

# SPring-8

INFORMATION  
[利用者情報]

Vol.15 **No.1** 2010.2



## SPring-8 Information

### 目次

### CONTENTS

#### ご挨拶

Message from Chairman

(財)高輝度光科学研究センター 会長  
Chairman of JASRI

川上 哲郎  
KAWAKAMI Tetsuro

1

#### 理事長室から 一事業仕分け顛末一

Message from President - Lessons Learnt from Budget Request Screening -

(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

2

## 1. 最近の研究から / FROM LATEST RESEARCH

長期利用課題報告 電流で溶ける電子の氷：有機サイリスタの非線形伝導と構造  
Ice of Electrons Melted by Flow of Electrons : Nonlinear Conduction and Structure of the Organic Thyristor

早稲田大学 先進理工学部  
Faculty of Science and Engineering, Waseda University

寺崎 一郎  
TERASAKI Ichiro

岡山大学大学院 自然科学研究科  
Okayama University Graduate School of Natural Science and Technology

野上 由夫  
NOGAMI Yoshio

3

光電子顕微鏡を用いた鉄隕石の金属組織と磁区構造のナノ観察  
Magnetic and Metallographic Imaging of Iron Meteorite Using Photoelectron Emission Microscopy (PEEM)

(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

小嗣 真人  
KOTSUGI Masato

日立金属(株)  
Hitachi Metals, Ltd.

三俣 千春  
MITSUMATA Chiharu

10

## 2. ビームライン / BEAMLINES

Status of the RIKEN Quantum NanoDynamics Beamline (BL43LXU):  
The Next Generation for Inelastic X-Ray Scattering.

Materials Dynamics Laboratory, RIKEN SPring-8 Center / Research & Utilization Division, JASRI

Alfred Q. R. Baron

14

BL15XU広エネルギー帯域先端材料解析BL次期計画  
Next Plan of WEBRAM Beamline BL15XU

(独)物質・材料研究機構 共用ビームステーション  
Beamline Station, NIMS

小林 啓介  
KOBAYASHI Keisuke

吉川 英樹  
YOSHIKAWA Hideki

上田 茂典  
UEDA Shigenori

田中 雅彦  
TANAKA Masahiko

山下 良之  
YAMASHITA Yoshiyuki

松下 能孝  
MATSUSHITA Yoshitaka

スプリングエイトサービス株式会社  
SPring-8 Service Co., Ltd.

勝矢 良雄  
KATSUYA Yoshio

石丸 哲  
ISHIMARU Satoshi

20

東京大学物質科学アウトステーションビームライン：BL07LSUについて  
University-of-Tokyo Synchrotron Radiation Outstation Beamline : BL07LSU

東京大学 物性研究所 / 東京大学 放射光連携研究機構  
Institute for Solid State Physics, The University of Tokyo / Synchrotron Radiation Research Organization, The University of Tokyo

松田 巖  
MATSUDA Iwao

27

### 3. SPring-8 通信／SPring-8 Communications

#### 第23回共同利用期間（2009A）において実施された利用研究課題 2009A Proposal and User Statistics

(財)高輝度光科学研究センター 利用業務部  
User Administration Division, JASRI ..... 31

#### 2008A採択長期利用課題中間評価結果について Interim Review of 2008A Long-term Proposals

(財)高輝度光科学研究センター 利用業務部  
User Administration Division, JASRI ..... 35

#### 平成22年度に指定されたパワーユーザーの紹介 A Newly Designated Power User FY 2010

(財)高輝度光科学研究センター 利用業務部  
User Administration Division, JASRI ..... 37

#### 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 ..... 38

#### 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 ..... 40

#### 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 ..... 42

#### SPring-8 利用者情報に関するアンケート集計結果 Questionnaire Survey on SPring-8 Information

(財)高輝度光科学研究センター 利用業務部  
User Administration Division, JASRI ..... 43

### 4. 談話室・ユーザー便り／USER LOUNGE・LETTERS FROM SPring-8 USERS

#### 行政刷新会議の事業仕分けと利用者懇談会 Budget Screening and SPring-8 Users Society

東京工業大学 応用セラミックス研究所 佐々木 聡  
Materials and Structures Laboratory, Tokyo Institute of Technology SASAKI Satoshi ..... 47

### 5. 告知板／ANNOUNCEMENTS

最近のSPring-8関係功績の受賞  
SPring-8 Related Achievements ..... 50

第18回SPring-8施設公開 ーたんけん・発見、科学の最先端！ー  
Announcement of SPring-8 Openhouse ..... 51

「SPring-8利用者情報」送付先登録票  
“SPring-8 Information” Subscription Request Form ..... 52

## ご挨拶



財団法人高輝度光科学研究センター  
会長 川上 哲郎

平素は当財団の運営にあたり、種々ご高配を賜り、厚く御礼申し上げます。

皆様方のお陰をもちまして、SPring-8は供用開始から12年を経過し、昨年6月5日には利用者数が延べ10万人に達しました。また昨年は、年間延べ約12,000人の利用者と同約1,800件の実験が記録されており、学術、産業のそれぞれの分野で多大な成果を上げることができました。特に産業利用の割合が全体の20%に達したとともに、専用ビームラインにおいても、昨年5月に「豊田ビームライン」が、11月には産学連携による高分子の新素材開発を中心とする「フロンティアソフトマター開発専用ビームライン産学連合」が稼働するなど、従来のサンビーム等に加えて新たな産業利用が具体化してまいりました。

昨年、わが国の政治及び経済社会に大きな変化があったことは、ご高承のとおりであります。11月に行われました行政刷新会議の事業仕分けにおいては、SPring-8についても一旦は厳しい評価（1/3～1/2程度の予算縮減）が出され、適切な運転経費の確保がなければ、十分な放射光を提供できなくなると危惧されると同時に、今後は関係各方面への説明責任を十分に果たす責務を痛感いたしました。

その後、政府内で慎重な検討がなされた結果、当施設の果たす社会的な重要性に鑑み、従来と同程度の運転時間の確保が可能な状況になりました。この機会に、ご利用のユーザー様をはじめとする皆様方のご意見やご要望等を通じ、力強いご支援を賜りましたことに深く感謝し、御礼申し上げます。

これからの進路につきましては、いかにわかりやすく成果を示すかを含め、種々課題も残っておりますが、産業の礎でもある科学技術の成果が社会に還元されるためには、長い年月にわたる研究者のたゆまない努力を要するものでもあります。これからもより多くの利用者にSPring-8を有効活用していただき、基礎的な分野での最先端の技術開発を通じてその成果を示すことで、科学技術振興の一翼を担いたいと存する次第であり、皆様方のご理解とさらなるご支援、ご協力を賜りますようお願い申し上げます。



# 理事長室から

－事業仕分け顛末－

財団法人高輝度光科学研究センター  
理事長 白川 哲久

昨年11月13日、神戸でJASRIの最高顧問会が行われているちょうどその頃、東京ではSPring-8が行政刷新会議の事業仕分けの俎上に載せられていました。最高顧問会が終わってその結果を聞いた理事長である私は耳を疑いました。

仕分けの評決結果は、ご存知のように「3分の1から2分の1程度の予算縮減」。このままでは来年度は、利用者の方々に放射光の供給ができなくなる恐れがあります。

それ以降、理事長の仕事は一変しました。事業仕分けの判定は「最終決定」ではなく、最終的には政策レベルの判断を加えて政府の予算案が決定されることでしたので、何はさておきSPring-8の必要性、有用性を政策決定当局に改めてよく理解していただかねばなりません。詳細は省きますが、理化学研究所とも連携を取りつつ、施設者側としても努力しましたが、それ以上に重要なのはSPring-8の利用研究者から大きな声をあげていただくことです。実際、短期間の内に内外の多数の利用研究者から、文部科学省の政務三役を始め関係当局にSPring-8予算確保のための働きかけが行われました。

