

CONTENTS

- P1 我が国の中性子利用研究の更なる推進に向けて P2 続・水素科学の将来のために P5 産総研小型中性子解析施設 AISTANS と普及活動の紹介
P10 第7回中性子・ミュオンスクール開催報告 P11 第28回 CROSSroads Workshop 開催報告 P11 研究会・講習会開催 P12 施設からのお知らせ
P13 今後の行事予定

我が国の中性子利用研究の更なる推進に向けて

文部科学省研究環境課長
稲田剛毅

J-PARCにおける中性子利用の開始(2008年)から15年が経ちました。この間、パルスビーム強度は共用開始から段階的に増強を続け、当初目標の1MWの出力を実現しました。最先端の研究施設の実現には、技術課題の克服を始めとしたさまざまな困難があるものですが、粘り強く性能向上に取り組み、1パルス当たり中性子発生数世界一など我が国の中性子利用研究の屋台骨を支える輝かしい成果を実現したすべての関係者に敬意を表します。加えて、利用に関しても現在、中性子のみならずミュオンも含め、学理の探究から産業応用まで幅広く行われています。これらの取り組みにおいて主要なパートナーとしてご尽力いただいております、中性子産業利用推進協議会の皆様には心より感謝申し上げます。

さて、研究設備・機器、特に先端的分析技術・機器は、我が国の競争力を支える基盤であることは言うまでもなく、研究力向上に欠かせないものとの認識の下、本年度策定された、「経済財政運営と改革の基本方針2023」、「統合イノベーション戦略2023」といった閣議決定文書においても、着実な取り組みと位置づけています。

当省としても、これを受けて、研究設備・機器の整備・共用に努めているところです。

具体的には、大型研究施設関係では、J-PARC、SPring-8、SACLAの運転及び維持管理、2024年度の運用開始を目指す3GeV高輝度放射光施設(NanoTerasu)の整備に加え、今年度の補正予算において特定先端大型研究施設の老朽化対策などに取り組んでいる所です。

特に本年度は「特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律の一部改正」により、NanoTerasuを共

用法に基づく特定放射光施設に位置づけるとともに整備を進めており、昨年12月7日にファーストビームの達成を果たすなど順調に準備が進んでいます。

また、「研究設備・機器の共用促進に向けたガイドライン」を策定し、各機関が所有する研究設備・機器の共用化を図っております。関連して、国内有数の先端的研究施設・設備のプラットフォーム形成に関する支援や、大学等における共用体制の整備に関する支援を行っているところです。

これらの施策は各々でも成果を挙げることが期待されますが、組み合わせることによって、更なる効果が期待できるものです。

例えば、NanoTerasuやSPring-8といった放射光施設の強化により得られた成果は、得意とする分野の異なる中性子やミュオンを用いるJ-PARCにより得られる成果と組み合わせることで更に詳細な事象の解析が可能となります。加えて、このような近接異分野の研究交流は往々にして大きなイノベーションにつながる融合研究へと発展することが期待できますし、中小型の実験装置での解析と有機的に結合することで研究のスピード感の一層の向上につながるものと期待しています。

国としても、リモート実験対応の一層の充実を含め、ユーザーに対する利便性向上や、得られた実験データを用いた計算シミュレーションの充実等の取組に期待しています。

また、これらの取り組みと併せてSPring-8の高度化なども進めていきますので、J-PARCを始めとした中性子利用研究装置においても将来に向けた魅力的な未来ビジョンを示していくことが重要です。第2ターゲットステーション計画等ハードウェアの増強に加えて、研究内容面を含めたエバーグリーンな将来計画で皆様方と一緒にわくわくしていけるよう引き続き中性子利用研究の強化充実にも努めていきますので、引き続きご協力をお願いします。

続・水素科学の将来のために 新学術領域「ハイドロジェノミクス」の成果と展開

東北大学 材料科学高等研究所 所長
折茂慎一

はじめに

水素は、クリーンな二次エネルギーとして位置づけられると同時に、私たちの暮らしに欠かせない多様な物質・材料の合成および高性能化等の重要な役割も担います。これらの役割を複眼的に捉えながら水素に関連する基礎科学(以下、水素科学)を展開するためには、工学・化学・物理学・生物学・地球科学等の幅広い学問分野の研究者が有機的に連携したうえで、物質・材料中の水素が示す結合多様性やそれに起因する多彩な物性・機能性に関わる研究を進めることが必要です。(本誌Vol.53、21年・冬号の巻頭言をご参考下さい)

このような学問分野の枠を超えた有機的な連携を加速するために、科学研究費助成事業・新学術領域研究「ハイドロジェノミクス：高次水素機能による革新的材料・デバイス・反応プロセスの創成(2018~2022年度)」が設置・実施されました。ご支援ならびにご参画頂きました多くの皆様方のお陰様で、各種量子ビームを駆使した水素・水素化物に関する先端計測や高度な計算技術(=水素先端計測・計算)を含む本学術領域全体での連携が大いに進展したことで、まさに新たな材料・デバイス・反応プロセスに関わる数多くの研究成果が創出されるとともに、優秀な若手研究者の育成にも貢献することができました。

最も高い「A⁺」の事後評価を頂きました本学術領域の研究アプローチと成果概要、そしてそれぞれの成果のポイントをご紹介します。

研究アプローチと成果概要

物質・材料中の水素が示す結合多様性を“使いこなす”ための指導原理となる新たな水素科学(=ハイドロジェノミクス)を構築することを本学術領域の目的としました。そのために、高密度凝集や高速移動等の材料中の水素が示す個別の水素機能の高度化と融合により、多彩な「高次水素機能」を誘起しました。これにより

- 1) 水素化物超伝導・超イオン伝導材料等の超機能材料の合成
- 2) 水素化物エレクトロニクスデバイスの原理実証や太陽電池・高強度鋼の特性強化
- 3) 水素を用いた次世代創蓄電デバイスおよび水素-

