

## CONTENTS

P2-3 中性子実験装置の紹介および研究トピックス

P4 研究会活動報告／講習会の開催報告／お知らせ

## J-PARCセンターから

J-PARCセンター 副センター長 池田裕二郎

100kW パワー供用運転に入ったというニュースを聞きながら J-PARC について思うことを書いてみます。今から 9 年前の 2000 年に、念願の J-PARC 計画が文部省と科学技術庁統合のシンボルとして予算化されました。その与えられた責任の重大さと共に待ちうけているであろう挑戦的技術の困難さは頭の片隅にあったとしても、それまでの 20 年来の多くの方々の念願がやっと果たされた当時の熱気、それ以上に何としてもやり遂げる自負と情熱に包まれた 21 世紀の幕開けであったことを昨日のように思い出します。爾来、日本経済の所謂失われた 10 年のどん底経済がプロジェクトの最初にありました。その後、特に北京オリンピックの特需を中心とする猛烈な資源需要の波にさらされながら、最先端加速器と利用施設建設が、プロジェクトチームの献身的な血と汗と涙の結晶として結実して、2009 年の年の瀬を迎えようとしている今、計画から建設、性能の確認まで携わった者として、感慨ひとしおです。

100kW を超える陽子ビーム運転をもって、野心的な J-

PARC 陽子加速器、中性子とミュオン実験施設は、世界最高のビーム性能であることが示されようとしております。J-PARC で得られた世界最先端のサイエンス成果も学術誌への掲載が始まり、既に複数の有償利用の課題申請が届くなど、学術のみならず産業界からの利用期待もひしひしと実感しております。まずは国際的にもそれほど遜色のないまとまった中性子及びミュオンビームを使っていただくレベルに達したことで少しほっとしている次第ですが、さらに、高出力で安定した高品質なビームを提供することが我々に与えられたミッションと肝に銘じております。これからは、ユーザの皆様にも最高の成果を挙げていただくための利用環境をいかに享受していただくかで施設側の技量が試されると思っております。しゃにむに走ってきた 10 年でしたが、これからは少しでも心に余裕を持ち、皆様の心地よい利用を第一にと考えております。

早晚、多様な実験装置群が共用促進法などにより整備が進み、産業界からの利用の選択肢と機会は格段に拡大いたします。一つ一つが手探りですが、私ども J-PARC センターの中心的取組みとして、J-PARC の成果を最大にするという理念のもとに、よりよい施設運営を目指してまいります。

## 天然有機化合物製造業における強力中性子線への期待

味の素株式会社 理事 鈴木榮一郎

分析化学会の「ぶんせき」(2009年6月号、談話室)に書いたことですが、昔の「分析化学実験法」の本の最初には、定性・定量に始まる諸分析の分類が載っていて、「その操作の手法または装置の特徴から特殊分析(点滴、検鏡、分光、X線、クロマトグラフィ、ポーラログラフィ)ともいえるべきものがある」とあります。今では、ほとんどが「特殊分析」であり、その威力は光源・線源や検出器によって様変わりします。その意味で、ともに国家基幹技術である、X線自由電子レーザー(播磨 SPring-8 施設内)と中性子線(東海村の J-PARC)は、分析に従事する者として注目せずにはいられません。前者は欧米と一番乗りを競う夢の光であり、後者はわが国が他の追随を許さない強力線源ですが、これらの開発・実用化が構造解析を含む分析化学に及ぼす影響は実に大きいと言えます。

J-PARC の強力中性子線への具体的な期待としましては、

まず、水素が良く見えるという、X線を補完する機能から、分子間水素結合が主体の結晶の精密構造解析が挙げられます。結晶多形・多型や吸湿・固結などの諸現象は、古来、アミノ酸類等の天然有機化合物製造業におけるメインテーマであり、完全には解明されていない重要事項が数多くあります。単なるプロセス技術開発上の重要性に留まらず、既知化合物であっても、進歩性のある結晶体は物質特許になりますので、その経済価値も高いと言えます。また、結晶の素性は原薬の生物学的利用率(bioavailability)と密接に絡みますので、製薬産業においても重要です。

以上の他に、中性子に対する意外な応用として、香辛料(主には乾燥植物;加熱処理でアロマが失われにくい種子類を除く)の殺菌・殺虫法としての中性子線照射があるようです。日本では、この種の研究に一企業が取り組むことには難しい面があり、パブリック・アクセプタンスが簡単に得られるとは思えませんが、大学や公的機関主体の研究により十分な安全性と経済合理性が証明されるならば、アロマ保持率の高い処理法として有望ではないかと思えます。