その結果、昨年末の閣議決定で、SPring-8の施設運転・維持管理及び利用者選定・利用支援等に必要予算として約84億9千万円が認められ、削減額は対前年度比で約1億7千万円(同2%減)に留まりました。これは、利用者懇談会をはじめ産学、内外を問わずSPring-8の利用研究者が一丸となってその必要性、有用性を強く訴えて頂いたこと等により、幸いにも政策当局のご理解が得られた賜物であり、JASRIの理事長としても心から感謝したいと思います。

しかしながら、この事業仕分けとその後の対応の過程で、今後早急に取り組まなければならない課題が否応なく明らかになってきました。

その第一は、更なる経費削減と予算の徹底した有効活用です。毎年のように削減されてきた予算が、来年度も比較的少額に留まったとはいえさらに削減

されることになったため、今後施設者側としてもその影響について慎重に検討する予定ですが、その過程で利用者側にもご協力をお願いせざるを得ない事柄が出てくる可能性は十分あると思われま

す。第二は、事業仕分けでも強く指摘された、利用料の改定による収入増の確保です。これについては、利用料の基本的考え方は変えない範囲で、しかしより厳格なルールの適用等によって増収の途を探ることは避けられない情勢にあります。今後、政策当局のご指導を仰ぎつつ、理化学研究所とも密接に連携しながら検討を進め、いずれ利用者側とも具体的なご相談をさせていただくことになろうと思われま

す。第三は、今回の事業仕分けで痛感させられたことは、我々施設者や利用研究者が立派な仕事をしていると思っていることでも、一般の国民レベルでは如何に十分には理解されていないか、ということです。国民の税金を使って仕事をする以上、より多くの成果を挙げて、かつそれを一般の国民目線で理解できるように説明する責任が、SPring-8の関係者すべてに強く求められています。前回の「利用者情報」でも「さらなる情報発信を」お願いした所以もまさにここに

あります。国の財政状況に好転の兆しが見られない以上、今後もSPring-8予算を取り巻く状況はより厳しさを増すことと思

# 長期利用課題報告

## 電流で溶ける電子の氷：有機サイリスタの非線形伝導と構造

早稲田大学 先進理工学部  
寺崎 一郎  
岡山大学大学院 自然科学研究科  
野上 由夫

### 1. はじめに

唐突な書き出しで恐縮だが、現代科学における重要な未解決問題は何かだろう。

ハイテク、ナノテク全盛の今日、新規問題の探索よりは、ともすれば我々は蓄積が生かせる専門分野の改良や向上に眼を向けがちである。しかし科学には、まだまだ未解決の問題が数多く残っている。

2005年Scienceは、その創刊125周年にちなみ、自然科学の125の未解決問題を掲載した<sup>[1]</sup>。宇宙は何からできているのか、究極の統一理論はあるか、超伝導体の転移温度はどこまで上がるのか、人間は何歳まで生きられるのか・・・などなど。みなさんはどうお考えだろうか。各々が日々取り組んでいる専門を離れて、このようなことに思いを馳せるのもたまにはよいだろう。

残念ながら、125の問題の中に「非平衡統計力学」はとりあげられていない。これは、熱平衡や不可逆変化という概念がわかりにくいことを反映している。加速度やエネルギーは、たとえ話を使うと子どもにも明快に理解できる。しかし、熱機関やエントロピー増大則は研究者を目指す者でさえ、なかなか取っ付きにくい。実際、カルノーやボルツマンは、学説の真価を学界に理解される事なく不遇にこの世を去った。著者の一人は、中学生の頃、生物は『負のエントロピー』を食べて非平衡状態を保つという学説を読み衝撃を受けたが、その意味を理解できたとは言い難い。

Scienceの125もの未解決問題のうち、半数以上が生物・生命に関連しており、生物が典型的な非平衡系であることを考えたとき、指摘されなかった未解決問題の重要性に気がつく。生物科学の根本的な理解のためには「非平衡統計力学」の深化は避けては通れない。熱や粒子の定常的な流れがあるマクロな系は非平衡系の典型である。それがどのようにミクロな量と関係づけられるかという問題は、最初にボ

ルツマンによって考察され、統計力学の黎明期からその重要性はすでに認識され、議論点ともなっていた<sup>[2]</sup>。

非平衡統計力学における揺動散逸定理<sup>[3]</sup>は我国が誇るノーベル賞級の成果である。これは平衡からわずかに離れた領域の線形応答を定量的に記述できる優れた理論であり、非平衡を特徴づける散逸量が熱平衡状態の熱力学変数のゆらぎとフーリエ変換で結びつけられるという美しい形式を持つ。この定理は、記述している非平衡系が、ある平衡状態へ向かって緩和しているときに成り立つ。

しかし、緩和以外の非平衡系は未解決のまま残されている。自然科学は、自然の精緻な観測と分析による定式化とその理解により発展する。非平衡統計力学を更に発展させるためには、本質的な非平衡現象を詳細に観測する必要がある。しかし、非平衡系である流体や生体の観測結果を分析し定式化することは容易ではない。我々は発想を少し変え、生体系のミニマルモデルを固体中の非平衡な電子に求めた。固体中の電子には、電流、電場という非平衡状態を生み出しうる基礎量があり、その振る舞いを物理学の知見に基づいて分析し定式化可能であるからである。さらには、その電気・磁気特性を利用し新規な機能性素子を作り出すという夢も抱いているからでもある。

### 2. 有機サイリスタ

本稿で取り上げる有機サイリスタは、電子系が本質的な非平衡現象を示す稀有な例である<sup>[4, 5]</sup>。この物質については数年前に、本誌で報告させていただいた<sup>[6]</sup>。また、他誌にもいくつか解説記事を書かせていただいた<sup>[7, 8]</sup>。本稿では、それらの記事以降にSPRING-8で行われた研究を中心にその面白さを平易に解説しよう。具体的な成果を3節で示す前に、ここではその前提となる予備知識を簡潔に紹介する。

有機サイリスタは  $\theta$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>CsZn(SCN)<sub>4</sub> という化学式で表される分子性導体である<sup>[9]</sup>。その構造は、図1 (a) に示すようにBEDT-TTF (ビスエチレンジチオ・テトラチアフルバレン) 分子がスタックした伝導層が、CsZn(SCN)<sub>4</sub>層と交互に積層した層状物質である。Cs、Zn、SCNはそれぞれ+1、+2、-1価であり、BEDT-TTFの形式価数は+0.5となる。すなわち2分子あたり+1個のホールが存在し、自由キャリアとしてBEDT-TTF分子の分子軌道を伝導して電気を運ぶ。化学式の前に書かれたギリシャ文字 $\theta$ はBEDT-TTF分子のパッキングの仕方を指定しており、 $\theta$ 型は図1 (b) に示すような配置である。BEDT-TTF分子を一つの原子に置き換えると、 $\theta$ 型は箱に詰められたタバコを上から見たような構造となり、物性物理学や統計力学で精力的に研究されている「三角格子」と等価になる。

有機サイリスタの中を運動するホール同士には強いクーロン斥力が働き、ホールは互いの距離を等間隔に保って低温で凍結する。この「電子の水」は、電荷秩序とか電荷整列と呼ばれる電子相のひとつである<sup>[10]</sup>。有機サイリスタの場合、2分子に1個のホールが存在するので、各格子点に白黒の基石を交互に置いて得られる模様が電荷秩序である。ところが三角格子では、単位胞の中で白か黒のどちらかの

基石が必ず1つ多くなる。これが、四角格子ならば交互に白黒の基石を置いた状態が安定となる。世間の三角関係と同じく、固体の中の三角関係もきれいには解けない。その結果、様々なパターンの電荷秩序がエネルギー的に拮抗する<sup>[11, 12]</sup>。

