

## CONTENTS

P1 巻頭言 P1 訃報 P2 中性子全散乱測定による水素を含む物質の構造解析 P6 J-PARC MLF情報 P6 JRR-3情報 P7 活動報告  
P8 お知らせ

## マルチプローブ利用への道を照らす ～量子ビーム連携研究センター発足にあたり～

物質構造科学研究所量子ビーム連携研究センター 雨宮 健太

KEK物質構造科学研究所では、放射光、中性子、ミュオン、低速陽電子という4つの量子ビームを有する研究所としてのメリットを活かし、新たな量子ビーム連携研究を開拓することを目指して、量子ビーム連携研究センター (Center for Integrative Quantum Beam Science; CIQuS) を設立しました。開拓する、などと聞くと思わず身構えてしまいますが、最大の目玉は、それぞれのプローブの利用研究の中から、他のプローブを利用することで発展が見込まれるものを発掘し、課題申請から試料調製、解析まで、マルチプローブ利用研究の実施をお手伝いする、「発掘型共同利用」という取り組みです。読者の皆さんは中性子に関わっている方が多いことと思いますが、この取り組みではそういった皆さんを放射光、ミュオン、低速陽電子の利用へといざなったり、逆に他のプローブの利用者を中性子利用へと誘導したりすることになります。当然、そのプローブを初めて使う、という方が多くなりますので、いかにして皆さんが未知の世界に飛び込む後押しをするかが、私たちの腕の見せどころです。一人でも多くの方にマルチプローブ利用の

醍醐味を知ってもらい、新たな量子ビーム連携研究へとつなげていきたいと考えています。

ところで私自身は、学部学生の時から放射光、特に軟X線にどっぷりつかってききましたが、初めて中性子を利用したのは忘れもしない2012年3月、まだ震災の爪痕が深く残るJ-PARC MLFでした。何から何まで新たな体験の連続で、今でも楽しい思い出です。軟X線の測定も放射光実験の中では時間のかかる方ですが、私の利用した偏極中性子反射率の測定は、桁違いに時間がかかった(= J-PARCの探検と東海村のレストラン巡りを思う存分楽しめた)ことが、何よりも印象に残っています。その後、数回の実験を経て無事に軟X線との相補利用で成果をあげることができ、それ以来、ほぼ常連として利用させていただいています。このような、新たなプローブ利用に踏み出すことで初めて得られる喜びを、多くの皆さんに実感していただければ幸いです。

量子ビーム連携研究センター

(Center for Integrative Quantum Beam Science; CIQuS)

<https://www2.kek.jp/imss/ciqus/>

## 追悼 有馬朗人・元顧問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年度から継続して顧問を務めていただいていた有馬朗人先生が去る2020年12月6日に逝去されたことが報道されました。享年90歳でした。

有馬先生は1953年に東京大学理学部物理学科を卒業されてから、東京大学教授や理学部長、総長、理化学研究所理事長、参議院議員、文部大臣、科学技術庁長

官などを歴任されました。有馬先生のご専門は、原子核の表面に起こる運動を考慮した磁気能率の研究や、原子核の集団運動の代数的取り扱いの研究で、原子核物理学の進展に貢献され、それらの業績により2004年に文化功労者、2010年に文化勲章を受章されました。

中性子に関しては、世界最大強度の高エネルギー陽子加速器を開発し、素粒子・原子核物理学から、物質科学、生命科学にいたる多様な科学分野で、新しい地平を切り開こうとする高エネルギー加速器研究機構の大

型ハドロン計画を中核となって推進されました。一方で、日本原子力研究所は、生命・物質科学などの基礎科学や超寿命核種変換処理などの研究開発を推進する中性子科学研究計画を推進しようとしていました。両機関は1999年3月に計画を統合することに合意しました。その計画推進に当たり、有馬先生は当時コロンビア大学の物理学科主任を務めておられた永宮正治先生に帰国を要請されました。これを受けて永宮先生はKEKの大強度陽子加速器計画推進部長に就任されてJ-PARCの建設に尽力し、後に初代J-PARCセンター長に就任されています。この計画は、省庁再編計画に基づき文部省と科学技術庁が統合され、文部科学省が発足した象徴的な事業となり、大強度陽子加速器研究施設(J-PARC)は2000年12月に認可、2001年には建設が開始され、2008年

