



四季

【13年・夏】 Vol.19

中性子産業利用推進協議会 季報
Industrial Users Society for Neutron Application

2013年6月25日 発行

CONTENTS

P2 中性子実験装置の紹介

P3 ミュオン技術の紹介

P4-7 研究トピックス

P8 お知らせ

世界最高強度パルス中性子源と科学技術の創成

日本原子力研究開発機構・J-PARCセンター 二川 正敏

前人未到という言葉に魅力を感じます。また、その目標達成の前にはだかるハードルが高い程その魅力は増大するものです。やや大げさですが、創成とはそれを乗り越えた時に訪れるのでしょうか。

私が中性子源開発に関わりだしたのは、陽子と水銀の衝突により生じる強い衝撃波の計測実験からでした。陽子と水銀の出会いから始まる物理現象を如何にして捉えらえることができるかという1997年の日米欧国際共同実験でした。夫々工夫を凝らした計測技術を持ち込み、瞬時の出来事を取りこぼしなく捉えようと、何度もシミュレーションをしてから実験に臨みました。ところが、当時のブルックヘブン国立研究所のAGS加速器の運転安定性は、今のJ-PARC加速器には及びも付かないような非常に脆弱なものでした。また、所内での死亡事故やトリウム汚染事故などもあり、実験時間が足りなくなってきました。そのような中、昼夜無関係に何時間も待機を強いられた後にやっと貫うことができたパルス陽子ビームは僅か2発でしたが、唯一日本チームだけが衝撃波に関するデータを世界で初めて取得することができました。その後、データの解釈を深めるべく実施したラボ実験から、衝撃波伝播過程で生じた水銀キャビテーションはとんでもなく攻撃性が強く、ターゲット容器に大きな損傷を形成することが明らかになりました。オークリッジ国立研究所 (ORNL) のパルス中性子源 (SNS) ではこれより

一旦水銀ターゲットの設計を中断し、固体ターゲットの検討を開始した程でした。元々、SNSとは線源開発で良好な関係を築いていましたが、これを機にその絆は益々強くなり、ロスアラモス国立研究所での実験、旧原研でのラボ実験、ORNL水銀ループ実験等、課題解決にともに奮闘しました。対策として種々考案してきた中から、衝撃波を抑制しつつ水銀キャビテーションの初生を摘み取り、完全に除去できないキャビテーションについては、その攻撃性を和らげる微小気泡に着目し、気泡を流動水銀に注入するための技術開発に精力を注ぎました。水銀は厄介な品物です。その後、見えない(不透明)、重い(高い密度)、濡れにくい(大きい表面張力)といった水銀特性を十二分に思い知らされました。それにも拘わらず、旺盛なチャレンジ精神と高いモチベーションにより、効果的に気泡を注入できる実装可能な気泡発生機構を考案し、MLFのターゲット容器に搭載して、2012年11月に気泡を注入した状態で陽子を受けるところまで漕ぎつけました。その結果、見事に注入気泡により衝撃波の応答を減少させることができました。最初の衝撃波実験から、15年の歳月が経っていました。今後、さらにいくつかの改良を重ね、1MWの中性子源として安定運転を実現して行きます。

現在、MLFは300kWで安定した運転を行い、中性子束のパルス強度は世界一となりました。一つの中性子も余すことなく、「科学技術の創成」に繋がる成果が次々と挙がることを切に願っています。

使い易い最先端技術が育む産業競争力

株式会社リガク 中野 朝雄

アベノミクスという言葉と株価の上昇がマスコミを賑わす中、実体経済も少し薄日が差して来たように感じています。昨年来実質20%にも及ぶ円の対ドル・ユーロでの値下がり、製品価格競争力の点では一息つけるような状況になりました。海外の友人からは、何故あれほど為替レートを変えられるのかとよく聞かれます。国内金融市場への日本銀行からの無制限に近い円供給が原因などとブアな経済英語で説明しますが、本質を理解していないところで説明するのは難しいものです。この巻頭言を書いている現在は調整局面と称される状況になり、株価は乱高下し、2%のインフレ目標に向かって物価上昇の話題が次々と提供され始めています。昨年まで続いた超円高状態では国内企業は生産現場を海外に移転させるか、海外からの調達部品の活用等で何とか凌いで来ました。しかし、円安になったからと言って直ちに国内部品に戻せるかというところは行きません。

世界経済のけん引役としてのG8やBRICsは影を潜め、今注目されているのはASEANやアフリカ諸国です。今後社会インフ

ラが整備され、域内の需要が伸びることが注目されている訳ですが、我が国および産業界は何をもってこれらの成長地域に対して存在感を示して行くのかが問われます。他国や海外企業に優るモノや技術、これらは一朝一夕で獲得できるものではありません。個々人の血の滲むような努力、一生を賭した決意と気力等に負うところが大きいのですが、我が国にはモノづくりや環境技術で大変優れた成果が蓄積されています。これらの技術は見分ける技術や分析技術に支えられており、連綿と続いた技術開発の成果です。中性子利用研究もこれらのひとつです。

中性子の産業利用は材料への適用が大半を占めていると思われませんが、その点では私が現在所属している(株)リガクのX線と大変似ています。X線分析装置の市場規模は、長い間、米国・欧州・日本でほとんど同じでした。これは大変興味深いことで、3極の人口や経済規模でみると、世界で一番X線を使っているのが日本です。材料解析・分析技術に心血を注いでいるが故に、今日の日本の材料技術があると信じています。中性子もJ-PARC/MLFが出来てユーザーが使い易くなりつつあります。中性子はX線と比較して深い位置の材料情報の取得や、水素・リチウムのような軽元素を含む材料や磁性材料の解析に大変優れています。

