

## 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

## 海外施設との連携によるMLFの将来展開

J-PARCセンター物質・生命科学ディビジョン長 新井 正敏

2010年度より物質・生命科学実験施設(MLF)ディビジョン長の重責を仰せ付かることとなり、施設の在りよう日々考えを巡らせているところです。就任の際にセンター長から言われたことは、「MLFからサイエンスを出すことを第一にお願いしたい」ということでした。MLFが現在の施設となるためには、KEKのKENSでの経験や人材育成は当然のことですが、1986年に開始された日英協力により英国・ラザフォード・アップルトン研究所ISIS施設を利用して、我が国の多くの若者が学ぶことができたことが非常に大きかったと思います。一方、ISISの当事者からはKENSに学んだことが大きかったと言っていました。中性子源や実験装置に関わる技術的なことばかりではなく、施設の運用の仕方、組織・体制、利用者支援、そしてサイエンスの創造に至るまで多岐にわたっています。現在、MLFはその経験を生かし、それらを日本風にアレンジして進めつつある途上です。

共用施設におけるサイエンスの展開は2つの方向から攻める必要があると思っています。一つには、応募された一般課題研究自身が十分質の高いものになることです。もちろんそのために施設は利用者の支援を十分行う必要があります。二つ目は、施設のインハウススタッフ自身が先導的な研究を展開することです。よく言われることですが、装置性能を熟知したインハウススタッフがこれまでにない斬新な研究例を示すことこそが、利用者を引き付ける大きな原動力となります。もちろんそればかりではありませんが、スタッフの中から世界的な研究者が育ってくれることを期待し

ています。そして、大学や企業の研究者にMLFのスタッフになりたいと思っただけのことができれば、人材流動の輪が回転し始め、施設—大学—企業間の人事交流が始まると同時に質の高い研究がどちらの組織でも展開することになると考えています。

再びISISの例を出して恐縮ですが、ISISのスタッフに多くの世界レベルの研究者がおり、また、ケンブリッジ大やオックスフォード大の教授となって出て行ったスタッフも多くいることがそのよい例を示しています。MLFをこの域にまで高揚させることが私に課せられた仕事であると思っています。つまり、産業界を含めた利用支援による研究の展開、そして自身の研究の展開です。このような方向性を持った人材育成、施設運営を進めたいと考えています。もちろん、最高のサイエンスを出すためには、施設はその持ちえる最高性能を発揮させ、安全に稼働させることは当然のことです。J-PARCの建設とその完成はこの施設の進む道程の一里塚でしかありません。今後、この施設から質の高い研究成果が学術研究、産業応用研究に出て初めてMLFの重要性・有用性が示されることとなります。したがって、運用期に入ったこれからこそが真価を問われる正念場です。

最後に、J-PARC/MLFが我が国の社会に貢献するばかりではなく、特にアジアの近隣諸国の発展に対しても重要な役割を果たせるよう進めて行きたいと思えます。実際、2008年に発足したアジア・オセアニア中性子科学会(AONSA)の事務局は海外からの要請もありMLFに設置されています。皆さんの要望に十分耳を傾け、学術界と産業界の両方にとって魅力ある施設にすることを心がけたいと思えます。

## 物質の構造解析と材料機能

(株)豊田中央研究所 先端研究センター 福嶋 喜章

正確ではありませんが、「異常構造を有する液体金属の物性」というのが、指導教官からいただいた修士研究の題目でした。「異常構造」の意味は十分には理解できませんでしたが、いまだによく解りませんが、「異常構造を有する金属」はGaで、物性はパルス中性子回折による動径分布関数解析でしたので、「液体ガリウムのパルス中性子回折による構造解析」が私の修士論文のテーマでした。この課題の中の「物性」は小さな和英辞典には載っておらず、東大の物性研究所の英語名では"Solid State Physics"が充てられていました。ここで登場した「物性」、「構造」さらに「性質」、「特性」などの単語が現在の所属企業に入社して以来、自分自身の頭の中で混乱しつつ材料の研究・開発を続けています。