12月にJ-PARCの物質・生命科学実験施設(MLF)は運転を開始しました。

有馬先生は、MLFの運営に関して学術利用だけでなく産業利用にも力点をおくべきとの主張をかねてよりお持ちでした。そのため、2008年5月に当協議会が発足するに当たり、特にお願いして顧問に就任いただきました。2011年2月に日本科学未来館で開催されたJRR-3改造20周年記念シンポジウムの懇親会の場で中性子産業利用の推進による日本の国際競争力の強化について力説されたことは当協議会の活動推進に対して力強い応援になりました。そうした有馬先生の蔭ながらのご支援が、当協議会が発足以来今日に至るまで活発に活動を進めて来ることができた1つの源泉となっています。

有馬先生のご冥福を心からお祈り申し上げます。

## 中性子全散乱測定による水素を含む物質の構造解析

KEK 物質構造科学研究所・J-PARC センター MLF デイビジョン  
池田一貴、本田孝志、大友季哉

### 1. はじめに

水素は原子として生まれた最初の元素で世の中に遍く存在するが[1]、産業においては鉄鋼材料に入り込む微量の水素が脆化を引き起こす負の印象が強い。それに対して、比較的多くの水素が物質に侵入すると有用な機能が誘起されることがあるため、そのような物性と構造との相関に注目している。たとえば、水素は物質を構成する原子の隙間に可逆的に侵入するが、水素ガスと物質中水素との平衡が成り立つ条件は組成や構造によって様々であり、この条件を制御することによって水素貯蔵材料として利用できる[2]。また、物質中の水素は周囲の構成元素と電子をやり取りしてプロトン、ヒドリド、錯イオン中の共有結合などの多様な化学状態を示し、ヒドリドや錯イオンの対イオンが移動することによってイオン伝導特性を発現することがある。また、超伝導特性とも関連が深い。これらの物性が発現する機構や開発指針を明らかにするためには水素が物質中のどこに存在しており、水素がその周囲にどのような構造変化を及ぼしているのかがとても重要であるため、様々なプローブを利用した構造研究が実施されている。

物質に電子線、X線、中性子などの量子ビームを照射すると、特に物質中の原子間距離に近い波長である場合には入射に対して異なる向きや速さで散乱される。中性子は電氣的に中性の粒子であるために、物質中原子の電荷による影響を受けない代わりに強い核力

によって原子核と相互作用する。この相互作用は原子核からとても近い距離で作用するため、中性子は物質の内部深く(たとえばアルミ板で数cm程度)まで侵入できる。X線は物質中原子の軌道電子と相互作用するために、電子の多い重元素から強く散乱されるが、中性子は軽元素からも同等に散乱されるため、相対的に水素やリチウムなどの検出に有利である。さらに、中性子がスピンをもっているために物質中原子の不対電子との双極子-双極子相互作用による磁気散乱を示すことや、物質中で運動する原子とエネルギーをやり取りすることもある。これらの特徴を活かして、中性子の散乱による方向や速度の変化を調べることによって構造(原子や磁気の配列)やダイナミクス(原子の振動や移動)に関する情報を得ることができる。

散乱においてエネルギー変化がない(弾性散乱)についてももう少し詳しく述べる。X線が原子によって散乱されるとき、散乱角 $2\theta$ が大きくなり、波長 $\lambda$ が短くなるほどその強度は減衰する。これは原子散乱因子 $f(\lambda, \theta)$ と呼ばれ、X線の散乱に寄与する軌道電子が広がりをもって存在していることが原因であり、弾性散乱ベクトル長 $Q=4\pi\sin\theta/\lambda$ の増大とともに減衰する。一方、中性子の核散乱に対する原子散乱因子は散乱角と波長に対して一定である( $f(\lambda, \theta)=b$ ;  $b$ :核散乱長)。これはX線とは対照的に散乱対象が点源であることに起因する。したがって、中性子散乱ではX線と比較して本質的に高いQ領域までデータを取得できることになる。