自動車は日本の世界に冠たる優位産業です。国内の自動車メーカーにはX線回折応力測定装置を数多く使っています。この装置は加工や溶接による構造部品のひずみを計測して信頼性評価に使われています。中性子回折を用いれば深い部分のひずみも計測できますので、X線回折との併用により構造部品のひずみ計測をより正確に行うことが可能です。リチウムイオン電池の陽極材料や磁性材料では、最近注目を集めている希少金属を用いない、あるいは、使用量を抑えた材料の探索や開発で中性子回折が重要な役割を担っています。そのために、この施設では計測装置類の整備だけでなく、解析ソフトウェアの整備も進んで

います。日本の材料解析・分析技術を更に発展させるためにも中性子の利用が必須であり、企業の研究者や技術者にも使い易くなることが望まれます。

J-PARCが現在の状況にいたるまでに全体構想の計画策定から、建設、実験装置や計測器の開発ならびに運営に直接・間接に関与された官庁・大学・研究機関・企業の関係者のご努力に頭が下がります。今後とも、設備やソフトウェアの整備を更に進め、世界最先端の技術レベルを維持し、しかも安全な利用環境を確保した施設として運営されることを切に願っています。

中性子実験装置の紹介

●J-PARC/MLF

BL09「特殊環境中性子回折装置(SPICA)」

高エネルギー加速器研究機構
米村 雅雄

特殊環境中性子回折装置(SPICA)はJ-PARC/MLFのBL09に革新型蓄電池研究専用ビームラインとして設置されました。中性子では軽元素でも重元素と同等の散乱能を示すことを利用し、電池材料に多用される軽元素を含む構造情報を調べ、その情報を基に蓄電池材料開発に向けての新規な物質設計指針を得ることを目的としています。

このビームラインは、主に*in situ*測定に特化した装置として設計しました。中性子飛行距離を $L=52\text{m}$ と長くすることで高分解能を達成しながら、スーパーミラーによる中性子ガイド管を工夫することにより、従来の長尺ビームラインでは達成できなかった中性子強度を確保しました。また、化学実験室を併設した専用実験棟(蓄電池研究棟)内に装置を設置して十分な実験スペースを確保するとともに、電池の劣化な

ど長期にわたる構造変化を調べるための設備も設置することが可能となりました。

SPICAの概要を図1に示します。*in situ*測定のための様々な特殊環境を設置できるように試料散乱槽には約2mの試料スペースを用意しています。また、試料の周りにほぼ等間隔で検出器を配置し、時間分解能を高くするための新しいデータリダクション法の開発を進めています。Rietveld解析などの解析ソフトウェアの高度化も進め、ユーザーをハード・ソフトの両面から支援できるように各種の開発を行っています。

現在、コミショニングと呼ばれる装置調整を進めています。既に回折実験を多数回実施し、Rietveld解析等に耐えられるデータを提供できる段階まで信頼性が向上しています。また、*in situ*実験中に電池の内部を観察したり、充放電中の電極材料の構造変化を観測することも確認しました。今後もコミショニングを続け、本格運用に向けての整備を進めます。

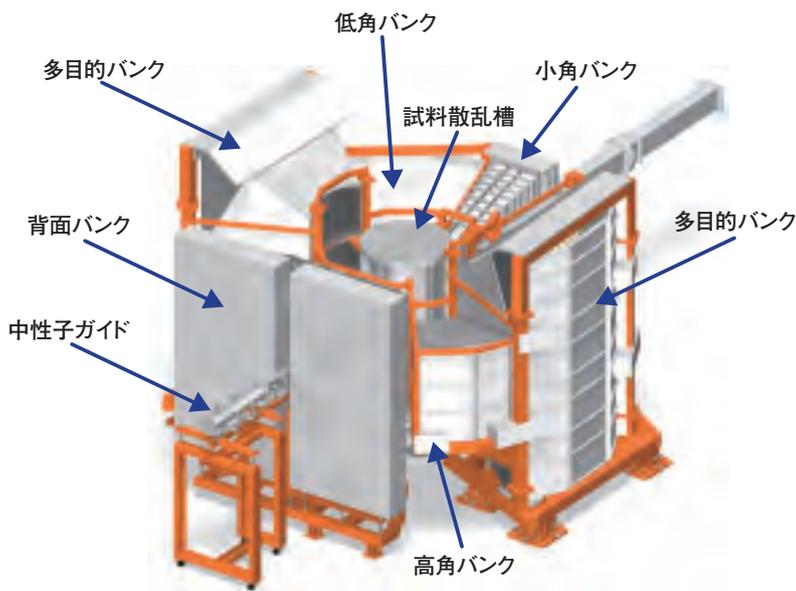


図1 特殊環境中性子回折装置(SPICA)の構造概念

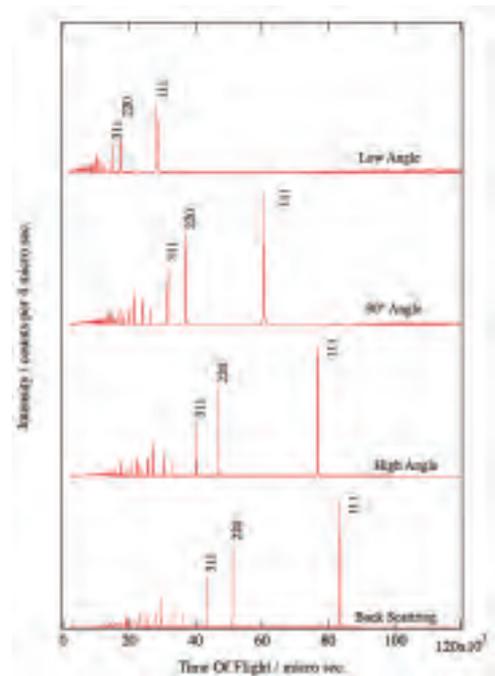


図2 SPICAで測定した標準試料(NIST Si)の回折図形

ミュオン技術の紹介

宇宙線ミュオンによる大型産業機器の内部探索

高エネルギー加速器研究機構 永嶺 謙忠

X線の透過像でレントゲン写真を撮るように、粒子線のエネルギーを上げ、溶鉱炉や原子炉の内部を探ることができないでしょうか。電子は光への変換のために薄いものしか透過せず、陽子と中性子は核反応のために、鉄では10cm、コンクリートでは30cm以上の厚い物体の内部を探ることは困難です。

