

CONTENTS

P1 中性子科学を日本の強みに P2 就任で挨拶 P2 「中性子ビーム利用、いつでもどこでも」を目指して P4 負ミュオンを用いた小惑星リュウグウ試料の元素分析 P7 新試験研究炉プロジェクトの紹介
P8 今後の茨城県中性子ビームライン事業 P9 J-PARC MLF情報 P9 JRR-3情報 P9 量子ビームサイエンスフェスタ2022/2023 P10 新会員のお知らせ P11 今後の行事予定

中性子科学を日本の強みに

日本原子力研究開発機構 理事
大井川宏之

国民の皆様は、茨城県東海村に世界最強クラスのパルス中性子源施設「J-PARC物質・生命科学実験施設(MLF)」と、世界有数の性能を誇る定常中性子源である研究用原子炉「JRR-3」があることを、どれだけご存じでしょうか？ほとんど知られていないのではないのでしょうか？

このような大規模中性子源施設が近接して設置されているのは、東海村の他には米国のオークリッジのみです。これらの施設を活用してイノベーションに結び付けていくことは、我が国が国際競争力を維持するためにはとても重要なことだと考えています。私はこれらの施設を運営する原子力機構の原子力科学研究部門の責任者ですが、施設を安定に運転するための予算や人員の確保にとっても苦勞しています。

JRR-3は新規制基準に適合するための耐震補強工事などの予算は確保でき、震災後約10年経った2021年2月に運転を再開することができました。しかし、予算全体は震災後に下がったまま戻っておらず、高経年化対応や燃料確保のための予算は、他の施設の維持費や研究費を圧迫しています。2022年度は何とか7サイクルの運転を達成できましたが、綱渡りが続いています。

J-PARCは他の原子力機構の施設に比べれば新しい方ですが、それでも共用運転開始後10年以上を経て、性能を維持・向上するには高経年化対策や装置の高性能化が必要です。また、原子力機構全体で人員を増やすことは難しく、J-PARCやJRR-3に人員を集中できていない状況です。

さらに、ウクライナ情勢に端を発した電気代の高騰

は、両施設の運転に大きな影響を及ぼしています。

なぜ世界トップクラスの施設を擁しているのに、予算や人員といった経営資源を集中投入できないのでしょうか。原子力機構内部での選択と集中だけでは限界があります。やはり、これらの施設の生み出す「価値」を国民の皆さんにしっかりと伝え、これらの施設を使った研究や開発の成果が我が国の競争力強化に直接的につながることを共通認識にまで引き上げる必要があると思います。

そのためにはどうすればよいのでしょうか。これらの施設を使った研究成果は多くの論文として公表され、一部はプレス発表も行われていますが、一部の業界紙を除き、新聞やTVやネットで大きく取り上げられることは少なく、なかなか国民の皆さまの目に触れることはありません。対照的なのは宇宙関連です。ロケットの打ち上げ、国際宇宙ステーションでの活動、小惑星探査の状況など、マスコミで大きく取り上げられ、国民の関心が高まり、それに応じてまたマスコミが取り上げるという正のフィードバックの構造です。

今、エネルギー源のグリーン化・海外依存度の低減、水素利用の促進などは、国民の皆様が関心が高まっている状況です。研究者の皆様には、中性子科学を駆使してこういった分野で研究成果を出していただき、施設の優位性について宣伝していただきたいと思います。また、産業界の皆様には、これらの施設で得た成果が社会実装されたら、是非、大々的にアピールしていただきたいのです。これらの地道な積み重ねが、施設の評価と中性子科学の認知度の向上につながると思います。中性子科学を我が国の「お家芸」として、学術、科学技術、産業の振興に活かすため、是非、お力をお貸しください！

理化学研究所
大竹淑恵

2023年4月より、日本中性子科学会の会長に就任いたしました、理化学研究所光量子工学研究センター中性子ビーム技術開発チーム、チームリーダーの大竹淑恵です。

中性子産業利用推進協議会の関係者の皆様これまでのご支援、ご協力で深く感謝いたします。また、ここに会長として、皆様にご挨拶の機会をいただき有難く存じます。

日本中性子科学会(以下、学会)は、2001年の創立から22年を経ており、新たなビジョンやアクションプランの策定・実行が益々重要になっています。

これまでの学会の歩みを顧みつつ、幅広くアカデミア/インダストリー領域を取り込むことで、SDGsにも貢献する活力ある中性子科学を推進していきたいと考えています。

このため、学会活動の見える化を目指し以下の活動を推進することで、多くの会員が参画し協働できる学会としていきます。

・基礎/応用、大型/小型施設、ユーザー/装置サイエンティスト(リサーチャー/テクニシャン)、理工学/人文社会学、など多様なアクターをエンカレッジする「サイエンス・ダイバーシティ」を推進します。

・常設委員会・特別委員会・部会・WGのレビューや改善等を行うことで、より多くの会員の利益となる、

未来に向けて実行力のある学会を実現します。

これらの活動を通じて、会員が学会活動に参画できる風土を作ります。また、会員同士の交流を大切にしていまいります。皆様のご意見やご要望を、学会の発展につなげてまいりますので、どうぞお気軽にお声掛けください。会員の皆様のご活動を支援し、明るい未来を感じることが出来る学会への発展に全力で取り組んでまいります。明るい未来作りには、会員の皆様とのつながりが不可欠です。なにとぞ、さらなるご理解とご協力を賜りますようお願い申し上げます。