ある「特性」を有する材料を開発していて、所望の特性が得られない時に、その「構造」や「性質」を調べるにより基礎に立ち返って考え直す。このような表現はよく目や耳にします。しかし、「期待した特性を有する物質が得られなかった時、その物質の「キャラクターゼーション」に逃げて、精神を安定させていた」のではないかと私自身反省しています。したがって、「キャラクターゼーション」の重要性を否定はしないが、周囲の人たちに推奨することはしませんでした。J-PARCが完成間近になった2005年頃までは、再び「中性子」関連の仕事に関わることになるとは全く

予想していませんでした。むしろ、このような“金喰い虫キャラクターゼーション”反対派に近かったかもしれません。

最近、燃料電池の研究・開発に関わる機会がありました。この仕事の中では「構造」を知りたい、知る必要があるという声をよく耳にしました。ここで言う「構造」は電子・原子・分子レベルのものではなく、中性子あるいはX線ラジオグラフィ、残留応力などに関連するスケールの構造が大部分でした。しかし、機械・建築・土木設計での「構造」ではなく、原子・分子レベルと密接に関連した「構造」を知りたいという要求であり、「空間・時間分解能」が常に話題になっています。この分野での設備の充実と技術進歩は、燃料電池に限らず産業界が特に望むところで、3月末のMLFシンポジウムでも興味ある報告がありました。

実用化に向けて大きな進歩をした燃料電池も、さらにあと一步のブレイクスルーが必要とされています。ラジオグラフィの結果と連結できる、より微細な構造や運動解析が有機的に繋がることで、本質に近づくことができると期待しています。しかし、このような直接的アプローチばかりではなく、機能を発現する構造を常に関係付けて観る必要があります。そういう意味で、私は酸化酵素の構造解析を茨城県生命物質構造解析装置で試んでいます。中性子利用のみで、すばらしい機能と構造との関連を理解できるわけではありません。この協議会の多くの機能が、SPRING-8なども含めた、すべての先端計測・解析手段を活用する横断的プラットフォームへ発展的に吸収される日がくることを望んでいます。

# 中性子実験装置の紹介

## ●J-PARCの実験装置

### 冷中性子ディスクチョッパー型分光器AMATERAS(BL14)

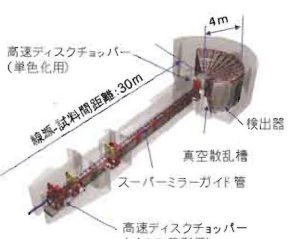
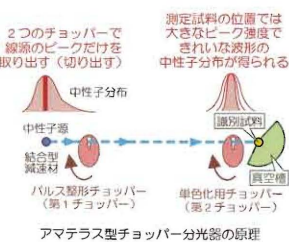
物質・生命科学ディビジョン 中性子利用セクション  
中島 健次・河村 聖子

J-PARC物質・生命科学実験施設に設置された冷中性子ディスクチョッパー型分光器AMATERASは、物質内部で起こる原子単位のミクロな運動を測定する中性子非弾性散乱装置に分類されるもので、「四季」2009年秋号(Vol.4)で紹介された装置である四季と同じチョッパー型分光器と呼ばれる種類の装置です。AMATERASは、中性子が測定する運動の中でも他の装置が測れるものよりもゆっくりとした動き、液体となった原子、分子の運動、液体や固体の中で原子、分子が拡散していく様子や高分子の一部が振動する様子を探ることができます。さらにはミクロな原子の並び方による制約や微妙な量子力学的条件で起こる、普通の測定ではすぐに消えてしまうようなわずかな力が原子や原子磁石(スピン)に働きかける様子を調べることもできます。ゆっくりとした動きは、非常にエネルギーの低い運動です。それらを観測するためには、高いエネルギー分解能での測定が必要となります。AMATERASでは、高分解能、なおかつ、高強度で微小シグナルの高精度な観測を可能とするためのいくつかの工夫がなされています。例えば、AMATERASの大きさもそのひとつです。AMATERASは、中性子源から試料まで30m、試料から検出器まで4mという、比較的大きな装置です。これは、中性子を長い時間飛行させて中性子の飛行にかかった時間を精度よく測定するためです。パルス中性子を利用した装置では、この飛行時間の変化から試料と中性子のエネルギーのやりとりを測定するため、この飛行時間を精度よく測ればエネルギーも精度よく測ることができます。

