

## CONTENTS

P2 中性子産業利用推進協議会の平成30年度の体制 P2-3 J-PARCセンター情報 P4-5 J-PARC MLFの2018Aにおける課題採択結果  
P4-5 中性子実験装置の紹介 P5 中性子実験技術の紹介 P6-10 研究トピックス P10-11 受賞報告 P11-12 活動報告とお知らせ

## 京都大学における研究炉の現状と「複合原子力科学研究所」への改名

京都大学 川端 祐司

福島第一原子力発電所事故後の新安全規制対応のため、研究炉も長期停止を余儀なくされていましたが、ようやく京都大学臨界集合体実験装置(KUCA、出力100W)が平成29年6月に、京都大学研究炉(KUR、出力5MW)が同年8月に再稼働を果たしました。長期間の利用停止の影響が心配されましたが、共同利用研究申請件数が停止前より増加したことから、依然「必要不可欠な研究ツール」と認められていることが明らかとなりました。

京都大学原子炉実験所は昭和38年に設立され、中性子や放射性同位元素(RI)の利用を進めるKURやホットラポラトリだけでなく、KUCAによる原子炉物理に関する実験研究や、それらを用いた原子力人材育成拠点としての役割を果たしてきました。これまでの研究所名は、「研究用原子炉を有する」特徴を示すものでしたが、平成30年4月をもって「複合原子力科学研究所」と研究分野を冠したものに改名することになりました。

通常、目的とする研究分野が研究所名とされ、その分野の

研究者が集います。しかし、原子炉実験所では、まず「研究ツール」としての研究炉が設置され、その名前が付けられました。そして、その「ツール」を利用する様々な分野の研究者が集い、広範かつ多様な研究者達が日常的に交流する空間となりました。その結果、例えば、ホウ素中性子補足療法(BNCT)のような、医学(臨床および基礎)や薬学、原子力工学、加速器工学、放射線管理学などが高度に融合した新しい研究分野が生み出されました。この「多様性が生み出す新たな可能性」こそが原子炉実験所の強みであることから、我々は、粒子線やRI利用も含む原子力技術を多様な学術に利用する研究分野を「複合原子力科学」と名付け、新たに研究所名とすることにしました。

我々が目指すものは「研究ツールである研究炉の維持管理」ではなく、それらを用いた多種多様な学術研究と人材育成です。今後もこの研究分野の発展に責任を持って取り組むことを社会に向かって明示することが改名の目的です。維持管理の困難さゆえに研究炉は少なくなり、逆に、現有炉の重要性和必要性は増えています。我々はその責任を意識しつつ、一層の努力を積み重ねたいと考えています。

## J-PARC MLFとJRR-3の産業界への貢献の期待

(株)東芝 吉岡 研一

中性子の産業利用分野は日々拡大しています。かつてはJRR-3を代表とする研究炉によるSiドーピングに代表される照射利用や非破壊検査が主でしたが、J-PARC MLFの登場により、中性子回折技術が飛躍的に向上し、金属工学や合成化学、機械工学などでも広く利用されるようになりました。

J-PARC MLFは加速器中性子源であり、JRR-3は原子炉中性子源です。それぞれ、中性子の発生原理が異なりますが、連続的に中性子を発生させるのであれば、原子炉の方がはるかに容易です。極端な言い方をすれば、核分裂する<sup>235</sup>ウランを濃縮させた燃料を炉心に配置し、注水すれば済みます。出力制御や停止も中性子吸収材である制御棒を挿抜するだけで済みます。運転するために加速器のように大きな電力も必要ありません。一方、パルス状に強い強度の中性子を発生させる場合は加速器の方が有利です。

このように、J-PARC MLFとJRR-3はそれぞれ特長があり、使い分けることで研究開発を加速できると考えられます。JRR-3を含む研究炉や臨界集合体は現在新規規制基準対応を行い、京都大学原子炉実験所のKURやKUCAなどは既に再稼働

しています。一方、新規規制基準対応が困難と判断され、廃炉を決めた炉もあります。特に、日本原子力研究開発機構の材料試験炉であるJMTRの廃炉決定は産業界にとっては大変残念なことです。材料試験炉は長期にわたる中性子照射が必要で、パルス中性子源であるJ-PARC MLFでは代替ができません。発電炉に使用されている構造材料の照射による劣化は解析による予測は困難です。今後は海外の照射炉を利用することになると考えられますが、研究炉の運転・維持管理にも多くのノウハウがあり、一度途絶えた技術を復活するのは困難で、国内での材料照射炉の復活が望まれます。

理化学研究所のRANSに代表される小型加速器中性子源の利用も、大型施設であるJ-PARC MLFを補完する手軽な中性子利用施設として今後大いに期待されます。当社でも加速器や中性子源開発に取り組んでおり、中性子利用がより身近になることを目指しています。

今後とも、J-PARC MLFの1MWでの安定運転実現とともに、JRR-3の継続的運用、小型中性子源の利用など、中性子産業技術をリードしていけるよう中性子産業利用推進協議会としても微力ながら貢献して行きたいと考えます。

# 中性子産業利用推進協議会の平成30年度の体制

須藤亮(㈱東芝技術シニアフェロー)が特別顧問に就任されるに伴い、運営委員会委員長を退任されることになりました。それを受けて今井敬会長が(㈱豊田中央研究所)取締役である志満津孝氏を新運営委員長に指名されました。また、キヤノン株式会社が退会することに伴い、野間敬運営委員が離任されることになり、運営委員と研究開発委員会幹事についても見直しを行いました。その結果、中性子産業利用推進協議会の平成30年度の体制は下記の通りとなります(敬称略)。

## 会長

今井 敬 新日鐵住金株式会社 名誉会長

## 副会長

庄山 悦彦 (㈱日立製作所) 名誉相談役  
内山田竹志 トヨタ自動車株式会社 代表取締役会長

## 会計監事

須賀 伸一 (㈱日本アドバンステクノロジー) 社長  
中山 洋 (㈱日立パワーソリューションズ) 顧問

## 顧問

有馬 朗人 武蔵学園 学園長

## 運営委員会

委員長：志満津 孝 (㈱豊田中央研究所) 取締役  
委員長代理：福田 伸 三井化学(株) 常務執行役員  
運営委員 (50音順)  
(株)クラレ 石井 孝浩

(株)東レリサーチセンター  
花王株式会社  
住友ゴム工業株式会社  
住友化学株式会社  
住友電気工業株式会社  
富士フイルム株式会社  
セイコーエプソン株式会社  
(株)豊田中央研究所  
新日鐵住金株式会社  
(株)日立製作所  
(株)東芝

石切山一彦  
川口 高広  
岸本 浩通  
後藤 文郷  
斎藤 吉広  
鈴木真由美  
傳田 聡  
堂前 和彦  
日比 政昭  
村上 元  
吉岡 研一

## 研究開発委員会

委員長：新日鐵住金株式会社 日比 政昭  
委員長代理：三井金属鉱業株式会社 田平 泰規  
幹事 (50音順)  
(株)日産アーク 今井 英人  
JFEスチール株式会社 奥田 金晴  
味の素株式会社 柏木 立己  
トヨタ自動車株式会社 加藤 仁志  
三菱ケミカル株式会社 小島 優子  
サントリーグローバルイノベーションセンター(株) 田中 良和  
ヤマハ発動機株式会社 原田 久  
旭化成株式会社 松野 信也  
(株)ブリヂストン 毛利 浩

# J-PARCセンター情報

## 新水銀ターゲット8号機による運転状況

J-PARCセンター 高田 弘

J-PARCセンターでは、平成27年度において500 kWの陽子ビーム出力で運転中に、中性子源の水銀ターゲット容器の保護容器で不具合を生じ、ユーザーの皆さまには大変ご迷惑をお掛けしました。設計を見直した新しい水銀ターゲット容器8号機を製作し、第37号でご報告したように10月24日から利用運転に供しています。

図1にこれまでのMLFの運転履歴を、図2に水銀ターゲット8号機を使用した運転の履歴を示します。12月までは300 kWで利用運転を行っていましたが、年末年始の停止期間を経て、1月10日から、ビーム出力を400 kWに上げて運転を行っています。水銀ターゲット容器8号機では、パルス陽子ビームの入射に伴って水銀中に発生する圧力波により水銀容器内面に生じる損傷を低減する対策として、水銀中に微小気泡を注入できる機能を取り入れており、その効果をターゲット



図1 MLFにおけるビーム出力の変遷

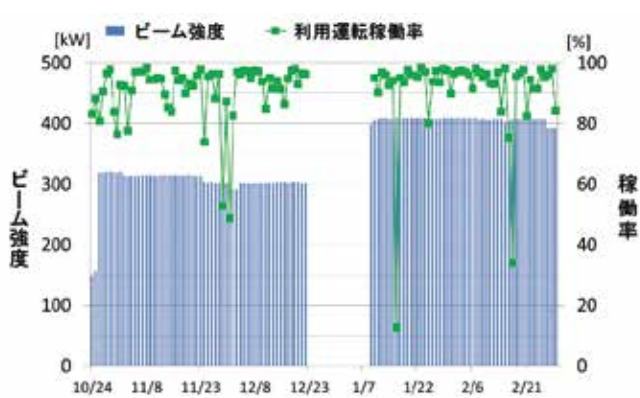


図2 水銀ターゲット8号機による運転状況 (2018年2月28日時点)

