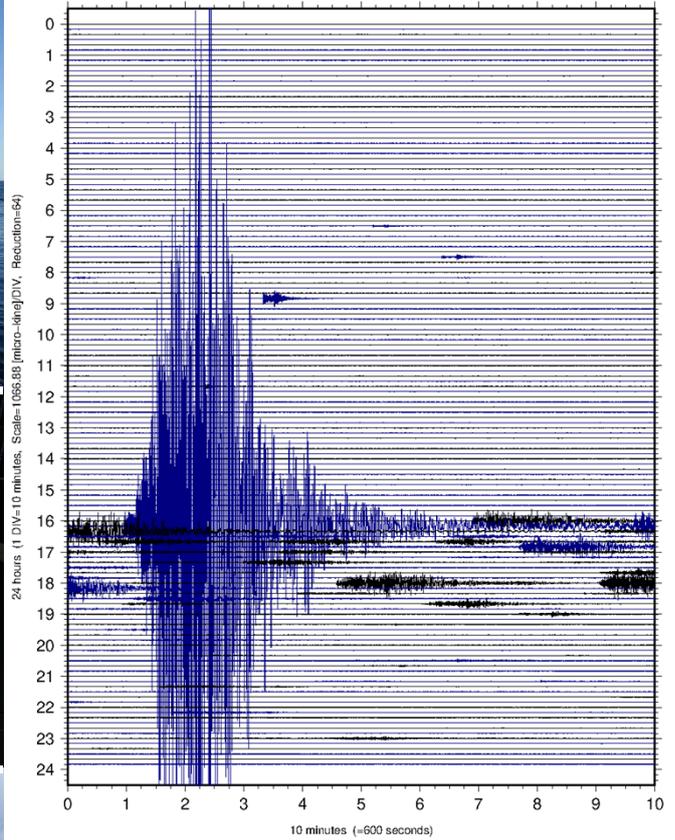


令和6年度 技術部報告



Vol. 37 Mar. 2025

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附属地震・噴火予知研究観測センター

地震・噴火予知研究観測センター(以下、当センター)の位置する東北日本は、大陸プレート下に海洋が沈み込む「沈み込み帯」に位置しており、地震および火山活動が活発です。そのために、時折発生する大地震や火山噴火による災害を繰り返し被ってきました。当センターではこれらの地震および火山活動がどのような仕組みで発生しているのか明らかにするために、陸海域において地震や地殻変動、また電磁気観測を実施して各種データを取得し研究に用いています。当センターの技術職員は、観測データ取得の最前線において日夜観測装置の操作・設置・回収・維持管理等々の業務を行うのみならず、データ伝送のための通信網構築・維持管理、取得データ蓄積等のためのサーバ管理、観測データ解析、研究結果を分かりやすく可視化するなど、研究者の下支えとなる多くの教育研究支援業務を精力的に行っています。

写真の解説:

左上:ROV (Remotely Operated Vehicle)による海底観測装置の回収風景

左中:地下の観測壕(トンネル)内に短周期地震計を設置している作業風景

左下:地殻変動観測のためのGNSS観測装置保守作業

右上:青葉山観測点のボアホール地震計(上下動成分)の2024年1月1日の連続波形

10分間の波形を下方へずらしながら1日(24時間)分を連続して表示している

縦軸の目盛りは1時間間隔、横軸の目盛りの間隔10分間

16:10に発生した2024年能登半島地震による揺れが記録されている

右下:日本列島下に沈み込む太平洋プレートとフィリピン海プレートの三次元形状

巻頭言

理学研究科長・理学部長
都築 暢夫

数学においても「技術」という言葉をよく使います。大きな理論の枠組みはあるがその詳細を解析するためには、例えば、多数の場合分けや膨大かつ繊細な計算が必要なとき、「技術的に難しい」と言います。符号を一つ間違えるだけで意味のない考察になるので、この技術の部分は非常に重要です。数学の定理や証明は整然とまとめられ淡々と述べられているので、どこが本質的なかを見つけるのは「技術的」な部分まで細かく検討しないと理解できないことが多いです。直接表に顯れないが研究の本質を支える「技術」を、エキスパートが研究や教育の中で実践して伝えていくことが重要で、これはどの分野にも共通することと思います。

2024年12月10日に開催されました「理学研究科・理学部技術研究会」では、物理学専攻の芳賀健也氏が「機械学習による物体検出技術を導入した顕微鏡画像データ解析の自動化」において、巨大分子解析研究センターの吉田慎一郎氏と佐藤和美氏が「巨大分子解析研究センターにおける地震対策、安全管理、依頼分析を通じた教育と研究支援」において「理学研究科技術賞」を受賞されました。機械学習やAIの活用は科学技術の進展に欠くことができないものとなってきており、実際、昨年のノーベル物理学賞や化学賞においてはその実用化に向けた研究が受賞しました。芳賀健也氏は、顕微鏡画像解析に機械学習を利用した物体検出の技術を導入し、一連の解析過程の自動化を行い、その結果として解析時間の短縮と解析精度の向上を実現しました。様々な研究に応用可能であり、今後の展開が期待されます。東日本大震災以降も仙台では大きな地震が続いています。自然災害による実験機器の被害を小さくして、研究を安全に継続できるようにすることは非常に重要なことです。吉田慎一郎氏と佐藤和美氏による巨大分子解析研究センターにおける地震対策・安全対策の強化の取り組みはこれまでにないものであり、学内外の研究者や学生の研究の進展を支えるものとなります。今回受賞した取り組みだけでなく、理学研究科・理学部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研究・教育や安全管理を支援していることを勉強させて頂きました。技術部の皆様の様々な取り組みへのご尽力に心から感謝いたします。

本学は「国際卓越研究大学」の認定・認可されました。国際卓越研究大学として更なる研究力強化を図るため、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、技術部を含む研究・教育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しております。

目次

巻頭言

理学研究科長

都築 暢夫

1. 令和6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】

「機械学習による物体検出技術を導入した顕微鏡画像データ解析の自動化」.....	11
物理学専攻	芳賀 健也
「巨大分子解析研究センターにおける地震対策、安全管理、依頼分析を通じた教育と研究支援」.....	14
巨大分子解析研究センター	○吉田 慎一郎 佐藤 和美

【特別講演】

「実験室で、地震を見る・診る・mill?」.....	17
地学専攻	武藤 潤

【技術関連発表】

「銅のTIG溶接が難しい理由 —実践から学んだこと—」.....	19
機器開発・研修室	小野寺 知美
「神岡実験施設での取り組み」.....	23
ニュートリノ科学研究センター	山田 達也
「GNSS・地殻変動連続観測ナレッジベースの構築」.....	28
地震・噴火予知研究観測センター	○出町 知嗣 海田 俊輝 鈴木 秀市 佐藤 真樹子 太田 雄策 三浦 哲
「月面天文台 1-50MHz 帯の電波観測システムの紹介」.....	33
惑星プラズマ・大気研究センター	佐藤 慎也
「理学研究科で一番高く複雑な建物における火災訓練」.....	37
安全衛生管理室	澤口 亜由美

2. 令和6年 発表・論文・受賞一覧	39
各種学会・研究会等での発表一覧	41
各種学術雑誌・報告書などに掲載された論文等一覧	43
各種機関・団体からの表彰・受賞一覧	44

編集後記

技術部報告編集委員会委員長

橋本 久子

令和 6 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6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。本技術研究会では、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6年12月10日(火) 9:40 - 15:40

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

9:40 受 付

10:00 開 会

挨拶 理学研究科 研究科長 都築 暢夫

【理学研究科技術賞表彰】

10:05 講 評 技術賞選考委員会委員長 橋本 久子

表 彰 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 1】

10:20 「機械学習による物体検出技術を導入した顕微鏡画像データ解析の自動化」

物理学専攻 芳賀 健也

10:50 休 憩

【特別講演】

11:00 「実験室で、地震を見る・診る・mill？」

地学専攻 教授 武藤 潤

12:00 昼食・休憩

【理学研究科技術賞受賞者講演 2】

13:00 「巨大分子解析研究センターにおける地震対策、安全管理、依頼分析を通じた教育と研究支援」

巨大分子解析研究センター ○吉田 慎一郎、佐藤 和美

【技術関連発表】

- 13:30 1. 「銅のTIG溶接が難しい理由 ―実践から学んだこと―」
機器開発・研修室 小野寺 知美
- 13:50 2. 「神岡実験施設での取り組み」
ニュートリノ科学研究センター 山田 達也
- 14:10 休 憩
- 14:20 3. 「GNSS・地殻変動連続観測ナレッジベースの構築」
地震・噴火予知研究観測センター
○出町 知嗣、海田 俊輝、鈴木 秀市、佐藤 真樹子、太田 雄策、三浦 哲
- 14:40 4. 「月面天文台 1-50MHz 帯の電波観測システムの紹介」
惑星プラズマ・大気研究センター 佐藤 慎也
- 15:00 5. 「理学研究科で一番高く複雑な建物における火災訓練」
安全衛生管理室 澤口 亜由美

【理学研究科技術部報告】

- 15:20 今年度の活動報告と今後の予定
統括技術長 根本 潤
- 15:35 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、芳賀健也さん、吉田慎一郎さん、佐藤和美さん、都築暢夫研究科長



芳賀健也さんによる技術賞受賞者講演



吉田慎一郎さんによる技術賞受賞者講演



地学専攻 武藤潤教授による特別講演

技術研究会の様子(2)



小野寺知美さんによる発表



山田達也さんによる発表



出町知嗣さんによる発表



佐藤慎也さんによる発表



澤口亜由美さんによる発表



根本潤統括技術長による活動報告

機械学習による物体検出技術を導入した顕微鏡画像データ解析の自動化

物理学専攻
芳賀 健也

1. はじめに

2024 年のノーベル賞の受賞対象が機械学習そのものの研究や、人工知能を導入した研究であったことからわかるように、基礎研究への人工知能の導入は今後の研究の鍵を握る時代がやってきている。その中で技術職員としても人工知能を利用した研究支援業務は重要になってくると考えている。今回はソフトマター物理学の研究対象の一つである、モデル生体膜の膜粘度測定実験において、顕微鏡画像解析に機械学習を適応した例を報告する。細胞膜上では膜の流動を用いてタンパク質の輸送や細胞分裂のための構成分子の偏在が行われている。そのため、膜の粘度は生命機構の解明に重要なパラメータである。佐久間らはモデル生体膜上に渦流動を誘起させ、トレーサーの動きから渦流動を可視化し、モデル関数を用いて膜粘度を求める手法を開発した^[1]。この手法に顕微鏡画像解析に機械学習を利用した物体検出の技術を導入し、一連の解析過程の自動化を行った。その結果、解析時間の短縮と解析精度の向上を実現することができた。

2. 膜粘度測定実験・解析の手法

ここで膜粘度の測定実験・解析の手順について説明する。図 1 は、トレーサーを形成したモデル生体膜の顕微鏡画像である。モデル生体膜は脂質分子からなる球状の膜である。膜表面上の白く明るい領域は、脂質分子の異なる領域である。ここでは、この領域をトレーサーと呼ぶ。図 2 はモデル生体膜の膜粘度測定実験の模式図である。膜粘度測定の実験と解析は次の手順で行う。(i) トレーサーを形成したモデル生体膜をホールディングピペットで保持する。(ii) インジェクションピペットを用いて水流を当て、膜表面に渦流動を誘起する。(iii) トレーサーの動きを顕微鏡のカメラで記録する。(iv) 顕微鏡画像中のトレーサーの動きを解析し、渦流動の中心位置を決定する。(v) 渦流動の中心位置と粘度の関係を表すモデル関数から膜粘度を算出する。

この手法では、顕微鏡画像の解析から渦流動の中心位置を正確に求めることが重要である。顕微鏡で撮影した動画からトレーサーを追跡し渦流動を可視化する。手動で解析を行う場合は図 3 に示すように、動画の 1 フレームごとに目視でトレーサーを認識して、1 点 1 点座標の記録を行っていた。そのために、トレーサーの重心位置の座標の特定には、解析者間のばらつきが生じること、解析に時間かかってしまうことが問題であった。

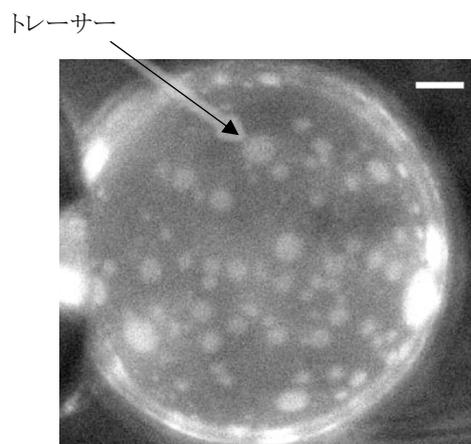


図 1 脂質分子から成るモデル生体膜の顕微鏡画像。膜表面上の白く明るい領域は脂質分子の種類が異なる領域である。ここではトレーサーと呼ぶ。

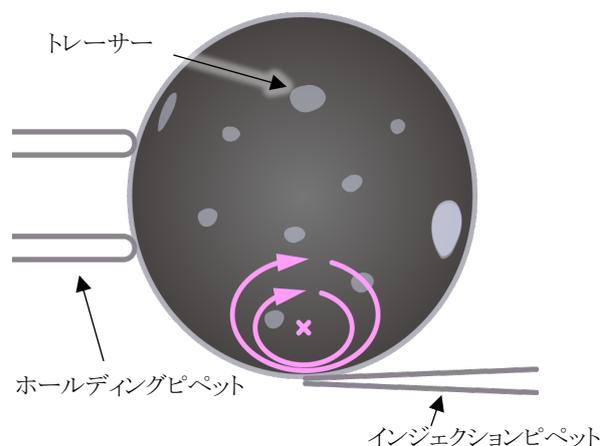


図 2 モデル生体膜の粘度測定実験の模式図。インジェクションピペットから水流をあて、力を加えることで膜表面に渦流動を誘起する。

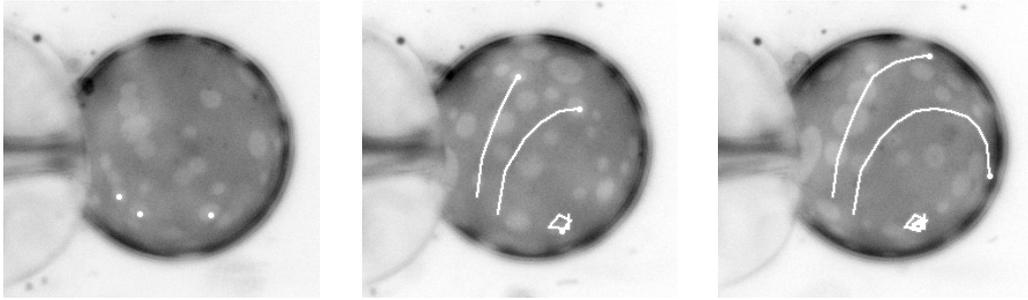


図3 手動でトレーサーの軌跡を可視化する工程。追跡するトレーサーを決定し、1フレームずつ動画を進めながら、座標を記録していく。トレーサーの重心位置の決定は、解析者の主観による。また、解析時間を短縮するために、動画のフレーム数を間引くこともあり、軌跡が滑らかではなくなっている。

