

CONTENTS

P2 中性子実験装置の紹介

P3 研究トピックス

P4 研究会活動報告／講習会の開催報告／お知らせ

中性子利用促進 — 新時代の幕開け —

日本原子力研究開発機構 量子ビーム応用研究部門
副部門長 加倉井和久

2008年5月にJ-PARCのMLFで初めてのパルス中性子が発生されたことにより、日本の中性子科学は新時代の幕開けを迎えたと言えます。1960年代初期に旧日本原子力研究所や京都大学原子炉実験所に導入された研究用原子炉からの定常中性子と、1970年代初期に東北大学原子核物理研究施設の電子リニアックに建設されたパルス中性子実験室から始まり、その後つくばの旧高エネルギー物理学研究所のKENSに引き継がれたパルス中性子の両ビームが、原子力機構の原子力科学研究所構内において僅かに800mの至近距離で利用可能になりました。これで定常およびパルス中性子源の散乱装置の特徴を相補的に高効率で利用する物性、材料および生命科学の研究の新展開が可能になると考えられます。

中性子の透過能力、軽元素、磁性、およびスローダイナミクスへの感性はこの粒子の発見当時からすぐに認識され、原子炉中性子源の強度が比較的低いにも拘わらず、上記の特徴を活かした研究分野では「究極のプロブ」として基礎研究に大きく寄与して来ました。しかし、原子炉の定常中性子は、特殊な構造やダイナミクスに的を絞ったミクロの現象解明には大いに活用されているものの、「究極」であるがゆえに、広いパラメータや

スケール領域を概観する必要がある新材料開発等の利用研究に広く使われているとは言い難い状況にありました。パルス中性子源の特徴を活かした飛行時間法により、広いQおよびエネルギー空間の探索が可能になると、定常中性子源との複合的利用により、まさに基礎研究から産業応用までカバーする中性子科学が実現します。この探索を実現するためには、パルス中性子装置は大面積検出器や高速チョッパー等の最新技術を導入する必要があります。J-PARC/MLFとJRR-3のパルスと定常中性子の分担が最近よく問われますが、それは「新幹線と在来線」の分担を問うのと同じようなものであると思います。高性能の在来線が整備されてこそ、大量輸送を効率良く担う新幹線の威力が発揮され、大きな経済効果が得られます。同じように、高度な定常炉の特徴を活かした、的を絞った単色中性子による弾力的な応用基盤研究が、大強度パルス施設の高効率の利用研究につながり、中性子を活用した本格的な産業利用促進が実現できると考えます。折しも文部科学省の「中性子利用技術移転推進プログラム」や「先端研究施設共用促進事業」がJRR-3で実施されています。それぞれ産業界のトライアルユースを支援しています。これらの事業を足がかりにして、JRR-3とJ-PARC/MLFの両中性子科学施設を活用した中性子利用促進が更に進展することを切望いたします。量子ビーム応用研究部門もその中で先導的な役割を果たすように努力したいと考えております。

鉄鋼材料解析における中性子線利用への期待

住友金属工業株式会社 総合技術研究所 谷山 明

鉄鋼材料は我々の生活基盤を支える重要な材料であり、その安全性、信頼性を確保するために、材料内部で生じる種々の現象を明らかにすることが求められます。中性子線は鉄鋼材料のような比較的重い元素を含む材料に対しても高い透過性を有するため、バルク状の鉄鋼材料について、1. ラジオグラフィによる内部欠陥構造の解析、2. 小角散乱による材料中の介在物・析出物の形状や粒度分布の測定、3. 材料内部に残留するひずみや応力の測定、4. 材料中の水素の存在位置同定、といった鉄鋼材料の安全性や信頼性を特徴付ける様々な情報を得ることができると期待されており、鉄鋼各社においても中性子線を利用した解析手法開発や材料研究が進められています。特に、J-PARCの高強度パルス中性子線源を用いた実験では、高い時間分解能での時分割測定や、微小部、微量分析などの実現が可能となり、構造部材の非破壊解析や材料内部における現象がより詳細に理解されるようになると期待さ

