

CONTENTS

P2 中性子産業利用推進協議会活動報告/J-PARC/MLFの2013BIにおける課題申請状況 P3 中性子実験装置の紹介 P4 ミュオン技術の紹介 P4-7 研究トピックス P7 研究会活動報告 P8 お知らせ

日本の中性子産業利用における産学官交流

東京大学物性研究所 柴山 充弘

2013年7月、イギリス スコットランドのエジンバラにおいて国際中性子散乱会議(ICNS2013)が開かれました。この国際会議は欧州、アメリカ大陸、それにアジアオセアニアの3大中性子散乱研究圏を4年毎に持ち回りで開催されています。今回は800名規模の参加があり、日本からは75名の参加がありました。実に約10%が日本からの参加だったわけです。この数字を見る限り日本は中性子散乱大国といえるでしょう。次回の2017年はお隣の韓国大田にて開催されます。大田には日本のJAEAに相当する韓国原子力研究所(KAERI)があり、ここを拠点として、今、韓国では非常に勢いで中性子散乱研究が進んでいます。大田は日本のつくば学園都市に相当し、KAIST(韓国科学技術院)や多くの国立研究所がひしめき合うところで、産官学の交流が盛んに行われています。しかし、意外にも韓国ではまだ産業界の中性子利用は少なく、中性子利用における産学交流は殆どありません。欧米では産業界と学会はそれぞれ独自に中性子利用を行う傾向が強いようです。一方、日本の場合は、J-PARC/MLFの本格的利用を視野に入れた「中性子利用技術移転推進プログラム」、いわゆるトライアルユース(TU)制度が2006年に研究炉JRR-3に導入されて以来、「官学」の支援のもとで産業界への中性子利用技

術の普及と展開が図られてきました。2008年には中性子産業利用推進協議会が発足し、J-PARC/MLFで中性子ビームを用いた本格的な産業利用が始まりました。こうした活動は徐々に成果となって現れてきています。たとえば、7月22日に開催された中性子産業利用推進協議会の平成24年度成果報告会では、中性子の産業利用がしっかりと根付いてきたことを感じさせる内容の発表がいくつもありました。産官学にわたる多くの関係者の方々のたゆまぬ努力が報われ、中性子の産業利用が官学主導型から産主導型へと成熟しつつあるように思えます。

中性子に限らず日本ではさまざまな分野で産学連携や交流が進んでいます。産業界からのニーズ提供、学生の就職や大学の研究室を介しての交流、大学教員による企業のコンサルタントや技術指導などがその例です。一方で、日本中性子科学会における産業界の会員数はまだまだ非常に僅かです。現在、日本の2つの主要中性子散乱施設であるJ-PARC/MLFならびにJRR-3がともに稼働していないという異常事態ですが、両施設の速やかな回復を望みつつ、今後、日本中性子科学会年会や研究会、勉強会への参加などを通じて産学連携や産学交流がますます盛んになることを期待したいと思います。報告会の懇親会でのどなたかの挨拶にあった、「お互いの顔が見える交流・連携を」を合い言葉に。

最先端科学施設の民間利用

株式会社富士通研究所 淡路 直樹

当時、最先端放射光施設であったKEK-PFに電電公社(現NTT)、日立、NECおよび弊社がX線リソグラフィや材料分析のための専用ビームラインを建設したのは1983～1985年頃でした。私はその立ち上げが一段落した1989年頃から放射光に関わってきましたが、文部省の施設であり学術研究が主であるPFに、民間企業がビームラインを建設することは初めてのことであり、その立ち上げは大変だったと聞いています。また、分析技術も手探りで自ら立ち上げながら利用するという状況でした。その後、1997年秋には、設立の経緯からも産業界との関わりが深い次世代放射光施設SPring-8が稼働し、状況は改善されました。弊社を含む民間13社はサンビーム共同体を結成して、2本の専用ビームラインを施設に建設し、1999年からその利用を開始しました。すでに15年近く利用させていただいており、昨年度には2巡目となった共同体幹事会社を担当いたしました。この間における放射光分析技術の進

歩には目を見張るものがあり、ほぼ成熟の感があります。他方、2008年からは放射光とは相補的な技術である中性子の利用の敷居も下がり、実績のある原子炉中性子源であるJRR-3の施設供用制度を利用して課題申請させていただくようになりました。利用の印象が昔のPFに近いように感じたのは、アカデミックユースが多いためだったかもしれません。丁度そのころ、世界最先端のパルス中性子源であるJ-PARC/MLFが稼働を開始しました。筆者が学生のころ聞いていた大ハドロン計画が、このような形で実現するとは想像すらしていませんでした。そのMLFにも課題を申請させていただき、産業材料についての貴重な実験を行うことができました。このように、多くの先達のご苦労による国の最先端科学施設が、利用技術まで開発された状態で、民間人として利用できるようになることは、昔から考えるとまさに夢のような時代になったように思います。今後もこれらの最先端施設を有効利用させていただき、学術成果と産業成果とが車の両輪として創出され、日本の国力が向上していくことを期待しております。

中性子産業利用推進協議会 活動報告

●2013年度総会および2012年度成果報告会

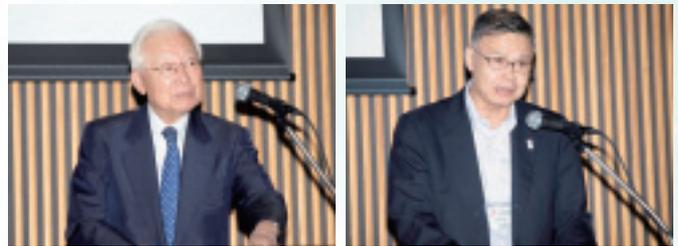
2012年7月22日(月)に秋葉原コンベンションホールにおいて、庄山副会長、須藤運営委員長、会員企業49社(委任状含む)、他から計100名が出席し、2013年度総会および2012年度成果報告会を開催しました。