# 中性子実験装置の紹介および研究トピックス

## ●J-PARCの実験装置および研究トピックス

### J-PARC/MLFの工学材料回折装置「匠」

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  
研究主幹 相澤 一也、  
研究副主幹 ステファヌス ハルヨ

J-PARC/MLFの「匠」は中性子による工学回折を行なうための装置として建設されました。工学回折とは、回折プロファイルのピーク位置、広がり、積分強度等から、それぞれ、物体内の弾性ひずみ（応力）、結晶粒子サイズや格子欠陥、集合組織等を定量的に求めるもので、工学基礎および応用研究に適用できます。原子炉中性子源を用いた工学回折装置では、1つのピーク、1方向のひずみ成分しか一度に測定できなかつたため、長い測定時間を要し、応力測定以外の応用が難しい面がありました。一方、図1に示す匠は、入射中性子ビームに対して±90°の2箇所に一畳程度の面積を持つ検出器バンクを配置してあり、直交2方向のひずみ成分を同時に測定できます。これに加えて、匠は飛行時間型中性子回折装置ですので、複数の格子面の回折パターンを同時に測定できます。匠は、通常運転モードでは0.05nmから0.26nmまでの面間隔範囲を同時に測定可能で、鉄鋼材料の場合15～20個の回折ピークを同時に観察できます（図2）。セラミックス等の格子面間隔の大きい材料の場合は、0.05nmから0.47nmという広い面間隔の測定が可能な運転モードも選択可能です。また、匠は、散乱角90°の検出器では最高分解能 $\Delta d/d$ が0.2%以下で、工学回折装置の中で最高分解能を有しています。匠は、応力測定のために、相変態、集合組織測定、変形の異方性等の研究を行うための非常に有力な装置です。なお、試料環境周辺装置として、各種ラジアルコリメータや負荷試験機（高温炉、オイラークレドール、低温装置など）を整備済みまたは整備中です。

匠を含めてMLFの中性子実験装置は、イベント式データ集積法を採用しています。これは、検出器で検知された中性子一個一個に対して、パルス情報、時間、位置情報等のデータを保存する方法です。この方法は、過渡現象等の時分割測定やその場測定に非常に有効で、匠での実験でもその有効性が確認されました。時分割測定の例として、鉄鋼試料を室温から900℃に10分間加熱し、その後保持した時のデータを図3に示します。これは、試料サイズが25mm<sup>3</sup>、中性子源が20kW運転で、検出器が全体の60%設置された時のものです。その場測定の例として、YBa<sub>2</sub>Cu<sub>3</sub>O<sub>7</sub> (YBCO) 超伝導複合材料のテープの常温変形挙動を調べるための実験結果の一部を図4に示します。実験で用いたYBCOテープは総厚が100μm程度の層状複合材料であり、約40μm厚の Hastelloy / Cu 基板の上に1μm厚のYBCO層が上下面にそれぞれ約20μmのCuで被覆されています。実験は、2枚重ねたテープを図4上の



図1 工学材料回折装置「匠」

グラフ中の模式図のように装置に対してセットし、荷重を段階的に変え、回折パターンを約2時間で収集しました。この時の中性子源の出力は20kWでした。YBCOテープの特性を考えずに全検出器ピクセルを積算した場合はYBCOからのピークを確認することが困難でした。そこで、イベントデータを各ピクセルのヒストグラムデータに再加工し2D回折パターンとしてプロットする（図4上）と、YBCOからの回折が散乱角90°付近の検出器ピクセルでしか検出されていないことが判りました。即ち、YBCOテープの中にあるYBCO層は非常に強い集合組織状態になっていることが判りました。散乱角90°付近の検出器ピクセルのデータのみを用いると、図4下のようにYBCOピークが明瞭に現れてピーク解析ができるようになりました。このようにイベントデータ収集法は、データを自由自在に扱えるので実験方法及びデータ解析を最適化することができます。

現在検出器が100%整備され、中性子源の出力が100kW程度に増強されたため、測定効率が今まで以上に高くなっています。今後も中性子源の出力が徐々に1MWになるまで上がる計画ですので、材料の製造プロセスのその場観察等のような短時間の測定が必要な実験が可能となり、新たな材料科学への展開だけでなく生活の安全を保つ技術向上に役立つことが期待されます。

