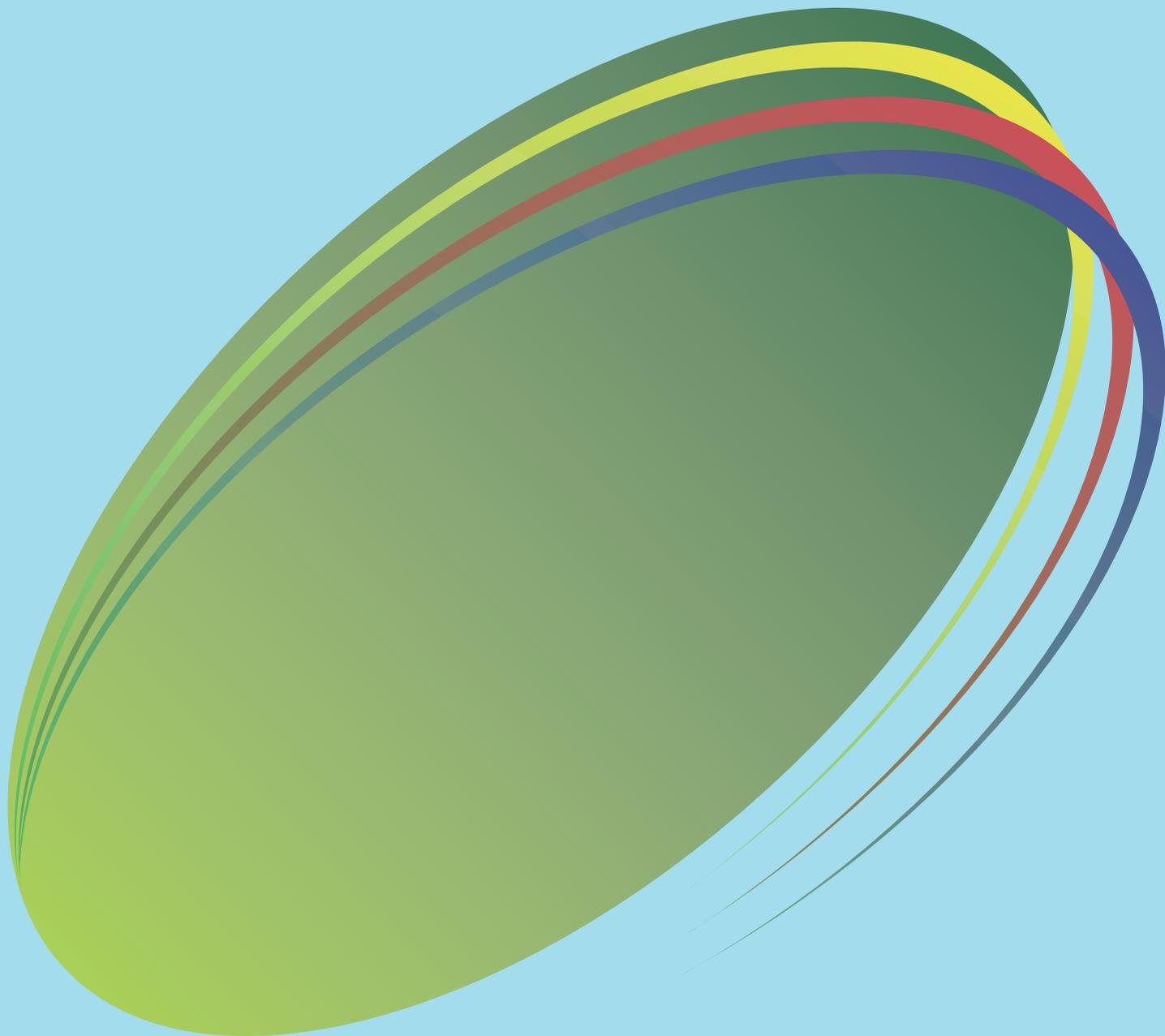


SPring-8

INFORMATION
[利用者情報]

ISSN 1341-9668
SPring-8 Document
D2011-006

Vol.16 **No.3** 2011.8




JASRI

SPring-8 Information

目次

CONTENTS

理事長室から 一祝・X線自由電子レーザー発振一

Message from President - SACLA Lased! -

(財)高輝度光科学研究センター 理事長
President of JASRI

白川 哲久
SHIRAKAWA Tetsuhisa

177

1. 最近の研究から / FROM RECENT RESEARCH

コンプトン散乱による量子状態イメージング

Quantum State Imaging by Compton Scattering

(財)高輝度光科学研究センター 利用研究促進部門
Research & Utilization Division, JASRI

櫻井 吉晴
SAKURAI Yoshiharu

178

巨大な負の熱膨張を示す鉄化合物 $\text{SrCu}_3\text{Fe}_4\text{O}_{12}$

Giant Negative Thermal Expansion in a Novel Iron-based Compound $\text{SrCu}_3\text{Fe}_4\text{O}_{12}$

愛媛大学大学院 理工科学研究科
Graduate School of Science and Engineering, Ehime University

山田 幾也
YAMADA Ikuya

186

発光性希土類錯体の構造と光化学

Structure and Photochemistry of Luminescent Rare-Earth Complexes

青山学院大学 理工学部
College of Science and Engineering, Aoyama Gakuin University

長谷川 美貴
HASEGAWA Miki

高橋 勇雄
TAKAHASHI Isao

191

Long-term Proposal Report: Structural Study of Regulated Intramembrane Proteolysis

Center for Structural Biology, School of Medicine and School of Life Sciences, Tsinghua University

Xiaochun Li
Nieng Yan

197

2. ビームライン / BEAMLINES

グリーン・ナノテク研究支援のための放射光分析基盤の整備

(BL37XU、BL39XU)

The SR Nano-Beam Analysis Center for Green/Nano-technologies (BL37XU, BL39XU)

(財)高輝度光科学研究センター 利用研究促進部門
Research & Utilization Division, JASRI

鈴木 基寛
SUZUKI Motohiro

寺田 康子
TERADA Yasuko

(財)高輝度光科学研究センター 光源・光学系部門
Light Source and Optics Division, JASRI

大橋 治彦
OHASHI Haruhiko

201

3. 研究会等報告 / WORKSHOP AND COMMITTEE REPORT

第3回Accelerator Reliability Workshop (ARW2011)に参加して

Report on 3rd Accelerator Reliability Workshop

(財)高輝度光科学研究センター 加速器部門
Accelerators Division, JASRI

高雄 勝
TAKAO Masaru

(財)高輝度光科学研究センター 制御・情報部門
Controls and Computing Division, JASRI

佐治 超爾
SAJI Choji

(財)高輝度光科学研究センター 加速器部門
Accelerators Division, JASRI

大熊 春夫
OHKUMA Haruo

210

International Conference on Materials for Advanced Technologies
(ICMAT 2011) 報告
Conference Report on International Conference on Materials for Advanced
Technologies (ICMAT 2011)

(財)高輝度光科学研究センター 利用研究促進部門
Research & Utilization Division, JASRI

金 廷恩
KIM Jungeun
藤原 明比古
FUJIWARA Akihiko 213

第11回SPring-8夏の学校を終えて
The 11th SPring-8 Summer School

SPring-8夏の学校実行委員会 委員長

八木 直人
YAGI Naoto 216

4. SPring-8 通信 / SPring-8 Communications

第26回共同利用期間 (2010B) において実施された利用研究課題
2010B Proposal and User Statistics

登録施設利用促進機関 (財)高輝度光科学研究センター 利用業務部
Registered Institution for Facilities Use Promotion, User Administration Division, JASRI 219

2008A期実施開始の長期利用課題の事後評価について - 1 -
Post-Project Review Results of Long-term Proposals Starting in 2008A -1-

(財)高輝度光科学研究センター 利用業務部
User Administration Division, JASRI 224

「量子ビーム施設震災優先枠」における被災量子ビーム施設ユーザー支援課題の
実施について

— 東日本大震災で被災した量子ビーム施設の利用者への支援 —
Affected Facilities Support Proposals Carried out under the Priority Program
for Disaster-Affected Quantum Beam Facilities
- Support for Quantum Beam Research Facilities Affected by the Great East Japan Earthquake -

(財)高輝度光科学研究センター 利用業務部
User Administration Division, JASRI 225

SPring-8 運転・利用状況
SPring-8 Operational Status

(財)高輝度光科学研究センター 研究調整部
Research Coordination Division, JASRI 226

論文発表の現状
Statistics on Publications Resulting from Work at SPring-8

(財)高輝度光科学研究センター 利用業務部
User Administration Division, JASRI 228

最近SPring-8から発表された成果リスト
List of Recent Publications

(財)高輝度光科学研究センター 利用業務部
User Administration Division, JASRI 230

5. 告知板 / ANNOUNCEMENT

最近のSPring-8関係功績の受賞
SPring-8 Related Achievements

..... 248

理事長室から

－祝・X線自由電子レーザー発振－

財団法人高輝度光科学研究センター
理事長 白川 哲久

去る6月7日午後4時10分、予ねて調整運転中であったXFEL施設が見事にX線自由電子レーザーを発振しました。

ご承知のように、このXFEL施設は国家基幹技術の一つとして、我が国の最先端技術の粋を結集して2006年度から5ヵ年の計画で整備が進められ、施設としては昨年度末(2011年3月)までに完成、公募により愛称をSACLA (SPring-8 Angstrom Compact Free Electron Laser: サクラ)と決めました。SACLAはその後調整運転を進め、運転開始からわずか3ヶ月という短期間で波長1.2 Åという、先行する米国のXFEL施設の記録を凌ぐ世界最短波長のX線レーザーの発振に成功しました。さらに7月13日には0.8 Åのレーザー発振を確認するなど、より高強度・短波長のX線レーザーを安定的に供給できるよう調整を進めており、今年度内(2012年3月)には開かれた施設として供用運転の開始を目指しています。これまでこのXFEL施設整備計画に心血を注いでこられた理化学研究所播磨研究所のスタッフの方々をはじめ、ご関係の皆様方のご努力に心から敬意を表したいと思います。

SACLAの利用については、かねてから文部科学省においてその戦略的な利用推進に向けて、専門家や有識者からなる「X線自由電子レーザー利用推進戦略会議」が開催され、利用研究の重点分野の基本的な考え方等が議論されており、その結果を中間的に取り纏めた報告書が文部科学省のホームページに公表されています。

(http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shinkou/022/gaiyou/1308960.htm) 詳細はこの中間報告をご参照いただきたいと思います。実はJASRIは既に今年度からSPRING-8だけでなく

SACLAについても特定大型放射光施設の登録施設利用促進機関として位置づけられており、この中間報告で述べられている登録機関の役割はJASRIが果たすことになっています。例えば、JASRIでは既に共用法に基づくSACLAのための選定委員会を設置し、去る8月5日には第一回の委員会を開催して具体的な利用制度のあり方等の検討を始めたところです。JASRIとしては、上記中間報告に示された諸点、例えば、「SPRING-8でのノウハウを活かしつつ、利用者本位の運営を基本とする。・・・登録機関は、設置者や課題提案者等と協力することにより、SACLAに特化した支援体制の確立を目指す。・・・産業界を含む全てのユーザーが参加するコミュニティにより、利用研究の開拓・推進を図る。・・・」等々を基本としつつ、本年度末の供用開始に向けた制度設計を早急に煮詰めて行きたいと思っています。

SACLAはSPRING-8をはるかに凌ぐ全く新しい光の利用機会を与えてくれます。そこからは、現在はまだ想像の域を出ないような新たなサイエンスの誕生すら予感させます。SPRING-8のキャンパスは、SACLAが戦列に加わることによって文字通り世界随一の高輝度光科学研究のCOEになろうとしています。JASRIはこれまでもSPRING-8で培った経験と人材を提供することによってSACLAの建設整備に大きな貢献をしてきたと自負していますが、これからはさらにその利用面でも大きな役割を果たさなければならないと、覚悟を新たにしているところです。本利用者情報誌の読者の方々にも、SPRING-8に留まらずSACLAの利用研究へも果敢にチャレンジしていただき、世界が刮目するような光科学研究の成果の発信を目指して頂きたいと思っています。

コンプトン散乱による量子状態イメージング

財団法人高輝度光科学研究センター
利用研究促進部門 櫻井 吉晴

Abstract

銅酸化物高温超伝導体 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ は、Sr置換量を増やすにつれて、反強磁性絶縁体相から金属相に至るまで多様な性質を持つ相を示す。Sr原子の化学結合に寄与する価電子数はLa原子より1個少ないので、Sr置換はホール（電子を取り去った後にできる孔）を超伝導体にドーピングする。ホール・ドーピング量によってホール状態がどのように変化するかを明らかにするためにコンプトン散乱実験を行い、ホール状態を運動量密度分布として可視化することに成功した。この結果は、最高の超伝導転移温度を示す最適ドーピングまでのアンダー・ドーピング領域においてホールはO 2p軌道に入るが、最適ドーピングを越えたオーバー・ドーピング領域においてはCu 3d軌道に入ることを示している。本研究は、コンプトン散乱によってホール状態のイメージングに成功した最初の例である。

1. はじめに ー量子状態イメージングー

半導体、バッテリー材料、高分子材料、生体物質など、形として認識できる全ての物は原子により構成されている。この認識は、Demokritosの思想的としての原子論、J. Daltonの近代原子論、そして数多くの実験による検証を経て確立された重要な科学的知識の一つである。物理学者のR. Feynmanは、その重要性について、「もし、何らかの大変動により全ての科学的知識が失われ、たったの一文しか次世代に残せなかったら、どのような一文を残すか？私は原子仮説、すなわち、全てのものは原子からできている、であると思う。なぜなら、この文には、少しの想像力と思考を働かせることによって引き出せる、自然界に関する莫大な量の情報が含まれているからである（筆者意識）」と述べている^[1]。“少しの想像力と思考（原文：a little imagination and thinking）”と切り切るところが偉大な物理学者である。

原子論の基本的な考え方が、物質の存在をこれ以上に分割することのできない最終的な構成要素の集まりとしてみることであったならば、約1 Å (10^{-8} cm) の大きさの原子は最終的な到達点ではない。原子は、さらに約5桁小さい、原子核と電子に分けることができる。複数の電子が原子核の周りにそれぞれの軌道をつくって存在し、その軌道に固有の空間的広がりがある原子の大きさを決めている。原子サイズの世界では、惑星が太陽の周りを回るような

古典的な軌道を考えることはできず、量子論に基づいて、電子の存在確率分布として電子の軌道を想像しなければならない。量子論で記述される状態が量子状態であり、量子状態を電子の存在確率分布として視覚的に表現することを“量子状態イメージング”とよぶことにしよう。

前段では、暗黙の了解として位置空間の存在確率を前提としていたが、運動量空間での存在確率として量子状態を表現することもできる^[2]。例えば、ある軌道上の電子は、原子核近傍では速く、原子核から離れたところでは遅く運動し、ある一定幅の速度分布をしている。速度分布は原子核と他の電子によって作られるポテンシャルで決まるため、それぞれの軌道は特有の速度分布を示す。運動量(p)と速度(v)の関係、 $p = mv$ (m : 質量)、から、速度分布は運動量分布と言い換えることができる。電子の運動量分布は、運動量空間における電子の存在確率であり、ここでは電子運動量密度とよぶことにする。ちなみに、位置空間の電子の存在確率は、電荷密度である。図1にCu 3d原子軌道(z^2)の形状を示す。最大密度の1/3の密度面を描画したもので、電荷密度、電子運動量密度ともほぼ同じ形状をしている^[3]（注1）。すなわち、電子運動量密度として表示することで、電荷密度と同様に、直感的に軌道をイメージすることができる。量子状態を運動量密度としてイメージングすることが本研究のテーマである。

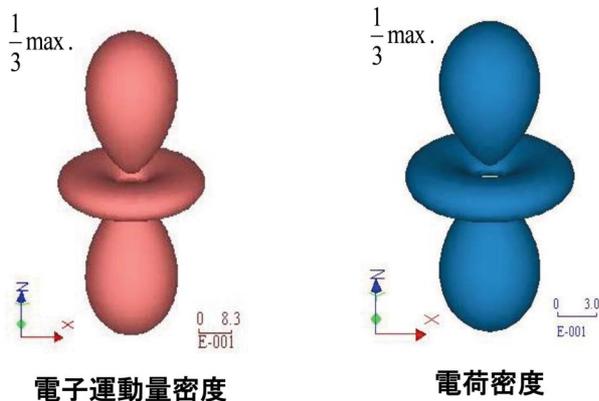


図1 Cu 3d原子軌道の一つ、 z^2 軌道、の電子運動量密度と電荷密度。両密度とも同じ形状をしており、電子運動量密度を用いても軌道に関する直感的イメージが得られる。

(注1：位置空間の波動関数と運動量空間の波動関数はフーリエ変換で結ばれている。原子の波動関数は動径部と方位角部の積で与えられるが、フーリエ変換で変換されるのは動径部だけで、方位角部は位置空間、運動量空間ともに同じ形で共有されている。密度は波動関数の絶対値の2乗で与えられるので、電荷密度と電子運動量密度は同じ方位角部のため同じ形状をしている。)

量子状態イメージングはナノテクノロジーを進展させる重要な測定技術のひとつであると考えられる。Feynmanは、原子や分子を機能を有する基本的な構成部品と見なしてナノスケールの物体を創造する技術を心に描き、1959年のアメリカ物理学会の講演でナノテクノロジーの概念を提唱した。ナノサイズの世界は量子論の物理法則が顔を出す領域であり、原子軌道や分子軌道などの量子状態を可視的に表示する量子状態イメージングは、超伝導などの量子現象に関する知識を深めるだけでなく、量子現象を動作原理とするデバイス開発において必要な測定技術になると期待される。

本記事では、銅酸化物高温超伝導体を取りあげ、超伝導を引き起こすホール(電子が取り去られた孔)の量子状態を運動量密度として表示した研究例を紹介する。その前に、コンプトン散乱について簡単に説明したい。

2. コンプトン散乱

コンプトン散乱は非弾性X線散乱の一つである。コンプトン散乱X線のエネルギー分布からコンプトン・プロファイルが得られる。異なる結晶方位で測定したコンプトン・プロファイルのデータセットから電子運動量密度が再構成される。このプロセスで得られた電子運動量密度を可視的に示すことが、電子の量子状態イメージングである。以下に、なぜコンプトン散乱によって電子運動量密度が得られるかについて説明しよう。

コンプトン散乱は、Arthur H. Comptonが実験的に明らかにし、その現象に正しい解釈を与えたコンプトン効果に由来する^[4]。コンプトン効果は、X線が物質中の電子に当たって散乱されると、一部の散乱X線の波長が、入射X線の波長より長くなる現象である。X線を電磁波とするMaxwellの電磁気学理論では、散乱X線と入射波X線の波長は同じになる。この散乱はThomson散乱とよばれるが、X線を電磁波として考えるとコンプトン効果を説明できない。Comptonは、Einsteinの光量子仮説に基づいて、X線を一定のエネルギーと運動量を持つ粒子(光子)の集まりと考え、このX線の散乱を光子と電子の弾性衝突として取り扱うことで、コンプトン効果を説明した。以下で、光子と電子の弾性衝突を考えよう。

波長 λ のX線の場合、光子のエネルギーは $\hbar\omega = \hbar(2\pi c / \lambda)$ 、運動量は $\hbar\mathbf{k} = \hbar(2\pi / \lambda)\mathbf{e}$ で与えられる。ここで、 c は光速、 \mathbf{e} はX線の進行方向の単位ベクトルである。散乱前と後について、光子のエネルギーを $\hbar\omega_1$ と $\hbar\omega_2$ 、光子の運動量を $\hbar\mathbf{k}_1$ と $\hbar\mathbf{k}_2$ 、電子のエネルギーを E_1 と E_2 、電子の運動量を \mathbf{p}_1 と \mathbf{p}_2 とおく(図2)と、エネルギー保存則と運動量保存則より

$$\hbar\omega_1 + E_1 = \hbar\omega_2 + E_2, \quad (1)$$

$$\hbar\mathbf{k}_1 + \mathbf{p}_1 = \hbar\mathbf{k}_2 + \mathbf{p}_2, \quad (2)$$

を得る。また、電子のエネルギーを運動エネルギーとポテンシャル・エネルギーに分け、

$$E_i = \frac{\mathbf{p}_i^2}{2m} + U_i \quad i=1,2 \quad (3)$$

とおく。ポテンシャル・エネルギー U_i はコンプトン散乱に関与する電子以外の全ての電子と全ての原子核によってつくられたポテンシャルである。弾性衝突で電子が弾き飛ばされた後に、飛ばされた電子1個分の孔を埋め合わせるように周囲の電子群が緩

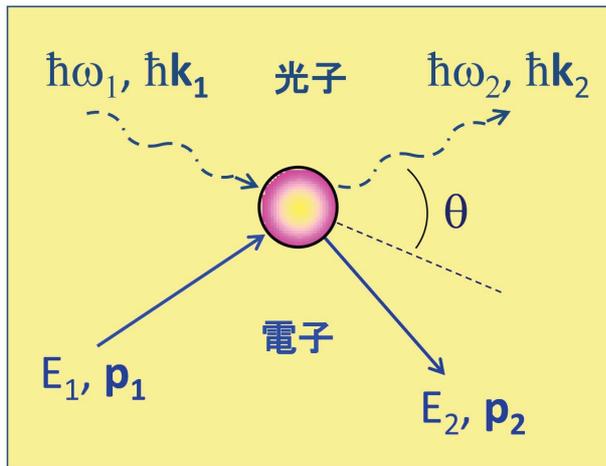


図2 コンプトン散乱の概念図。コンプトン散乱は光子と電子の弾性衝突である。

和し、この緩和に伴いポテンシャル U_2 が時間的に変化する。しかし、光子と電子の衝突は瞬時に起こるため、電子群の緩和が起こりポテンシャルが変化する前に衝突現象は終了するとして、

$$U_1 = U_2 \quad (4)$$

とおく。これをインパルス近似という。以上の(1)~(4)から、散乱後の光子のエネルギー $\hbar\omega_2$ を導くと、

$$\hbar\omega_2 = \hbar\omega_1 - \frac{\hbar^2 |\mathbf{K}|^2}{2m} - \frac{\hbar \mathbf{K} \cdot \mathbf{p}_1}{m} \quad (5)$$

となる。ここで、 $\mathbf{K} (= \mathbf{k}_1 - \mathbf{k}_2)$ は散乱ベクトルである。通常の実験条件では、入射X線エネルギー（すなわち、散乱前の光子のエネルギー $\hbar\omega_1$ ）と散乱角 θ （すなわち、散乱ベクトル \mathbf{K} ）は一定値に設定されているので、第1項と第2項は定数になる。ところが、第3項には、散乱前の電子の運動量と散乱ベクトルの内積 $\mathbf{K} \cdot \mathbf{p}_1$ が含まれているため、1散乱イベントにおける散乱X線のエネルギー $\hbar\omega_2$ は電子の運動量 \mathbf{p}_1 の散乱ベクトル \mathbf{K} への射影成分に依存する。物質中にはアボガドロ数程度（ $\sim 10^{23}$ 個）の電子がそれぞれの速度（すなわち運動量）で運動しているので、繰り返し測定をして得られたコンプトン散乱X線のエネルギー・スペクトル $I(\hbar\omega_2)$ は、電子の運動量分布に対応して幅広になる（図3）。ここで、電子運動量密度 $n(\mathbf{p}) = n(p_x, p_y, p_z)$ とおき、 p_z 軸を散乱ベクトル \mathbf{K} と平行におくと、

$$I(\hbar\omega_2) \propto J(p_z) = \iint n(\mathbf{p}) dp_x dp_y \quad (6)$$

となる。ここで、 $\mathbf{p} = (p_x, p_y, p_z)$ は運動量座標で、 $J(p_z)$ はコンプトン・プロファイルである。 $I(\hbar\omega_2)$ から $J(p_z)$ へは確立された補正等によって直接的に変換される。

量子状態イメージングには、電子運動量密度 $n(\mathbf{p})$ が必要である。電子運動量密度は、異なる結晶方位で測定したコンプトン・プロファイルのデータ・セットから、数値計算的に再構成する。本研究では、直接フーリエ法^[5,6]を用いているが、説明は紙面の都合で省略する。

3. 銅酸化物高温超伝導体への応用例：ホール状態イメージング

超伝導は謎に満ちた自然現象のひとつで、物質を冷やしたときにある温度（超伝導転移温度）で電気抵抗が消失する現象である。超伝導は1911年にヘイケ・カメルリング・オネスによって水銀において発見され、本年はちょうど100周年にあたる。1986年に発見された銅酸化物高温超伝導体は約30 K（ケルビン）とそれまで合金系超伝導体 Nb_3Ge の23 Kを大きく超える超伝導転移温度を示し、その後の材料開発の進展により、135 Kの超伝導転移温度を示す銅酸化物高温超伝導体が見つかった。合金系超伝導体の場合、その超伝導機構は自由に動ける電子と格子振動の相互作用を基礎にしたBardeen-Cooper-Schrieffer (BCS)理論でうまく説明できるが、この従来のBCS理論では100 Kを超える超伝導転移温度を説明することは難しいとされ、銅酸化物高温超伝導体は合金系超伝導体とは異なる機構で超伝導になると考えられている。

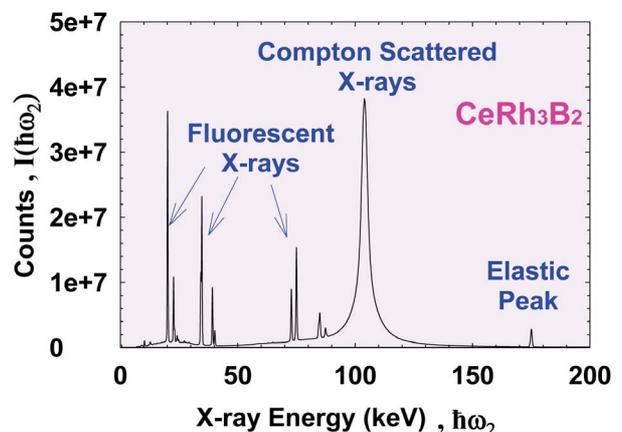


図3 175 keVの入射X線、散乱角178°で測定したX線のエネルギー・スペクトル。103 keVの幅広なラインがコンプトン散乱X線。その他、蛍光X線やThomson散乱X線（175 keV）が検出されている。

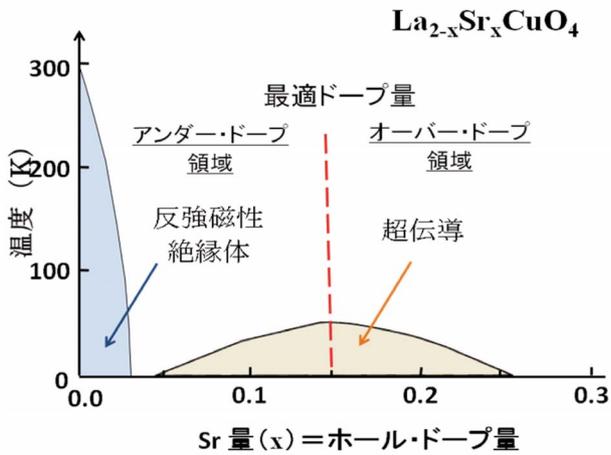


図4 銅酸化物高温超伝導体 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ の相図（横軸：Sr濃度（ホール・ドーピング量）；縦軸：温度）。銅酸化物高温超伝導体には最適なホール・ドーピング量が存在し、そのドーピング量（ $x=0.15$ ）までは超伝導転移温度が上昇し続けるが、それ以上のドーピングは逆効果となり、超伝導転移温度が減少していく。このドーム形状をした超伝導転移温度変化は銅酸化物高温超伝導体の謎のひとつと言われている。

銅酸化物高温超伝導体の謎のひとつは、相図上に現れるドーム状をした超伝導領域である。その相図を図4に示す。今回測定した超伝導体 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ (LSCO) は、絶縁体の La_2CuO_4 にLaをSrで置換することによって超伝導になる。Laは3個、Srは2個の価電子を持っているので、LaをSrで置換すると物質中の価電子数が減少する。これは正電荷を持った孔（正孔：ホール）を超伝導物質にドーピングすることと同じなので、Sr置換のことをホール・ドーピングとよぶ。図4にあるように、ホール・ドーピング量と超伝導転移温度の関係はドーム形状をし、37 Kの最高転移温度を示す最適ドーピング $x=0.15$ を境にして、 $x < 0.15$ の領域をアンダー・ドーピング領域、 $x > 0.15$ の領域をオーバー・ドーピング領域とよぶ。なぜ、超伝導領域がドーム形状をし、最適ドーピングを越えたオーバー・ドーピング領域で超伝導転移温度が下がり、超伝導が消滅してしまうのかは、銅酸化物高温超伝導体の謎の一つとされている。このドーピング形状を説明できる量子状態モデルの構築が高温超伝導機構を理解する上で不可欠であることは言うまでもない。

銅酸化物高温超伝導体の電子構造はどのようになっているのだろうか。その前に、図5にLSCOの原子構造を示す。[001]に長い単位胞であるが、体心位置と8つの隅に、1個のCu原子と6個のO原子か

らなる八面体構造（図6）がある。この八面体のCu 3d軌道とO 2p軌道からなる状態がフェルミ準位近傍にあり、超伝導に関係していると考えられている。図7にその電子状態を簡略に示す。Cu 3d軌道は上下に分裂し、その分裂したCu 3d軌道状態の間にO 2p軌道から成る状態（O 2pバンドとよぶ）が位置している。上に分裂したCu 3d軌道状態には電子は無く、下の状態は電子が詰まっている。x = 0の La_2CuO_4 では、O 2pバンドは電子で詰まっているため、電子が自由に動けず絶縁体である。Sr置換によるホール・ドーピングすると、ホールは八面体の水平面内にあるO 2p軌道に入る。その結果、図7のようにO 2pバンドの上端に電子が抜けた状態ができ、電子が動ける金属になる。アンダー・ドーピング領域から最適ドーピング領域にかけて、O 2p軌道（バンド）に入ったホールが超伝導を引き起こすことがわかっているが、超伝導転移温度が低下し最終的には超伝導状態が消失するオーバー・ドーピング領域ではどうなっているのか

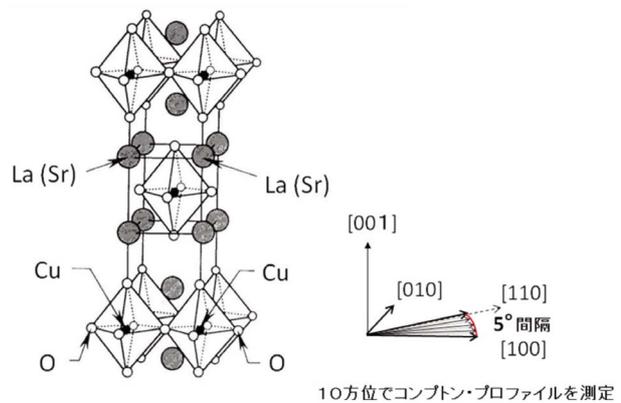


図5 銅酸化物高温超伝導体 $\text{La}_{2-x}\text{Sr}_x\text{CuO}_4$ の結晶構造とコンプトン散乱測定をした結晶方位

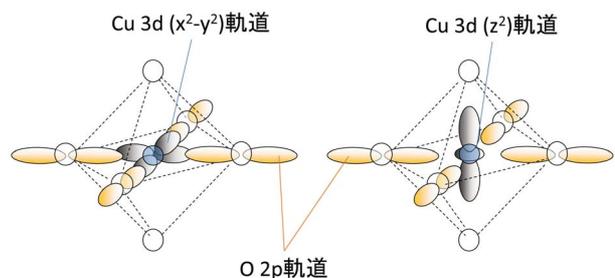


図6 八面体構造内のO 2p軌道とCu 3d軌道。Cu 3d軌道は (x^2-y^2) と (z^2) の2種類がある。アンダー・ドーピング領域ではホールはO 2p軌道に入るが、オーバー・ドーピング領域ではCu 3d軌道に入る。

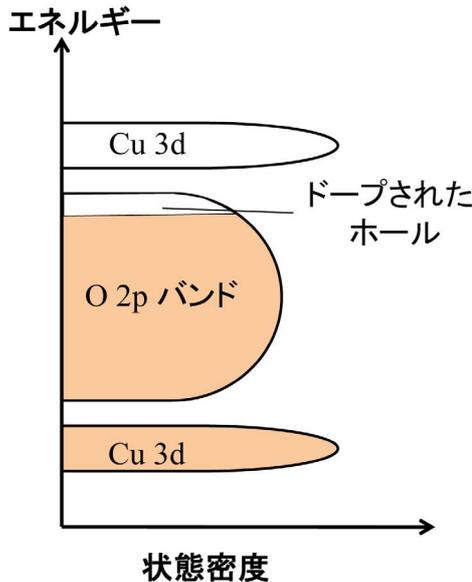


図7 電子状態密度の概略図。Cu 3d軌道は上下に分裂し、その分裂したCu 3d状態の間にO 2pバンドが位置している。アンダー・ドープ領域では、ドーピングされたホールはO 2pバンドの上端に入る。

は未解明のままである。X線吸収測定の結果^[7]は、オーバー・ドープ領域でホールはO 2p軌道に入らないことを示唆している。

コンプトン散乱測定は高エネルギー非弾性散乱ビームライン (BL08W) に設置されたCauchois型X線

スペクトロメータを用いて行われた。115 keVの高エネルギーX線を用いるため、試料表面の影響を受けることなく、バルク状態を測定できる。LSCO ($x=0.0, 0.08, 0.15, 0.30$)のそれぞれの単結晶試料について、[100]と[110]の間を5度間隔で分割した計10方位のコンプトン・プロファイルを測定し、直接フーリエ法によって、[001]に沿って電子運動量密度 $n(\mathbf{p})$ を射影積分した2次元電子運動量密度分布を実験的に求めた。LSCOは2次元性の強い物質のため、[001]に沿って射影積分しても電子構造の特徴は失われない。ホール・ドープ量 (x) が異なる2つの電子運動量密度分布の差をとることで、ホールの運動量密度分布を求めた。図8にアンダー・ドープ領域 ($(x=0.0)-(x=0.15)$) とオーバー・ドープ領域 ($(x=0.15)-(x=0.30)$) におけるホール運動量密度分布を示す^[8]。アンダー・ドープ領域とオーバー・ドープ領域で分布が異なり、両領域間でホール状態が異なることを示している。また、その違いは、2つのタイプ (A-typeとB-type) (図9) として観測された。A-typeは [100]/[010] 方向、B-typeは [110] 方向に沿って現れる運動量分布を与える。

図8のホール運動量密度分布に見られる2つのタイプ、すなわちA-typeとB-typeは2つの分子軌道でおおよそ説明できる。この2つの分子軌道を図10のAとDに示す。第1原理計算によるバンド描像から

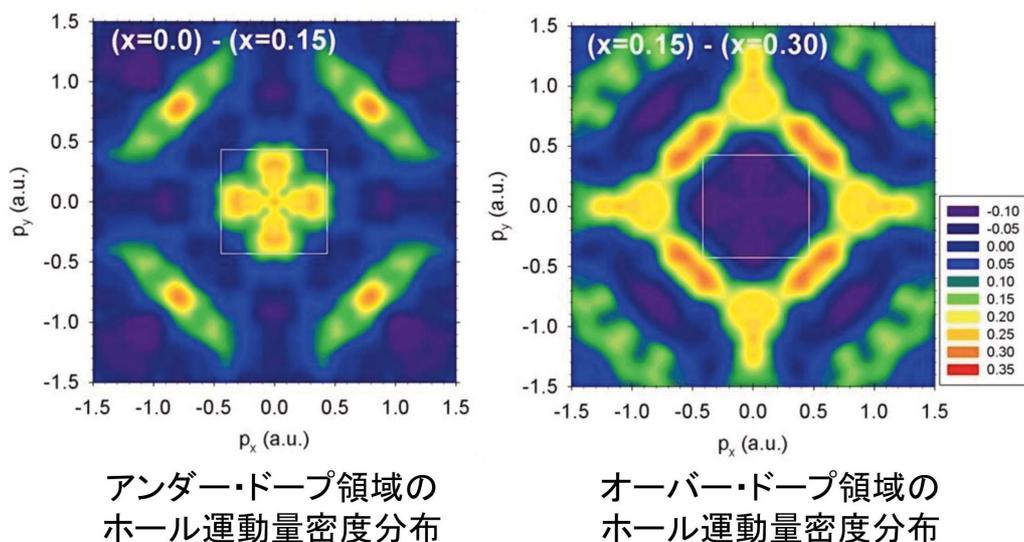


図8 ホール運動量密度分布 (実験結果)。アンダー・ドープ領域とオーバー・ドープ領域で大きく異なることがわかる。この実験事実はそれぞれの領域でドーピングされたホールの状態が異なっていることを示している。赤色、黄色の部分にホールが多数存在していることを表している。四角い白枠は第1ブリルアン・ゾーンを表す。