3. 機械学習を用いた解析の自動化

顕微鏡画像からのトレーサーの検出に機械学習による物体検出を導入することで画像解析の自動化を実現した。顕微鏡画像解析には、画像解析ソフトの IgameJ を使用している^[2]。

3.1 トレーサーの検出

トレーサーの検出には、顕微鏡画像中の細胞の検出のために開発されたモデル StarDist を適応した。図4は開発者が公開している StarDist の物体検出の一例である^[3]。画像中の白く明るい粒子を検出する際に、粒子の重心位置を検出し、そこから伸びる放射状のポリゴンを使って表す特徴がある。そのため、重なってしまっている粒子も別個の粒子として検出することができる。加えて、ユーザ自身が用意した教師データを用いて、自作の学習モデルを作成可能である。図5に、モデル生体膜の顕微鏡画像に対して、自作の学習済みモデルを使用したトレーサーの自動検出の結果を示す。白く明るい領域のトレーサーが線に囲まれているおり、検出が成功していることがわかる。大きさの異なるトレーサーや、トレーサー同士の重なり、モデル生体膜の曲率によって緑で変形して見えてしまうトレーサーも検出できている。数百フレーム程度の動画データであれば1分程度ですべてのフレームからトレーサーを検出することができる。

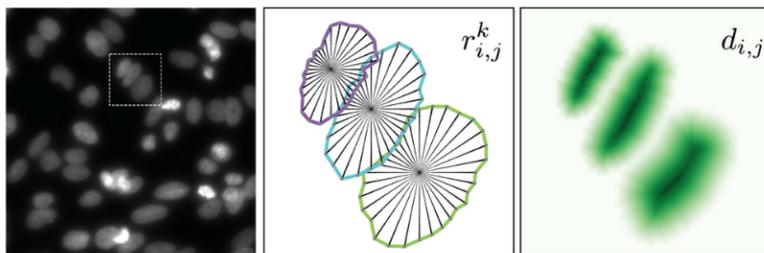


図4 StarDist による物体検出の例^[3]。粒子の重心位置を検出し、そこから伸びる放射状のポリゴンを使って表す。

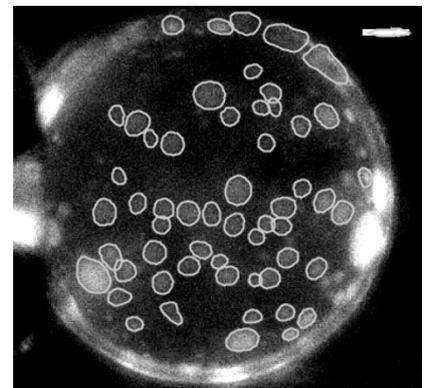


図5 StarDist によって検出したトレーサー。検出したものは線で囲まれて表示される。

3.2 トレーサーの軌跡の可視化

トレーサーの軌跡の可視化は、ImageJ のプラグイン Trackmate を利用することで自動化した^[4]。連続したフレームでの粒子の関連付けのアルゴリズムは Simple LAP tracker を使用した。図6に Trackmate を用いて、可視化したトレーサーの軌跡を示す。モデル生体膜の表面上のほとんどすべての粒子の軌跡を可視化することができた。そのため、トレーサーの渦流動の中心位置が明確にわかる。重心位置を自動で検出しているため、解析者による誤差がなくなった。動画のフレームを間引くことなく解析を行うことができるため、手動解析に比べて軌跡を滑らかな線で描くことができるようになった。さらに、膜表面全体の流動を把握することもできるようになっている。

手動での作業では1時間程度かかっていた解析時間だったが、トレーサーの検出と軌跡の可視化を自動化したことにより、1測定あたり5分程度へ大幅な短縮に成功した。

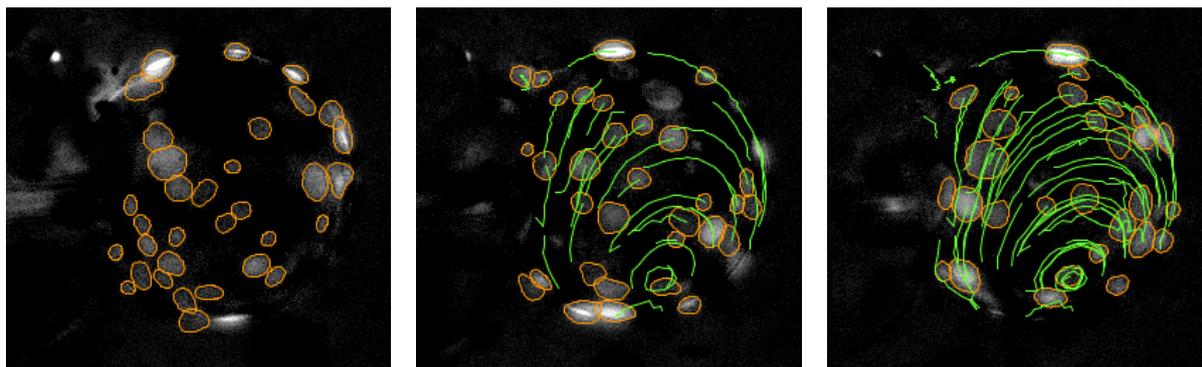


図 6 Trackmate を用いて、可視化したトレーサーの軌跡。モデル生体膜上の多くのトレーサーを検出し、渦流動を可視化できている。膜粘度の算出に必要な渦流動の中心位置も明瞭である。

4. 実験への適応例

開発した自動解析手法の導入により、1 測定あたり 1 時間程度かかっていた手動解析に比べて 10 分程度まで短縮することができた。モデル生体膜の組成と温度による粘度の依存性を測定する実験の解析が行われた。5 種類の組成、6 点の温度を測定する場合、それぞれの条件で 10 回の実験・解析が必要だとすると、解析するデータの数は 300 を超える。これを従来の手動解析で行った場合は 300 時間以上かかってしまう。自動解析手法を利用することにより 50 時間程度に短縮することができた。自動解析手法の導入によって、研究に貢献することができた。

5. まとめ

ソフトマター物理学の研究対象の一つである、モデル生体膜の膜粘度測定実験において、顕微鏡画像の解析に機械学習を利用した物体検出の技術を導入した。膜表面上のトレーサーを検出するための物体検出のモデルには、StarDist を利用し、検出したトレーサーの変位の記録、軌跡の可視化には ImageJ のプラグインの Trackmate を利用した。これにより、一連の解析過程の自動化に成功し、測定精度の向上と解析時間の大幅な短縮に成功した。この手法はモデル生体膜だけではなく、生体由来の生きた細胞膜の流動性の評価にも適応が可能なことがわかっており、新しい研究分野への展開においても貢献している。今後は、機械学習による物体検出を応用して、実験作業の自動化ができるよう試みている。

参考文献

- [1] Y. Sakuma, T. Kawakatsu, T. Taniguchi, M. Imai, Viscosity Landscape of Phase-Separated Lipid Membrane Estimated from Fluid Velocity Field, *Biophys. J.* **118**, 1576–1587, (2020).
- [2] Schneider, C. A., Rasband, W. S., & Eliceiri, K. W. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nature Methods*, **9**(7), 671–675, (2012).
- [3] Weigert, M., & Schmidt, U. Nuclei Instance Segmentation and Classification in Histopathology Images with StarDist. In *The IEEE International Symposium on Biomedical Imaging Challenges (ISBIC)*, (2022).
- [4] Jean-Yves Tinevez, Nick Perry, Johannes Schindelin, Genevieve M. Hoopes, Gregory D. Reynolds, Emmanuel Laplantine, Sebastian Y. Bednarek, Spencer L. Shorte, Kevin W. Eliceiri, TrackMate: An open and extensible platform for single-particle tracking, *Methods* **115**, 80–90, (2017).

巨大分子解析研究センターにおける地震対策、安全管理、 依頼分析を通じた教育と研究支援

巨大分子解析研究センター
○吉田 慎一郎・佐藤 和美

1. はじめに

巨大分子解析研究センター(以下、「当センター」という。)は大型分析機器を備え、各種物性データの測定・構造解析を行い、物質科学に関する研究と教育の発展に貢献している。特に、当センターの核磁気共鳴(NMR)分光分析部門(以下、「本部門」という。)は、原子レベルの分解能によって幅広い構造情報を得ることができるため、物質科学で最も基礎的かつ重要な分析業務を担っている。本部門は、依頼分析業務を通じて、学内外の研究者や学生に対して高精度なデータを提供し、研究の進展を支援することを目的としている。

2. NMR の地震対策、安全管理

当センターは3台のNMR装置を運用しており、それぞれ液体ヘリウムと液体窒素の冷媒で極低温に冷却された超伝導磁石(SCM)を備えている。そのため、大きい地震の発生時には冷媒の流動と沸騰による温度上昇でSCMのクエンチング(磁石機能喪失)が起こり得る。これまで、2011年3月に発生した東日本大震災や2021年2月と2022年3月に発生した福島県沖地震で、当センターの装置は壊滅的な被害を受けた。そこで、センター棟改修工事(2021年2月完了)に伴う移設や、損壊装置更新の機会に、各装置の地震対策、安全対策の強化を図った。

2.1 免震台の導入

NMR装置の地震対策として、主にSCMの下部に免震台(図1)を導入した。これまでNMRに免震台を導入した例はなく、装置メーカーと協力しながら磁場への影響などを実地調査により評価した上で設置を決めた。この免震台は震度5~7で最大35cm動き、横揺れを緩和するもので、SCMが大きく振動することを防止できると考えられる。設置後は台から35cmの位置を明示して物品を置かないようにし、台の外の設備との接続はフレキシブルにすることに注意した(図2)。

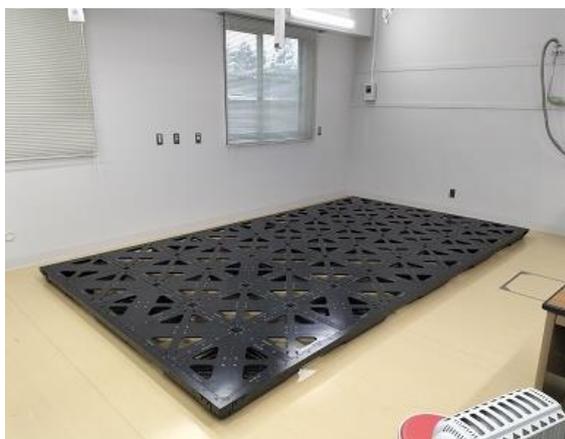


図1 免震台の敷設



図2 免震台上に設置された装置類

2.2 遠隔監視システムの導入

地震発生などでSCMがクエンチングした際には大量の気化した冷媒ガスが装置室内に充満し、室内の酸素濃度が人に危険なレベルまで低下する。そのため、従来は装置室内の残留人員確認や装置の状況を確認することが難しかった。そこで、酸素濃度計と連動し、外部電源が失われた状況でも12時間以上装置室をモニタリング可能な遠隔監視システムを導入した(図3)。

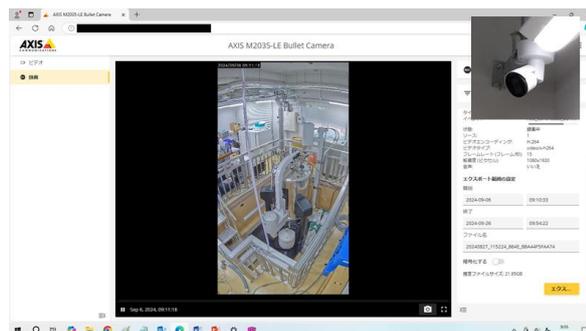


図3 webカメラ(右上)および撮影画面

2.3 ヘリウム回収ラインの見直し

SCMからは液体ヘリウムが常に蒸発しており、そのヘリウムガスを回収することは高騰するヘリウム調達費用を抑えるために非常に重要である。当センターのNMR装置室には極低温センターまで繋がるヘリウム回収ラインが設置されており、これとSCMのヘリウム蒸発口を常時接続してヘリウムガスを回収している。接続の際にはSCMと回収ラインの間に逆止弁とフローメーターを設置し、水分の流入・凍結による閉塞を防止・確認できるようにしている。しかし液体ヘリウム補充時には排気量を十分確保するため、逆止弁とフローメーターを通さない太いラインに切り替える必要がある。従来はその切り替え部分が蒸発口付近及び手の届かない高い位置(図4)にあり、脚立等を用いて蒸発口を一度開放し付け替える必要があった。そこで配管と切り替えライン(図5)を設計し、手の届く位置に設置した。これにより高所作業及び切り替え時のヘリウムのロス进行を解消した。



図4 従来の逆止弁の位置



図5 新規増設した切り替えライン

2.4 ピット内換気ダクトの設置

当センターのNMRのうちの1基は、上方の漏洩磁場が2階まで及ぶことを防ぐために、ピット下にSCMを設置している。このピット内は液体窒素使用時等に低温の窒素ガスが溜まりやすく、酸素濃度低下の恐れが高い。そこで吸気口を低い位置にした排気ダクト(図6)を設置した。設置に際しては前装置のクエンチダクトの排気口と部材を流用し、コストダウンも考慮した。



図6 ピット内換気ダクト

3. 依頼分析による教育研究支援

本部門では、学生からの分析依頼に対してはサンプル調製から測定の目的・方法、結果の解説まで、教育支援の取り組みとして詳細な説明を行っている。さらに、研究者からの測定依頼に対しては専門的な視点からの理解と考察を深め、論文に対応できるデータが得られるように取り組んでいる。

当センターでは NMR の他にも多くの装置が更新されたため、その機能等を紹介するセミナーを装置メーカーの協力を得て計 7 回開催し、学内外の研究者への周知に努めた。さらに NMR については新機能を含めた性能をまとめたポスター(図 7)を作成し、今年度の東北地区技術研究会で発表を行った。このポスターやホームページ等を通じて、本部門で出来る測定法などの情報を今後も発信していきたい。



図 7 NMR 紹介ポスター概観

4. おわりに

当センターの装置に対し、地震による被災や維持管理業務の経験をもとにした対策を施し、管理者を含めた装置利用者の安全性および装置の安定性を向上させた。各種設備の整備が出来たのは、尽力して下さった教職員、装置メーカー、設置業者の皆様のおかげであり、感謝している。さらに本稿の業績が認められ、理学研究科技術賞を受賞することができた。本賞に推薦して下さいました岩本武明教授、権根相准教授に改めて感謝申し上げたい。

実験室で、地震を見る・診る・mill?

