

CONTENTS

P1 就任挨拶 P1 追悼 P2 ミュオンを使うと何がわかるか P6 SOFIA一次元集光の実用化 P6 J-PARC MLF情報 P7 JRR-3情報
P8 活動報告 P9 お知らせ

中性子科学センター長就任にあたって

一般財団法人総合科学研究機構・中性子科学センター長
柴山充弘

令和2年6月1日付けで一般財団法人総合科学研究機構(CROSS)中性子科学センター長に就任しました。これまでの約20年間は東京大学物性研究所附属中性子散乱研究施設にて大学共同利用の立場から中性子散乱研究を推進してきましたが、これからはユーザーを産業界にも広く求めJ-PARC MLFにおける中性子散乱研究の発展に尽力する所存です。

私は、最初の赴任地が地方の小さな国立大学であったため、学生数の割には研究費が少なく、何を行うにも研究費に事欠く状態でした。そこで、生き残り策として産業界との共同研究を積極的に進めました。最初は共同研究を取り付けるのに苦労しましたが、だんだんと多くの企業の方から共同研究や委託研究を実施できるようになりました。自分なりにその理由を見いだすとすると、産業界から提供される課題の多くは各論的で難問が多いのですが観点を変えると基礎研究の宝庫であることに気づき、依頼企業からの課題に応えるとともに学術論文としても成果を出すという一石二鳥の研究スタイルを構築したからだと思います。物性研究所に異動してからも、大学共同利用業務を主としながら、このスタイルを変える

ことはありませんでした。多くの方が引用されている本多光太郎先生の名言「産業は学問の道場なり」を因らずも実践してきたものだと思います。

さて、中性子科学センターは、その前身の東海事業センターの時代を含めると、今年で10年目になりました。特定先端大型研究施設の共用の促進に関する法律(略称「共用法」)の登録機関として7本の共用ビームライン(最初は4本)を利用する課題選定と利用者支援、専用ビームラインの選定・評価を主務としています。そのほか、J-PARC MLFの価値を最大限に発揮するという共用法の目的達成のため、NUP (New User Promotion)プログラムによる新規ユーザー開拓、CROSSroadsワークショップなどを通じた啓蒙活動、MLFホームページを使った多彩な広報活動と統計情報公開、コンソーシアムによる企業共同体による中性子散乱利用支援など、次々と新しい活動を展開しています。さらには、今年度から中性子産業利用協議会の事務局をCROSSが担当することになったこともあり、これまで以上に産業界や中性子学会と緊密に連携した運営を目指します。現在、登録機関として3期目の計画更新に向けて、申請準備をしています。今後とも、ますます中性子科学センターの活動にご理解とご支援を賜るべく、職員一同、邁進して参ります。

追悼 庄山悦彦・前副会長ご逝去の報に接して

中性子産業利用推進協議会 会長 今井 敬

当協議会が発足した2008年度から2018年度の10年間に渡り副会長を務めていただいた庄山悦彦様が去る2020年6月5日に逝去されました。享年84歳でした。庄山様は1959年に日立製作所に入社され、1999年から2006年まで社長を、2009年まで会長を務められました。この間、企業の研究開発における産学官

連携の重要性を説かれ、当協議会の設立に尽力されました。2009年に相談役になられてからも引き続き副会長として、新製品開発への中性子技術の活用や当協議会の運営全般を指導されました。また、産官学の意見も参考にしつつ、中性子の産業利用のあり方について各方面に提言されるなど、当協議会が発足から今日の安定した運営を築く上でご尽力をいただきました。庄山様のご冥福を心からお祈り申し上げます。

ミュオンを使うと何がわかるか

KEK 物質構造科学研究所・J-PARC センター MLF ディビジョン
幸田章宏、竹下聡史

1. はじめに

J-PARC MLFや英国ISISで中性子実験をしたことがある人なら、同じ建物の中にミュオンの実験施設があることに気付いていることと思う(思いたい)。しかし同居人ではありつつも、その実験装置を使って、どんな人たちがどんな研究や実験をしているのか、あまり知らないという人がほとんどではなかろうか。2013年から、本誌「四季」にミュオン科学の連載記事[1-14]が掲載されたが、今一度、最近の成果もあわせて全体を振り返る記事としてまとめてみよう。中性子の実験をされる読者のみなさんにとって、この記事が「ミュオンのこの実験手法を利用すると、こんなことも分かるかも」というヒントとなればこれ以上ない喜びである。

2. ミュオンの特徴

ミュオンが利用されている様々な研究分野・測定手法を俯瞰するのが本稿の主目的ではあるが、まずはミュオンとはどのようなものかを簡単に復習しよう。30秒で分かるミュオン講座である。

ミュオンは電子の仲間分類される素粒子である。電子の場合と同様に、正電荷と負電荷をもつ2種類の粒子(正ミュオン、負ミュオン)が存在し、スピンを有する。電子と違うことは質量が電子の約207倍あることと、約2.2マイクロ秒という寿命を持つことである。我々がMLFなどで使うミュオンビームは、当然、人工的に作られたものであるが、じつは我々は宇宙から絶えず降り注ぐミュオンビームの中で生活をしている。