AMATERASのもっとも大きな特徴は、通常のチョッパー型分光器では、1台の単色化用チョッパーを使用するのに対して、単色化用チョッパーと同等の性能を持つ2台目の

チョッパーを中性子源の近くに設置していることです。J-PARC/MLFの強力な中性子源の中でも特に強度の強い結合型減速材からの中性子ビームのピーク部分を、この2つのチョッパーを通して自在に切り出すことで、高いピーク強度を活かしたまま、パルスの幅を狭く、また、綺麗な対称形にして利用することで、微小シグナルの高精度測定を実現しています。このAMATERASの心臓部となるチョッパーには「四季」2009年春号(Vol.2)で紹介された新型の高速ディスクチョッパーが用いられています。この他、高効率の測定が可能のように、四季でも採用されている複数の異なる入射エネルギーを利用できる機能を装備しています。

AMATERASという装置の名前は、装置がいろいろな現象をあますところなく明らかにすること、つまり、「あまた照らす」「あまねく照らす」ことを目指しているところから付けられました。AMATERASは、2009年春に完成し、同年5月27日に初めて中性子ビームを受け入れました。その後、機器調整を続けながら2009年12月からは一般課題の実験でも、AMATERASの性能を活かした興味深い結果も得られており、間もなくこれらの成果もご紹介できると思います。



## ●JRR-3の実験装置

### 集光型超小角散乱実験装置SANS-J-II

日本原子力機構 量子ビーム応用研究部門  
研究主幹 小泉 智

研究用原子炉JRR-3の集光型偏極中性子超小角散乱装置(SANS-J-II)は数度以下の低角度に散乱した中性子を測定し、物質内部の階層構造とそのダイナミクスをメゾスケール(nmから $\mu\text{m}$ )で調べる装置です。電子顕微鏡やX線小角散乱では観測が難しい、水を含んだソフトマターや生体試料などの基礎研究に威力を発揮します。そういう意味から、わたしたちはこの手法を物質があるがままの状態で評価することが出来る「生きたままを見る分析手法」としてその利用を促進しています。産業利用においても、タイヤなどのゴム材料、燃料電池の高分子電解質膜、マイクロエマルジョンやゲル、合金やシリコン単結晶の不純物、磁気材料、原子炉材料の腐食などに関する研究も行われており、その利用は多岐に渡っています。

2003年からの3ヶ年で大規模な改造を行い、集光レンズ、偏極素子、高分解能2次元検出器を導入し、2005年にSANS-J-IIが完成しました。その結果、従来に比べて1/10の大きさに集光された入射中性子ビームを用いて、波数(q)分解能を小角側へ1桁向上させ、この装置だけで $3 \times 10^{-4} < q < 2 (\text{\AA}^{-1})$ という「5桁の空間スケール」を観測することが可能となりました。さらに、棒状の $^3\text{He}$ 検出器(管径8mm、

有感長650mm)を面状に並べることによりマルチ計測型2次元検出器を構成して、高感度な小角散乱計測を実現しました。また、偏極中性子を利用した磁性研究やスピン偏極コントラスト変調法によるソフトマター研究を展開しています。

図1にSANS-J-IIの外観を、図2には2010年に導入した新しい2次元検出器の外観を示します。また、図3にはアクチン細胞骨格のモデル溶液を測定して得られた小角散乱の散乱パターンを示します。この結果から、直径が300nm程度のプロトバンドルというサブユニットが存在することによりアクチン細胞骨格の階層構造が成り立っていることが新たに分かりました。

「分子細胞生物学」によればこのような細胞の変形や運動

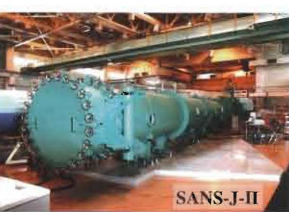


図1 SANS-J-IIの外観(2次元検出器を納める真空容器部分)



図2 新しい2次元検出器の外観平成22年3月に完成したマルチ計測型2次元検出器(背面)と超小角散乱用の高分解能2次元検出器(手前)。データ取得の方式はJ-PARC方式(DAQミドルウェア)によるイベントモードです。