れます。

最近、J-PARCの物質・生命科学実験施設が100kW共用を開始したとの知らせを受け、ようやく強力な中性子線を利用した実験が可能環境が整ってきたと感じました。線源と実験環境の整備の進捗を喜ぶ一方で、今後はJ-PARCへの課題申請件数が急増し、産業利用分野においてもビームタイムの確保が非常に難しくなるのではないかと不安も感じています。そのためにも、現在稼働中の原子炉JRR-3を是非とも運転継続していただき、産業界における中性子線利用の機会を増やして頂きたく思います。また、J-PARCとJRR-3が併用できれば、原子炉中性子源を用いて測定技法や実験条件について十分な予備検討を行った上で、J-PARCの少ないビームタイムで確実に成果を出すといった効率的な利用方法も可能になると思います。幸い、J-PARCとJRR-3は隣接した場所にありますので、両者を上手く利用することでユニークな実験が可能になると思います。今後も、高強度パルス中性子線源と原子炉中性子源が産業利用分野、とりわけ、鉄鋼材料分野で有効に利用されることを期待しています。

中性子実験装置の紹介

●J-PARCの実験装置

高強度全散乱装置 NOVA(BL21)

高エネルギー加速器研究機構/J-PARCセンター 大友 季哉
日本原子力研究開発機構/J-PARCセンター 鈴谷賢太郎

水素貯蔵材料への水素貯蔵プロセスでは、格子のひずみ(～20%)を始めとする原子配列の乱れが生じ、かつ、水素という最も軽い元素の位置を詳細に解析する必要があります。水素貯蔵の基礎的なメカニズムを明らかにするために、水素貯蔵材料の構造を高い精度で解析することが可能なパルス中性子高強度全散乱装置NOVA(図1)をJ-PARCに建設しました。NOVAは、中性子の水素を観察する高い能力とJ-PARC/MLF(物質生命科学実験施設)の世界最高強度レベルのパルス中性子源に、約14m²もの広い検出領域の中性子検出システム(図1の緑色の部分)を組み合わせ、液体から結晶まで多様な物質の構造を、広い距離スケール(原子のナノサイズのレベルから相分離等のサブミクロンサイズのレベルまで)で観察が可能です(表1)。NOVAは、世界初のパルス中性子全散乱装置が1960年代後半に我が国で開発されて以来培われてきた装置設計とデータ解析技術に、J-PARCで開発されたデータ集積、検出器制御、遮蔽設計に関する最先端の技術を融合させることにより、海外の同種の装置を凌駕する性能を有しています。平成21年5月末より、中性子を用いた装置調整を行っており、平成22年度より本格的な水素貯蔵材料研究に着手する予定です。本研究は、NEDO委託研究「水素貯蔵材料先端基盤研究事業(平成19年度～23年度)」(プロジェクトリーダー:産総研・秋葉悦男氏)として、高エネ機構、原子力研究機構、京都大、山形大、福岡大、新潟大、九州大により行われています。

測定領域	0.1 nm ⁻¹ < Q < 1000 nm ⁻¹ 0.006 nm < d < 60 nm
中性子波長	0.012 nm～0.83 nm
装置の特徴	ガラス、液体、結晶等、多様な物質の構造解析が可能
試料サイズ	最小 5 mm×5 mm×5 mm 最大 20mm×20mm×8mm
特殊環境	in-situ水素貯蔵過程観察(最大10MPa、50K～473K)
測定時間	標準15分・最大約1時間・最短1秒以下