ト容器の振動を測定することで調べています。400 kWの運転でも、300 kWでの運転時と同様に、振動の変位速度が気泡を注入していない場合に比べて約1/3程度まで減少している状態が継続的に観測されています。

2月14日までに予定通りに98日間の利用運転を行いました。この期間の稼働率は91.0%という高い数値となっています。この状態が継続できれば、4月からは500 kWにビーム出力を上げることを予定しています。500kWま

でビーム出力が上がるとかなり高度な実験も可能となります。ご期待いただきたいと思います。

なお、MLFの直近の運転状態は、CROSSのHPに掲載されている'Meet@MLF'サイトの「MLF運転状況」にアクセスしていただくと過去1時間、1日、1週間の詳細な運転状態を知ることができます。下記のURLをご参照ください。

<http://mlfuser.cross-tokai.jp/ja/>

## J-PARC MLFの2018Aにおける課題採択結果

J-PARC MLFは、一昨年の水銀ターゲットにおける冷却水漏れの不具合発生の影響を受け、6月末までは予備機である2号機を使って150kWで運転していましたが、信頼性対策を施した8号機を昨年の夏季メンテナンスで入れ替え、10月24日から300kWでの運転を開始しました。1月10日からは400kW運転を順調に行っています。

2018年度においては8サイクル運転が認可となり、2018Aでは88日間の運転を予定しています。MLF装置全体では延べ1,468日間運転されますが、KEKのS型課題やJAEAのプロジェクト研究および装置グループの利用などを除いて一般利用に供されるのは833日であり、比率では56.8%です。

一般課題公募においては、一般利用と成果専有、CROSSの新利用者支援事業(NUS)を合わせて260件の申請があり、177件が採択されました。採択率は68.1%です。因みに2008から2017Bにおける平均の採択率は茨城県の産業利用課題を含めて61.5%です。

産業界からは成果専有の1件を含めて25件の申請があり20件が採択されました。採択率は80%です。なお、CROSSのNUSに対しては産業界から1件の申請があり採択されました。

2018Aにおいて成果公開利用で採択された19件の産業利用課題を表1に示します。なお、申請課題の題目は実験を終え、報告書が提出されるまで公開されません。

図1には2018Aにおける採択課題の申請元別分類を示します。産業利用の比率は11.3%です。茨城県の課題を含めると最終的には20%を超えるものと思われれます。一方、国内研究機関の比率はこれまでの最低の5.6%に留まり、逆に海外大学・研究機関の比率は26.6%とこれまでの2倍程度にまで増えています。

図2には利用装置の分類を示します。BL15小角散乱装置「大観」が10.7%で最も多く、次いで、BL16ソフト界面解析装置「SOFIA」とBL19残留応力測定装置「匠」が9.6%、BL02ダイナミクス解析装置「DNA」とBL21全散乱装置

表1 2018Aにおける産業利用採択課題

分類	ビームライン	実験責任者	所属機関
J-PARC 一般公募	BL02 ダイナミクス解析装置 「DNA」	中田 克	東レリサーチセンター
		菊地龍弥	住友ゴム工業
	BL10 中性子源特性試験装置 「NOBORU」	新井大夏	日立製作所
	BL14 冷中性子ディスクチョッパー型分光器 「AMATERAS」	橋本俊輔	豊田中央研究所
		塩沢友美	住友ゴム工業
	BL16 ソフト界面解析装置 「SOFIA」	宇山允人	資生堂
		岡崎智子	トヨタ自動車
	川浦宏之	豊田中央研究所	
	BL17 試料垂直型偏極中性子反射率計 「SHARAKU」	大野正司	日産化学工業
	BL19 工学材料回折装置 「匠」	竹山忠臣	住友三井建設
		内田友樹	日本ニューマチック工業
		田中宏樹	UACJ
	BL21 高強度全散乱装置 「NOVA」	小柳植彦	大同特殊鋼
滝本康幸		旭硝子	
中田 克		東レリサーチセンター	
BL22 中性子イメージング装置 「螺鈿」	斎藤吉広	住友電工	
	山内崇史	豊田中央研究所	
CROSS 新利用者 支援事業	BL15 中性子小角・広角散乱装置 「大観」	今川尊雄	日立製作所
		黒坂恵一	クニミネ工業

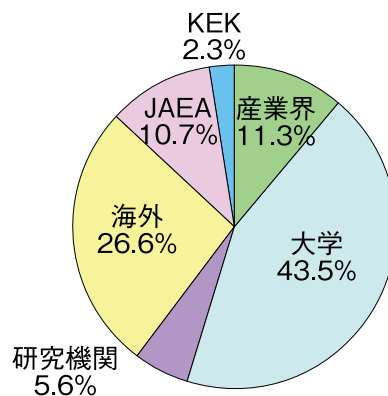


図1 2018Aにおける採択課題の申請元分類

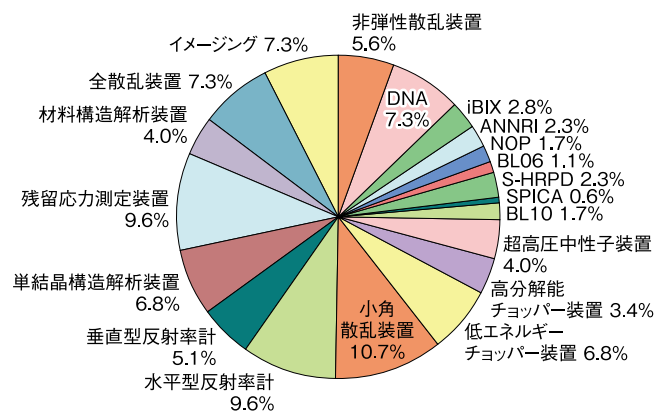


図2 2018Aの採択課題の利用装置分類

「NOVA」、BL22イメージング装置「RADEN」が7.3%となっています。

図3には2008から2017Bにおける産業利用課題の採択状況を示します。2012Bには49件採択されましたが、2013A以降は35件前後で推移しています。茨城県のBL20「iMATERIA」では安定的に20件以上採択されていますが、J-PARCの実験装置では9件から18件と変動幅が大きくなっています。

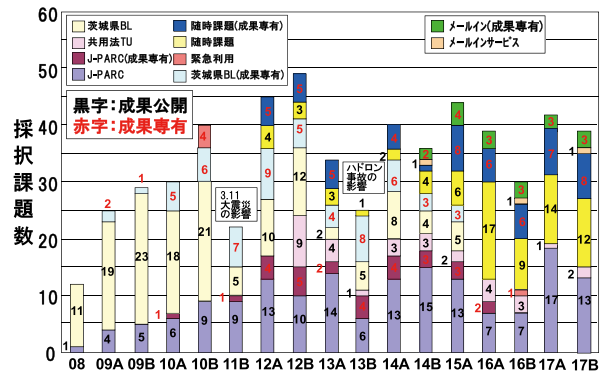


図3 2008-2017Bにおける産業利用採択課題

## 中性子実験装置の紹介

### 中性子共鳴スピネコー分光器群VIN ROSE「BL06」

京都大学 日野 正裕、小田 達郎  
高エネルギー加速器研究機構 遠藤 仁、瀬戸 秀紀

中性子共鳴スピネコー分光器群VIN ROSE (Village of Neutron Resonance Spin Echo Spectrometers) は、J-PARC MLFのBL06に設置された様々な物質のスローダイナミクスを測定可能な装置です。VIN ROSEは、MLFでは唯一のスピネコー装置であり、京都大学と高エネルギー加速器研究機構 (KEK) が共同で開発しています。

中性子スピネコー (NSE) 法は、F. Mezeiによって考案された中性子非弾性散乱 (準弾性散乱) 分光法です [1]。中性子スピンの位相を精密制御することで、入射中性子のエネルギーに依らず、高エネルギー分解能と高中性子強度を同時に実現します。また、NSE法では中間相関関数  $I(Q,t)$  を直接評価することができるので、緩和・拡散現象の測定に威力を発揮します。NSE法の詳細は文献 [2] をご参照ください。図1に、現在MLFに整備されている6台の中性子非弾性 (準弾性) 散乱分光器がカバーする時空間領域 (運動量遷移(Q) - エネルギー遷移(E)領域) を示します [3]。

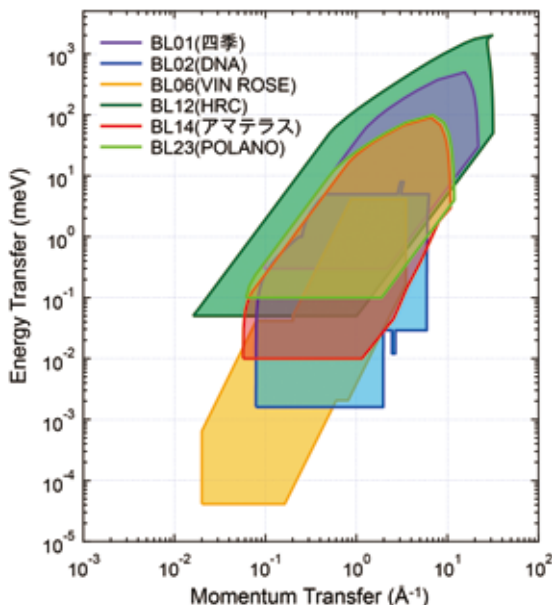


図1 J-PARC MLFにおける非弾性・準弾性散乱分光器がカバーする時空間領域 [3]