は、細胞内にあるタンパク質(アクチン)が細胞骨格と呼ばれる束状構造をつくり、細胞膜を内側から押す「糸状仮足」によるとされます。そこでアクチン(ホタテガイ)/強電解性人工高分子(アクチン結合タンパク質モデル)を用いて溶液(pH=7.4)を作り、刺激物質となる塩化カリウム(KCl)の濃度を覚えて観察しました。図3に示した蛍光顕微鏡観察によると、KCl濃度が低いときには、アクチンバンドルは数十マイクロメートルのサイズの球状ですが、KCl濃度を上げると、長さが数百マイクロメートルの棒状に変化して行きます(有限サイズ凝縮)。中性子小角散乱によれば顕微鏡で見たバンドル内部にはさらに細い束(プロトバンドル)が存在して

いることが明らかになりました(階層凝縮)。塩濃度が低いときにプロトバンドルは直径が30nmほどですが、塩濃度を上げると直径が300nmと太くなります。そのためプロトバンドルは熱揺らぎに勝り、曲がり難くなってバンドルの形が球状から棒状になると考えられます。

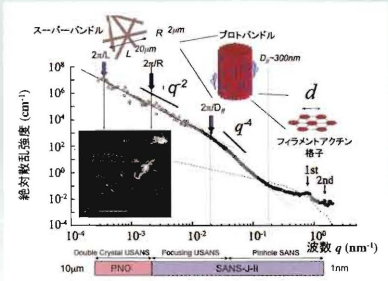


図3 アクチン細胞骨格の超小角散乱パターン(Ref: T. Masui et al. Soft Matter 2010-2030, 6 (2010))

## 研究トピックス

### ●J-PARC

#### 茨城県生命物質構造解析装置(iBIX)用結晶構造解析ソフトウェアの開発

日本原子力研究開発機構 量子ビーム応用研究部門  
研究副主幹 大原 高志

茨城県と原子力機構は、茨城県生命物質構造解析装置(iBIX)において使用する結晶構造解析ソフトウェア「STARGazer」を開発し、有機結晶の中性子構造解析ができるようになりました。

iBIXはJ-PARCの強力なパルス中性子源に対応する、新方式の中性子検出器(波長変換ファイバ型2次元シンチレータ検出器)と、今回新たに開発した結晶構造解析処理ソフト「STARGazer」を備えています。中性子を利用すると水素原子や水分子を良く観察できる性質を利用して、医薬品、食品・農産物、有機材料、高分子材料、有機・無機デバイス、有機燃料電池など幅広い産業分野での製品開発や先端的研究への応用が期待されています。

平成22年度現在、14台の検出器を装備した茨城県生命物質構造解析装置(iBIX)を図1に示します。また、iBIXを用いて有機結晶の中性子構造解析を試みた結果の一例を図2に示します。炭素、窒素、酸素原子と重水素原子の原子核密度を青色で、水素原子の原子核密度を赤色で示してあ

ります。水素原子の結合距離も化学的に妥当な結果であり、十分な精度を持つ構造解析が行われたことを確認しました。

測定に要した時間は3日程度ですが、検出器の増設を計画していることやJ-PARCの出力も増加する予定であることなどから、平成25年頃には有機結晶で半日程度、タンパク質結晶でも3日程度で全データを取得し、構造解析を行うことができるようになる見通しです。今後、J-PARCの出力増加に伴い、より小さな結晶についても測定が可能になり、中性子構造解析を用いた有機分子や生体高分子の研究が飛躍的に進展することが期待されます。



図1 14台の2次元検出器を装備した茨城県生命物質構造解析装置iBIX

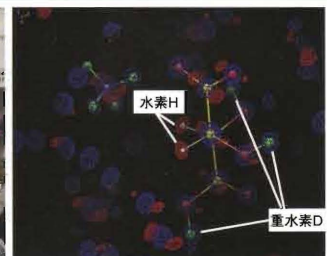


図2 重水素化された酒石酸水素原子モニウム結晶の原子核密度分布

### ●JRR-3

#### 中性子を用いて水と氷の強誘電性を解明—身近な水・宇宙の水—

日本原子力研究開発機構 量子ビーム応用研究部門  
研究副主幹 深澤 裕

蛇口から流れる水に、帯電したストローを近づけると、水は引き寄せられます(図1)。これは、水がプラスとマイナスに分かれて強誘電性(Ferroelectricity)を有することにより生じます。水とストローの間のクーロン力がとても強いので、水は重力に逆らって曲がるのです。