## 2. 全散乱法による局所構造解析

上述した中性子の特徴を利用して、液体や非晶質など原子配列に並進対称性を示さない不規則系物質について全散乱法によって測定してその局所構造を解析している。物質の静的構造因子 $S(Q)$ を可能な限り大きな $Q$ まで正確に測定し、次式に従って $S(Q)$ をFourier変換することにより得られる原子対相関関数 $G(r)$  (Pair Distribution Function ; PDF)を用いて構造解析を行う手法である[3]。

$$G(r) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} Q(S(Q) - 1) \sin(Qr) dQ$$

ここで、 $Q$ は逆格子空間における波数ベクトル $k$ の変化(運動量遷移)を表し、散乱ベクトルと呼ばれる。結晶の格子面間隔 $d$ と $Q$ には $Q = 2\pi/d$ の関係がある。 $S(Q)$ は実験により測定される回折プロファイルから絶対値化した散乱断面積の $Q$ 依存性を導出したものである。散漫散乱を含んだ $S(Q)$ をFourier変換して得られたPDFを平均構造から計算される $G(r)$ と比較して、散漫散乱の起源となる構造を解析するのがPDF解析である。PDF解析において重要な要素のひとつである実空間分解能は最大 $Q$ 値に逆比例するため、短い波長の中性子による高い $Q$ 領域における統計精度の高い $S(Q)$ 測定が必要となり、上述した中性子の核散乱に対する原子散乱因子が重要な特徴となる。したがって、主に熱外中性子領域(0.5 ~ 10 eV, 0.009 ~ 0.04 nm)の比較的エネルギーの高い(波長の短い)中性子を利用することが装置として求められるため、J-PARC MLF BL21 (NOVA)はこのような実験を目的として設計された。NOVAの装置や試料環境の仕様については参考文献をご覧ください[4]。

## 3. 測定例

### 3.1 バナジウム水素化物

バナジウムVは室温の低水素圧力ガス下で生成する一水素化物と常圧近傍の二水素化物との間で可逆的に水素を吸蔵放出するため水素貯蔵材料として期待されている。高V濃度合金は高価であるために広い組成範囲でBCC構造を形成する合金が検討されているが、低V濃度合金は耐久性が著しく劣化して、100サイクルを経ると可逆的な水素吸蔵放出量が約20%も減少する[5]。水素貯蔵サイクルに伴う結晶構造の変化はX線回折測定により主に金属格子について調べられており、V系合金の二水素化物はFCC構造を形成してサイクルを経ると歪が導入されるものの格子の対称性は維持される。一方、Ti:Cr = 2:3にてV量を変化させたV-Ti-Cr合金では、70 at%以下のVを含む合金で

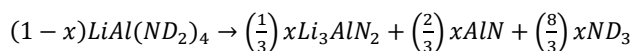
は一水素化物としてBCC相が生成し、70 at%以上ではBCT相が生成することが報告されており[6]、金属の格子に導入された歪が劣化の要因であることが指摘されているが、水素周囲の局所構造を詳しく調べて機構を明らかにする必要がある。