先行研究によって、有機サイリスタでは2つの波数 $\mathbf{q}_1 = (2/3, 0, 1/3)$ 、 $\mathbf{q}_2 = (0, 0, 1/2)$ で指定される2種類の電荷秩序が低温で共存することがわかってきた<sup>[13]</sup>。図2 (a) にそのデータを示す。20 KにおけるX線回折パターンに明瞭な2つのピークが観測されている。その半値幅から見積もられる秩序のサイズは10 nm程度であり、より温度を下げて2つのピークが一つになることも、幅が狭くなることもない。このことは2種類の電荷秩序がナノスケールで混ざりあいながら共存していることを示唆している。実際、この系の帯磁率や比熱といった熱力学量にはほとんど異常が見られず、電荷秩序の共存状態は熱力学的な相転移を経由せずに実現した、ガラスのようなやや不安定かつ非平衡な状態である。

この $\mathbf{q}_1$ と $\mathbf{q}_2$ が共存した状態で電流を流すと、 $\mathbf{q}_2$ ピークだけが抑制される。その様子を図2 (b) (c) に示す<sup>[5]</sup>。電流は電子 (ホール) の流れにほかならないから、この結果は $\mathbf{q}_2$ 型の電子の水が電流によって融解したように見える。冬の寒い日に、池の水は凍

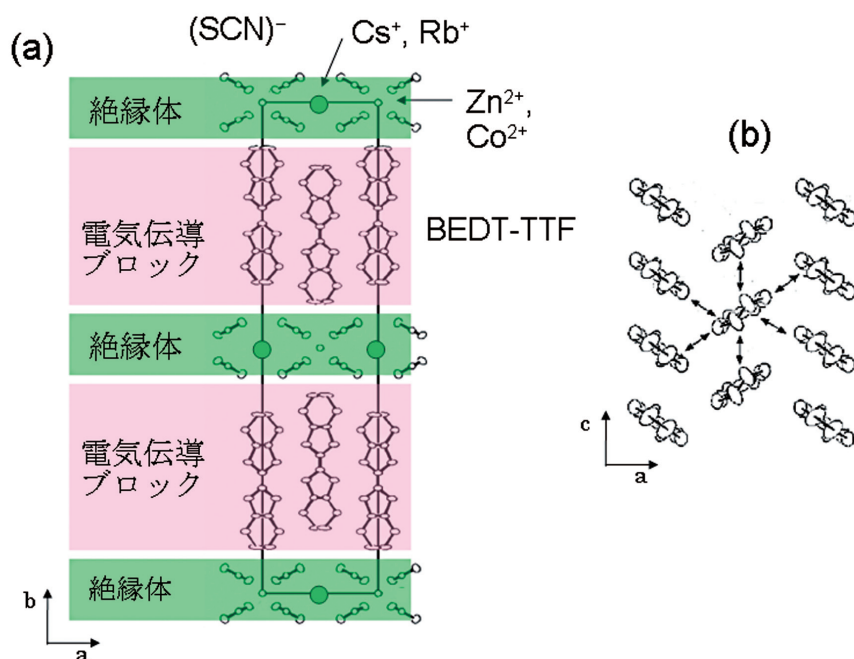


図1 有機サイリスタ $\theta$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>CsZn(SCN)<sub>4</sub>の結晶構造。(a) 層状構造、(b) BEDT-TTF層 (伝導層) の中でのBEDT-TTFのパッキング配置。



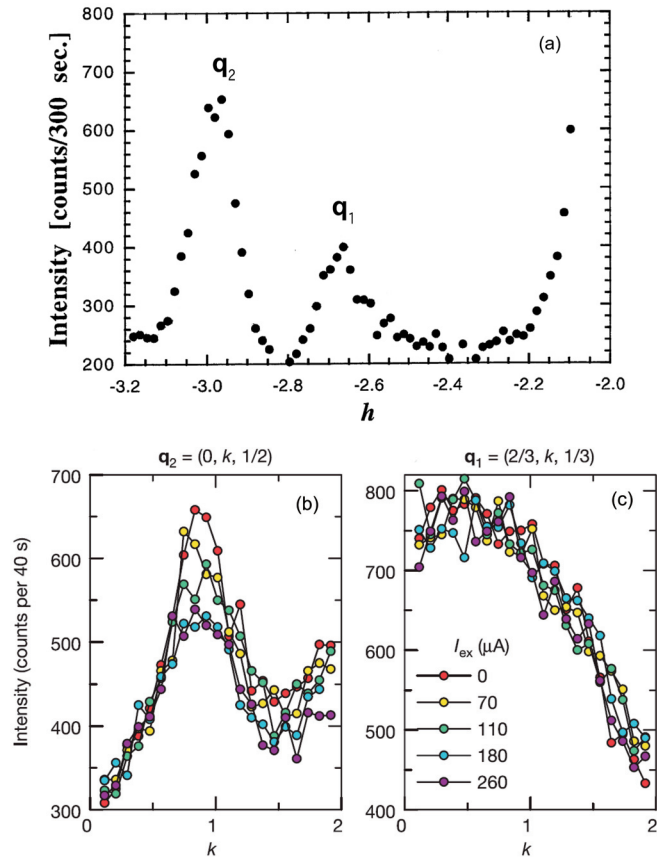


図2 有機サイリスタの低温X線散漫散乱。(a) 20 Kにおける散漫散乱。 $q_1$ 、 $q_2$ で指定される2つの電荷秩序からの散漫散乱が同時に観測されている。横軸は、 $a^*c^*$ 平面 (BEDT-TTF層の面内方向) で2つの散漫散乱を結ぶ方向の逆格子位置を表す。(b)  $q_2$ 散漫散乱の依存性。(c)  $q_1$ 散漫散乱の電流依存性。(b) (c)の横軸は、 $b^*$ 軸 (BEDT-TTF層の面間方向)の逆格子位置を表す。 $q_2$ が面間方向にもピークを持つのに対して、 $q_1$ は面間方向にほぼフラットな強度を持つ。このことは、前者が擬3次元的な短距離秩序、後者が2次元的な短距離秩序を示している。

るが、川の水は凍らない。水道管の凍結を防ぐために少しだけ蛇口をゆるめておくという、北国では必須の知恵はこの経験に由来する。図2の結果は、水と同じことを電子が見せたのではなからうか。そしてそれは、電子が示す本質的な非平衡現象ではなからうか。

電流による $q_2$ 型の電荷秩序の抑制は、電気伝導にも大きな影響を及ぼす。やはり先行研究で、 $q_2$ 型の電荷秩序が系の金属-絶縁体転移と関連していることがわかっており、 $q_2$ とともに抵抗率は急上昇する<sup>[9]</sup>。したがって、電流を印加することで $q_2$ の成長が抑えられるならば、この物質の抵抗率は電流とともに急激に低下する非線形伝導を示すはずである。実際、そのような巨大な非線形伝導が実験で観測できる。図3に有機サイリスタの抵抗 $V_{\text{sample}}/I_{\text{ex}}$ および電圧 $V_{\text{sample}}$ の電流依存性を示す。この電圧-電流特性