表1 NOVAの主な仕様

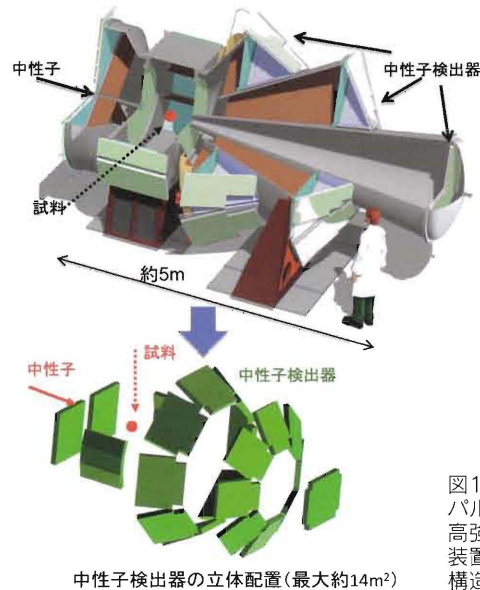


図1
パルス中性子
高強度全散乱
装置NOVAの
構造

●JRR-3の実験装置

即発γ線分析装置「PGA」

日本原子力研究開発機構 量子ビーム応用研究部門
中性子イメージング・分析研究グループ
松江 秀明

研究用原子炉JRR-3の即発γ線分析装置「PGA」を紹介します。本装置の全景写真とシステム構成図を図1と図2に示します。本装置では、様々な材料や原料の元素組成を簡単に分析することができます。分析の原理は、蛍光X線分析装置(XRF)に似ています。違うのは、蛍光X線の代わりに即発γ線を使うことです。物質に中性子を照射すると高エネルギーの即発γ線が発生します。即発γ線分析ではこの現象を使って、中性子ビームを照射しながら即発γ線を測定します。中性子照射により元素毎に特定のエネルギーの即発γ線が発生するので、測定された即発γ線のエネルギーから元素の種類、その強さから元素の量を分析できます。

中性子も即発γ線も物質に対して高い透過力を有するので、大きな固体試料でも試料全体の正確な分析が簡単にできます。また、実際の分析も非常に簡単です。分析の対象となる元素としては、水素、ホウ素、ケイ素、塩素などの軽元素、カドミウム、水銀などの有害元素が挙げられます。このような特性を利用して、再生材料の有害元素分析、小規模金探掘現場採集土壌中の水銀分析、コンクリート中の塩素の分析、産地同定のための元素組成分析、考古遺物の元素組成分析による年代推測など、応用研究が盛んに行われています。図3に金の小規模金探掘現場で採取された土壌の即発γ線スペクトルを示します。土壌をそのまま即発γ線測定するだ

けで数十ppm以上の水銀を短時間で分析することが可能です。土壌中の有害元素の非破壊スクリーニング分析として活用された例です。

PGAの装置担当者は、日本原子力研究開発機構の松江秀明(matsue.hideaki@jaea.go.jp)です。装置の利用についてはお気軽にご相談ください。



図1 即発γ線装置の全景

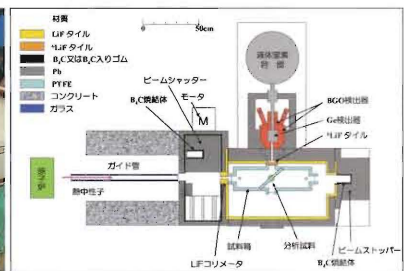


図2 即発γ線装置の内部

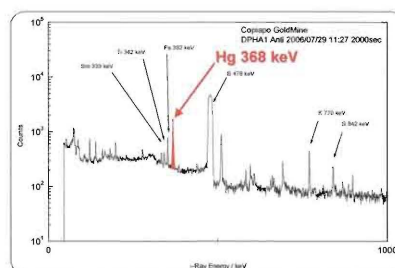


図3 金の小規模探掘場周辺の土壌試料の即発γ線スペクトル
発展途上国を中心にアマルガム法を用いた金の小規模探掘が行われており、探掘現場周辺の水銀汚染が問題となっている。探掘現場周辺土壌試料から900ppmもの水銀が検出されたことがあります。

研究トピックス

●J-PARC

iBIXに設置された高分解能・高速・コンパクト中性子シンチレーション検出器

日本原子力研究開発機構
J-PARCセンター物質・生命科学ディビジョン
研究副主幹 中村 龍也

J-PARCの物質・生命科学実験施設(MLF)におけるビームラインBL03には現在、生命物質構造解析装置(iBIX)が設置されています。このiBIXの性能を支える柱が、高分解能・高速・コンパクト中性子シンチレーション検出器です。従来の検出器では、格子間隔の大きいタンパク質試料から散乱された大強度パルス中性子を効率よく測定することができず、J-PARC/MLFの性能を十分に生かすことができませんでした。そこで、J-PARCセンターでは、波長変換ファイバ読み出し法を用いたシンチレーション検出器による高分解能・高速・コンパクトな計測法を開発し、茨城大学の研究協力や茨城県委託研究を得て実機を完成させることに成功しました(写真1)。