電子カップリングやヒドリド超イオン伝導材料を利用した新発想デバイスの設計

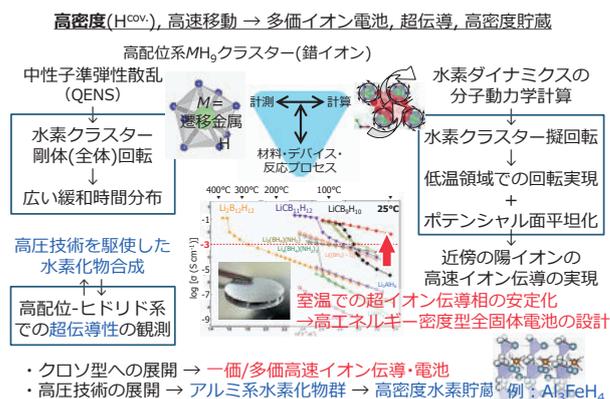
- 4) 水素を効果的に有用物質に変換する新規反応プロセスの創出
 - 5) 水素データ同化技術等の数理科学での水素機能の発現機構の解明や解析技術等の高精度化
- のような研究成果が創出されましたので、以下にそれらのポイントを記載します：

1) 水素化物超伝導・超イオン伝導材料等の超機能材料の合成

①適温での水素放出が見込まれ、かつ大気中で取り扱いが可能なアンモニアボラン(NH₃BH₃)等を用いた独自の水素源開発を進めることで、水素の高密度化技術を確立、単核金属Mでは最高配位のMH₉型水素クラスター(錯イオン)やB₁₂H₁₂を代表とするクロソ(籠)型水素クラスターを有する多彩な高密度水素化物の合成とそれらを用いた高次水素機能の研究が可能となった。

②また水素先端計測・計算が主体となる領域内連携(下図)により、中性子準弾性散乱法(QENS)での水素クラスターの剛体回転における広い緩和時間分布の観測に成功、低温からの擬回転によるポテンシャル面平坦化による多様な陽イオンの高速伝導性の高次水素機能の予測も進んだ。

③これらの結果、LiやNa等の一価陽イオンに加えて、MgやCa、Mn等の二価陽イオンが高速(超)イオン伝導性を示す新たな高密度水素化物の合成が加速でき、固体・液体電解質としての開発や次世代電池実証が進展するとともに、高圧下での超伝導性に関する研究にも展開した。

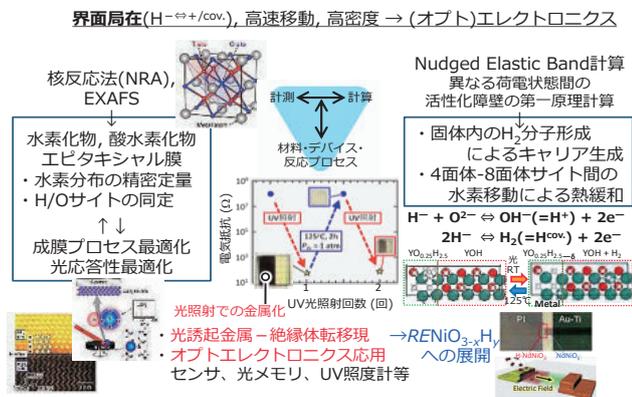


2) 水素化物エレクトロニクスデバイスの原理実証や太陽電池・高強度鋼の特性強化

①パルスレーザー堆積法におけるレーザーパワーや基板等の最適化により、水素を高精度に局在化させたヘテロ界面を創成する技術を構築、TiH₂やNbH等の金属水素化物に加えて、LiBH₄やNaBH₄等の錯体水素化物、YO_xH_yやCa₂NH等の酸・窒水素化物のような高度な水素化物エピタキシャル膜の合成とそれらを用いた高次水素機能の研究が可能となった。

②また水素先端計測・計算が主体となる領域内連携(下図)により、核反応分析(NRA)での原子層ごとの水素分布の精密定量に成功するとともに、異なる荷電状態間の活性化障壁の第一原理計算により、酸水素化物中でのH₂分子形成によるキャリア生成や四面体-八面体サイト間の水素移動等の解析が進んだ。

③これらの結果、例えば酸水素化物YO_xH_yでの光誘起金属-絶縁体転移現象等の高次水素機能の誘起と機構解明、電場での増強効果等の研究を加速でき、水素化物オプトエレクトロニクス応用に向けた研究にも展開した。また、TiO_x/c(結晶)-Siヘテロ界面に対して水素プラズマ処理を実施、その界面での水素の局在性や結合性を詳細に解明することで、電子伝導や表面パッシベーション機能の観点で優れた高効率Si系太陽電池の設計指針を得た。



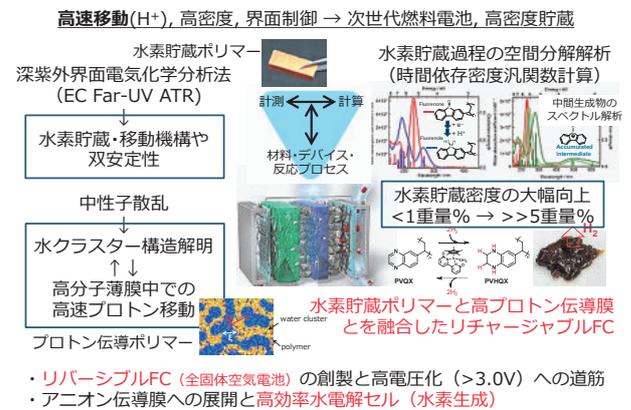
3) 水素を用いた次世代創蓄電デバイスおよび水素-電子カップリングやヒドリド超イオン伝導材料を利用した新発想デバイスの設計

①次世代創蓄電デバイスに関しては、スルホン酸化ポリフェニレン系での高速プロトン伝導、キノン系での高密度水素貯蔵等、高分子材料中での多様な高次水素機能の誘起に成功した。

②さらに、水素先端計測・計算が主体となる領域内連携(右段図)により、深紫外界面電気化学分析法(EC

Far-UV ATR)での水素貯蔵・移動機構における双安定性の解明、中性子散乱での水クラスター構造の解明、時間依存密度汎関数計算での水素貯蔵過程の空間分解解析等が進み、プロトン伝導(従来の4.5倍)や水素貯蔵(1重量%以下から5重量%以上)双方の機能の大幅向上を実現した。

③これらの結果、双方の高分子材料を組み合わせることで、次世代創電デバイスとしてのリチャージャブル/リバーシブル燃料電池(可逆反応を示す全固体空気電池)を開発でき、80°Cでの発電と放電サイクル等の実証に成功するとともに、高電圧化のための開発指針も解明した。