さて人工的に生み出されるミュオンは、その作り方によっていくつか分類・呼称されるが、その手の話はミュオンの教科書[15]で必ず詳しく説明されるものなので、ここではざっくり割愛する。重要なポイントはミュオンを生成し、ビームラインに引き出す際にエネルギーを選別することで、それぞれの実験条件に最適なミュオンビームを使うことができるということである。高い運動エネルギーのミュオンを使えば測定対象内部の奥深くまでミュオンは到達するし、さらに高くすれば透過する。反対に運動エネルギーを低くすればより表面に近いところでミュオンは静止する。この特徴を利用して深さ方向の位置分解測定に使われることもある。

3-1. 磁性材料研究

ここからはいくつかの具体例を挙げつつ、ミュオンでどのような研究が実施されているかを紹介していく。まずミュオンが「スピンを有すること」を利用した、磁性材料の研究が挙げられる。電子、原子核とスピンをもつ粒子は数多あり、それぞれ電子スピン共鳴法(ESR)、核磁気共鳴法(NMR)として利用されるのと同様、ミュオンのスピンを使ったミュオンスピン回転・緩和法(μ SR)が知られている。前二者との大きな違いは、ミュオンが自然に100%スピン偏極した状態でのみ作り出されることにある。ESRやNMRが粒子のスピンを偏極させるために強い磁場を印加しなければならないことは対照的に、ミュオンはゼロ磁場であっても、材料の内部磁場を観測可能である。またミュオンは磁気揺らぎに対しても特徴的な観測時間窓($10^{-6} \sim 10^{-12}$ 秒)を有するが、これはちょうどNMRと中性子実験の有感領域の間を埋める。正負のミュオンはいずれもスピンを有しているが、負ミュオンでは少々、特別な事情があり(後述)、普通、断りなく μ SRと呼ぶときは正ミュオンを用いた実験を指すことが多い。

これらの特徴を利用した磁性材料の μ SR研究は、国内外のミュオン実験施設が稼働を始めた1980年代初頭から活発な活動の続く一大分野であるが、MLFの稼働により新たな時代に入りつつある。すなわち大強度ミュオンビームによるオペランド実験である。以前は一測定点で解析に耐える十分な統計量のデータを得るために、15~30分と時間をかけていた。大強度ビームによって、2~3分毎の時間経過を連続的にその場観察することも可能となった。日立金属(株)のFINEMET[®]は高機能磁性材料として有名で、J-PARCをはじめ世界中の加速空洞で使われつつある。この磁性材料はアモルファス状態の原料に熱処理を加えナノ微結晶を析出させることで製造されるが、この熱処理の過程(約30~120分)を連続的に μ SRで観察する実験が行われている[16]。

3-2. 半導体・誘電体中の微量水素

ミュオンの質量は電子の約207倍であるが、これは陽子の質量の約1/9ということでもある。正ミュオンは物質中で静止する際に電子一つと束縛状態をつくり、疑似的な水素原子「ミュオニウム」を形成することが知られている。ミュオニウムはいわば水素の軽い同

位体である。

さて青色LEDの有名なエピソードであるが、化合物半導体の中には製造工程で微量の水素が混入し、それらがドナーとして振る舞うためにn型半導体となるものがある。しかし実際にどれほど微量の水素が混入しているのかを、化学的に検知するのは難しい。ミュオンは半導体や誘電体物質中に微量に水素が入った状態を模擬することができるので、高機能電子材料の研究に用いられている[5,9,17,18]。

3-3. 水素貯蔵材料

ミュオンが磁気プローブであることは上で述べた通りであるが、その感度を測る尺度ともいうべき磁気回転比は約136MHz/Tである。これは陽子の値(約43MHz/T)の約3倍で、結果としてより高感度である。このため、物質中の核磁気モーメントが作る双極子磁場も容易に検出する。たとえば水素貯蔵材料などで、ミュオンの静止位置から眺めてどれくらいの数の水素がどれくらいの距離にいるかということ推測できる。さらにミュオンは動的な磁気揺らぎを検知するので、材料からの水素放出において、材料物質中をどのように水素が動いているかを調べることもできる[4,11,19]。

3-4. 金属材料中の格子欠陥

物質材料と水素というと、金属の水素脆性に興味を持たれる産業界の方も多いと思う。水素脆性は金属格子の原子空孔に水素が集まることで金属組織の破壊につながると考えられている。このような微量な水素を検知するのは、ミュオンの得意とするところである。

また上述の通り、正ミュオン自身も金属中で水素のような状態にある。したがって、照射された正ミュオン(つまり水素)が物質中を動き回っているのか、あるいは動き回る過程で原子空孔に捕らわれて静止しているのかを、 μ SR法は周囲の核磁気モーメントが作る局所内部磁場が揺らいでいるか否かという違いとして観測する[6,20]。