そこで、水素放出後および吸蔵後の典型的な水素化物として、産業技術総合研究所水素材料グループから提供された重水素化物 $VD_{0.7}$ および $VD_2$ についてNOVAで中性子全散乱測定を行って局所構造を解析した。図1にRietveld解析結果を初期構造として回折曲線と二体分布関数を再現するように原子を移動させて作成したRMCProfile [7]によるモデリングの結果を示す。(a)と(b)は回折曲線に対するフィッティングであり、モデリング後でも双方の回折曲線に大きな変化はなく、測定されたパターンとよく一致している。一方、(c)と(d)に示す二体分布関数 $g(r) = 1 + (1/4\pi r \rho_0) G(r)$ ;  $\rho_0$ : 密度)ではモデリングの初期と結果に大きな変化がみえる。数千個以上の原子が周期的に配列した結晶をRietveld解析すると単位胞中の原子位置は小さな原子変位パラメータ程度のばらつきで平均構造として決定されるため、これに基づく二体分布関数はとても鋭いピークを示すが、実際には原子位置の動的な不規則性(時間変化とともに原子が移動)または静的な不規則性(単位格子ごとに異なる原子の位置)のために測定された曲線のようにブロードなピークを示す。また、平均構造における原子の存在は占有率によって表現されるため、(c)の $VD_{0.7}$ のように水素の占有率が低いと、 $r < 2 \text{ \AA}$ に示されたピークとして実際には存在しない二体相関も描かれてしまう。これに対してモデリングを行うと、(d)の結果のように原子位置のばらつきを含んだ二体相関として表現され、また、(c)の結果のように近づきえない距離の二体相関を排除することができる。(e)と(f)は(c)と(d)のモデリング結果について強度を拡大して示し、その部分相関(D-D、D-V、V-V)を示す。 $VD_{0.71}$ と $VD_2$ の最近接はD-V相関であり、水素同士は $2 \text{ \AA}$ よりも近づかない条件で実測の二体分布関数を再現よくモデリングできていることが確認できる。挿入図は $8 \times 8 \times 8$ の単位格子でモデリングした結果を $1 \times 1 \times 1$ に投影した原子配列であり、 $VD_{0.7}$ と $VD_2$ のV副格子は同様のBCC構造であるが、水素占有サイトの対称性にしたがって示している。 $VD_2$ における水素は単位格子によって水素の位置はほぼ一定であるが、 $VD_{0.7}$ ではばらばらで単位格子あたり1.4個しか存在しないため、水素間距離は $2 \text{ \AA}$ 以上離れている。このような局所構造解析によってひとつひとつの水素が金属格子のどこに侵入し

ているかがわかり、たとえばVの一部をTiやCrに置換して同様の測定と解析を行うことにより特定の水素-金属相関を調べて、水素吸蔵放出サイクルに対する変化から水素貯蔵特性が劣化するメカニズムの解明を試みている。

### 3.2 リチウムアルミニウムアミド

リチウムアルミニウムアミドLiAl(NH<sub>2</sub>)<sub>4</sub>はLiHとの複合材料が120°C以下で6.1質量%の水素を放出するため、水素貯蔵材料の候補と考えられる。その水素放出過程がいくつか提案されているが結論に至らないのは、LiAl(NH<sub>2</sub>)<sub>4</sub>そのものの分解過程が未解明であることが理由のひとつである。そこで、広島大学小島由継研究室で合成された重水素化物LiAl(ND<sub>2</sub>)<sub>4</sub>の分解過程に対応する種々の熱処理試料について、NOVAで中性子全散乱測定を実施して局所構造を解析した。試料合成の制約により測定試料量は50 mg程度の少量であったが、図2(a)に示すように昇温前の結晶はZ-Rietveld [9]を使用したRietveld解析によって平均構造を明らかにできた[8]。しかし、熱分解過程において非晶質化をとまなうため(図2(b)、(c))、昇温後の構造解析は困難であった。一方、熱処理前後試料の回折曲線をFourier変換して得られるG(r)をLiND<sub>2</sub>およびLi<sub>2</sub>NDのシミュレーション曲線と比較すると、アミド[ND<sub>2</sub>]<sup>-</sup>基に対応する強度が昇温にとまって減少し、イミド[ND]<sup>2-</sup>基が生成することなく分解していくことがわかった。さらに、PDFgui [10]を使用した局所構造(PDF)解析から、アンモニア放出過程を次式のようにLiAl(ND<sub>2</sub>)<sub>4</sub>が直接的にLi<sub>3</sub>AlN<sub>2</sub>とAlNの混合相に分解することを確認できた(図2(d)、(e)、(f))。



このような回折ピークが消失してしまう反応過程であっても、局所構造解析を利用すれば詳細な構造変化を調べることが可能である。

## 4. さいごに

中性子は物質中の原子核によって散乱されるため軽元素の検出に有効である。また弾性散乱における原子散乱因子が散乱角と波長に対して一定であることを利用した全散乱測定が特に乱れた系の局所構造解析に有利であることを実際の例で示した。一方、回折曲線に対してはバックグラウンドとなる軽水素の大きな非干渉性散乱を避けるために弾性散乱実験では重水素化物を使用することが多く、水素同位体効果の研究は容易