2013年度総会では、庄山副会長の挨拶があり、来賓として土屋文部科学省科学技術学術政策局長の挨拶をいただきました。続いて、須藤運営委員長の挨拶がありました。総会の議事においては、2012年度事業報告と決算報告、会員の入退会、2013年度事業計画と予算案、分担金の減額措置の各項目について審議を行い、全て承認されました。

2012年度成果報告会では、池田J-PARCセンター長から5月23日に発生したJ-PARCのハドロン実験施設における放射性物質漏洩事故の概要説明があり、ニュートリノ振動に関する画期的な研究成果の紹介を含めて、J-PARC/MLFの現状について報告がありました。続いて、加倉井JAEA量子ビーム応用研究部門長が、JRR-3の震災からの復旧状況と再稼働に向けての現状について報告がありました。次いで、林茨城県企画部技監が茨城県BLの現状を踏まえながら、産業利用の現状を紹介しました。その後、(株)日立製作所の平野氏が「自動車部品などにおける残留応力評価」、JFEスチールの末吉氏が「TRIP鋼のIn-situ中性子回折および

中性子小角散乱解析」、本田技術研究所の細江氏が「アルミニウム系水素貯蔵材料の非晶質化」、豊田中央研究所の原田氏が「中性子反射率法によるナフィオン薄膜の構造解析」、住友ゴム工業の岸本氏が「放射光と中性子の相補的利用による高分子複合材料の研究」と題して報告されました。それぞれの講演に対して多くの質問やコメントがありました。最後に、東京大学物性研究所の吉沢教授から、日本中性子科学会の2013年会における産学連携行事の紹介がありました。成果報告会には150名もの参加者があり大変盛況でした。

総会と成果報告会のあと、懇親会が開催され、93名の方にご参加いただき、産学官の懇親を深めるとともに、J-PARCやJRR3の産業利用などについて活発な意見交換がありました。



庄山副会長と土屋文部科学省局長の挨拶



成果報告会の様子



懇親会における横溝JAEA理事による乾杯

J-PARC/MLFの2013Bにおける課題申請状況

5月23日に発生したJ-PARCハドロン実験施設における放射性物質の漏洩事故の影響を受けて、2013Bの課題募集は期間を延長して7月8日まで受け付けました。その結果、2013Bは平成26年2月と3月における2サイクル(44日)だけの運転にも拘わらず、J-PARC/MLFには全部で242件の申請がありました。産業界からは27件の申請があり、そのうち3件が成果専有課題でした。茨城県BLにおいては、5件の成果公開での課題申請と8件の成果専有での課題申請がありました。CROSSが管理する共用法装置におけるトライアルユース制度では5件の申請がありましたが、全て大学と研究機関からの申請でした。

図1には2013BにおけるJ-PARC/MLF全体での申請課題の申請元別分類と装置別分類を示します。産業利用の比率は15.7%であり、2013Aの15.9%とほぼ同じでした。大学、国内研究機関、海外研究機関の比率も2013Aとほぼ同じでしたが、JAEAからの申請は少し増えました。装置別の分類

を見ると、大強度型中性子小中角散乱装置「大観」が11.4%で最も高く、次いで、茨城県の材料構造解析装置iMATERIAが

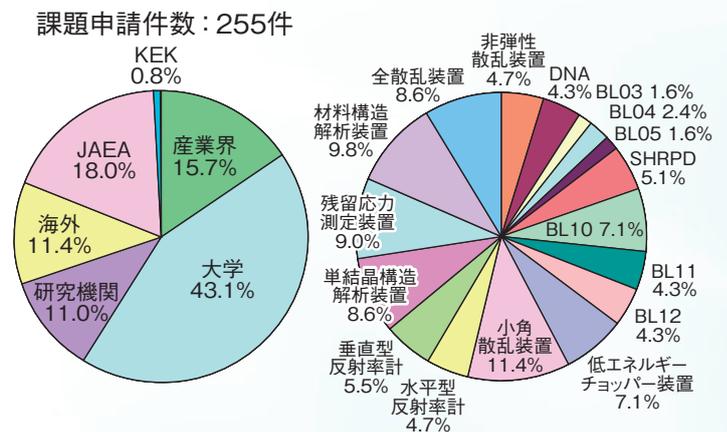


図1 2013Bにおける申請課題の申請元別分類と装置別申請状況

9.8%、残留応力測定装置「匠」が9.0%で、BL18の単結晶構造解析装置が8.6%となっています。iMATERIAについては随時課題で申請される傾向が強くなっていますので、最終的にはiMATERIAの利用比率が最も高くなるもの

と予想されます。BL10の中性子源特性試験装置やBL14の低エネルギーチョッパー装置はともに7.1%と定常的に利用されるようになりました。

中性子実験装置の紹介

●J-PARC

BL05 中性子光学基礎物理測定装置(NOP)

名古屋大学 広田 克也、清水 裕彦
高エネルギー加速器研究機構 猪野 隆

J-PARC/MLF中性子源 BL05に設置されている中性子光学基礎物理測定装置(NOP)は、中性子寿命の高精度測定や中性子と原子の間に働く力の計測、中性子の量子力学的干渉のメカニズムを探る計測など、主として中性子そのものの物理的性質を調べるために設置された装置です。こうした測定を通してピクバン元素合成などの宇宙のしくみの理解に役立てようとしています。