この挨拶の内容は、学会のHP (<https://www.jsns.net/president>)にも掲載させていただいております。

ところで、わたくし自身は、この15年ほど理化学研究所において、新たな中性子線による非破壊観察の場を広げる取り組みである小型中性子源システムの開発、高度化、普及、新たな計測技術の開発などを進めさせていただいており、産業利用にも資する「いつでもどこでも中性子利用」がとりもなおさずサイエンス研究のすそ野を広げ、ピークを上げる役割に不可欠であることを痛感しております。学会ではさらに広い視野に立ったサイエンス・ダイバーシティの推進を目指し、中性子科学会を発展させ、さらなる明るい未来作りを産業利用推進協議会に関係する皆さまと一緒に取り組ませていただきたく存じます。皆様のご理解、ご協力、ご支援をよろしくようお願い申し上げます。

「中性子ビーム利用、いつでもどこでも」を目指して

前中性子科学会会長 (東北大学)
加倉井和久

昨年度末で中性子科学会会長を退任いたしました加倉井和久です。

この度中性子産業利用推進協議会の季報にご挨拶の機会をいただきましたので、情報共有の機会と捉え、昨年の末に日本中性子科学会として日本学術会議が「未来の学術構想」の策定に向けて公募した「学術の中長期研究戦略」に提案したビジョン「中性子ビーム利用、いつでもどこでも」を簡単に紹介させていただきます。

このビジョンは中性子科学会内に設置された中性子

科学推進委員会が中心となり、議論、検討されてきた内容に基づくものであります。「中性子科学推進委員会」は、中性子科学の中長期発展ビジョンとその推進法を策定し会長に提言する役割を持ち、中性子科学推進委員会の委員長は中性子科学会会員から選ばれますが、委員の中には外部(非会員)の有識者にも入っていただくことを想定しており、より広い視野で中性子科学の推進に資する議論をしていただこうというもので、2019年に科学会内に評議員である有馬孝尚氏を委員長として設置されました。当初推進協議会研究開発委員長を務められていた田平泰規氏(三井金属鉱業)にも委員の一人としてご就任いただき、特に中性子産業利用推進の観点から忌憚のないご意見をお願いいた

しました。田平氏退官後は木下圭介氏(トヨタ自動車(株))にこの委員会に参加していただいております。

今回の日本学術会議が「未来の学術構想」の策定に向けて公募した「学術の中長期研究戦略」は、未来を見据えて学術研究を振興し、人類社会に貢献していくために、多様な分野や視点に基づく科学者コミュニティからのボトムアップを重視し、周到な議論と準備を通じて、学術研究の中長期的「グランドビジョン」を明確化し、その実現に必要な「学術研究構想」を具体化しようとする第一歩であると捉えることができると考えております。

この未来を見据え、人類社会に貢献していく重要な戦略の一つとして、中性子ビームの利用が果たす役割は重要であるとの見解から、以下にあるように「中性子ビーム利用、いつでもどこでも」と題したビジョンを提案いたしました。(以下「学術の中長期研究戦略」申請内容から抜粋)

中性子ビームは、物質・材料・生命科学に留まらず、食や水に関する研究分野、環境問題や資源問題に関連する研究分野、インフラや自動車等工業製品の非破壊検査、文化財・考古学・古代生物学など、幅広い場面で応用が考えられる。この中性子ビームの利用による中長期研究戦略を特に重要な4つの観点から進める。

1) 新たな利用分野の開拓

中性子ビーム強度・輝度の向上により、生体物質の構造・運動解析や超高压実験による地球下部マントル中の軽元素の状態解明など、研究の深化が加速される分野が存在する。また、小型中性子源の利用による可視化技術で、橋梁や高速道路等の大型構造物の長寿命化、予防保全に資する非破壊の水素や塩素の高感度計測、文化財や考古学研究の進展が期待される。これらの新規利用分野の開拓に向けて、関連学会への情報提供、ホームページによる広報、各種ソーシャルネットワークサービスの適性を活かした広報に取り組む。

2) 新たな中性子源・中性子光学技術・計測／解析技術の向上

既存大型施設のJ-PARC物質・生命科学実験施設

(MLF)や研究用原子炉JRR-3と技術・人材交流を行い、計測技術の高度化に取り組む。この活動を中性子源や計測装置の設計・作製の指導的な役割を担う人材の育成としても位置づけ、先端中性子源計画(J-PARC MLF第2ターゲットステーション(TS2)及び研究用原子炉JRR-5)の実現につなげる。「いつでもどこでも使える中性子」に向けた新規中性子源の開発、中性子光学技術の向上や新たな検出器開発にも取り組み、JRR-5やTS2にもフィードバックする。

3) 人材育成

中性子ビーム利用に関わる施設・大学・研究機関・企業が、コミュニティとして人を育てるシステムを作る。中性子ビーム利用計測の科学的な意義を伝えるだけでなく、中性子ビーム利用に関わっている研究者(女性研究者を含む)の生き生きとした姿を積極的に見せ、中・高校生、高等専門学校生を含めた一般の方に中性子利用に対する魅力を広報する。また、ジェンダー、国籍、所属組織、国内の地域性、専門分野など様々な観点から中性子ビーム利用のダイバーシティを高める。

4) 量子ビーム連携

1)–3)を促進するため、他の量子ビーム関連学会との連携を強化する。例えば、研究者の要望に合った適切な計測手法を紹介できるワンストップの問合せ窓口を設置して、量子ビーム未経験者の要望に向き合い、世の中の課題解決に役立つ量子ビーム利用を実現する。量子ビーム連携は、共創的ビーム利用における人材育成・人材交流の観点でも推進する。

この4つの観点は全て中性子産業利用推進協議会が目指す産業界における中性子ビーム利用の推進にも重要な課題であると思いますので、今後は是非貴協議会と中性子科学会でのこのビジョンの実現に向けた活発な意見交換、議論を行い、気候変動やカーボンニュートラルを始めとするサステナビリティへの取組に対する「未来の学術・産業振興構想」の先駆けとなるような連携を推進することができればと思いますので、どうぞよろしくお願いいたします。