ではない。これは正確なS(Q)を導出するため水素非干渉性散乱の非弾性散乱を補正する解析技術が要求されるためであり、統計精度のさらなる向上や偏極中性子散乱環境の整備など開発すべき要素がまだ残っている。中性子回折法や全散乱法には特徴がある反面で産業利用として役立てられる場面は限定されるかもしれないが、微力ながら貢献できれば幸いである。

## 参考文献

- [1] 第61回科学技術週間「一家に1枚」：  
<https://stw.mext.go.jp/series.html>
- [2] T. Otomo et al., J. Phys. Soc. Japan, 89 (2020) 051001.  
<https://journals.jps.jp/doi/pdf/10.7566/JPSJ.89.051001>
- [3] J. M. Carpenter, J Non Cryst Solids, 76, 1 (1985), T. Egami and S.J.L. Billinge, “Underneath the Bragg Peaks - Structural Analysis of Complex Materials”, Pergamon, (2003).
- [4] 大友季哉, Radioisotopes, 60 (2011) 35,  
<https://doi.org/10.3769/radioisotopes.60.35>  
鈴谷賢太郎, Radioisotopes, 60 (2011) 63,  
<https://doi.org/10.3769/radioisotopes.60.63>  
池田一貴ら, 波紋, 25 (2015) 161.  
[https://doi.org/10.5611/hamon.25.2\\_161](https://doi.org/10.5611/hamon.25.2_161)
- [5] T. Kazumi et al., Mater. Trans., 43 (2002) 2748,  
<https://doi.org/10.2320/matertrans.43.2748>  
H. Kim et al., J. Phys. Chem. C, 117 (2013) 26543.
- [6] T. Tamura et al., Mater. Trans., 43 (2002) 2753.  
<https://doi.org/10.2320/matertrans.43.2753>
- [7] M.G. Tucker et al., J. Phys. Condens. Matter, 19 (2007) 335218.
- [8] K. Ikeda et al., Mater. Trans., 55 (2014) 1129.  
<https://doi.org/10.2320/matertrans.MG201406>
- [9] R. Oishi et al., Nucl. Instrum. Methods. Phys. Res. A, 600, (2009) 94, R. Oishi-Tomiyasu et al., J. Appl. Cryst., 45 (2012) 299.
- [10] C.L. Farrow et al., Phys. Rev. B, 84 (2011) 134105.