電磁相互作用粒子で、質量が電子の200倍であるミュオンのみが、エネルギーを調節することにより、mからkmもの厚い物体を対象にしてレントゲン写真を撮ることができます。都合の良いことに、環境放射線として空から飛来する宇宙線ミュオンは数100GeVものエネルギーを有し、そのエネルギースペクトルは、どこでもいつでも%のオーダーで一定であるため、大型産業機器や火山体における透過量変化を測定することができます。図1に鉄を透過する宇宙線ミュオンの強度減衰の様子を示します。

ミュオンは電荷を有し、複数の細分化されたプラスチックカウンター等を用いることによりミュオンの経路を知ることができます。また、宇宙線ミュオンに混入するバックグラウンドを除去して、水平すれすれの宇宙線ミュオンのみを捕えて利用することもできます。このように、対象物の各点を透過するミュオンの強度減衰を測定することによりレントゲン写真と等価な情報を得ることができます。

この考えは、95年の火山体の噴火道の探索から始まり、04年に溶鉱炉の断熱炉壁摩耗状態の観測(図2)を経て、現在原子炉に展開されようとしています。既に、それぞれ、東大地震研と新日鐵住金に技術移転されています。

ミュオンレントゲン写真の次のステップとして以下のことが考えられます。

- 1) 対象物が数10mの場合に、前後に観測器を置き、ミュオンが対象物を透過するときの多重散乱を同時に観測すると元素選別ができる。
- 2) 加速器から得られる単色ミュオンビームを用いると、数m厚さの対象物に対して、より強力な元素選別レントゲン写真が撮れる。
- 3) 数10cm程度の対象物に対し、ミュオンを内部に止め、放出される陽電子 μ SR信号やX線を測ることにより、より情報の多いレントゲン写真が撮れる。

以上のように、宇宙線ミュオンを利用すれば、大型機器の内部構造を可視化できますので、多くの皆様に活用していただきたいと思います。

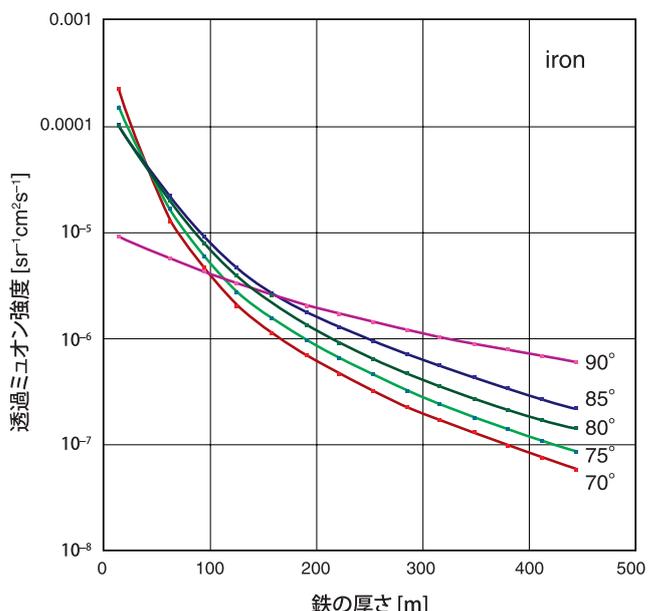


図1 色々な厚さの鉄を透過する宇宙線ミュオン強度の変化(ミュオンのエネルギー分布が天頂角(90°:水平,0°:垂直)に依存するため透過量は天頂角に依存する)

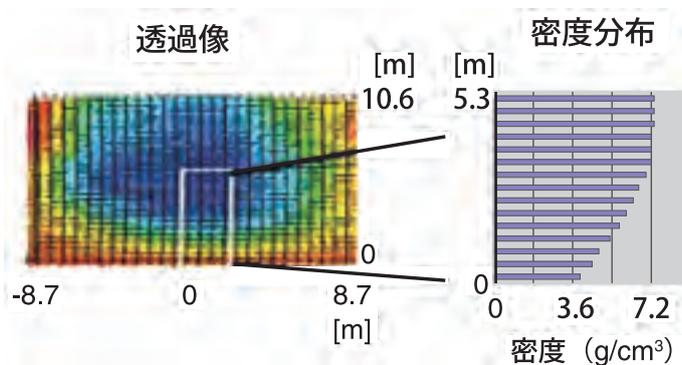
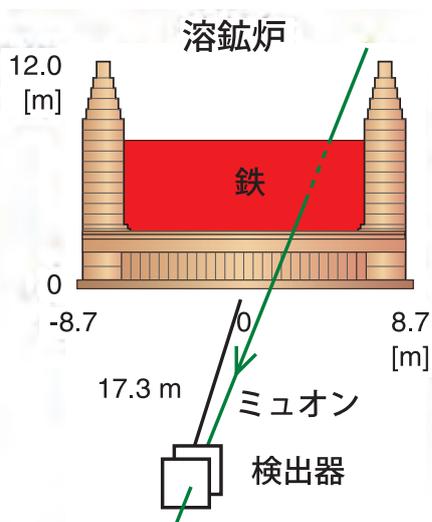


図2 溶鉱炉の宇宙線ミュオンレントゲン写真(左)観測方法:2面の位置敏感観測器を溶鉱炉の床面と同じ高さに置き、溶鉱炉を透過するミュオン強度を経路ごとに測定する(中)溶鉱炉断面の各点の密度分布:各点を透過するミュオン強度データと溶鉱炉中の経路の長さから得られる2次元密度分布(右)密度分布の拡大図