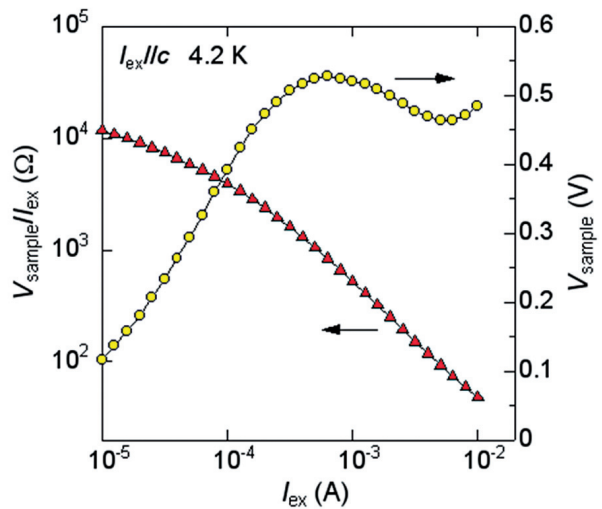


図3 有機サイリスタの4.2 Kにおける非線形伝導。抵抗と電圧降下の電流依存性。

がサイリスタ素子のそれと同じ形なので、我々はこの物質を有機サイリスタと呼んだ。

### 3. SPring-8が明らかにした新現象

さて、既に述べたように、有機サイリスタの研究は、「流れる電子がどのようにして電子の氷を溶かすのか」を明らかにすることに集約される。我々はSPring-8の長期利用課題「共存する電荷秩序が作る機能と構造」として、BL02B1の7軸回折計を武器にこの問題に挑んだ。BL02B1は、単結晶のX線回折実験を行うステーションである。X線振動写真を撮影する大型湾曲IPカメラと7軸回折計が設置されている。ここでは、単結晶構造解析と並び、単結晶試料の逆格子空間内の超格子構造の解析や、あるいは高エネルギーX線を用いた回折実験による材料評価などが行われている。SPring-8の中にある回折計としては汎用性の高い測定装置群である。

図4にその測定セットアップの一例を示す。試料マウントの周辺については文献[6]を参照いただきたい。SPring-8は大変な高輝度光源である。このため、計測効率が悪いと有機物の放射線ダメージは深刻になる。これを回避するために検出器にはPILATUS (pixel apparatus for the Swiss Light Source)<sup>[14]</sup> と呼ばれる2次元デテクタを実装し、複数のブラッグ反射を含む領域を同時計測している。また電流の効果を見るために、ミリ秒オーダーの時間分解測定を行い、 $q_1$ 、 $q_2$ 、ブラッグ反射の強度を時間、電流、温度の関数として精密に計測した。本研究で使用したBL02B1の7軸回折計は、逆格子空間の測定精度は格子定数のppmオーダーの変化をとらえられる分解能を持ち、ブラッグ反射の10000

分の1にも満たない散漫散乱を検出できる高いSN比を持つ。この特徴は、本研究の実験で存分に活かされた。

まず我々が取りかかったことは図2、3の結果が単なるジュール熱では決して説明できないことを明らかにすることだった。「試料の抵抗を測定する時に、決して大きな電流を流してはいけない。」我々は厳しくそう教えられてきた。大きな電流を通電すればジュール熱による自己発熱が生じ、望まない温度上昇が試料に生じる。当然、電荷秩序は温度が上がっても消失するので、自己発熱が深刻な場合は電流の効果は単に試料の温度を上げただけのことで新発見でも何でも無い。有機サイリスタは4 K付近の低温領域で動作するので、わずかな熱量で簡単に試料温度は上昇し得る。我々は注意深く自己発熱の効果を見積り、複数の方法で温度上昇の上限を調べた。その詳細は多分に専門的なので本稿では省略するが、自己発熱の影響は、電流そのものによる効果よりもずっとずっと小さいことがわかった。興味ある読者は文献[15, 16, 17]を参照されたい。

次に我々は、電流による $q_2$ ピークの抑制が本質的な非平衡現象であることをはっきりと示すために、周辺物質である $\theta$ - (BEDT-TTF)<sub>2</sub>RbZn(SCN)<sub>4</sub>に注目した。この物質は、190 Kで $q_2$ 型の電荷秩序転移を示し絶縁体となる<sup>[9, 10]</sup>。この転移が1次転移であることを利用し、転移温度付近を急冷すれば、過冷却状態を作ることができる。この状態は、様々な点で有機サイリスタで実現している $q_1$ 、 $q_2$ の共存状態と類似しており、比較により知見を深める事ができる。図5にその様子を示す<sup>[18]</sup>。2種類の電荷秩序 $q_1' = (1/3, 0, 1/4)$ と $q_2$ が同時に観測されている。この共存状態においては、自己発熱は安定相である $q_2$ の成長を促進させ、電子の流れは $q_2$ を抑制する方向に働く。有機サイリスタの場合には、両者がともに $q_2$ を抑制する方向に働いたのと対照的であることに注意してほしい。実際の測定では、明らかに $q_2$ ピークは電流で抑制されている。これはジュール熱による $q_2$ 相の成長に打ち勝って、電子の流れが $q_2$ 相を壊していることを示している。我々が予想したように、この現象は本質的な非平衡現象であると思っよさそうだ。

3番めの成果は、電流によって結晶の体積を変化させたことである。これは通常の圧電材料が電圧によって駆動されることと対照的である。もちろんそのしくみも全く異なっており、次のようなものであ

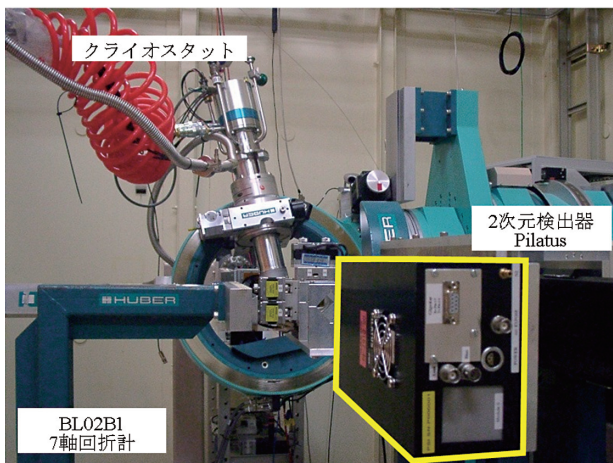


図4 SPring-8のBL02B1にセットアップされた実験装置の一例。

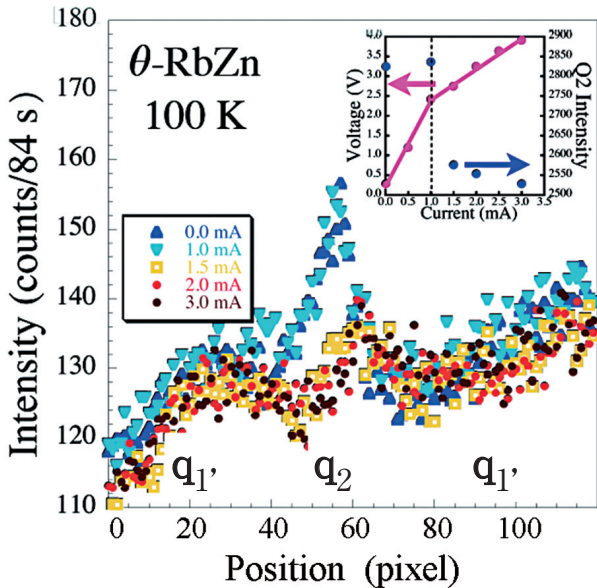


図5 周辺物質 $\theta$ -(BEDT-TTF) $_2$ RbZn(SCN) $_4$ の急冷相の100 KにおけるX線散漫散乱。 $q_1'$ 、 $q_2$ で指定される2つの散漫散乱が観測され、電流とともに $q_2$ 散乱が減少している。挿入図に、電圧降下と $q_2$ 散乱強度の電流依存性を示す。

る。ホールが電荷秩序を形成して凍結すると、さらにクーロン斥力を下げようとしてわずかに回転する。したがって、電流によって $q_2$ が抑制されるならば、分子の回転もまた抑えられる。