地学専攻
武藤 潤

1. はじめに

断層破砕帯は、地震による運動を賄う主すべり面である断層コアと粉砕した岩石からなるダメージゾーンの2つの領域で構成されています。これらの領域では断層運動による高ひずみが蓄積され、独特な変形構造が形成されます。特に、大規模な横ずれ断層(例:サンアンドレアス断層、有馬高槻断層)の近傍では、岩石が非常に細かく粉砕された断層粉砕岩(pulverized rock)が観察されています。この粉砕岩の特徴的な粒子サイズ分布は、通常のせん断変形だけでは説明できない高ひずみの破壊機構によるものである可能性が示唆されています(Muto et al., 2015 [1])。

さらに、近年の地震時の破壊の伝播をモデル化した数値計算からは、断層破壊伝播時に、ダメージゾーンにおいて高ひずみかつ高速の変形が発生し、その影響で断層の破壊速度が遅くなったり、高周波地震波が生成されたりすることが分かっています。このような変形メカニズムを解明することは、断層破壊と地震発生メカニズムをより深く理解する上で重要です。しかし、これまでの研究では、断層破砕帯の高ひずみ速度変形に関する詳細な理解は不十分でした。

本報告では、岩石の高ひずみ速度下でのダメージ評価を行うため、Split Hopkinson 圧力棒法(SHPB)を用いた衝突試験を実施し、断層破砕帯における変形メカニズムを再現・評価しました。これにより、古くから知られる地震の化石と呼ばれるシュードタキライト(摩擦溶融により形成された岩石)に変わる新たな断層評価の岩石力学的な指標を構築することを目指しています。

2. 方法

本研究では、SHPBを用いて岩石試料に100/sを超える高ひずみ速度の負荷を加え、試料の力学特性および粉砕粒子の特性を評価しました。試料には地殻を構成する花崗岩を採用しました。すべての試料は直径および高さを約10 mmの円柱型に成形して使用しました。実験時の試料のダメージ(破壊)評価においては、以下の3つの手法を用いました。ひずみゲージを使用し、応力、ひずみ、ひずみ速度を計測することで力学特性を解析しました。高速カメラを用いて、試料内部の亀裂生成および伸展挙動を観察しました。粉砕後の回収試料について、篩を用いた粒度分析を行い、粉砕粒子のフラクタル次元を算出しました。

3. 結果と考察

力学特性の測定から、ひずみ速度が増加するにつれて試料の破壊強度が向上することが明らかになりました。特に、動的破壊強度のひずみ速度依存性は、低ひずみ速度条件下で観察される静的な破壊強度の依存性よりも大きいことが示されました。

高速カメラによる亀裂の観察では、試料のモード組成や粒形が亀裂の伸展方向に影響を与える可能性が示唆されました(図1, Jaywickrama et al., 2023 [2])。これにより、岩石の内部構造が破壊挙動に与える影響を定量的に評価する必要があることが分かりました。粉砕粒子の解析では、粗粒(半径0.3 mm以上)のフラクタル次元が高い傾向が確認されました。特に一部の粗粒のフラクタル次元は、我々が実際の断層破砕帯で観察した値(フラクタル次元 ~ 3 : Muto et al., 2015 [1])に近く、本研究での実験条件が断層破砕帯の高ひずみ速度変形を再現している可能性を示唆しています。

4. まとめと今後の展望

本研究では、高ひずみ速度条件下での岩石の破壊特性や粉砕粒子の特性を評価するための実験手法を確立しました。この研究により、これまで地下深部でおこるため観測や解析が困難であった断層近傍の変形プロセスの一端を明らかにすることができました。近年の計測技術の進展により、これまで見えなかった現象が可視化(見る)され、計測が不可能であった挙動が定量化できる(診る)ようになっています。本研究で採用した高速カメラ

やフラクタル次元解析技術はその一例であり、断層破壊メカニズムの理解に新たな知見を提供する手段となります。

さらに、断層破碎帯の粉碎度を指標とすることで、シュードタキライトに代わる新しい地震履歴の指標が開発できる可能性が示されました。この指標は、粉碎岩を使った新しい古地震計の設計や断層の活動履歴の復元に役立つと期待されています。そのためには、岩石が高いひずみ速度で変形する状況を再現する実験技術のさらなる発展が必要です。そして、地震の本質を理解するには、従来の観測だけでなく、最新の技術を使った実験研究が重要です。私たちはこれらを組み合わせることで、地震発生の仕組みの解明に取り組んでいます。

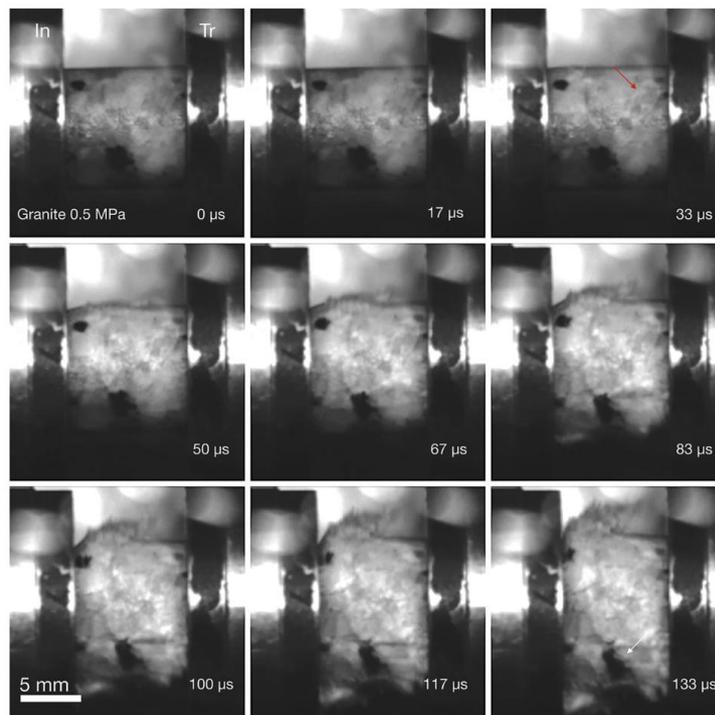


図 1. 花崗岩を使った粉碎実験の高速動画

衝突ガス圧は 0.5MPa で衝撃波は左から入射した。画像は約 17 マイクロ秒ごとの破壊のパターンを示す。赤線部は石英表面に生成された亀裂を示す(Jayawickrama et al., 2023 [2])より引用)。

参考文献

- [1] Muto, J., Nakatani, T., Nishikawa, O., Nagahama, H., 2015, Fractal particle size distribution of pulverized fault rocks as a function of distance from the fault core. *Geophys. Res. Lett.*, **42**, 3811–3819, doi:10.1002/2015gl064026.
- [2] Jayawickrama, E. G., Sekiguchi, T., Muto, J., Sawa, S., Nagahama, H., Kono, Y., Bac, K-O., Shin, H-S., 2023, A split Hopkinson pressure bar for experimental investigation of dynamic pulverization under very high strain rates, *Rev. Sci. Instrum.*, **94**, 085110, doi:10.1063/5.0151448.

銅の TIG 溶接が難しい理由 - 実践から学んだこと -

機器開発・研修室
小野寺 知美

1. はじめに

機器開発・研修室では、これまで各専攻や各部局、他大学において様々な研究・技術支援、相談を行ってきた。金属・各種材料の加工だけでなく、「溶接」も代表的な業務のひとつである。今回は、溶接の中でも触れる機会を逃していた「銅」の TIG 溶接にチャレンジした。

製作にあたっては、依頼者の要望に近づけるよう、研究用途を知った上で加工方法の選別を行い、自分自身が疑問に感じたことを試してみながら取り組んだことを報告する。

2. 依頼者の要望は 3 つ

このフランジ付きの筒は、筒の中に装置を入れ、それごとデュワー瓶の中に設置する。デュワー瓶と筒の間には保冷剤を敷き詰めて冷却し、 -40°C から常温という激しい温度環境下で使用するものだ。依頼者の要望は下記の 3 つ。

- ・フランジと筒の接合は、熱膨張率の関係上同種金属で接合して欲しい。
- ・ -40°C まで冷却するため、材料は熱伝導率の良い銅製を希望する。
- ・筒の内径と外径は許容範囲が決められている(図 1)。

そうすると、筒をリベットで加締める訳にもいかず、必然的に溶接での加工、そして溶接方法としての選択肢は母材を溶かしての「TIG 溶接」に絞られてくる。さらに丁度良い市販の銅パイプもないため、板を丸めて溶接をして筒を作り、フランジと接合していくことにした。

今回の溶接方法である TIG 溶接については、ステンレスとアルミニウムの経験しかなかった。「今まで銅の溶接を依頼したことがあるけど溶接ではなかったの？」と思うかもしれないが、普段目にしている「溶接」とは、実に 30 種類弱存在する中のひとつであって、用途や材料に応じて適した溶接方法を施している。銅の接合に関しては、これまでロウ付けやハンダ付けで事足りている製作だった。

一般的に銅の TIG 溶接は難しいと言われているが、今回良い機会に恵まれたので、実践を踏まえながら銅の TIG 溶接の特性について探っていく。

3. なぜ銅の TIG 溶接が難しいと言われるのか

理由を調べてみると「熱伝導に優れている銅の特性」が、溶接では悪さをしていることが分かってきた。

3.1 熱伝導率の高さ

表 1 のように、銅の熱伝導率 $398(\text{W}/\text{m}\cdot\text{K})$ は、鉄の約 5 倍、ステンレスの約 24 倍も高いことが分かる。そのため局所加熱である TIG 溶接では、熱がすぐ母材側へ逃げってしまうため、溶接部の十分な溶け込みが得られず溶接が困難となってしまう。

3.2 熱膨張率の高さ

熱による膨張や収縮がしやすい特性があるため、無理にそのまま溶接部に熱を加え続けてしまうと、冷却した時に収縮ひずみが溶接部に集中し、割れが生じてしまう可能性がある。

3.3 軟化しやすい

200°C を超えると軟化するため扱いづらくなる。取り扱う際には治具や工程方法を工夫するなど、特に薄物を扱う場合は細心の注意が必要である。

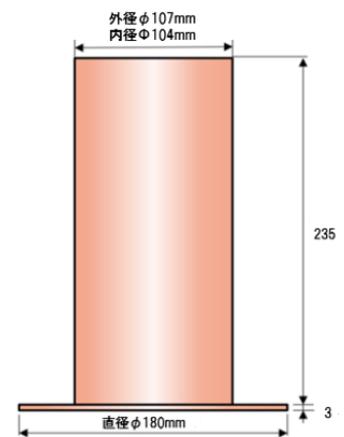


図 1 完成図

表 1 熱伝導率・熱膨張率の比較

金属	熱伝導率 ($\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$)	熱膨張率 ($10^{-6}/\text{K}$)
銅	398	16.5
アルミニウム	236	23
鉄	80	12
ステンレス	16	17
モリブデン	142	5

4. 銅板の選定と加工方法の検証実験

今回使用するのは、厚みの異なる 1mm と 3mm の銅板である。同じ金属でも純度の違いで呼び名が変わり、溶接しやすい金属と溶接に不向きな金属がある。普段よく利用する安価なタフピッチ銅 (C1100) と、純度の異なる無酸素銅 (C1020)、りん脱酸銅 (C1220) という銅の代表的な 3 種類の特性を比較した結果を表 2 に示す。

表 2 各銅の比較

	タフピッチ銅 (C1100)	無酸素銅 (C1020)	りん脱酸銅 (C1220)
純度	99.90%程度	99.96%以上	99.96%程度
酸素含有率	0.05%程度	0.001%以下	0.01%程度
導電性	○	○	△
加工性	○	○	○
熱伝導性	○	○	○
強度	○	△	○
水素脆化	×	○	○
溶接性	△	◎	○

4.1 溶接性による材料の選定

各銅について、タフピッチ銅は比較的安価で加工性に優れている。無酸素銅は純度が高く不純物も除去されているため高価である。りん脱酸銅は「りん」で酸素を除去していて、絞りや曲げ加工などの延ばしに高い加工性を持つことが知られている。

表 2 の酸素含有率を比較すると、タフピッチ銅は他の銅よりわずかに多いことが分かる。この 0.05% の酸素が「酸化銅」として存在していて 600℃ 以上加熱すると水素と反応して水蒸気となり、割れやブローホールなどの水素脆化を起こす。さらに、溶接性が悪く溶け込みに時間がかかる上に薄板は穴が開きやすい。逆に無酸素銅やりん脱酸銅は、酸素含有率が低いので溶接性が良く、無酸素銅は圧倒的に溶接性が良かった。

4.2 無酸素銅とタフピッチ銅の溶接性を比較

表 2 の結果から無酸素銅を選定するのは確定ではあるが、溶接と相性の悪いと言われるタフピッチ銅が、酸素含有率の低い無酸素銅と、どのくらい溶接性が違うのかも知りたかったので比較してみることにする。

溶接方法は、どちらも板厚 1mm を突合わせで溶接を行う。比較する項目は 70A から 120A までを点付け溶接し、表と裏側の溶け込み具合を見たものと、同じ溶接電流値 80A で連続溶接をし、表と裏側の溶け込み具合を見たものである。