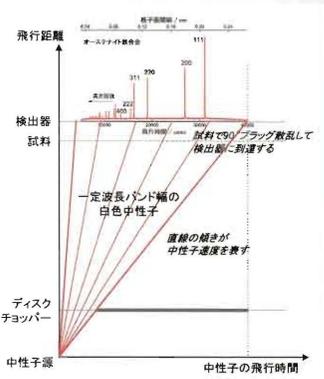


図2 匠での飛行時間法の測定原理

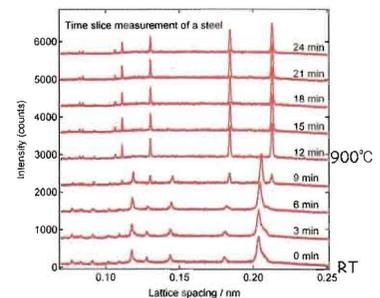


図3 鉄鋼試料の加熱中における時間分割測定

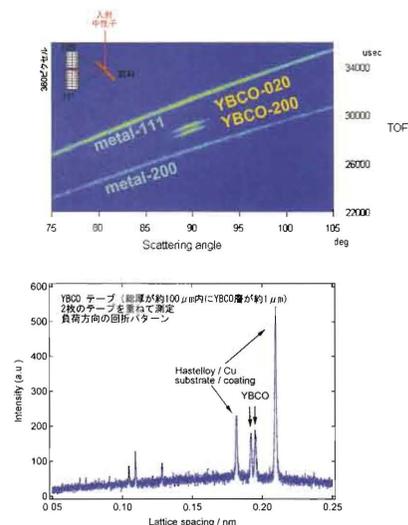


図4 YBCOテープ試験片のセッティング方法と2-D中性子回折パターン(上)、散乱角が90°付近のYBCOテープの回折パターン(下)

## ●JRR-3の実験装置

### 熱中性子ラジオグラフィ装置「TNRF」

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  
松林 政仁

原子力機構原子力科学研究所・研究用原子炉JRR-3に設置してあります熱中性子ラジオグラフィ装置(TNRF)を紹介します。本装置は、材料や構造物の内部を非破壊で可視化することを目的としています。

本装置の産業界への貢献あるいは応用例としては、以下のようなものがあります。

- 1) 燃料電池セル、水素吸蔵合金及び水素吸蔵合金製品、リチウムイオン電池
- 2) コンプレッサー、エンジンヘッド、ロケット用部品、タービンブレード
- 3) 石材、コンクリート、ボールペンヘッド、アスファルト混合物
- 4) 植物の根・茎・花

#### 【特徴】

1) X線ラジオグラフィでは可視化が困難な金属配管・容器内部の軽元素物質(水、オイルを含む)の可視化に適しています。

2) 自動車用エンジン等で多用されているアルミニウム合

- 金は中性子が透過しやすい材料です。(図1)
- 3) 撮影できる視野は25cm(幅)×30cm(高さ)で、目的に応じて空間分解能(約50 $\mu$ m $\sim$ )と時間分解能(毎秒30フレーム $\sim$ )を変更することができます。
  - 4) 画像データの取得及び再構成計算に時間を要しますが、中性子断層像(CT)の撮影ができます。(図1)
  - 5) 中性子ビーム実験の初心者にも分かり易い撮影システムが利用でき、取得画像データは汎用の画像閲覧ソフトウェアでも簡単に見ることができます。

TNRFの装置担当者は原子力機構・量子ビーム応用研究部門の飯倉寛(iikura.hiroshi@jaea.go.jp)です。装置の利用に関してはこちらにご相談下さい。



図1 小型エンジンヘッド(上)、中性子断層像、赤丸の部分に異物を確認(右上)、積層した断層像から実際の切断面を再構成した画像(右下)

## ●JRR-3の研究トピックス

### 作動状態にある燃料電池の内部を可視化する—中性子小角散乱は生きたままをみる分析技術—

日本原子力研究開発機構 先端基礎研究センター  
研究主幹 小泉 智、副主任研究員 山口大輔、  
特定課題推進委員 プトラアナンダ、岩瀬裕希\*  
(\*現在 東京大学物性研究所)