このBL05では湾曲した中性子スーパーミラーと呼ばれる金属多層膜鏡を組み合わせることで中性子ビームを3本に分岐し、それぞれ

- ・偏極ブランチ：スピン偏極した冷中性子ビーム
- ・非偏極ブランチ：汎用の冷中性子ビーム
- ・低発散ブランチ：平行度の高い冷中性子ビーム

として異なる性格を有するブランチに導かれ、実験の特徴に合わせた最適なブランチでの測定が可能です(図1、図2)。すべてのブランチにおいて中性子源からの中性子導管は湾曲して配置してあるため、T0チョッパーを使わずに中性子源からのバックグラウンドを減らしています。

その他、冷中性子ビームを非常に高速でバンチ化させるスピンドリップチョッパーや、超冷中性子(UCN)を生成させるドップラーシフター、生成された超冷中性子を制御するための加減速を行うリバンチャーなどの世界最先端の中性子光学素子を開発し、利用することで低バックグラウンドの測定環境を実現し、高精度な測定を行っています。

中性子寿命測定においては、スピンドリップチョッパーを利用して空間的に短い範囲にバンチ化された中性子ビームを検出器に輸送し、検出器の中に中性子が納まっている間の中性子崩壊イベントを、崩壊で放出される電子を検出することで計数します(図3参照)。この時、元々導入した中性子数と崩壊した中性子数の比から、中性子の寿命を計算することができます。パルス中性子ビームと中性子光学系を組み合わせることでバックグラウンドノイズを極限まで低減し、J-PARC/MLFの強度を生かした高統計実験によって、寿命の測定精度0.1%を目指しています。

こうした装置の開発にはKEKを中心に東大、名大、京大、九大、理研などの研究者が連携する企業と共同で進めており、各企業が有する成膜技術、精密加工技術、真空技術、システム制御技術など多岐にわたる技術が使われています。また、ここで開発された光学素子は単に基礎物理学の研究に利用されるだけでなく、他のビームラインや最近国内各地で建設されつつある小型中性子源など様々な中性子利用の現場で利用されるなど、BL05から全国へ、そして世界へと広まってくることが期待されています。



図1 BL05の3本のビームブランチ



図2 中性子スーパーミラー導管

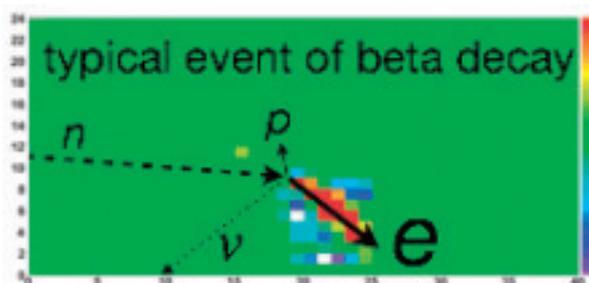


図3 TPC検出器で捉えた中性子崩壊のイベント

ミュオン技術の紹介

ミュオンX線を利用した物体内部非破壊元素分析

国際基督教大学 久保 謙哉
大阪大学 二宮 和彦

負ミュオン(μ^-)は、質量が207倍重い電子と見なせます。原子が原子核と電子からできている(便宜上「電子原子」とよぶ)のと同じように、 μ^- が原子核を回っているミュオン原子というものがあります。物質に入射された μ^- が速度を失って止まると、付近の原子核のクーロン場に捕獲されてミュオン原子を形成します。捕獲の初期には μ^- は主量子数の大きな軌道にありますが、光子を放出しながらミュオン原子の基底状態に到達します。ここで放出される光子は、電子原子の特性X線(電子X線)に対応するミュオン原子の特性X線(ミュオンX線)で、 μ^- を捕獲した原子核と遷移に特有なエネルギーを持ちます。ただし、 μ^- が重いために対応する電子X線の207倍高い数十keVから数MeVのエネルギーを持っています。HPGeのような γ 線エネルギー分析用の検出器を使ってミュオンX線を測定して物質の元素分析に利用することができます。

この方法には以下のような種々の利点があります。(1) μ^- ミュオンX線のエネルギーが高いために物質透過力が大きく、cmオーダーの試料深部から放出されたものも測定可能。(2) μ^- は荷電粒子なので入射エネルギーを変えることで μ^- が物質中で止まる深さを制御できるので、物質によっては数 μm 単位で深さ方向の元素分布が分析可能。(3) μ^- が物質中で停止すると必ず原子捕獲が起こってミュオンX線が放出されるので効率がよく、ミュオンを照射しても試料を壊しません。以上をまとめると「非破壊」「多元素同時」「物体内部位置選択的」分析ができるのですが、なぜかこの方法はこれまでほとんど利用されてきませんでした。私たちは、J-PARCミュオン施設の供用開始時からこの手法の開発を行ってきました。

江戸時代の金貨は金と銀の合金ですが、発行時期によって

金の含有率が異なります。しかし、金貨の表面の銀だけを溶解して金を残す「色揚げ」とよばれる化学的手法によって、表面はほとんど金100%になっています。小判表面から深さ方向にわずかに数 μm にわたって元素組成が変化し、10 μm では内部の金銀合金と同じ組成になります。図1は天保小判の表面から20 μm 付近に μ^- を打ち込んで測定したミュオンX線スペクトルです。図中のAu μ -X-ray(7-6)は、金原子に捕獲された μ^- が主量子数7から6へ遷移するときのミュオンX線であることを示しています。このミュオンX線は金や銀に捕獲された μ^- だけであることから、この天保小判は金と銀の合金であることが明確となりました。また、内部の金含有量は57%で他の破壊的手法で分析した値と一致しました。 μ^- の入射エネルギーを変えて測定したところ、表面から1.5 μm では金が78%であり、さらに表面から内部に向かって金の濃度に勾配があることも分かりました。このように負ミュオンを利用して、非破壊的に深さ方向の元素組成を分析できます。この分析法の開発は、まだ原理実証を過ぎた段階で、分析感度や精度の検討など多くの研究課題がありますが、実際の試料の分析を進めながら開発を続けています。