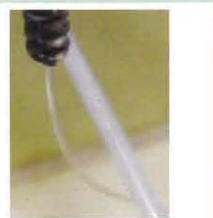


図1 強誘電性の水

強誘電性が現れる理由は、プラスの電荷をもつ水素が同じ方向に揃うからです(図2)。中性子を使えば水素が揃っているのかどうか詳しく分析できます。原子力機構では、JRR-3の粉末回折装置と三軸分光器を用いて様々な条件下の水と水を調べてきました。

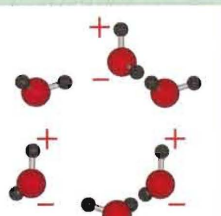


図2 水における電荷の向き

最近、-11.3℃以下で強誘電性の水XIが存在することがわかりまし

た。従来考えられているよりも高い温度で水XIが発生したので、土星から冥王星(図3)、さらに遠方の小天体といった広い領域にとっても沢山の水XIが存在すると考えています。

また、8,000気圧下の水の中性子回折により、それは別の種類の強誘電体であることがわかりました。さらに、細孔の中に存在する水の水素が揃っていることも散乱実験からわかりました。水を狭い空間に押し込めると、室温であっても、水素の揃った水になることは理論的にも示されています。

中性子の実験をすればするほど、水素は揃いやすいものなのだと感じてきました。強誘電性は身近な水から宇宙の水まであちらこちらで作用しています。その作用を深く理解するとともに、これを利用する研究も進めています。イオンを吸着させて脱塩したり、水素を動かして電気を得たりする等、面白い利用法があります。

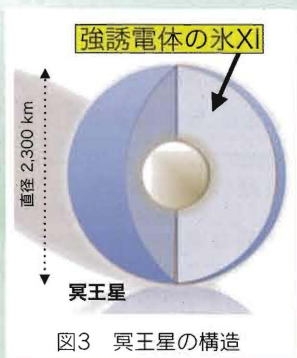


図3 冥王星の構造

## 研究会活動報告

### ●薄膜・界面研究会

茨城県中性子利用促進研究会 中小企業利用研究会 界面構造評価法分科会  
代表 山崎 大(日本原子力研究開発機構)

茨城県中性子利用促進研究会の界面構造評価法分科会と合同で、2010年3月2日(火)に八重洲ホール(東京)において第1回公開研究会を開催しました。参加者は約20名でした。J-PARCでは水平反射率計が最近稼動を開始したのに続いて垂直反射率計の建設も決まったこと

から、中性子反射法による界面構造研究の機会が大きく広がると期待されます。そこで、本研究会では新しく建設される垂直中性子反射率計の紹介に加えて、平野辰巳氏(日立製作所)、原田雅史氏(豊田中研)、奥田浩司准教授(京大)に、磁性薄膜、高分子薄膜、面内構造解析という中性子反射率計の活躍する分野についてそれぞれ研究トピックスを紹介していただきました。

### ●残留ひずみ・応力解析研究会

主査 秋庭義明(横浜国立大学)

2010年3月9日(火)に機械振興会館(東京)にて開催しました。日本機械学会材料力学部門、SPRING-8利用者懇談会、茨城県中性子利用促進研究会、日本材料学会X線材料強度部門委員会との合同開催であり、参加者は31名でした。中性子法および放射光法を利用した一般的な

応力測定法や現状設備の説明、さらには産業利用に関連したホットな話題を含めて合計10件の話題提供をいただき活発な議論が行われました。放射光法では単色X線と白色X線の使い分け、中性子では角度分散法と飛行時間法の使い分けなど、今後の研究推進に当たり有意義な議論となりました。

### ●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)

2010年3月25日(木)テクノ交流館リコッティ(東海村)にて、茨城県中性子利用促進研究会の「創薬標的タンパク質の構造解析」分科会、「電子伝達タンパク質の構造解析」分科会、ならびにJ-PARC/MLF利用者懇談会の生命物質分科会と合同で生物構造学研究会を開催しました。参加者は21名でした。

今回の研究会では、タンパク質の機能発現に伴うプロトン移動が伴うものをトピックスとして集めました。奈良先端大学院大学の土上保祐生先生から光受容体タンパク質であるPhotoactive Yellow Protein(PYP)の光受容に伴う立体構造の変化、東京工業大学の谷弘之先生からバク