●J-PARC

高出力水銀ターゲットの開発 —マイクロバブルによる圧力波の抑制—

日本原子力研究開発機構・J-PARCセンター 羽賀 勝洋

物質・生命科学実験施設のパルス中性子源では、エネルギー 3GeV、繰返し速度25Hzのパルス陽子ビームを水銀標的に入射し、水銀の原子核をバラバラに破碎する核破碎反応により大量の中性子を発生させ、それを超臨界水素を用いて中性子散乱・回折実験に使用できるエネルギーまで減速させ、様々な中性子実験装置へ供給します。

水銀に大強度の陽子が衝突すると、水銀の瞬間的な熱膨張で強い圧力波が発生し、これにより水銀の容器(SUS316L製)を損傷させるほどの衝撃力を与えます。そのため、その衝撃力をいかに弱めるかが、目標とする1MW陽子による高出力安定運転を実現する上での重要な課題の一つでした。この問題に対処するため、米国SNSなど国内外の研究機関と協力し、Heガスのマイクロバブルを水銀に混合することで衝撃力を低減できることを見出し、数値実験を基に効果的に衝撃力を低減できる気泡サイズや気泡密度などの条件を明らかにしてきました。しかし、水銀は水の6倍以上の強い表面張力を有するなど、通常の液体と大きく異なる特性を示すため、注入した気泡を微細化することは難しいと考えられてきました。そこで、水銀

が流れる流路の形状を工夫し、大きな気泡に急激な圧力変化を与えて微細化することにより、直径200 μ m程度のマイクロバブルを大量に生成可能なスワール型気泡生成器を新たに開発しました(図1)。

水銀標的に生ずる衝撃力を測定するために、最先端マイクロ加工技術を駆使して金の表面に微細な切削加工を施して、光が入射方向に反射する再帰性反射ミラーを製作し、これを水銀容器に装着し、レーザードップラー振動計と組合せたその場計測システムを構築しました。

これらの機器を搭載した水銀ターゲットを用いて、平成24年10月-11月に陽子ビーム出力を530 kWまで上げて試験を行い、圧力波による衝撃力で生じた水銀容器の振動を計測し、マイクロバブル注入により衝撃力を数分の1に低減できることを実証しました(図2)。これは、実機の標的でマイクロバブルの効果を実証した世界で初めての成果です。この成果に基づき、2012Bから陽子ビーム強度を300kW(パルスあたり340kW程度)に上げ、世界最大強度のパルス中性子ビームを実現しました。

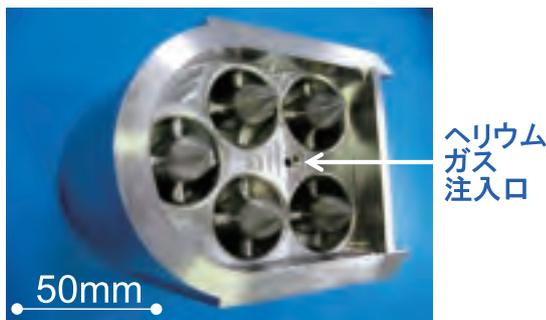
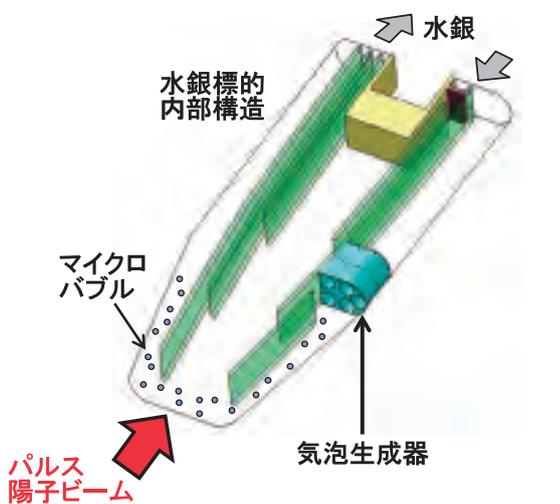


図1 マイクロバブル注入機構を組み込んだ水銀標的

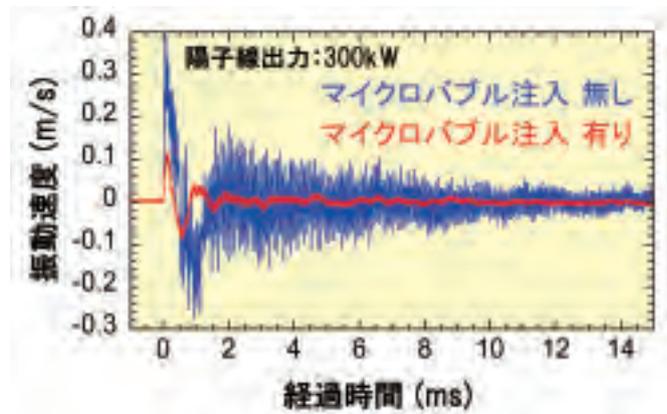


図2 マイクロバブル注入による圧力波低減の効果

今後、バブル注入量を増やすなど、マイクロバブル注入システムに改良を加えて、衝撃力の低減効果を更に高める計画です。J-PARCでは2013年度後半から1MWを目指したビーム出力の増強が本格的に開始する予定ですが、本成果を活かしてパルス中性子源の高出力運転を実現し、中性子利用研究において優れた成果の創出に貢献できるものと考えています。

鉄鋼の低温ベイナイト変態における中性子回折と熱膨張の同時測定

日本原子力研究開発機構 龔 武
茨城大学 友田 陽、岩瀬 謙二、星川 晃範、石垣 徹

フェライトと高炭素オーステナイトからなる超微細ラメラ組織を有するナノベイナイト鋼は、2GPa以上の高強度と $30\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$ の破壊靱性を示すことから実用化が期待されていますが、変態速度が遅い欠点があります。そこで、J-PARC/MLFの匠、JRR-3のSANS-JとISISのENGIN-Xを用いて変態中その場中性子回折実験を行いました^[1,2]。ENGIN-Xの実験では低温オースフォーミングにより変態が促進され、マイクロ組織がさらに微細化することを明らかにしました^[1]。低温オースフォーミングによって導入されたプラナーな転位組織はベイナイト変態を促進し、強いバリエーション選択則をもたらすことが分かりました。本研究ではオースフォーミングを施すことなく変態を促進させる方法として、部分焼入れ後にベイナイト変態を進行させるQuenching and bainite transformation (QB) 処理を考案し、その有効