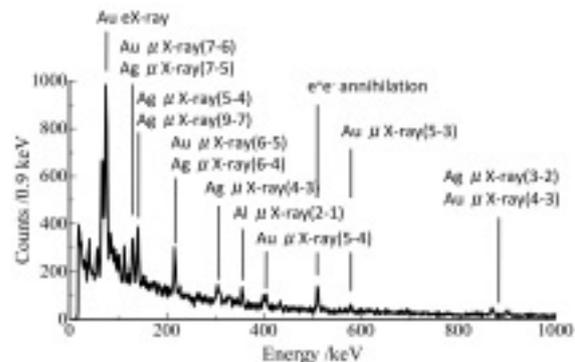


図1 天保小判のミュオンX線スペクトル

研究トピックス

●J-PARC

偏極中性子小角散乱実験によるカイラルソリトン格子の観測

総合科学研究機構 大石 一城、鈴木 淳市
青山学院大学 高阪 勇輔、池田 直樹、秋光 純

J-PARC/MLFのBL15大強度型中性子小角散乱装置「大観」は、2011B期の供用運転開始以来、ソフトマター、バイオマター、超伝導、磁性材料、鉄鋼材料など、多岐の分野に亘るユーザーに利用されています。特に、昨年の秋には中性子偏極デバイスが設置され、偏極中性子を用いた散乱実験が可能になりました。本報告では、「大観」での初めての偏極中性子小角散乱実験として、カイラルらせん磁性体MnSiにおいてカイラルソリトン格子の形成を観測した成果を紹介します。

カイラリティとは、左手と右手のように互いに鏡で映しあうことはできるものの、両者を重ね合わせることができない状態を示します。カイラルな結晶構造を有する物質では、Dzyaloshinskii-Moriya相互作用により、片巻きのをらせんのみのカイラルらせん磁気秩序が形成されます(図1 (a))。更に、

らせん軸に垂直に磁場を印加した場合、らせんの周期 $L(H)$ が磁場 H により制御されるカイラルソリトン格子(図1 (b))が形成されることが理論的に示されています[1]。昨年、カイラルな結晶構造を有する $\text{Cr}_{1/3}\text{NbS}_2$ においてカイラルソリトン格子の形成が

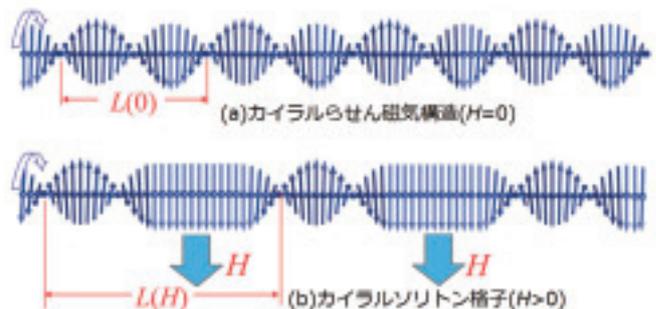


図1 (a)零磁場中でのカイラルらせん磁気構造および (b)磁場中でのカイラルソリトン格子

ローレンツ顕微鏡により観測されました[2]。MnSiでは、古くからカイラルらせん磁気構造を形成することが報告されていますが[3]、カイラルソリトン格子形成に関する報告はありませんでした。

我々は、MnSi単結晶の磁化測定を行い、弱磁場下においてカイラルソリトン格子形成を示唆する磁化異常を観測しました。そこで、磁場中偏極中性子小角散乱実験をJ-PARC/MLFのBL15「大観」で行い、カイラルソリトン格子の観測を試みました。その結果を図2に示します[4]。図中には、 $H//[1,1,1]$ 、温度 $T=3\text{K}$ で入射中性子のスピンを $[1,1,1]$ 方向および $[-1,-1,-1]$ 方向で測定した結果をそれぞれ赤と青で示します。基本反射 $(+q,+q,-q)$ の強度から得られた偏極率より、カイラルらせん磁気構造は、結晶構造と同様に左巻きで、文献[3]と一致する結果が得られました。特筆すべき点は、カイラルソリトン格子の形成を示す2次の磁気衛星反射 $(2q,2q,-2q)$ を観測したことです。基本反射の強度に比べて、3桁低いという非常に小さい散乱強度を観測し、MnSiでカイラルソリトン格子が形成されていることを確認しました。

以上、最近、「大観」で得られた偏極中性子小角散乱実験の成果を紹介しました。「大観」では、2013年度中に超小角検出器が設置され、観測領域は $5 \times 10^{-4} \leq Q \leq 10 \text{ \AA}^{-1}$ に拡大されます。2014年度には偏極・集光デバイスを設置します。これからも進化し続ける「大観」から発信される成果にご注目ください。