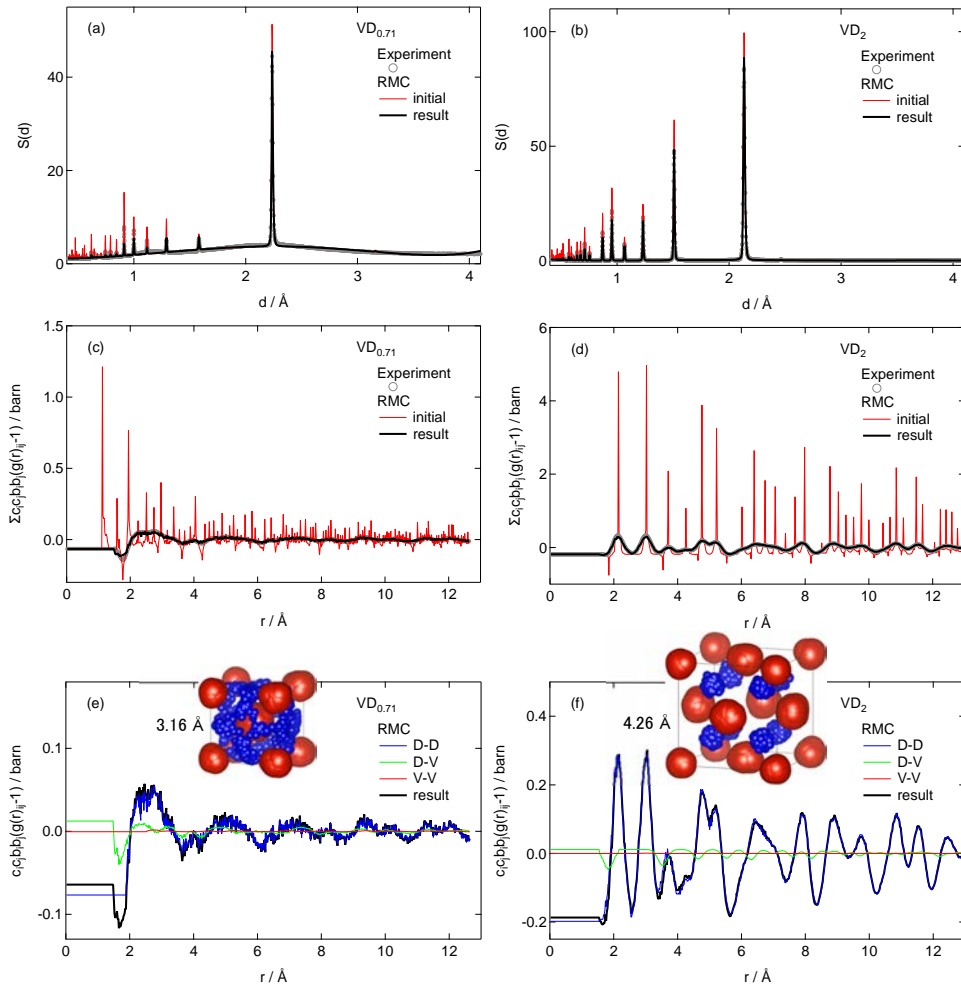


図1  $VD_{0.71}$  および  $VD_2$  のRMCモデリング結果。(a)、(b) 中性子回折曲線、(c)、(d) 二体分布の全相関関数、(e)、(f) 二体分布の部分相関関数と原子配列。