負ミュオンを用いた小惑星リュウグウ試料の元素分析

日本原子力研究開発機構
大澤崇人

はじめに

負ミュオンを用いた元素分析法の原理は半世紀以上前から提唱されていたが、実際に元素分析法として応用されはじめたのは比較的最近のことである。これは大強度のミュオンビームを加速器によって発生させることが可能になったためである^[1,2]。さらに、小惑星探査機はやぶさ2が地球に持ち帰った小惑星リュウグウ試料の分析にミュオンを応用すべく進めた研究開発によって、本分析法は著しい進展を遂げた^[3,4]。本稿ではミュオンを用いた元素分析法の原理から、リュウグウ試料の分析までを概説したい。

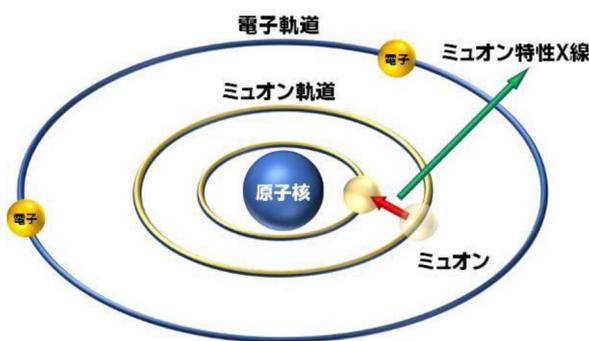


図1. ミュオン原子とミュオン捕獲特性X線の放出

ミュオンはレプトンに分類される素粒子の一種であり、1価の電荷を持っている。ミュオンは電子の207倍の質量を持つ。ミュオンが原子に捕獲されると、電子のように原子核の周りの軌道に入り、ミュオン原子を形成する。ミュオン原子中でミュオンは徐々に内殻へと遷移し、その際にミュオン捕獲特性X線を放射する(図1)。ミュオンの軌道は電子と比較して圧倒的に原子核に近く、放出される特性X線も電子由来の通常のX線と比較して2桁以上エネルギーが高い。そのため、ミュオン特性X線を用いた元素分析法(以下ミュオン特性X線分析法)は、幾つかの顕著な特性を持つことになる。X線のエネルギーが高いということは、試料の深い部分からでも脱出できることを意味しており、本分析法に特異な性質を与えることになる。

ミュオンは加速器で人工的に生成し、ビームとして取り出すことができる。J-PARCでは3 GeVまで加速した陽子をグラファイト標的にぶつけ、ミュオンを発

生させている。グラファイト標的からは様々な粒子が発生するが、そのうち負の電荷を持ったパイオンを取り出すと、26ナノ秒程度でミュオンとミュニュートリノに崩壊する。

加速器で発生させたミュオンは、宇宙線ミュオンと比較すればずっとエネルギーが低いが、それでも3~7 MeVものエネルギーを持っているため、試料の内部に貫入でき、特性X線もその深さから脱出できる。しかも、ミュオンの運動量(エネルギー)を制御することでミュオンが止まる深さを制御することができるので、元素の深度分布を得ることもできる。これは蛍光X線元素分析法(XRF)やX線光電子分光法(XPS)など、他の非破壊分析法との大きな違いである。XRFやXPSは試料表面の元素情報しか得られないのに対し、ミュオン特性X線分析法では、非破壊で試料内部の特定の深さの元素組成の情報を選択的に得られる。

次に、小惑星リュウグウ試料に対して本分析法を適用する利点について述べよう。最大の利点は、本法が非破壊分析法であり、炭素を含む軽元素を検出できることである。ミュオン特性X線分析法は原理的に水素以外の全ての元素に対して感度を持っている。特に炭素の分析はリュウグウ試料の分析において非常に重要である。その理由は、はやぶさ2ミッションの最大の目的の一つは生命の起源物質を探ることであり、有機物を構成する炭素の正確な濃度を決定することはとりわけ重要性が高いからである。炭素を非破壊で分析することは難しく、ミュオン特性X線分析法は炭素の非破壊検出に最適な分析手法と考えられた。しかしながら、本分析法をリュウグウ試料に適用することは簡単ではなく、新たな装置の開発が必須であった。

分析装置の開発

はやぶさ2試料をミュオン特性X線分析法で分析するためには、主に2つの技術的問題を解決する必要があった。まず、リュウグウ試料を絶対に地球大気に接触させない分析装置が必要となること。もうひとつの大きな問題は、リュウグウ試料は大きくないため、分析感度の向上が不可欠であった。この2つの問題を解決するために、新たな分析装置を開発した(図2)^[3]。

まず、常に大気遮断雰囲気で行うために、金属製の分析チェンバーとグローブボックスが一体化した構造の装置を提案した。この装置であれば、デシケータ中に保管されたリュウグウ試料を地球大気に触れさ

せることなく分析装置に導入することができる。グローブボックスから分析チェンバーへの試料の輸送に関しては、リニアモーションガイドを使用することで、試料を安全に輸送することが可能になっている。装置内部はヘリウムガスで充填することとした。ヘリウムは不活性ガスであり、ミュオンビームとの相互作用が最も小さい元素でもあるために採用した。近年ヘリウムガスの供給不足が深刻な状況であるが、他のガスを代替で用いることが不可能なため、ヘリウムを大量に使用せざるを得なかった。結果として1日で2本のヘリウムポンペを消費する実験となったが、極めて清浄な雰囲気を作ることができ、リュウグウ試料の変質を防止することができるようになった。