波長変換ファイバ読み出し法を用いたシンチレーション検出器では、試料から散乱された中性子はZnSシンチレータで光子に変換されます。これらの光子がシンチレータの両面に縦横に配列された波長変換ファイバに入射して波長変換された2次光を発生し、それらがマルチアノードの光電子増倍管で増幅され、TOF信号処理・データ収集回路を通して計測されます(図1、図2、図3)。

本検出器の特徴の一つに、新しいシンチレータ材料の開発があります。これまで数十年間使用されてきたZnS/6LiFシンチレータは、残光寿命が長いことからタンパク質結晶測定に向かず、正確な情報が得られませんでした。原子力機構が開発した新しいZnS/10B₂O₃シンチレータでは、残光寿命の短寿命化と検出効率の高効率化が図られ、世界で初めてタンパク質結晶測定を可能としました。さらに、検出

器面の不感領域を可能な限り狭くし、立体角を出来る限り大きくするための波長変換ファイバ配置の工夫、低ノイズ化の工夫などを行い、高性能化しました。なお、本検出器の考案者である片桐政樹氏(元原子力機構、現日本アドバンステクノロジー(株))に対して、当該検出器開発について平成21年度の日本中性子科学会技術賞が授与されました。

iBIXは、既存の生体物質回折装置に比べ50倍~100倍の測定効率を得られるため、例えばこれまで4ヶ月くらいの期間を要していたタンパク質の構造解析が、わずか数日で出来るようになり、新薬創製の研究開発が飛躍的に効率的に行われることが期待されています。



写真1 生命物質構造解析装置(iBIX)の外観

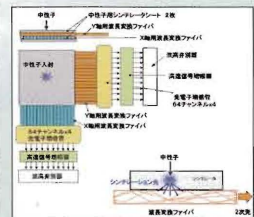


図1 波長変換ファイバ読み出し法を用いたシンチレーション検出器の測定原理



(1) 256ch x 256ch 波長変換ファイバ読み出し方式
高分解能中性子イメージング検出器
(2) 高速アンプ&ディスクリミネータ
(3) 信号処理モジュール(FPGA)

図2 波長変換ファイバ読み出し法を用いたシンチレーション検出器

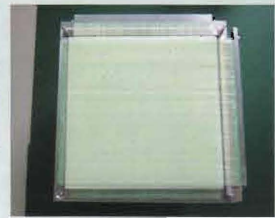


図3 波長変換ファイバ読み出し用パック

●JRR-3

中性子非弾性散乱で観るタンパク質ダイナミクスに対する水和の影響

日本原子力研究開発機構 量子ビーム応用研究部門
研究員 中川 洋

生体内で様々な生理機能を担うタンパク質は、周囲の熱揺らぎにさらされながらその構造を巧みに変化させることで機能を発揮します(図1)。タンパク質は通常、生理環境である水中で機能しており、タンパク質の表面に存在する水和水はタンパク質の揺らぎに影響を与えます。特にTHz領域(1THz=4.1meV)で観測されるタンパク質分子の協調的なダイナミクス(図1)が水和に強く影響されることが知られていますが、このエネルギー領域の実験研究には中性子非弾性散乱法が有効です。また、同位体によって中性子散乱能が異なることを利用した同位体コントラスト法を用いることで、タンパク質と水和水を分離して観察することも可能になります(図2)。この手法を用いれば、それぞれのスペクトルピークの幅の広がりやその散乱角度依存性を解析することにより、タンパク質の構造緩和などの揺らぎ情報を得ることができただけでなく、水和水の拡散的ダイナミクスについても別々に分けて解析することができます。

中性子は水分子のダイナミクスを直接観察できることから、タンパク質中の水分子の挙動を解析することも可能です。例えば、食品タンパク質に含まれる水分状態は、食品保存にも