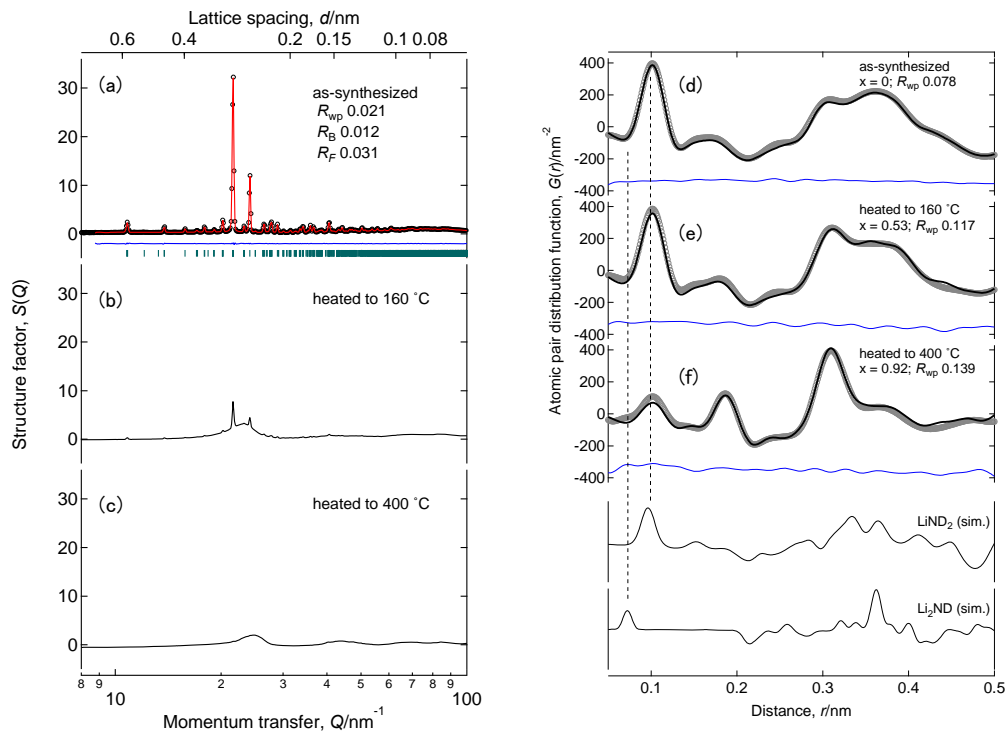


図2  $LiAl(ND_2)_4$  の室温および  $160^\circ\text{C}$ 、 $400^\circ\text{C}$  熱処理試料の中性子全散乱測定による (a)-(c) 構造因子  $S(Q)$  と (d)-(f) 原子対相関関数  $G(r)$ 。(a) Rietveld 解析結果 (○: 実測、—: フィッティング、—: 実測とフィッティングの差)、(d)-(f) PDF 解析結果 (○: 実測、—: フィッティング、—: 実測とフィッティングの差)。

## J-PARC MLF 情報

J-PARC MLFでは新型コロナウイルス感染症による実験課題への影響に対応するため、2020B期と2021A期を統合した期間での一般利用課題(短期)公募を2020年6月17日～7月15日に行いました：

<https://mlfinfo.jp/ja/user/proposals/2020B2021A/>  
結果、中性子成果公開課題については382件の申請があり、審査の結果、そのうち198件が採択とな

りました。このうち、民間企業からの申請は35件で、23件が採択されました。この採択率は66%です。2020A期では民間企業からの中性子課題申請は23件、11件の採択で採択率は48%でしたので、民間企業からの申請数も採択率も向上したことになります。採択課題全体の申請元による分類を図1に、利用装置別の分類を図2に示します。

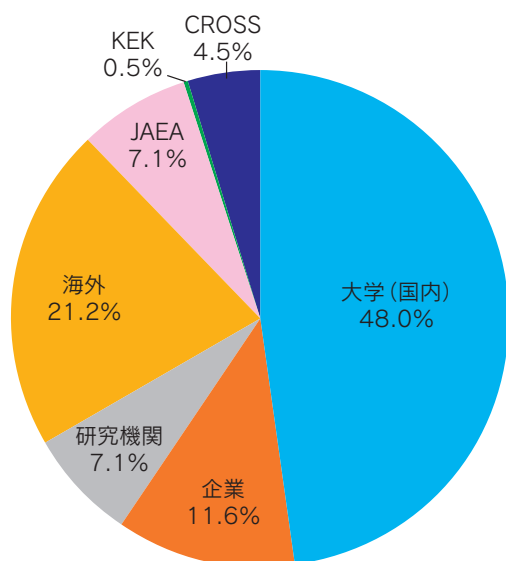


図1 2020B+2021A採択 成果公開課題 198件の申請元分類

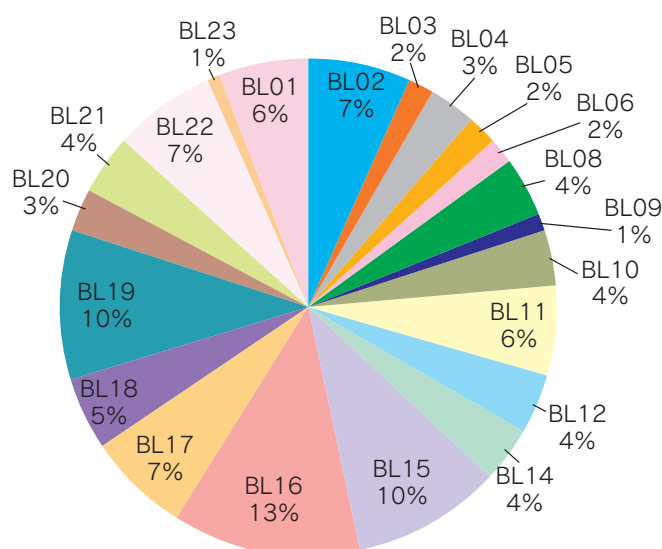


図2 2020B+2021A採択 成果公開課題 198件の利用装置分類

J-PARCセンター ユーザーズオフィスのURLが変更されました。

<http://is.j-parc.jp/uo/ja/index.html>

## JRR-3 情報

JRR-3では、2021年度第1回施設供用利用課題の募集を2020年11月9日(月)～12月23日(水)に行いました。供用対象期間は、2021年6月末～11月中旬(4サイクル)を予定しています。今後の供用運転の状況については、JRR-3ユーザーズオフィスのサ