VIN ROSEには2本のビームラインがあり、MIEZE (Modulated Intensity by Zero Effort) 型とNRSE (Neutron Resonance Spin Echo) 型という特徴が異なるスピネコー分光器が設置されています。どちらの分光器もJ-PARC MLFというパルス中性子源の特性を活かし、MIEZEでは、通常のNSE装置では困難な、試料に強い磁場をかける試験環境を実現し、低分子および磁性のダイナミクス研究に力を発揮します。

NRSEでは、世界では未だ実現していない大型の回転楕円体中性子集光スーパーミラーを用いることで微小試料の測定を可能とし、生体高分子等の高分解能ダイナミクス測定を目指しています。この集光ミラーは理化学研究所と共同で、金属母材を用いて開発しています [4]。金属をミラー母材とすることで、耐放射線性の向上と共に分割して組み合わせが可能となるなど、従来の中性子輸送を変える要素技術とすることを目指しています。

MIEZEは2017Bより一般公募を開始しています。NRSEについても回転楕円体集光スーパーミラーの開発が順調に進んでおり、2018年度内での一般公募開始を目指しています。

装置名である「VIN ROSE」はフランス語でロゼワインを意味し、赤 (ソフトマター) でも白 (ハードマター) でもなく、広く科学に貢献すること、そして時間が経つほどに益々熟成していくことをイメージして名付けました。図2をご参照ください。良い装置の実現には、仕込み (方針と建設) をしっかり



図2 VIN ROSEのエチケット風イラスト

することが第一ですが、絶え間ない技術開発と研究分野開拓が良い熟成につながると考えています。世界最高レベルの中性子光学技術をさらに高め、世界に先駆けて今までにない分光器の早期実現に努力を傾注しています。

物性実験はもちろん、装置や分光法に興味のある方には気軽に開発チームのメンバーに質問や提案などお声をかけていただければ幸いです。

参考文献

- [1] F. Mezei, Z. Phys. 255, 146-160 (1972).
- [2] 「入門講座スピンエコー(1)~(9)」波紋, 19, 41-48, (2009); 20, 162-170, 302-306 (2010); 21, 50-54, 164-173, 239-242 (2011).
- [3] H.Seto, et al., Biochem. Biophys. Acta Gen. Subj., 1861, 3651-3660 (2017).
- [4] T.Hosobata, et al., Optics Express, 25, 20012-20024 (2017).

## 中性子実験技術の紹介

### 中性子準弾性散乱によるイオン伝導の研究

J-PARCセンター 柴田 薫

中性子準弾性散乱(QENS: Quasielastic Neutron Scattering)は第37号で紹介された中性子非弾性散乱(INS: Inelastic Neutron Scattering)以上に知られていない実験技術で、「良くわからない」、「どこに行けば測定できるの?」、「必要ない」などのイメージを持たれていると思います。実際、興味のある材料のHやLiなどのイオン伝導特性は、インピーダンスアナライザによる伝導率や誘電率、NMRの測定などで概略評価できます。しかし、一步踏み込んだ物質中の拡散現象の情報を任意の空間と時間で観測する手段はQENS以外にありません。興味深い伝導現象を示す物質をX線や中性子線で構造解析することにより伝導イオンの分布や伝導経路を明らかにしたうえで、さらに、拡散係数や伝導距離、伝導イオン数などの原子レベルの伝導情報を明らかにするためにはQENSを利用することが望まれます。

伝導拡散現象において、最も簡単な場合の連続拡散は図1に示すように、時空相関関数 $G(r, t)$ を用いて拡散方程式(Fick's law)で表すことができます。

$$D \nabla^2 G(r; t) = dG(r; t)/dt$$

ここでDは拡散係数で、これを解くと次式ようになります。

$$G(r, t) = (4\pi Dt)^{-\frac{3}{2}} \exp\left(-\frac{r^2}{4Dt}\right)$$

これを更に距離 $r$ と時間 $t$ で2回フーリエ変換するとQENSで測定される動的構造因子 $S_{inc}(Q, \omega)$ は次式のようにローレンツ関数になります。

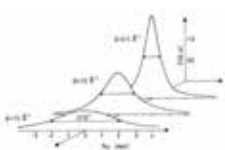
$$S_{inc}(Q, \omega) = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{DQ^2}{\omega^2 + (DQ^2)^2}$$

ここで半値幅 $\Gamma$ は $DQ^2$ となり拡散係数Dと関係付けられます。また、ローレンツ関数の面積は注目している拡散イオンのイオン数に比例します。詳細に運動を記述するモデル関数がいくつも提案されていますので文献をご参照ください。

QENS測定を燃料電池セルにおいて水素伝導物質として使用されているNafion膜の水素伝導の研究に応用しました。測定試料は、市販のNafion膜に空気中の水分を吸わせた試料A(RH=20%程度)と十分に水蒸気(飽和



(a) ブラウン運動(連続拡散)



(b) 準弾性散乱(QENS)スペクトル

図1 拡散現象とQENSスペクトルの関係

水蒸気)を吸わせた試料B(RH=100%程度)を準備しました。QENS測定は室温(T=300 K)で行いました。

試料Bの $S_{inc}(Q, \omega)$ 強度マップを図2に示します。縦軸がエネルギー移行量 $\Delta E$ 、横軸が運動量 $Q$ です。各 $Q$ 断面で、ローレンツ関数を用いて半値幅 $\Gamma$ と面積 $I$ を求めることができます。ジャンプ拡散モデルを用いると、下記の半値幅 $\Gamma$ と運動量 $Q$ の関係式から図3に示すように拡散係数Dが求められます。

$$\Gamma = \frac{DQ^2}{1 + DQ^2\tau_0}$$

次に、QENSの面積 $I$ の $Q$ 依存性から伝導イオン数 $n$ を求めた結果を図4に示します。QENS測定から試料B(RH=100%)の拡散係数

Dは試料A(RH=20%)との約1.9倍、伝導イオン数 $n$ は約5倍となりました。ここで、伝導率 $\sigma$ と拡散係数Dおよび伝導イオン数 $n$ を結びつける次のNernst - Einsteinの式

$$\sigma = \frac{nD(ze)^2}{k_B T}$$

を用いてQENSから測定された拡散係数Dと伝導イオン数 $n$ から伝導率 $\sigma$ は約10倍になると予想されます。実際の伝導度 $\sigma$ は約10倍と報告されており、QENSの結果と一致します[1]。

ご紹介した測定結果は、第2回MLF SchoolにおいてJ-PARC MLFのBL02「DNA」分光器を用いて実習課題として測定したデータの一部です。

DNA分光器では、大強度と高S/N比の特長を活かして燃料電池材料であるNafion以外にも、2次電池材料として注目されているLiイオン固体電解質などについてイオン伝導の研究が進められています。今後、多くの材料開発にQENSが適用されることを期待しています。

参考文献

- [1] K. Miyake, et. al., Polym. Chem., 2011, 2, 1919-1929.

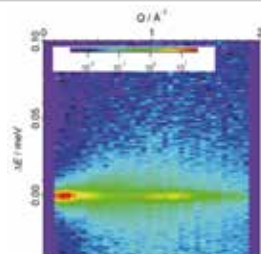


図2 Nafion(RH=100%)におけるQENS強度マップ

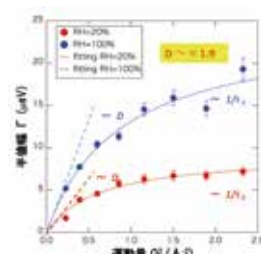


図3 半値幅 $\Gamma$ と運動量移行 $Q$ の関係

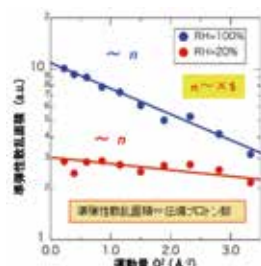


図4 準弾性散乱面積の運動量 $Q$ 依存性

## ●J-PARC

### 中性子散乱によって見えた電子スピンのゆらぎと電子軌道の結合

東京大学 有馬 孝尚、松浦 慧介  
J-PARCセンター 梶本 亮一

中性子を利用して、MnとVの複合酸化物における磁気励起を測定し、V原子における電子スピンの揺らぎが電子軌道の変化と結びついていることを明らかにしました。

磁性体の中では、電子スピンの揺らぎが波として伝わります。スピンの揺らぎの波を特徴づける波長や伝搬方向、振動数の測定には、中性子非弾性散乱が最も適しており、そのような実験は半世紀以上前から行われてきました。得られたデータから、隣り合った原子の電子スピンの間に働く相互作用や、スピン波を生成する際に必要なエネルギーなどを知ることができ、磁性研究の分野で重要な役割を果たしてきました。例えば、磁気メモリ材料の保持力や磁化反転の速さを支配する微視的なパラメータを見積もることもできます。

中性子の非弾性散乱の測定には、主に三軸分光器が使われてきました。この装置は特定の波長や伝搬方向、振動数の近傍に限定した非弾性散乱の測定に適しています。一方、J-PARC MLFのような核破砕型の中性子源の場合は、多くの場合、チョッパー型分光器が使われています。こちらの装置は、波長や伝搬方向、振動数について広い範囲を測定するのが得意です。