検証した結果、図 2 に示すように無酸素銅については、どの溶接電流値で溶接しても溶接性は良く、裏の溶け込みも 70A 以外は良好だった。ただ、連続溶接で母材が熱くなってくると 120A 以上での溶接は穴が開く可能性が高くなる。タフピッチ銅は、予想より溶接性が悪く、時間がかかる上に溶け込みも不良だった。また、連続溶接をした際には不純物が混じっているためかビチビチ跳ねる音がした。そして母材が高温になると水素脆化が起こり、穴や割れが確認できた。特に割れについては日にちが経ってから発生した。やはり、600℃ 以上加熱すると酸化銅が水素と反応して水蒸気となり、割れやブローホールなどの水素脆化を起こす要因となっていた。

これらのことから、銅は酸素含有率と純度の差によって溶接性に大きく関わることが分かった。



図 2 無酸素銅とタフピッチ銅の溶接性を比較

4.3 同じ無酸素銅で板と筒の溶接性を比較

次は、どちらも無酸素銅で板を平らに突合わせしたものと、丸めて突合わせした場合の溶接性を比較する。余熱が必要か、軟化はするのか、治具は必要かの3つを検証した結果、図3で示すように、予熱に関しては、どちらも予熱なしで溶接は可能だが、余熱をした方が熱膨張が緩やかになり溶接の入りが安定し、ひずみや割れもなかった。軟化についてはどちらも簡単に手で潰せるほど軟らかくなった。一番対照的だったのは治具で、円筒については内側の治具と外側からバンドで拘束しないと穴が開いてしまうため、筒の突合わせ溶接に治具は必須である。

材質:無酸素銅	予熱		軟化	治具		治具は必要か?
	なし	あり		なし	あり	
平らに突合わせ 	 可能	 良好	 する	 可能	 良好	不要
丸めて突合わせ 	 可能	 治具あり 良好	 する	 難しい	 良好	 内外側から拘束が必要

図3 板と筒の溶接性を比較

4.4 厚みの違う3mmのフランジと1mmの円筒を溶接する

銅に限らず言えることだが、厚みが異なる材料同士の溶接の場合、可能であれば溶接部は厚みをそろえて溶接するのがベストである。図4のように3mmのフランジの開先を施す。また、銅は熱膨張率も高いことから溶接前に余熱を与えておくと、急激な熱膨張が避けられひずみや割れを抑えることができる。

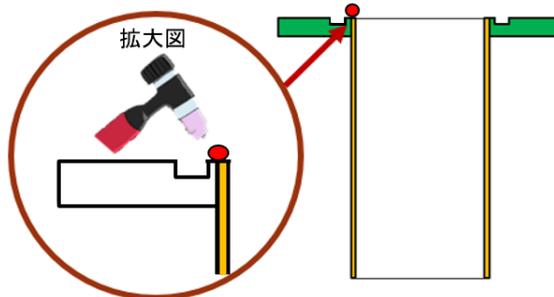


図4 溶接箇所の厚みを揃える

5. 検証実験を踏まえていざ本番

5.1 板から円筒を作る

無酸素銅(C1020)を使用し、要望である筒の内径が104mmになるよう計算したのち、板の寸法を幅330mm高さ238mmで切り出す。3本ロールで少しずつ丸めて、寸法まで丸めたら内側に治具を入れ、外側からバンドで拘束する。十分に溶け込みが得られるよう、溶接前に全体にバーナーで予熱をして母材の温度を上げ、速やかにセッティングを行ったうえで溶接をする。一連の流れを図5に示す。

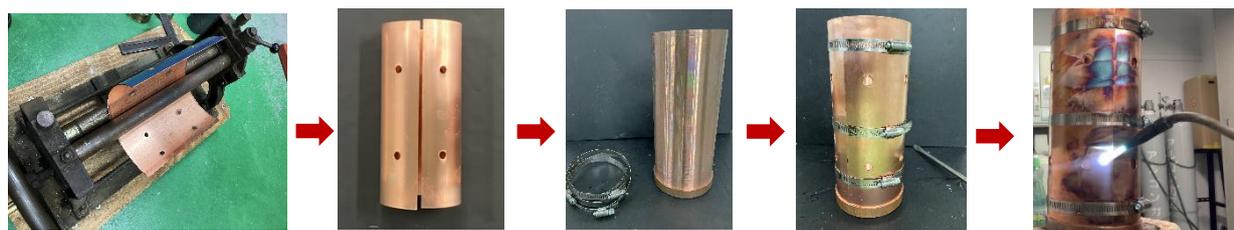


図5 板から円筒にしていく流れ

5.2 丸めた板を突合わせ溶接していく

ダイヘン溶接機 DA300P を使用し、溶接電流は 80A で溶接していく。溶接の際、両端が溶け落ちないように、また、他の箇所も熱し過ぎて穴が開かないよう慎重に進めて行く(図 6)。溶接を続けていると、溶接面も曇るほど母材と溶接室がとても熱くなるのだが、ここで冷房をつけてしまうと一気に母材が冷めてしまい溶接性が悪くなってしまったのには驚いた。



図 6 溶け落ちに注意しながら溶接をしていく工程

5.3 筒とフランジの溶接

円筒が完成したので、次はフランジとの溶接をしていく。こちらも円筒の変形を防ぐため内側に治具を入れ溶接前にしっかり予熱を与えてから溶接している。3mm 厚のフランジ側に開先を施していたため問題なく溶接ができた(図 7)。



図 7 フランジと円筒の溶接

6. まとめ

初めて銅の TIG 溶接に触れてみて、わずかな酸素含有率の差でこんなに溶接性が変わることを知ることができた。熱伝導率が非常に高い金属に局所加熱である TIG 溶接を施すことは、熱の拡散を常に念頭に入れておく必要がある。また、熱膨張率も高いので、溶接前に予熱をしてあげれば、熱膨張が緩やかになりひずみや割れは抑制できそうだ。様々な検証をしながら製作に取りかかることができたので、何とか良い状態で溶接ができたと思う(図 8)。

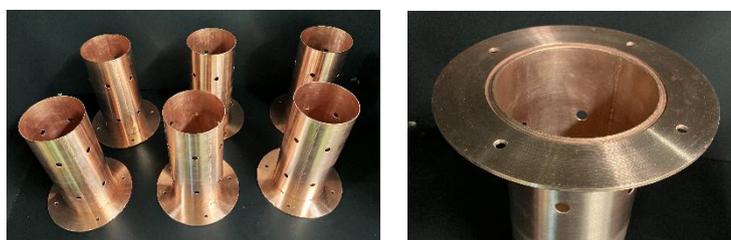


図 8 完成したフランジ付き筒

7. 謝辞

大気海洋研究センターの森本真司先生と、荻原勇輝さんには、情報および写真提供などのご協力をいただき感謝申し上げます。今後も、さまざまな研究支援に貢献できるよう学びを忘れないようにしていきたいと思えます。



図 9 使用している様子

神岡実験施設での取り組み

ニュートリノ科学研究センター
山田 達也

1. はじめに

現在、岐阜県飛騨市にある神岡鉱山内の実験施設(図 1)では、反ニュートリノ検出器 KamLAND の改修のための解体や、共同実験設備として KERNEL と呼ばれる ISO クラス 1 のスーパークリーンルームをはじめとする実験エリアの建設、暗黒物質探索のための極低放射能環境下での希釈冷凍機の導入などが進められている。これらの中でも私が現地で作業に取り組んだ KamLAND 解体及び極低放射能環境への希釈冷凍機の導入準備のために実施した Ge 検出器解体について報告する。



図 1 神岡実験施設

2. KamLAND 解体

2.1 KamLAND の構造の概要

KamLAND は、液体シンチレータ(Liquid Scintillator, 以降 LS と表記)の荷電粒子や放射線などに反応して発光する特性を利用し、発生した光を光電子増倍管(Photomultiplier Tube, 以降 PMT と表記)と呼ばれる光センサーで捉えることで素粒子を検出する装置であり、原子炉や地球、宇宙などから飛来するニュートリノを観測する KamLAND 実験やニュートリノを伴わない二重 β 崩壊を探索する KamLAND-Zen 実験が進められていた。

この KamLAND の構造は、図 2 のように ^{136}Xe (以降 Xe と表記)を 745 kg 程度溶かし込んだ LS を持つ直径 3.8 m のミニバルーン、LS で満たされた直径 13 m のラージバルーン、両者のバルーンやバッファオイル(Buffer Oil, BO)、PMT などを含める直径 18 m ステンレス球形タンクがあり、さらにこのタンクを円柱状に囲むように PMT が取り付けられていて、その PMT がある空間は純水で満たされたものになっている。ステンレス球形タンク内にある PMT は、各バルーン内の LS の発光を検出するためにあり、ID (Inner Detector) と呼ばれ、1325 本の 17 インチ PMT と 554 本の 20 インチ PMT で構成されている。また、このタンクを円柱状に囲む PMT は OD (Outer Detector) と呼ばれ、宇宙線ミュオンが純水を通過した時に生じるチェレンコフ光の検出により、ID で検出される目的の素粒子以外の事象を取り除くことを目的として、140 本の 20 インチ PMT が設置されている。

現在は検出器の高性能化に向けて 2024 年 2 月から解体作業が始まり、2025 年 1 月までに、Xe ガスの回収、ミニバルーンの解体、OD 上部 50 本の解体が完了し、KamLAND の液抜き・LS 蒸留が進行(2025 年 1 月末終了予定)している。2025 年 2 月からは残った OD の解体ため足場を組み作業を実施する予定となっている。

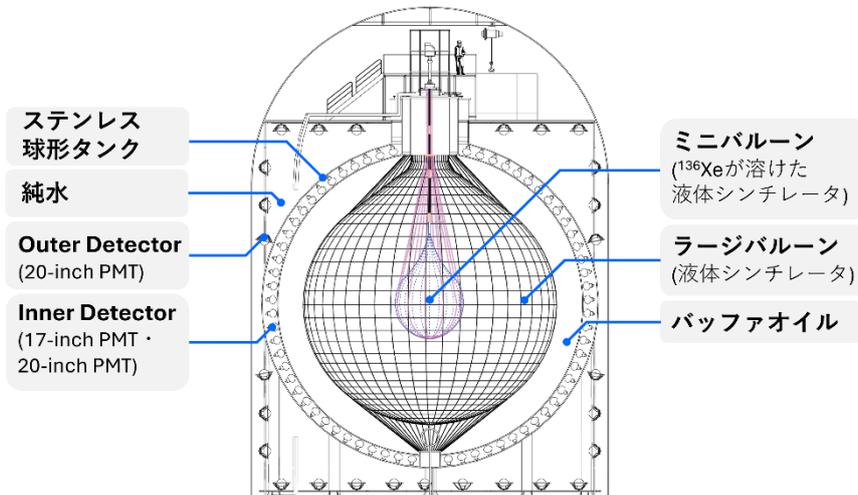


図 2 KamLAND の構造

2.2 Xe ガス回収・蒸留

KamLAND-Zen 実験で使用される Xe ガスは、自然存在比が少ないことから遠心分離によって同位体比が 91%程度まで濃縮されたものであり、非常に高価なガスとなっている。そのため、ミニバルーン解体前に必ず回収が必要となる。このガスの回収には、ミニバルーンへの送液・液抜き、LS の密度調整、Xe を溶かし込んだ LS (Xe-LS) の調製、Xe ガスの回収・保管などが可能な Xe 設備 (図 3) が用いられる。また、回収したガスは不純物を含むため、蒸留によって純度を高める Xe 精留塔 (図 4) による純化が必要となる。

Xe ガス回収作業は、ミニバルーン内に溶け込んだ Xe ガスを全て回収し、Xe 設備内にあるカードル (図 5) に詰め込むことを目的とし、24 時間 3 交代 2 人 1 組で設備の監視や操作、点検、測定などのシフト作業に取り組む。また、Xe ガスの漏出を防ぐため、設備操作には細心の注意が求められる。まず、ミニバルーン内の Xe-LS を抜きながら、密度調整した LS を送液することでミニバルーンの形状を維持しつつ中身を置換していく。液抜き先のタンクを満たす量が入ったら、そのタンクに対して真空ポンプによる脱気またはバブリングをおこなって抜けたガスを一時保管タンクに溜めていく。このガスを液体窒素で冷やされた各トラップに通し、コンプレッサーでカードルに詰め込むことで Xe ガスを回収する。この作業を繰り返した後、ガスクロマトグラフィーによる Xe ガス濃度や回収したガス重量などを確認してから、ミニバルーン萎ませ段階に入り、送液はせずに液抜きからカードルへの詰め込みまでの作業を繰り返し、ミニバルーンを引き上げる準備が取り組まれた。

ミニバルーン解体後は、各設備に残った Xe ガスの回収と並行して、Xe 精留塔による蒸留作業が実施された。精留塔は、カードルや各設備に残されたガスを原料として、冷凍機による原料の液化とヒーターによる再蒸発を繰り返し、精製された Xe ガスとオフガス (不純物を含むガス) に分離することで純化する設備である。オフガスは液体窒素で冷却されたトラップ用ボトルに一時保管され、ボトル昇温時に内容物の気化する温度の違いを利用して不純物を含むガスと Xe ガスを分離し、再度原料として利用される。蒸留作業に関しては、検出器の再建段階で必要なものとなっていたが、設備の動作確認及び将来の作業時間短縮のために作業終了予定である 2024 年 8 月までに可能な範囲で実施された。また、シフト作業以外にもこの精留塔の立ち上げ前に発覚した監視設備の一部であるデータロガーやコンピュータの故障に対応し、作業可能な環境の再構築に取り組んだ。



図 3 Xe 設備



図 4 Xe 精留塔



図 5 カードル

2.3 OD 解体

ステンレス球形タンクを囲む岩盤からの純水の流出を抑えるために岩盤への吹き付け施工が計画されている。そのため、事前に天井や岩盤近くに取り付けられている 140 本の OD 用 PMT (図 6) の取り外しが必要となる。2024 年 9 月時点では、ステンレス球形タンク上部を囲む 50 本の取り外しが実施された。作業人数は 1 日十数人が坑内に入り、図 7 のように PMT と接続された電源と信号ケーブルをまとめるケーブル作業の担当、図 8 のように各担当が作業するための道具や環境を試行錯誤しながら整備を行う作業環境整備担当、図 9 のように岩盤内に入り、ボートに乗って PMT を取り外して回るボート担当、図 10 のように運搬と各作業の補助担当の 4 つの役割に分かれて 2 週間程度で取り組まれた。