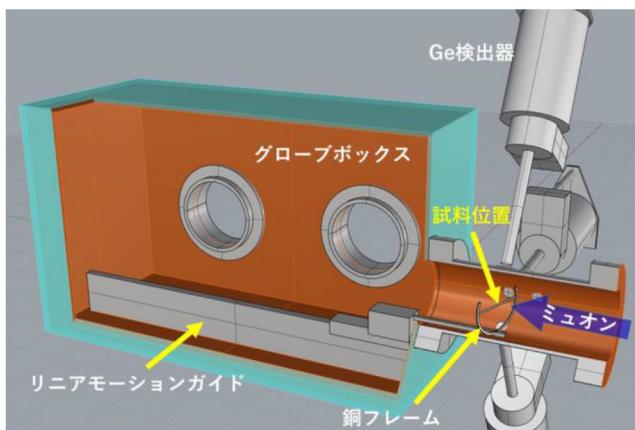


図2. グローブボックス付きミュオン捕獲特性X線分析装置の構造

ミュオン特性X線を検出する検出器としては、低エネルギー用のゲルマニウム半導体検出器を用いた。開発した分析装置では計6台のゲルマニウム検出器を放射状に配置できるようにした。検出器の数は増やせば増やすだけ実質的な検出感度は向上するが、幾何学的な制約によってこの台数が選択されている。

J-PARCで生成されるミュオンビームは直径が数センチもあり、集光させることができない。しかも、コリメータを使ってビームを細く切り出そうとすると、コリメータに当たったミュオンによって多量のX線が放射され、バックグラウンドが上昇して測定に著しい悪影響を及ぼす。よって、太いミュオンビームはそのまま使うしかないが、この場合ミュオンビームのほとんどは、リュウグウ試料に当たることなく通過してしまう。もしもこの通過したミュオンが検出器の近傍で停止すると、そこから多量のX線が放出されてしまうため、試料に当たらなかったミュオンはできるだけ下流まで流し、検出器から遠い場所のビームストッパー

まで導く必要がある。

ミュオンビームはヘリウムガス中を通過する際や、試料に当たった際にはある程度散乱される。散乱されたミュオンが装置の内壁に当たると、そこからもミュオン特性X線が放出され、バックグラウンドを上昇させてしまう。高精度の分析を行うためには、できるだけバックグラウンドを下げるのが極めて重要になる。特にリュウグウ試料の分析に障害となる元素、例えば炭素、酸素、鉄などが装置内壁に存在していると、分析にとって致命的な妨害となる。そこで装置の内壁を全て銅で遮蔽した。銅は地球外物質中の濃度が比較的的低く、科学的重要度が低い。また放出するミュオン特性X線が他の元素の分析の障害とならず、高額すぎないことから採用された。こうした工夫によって低いバックグラウンドを実現し、微小なリュウグウ試料であっても測定可能な装置が完成した。

リュウグウ試料

リュウグウ試料のミュオン特性X線分析は、「はやぶさ2初期分析チーム」のうち「石の物質分析チーム」の研究の一環として行われた^[4]。実験はJ-PARC MLF (物質・生命科学実験施設)のミュオン科学実験施設にて行った。

貴重なリュウグウ試料の移送には専用の設計されたデシケータを使用した。試料を設置する方法としては、細長い銅箔を二つ折りにし、谷の部分に試料を置く方法を採用した。試料を入れた銅箔は楕円形の銅フレームに両端が固定される。試料位置がビームの中心と一致するように調整する(図3)。

ミュオン特性X線分析において重要なことの一つは、試料に照射されたミュオンの停止位置である。ミュオンの停止深度は試料の密度(正確には電子の密度)とミュオンの運動量に依存している。高い運動量になるほど停止する位置は深くなるので、微小な試料の場合は貫通してしまう。図4にリュウグウ試料に対するミュオンの飛程計算の結果を示す。この計算ではミュオンが、カプトン膜、大気、アルミ箔、ヘリウムガス、の4層を透過した後に試料に当たることを想定している。リュウグウ試料は密度が低いため、飛程は炭素質コンドライトよりも長くなる。またリュウグウ試料は小さいため、高い運動量ではミュオンが容易に貫通してしまう。よって、低い運動量を選択すべきだが、運動量を低くするとミュオンの数が少なくなってしまうという問題が発生する。適切な運動量を設定することが分析成功の鍵を握っている。



図3. ステンレス製治具に固定された状態の試料設置用銅フレーム

実際の実験では、29.2 MeV/cの運動量を選択しており、ミュオンは試料の内部で停止する。ミュオンがリュウグウ試料を貫通せず、試料内部で停止するミュオン運動量が選択されている場合、得られた分析データは試料のバルク組成を反映していると解釈できる。

小惑星の最表面は太陽風の照射や微隕石の衝突による宇宙風化を受けている可能性があるため、表面分析の場合は試料全体の平均的な組成を反映していない可能性がある。しかしミュオンは試料の内部で停止するので、宇宙風化の影響は無視できる。

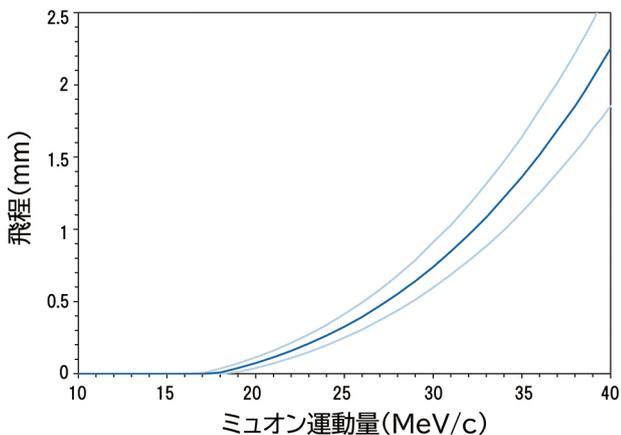


図4. リュウグウ試料のミュオン飛程の計算結果。太い線は平均、細い線は飛程の範囲を示している。

リュウグウ試料の分析は5日間連続して行った。試料は10粒が提供され、重量の合計は120 mgを超える。これらの試料のうち、4粒がA室の試料で、6粒がC室の試料である。A室はタッチダウン1回目、C室はタッチダウン2回目(人工クレーターを作った後)に相当しており、全ての試料をまとめて測定した。これらの中には93.5 mgのC室の試料が含まれるので、C室の試料の方が重量の大半を占めている。よって、