私たちは、MnとVの酸化物 $MnV_2O_4$ を対象とした中性子非弾性散乱実験をJ-PARC MLFのBL01「4SEASONS」において行いました。この物質に着目したのは、電子スピンと電子軌道が強く結びついている可能性が高いと考えたからです。この物質では、MnとVの形式価数はそれぞれ2価と3価となっています。3価のVイオンは電子が占有する軌道に関して自由度が残りやすいことが知られています。そのことから、これまで、電子の軌道占有に関する研究の舞台となってきました。 $MnV_2O_4$ もそのような観点から様々な研究が行われてきました。これまでに、58 K以下でフェリ磁性を示し、さらに、53 K以下ではVの占有軌道が空間的に整列することが知られていました。注目されていた物質ですから、すでに中性子非弾性散乱の報告もありました。それによると、電子スピンの揺らぎは、電子軌道を変化させることなく伝わるとされています。

しかし、占有軌道の空間配列が生じる温度がスピンの配列温度より高くなく、また、軌道の空間配列がスピンの配列パターンに変化を与えているという実験事実から考えると、スピンの揺らぎのときに軌道が全く変化しないのも妙だと考えて、同じ物質の非弾性散乱を測定することにしました。

図1に研究結果の一部を示します。上側は、[111]方向、[110]方向および[100]方向に伝わるスピンの波について、横軸に波長の逆数、縦軸に周波数を取ってプロットした図です。10meVから20meVにかけて、[110]方向に伝わる波が存在することが分かります。これは、以前の測定では見えていなかったものです。このスピンの波を再現しようとして、隣り合うスピンの間に働く相互作用を最適化すると、図1の下側に示すような非弾性散乱が予測されます。実験結果と比較すると、例えば、[100]方向に進む20meV以上の振動数の波が再現できなくなっています。

この振動数はちょうど、ラマン散乱(光の非弾性散乱)において電子励起と思われるピークがみられている位置と一致しています。このような実験データと総合して考えると、電子スピンの揺らぎが軌道の変化と結びつきながら伝わっていることが分かりました。スピンの揺らぎの波が電子軌道の変化と結びつくと、その分だけ多くの熱やエネルギーを運ぶことができます。

本研究成果を発展させることにより、蓄熱や断熱、放熱、熱電など熱の伝わり方に関係するデバイス材料に関する技術革新につながるものが期待されます。また、スピンの揺らぎと軌道の結合は、超高速磁化制御にも利用できる可能性があります。すなわち、外部から20 meVすなわち5THzの光や振動を与えて電子軌道を変化させれば、スピンの向きを変えられるということです。

本成果は、KEKの佐賀山基准教授、CROSSの蒲沢和也博士、池内和彦博士、Sungdae Ji博士、および、東京大学の阿部伸行助教、新居陽一博士、上原周氏との共同研究によるものです。この場を借りて感謝申し上げます。

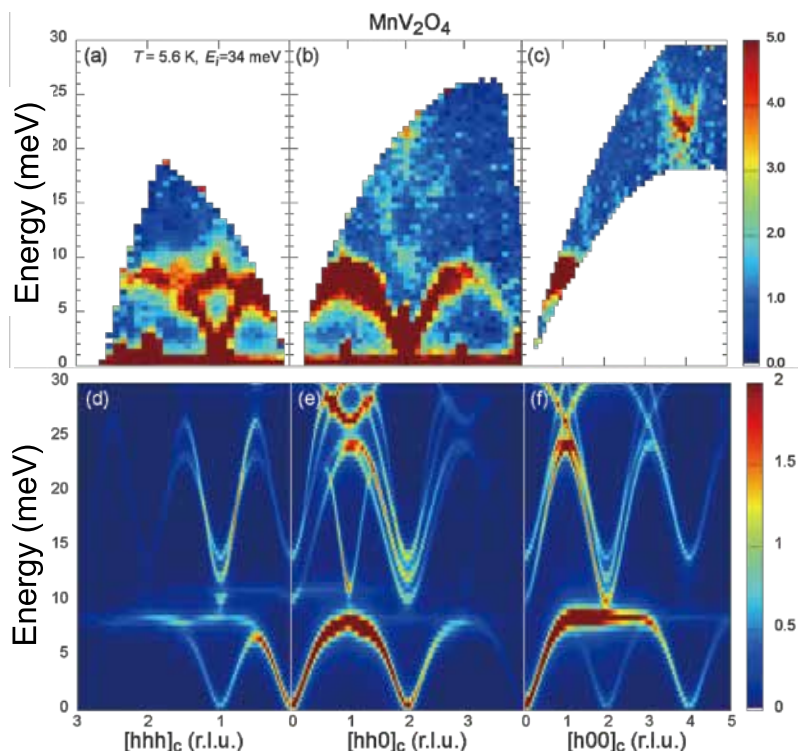


図1  $MnV_2O_4$ の中性子非弾性散乱の実験結果とスピンハミルトニアンによるフィッティング

## 中性子反射率法によるゴム材料の研究

住友ゴム工業株式会社 増井 友美、岸本 浩通

ゴム中のシリカ界面をシリコン基板で模擬し、シリカ表面のポリマーの構造を中性子反射率法により調べた結果、スチレン-ブタジエンゴム (SBR) 中のスチレン部がシリカ表面に偏在するという新知見を得ました。

タイヤ用ゴムには直径20nmのナノ粒子(フィラー)が、体積分率で約20%以上充填されています。ゴムにフィラーを添加すると応力とヒステリシスロスの増大という補強性効果が生まれます。例えば、輪ゴムのようなフィラーを含まないゴムは非常に柔らかいのにに対して、タイヤ用ゴムが車両重量を支える強さを持つ理由はこのようなところにあります。フィラーにはカーボンブラックやシリカナノ粒子が用いられます。これらの界面にはポリマーが吸着した層があると古くから言われていますが、その構造の詳細については明らかになっていませんでした。

低燃費タイヤ用トレッドゴムのフィラーとしてはシリカを用います。今回の実験では、ポリマーがシリカ表面でどのような構造をしているかを調べることを目的としました。ポリマーにはSBRを用いました。シリカ表面に対しスチレン-ブタジエンゴムがどのような構造になるのか調べるため、SBR中のスチレン部のみを重水素化したポリマー SBR (dPS) を用いました。中性子散乱では、水素(H)と重水素(D)の散乱長の差を利用してコントラストをつけることで、着目している構造の詳細を明らかにすることができます。例えば、SBR中のスチレン部がシリカ界面付近に偏在すると、シリカ界面での散乱長密度は高くなります。一方、ブタジエン部がシリカ界面に偏在すると散乱長密度が低くなることから、散乱長密度の大小からSBR中のスチレン部とブタジエン部のどちらがシリカ表面に偏

在するかを明らかにすることができます。図1(a)にBL16「SOFIA」で得られた反射率曲線を示します。図1(b)はシリカ表面からの散乱長密度の変化であり、この散乱長密度から計算した図1(a)に実線で示した反射率が実験データを良く再現していることが分かります。図1(b)を見ると、シリカ表面で散乱長密度の増大がみられます。このことは、シリカ表面にSBR中のスチレン部が偏在していることを意味します。

補強性と関係するフィラー界面を制御するには、様々な方法が考えられます。しかし、構造情報がなければフィラー界面構造の制御の方向性を定めることは困難です。中性子反射率法の活用によるフィラー界面の構造情報は、新たなフィラー界面制御指針を与え、よりしなやかで強いゴムの開発に繋がること期待されます。

本研究の実施に際しては、光・量子融合連携研究開発プログラム「中性子とミュオンの連携による「摩擦」と「潤滑」の本質的理解」、ならびにKEKの山田悟史助教と堀耕一郎助教にご支援いただきました。この場を借りて感謝申し上げます。

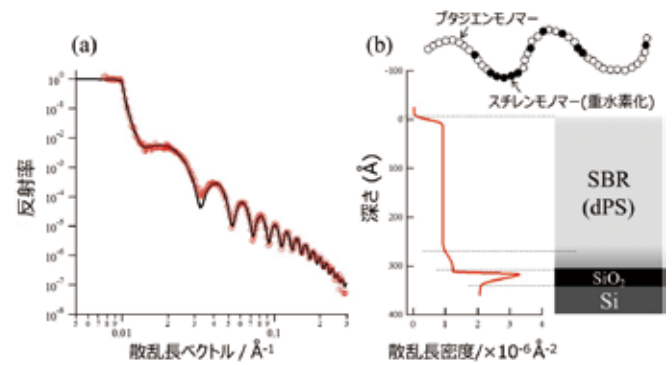


図1 (a) 中性子反射率曲線 (赤丸: 実験結果、実線: モデル)、(b) 散乱長密度の分布

## 時間分割中性子反射率測定によるアモルファスカルコゲナイドへの銀の光拡散

総合科学研究機構 坂口 佳史

不揮発性メモリーデバイスへの実用化にとって重要な、アモルファスカルコゲナイド薄膜への銀の光拡散挙動を時間分解中性子反射率の測定によって明らかにしました[1, 2]。