ケーブル担当は、数十 m の長さのケーブル 280 本から PMT が設置された場所まで運ぶことができるようにケーブルを 1 本ずつ展開し、PMT 単位で電源と信



図 6 取り外す PMT

号のケーブルペアを見つけてまとめ、防水処理、タグの記入をする。また、ボート担当から求められたケーブルを探してケーブルダクトから渡すことも行う。信号ケーブルと電源ケーブルは別々の部屋にあり、本数の多さと長さ、作業スペースの少なさ、ケーブルに傷をつけることができないという状況から 2024 年 9 月の作業で最も時間を必要とした作業であった。

作業環境整備担当は、2024 年 9 月の OD 作業期間前半に、ケーブルダクトの解体、岩盤内に入って作業できる環境(クレーン、はしご、足場の組み立て、道具製作、各道具の落下防止、ボート、送風設備など)、荷物運搬設備、排水ラインなどを準備するグループである。ここでは経験豊富なメンバーを中心に進められ、全体の作業を円滑に進めることを支援した。

ボート担当は、安全帯とライフジャケット、手袋、長靴を着用し、落下防止を施したレンチやニッパー、電動ドライバー、酸素濃度計、ライト、防護眼鏡、フェイスシールド、PMT マップなどを持って 2 人 1 組でボート二艇に別れ、作業に取り組む。まずは取り外す PMT を決め、取り外し用架台を取り付けてから、その PMT に対応する防水処理後のまとめられたケーブルの引き渡しをケーブル担当に依頼して受け取る。受け取ったケーブルを PMT のところまで巻きながら持っていく、PMT にまとめる。そして PMT のフレームを固定するボルトを外し、ボート中央にある製作したクッションの上に PMT を乗せて岩盤内への出入口となっているハッチまで運び出す。取り外した PMT は運搬と各作業補助担当にクレーンで引き上げてもらう。この作業の中ではボルトを外すことが特に難しく、PMT とフレームで 30 kg 弱あり、ボート上は不安定で力を入れにくく、作業場所が暗いこともその要因となっていた。そのため、作業を円滑に進めるためには同乗者との意思疎通や作業の連携が非常に重要となった。また、水面の高さ調整も難しく、ボートに乗る人の組み合わせによって浮き沈みが異なり、岩盤内の空間にあるフレームへの座礁や、運んでいる PMT の上部がぶつかりそうになり動けなくなることもあった。さらに、PMT は衝撃を受けるとガラス部分が割れ飛散する爆縮という現象を起こす恐れがあるので作業時は物を落としたり、ぶつかったりしないよう注意を払うことが求められた。その他、天井に張り巡らされたタイベックに溜まった水の処理や岩盤付近に取り付けられていたタイベックを剥がす作業もおこなった。

運搬と各作業補助担当は、取り外した PMT の受け取りからタグ付け、梱包、保管場所への運搬に主に取り組み、その他の作業にも協力して行動するグループである。運搬には借用したトラックを利用していた。この作業は、神岡の技術補佐員メンバーと学生が主に担当していた。



図 7 ケーブルまとめ



図 8 作業環境準備

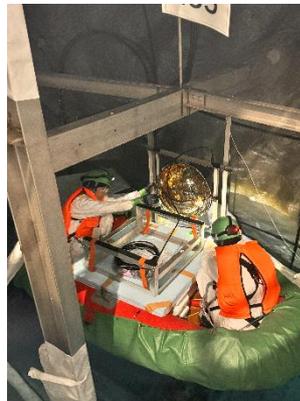


図 9 ボート作業



図 10 保管場所への移動

2.4 KamLAND 液抜き・LS 蒸留

ラージバルーンの解体を目的として、ラージバルーンの LS とステンレス球形タンク内にある BO を図 11 で液抜きをおこない、和歌山県と福井県にある借用したタンクまで輸送するローリーへ引き渡す作業である。

KamLAND からの液抜き時は、ミニバルーンの時と同様にバルーン本体に負担がかかり、LS が漏出しないよう形状や重量などの監視をしながら実施する必要がある。また、ラージバルーン内の LS は、溶媒のプロイドクメン(PC)、透過率や密度調整のためのドデカン(NP)、発光剤のジフェニルオキサドール(PPO)から構成される。PPO は取り扱いが難しく、将来の再建設を円滑に進めるため、液抜きと同時に図 12 の蒸留設備により PPO の分離及び回収が求められる。分離の際には、蒸留設備の中でも PC や NP、PPO を蒸留して分離し、精製する各蒸留塔、NP 塔に堆積した PPO の NP 成分を蒸発させ、濃度を高める PPO 濃縮塔、熱源として蒸気/熱媒油ボ

イラーが主に使用される。設備利用の流れとしては、液抜きされたLSをPC塔によりPCとNP+PPOに分離し、NP塔でNPとPPOに分離させる。分離されたPCとNPは混合用タンクに送液されてから図13のローリー引き渡し用タンクに送られる。NP塔内に堆積したPPOは、塔の循環ポンプによってPPO濃縮塔へ送液され、PPOに混ざったNPを蒸発させながら濃縮塔を循環させることで濃度を高めて原料となり、PPO塔で蒸留後に取り出される。BOはKamLANDから液抜きされた後、直接ローリー引き渡し用タンクに送液される。

作業内容は、24時間3交代2人1組で、ラージバルーンの水抜き量、形状、ロードセル、圧力、窒素供給量、LSとBOの液面差など監視し、液抜き量や窒素供給量などの流量調整、ローリー引き渡し用タンクの液面確認などに取り組む担当と、蒸留設備の監視と操作、各設備の見回り、タンクからのPPOの取り出しと回収、液抜き担当との連携とサポート、作業全体のトラブル対応などに取り組む担当に分けられる。各設備や天候などのトラブルにより、当初の予定より遅れが生じたが2025年1月中旬に完了する予定になっている。



図11 液抜き流量積算及び調整

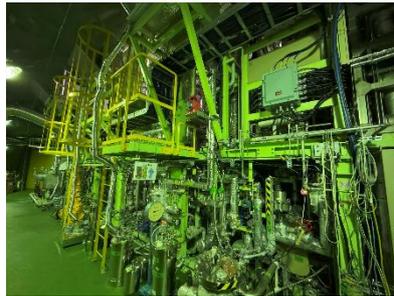


図12 蒸留設備



図13 ローリー引き渡し用タンク

3. Ge 検出器の解体

希釈冷凍機を導入する実験エリアには、図14のような試料の放射線を測定するためのGe検出器が設置されていた。そのため、極低放射能環境への希釈冷凍機導入のために、Ge検出器と関連設備解体、実験エリア整備に取り組んだ。

この検出器は、中心からゲルマニウム半導体センサーとデュワー瓶が一体化した検出器本体(図15)、数十個以上の銅ブロック、600個以上の鉛ブロック、銅板、ステンレスのレール機構、敷板、HEPAフィルターなどから構成されている。また、現在建設中のKERNELへの移設も検討されているため、全ての構成部品の位置と向き記録が必要となり、移設の際には坑道を通ることからラドンによる汚染の予防が求められる。さらに、検出器はクリーンブースの中に設置されているため、作業時はクリーンスーツを着用し、手袋や持ち込む道具はエタノールまたはIPAによって洗浄をおこなう必要があり、各部品の多くが10kg以上の重さを持つため注意しながら作業に取り組んだ。使用道具は、主に溶着機、養生テープ、真空ポンプ、酸素濃度計、温湿度計などである。汚染予防のための部品包装については、半導体センサーや銅ブロック、鉛ブロックに対してはガスバリア性の高いEVOHを層に含んだ袋の製品やEVOHのフィルムロールを使って包装し、ステンレスのレール機構やHEPAフィルター、敷板に対してはラップを使用する。これらの袋に部品を入れ、真空引き後に溶着機で閉じる。溶着条件は、事前にリークチェッカーや顕微鏡で確認しながら調整を実施した(図16)。また、装置の中に組み込まれた部品は、解体を進めるまでサイズが不明なものが多く、用意した製品を加工して袋を製作できるように方法を考え用意した。その他、作業時はクリーンブース内に複数人入るため、酸素濃度や湿度を確認し、身体の安全や部品の結露などに気を付けながら作業に取り組んだ。



図14 解体対象のGe検出器



図15 Ge検出器本体

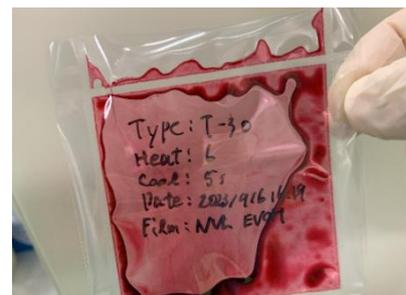


図16 溶着条件確認

作業の流れとしては、まずは解体する部品の写真を撮り、その状況に応じて部品同士のグループを検討し、さらにサイズや内容に応じて取り出す方法を決めてから番号を振る(図 17)。今後の組み立ても考慮し、できるだけ同じ Ge 検出器を再構築できるようにするためには位置や作業全体の記録と取り出し方の決定内容が重要となる。

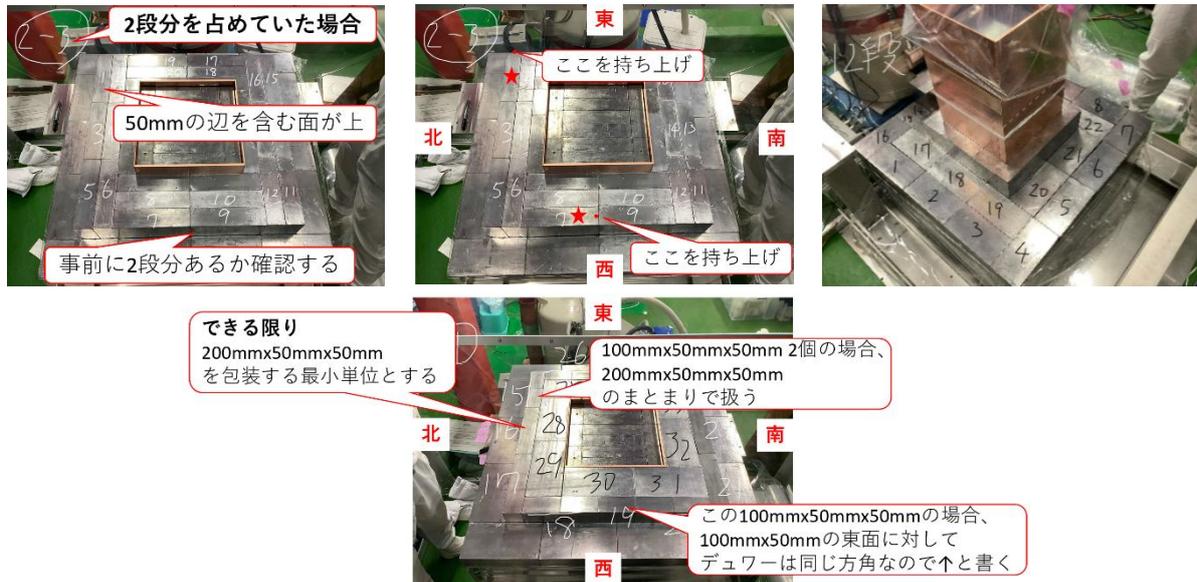


図 17 状況に応じた番号の割り振りと取り出し方法の例

次に、取り出した部品のサイズに応じて袋を用意し、真空引き包装をおこなう。1 重では部品の重さで破けるため、1 重目で出来た余り部分を折りたたみ、2 重包装をおこなう。包装が完了した部品には、最初に撮った写真を参考に部品名、段数、割り振った番号、デューワーへの向きなどを記入し、用意した仮置き場まで持っていく(図 18)。

この作業を繰り返し、実働 1 カ月程度でクリーンブースや周辺の計測ラックなども解体(図 19)し、仮置き場に移動することができた。包装作業では溶着による袋の製作が難しく、慣れるまで大きい部品の包装には時間が必要だった。また、解体を進めるまで状況が不明なため、その場で方針を検討し決め続ける柔軟な対応が求められた。検出器本体に関しても、液体窒素を補充して半導体センサーを冷やし続ける必要があることに加え、液体窒素が少なくなると、本体を囲む鉛や銅ブロックのタワーがないことから転倒して半導体センサーとデューワーからの配管の接続部が折れる恐れがあるため、検出器のデューワーを中心として半導体センサーの反対側にデューワーとセンサーの重量に合わせた鉛の小さいタワーを作り、支えるよう縛りつけた(図 20)。また、移動した鉛ブロックや銅ブロックについても積み上げ高さに気を付け、隣に積み上げたものと重なるようにすることで転倒しないよう調整した。



図 18 2 重包装と情報記録



図 19 撤去完了後



図 20 固定したデューワーと関連設備

4. おわりに

現在、神岡実験施設では複数のプロジェクトが進行しており、本報告では、私が現地作業にも取り組んだ内容として、KamLAND の解体の作業内容や進捗状況、Ge 検出器の解体作業について報告をおこなった。今後も解体作業は続き、来年度からは、KamLAND の改修と関連設備の更新、KERNEL の運用開始、極低放射能環境下に導入した希釈冷凍機の稼働などが予定されている。

GNSS・地殻変動連続観測ナレッジベースの構築

地震・噴火予知研究観測センター

○出町 知嗣・海田 俊輝・鈴木 秀市・佐藤 真樹子・太田 雄策・三浦 哲

1. はじめに

地殻変動を高い空間分解能で把握することは、地震や火山噴火にともなう諸現象を把握する上で極めて重要である。地震・噴火予知研究観測センター(以下、当センター)では、国土地理院による GEONET(GNSS Earth Observation Network System)や気象庁等の火山観測網を補完するように東北地方を中心とする約 130 ヶ所において独自の GNSS(Global Navigation Satellite System: 全地球測位衛星システム)連続観測網を展開している(図 1)。観測網の維持管理業務は当センターの技術職員が主体となっており、(1)観測の実施・運用、(2)観測データ管理・解析、(3)観測システム等の開発・高度化、(4)観測点新設・撤収等に関する事務手続き、(5)業務の情報共有が主要な業務内容である。近年、これまで本業務を担ってきた熟練技術職員の退職等により人員が減少したことで、残った職員の業務負担が増大している。また、保守観測技術自体を将来的に継承するという観点からは、保守業務自体の属人化を回避し、標準化していくことが喫緊の課題となっている。これらの課題解決のため、当センターの複数の技術職員が GNSS 観測点維持管理業務を分担するよう改めるとともに、分担者の誰もが円滑に業務を行うことができるように、これまで分散していた GNSS 観測点の情報や保守作業方法、機器の操作方法などを閲覧しやすい形で整理し標準化していくことを目的としてオンライン上でのナレッジベース(Knowledge Base: 知識ベース、以下、KB)を構築し、その運用を行っている。本報告では、その現状及び課題について示す。