3-5. 高分子材料の μ SR

高分子材料の μ SRでは、正ミュオンとミュオニウムのそれぞれを磁気プローブとして利用することが特徴である。正ミュオンを試料に打ち込むと、一部の正ミュオンはミュオニウムとなり、残りは電子を捕まえることなく裸の正ミュオンのままで存在する。高分子中の(裸の)正ミュオンやミュオニウムは、特に不飽和結合の部位に位置しやすい特徴がある(なお、ミュオ

ニウムが不飽和結合部に付加する場合は、ラジカルが誘起される)。結果として不飽和結合部位における高分子の分子運動ダイナミクスを観測する事が可能となる[21]。

現在MLFで開発が進んでいる運動エネルギーの極めて低いミュオン(超低速ミュオン)を利用することで、薄い膜(数nm~100nm程度)内部のダイナミクスも観測可能となる[12,22]。入射したミュオンの運動エネルギーが低いほど、ミュオンは試料表面近傍に停止するため、その位置での情報を得ることができる。また低運動エネルギーであるほど、ミュオンの停止位置の分布幅は狭くなる(例えば、高分子材料において、試料表面から100nmの深さで停止するような運動エネルギーのミュオンを打ち込んだ場合、実際の観測領域は 100 ± 10 nm程度となる)。観測したいダイナミクスの空間スケールによっては、このような領域をプローブする実験も可能となる。なお、スイスのミュオン施設PSIでは、J-PARCのような低い運動エネルギーのミュオンは利用できない(即ち、J-PARCより深い領域しかプローブできない)が、既に各種薄膜を対象とした実験が実施されている。

3-6. イオン電池材料

核磁気を検出を利用する例として水素の話も多く挙げてきたが、それ以外にも核磁気モーメントを有する材料の研究の例は多い。イオン電池の代名詞ともいえるLi、次世代のイオン電池として注目を集めるNa、F、幸いなことに、これらはいずれも核磁気モーメントを持っている。たとえばLiイオンが物質中で拡散していく様子は、正ミュオンにとっては局所磁場の揺らぎとして検知される[7]。

正ミュオンは物質中の格子間位置の電場ポテンシャルの極小位置に静止するのに対して、負ミュオンは原子核を周る重い電子となり、正ミュオンとはまた異なる局所磁場を見る。両者を使う対称実験が実現できれば、さらに詳細な情報が得られると期待されていた。しかし、J-PARC以前の加速器施設では、作り出される負ミュオンの数がそれほど多くなく、またせっかく得られた負ミュオンも原子に捕らわれる過程で減偏極してしまうなど、実験上の困難が多かった。J-PARC MLFは3 GeVという世界的にも類を見ない高エネルギーの陽子ビームからミュオンを作り出すため、より多くの負ミュオンを生成することができる。このため、上述の対称実験でも、今後世界をリードすると期待されている[23,24]。

3-7. 非破壊元素分析

負ミュオンを用いた非破壊元素分析は、上述の μ SR法とは異なり、負ミュオンの重い電子としての性質を用いる。負ミュオンは負の電荷を持つため、電子が物質に衝突した際に発生する特性X線と同様のX線を放出する。しかし、負ミュオンの質量が電子の約207倍であるため、放出される特性X線も207倍高いエネルギーを持つ。負ミュオン由来の高エネルギー特性X線は、電子由来の特性X線よりも物質の透過能が高いため、分厚い試料の内部分析等も可能となる。これらの負ミュオン特性X線の強度比から、試料内部の元素の種類、及びその定量が可能である [3, 25]。

本手法のもう一つの特徴は、深さ分解測定が可能な点である。入射運動エネルギーを変えることにより、プローブする深さも任意に選択できる。これは、元素分布の深さ方向依存性を調べられることを意味する。試料の組成や試料を設置する環境(真空中、ヘリウムガス中、或いは空気中)にも依存するが、分析が可能な深さは、一般的には数 $10\ \mu\text{m}$ ～数 cm 程度である(ただし深さ方向には、おおよそ5～10%程度の広がりを持つ)。

これらの特徴を上手く利用することにより、文化財 [3, 26] やリチウムイオン電池 [27] 等、破壊することにより価値・機能が失われてしまうような試料について、非破壊で元素分析が行われている。

3-8. 半導体デバイスにおけるソフトエラー

近年、様々な機器にコンピュータが搭載されるようになった。中でも航空機や自動車の自動操縦(自動運転)のように高い信頼性が求められるケースも多くなってきている。コンピュータが誤動作する原因の一つとして宇宙線がある。コンピュータの半導体デバイスが宇宙線に曝されると、ソフトエラーと呼ばれる誤動作を招く場合がある。宇宙線の中でもミュオン、特に負ミュオンがデバイスに与える影響は大きいことが近年明らかとなってきている。このため、開発したデバイスをミュオンのビームラインに持ち込み、ミュオンを照射しながらデバイスの動作試験を行う事により、信頼性の検証を行う実験が近年増えてきている。