関わります。中性子非弾性散乱は、食品科学分野への応用など、広くバイオ研究の分析手法になると考えられます。非弾性散乱による生体分子の揺らぎ研究は、中性子を用いた生命科学の重要な研究テーマとして注目されていますが、その産業利用も今後大いに期待できると考えられます。

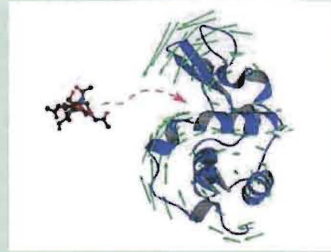


図1 ターゲット分子の結合に伴うタンパク質構造のダイナミクス

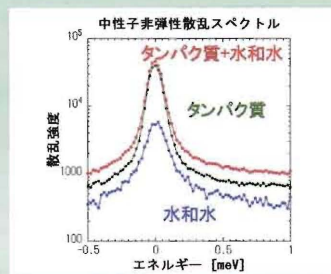


図2 タンパク質と水和水の中性子非弾性散乱スペクトル。中性子の同位体コントラストにより、各成分にスペクトルを分離できる。

研究会活動報告

●非破壊検査・可視化・分析技術研究会

主査 松林政仁(日本原子力研究開発機構)

J-PARC/MLF利用者懇談会「微量分析・非破壊分析分科会」及び茨城県中性子利用促進研究会 中小企業利用研究会「非破壊分析・評価法分科会」との共催で、2009年12月8日(火)に「原子炉とJ-PARC/MLFの相補的利用によるイメージング・微量分析の新展開」研究会を東海村テクノ交流館リコッティにて開催しました。参加者は30名で、14件の講演と総合討

論が行われました。今回の研究会では中性子を利用したイメージングと微量分析について、最新鋭のJ-PARC/MLFパルス中性子源並びに研究用原子炉JRR-3及び京都大学原子炉KURの定常中性子源で行なわれている装置開発を含む研究開発の状況、燃料電池、コンクリート、自動車製品へのイメージングの応用、標準物質、植物等への微量分析の応用等、幅広い分野での研究紹介がなされました。

●電池材料研究会

幹事 神山 崇(高エネルギー加速器研究機構)

茨城県中性子利用促進研究会「材料構造解析研究会・電池材料構造解析分科会」と合同で、2009年12月18日(金)に「いばらき量子ビーム研究センター(IQBRC)にて「平成21年度第2回合同公開研究会」を開催しました。参加者は約30名で、3件の講演と総合討論が行われました。

今回の研究会では、まず菅野了次先生(東工大)から二次電池研究に関する最近のトピックスについてのご講演がありました。結晶構造、局所構造、表面・界面構造等の様々な構造を、原子サイズからナノに渡る広

いスケールに渡って明らかにすることが重要であることを、様々な例を用いて紹介されました。また、石垣徹先生(茨城大)からJ-PARCに設置された茨城県の粉末回折装置 iMATERIAの現状について紹介がありました。さらに、米村雅雄先生(茨城大)からTOF型中性子回折の解析ソフトウェアZ-Code、特にZ-Rietveldについての報告がありました。最後に総合討論では、電池研究やJ-PARCの装置や利用、さらにソフトウェアなどについて、幅広い議論が行われました。

●磁性材料研究会

主査:武田全康(日本原子力研究開発機構)

磁性材料研究会は日本磁気学会との共催で、2009年12月18日(金)に中央大学駿河台記念館(東京)において「第1回研究会「磁気測定法の最先端と今後の展望」を開催しました。参加者は26名でした。

小規模な研究室から放射光研究施設や中性子研究施設といった大規模な施設に至るまで、様々な場所で活躍する磁気測定技術は、磁性研究の基本です。それら施設の中にはJ-PARC/MLF施設も当然含まれていま

すが、最近になってやっと利用可能になった、あるいは目覚ましい進歩を遂げた磁気測定技術があり、これまで見えなかったものが観測可能になってきています。そこで、最先端の磁気測定技術の開発と、それを利用して研究を行っている第一線の7名の研究者を講師に迎え、最新の研究成果の紹介と、それらの測定法が「磁気研究の新たな展開」について議論を行いました。今後も、このような形で、関連する他学術団体との交流を深める計画です。