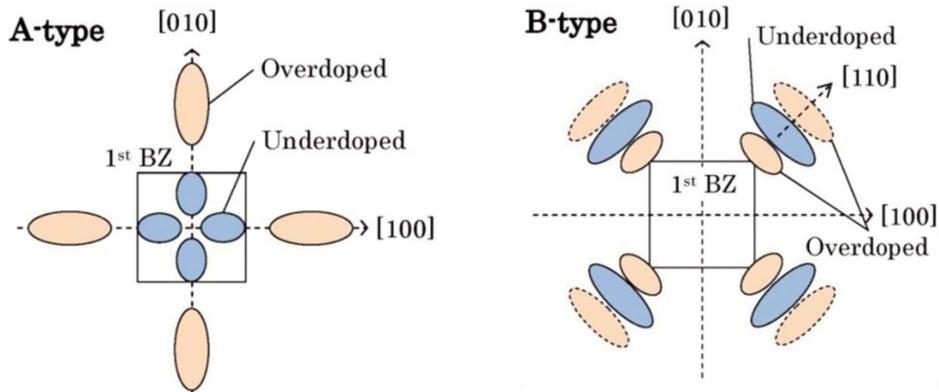


図9 アンダー・ドープ領域とオーバー・ドープ領域のホール運動量密度変化の模式図。A-typeとB-typeの2種類がある。

も、この2つの状態の寄与が示唆されている^[8]。図10Aは、2つの $O\ 2p_x$ と2つの $O\ 2p_y$ からなるZhang-Rice状態^[9] と $Cu\ 3d\ x^2-y^2$ で作られる分子軌道 (A-typeに対応)、図10Dは、2つの $O\ 2p_x$ と2つの $O\ 2p_y$ からなるNode-less状態と $Cu\ 3d\ z^2$ で作られる分子軌道 (B-typeに対応) である。Zhang-Rice状態とNode-less状態の違いは、 $O\ 2p$ 軌道の位相 (+, -) にある。図10BはZhang-Rice状態のみ、図10CはZhang-Rice状態と $Cu\ 3d\ x^2-y^2$ 軌道の混成状態の運動量密度分布を示し、図10EはNode-less状態のみ、図10FはNode-less状態と $Cu\ 3d\ z^2$ 軌道の混成状態の運動量密度を示している。両分子軌道とも、 $Cu\ 3d$ 軌道との混成により外側 (運動量の大きな方向) へ重みが行き、図8 (実験結果) のアンダー・ドープ領域からオーバー・ドープ領域への変化を再現している。すなわち、アンダー・ドープ領域でホールは $O\ 2p$ 軌道に入るが、オーバー・ドープ領域では $Cu\ 3d$ 軌道に入ることを示している。

分子軌道計算は実験結果の全体的な特徴を説明しているが、構造の詳細を再現できていない。また、詳しく述べなかったが第1原理バンド理論計算の結果も同様である。この理由は両者それぞれの理論計算において用いられている計算近似に限界があるためである。すなわち、分子軌道計算では、5つの原子 ($Cu\ 1$ 個と $O\ 4$ 個) の軌道のみからLSCOのホール・ドープによる電子構造変化を再現しようとし、第1原理バンド計算では、結晶全体の原子を考慮するものの電子相関効果が適切に取り込まれていない。実験結果を詳細に説明するには、より現実に近いモデルに立った計算手法、例えば、バンド理論計

算にZhang-Rice 1重項^[9]の形成を電子相関効果として取り込む手法の開発が必要である。また、Jahn-Teller歪の影響やポーラロン・モデルの検討が今後の課題として残っている。将来の理論モデル計算の発展に期待したい。

4. コンプトン散乱による量子状態イメージングのバリエーション

銅酸化物高温超伝導体のホール状態イメージングを例として取り上げ、コンプトン散乱による量子状態イメージングについて説明してきた。この研究例では、ホールの軌道状態を運動量密度分布上に可視化している。コンプトン散乱では、運動量密度分布の他に、 k 空間電子占有数密度分布や r 空間波動関数自己相関分布を用いて、量子状態イメージングが可能である。以下に、この2つについて簡単に説明して、本記事を結びたい。

(1) k 空間電子占有数密度分布による量子状態イメージング

電子の波数ベクトル \mathbf{k} と運動量ベクトル \mathbf{p} は、 $\mathbf{p} = \mathbf{k} + \mathbf{G}_i$ の関係にある。ここで、 \mathbf{G}_i は i 番目の逆格子ベクトルである。ある \mathbf{k} について、 \mathbf{G}_i で結ばれるすべての \mathbf{p} 点の電子運動量密度 $n(\mathbf{p})$ を足し合わせて得られる \mathbf{k} 空間の密度分布が \mathbf{k} 空間電子占有数密度分布 $N(\mathbf{k})$ である：

$$N(\mathbf{k}) = \sum_i n(\mathbf{k} + \mathbf{G}_i). \quad (7)$$

フェルミ面は k 空間における電子占有と非占有の境界面として定義されるので、 $N(\mathbf{k})$ からフェルミ面形状を可視化することができる^[10,11,12]。

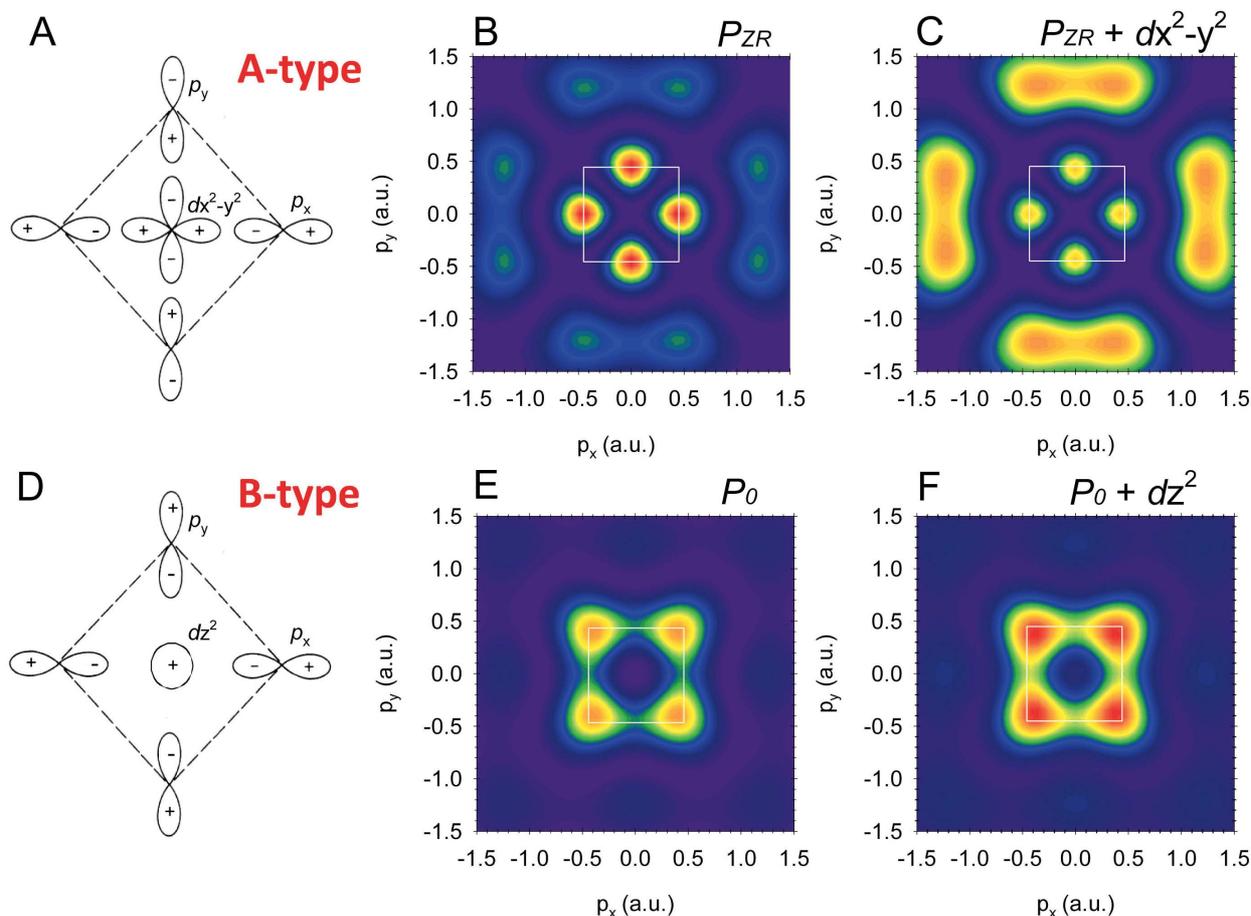


図10 八面体構造内のCu-Oの分子軌道と運動量密度分布。詳細は本文参照。

(2) r 空間波動関数自己相関分布による量子状態イメージング

r 空間波動関数自己相関分布は電子運動量密度 $n(\mathbf{p})$ の3次元フーリエ変換で得られる^[13]。r 空間は位置空間のことである。1電子波動関数に対する“電子密度関数”の一つで、一般に $B(\mathbf{r})$ 関数とよばれる。電荷密度や電子運動量密度も“電子密度関数”のひとつである。 $B(\mathbf{r})$ 関数は、プロッホの定理のもと、位置空間における波動関数の自己相関を与えるので、波動関数のコヒーレンス分布を可視化できる可能性がある。応用例はほとんどなく、今後の研究開発課題の一つである。

5. 謝辞

本原稿の執筆にあたって、小泉昭久准教授から有益なコメントを頂いた。銅酸化物高温超伝導体の研究は、伊藤真義博士、B. Barniellini博士、P. E. Mijnders教授、R. S. Markiewicz教授、S. Kaprzyk教授、J.-M. Gillet教授、脇本秀一博士、藤田全基准

教授、S. Basak女史、Yung Jui Wang氏、W. Al-Sawai博士、H. Lin博士、A. Bansil教授、山田和芳教授との共同研究として行われた。コンプトン散乱実験はSPRING-8、BL08Wで行われた（課題番号：2003B0762、2004A0152、2007B1413、2008A1191、2010A1907）。

参考文献

- [1] R. P. Feynman, R. B. Leighton and M. Sands: *Lectures on Physics* (Addison-Wesley Publishing Company, 7th Edition, 1972) Vol.1, Chapter 1.
- [2] J. J. Sakurai: *Modern Quantum Mechanics* (Addison-Wesley Publishing Company, Revised Edition, ed. San Fu Tuan, 1994) Chapter 1.
- [3] M. J. Cooper: *Rep. Prog. Phys.* **48** (1985) 415-481.
- [4] A. H. Compton: *Phys. Rev.* **21** (1923) 483-502.
- [5] R. Suzuki, M. Osawa, S. Tanigawa, M. Matsumoto and N. Shiotani: *J. Phys. Soc. Jpn.* **58** (1989) 3251.
- [6] Y. Tanaka *et al.*: *Phys. Rev. B* **63** (2001) 045120.

- [7] D. C. Peets *et al.*: Phys. Rev. Lett. **103** (2009) 7942.
- [8] Y. Sakurai *et al.*: Science **332** (2011) 698-702.
- [9] F. C. Zhang and T. M. Rice: Phys. Rev. B **37** (1988) 3759-3761.
- [10] D. G. Lock, V. H. C. Crisp and R. N. West: J. Phys. F: Met. Phys. **3** (1972) 561-570.
- [11] S. B. Dugdale *et al.*: Phys. Rev. Lett. **96** (2006) 046406.
- [12] A. Koizumi *et al.*: Phys. Rev. Lett. **106** (2011) 136401.
- [13] W. Weyrich, P. Pattison and B. G. Williams: Chem. Phys. **41** (1979) 271-284.

櫻井 吉晴 *SAKURAI Yoshiharu*

(財)高輝度光科学研究センター 利用研究促進部門

〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1

TEL : 0791-58-2750

e-mail : sakurai@spring8.or.jp

巨大な負の熱膨張を示す鉄化合物SrCu₃Fe₄O₁₂

愛媛大学大学院 理工学研究科
山田 幾也

Abstract

15万気圧・1000℃の超高压高温条件で合成された新物質SrCu₃Fe₄O₁₂は、線膨張係数 $\alpha = -2.26 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ という大きな負の熱膨張を示した。放射光粉末X線回折に基づく結晶構造解析により、SrCu₃Fe₄O₁₂の負の熱膨張は、サイト間電荷移動によるオーバーボンディングの解消という、新しいメカニズムによっておこることが示唆された。Ca²⁺→Sr²⁺という等価数イオンによる置換で全く異なる性質が表れていることから、この物質系では様々な電子・結合状態が競合しており、類縁物質において新奇な物性が誘起される可能性があることを示している。

はじめに

通常物質は、加熱すると膨張し、冷却すると収縮する性質を示す。つまり、熱膨張率（単位温度変化あたりの長さ・体積の変化の割合）が正である。一方で、熱膨張率が負となる「負の熱膨張」という現象も知られており、身近な例としては、水の熱膨張率は4℃以下で負になる。

熱膨張という現象は、日常生活の様々な面において現れる。例えば、水銀温度計やサーモスタットなどは熱膨張を有効に利用した例である。一方で、鉄道のレールが気温の変化によって伸縮して歪むなど、好ましくない場合もある。最近では、高度化された精密機械・光学部品などにおいて、熱膨張による精度低下を抑制することが求められている。

熱膨張に関わる問題は、ある程度の温度範囲において熱膨張率が0となる「ゼロ熱膨張材料」によって解決する。ゼロ熱膨張材料は、正の熱膨張率を持つ物質と負の熱膨張率を持つ物質を組み合わせることで得られる。そのため、大きな負の熱膨張率を持つ物質の探索は重要な課題であり、精力的に研究されている。ZrW₂O₈は、0.3 Kから1050 Kの非常に広い温度範囲において負の熱膨張を示す^[1]。この物質の負の熱膨張は、特異なフレームワーク構造と、金属-酸素結合に垂直な方向への振動に起因するとされる。また、逆ペロブスカイト構造を持つマンガ窒化物において、室温付近で約100 Kの温度幅を持つ負の熱膨張が報告されている^[2]。この系は、固溶体にするすることで、磁気体積効果が現れる温度範囲を広げたのが特徴であり、最大で $\alpha = -2.5 \times 10^{-5}$

K⁻¹という大きな負の線膨張係数（1 Kあたりに長さの変化する割合）を持つ。

最近、筆者らによって、15万気圧・1000℃という超高压高温条件で合成された新物質SrCu₃Fe₄O₁₂が、巨大な負の熱膨張率を持つことが分かった^[3]。この物質における負の熱膨張は、極端に縮められた金属-酸素結合と、異なる金属イオン間での電子の移動という、従来知られているものとは異なるメカニズムで起こっていることが、SPring-8で収集したX線回折データに基づく結晶構造解析から示された。

Aサイト秩序型ペロブスカイトAA'₃B₄O₁₂

ペロブスカイト構造ABO₃において、Aサイトが、イオン半径・価数などの異なる金属イオンによって占められた場合、互いに混じり合うことなく、秩序化した構造を取る場合がある。図1に示すのはAサイト秩序型ペロブスカイトAA'₃B₄O₁₂の結晶構造である（結晶描画ソフトウェアVESTAで作成^[4]）。単純ペロブスカイトの単位格子を、2×2×2倍した立方晶（空間群：Im-3）の単位格子を持つ。通常Aサイトイオンとして知られる、大きなイオン半径を持つ金属イオン（アルカリ金属、アルカリ土類金属、希土類金属）と、ヤーンテラーイオン（Cu²⁺など）が、A:A'=1:3の比で秩序化して存在している。A'サイトのCuは最近接Oイオンにより擬正方四配位CuO₄ユニットを形成している（実際は、4+4=8配位）。この構造では、本来はサイズが小さく、Aサイトイオンとしては適さないCu²⁺が、Aサイトの3/4を占めているため、格子体積は小さい。単純ペロブス

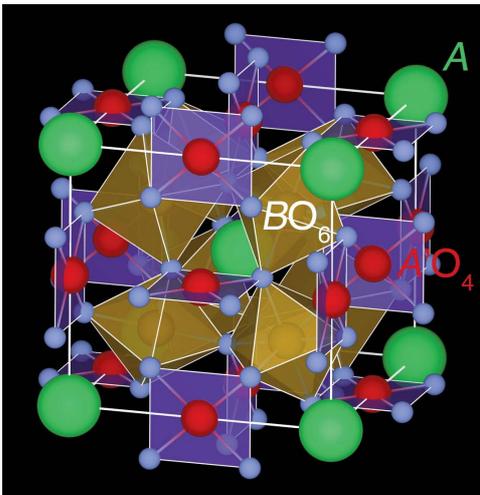


図1 Aサイト秩序型ペロブスカイト $AA'_3B_4O_{12}$ の結晶構造。

サイトに換算した格子定数 a は3.7 Å程度である。 BO_6 八面体の傾きは非常に大きく、 $\angle B-O-B$ 結合角は 140° 程度である。 $B=Ti, Ru$ などの一部の例外を除き、本物質の合成には数万気圧以上の高圧が必要である。

$ACu_3Fe_4O_{12}$ ペロブスカイトにおける電荷不均化とサイト間電荷移動

異常高原子価イオン Fe^{4+} を含むAサイト秩序型ペロブスカイトとして、2008年に $CaCu_3Fe_4O_{12}$ が報告された^[5]。室温における形式的なイオンモデルは、 $Ca^{2+}Cu^{2+}_3Fe^{4+}_4O_{12}$ であり、粉末X線回折データに基づく構造解析もこのモデルを支持している。この物質を210 K以下に冷却すると、 Fe^{4+} イオンは電荷不均化転移 $2Fe^{4+} \rightarrow Fe^{3+} + Fe^{5+}$ を起こすと同時に、CuとFeの磁気モーメントが反強磁性的に整列したフェリ磁性転移と、電気伝導性が金属から半導体へと変化する金属-半導体転移が起こる。 Fe^{4+} を含む単純ペロブスカイト $CaFeO_3$ において、Feの磁気モーメントが反強磁性的に整列しているのに対し^[6]、 $CaCu_3Fe_4O_{12}$ では Fe^{3+} と Fe^{5+} の磁気モーメントが強磁性的に整列しているのが大きな違いである。電荷不均化した Fe^{3+} と Fe^{5+} は、1:1の比で存在しており、 $CaFeO_3$ 同様の岩塩型の電荷整列をしている。その際に、対称性の低下（空間群： $Im-3 \rightarrow Pn-3$ ）が起こると共に、格子体積は不連続に減少する。

2009年には $LaCu_3Fe_4O_{12}$ が報告された^[7]。形式的なイオンモデルは、 $La^{3+}Cu^{2+}_3Fe^{3.75+}_4O_{12}$ で記述され、Aサイト置換に伴う電子ドーピングによりFe価数は

+3.75価となっている。393 K以下で、CuとFeの間の電荷のやり取り、すなわちサイト間電荷移動転移が起こり、 $La^{3+}Cu^{3+}_3Fe^{3+}_4O_{12}$ の電子状態へと変化することが、メスバウアー分光スペクトル、構造解析などから明らかにされた。サイト間電荷移動に伴い、Fe価数が+3へと減少するため、Fe-O結合長が伸び、体積が約1%大きくなる一次相転移が観測されている。

$CaCu_3Fe_4O_{12}$ と $LaCu_3Fe_4O_{12}$ において、低温で現れる相は、このように全く対照的である。 $ACu_3Fe_4O_{12}$ 系において、電荷不均化とサイト間電荷移動を分ける要素はいったい何であるのか、興味を持たれた。 $LaCu_3Fe_4O_{12}$ に続いて、 $BiCu_3Fe_4O_{12}$ が報告されたが、転移温度がわずかに上昇するほかは、基本的には $LaCu_3Fe_4O_{12}$ と同じサイト間電荷移動の振る舞いを示している^[8]。以上の報告に基づく、Aイオンが2価の場合は電荷不均化、3価の場合はサイト間電荷移動が起こると考えられる。しかし、 La^{3+} と Bi^{3+} のイオン半径はほとんど等しいことから、 $ACu_3Fe_4O_{12}$ 系におけるAサイトイオンサイズの影響を論じるには不十分であり、同じ価数でイオンサイズが大きく異なるAサイトイオンで置換した物質を新たに合成して調べる必要があると筆者らは判断した。そこで、Aサイトイオン価数が2価である $A^{2+}Cu_3Fe_4O_{12}$ を対象として、新たに $SrCu_3Fe_4O_{12}$ を合成し、 $CaCu_3Fe_4O_{12}$ と比較することにした。

$SrCu_3Fe_4O_{12}$ における巨大な負の熱膨張

$CaCu_3Fe_4O_{12}$ の場合には9万気圧、 $LaCu_3Fe_4O_{12}$ の場合には10万気圧で合成が可能であるのに対し、 $SrCu_3Fe_4O_{12}$ の合成には、15万気圧という非常に高い圧力が必要であった。物質科学分野で普及しているDIA型高压合成装置を用いる場合には、通常は約10万気圧が圧力の上限となる。今回の試料合成に用いたのは、Kawai型高压合成装置（愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター設置・ORANGE-2000）である（図2）。この装置では、構造・物性評価に必要な40 mm³程度の試料容積を確保しつつ、約15万気圧の圧力発生を行うことが可能である。

SPring-8 BL02B2ビームラインにおいて、80~450 Kにおける放射光粉末X線回折データを収集した。リートベルト解析プログラムRIETAN-FP^[9]を用いて、各温度における結晶構造を精密化した。

図3に、 $SrCu_3Fe_4O_{12}$ の300 K~80 Kの冷却過程における放射光粉末X線回折パターンの変化を示す。



図2 Kawai型高圧合成装置 ORANGE-2000。

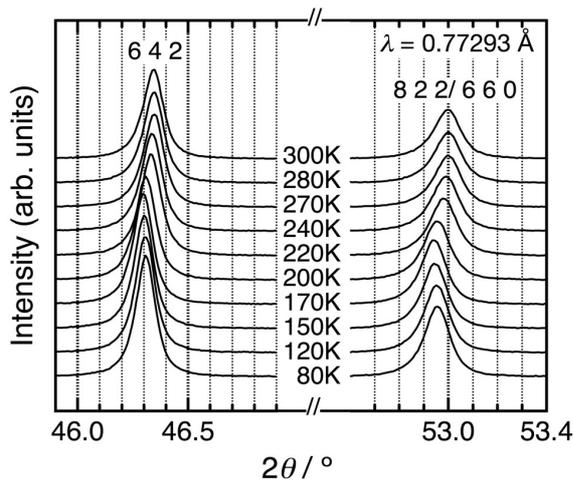


図3 SrCu₃Fe₄O₁₂の80–300 Kにおける放射光粉末XRDパターンの変化。

270 K～170 Kにおいて、回折ピークが徐々に低角側にシフトするのが分かる。これは通常の物質の冷却過程において見られる熱収縮とは反対であり、格子が膨張していることを示している。つまり、加熱すると収縮する「負の熱膨張」現象が見られる。なお、実験室X線回折測定により、冷却と加熱のいずれの過程においても、ヒステリシスのない負の熱膨張が起こることを確認している。

図4に、SrCu₃Fe₄O₁₂の格子定数(300 Kにおける値で規格化した a/a_{300K})の温度依存性を示す。約100 Kの温度幅で熱膨張が負となっている。200 K～230 Kのデータにおいて線形フィッティングを行ったところ、線膨張係数 $\alpha = -2.26 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ となり、逆ペロブスカイト構造を持つマンガン窒化物において報告されている最大値 $\alpha = -2.5 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$ に匹敵する大きな値を持つことが分かった。鉄の化合物においてこのような巨大な負の熱膨張率を持つ例は初めてである。

SrCu₃Fe₄O₁₂において観測された負の熱膨張は、CaCu₃Fe₄O₁₂において報告されている1次相転移的な体積収縮とは明確に異なる。このように、等原子価イオンによる置換(Ca²⁺→Sr²⁺)によって、劇的な物性の変化が起こったのは驚きである。両物質の物性は、Aイオンサイズを大きくすることによって生じた、局所的な結晶構造の違いに由来すると考え、結晶構造解析を行った。

300 Kにおける結晶構造を精密化し、金属-酸素

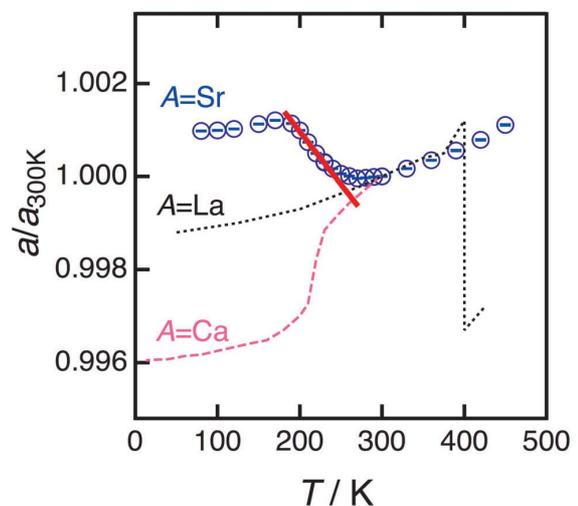


図4 ACu₃Fe₄O₁₂ペロブスカイトの格子定数の温度依存性。A=CaとLaについては、参考文献の値を用いた[5][12]。

結合長から、各金属イオンのBond Valence Sum^[10] (BVS、金属-酸素結合距離より計算される原子価。局所構造に基づきイオン価数を見積もる経験的計算手法であり、BVS値はイオン価数にほぼ一致する。)を計算したところ、Srは+3.23、Cuは+2.21、Feは+3.54 という結果が得られた。注目すべき点は、SrのBVSが、Sr²⁺から予想される値(+2)よりもはるかに大きいことである。これは、Sr-O結合距離が、Sr²⁺の価数から期待されるよりも短い、いわゆるオーバーボンディング状態にあることを示している。一般に、オーバーボンディング状態にある金属イオンは、周りの酸化物イオンから圧縮を受けていると見なされる。CaCu₃Fe₄O₁₂におけるCaのBVSは+2.19で、わずかにオーバーボンディング状態にあるが、通常物質でみられる範囲内である。ちなみに、B=TiのSrCu₃Ti₄O₁₂においても、やはりSrはオーバーボンディング状態にあり(SrのBVSは+2.95)^[11]、Sr²⁺のような大きなイオンにとって、この構造におけるAサイトは「窮屈」であることが分かる。一方、FeのBVSがFe⁴⁺から期待される+4より小さいことは、Fe-Oがアンダーボンディング状態にあることを示しており、Srによって格子が押し広げられた結果、Fe-O結合距離が伸長していることに対応している。

図5に、金属-酸素結合長と \angle Fe-O-Fe結合角の温度依存性を示す。それぞれの金属-酸素結合長は、負の熱膨張が起こる温度領域(170~270 K)において、対照的な振る舞いを示す。冷却過程において、Sr-O結合長は、格子の膨張に伴って長くなっており、オーバーボンディング状態が緩和されていることが分かる。また、Cu-O結合長は短くなる一方、Fe-O結合長は長くなっている。いずれも連続的な変化であり、LaCu₃Fe₄O₁₂のサイト間電荷移動において見られた不連続な変化とは異なり、Cu-Fe間で徐々に電荷移動が起こっていることを示している。以上のことから、SrCu₃Fe₄O₁₂における負の熱膨張は、Sr-Oのオーバーボンディングが駆動力となり、Cu-Fe間の電荷移動が格子膨張・Sr-Oオーバーボンディング解消の役割を果たす、というメカニズムによって起こっていると考えられる。なお、格子定数 a と Fe-O結合長 ($= d_{\text{Fe-O}}$)・ \angle Fe-O-Fe結合角 ($= \Psi$) には、 $a = 4d_{\text{Fe-O}} \times \sin(\Psi/2)$ の関係があり、Fe-Oの伸長が \angle Fe-O-Fe結合角の減少に打ち勝っているために負の熱膨張が観測される。

おわりに

今回得られた結果は、いくつかの点で今後の物質科学の発展の可能性を示すものである。①新物質探索において10万気圧以上の超高压が有効であること、②Aサイト秩序型ペロブスカイトにおいてAサイトイオンサイズ効果が劇的に現れること、③オーバーボンディングが構造・物性に影響を与えること、④新しいメカニズムによる巨大な負の熱膨張の発見など。今後の類縁物質の研究により、さらなる興味深い性質が見出される可能性があると期待される。

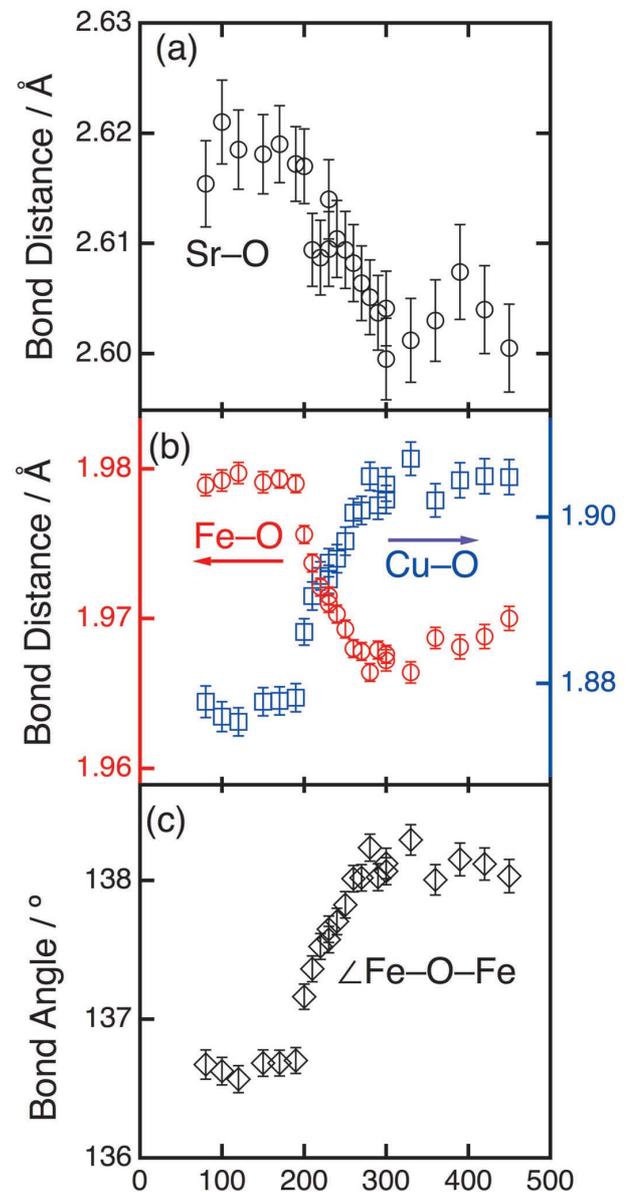


図5 SrCu₃Fe₄O₁₂における金属-酸素結合長と \angle Fe-O-Fe結合角の温度依存性。

謝辞

本研究は、愛媛大学の土田一貴、高橋亮治、松下正史、西山宣正、井上徹、入船徹男、東京大学の大串研也、京都大学の林直顕、高野幹夫、高輝度光科学研究センターの金廷恩、辻成希、理研の加藤健一、高田昌樹の各氏との共同研究として行われました。また、本研究は、JST戦略的創造研究推進事業「新規材料による高温超伝導基盤技術」領域（研究総括：福山 秀敏 東京理科大学 理事・副学長）、科学研究費補助金・若手研究（B）により行われました。また、本研究で用いた粉末X線回折データは、SPring-8 BL02B2（課題番号2010A1626）において得られました。謹んで御礼申し上げます。

参考文献

- [1] T. A. Mary, J. S. O. Evans, T. Vogt and A. W. Sleight: *Science* **272** (1996) 90–92.
- [2] K. Takenaka and H. Takagi: *Appl. Phys. Lett.* **87** (2005) 261902–3.
- [3] I. Yamada et al.: *Angew. Chem., Int. Ed.* in press.
- [4] K. Momma and F. Izumi: *J. Appl. Crystallogr.* **41**(2008) 653–658.
- [5] I. Yamada et al.: *Angew. Chem., Int. Ed.* **47** (2008) 7032–7035.
- [6] J. B. MacChesney, R. C. Sherwood and J. F. Potter: *J. Chem. Phys.* **43** (1965) 1907–1914.
- [7] Y. W. Long et al.: *Nature* **458** (2009) 60–63.
- [8] Y. W. Long et al.: *Inorg Chem.* **48** (2009) 8489–8492.
- [9] F. Izumi and K. Momma: *Solid State Phenom.* **130** (2007) 15–20.
- [10] I. D. Brown and D. Altermatt: *Acta Crystallogr., Sect. B* **41** (1985) 244–247.
- [11] J. Li et al.: *Chem. Mater.* **16** (2004) 5223–5225.
- [12] W. Chen, Y. W. Long, T. Saito, J. P. Attfield and Y. Shimakawa: *J. Mater. Chem.* **20** (2010) 7282–7286.
- [13] A. W. Sleight: *Inorg. Chem.* **37** (1998) 2854–2860.