我々はブラッグ反射が電流によってどのように変化するかを精密に測定した。図6にa軸長、c軸長の電流による変化を示す。両方の軸ともに電流量とほぼ線形に変化していることがわかる。この結果は、有機サイリスタの体積が電流で変わることを示している。体積は代表的な熱力学量であり、それが電流という非平衡量の関数で書けるといことは、電流を変数とする「自由エネルギー」のような量の存在を我々に予感させる。ちなみに、電流による軸長の変化は巨大である。たとえば、4 mAの電流の印加に対して電圧降下は0.5 V程度であるが、このときのc軸長の変化0.1 pmは、1 V/cmあたりの歪み $\Delta L/L$ が100ppmであることを示す。この値は典型的な逆圧電効果の数千から数万倍の大きさである。典型的な圧電材料であるPZTの圧電定数は $10^{-10}$  m/Vのオーダーであるから、1 V/cmで $\Delta L/L$ は0.01ppmしか変化しない<sup>[19]</sup>。このような大きな値がなぜ得られたのかといえ、電流で電子相そのものを制御したからである。圧電材料では、外部電場の方向に相対的に強誘電ドメインの割合が伸長することで歪みが生

じる。電場は、強誘電相そのものを作り出しているわけではない。

4番めの成果は、 $q_2$ ピークやブラッグ反射の時間変化の計測である。図7に観測結果の一例を示す。 $q_2$ ピークもブラッグ反射も電流の印加直後から変化している。この図の場合、ブラッグ反射は、いま計測している領域から逃げてゆく方向に動いたため強度が減ったように観測されている。その時間依存性には、印加直後10 msまでの急速な変化とそれに続

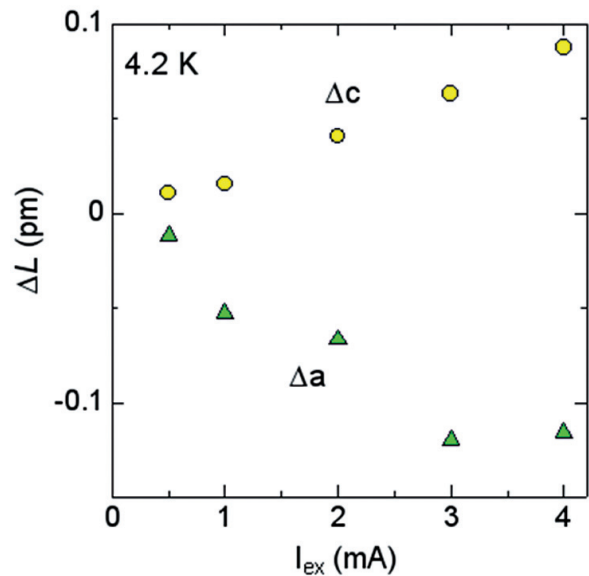


図6 格子定数の電流依存性。測定温度は10 K。

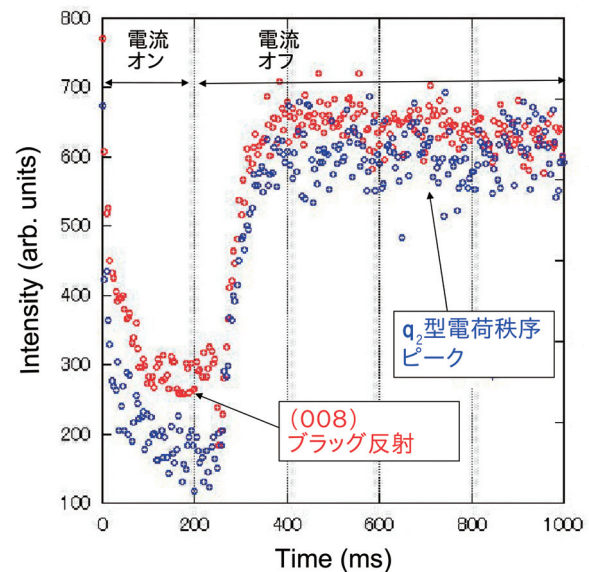


図7  $q_2$ 散漫散乱およびブラッグ反射の電流印加にともなう時間変化。200 msで電流をオフにした。



く200 msまでの緩慢な変化が見て取れる。直感的には、前者が電荷秩序の融解、後者が分子の回転の解消に対応しているように見える。一方、電流を切ったときの回復過程に注目すると、その緩和は遅い緩和しかないように見える。少し専門的になるがボルツマン方程式に基づく電気伝導理論では、電場を加えた時の緩和と切ったときの緩和は同じ緩和時間を持つ。これは、波数 $p$ から $q$ への散乱と $q$ から $p$ への散乱が時間反転の対称性を持つという仮定（微視的可逆性の仮定）に基づく<sup>[2]</sup>。逆に言えば図7の結果は、この現象ではその仮定が破れていることを示唆しており、本質的な非平衡性の一側面を表していると言える。

#### 4. メカニズムの解明

前節でみたとおり我々は、電流による $q_2$ ピークの抑制が本質的な非平衡効果であって、電流が良い制御変数であることを実験的に明らかにした。鯨坂らは、昨年この現象をよく説明する非平衡相転移の理論を提案した<sup>[20]</sup>。理論の詳細な解説には高度な場の理論を必要とし、本稿の範囲を越える。ここではその結果だけをかいつまんで紹介しよう。

いま、左右2つの熱浴にはさまれた電気伝導体を考える。電流を左から右に流すということは、左の熱浴からホールを右の熱浴から電子を注入することに対応する。正味の電荷の増分はゼロだが流れがあるという状態である。鯨坂らは、伝導体として電荷秩序相（正確には電荷密度波相またはパイエルズ転移相）を考え、過剰に注入された電子とホールによってどのように電荷秩序ギャップが変化するかを、ギャップが満たす運動方程式の解として調べた。

計算の結果を定性的に述べると以下ようになる。ギャップの大きさは、ギャップ以下のエネルギーに凝縮した基底状態電子と、ギャップの上に熱励起された電子・ホール（準粒子）の相互作用で決まる。転移温度近くではギャップがほとんどゼロですべての電子は準粒子として存在する。一方、絶対零度近くでは、ギャップは成長しほぼ一定値をとり、準粒子はほとんどいない。もしも低温において過剰に準粒子が注入されたなら、ギャップの上の準粒子にとっては、あたかも温度が高くなったように感じるだろう。そこで、ギャップは準粒子の過剰な数とバランスするように小さくなる。過剰に注入される準粒子の数は電流に比例するから、電流とともにギャップは小さくなるはずである。

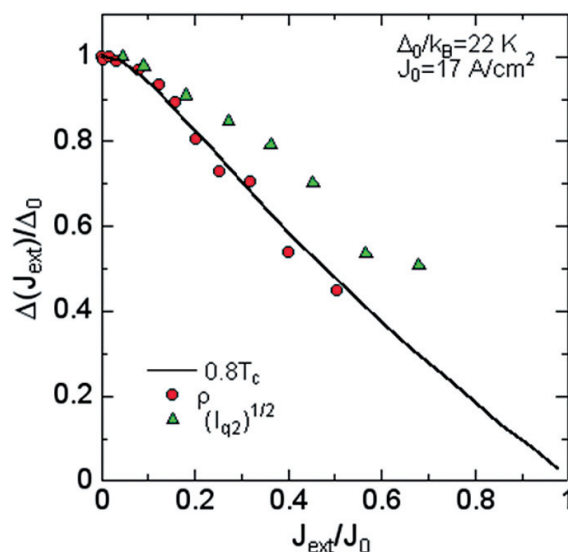


図8 非平衡相転移の理論との比較。電荷秩序のエネルギーギャップを電流の関数として示す。実線は理論曲線、●は非線形抵抗から求めたギャップ、▲は $q_2$ ピークの積分強度の平方根に対応する。

図8に理論計算と実験結果の比較を示す<sup>[21]</sup>。紙面の都合でここでその詳細は述べないが、抵抗率の温度依存性から見積もることができる活性化エネルギーを電流を変えながら測定すると、図の●印で示したデータを得ることができる。また $q_2$ ピークの積分強度の平方根を▲印を同時にプロットした。2つのデータは比較的よい一致を示している。理論は何らかの相転移を仮定しているから転移温度を持っているが、実験には明確な転移温度がない（2つの電荷秩序の共存状態によって熱力学的相転移はない）ので、これをパラメータとしてデータをフィットした。実験と理論との整合性はよい。