実際には、ミュオンの入射運動エネルギーを適切に選択することにより、デバイスの最も敏感な領域にミュオンを停止させ、誤動作がどの程度の頻度で生じるかを観察する。また、入射運動エネルギーを変えることにより、敏感な領域の前後にミュオンが停止した場合の影響も調べることができる。

このようなソフトエラー観察では、前述のように、

正ミュオンより負ミュオンの方が誤動作する確率が高いことが明らかとなってきた。正ミュオンとは異なり、照射された負ミュオンは原子核に捕獲・吸収され、二次粒子を発生する。これらの粒子による電荷付与が、ミュオン自身による電荷付与よりも十分大きくなるため、負ミュオン起因の誤動作の頻度が大きくなっていると考えられている [14, 28]。

3-9. さらにその先へ

紙幅も尽きつつあるが、今後、加速器技術あるいは検出器技術の進展によって、さらに産業利用が進むかもしれない課題をいくつか取り上げておきたい。

ミュオンという言葉でピラミッドや福島第一原発の透視という話を思い浮かべた人も多いかもしれない。メートル、あるいはキロメートルといった構造物を透視するには高エネルギー(1 GeV～1 TeV)の宇宙線ミュオンを用いざるをえない。これにより溶鉱炉の内部を透視するという技術は実際に実用化されている [2, 29]。また反対に小さな領域、マイクロメートル、サブマイクロメートルというスケールを透過する「ミュオン透過型顕微鏡」という手法の基礎実験はすでにMLFで行われつつある。これが実用化されれば、生物細胞などを凍結させることなく生きた状態で観察できると期待されている。

負ミュオンは核反応を起こす場合もあり、この反応を用いれば、現状では海外からの輸入に頼らざるを得ない医療用 ^{99}Tc を国内で生産できるのではないかとというアイデアがある [29]。また負ミュオンは水素の核融合反応を引起こすこともあり、ミュオン触媒核融合という名前で呼ばれている。MLFではまだ実験は行われていないが、海外施設では長い歴史をもつ研究であり、いかに反応を連鎖させてエネルギー生産に近付けるかという点に注目が集まっている [8, 29]。

4. まとめ

かなり多くの内容を限られた紙面に詰め込んだため、個々の紹介内容は消化不良を引き起こすかもしれない。これらの実験手法についてさらに知りたい方は、気軽に筆者らにお尋ねいただきたい。また施設利用方法の実際や、ここで紹介しきれなかったミュオンの利用例なども、日本中間子科学会 [30] の会誌「めそん」に掲載されている。少しでも興味を持ってもらえたら、ぜひ入会をご検討いただくと幸いです。