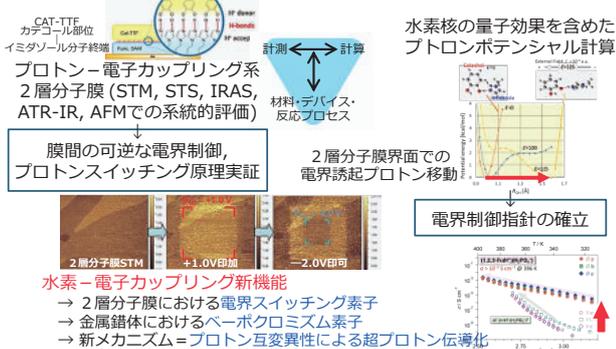


④新発想デバイスに関しては、水素-電子カップリングの視点での有機・無機材料や生体材料における多様な高次水素機能の研究が進展した。

⑤ここでも水素先端計測・計算が主体となる領域内連携(次ページ、左上図)により、例えば、アゾール系有機材料2層分子膜の場合、走査トンネル顕微鏡/同分光(STM/STS)等を駆使した系統的解析に加えて、水素の量子効果を含めたプロトンポテンシャル計算が進み、水素の局所移動と電場印加が連動した可逆的なπ電子系スイッチング機能や圧力印加で超伝導機能の研究が加速できた。また、生体材料としてのNi-Fe系ヒドロゲナーゼでの触媒反応場と中間体の分子線-多光子共鳴イオン化法(REMPI)測定による核スピン異性体比のその場計測によるオペランド反応解析にも成功した。

⑥さらに、酸水素化物(無機)材料Ba-Li-H-O系の、Liの局所ダイナミクスに伴う新たな格子間位置や欠陥生成とヒドリド(H⁻)集団運動によるヒドリド超イオン伝導や高効率物質変換反応の誘起、さらに金属水素化物との組み合わせによる水素の価数変化を利用した新発想デバイスの原理実証にも成功した。

高速移動(H⁺), 界面制御, 高密度
→水素-電子カップリング, スイッチング素子



水素-電子カップリング新機能

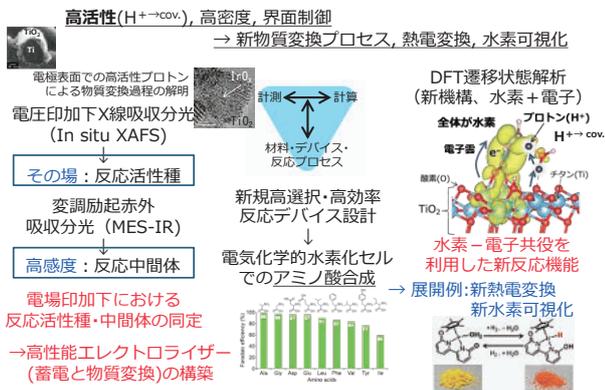
- 2層分子膜における電界スイッチング素子
- 金属錯体におけるペーボクロミズム素子
- 新メカニズム=プロトン互変異性による超プロトン伝導化

4) 水素を効果的に有用物質に変換する新規反応プロセスの創出

①プロトンやヒドリドに加えて原子状およびラジカル水素等、様々な高活性水素の生成とそれらを利用した高次水素機能による高選択/高効率/高難度反応プロセス等の研究が進んだ。

②並行して進めた水素先端計測・計算が主体となる領域内連携(下図)により、例えば、TiO₂電極上に発生する電界活性化プロトンの場合、電圧印加下X線吸収分光法(in-situ XAFS)や変調励起赤外吸収分光法(MES-IR)での精密解析も踏まえたDFT解析に至った。また、水素を効果的に高活性化する反応場としてのPdCu合金透過膜等の原子状水素に関する雰囲気光電子分光(AP-XPS)・表面赤外分光を用いた解析等も進んだ。

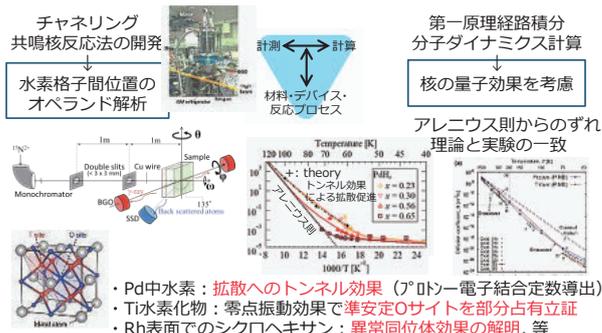
③これらの結果、前者では水素-電子カップリングを利用したバイオマス由来の原料から室温でのアミノ酸の高選択合成に成功、高効率水電解技術の開発に向けた研究にも展開した。また、後者ではPdサイトで解離しCu(111)表面にスピルオーバーした原子状水素とCu表面間の振動の観測等に成功、合金透過膜表面でのメタノール等の有用物質の高効率合成やグラフェン等の高純度合成にも展開した。



5) 水素データ同化技術等の数理科学による水素機能の発現機構の解明や解析技術等の高精度化

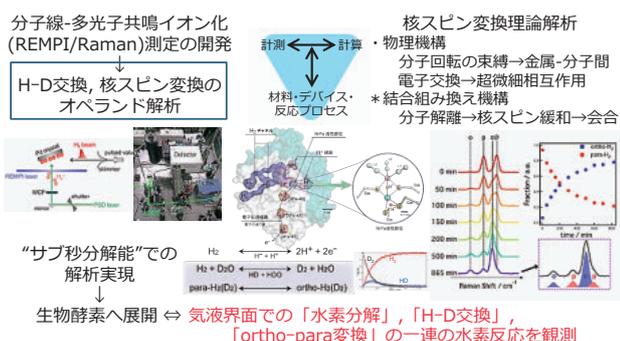
①水素先端計測として、イオンビームを用いたチャネリング核反応分析法(NRA)や放射光ブラッグコヒーレント回折イメージング法(BCDI)等の高度化に成功し、ナノ~メソスケールのトランススケールオペラント水素計測を実現した。これらを駆使して、B₁₂H₁₂を代表とするクロソ(籠)型水素クラスターの原子構造の解明、Ti水素化物薄膜における水素占有サイトや量子効果の詳細な解析、界面水素量を制御した高性能Si系太陽電池の創出、Pd水素化物中の量子拡散におけるプロトン-電子カップリングの評価、金属ナノ粒子を含む水素化物の詳細な反応機構の解明、さらにはヒドロゲナーゼでの触媒反応場と中間体の解析に至るまで、高次水素機能の誘起にかかわる領域内連携に不可欠な貢献をした(下図および次ページ左段図)。