性をJ-PARC/MLFのiMATERIAを用いて検証しました。iMATERIAでは背面検出器により前述の装置よりも高分解のプロファイルが得られ、炭素濃度の分配挙動等がより正確に求められるだけでなく、小角散乱による変態生成物のサイズ情報^[2]も得られる可能性があります。

iMATERIAに熱膨張計を取付けて、QB処理中その場測定を行いました。実験に用いた鋼は前報^[1,2]と同じで、化学組成はFe-0.79C-1.98Mn-1.51Si-0.98Cr-0.24Mo-1.06Al-1.58Co (mass%)です。得られた時分割回折プロファイルをZ-Rietveldにより解析し、構成相の体積率と格子定数等を求め、変態機構を検討しました。

実験結果を図1に示します。(a)は熱膨張測定結果、(b)は γ -Fe (111)と α -Fe (110)のプロファイル変化です。(c)はRietveld解析により得られた各相の体積率変化です。一旦145°Cに冷却すると、25%のマルテンサイトが生じました。直ちに300°Cに加熱し恒温保持すると、すぐにベイナイト変態が始まりました。同時に、炭素の拡散によって高炭素オーステナイトと低炭素オーステナイトへの分離による回折プロファイルのブロードニングが認められました。すなわち、部分的にマルテンサイトを導入することによりベイナイト変態速度が大きく加速されることを見出しました。これは、マルテンサイト変態に伴いオーステナイト中に変態ひずみ緩和のために転位が導入されることによると思われます。すなわち、オースフォームによる変態促進機構に類似しています。またその場中性子回折と従来からの実験法である熱膨張測定による相分率の変化は良い一致を示しました。今後、小角散乱データを解析することにより、変態生成物のサイズ分布に関する知見が期待されます。

参考文献

- [1] W. Gong, Y. Tomota, Y. Adachi, A.M. Paradowska, J.F. Kelleher, S.Y. Zhang: Acta Mater., in print (now, available at web-site).
- [2] W.Gong, H.Nishijima, Y.Tomota, J.Suzuki and S.Harjo: to be submitted.

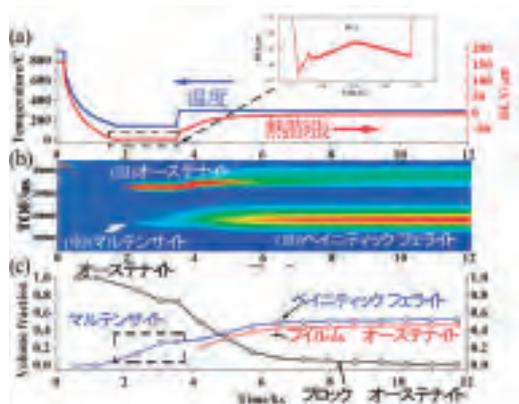


図1 QB処理中の測定結果 (a) 熱膨張・収縮曲線、(b) 中性子回折プロファイルの変化、(c) 各相分率の変化

●JRR-3

LaBaGaO₄系プロトン伝導体の結晶構造解析

東京理科大学 井手本 康、北村 尚斗

プロトン伝導性セラミックスは、500°C付近の中温域で作動する固体酸化物形燃料電池への応用が期待されており、精力的に研究開発が行われています。このようなセラミックスとして、従来はペロブスカイト型酸化物が注目されてきましたが、近年、より複雑な結晶構造をもつ酸化物でも優れたプロトン伝導性を示すことが報告され、精緻な結晶構造解析に基づくプロトン伝導経路の可視化が期待されています。私たちの研究室では、このような物質の1つとして、高いプロトン導電率を示すLaBaGaO₄系材料に着目し、JRR-3のHRPDで中性子回折を行い、Rietveld解析による結晶構造の精密化および最大エントロピー法(MEM)による原子核密度の可視化を行いました。

図1にLaBaGaO₄のBa・Mg置換体であるLa_{0.9}Ba_{1.1}Ga_{0.95}Mg_{0.05}O_{4-δ}の結晶構造と原子核密度分布を示します。なお、この置換によりプロトン伝導性を発現することは導電特性の評価によって確認しました。また、中性子回折実験前に重水雰囲気下で熱処理してプロトンをジュウテロン(重水素)で置換しています。Rietveld解析を行った結果、La_{0.9}Ba_{1.1}Ga_{0.95}Mg_{0.05}O_{4-δ}も無置換体であるLaBaGaO₄と同じ結晶構造(空間群:P2₁2₁2₁)を有することが分かりました。また、O3サイトの酸素近傍の原子核密度が大きく広がっていることが明らかになりました。このことはジュウテロンがこの酸素の近傍

に存在していることを示唆しています。また、この位置は第一原理計算により最適化されたプロトンの位置とも対応しています。これらの結果から、LaBaGaO₄を母構造とするこのプロトン伝導体では、プロトンがO3サイトの酸素と配位した状態を経由して、結晶中を伝導していくことが示唆されます。

本研究の実施に際しては、日本原子力研究開発機構の井川直樹氏の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。