参考文献

1. 「『中性子』から『中性子+中間子』へ」鳥養映子、三宅康博、杉山純、四季Vol.18, p. 3 (2013).
<http://www.j-neutron.com/pdf/Vol18.pdf>
2. 「宇宙線ミュオンによる大型産業機器の内部探索」永嶺謙忠、四季Vol.19, p. 3 (2013).
<http://www.j-neutron.com/pdf/Vol19.pdf>
3. 「ミュオンX線を利用した物体内部非破壊元素分析」久保謙哉、二宮和彦、四季Vol.20, p. 4 (2013).
<http://www.j-neutron.com/pdf/Vol20.pdf>
4. 「錯体貯蔵材料の研究」門野良典、四季Vol.21, p.4 (2013).
<http://www.j-neutron.com/pdf/Vol21.pdf>
5. 「半導体中のミュオニウムで視る水素の状態」下村浩一郎、四季Vol.22, p. 4 (2014).
<http://www.j-neutron.com/pdf/Vol22.pdf>
6. 「実用アルミ合金の原子空孔挙動」西村克彦 他、四季Vol.23, p. 4 (2014).
<http://www.j-neutron.com/pdf/Vol23.pdf>
7. 「ミュオンによる固体内イオン拡散の測定」杉山純、四季Vol.24, p. 5 (2014).
<http://www.j-neutron.com/pdf/Vol24.pdf>
8. 「ミュオン触媒核融合」石田勝彦、四季Vol.25, p. 2 (2014).
<http://www.j-neutron.com/pdf/Vol25.pdf>
9. 「ミュオニウムで探る誘電材料中の不純物水素の電子状態」伊藤孝、髭本亘、幸田章宏、下村浩一郎、四季Vol.26, p.5 (2015).
<http://www.j-neutron.com/pdf/Vol26.pdf>
10. 「ミュオンでみる生体物質中の電子伝達」菅原洋子、四季Vol.27, p. 3 (2015).
<http://www.j-neutron.com/pdf/Vol27.pdf>
11. 「水素貯蔵材料の水素脱離温度付近での測定」梅垣いづみ、杉山純、四季Vol.28, p. 3 (2015).
<http://www.j-neutron.com/pdf/Vol28.pdf>
12. 「ミュオン顕微鏡への期待」吉野淳二、四季Vol.29, p. 3 (2015).
<http://www.j-neutron.com/pdf/Vol29.pdf>
13. 「J-PARCにおける負ミュオン研究」三宅康博、四季Vol.45, p.4 (2019).
<http://www.j-neutron.com/pdf/Vol45.pdf>
14. 「半導体デバイスに対する宇宙線ミュオン起因ソフトウェアの研究」渡辺幸信、四季Vol.46, p. 4 (2020).
<http://www.j-neutron.com/pdf/Vol46.pdf>
15. 「ミュオンスピン回転法」門野良典(共立出版、基本法則から読み解く物理学最前線シリーズ10)
16. 季刊誌J-PARC No.10「加速空洞を知る」(2017).
https://j-parc.jp/picture/2018/02/magazine_20180228.pdf#zoom=100
17. KEKプレスリリース「ディスプレイ用半導体の性能を左右する 微量な水素の振舞いが明らかに - 素粒子ミュオンで透明半導体IGZO (イグゾー)中の不純物水素の局所電子状態を解明-」(2019).
<https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/PR20190927.pdf>
18. 物構研 News No.29 「ミュोजェンが明かす『愚者の金』の真価」(2019).
<https://www2.kek.jp/imss/news/2019/topics/0920FoolsGold/>
19. KEKプレスリリース「ミュオンを使ったその場観察の手法により水素貯蔵物質からの水素脱離反応の仕組みを観測」(2019).
<https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/PR20190412.pdf>
20. めそんNo.37 p.33 (2013) 「ミュオンの産業応用・社会貢献」西村克彦
http://www.jmeson.org/meson-pdf/Meson_37_web_Nishimura.pdf
21. めそんNo.48 p.13 (2018) 「ミュオンスピン緩和法の高分子材料への応用 ~分子ダイナミクスの観測~」竹下聡史
http://www.jmeson.org/meson-pdf/Meson_48_Takeshita.pdf
22. 物構研News No. 3「超低速ミュオン顕微鏡の実現へ」(2012).
<https://www2.kek.jp/imss/news/IMSS-News/news-no3/#highlight>
23. KEKプレスリリース「負のミュオン素粒子で視る物質内部 - 世界最高計数速度の負ミュオンビームで長年の夢が実現-」(2018).
<https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/20180824press.pdf>
24. KEKプレスリリース「正負のミュオンで捉えたイオンの動き - Liイオンの動きを、負ミュオンで確認、正ミュオンで詳細観察-」(2020).
<https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/PR20200807.pdf>
25. KEKプレスリリース「人類が手にする物質を透視する新しい"眼"」(2014).
<https://www.kek.jp/ja/NewsRoom/Release/20140527180000/>
26. 物構研 News No.27 「負ミュオンで蛭藻金の謎を解く - 文理融合プロジェクト」(2019).
<https://www2.kek.jp/imss/news/2019/topics/0130Hirumo/>
27. KEKプレスリリース「リチウムイオン電池電極に析出した金属リチウムをミュオンで検知 - ミュオン特性X線による非破壊元素分析の応用-」(2020).
<https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/PR20200616.pdf>
28. KEKプレスリリース「『宇宙線ミュオン』が電子機器の誤作動を引き起こす ~超スマート社会の安全・安心を支えるソフトウェア評価技術の開発に向けて~」(2018).
https://www.kek.jp/ja/newsroom/attic/20180529press_imss.pdf
29. めそんNo.37 p. 9 (2013) 「ミュオンによるラジオグラフィーと元素変換」永嶺謙忠
http://www.jmeson.org/meson-pdf/Meson_37_web_Nagamine.pdf
30. 日本中間子科学会：<http://jmeson.org/>
<http://jmeson.org/muon-video/>
にて μ SRの原理紹介ビデオを視聴、あるいはダウンロードできます。

中性子反射率計SOFIAにおける一次元集光ミラーの実用化

KEK 物質構造科学研究所・J-PARC センター MLF デビジョン
山田悟史

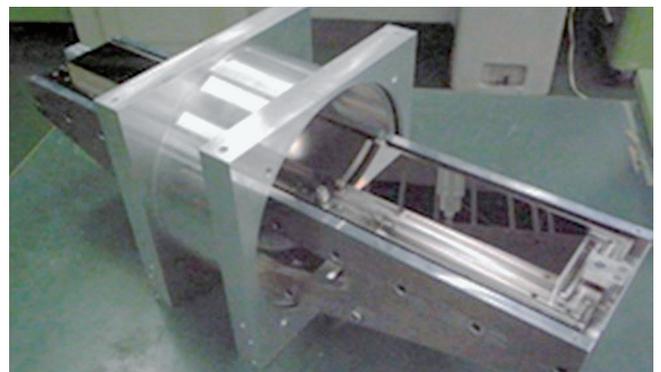
中性子反射率計SOFIAでは、理化学研究所、京都大学と共同で60mm×550mmの大面積を有する一次元楕円型集光ミラーの開発を継続して行ってきた。このミラーは精密加工した金属基板にNi/Tiの多層膜をイオンビームスパッタすることにより製作されている。通常中性子用のスーパーミラーに用いられるガラス基板をベースとしたミラーと比較すると、高い耐放射線性能を有する上に多彩な形状を製作することが容易で、複数枚のミラーを組み合わせて大面積のミラーを製作することも可能である。今回、これまでに培ってきた知見をベースに研磨プロセスとミラーの固定方法の見直しを行い、基板表面の形状精度の向上および粗さの改善に成功した。これにより、試料位置における中性子ビームのサイズを130 μm(FWHM)まで絞ることに成功した。また、これまでに開発したミラーは場所によって反射率のムラが生じており、不均質であることが実用化の障害になっていたが、これも粗さの改善により全面にわたって高い反射率を有するミラーを成膜することに成功した。この集光ミラーは実際にSOFIA反射率計で利用可能となっており、小さな試料に中性子ビームを取束させることで既存のダブルスリット光学系と比較して約2倍の強度ゲインが得られ