水素状態オペラント計測, 先端計算
→ 零点振動/トンネル効果/同位体効果の精密解析



②水素先端計算の1つとしての水素データ同化に関しては、ペナルティ関数を導入した実験データを利用する構造探索技術を確立、また水素原子核の量子効果を取り入れた第一原理計算に関してはオープンソース・ソフトウェアPIMDの高度化と公開を進めた。これらの計算手法を高次水素機能にかかわる課題に適用することで、高速イオン伝導や金属-絶縁体転移を示す高密度水素化物群の原子構造解析、固体表面での高効率・高選択物質変換における(異常)同位体効果、水素の量子拡散における共鳴トンネル効果等の詳細な解明に至り、水素先端計測と同様に領域内連携に不可欠な貢献をした(次ページ)。

水素反応オペランド計測, 水素核スピン/H-D交換
→ 生物酵素の機能解析・設計

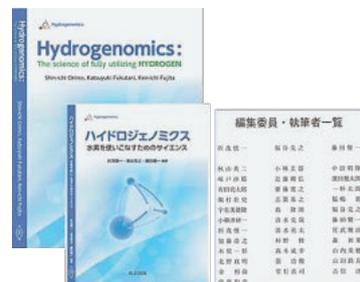


おわりに

これらの研究成果にご関心をお寄せ頂ける場合、日本語・英語解説書(右図)をご参考頂くとともに、日本

MRS研究会制度のもとで設置した「水素科学技術連携研究会(Hydrogenomics Alliance, Japan)」にぜひご参画下さい。

あらためまして、新学術領域研究「ハイドロジェノミクス」にご支援ならびにご参画下さりました多くの皆様方に心より感謝申し上げます。



産総研小型中性子解析施設AISTANS と普及活動の紹介

産業技術総合研究所
大島永康、木野幸一、オローク・ブライアン
藤原 健、加藤英俊

はじめに

筆者らの所属する産業技術総合研究所(産総研)・計量標準総合センター(NMIJ)・分析計測標準研究部門では、産業界の材料開発分野などにおける課題解決に貢献するために、量子ビーム計測技術の開発とその応用研究に取り組んでいます[1,2]。主な研究場所は、産総研つくばセンターの加速器施設で、今回紹介する小型中性子解析施設(AISTANS: Analytical facility for Industrial Science and Technology using Accelerator based Neutron Source)の他に、低速陽電子ビーム利用施設、超小型X線撮像装置などが稼働しています。なお、材料評価用に開発したAISTANSとは別に、中性子標準用に開発した中性子源も隣接する研究棟で稼働しています[3]。AISTANSの大きさは最長部で30m程あり、電子顕微鏡などの身近な計測装置と比較するとかなり大きいですが、国内外で運用されている研究用原子炉や核破砕パルス中性子源などと比べるとかなり小さいことから小型装置と自称しています。

産総研の加速器施設内にある計測施設/装置のなかでAISTANSは最新のものになります。設計検討を始めたのは今から10年ほど前のことで、当時、輸

送機器の軽量化のための高性能な構造材料とそれらの接合・接着技術の開発研究が盛況となり、関連して中性子等量子ビームを用いた非破壊評価技術の開発への期待が高まったのでした[4]。2017年にはAISTANSの設置場所の整備に取りかかるなど本格的な研究開発に取り組み始め[5]、2020年にはAISTANSからの最初の中性子ビーム発生に成功しました[6]。その後は、ラジオグラフィ/CT、ブラッグエッジ・イメージング、回折などの各種の計測技術の立ち上げと高度化に取り組み、測定対象は構造材料や接合・接着試料にとどまらず、2023年度以降は電池やコンクリートなどにまで拡大しています。

本稿では、前半でAISTANSの概要を、後半では普及活動について紹介したいと思います。なお、ここでいう普及活動とは、中性子等量子ビーム計測技術の産業利用推進を目的とした研究会・講習会などを含む宣伝交流活動を意味します。その一環として2023年12月に中性子産業利用推進協議会と産総研量子ビーム計測クラブとで開催した小型中性子施設活用研究会2023年度研究会の報告いたします。

AISTANS の概要

AISTANS [7,8]は、(1)電子線形加速器[9]、(2)中性子源、(3)2本の中性子ビームライン(計測ハッチ)から構成されています(図1) [10]。以下に、それぞれの概要を説明します。

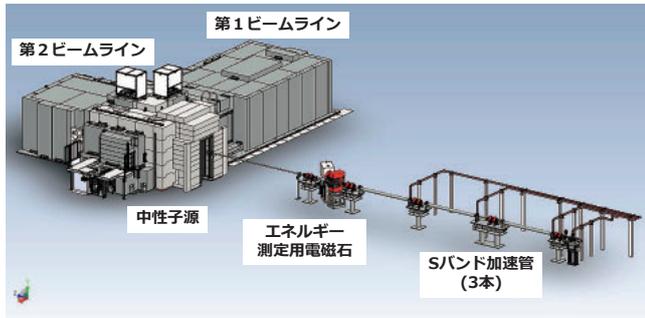


図1. AISTANSの概要図 [10]



図2. 加速器制御卓付近景観

(1) 電子加速器：加速器は電子銃と加速管3本で構成され、電子銃から3つ目の加速管の末端までは12.3m、中性子源内にあるターゲットまでは～23mです。加速管では2856 MHzマイクロ波($2\pi/3$ モード)にて電子を加速します。加速器を構成するデバイスの多くはExperimental Physics and Industrial Control System: EPICSとよばれるソフトウェアを通して制御されています[11]。制御卓は放射線管理区域外に設置され、通常必要な運転員数は1～2名です。加速器ビームパラメータの最大設計仕様は、加速エネルギー：40MeV、ビーム電流(ピーク)：250mA、ビームパルス幅：10 μ s、繰り返し周波数：100Hzです。

(2) 中性子発生部：加速器からの電子ビームは、チタン薄膜真空窓を通して大気中に飛び出し、タンタル(Ta)ターゲットに入射します。制動放射X線とTa原子核との光核反応により～1MeVの中性子がパルス状に発生します。真空窓とターゲットは発熱するため、それぞれ空冷方式と水冷方式で冷却しています。

中性子は、材料評価に適したド・ブroy波長と透過力で用いるために、～20Kに冷却された固体メタンを通して数meVにまで減速します。波長分解能(飛行時間測定における時間分解能)を重視した非結合型(12cm×12cm×厚さ3cm)と強度を重視した結合型(12cm×12cm×厚さ5cm)の2種類の異なるデザイン