山田 幾也 YAMADA Ikuya

愛媛大学大学院 理工学研究科

〒790-8577 愛媛県松山市文京町2-5

TEL : 089-927-9614

e-mail : ikuya@ehime-u.ac.jp

URL : <http://chem.sci.ehime-u.ac.jp/~ikuya/>

発光性希土類錯体の構造と光化学

青山学院大学 理工学部

長谷川 美貴

高橋 勇雄

Abstract

希土類錯体は、Euなどのランタニドに π 系の有機配位子が結合することで、本来禁制であるランタニドからの f 遷移に伴う発光スペクトルを増強させることができる。私どもは、プラセオジウム錯体の発光スペクトルを用い、分子内の光励起エネルギー移動の経路から高効率な発光を促す条件を知ることができた。この知見を基に、分子自身を有機合成化学により分子自身のドナー準位を調整し、発光スペクトルの選択性を証明した。さらに、単分子累積膜や高分子膜表面への吸着を利用し、結晶とは異なる分子配列を有する集合体が偏光発光を促す新しい系の創成とその構造の役割を証明した。

1. はじめに：希土類錯体にしかできないこと

錯体の機能については、磁性、導電性、光特性、触媒の主に4つの柱で研究が進められている。私どもの研究では、特に希土類イオンに着目している。希土類の中でも特にランタニド類は、本来の電子構造から、これらの特性を多重に同時に発現させられる元素群として知られ、そのために材料としてすでに多くの例が実用化されている。錯体は、一般に分子の集合化した時の結合の様相が特徴的であることから、次元性を制御した（0D：単分子、1D：ナノワイヤー、2D：平面型リンク錯体、3D：高分子錯体や化学素子など）材料との架け橋としての可能性もあり、触媒、単分子磁石、発光素子、ナノデバイス、分子吸蔵、人工光合成モデル分子など、応用の基盤となる物質の特性評価も多く報告されている[1]。

希土類に属する化合物や資源に関わる話題は、近年、天然資源の少ない日本において非常に注目されてきている。希土類を用いた化合物の物性は、強磁性、誘電特性、発光等が知られており、重金属であるにもかかわらず、特に本来の f 電子系原子の電子構造により、いわゆる d 族金属類とは全く異なる結合様式や物性の原理を示すことが多い[2]。事実、例えばイオンとして材料に取り込まれると、希土類は1種の元素で磁性、電導性、光特性を同時に発現することがあり（図1）、マルチファンクショナル材料創成に向けた製造工程での効率化も近い将来実現するだろう。

錯体化学の分野で、ランタニド錯体の歴史はほとんどが合成であり、機能に着目して分子設計・合成そして特性評価を定量的に行い始めたのは、まだ数十年ほど前からである。特に発光性錯体は、溶液中の解離や、大気中で水分子の吸着により消光することから、無機化合物の発光材料と比較すると実用性には課題があった。しかし、発光させる機構として π 系配位子を光アンテナにすると、幅広いエネルギー準位を有するため容易に光励起し、この励起子密度の高い状態からエネルギー移動を介してランタニドの f 発光を促進できるため、基盤研究を含め多くの誘導体合成等の発展を遂げてきている[3]。また、同じ配位子を用いてもランタニドイオンの種類を変化させると発光色を変化させられる。例えば、ユーロピウム（Eu）錯体は赤色発光を示すのに対

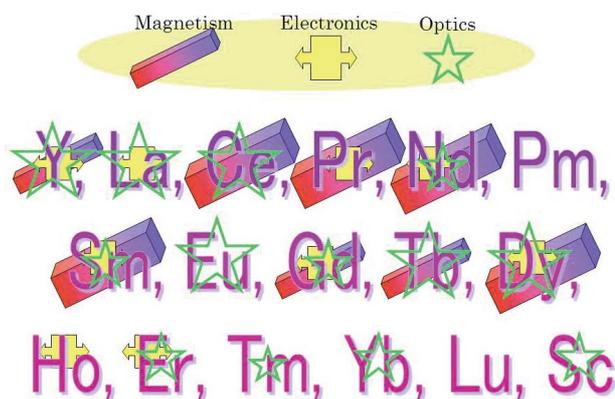


図1 化合物中での希土類イオンの多重機能性

し、テルビウム (Tb) 錯体およびネオジウム (Nd) 錯体はそれぞれ緑色および赤外領域の発光帯を示す (図2)。これは配位子を紫外光励起した際の分子内エネルギー移動により引き起こされている。

非常に多くのランタニド錯体が合成されているにもかかわらず、発光現象を精密に解釈した報告はd族金属錯体のいわゆる分光化学系列やヤーンテラー効果などに対応するような、スペクトルの多様化に対する分子設計指針の法則はみられない。これらの未踏の部分が多いランタニド錯体の光化学現象を解釈することで、新しい切り口で分子性材料を設計する視野が広がる。ここでは、私どもの最近のトピックとして、ランタニド錯体の分子内エネルギー移動機構に関わる定量的な発光スペクトルの解釈と、この原理に基づく分子性超薄膜の発光の偏光挙動と構造を明らかにしたので紹介する。

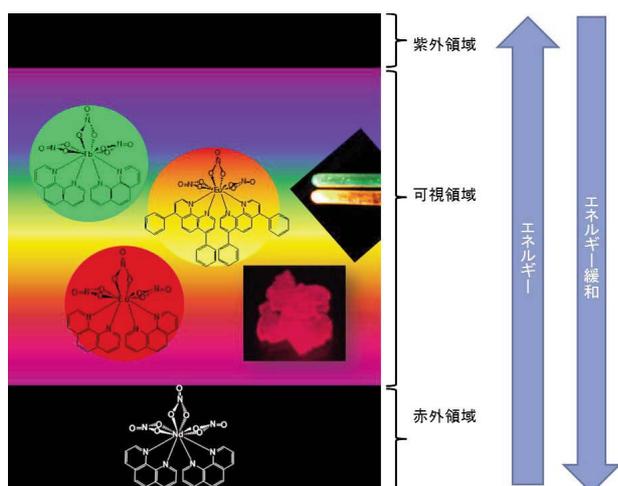


図2 ランタニド錯体の発光の様子 (UVランプを照射)。Ndは発光が目視できないので写真は掲載していない。

2. 希土類錯体の分子内エネルギー移動機構

有機分子を用いた、いわゆる π 系分子における2個の独立した電子系間のエネルギー移動は、エネルギードナーとアクセプター間の距離と、エネルギー移動に関わるそれらの準位のスピ多重度およびドナーの発光 (蛍光¹Sあるいはりん光³T) とアクセプターの吸収帯の重なりが重要である。このことについてはすでに40年以上の歴史がある^[4]。ランタニド錯体のf電子系からの発光は非常にシャープであり、これは4f軌道が内殻に存在しているため、隣接する原子との結合に用いられる5dや6s軌道と役割

を別にしてしているためである。これにより、室温であっても、f発光は真空中低温で測定したようなスペクトル形状を示す。言い換えると、配位子の π 電子系と金属イオンのf電子は1分子内であってもそれぞれほぼ独立しているものとして取り扱うことができる。先の有機分子間の系にあてはめてスペクトル解釈することは極めて有用である。

そこで、金属イオンにはf発光を示す準位のスピ多重度が、一重項あるいは三重項で成り立っているPr (III) を用い、配位子には蛍光もりん光も示すフェナントロリンを用いた錯体を合成し、このPr錯体の分子内エネルギー移動を発光スペクトルから解釈することを試みた^[5]。

図3にこの錯体のピコ秒時間分解発光スペクトルおよびエネルギー緩和過程のダイアグラムを示す。横軸は波長で縦方向に時間経過を示している。時間初期はフェナントロリンの蛍光帯のみが観測されており、この帯の減衰と共に長波長側にPrのf発光に特有なシャープな帯が逐次的に現れる。各帯の発光寿命測定から、発光帯の減衰時間と次の発光帯の立ち上がり時間を組み合わせ、励起エネルギー移動の過程の考察を試みた。その結果、フェナントロリンを配位子とするPr錯体は配位子の三重項準位をエネルギードナーに、Prイオンの一重項準位をアクセプターに用いることを証明し、この時のエネルギー移動はデキシター型 (電子交換型) であると結論付けられた。すなわち、発光性ランタニド錯体の場合、すべての分子が発光に関わるのではなく、エネルギー移動過程が選択的に生じることを示唆している。

このことを証明するため、フェナントロリンに2個のフェニル基を導入したバソフェナントロリンを配位子に用いたPr錯体の発光スペクトルに着目した^[5, 6]。バソフェナントロリンの場合、フェナントロリンの場合と比較し共役長が長くなるためにドナーの準位は低くなり、結果として長波長側に $\pi\pi^*$ 性の吸収および発光スペクトルを示す。これに伴い、アクセプターとなるPrのfの準位は、先のフェナントロリン錯体の場合の 1I_6 よりも低い位置にある一重項レベル 1D_2 が作用し、f発光が現れる領域は600 nmよりも長波長側となる。すなわち、錯体化学の手法により、f発光の選択性をもたらすことを証明した。

フェナントロリンを配位子としたEuやTbの錯体を合成したところ、フェナントロリンの水素が重水素である場合には結晶化する際に構造多形が生じる

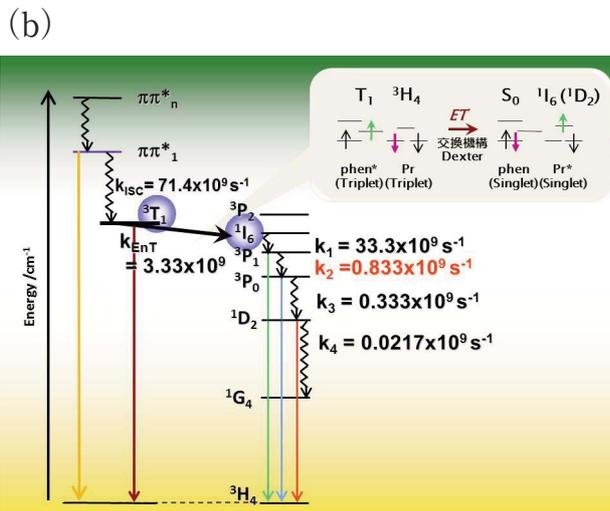
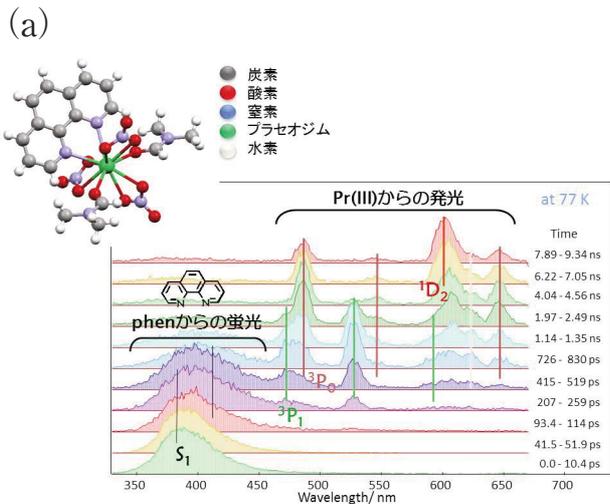


図3 (a) フェナントロリンPr錯体のピコ秒時間分解発光スペクトル (77 K, $\lambda_{ex} = 280$ nm)。単結晶構造解析による錯体の構造をともに示す。(b) この錯体のエネルギー移動過程。

ことを見出した^[7]。これについては、高輝度なX線を用いた粉末回折測定 (SPring-8 BL02B2) による高精度なデータから構造解析に至っている。Eu錯体の場合、図4に示すようにフェナントロリンの水素が重水素化されると、I型とIIa型の2種の結晶が生成し、これらの比率は、25.2%および74.8%であった。これに対し、通常のフェナントロリン錯体の場合にはI型はみられず、IIa型のみである。発光スペクトルにおける錯体の配位子の重水素化は、分子内振動を抑制し、配位子から金属へのエネルギー移動効率が向上することが期待され、これに伴いより高効率な発光が促される。しかし、重水素による分子および結晶構造に変化が生じること、分子内

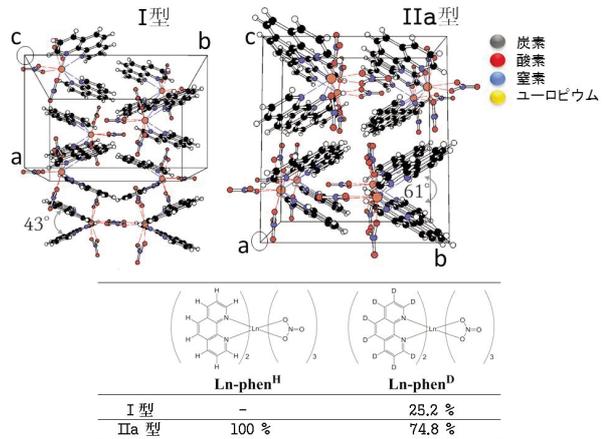


図4 重水素化した配位子を用いた場合のEu錯体の構造多形。

振動による熱的エネルギー失活の抑制の優先性は議論した例がなく、現在これらの発光スペクトルについて構造多形の影響を考察している段階である^[8]。

3. 薄膜化錯体分子の構造と奇異な偏光発光

最近、非結晶性かつ分子配列に規則性を持たせた積層型単分子膜を希土類錯体で構築し、この構造である時に内包された有機分子が複数の偏光発光を示すことを発見した^[9]。この際、分子膜は疎水部位と金属イオンがそれぞれ二次元に凝集した面を成し、面が交互に積層している。疎水部分はいわゆる界面活性剤のアルキル鎖であり、この界面活性剤となる分子の親水部は配位部位として金属イオンと結合している。すなわち、ステアリン酸ランタニド錯体の単分子膜を水面に用意し、これを石英の板に移し取って累積単分子膜を作製する (図5)。これをラングミュア-プロジェクト (LB) 法という。今回、

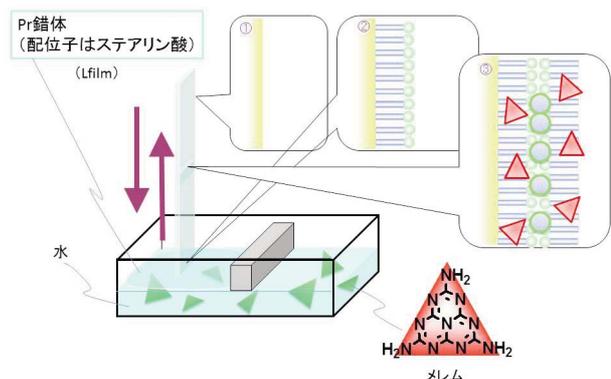


図5 LB法による複合錯体の作製法。

ランタニドイオンには、プラセオジウム (Pr) を用いた。この時、親油基層には発光性の別の有機分子 (メレム) が自己挿入するように成膜していく。本来、メレムは結晶状態や溶液中では偏光発光を示さないが、この膜中では、2種類の蛍光を発する (図6)。また、結晶状態や溶液中でメレムはりん光を示さない^[10]のに対し、この膜中ではりん光も示すこともわかった。250 Å程度の膜厚であるため、高輝度なX線を用いる薄膜XRD測定を必要とするため、SPring-8のビームラインBL02B2に薄膜アタッチメント^[11]を取り付け面外方向のXRD測定を試みた。その結果、この膜は、面外方向にPrの層がステアリン酸の疎水層を介して約50 Åの間隔でサンドイッチ構造を形成していることがわかった。また、メレムの配置にも面外に規則性が観測された (図6)。すなわち、発光体となるメレムをとりまく媒体に希土類LB膜を用いると、挿入されたメレムはPr層と静電的に相互作用すると同時に、親油基内での分子振動が抑制された特殊な環境におかれることが原因で観測される、非常に珍しい発光現象である。言い換えると、多重偏光発光と重原子効果による励起三重項状態の安定化が実現したことになる。なお、メレムの二種の発光に関して発光寿命とその相対的な光子数を求めたところ、遅い発光と早い発光の比率はおおよそ10:1であったことから、約1割は直接的にPrに相互作用あるいは結合していると考えるのが妥当である。すなわち、この種のLB膜中で、有機分子の発する多重偏光の起源は、有機層に固定された分子種と、金属と相互作用した分子種によるものであると考察される。

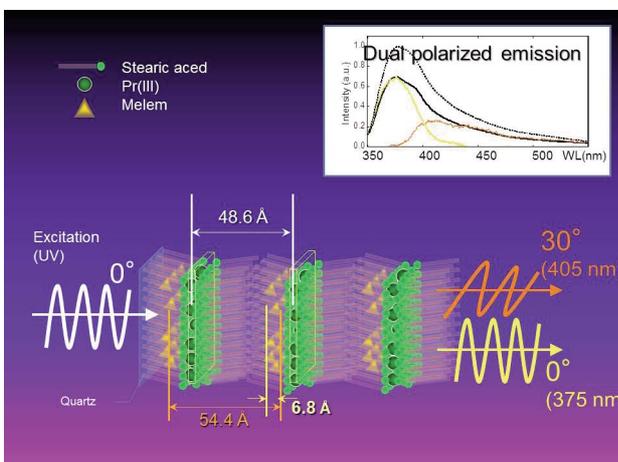


図6 Pr-melemのLB膜の偏光発光スペクトル ($\lambda_{\text{ex}} = 280 \text{ nm}$) とその予測される分子配列。

分子膜はそれ自身の組成の組み合わせと、分子膜を形成する媒体によっても集合体の構造や光化学特性に変化が現れる。そこで、延伸した高分子膜を基板として、その表面にフェナントロリンのランタニド錯体をスピコート法により膜化した系について同様の実験を試みた^[12]。この時、延伸ポリビニルアルコール膜 (膜厚約0.2 mm) 上で形成した錯体の膜厚は約4 nm程度である。面外にも面内にも錯体分子の吸着配置に規則性を捉えられるだけのXRD強度がないため、EXAFS (SPring-8 BL01B1) によりランタニドイオン周辺の結合状況を確認した。EXAFSデータからは、Tbと隣接する原子に関する情報が得られ、それらの間の距離と隣接する原子の個数が見積もられる。粉末状態のフェナントロリン-Tb錯体の構造解析が報告されており、それによるとTbイオンの周囲には約2 Åの距離に10個の原子が隣接している。これと比較して、延伸あるいは未延伸のポリビニルアルコール膜表面で存在するTbのEXAFSは、大きな差異は見られない。すなわち、Tbはポリビニルアルコール膜上でも三価で存在しており、錯体あるいは塩の状態を保っていることが明らかになった。

発光スペクトルを測定したところ、この膜はTbの緑色発光が効率よく促される系であり、Tb (III) に特有の4種の発光帯はそれぞれ異なる偏光角を示した。また、高分子膜の延伸によりTbからのff発光が増強する。この原因についてはまだ不明な点が多く、表面解析等の詳細な研究を行う必要がある。

一方で、スピコート法を用いた偏光発光膜は作製法がLB膜よりも簡便であり、ソフトな特徴を生かした延伸等の機械的構造変化が分子配列とその偏光発光に直接影響を及ぼす新しい系である。スピコートの際、赤色発光のEuと、このTbを混合した溶液を用いると、それぞれが膜上で発光し、私たちは黄色発光として認識できる (図7)^[13]。先に述べたように、ランタニドのff発光はランタニドの電子構造により発光波長の変調が困難であることから、本系は光の色の混合による多様な多重偏光発光体開発にむけた基盤的研究として位置づけられる。

4. これからにむけて

私どもの研究は、「分子」と「膜」を軸に、ランタニド錯体の発光に新たな側面を見出すことに挑戦している。錯体物質の特徴は多様な有機配位子と金属との無限の組み合わせである。これに対して、こ

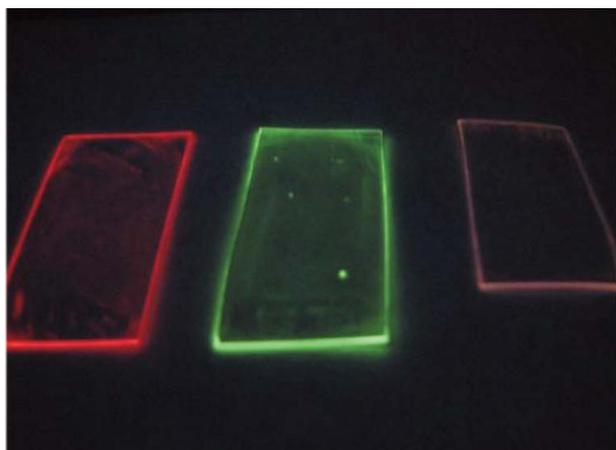


図7 表面にランタニド錯体を塗布した延伸ポリビニルアルコール膜のUV照射下での発光色。左からEu錯体、Tb錯体およびそれらの混合が表面にスピノコートで塗布してある。光アンテナとなる配位子はいずれもフェナントロリン。

れまで私たちが用いてきた系は、比較的小さい分子を配位子に選び、ランタニドイオンからの $f-f$ 発光とのスペクトルの重なりを少なくして精緻な解釈を試みてきた。そのほとんどが固体状態の議論である。ランタニドイオンは水や酸素と好んで結合するため、溶液中での解離や水分子の振動と発光緩和過程が競争し消光するなど、溶液中でのランタニド錯体の発光実現のためにはいくつかの課題がある。これまで通りシンプルな π 電子系の配位子を用い、EuやTb錯体が溶液中で強く発光する分子の開発は急務である^[14]。

また、これらの分子内エネルギー移動と π 系分子が関わる相互作用の操作を膜化で試みてきた。偏光発光は、分子配向と物質自身の屈折率のいずれか、あるいは両方が原因で生じるといわれている。しかし、私どもの系では錯体分子の膜が非常に薄いため、膜内での分子の配向と偏光発光の方向との相関がまだわからない状況であり、これを明らかにすることで必要な角度の偏光発光を促す分子膜の開発に結び付く。

いずれの場合も、希土類の濃度は極めて薄く、高効率な発光材料として錯体の切り口から希土類を扱うことは新しい形の元素戦略といえる。まだ多くの化学の発展が希土類錯体の未来にある。

謝辞

本研究は、石井あゆみ博士（現所属：横浜桐蔭大学）、鷹尾忍博士（現所属：東京電気通信大学）、大

津英揮博士（現所属：分子科学研究所）およびDr. Franz Werner（現所属：タリン工科大学）との共同研究であり、多くの学生がともに携わってきた。放射光X線を用いた実験は、理化学研究所/SPring-8主任研究員高田昌樹先生、加藤健一博士、JASRI/SPring-8木村滋先生、藤原明比古先生、金廷恩博士、宇留賀朋也博士、谷田肇博士ならびに辻成希博士との共同研究である（ビームラインBL02B2、BL01B1、BL39XU）。また、時間分解発光スペクトルおよび過渡吸収スペクトル測定については、北海道大学名誉教授山崎巖先生、山崎トモ子先生、同電子科学研究所教授太田信廣先生および関西学院大学教授玉井尚登先生にご指導いただいた。絶対発光量子収率測定に関わる特殊な測定法については浜松ホトニクス鈴木健吾博士にご助力頂いた。この場をお借りしてお礼申し上げます。本研究は主に文部科学省ハイテク・リサーチ・センター整備事業、科学研究費特定領域研究「配位空間化学」および若手研究（A）の助成により行った。

参考文献

- [1] 山下正廣、小島憲道：編著 錯体化学選書 3 金属錯体の現代物性化学 三共出版 (2005)。
- [2] (a) 足立吟也：希土類の科学 化学同人 (1999)；(b) 足立吟也 監修：希土類の機能と応用 シー・エム・シー (2006)。
- [3] (a) S. Shinoda, H. Miyake and H. Tsukube: *Handbook on the Physics and Chemistry of Rare Earths*, ed by K. A. Gschneidner, Jr., J.-C. G. Bunzli and V. K. Pecharski: Elsevier **35** (2005) ch. 225.; (b) 長谷川靖哉：光化学 **36** (1) (2005) 41.; (c) 長谷川美貴：光化学 **38** (3) (2007) 189-195.; and their references.
- [4] 例えば、山崎巖：有機量子化学と光化学 量子光化学シリーズ 一麦出版社 (2003) 等にまとめられている。
- [5] (a) M. Hasegawa, A. Ishii and S. Kishi: *J. Photochem. Photobiol. A* **178** (2006) 220-224.; (b) M. Hasegawa, A. Ishii, T. Yamazaki, S. Kishi and I. Yamazaki: *Chem. Lett.* **34** (2005) 1418-1419.
- [6] A. Ishii, S. Kishi, H. Ohtsu, T. Iimori, T. Nakabayashi, N. Ohta, N. Tamai, M. Melnik, M. Hasegawa and Y. Shigesato: *Chem. Phys. Chem.* **8** (2007) 1345-1351.
- [7] F. Werner, K. Tada, A. Ishii and M. Hasegawa: *Cryst. Eng. Comm.* **11** (2009) 1197-1200.

- [8] M. Hasegawa, I. Takahashi, H. Ohtsu, *et al.*, in *preparation*.
- [9] A. Ishii, K. Habu, S. Kishi, H. Ohtsu, T. Komatsu, K. Osaka, K. Kato, S. Kimura, M. Takata, M. Hasegawa and Y. Shigesato: *Photochem. Photobiol. Sci.* **6** (2007) 804-809.
- [10] M. Hasegawa, A. Ishii, K. Habu, H. Ichikawa, K. Maeda, S. Kishi and Y. Shigesato: *Sci. Tech. Adv. Mater.* **7** (2006) 72-76.
- [11] K. Osaka, S. Kimura, K. Kato and M. Takata: *AIP Conference Proceedings* **879** (2006) 1771.
- [12] M. Hasegawa, A. Ishii, K. Furukawa and H. Ohtsu: *J. Photopolymer Sci. Technol.* **21**(3), (2008) 333-338.
- [13] M. Hasegawa, S. Kunisaki, H. Ohtsu and W. Franz: *Monatsh. Chem.* **140** (2009) 751-763.
- [14] M. Hasegawa, I. Takahashi, H. Ohtsu *et al.*, in *preparation*.

長谷川 美貴 HASEGAWA Miki

青山学院大学 理工学部 化学・生命科学科
〒252-5258 神奈川県相模原市中央区淵野辺5-10-1
TEL : 042-759-6221
e-mail : hasemiki@chem.aoyama.ac.jp

高橋 勇雄 TAKAHASHI Isao

青山学院大学 理工学部 化学・生命科学科
〒252-5258 神奈川県相模原市中央区淵野辺5-10-1
TEL : 042-759-6221
e-mail : isao@chem.aoyama.ac.jp

Long-term Proposal Report

Structural Study of Regulated Intramembrane Proteolysis

Xiaochun Li, Nieng Yan

Center for Structural Biology, School of Medicine and School of Life Sciences,
Tsinghua University, Beijing 100084, China

Abstract

Regulated Intramembrane Proteolysis (RIP) is a highly conserved signaling mechanism, where a signaling molecule is cleaved within the lipid bilayer by an intramembrane protease. Traditional wisdom argued that proteolysis requires water; however, in RIP, both the protease and the substrate are integral membrane proteins and the cleavage occurs within the hydrophobic lipid bilayer. It has been most intriguing to scientists how water molecules and substrate get access to the active site of an intramembrane protease. Based on the function and predicted active site, the characterized intramembrane proteases are classified into 4 families: the metalloprotease site-2 protease (S2P), the serine protease Rhomboid, the aspartyl proteases Signal Peptide Peptidase (SPP) and Presenilin. Intramembrane proteases play important roles in a wide range of cellular functions. For example, S2P is a key player in sterol metabolism in cells; Rhomboid works in the Wnt signaling pathway; Presenilin is the most notorious intramembrane protease as it directly cleaves Amyloid Precursor Protein (APP) and results in the accumulation of β -amyloid peptide, the direct pathogen for Alzheimer's disease. In order to understand the working mechanism of RIP, it requires high-resolution structures of the intramembrane proteases both in the apo-form and in the substrate or inhibitor-bound forms. Successful determination of the proposed structures will also provide invaluable therapeutic potentials to fight deleterious diseases, such as Alzheimer's disease and cardiovascular diseases. There were a number of important questions that we would like to address. In particular, we would like to understand what regulates the substrate access to the active site of the intramembrane proteases; what are the structure and function mechanism of SPP; and what are the structure and function mechanism of Presenilin? The proposed research aimed to address the above questions.

Introduction

Proteolysis, as the name indicated, refers to the cleavage of protein in the presence of water. However, a new concept of proteolysis was coined in the last two decades, that is, the Regulated Intramembrane Proteolysis (RIP)^{1,2}. RIP is a highly conserved and unique signaling mechanism, where both the protease and the substrate are integral membrane proteins and the cleavage occurs within the hydrophobic lipid bilayer³. Based on the function and predicted active site, the characterized intramembrane proteases are classified into 4 families: the metalloprotease site-2 protease (S2P), the serine protease Rhomboid, the aspartyl proteases Signal Peptide Peptidase (SPP) and Presenilin. Intramembrane proteases play important roles in a wide range of cellular functions. For example, S2P is a key player in sterol

metabolism in cells; Rhomboid works in the Wnt signaling pathway; Presenilin is the most notorious intramembrane protease as it directly cleaves Amyloid Precursor Protein (APP) and results in the accumulation of β -amyloid peptide, the direct pathogen for Alzheimer's disease.

In order to understand the working mechanism of RIP, it requires high-resolution structures of the intramembrane proteases both in the apo-form and in the substrate or inhibitor-bound forms. Successful determination of the proposed structures will also provide invaluable therapeutic potentials to fight deleterious diseases, such as Alzheimer's disease and cardiovascular diseases. For this reason, intense efforts have been invested to the structural determination of

intramembrane proteases. The breakthrough was finally made in 2006. Four independent groups successfully solved the structures of the bacterial homologs of Rhomboid in their apo forms⁴⁻⁷. At the end of year 2007, the structure of an archaeobacterial S2P homolog was determined by Dr. Yigong Shi's group at Princeton University⁸. The structures answered the question of how water molecules get access to the active site and provided clue to understanding substrate entry; however, the following questions remain unknown:

1. What regulates the substrate access to the active site?
2. What are the structure and functional mechanism of SPP?
3. What are the structure and functional mechanism of Presenilin?

To address these important questions, we proposed to:

1. To understand the regulatory mechanism of S2P
2. To determine the structure of SPP;
3. To determine the high-resolution structure of Presenilin;

We would like to combine structural biology, biochemistry and other biophysical approaches to understand the working mechanism of RIP.

Despite of the ambitious plan, we understand very well the intrinsic difficulty to deal with membrane proteins. Thus, for a long-term proposal with SPring-8, we anticipated to make major progress on the mechanistic understanding of S2P, and to make preliminary result on the structural study of SPP and presenilin.

Progress

S2P, as the named indicated "site 2 protease", cleaves substrate only after S1P (site 1 protease cleavage). Why is Site 1 cleavage required for S2P function? This remains to be one of the central questions in the understanding of the regulation of intramembrane proteolysis.

Dr. Yigong Shi's group at the Center for Structural Biology, Tsinghua University, combined biochemistry and structural biology to address this question by focusing on the bacterial ortholog of S2P, RseP (also

known as YaeL). In response to accumulation of unfolded outer membrane proteins (OMP) in the envelope of *Escherichia coli*, RseP (also known as YaeL), a representative member of the S2P proteases, cleaves a membrane-anchored protein RseA at an intramembrane site that is proximal to the cytoplasm (Fig. 1). Because the amino-terminal sequence of RseA is bound to the transcription factor σ^E , this cleavage results in the release of the amino-terminal RseA- σ^E complex into the cytoplasm, where RseA is selectively degraded by proteases and the freed σ^E factor activates transcription of genes that cope with envelope stress. As is the case for all characterized S2Ps, RseP can cleave RseA only after a prior cleavage mediated by the membrane-anchored protease DegS, a known S1P⁹. DegS is a serine protease with a carboxy-terminal PDZ domain and an amino-terminal transmembrane segment (Fig. 1). In the absence of envelope stress, DegS exists in an auto-inhibited state. Binding of the C-terminal residues of unfolded OMPs to the PDZ domain of DegS triggers its allosteric activation^{10,11}, which subsequently cleaves the periplasmic domain of RseA between amino acids Val148 and Ser149 (Fig. 1)¹².

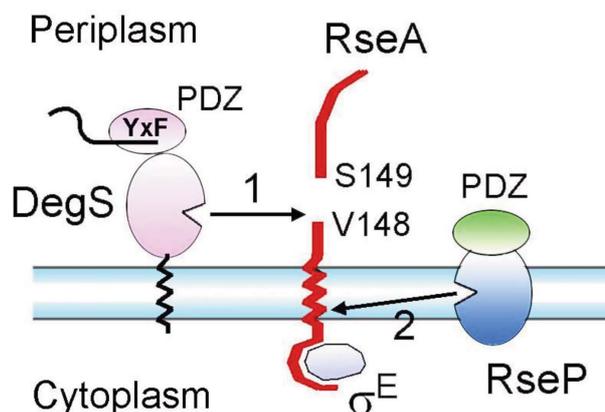


Figure 1 A schematic diagram of the proteolytic cascade across the inner membrane of Gram-negative bacteria.

In the study, they reported three novel findings. First, they demonstrated that identity of the newly exposed carboxy-terminal residue of RseA, as a result of Site-1 cleavage by DegS, determines whether Site-2 cleavage can occur and the extent of Site-2 cleavage. Conserved mutation of Val148 (to Ala, Ile, Leu, Cys, Thr, and Asn)

allowed both Site-1 and Site-2 cleavages. Second, they showed that mutation of residues in the putative peptide-binding groove of RseP PDZ domains abolished its activity to mediate the Site-2 cleavage. These two observations strongly implicate a mechanism whereby direct interaction of the newly exposed carboxy-terminus of RseA with the PDZ domains of RseP leads to the activation of RseP and subsequent Site-2 cleavage. Interestingly, however, such interactions eluded detection. This apparent dilemma was explained by the third finding – the putative peptide-binding groove of the first PDZ domain is blocked by a structural element that appear to be conserved among the PDZ domains of S2P.

Future plan:

We are now continuing our effort on the structural

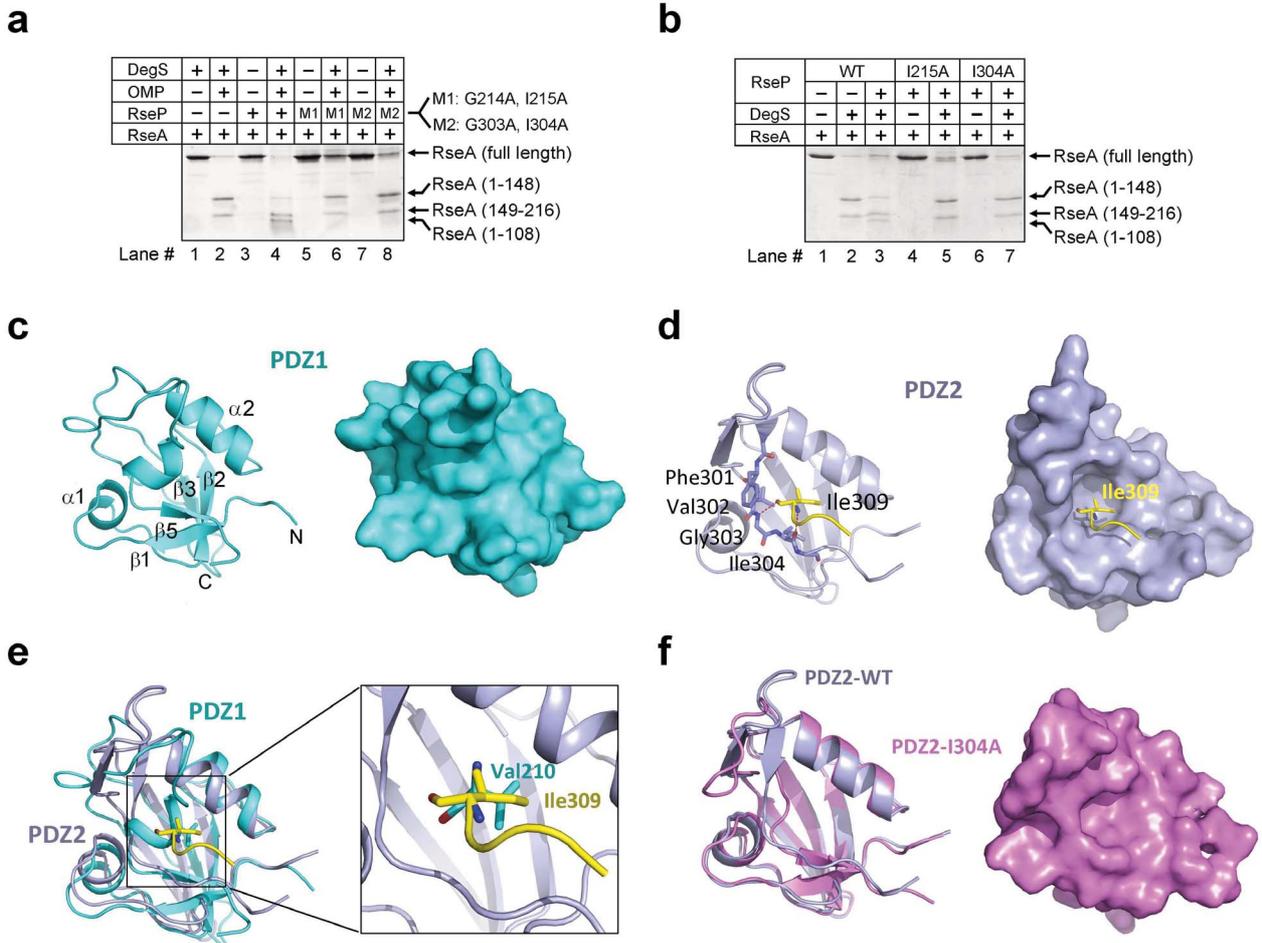
determination of SPP and presenilin. We have successfully set up the protein expression and purification system and obtained reasonable yield of the recombinant proteins. We anticipate some breakthrough on these two important proteins in the near future.

Annotation:

The figures and some of the progress description were adopted from the published paper by Li *et al*¹³.

References:

[1] Brown, M.S. & Goldstein, J.L. The SREBP pathway: regulation of cholesterol metabolism by proteolysis of a membrane-bound transcription factor. *Cell* **89**, 331-340 (1997).



The results were published as a research article in *PNAS*¹³.

- [2] Brown, M.S., Ye, J., Rawson, R.B. & Goldstein, J.L. Regulated intramembrane proteolysis: a control mechanism conserved from bacteria to humans. *Cell* **100**, 391-398 (2000).
- [3] Jung, K.M. et al. Regulated intramembrane proteolysis of the p75 neurotrophin receptor modulates its association with the TrkA receptor. *J. Biol. Chem.* **278**, 42161-42169 (2003).
- [4] Wang, Y., Zhang, Y. & Ha, Y. Crystal structure of a rhomboid family intramembrane protease. *Nature* **444**, 179-180 (2006).
- [5] Wu, Z. et al. Structural analysis of a rhomboid family intramembrane protease reveals a gating mechanism for substrate entry. *Nature Struct. Mol. Biol.* **13**, 1084-1091 (2006).
- [6] Lemieux, M.J., Fischer, S.J., Cherney, M.M., Bateman, K.S. & James, M.N. The crystal structure of the rhomboid peptidase from *Haemophilus influenzae* provides insight into intramembrane proteolysis. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **104**, 750-754 (2007).
- [7] Ben-Shem, A., Fass, D. & Bibi, E. Structural basis for intramembrane proteolysis by rhomboid serine proteases. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **104**, 462-466 (2007).
- [8] Feng, L. et al. Structure of a site-2 protease family intramembrane metalloprotease. *Science* **318**, 1608-1612 (2007).
- [9] Alba, B.M., Leeds, J.A., Onufryk, C., Lu, C.Z. & Gross, C.A. DegS and YaeL participate sequentially in the cleavage of RseA to activate the sigma(E)-dependent extracytoplasmic stress response. *Genes Dev.* **16**, 2156-2168 (2002).
- [10] Walsh, N.P., Alba, B.M., Bose, B., Gross, C.A. & Sauer, R.T. OMP peptide signals initiate the envelope-stress response by activating DegS protease via relief of inhibition mediated by its PDZ domain. *Cell* **113**, 61-71 (2003).
- [11] Sohn, J., Grant, R.A. & Sauer, R.T. Allosteric activation of DegS, a stress sensor PDZ protease. *Cell* **131**, 572-583 (2007).
- [12] Cezairliyan, B.O. & Sauer, R.T. Inhibition of regulated proteolysis by RseB. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **104**, 3771-3776 (2007).
- [13] Li, X. et al. Cleavage of RseA by RseP requires a carboxyl-terminal hydrophobic amino acid following DegS cleavage. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **106**, 14837-14842 (2009).