テリアロドプシンにおける光受容過程のスペクトルと構造変化に関する最新の知見が紹介されました。また、タンパク質と水の相互作用の解明も中性子科学における重要な研究分野です。水との相互作用により氷結を抑制する不凍タンパク質の構造と機能に関する最新の知見も紹介されました。これらの分野の研究においても中性子利用への期待が高まっていることがわかりました。今後の中性子利用研究の進展が期待されます。また、茨城県産業利用コーディネーターである大橋裕二先生から茨城県生命物質構造解析装置の現状、原子力機構の栗原和男研究副主幹からJRR-3の中性子回折装置の運用状況、同じく安達基泰研究員から最新の中性子利用技術がそれぞれ紹介され、活発な議論が行われました。

### ●第1回MLFシンポジウム

3月29日(月)~31日(水)にいはらき量子ビーム研究センターにおいて、第1回MLFシンポジウムが開催され、約180名の方が出席されました。永宮J-PARCセンター長と下村KEK物構研所長の開会挨拶、ならびに、高谷文科省量子放射線研究推進室長の来賓挨拶があり、続いて、細野東工大教授と多田大阪府立大学教授による特別講演がありました。施設・実験装置の紹介のあと、6つのオーラルセッション(22件)とポスターセッション

(39件)がありました。産業利用のセッションでは、グルタミン酸の結晶構造解析、光触媒の結晶構造解析とリチウムイオン電池材料の構造解析の3件の中性子回折実験結果の報告がありました。

31日(水)の昼食の時間帯に「MLFへの要望」というセッションが設けられ、当協議会とJ-PARC/MLF利用者懇談会ならびに茨城県の3機関が実験施設や運営方法などに関して多くの要望を表明しました。

## 講習会の開催報告

### ●中性子回折実習+研究会(レベル2.5講習会)

平成22年度にJRR-3の施設共用制度の非公開利用枠において、SUIREN、SUNS-1ならびにHRPDの3台の装置についてマシンタイムをそれぞれ1日確保しました。このマシンタイムを使って、中性子回折実習を行うとともに研究会を開催いたします。第1回目として、8月2日~3日に、HRPD高分解能粉末中性子回折装置を利用して回折データの取得と

結晶構造解析を実習するとともに、3日午後に物質科学研究会/電池材料研究会を開催します。研究会では結晶構造解析に関係する講演がありますので、可能であれば、実習の報告をお願いする予定です。利用料金は研究会活動の一環として行うために無料です。詳細につきましては事務局にお問い合わせください。

## お知らせ

### ●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(東京)602B+C+D  
問合せ先:協議会事務局  
ご案内は別途会員宛でご連絡致します。

### ●副会長、会計幹事の変更について

- 副会長の交替  
旧副会長:瀧本正民  
株式会社豊田中央研究所 代表取締役  
新副会長:内山田竹志  
トヨタ自動車株式会社 代表取締役副社長
- 会計幹事の交替  
旧会計幹事:河口雅弘  
日本アドバンステクノロジー株式会社 相談役  
新会計幹事:富田祐介  
日本アドバンステクノロジー株式会社 代表取締役

### ●J-PARC施設公開について

- 今年も原子力機構の東海研究開発センターと合同で、J-PARC施設公開を行います。
- 日時:8月28日(土)9:30~16:30(入場は15:30まで)  
雨天決行、入場無料
- |                                       |                                   |
|---------------------------------------|-----------------------------------|
| ○公開施設                                 | ○アクセス                             |
| ・リニアック(前回未公開だった地下の陽子ビームトンネルもご覧いただけます) | ・東海駅から送迎バスを運行します。                 |
| ・3GeVシンクロトロン                          | ・いはらき量子ビーム研究センターなどに大規模な駐車場を準備します。 |
| ・50GeVシンクロトロン                         | ・J-PARC内は循環バスを運行します。              |
| ・物質・生命科学実験施設                          |                                   |
| ・ハドロン実験施設                             |                                   |
| ・ニュートリノ実験施設                           |                                   |
- その他
- ・原子力科学研究所、核燃料サイクル工学研究所、アトムワールドも同時に公開していますので、是非お立ち寄りください。
  - ・構内は食堂を始め、さまざまな模擬店も営業します。
- 連絡先:029-284-3715

### 中性子産業利用推進協議会 季報【10年・夏】Vol.7

発行日 2010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 いは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/