イトでご確認下さい。なお、利用のご相談も受け付けております。

JRR-3ユーザーズオフィスWeb：

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

利用相談：jrr3-uoffice@jaea.go.jp



## 活動報告

### ◆「JRR-3 供用運転再開セミナー・相談会」を開催 (2020年10月15日)

中性子産業利用推進協議会では、2020年10月15日に「JRR-3 供用運転再開セミナー・相談会」を会員企業向けに開催しました。これは、2020年8月6日にJRR-3から来年度の供用運転スケジュール(案)が公開されたことを受け、実施したものです。当日は、「JRR-3の現状と運転再開への道筋」について原子力機構の松江技術主席から、「JRR-3の令和3年度施設供用利用課題公募」について同じく阿部副主幹から、それぞれお話を伺いました。JRR-3の装置担当者もZOOMでリモート参加いただいた相談会では、聴講された会員企業の皆様からは10年ぶりとなるJRR-3利用における変更点などについて、活発な質疑が行われました。今後、具体的民間利用が進むことが期待されます。当日の参加者は15名で、このセミナーもZOOMによるリモート会議で実施しました。

### ◆「産業応用セミナー」を開催

(2020年10月23日 三井金属鉱業株式会社)

2020年10月23日(金)午後三井金属鉱業(株)殿での産業応用セミナーを開催しました。このセミナーはTEAMS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関心を持つ研究者の方が参加され、材料の構造解析に関する中性子利用技術を紹介し、活発な質疑を行いました。参加者は18名でした。

### ◆「有機・高分子材料研究会」を開催 (2020年12月14日)

本年度から中性子産業利用推進協議会主催の研究会は、産業分野別の応用先を念頭に置いた研究会と、中性子による解析技術を知るための研究会とに性格を明確にして運営することにしました。産業分野別研究会は、原則として主査を民間から選任し、民間の動向・ニーズも踏まえた研究会として設定いたします。

この産業分野別研究会の初回の研究会として、2020年12月14日に「有機・高分子材料研究会」をTEAMSによるリモートで開催しました。今回のこの研究会では2021年度のJRR-3 供用運転再開により小角散乱装置が複数稼働することを念頭に、有機・高分子材料への小角散乱について改めて学ぶ場として企画しました。講師として、原子力機構の元川主任研究員から小角散乱の基本と特徴から最新の技術の紹介までのご講演をいただきました。また、機会ですので、JRR-3の運転再開に向けた状況、利用申請について原子力機構の松江技術主席からご説明いただきました。その後、参加者でJ-PARC MLFとJRR-3の小角散乱装置の性能や、JRR-3再開への民間からの期待などについて議論、意見交換を行いました。参加者は43名でした。来年度のこの研究会の内容については、今回の研究会の実施結果を基に検討する予定です。



有機・高分子材料研究会での講演

## お知らせ

### ◆2020年度量子ビームサイエンスフェスタ：

2021年3月9日(火)～11日(木)にリモートで開催されます。詳細は以下のサイトに順次掲載されます。  
<http://qbs-festa.kek.jp/2020/1stcircular.html>

### ◆総会開催日程：

2021年7月15日(木)午前を予定しています。開催方法の詳細については、追ってお知らせします。

### ◆産業利用報告会：

2021年7月15日(木)午後～7月16日(金)終日に、リモートで開催予定です。プログラム詳細は決定次第お知らせします。



### ◆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>

Neutron Users Portalsite (JAEA) : <https://jrr3ring.jaea.go.jp/jj/>

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 : <http://is.j-parc.jp/uo/ja/index.html>

JRR-3 : <https://jrr3.jaea.go.jp/>

JRR-3 Twitter : [https://twitter.com/JAEA\\_JRR3](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・冬】Vol.49

発行日 2020年12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/>