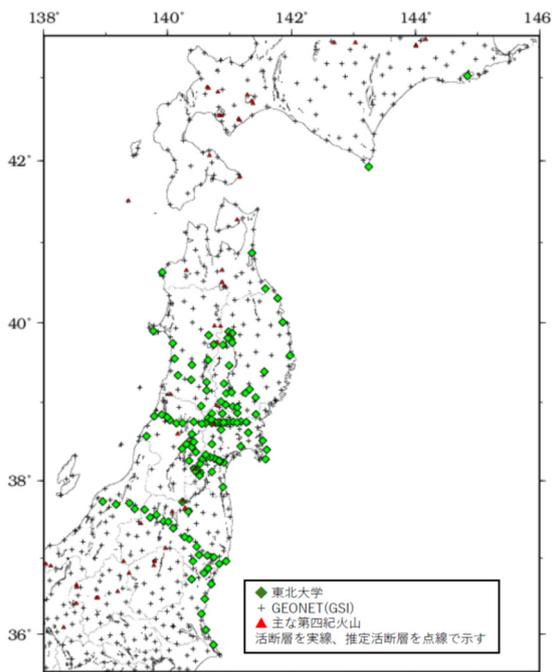


図1 GNSS観測点配置図。当センターが運用する観測点を◇印で示す。

表1 KB構築環境。wikiソフトウェアの動作に必要なソフトウェアもあわせて記す。

OS	: Ubuntu 22.04.4 LTS (https://ubuntu.com/)
ウェブサーバ	: Apach ver. 2.4.52 (https://httpd.apache.org/)
ソフトウェア	: Mediawiki ver. 1.39.6 LTS (https://www.mediawiki.org/) php ver. 8.1.27 (https://www.php.net/) MariaDB ver. 10.6.16 (https://mariadb.org/)

2. ナレッジベースの構築と運用

KBには、基本的な情報として(イ)観測点の諸元、(ロ)事務手続等に関する情報、(ハ)観測点保守作業履歴、(ニ)観測ノウハウ、(ホ)観測データ解析結果の5つの項目を掲載することにした。これらを分かりやすく掲載できるように、日本語入力・表示に対応し、表形式及びリスト形式表示、写真等の画像・PDF形式ファイルの表示、外部

の地図表示サービスの埋め込み、掲載記事の検索機能を有するという条件に加えて、ページ作成や編集作業を誰でも簡単にできること、ソフトウェア開発の継続性が見込まれることも考慮して、wikiソフトウェアシステム Mediawiki^[1] を採用した。KBの構築環境を表1に示す。なお、KBには事務手続上の個人情報が含まれていることもあり、このサーバマシンはオンプレミスにて、KBの公開範囲は当センターイントラネット上のみとし、パスワード認証によって閲覧を制御するようにした。

図2にKB上の主要ページの構成を示す。図3の観測点分布図及び一覧表のページから、各観測点の諸元や事務手続等に関する情報が掲載された個々の「点の記」のページ(図4)を閲覧することができ、さらにこのページから随時実施される保守作業履歴を表示・閲覧することができる(図5)。

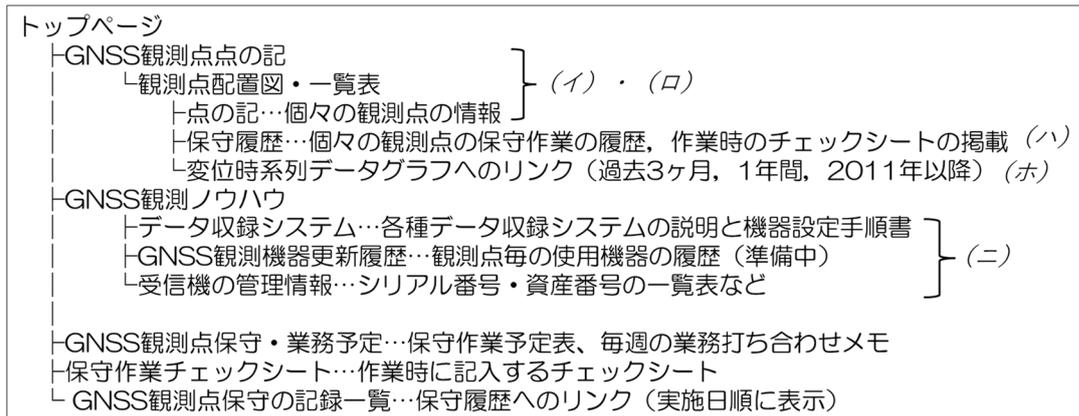


図2 KB主要ページの構成。(イ)～(ホ)は文中の掲載項目の種類を示す。

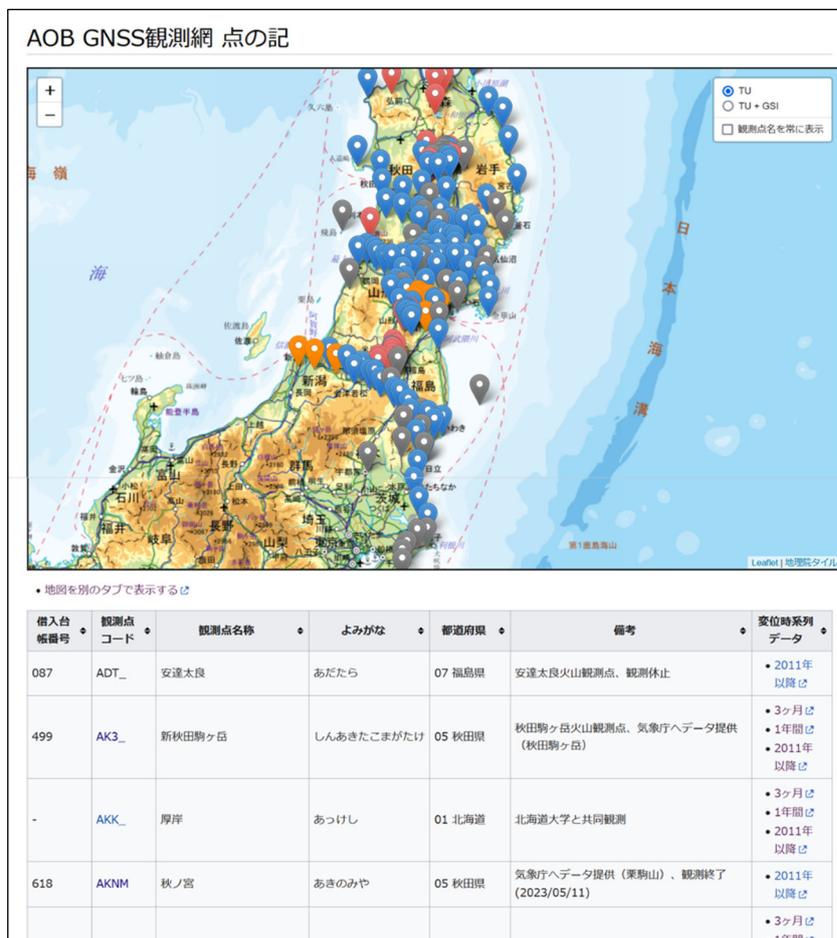


図3 GNSS観測点配置図及び一覧表のページ。地理院地図上に観測点分布図を重ねて表示している。

AKT_ 秋田

観測点名	秋田(あきた)
観測点コード	AKT_
所在地	秋田県秋田市將軍野南1丁目14-46
緯度	39.74627°
経度	140.08257°
標高(楕円体高)	25 m (64 m)
アンテナ型式	ASHTECH CHOKE RING ANT. (P/N: 700936 REV D) (S/N: 12757)
アンテナIGSコード	ASH700936D_M SNOW
受信機型式	Leica GRX1200+GNSS (P/N: -) (S/N: 495403)
受信機IGSコード	LEICA GRX1200+GNSS
観測開始日	1994/07/06
観測点移設日	-
観測終了日	-
アンテナ設置様式	ポルト
受信機等設置場所	A棟2階テレメータ送受信室

観測点周辺地図

<http://yuze.aob.geophys.tohoku.ac.jp/maps/gnss/gnss-net.html?zl=15&lat=39.74627&lon=140.08257>

地権者 [\[編集\]](#) | [ソースを編集](#)

地権者	東北大学
数量	- m ²
使用料	- 円
担当部署	-
担当者	-
連絡先	-

電力契約 [\[編集\]](#) | [ソースを編集](#)

お客さま番号	■■■■■■■■■■
供給地点特定番号	■■■■■■■■■■
契約名義	国立大学法人 東北大学
使用場所住所	秋田市將軍野南1丁目14-46
契約種別・容量	従量電灯B・40A

通信回線契約 [\[編集\]](#) | [ソースを編集](#)

回線種類	フレッツ・光NEXT
回線番号/電話番号	■■■■■■■■■■
契約名義	-
ゲートウェイIPアドレス	10.0.64.1/24

訪問時の注意事項・連絡先 [\[編集\]](#) | [ソースを編集](#)

水道使用後は、凍結防止のため水抜きして止水栓を閉めること。

訪問時の連絡先	-
連絡先電話番号	-

配線図 [\[編集\]](#) | [ソースを編集](#)

AC系統	
雙コンセント	
└耐雷トランス	
└サージレスタップ	
└3口コンセント(IPPpower接点No.3で制御)	
└過放電防止装置AC入力	
└COSEL社製定電圧電源装置(PLA50F-15)AC入力	
└CITEK社製 JS7002充電器(ノーマルモード)90Ah鉛蓄電池	
└IPPpower(ACアダプタ)	
DC系統	
過放電防止装置	
└CHG端子一定電圧電源装置DC出力(15V)	
└BAT端子90Ah鉛蓄電池	
└OUT端子	
└12V-5V DC-DC(COSEL MGS151205)スイッチングハブ(Buffer Illo LSW4-TX-5EP)	
└Leica GRX1200+GNSS受信機(IPPpower No.1で制御)	
└ALIX-PC(IPPpower No.2で制御)	

その他 [\[編集\]](#) | [ソースを編集](#)

変位時系列データ

- [3ヶ月](#)
- [1年間](#)
- [2011年以降](#)

保守履歴 [\[編集\]](#) | [ソースを編集](#)



アンテナ設置状況



図4 諸元・事務手続等に関する情報等から構成される「点の記」ページ(秋田観測所の例)。

MROK 旧群岡中学校 保守履歴

2023年7月11日(火) 作業者：鈴木秀市・佐藤真樹子 [編集 | ソースを編集]

経緯・目的 [編集 | ソースを編集]

- ルーターの交換
- 電源装置の更新
- ALIX-PCの交換
- 鉛バッテリーの交換
- 携帯端末の交換
- 雷ガードの設置
- 看板の更新
- 備品シールの貼付 (受信機・キャビネット)

作業内容 [編集 | ソースを編集]

- 受信機のIPアドレスを172.16.73.6、NetViewソフトウェアとの通信ポートを8002番に変更
- 受信機のシリアルポートAのボーレートを38400baudに変更
- ALIX-PCを、持参したデータ収録設定を変更したものに交換
- 電源装置を改良型電源装置に交換
- 鉛バッテリーを18Ahから40Ahに交換
- ルーターをRTX830に交換
- 携帯端末をNTT docomo(LG社製) L-03D (SIM:OCNモバイルONE for business使用)に交換
- 雷ガードを設置
- 受信機、キャビネットに備品シールを貼付
- 看板を東北大のものに更新

写真 [編集 | ソースを編集]

- 写真フォルダ
- GNSS観測点保守シート (PDF)

図5 保守履歴ページ(旧群岡中学校観測点の例)。

GNSS 観測点保守シート Ver. 0.3

観測点基礎情報
 観測点名コード: MROK 観測点地名・施設名: 旧群岡中学校

作業者: 鈴木秀市 作業日 (YY/MM/DD): 2023 / 07 / 11

作業開始・終了時刻: 13:50 ~ 15:20 同観測点前の保守観測点:

現地対応者等の情報: 西倉達也 総務課財政係 一歩 2人に連絡
 作業終了後にも連絡なし。施設長様等のセキもいに来た。

観測機材情報
 GNSS アンテナ型式: JAVAD RingAnt-DM S/N: ? レドーム: 有 (タイプ: SCIS) 無
 GNSS 受信機型式: JAVAD DELTA-G3T S/N: 01082
 アンテナ設置方法: 独立ビラー 壁面立上 ポルト 挟み込み その他 C径: 3D 5D 8D
 給電方式: AC電源のみ AC+過放電防止装置 AC+過放電防止装置+定電圧電源 AC+UPS
AC+TOPCON 無停電電源装置 太陽光発電 その他
 バッテリ: 鉛蓄電池 (20 Ah) リチウム電池(種類等:) (Ah) 無
 電圧制御: IPPower WatchBOOT/LANdeBOOT その他
 テレメータ: 有線(回線種別: ISDN 光 その他) (電話番号:)
携帯回線(3G LTE)(電話番号: 02-1061-5295) その他
OCN MV 02 3600 225370

受信システム関連
受信機内部記録 (メディア種類: 容量:)
 (記録形式: RINEX(ver.) ATOM T06 JPS その他)
ALIX (収録スクリプト名: com2rxn top2rxn asi2rxn 5700trnx isp2rxn その他)
その他

外観チェック
 GNSS 受信機収納箱: 問題無 問題有
 GNSS アンテナ周辺: 問題無 問題有 () 屋外部分に設置
 GNSS アンテナケーブル: 問題無 問題有 () 屋外部分に設置
 その他: 問題無 問題有 ()

GNSS 信号受信環境
 GNSS アンテナ上空視界・周辺環境: 問題無 問題有 ()

データ収録チェック
 (収録装置ごとに確認方法とその結果を記す)
 ALIX に接続、show_jps2rxn コマンドにより***.jps ファイルが作成・更新されているを確認