周期律表で酸素の下にならぶS、Se、Teはカルコゲン元素と呼ばれ、これらを含む化合物はカルコゲナイドと呼ばれます。カルコゲン、カルコゲナイドは光に鋭敏に反応することが古くから知られており、現在でもDVDにはTe化合物が使われています。

カルコゲナイドはアモルファスになりやすく、その光誘起変化は1960-80年代に詳細に研究されました。その中で「銀の光拡散」という不思議な現象があります。銀とアモルファスカルコゲナイドが積層された薄膜に可視光程度の波長を有する光を照射すると、銀がアモルファスカルコゲナイド層の中に“溶け”、その中を“拡散”します。組成比で最大20%もの銀が入り、物理的および化学的性質は大きく変わります。そのため、これを応用する試みも様々に行われました。1980年代には、酸やアルカリへの溶解度の変化を利用したフォトリソグラフィへの応用が注目されました。現在では、銀が光拡散した薄膜が固体電解質と

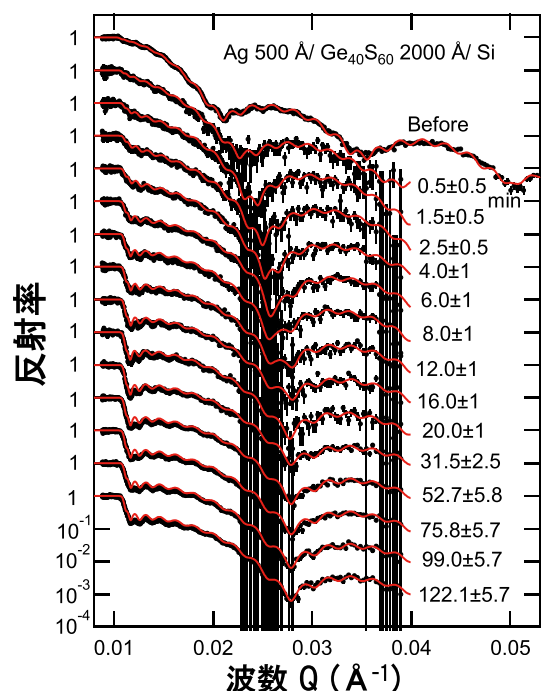


図1 銀/アモルファスGe<sub>40</sub>S<sub>60</sub>/シリコン基板薄膜に光を照射したときの中性子反射率の時間変化[2]

しての性質をもつことを利用した不揮発性メモリーデバイスへの応用が期待されています。

実用化にあたっては、銀がアモルファスカルコゲナイド内にどのようにして入り込み、拡散するのかを明らかにすることが必要です。このため、これまで、イオンビームを当てて、その散乱を観測するラザフォード後方散乱法が用いられました。しかし、銀の拡散は強いイオンビームによっても起こるため、正確な時間変化を明らかにすることは困難でした。X線の場合も同様で、強いX線の照射によっても銀の拡散が起こります。これに対し、中性子ビームでは銀の拡散は誘起されないため、中性子反射率法を用いれば、試料にダメージを与えずに膜厚方向の膜構造の変化を明らかにできます。そこで私たちは、J-PARC MLFのBL17「写楽」で、銀/アモルファス硫化ゲルマニウム薄膜に光照射しながら時分割で中性子反射率を測定しました[1, 2]。

図1は銀/アモルファス $\text{Ge}_{40}\text{S}_{60}$ /シリコン基板の薄膜に94分間光照射を行ったときの中性子反射率の時間変化です[2]。この中性子反射率データを解析すると、図2のように、光照射により銀はアモルファス $\text{Ge}_{40}\text{S}_{60}$ 層内に入り込みますが、一旦入ると、層内を自由に動き回り、層内の銀イオン濃度は直ぐに一様になることが分かりました。実はこれまでのラザフォード後方散乱測定の結果から、銀イオンは膜厚方向に徐々に広がっていくものと考えられていました。このような銀イオンの素早い拡散挙動が分かったのは、中性子反射率でその場測定を行うことができたからです。

今後、同様の特性を有する種々の材料系に本測定手法を

適用すれば、実用化に向けた新たな材料設計に役立てられると期待できます。また、固体電解質としての特性に着目することで、新しいタイプの電池開発への道も拓かれる可能性があります。

本研究は、不揮発性メモリーデバイスの開発者のひとりである米国のMaria Mitkova ボイジー州立大学教授との共同研究です。実験では、BL17装置グループの皆様やCROSS、MLF技術スタッフの皆様のご協力をいただきました。この場を借りて感謝申し上げます。

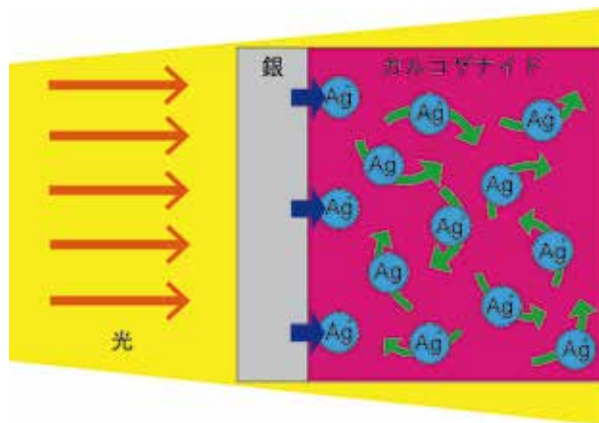


図2 光照射によって生じる銀イオンの動き

参考文献

- [1] Y. Sakaguchi *et al.*, J. Appl. Phys. 120, 055103 (2016)
- [2] Y. Sakaguchi *et al.*, J. Appl. Phys. 122, 235105 (2017)

## パルス中性子透過ブラッグディップ解析による結晶粒ごとの結晶方位イメージング

北海道大学 佐藤 博隆

中性子透過率スペクトルのブラッグディップ解析により、結晶粒の結晶方位の実空間マップを得ることができる新しい中性子イメージング技術をJ-PARC MLFのBL10「NOBORU」にて開発しました[1]。

ガスタービンブレードや電磁鋼板などには比較的大きな結晶粒を有する多結晶材料や単結晶材料があります。このような材料の結晶組織を調べることは重要です。これまで私たちは、多結晶材料のバルク結晶組織構造情報を広範囲に亘って高い空間分解能で、定量的に実空間マッピングできる「ブラッグエッジイメージング」を開発してきました

[2]。これは、多結晶体の中性子透過率スペクトルに現れるブラッグエッジを検出器の画素ごとに解析し、結晶組織構造情報マップを得る手法です。この考え方を、比較的大きな結晶粒を有する多結晶材料や単結晶材料にも適用するため、単結晶の中性子透過率スペクトルに現れる「ブラッグディップ」のデータ解析法を考案しました。これにより、結晶粒ごとの結晶方位を逆極点図(IPF)マッピングすることに成功しました。

実験で使用した中性子TOF画像検出器はnGEM検出器で、画素サイズは $800\mu\text{m} \times 800\mu\text{m}$ 、検出範囲は約 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ です。測定した試料はcm級の結晶粒サイズを有する3.4wt%Si鋼板で、厚さは5mmです。この試料に白色パルス中性子線を透過させ、TOF法により波長分解を行い、ブラッグディップスペクトルを得ました。

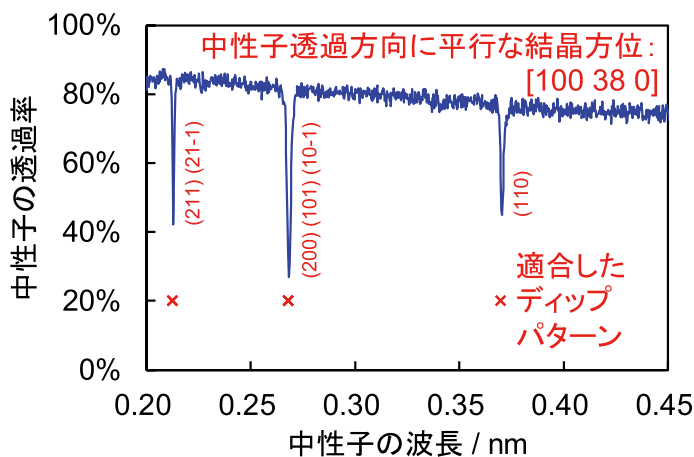


図1 ブラッグディップを含む透過率スペクトル

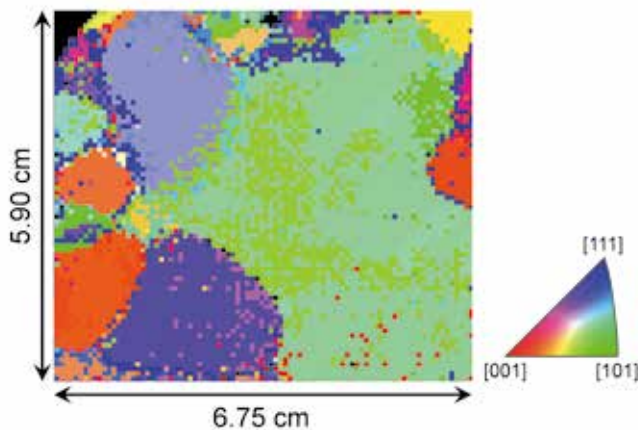


図2 中性子透過経路中のある1個の結晶粒の方位



図1に中性子透過率スペクトルの解析例を示します。今回開発したデータ解析法に求められる条件は、試料を回転せずに、2次元的なラウエ回折パターンがなくても、ブラッグディップパターンから結晶方位を同定することです。そのため、あらゆる結晶方位についてディップパターン情報を格納したデータベースを用意し、それと実験データを照合することでディップ波長の情報だけで即座に結晶方位を決定する方法を開発しました。図1は、開発した方法で結晶方位[uvw]を同定し、各ディップに指数付けした結果を表しています。指数が重なっているほどディップが深くなっていることから指数付けが妥当であることがわかります。また、EBSDの結果とも矛盾はありませんでした。