ることを確認している。

なお、この成果はOpt. Express誌にて公開され、以下の通りプレスリリースを行った。さらなる詳細についてはこちらに示してあるので、ご参照ください：
<http://j-parc.jp/c/press-release/2019/09/19000331.html>

参考文献

I.T. Hosobata, N. L. Yamada, M. Hino, H. Yoshinaga, F. Nemoto, K. Hori, T. Kawai, Y. Yamagata, M. Takeda, and S. Takeda, "Elliptic neutron-focusing supermirror for illuminating small samples in neutron reflectometry", Opt. Express 27 (2019) 26807.



今回製作した中性子反射率計用1次元集光ミラー

J-PARC MLF 情報

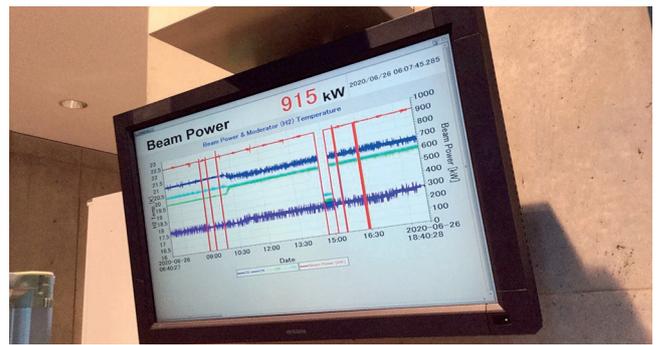
J-PARC 物質・生命科学実験施設で1 MW 利用運転を実施

J-PARC 物質・生命科学実験施設(MLF)では、6月25日から27日にかけてほぼ1 MWに近い約920kWでの利用運転を行いました。1 MWでの安定供用を目指すJ-PARCでは、2014年度にMLFのターゲットへの1 MW相当パルス入射試験を行って以来、2018年度は1時間、2019年度には10.5時間の1 MW連続試験運転を実施してきました。今年度は、夏季休止期間前の最後の供用期間に利用運転として1 MW運転(約920kW)を実施しました。6月25日の9:46から開始された1 MW利用運転は、加速器の停止や冷却

水の温度上昇などによる運転の中断を挟み、27日の11:22まで36.5時間継続されました。900 kW以上の長時間の利用運転は、J-PARCとしても初めてのものとなりました。その間、MLFでは、中性子、ミュオン源、それぞれの標的の高出力ビーム下での温度変化の傾向といったこれまでの短時間試験では得られなかった長時間の挙動に関するデータを取得しました。また、中性子、ミュオンの実験装置では、いくつかのビームラインで幸運な利用者が1 MWでの実験を体験した他、装置課題を利用した、データ収集系の負荷試験や検出器、中性子ミラー等の機器の性能試験を実施しています。また、装置グループによる大強度ビーム

を活かした試験的な先導研究も試みられました。例えば、高強度を利用することで十分な測定が短時間で可能になることから、時分割測定の時間分割をより細かくすることができます。回折実験でもより高速の挙動を捉えることが可能になる他、回折実験に比べて測定に時間がかかる準弾性散乱実験でも時分割測定を行える可能性が広がります。今回、DNA (BL12)では、Li伝導体に関して電流が流れている状態でのin situ中性子準弾性散乱実験を行い、電圧に依存する比較的速いLi拡散の成分が存在するという予備的な結果を得ることができました。今回の1MW利用運転によって、加速器、線源で得られたデータ、実験装置での機器試験の結果、先導研究による知見等は、今後のJ-PARC

における安定した1 MW利用運転やそこで展開される利用者の研究に反映されることとなります。



J-PARC物質・生命科学実験施設(MLF)では、6月25日から27日にかけて約920kWでの利用運転を行った。

JRR-3 情報



JRR-3の耐震補強工事のパンoram写真
(2020年8月撮影: JRR-3ユーザーズオフィス提供)