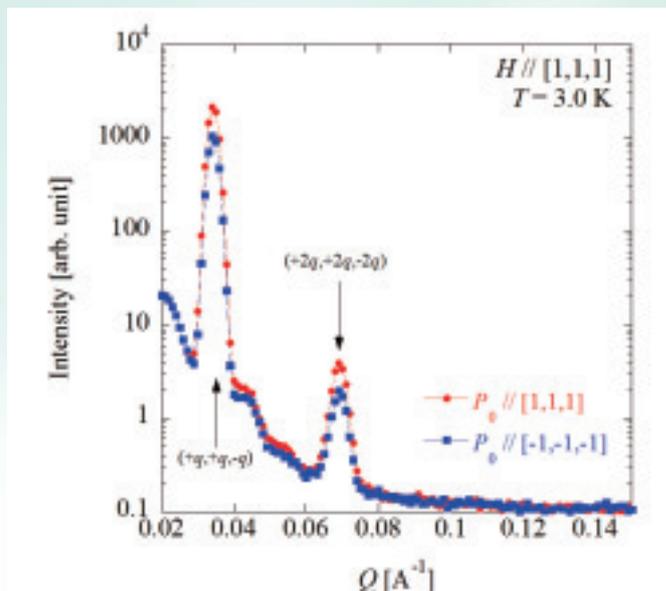


図2 $[1,1,-1]$ 方向における $I(q)$ プロファイル
赤色は入射中性子のスピンスピン $P_0//[1,1,1]$ 、
青色は $P_0//[-1,-1,-1]$ の場合

参考文献

- [1] J. Kishine et al., Prog. Theor. Phys. Suppl. 159, 82 (2005).
- [2] Y. Togawa et al., Phys. Rev. Lett. 108, 107202 (2012).
- [3] M. Ishida et al., J. Soc. Phys. Jpn. 54, 2975 (1985).
- [4] Y. Kousaka et al., J. Phys. Soc. Conf. Proc. (投稿中)

●JRR-3

六方晶フェライトの磁気モーメントの温度依存性

日立金属 尾田 悦志、小林 義徳
日本原子力研究開発機構 井川 直樹

Sr-La-Co系M型フェライトは、六方晶マグネトプランバイト構造を有するフェライト($\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$)の Sr^{2+} の一部を La^{3+} で、 Fe^{3+} の一部を Co^{2+} で置換した組成であり、 $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ よりも高い結晶磁気異方性を有することから高性能フェライト磁石材料として実用化されています。Sr-La-Co系M型フェライトの磁気特性の向上は、 La^{3+} および Co^{2+} 置換によりM型の結晶・磁気構造が変化したことが原因と考えられます。これまでSr-La-Co系M型フェライトの結晶・磁気構造に関する報告例はありますが、2a、4e、4f₁、4f₂および12kの5種類の Fe^{3+} サイトごとの磁気モーメントはその温度依存性を含めて精密に解析されていません。そこで本研究では、粉末中性子回折により極低温から室温までのSr-La-Co系M型フェライトの各 Fe^{3+} サイトごとの磁気モーメントを解析しました。

測定試料は、 SrCO_3 、 $\text{La}(\text{OH})_3$ 、 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 、 Co_3O_4 粉末を、 $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_{12-x}\text{Co}_x\text{O}_{19}$ ($x=0, 0.20$)になるように秤量し、純水を溶媒とするボールミルで4h混合しました。得られた混合試料を乾燥後、1523Kにおいて20h大気中で仮焼成した後、遊星ボールミルで微粉碎しました。得られた微粉碎粉を1373Kにおいて3h大気中で熱処理したものを試料として用いました。

中性子回折にはHRPDを用い、中性子の波長は $\lambda=0.1824\text{nm}$ で、測定温度は8、50、100、150、200、250、300Kです。得られた回折データのRietveld解析にはRIETAN-FP[1]を用い、Mullerらが $\text{SrFe}_{12}\text{O}_{19}$ について報告した結晶構造[2]を初期値としました。

Rietveld解析の結果、8~300Kでの各 Fe^{3+} サイトごとの磁気モーメントを求めることができました。図1にRietveld解析により求めた $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_{12-x}\text{Co}_x\text{O}_{19}$ ($x=0$)の Fe^{3+} ごとの磁

気モーメントと8Kでの磁気モーメントとの比の温度依存性を示します。いずれの Fe^{3+} サイトの磁気モーメントも温度の上昇に伴って低下する傾向にあります。12kサイトの磁気モーメントの低下が顕著です。同様の結果が $x=0.2$ の組成でも得られました。

以上のように、粉末中性子回折により、8~300KでのSr-La-Co系M型フェライトの Fe^{3+} ごとの磁気モーメントを求めることができましたが、磁気モーメントの解析結果の精度と精度をさらに向上させるためには、粉末試料の磁化を精密に測定して、Rietveld解析することが望ましいと考えます。なお、この結果は今後の結晶全体の磁気モーメントおよび Fe^{3+} サイトごとの磁気異方性の評価に有効です。

本研究は原子力機構の施設共用制度を利用して実施したものです。この場を借りて関係者の皆様に感謝申し上げます。

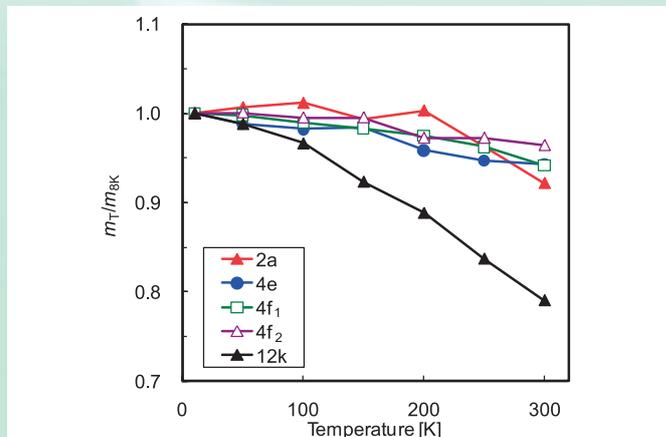


図1 $\text{Sr}_{1-x}\text{La}_x\text{Fe}_{12-x}\text{Co}_x\text{O}_{19}$ ($x=0$)の Fe^{3+} ごとの磁気モーメント(mT)と8Kでの磁気モーメント($m_{8\text{K}}$)との比の温度依存性

参考文献

- [1] F. Izumi and K. Momma, Solid State Phenom. 130(2007) pp.15-20.
- [2] J. Muller and A. Collomb, J. Magn. Mater., 103(1992) pp.194-203.