得られたデータとしては、タッチダウン1回目とタッチダウン2回目の試料が混ざっているが、2回目の試料の組成がより強く反映されている。

測定結果

新たに開発した装置は、これまで使用してきた装置と比較して格段に低いバックグラウンドレベルを達成し、微小な試料に対しても精密な分析が行えるようになった^[3]。リュウグウ試料の分析では、炭素を含む主要元素の多くを非破壊で検出することに成功した。

データの解析方法、定量方法は、リュウグウ試料の分析が行われるまでは確立されていなかった。試料の化学形によってミュオン特性X線の強度は変化するため、定量分析は簡単ではない。ミュオンの停止深度とX線の自己吸収の問題、検出器ごとのデータをどのように統合するのか、といった問題もあった。

そこで、リュウグウ試料のデータを解析するにあたっては、X線天文学で培われた解析技法^[5]を導入することで、解析方法の標準化を目指した。数値シミュレーションを行い、装置の形状と検出器の配置から、X線の自己吸収率と、検出器ごとの応答関数を計算した。各検出器のデータを統合して1つのエネルギースペクトルを作り、各ピーク面積を計算した。定量にあたっては、炭素質コンドライトを標準物質として用いることにした。リュウグウ試料は炭素質コンドライトとかなり似た化学組成を持っているため、化学形による影響をほとんど無視できる。

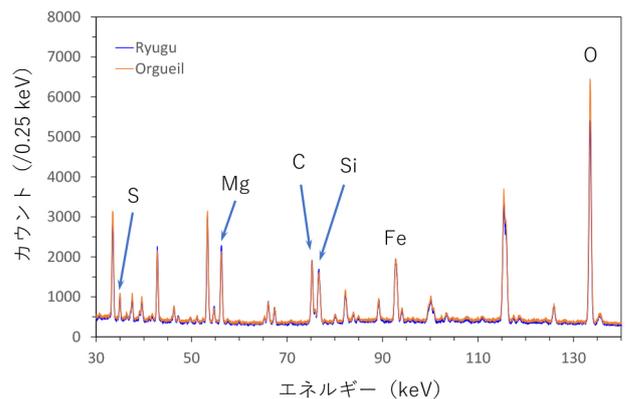


図5. リュウグウ試料とOrgueil隕石のミュオン特性X線スペクトル

得られたリュウグウ試料のミュオン特性X線スペクトルを図5に示す。主要元素に由来する多くのピークが確認でき、明瞭な炭素のピークも確認できた。リュウグウ試料のスペクトルは、比較のために測定した炭素質隕石の一種であるCIコンドライト(Orgueil隕石)のスペクトルと明らかに類似している。

得られたリュウグウ試料の元素組成を図6に示す。この図では、各元素の濃度をケイ素の濃度で規格化し、CIコンドライトと比較している。リュウグウ試料の元素組成は、多くの元素でCIコンドライトと一致している一方、幾つかの元素では明らかな違いも見られる。CIコンドライトの文献値と測定値の間にみられるナトリウム濃度の違いは、試料の変質の影響と思われる。

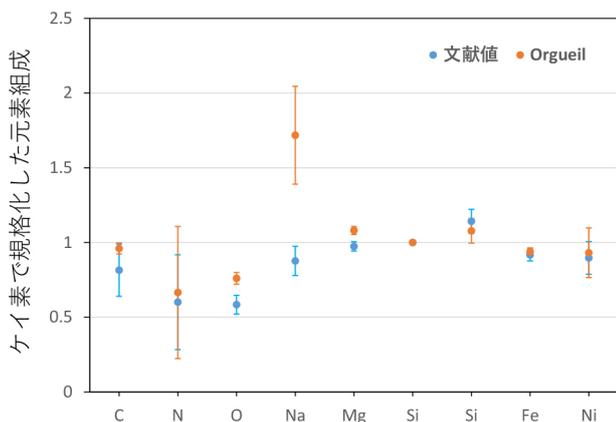


図6. CIコンドライトの文献値及びOrgueil隕石の測定値に対するリュウグウ試料の元素組成。値はケイ素で規格化している。

リュウグウ試料とCIコンドライトの最も顕著な違いは、酸素の濃度である。リュウグウ試料の酸素濃度は明らかにCIコンドライトよりも低い。これは、リュウグウ試料に含まれている水の量がCIコンドライトより少ないことを示唆している。

CIコンドライトは太陽系で最も始原的な隕石であり、その元素組成が太陽の組成とよく似ていることから、太陽系固体物質の代表と考えられてきた。しかしはやぶさ2が小惑星リュウグウの試料を持ち帰ったことにより、CIコンドライトはその地位を失うかもしれない。リュウグウ試料中の酸素濃度がCIコンドライトより有意に低いという事実は、CIコンドライトが地球に落下した後に水蒸気を吸収してしまった可能性を示している。また大気中の酸素によって鉄が酸化している可能性もある。これは地球大気に全く曝されていないリュウグウ試料の分析によって初めて明らかになったことである。隕石の分析だけではわからなかった事実が、サンプルリターンによって明らかになりつつある。

イトより有意に低いという事実は、CIコンドライトが地球に落下した後に水蒸気を吸収してしまった可能性を示している。また大気中の酸素によって鉄が酸化している可能性もある。これは地球大気に全く曝されていないリュウグウ試料の分析によって初めて明らかになったことである。隕石の分析だけではわからなかった事実が、サンプルリターンによって明らかになりつつある。