以上の結果から、「流れる電子がどのように電子の水を溶かすのか」の答えは次のようになる。この電子の水においては、秩序の強度（直感的には氷の大きさやできかた）は準粒子との相互作用で決まる。水の結晶の場合は体積分率がX線の散乱強度に比例しているのに対して、電荷秩序の場合は秩序の強度の自乗と体積分率の積に比例する。電流は準粒子を過剰に生成する効果として秩序の強度を低下させることによって $q_2$ の散乱強度を抑制する。

#### 5. まとめにかえて

本稿では、有機サイリスタで見られる非平衡状態の物理を平易に解説した。電荷秩序という電子相が、



どのように電流によって抑制されるかをSPring-8での精密測定、非線形伝導、非平衡統計理論から調べた。そしてこの系が、非平衡相転移の例としてよく記述できることを見出した。非平衡統計力学の進歩には、典型物質が不可欠である。ちょうど平衡状態の熱・統計力学が理想気体を典型物質として完成したように。有機サイリスタがそのような物質、あるいはそのような物質に行き着くきっかけとなる物質となればと信じ、研究を進めたい。

とはいえこれで、すべてが明らかになったというわけではない。有機サイリスタにおける2つの電荷秩序の共存状態、電荷秩序のナノサイズドメインがガラス状に凍結した状態がどのようにこの非平衡現象に関係しているのかはまだ明らかになっていない。X線回折は系の規則構造のよいプローブであるが、実空間の不均一情報には別のプローブが必要となる。我々は、長期利用課題の成果を基にして、BL43IRの赤外顕微分光装置を用いた電荷秩序の不均一構造の直接測定を始めた。結果がまとまるまでにはまだ時間がかかるが、本物質の不均一構造と非平衡性の関係を明らかにしたいと思っている。

#### 謝辞

本研究は、渡邊真史、山本健一郎、伊藤崇芳、花咲徳亮、池田直、杉本邦久、水牧仁一朗、豊川秀訓、大隅寛幸、野田幸男、森初果、森健彦、稲垣宏一、澤野文章、須子友博、稲田太一、鯉坂繁、田崎秀一各氏との共同研究である。赤外顕微分光については、森脇太郎、池本夕佳、佐々木孝彦、大西祐也、高田昌樹各氏との共同研究である。本研究は科学研究補助費(17340114、16076213、21540323)、21世紀COEプログラムの支援を受けた。

#### 参考文献

- [1] Science **309** (2005) 78-102.
- [2] ボルツマン方程式については、たとえば、山下次郎、長谷川彰訳、J. M. ザイマン著「固体物性論の基礎」(丸善、1976) 第7章.
- [3] R. Kubo: J. Phys. Soc. Jpn. **12** (1957) 570-586.
- [4] K. Inagaki, I. Terasaki, H. Mori and T. Mori : J. Phys. Soc. Jpn. **73** (2004) 3364-3369.
- [5] F. Sawano et al.: Nature **437** (2005) 522-524.
- [6] 寺崎一郎、池田直 : SPring-8利用者情報 **11** (2006) 17-21.
- [7] 寺崎一郎 : 固体物理 **40** (2005) 899-906.

- [8] 森初果、寺崎一郎、森健彦 : 化学 **61**、2 (2006) 12-16.
- [9] H. Mori, S. Tanaka, T. Mori : Phys. Rev. B **57** (1998) 12023-12029.
- [10] 妹尾仁嗣、鹿野田一司、福山秀敏 : 日本物理学会誌 **58** (2003) 801-808.
- [11] 森健彦 : 日本物理学会誌 **61** (2006) 516-520.
- [12] 渡部洋、小形正男 : 固体物理 **42** (2007) 185-191.
- [13] M. Watanabe, Y. Nogami, K. Ohshima, H. Mori and S. Tanaka: J. Phys. Soc. Jpn. **68** (1999) 2654-2663.
- [14] <http://detector.spring8.or.jp/pixel/>
- [15] M. Watanabe et al.: J. Phys. Soc. Jpn. **77** (2008) 065004.
- [16] T. Ito et al.: Europhys Lett. **84** (2008) 26002.
- [17] F. Sawano et al.: J. Phys. Soc. Jpn. **78** (2009) 024714.
- [18] Y. Nogami et al.: J. Phys. Soc. Jpn. (in press).
- [19] 国立天文台編 : 理科年表 (丸善).
- [20] S. Ajisaka, H. Nishimura, S. Tasaki and I. Terasaki : Prog. Theor. Phys. **121** (2009) 1289-1319.
- [21] I. Terasaki et al., Physica B (in press).

#### 寺崎 一郎 TERASAKI Ichiro

早稲田大学 先進理工学部  
〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1  
TEL : 03-5286-3854 FAX : 03-5286-3854  
e-mail : terra@waseda.jp

#### 野上 由夫 NOGAMI Yoshio

岡山大学大学院 自然科学研究科  
〒700-8530 岡山市北区津島中3-1-1  
TEL : 086-251-7770 FAX : 086-251-7830  
e-mail : nogami@psun.phys.okayama-u.ac.jp

# 光電子顕微鏡を用いた鉄隕石の金属組織と磁区構造のナノ観察

財団法人高輝度光科学研究センター  
小嗣 真人  
日立金属株式会社  
三俣 千春

## 1. はじめに

隕鉄（鉄隕石）はウイドマンステッテン構造と呼ばれる美しい金属組織を示すことが特徴である（図1 a）。惑星科学の分野では、太陽系の歴史を調べるための情報源として利用されてきた。その一方で、地球上のFeNi合金と大きく異なる磁気ヒステリシスや磁気異方性を示すことが知られており、その起源は完全に理解されていなかった。そこで我々は、物質科学に基づいた精密な議論を行うことで、隕鉄の磁性の本質的な起源に迫ると同時に、材料探索の可能性を検討した<sup>[1]</sup>。我々は、鉄隕石を金属磁性材料と位置付けることで、ウイドマンステッテン構造における界面構造を「磁性多層膜」のひとつとして標準化できる事に着目した（図1 b）。なお、研究には光電子顕微鏡（PEEM）による、ナノスケールの顕微分光学的な手法が用いられた。

## 2. 試料について

鉄隕石は、FeとNiを主成分とする合金で、母天体で極めて緩やかな速度（1°C/100万年）で徐冷されることにより、 $\alpha$ 相（bcc-FeNi、鉱物名：カマサイト）と $\gamma$ 相（fcc-FeNi、鉱物名：テーナイト）が明確に相分離された結果、ウイドマンステッテン構造が形成されたとされる。本構造は加熱により破壊される不可逆な構造であり、人工的に作製するのは困難な天然の金属組織である<sup>[2]</sup>。なお、下記の特

徴を持つ事が知られている。

ウイドマンステッテン構造中の $\alpha$ 相の層状結晶（ラメラ）と $\gamma$ ラメラは $\{110\}_\alpha // \{111\}_\gamma$ となる方位に配向し、面内方向に関しては $\langle 110 \rangle_\alpha // \langle 112 \rangle_\gamma$ となるNishiyama-Wassermann（NW）オリエンテーション、あるいは $\langle 111 \rangle_\alpha // \langle 110 \rangle_\gamma$ となるKurdjumov-Sachs（KS）オリエンテーションのいずれかをとる<sup>[3]</sup>。