の固体メタン減速材をTaターゲットの上側と下側にそれぞれ設置しています。メタンの固化は、メタンガスで満たしたアルミニウム合金製容器の周囲を冷たいヘリウムガスを循環させることで行います。

中性子を吸収するホウ酸レジン、X線を吸収する鉛、両者を吸収するコンクリートなどの放射線遮蔽体で、Taターゲットと減速材の周囲を取り囲んでいます。これらの遮蔽体は、放射線の吸収により発熱します。このため、遮蔽体の隙間の一部には、冷却用パネル(冷却水で温調されたアルミニウム合金板)を挿入して、遮蔽体内の温度上昇を抑えています。中性子発生部(遮蔽体)のサイズは、平面4m×4m、高さ3.5mです。

(3) 中性子計測ビームライン(計測ハッチ)：第1・第2の2本があり、前者は非結合型減速材からのビームを試料設置部にまで約8m、後者は結合型減速材からのビームを約4m輸送します(図3、表1)。第1ビームラインには、スーパーミラーガイド管(以降、ガイド管)を設置しています。ガイド管のサイズは、断面が一辺120～130mmの正方形で全長は約4.7mです。スーパーミラーガイド管の一部(～3.7m)は、電動式架台を使ってビームライン軸上/軸外に移動すること



図3. AISTANS計測ハッチ付近景観

表1 中性子ビームライン(計測ハッチ)の仕様

	第1ビームライン (ポート)	第2ビームライン (ポート)
減速材	固体メタン 非結合型	固体メタン 結合型
スーパーミラーガイド管	有り (4.7m) 一部可動式	無し
飛行距離	6.5-8.5 m	3.0-5.0 m
計測ハッチ内サイズ	4 m × 6 m × 高さ 2 m	2 m × 3 m × 高さ 2 m

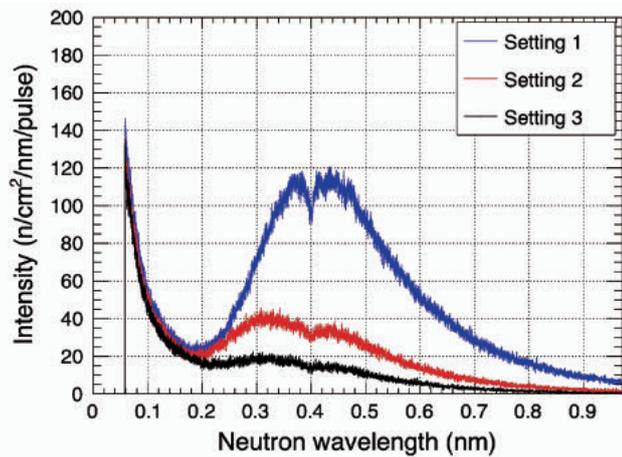


図4. AISTANS第1計測ポートにおける中性子ビームフラックスの測定結果[12]. 3つの実線では、ビームライン軸上にあるスーパーミラーガイド管長が異なる(～1.0m(黒)、～2.7m(赤)、～4.7m(青)).

ができます。これにより、試料部でのおおよそのビーム照射面積を10cm×10cm または30cm×30cmに素早く切り替えることができます。

第1・第2ビームラインの末端部は、共にコンクリート遮蔽材で囲われた計測ハッチ(計測室)になっています。それぞれの室内サイズは4m×6m×高さ2m および2m×3m×高さ2m です。中性子計測中はハッチ内への入室はできませんが、2つの計測ハッチは独立した中性子ビーム用シャッターと安全インターロックを備えているために、第1・第2のどちらかで計測中であっても、別室内に入室することができます。

次にAISTANSの第1計測ハッチにおける中性子ビームの特性評価結果(フラックス[12]と波長分解能[13])について紹介いたします。減速材から8mの場所で、ビームライン中心軸付近の単位面積(1cm²)に飛来する中性子ビーム強度の測定結果を図4に示します[12]。なお、測定時の電子ビームパラメータは、エネルギー：～40MeV、ビーム電流(ピーク)：～100mA、ビームパルス幅：～4μs、繰り返し周波数:50Hzでした。図中の3つの曲線は、ビームライン軸上のガイド管長の違い(～1.0m(黒)、～2.7m(赤)、～4.7m(青))を意味しています。中性子ビーム強度は波長に依存しており、0.4nm付近にピークがあることがわかります。なお、ピーク付近のディップは、減速材容器やガイド管で使われているアルミニウム合金による中性子回折に起因するものです。波長0.2–0.5nmで平均した中性子ビームフラックスは、それぞれ15.7(黒)、32.6(赤)、81.8(青)n/cm²/nm/pulseとなり、計算結果とおおよそ一致しました。なお、最近では加速器運転条件の改善(ビーム電流(ピーク)：～200mA、ビームパルス幅：～8μs)により、1パルス当たりの中性子ビーム強度は図4の結果より数倍大きいと思われます。また、波長分解能については、実験から1%程度であることが確認され、こちらも計算とおおよそ一致しました[13]。

以上のように、中性子ビームパラメータの実測値と計算値とおおよそ一致していることから、AISTANS(加速器から第1計測ポートまで)は設計通りの性能を発揮できていると考えています。今後、第2計測ポートでも中性子ビーム特性評価を進める予定です。

AISTANSの産業利用を進めるためには、高性能な中性子検出器の開発も重要です。このため、ラジオグラフィ用には、大型試料を効率よく測定できる大面積フラットパネル検出器(最大で有感面積430mm×350mm、空間分解能約0.2mm)を開発しました[14]。また、ブラッグエッジ・イメージング用には、比較的大面積で計測できるガス電子増幅器(GEM)検出器(有感面積100mm角・空間分解能1mm)[15]を開発しました。

高品質な非破壊評価を実施するには、X線等の中性子以外の量子ビームを複合的・相補的に用いることが大変効果的だと考えています[2]。このため、AISTANSの計測ハッチ内ではX線ラジオグラフィ/CTも利用できるようにしました。また、大型試料の全体をイメージングできるように、移動架台なども整備済みです。以上のように、まだ発展途上ではありますが、AISTANSで高品質な非破壊評価を実施できる環境が整ってきていますので、今後は一層、産業界の課題解決への貢献に関わる成果を挙げていきたいと思えます。なお、AISTANS等の産総研量子ビーム施設/装置は、産総研の共同研究や技術コンサルティングなどの制度を通して外部機関の方も利用いただけますので、御希望の方は筆者らに相談いただければと思います。