光導波モードセンサー用糖鎖ポリマー高分子薄膜の構造解析

(有)シーアンドアイ 上野 耕治

(有)シーアンドアイは、(独)産業技術総合研究所と共同で菌やウイルスなどの有害物質の検出を行うバイオセンサーの開発を行ってきました。このバイオセンサーは、図1に示すようにセンサー表面に固定した糖鎖ポリマー高分子薄膜に測定対象物質が結合すると、光導波モードが変化することにより有害物質の有無を検知します。この種の製品では、科学的根拠に基づいた検出原理の説明が重要ですが、高分子薄膜のバルク構造(固液界面構造)は従来の表面分析法では計測が困難でした。

本稿では、日本原子力機構の中性子反射率計SUIRENを用いて糖鎖ポリマー高分子薄膜の乾燥状態および固液界面における構造解析を試みた成果を紹介します。

光学研磨した石英基板上に形成した高分子薄膜について、(1)乾燥状態、(2)水和状態(重水膨潤状態)、(3)レクチン(モデル検出物)希薄溶液中の3条件での測定を行い、中性子反射率パターンを解析(適合するモデルにフィッティング)した結果、薄膜の膜厚は乾燥状態と水和状態では、それぞれ約4 nm、約9 nmであることが分かりました。

水和状態の計算結果は、薄膜を構成する糖鎖ポリマーブラシが伸びきった状態(約9 nm)とよく一致しています。また、レクチン希薄溶液中では、薄膜を単層ではなく2層モデルとしたところ、測定結果と良い一致を得ることができました。

以上より、図2に示すように乾燥状態では高分子ブラシが石英表面に凝集している(ブラシが寝ている)状態、水和状態では文字通り水和している(ブラシが立っている)状態であると考えられます。さらに、いくつかの前提をもとに解析を行った結果、レクチン希薄溶液中では図2(3)のような状態で薄膜が2層になっていることが示唆されました。

著者にとって初めてのチャレンジでしたが、中性子反射率測定によって、従来法では解析が困難であった高分子ブラシ薄膜の乾燥および水和状態での構造解析に成功しました。同測定法は、膜厚だけでなく、水和状態における高分子と重水分子の存在比率が分かるなど、ソフト界面の解析技術として非常に有効であると思います。

本研究は原子力機構の施設供用制度の下で実施しました。実施に際しては、測定や解析について原子力機構の山崎大研究副主幹に技術支援を頂きました。この場を借りて感謝申し上げます。

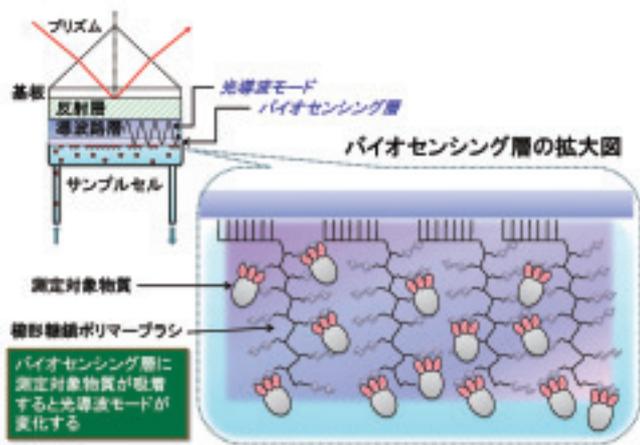


図1 光導波モードセンサーの模式図

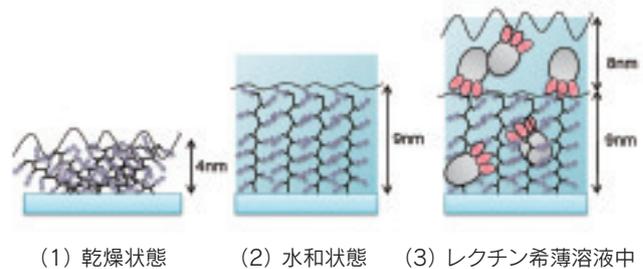


図2 各状態のイメージ図

単結晶Ni基超合金タービンブレードの損傷評価

防衛大学校 近藤 義宏、三浦 信祐
名古屋大学 村田 純教

ジェットエンジンの稼働中に、温度、応力の両面から見て最も過酷な条件に曝されるのはタービンブレードです。ブレード先端部は高温で低応力、ブレード付根部は低温で高応力であるとされています。しかし、稼働中のブレードは高温下で高速回転しているため、実際の温度や、応力を測定することは困難です。新たな合金開発、ブレードの設計、さらには安全性および経済性の観点から急務となっている余命推定技術の確立のためには、ブレードの実機稼働温度と応力状態の解明が必要不可欠です。ブレードには高温での強度に優れた単結晶Ni基超合金が多用されています。

この単結晶Ni基超合金の強化相である立方体形状の γ' (Ni₃(Al,Ti))相は、高温下で[001]に引張クリープ変形を

受けると、図1に示すように、応力軸に対し垂直方向に連結し、板状のラフト構造と呼ばれる組織を形成することがよく知られています。ラフト構造の形成時期は温度や応力条件により異なります。これまで、この組織形態の知見を活用し、実機で