【JRR-3の現状について】

研究炉JRR-3(熱出力20MW)は、2011年3月11日の東日本震災後に制定された新規制基準への対応のため、2014年9月26日の設置変更許可申請後、ほぼ4年間の新規制基準適合性審査を経て、2018年11月7日に設置変更許可を取得しました。設置変更許可においては、地震動評価の結果、原子炉建家の躯体(壁)は耐震基準を満足していたものの、原子炉建家の屋根の一部が損傷するおそれがあるため補強を実施し、ビームホール等の建家、構築物については、2007年度に改正された建築基準法を満足するように耐震補強工事を実施することといたしました。2019年4月からは、新たな耐震設計に基づく耐震補強工事を安全最優先で実施してきました。2020年春には新型コロナウイルス感染拡大防止のため一時工事を休止しましたが、2020年末に竣工すべく、工事を進めております。竣工後、使用前検査など様々な手続きを経て2021年2月末には運転を再開する予定に変更はありません。

【JRR-3の供用運転スケジュールについて】

2021年2月末の運転再開後には、6月まで各種調整運転を行った上で、利用者への供用運転を開始する予定です。2021年度は6月末から11月までの4サイクル、2022年度からは5月から12月までの7サイクル運転を計画しています。J-PARCの運転停止期間である夏季にも供用運転を実施しますので、JRR-3とJ-PARCを合わせて年間を通じた中性子ビーム供給と中性子利用が可能となります。最新のJRR-3供用運転スケジュール(案)(図1)を本年8月6日に以下のURLにて公表しました。

<https://jrr3.jaea.go.jp/images/20200806.pdf>

この供用運転計画に基づき、本年11月に、2021年度通年のJRR-3の利用課題公募を開始する予定です。課題公募に関する詳細は、JRR-3ユーザーズオフィスの下記URLに掲載いたします*。

<https://jrr3uo.jaea.go.jp/>

利用課題申請は『JRR-3 RING』システムによるWeb申請となっています。成果占有枠での利用に関しては随時募集を行う予定です。また、成果非占有枠利用に関しても随時募集を行う可能性があります。Web申請に関しご不明な点、随時募集の詳細はJRR-3ユーザーズオフィスにお気軽にお問合せ下さい(Tel:029-282-6098, Mail:jrr3-uoffice@jaea.go.jp)。JRR-3ユーザーズオフィスでは、利用者サー

ビスのワンストップ化を図り、利用者サービスの充実を図って参ります。JRR-3の課題申請や供用運転再開後に実験で来所された際に、積極的なご利用をお願いいたします(図2)。課題公募を含むJRR-3に関する最新のイベントや情報を以下のJRR-3公式Twitterで発信していますので、フォローをお願いします。

https://twitter.com/JAEA_JRR3

* JRR-3を含む日本原子力研究開発機構が所有する11の供用施設と「施設供用」制度に関する情報を下記のURLで公開していますので、ぜひご活用下さい。

<https://tenkai.jaea.go.jp/facility/3-facility/01-intro/index-02.html>



図1：JRR-3供用運転利用スケジュール(案)



■住所：〒319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方2番地4
 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構
 JRR-3 ユーザーズオフィス
 TEL：029-282-6098 FAX：029-282-6763
 E-mail：irr3-uoffice@jaea.go.jp URL：<http://irr3uo.jaea.go.jp/>

図2：JRR-3 ユーザーズオフィスの場所

活動報告

◆2020年度初級向けZ-Code講習会を開催

(2020年8月27日～28日。共催：J-PARCセンターMLFディビジョン、KEK物質構造科学研究所、茨城県、茨城大学フロンティア応用原子科学研究センター、総合科学研究機構(CROSS)中性子科学センター)

本年度のこの講習会は、新型コロナウイルス感染拡大防止の観点からWebセミナーでの開催としました。例年と同様、回折結晶学の講義から開始し、Z-Rietveldのインストール、実データを用いた具体的な解析の実習を2日間にわたって実施しました。チャット機能を用いた質問も多く寄せられ、充実した2日間となりました。

参加登録者は88名、内訳は、民間企業12社21名(協議会参加社からは7社12名)、国立研究開発法人3名、大学64名でした。昨年度、東京の会場で実施した時は、参加者28名、内、民間企業3社5名(協議会参加者からは1社1名)、国立研究開発法人5名、大学18名でしたので、Webセミナーとしたことで大

幅に参加者が増えました。一方で、会議ソフトの操作ミスが減らすことや、リモートでは実習時に参加者ひとりひとりの解析の状況を直接指導、助言することはできないことが今後の課題として検討が必要と考えられます。



ホスト側での講義の状況

◆産業応用セミナーを開催(ヤマハ発動機殿)

2020年7月21日(火)午後にヤマハ発動機殿での産業応用セミナーを開催しました。今回、初めての試みとして、IQBRCの会議室と同社会議室を結んでZoomを用いてリモートでの講演としました。会議室に集まることが難しい講師の先生にはそれぞれの職場などからのご講演をお願いしました。同社での今後の開発に資する観点から、JRR-3の利用を念頭においてラジオグラフィーや高分子材料の小角散乱による解析などについて講演を行いました。実験方法などについて多くの質疑があり、充実したセミナーとなりました。参加者は実務者の方を中心に9名でした。