図2に結晶粒の結晶方位の中性子透過方向に関するIPFマップを示します。開発した手法は「中性子の透過経路中に何個の結晶粒が存在するか」、そして「各々の粒の中性子透過方向に関する結晶方位は何か」を判定できます。図

2は、中性子透過経路中のある1個の結晶粒についてIPFマップを示したのですが、重なっている別の結晶粒についても表示が可能です。開発した手法は、ガスタービンブレードや電磁鋼板などの特性評価に応用されることが期待できます。

なお、本技術は、北大の小型加速器中性子源「HUNS」でも実施可能であることが分かっています[3]。

本成果は、塩田佳徳氏(金属技研)、諸岡聡氏(JAEA)、戸高義一教授、足立望助教(豊橋技科大)、定松直助教(鹿児島大)、及川健一氏、原田正英氏、蘇玉華氏、篠原武尚氏(J-PARC)、張朔源氏(CROSS)、加美山隆准教授、大沼正人教授、古坂道弘教授(北大)、鬼柳善明特任教授(名大)との共同研究によるものです。また、科研費(23226018・16K20876)や日本鉄鋼協会の支援を受けました。

参考文献

- [1] H. Sato *et al.*, J. Appl. Cryst. 50 (2017) 1601.
- [2] H. Sato, J. Imaging 4 (2018) 7.
- [3] H. Sato *et al.*, Physica B, in press.

## ●茨城県BL

### FeおよびNi置換Li<sub>2</sub>MnO<sub>3</sub>系正極材料の充放電時の結晶構造変化

産業技術総合研究所 田淵 光春、栗山 信宏  
 田中化学研究所 渋谷 英香、堂前 京介  
 日本電気株式会社 弓削 亮太、田村 宜之

次世代高容量リチウムイオン二次電池正極材料として期待されるFeおよびNi置換Li<sub>2</sub>MnO<sub>3</sub>系正極材料の初回充放電時の結晶構造変化を粉末中性子回折によりほぼ明らかにしました。

電気自動車などへの応用が本格的になされつつあるリチウムイオン二次電池において最も重要な部材は、電池電圧や容量などの性能に直結する正極材料です。最近、異種元素を置換したLi<sub>2</sub>MnO<sub>3</sub>系正極材料がLi過剰系正極として注目され、検討され始めています。私たちは酸化物系ではほとんど活用されてこなかったFeを酸化還元元素として活用したFeおよびNi置換Li<sub>2</sub>MnO<sub>3</sub>系正極材料を見出し、2011年に発表しました。この材料は、合成法の工夫や電気化学的活性化処理により性能向上が図られていますが、遷移金属イオンのみならず、酸化物イオンも酸化還元元素として機能する複雑な高容量発現機構を明らかにすることにより、さらなる性能向上が期待できます。そこで、BL20「iMATERIA」を用いて粉末中性子回折測定を行い、リートベルト解析により結晶構造変化の詳細を明らかにしました。

リートベルト解析用の試料は0.4LiFe<sub>1/2</sub>Ni<sub>1/2</sub>O<sub>2</sub>-0.6Li<sub>2</sub>MnO<sub>3</sub>系試料を用い、充放電前、4.8V充電後、2.0V放電後の試料を作製しました。結晶構造モデルは六方晶層状岩塩(空間群R-3m)と立方晶スピネル構造(空間群Fd-3m)単位胞を用い、遷移金属としてMnとFe<sub>1/2</sub>Ni<sub>1/2</sub>仮想元素が存在するとして各陽イオンサイトに占有させました。

解析結果を表1に示します。結晶相は充放電前の層状岩塩型単一相から、充電後は層状岩塩型とスピネル相の二相共存状態となり、放電後は層状岩塩型単一相に戻ります。今まで透過電子顕微鏡観察により充電後のスピネ

ル相の存在は知られていましたが、構造解析によってその存在量やイオン分布状態を知ることができます。興味深いことに充電後にできるスピネル相の八面体16d位置にはMnイオンのみが検出されたことです。このことは生成したスピネル相が充放電前に存在するLi<sub>2</sub>MnO<sub>3</sub>領域より生成したことを示唆しています。実際、X線回折において充放電前にはLi<sub>2</sub>MnO<sub>3</sub>領域由来の超格子ピークが存在することが知られていることや、Li<sub>2</sub>MnO<sub>3</sub>は充放電の繰返しによりスピネル相に変化し易いという報告と矛盾しません。また、充電後には両相の酸素位置に欠損が認められるものの、放電後にほぼ元の状態に戻ることもわかりました。この結果についてはまだ説明できていません。これらの結果より、iMATERIAを用いた粉末中性子回折により、遷移金属イオンのみならず酸化物イオンも充放電に関与する複雑な充放電機構解明に近づけるのではないかと期待しています。

本研究の実施に際しては、茨城大学の石垣徹教授にご支援いただきました。この場を借りて感謝申し上げます。また、本研究の一部は新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)が実施している「リチウムイオン電池応用・実用化先端技術開発事業」の支援を受けて行った研究の成果であり、関係者の皆様に深く感謝申し上げます。

表1 FeおよびNi置換Li<sub>2</sub>MnO<sub>3</sub>系正極材料の充放電状態における各結晶相の割合と結晶相内における陽イオンおよび酸化物イオンの占有率の変化

試料	層状岩塩型結晶相				
	存在率 mol%	g <sub>3a</sub>	g <sub>3b</sub>	g <sub>6c</sub> *	g <sub>6c</sub> **
充放電前	100	Li:0.8855 Mn:0.0121 Fe <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> :0.0597	Li:0.2527 Mn:0.4860 Fe <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> :0.28235	Mn:0 (fixed) Fe <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> :0.01429	0:0.99999
充電後	76.97	Li:0.20 Mn:0.05 Fe <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> :0.144	Li:(fixed) Mn:0.4981 Fe <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> :0.2784	Mn:0.0454 Fe <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> :0.0569	0:0.8655
放電後	100	Li:0.688 Mn:0 (fixed) Fe <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> :0.0638	Li:0.2575 Mn:0.4482 Fe <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> :0.2522	Mn:0 (fixed) Fe <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> :0.0258	0:0.9993
試料	立方晶スピネル型結晶相				
	存在率 mol%	g <sub>8a</sub>	g <sub>8a</sub>	g <sub>16d</sub>	g <sub>2e</sub>
充放電前	0	—	—	—	0
充電後	23.03	Li:0.016 Mn:0 (fixed) Fe <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> :0.1400	Li:0.049 Mn:0.190 Fe <sub>0.5</sub> Ni <sub>0.5</sub> :0 (fixed)	0:0.7265	23.03
放電後	0	—	—	—	0

\*: (00z), z~0.375の格子位置に相当。\*\*: (00z), z~0.25の格子位置に相当。

## 第一原理計算・中性子・放射光X線を併用した 0.4Li<sub>2</sub>MnO<sub>3</sub>-0.6Li(Mn<sub>1/3</sub>Ni<sub>1/3</sub>Co<sub>1/3</sub>)O<sub>2</sub>の平均・局所・電子構造解析

東京理科大学 井手本 康、石田 直哉、北村 尚斗

Liイオン電池のLi過剰層状正極材料における平均・電子・局所構造を中性子と放射光X線の相補利用と第一原理計算により明らかにし、局所構造配列を決定しました。

Liイオン電池(LIB)の正極材料として、様々な種類の遷移金属酸化物が用いられています。特に、高容量な正極材料として知られているLi(Mn<sub>1/3</sub>Ni<sub>1/3</sub>Co<sub>1/3</sub>)O<sub>2</sub>とLi<sub>2</sub>MnO<sub>3</sub>の固溶体xLi<sub>2</sub>MnO<sub>3</sub>-(1-x)Li(Mn<sub>1/3</sub>Ni<sub>1/3</sub>Co<sub>1/3</sub>)O<sub>2</sub>はこの10年間多くの研究が行われてきました。この固溶体材料は、結晶学的にはLi、Mn、Ni、Coが同じサイトを無秩序配列した複雑な結晶構造(平均構造)を示します。平均構造解析では、無秩序構造の配列は決定できず、また、X線では軽元素のLi(電子数が少ない)と原子番号に近いMn、Ni、Co(電子数の差が少ない)を識別することは原理上困難です。そこで、電子数に依存しない中性子回折による結晶構造解析と、周期性に依存しない全散乱実験による局所構造解析を併せて行うことによって、無秩序配列を局所的な秩序構造(局所構造)として明らかにし、最も確からしい原子配列の決定に取り組みました。