普及活動

産業界の課題に対峙している研究者・技術者の多くは、量子ビーム計測技術の専門家ではないため、存在さえ知らない方も少なくないものと思えます。また、量子ビーム計測技術の開発者側にとっても、産業界の課題などの情報入手・理解は簡単なことではありません。このため、量子ビーム計測技術を有する多くの研究機関や関連団体では、産業利用促進や若手育成を目的とした研究会・講習会などの宣伝・交流活動(普及活動)に熱心に取り組まれていると思えます。

産総研でも同様の取り組みを進めています。筆者らの所属するNMIJでは、研究開発において蓄積された技術を、わが国の産業や学術研究、国民の日常生活に役立てていただくことを目的に、技術を共有する場として“計測クラブ”を運営しています。現在、技術分野の違いにより20程のクラブが活動しています。2018年に発足した“量子ビーム計測クラブ”もその一つで、中性子等各種量子ビームの国内産業における利用・技術革新を加速するために、研究会等を1-2回/年の頻度で開催しています[16,17]。加えて中性子技術の普及に関しては、中性子産業利用推進協議会で2023年度に発足した“小型中性子施設活用研究会”に参加して、中性子計測技術の産業利用促進に効果的な小型施設と大型施設との併用等に関する調査や情報発信等の活動を進めています。

小型中性子施設活用研究会、量子ビーム計測クラブ、総合科学研究機構(CROSS)と協力し、2023年12月13日(水) - 14日(木)に産総研つくばセンターにて「小型中性子施設活用研究会2023年度研究会・見学会」を開催しましたので、その概要報告をいたします。研究会のテーマを「小型中性子施設の産業利用の最前線について学ぶ」とし、プログラムの1日目を研究会(現地&WEB(ハイブリッド))、2日目を見学会・講習会(現地のみ)としました。なお、協賛として、茨城県中性子利用研究会、日本中性子科学会にご協力いただきました。

1日目(午後)の研究会プログラムは、小型施設を知りその産業利用を考えることを意識して、次のような招待講演2件と一般公演6件の構成としました。

【招待講演】：「構造材料研究における中性子ビーム計測利用の歴史と今後への期待」(茨大名誉教授 友田陽氏)、「中性子利用は産業界で広がるか？ - 2006年以降の産学連携に学ぶ -」(JFEテクノリサーチ(株)

佐藤 馨氏)

【一般講演】：「小型中性子源の産業利用に向けた技術開発～HUNSの場合」(北大 加美山 隆氏)、「理研RANSにおける産業利用および社会実装への挑戦」(理研 小林 知洋氏)、「大型施設と小型施設との相補的利用について」(茨大/CROSS 小泉 智氏)、「住重アテックスにおける非破壊計測技術」(住重アテックス(株) 鶴野浩行氏)、「産総研AISTANSにおける産業利用技術」(産総研 木野 幸一氏)、「産業界におけるマルチプローブ計測技術」((株)日産アーク 伊藤孝憲氏)

各講演共に興味深い内容で、中性子の産業利用における小型施設の役割について考えさせられるだけでなく、多くの方から期待をもたれていると感じました。この日は、現地42名とWEB 62名の総勢104名の方に参加いただきました(図5、表2)。ただし、午後6件の講演を入れ込んだため、十分な質疑応答の時間を確保できなかったのが反省点です。なお、研究会後には意見交換会を開催することができ、議論と交流の時間を幾分か取り戻すことができたのは良かったと思います。

2日目の見学会(午前)では、加速器施設内にて先ず

表2 小型中性子施設活用研究会2023年度研究会・見学会の参加人数(スタッフ含む)

日時	プログラム	参加者
12/13	研究会(現地)	42名
	研究会(WEB)	62名
12/14	見学会	50名
	講習会	10名



図5. 1日目研究会の様子



図6. 2日目見学会の様子

は5つの計測技術(中性子、X線、陽電子、電子加速器、小型線量計)を見学案内した後、電子加速器のデモ運転およびAISTANSラジオグラフィのデモ測定を行いました(図6)。また、講習会(午後)では、ブラッグエッジ・イメージング解析実習(講師:産総研 木野 幸一氏)として、参加者には実際にPCを使ってブラッグエッジ学習などを行っていただきました。見学会も講習会も共にほぼ満員状態となり、参加者の積極的な学習姿勢を目の当たりにして、共に本研究分野の発展のために協力することの重要性を改めて認識することができました。

まとめ

簡単ではありますが、前半ではAISTANSの概要を、後半では量子ビーム計測技術に関する普及活動の取り組み、その一例として最近開催した研究会・見学会の内容を紹介いたしました。今後とも、研究会開催などを含めて、読者の皆様と共に、中性子を始めとする量子ビーム計測技術の発展と若手育成に寄与したいと思います。

謝辞

AISTANSは、多くの方の協力の下で開発されました。この場を借りて感謝申し上げます。特に、古坂道弘氏(KEK)、堀利彦氏(元産総研パートナー研究員)、友田陽氏(茨大名誉教授)、林崎規託氏(東工大)には、AISTANS立ち上げで尽力いただき、改めて感謝申し上げます。また、研究会・見学会・講習会では、講演者と参加者、ならびに、中性子産業利用推進協議会と量子ビーム計測クラブの関係者にご協力いただきましたこと感謝申し上げます。見学会・講習会の開催は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務(JPNP06046)により支援いただきました。

参考文献

- [1] 大島永康、加藤英俊、鈴木良一、“先端ビーム応用計測技術”、計量標準120周年記念誌2-2-4-3、112-115、2023年11月。
- [2] 大島永康、加藤英俊、友田陽、“量子ビーム(X線・陽電子・中性子)を使った先端計測・分析法”、軽金属、第73巻3号、2023年3月。
- [3] 松本哲郎、“中性子標準”、「計量標準120周年記念誌2-2-4-2、110-111、2023年11月。
- [4] 大島永康、木野幸一、友田陽、“中性子等量子ビームを用いた構造材料等解析技術の開発”、革新構