グリーン・ナノテク研究支援のための放射光分析基盤の整備 (BL37XU、BL39XU)

財団法人高輝度光科学研究センター 利用研究促進部門

鈴木 基寛、寺田 靖子

財団法人高輝度光科学研究センター 光源・光学系部門

大橋 治彦

財団法人高輝度光科学研究センター 利用研究促進部門

河村 直己、水牧 仁一朗、宇留賀 朋哉、藤原 明比古

財団法人高輝度光科学研究センター 光源・光学系部門

小山 貴久、湯本 博勝、山崎 裕史、竹内 智之、仙波 康徳

竹下 邦和、木村 洋昭、松崎 泰久、田中 政行、清水 康弘

岸本 輝、三浦 孝紀、成山 展照、後藤 俊治

財団法人高輝度光科学研究センター 制御・情報部門

松下 智裕、石澤 康秀、古川 行人、大端 通

独立行政法人理化学研究所・播磨研究所 放射光科学総合研究センター

山本 雅貴、高田 昌樹、石川 哲也

Abstract

「グリーン・ナノ放射光分析評価拠点の整備」が、2010年度にBL37XU分光分析およびBL39XU磁性材料ビームラインにおいて行われた。本整備計画によって、これらのビームラインで100 nm オーダーの集光X線ビームを利用した蛍光X線分析、X線吸収分光 (XAFS) およびX線磁気円二色性分光 (XMCD) 測定が可能となった。ナノスケールX線分析手法を提供することで、低炭素社会の実現に資するグリーン・ナノテクノロジー研究開発の促進と支援を目的としている。本稿では、本整備計画の目的、新設ステーションの概要、技術的な開発要素、可能となる利用研究について紹介する。

1. はじめに一社会的／科学技術的背景

人間社会の持続的な発展および健全な地球環境の維持のために、持続可能な社会の構築が求められている。とりわけ環境・エネルギー技術の低炭素化は全世界的な課題である。先端技術であるナノテクノロジーの活用は、この課題の解決のための重要な鍵となる。文部科学省による低炭素研究ネットワークプログラムでは、大気中へのCO₂ガス放出を低減させるための「グリーン・ナノテクノロジー」の研究開発に取り組む国内の18機関から成る研究拠点のネットワーク化を行っている^[1]。このプログラムによって、それぞれの拠点が提供する最先端研究開発機器の相互活用を促進する。理化学研究所はこのプロジェクトに参画し、平成22年度に放射光科学総合研究センターにおいてグリーン・ナノ放射光分析

評価拠点の整備を行った^[2]。

具体的な整備内容は、SPring-8のビームラインにナノ計測ステーションを新たに設置し、ナノサイズの試料を対象とする放射光分析手法を提供することである (図1)。低炭素社会に資する新材料の開発において、ナノメートルオーダーの構造をもつ試料の結晶構造や電子状態、反応過程などを解析し、その知見を材料設計にフィードバックすることを目的としている。その結果、新電池材料、高効率触媒、環境物質・土壤汚染除去物質等の開発に貢献する。最終的には、ナノX線分析手法の提供によって、新エネルギー源の開発、エネルギー消費の節減、温室効果ガス削減などに関連する研究開発の促進に寄与することを目指している。

本稿では、BL37XU第3ハッチに整備されたナノ

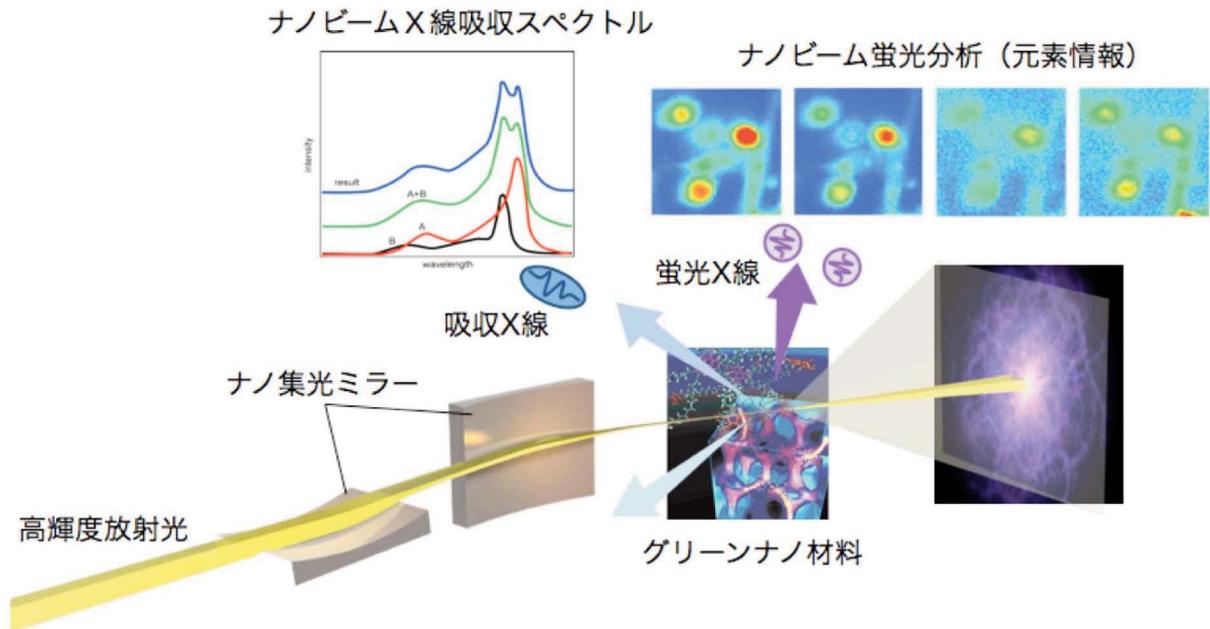


図1 グリーン・ナノ放射光分析評価拠点における、ナノサイズX線ビームを用いた材料解析

ビームX線蛍光分析装置（以下、ナノ蛍光分析装置）、およびBL39XU第2ハッチに整備されたナノビームX線吸収スペクトル計測装置（以下、ナノXAFS装置）の概要を紹介し、提供されるX線測定手法および可能な利用研究について述べる。これらの装置の目的性能の実現には、100 nm集光X線ビームを安定に形成することが鍵であった。これを実現するための装置技術について、主にX線光学系に関する開発内容を併せて記載する。

2. ナノスケール集光のための光学系および実験環境の整備

100 nm集光X線ビームを安定に利用するために、BL37XUとBL39XUにそれぞれ専用の実験ハッチを建設し、高安定化した液体窒素冷却シリコン二結晶分光器およびX線全反射ミラーによる集光光学系を整備した(図2)^[3,4]。課せられた境界条件は、①BL37XU、BL39XUの2本のビームラインについて同時に建設・整備を行うこと、②2010年度はダークタイムなしに他のビームライン同様の日程でユーザー利用を行うこと、③2011年度初めの約1カ月のコミッショニング期間で、④安定な100 nmビームを供給すること、であった。近隣ビームラインの理解を得て順調に建設を進めることができ、2011年3月末までにすべての機器の試運転を終えた。同年4月からコミッショニングを開始し、4月下旬には100 nm集

光ビームをBL37XU、BL39XUの何れにおいても実現した。以下に各ビームラインで共通に整備した光学系および実験環境について紹介する。

新設した実験ハッチは、BL37XUとBL39XUの既設のハッチからそれぞれ10 mと20 m下流にあり、いずれも長さ6 m、幅3.5 m、高さ3.3 mである。ハッチ内壁面を断熱構造とするとともに精密空調を装備しており、実験ハッチ内の温度変動は0.05℃/日に安定化されている。精密な温調システムと空気の流れを考慮することで、ハッチ入退室に伴う温度変動を抑制し、かつ静穏状態を確保する工夫を行っている。

集光光学系には、KBミラー^[5]と呼ばれる2枚のX線全反射ミラーから成る光学系を採用した。この配置では、楕円筒面に研磨された反射面をもつ2枚のミラーをその表面が直交するように並べ、それぞれのミラーで水平方向と垂直方向のX線集光を行う。水平方向と垂直方向の焦点位置は一致するように設計されている。大阪大学とSPring-8で考案された調整方式^[4]をもとに、ミラー調整機構と試料回りの計測機器およびステージ等を一体化し、安定な100 nm集光ビームを利用できるシステムを構築した。

分光光学系は、熱的・機械的な安定性を向上した液体窒素冷却シリコン二結晶分光器を導入した。これまでに光学系グループで開発を進めてきた熱シールド、低振動型配管および高精度温度調整ユニット

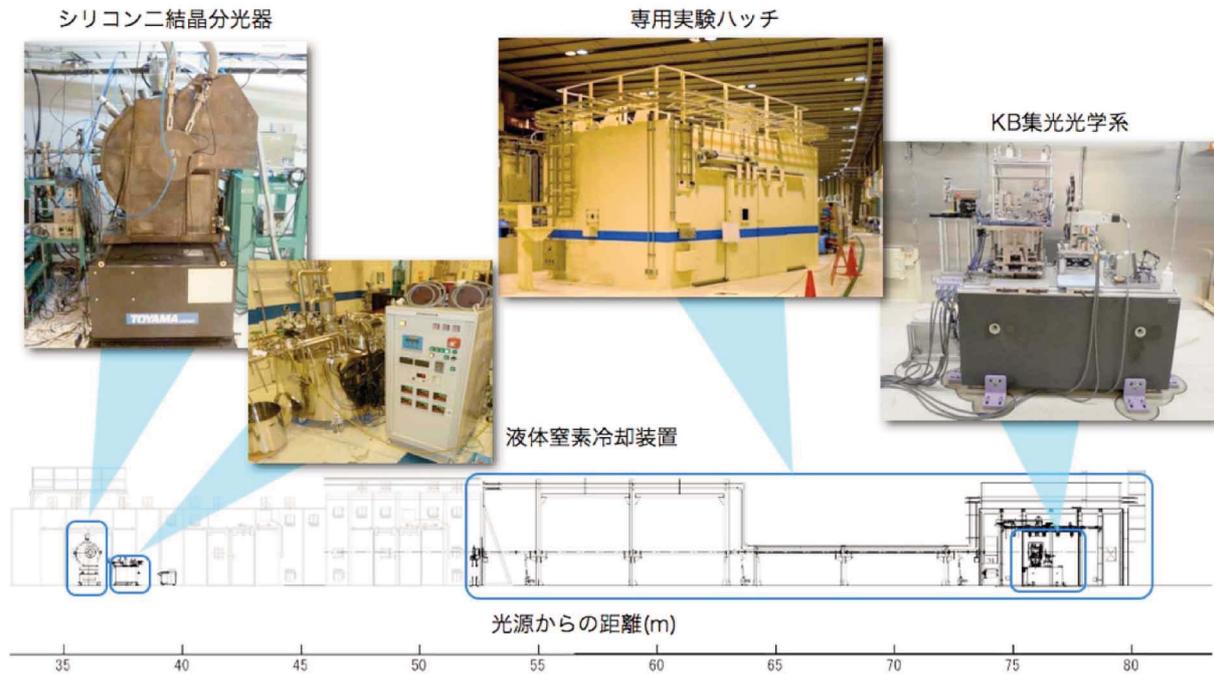


図2 BL37XU、BL39XUに整備した、ナノスケール集光のための光学系および実験環境

を採用し、従来型の液体窒素冷却分光器と比べてビーム強度変動を1桁以上低減している。また、結晶面の切替え（BL37XUでは111反射で4.5～38 keV、333 + 511反射で12～113 keV、BL39XUでは111反射で4.5～38 keV、220反射で5～61 keV）に対応し、これまでと同じかより広いエネルギー範囲をカバーできるようになっている。

各ステーションのビーム性能一覧は次章に後述するが、一例として、BL37XUにおける集光ビームプロファイルを図3に示す。この測定では、分光器下流の輸送チャンネルスリットによりビームを垂直6 μm 、水平16 μm で切り出しており、12.4 keVにおいて集光ビームサイズは水平・垂直ともに100 nm（半値全幅）で光子数 10^9 photons/sと設計通りの性能が得られている。また、輸送チャンネルスリットの垂直方向を全開、水平方向を48 μm とした場合、ビームサイズは水平・垂直とも300 nmにて光子数 10^{12} photons/sを得ている。図4に、この100 nm集光ビームを用いたTa製ジーマテストパターン²の2次元マッピング像を示す。100 nmのラインアンドスペースが明瞭に分解できている。今回、両ステーションの整備のために開発、構築した安定な光学系および実験環境は、SPring-8における100 nmスケールのビーム利用の基盤技術となるものであり、さらなる安定化と汎用化を進めることで、多く

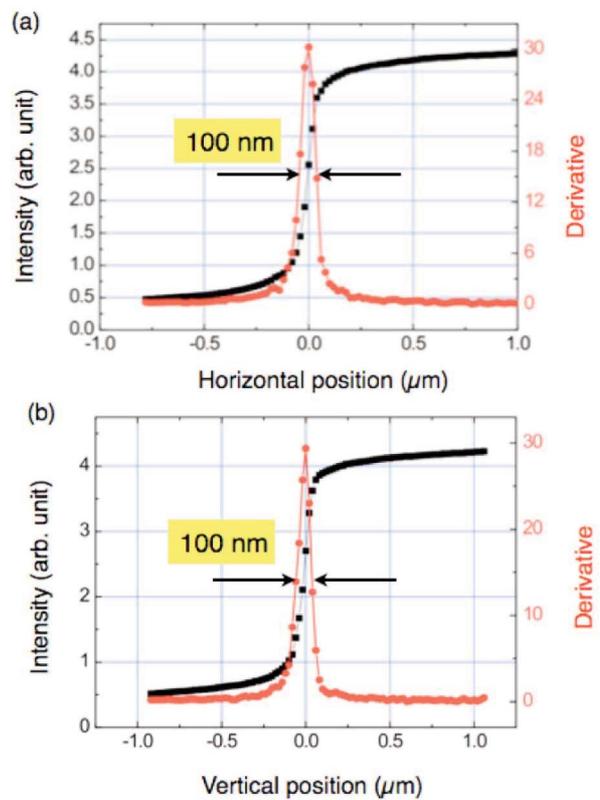


図3 BL37XUにおける集光X線ビームの形状。(a) 水平方向、(b) 垂直方向。

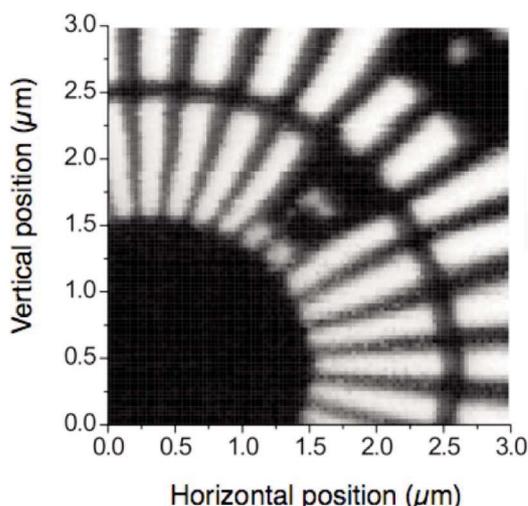


図4 BL37XUにおける、Ta製ジューメンスタースターパターンの2次元マッピング像。試料位置送りのステップは、水平、垂直方向とも30 nm。

のビームラインへの普及が期待される。

3. ナノスケール分析ステーション

3-1. ナノ蛍光分析 (BL37XU第3ハッチ)

BL37XUはアンジュレータを光源とした硬X線ビームラインである。主な測定手法は、X線マイクロビームと蛍光X線検出を組み合わせた分光分析、極微量元素分析、全反射蛍光X線分析、蛍光X線ホログラフィーである。2002年の供用開始以来、材料科学、生物学、考古学、鑑識科学、環境科学、地球化学等の分野での利用研究が行われている。本ビームラインではX線エネルギーの異なる2本のブランチを利用できる。ブランチAでは標準的な硬X線(4.5~37.7 keV)による蛍光X線分析が行える。ブランチBでは高エネルギーのX線(75.5 keVに固定)が利用可能であり、高エネルギーのX線集光ビームの形成とそれを用いた重元素の顕微蛍光X線観察法の開発が精力的に行われてきた。ビームラインや既存の実験ステーションの詳細については、ホームページ[6]や文献[7]を参照されたい。2章で述べたように、2011年4月に光源から76 mの距離にナノビーム専用の第3実験ハッチおよびナノビームX線蛍光分析装置が整備された。本装置により、100 nmオーダーのX線ビームを用いた蛍光X線分析やXAFS解析が可能となる。

ナノ蛍光分析装置は、X線を試料位置に集光するためのKBミラー、精密試料ステージ、検出器からなる。これらのコンポーネントは、

長さ2.5×幅1.1×高さ0.8 mの安定な石定盤上に配置されている。KBミラー下流には、ステージやゴニオメーターを搭載可能なレール式可動台が3組配置されており、様々な実験配置を構築可能である。KBミラーは2枚のX線全反射ミラーからなり、それぞれ、垂直方向および水平方向の集光を行う。BL37XU、BL39XU用ミラーの仕様を表1に示す。ミラーユニットの上流側に垂直集光ミラーが、下流側に水平集光ミラーが配置される。水平集光ミラーの下流端から試料までの距離(ワーキングディスタンス)は、100 mmである。実際にはミラーユニットはアクリルケースで覆われているため、実質的に利用できるミラーユニットと試料間の距離は、78 mmである。ミラーの長さが入射角で決まるX線開口は、縦1080×横660 μm (BL39XU用は縦1200×横760 μm)である。この開口でX線ビームの大部分の強度をミラーに取り込むことができる。X線エネルギーのカットオフは17 keVである。このエネルギー以下では、およそ80% (二回反射)の反射率を確保している。大きな開口と高い反射率によって、明るい集光X線ビームの形成が行える。

精密試料ステージは、フィードバック機構を備えたステップモーターステージを用いている。これによって、試料位置をX線と垂直な面内で、±5 nmの精度で二次元の位置決めを行うことができる。試料からの蛍光X線の測定には、シリコンドリフト検出器を用いる。蛍光X線スペクトルのエネルギー分解能は、230 eV、最大計数率は100,000 cpsである。

ナノ蛍光分析装置の集光ビーム性能を表2に示す。利用可能なX線のエネルギーは、4.5~17 keVである。分析可能な元素は、Ti~Geという3d元素、希土類元素、5d遷移金属である。集光X線の利用に関して、

表1 BL37XUおよびBL39XU用X線集光ミラーの仕様

	垂直集光ミラー	水平集光ミラー
表面形状	楕円筒面	楕円筒面
基板材質	シリコン	石英
コーティング材料	Rh 50 nm	Rh 50 nm
ミラー長さ	300 mm	200 mm
ミラー中心での視斜角	3.6 [4.0] mrad	3.3 [3.8] mrad
焦点距離	460 mm	200 mm
開口サイズ	1080 [1200] μm	660 [760] μm
縮小比	1/70 [1/78]	1/160 [1/80]

*括弧内はBL39XU用ミラーの仕様。他はBL37XU、BL39XU用ミラーの共通仕様

表2 ナノビームX線蛍光分析装置 (BL37XU) の集光ビーム性能

	高フラックスモード	高分解能モード
X線エネルギー	4.5~17 keV	
集光ビームサイズ*	230 (V) × 270 (H) nm	100 (V) × 100 (H) nm
フラックス*	1.4×10^{12} photons/s	3.1×10^9 photons/s

*X線エネルギー 12.4 keVでの値

2つのモードが選択できる。高フラックスモードと高分解能モードである。高フラックスモードでは、集光ビームサイズ300 nm中に、 10^{12} photons/s台の光子数という非常に明るい集光X線が利用できる。高分解能モードでは、集光ビームサイズ 100 nm のナノX線プローブが利用できる。その場合には、集光スポット中の光子数は 10^9 photons/s台に減少する。

今回新たに導入された液体窒素冷却二結晶分光器とナノ蛍光分析装置により、ビームラインに新たに2つの特徴が付与されることになる。1つは前項までに述べたとおり、走査型X線顕微鏡におけるプローブの高分解能化であり、もう1つは分光器の結晶面切り替えにより高エネルギー領域のX線が利用可能になった点である。例えば前者を利用すれば、顕微鏡のプローブサイズとして100 μm (第1ハッチ) \rightarrow 1 μm (第1ハッチ) \rightarrow 0.1 μm (第3ハッチ) といった選択ができるので上流からサンプルを移動していけば倍率可変な分析を行うことができる。

また、蛍光X線の検出には対象元素の吸収端エネルギー以上のX線が必要であるので、より多くの元素を分析したい(あるいは存在を確認したい)場合にはより高いエネルギーのX線を用いるのが望ましい。そこでBL37XUでは分光器の結晶面を2組用意し、高エネルギーX線へ対応することとした。最も高いX線エネルギーは113 keVであり、K吸収端ではTh (K端エネルギー: 109.6 keV) まで励起することができる。測定例として、NISTガラス標準試料SRM611のスペクトルを図5に示す。この試料はケイ酸塩ガラス中に全ての希土類元素やPb、Sn、Sbなどの重金属元素が500 ppm添加されたものである。詳細なピークの帰属に関しては文献^[8]を参照していただきたい。20~80 keVの領域で各々の元素のK線が分離されており、ppmレベルの濃度であれば十分検出可能であることが示唆されている。これまで、SPring-8でも限られたビームラインでしか実現できなかった分析が、ほぼ同等にBL37XUにおいても行えることがわかった。このような高エネルギーX線

の利用と走査型顕微鏡を用いた実験は独立した条件であるが、BL37XUでは100 keVまでの全反射ミラーによる光学系を既に保有しているので^[9]、重金属元素のK線を1 μm 以下の空間分解能で分析することができる。現在までのところ、X線エネルギー60 keVで縦320 nm、横600 nm程度のマイクロビームが得られており、PtやIrなどの白金元素や希土類元素など、触媒材料や地球科学試料中でのミクロな挙動に興味を持たれている元素の分析に対して大変有効なツールとなり得るであろう。

3-2. ナノXAFS、ナノXMCD (BL39XU第二ハッチ)

BL39XUもまたアンジュレータを光源とした硬X線ビームラインであり、磁性体試料の研究を主な目的としている^[10, 11]。硬X線領域のX線磁気円二色性(XMCD)分光および共鳴/非共鳴磁気散乱が主な測定手法である。本ビームラインの最大の特徴は、様々な偏光状態のX線を利用できることである。ビームラインに常設されているダイヤモンドX線移相子によって、磁性研究に有用な円偏光、水平および垂直方向の直線偏光、任意の楕円偏光を簡便に切り替えることができる。最近ではダイヤモンドアン

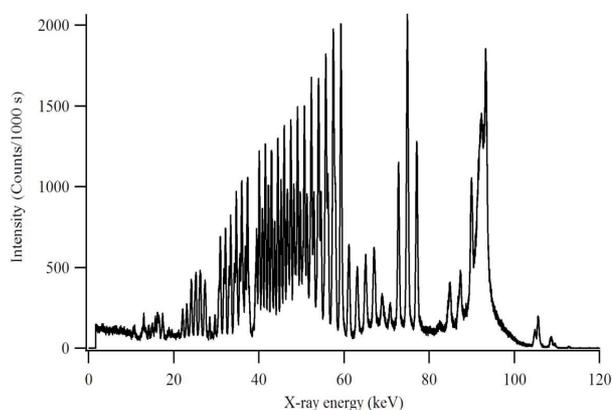


図5 NISTガラス標準試料SRM611の蛍光X線スペクトル。X線エネルギー: 113 keV、ビームサイズ: 0.5x0.5 mm、計測時間: 1000秒

ビルセルを用いた極限高圧環境下 (> 100 GPa) でのXMCD測定^[11] や、X線マイクロビームを用いたXMCD測定^[12,13]、時分割XAFS・XMCD^[14,15]といった新しい実験手法が開発され、これらの手法を用いたユーザー利用が盛んに行われている。今回整備された第二実験ハッチおよびナノビームX線吸収スペクトル計測装置（ナノXAFS装置）により、100 nmオーダーのX線ビームを用いたXAFSやXMCD測定が可能となった。

図6にナノXAFS装置の外観写真を示す。本装置は、X線を試料位置に集光するためのKBミラー、精密試料ステージ、電磁石、検出器からなる。これらのコンポーネントは、長さ1.5×幅1.0×高さ0.8 mの安定な石定盤上に配置されている。KBミラーの仕様は表1に示すように、BL37XUとほぼ同じである。やはり大きな開口と高い反射率によって、明るい集光X線ビームの形成が行える。精密試料ステージは、フィードバック機構を備えたステッピングモーターステージを用いている。これによって、試料位置をX線と垂直な面内で、±5 nmの精度で二次元の位置決めを行うことができる。光学顕微鏡とキネマティックマウントによる、オフラインでの粗い位置決め（精度10 μm）が可能である。光学顕微鏡によるオンライン試料位置観察機構も今後整備していく。

ナノXAFS装置の集光ビーム性能は表3に示したとおりである。利用可能なX線のエネルギーは、5～15 keVである。元素吸収端としては、3d遷移金属のK吸収端、希土類 $L_{2,3}$ 吸収端、5d遷移金属（Pt、Auなど）の $L_{2,3}$ 端をカバーしている。このうち、5d遷移金属元素は磁気記録材料や触媒として有用な元素であり、本装置の応用としても重要である。偏光状態については、既存のハッチ同様、左右円偏光、水平・垂直直線偏光が利用可能である。最大100 Hzでの高速円偏光スイッチングも行える。BL37XUと同様に、集光X線の利用に関して、高フラックスモードと高分解能モードの2つのモードが

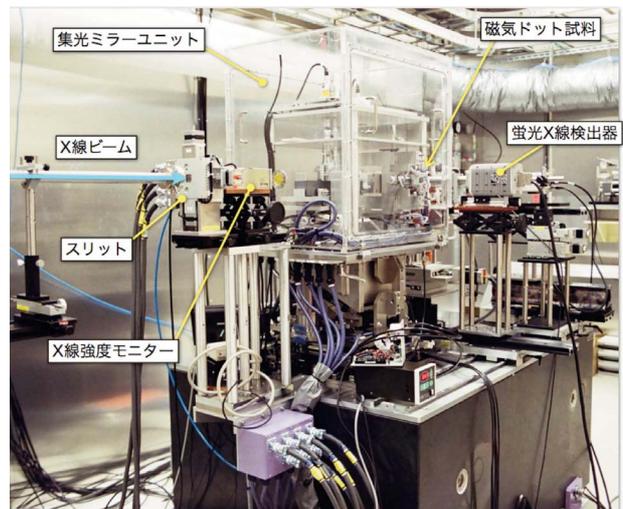


図6 ナノビームX線吸収スペクトル計測装置 (BL39XU)

選択できる。高フラックスモードでの集光ビーム位置の安定性は±150 nm/10時間、ビームサイズの安定性は±50 nmである。

また、XMCD測定のために専用の小型電磁石を利用することができる。X線と平行な方向に試料に最大1.2 Tの磁場を印加することができ、垂直磁化膜の測定に適する。磁極間隔は6 mmであり、この間隔に収まるよう試料サイズを調整する必要がある。試料からの蛍光X線の測定には、4素子のSDD（シリコンドリフト検出器）を用いる。実用上の最大計数率は約30万 cps、蛍光X線スペクトルのエネルギー分解能は260 eVである。XAFSおよびXMCDの測定では、4素子SDDを用いた蛍光法での測定が基本である。厚さを適切に調整された試料に対しては、PINフォトダイオードやイオンチェンバーを用いた透過法での測定も可能である。試料温度は現状では室温での測定のみ提供している。加熱炉や冷凍機をユーザーが持ち込むことも可能だが、定盤上のスペースが限られている。事前にビームライン担当者に相談されたい。

ナノXAFS装置によって可能となる測定手法は以

表3 ナノビームX線吸収スペクトル計測装置 (BL39XU) の集光ビーム性能

	高フラックスモード	高分解能モード
X線エネルギー	5～15 keV	
集光ビームサイズ*	300 (V) × 250 (H) nm	100 (V) × 100 (H) nm
フラックス*	1.7×10^{12} photons/s	3.3×10^9 photons/s

*X線エネルギー 11.56 keVでの値

下のようなものが挙げられる。

1. XAFS (XANES) の二次元マッピング：吸収端の特徴的な構造を利用し、化学状態、結合状態、対称性、局所構造（たとえば相変化材料における結晶とアモルファス相の分布やその転移過程をin-situで観察）などの情報について試料上での空間分布を100 nm の分解能で得ることができる。
2. 局所XAFSスペクトル：試料上の特定の観察部位でのXAFSおよびEXAFS測定。場所ごとの局所構造の違いをスペクトルから明らかにする。
3. XMCDマッピング、試料上の特定位置でのXMCD、あるいは特定位置での局所的な磁化曲線を得る。PEEMや軟X線顕微鏡と比べて、バルクの情報が得られる、強磁場 (1.2 T) 下での測定が可能、超高真空環境が不要とい

う特徴がある。実デバイスやそれに近い開発段階での磁性材料の解析に有効である。

測定例として、 $\text{Co}_{80}\text{Pt}_{20}$ 合金磁気ドット試料についての観察結果を図7に示す。300 nm のX線集光ビーム（高フラックスモード）を用いることで、直径200 nm、膜厚15 nmの単一の磁気ドットに対して、局所XAFS、局所XMCD、および元素別磁化曲線の観測に成功した。測定は蛍光法で行った。図7 (b) のXASスペクトルでは、磁気ドット本体に含まれるPtと、磁性膜の下地として含まれるNiW合金中のWが観測されており、本装置によって埋もれた膜の測定が可能であることを示している。図7 (c) の元素選択的磁化曲線は、PtのXMCD強度が最大となるX線エネルギー 11.566 keVにおいて、XMCDの磁場依存性をプロットしたものである。この結果から、単一磁気ドットの磁化反転過程についての情報（保磁力、および磁場転移幅）が直接得られた。従来

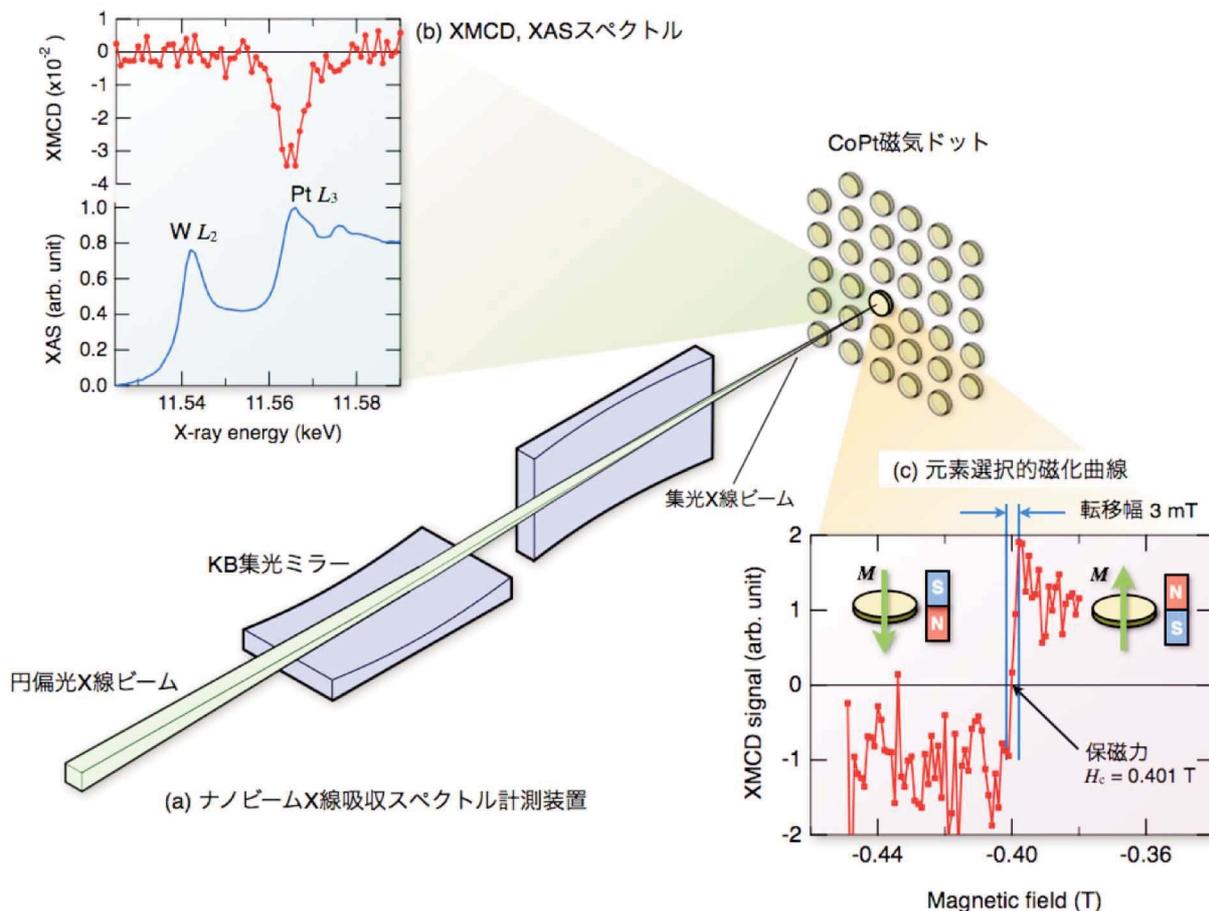


図7 CoPt 磁気ドット試料に対する試験測定。ナノXAFS装置 (a) を用いることで、直径200 nm の単一磁気ドットの (b) XMCDおよびXAFSスペクトル、(c) 元素選択的磁化測定が可能となった。

のマイクロX線ビームによる測定^[13]では、ビームサイズがドットサイズに比べて大きいため、数10個から数100個程度の多数のドットの平均情報しか得られなかった。100 nm オーダーのX線ビームを用いたXMCD測定によって、ただ1個のドットの磁化反転過程が明らかになった。強い外部磁場下での単一磁気ドットの磁化曲線は、これまで異常ホール効果測定^[16]による報告がなされている。異常ホール効果測定では、ドット試料に微小電極を配置する必要があり、試料調製が煩雑となる。また、多数のドットを次々に評価する目的には向いていない。一方で、ナノXMCD法では、多数のドットを配列した試料の目的のドットに集光ビーム照射することで次々に異なるドットを観察でき、ドットごとの磁気特性のばらつき（スイッチング磁場分散）を評価することが可能である。本測定法で得られる知見は、次世代の超高密度記録媒体として期待されるビットパターン媒体の特性向上に寄与する。

今後1、2年以内に展開される利用研究として、(1) マイクロ、ナノ触媒の単一粒子XAFS観察、(2) 相変化、相転移を利用したマイクロ、ナノデバイスのメカニズム解明、(3) 1 Tbit/in² の記録密度に相当する磁気ドット媒体の単一ドット磁気解析、(4) NdFeB等の焼結永久磁石における粒径構造と磁区構造の相関、強磁場下でのバルク磁区構造の観察、などが期待される。同時に、今後の装置整備に関しては、(i) より強磁場（2~3 T）を発生可能な電磁石の導入、(ii) 高温および低温環境の導入、(iii) 試料のX線照射ダメージ対策、(iv) モノクロメータ、KBミラー集光装置のさらなる安定化、を検討していく。

4. ナノテク支援枠、グリーン/ライフイノベーション支援枠での課題募集

ナノビームX線吸収スペクトル計測装置、ナノビームX線蛍光分析装置は、2011A期より共同利用に提供されている。SPring-8の他の共同利用ビームラインや実験ステーションと同様に、課題申請の手続きによって誰でも利用することができる。BL37XU、BL39XUにおいては、一般課題に加えて「重点グリーン/ライフ・イノベーション推進課題」枠を設けており、「グリーン・イノベーション」および「ライフ・イノベーション」分野の利用研究を戦略的に推進している。ナノXAFS装置およびナノ蛍光分析装置を活用する研究の多くは、本重点課題

枠の趣旨に合致するものと確信している。ぜひ、重点課題枠を活用した積極的な課題申請をお願いいたします。募集要項の詳細については、SPring-8ホームページをご参照ください。

5. まとめ

本稿では、文部科学省による低炭素ネットワークプロジェクトにおいてグリーン・ナノ放射光分析評価拠点として整備された、ナノ蛍光分析装置（BL37XU）、ナノXAFS装置（BL39XU）について紹介した。これらの装置は、硬X線集光ビームによる100 nm オーダーの空間分解能での材料解析、とりわけグリーンナノテクノロジーに資するものである。技術的には、大強度かつ安定なナノビームの提供を可能としており、これはSPring-8の高輝度で安定な光源、理研・阪大を中心に開発されてきたX線集光技術、およびX線分光器をはじめとする光学系や装置環境の安定化技術を、高い水準で組み合わせることで実現された。現時点でのSPring-8の総合的なポテンシャルの高さを示すとともに、今後、他のビームラインにおいてもナノビームX線を提供し、X線回折・散乱をはじめとする様々なナノビーム利用を推進するモデルケースとなっている。さらには、SPring-8次期計画での超高輝度、コヒーレント光源の開発やその利用研究への橋渡しとなるものと考えている。

6. 謝辞

本実験ステーションの整備は、文部科学省による「低炭素社会構築に向けた研究基盤ネットワークの整備」事業の一環として行われた。プロジェクトの遂行にあたっては、理化学研究所、高輝度光科学研究センターの多くの関係者のご協力をいただいた。この場を借りて御礼申し上げます。また、CoPt磁気ドット試料の観察は、秋田県産業技術センターの近藤祐治氏との共同研究として行われた。

参考文献

- [1] 低炭素研究ネットワークホームページ：
<http://www.nims.go.jp/lcnet/>
- [2] 理化学研究所 播磨研究所 グリーン・ナノ放射光分析評価拠点ホームページ：
<http://harima.riken.jp/lcresearch/>
- [3] T. Koyama, H. Yumoto, Y. Terada, M. Suzuki, N. Kawamura, M. Mizumaki, N. Nariyama, T.