界面のごく近傍においては、bcc-FeNi, tetrataenite, fcc-FeNiが積層された多層構造を示す。本研究では特にtetrataeniteに着目して調査を行った。tetrataeniteは鉄隕石中において発見された特殊なFeNi合金であり、c軸に沿ってFeとNiが単原子層毎に交互に積層された、いわゆる $L1_0$ 型の超構造として記述される（図1 c）。通常のFeNi相と比較して、2桁以上高い磁気異方性（ $K_1 = 3.2 \times 10^5 \text{ J/m}^3$ ）を示し、保磁力についても飛躍的に高い値を示すことが特徴である<sup>[4]</sup>。従って、通常のFeNi相が軟磁性体に分類されるのに対し、tetrataeniteは硬磁性体に分類される。なお、tetrataeniteは金属学的には $\gamma'$ 相あるいは $L1_0$ 型FeNiと表現されるが、現時点では物性の殆どが明らかになっていない関係から、本稿ではあえて鉱物表記を用いる。

我々はGibeon鉄隕石を試料として用いた。 $\alpha$ ラメラの(001) $_\alpha$ 面が観測面となるようダイヤモンドカッターで切り出し、表面をダイヤモンドスラリー

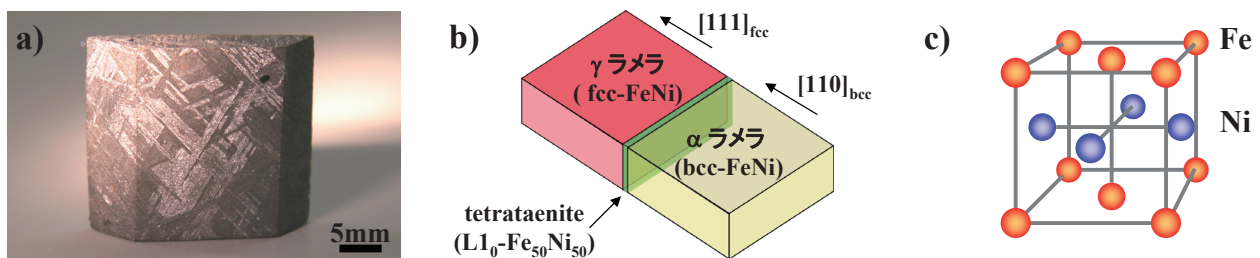


図1 鉄隕石におけるウイドマンステッテン構造

で研磨した後、バフ研磨を行い鏡面に仕上げた。なお、原子間力顕微鏡 (AFM) や後述のシミュレーションにより、研磨傷が磁区構造に与える影響を検討したところ、表面の凹凸は無視できる範囲であった。

### 3. 実験

本研究は主として、SPring-8に設置されたPEEMを用いて実施された<sup>[5]</sup>。PEEMは光電効果により放出される光電子の空間分布を約1万倍に拡大投影し、数十nmの空間分解能で直接観察できる電子顕微鏡の一種である。放射光と組み合わせることで、実像のみならず、組成・結晶格子・磁区構造等の多様な情報が簡便に得られるため、ナノサイエンスから産業利用分野にわたって、近年様々な分野での利用が活発に展開されている。

試料表面より放出される光電子は20 kV程度に印加された引き出し電極によって一旦加速され、後段の投影レンズによって位置情報を拡大された後、最終的にスクリーンに投影される。スクリーンの輝度は光電子収量によるX線吸収量と比例関係を持つため、いわゆるX-ray absorption fine structure (XAFS) 解析をピクセル毎に行う事で、ナノスケールの局所解析が行える。実験はElmitec社製 PEEM SPECTORを、2つのビームラインBL39XUとBL25SUに接続して画像測定を行った。BL39XUでは、FeとNiのK吸収端を用いた空間分解XAFS測定を行い、組成や結晶構造の調査を行った。またBL25SUでは、FeとNiのL吸収端において、磁気円二色性 (MCD) を活用した磁気イメージングを実施した。

### 4. 結果と考察

#### 4-1 組成と構造

図2aにPEEMより得られたNiの空間分布を示す。明るい領域ほどNiが高濃度であることを示す。 $\alpha$ ラメラ中のNi組成は均一 (Ni=6.6at%) であった。その一方で $\gamma$ ラメラにおいてNi組成比は連続的に分布しており、界面に近づくに従って濃度が急激に上昇する振る舞いが確認された (図2a)。これはウィドマンステッテン構造の典型的な特徴に一致しており、界面近傍で高濃度のNiが偏析していることが示唆される。

次に局所結晶構造を議論するため、空間分解XAFS測定を行った。 $\alpha$ 、 $\gamma$ ラメラより得られた代表的なNi K端におけるX線吸収スペクトルを図2bに示す。スペクトルはピクセル単位の画像解析処理により抽出された。矢印に示されるとおり、ピーク構造が一本から二本へと分裂する様子が観測された。同様の振る舞いはFeのK吸収端においても確認されている。標準試料との比較により、この振る舞いはNi25at%-Feを境界とする、bccからfcc構造への構造相転移に起因することが示唆される<sup>[6]</sup>。

上記からは50:50のtetraenaiteの存在を直接的に確認することはできなかったが、Ni組成が増加しているにも関わらずfccからbccの構造変化が界面付近で起きていることは、金属学的に考えるとtetraenaiteが生成されていることを示唆している。最終的に表面をエッチングしSEM-EPMAで測定すると、界面にtetraenaiteが存在することが確認された。

#### 4-2 磁区構造

MCD-PEEMによる同じ領域の磁区構造を図3に

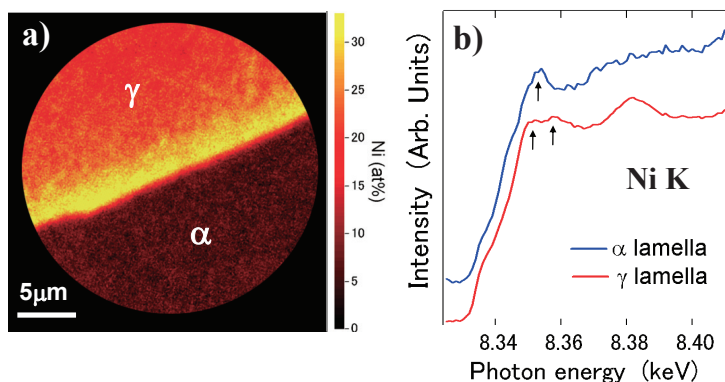


図2 ウィドマンステッテン構造界面における組成マッピングとXAFSスペクトル

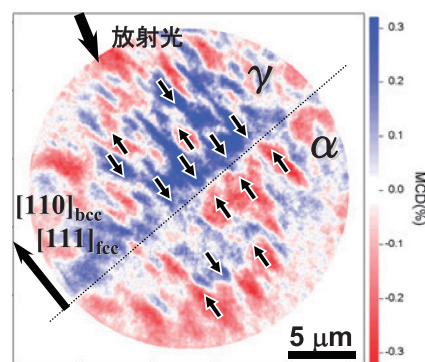


図3 光電子顕微鏡による磁区構造



示す。光の入射方向は界面に対して直交する配置に設定した。赤から青にかけてのカラースケールはMCD強度を示す。 $\alpha/\gamma$ 界面近傍で微細な磁区構造が確認できる。矢印で示されるとおり、磁化方向は界面を挟んで $[110]_{\text{bcc}}$ 方向に平行、あるいは反平行な向きを持つ。つまり界面に対して直交し、互いに反対方向の磁化をもつ"head-on"構造となることが確認できる。この磁区構造は界面近傍のいたる所において観測されているが、反磁場による静磁エネルギーの損失が大きく、大変奇妙で通常では期待できない磁区構造である。