その他保守記録・留意事項

13:53 受信機のシリアルポートAのBaudRateを「38400」に変更する 1:ok
 ALIX-PCと通信しシャットダウンする 4:ok
 PCネットワーク設定 (192.168.0.100) 5:ok
 TerraTerm: ssh gps@192.168.0.5 (パスワード認証) 6:ok
 PW1 → su → PW2 → shutdown -h now

13:54 受信機の電源オフ
回収機材の撤去 設置機材レイアウト (据付済機材: 丸・タ・A・X・IPover・カメラ等)
バッテリー電圧確認 (記録前 12.89V)
配線、改良型電源の電源オン ※ ALIX-PCの電源は抜いておく!
IPPower No.1の電圧が15Vになるよう定電圧電源を調整 (調整後 15.11V)
充電機の動作モードがノーマルになっていることを確認 IPポートも確認変更 (ポート8002)

14:43 受信機の電源オン、受信機状態確認 (172.16.73.6) IP変更
 ALIX-PCの電源オン、データ収録チェック ルータ電源、ON Baud Rate 変更

14:43 yubama (130.34.96.80) への ping 確認 ping 1:ok
看板の更新 4:ok
雷ガードの設置 5:ok
備品シールの貼付 (受信機、キャビネット) 6:ok

次回保守向けメモ

① 旧群岡中では観測点の一部を「1:2:3:4:5:6」相観測点として使用している状況 (～15:00)
 「1:2:3:4:5:6」相観測点が開いている時間帯であれば、現場から連絡して5:55にて観測点の出入り可能。
 「1:2:3:4:5:6」相観測点が開いていない時間帯の場合、機械整備の解除/セキが必要になるため担当の方に来た場合、必要がある。
 → 事前に作業時間帯も連絡して観測点の都合を確認する必要あり。

② 長年使用されている古いキャビネットの扉、窓が閉か開かない状態にあり、このため今回は屋外部の電源ケーブルについて遮断の確保が必要 → 外に出る必要がある場合は予め相談して対応が必要。

保守シート Ver. 0.3 (200920)

図6 保守作業シート(旧群岡中学校の保守作業時の例)。

保守作業の実施内容については、その記入内容が多岐に渡るため標準化は容易ではなかったが、共通作業事項欄と自由記入欄から構成される保守作業チェックシートを導入して、事前に作業内容の確認等を行うとともに、作業後はシートを電子化してKB内に保存し、作業内容のメモを記録・共有できる体制を整備した(図6)。これまでの保守作業では、個人で所持する野帳に作業メモを記しており、場合によっては散逸することもあった貴重な一次情報を統一したフォーマットで蓄積できるようになった。さらに保守作業が必要な観測点の状況や作業内容などは別途Googleスプレッドシートを利用し、情報の共有を図ることで情報を集約するとともに、それらの記録も散逸を回避することに成功した。これらのスプレッドシートへは保守履歴のページ等からリンクを作成しており容易にアクセスすることが可能である。その他、図7に示すように各観測点の観測データ解析結果である日座標値の時系列グラフ(過去3ヶ月分、過去1年分、2011/3/11以降の3種類)をKB上にアップロードして提供したことによって、データの異常検知も容易に行うことができるようになった。このようにKBをポータルとして作業効率の大幅な向上が実現した。

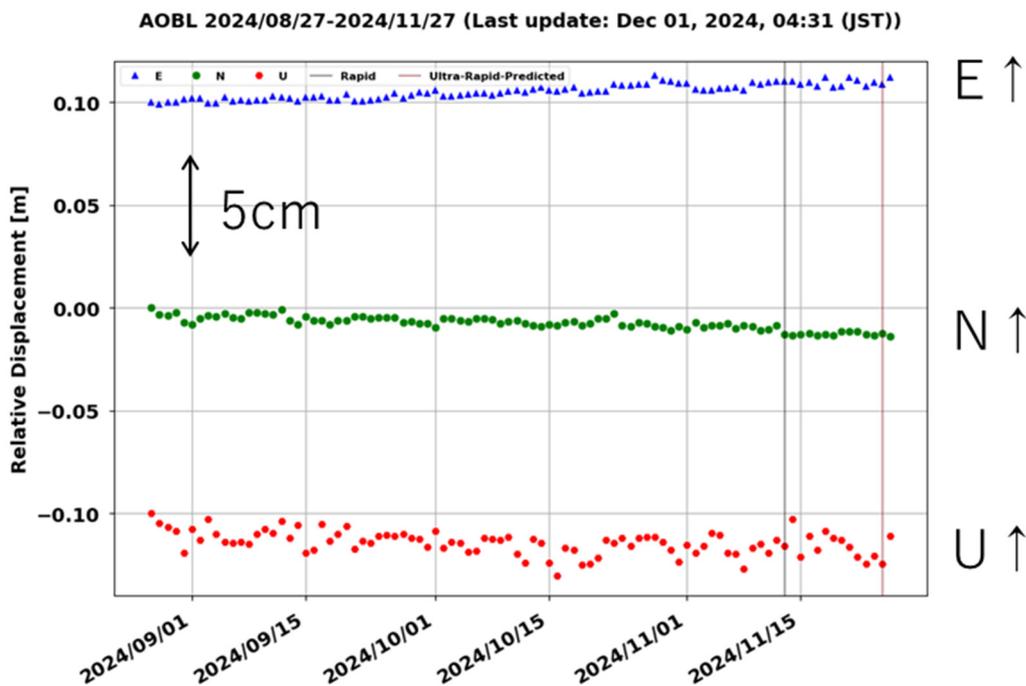


図7 観測点ごとの観測データ解析結果である日座標時系列グラフ(青葉山、2024/8/27～2024/11/27の過去3ヶ月間分の例)。△印が東西成分(東向き変位を+方向に表示、上段)、○印が南北成分(北向き変位を+方向に表示中段)、六角形印が上下成分(上向き変位を+方向に表示下段)の相対変位をそれぞれ示す。

3. おわりに

GNSS 観測に関する諸情報を、構築した KB に集約することで、目的としていた保守作業の属人化の回避や、業務自体の「見える化」を一定程度達成することができた。今後、KB 上に情報が蓄積していくことにより、情報を容易に次の世代に引き継ぐことも期待できる。一方、他の観測項目の取り込みや突発災害等にもなう緊急観測等における同 KB の活用については必ずしも十分ではない。KB の活用自体を目的化することなく、あくまで業務の効率化に資するシステムとして活用することを念頭に、今後も改良等を進めていきたい。

参考文献

- [1] Mediawiki, <https://www.mediawiki.org/>

月面天文台 1-50MHz 帯の電波観測システムの紹介

惑星プラズマ・大気研究センター

佐藤 慎也

1. はじめに

宇宙航空研究開発機構(JAXA)は、月面から天体観測を行う月面天文台を設置し、早ければ 2028 年度から試験的な観測を始める方針を示している。国立天文台と国内の複数の大学が月面天文台の検討を進めており、惑星プラズマ・大気研究センター(PPARC)はプリアンプの検討を担当している。PPARC はこれまでに欧州の木星氷衛星探査機 JUICE のプリアンプを開発してきており、この実績を月面天文台プリアンプにも用いる。今回は、月面天文台の概要と私が行った月面天文台用プリアンプ試作機の実験結果について報告する。

2. 月面天文台について

月面天文台の観測の目的の一つに「宇宙の暗黒時代」を探るといふものがある。宇宙にはビッグバン後に最初の星が光り始めるまでの、宇宙年齢で 1 億歳頃までの「宇宙の暗黒時代」と呼ばれる期間がある。この時代は光を放つ天体が存在しない期間で、ほとんど中性水素ガスやヘリウムで構成されていたと考えられている。

この時代の宇宙を探る手段として中性水素ガス 21cm スペクトルの観測がある。原子や分子は電磁波を放射したり吸収したりする。放射や吸収によって原子、分子のエネルギー状態が変化する。放射や吸収する電磁波の波長は、物質によって固有の値となっている。中性水素ガスの場合は波長が 21cm、周波数としては 1420MHz の電磁波である。この中性水素のスペクトル構造は寿命が長く宇宙初期の情報が保存されており、これを観測することで当時の宇宙の状態を探ることができると考えられている。この電波は宇宙の膨張に伴う赤方偏移によって波長が長くなり(周波数が低くなるということ)、1-50MHz 帯の電波として観測することができる。しかし、地上ではこのような宇宙からの低周波の電波は地球の電離層の影響ですべてが観測できるわけではない。電離層とは、地球を覆っている地上から 70-500km の高さに位置する大気中の原子や分子の一部が電離した状態になっている領域である。電離層の影響により 1-50MHz の電波のうち、10MHz より低い宇宙からの電波を地上では観測することができない。そこで、電離層が極めて薄い月面に天文台を設置して観測を行うというものである。

月面天文台は月面に 5m 程度の長さのダイポールアンテナを複数台設置し、電波干渉計として動作させて電波を観測するというものである。これらの観測点は地球から届く人工雑音を避けるために多くを月面裏側に設置する構想になっている。

3. プリアンプ試作機の実験結果

3.1 プリアンプ試作機について

PPARC では、この観測で用いるプリアンプ受信機の検討を行っており、私はプリアンプ受信機の試作機の実験結果・改善を行った。プリアンプとは受信機の初段に置かれる信号増幅器のことで、アンテナで受信した信号を増幅する役割をしている。月面天文台用プリアンプの試作機は木星探査機 JUICE のプリアンプ試作機をもとに 2023 年度に明和システム(株)が製作した物である。試作機の納品時の構成を初期構成と呼ぶことにする。

図 1 にそれぞれのプリアンプの写真を示す。プリアンプはダイポールアンテナからの 2 信号を入力とする。月面天文台用と JUICE 用の試作機の大きな違いは表 1 に示すように、JUICE プリアンプでは回路内で 2 信号を増幅した後合成して出力する構成であるが、月面天文台プリアンプは増幅した 2 信号を出力する構成となっていることである。これらのプリアンプでは増幅素子として接合型電界効果トランジスタ(JFET)を使用しており、初期構成では JUICE プリアンプでは並列に 2 つ、月面天文台プリアンプでは並列に 4 つ接続されたものになっている。図 1 の JUICE プリアンプは JFET の個数を同数にし、それぞれのプリアンプの特性比較を行いやすくする目的で、初期構成から、1 入力について 2 つの JFET をはんだで並列接続したものを 2 つ用意し、2 つのソケットに挿入し

JFET を並列に 4 つ接続した構成の物になっている。(図中の枠)



JUICE プリアンプ



月面天文台プリアンプ

図 1 プリアンプの写真

表 1 2 つのプリアンプ試作機の構成の違い(初期構成)

	JUICE プリアンプ	月面天文台プリアンプ
入出力端子数	2 入力 1 出力	2 入力 2 出力
JFET 数	並列に 2 つ	並列に 4 つ

まずは、2 種類のプリアンプの特性計測を行い比較し、次に月面天文台プリアンプの利得向上と雑音低減を目的に、それぞれのプリアンプの素子構成を変更し特性変化の傾向を調査した。

3.2 プリアンプの特性比較

2 種類のプリアンプの特性試験を実施した。それぞれのプリアンプの 1-50MHz 帯の利得測定と雑音測定を行い特性を比較をした。表 2 はその特性測定結果である。プリアンプの特性比較のため JUICE プリアンプの JFET は初期構成から 4 つ並列接続したものに變更し、それぞれのプリアンプの JFET を同じ個数にした。

表 2 プリアンプの性能比較

JUICE プリアンプ

月面天文台プリアンプ

周波数 MHz	利得 dB	入力換算 ノイズ nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
1	20.3	1.9
2	20.3	1.88
5	20.3	1.84
10	20.3	1.86
20	20.2	1.86
30	19.8	1.93
40	19.4	1.95
50	19.4	1.86

周波数 MHz	OUT +SIG		OUT -SIG	
	利得 dB	入力換算 ノイズ nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$	利得 dB	入力換算 ノイズ nV/ $\sqrt{\text{Hz}}$
1	22.8	1.99	22.8	1.99
2	22.8	1.97	22.7	1.99
5	22.8	1.97	22.8	1.95
10	22.8	2.04	22.7	2.06
20	22.7	2.19	22.9	2.14
30	22.5	2.29	22.7	2.34
40	21.8	2.29	22.2	2.51
50	20.8	2.45	21.2	2.75

この結果より、利得は月面天文台プリアンプの方が大きく、雑音は JUICE プリアンプの方が低くなっていることがわかる。プリアンプとしては増幅度はより大きく、雑音はより低いものが望まれるため、このプリアンプの構成から増幅度を変更し特性の影響調査を行い、特性の改善を試みた。

3.3 プリアンプの特性調査・改善

プリアンプの特性調査としては、増幅素子として使用している JFET の増幅度の調整をし特性測定を行いプリアンプ全体への影響を調査した。JFET は図 2 のようにゲート、ドレイン、ソースの三端子の構成になっておりソースとドレインに接続する抵抗 R_s , R_d を調整し、ゲート・ソース間電圧とドレイン電流を変更させることで増幅度を変更できる。

今回はプリアンプに接続する JFET の個数や JFET に流入する電流電圧を抵抗によって調整し増幅度と雑音の変化傾向を調査した。

表 3 に JUICE プリアンプ、表 4 に月面天文台プリアンプの調整後の測定結果の一例を示す。増幅度の点からいえば JFET の個数が多い方が増幅度が大きくなるため、ここでは、それぞれ JFET を 4 つ並列に接続し、 R_s , R_d を変更して特性を比較した。

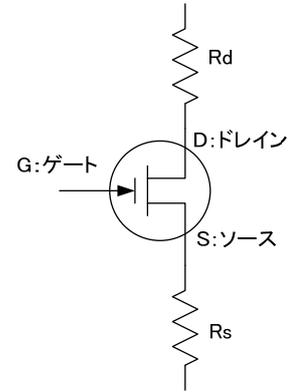


図 2 N 型 JFET

表 3 JUICE プリアンプの調整結果

Rs: 330 Ω, Rd: 560 Ω			Rs: 510 Ω, Rd: 820 Ω			Rs: 160 Ω, Rd: 270 Ω		
周波数 MHz	利得 dB	入力換算 ノイズ nV/√Hz	周波数 MHz	利得 dB	入力換算 ノイズ nV/√Hz	周波数 MHz	利得 dB	入力換算 ノイズ nV/√Hz
1	20.1	1.93	1	18.4	2.16	1	22.5	1.74
2	20.1	1.88	2	18.3	2.14	2	22.4	1.74
5	20	1.86	5	18.3	2.09	5	22.4	1.72
10	19.9	1.9	10	18.3	2.11	10	22.3	1.74
20	19.9	1.9	20	18.3	2.11	20	22.2	1.74
30	19.6	1.95	30	18.1	2.14	30	21.8	1.78
40	19.4	1.95	40	17.9	2.16	40	21.4	1.78
50	19.4	1.95	50	17.9	2.16	50	21.3	1.78