造材料とマルチマテリアル輸送用機器の軽量化のための材料・接合・設計技術の革新—下巻、3章4節、225~228頁、2023年6月、株式会社オーム社。

- [5] プレスリリース“構造材料開発の高度化を加速する小型加速器中性子施設の構築に着手”、2017年8月1日。
- [6] プレスリリース“輸送機器の構造材料・部品分析向けに小型中性子解析装置を開発”、2020年1月22日。
- [7] K. Kino, T. Fujiwara, M. Furusaka, N. Hayashizaki, R. Kuroda, K. Michishio, T. Muroga, H. Ogawa, B. E. O'Rourke, N. Oshima, D. Satoh, N. Sei, T. Shishido, R. Suzuki, M. Tanaka, H. Toyokawa, A. Watazu, “Design of a compact electron accelerator driven pulsed neutron facility at AIST”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment 927, 407-418 (2019).
- [8] 木野幸一、“小型加速器駆動中性子解析施設AISTANSの開発”、加速器17巻3号、151-158 (2020)
- [9] B. E. O'Rourke, T. Fujiwara, K. Furukawa, M. Furusaka, N. Hayashizaki, H. Kato, K. Kino, R. Kuroda, K. Michishio, T. Muroga, K. Nigorikawa, T. Obina, H. Ogawa, N. Oshima, D. Satoh, N. Sei, T. Shishido, R. Suzuki, M. Tanaka, Y. Tomota, H. Toyokawa, A. Watazu, “Design and construction of an electron accelerator for a pulsed neutron facility at AIST”, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms 464, 41-44 (2020).
- [10] 産総研分析計測標準研究部門先進ビーム計測研究グループホームページ：
<https://unit.aist.go.jp/rima/ab-mg/>
- [11] 林崎規託、帯名崇、“「加速器の運転制御を通じて学ぶEPICS入門講習会」報告”、加速器20巻2号、120-122、(2023)。
- [12] K. Kino, M. Furusaka, T. Fujiwara, B. E. O'Rourke, T. Muroga, Y. Tomota, N. Oshima, “Pulsed neutron-beam flux with the supermirror neutron guide system at

AISTANS”, The European Physical Journal Plus 137, 1260 (2022).

- [13] K. Kino, T. Fujiwara, M. Furusaka, T. Muroga, B. E. O’Rourke, N. Oshima, Y. Tomota, “Neutron performance and future prospect of the compact electron accelerator driven neutron facility AISTANS”, Journal of Neutron Research 24, 395-401 (2022).
- [14] T. Fujiwara, H. Miyoshi, Y. Mitsuya, N. L. Yamada, Y. Wakabayashi, Y. Otake, M. Hino, K. Kino, M. Tanaka, N. Oshima, H. Takahashi, “Neutron flat-panel detector using

In-Ga-Zn-O thin-film transistor”, Review of Scientific Instruments 93, 013304 (2022).

- [15] T. Fujiwara, K. Kino, N. Oshima, M. Furusaka, “Development of a Bragg-edge Neutron Transmission Imaging Detector Combined with Micro-structured Boron Cathode and Glass Gas Electron Multiplier”, Sensors and Materials 35, 537-544 (2023).
- [16] 大島永康, “第3回量子ビーム計測クラブ研究会開催報告”, 加速器18巻1号, 43-45 (2021).
- [17] 大島永康, “第4回量子ビーム計測クラブ研究会開催報告”, 陽電子科学18号, 44-45 (2022).

第7回中性子・ミュオンスクール開催報告

2023年12月18日から22日にかけて、茨城県東海村にある大強度陽子加速器施設(J-PARC)の物質・生命科学実験施設(MLF)及び日本原子力研究開発機構 原子力科学研究所JRR-3において、第7回中性子・ミュオンスクールを開催しました。本スクールは、中性子科学とミュオン科学に関係する国内10組織*が主催して2016年より開催しています。国内外問わず、中性子やミュオンを用いた実験手法を実践的に学ぶことができる機会は限られているため、本スクールは中性子やミュオンを学んで実際に実験装置に触れる貴重な機会となっています。今回、講義は対面とオンラインのハイブリッド開催、実習は対面で開催しました。過去の中性子・ミュオンスクールでは、J-PARC MLFの実験装置のみを用いて実習を行っていましたが、前回のスクールからはJRR-3の実験装置を用いた実習も募集が始まり、日本を含む世界各国から17名の実習生が参加しました。また、講義のみオンライン聴講の参加登録は105名でした。初日、本スクール校長を務める日本中間子科学会久保会長の開会挨拶でスクールが開幕しました。国内外11名の講師による講義は、実習生やチャットによるオンライン聴講生からの質疑応答も交えながら行われました。実習では、7つのグループに分かれて、実際に中性子・ミュオン実験装置を使用した実験及びデータ解析が行われました。最終日には、他の実験装置で実習した参加者や講師らに対して、実習内容及び実験結果の発表を7つ

のグループが行いました。これらの講義、実習、発表を通じて、多くの参加者が中性子科学及びミュオン科学の理解と知識を深めるとともに、講師及びMLFやJRR-3スタッフとの交流を深めました。初日朝にはどこか不安げに見えた実習生が日に日に成長し、最終日には自信を持って英語でのプレゼンをこなしていたことに深い感銘を受けました。今後、J-PARC MLF及びJRR-3のユーザーとして、参加者が再び東海を訪れる日を楽しみにしています。

(日本原子力研究開発機構J-PARCセンター 丸山龍治)

*日本中性子科学会、日本中間子科学会、J-PARCセンター、日本原子力研究開発機構 物質科学研究センター、高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所、東京大学物性研究所附属中性子科学研究施設、総合科学研究機構 中性子科学センター、茨城大学大学院理工学研究科、中性子産業利用推進協議会、茨城県



第28回 CROSSroads Workshop 開催報告

2024年1月11日に、第28回 CROSSroads Workshop「高圧中性子実験の物性研究への展開」が、AYA'S LABORATORY量子ビーム研究センターにおいて、現地及びオンラインのハイブリッド形式で開催されました。現地では21名(講師、事務局を含む)、オンラインでは38名の方々に参加いただきました。本ワークショップは、高圧物性研究に焦点を当て、中性子実験に期待されるサイエンステーマやニーズを既存の実験手法に捕らわれず自由に議論すること、また、このような議論を通して、MLFの高圧中性子実験と物性研究との新たな連携を築くことを目的に開催されました。

まず、東京大学物性研究所の上床美也教授より、高圧中性子実験を利用した物性研究についてのレビューをいただきました。その後、MLFにおける低温高圧中性子実験の実際について2件のご講演をいただき、