本研究は、0.6Li<sub>2</sub>MnO<sub>3</sub>-0.4LiMn<sub>1/3</sub>Ni<sub>1/3</sub>Co<sub>1/3</sub>O<sub>2</sub>固溶体に対して、中性子回折と放射光X線回折実験を行い、それぞれのデータに対して、リートベルト解析(Z-Rietveld、Rietan-FP)を行うことで平均構造を精密化しました。得られた平均構造のa軸を3倍、b軸を2倍したスーパーセルを作成して、その中でMn、Ni、Co、Liの配列モデルを作成して、第一原理計算(Wien2k, VASP)で構造緩和と電子状態計算を行いました。検討した構造モデルの中で、計算化学的に最も安定な原子配列が定まりました。その状態密度(Density of states, DOS)を図1(a)-(c)に示します。DOSよりMn、Ni、Coの電子軌道を解析すると、Mnは4価、Niは2価から3価、Coは3価であることが分かりました。この計算結果は、XAFS測定などでも支持される結果であり、局所構造を紐解くためのヒントと考えられます。計算によって決定された原子配列を用いて、中性子全散乱と放射光X線全散乱測定によって得られた対相関関数へのPDF解析(PDFgui)を行いました。その結果を図1(d)と(e)に示します。中性子と放射光X線の全散乱を同時に満たす局所構造として、信頼度因子がR<sub>w</sub>=6.1%の良いフィッティングを示しました。その配列を図1(f)に示

します。この原子配列におけるMn-O<sub>6</sub>、Ni-O<sub>6</sub>、Co-O<sub>6</sub>八面体の各結合距離とBond Valence Sum (BVS)をそれぞれ算出すると、結合距離は各元素のイオン半径と整合する距離関係を示しており、BVSは第一原理計算で求めたDOSとほぼ同じ値を示しました。従って、平均構造解析から第一原理計算を経て、局所構造解析へと導く本研究のアプローチにより、それぞれの実験・計算手法の一つだけでは決定できない構造情報を得ることが可能となりました。このように第一原理計算と中性子と放射光X線の相補利用はLIB正極材料に対して有効な構造解析手法であると結論付けられます。

本研究の実施に際しては、茨城大学の石垣徹教授と星川晃範准教授、また、高エネルギー加速器研究機構の大友季哉教授にご支援いただきました。この場を借りて感謝申し上げます。

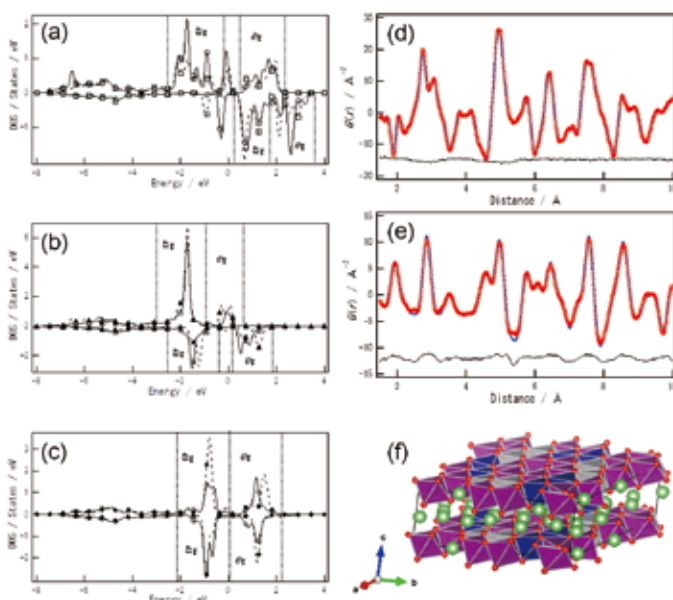


図1 第一原理計算によって得られたDOS [(a) Mn, (b) Ni, (c) Co]と放射光X線と中性子全散乱を相補的に用いたPDF解析 [(d), (e) 中性子全散乱, (f) 放射光X線全散乱で決定された局所構造]

## 受賞報告

### CROSSの林眞琴氏が第15回日本中性子科学会功績賞を受賞

総合科学研究機構中性子科学センターの林眞琴サイエンスコーディネーターは、2017年12月2日-3日に福岡大学で開催された日本中性子科学会2017年会において第15回中性子科学会賞の功績賞を受賞されました。受賞題目は「中性子回折法による残留応力測定技術の確立と中性子の産業利用への貢献」です。

功績賞は、広く我が国の中性子科学の発展に顕著な功績のあった者に授与されるもので、林眞琴氏は、中性子回折法による残留応力測定技術を確立するとともに、茨城県企画部技監として茨城県ビームラインの運営とダイレクションング、さらには、産業界への中性子利用の啓発のために中性子産業利用推進協議会を設立し、中性子産業利用の発展に中心的な貢献を果たしたことが評価されたものです。

なお、学会賞には古坂道弘北海道大学大学院工学院教授が「先導的なパルス中性子源散乱装置および測定技術の開発」、技術賞には伊藤晋一高エネルギー加速器研究機構教授ほか「高分解能チョッパー分光器HRCの建設と中性子ブリルアン散乱法の実装」という題目でそれぞれ受賞されました。

受賞式の記念写真を示します。



左から、林眞琴氏、古坂道弘教授、伊藤晋一教授、鬼柳善明会長

## 活動報告

### ◆研究会

#### ●非破壊・可視化・分析技術研究会

11月8日(水)にエッサム神田ホール2F多目的ホールにおいて、非破壊検査・可視化・分析技術研究会を「小型中性子源とイメージング技術」をテーマに開催しました。50名の参加者がありました。

＜施設の概要＞セッションでは、林眞琴氏(CROSS)が「J-PARC MLFと産業利用の現状」と題して講演されました。

＜チュートリアル＞セッションでは、三浦勉氏(産総研)が「中性子を用いた元素分析技術」、篠原武尚氏(J-PARC)が「J-PARCのイメージング装置RADENの現状」と題して講演されました。

＜BNCTの現状＞セッションでは、内藤富士雄KEK教授が「BNCT用加速器の開発状況」、熊田博明筑波大学准教授が「小型加速器ベースBNCT用中性子源の開発と将来展望」、小野公二京都大学教授が「世界のBNCT研究を先導するKURRIでのBNCT研究」と題して講演されました。

＜中性子CT＞セッションでは、松本吉広氏(CROSS)が「RADE

Nにおける中性子CTイメージングの現状」、浅野等神戸大学准教授が「中性子ラジオグラフィによるエネルギー機器の診断」と題して講演されました。

加速器ベースのBNCT(ホウ素中性子捕獲療法)技術の開発も進み、治験も開始されています。そのBNCT用加速器の開発成果を元に、学術・産業利用向けの小型中性子源開発も進捗しており、早期の実用化が期待されます。



会場の様子



小野公二京大教授

#### ●金属組織研究会

11月24日(金)にエッサム神田ホール401会議室において、金属組織研究会を「金属組織研究会による共同実験・基礎実験の検討」をテーマに開催しました。32名の参加者がありました。

＜チュートリアル＞セッションでは、佐藤馨氏(JFEテクノロジー)が「電子顕微鏡と量子ビームを活用した材料研究の最前線～逆空間情報をもっと活用すべし～」と題して講演されました。

＜中性子実験施設＞セッションでは、富田俊郎茨城県企画部技監が「J-PARC MLFと産業利用の現状」、峯村哲郎茨城県CDが「J-PARC MLF/CROSS/茨城県BLの活用方法」と題して講演されました。

＜中性子による金属材料研究＞セッションでは、大竹淑恵氏(理研)が「RANS1による回折実験～中性子実験への新たな入口～」、澤口孝宏氏(NIMS)が「Fe-Ni-Si系合金の低サイクル疲労におけるin situ中性子回折」と題して講演されました。

＜中性子利用研究への誘い～共同実験・基礎実験検討会～＞セッ

ションでは、諸岡聡氏(JAEA)が「in situ回折実験と非破壊応力測定への誘い」、鈴木淳市氏(CROSS)が「小角・広角散乱実験への誘い」、大場洋次郎氏(JAEA)と石田倫教氏(北海道大学大学院)が「新技術「小角散乱・回折同時測定技術」への誘い」と題して講演されました。

研究会開催の主要な目的である「共同実験の提案」を目指して参加者に共同実験への参加を呼びかけました。施設関係者から共同実験について具体的な議論がありましたが、テーマを絞るまでには至りませんでした。このような試みは今後も企画して行きたいと考えます。



会場の様子



佐藤馨氏  
(JFEテクノロジー)

#### ●ソフトマター中性子散乱研究会

11月27日(月)エッサム神田ホール401会議室において、ソフトマター中性子散乱研究会を「ダイナミクス測定手法の最前線～動的階層構造と材料物性～」をテーマに開催しました。33名の参加者がありました。

＜施設の概況＞セッションでは、林眞琴氏(CROSS)が「MLFにおける産業利用の現状」、富永大輝氏(CROSS)が「ソフトマター研究におけるJ-PARC MLFのダイナミクス装置」と題して講演されました。

＜ダイナミクス研究＞セッションでは、間下亮氏(住友ゴム)が「中性子を用いたゴムのダイナミクス研究」、斎藤真器名京都大学助教が「放射光を用いたナノ・マイクロ秒の原子・分子ダイナミクス測定の原理と応用」、竹下聡史KEK助教が「高分子におけるMHz帯分子ダイナミクスのミュオンスピン緩和法による観測」、深尾浩次立命館大学教授が「誘電緩和・中性子反射率測定による高分子積層薄膜のガラス転移温度ダイナミクス」、河村純一東北大学教授が「リチ