●生物構造学研究会

主査:黒木良太(日本原子力研究開発機構)

茨城県中性子利用促進研究会ならびにJ-PARC/MLF利用者懇談会と合同で、2010年1月15日(月)に三菱総合研究所(千代田区大手町)にて「平成21年度「生命物質構造解析研究会」公開研究会」を開催しました。参加者は約40名(内企業関係者9名)で、9件の講演と総合討論が行われました。

今回の研究会では、「創薬に貢献する最先端施設への期待」と題して、

J-PARC/MLF利用者懇談会・生命物質分科会代表の西島和三氏(持田製薬)より、世界3位の新薬開発力と世界に貢献する日本発の医薬品が紹介されるとともに大型先端科学施設への大きな期待が寄せられました。また、研究会では中性子を利用したタンパク質構造研究への期待を裏付ける数多くの話題が提供され、中性子利用に向けた順調な準備状況が紹介されました。

●磁性材料研究会;物質科学研究会;金属組織研究会

主査:武田全康(日本原子力研究開発機構)、森井 幸生(ひたちなかテクノセンター)、友田 陽(茨城大学)

3研究会は、J-PARC/MLF利用者懇談会「磁性・強相関分科会」、茨城県中性子利用促進研究会・材料構造解析研究会「磁性材料の構造解析分科会」、および、「小角散乱法によるハードマターの微細組織解析分科会」と合同で第2回公開研究会を、2010年2月22日(月)にいばらき量子ビーム研究センターで開催しました。参加者は27名でした。中性子を使った磁気

構造解析に関する3件の研究発表があり、発表後の活発な議論が印象的でした。これまでは、中性子を用いた磁性体の研究では、「磁性」という自然科学の立場からの中性子利用が主でしたが、これからは、様々な磁性材料の磁気構造を決定することに主眼を置く測定が増えることが予想され、それに向けて、ユーザが使い易いソフトとハードの両面の環境を整備することの重要性が指摘されました。

講習会の開催報告

●第2回中性子ビーム利用基礎講習会(レベル1講習会)

日本中性子科学会、J-PARCセンター、日本原子力研究開発機構量子ビーム応用研究部門との共催により、2009年12月18日(金)に大阪科学技術センターにおいて「第2回中性子ビーム利用基礎講習会(レベル1講習会)」を開催しました。日本を代表する専門家が「中性子利用概論」、「中性子散乱の基礎」、「生物物質単結晶回折」、「粉末回折」、「小角散乱」、「反射率測定」、「応力・ひずみ解析」、「ラジオグラフィ」、「即発ガンマ線分析」の9講義を行いました。講義では、初心者を対象として、実例を挙

げたの説明や実験手順などを含めた中性子ビーム利用の概要が丁寧に分かりやすく説明され、質疑応答も活発に行われました。

なお、来年度も東京、大阪の2ヶ所での開催を企画しますので参加ください。また、中性子の基礎は分かっているが実際の測定経験の少ない研究者・技術者のための講習会(中級・レベル2講習会)、中性子実験をある程度経験している研究者・技術者のための講習会(上級・レベル3講習会)も行う予定です。

お知らせ

●協議会から:中性子産業利用推進協議会 総会

日 時:7月21日(水)13:30~17:00

場 所:東京ステーションコンファレンス

問合せ先:協議会事務局

ご案内は別途会員宛にご連絡致します。

●中性子産業利用推進協議会の平成22年度の会費について

2009年12月15日に中性子産業利用推進協議会運営委員会ならびに研究開発委員会幹事会を開催しました。席上、平成22年度の会費の減額について検討するようにとのご意見があり、事務局で検討した結果、平成22年度に限って会費を10万円に減額することとし、運営委員会ならびに研究開発委員会幹事会に諮ったところ、了承されました。

平成23年度以降の会費につきましては、会則にあります20万円に戻すことが基本ですが、収支決算を見ながら臨機応変に対応して行きたいと考えておりますので宜しくお願い致します。

中性子産業利用推進協議会 季報【10年・春】Vol.6

発行日 2010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/