参考文献

- [1] Terada K., Ninomiya K., Osawa T., Tachibana S., Miyake Y., Kubo K., Kawamura N., Higemoto W., Tsuchiyama A., Ebihara M. and Uesugi M. *Sci. Rep.* 4, 5072. (2014) <https://doi.org/10.1038/srep05072>
- [2] Osawa T., Ninomiya K., Yoshida G., Inagaki M., Kubo K. M., Kawamura N., and Miyake Y. *JPS Conf. Proc.* 8, 025003. (2015) <https://doi.org/10.7566/JPSCP.8.025003>
- [3] Osawa T., Nagasawa S., Ninomiya K., Takahashi T., Nakamura T., Wada T., Taniguchi A., Umegaki I., Kubo K. M., Terada K., Chiu I-Huan, Takeda S., Katsuragawa M., Minami T., Watanabe S., Azuma T., Mizumoto K., Yoshida G., Takeshita S., Tampo M., Shimomura K., and Miyake Y. *ACS Earth and Space Chemistry* 7, 4, 699-711. (2023) <https://doi.org/10.1021/acsearthspacechem.2c00303>
- [4] Nakamura T. et al. *Science* 379, 6634. <https://doi.org/10.1126/science.abn8671>
- [5] Nagasawa, S., Kawate, T., Narukage, N. *Astrophys. J.* 933, 173 (2022). <https://doi.org/10.3847/1538-4357/ac7532>

新試験研究炉プロジェクトの紹介

京都大学複合原子力科学研究所
 新型研究炉開発・利用センター
 杉山正明

ご存知の方も多いと思いますが、令和2年9月、福井県敦賀市のもんじゅサイトに設置する試験研究炉については、原子力研究開発・人材育成・産業利用・地

元振興の観点から、出力10MW未満の中性子ビーム炉とすることが文部科学省より発表されました。その後、令和2年11月にこのプロジェクトを進めるために「もんじゅサイトに設置する新たな試験研究炉の概念設計及び運営の在り方検討」の事業公募があり、日本原子力研究開発機構(JAEA)、京都大学複合原子力科学研究所(KURNS)、福井大学の共同提案が採択さ

れました。この提案では、3機関がプロジェクトの中核機関となり、JAEAが代表機関として「試験研究炉の設計・設置・運営」、KURNSが「幅広い利用」福井大学が「地元関係機関との連携構築・地元産業振興」の検討がそれぞれの役割になっておりました。これらの実行に際して、各機関は互いに連携しつつ、かつ関連団体・コミュニティからの意見を聞きつつプロジェクトを進めるために、各機関はそれぞれワーキンググループを設置しました。更に、ワーキンググループでの検討内容をステークホルダ(地元関連機関・関連産業団体・関連コミュニティ)に報告し、かつ意見を聴く場として、コンソーシアム委員会が設置されました。この体制の下、多くの方々・関連団体・コミュニティの協力も頂き、この概念設計プロジェクトは令和5年3月に無事終了し、同じく3機関を中核とする詳細設計プロジェクトが翌4月より開始され、現在(令和5年6月)に至っております。

概念設計プロジェクトでの検討内容は、半年に一度の割合で開催されたコンソーシアム委員会の資料に記載されておりますので、詳しくはそちらを参照して頂きたいと思っております(<https://www.jaea.go.jp/04/nrr/jp/meeting/index.html>)。ここでは、現時点での主だった内容に関して、簡潔に紹介いたします。まず、中性子強度ですが、炉心をコンパクトにすることで

10MWでありながら、従来の20MW原子炉とほぼ同等の熱中性子束($1 \sim 2 \times 10^{13} \text{n/cm}^2/\text{s}$)が得られる見込みです。また炉心近傍にはいくつかの垂直照射孔を設置して、中性子ビーム実験だけでなく、様々な照射実験を可能とする検討しています。ビーム実験のために、最新の高性能冷中性子源(CNS)を設置も検討しており、このCNSからの長波長中性子ビームを試験研究炉の目玉としたいと考えております。冷中性子・熱中性子を利用した散乱・回折実験装置は、原子炉炉室とガイドホールに設置することを検討しております。(このガイドホールは、10台以上の装置を十分に設置できるサイズを想定しております。)設置する装置は、第一期に汎用性が高く利用者数も多いと期待される放射化分析・小角散乱・粉末回折・反射率計・イメージング装置を想定しており、その後、第2期として、これら装置の複数化と特徴的・先端的な装置、社会的ニーズの高い装置等を検討しております。

本試験研究炉の主目的の一つは産業利用であり、ご興味ある方・企業様は是非ご連絡いただきたいと思っております。これから新設する装置群という事もありますので、早い段階からご相談・ご提案・ご協力を頂けたら、個別のニーズにも対応した分光器設計も可能になります。今後共、情報提供・意見募集の機会を設けていきますので、関心をお持ち頂けたら幸いです。

今後の茨城県中性子ビームライン事業

一般財団法人総合科学研究機構
中性子産業利用推進センター
鈴木淳市

茨城県は中性子産業利用の推進と拡大を目的にJ-PARCに2本の中性子ビームライン(県BL:iBIX、iMATERIA)を設置、運用しています。iBIXは大強度・高分解能の特徴を活かし、タンパク質の構造評価に利用されてきましたが、近年は高分子繊維の加熱・延伸過程の評価等にも利用されています。iMATERIAはマルチスケール・高分解能・高効率の特徴を活かし、静的なマルチスケール評価に加え、電池セルの充放電過程、金属材料の熱処理過程、ナフィオン膜の膨潤乾燥過程等の時間変化する構造の評価にも利用されています。県BLは2008年から利用が開始され、2022年度までの産業利用件数は623件とJ-PARC全体の約