Matsushita, Y. Ishizawa, Y. Furukawa, T. Ohata, H. Yamazaki, T. Takeuchi, Y. Senba, Y. Matsuzaki, M. Tanaka, Y. Shimizu, H. Kishimoto, T. Miura, K. Takeshita, H. Ohashi, M. Yamamoto, S. Goto, M. Takata and T. Ishikawa: SPIE Optics+Photonics conference, (2011) 8139-17.

- [4] S. Matsuyama, H. Mimura, H. Yumoto, H. Hara, K. Yamamura, Y. Sano, K. Endo, Y. Mori, M. Yabashi, Y. Nishino, K. Tamasaku, T. Ishikawa and K. Yamauchi: Rev. Sci. Instrum. **77** (2006) 093107.
- [5] P. Kirkpatrick and A. V. Baes: J. Opt. Soc. Am. **38** (1948) 776.
- [6] BL37XUホームページ: http://www.spring8.or.jp/wkg/BL37XU/instrument/lang/INS-0000000592/instrument_summary_view
- [7] Y. Terada, S. Goto, N. Takimoto, K. Takeshita, H. Yamazaki, Y. Shimizu, S. Takahashi, H. Ohashi, Y. Furukawa, T. Matsushita, T. Ohata, Y. Ishizawa, T. Uruga, H. Kitamura, T. Ishikawa and S. Hayakawa: AIP Conf. Proc. **705** (2004) 376.
- [8] I. Nakai, Y. Terada, M. Itou and Y. Sakurai: J. Synchrotron Rad. **8** (2001) 1078.
- [9] Y. Terada, S. Homma-Takeda, A. Takeuchi and Y. Suzuki: X-Ray Optics and Instrumentation 2010 (2010) 317909.
- [10] BL39XUホームページ: http://www.spring8.or.jp/wkg/BL39XU/instrument/lang/INS-0000000528/instrument_summary_view
- [11] N. Kawamura, N. Ishimatsu and H. Maruyama: J. Synchrotron Rad. **16** (2009) 730.
- [12] M. Takagaki, M. Suzuki, N. Kawamura, H. Mimura and T. Ishikawa: IPAP Conf. **7** (2006) 267.
- [13] M. Suzuki, M. Takagaki, Y. Kondo, N. Kawamura, J. Ariake, T. Chiba, H. Mimura and T. Ishikawa: AIP Conf. Proc. **879** (2007) 1699.
- [14] P. Fons, A. V. Kolobov, T. Fukaya, M. Suzuki, T. Uruga, N. Kawamura, M. Takagaki, H. Ohsawa, H. Tanida and J. Tominaga: Jpn. J. Appl. Phys. **46** (2007) 3711.
- [15] M. Suzuki, N. Kawamura, H. Osawa, M. Takagaki, K. Ono, T. Taniuchi, S. Isogami and M. Tsunoda: AIP Conf. Proc. **1234** (2010) 129.
- [16] N. Kikuchi, S. Okamoto, O. Kitakami, Y. Shimada and K. Fukamichi: Appl. Phys. Lett. **82** (2003) 4313.

鈴木 基寛 SUZUKI Motohiro

(財)高輝度光科学研究センター 利用研究促進部門
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1
TEL : 0791-58-2750
e-mail : m-suzuki@spring8.or.jp

寺田 靖子 TERADA Yasuko

(財)高輝度光科学研究センター 利用研究促進部門
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1
TEL : 0791-58-0833
e-mail : yterada@spring8.or.jp

大橋 治彦 OHASHI Haruhiko

(財)高輝度光科学研究センター 光源・光学系部門
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1
TEL : 0791-58-0831
e-mail : hohashi@spring8.or.jp

第3回Accelerator Reliability Workshop (ARW2011)に参加して

財団法人高輝度光科学研究センター 加速器部門
 高雄 勝
 財団法人高輝度光科学研究センター 制御・情報部門
 佐治 超爾
 財団法人高輝度光科学研究センター 加速器部門
 大熊 春夫

Accelerator Reliability Workshop (ARW) は、加速器を運転、維持管理する立場にある者が、文字通りそのreliability “信頼性” 向上のために互いの経験、装置改善などについての情報を交換し、より安定な運転の実現に役立てることを目的としたワークショップである。その第3回であるARW2011は、南アフリカ、ケープタウンのiThemba LABS (iTTL) で、2011年4月11日から15日にかけて開催された。我々のように大規模な共同利用施設である大型放射光施設に属する者にとっても、光源加速器の利用率、即ち安定運転は最も重要なものであり、ESRFなど他の放射光施設を含めた加速器の信頼性向上に関する取り組みについて、突っ込んだ情報交換が出来ることは大変重要なことである。

第1回ARWは、2002年2月にESRF (フランス、グルノーブル) で開催された。その当時から目的も種類も異なる多様な加速器に共通の話題、またそこから互いに学び合うことを目的に掲げており、放射光、中性子、医学応用、更には放射性廃棄物処理に関わる加速器施設からのスタッフが集まっている。この第1回ARWには、SPring-8から3名、ニュースバルから1名が参加している^[1]。暫く時間が空

いたが、第1回ARWでの議論の有意義性が再認識され、定期的集まって安定に稼働中の加速器施設の知見を共有することは有用なことであるということで、2009年1月に第2回ARWがハドロン加速器施設TRIUMF (カナダ、バンクーバー) で開催された。その会議の中で、以後隔年で開催することが合意され、今回の開催の運びとなった。iTTLは、200 MeV陽子サイクロトロンを持ち、核物理実験のほか粒子線によるガン治療なども行っており(図1)、加速器信頼性が重要であるとの認識を新たにして、今回のホストに名乗りを上げたものである。

会場となったiTTL (図2) は、ケープタウン市街からバスで40分ほどの郊外にあり、チャーターバスによる送迎があった。このような郊外にあり自然豊かな環境であるため、研究所の前庭ではシマウマやインパラなどのアフリカ特有の草食獣がのんびり草を食べていた (図3)。尤も、鹿や猪が頻繁に出没するSPring-8サイトで働く我々にとっては特段騒ぐことでもないかとも思うが、昼日中から出てくるとやはり目を引き、多くの参加者がカメラのシャッターを切っていた。研究所の名前となっているiThembaは、現地言葉で“希望”という意味で、喜望峰に由来しているものであろうが、南アフリカ (アフリカ?) 唯一の加速器施設としての期待が込められて



図1 ラボ・ツアーでの粒子線ガン治療室の説明風景。



図2 会場となったiThemba LABS。



図3 会場の前庭に現れたシマウマとインパラ。

いるのではないと思われる。南アフリカにも放射光施設建設の話はあり、この研究所のスタッフがSPRING-8に来所したこともあるが、今回聞いた話ではまだ具体的な建設予算確保には至っていないということであった。今回のワークショップには、14カ国から78名の参加があり、地域別では地元南アフリカから32名、ヨーロッパから25名、アメリカ・カナダから11名、アジアから10名（オーストラリアからの2名を含む）と、距離に反比例するような参加者構成となっていた。

今回の会議は、

- ・ 加速器信頼性の歴史と基礎
- ・ 加速器信頼性の理論
- ・ ユーティリティ
- ・ 信頼性の設計
- ・ 信頼性の向上
- ・ 信頼性のための手段と方法
- ・ サイクロトロンと線型加速器
- ・ 超大型加速器
- ・ 光源加速器
- ・ 医療用加速器

という話題でセッションが構成され、“信頼性”に関する一般的な話題を扱うセッション（前半）と加速器の種類・目的毎に括って扱うセッション（後半）に大別して進められた。以下で、目に付いたトピックスについて簡単に紹介する。

iTL所長の挨拶に続いて、最初の「加速器信頼性の歴史と基礎」のセッションでは、加速器信頼性に関する意識の変遷や理論についてのレビューがあっ

た。加速器開発の黎明期には、ビーム強度やエネルギーが重要視されていたが、1970年代には信頼性が重要であることが認識されるようになってきた。現在の放射光施設では、availability# 98%以上、年間故障件数は多い施設でも100件程度となっているが、加速器駆動原子炉（加速器で生成する中性子を用いて、未臨界状態の原子炉で核分裂を起こさせる。加速器が停止すれば、核反応も止まるので安全性に優れている）においては、電力の安定供給という意味から更に高い信頼性が必要であるということであった。「加速器信頼性の理論」のセッションにおいて、信頼性の指標としてよく使われるMTBF（Mean Time Between Failure）[†]について、これは運転時間を故障回数で割ることで求めることが普通であるが、故障率が時間に対して一定でないため、故障率を時間の関数として定義しワイブルモデル*などによりモデル計算をする必要があるとの指摘があり、これに基づいて予備物品の準備や交換を行うべきとの提案があった。また、利用運転が始まっているSLAC（アメリカ、スタンフォード）のXFEL施設LCLSからの報告では、availability 94.6%を達成しているが、更なる向上のためには上記ワイブルモデルを用いた長期的なトラブル解析が必要であると考えているということであった。

「信頼性の設計」のセッションでは、運転自動化のメリット/デメリットについて報告があり、自動化のメリットでは複雑な手続きを踏むことになる入射に要する時間の短縮などの例が示され、デメリットとしてオペレータのスキルが低下し、いざ事が起きた時には逆に時間を費やしてしまうなど信頼性が損なわれる結果となるとの指摘があった。これはSPRING-8の運転においても永遠のテーマである。対処としてはオペレータが運転ソフトの中身に精通するよう教育、訓練を行うことが重要であると改めて強調された。SPRING-8からは、最近実施し2010年10月から運用している加速器安全インターロック更新について報告を行った。これは、インターロックシステムの拡張性、メンテナンス性向上を目的として実施したものであるが、加速器運転自身の信頼性向上に密接に関わるものであり、また将来のSACLAとの運転統合にとっても重要なものである。出席者

“有効利用率”のこと。放射光施設の場合では、計画利用運転時間に対する実績利用運転時間の割合ということになる。

† 平均故障間隔時間。これが長い程、信頼性が高く、ユーザーが加速器のトラブルで実験中断を余儀なくされる機会が少なくなる。SPRING-8では約180時間（2010年度）である。

* 部品の故障率などを統計的に記述するための理論モデル。

からのコメントで、インターロックに使用している Programmable Logic Controller (PLC) の多重化などについて有益な意見を聞くことができた。

加速器の種類・目的毎の一連のセッションでは、availabilityについての状況報告があった。「光源加速器」のセッションでは、2009年に利用運転が始まった上海の放射光施設SSRFから報告があり、95%のavailabilityを達成しているが、安定と思われていた超伝導RFキャビティで苦勞しているとのことであった。信号回路見直しや電子機器の温度調整などの対策を施し、2011年は97%以上のavailabilityを目指しているという。さて、当然SPring-8の状況報告を行ったが、SPring-8ではここ5年間では99%以上という高いavailability（2010年度では99.2%、ダウンタイム27時間29分）を達成しているが、ダウンタイムの削減のために準備してきた電子銃二重化、線型加速器クライストロンのバックアップ体制、蓄積リングの4極および6極電磁石の予備電源等のバックアップシステムの整備などの信頼性向上のために実施してきた取り組みについて紹介した。その他、Australian Synchrotron（報告は「ユーティリティ」のセッションで行われた）のフライホイールとコンデンサーを用いた大規模なUPS（無停電電源）の紹介があった。これは、蓄積リングRF、電磁石電源および冷却設備の電力を賄えるもので、日本では考えられない原因（送電設備へのbird strike、乗り物の衝突、possum（フクロネズミが囓る?））で頻繁に停電が起こるといふ地域の電力事情から、これほど大規模な設備を導入しても十分にペイするということであった。

さて、そもそも加速器運転の信頼性とは何かという議論が当然あった。ビーム性能を落として運転時間を延ばしても、信頼性の高い運転とは言えないのではないか？ SPring-8でも、機器トラブルのため100 mAでのTop-up運転が維持できない場合に蓄積電流値を下げるのか、またバンチ純度が悪化した場合に運転を継続するのか、あるいは運転を止めてトラブル対処をおこなうのか、というような判断に迫られることがある。このような時には、ビームラインを担当する部署の責任者の意見が尊重されることになるが、ユーザーによって蓄積電流値やバンチ純度に対する要求が異なるであろうから判断が難しい場合もある。このワークショップの議論を聞きながら、加速器を運転する立場でもユーザーの方々にも様々な意見があることを理解しておくことが大切で

あるという思いを新たにした。

最後に、各施設における様々な機器トラブルを集約したデータベースの構築を目指すワーキンググループを立ち上げることを宣言して、ワークショップを閉会した。時節柄、“信頼性”が問われている昨今、全般を通して日頃馴染みの薄いハドロン加速器や医療用加速器をはじめ、各施設のトラブルを含む運転状況やトラブル事象の管理方法について詳しい報告などの情報を得ることが出来たことは大変有益であった。今後、より信頼性の高い放射光供給を進め、SACLAを含めたSPring-8加速器のより一層の安定運転の実現に生かして行きたいと考えている。

Reference

- [1] 原雅弘：SPring-8利用者情報3 (2002) 194.

高雄 勝 TAKAO Masaru

(財)高輝度光科学研究センター 加速器部門

TEL：0791-58-0860

e-mail：takao@spring8.or.jp

佐治 超爾 SAJI Choji

(財)高輝度光科学研究センター 制御・情報部門

TEL：0791-58-0980

e-mail：saji@spring8.or.jp

大熊 春夫 OHKUMA Haruo

(財)高輝度光科学研究センター 加速器部門

TEL：0791-58-0858

e-mail：ohkuma@spring8.or.jp

International Conference on Materials for Advanced Technologies (ICMAT 2011) 報告

財団法人高輝度光科学研究センター
利用研究促進部門 金 廷恩、藤原 明比古

1. はじめに

International Conference on Materials for Advanced Technologies (ICMAT) は、2001年から隔年でシンガポールにて開催されている材料科学分野の国際会議である。シンガポールのみならず将来性のある近隣地域、発展性のあるニッチな分野の材料科学研究促進を目的として1999年に設立されたMaterial Research Society of Singapore (MRS-S) は、その目的達成のために、ICMATの開催を主要な活動の一つとしている。毎回、ノーベル賞受賞者やノーベル賞候補者など合わせて10名程度の著名な研究者による特別講演やノーベル賞受賞者の公開講演を企画している点は、MRS-SのICMAT開催に対する姿勢とICMATの国内外における地位確立の意図を明確に物語っている。

会議は、全体セッションと専門分野に分かれて開催されるテクニカルセッション(シンポジウム)によって構成されている。前者は上述の著名研究者の招待講演企画である。一方、後者はホットな話題について深く議論するシンポジウム企画である。2001年に16シンポジウム、参加者1,400名で始まったICMATは、3回目以降は20以上のシンポジウム、2,000名以上の参加者と規模を拡大している。第6回となるICMAT2011は、さらに規模を拡大してシンポジウム数を40とし、6月26日から7月1日の期間、サンテック・シンガポール国際会議展示場と隣接するパンパシフィック・シンガポールで開催された。今回は、アジア地域での放射光利用研究施設の建設ラッシュや材料科学研究における放射光利用研究の重要性の高まりを反映してAdvanced Materials Supported by Synchrotron Radiation(シンポジウムHH)が新設された。筆者らは、テクニカルセッション中は主にこのシンポジウムに参加した。

2. 会議内容

全体セッションでは、2010年に「二次元物質グラ

フェンに関する先駆的実験」でノーベル物理学賞を受賞したProf. Andre Geim、2009年に「リボソームの構造と機能の研究」でノーベル化学賞を受賞したProf. Ada Yonath、2007年に「巨大磁気抵抗効果の発見」でノーベル物理学賞を受賞したProf. Albert Fert(図1)、1985年に「量子ホール効果の発見」でノーベル物理学賞を受賞したDr. Klaus von Klitzingの4名のノーベル賞受賞者とトムソン・ロイター社がノーベル賞有力候補として選出するトムソン・ロイター引用栄誉賞受賞者の北川進教授(2010年、化学分野、図2)、Prof. Charles Lieber(2008年、化学分野)らによる特別講演などが行われた。特別講演は、皆、素晴らしいものであったが、Prof. Andre Geimの講演には特筆すべきものがあつた。

Prof. Andre Geim のノーベル物理学賞は記憶に新しい。古くから我々の生活に密着している黒鉛(グラファイト)は、科学技術の進歩に伴い次々に明らかになる機能を我々に提供し、我々はその恩恵を享受してきた。鉛筆、リチウムイオン電池の負極などは良い例である。グラフェンは、層状化合物であるグラファイトの1枚を取り出したナノ材料であり、その性質がバルクの黒鉛とは大きく異なること



図1 Prof. Albert Fertによる特別講演



図2 北川進教授による特別講演

から注目を集めた。そのパイオニアであるGeim氏が2010年のノーベル物理学賞を勝ち取った。Geim氏の特別講演は、注目されている電子物性のみならず、その物性の背景となる物理学の位置づけを系統的に整理し、幅広い分野の参加者に解りやすく紹介するとともに、その応用への展開、我々の将来への夢までも展望するものであり、聴衆を魅了した(図3)。Geim氏のプレゼンテーションが多くの科学技術関係者の心を引き付けたであろうことは想像に難くない。

シンポジウムHH: Advanced Materials Supported by Synchrotron Radiationでは、招待講演と一般講演を合わせて32件の口頭発表と10件のポスター発表からなり、アジア地域のみならずヨーロッパ、アメリカ、オーストラリアからの参加・発表もあった。講演内容は、施設紹介とその利用研究の動向から分光、回折実験の最近の成果まで多岐にわたり、セッションは広がりを持ったものであった。このように、放射光利用研究特有の幅広い研究対象、研究手法による研究成果報告が一堂に会するシンポジウムHHにおいて、「その場観察」のための時間分解能、空間分解能の向上による計測技術の開発が分野・手法に関わらず共通に議論された。今後の放射光利用研究の方向性に関して共通認識が感じられた。

日本からは、岩澤康裕教授(電気通信大学)、高田昌樹博士(理化学研究所)と筆者ら2名による合計4名がSPring-8の世界最高品質のビームと計測・解析技術に基づく研究成果を口頭発表した。岩澤教授は、EXAFSによる触媒のその場観察の報告をもとに将来の触媒設計における放射光分析の重要性を強調した。高田博士は、SPring-8におけるナノ領域

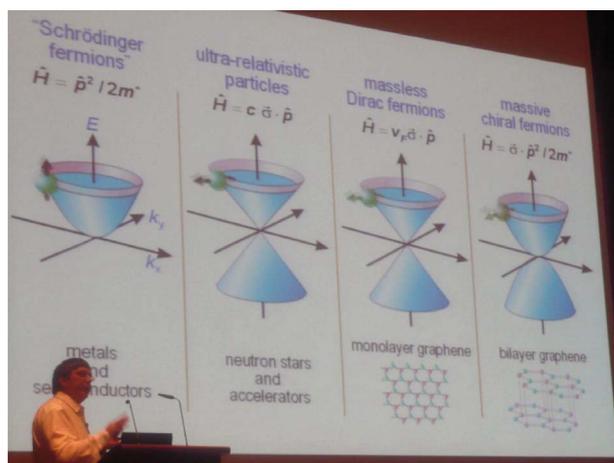


図3 Prof. Andre Geimによる特別講演

でのX線回折におけるこれまでの成果と将来の展望を示した。筆者らは、鉄系超伝導体と熱電材料として期待されるクラスレートの精密電子密度解析と静電ポテンシャル解析から機能の起源と物質設計の展望について発表した。これらの発表は、それぞれのセッションの中で非常に高い注目を集めた。さらに、SPring-8の利用研究成果を報告する日本国外の研究者やSPring-8の研究成果を先行事例として紹介する講演も多数あり、シンポジウムHHにおけるSPring-8の存在感は圧倒的であった。

3. 施設見学

シンポジウムHHの発表がプログラムされていない7月1日の午前に、シンポジウムチェアの計らいで、Singapore Synchrotron Light Source (SSLS)の見学会が開催された。施設はシンガポール国立大学キャンパスのほぼ中心にある(図4)。電子エネルギー



図4 Singapore Synchrotron Light Source施設入口



図5 展示されているHelios 1

ギー700 MeV、リング長10.8 m、最大21本のビームラインが設置可能な小型蓄積リングHelios 2からの放射光を5本のビームライン（X線回折、FT-IR、軟X線分光、イメージング、リソグラフィ）で利用研究を推進している。また、XAFSのビームラインを建設中である。施設入口付近には、Helios 2の旧型機Helios 1が展示されており（図5）、2機がほぼ同じ規格であるため運転中の蓄積リングの理解に有用であった。小さな放射光施設であるが、新しいビームラインの建設を含め活発に活動を行っていたのが印象的であった。

4. おわりに

開催の度に規模を拡大し、その存在感を大きくしているICMATでは、特別講演、一般講演の発表内容からはもちろん、会議の運営や世界を牽引する研究者による姿勢から受けるものに強い印象を感じた。本報告は、これらの印象を伝えることを目的とした。このため、会議のプログラム等詳細情報には触れていない。興味のある方は会議のホームページ（<http://www.mrs.org.sg/icmat2011/index.htm>）を参考にさせていただいたら幸いである。

金 廷恩 *KIM Jungeun*

(財)高輝度光科学研究センター 利用研究促進部門

〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1

TEL : 0791-58-2750

e-mail : kimj@spring8.or.jp

藤原 明比古 *FUJIWARA Akihiko*

(財)高輝度光科学研究センター 利用研究促進部門

〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1

TEL : 0791-58-2750

e-mail : fujiwara@spring8.or.jp

第11回SPring-8夏の学校を終えて

SPring-8夏の学校実行委員会 委員長
八木 直人

「第11回SPring-8夏の学校」は、7月10日（日）～13日（水）の3泊4日の日程で、全国から76名の学生の参加を得て、普及棟およびSPring-8蓄積リング棟・ニュースバル放射光施設・XFEL実験研究棟を会場として開校されました。この夏の学校は、SPring-8サイトに施設を持つ各機関（財）高輝度光科学研究センター、（独）理化学研究所播磨研究所、（独）日本原子力研究開発機構量子ビーム応用研究部門と、これらの機関と連携大学院協定を持つ大学（兵庫県立大学大学院物質理学研究科・生命理学研究科、関西学院大学大学院理工学研究科、岡山大学）、およびSPring-8サイトにビームラインを持ちそれを教育に生かしたいと考えている大学（兵庫県立大学高度産業科学技術研究所、東京大学放射光連携研究機構）が主催し、（財）ひょうご科学技術協会の後援を得て、ビームタイムや教官を出し合って行ったものです。校長は関西学院大学大学院理工学研究科（日本原子力研究開発機構兼務）の水木純一郎先生にお願いしました。実行委員会は主催団体のスタッフで構成され、事務はJASRIの研究調整部が行いました。

この夏の学校の開校目的は、「将来の放射光利用研究者の発掘と育成」であり、大学院博士課程前期（修士）と学部4年生を対象としています。募集人員は60名程度でしたが、主催者となっている各大学からの推薦を含めて、北海道から九州にわたる日本全国30の大学から107人もの応募があり、選考過程を経て最終的に76人の参加者で開催されました。

今回の夏の学校では、初日に3講座、2日目に4講座の講義があり、その後の2日間に2テーマの実習を行いました。講義題目と講師（敬称略）は以下の通りです。

放射光発生の基礎（理研／兵県大 北村英男）、X線光学の基礎（JASRI 後藤俊治）、X線の強度を測る（JASRI 八木直人）、X線自由電子レーザー（理研 新竹積）、回折散乱の基礎（関学／JAEA

水木純一郎）、XAFS（JAEA／関学 西畑保雄）、軟X線スペクトロスコーピー入門（東大 松田巖）。

どの講義も講師の方々の努力で専門外の学生にも配慮した分かりやすい内容となっており、人生訓なども盛り込まれた夏の学校らしい講義でした。

また、2日目午前にはSACLAとニュースバルの見学、夜にはSPring-8の見学を行いました。じっくりと時間をかけた見学で、施設の大きさや複雑さに感銘を受けた参加者が多かったようです。

実習のテーマと使用したビームラインおよび担当者（敬称略）は以下の通りです。

BL02B1 単結晶構造解析

（岡山大 野上由夫、JASRI 杉本邦久）

BL07LSU 合金の合成と光電子分光分析

（東大 原田慈久・堀場弘司・松田巖）

BL08W 磁気コンプトン散乱を用いたスピン磁化曲線の測定

（JASRI／岡山大 櫻井吉晴、JASRI 伊藤真義）

BL13XU 高分解能マイクロX線回折による局所ひずみ評価

（JASRI／岡山大 木村滋）

BL14B1 XAFS

（JAEA／関学 西畑保雄）



写真1 講義風景

- BL14B2 その場XAFS計測
(JASRI 本間徹生、JASRI/岡山大 廣沢一郎)
- BL19B2 粉末X線回折
(JASRI 大坂恵一・松本拓也・梶原堅太郎、
JASRI/岡山大 廣沢一郎)
- BL19LXU 放射光時間分解X線回折法
(理研/関学 田中義人、理研 伊藤基巳紀)
- BL22XU 放射光X線回折入門
(JAEA 大和田謙二)
- BL24XU X線集光ビームの特性とその応用
(兵科大 高野秀和)
- BL25SU 高分解能軟X線光電子分光
(岡山大 横谷尚睦・村岡祐治)
- BL26B1 単結晶回折 (タンパク質)
(理研 河野能顕・上野剛)
- BL26B2 単結晶回折 (タンパク質)
(JASRI/関学 熊坂崇)
- BL37XU アンジュレーターBLを用いた蛍光X線分析
(JASRI/関学 寺田靖子)
- BL45XU X線溶液散乱法を用いた蛋白質分子の構造解析
(JASRI 八木直人・山田好輝)
- ニュースバル ニュースバル放射光を用いた光電子分光による表面分析
(兵科大 春山雄一・庄司善彦)
- 16本のビームラインを用いて実習を行いました
が、参加者が多かったために各ビームラインあたり
5人で実習を行うことが多く、やや混雑した印象で
した。参加者は実習テーマの選択の希望を出すこと
ができますが、定員の関係でそれがすべてかなえら
れるとは限りません。しかし、第一希望の実習は行

えるように配分できたので、希望はある程度満たす
ことが出来たと思います。もちろん参加者は専門外
の講義や実習を受けることもあります。講師や実
習担当の方々の努力もあって、専門外の分野の技術
や研究にも十分に興味を持ってもらえたようです。
学生時代に広い研究分野を学ぶことの重要性はしば
しば指摘されていますが、一般の講習会では得られ
ないような広範な知識を得られる点こそが、夏の学
校の大きな特長となっています。

夏の学校の目的は、放射光の勉強だけではありません。
同世代の異なった分野の人たちとの交流を通
じて、知り合いの輪を広げ、将来の研究につなげるこ
とも重要です。初日には参加者の自己紹介と懇親会
があり、3日目には萌光館でのバーベキューもあ
って、教官と参加者が一緒になって会話がはずんで
いました。この夏の学校で刺激を受けて、将来の進路を
決めた参加者も多かったのではないのでしょうか。

参加者が熱心に講義や実習を受け、また楽しんで
いる様子からも、この夏の学校が有意義なもので
あったことは明らかでした。第1回の夏の学校では
参加者が20人程度だったことを考えると、放射光に
対する学生の関心が増していることがうかがえま
す。今年は参加希望が多く30人もの方の参加をお断
りせざるを得なかったことは、非常に残念です。人
材育成という観点から、参加希望者をすべて受け入
れられるだけの体制を整えることが重要だと感じま
した。これは来年度に向けた反省点としたいと思
います。

最後になりましたが、熱意のこもった講義をして
いただいた講師の先生方、2日間にわたる実習を最
後まで熱心に指導していただいた実習担当の皆様、



写真2 実習風景



写真3 懇親会風景

分かりやすい説明で参加者の興味を引きつけてくださった見学引率者の皆様、そして事務局としてウェブ作成から懇親会・バーベキューのお世話までご努力いただいたJASRI事務局担当者に感謝致します。

八木 直人 YAGI Naoto

(財)高輝度光科学研究センター 利用研究促進部門

〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1

TEL : 0791-58-2750

e-mail : yagi@spring8.or.jp



写真4 記念写真

第26回共同利用期間 (2010B) において実施された利用研究課題

登録施設利用促進機関
財団法人高輝度光科学研究センター
利用業務部

第26回共同利用期間 (2010B) における共同利用は、平成22年10月から平成23年2月にかけて実施されました。この期間の放射光利用は、ビームライン1本あたり264シフト [1シフト = 8時間]、共用ビームラインでのユーザー利用は210シフトでした。

2010Bでは26本の共用ビームライン (共用施設) と、理研ビームラインのうちBL17SU、BL26B1/B2、BL32XUおよびBL45XUのビームタイムの一部が共用に供されました。産業利用に特化した3本の共用ビームラインBL14B2、BL19B2およびBL46XUは2010B第1期 (平成22年10月 - 12月) および第2期 (平成23年1月 - 2月) と、利用期を2期に分けて課題募集選定を行っており、本誌Vol.15 No.4には2010B第1期までの採択結果を掲載しましたが、本稿での2010Bの実施については2010B第2期を含めた全件の値を示します。

専用ビームライン (専用施設) は17本が稼働中で、利用研究が実施されています。なお、日本原子力研

究開発機構のビームラインBL11XU、BL14B1、BL22XUおよびBL23SUと物質・材料研究機構のビームラインBL15XUではナノネット支援課題も実施されました。

表1に、共用施設の2010B課題種別の課題数と実施シフト数を示します。表2に専用施設の2010B実施課題数とシフト数を示します。表3に、共用施設で実施された2010B利用研究課題の課題数とシフト数について所属機関分類および研究分野分類を示します。表4に、1997Bから2010Bまでの課題種別実施課題数の推移を示します。

表2 専用施設の2010B実施課題数とシフト数

課題種	実施課題数	実施シフト数
一般課題 (成果非専有)	283	3372
ナノネット支援課題	17	141
成果専有課題	25	94.875
合計	325	3607.875

表1 共用施設 (注1) の2010B課題種別の課題数と実施シフト数

課題種	応募課題数	採択課題数	採択課題の実施数	非応募課題 (注2) の実施数	実施課題数合計	実施シフト数合計
一般課題 (成果非専有)	620	411	408		408	3250.5
一般課題 (専有)	53	53	53		53	190.5
萌芽的研究課題	31	17	17		17	114
時期指定課題	9	9	9		9	22.75
測定代行課題 (注3)	38	38	38		38	28.5
重点ナノテクノロジー支援課題	68	48	48		48	369
重点産業利用課題 (注4)	149	100	100		100	553
成果公開優先利用課題	52	51	51		51	379.5
長期利用課題	2	1	1	10	11	291
重点パワーユーザー課題	0			7	7	372
12条戦略課題	0			2	2	30
合計	1022	728	725	19	744	5600.75

(注1) 理研ビームラインからの供出ビームタムの利用を含む

(注2) 既に採択等された課題で、応募不要のもの。長期利用課題は第2期以降の課題

(注3) BL14B2、BL19B2およびBL38B1で実施

(注4) 12条一般課題を含む

表3 2010B期に共用施設^{注1)}で実施された利用研究課題の所属機関分類および研究分野分類

機関分類	課題分類	課題数/ シフト数	研究分野							計		
			生命科学	医学応用	物質科学・ 材料科学	化学	地球・ 惑星科学	環境科学	産業利用		その他 ^{注2)}	
大学等 教育機関	一般課題 (成果非専有)	課題数	88	3	109	41	25	3	8	2	279	
		シフト数	403	24	862	272	249	21	79	24	1934	
	一般課題 (専有)	課題数							3		3	
		シフト数							4		4	
	萌芽的研究課題	課題数	1	1	10	2	1	1			16	
		シフト数	6	9	60	12	9	6			102	
	時期指定課題	課題数			1						1	
		シフト数			3						3	
	測定代行課題	課題数							3		3	
		シフト数							2.25		2.25	
	重点ナノテクノロジー 支援課題	課題数	1	4	31	3	1		1		41	
		シフト数	12	33	231	21	6		6		309	
	重点産業利用課題	課題数	1		5	2			1	22	1	32
		シフト数	6		16	10			3	130	4	169
成果公開優先利用課題	課題数	1		6	21	1		7		36		
	シフト数	6		38	180	12		28		264		
長期利用課題	課題数	1		2		1				4		
	シフト数	24		45		33				102		
重点パワーユーザー課題	課題数			4		2			1	7		
	シフト数			210		108			54	372		
計	課題数	93	8	168	69	31	5	44	4	422		
	シフト数	457	66	1465	495	417	30	249.25	82	3261.25		
国立 研究機関等	一般課題 (成果非専有)	課題数	18	2	37		6	1	3	14	81	
		シフト数	115	17	477		48	9	24	130	820	
	一般課題 (専有)	課題数	1		1				5		7	
		シフト数	14		2				5		21	
	時期指定課題	課題数					1				1	
		シフト数					1				1	
	測定代行課題	課題数							2		2	
		シフト数							0.5		0.5	
	重点ナノテクノロジー 支援課題	課題数		1	1				1		3	
		シフト数		12	6				15		33	
	重点産業利用課題 ^{注3)}	課題数							9	1	10	
		シフト数							45	3	48	
	成果公開優先利用課題	課題数	1		5	2			3		11	
		シフト数	19.5		54	18			9		100.5	
長期利用課題	課題数	1								1		
	シフト数	18								18		
12条戦略課題	課題数	1		1						2		
	シフト数	18		12						30		
計	課題数	22	3	45	2	7	1	23	15	118		
	シフト数	184.5	29	551	18	49	9	98.5	133	1072		
産 業 界	一般課題 (成果非専有)	課題数	1		1				11		13	
		シフト数	9		3				96		108	
	一般課題 (専有)	課題数		1	6				36		43	
		シフト数		3	28				134.5		165.5	
	時期指定課題	課題数	1		1				5		7	
		シフト数	1		6.75				11		18.75	
	測定代行課題	課題数							33		33	
		シフト数							25.75		25.75	
	重点ナノテクノロジー 支援課題	課題数			1				1		2	
		シフト数			9				6		15	
	重点産業利用課題	課題数			8			1	49		58	
		シフト数			41			6	289		336	
	成果公開優先利用課題	課題数			1				3		4	
		シフト数			6				9		15	
長期利用課題	課題数			1						1		
	シフト数			36						36		
計	課題数	2	1	19			1	138		161		
	シフト数	10	3	129.75			6	571.25		720		
海 外 機 関	一般課題 (成果非専有)	課題数	2	9	21	1	1			1	35	
		シフト数	16.5	75	258	15	15			9	388.5	
	萌芽的研究課題	課題数			1						1	
		シフト数			12						12	
	重点ナノテクノロジー 支援課題	課題数			2						2	
		シフト数			12						12	
	長期利用課題	課題数	2	1	2						5	
		シフト数	51	18	66						135	
	計	課題数	4	10	26	1	1			1	43	
		シフト数	67.5	93	348	15	15			9	547.5	
	課題数合計			121	22	258	72	39	7	205	20	744
	シフト数合計			719	191	2493.75	528	481	45	919	224	5600.75

注1) 理研ビームラインからの供出ビームタイムの利用を含む

注3) 12条一般課題となる課題を含む

注2) 考古学、鑑識科学、ビームライン技術、素粒子・原子核科学

2010Bの延べ利用者数は、共用施設4,872人、専用施設2,812人でした。表5に共用施設および専用施設利用実績の推移を示します。この表をグラフ化したものが図1です。図1に示す延べ利用時間（シフト数）は共用施設および専用施設が利用できたシフト数総計です（1シフト＝8時間）。この値は、表5の利用時間に利用ビームライン数を掛けた数値となっています。但し、理研ビームラインおよび以前のR&Dビームラインはそれぞれ0.2および0.3本と換算しています。利用期や共用施設/専用施設には分類できない年度ごとの利用ユニークユーザー数を表6に示します。図2には、共用施設の利用研究課題の応募・採択数の推移実績を採択率とともに示します。応募・採択課題数は、2006B以前は一般課題締め切り時、2007A以降は期の途中で申請される生命科学