後半の部では、中性子研究に期待される高圧物性テーマやその研究手法について3件のご講演をいただきました。全体討論では、低温高圧中性子環境の整備や、実験技術の利用拡大についてなどが話題となりました。各講演における質疑応答、全体討論とも、非常に活発な意見交換がなされ、組織の垣根を超えた貴重な交流の場になったと感じております。

本ワークショップを通じて、高圧中性子実験による物性研究の技術の拡大に、多くの研究者が期待されていると感じました。その一方で、実験環境の整備や技術の高度化には、多くの問題が存在していることも認識することができました。今後、これらの問題の解決を図るためにも、ワークショップをシリーズで開催するなどにより、研究者間の連携を深めていきたいと考えております。

(総合科学研究機構 中性子科学センター 町田真一)



参加者の集合写真



会議の様子

研究会・講習会開催

◆金属材料研究会

2023年度はiMATERIAトライアルユースを利用した中性子測定を実施することとし、各社の計測目的を含む試料準備状況についてオンライン形式で紹介いただきました。

本研究会は、中性子産業利用推進協議会参加企業の研究者と関連する大学および中性子施設研究者だけで構成しています。(2023年10月17日開催)

◆小型中性子施設活用研究会

小型中性子施設活用研究会における活動の一環として、産総研・量子ビーム計測クラブ等と協力して、小型中性子施設における産業利用事例や関連する計測技術の開発動向を知ることを目的として研究会を産総研にてハイブリッド開催しました。2日目は、産総研・小型中性子施設AISTANSを含む産総研の量子ビーム計測施設の見学、およびブラッグエッジ・イメージン

グ解析実習が開催されました。研究会後の意見交換会は、産学間の交流の場となりました。2日間の参加人数は延べ150名でした。

(2023年12月13、14日開催)

◆磁性材料研究会

可視化計測と材料開発に注目し、中性子イメージング法ならびに放射光磁気イメージング法の計測・解析、アモルファスの低鉄損化に関して講演をいただきました。東北大学金属材料研究所にてハイブリッド方式で開催しました。研究会後、ラボツアーと意見交換会が行われました。参加人数は37名でした。

(2024年1月24日開催)

◆有機・高分子材料研究会

有機・高分子材料研究会では今後5年間で、「中性子と放射光X線(特に軟X線とテングダーX線)を相補的に利用した研究を推進する」ことを目標にしており、今年度の研究会は、光科学イノベーションセンターと共催でオンライン開催し、中性子と軟X線それぞれの特徴を活かした研究例について発表がありました。参加人数は40名でした。

(2024年2月1日開催)

◆生物・生体材料研究会

CBI研究機構 量子構造生命科学研究所との合同シンポジウムをオンライン形式で開催しました。総合科学である創薬において、Cryo-EMとほかの技術の連携は必須であり、特に、同じデータを取得できても、それらの技術により、より正確な構造へと格上げされていく時代であるという見地で5人の先生方が講演されました。参加人数は190名でした。

(2024年2月16日開催)

◆中級者向けZ-Code講習会

中性子粉末回折装置を利用して回折データの解析経験のある方を対象に、中級者向けZ-Code講習会を開催しました。今回も昨年度と同様に講師の先生方の講義映像を特設サイトに掲載し、それを見て学習するオンデマンド方式としました。今年度は46名の方々に参加いただきました。参加者内訳は大学教員：2名、学生：19名、研究機関：3名、中性子産業利用推進協議会会員企業：15名、一般企業：7名でした。

(2023年12月6日から2024年2月29日)

施設からのお知らせ

◆J-PARC MLF

2024 A期の利用運転は4月8日～7月1日です。

2024 B期の課題募集は5月下旬の予定です。詳細はMLFのWebサイト(<https://mlfinfo.jp/ja/>)を参照ください。

◆JRR-3

2024年度分(下期)の課題公募を2024年5月頃に行います。詳細はWebサイト(<https://jrr3uo.jaea.go.jp/>)を参照ください。運転スケジュールも同サイトで公開されています。

※中性子・ミュオン実験のご相談をJ-JOINで受付けています。(秘密厳守)

◆茨城県ビームライン

産業利用課題を常時公募しております。また、令和5年度より茨城県内企業を対象に無料で利用が可能な研修課題も公募しております。

希望する実験時期の公募スケジュールをご確認いただき、募集要項をお読みの上、ご応募ください。詳細は茨城県ビームラインのウェブサイト

https://www.pref.ibaraki.jp/sangyo/kagaku/tyusei/procedure_industrial_use.html

をご覧ください。



今後の行事予定

日時	会議名	場所	その他
4月8日 ～ 10日	Machine Learning Conference for X-Ray and Neutron-Based Experiments.	Community Center (Bürgerhaus) Garching	https://indico.frm2.tum.de/event/451/
4月8日 ～ 11日	The Position Sensitive Neutron Detector conference (PSND2024)	Mathematical Institute University of Oxford, UK	https://iop.eventsair.com/psnd2024/
4月10日 ～ 14日	Neutrons & Food 7 June 10-14, 2024	STAR Tower, University of Delaware, Newark, DE	https://sites.udel.edu/neutronsandfood7/
5月14日 ～ 15日	MLZ Workshop: Automation in Diffraction	Lecture Hall, Institute of Advanced Studies, Technische Universität, München	https://indico.frm2.tum.de/event/439/
Jun 4-7, 2024	MLZ Conference 2024: Neutrons for Energy Storage	Conference House Fürstenried Palace (Munich)	https://indico.frm2.tum.de/event/461/
6月25日	レベル1 講習会	オンライン開催	
7月11日	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	
7月11日 ～ 12日	中性子産業利用報告会	秋葉原コンベンションホール	
8月22日 ～ 23日	中性子イメージング研究会	新橋ビジネスフォーラム	
10th-14th June	QENS/WINS 2024	Manchester, UK,	https://iop.eventsair.com/qens-wins2024/
7月15日 ～ 18日	17th International Conference on Surface X-ray and Neutron Scattering (SXNS17)	ESRF Auditorium, Grenoble	https://workshops.ill.fr/event/393
10月14日 ～ 18日	J-PARC シンポジウム (J-PARC2024)	水戸市民会館	https://j-parc.jp/symposium/j-parc2024/

◆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 センターユーザーズオフィス : <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/>

いばらき量子線利活用協議会 : <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」【24年・春】Vol.62

発行日 2024年3月25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。