固体高分子形燃料電池は水素の燃焼エネルギーを電力に変換するシステムですが、その心臓部とも言えるのが高分子電解質膜です。両面を触媒層でコートした膜電極接合体として利用されています。電池の発電特性を決定する重要な要因はシステム内の水の振る舞いです。燃焼反応による生成水、ガスによって運ばれる加湿水など様々な水が電池の内部には存在します。これらの水は電解質膜を膨潤させ、水素から発生したプロトンの伝導を担うパートナーとなります。一方で、過剰な水は電池の各所(セパレータやガス拡散層)に停留し、燃料ガスの輸送を妨げる要因ともなります。そこで、作動状態にある燃料電池の水を可視化することができれば、発電特性を最適化するための水管理が可能となり、重要な課題の解決に貢献できます。

この要求に応えるために、マイクロメートル以下の構造を計測する中性子(超)小角散乱法とマイクロメートル以上の構造を計測する中性子ラジオグラフィを組み合わせた可視化技術を開発しました(図1-3&文献参照)。中性子のすぐれた物質透過性を活かして作動状態にある電池の内部を透かして見ようと言う試みです。

ところで、この燃料電池は生命のエネルギー獲得のメカニズムにとっても似ています。中性子を用いて「もの」と「生きもの」の境界が見えたらすばらしい。燃料電池が包含するこのような基礎研究課題も中性子で照らし出せると期待しています。なお、本研究はNEDO「固体高分子形燃料電池実用化戦略的技術開発／基礎的・共通の課題に関する技術開発／物質輸送現象可視化技術」の支援を受けて得られた研究成果です。

(文献)Iwase & Koizumi et al. Nucl Inst & Meth in Phys Res A 605 (2009) 95-98.

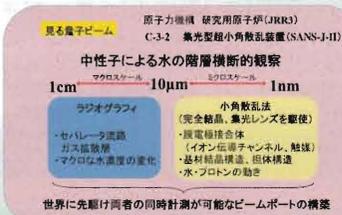


図1 中性子小角散乱法と中性子ラジオグラフィを組み合わせて作動状態にある燃料電池の水の可視化。小角散乱法は膜電極接合体を、ラジオグラフィはセパレータやガス拡散の水を可視化します。

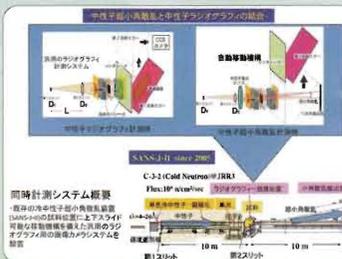


図2 集光型中性子超小角散乱装置(SANS-J-II)とラジオグラフィの融合。ラジオグラフィは試料背面にシンチレータとミラーを設置し画像をCCDカメラに誘導します(左上)。小角散乱測定の際にはシンチレータとミラーを上部に移動します(右上)。

#### Neutron Imaging System on SANS-J-II

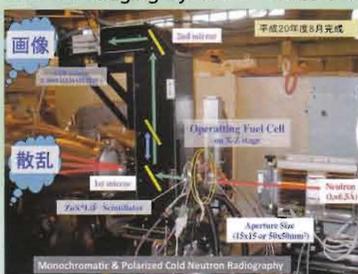


図3 SANS-J-IIの試料周り。作動状態の燃料電池(JARI型)の背面にラジオグラフィのカメラを設置。

## 研究会活動報告

### ●「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9月14日(月)に三菱総合研究所(千代田区大手町)にて「平成21年度第1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、「薄膜材料リチウムイオン導電体の研究」と題してマイクロ電池の基礎研究についての講演がありました。パルスレーザーデポジション法で製作した薄膜では、アモルファスになりやすく

伝導度も高いこと、ヘテロ界面効果によりイオン伝導度の異なる複数があること、等が示されました。また、J-PARCに設置された茨城県の粉末回折装置 iMATERIAやKEKのSuperHRPDの現状について紹介がありました。さらに、「TOF型中性子回折の解析ソフトウェア」について簡単な報告がありました。

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、物質材料研究会、金属組織研究会」

茨城県中性子利用推進研究会 磁性材料構造解析分科会代表  
桑原 慶太郎(茨城大学)

茨城県中性子利用促進研究会、MLF利用者懇談会と合同で、2009年9月18日(金)にいわさき量子ビーム研究センターにて「平成21年度第1回研究会」を開催しました。参加者は29名(内企業関係5名)でした。

今回は「強磁性金属間化合物の新側面:スピントロニクス材料としての有用性」と題した講演、「強相関電子系における高次多極秩序」と題した話題提供、及び中性子小角散乱を用いた実験の講演が行われ、活