表 4 月面天文台プリアンプの調整結果

周波数 MHz	OUT +SIG		OUT -SIG		周波数 MHz	OUT +SIG		OUT -SIG	
	利得 dB	入力換算 ノイズ nV/√Hz	利得 dB	入力換算 ノイズ nV/√Hz		利得 dB	入力換算 ノイズ nV/√Hz	利得 dB	入力換算 ノイズ nV/√Hz
1	22.8	1.99	22.8	1.99	1	24	2.06	24	2.04
2	22.8	1.97	22.7	1.99	2	23.9	2.04	23.9	2.04
5	22.8	1.97	22.8	1.95	5	23.9	2.06	24	2.02
10	22.8	2.04	22.7	2.06	10	23.9	2.11	24	2.09
20	22.7	2.19	22.9	2.14	20	24	2.19	24.3	2.11
30	22.5	2.29	22.7	2.34	30	23.8	2.34	24.2	2.31
40	21.8	2.29	22.2	2.51	40	23	2.51	23.4	2.45
50	20.8	2.45	21.2	2.75	50	21.7	2.78	22.2	2.69

これらの結果を見ると増幅度についてはどちらのプリアンプも抵抗を小さくすると増幅度が大きくなることがわかる。雑音については抵抗値を変えても月面天文台プリアンプでは大きな改良が見られない。対して JUICE プリアンプでは抵抗値を小さくすることでどの周波数でも低下していると判断できた。

以上の結果から、JUICE プリアンプを基にした JFET を 4 つ並列に接続し、抵抗を $R_s: 160 \Omega$ 、 $R_d: 270 \Omega$ としたものがプリアンプの構成案として最良の物と判断した。

3.4 今後の計画

今回、JFET の調整を行い増幅度と雑音の特性において最良な素子構成を見出した。今後はこの回路構成を基に新たにプリアンプが製作され、更に特性改良をしていくことになる予定である。

4. 謝辞

惑星プラズマ・大気研究センターの土屋史紀教授、三澤浩昭准教授には、宇宙物理学分野についてご教授いただいたり、月面天文台プリアンプ特性測定についてのご指導、ご助言いただきました。心から感謝申し上げます。

理学研究科で一番高く複雑な建物における火災訓練

理学教育研究支援センター・安全衛生管理室
澤口 亜由美

1. はじめに

火災は被害の大きい災害のひとつである。地震と異なり、基本的にひとつの建物のみが影響を受けるため、理学研究科では毎年ひとつの建物を対象に火災訓練を実施してきた。

ひとつの建物を使用しているのが単一の専攻の場合には、一定の相互理解があり、災害体制も構築しやすいが、最近は専攻混在型の建物が増えている。また、理学研究科では事務組織改編により、専攻事務室がなくなったことで、各部屋の責任者等の細かな情報を保持することが難しくなっている。

今年度、最も複雑に専攻が混在している建物(図1)の火災訓練を実施したが、今までにない多くの困難があった。この火災訓練実施までに発見された問題や、実施結果を報告する。



図1 理学研究科合同A棟

2. 予行訓練

2.1 訓練の計画

最近の火災訓練は、地震を想定した防災訓練と同時に実施してきた。しかし、当該建物においては、専攻間の連携など、様々な問題が予想されたことから、10月の防災訓練の実施の前に、6月に予行訓練を計画した。

2.2 問題(1) 隣は誰?

当該建物は同一フロア内においても2-5専攻が混在している。そのため、会話をするどころか、顔も知らない場合も想定された。この問題を解決するために、同じフロアの者が顔を合わせる機会として、フロアごとに情報交換会を行った。しかし、開催にあたっては、部屋の使用者等の網羅的な情報がないという問題にも直面した。

2.3 問題(2) 建物使用者の主体は誰?

通常の火災訓練では、対象建物の主要専攻へ担当者の選任や連絡を依頼している。しかし、当該建物では、主となる専攻がなかったため、安全衛生管理室がこれらの対応を先導する必要があった。

2.4 問題(3) 担当者は誰?

建物の使用者は、想定よりも所属や身分が多様であった。フロアによっては名誉教授の居室と学生居室、倉庫だけで常勤の教職員がいないというところもあり、災害時のフロアごとの担当者を立てることが難しい場合があった。

2.5 問題(4) 消防設備を使えるのは誰?

当該建物は、消防設備を使って放送が行える仕様となっていたが、放送設備を実際に使用した経験のある者がいないことがわかった。また、当該建物における防火扉などの設備の種類と使用法、位置が多様であり、情報発信を充実させる必要があることがわかった。

3. 予行訓練と火災訓練

6月に実施した予行訓練ではそれぞれの担当者が業務を知り、適切な対応を取ることができた。トラブルも多く発生したが、各人が問題に気づき、災害時の対応を知り、訓練の必要性を感じるきっかけになったと考えている。

6月の予行訓練の成果として、10月の訓練では他者をフォローする動きもみられるなど、円滑な訓練が行われた。一方で、10月に実施した火災訓練では、地震と併発した想定となり、単独災害と異なる点に気づかされた。こうした場合分けが増えるほど複雑化し、実効性が下がってしまうので、本当に必要なことは何か、適切に要素を抽出する必要がある。

4. 今後

今回の訓練では、火災報知器のボタンの押し方や防火扉の閉め方といった個人単位での気づきから、放送設備の使い方や警報鳴動範囲など研究科全体に関わる部分まで、多くの問題を把握することができた。例えば、火災報知器のボタンを押す場合、プラスチックのカバーを壊す必要があると考えている人が少なくなかった(図2)。また、防火扉の場所がわからない、閉め方やタイミングがわからないという声もあり、掲示で場所を知らせたり(図3)、防火扉の閉め方を訓練で練習することができる等、訓練の大きな意義を改めて確認する機会となった。こうした個人単位での気づきを知ることができたのは、主要専攻等のない建物のため、細かな部分まで訓練運営に携わったからこそ得られた体験だと考えている。

これらの問題は、その建物内で解決するだけでなく、また他の建物へもフィードバックしていくことが訓練の大きな役割のひとつと考えている。

災害の想定は場合分けが多くなりやすいが、本質を見極め、シンプルにしていくことでその実効性が高まる。特に人の流動性の高い大学において、この体制を維持していくためにはより重要となる。3年後には、今回訓練を行った建物と、渡り廊下でつながった建物も含めたより複雑な火災訓練を実施できるよう、今回構築した体制を維持し、災害により強固な組織、建物に育てていきたい。



図2 火災報知器のボタン

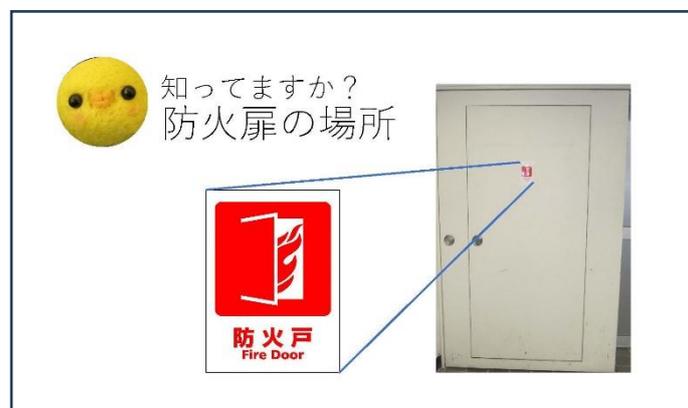


図3 防火扉の掲示

令和6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:2024年1月から2024年12月

小野寺 知美

- ・ 小野寺知美,「銅のTIG溶接が難しい理由 -実践から学んだこと-」,2024.12.10,
令和6年度東北大学大学院理学研究科・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 慎也

- ・ 佐藤慎也,「月面天文台 1-50MHz帯の電波観測システムの紹介」,2024.12.10,
令和6年度東北大学大学院理学研究科・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

澤口 亜由美

- ・ 澤口亜由美,「理学研究科で一番高く複雑な建物における火災訓練」,2024.12.10,
令和6年度東北大学大学院理学研究科・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」,2024.9.12-13,
第11回ガラス工作技術シンポジウム,富山大学,口頭発表

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・地殻変動連続観測ナレッジベースの発展」,2024.10.30-11.1,
日本測地学会第142回講演会,大和ミュージアム、ビューポートくれ,ポスター発表
- ・ ○出町知嗣・海田俊輝・鈴木秀市・佐藤真樹子・太田雄策・三浦哲,「GNSS・地殻変動連続観測ナレッジベースの構築」,2024.12.10,
令和6年度東北大学大学院理学研究科・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

- ・ ○南部健一・柏木茂・柴田晃太郎・高橋健・長澤育郎・武藤俊哉・日出富士雄,「東北大学先端量子ビーム科学研究センター三神峯事業所加速器施設の現状」,2024.7.31-8.3,
第21回日本加速器学会年会,山形テルサ,ポスター発表
- ・ ○南部健一・柴田晃太郎・高橋健・長澤育郎,「東北大学先端量子ビーム科学研究センター三神峯事業所加速器施設の現状報告」,2024.9.18,
東北地区技術職員研修,東北大学理学研究科,ポスター発表

芳賀 健也

- ・ 芳賀健也, 「機会学習による物体検出技術を導入した顕微鏡画像データ解析の自動化」, 2024.12.10, 令和6年度年度東北大学大学院理学研究科・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・佐久間由香・今井正幸「モデル生体膜の膜粘度測定における顕微鏡画像データ解析の自動化」, 2024.12.16-18, 第12回ソフトマター研究会, 大阪大学基礎工学部国際棟・シグマホール, ポスター発表

山田 達也

- ・ 山田達也, 「神岡実験施設での取り組み」, 2024.12.10, 令和6年度東北大学大学院理学研究科・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

吉田 慎一郎

- ・ 吉田慎一郎, 「東北大学に導入した多機能・高性能 NMR の紹介」, 2024.9.18, 東北地区技術職員研修, 東北大学理学研究科, ポスター発表
- ・ ○吉田慎一郎・佐藤和美, 「巨大分子解析研究センターにおける地震対策、安全管理、依頼分析を通じた教育と研究支援」, 2024.12.10, 令和6年度年度東北大学大学院理学研究科・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

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:2024年1月から2024年12月

南部 健一

- ・ 南部健一・柏木茂・柴田晃太郎・高橋健・長澤育郎・武藤俊哉・日出富士雄, 「東北大学先端量子ビーム科学研究センター三神峯事業所加速器施設の現状」, 第21回日本加速器学会年会プロシーディングス, pp. 1126-1128, 2024

根本 憲一

- ・ K. Ichimura, K. Chiba, Y. Gando, H. Ikeda, Y. Kishimoto, M. Kurasawa, K. Nemoto, A. Sakaguchi, Y. Takaku, Y. Sakakieda, 「Development of a Method to Measure Trace Levels of Uranium and Thorium in Scintillation Films」, Prog. Theor. Exp. Phys. 2024, 063H01 (8pages)

各種機関・団体からの表彰・受賞一覧

対象期間:2024年1月から2024年12月

扇 充

- ・ 硝子機器開発・研修室,「令和5年度総長業務功績賞」,硝子工作技術による特殊ガラス実験装置の設計・製作支援,東北大学片平さくらホール,2024.3.19

佐藤 由佳

- ・ 硝子機器開発・研修室,「令和5年度総長業務功績賞」,硝子工作技術による特殊ガラス実験装置の設計・製作支援,東北大学片平さくらホール,2024.3.19

澤田 修太

- ・ 硝子機器開発・研修室,「令和5年度総長業務功績賞」,硝子工作技術による特殊ガラス実験装置の設計・製作支援,東北大学片平さくらホール,2024.3.19

芳賀 健也

- ・ 芳賀健也,「令和6年度理学研究科技術賞」,機械学習による物体検出技術を導入した顕微鏡画像データ解析の自動化,理学研究科 大講義室,2024.12.10

吉田 慎一郎

- ・ 吉田慎一郎・佐藤和美,「令和6年度理学研究科技術賞」,巨大分子解析研究センターにおける地震対策、安全管理、依頼分析を通じた教育と研究支援,理学研究科 大講義室,2024.12.10

編集後記

令和6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6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。

年度末のこの時期としては例年になく青葉山の片隅に残る積雪を眺めつつ、今年の編集後記を書いています。今年の1年間も、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。

本技術部報告も構成は例年通りとなっております。巻頭言では、都築研究科長から数学における「技術」の大切さの例が紹介され、研究の本質を支える「技術」の重要性とそれを日頃から支えている技術職員の方々への感謝が述べられています。また、「国際卓越研究大学」の認可に伴う技術部を含む研究・教育活動の支援体制の充実への期待が述べられています。続いて、「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10日に理学研究科大講義室にて開催されました。「技術賞」は2件あり、詳細は巻頭言で紹介されていますので、ここではお名前のみですが、物理学専攻の芳賀 健也様と、巨大分子解析研究センターの吉田 慎一朗様ならびに佐藤 和美様が受賞されました。「特別講演」では、地学専攻の武藤 潤先生による「実験室で、地震を見る・診る・mill?」と題して、実験室で岩石破壊実験を通して地震発生メカニズムを研究するという最新の研究をご紹介します。「技術関連発表」は5件あり、特に、安全衛生管理室の澤口さんの合同棟の火災訓練に際して明らかになった様々な盲点は、今後早急に改善されることを切に願います。これらに加えて、「発表・論文・受賞一覧」等がまとめられています。なお、総長賞の発表の時期が遅いためご紹介が遅れますが、硝子機器開発・研修室の扇 充様、澤田 修太様、佐藤 由佳様が、令和5年度の東北大学総長業務功績賞(技術部門)を共同授与されました。この場を借りてお祝い申し上げます。本誌を是非、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7年3月 技術部報告編集委員会委員長 橋本 久子

令和6年度 技術部報告 Vol. 37 2025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

技術長

南部 健一

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、澤田 修太、佐藤 由佳、藤井 登、
高橋 直生、山田 達也、出町 知嗣、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。