6割になります。これらの成果に関わるプレス発表は21件、論文発表は249件です。県BLには他のBLにない産業利用制度があります。課題の応募を随時受け付け、最短45日で実験を開始できます。メールインサービス、無料のトライアルユースもありますので是非ご利用ください。

CROSSは、県BLの利用促進と後述の新事業を進めるため、2023年4月に中性子産業利用推進センターを設立しました(6月1日現在、職員18名)。新事業は県BLの特性を活かした先導研究と人材育成の2つです。先導研究では将来の産業利用を先導するテーマ、特に世界的な目標であるカーボンニュートラルやSDGsの実現に向けたテーマに取り組み、成果創出を目指します。そのために装置及び関連解析技術、測定手法の高度化にも取り組みます。これらの高度化への産業界のご要望をお聞かせ下さい。また、共同研究に

ご参加下さい。人材育成では、J-PARC、JRR-3等が立地する地の利を活かして、県内企業(県内立地企業、県内に事業所を有する企業、それらの組合や協議会)に対して量子線利用技術の研修(無料)を行い、更なる量子線利用の拡大を図るとともに地域への技術浸透を目指します。基礎コース(基礎講義、装置見学、ラ

ボX線実習、出前講座)及び応用コース(応用講義、県BL等での実習)を行い、中性子利用企業、中性子分析企業、中性子実験機器等の製作企業の育成を目指します。

これらの活動に対して中性子産業利用推進協議会及び会員企業の皆様のご支援とご協力をお願いいたします。

J-PARC MLF 情報

4/17～5/10に2023B 一般課題(短期、1年)の公募を行いました。

申請数は351件(中性子 289件、ミュオン 62件。うち共用BL 125件)でした。産業界の申請は6-7%

です。海外からの申請が伸びており、ミュオンと中性子の海外申請は全体の43%となっています。

今後審査を実施し、9月の選定委員会で採択課題を決定します。

JRR-3 情報

物質科学研究センター長
中島健次

4月に物質科学研究センターの体制が変わり、中島がセンター長、長壁が副センター長、前センター長の武田は上級研究専門官となった。物質科学研究センターは中性子と放射光を使用した物質科学を推進しており、物質内部のダイナミクスや構造を調べる非弾性散乱、構造物性を評価する粉末構造解析装置、ナノ構造を調べる小角、極小角、表面構造を調べる反射率、ラジオグラフィ、応力測定、元素分析を含む14台の装置をJRR-3に設置して進めている。この他、物質科学研究センターはSPring-8の播磨放射光RIラボラトリーに2本のビームラインを保有しており、こちら

も多くの装置が運用されている。

JRR-3は10年間停止したが、令和2年に再開し、昨年度のユーザー数は震災前に戻っている。現在保守点検中であり、今年度は8月から利用を開始する。電気料金高騰の影響を受け、利用料金を5月に改訂し、1から3割程度の値上げとなっている。詳細はイノベーションハブのホームページ(<https://tenkai.jaea.go.jp/facility/>)で確認していただきたい。

最近寒剤フリーの超電導マグネットを導入した。また、小角散乱装置では高角側検出器を導入して同時計測可能な空間スケールが拡大している。この他、JRR-3の中性子実験装置は様々な整備を進めており、是非利用いただきたい。

量子ビームサイエンスフェスタ2022/2023

CROSS 中性子科学センター
宮田 登
量子ビームサイエンスフェスタ
2022 実行副委員長 / 2023 実行委員長

量子ビームサイエンスフェスタはKEK物質構造科学研究所、J-PARCセンター、総合科学研究機構、PF

ユーザーアソシエーション、J-PARC MLF利用者懇談会が毎年主催し、中性子、ミュオン、放射光、低速陽電子の4つの量子ビームの総合的な利用促進を目的に2015年度から毎年開催されています。

2022年度の量子ビームサイエンスフェスタは2023年3月13、14、15日の3日間、つくば国際会議場(エポカルつくば)で開催されました。今回は4年ぶりの

対面での開催を含むハイブリッド形式で行われ、第14回MLFシンポジウム、第40回PFシンポジウムも合同開催されました。

初日のMLFシンポジウムはオンラインで開催され、施設報告、施設トピックなどのセッションの他に将来計画に関する報告がありました。また、MLF利用者懇談会の総会が開催され、その後ユーザーからのアンケートの集計結果に関する意見交換が行われました。

2日目のPFシンポジウムは対面+オンラインのハイブリッド形式で行われました。午前中は施設の現状・ビームライン等の開発状況について報告があり、午後はPF-UA総会、学生論文賞の授与式と講演等が行われました。

3日目の量子ビームサイエンスフェスタも対面形式で開催されました。午前中は「高次構造を発現するソフトマテリアルのサイエンス」、「はやぶさ2サンプル分析から判明したC型小惑星リュウグウの形成・進化・衝突破壊のプロセス」の2つの基調講演および来

賓・主催者代表による挨拶が行われました。午後前半はユーザーおよび施設による234件のポスター発表が行われました。午後後半は電池、生物、薄膜・表面界面、材料、食品科学、磁性・強相関のセッションで17件の口頭講演がありました。

本会はここ数年リモート開催を余儀なくされる状況ではありましたが、今回は対面開催もあり、リモート開催の利便性を感じつつ改めて対面開催の利点を意識しながらの開催となりました。3日間で現地会場に414名、オンライン会場に475名が参集し盛況のうちに閉会しました。

今年度(2023年度)の量子ビームサイエンスフェスタは2024年3月5日から7日の日程で水戸市内において対面開催で実施予定です。5年ぶりの懇親会や会期前後での協議会が協賛するサテライト会合等も予定されておりますので、協議会の会員企業の皆様のご参加をご検討いただけますと幸いです。