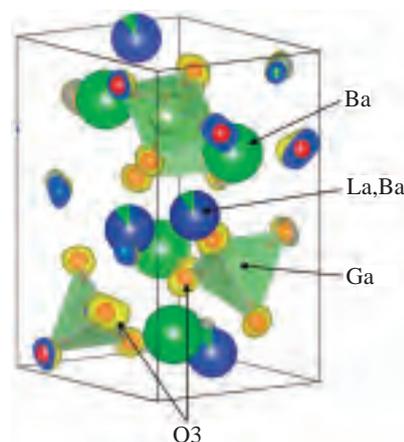


図1 Rietveld解析およびMEMにより求めたLa_{0.9}Ba_{1.1}Ga_{0.95}Mg_{0.05}O_{4-δ}の結晶構造と原子核密度分布

●茨城県BL

中性子回折によるLiCoO₂のNiドーピング材の構造の解析

茨城大学 ディア スリスティアニンティアス、
石垣 徹、星川 晃範、岩瀬 謙二、蘇 玉華
高エネルギー加速器研究機構 ジュンロン ジャン、
米村 雅雄、神山 崇

Liイオン電池は様々な機器の2次電池用に開発が進められ、その正極活材料として、コバルト酸リチウム(LiCoO₂)やニッケル酸リチウム(LiNiO₂)の研究が行われています。本研究では、構造特性とイオン伝導経路の関係を明らかにすることを目的としました。固相反応法でLiCo_{1-x}Ni_xO₂ (x = 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1) を作製し、茨城県材料構造解析装置(iMATERIA)とオークリッジ国立研究所(ORNL)の中性子回折装置(NOMAD)を用いて、LiCoO₂のNiドーピングの構造効果をRietveld法と2体分布関数G(r)のPDF解析により検討しました。

iMATERIAにおいて室温で測定したLiCo_{1-x}Ni_xO₂のRietveld解析結果を図1に示します。解析にはZ-Rietveldを用い、層状岩塩構造モデルの三方晶(R-3m)で指数付けを行いました。LiCoO₂においてNi量が増加するとともに、格子定数、ならびに、[MO₆]8面体にあるM(=Co_{1-x}Ni_x)-Oの原子間距離が増加することが分かります。

図2にはNOMADにおいて室温で得られたG(r)を示します。G(r)のr~1.9Å付近のファーストピークは[MO₆]8面体にあるCo-O対相関長とNi-O対相関長に対応します。ガウス分布関数による最小2乗法近似の結果、Ni含有量の増加に伴い、Ni-Oの相関長(1.98Å)がCo-Oの相関長(1.92Å)よりも若干大きくなっています。このことは、CoイオンとOイオンの拡散経路は、全てのNiドーピング量において安定していることを示唆しています。

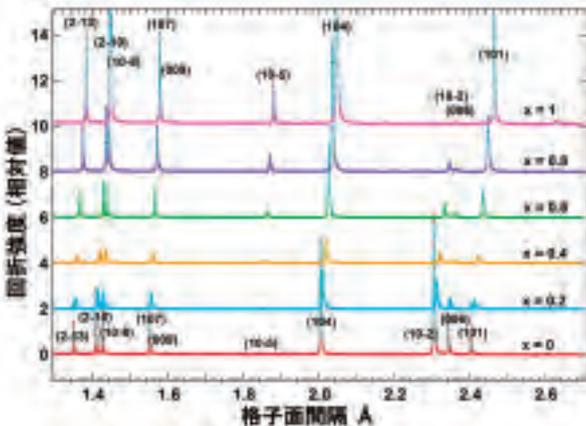


図1 LiCo_{1-x}Ni_xO₂のRietveld解析結果

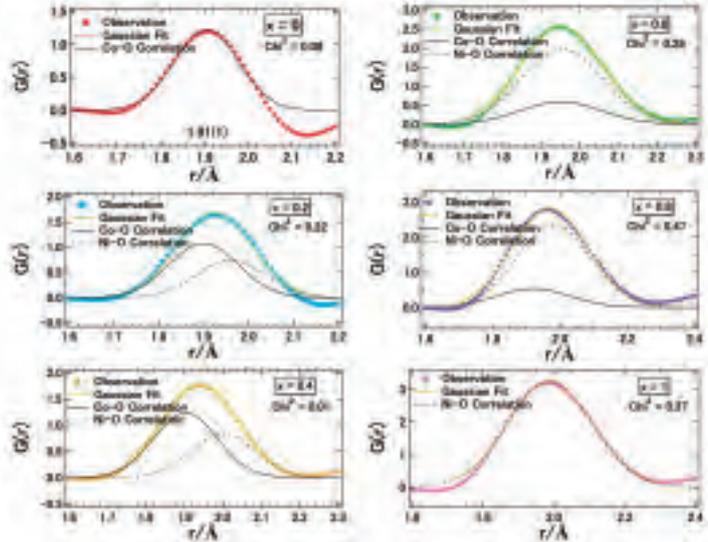


図2 G(r)ファーストピークのNiドーピング量による相違

●トライアルユース制度

液体ロケットエンジン燃焼器の残留ひずみ解析

宇宙航空研究開発機構 森谷 信一、升岡 正
日本原子力研究開発機構 鈴木 裕士

液体ロケットエンジン燃焼器は、高温の燃焼ガス(約3000℃)に耐えられるように、燃焼器内部を推進剤である液体水素(約-253℃)で冷却しています。図1に液体ロケットエンジン燃焼器の断面構造を示します。液体水素は燃焼器内部の冷却剤通路を通り燃焼器壁面を冷却しますが、冷却剤通路の壁の厚さはわずか1mm程度しかありません。この部分は極めて大きな温度勾配に曝されるため、熱ひずみの把握が信頼性向上の上で重要になります。しかしながら、この部分の熱ひずみに関する実験データがないことから、JRR-3のRESAを利用して中性子回折法により残留ひずみ分布を測定することを試みました。

燃焼器のような細かい内部構造の残留ひずみ分布を測定したことはこれまでなかったため、試行錯誤しながら測定を進めました。外から見えない内部の冷却溝周辺の測定位置に中性子ビームを正確に照射する手法の確立、中性子線が燃焼器外周の厚い壁を透過するための減衰によるノイズの影響、および、1mm程度の薄い壁の測定に対して材料の結晶粒径が比較的大きいことに起因する測定値のばらつきなどに課題がありました。