分科会留保課題、緊急課題、と産業利用ビームラインの第2期申請分を含めた、期の終わりの値を示します。延べ利用シフトは共用ビームラインで利用できたシフト数総計です。

実施課題の課題名をホームページの以下のURLで公開しています。成果専有課題は「公表用課題名」が表示されています。

<http://www.spring8.or.jp/ja/users/proposals/list/>

また、重点産業利用の「利用報告書等公開延期許可」課題を除く成果非専有課題の利用報告書（SPring-8 User Experiment Report）は以下のURLで閲覧できます。

http://www.spring8.or.jp/ja/news_publications/publications/user_exp_report/

（SPring-8ホームページ＞ニュース・刊行物＞刊行

表4 1997B－2010B課題種別実施課題数の推移

課題種	1997B	1998A	1999A	1999B	2000A	2000B	2001A	2001B	2002A	2002B	2003A	2003B	2004A	2004B	2005A	2005B	2006A	2006B	2007A	2007B	2008A	2008B	2009A	2009B	2010A	2010B	合計
一般課題（成果非専有）	94	234	267	235	348	370	462	470	520	390	463	396	410	386	373	322	439	298	547	452	441	373	398	382	393	408	9871
緊急課題			7	2	12	1	2	0	0	1	1	1	0	2	0	1	3	0	0	0	1	1	0	0	0	0	35
一般課題（成果専有）				5	2	6	1	3	5	9	5	11	4	15	19	22	18	26	31	46	32	50	30	44	33	53	470
時期指定課題 （除く測定代行）					2	2	4	8	12	5	9	4	6	8	10	10	6	5	11	14	10	14	8	8	4	9	169
測定代行 （時期指定課題として）																				8	9	20	5	25	31	38	136
萌芽的研究課題 （成果非専有）															18	15	18	12	25	30	26	13	18	24	22	17	238
成果公開優先利用課題																		4	8	9	32	16	21	43	30	51	214
長期利用課題						4	5	7	8	9	10	8	8	7	6	8	10	10	10	11	12	8	9	11	10	11	182
重点タンパク500課題 （タンパク3000）										69	72	51	57	54	51	50	48	37									489
重点ナノテクノロジー 支援課題										57	60	51	50	54	51	46	61	52	49	50	49	50	41	44	46	48	859
重点産業トライアル ユース課題											14	23	29	21	21	4											112
SPring-8戦略活用 プログラム課題																134	103	87	8								332
重点産業利用課題																			70	99	126	95	111	117	107	100	825
重点メディカルバイオ トライアルユース課題																	7	9	11	9	6	6	5	4			57
重点拡張メディカル バイオ課題																					13	15	13	10			51
重点パワーユーザー 課題												4	5	5	5	5	5	5	5	5	6	7	6	6	7	7	83
重点戦略課題 （12条戦略課題）														3	6	3	6	5	6	6	6	4	4	4	2	2	57
合計	94	234	274	242	364	383	474	488	545	540	634	549	569	555	560	620	724	550	781	739	769	672	669	722	685	744	14180

備考 長期利用課題はBLごとに1課題としてカウントした。2008Bパワーユーザーは6人。
 12条産業利用課題は産業利用課題へ（2010.6変更）
 一般課題と緊急課題を分離、成果専有課題を、一般課題、時期指定課題および測定代行課題に分離（2010.6変更）
 測定代行：BL14B2での試行は2007Bと2008A、本格開始が2008B。BL26B2は2009Aに1件実施 BL19B2およびBL38B1は2009B開始

物>Spring-8 User Experiment Report)

表6 年度ごとの利用ユニークユーザー数

2005A以前の報告書はPDFで、2005B以降の分は
課題番号、ビームライン、研究分野、著者などで検
索して閲覧することができます。

(<https://user.spring8.or.jp/uisearch/expreport/ja>)

年 度	ユーザー数合計	当該年度に初めてSpring-8を利用したユーザー数 (内数)
1997年度	443	443
1998年度	1041	742
1999年度	1421	802
2000年度	1973	1051
2001年度	2554	1205
2002年度	3033	1325
2003年度	3309	1396
2004年度	3125	1177
2005年度	3806	1654
2006年度	4169	1508
2007年度	4152	1564
2008年度	4463	1687
2009年度	4506	1596
2010年度	4334	1533

Spring-8安全教育受講者数をカウントしたもの
利用期、共用、専用の区別なし

表5 共用施設及び専用施設利用実績の推移

利 用 期 間			利用時間	共 用 施 設		専 用 施 設	
				実施課題数	延べ利用者数	実施課題数	延べ利用者数
第1回	1997B	H 9.10 - H10. 3	1,286	94	681	—	—
第2回	1998A	H10. 4 - H10.10	1,702	234	1,252	7	—
第3回	1999A	H10.11 - H11. 6	2,585	274	1,542	33	467
第4回	1999B	H11. 9 - H11.12	1,371	242	1,631	65	427
第5回	2000A	H12. 1 - H12. 6	2,051	365	2,486	100	794
第6回	2000B	H12.10 - H13. 1	1,522	383	2,370	88	620
第7回	2001A	H13. 2 - H13. 6	2,313	474	2,915	102	766
第8回	2001B	H13. 9 - H14. 2	1,867	488	3,277	114	977
第9回	2002A	H14. 2 - H14. 7	2,093	545	3,246	110	1,043
第10回	2002B	H14. 9 - H15. 2	1,867	540	3,508	142	1,046
第11回	2003A	H15. 2 - H15. 7	2,246	634	3,777	164	1,347
第12回	2003B	H15. 9 - H16. 2	1,844	549	3,428	154	1,264
第13回	2004A	H16. 2 - H16. 7	2,095	569	3,756	161	1,269
第14回	2004B	H16. 9 - H16.12	1,971	555	3,546	146	1,154
第15回	2005A	H17. 4 - H17. 8	1,880	560	3,741	146	1,185
第16回	2005B	H17. 9 - H17.12	1,818	620	4,032	187	1,379
第17回	2006A	H18. 3 - H18. 7	2,202	724	4,809	226	1,831
第18回	2006B	H18. 9 - H18.12	1,587	550	3,513	199	1,487
第19回	2007A	H19. 3 - H19. 7	2,448	781	4,999	260	2,282
第20回	2007B	H19. 9 - H20. 2	2,140	739	4,814	226	1,938
第21回	2008A	H20. 4 - H20. 7	2,231	769	4,840	232	1,891
第22回	2008B	H20. 9 - H21. 3	1,879	672	4,325	217	1,630
第23回	2009A	H21. 4 - H21. 7	1,927	669	4,240	238	1,761
第24回	2009B	H21.10 - H22. 2	2,087	722	4,793	275	2,144
第25回	2010A	H22. 4 - H22. 7	1,977	685	4,329	293	2,483
第26回	2010B	H22.10 - H23. 2	2,094	744	4,872	325	2,812
合 計			51,083	14,181	90,722	4,210	33,997

註：長期利用課題をビームラインごとに1課題とカウント（2008.7）
共用施設には理研ビームライン等からの供出ビームタイムの利用者を含む

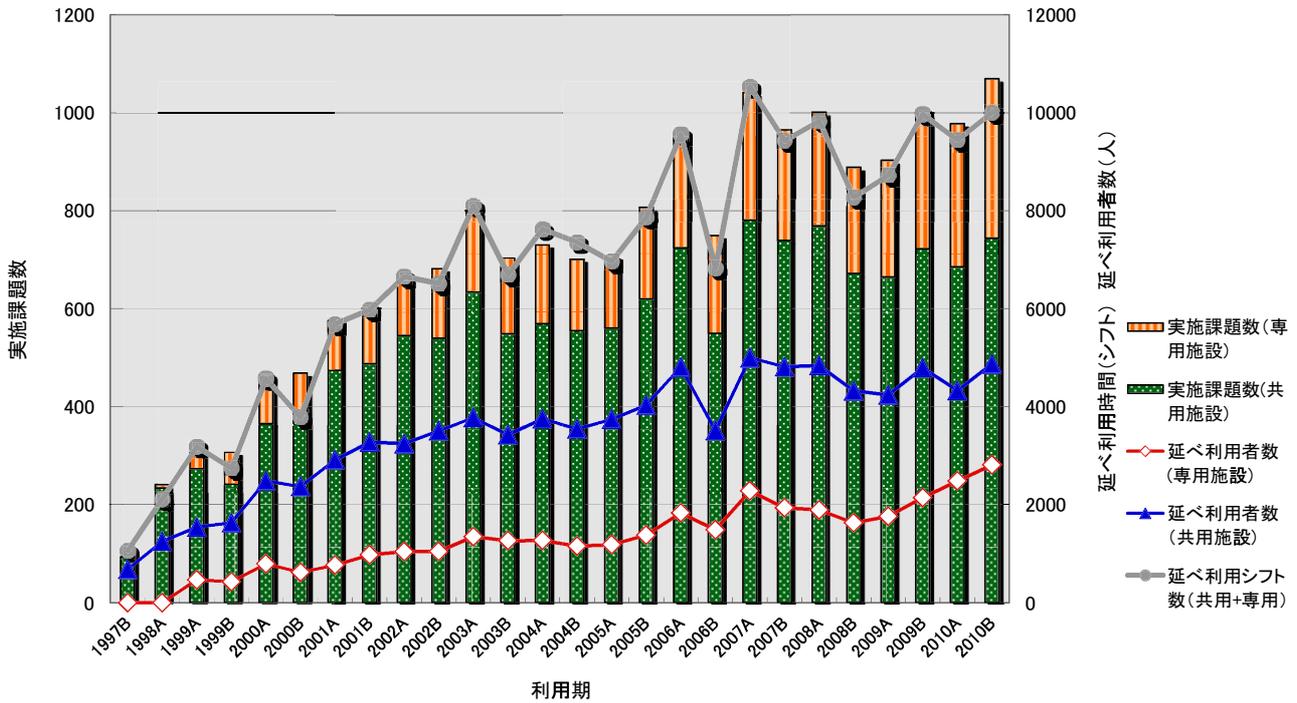


図1 共用施設および専用施設の利用実績の推移

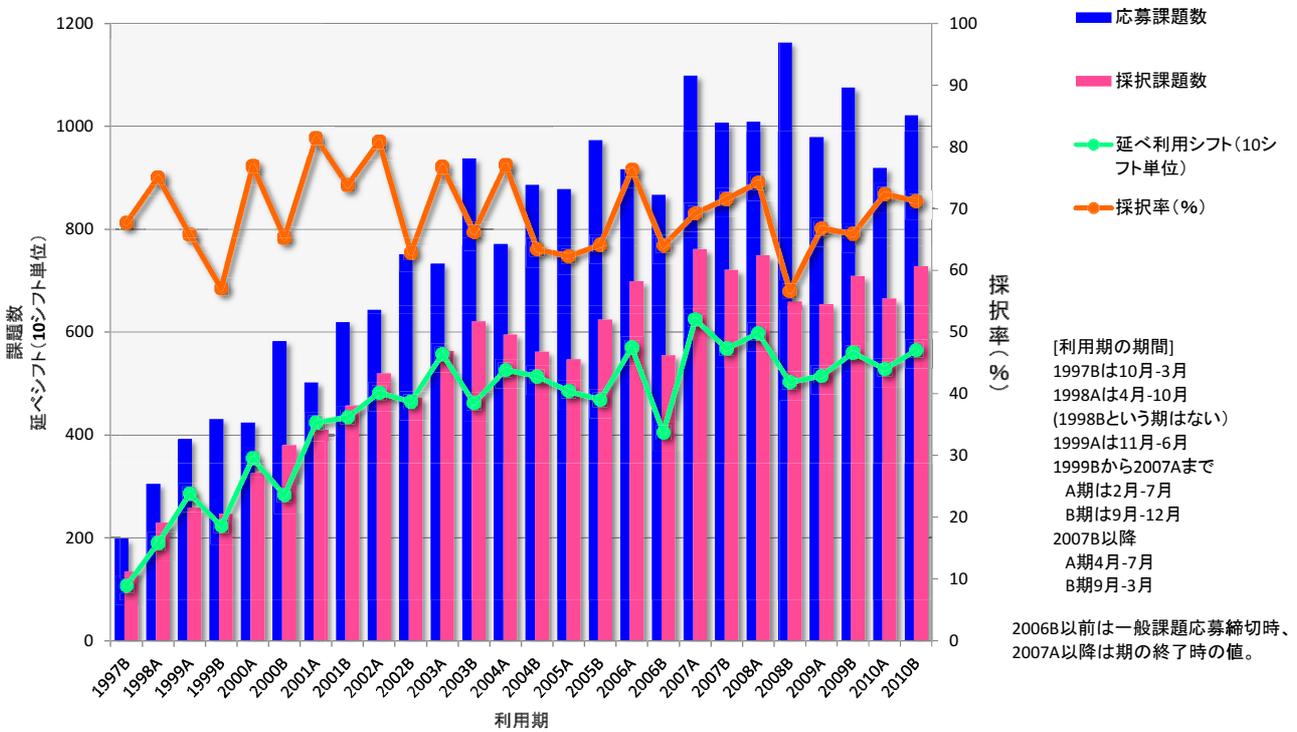


図2 共用施設の利用研究課題の応募・採択数の推移実績

2008A期実施開始の長期利用課題の事後評価について - 1 -

財団法人高輝度光科学研究センター
利用業務部

2008Aに採択された長期利用課題について、2010Bに3年間の実施期間を終了しましたので、5月に長期利用分科会による事後評価が行われました。

事後評価は、長期利用分科会が実験責任者に対しヒアリングを行った後、評価を行うという形式で実施し、利用研究課題審査委員会で評価結果を取りまとめました。以下に対象となる長期利用課題2課題のうち、評価を受けた1課題の評価結果を示します。研究内容については本誌197ページの「最近の研究から／Long-term Report」に実験責任者による紹介記事を掲載しています。

なお、2008Aに採択された長期利用課題2課題のうちもう1課題については、今秋に事後評価を実施する予定です。

の構造解析は非常にインパクトの高いものとして評価できる。しかしこれら2つの蛋白質の構造解析は申請時のテーマとは関係が薄いことと、本来のテーマである制限的膜内切断に関連するその他の蛋白質については、多大な努力にも関わらず大量発現、精製、結晶化などの問題点を解決することができず、期間内に構造を明らかにすることができなかった点は残念である。

一方、SPring-8を長期的かつ計画的に利用することによって、この分野において傑出した成果を挙げた点については評価できる。

課題名	Structural Study of Regulated Intramembrane Proteolysis
実験責任者	Nieng Yan (Tsinghua University)
採択時課題番号	2008A0018、0019
ビームライン	BL38B1 (2008A0018)、 BL41XU (2008A0019)
配分総シフト	18シフト (BL38B1)、 54シフト (BL41XU)

〔評価〕

本課題は、制限的膜内切断 (RIP) の構造生物学的研究をテーマに、GlpG基質複合体、rhomboidプロテアーゼ、S2P、SPPといった膜内在性プロテアーゼの構造解析とそれに基づく機能解明を目指した研究課題として採択された。そのうちの1つS2Pに関しては大腸菌ホモログであるRsePの細胞質領域の構造解析に成功し、その構造に基づいて制御機構を明らかにすることに成功した。申請者のグループは他にも多くの重要な膜蛋白質の構造を明らかにし、Nature等の高レベルのジャーナルに発表している。特に、FucPおよびUraAという2つの輸送体

「量子ビーム施設震災優先枠」における 被災量子ビーム施設ユーザー支援課題の実施について

—東日本大震災で被災した量子ビーム施設の利用者への支援—

財団法人高輝度光科学研究センター
利用業務部

平成23年3月11日に発生した東日本大震災により、被災した地域に存在する最先端の研究開発を支える重要な研究施設の多くが甚大な被害を受けました。これらの施設の利用者は、施設復旧までの間研究活動を再開することができなくなることから、研究活動の停滞が懸念されていました。こうした状況を踏まえ、SPring-8を運営する独立行政法人理化学研究所と財団法人高輝度光科学研究センターは相互に連携して、被災した量子ビーム施設で実験が困難となった利用者に対する支援を実施することとし、初動的な対応として、「量子ビーム施設震災優先枠」を設定することを平成23年4月1日にSPring-8ホームページに緊急声明文*1として公表しました。

「量子ビーム施設震災優先枠」は、平成23年度上期のSPring-8の運転計画の見直しと、緊急用留保時間の見直しを行い、26本ある共用ビームラインについて、1本あたり約250時間の放射光利用時間を確保しました。具体的には、元々の運転計画にあった放射光利用時間2016時間の内、緊急課題などに当てるために2割程度を確保していた留保時間の見直しにより、114時間を確保しました。また、本来は加速器の安定した運転のために必要なものとして措置していた調整時間を見直したことにより、136時間を確保しました。ビームタイムの一部を共用に供している理研ビームライン5本*2においては1本あたり136時間の放射光利用時間を確保しました。

被災した量子ビーム施設からは、平成23年度上期に実施が予定されていたものの、震災により実施が困難となった課題を対象として、「量子ビーム施設震災優先枠」の範囲で課題実施を希望する課題を各被災量子ビーム施設でとりまとめて、SPring-8へ申請していただきました。

利用申請は、放射光を利用者に提供している高エネルギー加速器研究機構物質構造研究所の放射光科学研究施設PF、中性子を提供している、大強度陽子加速器施設J-PARCの物質・生命科学実験施設MLFと日本原子力開発機構の研究炉JRR-3の3施設からありました。中性子施設からの申請課題は、放射光利用を代替手法として実験を行うものです。

申請された課題は、財団において、SPring-8の利用研究課題の審査基準に照らして（但し、研究手段としてのSPring-8の必要性は審査項目から除く）審査を行い105件をSPring-8の「被災量子ビーム施設ユーザー支援課題」の課題カテゴリで採択しました。

これら採択課題は、5月上旬以降、「量子ビーム施設震災優先枠」の範囲内で実施時期を調整したうえで、適宜実験が行われ、最終的に91課題が実施されました。

なお、SPring-8の専用施設においても個別に被災量子ビーム施設の課題の受け入れが行われました。

*1 <http://www.spring8.or.jp/ja/urgentnews/110401>

*2 BL17SU, BL26B1, BL26B2, BL32XU, BL45XU

SPring-8 運転・利用状況

財団法人高輝度光科学研究センター
研究調整部

◎平成23年4～6月の運転・利用実績

SPring-8は4月4日から4月28日までセベラルバンチ運転で第1サイクルの運転を行い、5月9日から6月10日までセベラルバンチ運転で第2サイクルの運転を実施した。第1～2サイクルではクライストロンの電源異常によるアボート等による停止があったが、全体としては順調な運転であった。総放射光利用運転時間（ユーザータイム）内での故障等による停止時間（down time）は、第1サイクルは約2.5%、第2サイクルは0.3%であった。

放射光利用実績（いずれも暫定値）については、実施された共同利用研究の実験数は、第1サイクルは合計183件、利用研究者は775名で、専用施設利用研究の実験数は合計120件、利用研究者は550名であった。第2サイクルは合計333件、利用研究者は1,604名で、専用施設利用研究の実験数は合計188件、利用研究者は906名であった。

1. 装置運転関係

(1) 運転期間

第1サイクル（4/4（月）～4/28（木））
第2サイクル（5/9（月）～6/10（金））

(2) 運転時間の内訳

第1サイクル
 運転時間総計 約572時間
 ①装置の調整およびマシンスタディ等 約93時間
 ②放射光利用運転時間 約467時間
 ③故障等によるdown time 約12時間
 総放射光利用運転時間（ユーザータイム＝②＋③）
 に対するdown timeの割合 約2.5%

第2サイクル
 運転時間総計 約775時間
 ①装置の調整およびマシンスタディ等 約48時間
 ②放射光利用運転時間 約725時間
 ③故障等によるdown time 約2時間
 総放射光利用運転時間（ユーザータイム＝②＋③）

に対するdown timeの割合 約0.3%

(3) 運転スペック等

第1サイクル（セベラルバンチ運転）

・11 bunch train × 29
 ・1/7 filling + 5 bunches

第2サイクル（セベラルバンチ運転）

・1/7 filling + 5 bunches
 ・11 bunch train × 29
 ・203 bunches

・入射は電流値優先モード（2～3分毎（マルチバンチ時）もしくは20～40秒毎（セベラルバンチ時））のTop-Upモードで実施。
 ・蓄積電流 8GeV、～100mA

(4) 主なdown timeの原因

・クライストロン電源異常によるアボート
 ・クライストロン冷却水流量低によるアボート

2. 利用関係

(1) 放射光利用実験期間

第1サイクル（4/7（木）～4/27（水））
 第2サイクル（5/10（火）～6/10（金））

(2) ビームライン利用状況

稼働ビームライン

共用ビームライン	26本
専用ビームライン	17本
理研ビームライン	8本
加速器診断ビームライン	2本

第1サイクル（暫定値）

共同利用研究実験数	183件
共同利用研究者数	775名
専用施設利用研究実験数	120件
専用施設利用研究者数	550名

第2サイクル（暫定値）

共同利用研究実験数	333件
共同利用研究者数	1,604名
専用施設利用研究実験数	188件

専用施設利用研究者数

906名

◎平成23年6～7月の運転・利用実績

SPring-8は6月13日から7月8日までセベラルバンチ運転で第3サイクルの運転を行い、7月9日から7月10日の停止をはさみ、7月11日から7月29日までセベラルバンチ運転で第4サイクルの運転を実施している。第3～4サイクルの運転・利用実績については次号にて掲載する。

◎今後の予定

7月30日から9月23日まで夏期点検調整期間とし、加速器やビームラインに係わる機器の改造・点検作業、電気・冷却設備等の機器の点検作業等を行う予定である。

論文発表の現状

財団法人高輝度光科学研究センター 利用業務部

年別査読有り論文発表登録数（2011年6月30日現在）

* 利用業務部が別刷りなどの資料を受け取り、Spring-8を利用したという記述が確認できたもののみをカウント

Beamline Name		Public Use Since	~2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	total	
Public Beamlines	BL01B1	XAFS (1997.10)	67	24	21	21	31	39	33	42	51	36	15	380	
	BL02B1	Single Crystal Structure Analysis (1997.10)	19	15	16	11	14	10	9	7	6	8	4	119	
	BL02B2	Powder Diffraction (1999. 9)	39	35	47	44	45	41	45	57	55	23	22	453	
	BL04B1	High Temperature and High Pressure Research (1997.10)	29	17	8	22	12	8	12	13	14	13	7	155	
	BL04B2	High Energy X-ray Diffraction (1999. 9)	6	15	8	19	12	20	38	17	22	25	7	189	
	BL08W	High Energy Inelastic Scattering (1997.10)	25	5	10	9	10	17	15	6	7	10	9	123	
	BL09XU	Nuclear Resonant Scattering (1997.10)	14	10	13	7	7	11	11	11	7	4	2	97	
	BL10XU	High Pressure Research (1997.10)	47	21	19	20	29	19	31	26	23	26	4	265	
	BL13XU	Surface and Interface Structure (2001. 9)			7	12	21	15	20	25	18	14	7	139	
	BL14B2	Engineering Science Research II (2007. 9)									1	10	14	8	33
	BL19B2	Engineering Science Research I (2001.11)			6	14	20	18	17	18	17	15	7	132	
	BL20B2	Medical and Imaging I (1999. 9)	20	16	12	25	13	16	14	20	10	8	7	161	
	BL20XU	Medical and Imaging II (2001. 9)		2	13	4	7	9	19	24	21	22	2	123	
	BL25SU	Soft X-ray Spectroscopy of Solid (1998. 4)	39	23	13	31	39	17	32	22	13	14	6	249	
	BL27SU	Soft X-ray Photochemistry (1998. 5)	23	19	17	25	44	39	25	32	12	14	9	259	
	BL28B2	White Beam X-ray Diffraction (1999. 9)	2	1	9	7	8	7	14	12	11	5	1	77	
	BL35XU	High Resolution Inelastic Scattering (2001. 9)	3		5	8	5	3	13	19	4	7	3	70	
	BL37XU	Trace Element Analysis (2002.11)			1	12	11	11	13	11	10	19	6	94	
	BL38B1	Structural Biology III (2000.10)	1	4	13	33	36	46	35	35	44	27	14	288	
	BL39XU	Magnetic Materials (1997.10)	37	5	11	16	10	10	19	12	25	10	7	162	
	BL40B2	Structural Biology II (1999. 9)	17	25	30	37	35	31	43	21	23	31	13	306	
	BL40XU	High Flux (2000. 4)	5	3	3	9	10	12	14	9	10	8	5	88	
	BL41XU	Structural Biology I (1997.10)	50	31	36	63	62	64	63	57	70	35	13	544	
	BL43IR	Infrared Materials Science (2000. 4)	5	1	5	6	10	5	7	12	4	3	2	60	
	BL46XU	Engineering Science Research III (2000.11)	1	3	6	3	8	14	12	14	9	10	2	82	
	BL47XU	HXPES・MCT (1997.10)	28	9	6	17	25	25	24	20	25	16	5	200	
	Public Use at Other Beamlines	BL11XU	Quantum Dynamics (1999. 3)		3	3	1	1	2	1	4				15
		BL14B1	Materials Science (1998. 4)	4	9	5	2	3	3	7	3	3	1		40
		BL15XU	WEBRAM (2002. 9)				6	4	8	7	7	2			34
		BL17SU	RIKEN Coherent Soft X-ray Spectroscopy (2005. 9)								1	2	3	1	8
		BL19LXU	RIKEN SR Physics (2002. 9)				1	3	1						5
		BL22XU	Quantum Structural Science (2004. 9)					1	3		1				5
		BL23SU	Actinide Science (1998. 6)	3	1	4	2	5	10	12	3	1	2		43
		BL26B1	RIKEN Structural Genomics I (2009. 4)											1	1
		BL26B2	RIKEN Structural Genomics II (2009. 4)											1	1
		BL29XU	RIKEN Coherent X-ray Optics (2002. 9)			1	2	1	4	2	4	1			15
		BL32XU	RIKEN Targeted Proteins (2010.10)											2	2
		BL44B2	RIKEN Materials Science (1998. 5)	3	2	1	2	3							11
		BL45XU	RIKEN Structural Biology I (1997.10)	9	5	9	12	5	6	11	2	4	6	4	73
	Subtotal			496	304	358	503	550	544	619	569	535	428	195	5101
	Contract Beamlines	BL03XU	Advanced Softmaterials (2009.11)										1	2	3
		BL07LSU	University-of-Tokyo Synchrotron Radiation Outstation (2009.11)										1	1	2
		BL08B2	Hyogo Prefecture BM (2005. 9)										1		1
		BL11XU	Quantum Dynamics (2001. 9)	8	2	3	7	10	7	12	8	7	8	5	77
BL12B2		NSRRRC BM (2003. 2)	1	3	16	20	24	6	5	3	2	1		81	
BL12XU		NSRRRC ID (2003. 2)			1		5	6	6	8	5	15		46	
BL14B1		Materials Science (2001. 4)	8	8	5	7	7	7	9	17	14	15	3	100	
BL15XU		WEBRAM (1999. 9)	3	15	13	5	3	13	14	15	28	31	18	158	
BL16B2		Sunbeam BM (1999. 9)	9	3	1	1	2	7	5	3	4	3	1	39	
BL16XU		Sunbeam ID (1999. 9)	2	1	1	4	5	6	4	2	4	3		32	
BL22XU		Quantum Structural Science (2004. 9)				1	4	13	10	4	6	13	4	55	
BL23SU		Actinide Science (1998.10)	18	11	11	13	8	10	14	21	21	13	4	144	
BL24XU		Hyogo Prefecture ID (1998.10)	39	19	13	11	9	7	12	6	7	5	2	130	
BL32B2		Pharmaceutical Industry (2002. 9)			6	3	2	4	6	1	1	1	1	24	
BL33LEP		Laser-Electron Photon (2000.10)	10	2	2		2	2	2	2	4	2		28	
BL33XU	Toyota (2009. 5)											1	1		
BL44XU	Macromolecular Assemblies (2000. 2)	1	9	12	17	27	31	25	20	26	13	11	192		
Subtotal			99	73	78	92	109	117	122	115	129	126	53	1113	
RIKEN Beamlines	BL17SU	Coherent Soft X-ray Spectroscopy (2005. 9)				2	5	4	10	17	13	8	2	61	
	BL19LXU	SR Physics (2002. 9)	5	3	2	11	6	11	12	5	9	1		65	
	BL26B1	Structural Genomics I (2009. 4)			2	18	35	22	19	22	10	3		131	
	BL26B2	Structural Genomics II (2009. 4)			1	5	4	6	6	18	4	4		48	
	BL29XU	Coherent X-ray Optics (2002. 9)	17	10	19	13	17	9	20	13	8	7	2	135	
	BL32XU	Targeted Proteins (2010.10)												0	
	BL45XU	Structural Biology I (1997.10)	36	20	29	23	19	19	20	15	9	5	4	199	
Subtotal			98	48	74	92	103	87	101	106	61	33	9	812	
Hardware / Software R & D			205	20	26	25	22	29	15	9	26	15	6	398	
NET Sum Total			783	376	449	599	675	639	741	691	660	539	223	6375	

NET Sum Total : 実際に登録されている件数 (本表に表示していない実験以外に関する文献を含む)

複数ビームライン (BL) からの成果からなる論文はそれぞれのビームラインでカウントした。

このデータは論文発表登録データベース (https://user.spring8.or.jp/15_7_before_p.jsp) に2011年6月30日までに登録されたデータに基づいており、今後変更される可能性があります。

・本登録数は別刷等で Spring-8 で行ったという記述が確認できたもののみとしています。Spring-8 での成果を論文等にする場合は必ず Spring-8 のどのビームラインで行ったという記述を入れて下さい。

成果発表出版形式別登録数 (2011年6月30日現在)

* 利用業務部が別刷りなどの資料を受け取り、SPring-8を利用したという記述が確認できたもののみをカウント

	Beamline Name	Public Use Since	Refereed papers	Proceedings	Other publications	Total
Public Beamlines	BL01B1	XAFS (1997.10)	380	47	58	485
	BL02B1	Single Crystal Structure Analysis (1997.10)	119	14	20	153
	BL02B2	Powder Diffraction (1999. 9)	453	25	61	539
	BL04B1	High Temperature and High Pressure Research (1997.10)	155	8	34	197
	BL04B2	High Energy X-ray Diffraction (1999. 9)	189	10	29	228
	BL08W	High Energy Inelastic Scattering (1997.10)	123	9	32	164
	BL09XU	Nuclear Resonant Scattering (1997.10)	97	14	22	133
	BL10XU	High Pressure Research (1997.10)	265	18	46	329
	BL13XU	Surface and Interface Structure (2001. 9)	139	10	28	177
	BL14B2	Engineering Science Research II (2007. 9)	33	3	9	45
	BL19B2	Engineering Science Research I (2001.11)	132	34	54	220
	BL20B2	Medical and Imaging I (1999. 9)	161	59	58	278
	BL20XU	Medical and Imaging II (2001. 9)	123	69	48	240
	BL25SU	Soft X-ray Spectroscopy of Solid (1998. 4)	249	14	33	296
	BL27SU	Soft X-ray Photochemistry (1998. 5)	259	14	24	297
	BL28B2	White Beam X-ray Diffraction (1999. 9)	77	12	19	108
	BL35XU	High Resolution Inelastic Scattering (2001. 9)	70	6	9	85
	BL37XU	Trace Element Analysis (2002.11)	94	12	27	133
	BL38B1	Structural Biology III (2000.10)	288	9	27	324
	BL39XU	Magnetic Materials (1997.10)	162	12	49	223
	BL40B2	Structural Biology II (1999. 9)	306	10	54	370
	BL40XU	High Flux (2000. 4)	88	14	39	141
	BL41XU	Structural Biology I (1997.10)	544	3	56	603
	BL43IR	Infrared Materials Science (2000. 4)	60	11	29	100
BL46XU	Engineering Science Research III (2000.11)	82	10	15	107	
BL47XU	HXPES・MCT (1997.10)	200	86	82	368	
Public Use at Other Beamlines	BL11XU	Quantum Dynamics (1999. 3)	15	2	4	21
	BL14B1	Materials Science (1998. 4)	40	1	10	51
	BL15XU	WEBRAM (2002. 9)	34	19	7	60
	BL17SU	RIKEN Coherent Soft X-ray Spectroscopy (2005. 9)	8		2	10
	BL19LXU	RIKEN SR Physics (2002. 9)	5		1	6
	BL22XU	Quantum Structural Science (2004. 9)	5			5
	BL23SU	Actinide Science (1998. 6)	43	4	13	60
	BL26B1	RIKEN Structural Genomics I (2009. 4)	1			1
	BL26B2	RIKEN Structural Genomics II (2009. 4)	1			1
	BL29XU	RIKEN Coherent X-ray Optics (2002. 9)	15		1	16
	BL32XU	RIKEN Targeted Proteins (2010.10)	2			2
	BL44B2	RIKEN Materials Science (1998. 5)	11		3	14
	BL45XU	RIKEN Structural Biology I (1997.10)	73	5	12	90
		Subtotal		5101	564	1015
Contract Beamlines	BL03XU	Advanced Softmaterials (2009.11)	3		1	4
	BL07LSU	University-of-Tokyo Synchrotron Radiation Outstation (2009.11)	2			2
	BL08B2	Hyogo Prefecture BM (2005. 9)	1			1
	BL11XU	Quantum Dynamics	77	6	7	90
	BL12B2	NSRRC 1 (2001. 9)	81	1		82
	BL12XU	NSRRC ID (2003. 2)	46	6	1	53
	BL14B1	Materials Science	100	9	34	143
	BL15XU	WEBRAM (2001. 4)	158	6	19	183
	BL16B2	Sunbeam BM (1999. 9)	39	9	37	85
	BL16XU	Sunbeam ID (1999. 9)	32	8	34	74
	BL22XU	Quantum Structural Science	55	2	16	73
	BL23SU	Actinide Science	144	30	71	245
	BL24XU	Hyogo Prefecture ID (1998.10)	130	16	46	192
	BL32B2	Pharmaceutical Industry (2002. 9)	24		3	27
	BL33LEP	Laser-Electron Photon (2000.10)	28	22	3	53
BL33XU	Toyota (2009. 5)	1	1		2	
BL44XU	Macromolecular Assemblies (2000. 2)	192		24	216	
	Subtotal		1113	116	296	1525
RIKEN Beamlines	BL17SU	Coherent Soft X-ray Spectroscopy	61	4	7	72
	BL19LXU	SR Physics	65	5	17	87
	BL26B1	Structural Genomics I	131	1	17	149
	BL26B2	Structural Genomics II	48	1	11	60
	BL29XU	Coherent X-ray Optics	135	14	21	170
	BL32XU	Targeted Proteins		1	1	2
	BL44B2	Materials Science	199	3	14	216
	BL45XU	Structural Biology I	173	4	37	214
	Subtotal		812	33	125	970
Hardware / Software R & D			398	393	391	1182
NET Sum Total			6375	965	1342	8682

Refereed Papers: 査読有りの原著論文、査読有りのプロシーディングと博士論文

Proceedings: 査読なしのプロシーディング

Other publications: 発表形式が出版で、上記の二つに当てはまらないもの(総説、単行本、賞、その他として登録されたもの)

NET Sum Total: 実際に登録されている件数(本表に表示していない実験以外に関する文献を含む)

複数ビームライン(BL)からの成果からなる論文等はそれぞれのビームラインでカウントした。

・本登録数は別刷等でSPring-8で行ったという記述が確認できたもののみとしています。SPring-8での成果を論文等にする場合は必ずSPring-8のどのビームラインで行ったという記述を入れて下さい。

最近SPring-8から発表された成果リスト

財団法人高輝度光科学研究センター
利用業務部

SPring-8において実施された研究課題等の成果が公表された場合はJASRIの成果登録データベースに登録していただくことになっており、その内容は以下のURL（SPring-8論文データベース検索ページ）で検索できます。

http://www.spring8.or.jp/ja/science/publication_database/

このデータベースに登録された原著論文の内、平成23年4月～6月にその別刷もしくはコピー等を受理したもの（登録時期は問いません）を以下に紹介します。論文の情報（主著者、巻、発行年、ページ、タイトル）に加え、データベースの登録番号（研究成果番号）を掲載していますので、詳細は上記検索ページの検索結果画面でご覧いただくことができます。また実施された課題の情報（課題番号、ビームライン、実験責任者名）も掲載しています。課題番号は最初の4文字が「year」、次の1文字が「term」、後ろの4文字が「proposal no.」となっていますので、この情報から以下のURLで公表している、各課題の英文利用報告書（SPring-8 User Experiment Report）を探してご覧いただくことができます。

http://www.spring8.or.jp/ja/news_publications/publications/user_exp_report/

今後も利用者情報には発行月の2ヶ月前の月末締めで、前号掲載分以降に登録された論文情報を掲載していく予定です。なお、データベースは毎日更新されていますので、最新情報はSPring-8論文データベース検索ページでご確認ください。なお、実験責任者のかたには、成果が公表されましたら速やかに登録いただきますようお願いいたします。

SPring-8 研究成果登録データベースに2011年4月～6月に登録された論文が掲載された主な雑誌と掲載論文数

掲載雑誌	登録論文数	掲載雑誌	登録論文数
Physical Review B	11	Journal of Molecular Biology	3
Applied Physics Letters	9	The Journal of Physical Chemistry C	3
Journal of the American Chemical Society	8	Journal of Synchrotron Radiation	3
Acta Crystallography Section F	5	Journal of the Physical Society of Japan	3
Inorganic Chemistry	5	Key Engineering Materials	3
Japanese Journal of Applied Physics	5	Materials Transactions	3
Nature	5	Physical Chemistry Chemical Physics	3
粉体および粉体冶金	4	材料	3