◆産業応用セミナーを開催(東芝殿)

2020年8月20日(木)午後に東芝殿での産業応用

セミナーを開催しました。このセミナーもZoomによるリモートでの講演としました。同社からは中性子利用について経験の浅い方も含めて参加され、中性子の基礎から利用方法まで広く紹介し、活発な質疑を行いました。聴講される方も一ヶ所に集まる必要もなく、リモートでの講演の利点が活かされたセミナーとなりました。参加者は51名でした。

◆総会を開催

本年度の総会は、新型コロナウイルス感染拡大防の観点から書面での開催としました。議案を各社に書面で諮った結果、2020年8月21日付で審議結果を確定し、すべての議案が成立しました。

お知らせ

◆中性子の利用相談窓口を開設

中性子利用に関するワンストップの「利用相談窓口」をJ-PARC JOINのサイトに開設しました。産業利用に関するお問合せは、こちらへどうぞ：
<https://j-parc.jp/c/j-parc-join/index.html>

◆J-PARC オンライン施設公開 (2020年10月7日公開開始)

2020今年のJ-PARC施設公開は、10月7日(水)にWeb上で公開を開始します。また、10月10日(土)にはライブ配信も行います。詳しくはJ-PARCホームページ(<http://j-parc.jp>)でご確認ください。

◆レベル1講習会開催のお知らせ (2020年10月21日開催)

中性子実験技術の初心者の方を対象に中性子実験技術の基礎的事項を紹介し、中性子実験施設(J-PARC MLF、JRR-3等)での実験計画立案や課題申請に役立てていただくことを目的として、中性子実験技術基礎講習会(レベル1講習会)を開催します。本年度はZoomによるリモートでの開催となります。皆様のご参加をお待ちしております。

1. 開催日時：
2020年10月21日(水) 9:35 ~ 17:00
2. 開催方法：Zoomによるリモート会議(接続URLは開催直前にお知らせします。Zoomの利用が難しい方は申込時に下記フォームにその旨ご記入下さい。)
3. 申込方法: 下記の申込フォームからお申し込みください。
https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScX6IHwtPWUGVi9SEKTR81f5OW8jx4GDEU_YrrVK90G0aAHqA/viewform
※ご入力いただいたメールアドレスにお申込み確認のメールが自動的に送信されます。返信が確認できない場合は、下記、中性子産業利用推進協議会事務局までE-mailにてお申し込みください。
4. 申込締切：2020年10月15日
5. 参加費(テキスト代)：2,000円
中性子産業利用推進協議会の会員企業の皆様と日本中性子科学会の会員、ならびに学生の方は無料です(学生証表裏の画像を下記アドレスに送付してください)。
<http://www.j-neutron.com/participation/>
参加費は申込後、振込先をご連絡します。なお資料はpdfでの提供となります。

6. プログラムおよび講師

- 9:35 開講挨拶
9:40～10:10 中性子の基礎 野間 敬(CROSS)
10:10～10:50 結晶構造解析 中尾 朗子(CROSS)
10:50～11:30 反射率法 阿久津 和宏(CROSS)
11:30～12:30 昼 食
12:30～13:10 小角散乱 岩瀬 裕希(CROSS)
13:10～13:50 残留応力 諸岡 聡(JAEA)
13:50～14:30 ラジオグラフィ 林田 洋寿(CROSS)
14:30～14:40 休 憩
14:40～15:20 即発ガンマ線分析 初川 雄一(QST)
15:20～16:00 準弾性・非弾性散乱 井上 倫太郎(京大)
16:00～16:40 中性子の産業利用 峯村 哲郎(茨城県)
16:40 閉講挨拶

(主催：中性子産業利用推進協議会(IUSNA)、日本中性子科学会(JSNS)、総合科学研究機構中性子科学センター(CROSS)。協賛：茨城県)

◆2021年度総会・J-PARC MLF 産業利用報告会開催日程決定

2021年度の総会、産業利用報告会は以下の日程で開催します。

総会：2021年7月15日(木)午前

産業利用報告会：

2021年7月15日(木)午後～16日(金)

場所：秋葉原コンベンション(秋原原駅前)

詳細は今後確定次第、お知らせいたします。

◆リンクのご案内

J-PARC JOIN (利用相談窓口) : <https://j-parc.jp/c/j-parc-join/index.html>

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

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

J-PARCセンターユーザーズオフィス : <https://is.j-parc.jp/uo/>

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/>

茨城県県内中性子利用連絡協議会 : <http://www.htc.co.jp/neutron/>

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)・山田 悟史(J-PARC)・水沢 多鶴子(CROSS)・

富安 啓輔(日産アーク)・原田 久(ヤマハ発動機)

事務局 日比 政昭・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：

<http://www.j-neutron.com/siki.htm>

中性子産業利用推進協議会(IUSNA) 季報「四季」【20年・秋】Vol.48

発行日 2020年9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センター D201

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

<http://j-neutron.com/>