写真提供：高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所

新会員のお知らせ

2023年4月1日付けで、三菱マテリアル(株)、(株)ジェイテクト、住重アテックス(株)、(株)インキュベーションアライアンスが入会し、4月25日に(株)

日立ハイテク、5月30日に矢崎総業(株)、6月16日にENEOS(株)が入会しました。2023年6月30日において、会員数は、51(48社3研究機関)となりました。

今後の行事予定

日時	会議名	場所	URL
2023年 7月14日	令和5年度中性子産業利用推進協議会総会	秋葉原コンベンションホール	https://j-neutron.com/posts/activity23.html
7月14日 ～15日	第2回中性子産業利用報告会	秋葉原コンベンションホール	https://neutron.cross.or.jp/ja/events/23071314/
7月23日 ～28日	11th International Topical Meeting on Industrial Radiation and Radioisotope Measurement Applications (IRRMA-11)	Belmeloro Complex, Bologna, Italy	https://irrma.ing.unibo.it/index.php/en/
8月12日 ～18日	9th International Discussion Meeting on Relaxations in Complex Systems (9 IDMRCS)	幕張メッセ	https://9idmracs.jp/
8月22日 ～29日	26th Congress and General Assembly of the International Union of Crystallography (IUCr 2023)	Melbourne Convention & Exhibition Centre	https://iucr2023.org/
8月31日 ～9月1日	中性子イメージング研究会	新橋ビジネスフォーラム	
9月4日 ～8日	The 7th International Soft Matter Conference, ISMC2023	Osaka International Convention Center, Osaka, JAPAN	https://ismc2021.jp/index.html
9月6日 ～8日	原子力学会 2023年秋の大会	名古屋大学	
9月13日 ～14日	第23回日本中性子科学会年会	北海道大学 学術交流会館(札幌)	https://www.eng.hokudai.ac.jp/labo/QBMA/JSNS2023/index.html
9月15日	小角散乱<実験デザイン・解析>研究会	北海道大学	
9月21日 ～23日	RMC-8(+1) Conference : THE FIRST 35 YEARS of REVERSE MONTE CARLO MODELING	Budapest, Hungary	https://indico.wigner.hu/event/1483/
9月25日 ～30日	The International Tribology Conference (ITC2023)	福岡国際会議場	https://www.itc2023.jp/index.html#
10月16日 ～19日	10th International Meeting of the Union of Compact Accelerator-driven Neutron Sources (UCANS 10)	Budapest, Hungary	https://ucans10.org/
10月22日 ～26日	4th ISSE Training School in Tokai	J-PARC及びJRR-3 (東海村)	https://mlfinfo.jp/sp/isse2023/index.html
10月22日 ～26日	11th Workshop on Neutron Wavelength-Dependent Imaging (NEUWAVE-11)	日本科学未来館(東京)	https://mlfinfo.jp/sp/neuwave11/index.html

日時	会議名	場所	URL
12月2日 ～8日	Asia-Oceania Conference on Neutron Scattering (AOCNS 2023)	Royal Garden Hotel, Dalang Town, Dongguan City, Dongguan, China	http://aonsa.org/aocns/
12月11日 ～16日	MRM2023/IUMRS-ICA2023	京都国際会館	https://mrm2023.jmru.org/
12月18日 ～22日	第7回中性子・ミュオンスクール	J-PARC(東海村)／ 講義のオンライン配信を予定	

◆リンクのご案内

中性子・ミュオン利用ポータルサイトJ-JOIN：<https://jrr3ring.jaea.go.jp/jjoin/>

J-PARC：<http://j-parc.jp/c/index.html>

J-PARAC MLF (Meet@MLF)：<https://mlfinfo.jp/ja/>

J-PARAC MLF (Meet@MLF)パンフレット：<https://mlfinfo.jp/ja/reports/published.html>

J-PARCセンターユーズオフィス：<http://is.j-parc.jp/uo/ja/index.html>

茨城県中性子ビームライン：<https://www.pref.ibaraki.jp/sangyo/kagaku/tyusei/bl-top.html>

J-PARC MLF 成果検索：<https://mlfinfo.jp/ja/publications.html>

JRR-3：<https://jrr3.jaea.go.jp/>

JRR-3 Twitter：https://twitter.com/JAEA_JRR3

JRR-3 ユーザーズオフィス：<https://jrr3uo.jaea.go.jp/>

(一財)総合科学研究機構(CROSS)中性子科学センター：<https://neutron.cross.or.jp/ja/>

J-PARC MLF 利用者懇談会：<http://is.j-parc.jp/MLFuser/>

いばらき量子線活用協議会：<http://www.ibaraki-quantum.com/>

日本中性子科学会：<https://www.jsns.net/>

日本中性子科学会「国内の中性子実験施設」：<https://www.jsns.net/facilities/>

日本中間子科学会：<http://jmeson.org/>

季報「四季」編集委員会

委員長 杉山 純(CROSS)

委員 勅使河原 誠(J-PARC)、佐野 亜沙美(J-PARC)、水沢 多鶴子(CROSS)、
久米 卓志(花王)、松井 高史(富士フイルム)

事務局 小室 又洋、綿引 美知枝(中性子産業利用推進協議会)

※「四季」のバックナンバーは下記のサイトでご覧いただくことができます：<https://j-neutron.com/siki.html>

中性子産業利用推進協議会(IUSNA) 季報「四季」【23年・夏】Vol.59

発行日 2023年6月23日

発行元 中性子産業利用推進協議会

〒319-1106 茨城県那珂郡東海村白方162-1 いばらき量子ビーム研究センター D201

TEL:029-352-3934 FAX:029-352-3935 E-mail:info@j-neutron.com

<https://j-neutron.com/>(2022年2月1日よりURLを変更しました)

本誌掲載物の著作権は著者が保有します。本誌の複写、転載等には著者の許可が必要です。