冷却溝の位置を把握する方法としては、最終的には、冷却溝が軸対称に配置されていることから、燃焼器を回転させつつ中性子ビームを燃焼器に対して垂直に透過させ、その透過してきたビーム強度の変化を測定することにより行いました。つまり、冷却溝のある場所では透過する全体の壁厚が減少するので、透過後のビーム強度が上がります。それと反対に冷却溝のない場所では減衰が大きくなるためビーム強度が低下します。さらに、冷却溝に対するビームの位置決めを高精度に行うため、専用の供試体位置決め治具を準備し、RESAのゴニオメータの軸と供試体の中心軸のずれが10μm程度に納まるようにしました。これは、マイクロメータを利用した供試体の位置調整とレーザー測距計による高精度な芯ズレの検出

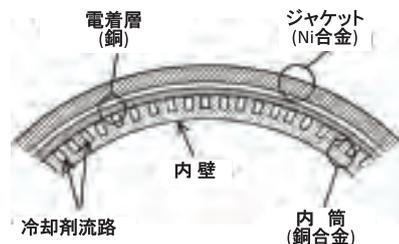


図1 液体ロケットエンジン燃焼器の断面構造概要

によって行いました。次に、ビーム減衰によるノイズの影響を低減するため、1箇所の測定時間を120分と長くすることでS/N比を改善しました。また、結晶粒径の影響については、供試体を±5度揺動させることによって測定値のばらつきを改善しました。

冷却溝の残留ひずみ分布測定例を図2に有限要素法解析結果と併せて示します。両者はほぼ一致しています。ただし、測定値には周期性を持ったばらつきが認められます。これは、噴射器エレメント（推進剤の噴射口）の配置に連動して、熱負荷に分布が発生しているためと推測されます。このような分布は解析では得られませんので、貴重な知見が得られたと考えています。

本研究は（財）放射線利用振興協会が運営する文部科学省「中性子利用技術移転推進プログラム」制度の下で実施しました。関係者の皆様にこの場を借りて感謝申し上げます。

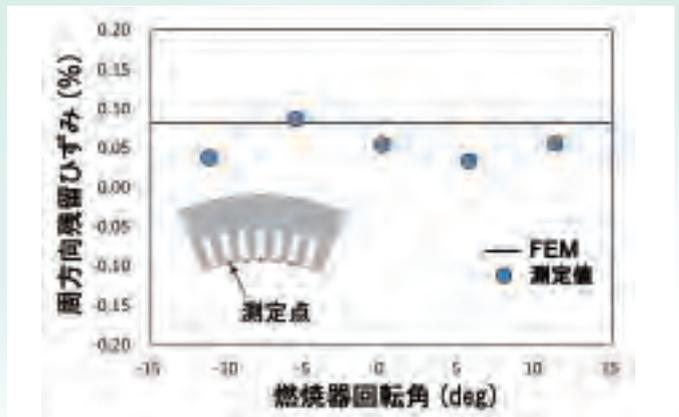


図2 冷却溝における残留ひずみの分布

高強度厚肉溶接継手の残留応力分布解析

JFEスチール 末吉 仁、石川 信行

JFEスチールでは、自動車や船舶、建築構造物など様々な分野に適用される鋼板を開発しています。近年、溶接構造物の大型化が進んでおり、高強度鋼の溶接部の割れを防止することが構造安全性を確保する上で不可欠となっています。溶接割れは溶接で生じる引張残留応力が要因のひとつであり、高強度鋼の溶接部の応力状態を把握することが重要です。残留応力測定によく用いられるX線回折では鋼板の極表層部の残留応力しか測定できないのに対し、侵入深さの大きい中性子を利用すると、これまで分からなかった厚鋼板内部の残留応力を測定できます。本研究では、日本原子力研究開発機構の残留応力測定装置RESA1を用いて高強度厚肉溶接継手の残留応力分布を測定しました。

図1にY型スリットを有する980MPa級高強度厚肉溶接継手（板厚25mm）の測定状況を示します。溶接継手の板幅方向（T）、溶接線方向（L）、板厚方向（N）の各方向のひずみを測定しました。図2に高強度厚肉溶接継手の幅方向（T方向）のひずみ分布を示します。割れが発生し易いスリット近傍（Root部）の溶接金属で最も大きな引張ひずみが生じています。直交する3方向のひずみから求めた溶接金属中心部における残留応力分布を図3に示します。表層部からRoot部へ近づくにつれ引張残留応力が增大しています。T方向の残留応力が最も高く、Root部では最大1000MPa以上の高い引張残留応力が発生しています。また、Root部近傍ではL方向およびN方向でも引張応力であり、静水圧状態となっていることがわかります。このように中性子により厚肉溶

接継手内部の残留応力分布を非破壊で評価することが可能です。さらに、鉄鋼材料の高強度化で課題となる水素脆化に起因した溶接継手の低温割れにおいて、中性子回折で測定した残留応力分布に応じた集積水素の解析を実施し、溶接割れ因子の解明を通じて高強度鋼の適用拡大に貢献しています。

本研究は（財）放射線利用振興協会が運営する文部科学省「中性子利用技術移転推進プログラム制度」の下で実施しました。実施に際しては、コーディネーターである日本原子力研究開発機構の秋田貢一氏、鈴木裕士氏から技術支援を頂きました。両氏にこの場を借りて感謝申し上げます。