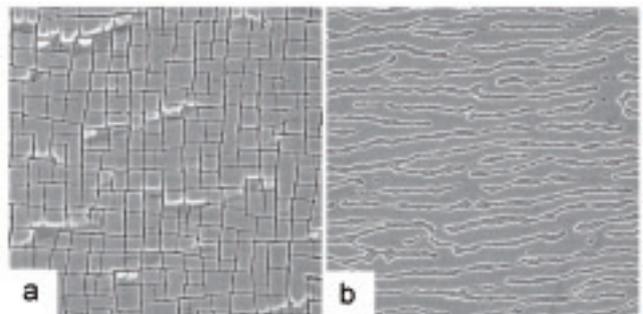


図1 (a)未使用材および(b)1273-160MPaクリープ中断材のSEM組織

使用したブレードの組織形態との比較検討を行い、温度応力分布の推定が試みられています。ところが、高温低応力と低温高応力で形成されるラフト構造の形態に大きな差異はなく、 γ' 相の形状のみからの温度と応力の定量的評価は困難で、ブレードの寿命推定には、組織形状のみならず、新たな組織因子の導出が必要となっています。

本研究では、長手方向を[001]とした単結晶Ni基超合金の未使用材、および1273K、100～320MPaにてクリープひずみが約0.01に達した中断材について、中性子による002、200回折におけるピーク位置および半価幅を求め、クリープ損傷に伴う格子定数および半価幅の変化を調べました。クリープ試験中断材の200および002回折の格子定数は応力の増加に伴い若干、増大するようです。 γ' 相が立方体形状の未使用材における200および002回折ともに、図2に示すように回折ピーク位置およびプロファイルに大きな差異は認められません。200および002回折の半価幅はそれぞれ約 0.45° および約 0.48° です。図3に示すように、 γ' 相がラフト構造を形成している1273K-160MPa中断材では200回折の半価幅は約 0.55° と未使用材に比べ、大きく増加しますが、002の半価幅は約 0.48° と未使用材と比べほとんど変化していません。半価幅は格子ひずみに対応しますので、 γ' 相がラフト化すると200の格子ひずみのみが大きくなることが示唆されます。

以上のことから、実機使用した単結晶Ni基超合金のタービンブレードの損傷評価には中性子の利用が有用であると推察できます。今後、より多くのデータ取得を行い、寿命推定技術を確立して行きたいと思っております。

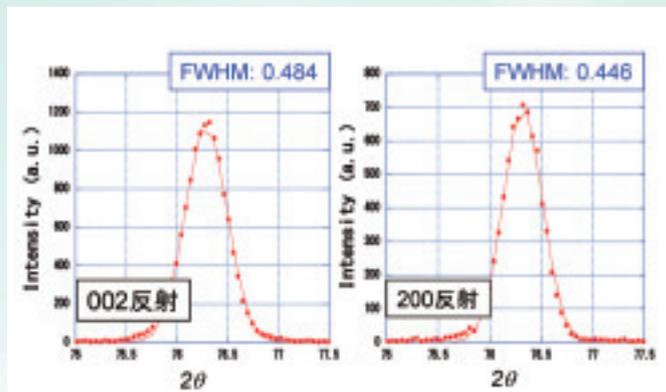


図2 未使用材の002および200回折のプロファイル

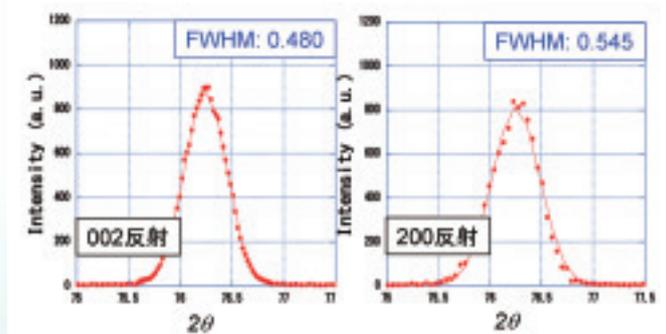


図3 160MPaクリープ中断材の002および200回折のプロファイル

研究会活動報告

●物質科学研究会

7月31日(水)に研究社英語センターにおいて、茨城県中性子利用促進研究会、J-PARC/MLF利用者懇談会ならびにCROSS東海と共催、SPRING-8利用推進協議会の協賛で物質科学研究会を開催しました。2年振りの開催であることを考慮し、第1部ではJ-PARCやJRR-3の粉末構造解析装置の現状と利用制度について、CROSSの福岡喜章氏、JAEAの松江秀明氏、茨城大学の石垣徹教授、ならびに、東北大学の大山研司准教授にご紹介いただきました。第2部では、粉末構造解析装置による産業利用をテーマに、日産アークの今井英人氏と東芝の笹川哲也氏に電池材料について、富士通研究所の若村正人氏に高性能光触媒について、岡山大学の中西真教授にY型フェライト電磁波吸収材について、それぞれ講演していただきました。43



名の参加者がありました。市場の大幅な拡大が見込まれている電池材料に関しては講演時間を超えて活発な質疑と議論がありました。

●茨城県中性子利用促進研究会集合組織評価分科会

8月28日(水)に研究社英語センターにおいて、軽金属学会「加工と熱処理による優先方位制御研究部会」、茨城県中性子利用促進研究会、中性子産業利用推進協議会、CROSS東海、J-PARC/MLF利用者懇談会の共催、SPRING-8利用推進協議会の協賛で集合組織評価分科会を開催しました。この分科会は、iMATERIAにおいて進め