ウムイオン電池材料のイオン伝導度と拡散係数」、吉田享次福岡大学助教が「細孔水およびリチウムイオン電池用電解液の中性子スピンエコー測定」、増淵雄一名古屋大学教授が「レオロジーでわかるソフトマターのダイナミクス」と題して講演されました。

中性子構造解析の特長の1つでもあるダイナミクス測定手法に焦点をあて、中性子だけでなく放射光やミュオンなどの量子ビーム、ならびに、レオロジー応用による実例が紹介されました。測定対象材料もゴムやガラス、Liイオン電池材料など多岐に亘り、活発な質疑応答が交わられました。



会場の様子



間下亮氏(住友ゴム)

#### ●電池材料研究会

1月22日(月)に研究社英語センター大会議室において、電池材料研究会を「全固体二次電池への挑戦-電池開発と材料研究の取組み-」をテーマに開催しました。85名の参加者がありました。

＜施設の概況＞セッションでは、富田俊郎茨城県企画部技監が「J-PARC MLFにおける中性子産業利用の現状」、石垣徹茨城大学教授が「IMATERIAにおける周辺機器の整備と電池材料研究」と題して講演されました。

＜チュートリアル＞セッションでは、井手本康東京理科大学教授が「実電池材料構造解析概論-結晶PDF解析の現状と課題-」、基調講演＞セッションでは、菅野了次東工大教授が「二次電池材料開発への量子ビーム応用技術の最新技術」、＜特別講演＞セッションでは、射場英紀氏(トヨタ自動車)が「全固体電池配発の取組みと将来展望」と題して講演されました。

＜全固体電池材料研究の取組み＞セッションでは、樋口弘幸氏(出光興産)が「硫化物系固体電解質の特徴と抵抗低減に向けた取組み」、

高田和典氏(NIMS)が「硫化物型固体電池の正極界面設計と酸化物型への課題」、尾原幸次氏(JASRI)が「高エネルギーX線PDF法による硫化物ガラスの構造解析」、片岡邦光氏(産総研)が「単結晶X線・中性子回折によるガーネット系固体電解質の結晶構造解析」と題して講演されました。

全固体電池に関わる研究開発の概要を知るまたとない機会となりました。全固体電池が安全性だけでなく、Liイオン電池の高出力化や高容量化においても非常に有望であることがクローズアップされ、全固体電池に益々期待が高まる研究会となりました。



会場の様子



射場英紀氏(トヨタ自動車)

## ● 薄膜・界面研究会

1月30日(火)に研究社英語センター大会議室において、薄膜・界面研究会を「中性子反射率による界面の構造解析」をテーマに開催しました。40名の参加者がありました。

<チュートリアル>セッションでは、山田悟史KEK助教が「反射率法の原理」と題して講演されました。

<薄膜構造解析の実際>セッションでは、田中敬二主査ほかの指導のもと、反射率法解析のソフトウェア「PARRATA32」を使って実際に解析する実習が行われました。

<反射率装置>セッションでは、山田悟史KEK助教と阿久津和宏氏(CROSS)がそれぞれBL16とBL17の現状と利用成果を紹介されました。

<BL17における学術成果>セッションでは、丸山龍治氏(JAEA)と熊田高之氏(JAEA)、秋山了太東京大学准教授が、BL17「SHARAKU」ならではの磁性薄膜構造解析の成果を紹介されました。

<産業利用>セッションでは、里川雄一氏(DIC)がポリマー薄膜の溶媒膨潤挙動、伊藤恵利氏(メニコン)がコンタクトレンズの最表面層に存在する含水量を分析した結果を報告されました。

今回は反射率法の解析方法を実地に実習していただき、中性子反射率法実験を身近に感じていただけたものと思います。これを機会に多くの材料分野の皆さまのご利用を期待しています。



会場の様子



伊藤恵利氏(メニコン)

## ◆ 茨城県研究会

### ● 磁石材料分科会

11月20日(月)にエッサム神田ホール401会議室において、磁石材料分科会を「新規磁石材料創成に向けた多様なアプローチ - 構造解析と材料探索 -」をテーマに開催しました。34名の参加者がありました。

富田俊郎茨城県技監が「iMATERIAでの産業利用の状況」について説明されたあと、<基調講演>セッションでは、広沢哲氏(NIMS)が「元素戦略磁石材料研究の成果と展開」、中村元氏(信越化学)が「企業からの磁石材料研究への期待」と題して講演されました。

<量子ビームによる磁石材料構造研究>セッションでは、宝野和博氏(NIMS)が「電子顕微鏡・アトムプローブによるネオジム磁石の微細構造解析 - 粒界相制御による高保磁力化 -」、中村哲也氏

(JASRI)が「磁石プロセス指針構築のための放射光構造解析」、小野寛太KEK准教授が「中性子による磁石材料の構造解析」と題して講演されました。

<計算科学による新磁石材料探索>セッションでは、三宅隆氏(産総研)が「マテリアルズ・インフォマティクスによる新材料探索」、阿部太一氏(NIMS)が「CALPHAD法による磁石材料の状態図計算」と題して講演されました。

<新材料研究>セッションでは、後藤翔氏(デンソー)が「L10型FeNi、FeNiN系規則合金の構造と特性」、矢野正雄氏(トヨタ自動車)が「計測高度化による磁性材料内部情報の抽出」と題して講演されました。

### ● 小角散乱分科会

12月8日(金)にエッサム神田ホール401会議室において、小角散乱分科会を「iMATERIAの小角散乱機能による材料構造解析の展開 - 散乱実感から計算機解析へ -」をテーマに開催しました。38名の参加者がありました。

<装置の概況>セッションでは、富田俊郎茨城県技監が「iMATERIAにおける中性子産業利用」、吉田幸彦茨城大学助教が「iMATERIAにおけるマルチスケール解析の取り組み 小角散乱から広角散乱まで」と題して講演されました。

<招待講演：散乱情報から実空間構造を描く>セッションでは、田代孝二茨城大学客員教授が「広角・小角 X 線散乱データのモンテカルロシミュレーションに基づく高分子の複雑な高次組織解明」、川勝年洋東北大学教授が「高分子の場の理論に立脚したシミュレ-

ーションの現状と展開」と題して講演されました。

<最近の実験例>セッションでは、前川康成氏(QST)が「量研(QST)における燃料電池電解質膜の研究 - 材料合成から構造解析まで -」、小泉智茨城大学教授が「コントラスト変調小角散乱による燃料電池触媒の構造解析 - 小角散乱と電子顕微鏡、反射率の併用 -」、熊田洋平茨城大学講師が「動的核スピン偏極装置開発の現状と今後の計画」と題して講演されました。



川勝年洋東北大学教授



前川康成氏(QST)

## お知らせ

### ● 平成30年度総会

日時：平成30年7月23日(月) 10:20-12:00

会場：東京 秋葉原コンベンションホール

庄山悦彦副会長、佐野太文部科学省科学技術・学術政策局長、ならびに、志満津孝運営委員長長の挨拶のあと、

第1号議案 平成29年度事業報告及び決算報告について

第2号議案 会員の入退会について

第3号議案 平成30年度事業計画及び収支予算について

その他 新体制について

の4つの議案について報告し審議する予定です。会員企業の皆さまだけでなく、非会員企業や大学、研究機関の皆様も参加できます。

多くの皆様のご出席をお願い致します。

### ● 平成30年J-PARC MLF産業利用報告会

主催：J-PARCセンター、総合科学研究機構

茨城県、中性子産業利用推進協議会

J-PARC MLF利用者懇談会

日時：平成30年7月23日(月) 13:00 ~ 24日(火) 18:30

会場：東京 秋葉原コンベンションホール

中性子産業利用推進協議会発足10周年に当たるため、<記念セッション>では、庄山悦彦副会長と西山崇志文部科学省量子放射線研究推進室長、齊藤直人J-PARCセンター長の挨拶のあと、志満津孝運営委員長が「中性子産業利用の現状と将来」と題して記念講演されます。

<セッション1><セッション2>では、MLFや茨城県BLの主要な成果を報告したあと、<特別講演>では村上元(株)日立製作所材料イノベーションセンター長が「日立グループにおける量子ビーム活用による技術・製品開発」と題して講演されます。23日は昨年に引き続き「イノベーションの共創」と題して産業界のニーズと施設側のニーズのマッチング講演を4組予定しています。また、<招待講演>として、大野英男東北大学総長と五十嵐圭日子東京大学准教授に講演していただく予定です。

多くの皆さまのご出席をお願い致します

協議会HP(<http://www.j-neutron.com/>)には、J-PARC MLFやJRR-3の運転情報などを提供するサイトや、研究成果を紹介するサイトなどが設けてあります。研究会や講習会などの詳細についてはHPに順次新規情報を掲載しています。是非HPにアクセスして活用してください。

### 中性子産業利用推進協議会 季報【18年・春】Vol.38

発行日 2018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2F D201

TEL:029-352-3934 FAX:029-352-3935 E-mail:info@j-neutron.com URL:<http://www.j-neutron.com/>