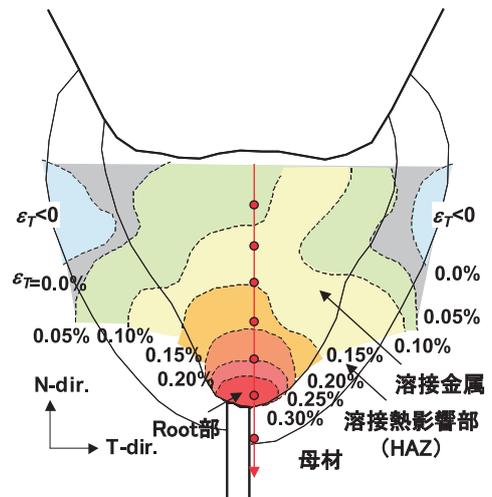


図2 溶接継手部の幅方向（T方向）のひずみ分布

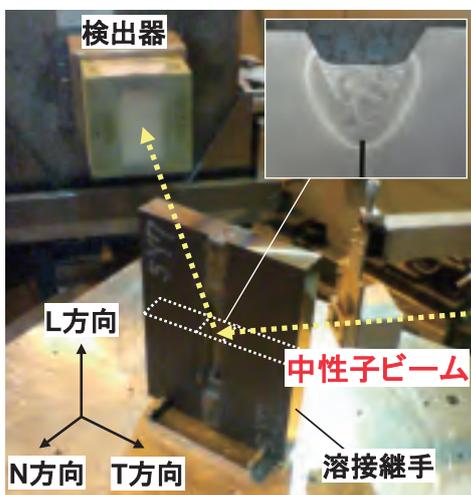


図1 高強度厚肉溶接継手の中性子回折実験

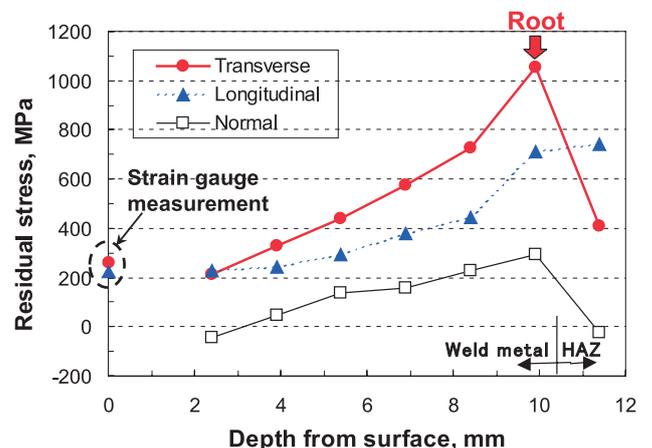


図3 溶接金属中心部における残留応力分布

研究会活動報告

●第4回中性子小角散乱解析法研究会

平成25年3月13日(水)-14日(木)に京都大学東京オフィスにおいて、第1回Neutron in Biology研究会との合同研究会を、中性子小角散乱解析法研究会と京都大学原子炉実験所が主催し、中性子産業利用推進協議会、J-PARC/MLF利用者懇談会ならびにCROSS東海が共催し、日本原子力研究開発機構が後援して開催しました。今回は従来通りの中性子小角散乱法の最新の測定・解析法や研究成果の紹介に加えて、中性子小角散乱の利用や発展が期待される生物学における研究の紹介、小角散乱などの静的構造研究の先にある動的構造研究の紹介を行いました。産業利用に関係する話題について2件講演がありました。Biology研究会と合わせて76名の参加者があり、活発な質疑と議論がありました。



●残留ひずみ・応力解析研究会

平成25年3月18日(月)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、CROSS東海ならびにSPRING-8ユーザー協同体と共催し、SPRING-8利用推進協議会の協賛で「各種構造物の残留応力測定とFEMによる解析」をテーマとして平成24年度第2回研究会を開催しました。今回は、SPRING-8のSACLAによる実時間観察や浸炭焼入したクロムモリブ

デン鋼の残留応力と硬化層の評価、中性子回折による原子力機器・配管の残留応力測定、赤外線による鋼橋の疲労き裂の非破壊評価、ならびに、最新の溶接残留応力計測技術というように多様な測定法と解析法による残留応力測定事例が紹介されました。60名もの参加者があり、質疑時間が足りないほど活発な議論がありました。

●生物構造学研究会

平成25年3月21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、J-PARC/MLF利用者懇談会およびCROSS東海と共同主催し、新世代研究所水と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平成24年度第2回生物構造学研究会を開催しました。J-PARC/MLFにおいて生体物質の構造

解析が本格化しつつある現状において、中性子ビームをいかに活用するかを議論することを目的としました。放射光や中性子などを用いた構造解析研究例5件、装置開発3件の報告があり、参加者54名の間で活発な議論が行われました。

講習会報告

●Z-Code講習会

平成25年3月11日(月)-12日(火)にLMJ東京研修センターにおいて、J-PARCセンターMLFディビジョン、茨城県、KEK物質構造科学研究所が主催し、中性子産業利用推進協議会とCROSS東海が共催して平成24年度Z-Code講習会を開催しました。この講習会は、茨城県からの委託に基づき、KEKが新たに開発している粉末回折データ解析プログラムZ-Codeに関して、最新版プログラムの使い方を利用者に習得して貰うために開催されました。J-PARC/MLFに整備されている回折装置の紹介に始まり、回折現象の基礎についての講義、最新版Z-Rietveldの実習、さらにユーザーから開発に対する期待の大きかったZ-MEMの実習も行いました。受講者は全体で83名と非常に多く、そのうち企業からは30名の参加があり、熱気にあふれた講習会となりました。



お知らせ

●J-PARCハドロン実験施設における事故について

平成25年5月23日(木)にJ-PARCハドロン実験施設においてビーム取り出し装置の誤作動により金ターゲットが破損して、放射性物質が漏洩し実験者が被曝する事故が発生しました。このため、MLFの運転も停止しています。事故の詳細については「放射線発生装置故

障報告書」(<http://j-parc.jp/ja/topics/HDAccident20130531.pdf>)をご参照ください。関連情報についてはJ-PARCや高エネルギー加速器研究機構のHPをご参照ください。

●平成25年度総会・平成24年度成果報告会

日時：平成25年7月22日(月) 13:00-17:30
場所：秋葉原コンベンションホール

平成25年度の総会のおと、平成24年度成果報告会を開催します。報告会においては、J-PARCや茨城県BLなど施設側の現況報告に続いて、産業界による中性子実験装置の利用成果に関する講演が5件

あります。新しい広い会場での開催となります。多くの皆さまのご出席をお願い致します。

詳しくは協議会HPをご覧ください。
<http://www.j-neutron.com/25-24.html>

中性子産業利用推進協議会 季報【13年・夏】Vol.19

発行日 2013年6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/>