他全134誌、計 229報

課題の成果として登録された論文
Applied Physics Letters

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
18142	Hiroshi Yamada	92 (2008) 101909	2004A0382	BL02B2	徐 超男	Anisotropic Lattice Behavior in Elasticoluminescent Material SrAl ₂ O ₄ :Eu ²⁺
18610	Toshitaka Oka	98 (2011) 103701	2010B3815	BL23SU	岡 壽崇	Electron Paramagnetic Resonance Study of Unpaired Electron Species in Thin Films of Pyrimidine Bases Induced by Nitrogen and Oxygen K-shell Photoabsorption
18770	Siham Ouardi	97 (2010) 252113	2010A4903	BL15XU	Fecher Gerhard	Thermoelectric Properties and Electronic Structure of Substituted Heusler Compounds: NiTi _{0.3-x} Sc _x Zr _{0.35} Hf _{0.35} Sn
			2009B0017	BL47XU	Felser Claudia	
18771	Siham Ouardi	98 (2011) 211901	2010B4903	BL15XU	Fecher Gerhard	Electronic Structure of Pt Based Topological Heusler Compounds with C1 _b Structure and "Zero Band Gap"
18890	Takahiro Nagata	97 (2010) 082902	2009A4600	BL15XU	南風盛 将光	Oxygen Migration at Pt/HfO ₂ /Pt Interface under Bias Operation
18891	Oliver Bierwagen	98 (2011) 172101	2009B4601	BL15XU	長田 貴弘	Depletion of the In ₂ O ₃ (001) and (111) Surface Electron Accumulation by an Oxygen Plasma Surface Treatment
			2010A4604	BL15XU	長田 貴弘	
18900	Takahiro Nagata	98 (2011) 232107	2009B4601	BL15XU	長田 貴弘	XPS Study on Sb-/In- Doping Effects on the Fermi Level and Surface Fermi Level Pinning of SnO ₂ (101) Thin Films
			2010A4604	BL15XU	長田 貴弘	
18902	Christian Blum	98 (2011) 252501	2010B4903	BL15XU	Fecher Gerhard	Exploring the Details of the Martensite-Austenite Phase Yransition of the Shape Memory Heusler Compound Mn ₂ NiGa by Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy, Magnetic and Transport Measurements
18992	Baoe Li	98 (2011) 082101	2010B4607	BL15XU	大橋 直樹	Defects in ZnO Transparent Conductors Studied by Capacitance Transients at ZnO/Si Interface
			2010A4602	BL15XU	大橋 直樹	
			2009B4607	BL15XU	大橋 直樹	
			2009A4605	BL15XU	大橋 直樹	
			2009A4605	BL15XU	大橋 直樹	
			2008A4603	BL15XU	大橋 直樹	
			2007B4607	BL15XU	大橋 直樹	

Physical Review B

18622	Alex Bychkov	83 (2011) 144201	2003B0777	BL04B2	Bychkov Eugene	Intermediate- and Short-Range Order in Phosphorus-Selenium Glasses
			2005B0715	BL04B2	Bychkov Eugene	
			2008A1612	BL04B2	Bychkov Eugene	
			2009B1576	BL04B2	Bychkov Eugene	
18744	Naoki Ishimatsu	83 (2011) 180409(R)	2009B1401	BL39XU	湯本 博勝	Paramagnetism with Anomalously Large Magnetic Susceptibility in β (fcc)-cobalt Probed by X-ray Magnetic Circular Dichroism up to 170 GPa
			2009B1487	BL39XU	石松 直樹	
			2009B2129	BL39XU	河村 直己	
18773	Joachim Barth	81 (2010) 064404	2008A4905	BL15XU	Felser Claudia	Itinerant Half-metallic Ferromagnets Co ₂ TiZ (Z=Si, Ge, Sn): <i>Ab initio</i> Calculations and Measurement of the Electronic Structure and Transport Properties
18774	Masato Hagihara	82 (2010) 214424	2008A1174	BL02B2	鄭 旭光	Successive Phase Transitions with Multi-k and Non-coplanar Spin Order, Spin Fluctuations and Field-induced Phases in Deformed Pyrochlore Antiferromagnet Co ₂ (OH) ₃ Br
18775	Yoichi Ishiwata	82 (2010) 115404	2007B1334	BL02B2	鄭 旭光	Unusual Low-temperature Phase in VO ₂ Nanoparticles
18777	Yasuhiro Sakamoto	83 (2011) 104420	2008B1804	BL39XU	佐藤 徹哉	Ferromagnetism of Pt Nanoparticles Induced by Surface Chemisorption
18812	Jürgen Winterlik	83 (2011) 174448	2008A4905	BL15XU	Felser Claudia	Electronic, Magnetic, and Structural Properties of the Ferrimagnet Mn ₂ CoSn
			2008A0017	BL47XU	Felser Claudia	
			2008A1606	BL25SU	Felser Claudia	
18872	Hirofumi Akamatsu	83 (2011) 214421	2010A1652	BL47XU	藤田 晃司	Antiferromagnetic Superexchange via 3d States of Titanium in EuTiO ₃ as Seen from Hybrid Hartree-Fock Density Functional Calculations

Journal of the American Chemical Society

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
12279	Katsuyoshi Harada	130 (2008) 432-433	2007A6500	BL44XU	山下 栄樹	Evaluation of the Functional Role of the Heme-6-propionate Side Chain in Cytochrome P450cam
18615	Daigo Miyajima	132 (2010) 8530-8531	理研	BL44B2		Columnar Liquid Crystal with a Spontaneous Polarization along the Columnar Axis
			2008B1777	BL02B2	山本 洋平	
			2009A1651	BL02B2	櫻井 庸明	
			2009A1699	BL02B2	山本 洋平	
18629	Naoaki Yabuuchi	133 (2011) 4404-4419	2009B1777	BL02B2	駒場 慎一	Detailed Studies of a High-Capacity Electrode Material for Rechargeable Batteries, $\text{Li}_2\text{MnO}_3\text{-LiCo}_{1/3}\text{Ni}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$
18741	Tsuneaki Sakurai	133 (2011) 6537-6540	理研	BL44B2		Electron- or Hole-Transporting Nature Selected by Side-Chain-Directed π -Stacking Geometry: Liquid Crystalline Fused Metalloporphyrin Dimers
			2009A1651	BL02B2	櫻井 庸明	
18938	Alexei Belik	133 (2011) 9405-9412	2009A1136	BL02B2	Belik Alexei	Perovskite, LiNbO_3 , Corundum, and Hexagonal Polymorphs of $(\text{In}_{1-x}\text{M}_x)\text{MO}_3$
			2010A1215	BL02B2	Belik Alexei	
			2009B1172	BL04B2	遊佐 齊	
19000	Soichiro Motoyama	133 (2011) 5640-5643	2009B1772	BL13XU	牧浦 理恵	Highly Crystalline Nanofilm by Layering of Porphyrin Metal-Organic Framework Sheets
			2010A1188	BL13XU	牧浦 理恵	

Acta Crystallographica Section F

17801	Len Ito	64 (2008) 531-532	2004A0707	BL38B1	山口 宏	Crystallization and Preliminary X-ray Structural Studies of Human Prouroguanylin
18635	Nobuo Okazaki	67 (2011) 494-497	2009B1314	BL38B1	玉田 太郎	Crystallization and Preliminary X-ray Diffraction Studies of the Catalytic Domain of a Novel Chitinase, a Member of GH Family 23, from the Moderately Thermophilic Bacterium <i>Ralstonia</i> sp. A-471
18643	Tsutomu Nakamura	63 (2007) 7-11	C05A7201	BL44XU	石川 一彦	Structure of the Catalytic Domain of the Hyperthermophilic Chitinase from <i>Pyrococcus furiosus</i>
18644	Tsutomu Nakamura	61 (2005) 476-478	2004B0831	BL38B1	安宅 光雄	Crystallization and Preliminary X-ray Diffraction Analysis of a Chitin-binding Domain of Hyperthermophilic Chitinase from <i>Pyrococcus furiosus</i>
18778	Tetsuya Masuda	67 (2011) 652-658	2009A1096	BL38B1	梶田 哲哉	High-resolution Structure of the Recombinant Sweet-tasting Protein Thaumatin I
			2009B1379	BL26B1	梶田 哲哉	

Inorganic Chemistry

12205	Takuya Kurahashi	47 (2008) 1674-1686	2007A1090	BL01B1	倉橋 拓也	Transient Intermediates from Mn(salen) with Sterically Hindered Mesityl Groups: Interconversion between Mn^{IV} -Phenolate and Mn^{III} -Phenoxy Radicals as an Origin for Unique Reactivity
18672	Dmitriy Rusakov	50 (2011) 3559-3566	2009A1136	BL02B2	Belik Alexei	Structural Evolution and Properties of Solid Solutions of Hexagonal InMnO_3 and InGaO_3
			2010A1215	BL02B2	Belik Alexei	
18743	Minoru Mitsumi	50 (2011) 4368-4377	2010B1503	BL02B1	満身 稔	On the Nature of the Multiple Ground States of the MMX Mixed-Valence Chain Compound, $[\text{Pt}^{\text{II/III}}_2(n\text{-PenCS}_2)_4]_{\infty}$
18886	Yoshiyuki Inaguma	50 (2011) 5389-5395	2010A1669	BL02B2	森 大輔	An Approach to Control of Band Gap Energy and Photoluminescence upon Band Gap Excitation in Pr^{3+} -Doped Perovskites $\text{La}_{1/3}\text{MO}_3$ ($\text{M}=\text{Nb}, \text{Ta}$): Pr^{3+}
19072	Akihisa Aimi	50 (2011) 6392-6398	2010A1669	BL02B2	森 大輔	High-Pressure Synthesis and Correlation between Structure, Magnetic, and Dielectric Properties in LiNbO_3 -Type MnMO_3 ($\text{M} = \text{Ti}, \text{Sn}$)

Japanese Journal of Applied Physics

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
18693	Masamitsu Takahashi	50 (2011) 04DH06	2009B3503	BL11XU	高橋 正光	Structural Changes Caused by Quenching of InAs/GaAs(001) Quantum Dots
			2010A3503	BL11XU	高橋 正光	
18762	Kuniaki Arai	50 (2011) 053001	2007A2118	BL25SU	木下 豊彦	Dynamics of Magnetostatically Coupled Vortices Observed by Time-Resolved Photoemission Electron Microscopy
			2007B1739	BL25SU	大谷 義近	
			2008A1987	BL25SU	木下 豊彦	
			2008B1635	BL25SU	木下 豊彦	
			2009A1755	BL25SU	奥田 太一	
			2009B1736	BL25SU	奥田 太一	
2010A1642	BL25SU	奥田 太一				
18769	Naohisa Happo	50 (2011) 05FC11	2009B1168	BL39XU	八方 直久	Local Structure around Mn Atoms in IV-VI Ferromagnetic Semiconductor Ge _{0.6} Mn _{0.4} Te Investigated by X-ray Fluorescence Holography
18956	Kojiro Mimura	50 (2011) 05FD03	2009A4800	BL15XU	小林 啓介	Temperature-Induced Valence Transition of EuPd ₂ Si ₂ Studied by Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy
19068	Osamu Nakatsuka	50 (2011) 05ED03	2010A1683	BL13XU	中塚 理	Characterization of Local Strain around Through-Silicon Via Interconnects by using X-ray Microdiffraction

The Journal of Biological Chemistry

18715	Yuichi Nishitani	285 (2010) 39339-39347	2008A1511	BL41XU	三木 邦夫	Structure-based Catalytic Optimization of a Type III Rubisco from a Hyperthermophile
			2008A1973	BL41XU	三木 邦夫	
			2008A2001	BL41XU	三木 邦夫	
			2008A2048	BL41XU	山本 雅貴	
			2009A1012	BL41XU	山本 雅貴	
			2009A1013	BL41XU	山本 雅貴	
18726	Koji Nishi	286 (2011) 14427-14434	2008A6837	BL44XU	山縣 ゆり子	Structural Insights into Differences in Drug-binding Selectivity between Two Forms of Human α_1 -Acid Glycoprotein Genetic Variants, the A and F1*S Forms
18781	Kengo Kitadokoro	286 (2011) 19549-19555	2010A6515	BL44XU	北所 健悟	Crystal Structure of <i>Clostridium perfringens</i> Enterotoxin Displays Features of β -Pore-forming Toxins
			2010B6515	BL44XU	北所 健悟	
			2009A6917	BL44XU	北所 健悟	
			2009B6917	BL44XU	北所 健悟	
18867	Yusuke Nakamichi	286 (2011) 6262-6271	2010A1279	BL38B1	橋本 渉	Structural Determinants in Streptococcal Unsaturated Glucuronyl Hydrolase for Recognition of Glycosaminoglycan Sulfate Groups
			2009B1201	BL38B1	伊藤 貴文	
18868	Akihito Ochiai	285 (2010) 24519-24528	2009B1177	BL38B1	橋本 渉	Crystal Structure of Exotype Alginate Lyase Atu3025 from <i>Agrobacterium tumefaciens</i>
			2009A1179	BL38B1	橋本 渉	

Nature

18052	Takuhiro Ito	467 (2010) 612-616	2009A1238	BL41XU	伊藤 拓宏	Two Enzymes Bound to One Transfer RNA Assume Alternative Conformations for Consecutive Reactions
			2009B1393	BL41XU	伊藤 拓宏	
18265	Shangyu Dang	467 (2010) 734-738	2008A0019	BL41XU	Yan Nieng	Structure of a Fucose Transporter in an Outward-open Conformation
18873	Feiran Lu	472 (2011) 243-246	2008A0019	BL41XU	Yan Nieng	Structure and Mechanism of the Uracil Transporter UraA
19012	Yasufumi Umena	473 (2011) 55-60	2009A1295	BL41XU	沈 建仁	Crystal Structure of Oxygen-Evolving Photosystem II at a Resolution of 1.9 Å
			2009B1971	BL41XU	沈 建仁	
			2010A1139	BL41XU	沈 建仁	
			2010B1249	BL41XU	沈 建仁	
			2010B1158	BL38B1	川上 恵典	
			2009A6916	BL44XU	神谷 信夫	
			2009B6916	BL44XU	神谷 信夫	
			2010A6916	BL44XU	神谷 信夫	
19049	Tomoya Tsukazaki	474 (2011) 235-238	2010A1053	BL41XU	塚崎 智也	Structure and Function of a Membrane Component SecDF that Enhances Protein Export
			2010B1305	BL41XU	塚崎 智也	
			2009A1084	BL41XU	石谷 隆一郎	
			2009B1087	BL41XU	石谷 隆一郎	

粉体および粉末冶金 (Journal of the Japan Society of Powder and Powder Metallurgy)

研究成果番号	著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
16878	Yasushi Idemoto	57 (2010) 191-197	2008B2060	BL19B2	伊藤 孝憲	Crystal and Electronic Structures of $\text{Bi}_4(\text{Ti,Si})_3\text{O}_{12}$ Ferroelectrics
18842	Atsushi Nakahira	57 (2010) 542-545	2009A1287	BL01B1	中平 敦	Sintering and Evaluation of ZrO_2 Prepared by Spark Plasma Sintering Method
18844	Atsushi Nakahira	57 (2010) 533-536	2009B1311	BL01B1	中平 敦	Preparation and Evaluation of Hydroxyapatite with Addition of Amorphous SiO_2
18845	Mitsutaka Sato	57 (2010) 529-532	2009B1311	BL01B1	中平 敦	Synthesis of Fe Doped Hydroxyapatite by Aqueous Solution Process

Journal of Molecular Biology

18640	Tutomu Nakamura	381 (2008) 670-680	2004B0831	BL38B1	安宅 光雄	Tertiary Structure and Carbohydrate Recognition by the Chitin-Binding Domain of a Hyperthermophilic Chitinase from <i>Pyrococcus furiosus</i>
			C05A7201	BL44XU	石川 一彦	
18776	Shigeki Matsumiya	408 (2011) 1001	2005B5689	BL32B2	松宮 茂樹	Corrigendum to "Structural Comparison of Fucosylated and Nonfucosylated Fc Fragments of Human Immunoglobulin G1" [<i>J. Mol. Biol.</i> 386/3 (2007) 767-779]
18865	Yukie Maruyama	407 (2011) 180-192	2009B1192	BL38B1	丸山 如江	Heterosubunit Composition and Crystal Structures of a Novel Bacterial M16B Metallopeptidase
			2009A1329	BL38B1	丸山 如江	

The Journal of Physical Chemistry C

12967	Haruya Okimoto	112 (2008) 6103-6109	2006B1565	BL25SU	篠原 久典	Element-Specific Magnetic Properties of Di-Erbium $\text{Er}_2@\text{C}_{82}$ and $\text{Er}_2\text{C}_2@\text{C}_{82}$ Metallofullerenes: A Synchrotron Soft X-ray Magnetic Circular Dichroism Study
			2007A2012	BL25SU	篠原 久典	
16228	Kazuhiko Maeda	111 (2007) 7554-7560	2004B0075	BL01B1	堂免 一成	Roles of $\text{Rh/Cr}_2\text{O}_3$ (Core/Shell) Nanoparticles Photodeposited on Visible-Light-Responsive $(\text{Ga}_{1-x}\text{Zn}_x)(\text{N}_{1-x}\text{O}_x)$ Solid Solutions in Photocatalytic Overall Water Splitting
18155	Takashi Kamegawa	111 (2007) 1076-1078	2006A1394	BL01B1	松岡 雅也	Eliminating Traces of Carbon Monoxide Photocatalytically from Hydrogen with a Single-Site, Non-noble Metal Catalyst

Journal of Synchrotron Radiation

18901	Tatsuhito Matsuo	18 (2011) 601-604	2008A2055	BL40XU	八木 直人	Measurement of Persistence in YAG:Ce^{3+} Scintillator with Pulsed Synchrotron X-rays
			2009B1997	BL40XU	八木 直人	
			2010A1790	BL40XU	八木 直人	
			2010A1951	BL40XU	八木 直人	
18920	Masato Hoshino	18 (2011) 569-574	2010A1385	BL20B2	星野 真人	Development of an X-ray Real-time Stereo Imaging Technique using Synchrotron Radiation
18999	Hiroyuki Iwamoto	18 (2011) 564-568	2010A1417	BL40XU	岩本 裕之	Hard X-ray Fourier Transform Holography from an Array of Oriented Referenced Objects
			2010A1952	BL40XU	岩本 裕之	

Journal of the Physical Society of Japan

18832	Taka-hisa Arima	80 (2011) 052001	2006A1335	BL02B1	有馬 孝尚	Spin-Driven Ferroelectricity and Magneto-Electric Effects in Frustrated Magnetic Systems
			2005B3704	BL22XU	有馬 孝尚	
			2007A1318	BL46XU	有馬 孝尚	
19001	Masaichiro Mizumaki	80 (2011) 074603	2006A1203	BL01B1	水牧 仁一郎	Rare Earth dependent of Einstein Temperature in Filled Skutterdite Compounds $\text{REFe}_4\text{P}_{12}$ (RE = La, Ce, Pr, Nd, and Sm)
19002	Ken Matsumoto	80 (2011) 023709	2009A1302	BL39XU	圓山 裕	Noncollinear Spin Structure in Fe-Ni Invar Alloy Probed by Magnetic EXAFS at High Pressure
			2009B1495	BL39XU	圓山 裕	

Key Engineering Materials

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
18641	Hiroyuki Nishino	459 (2011) 11-14	2004A3890	BL08W	小泉 昭久	Magnetic Compton Profile Measurement of Thin Films
			2004B4890	BL08W	小泉 昭久	
			2006A0097	BL08W	桜井 浩	
18881	Shigeru Kimura	470 (2011) 104-109	2007B1005	BL13XU	財満 鎮明	Nanometer-scale Characterization Technique for Si Nanoelectric Materials using Synchrotron Radiation Microdiffraction
			2008A1005	BL13XU	財満 鎮明	
			2008B1005	BL13XU	島川 祐一	
			2009A1003	BL13XU	島川 祐一	
			2009B1942	BL13XU	今井 康彦	
2009B2118	BL13XU	今井 康彦				
18927	Yuji Sano	345-346 (2007) 1589-1592	2004B0915	BL19B2	佐野 雄二	Enhancement of Surface Property by Low-energy Laser Peening without Protective Coating

Materials Transactions

18627	Kazutaka Ikeda	52 (2011) 598-601	2007B1764	BL02B2	池田 一貴	Structural and Hydrogen Desorption Properties of Aluminum Hydride
18685	Hiroyuki Saitoh	52 (2011) 602-604	2010A3603	BL14B1	齋藤 寛之	Hydrogenation of Al ₃ Ti at High Pressure and High Temperature
			2010B3603	BL14B1	齋藤 寛之	
18686	Hiroyuki Saitoh	52 (2011) 595-597	2009A3601	BL14B1	齋藤 寛之	<i>In Situ</i> X-ray Diffraction Measurements of Aluminum Pulverization prior to the Hydrogenation Reaction
			2009A3602	BL14B1	齋藤 寛之	

Physical Chemistry Chemical Physics

18598	Yu Horiuchi	13 (2011) 6309-6314	2009B1127	BL01B1	森 浩亮	Design of Superhydrophobic Surfaces by Synthesis of Carbon Nanotubes over Co-Mo Nanocatalysts Deposited under Microwave Irradiation on Ti-containing Mesoporous Silica Thin Films
18676	Nobuya Hiroshiba	13 (2011) 6280-6285	2009B4602	BL15XU	早川 竜馬	Energy-Level Alignments and Photo-Induced Carrier Processes at the Heteromolecular Interface of Quaterylene and <i>N,N'</i> -dioctyl-3,4,9,10- perylene-dicarboximide
18708	Shun Nishimura	13 (2011) 9335-9343	2010A1598	BL01B1	西村 俊	Role of Base in the Formation of Silver Nanoparticles Synthesized Using Sodium Acrylate as a Dual Reducing and Encapsulating Agent

材料 (Journal of the Society of Materials Science, Japan)

18931	Kiyotaka Masaki	56 (2007) 1133-1138	2005B0886	BL19B2	佐野 雄二	Retardation of Fatigue Crack Growth on AC4CH Cast Aluminum Alloy by Laser Peening
18932	Yuji Sano	57 (2008) 395-400	2005B0886	BL19B2	佐野 雄二	Imaging of Fatigue Cracks in Aluminum Alloy by Micro Computed Tomography with Synchrotron Radiation
18935	Kiyotaka Masaki	58 (2009) 975-981	2006B0187	BL19B2	佐野 雄二	Investigation of Propagation and Interference Behavior of Surface Fatigue Cracks under Rotating Bending Fatigue by μ CT Technique with Synchrotron Radiation

Acta Crystallographica Section D

18674	Yuri Sogabe	67 (2011) 415-422	2006A1102	BL38B1	多田 俊治	High-resolution Structure of Exo-arabinanase from <i>Penicillium chrysogenum</i>
			2006B1742	BL41XU	多田 俊治	
			2008A2043	BL38B1	多田 俊治	
18675	Tetsuko Nakaniwa	59 (2003) 341-342	2001B0316	BL41XU	多田 俊治	Crystallization and Preliminary X-Ray Analysis of a Thermostable Pectate Lase PL 47 from <i>Bacillus</i> sp. TS 47

AIP Conference Proceedings

10447	Momoko Takemura	879 (2007) 1573-1576	C03B4012	BL16B2	竹村 モモ子	Characterization of Amorphous High-k Thin Films by EXAFS and GIXS
			C04A4060	BL16B2	竹村 モモ子	
			2004B0493	BL46XU	竹村 モモ子	
18882	Yasuhiko Imai	1221 (2010) 30-32	2008B1005	BL13XU	島川 祐一	High-Angular-Resolution Microbeam X-Ray Diffraction with CCD Detector
			2009A1003	BL13XU	島川 祐一	
			2009A1524	BL13XU	酒井 朗	

American Mineralogist

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
16110	Tatsuya Sakamaki	95 (2010) 144-147	2007A3709	BL22XU	浦川 啓	Density of Dry Peridotite Magma at High Pressure using an X-ray Absorption Method
			2007B3707	BL22XU	浦川 啓	
18854	Tatsuya Sakamaki	96 (2011) 553-557	2008A3722	BL22XU	大谷 栄治	Density of Carbonated Magma at High Pressure Using an X-ray Absorption Method
			2008B3726	BL22XU	大谷 栄治	

Applied Physics Express

18759	Tetsuya Nakamura	4 (2011) 066602	2009B1410	BL25SU	中村 哲也	Soft X-ray Magnetic Circular Dichroism of a CoFe/MnIr Exchange Bias Film under Pulsed High Magnetic Field
			2010A1345	BL25SU	中村 哲也	
			2010A1500	BL25SU	鳴海 康雄	
			2010B1421	BL25SU	中村 哲也	
19114	Nagatoshi Nishiwaki	2 (2009) 051002	2009B4603	BL15XU	下田 正彦	Green Chemical Catalyst Supported on S-Terminated GaN(0001)

Biochemical and Biophysical Research Communications

18187	Taro Masuda	400 (2010) 94-99	2010A1234	BL38B1	増田 太郎	The Universal Mechanism for Iron Translocation to the Ferroxidase Site in Ferritin, which is Mediated by the Well Conserved Transit Site
18866	Yukie Maruyama	405 (2011) 411-416	2010A1279	BL38B1	橋本 渉	Crystal Structure of Bacterial Cell-surface Alginate-binding Protein with an M75 Peptidase Motif

Biochemistry

11551	Shigenori Kanaya	46 (2007) 7460-7468	2005B6709	BL44XU	金谷 茂則	Structural, Thermodynamic, and Mutational Analyses of a Psychrotrophic RNase HI
18903	Takashi Saitoh	50 (2011) 5487-5496	2007A1469	BL38B1	神田 大輔	Crystallographic Snapshots of Tom20-Mitochondrial Presequence Interactions with Disulfide-Stabilized Peptides

Biochimica et Biophysica Acta - Bioenergetics

19010	Kenji Takasaka	1797 (2010) 278-284	2009A1295	BL41XU	沈 建仁	Structural and Functional Studies on Ycf12 (Psb30) and PsbZ-deletion Mutants from a Thermophilic Cyanobacterium
			2009B1971	BL41XU	沈 建仁	
			2010A1139	BL41XU	沈 建仁	
			2009B6916	BL44XU	神谷 信夫	
19011	Keisuke Kawakami	1807 (2011) 319-325	2009B1971	BL41XU	沈 建仁	Roles of Psbl and Psbm in Photosystem II Dimer Formation and Stability Studied by Deletion Mutagenesis and X-ray Crystallography
			2010A1139	BL41XU	沈 建仁	
			2010B1249	BL41XU	沈 建仁	
			2010A6916	BL44XU	神谷 信夫	
			2010B6916	BL44XU	神谷 信夫	

Chemical Communications

18740	Wei Ma	47 (2011) 5813-5815	2010A1454	BL02B2	高原 淳	Poly(methyl methacrylate) Grafted Imogolite Nanotubes Prepared through Surface-initiated ARGET ATRP
18767	Hideto Imai	47 (2011) 3538-3540	2008A1152	BL40XU	今井 英人	Growth Limits in Platinum Oxides Formed on Pt-skin Layers on Pt-Co Bimetallic Nanoparticles
			2008B1125	BL40XU	今井 英人	
			2009A1219	BL40XU	今井 英人	
			2009A5391	BL16B2	今井 英人	
			2009B5390	BL16B2	今井 英人	

Chemistry of Materials

18772	Changhai Wang	22 (2010) 6575-6582	2009A4131	BL12B2	Fecher Gerhard	Probing the Size Effect of Co ₂ FeGa-SiO ₂ @C Nanocomposite Particles Prepared by a Chemical Approach
			2009B4128	BL12B2	Felser Claudia	
18939	Yoshihiro Tsujimoto	22 (2010) 4625-4631	2007B1656	BL02B2	辻本 吉廣	Two-Dimensional S = 1 Quantum Antiferromagnet (NiCl)Sr ₂ Ta ₃ O ₁₀

Dalton Transactions

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
18628	Naoaki Yabuuchi	40 (2011) 1846-1848	2009B1777	BL02B2	駒場 慎一	Low-Temperature Phase of Li ₂ FeSiO ₄ : Crystal Structure and a Preliminary Study of Electrochemical Behavior
18742	Miho Yamauchi	40 (2011) 4842-4845	理研	BL44B2		Production of an Ordered (B2) CuPd Nanoalloy by Low-Temperature Annealing under Hydrogen Atmosphere
			2009A1748	BL02B2	山内 美穂	

e-Journal of Surface Science and Nanotechnology

18623	Michio Ishikawa	9 (2011) 40-45	2009B1212	BL43IR	池本 夕佳	Application of a Modulating Technique to Detect Near-Field Signals Using a Conventional IR Spectrometer with a Ceramic Light Source
			2009A1266	BL43IR	池本 夕佳	
18624	Yuka Ikemoto	9 (2011) 63-66	2010B1310	BL43IR	池本 夕佳	Near-Field Spectroscopy with Infrared Synchrotron
			2010A1199	BL43IR	池本 夕佳	Radiation Source

Earth and Planetary Science Letters

18333	Tatsuya Sakamaki	299 (2010) 285-289	2009B3784	BL22XU	大谷 栄治	Density of High-Ti Basalt Magma at High Pressure and Origin of Heterogeneities in the Lunar Mantle
18724	Hidenori Terasaki	304 (2011) 559-564	2008B1582	BL10XU	大谷 栄治	Liquidus and Solidus Temperatures of a Fe-O-S Alloy up to the Pressures of the Outer Core: Implication for the Thermal Structure of the Earth's Core
			2009A1570	BL10XU	大谷 栄治	
			2009B0028	BL10XU	大谷 栄治	

ECS Transactions

18819	Heiji Watanabe	35 (2011) 265-274	2010A3876	BL23SU	渡部 平司	Impact of Stacked AlON/SiO ₂ Gate Dielectrics for SiC Power Devices
19096	Arata Komatsu	33 (2010) 467-472	2009B0026	BL46XU	宮崎 誠一	Study of HfO ₂ /Si/Strained-Ge/SiGe Using Angle Resolved X-ray Photoelectron Spectroscopy
			2010A0026	BL46XU	宮崎 誠一	

The European Physical Journal - Special Topics

18814	Masanori Inui	196 (2011) 167-174	2009B1286	BL35XU	乾 雅祝	Inelastic X-ray Scattering Measurements of Dynamical Cross-over in Liquid As ₂ Se ₃ at High Temperature and High Pressure
18815	Shinya Hosokawa	196 (2011) 85-93	2008A1064	BL35XU	細川 伸也	Transverse Excitations in Liquid Ga

The Journal of Chemical Physics

18654	Mohammad Alam	134 (2011) 145102	2009B1222	BL40B2	岡 俊彦	Kinetics of Low pH-Induced Lamellar to Miccontinuous Cubic Phase Transition in Dioleoylphosphatidylserine/monoolein
			2010A1198	BL40B2	岡 俊彦	
18761	Yusuke Tamenori	134 (2011) 204302	2006B1107	BL27SU	為則 雄祐	Photodissociation Investigation of Doubly Charged Ethanol Clusters Induced by Inner-shell Electron Ionization
			2009A1143	BL27SU	為則 雄祐	

Journal of Crystal Growth

18625	Fumio Kawamura	321 (2011) 100-105	2010A1861	BL14B2	武田 隆史	Synthesis of High-Crystallinity Cubic-GaN Nanoparticles Using the Na Flux Method—A Proposed New Usage for a Belt-Type High-Pressure Apparatus
18780	Takuo Sasaki	323 (2011) 13-16	2009A3573	BL11XU	山口 真史	Growth Temperature Dependence of Strain Relaxation during InGaAs/GaAs(001) Heteroepitaxy
			2009B3571	BL11XU	山口 真史	

Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics

18679	James Harries	44 (2011) 095101	2007B1396	BL27SU	Harries James	Long-lived, Highly-excited Neutral Hydrogen Atom Production Following Oxygen 1s Photo-Excitation of Gas-Phase Water Molecules
			2007B1397	BL27SU	Harries James	
			2008A1350	BL27SU	Harries James	
18751	Kohjiro Kobatashi	44 (2011) 115102	2009A1047	BL08W	桜井 浩	Accurate Compton Scattering Measurements for N ₂ Molecules

Journal of Physics: Conference Series

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
17867	Yoshihiko Kobayashi	200 (2010) 012090	2007A1381	BL46XU	小林 義彦	Extraordinary Hall Effect in Ba _{1-x} Sr _x RuO ₃
18732	Katsuhiro Yamamoto	272 (2011) 012015	2009B1103	BL03XU	山本 勝宏	Solvent Annealing Induced Perpendicular Orientation of Cylindrical Microdomains in Polystyrene-b-poly(4-hydroxyl styrene)/PEG Oligomer Blend Thin Film Made by Spin-coating from Selective Solvent
			2010A1180	BL40B2	山本 勝宏	
			2010A7225	BL40B2	宮崎 司	

Journal of Structural Biology

18716	Kazuki Takeda	174 (2011) 92-99	2006A1716	BL38B1	三木 邦夫	Dimer Structure and Conformational Variability in the N-terminal Region of an Archaeal Small Heat Shock Protein, StHsp14.0
			2006B1664	BL38B1	三木 邦夫	
			2010A1290	BL41XU	竹田 一旗	
			2010B1204	BL41XU	竹田 一旗	
18717	Akito Kawai	174 (2011) 443-450	2008B6831	BL44XU	宮本 秀一	A Novel Heterotetrameric Structure of the Crenarchaeal PCNA2-PCNA3 Complex

Journal of the Ceramic Society of Japan

18621	Yoshinori Kobayashi	119 (2011) 285-290	2008A1762	BL14B2	小林 義徳	Cation Distribution Analysis of Sr-La-Co M-type Ferrites by Neutron Diffraction, Extended X-ray Absorption Fine Structure and X-ray Magnetic Circular Dichroism
18664	Toru Wakihara	119 (2011) 255-260	2009B1113	BL04B2	脇原 徹	Synthesis and Characterization of Si-based Materials: Zeolites and SiAlONs

Langmuir

18792	Yan Cheng	27 (2011) 6905-6909	2008A1110	BL02B2	金子 克美	Tuning of Gate Opening of an Elastic Layered Structure MOF in CO ₂ Sorption with a Trace of Alcohol Molecules
19031	Naoya Nishi	27 (2011) 7531-7536	2009B1396	BL37XU	垣内 隆	Temperature Dependence of Multilayering at the Free Surface of Ionic Liquids Probed by X-ray Reflectivity Measurements
			2010A1238	BL37XU	垣内 隆	

Physics and Chemistry of Minerals

18705	Yasuhiro Kuwayama	(2011) Online Publish	2005A5013	BL10XU	巽 好幸	Pressure-induced Structural Evolution of Pyrite-type SiO ₂
			2006A0099	BL10XU	廣瀬 敬	
			2006B0099	BL10XU	廣瀬 敬	
18839	Shuangmeng Zhai	38 (2011) 357-361	2010A1314	BL04B1	Zhai Shuangmeng	Compressibility of Strontium Orthophosphate Sr ₃ (PO ₄) ₂ at High Pressure

Polymer Journal

17140	Kiyoka Okada	42 (2010) 464-473	2006A1304	BL40B2	彦坂 正道	Elongational Crystallization of Isotactic Polypropylene Forms Nano-oriented Crystals with Ultra-high Performance
			2006B1185	BL40B2	彦坂 正道	
			2007A1567	BL40B2	彦坂 正道	
			2007B1173	BL40B2	彦坂 正道	
			2008B1611	BL40B2	彦坂 正道	
			2009A1331	BL40B2	彦坂 正道	
			2009B1385	BL40B2	彦坂 正道	
17998	YoungAh Kang	42 (2010) 657-662	2007B1226	BL40B2	大越 豊	Development of a Fiber Structure in Poly(vinylidene Fluoride) by a CO ₂ Laser-Heated Drawing Process

Procedia Engineering

18918	Daiki Shiozawa	2 (2010) 1413-1419	2008B1922	BL19B2	中井 善一	Observation of Crack Propagation under Torsion Fatigue Tests by Synchrotron μ CT Imaging
			2009A1895	BL19B2	中井 善一	
18930	Shigeru Suzuki	10 (2011) 88-93	2009A1765	BL19B2	鈴木 茂	Characteristic Microstructure of Polycrystalline Fe-Mn-C Alloys Deformed by Tensile Test

Scripta Materialia

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
17660	Hidenori Terasaki	64 (2011) 29-32	2009B2086	BL46XU	寺崎 秀紀	Diffusional and Displacive Transformation Behaviour in Low Carbon-Low Alloy Steels Studied by a Hybrid in situ Observation System
18661	Tomoya Nagira	64 (2011) 1129-1132	2010A1420	BL20B2	柳楽 知也	Direct Observation of Deformation in Semi-Solid Carbon Steel
			2010B1242	BL20B2	柳楽 知也	
			2009B0014	BL20B2	安田 秀幸	
			2009A0014	BL20B2	安田 秀幸	

Surface Science

18981	Hirokazu Fukidome	601 (2007) 4675-4679	2005B0651	BL27SU	上田 一之	Microscopically Controlled Oxidation of H/Si(100) by Lateral Surface Electric Field Studied by Emission Electron Microscopies
18993	Jesse Williams	605 (2011) 1336-1340	2010B4607	BL15XU	大橋 直樹	Polarity Determination of Wurtzite-type Crystals Using Hard X-ray Photoelectron Diffraction
			2010A4602	BL15XU	大橋 直樹	
			2009B4607	BL15XU	大橋 直樹	
			2008A4603	BL15XU	大橋 直樹	