発な意見交換と討論が行われました。

今後の活動として県プロジェクトに研究会でテーマを共同提案することや、新しい研究テーマの募集が話し合われました。研究会の後、J-PARC/MLFおよびJRR-3ガイドホールの見学会がおこなわれ、iMATERIAでは真空チャンバーや検出器を身近に見学し、試料交換機構などの説明を聞きました。

なお、研究会報告は以下のHPに公開されていますのでご参照ください。  
<http://www.sf21-ibaraki.jp/kenkyukai/hokoku.html>

### ●「残留ひずみ・応力解析研究会」

主査 秋庭義明(横浜国立大学)

「中性子および放射光を利用した応力・ひずみ測定に関するセミナー」(MECA SENS-V/QuBS2009 Tutorial Seminar)が去る2009年11月9日(月)に茨城県水戸合同庁舎において開催されました。本セミナーは本研究会とともに茨城県中性子利用促進研究会の小角WG、集合組織WGおよび応力解析WGの4研究会の合同セミナーとして企画され、世界的規模で応力・ひずみ測定に関する中心的な役割を担う著名な3

名を講師に招き、参加者99名(国外32人)を集めて有意義なセミナーとなりました。

これに続く第5回中性子および放射光による応力評価に関する国際会議(MECA SENS V)/第3回量子ビーム応用研究部門国際シンポジウム(QuBS2009)も186名(国外85名)の参加を頂き、成功裏に閉幕することができました。協議会の皆様には多大なご協力を頂きましたこと、ここに感謝いたします。

## 講習会の開催報告

### ●「物質科学研究会、電池材料研究会、磁性材料研究会」

主査:森井幸生(ひたちなかテクノセンター)、神山崇(高エネルギー加速器研究機構)、武田全康(日本原子力研究開発機構)

3研究会は茨城県中性子利用促進研究会「磁性材料・電池材料の構造解析」分科会、iMATERIA担当者、SuperHRPD担当者と共催して「iMATERIA, SuperHRPDユーザーのためのZ-Code利用講習会」を2009年8月22日と10月7日に三菱総合研究所で開催し、装置グループが開発している全く新しい粉末結晶構造解析ソフトウェアパッケージZ-Code、とく

に、リートベルト解析プログラムZ-Rietveldについての説明や利用実習を実施しました。これまでに装置を使った方、利用課題が採択されている方がそれぞれ30名(第1回)と、18名(第2回)参加され、熱心な受講・実習・質疑応答がありました。このプログラムは使い勝手が良いので早く配布してほしいとの要望が多数あり、それに対して、11月末から試験的な配布を始める予定との回答がありました。

### ●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、日本原子力研究開発機構 J-PARCセンター、量子ビーム応用研究部門との共催で、2009年11月27日(金)に日本原子力研究開発機構システム計算科学センター(東京)にて「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。この講習会は、中性子ビーム利用を計画している方、利用し始めの方を対象として、中性子ビーム利用実験の基礎的事項について説明を行うと共に今後の実験に役立てていただくことを目的としています。参加者は20名でした。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」、「反射率測定」、「小角散乱」、「生体物質単結晶」、「粉末回折」、「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、丁寧に分かりやすく実例を挙げての説明や実験手順などの説明があり、質疑応答も活発に行われました。殆どの参加者から「中性子を利用した研究を始めたい」とのご希望が寄せられ、大変有意義な講習会になりました。

## お知らせ

### ●中性子産業応用セミナーin佐賀

開催日:2月5日(金)13:30~17:40

場 所:サンメッセ鳥栖(佐賀県鳥栖市本鳥栖町235-11)

内 容:九州シンクロトロン光研究センターと連携して、中性子と放射光の相補的利用技術をご紹介します。

### ●MLFシンポジウム

開催日:3月29日(月)~31日(水)

場 所:いわさき量子ビーム研究センター(IQBRC)

内 容:平成20年12月から共用を開始したJ-PARC/MLFの中性子実験装置を利用した学術および産業利用の成果をご紹介します。

### ●茨城県ビームライン成果報告会

開催日:2月18日(木)13:00~14:30

場 所:東京ビッグサイト(東4,5,6ホール)(東京都江東区有明3-11-1)

内 容:平成20年12月から共用を開始した茨城県の2台の中性子回折装置を利用した産業利用の成果をご紹介します。

### ●茨城県中性子利用促進研究会報告会

開催日:3月30日(火)16:55~18:55

場 所:いわさき量子ビーム研究センター(IQBRC)

内 容:茨城県研究会の平成21年度の活動成果をご報告します。

### 中性子産業利用推進協議会 季報【09年・冬】Vol.5

発行日 2009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/