ている金属材料の集合組織測定技術の開発状況を報告して試料形状、試料環境、測定方法、データ処理方法などについて利用者と議論し、今後の開発に活かすことを目的に開催しました。関係する研究事例と装置開発に関して合計5件の報告があり、非常に活発な議論がありました。参加者は27名でした。

●ソフトマター中性子散乱研究会

9月6日(金)に研究社英語センターにおいて、茨城県中性子利用促進研究会、CROSS東海の共催、J-PARC/MLF利用者懇談会とSPRING-8利用推進協議会の協賛で平成25年度第1回ソフトマター中性子散乱研究会を開催しました。前回に続き「難解な散乱像の可視化」をテーマに、チュートリアルとして、非晶質材料の構造可視化、シミュレーションによるメソ構造の予測、ならびに、中性子散乱とX線散乱の相補的利用の3件の講演がありました。それに続いて、iMATERIAにおいて進められている小角散乱測定装置の紹介があり、最後に、燃料電池に関する産業界の取り組みについて2件の講演がありました。46名の参加者があり、いずれの講演においても非常に活発な質疑がありました。



お知らせ

●生物構造学研究会

日時：平成25年10月9日(水) 13:00-17:30

場所：エッサム神田ホール

中性子産業利用推進協議会や茨城県、CROSS東海、J-PARC/MLF利用者懇談会が主催し、日本学術振興会 第169委員会 中性子回折小委員会、新世代研究所 水和ナノ構造研究会が共催し、SPring-8

利用推進協議会が協賛して「タンパク質のダイナミクス」をテーマに開催します。中性子スピンエコー法によるダイナミクス研究についてJAEAの中川洋氏と京都大学の井上倫太郎助教に講演していただきます。また、帝人ファーマの上村みどり氏にFMO計算について、東京大学の藤田誠教授に結晶スポンジ法について講演していただきます。

●平成24年度茨城県BL・CROSSトライアルユース成果報告会

日時：平成25年10月18日(金) 10:00-17:00

場所：化学会館ホール

茨城県と総合科学研究機構(CROSS東海)が主催、中性子産業利用推進協議会、茨城大学フロンティア応用原子科学研究センターならびにJ-PARC/MLF利用者懇談会が共催、J-PARCセンターと原子

力機構量子ビーム応用研究部門の協賛で開催します。茨城県BLであるiMATERIAとiBIXにおける利用成果、ならびに、CROSS東海が取り纏めているトライアルユース制度を利用しての成果をそれぞれ5件ずつ報告し、議論していただく予定です。

●茨城県磁石材料のその場構造解析分科会

日時：平成25年10月22日(火) 13:30-18:00

会場：エッサム神田ホール

茨城県が主催し、中性子産業利用推進協議会やCROSS東海、J-PARC/MLF利用者懇談会が共催し、SPring-8利用推進協議会が協賛して「磁石材料のその場構造解析研究」をテーマに開催します。

茨城県材料構造解析装置「iMATERIA」では元素戦略プロジェクトに先行して、稀少元素レスの磁石材料の開発のために周辺装置の整備を進めています。今回は茨城県プロジェクト研究と元素戦略プロジェクトが共同で新しい磁石材料の研究開発推進について幅広く議論します。

●非破壊検査・可視化・分析技術研究会

日時：平成25年11月5日(火) 13:00-17:00

会場：研究社英語センター大会議室

中性子産業利用推進協議会や茨城県、CROSS東海、J-PARC/MLF利用者懇談会が主催し、SPring-8利用推進協議会が協賛して「小型中性子源の活用-理研小型中性子源システムRANSが拓く新たな中

性子利用-」をテーマに開催します。J-PARC/MLFにおけるイメージングに関する装置や利用成果に関するトピックスの紹介に続き、理研チームによりRANSの現状と将来展開について紹介していただきます。

●磁性材料研究会

日時：平成25年12月20日(金) 13:00-17:00

会場：研究社英語センター大会議室

中性子産業利用推進協議会や茨城県、CROSS東海、J-PARC/MLF利用者懇談会が主催し、SPring-8利用推進協議会が協賛して「バルク磁性材料の内部構造に迫る」をテーマに開催します。J-PARC/MLFの

BL22イメージング装置の建設状況とBL15「大観」の利用状況の紹介に続き、ナノ磁性材料の反射率法、小角散乱法、粉末回折、単結晶構造解析による広い空間スケールに亘る階層構造や次元性の評価について議論します。

●中性子実験技術基礎講習会(レベル1講習会)

日時：平成25年11月22日(金) 9:55-16:50

会場：研究社英語センター中会議室

受講料：10,000円(協議会会員企業と学生の方は無料です)

中性子産業利用推進協議会と日本中性子科学会が主催し、原子力機構量子ビーム応用研究部門が共催で、「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。中性子の産業利用、中性子の基礎、

単結晶構造解析、粉末構造解析、小角散乱(ハードマター)、小角散乱(ソフトマター)、反射率測定、残留応力測定、ラジオグラフィ、即発ガンマ線分析の10件のテーマで中性子実験技術の初心者向けの講義を行います。中性子実験技術の基礎を学びたい方のご参加をお願い致します。

●日本中性子科学会2013年会

日時：平成25年12月12日(木)-13日(金)

会場：さわやかちば県民プラザ(千葉県柏市柏の葉)

日本中性子科学会が主催し、中性子産業利用推進協議会も共催で2013年会を開催します。中性子の産業応用関係では、成果を報告

する「産業利用シンポジウム」で4件、産業界のニーズと学術界のシーズを紹介する「産業利用セミナー」では4件の講演があります。また、産業利用デスクでは各企業からの利用相談を行います。多くの皆様のご参加をお待ちしています。

中性子産業利用推進協議会 季報【13年・秋】Vol.20

発行日 2013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/