Thin Solid Films

18150	Tetsuji Kato	518 (2010) S147-S150	2008B1839	BL13XU	酒井 朗	Structural Change of Direct Silicon Bonding Substrates by Interfacial Oxide Out-diffusion Annealing
18996	Yutaka Adachi	519 (2011) 5875-5881	2010B4607	BL15XU	大橋 直樹	Polarity of Heavily Doped ZnO Films Grown on Sapphire and SiO ₂ Glass Substrates
			2010A4602	BL15XU	大橋 直樹	
			2009B4607	BL15XU	大橋 直樹	
			2009A4605	BL15XU	大橋 直樹	
			2007B4607	BL15XU	大橋 直樹	
			2007A4609	BL15XU	大橋 直樹	
			2008A4603	BL15XU	大橋 直樹	

分析化学 (Bunseki Kagaku)

18057	Masayoshi Okuyama	59 (2010) 513-520	2006A1765	BL43IR	奥山 誠義	The Identification and the Analysis of Degraded State of Excavated Archaeological Textile Fibers Using Synchrotron FT-IR Micro-Spectroscopy
			2007A1306	BL43IR	奥山 誠義	
			2007B1364	BL43IR	奥山 誠義	
			2008A1442	BL43IR	奥山 誠義	
			2009A1301	BL43IR	奥山 誠義	
			2005B0500	BL43IR	佐藤 昌憲	
			2006A1030	BL43IR	佐藤 昌憲	
			2007A1045	BL43IR	佐藤 昌憲	
			2007B1174	BL43IR	佐藤 昌憲	
18604	Kiyokazu Katayama	59 (2010) 531-535	2003A0671	BL43IR	西岡 利勝	Analysis of Composition Distribution in High Impact Polypropylene Particles Using Synchrotron Infrared Microspectroscopy Imaging
			2003B0038	BL43IR	西岡 利勝	

Acta Materialia

18951	Satoshi Ohhashi	47 (2009) 4727-4735	2009A4504	BL15XU	山本 昭二	Phase Formation and Structures of Quasicrystals and Approximants in the Zn-Mg-(Ti, Zr, Hf) System
-------	-----------------	------------------------	-----------	--------	-------	---

Advances in X-ray Analysis

18753	Jun-ichi Shibano	52 (2008) 376-382	2007B1543	BL28B2	柴野 純一	Study on Computerized Tomography and Strain Mapping Near the Internal Crack Tip of Steel Bar Using Synchrotron White X-ray
-------	------------------	----------------------	-----------	--------	-------	--

Angewandte Chemie International Edition

18860	Takafumi Ueno	50 (2011) 4849-4852	2008A1124	BL38B1	上野 隆史	Post-Crystal Engineering of Zinc-Substituted Myoglobin to Construct a Long-Lived Photoinduced Charge-Separation System
			2009B1065	BL38B1	上野 隆史	

Antiviral Research

研究成果番号	著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
18222	Kazuki Izumi	87 (2010) 179-186	2009A1283	BL38B1	中村 昇太	Characterization of HIV-1 Resistance to a Fusion Inhibitor, N36, Derived from the gp41 Amino-terminal Heptad Repeat

Applied Catalysis A: General

18905	Toyokazu Tanabe	384 (2010) 241-251	2009B4502	BL15XU	山本 昭二	Microstructure of Leached Al-Cu-Fe Quasicrystal with High Catalytic Performance for Steam Reforming of Methanol
-------	-----------------	-----------------------	-----------	--------	-------	---

Biochimica et Biophysica Acta - Proteins and Proteomics

18869	Ryuichi Takase	1804 (2010) 1925-1936	2009B1177	BL38B1	橋本 涉	Molecular Identification of Unsaturated Uronate Reductase Prerequisite for Alginate Metabolism in <i>Sphingomonas</i> sp. A1
			2009A1179	BL38B1	橋本 涉	

Calcified Tissue International

18666	Takeshi Matsumoto	88 (2011) 432-441	2006A1805	BL20B2	松本 健志	In Vivo CT Quantification of Trabecular Bone Dynamics in Mice after Sciatic Neurectomy Using Monochromatic Synchrotron Radiation
			2007A2077	BL20B2	松本 健志	

Cancer Research

17848	Sachiko Kaida	70 (2010) 7031-7041	2009A1708	BL37XU	Cabral Horacio	Visible Drug Delivery System by Supramolecular Nanocarriers Directing to Single-Platformed Diagnosis and Therapy of Pancreatic Tumor Model
-------	---------------	------------------------	-----------	--------	----------------	--

Catalysis Communications

17652	Mari Uenishi	9 (2008) 311-314	2006A3603	BL14B1	谷口 昌司	Time Evolution of Palladium Structure Change with Redox Fluctuations in a LaFePdO ₃ Perovskite Automotive Catalyst by High-Speed Analysis with in situ DXAFS
-------	--------------	---------------------	-----------	--------	-------	---

Catalysis Communications

18153	Masaya Matsuoka	122 (2007) 39-45	2006A1394	BL01B1	松岡 雅也	In-situ Characterization of the Highly Dispersed Mo ⁶⁺ -Oxide Species Supported onto Various Oxides and Their Photocatalytic Activities
-------	-----------------	---------------------	-----------	--------	-------	--

Cell

18266	Shiqian Qi	141 (2010) 446-457	2008A0019	BL41XU	Yan Nieng	Crystal Structure of the <i>Caenorhabditis elegans</i> Apoptosome Reveals an Octameric Assembly of CED-4
-------	------------	-----------------------	-----------	--------	-----------	--

Cement and Concrete Research

18684	Kunio Matsui	41 (2011) 510-519	2008B1864	BL19B2	松野 信也	<i>In situ</i> Time-resolved X-ray Diffraction of Tobermorite Formation in Autoclaved Aerated Concrete: Influence of Silica Source Reactivity and Al Addition
			2009B1788	BL19B2	松野 信也	

Chemical Physics Letters

19024	Keita Kanda	506 (2011) 98-103	2009A1295	BL41XU	沈 建仁	Labile Electronic and Spin States of the CaMn ₄ O ₅ Cluster in the PSII System Refined to the 1.9 Å X-ray Resolution. UB3LYP Computational Results
			2009B1971	BL41XU	沈 建仁	
			2010A1139	BL41XU	沈 建仁	
			2010B1249	BL41XU	沈 建仁	
			2010B1158	BL38B1	川上 惠典	
			2009A6916	BL44XU	神谷 信夫	
			2009B6916	BL44XU	神谷 信夫	
			2010A6916	BL44XU	神谷 信夫	
2010B6916	BL44XU	神谷 信夫				

Chemosphere

18670	Noriko Yamaguchi	83 (2011) 925-932	2008B1272	BL01B1	山口 紀子	Arsenic Release from Flooded Paddy Soils is Influenced by Speciation, Eh, pH, and Iron Dissolution
			2009B1136	BL01B1	山口 紀子	

ChemPhysChem

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
18853	Masashi Nakamura	12 (2011) 1430-1434	2008B1395	BL13XU	中村 将志	Outer Helmholtz Plane of the Electrical Double Layer Formed at the Solid Electrode-Liquid Interface
			2009A1694	BL13XU	中村 将志	
			2009B1363	BL13XU	中村 将志	

ChemSusChem

18656	Akihiro Tsuji	4 (2011) 542-548	2009B1497	BL01B1	海老谷 幸喜	Selective Oxidation of Glycerol by Using a Hydrotalcite-Supported Platinum Catalyst under Atmospheric Oxygen Pressure in Water
			2010A1598	BL01B1	西村 俊	

Chinese Journal of Physics

18631	Kazuaki Iwasa	49 (2011) 231-238	2007B1328	BL35XU	岩佐 和晃	Softening of the Longitudinal Phonon Mode along the [100] Direction in GdB ₆
			2009A1224	BL35XU	岩佐 和晃	

Corrosion Science

18184	Michio Kaneko	52 (2010) 1889-1896	2007A1925	BL46XU	木村 正雄	Effects of Titanium Carbide (TiC) and Anodizing Voltages on Discoloration Resistance of Colored-Titanium Sheets
-------	---------------	------------------------	-----------	--------	-------	---

Diamond Light Source Proceedings

18856	Clara Guglieri	1 (2011) e143	2009B0024	BL39XU	Chaboy Jesus	X-ray Absorption Spectroscopy Characterization of the Interface in Capped ZnO Nanoparticles
			2010A0024	BL39XU	Chaboy Jesus	
			2008B1773	BL39XU	Chaboy Jesus	

Electrochemical and Solid-State Letters

12407	Shinji Okamoto	11 (2008) J47-J49	2003B0960	BL19B2	岡本 慎二	Ba-Substitution Effect on Luminescent Properties and Thermal Degradation of Sr ₃ MgSi ₂ O ₈ :Eu ²⁺ Blue Phosphor Under Vacuum-UV-Light Excitation
-------	----------------	----------------------	-----------	--------	-------	---

Electrochemistry

18803	Jun Maruyama	79 (2011) 318-321	2008A1891	BL14B2	丸山 純	Factors for Active Site Generation and Pore Development in Fuel Cell Catalysts Formed from Glucose/Nitrogen Source/Fe Salts
-------	--------------	----------------------	-----------	--------	------	---

Electrochemistry Communications

18659	Kazuhiisa Tamura	13 (2011) 411-413	2009A3604	BL14B1	田村 和久	Direct Observation of Au(111) Electrode Surface Structure in Bis(trifluoromethylsulfonyl)amide-based Ionic Liquids Using Surface X-ray Scattering
			2009B3615	BL14B1	田村 和久	

Electrochimica Acta

18665	Keisuke Fugane	56 (2011) 3874-3883	2009B4605	BL15XU	森 利之	Activity of Oxygen Reduction Reaction on Small amount of Amorphous CeO _x Promoted Pt Cathode for Fuel Cell Application
			2010A4606	BL15XU	森 利之	

Environmental Science & Technology

18749	Yoko Shimamoto	45 (2011) 2086-2092	2007B1175	BL01B1	高橋 嘉夫	Formation of Organic Iodine Supplied as Iodide in a Soil-Water System in Chiba, Japan
			2008B1436	BL37XU	高橋 嘉夫	
			2009A1242	BL37XU	高橋 嘉夫	
			2010A1612	BL01B1	柏原 輝彦	
			2009A1668	BL01B1	柏原 輝彦	
			2010B1664	BL37XU	東郷 洋子	

European Journal of Inorganic Chemistry

17862	Rie Makiura	2010 (2010) 3715-3724	2008A1580	BL13XU	牧浦 理恵	Porous Porphyrin Nano-Architectures on Surfaces
			2008B1801	BL13XU	牧浦 理恵	
			2009A1703	BL13XU	牧浦 理恵	
			2009B1772	BL13XU	牧浦 理恵	

Ferroelectrics

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
18967	Daisuke Mori	414 (2011) 180-189	2010A1669	BL02B2	森 大輔	High-Pressure Synthesis, Structure, Dielectric and Magnetic Properties for SrCu ₃ Ti ₄ O ₁₂

Green Chemistry

18655	Navneet Kumar Gupta	13 (2011) 824-827	2010A1598	BL01B1	西村 俊	Hydrotalcite-Supported Gold-Nanoparticle-Catalyzed Highly Efficient Base-Free Aqueous Oxidation of 5-hydroxymethylfurfural into 2,5-furandicarboxylic Acid under Atmospheric Oxygen Pressure
-------	---------------------	----------------------	-----------	--------	------	--

IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology

18183	Shinji Koike	1 (2011) 100-110	2007B1814	BL47XU	小池 真司	SPRING-8 X-ray Micro-Tomography Observations of Zirconium Inclusions in CO ₂ Laser Fusion Splice for Single Mode Optical Fibers
			2008A1790	BL19B2	小池 真司	

ITE Letters on Batteries, New Technologies & Medicine

15995	Tetsuya Ozaki	8 (2007) B24-B29	2005B0871	BL19B2	綿田 正治	Crystal Structure Analysis and Electrode Properties of La-Mg-Ni-based Hydrogen Storage Alloy
-------	---------------	---------------------	-----------	--------	-------	--

Journal of Applied Crystallography

18671	Osami Sakata	44 (2011) 385-391	2004A0534	BL13XU	坂田 修身	Application of Synchrotron-based Reciprocal-space Mapping at a Fixed Angular Position to Identification of Crystal Symmetry of Bi ₄ Ti ₃ O ₁₂ Epitaxial Thin Films
			2005B0435	BL13XU	坂田 修身	
			2006A1370	BL13XU	坂田 修身	
			2006B1457	BL13XU	坂田 修身	

Journal of Applied Physics

19086	Minoru Maeda	109 (2011) 023904	2008B1557	BL02B2	高瀬 浩一	In-field J _c Improvement by Oxygen-free Pyrene Gas Diffusion into Highly Dense MgB ₂ Superconductor
			2009A1334	BL02B2	高瀬 浩一	

Journal of Basic Microbiology

18870	Yukie Maruyama	50 (2010) 311-317	2009A1179	BL38B1	橋本 涉	Mutational Studies of the Peptidoglycan Hydrolase FlgJ of <i>Sphingomonas</i> sp. Strain A1
			2008B1112	BL38B1	橋本 涉	

Journal of Biomechanical Science and Engineering

18757	Satoshi Yamada	6 (2011) 114-124	2010A1592	BL28B2	山田 悟史	Residual Stress Distribution in the Bovine Femoral Diaphysis Measured by Synchrotron
-------	----------------	---------------------	-----------	--------	-------	--

Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena

18813	Misaki Hayashi	184 (2011) 338-341	2009B1410	BL25SU	中村 哲也	25 Tesla Pulsed-High-Magnetic-Field System for Soft X-ray Spectroscopy
			2010A1345	BL25SU	中村 哲也	
			2010A1500	BL25SU	鳴海 康雄	

Journal of Environmental Quality

18694	Yohey Hashimoto	40 (2011) 696-703	2007B1315	BL01B1	橋本 洋平	Enhanced Transformation of Lead Speciation in Rhizosphere Soils Using Phosphorus Amendments and Phytostabilization: XAFS Spectroscopy Investigation
			2008A1265	BL01B1	橋本 洋平	
			2009A1255	BL01B1	橋本 洋平	

Journal of Geochemical Exploration

19040	Yoko S. Shimamoto	107 (2010) 117-123	2003B0385	BL01B1	高橋 嘉夫	Soil Column Experiments for Iodate and Iodide using K-edge XANES and HPLC-ICP-MS
			2007B1175	BL01B1	高橋 嘉夫	
			2008A1463	BL37XU	高橋 嘉夫	

Journal of Geophysical Research

18722	Takashi Yoshino	116 (2011) B04202	2008A1201	BL04B1	芳野 極	Effect of Iron Content on Electrical Conductivity of Ferropericlase with Implications for the Spin Transition Pressure
			2008B1226	BL04B1	芳野 極	

Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
19115	Nagatoshi Nishiwaki	20 (2010) 873-876	2009A4603	BL15XU	角谷 正友	Reusability, Durability and Treatability of Palladium Catalyst on a Semiconductor Plate: Comparison with Commercially Available Solid-Supported Palladium Catalysts

Journal of Mass Spectrometry

18910	Kazumasa Okada	46 (2011) 635-639	2006A1395	BL27SU	岡田 和正	Photofragmentation of the K-shell Excited
			2007A2026	BL27SU	岡田 和正	Perfluorocyclobutane: Anisotropies in the Fragments
			2008A1503	BL27SU	岡田 和正	and Breakdown Pathways

Journal of Materials Chemistry

19066	Naoaki Yabuuchi	21 (2011) 10035-10041	2009B1777	BL02B2	駒場 慎一	Effect of Heat-Treatment Process on FeF ₃ Nanocomposite Electrodes for Rechargeable Li Batteries
-------	--------------------	--------------------------	-----------	--------	-------	---

Journal of Materials Research

19056	Seiji Yamazoe	26 (2011) 1504-1516	2010A1197	BL01B1	山添 誠司	A Structural Study of Cu-In-Se Compounds by X-ray Absorption Fine Structure
			2010B1502	BL01B1	山添 誠司	

Journal of Materials Science

18906	Toyokazu Tanabe	46 (2011) 2242-2250	2009B4502	BL15XU	山本 昭二	Evolution of Microstructure Induced by Air Calcination of Leached Al-Cu-Fe Quasicrystal and Its High Catalytic Activity
-------	--------------------	------------------------	-----------	--------	-------	---

Journal of Nanoscience and Nanotechnology

18950	Sergey Suturin	11 (2011) 2990-2996	2006A1601	BL13XU	Sokolov Nikolai	Initial Stages of High-temperature CaF ₂ /Si(001) Epitaxial Growth Studied by Surface X-ray Diffraction
			2005A0575	BL13XU	Sokolov Nikolai	

Journal of Non-Crystalline Solids

19047	Makoto Mizuno	357 (2011) 594-597	2008B1418	BL45XU	小西 隆士	Glass Transition and Thermal Expansivity in Silica-Polystyrene Nanocomposites
			2010A1200	BL40B2	深尾 浩次	
			2010A1291	BL40B2	小西 隆士	

Journal of Photochemistry and Photobiology B

19023	Keisuke Kawakami	104 (2011) 9-18	2009A1295	BL41XU	沈 建仁	Structure of the Catalytic, Inorganic Core of Oxygen-Evolving Photosystem II at 1.9 Å Resolution
			2009B1971	BL41XU	沈 建仁	
			2010A1139	BL41XU	沈 建仁	
			2010B1249	BL41XU	沈 建仁	
			2010B1158	BL38B1	川上 惠典	
			2009A6916	BL44XU	神谷 信夫	
			2009B6916	BL44XU	神谷 信夫	
			2010A6916	BL44XU	神谷 信夫	
			2010B6916	BL44XU	神谷 信夫	

The Journal of Physical Chemistry Letters

18695	Yohko Yano	2 (2011) 995-999	2009A1686	BL37XU	矢野 陽子	Protein Salting Out Observed at an Air-Water Interface
			2009B1308	BL37XU	矢野 陽子	

Journal of Physics and Chemistry of Solids

19091	Takahiro Mori	69 (2008) 298-301	2005A0166	BL01B1	森 貴洋	Study of Local Segregation in GaInNAs using EXAFS Measurements
-------	------------------	----------------------	-----------	--------	------	--

Journal of Physics: Condensed Matter

18766	Shuta Tahara	23 (2011) 235102	2006B1332	BL04B2	川北 至信	Medium-range Correlation of Ag Ions in Superionic Melts of Ag ₂ Se and AgI by Reverse Monte Carlo Structural Modelling –Connectivity and Void Distribution
-------	-----------------	---------------------	-----------	--------	-------	---

Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering

研究成果番号	著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
18929	Kiyotaka Masaki	2 (2008) 1104-1113	2005B0886	BL19B2	佐野 雄二	Investigation of Fatigue Crack Behavior with Synchrotron Radiation on AC4CH Casting Aluminum Alloy
			2006A0189	BL19B2	佐野 雄二	
			2006B0187	BL19B2	佐野 雄二	
			2007A1430	BL19B2	野上 由夫	

Journal of Solid State Chemistry

18703	Kazuhiko Mukai	184 (2011) 1096-1104	2007A1917	BL19B2	向 和彦	Magnetic Properties of the Chemically Delithiated $\text{Li}_x\text{Mn}_2\text{O}_4$ with $0.07 \leq x \leq 1$
-------	-------------------	-------------------------	-----------	--------	------	---

Journal of the Vacuum Society of Japan

18963	Daichi Yamazaki	54 (2011) 307-312	2009B3801	BL23SU	寺岡 有殿	Synchrotron X-ray Photoemission Study of NiTi Surface Oxidation with Hyperthermal Oxygen Molecular Beam
-------	--------------------	----------------------	-----------	--------	-------	--

Macromolecules

19046	Kenji Nakamura	44 (2011) 3053-3061	2010A1200	BL40B2	深尾 浩次	Systematic Dielectric Relaxation Study of Solid-Like Polyelectrolyte-Surfactant Complexes Formed between Poly(styrenesulfonate) and Cationic Surfactants
			2010B1479	BL40B2	深尾 浩次	
			2010A1291	BL40B2	小西 隆士	
			2010B1482	BL40B2	小西 隆士	

Materials Science Forum

18752	Jun-ichi Shibano	638-642 (2010) 2476-2481	2007A1641	BL28B2	柴野 純一	Transmission Imaging and Strain Mapping in the Vicinity of Internal Crack Tip Using Synchrotron White X-ray
-------	---------------------	-----------------------------	-----------	--------	-------	--

Monatshefte fur Chemie / Chemical Monthly

14438	Miki Hasegawa	140 (2009) 751-763	2007B1716	BL02B2	長谷川 美貴	Ultra-Thin Emissive Molecular Devices: Polarized Emission of Ln(III) Complex Films
-------	------------------	-----------------------	-----------	--------	--------	---

Nature Communications

18817	J. Garcia- Barriocanal	1 (2010) 82	2007B1516	BL25SU	Duffy Jonathan	Spin and Orbital Ti Magnetism at $\text{LaMnO}_3/\text{SrTiO}_3$ Interfaces
-------	---------------------------	----------------	-----------	--------	-------------------	--

Nature Materials

17860	Rie Makiura	9 (2010) 565-571	2008A1580	BL13XU	牧浦 理恵	Surface Nano-Architecture of A Metal-Organic Framework
			2008B1801	BL13XU	牧浦 理恵	
			2009A1703	BL13XU	牧浦 理恵	
			2009B1772	BL13XU	牧浦 理恵	

Nature Nanotechnology

14017	Xu-Guang Zheng	3 (2008) 724-726	2008B1776	BL02B2	鄭 旭光	Giant Negative Thermal Expansion in Magnetic Nanocrystals
-------	-------------------	---------------------	-----------	--------	------	--

Nature Structural and Molecular Biology

18692	Xiaowei Pan	18 (2011) 309-316	2008B1026	BL41XU	Chang WenRui	Structural Insights into Energy Regulation of Light- harvesting Complex CP29 from Spinach
-------	----------------	----------------------	-----------	--------	-----------------	--

Nucleic Acids Research

18003	Akiyoshi Nakamura	38 (2010) 672-682	2008B1489	BL41XU	田中 勲	Two Distinct Regions in <i>Staphylococcus aureus</i> GatCAB Guarantee Accurate tRNA Recognition
			2009A1119	BL40B2	姚 閔	
			2009B1110	BL41XU	田中 勲	

Optics Express

18140	Sally Irvine	18 (2010) 13478-13491	2008B1985	BL20XU	Parsons David	Assessment of the Use of a Diffuser in Propagation- based X-ray Phase Contrast Imaging
-------	--------------	--------------------------	-----------	--------	------------------	---

Optics Letters

研究成果番号	主著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
18141	Kaye Morgan	36 (2011) 55-57	2009B1922	BL20XU	Parsons David	Quantitative X-ray Phase Contrast Imaging Using a Single Grating of Comparable Pitch to Sample Feature Size

Philosophical Magazine

18739	Kazuo Soda	91 (2011) 2510-2518	2009A1672	BL27SU	曾田 一雄	Spectroscopic Study of Ni-rich Al-Co-Ni Quasicrystal
			2009B1729	BL27SU	曾田 一雄	

Physica B

19067	Terukai Takeuchi	406 (2011) 2559-2564	2000B0068	BL09XU	志村 考功	X-ray Diffraction Profiles of Si Nanowires with Trapezoidal Cross-Sections
-------	---------------------	-------------------------	-----------	--------	-------	--

Physica C

19057	Rikiya Yoshida	470 (2010) S389-S390	2008B1581	BL27SU	横谷 尚睦	Analysis on Photoemission Spectrum of Superconducting FeSe
			2009A1515	BL25SU	横谷 尚睦	

PLoS Biology

18723	Tohru Minamino	9 (2011) e1000616	2007B2049	BL41XU	今田 勝巳	Structural Insight into the Rotational Switching Mechanism of the Bacterial Flagellar Motor
-------	-------------------	----------------------	-----------	--------	-------	---

Polymer

18898	YoungAh Kang	52 (2011) 2044-2050	2007B1226	BL40B2	大越 豊	In-situ Analysis of Fiber Structure Development for Isotactic Polypropylene
			2008A1485	BL40B2	浦川 宏	

Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America

18642	Tsutomu Nakamura	105 (2008) 6238-6242	2007A1533	BL38B1	松村 浩由	Oxidation of Archaeal Peroxiredoxin Involves a Hypervalent Sulfur Intermediate
-------	---------------------	-------------------------	-----------	--------	-------	--

Protein Science

18765	Rouben A. Dilanian	20 (2011) 457-464	2004A0304	BL40XU	岡 俊彦	A New Approach for Structure Analysis of Two-Dimensional Membrane Protein Crystals Using X-ray Powder Diffraction Data
			2003A0173	BL40B2	岡 俊彦	
			2003B0270	BL40B2	岡 俊彦	

Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics

18714	Izumi Orita	78 (2010) 3488-3492	2006A2716	BL41XU	三木 邦夫	Crystal Structure of 3-Hexulose-6-Phosphate Synthase, a Member of the Orotidine 5'-Monophosphate Decarboxylase Suprafamily
			2006B2664	BL41XU	三木 邦夫	

Science

18709	Yoshiharu Sakurai	332 (2011) 698-702	2003B0762	BL08W	伊藤 真義	Imaging Doped Holes in a Cuprate Superconductor with High-Resolution Compton Scattering
			2004A0152	BL08W	伊藤 真義	
			2007B1413	BL08W	Bansil Arun	
			2008A1191	BL08W	Bansil Arun	
			2010A1907	BL08W	櫻井 吉晴	

Science Signaling

18725	Yohei Mukai	3 (2010) ra83-92	2006A6839	BL44XU	山縣 ゆり子	Solution of the Structure of the TNF-TNFR2 Complex
			2006B2672	BL41XU	山縣 ゆり子	

Tetrahedron Letters

18130	Yusuke Mikami	51 (2010) 5466-5468	2010A1081	BL01B1	金田 清臣	Selective Deoxygenation of Styrene Oxides under a CO Atmosphere Using Silver Nanoparticle Catalyst
-------	------------------	------------------------	-----------	--------	-------	--

Topics in Catalysis

18943	Tetsuya Shishido	53 (2010) 672-677	2009B1398	BL01B1	宍戸 哲也	Generation of Brønsted Acid Over Alumina-Supported Niobia Calcined at High Temperatures
			2009A1606	BL01B1	宍戸 哲也	

Virtual Journal of Biological Physics Research

研究成果番号	著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	実験責任者	タイトル
13081	Andreas Fouras	14 (2007) 1-7	2006A0002	BL20B2	Lewis Rob	Three-dimensional Synchrotron X-ray Particle Image Velocimetry

X線分析の進歩 (Advances in X-ray Chemical Analysis, Japan)

18669	Takashi Yamamoto	42 (2011) 237-248	2010A1334	BL01B1	山本 孝	XAFS Characterization of Active Fe Species in Fe ₂ O ₃ -SiO ₂ Catalyst for Styrene Dimerization
-------	------------------	-------------------	-----------	--------	------	--

高分子論文集 (Japanese Journal of Polymer Science and Technology)

12234	Go Matsuba	64 (2007) 419-428	2002A0328	BL45XU	金谷 利治	The Effects of Ultra-high Molecular Weight Component on Crystallization under Shear Flow
			2003A0149	BL45XU	金谷 利治	

実験力学 (Journal of the Japanese Society for Experimental Mechanism)

18928	Yuji Sano	7 (2007) 61-67	2004A0806	BL19B2	佐野 雄二	Characterization of Laser-Peened Materials by Synchrotron Radiation and Neutron Diffraction Techniques
			2004B0915	BL19B2	佐野 雄二	
			2005B0886	BL19B2	佐野 雄二	
			2006A0189	BL19B2	佐野 雄二	

表面科学 (Journal of the Surface Science Society of Japan)

18948	Yoshiyuki Yamashita	32 (2011) 320-324	2009A4600	BL15XU	南風盛 将光	Bias-application in Hard X-ray Photoelectronic Study for Advanced Materials
			2009B4810	BL15XU	小林 啓介	
			2010B4600	BL15XU	長田 貴弘	

保全学 (Maintenology)

18681	Kenji Suzuki	10 (2011) 57-63	2008A1766	BL02B1	田中 良彦	Residual Micro-stresses in Austenitic Stainless Steel Due to High Strain Rate
-------	--------------	-----------------	-----------	--------	-------	---

博士論文 (九州大学)

18937	Koji Ohara	(2010)	2007B1676	BL04B2	尾原 幸治	Study on the Lithium Ionic Conduction Path in Perovskite Crystal Including the Random Distribution of Lithium and Lanthanum Ions
-------	------------	--------	-----------	--------	-------	--

博士論文 (東北大学)

18974	Hiroyuki Handa	(2011)	2009B1735	BL17SU	吹留 博一	Study on Epitaxial Process of Graphene by Thermal Annealing of 3C-SiC/Si
			2010A1674	BL17SU	吹留 博一	
			2010B1712	BL17SU	吹留 博一	

博士論文 (北陸先端大学院大学)

18691	Shun Nishimura	(2011)	2009A1662	BL01B1	西村 俊	Studies on Development of Highly Functionalized anion-structured Catalysts by Mechanistic Approaches
			2009B1690	BL01B1	西村 俊	
			2008B1328	BL01B1	海老谷 幸喜	
			2010A1598	BL01B1	西村 俊	

課題以外の成果として登録された論文

Physical Review B

研究成果番号	著者	雑誌情報	課題番号	ビームライン	タイトル
18662	Miho Ikeda	83 (2011) 134417	理研	BL44B2	Competition between Vanadium Tetramerization and Trimerization Ba _{1-x} Sr _x V ₁₃ O ₁₈
18840	Yukio Takahashi	83 (2011) 214109	理研	BL29XU	Towards High-resolution Ptychographic X-ray Diffraction Microscopy
18879	Kenji Ishii	83 (2011) 241101(R)	原研	BL11XU	Polarization-analyzed Resonant Inelastic X-ray Scattering of the Orbital Excitations in KCuF ₃

Journal of the American Chemical Society

研究成果番号	主著者	雑誌情報	関連情報	ビームライン	タイトル
18616	Yasunao Miyamura	132 (2010) 3292-3294	理研	BL44B2	Shape-Directed Assembly of a 'Macromolecular Barb' into Nanofibers: Stereospecific Cyclopolymerization of Isopropylidene Diallylmalonate
18617	Miho Yamauchi	133 (2011) 1150-1152	理研	BL44B2	Highly Selective Ammonia Synthesis from Nitrate with Photocatalytically Generated Hydrogen on CuPd/TiO ₂

Proceedings of SPIE

15337	Satoshi Matsuyama	5918 (2005) 591804	理研	BL29XU	Hard X-ray Nano-focusing at 40nm Level using K-B Mirror Optics for Nanoscopy/Spectroscopy
15338	Satoshi Matsuyama	5533 (2004) 181-191	理研	BL29XU	Wave-Optical and Ray-Tracing Analysis to Establish a Two Dimensional Focusing Unit using K-B Mirror Arrangement

Analytical Chemistry

12569	Atsushi Ikeda	79 (2007) 8016-8023	原研	BL11XU	Extended X-ray Absorption Fine Structure Investigation of Adsorption and Separation Phenomena of Metal Ions in Organic Resin
-------	---------------	------------------------	----	--------	--

Chemistry an Asian Journal

18600	Wei-Shi Li	5 (2010) 1566-1572	理研	BL44B2	Use of Side-Chain Incompatibility for Tailoring Long-Range p/n Heterojunctions: Photoconductive Nanofibers Formed by Self-Assembly of an Amphiphilic Donor-Acceptor Dyad Consisting of Oligothiophene and Perylenediimide
-------	------------	-----------------------	----	--------	---

The EMBO Journal

18273	Yoriko Murayama	30 (2011) 68-78	理研	BL45XU	Tracking and Visualizing the Circadian Ticking of the Cyanobacterial Clock Protein KaiC in Solution
-------	-----------------	--------------------	----	--------	---

Journal of the Vacuum Society of Japan

18748	Masaya Ooishi	54 (2011) 158-161	加速器		Scratch and Corrosion Resistance of an Aluminum Flange with an Electron Beam Modified Seal Edge
-------	---------------	----------------------	-----	--	---

Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A

18736	Yuji Otake	637 (2011) S7-S11	XFEL		Advanced Diagnosis of the Temporal Characteristics of Ultra-Short Electron Beams
-------	------------	----------------------	------	--	--

PLoS Biology

18516	Shuichi Takeda	8 (2010) e1000416	理研	BL26B1	Two Distinct Mechanisms for Actin Capping Protein Regulation - Steric and Allosteric Inhibition
-------	----------------	----------------------	----	--------	---

Vacuum

18706	Hiroshi Saeki	85 (2011) 975-977	加速器		Vacuum Seal for a Rectangular Flange
-------	---------------	----------------------	-----	--	--------------------------------------

最近のSPring-8 関係功績の受賞

※功績が認められ最近受賞されたSPring-8利用者等を掲載しています。

平成23年春の紫綬褒章 受章

主催：内閣府

受章者	北川 進 京都大学 物質-細胞統合システム拠点 副拠点長／教授
業績名	錯体化学研究功績
ビームライン	BL02B1、BL02B2、BL13XU
研究内容	北川教授は金属イオンと有機化合物との自己集合による結合反応（配位結合）を利用することで、ナノメートルサイズの規則的な孔を無数に有する新しいタイプの多孔性材料（多孔性配位高分子）の開発を行った。このような材料の細孔中に気体を大量に取り込むことができることを、1997年に世界で初めて立証し、これを契機として、種々の多孔性配位高分子による水素や天然ガスの大量吸蔵を行う研究が、世界中で盛んに行われるようになった。既存の多孔性材料（ゼオライト、活性炭など）を凌駕する性質や機能を開拓したことから、多孔性配位高分子の学術的・産業的価値を大きく拡げ、「配位空間の化学」という先駆的な分野を創成した。この業績は無機・錯体化学はもとより、今日の諸問題（エネルギー、環境、生命）に対し、化学が解決するために取り組む新領域の開拓を先導し、国際的に高く評価されている。同人は、多孔性配位高分子のナノ空間内での酸素の凝集状態を世界で初めて直接観測することに成功（Science 2002）するなど、大型放射光施設SPring-8を利用した研究で多数の特筆すべき成果を上げている。
受賞理由	錯体化学、特に配位結合を用いる多孔性材料の合成化学およびそれを用いる気体物質の貯蔵、分離、精製の応用分野で大きな貢献をなし、その功績はまことに顕著であることが評価された。

日本希土類学会奨励賞（足立賞）

主催：日本希土類学会

受賞者	長谷川 美貴 青山学院大学 理工学部科学・生命科学科 教授
業績名	希土類錯体の分子内・分子間の構造とエネルギー状態の相関に関わる光化学研究
ビームライン	BL02B2、BL01B1、BL39XU
研究内容	レアアースと有機分子が結合した物質を希土類錯体という。レアアースの発光は、有機分子と結合させてUVを照射すると可視光や赤外領域に強く表れる。これはUVの光を有機分子が吸収し、このエネルギーがレアアースに引き渡されることで発現するがこの時のエネルギーの移動の速さや有機分子とレアアースのそれぞれの電子の状態とそれらの関係は不明な点が多かった。レアアースにプラセオジウムを用いることで、このような系の分子内エネルギーが移動する速さと経路を初めて明らかにした。また、この知見をもとに、レアアースと有機分子をサンドイッチ状態に積み重ねた分子性薄膜の発光現象に偏光が伴うことを見出した。金属の層間の距離は50 Å程度であり、この間にある有機分子は第三の成分である別の有機分子も取り込むことができ、この第三の成分は、レアアースのサンドイッチ構造に挟まれることで2種の異なる角度の偏光発光を放つだけでなく、粉末や溶液で観測されないスピン状態を示す場合があることを明らかにした。
受賞理由	以上のように、受賞者はこれまで現象が先だっていた希土類発光のメカニズム解明に新たな指針を示し、さらに希土類錯体の超薄膜化が偏光発光やりん光発現の環境を与えることを証明し、未来の材料に向けた基盤的研究成果が評価され受賞に至った。

※日本希土類学会奨励賞（足立賞）を受賞の長谷川美貴教授（青山学院大学）の記事は本紙SPring-8利用者情報Vol.16 No.3（2011年8月号）の191ページ（<http://user.spring8.or.jp/sp8.or.jp/sp8info/?p=●●●>）に掲載されています。

SPring-8 利用者情報 編集委員会

委員長	牧田 知子	利用業務部
委員	田口 哲也	研究調整部
	桑野富美子	利用業務部
	辻本 繁樹	広報室
	水野 明彦	加速器部門
	増田 剛正	制御・情報部門
	竹下 邦和	光源・光学系部門
	小原 真司	利用研究促進部門
	小金澤智之	産業利用推進室
	梶 義則	安全管理室
	籠島 靖	利用者懇談会 編集幹事(兵庫県立大学)
事務局	松本 亘	利用業務部
	神田ゆかり	利用業務部

SPring-8 利用者情報

Vol.16 No.3 AUGUST 2011

SPring-8 Information

発行日 平成23年(2011年)8月25日

編集 SPring-8 利用者情報編集委員会

発行所 財団法人 高輝度光科学研究センター
TEL 0791-58-0961 FAX 0791-58-0965

(禁無断転載)



BL39XU第2ハッチの全景