通常の $180^\circ$ 磁壁では、静磁エネルギーの損失を抑えるために磁化は界面に対して平行に向く。また、多結晶FeNiの粒界近傍において、磁化は互いに同じ方向に向く。ほぼ理想的なFe/Ni界面として、Ni(111)上にエピタキシャル成長させたFe薄膜においては、Feの磁化はNiに対して、平行か直交な配向となり、界面では一般的な $180^\circ$ 磁区あるいは $90^\circ$ 磁区が形成されるはずである。従ってhead-on構造の原因は界面ミスマッチや格子緩和によるものとは考えにくい。従って、head-on磁区構造は通常のFeNiに見られる磁区構造とは全く異なる振る舞いであり、鉄隕石特有のユニークな磁区構造と結論づけられる。

#### 4-3 マイクロマグネティックシミュレーション

観測された磁区構造を理解するため、我々はマイクロマグネティックシミュレーションによる検討を行った。理論計算はランダウ・リフシッツ・ギルバート(LLG)方程式を解く事で実施した。計算は3次元モデルに特殊な境界条件を導入し、単純なFe/Ni界面(図4a)、とFe/tetrataenite/Ni(図4b)の二種類のモデルについて行われた<sup>[7,8]</sup>。1.6×6.4×1.6  $\mu\text{m}^3$ の領域を100 nmのグリッドサイズで計算を実施した。最表面がPEEMで観測された実験結果に対応する。なお今回は簡単の為、Niの組成は均一とした。計算に用いた磁気モーメントはそれぞれ2.2 (Fe)、1.33 (tetrataenite)、0.6  $\mu\text{B}$  (Ni)とした。また、交換ステイフネス定数はそれぞれ、 $1.3 \times 10^{-11}$  (Fe)、 $1.0 \times 10^{-11}$  (tetrataenite)、 $0.8 \times 10^{-11}$  J/m (Ni)とした。磁気異方性エネルギーはそれぞれ $4.8 \times 10^4$  (Fe)、 $3.2 \times 10^5$  (tetrataenite)、 $-6 \times 10^3$  J/ $\text{m}^3$  (Ni)を用いた。計算は1.4~0.2  $\mu\text{m}$ の様々なtetrataenite膜厚について、またNWとKS配置の両者について実施された。ここでは厚さ1  $\mu\text{m}$ のtetrataeniteのNW配置における

計算結果を代表例として用いて議論を進める。

図4aに示されるように、単純なFe/Ni界面においては、磁区構造は単純な形状となり、head-on構造は形成されない。その一方で、Fe/tetrataenite/Niにおいて、磁区は大きく変化し、明確にhead-onドメインの形成が確認できる(図4b)。磁区構造はそもそも全エネルギーが最小になるように形成される。tetrataeniteの結晶磁気異方性は周囲のFeおよびNiと比較して飛躍的に高く、tetrataeniteの磁化の向きをcantさせるには高いエネルギーを必要とする。したがって、tetrataeniteの露出した表面近傍ではz方向に働く磁極が生じ、静磁エネルギーが増加する。一方、軟磁性体であるFeおよびNiの結晶磁気異方性は小さいので、界面近傍ではtetrataenite近傍で増加した静磁エネルギーを打ち消し、かつ交換エネルギーの増加がなるべく少なくなる磁化分布となる。

表面磁極による静磁エネルギーを小さくするためには、何処かに逆極性の磁極が生じる必要があるが、Ni側の磁化が反転したほうがFe側の磁化が反転するよりも交換エネルギーの増加が小さいため、図4bのインセットのような構造となる。以上はz方向の磁極に関する議論であるが、x方向についても考えると磁化の大きさがtetrataenite > Niであるから、界

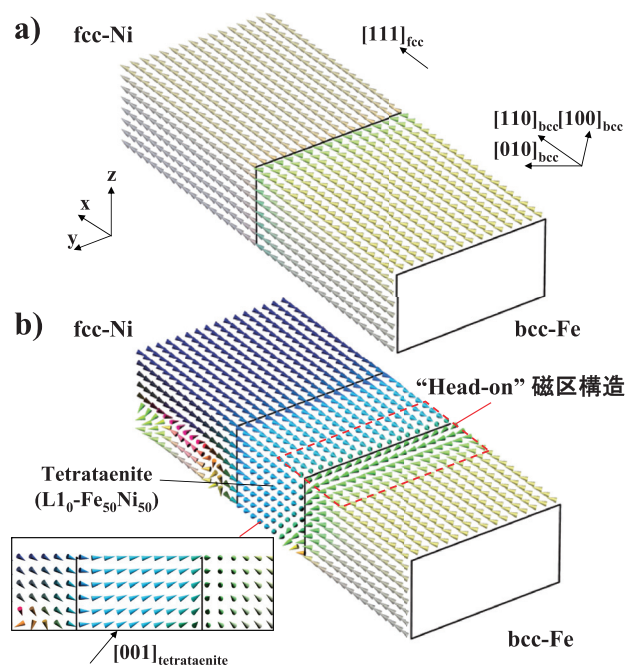


図4 マイクロマグネティックシミュレーションによる磁区構造

面では磁化の  $x$  成分が不連続となり磁極が生じる。この磁極の影響をキャンセルするためには反対の極性をもつ磁極が生じる必要があり、tetrataeniteとFeの界面に逆極性の磁極を生じさせる磁化分を形成する。この分布はhead-onの原因となるが、交換エネルギーを比較すると、 $180^\circ$  磁壁でもhead-onでも同じ大きさになるので、静磁エネルギーを低下させるためにはhead-onが好ましい。以上の理由により、head-on磁区構造が系のエネルギーを最小にする磁区構造として導出された。なお、この磁区構造はいずれのtetrataenite膜厚においても共通して再現され、NWとKS配置の両方で確認されている。

従って、head-on磁区構造は界面に偏析したtetrataeniteの高い磁気異方性に起因して形成されたものと結論づけられる。tetrataenite相は  $\alpha/\gamma$  界面の至る所に偏析していることから、鉄隕石の磁気特性において重要な役割を果たしていることが示唆される。

## 5. 今後の展望

鉄隕石はPEEMにおいて新しい研究対象であったが、磁性体の宝庫でもあり、これを契機として次のような新しい展開が期待される。一つは岩石中の磁性鉱物の磁気情報から、古地磁気学へのアプローチを行うことである。PEEMのような顕微分光的手法で粒の残留磁化を直接的に調査すれば、磁化獲得時における磁場環境の調査が可能になると期待される。特に、tetrataeniteの高い磁気異方性や保磁力は、言わば“天然のハードディスク”として利用できるであろう。

また最後にアプリケーションへの新しい試みを紹介したい。 $L1_0$ -FePt等の次世代磁性材料には、記録密度を向上させるため、高い磁気異方性や保磁力が求められている。tetrataeniteの磁気特性はこれらの要求に適うものであり、構成元素であるFeとNiは安価で資源が潤沢であることから、環境に優しい磁性材料として次世代磁気デバイスへの利用が期待される。現在、分子線エピタキシー (MBE) を用いてFeとNiを単原子層毎に交互蒸着させることで人工的なtetrataeniteの創製が行われている<sup>[9]</sup>。磁気記録媒体や磁気メモリ、スピントロニクスにおける高効率スピン源としての可能性があり、今後の応用研究への期待が持たれる。

## 6. 謝辞

本研究は高輝度光科学研究センターの脇田高德研究員、鈴木基寛主幹研究員、河村直己副主幹研究員、渡辺義夫副部門長、広島大学の圓山裕教授、石松直樹助教、生天目博文教授、谷口雅樹教授、東京大学の谷内敏之さん、尾嶋正治教授、高エネルギー加速器研究機構の小野寛太准教授各氏との共同研究である。この場を借りて厚く感謝申し上げます。実験はSPRING-8利用研究課題2004B0738-NXa-npとSPRING-8重点ナノテクノロジー支援課題2004A0371-NSc-np-Naによって行われた。

## 参考文献

- [1] M. Kotsugi, et al.: Appl. Phys. Express, **3** (2010) 013001 1-3.
- [2] V.F. Buckwald : Handbook of Iron Meteorites, Univ. of California (1975) 584.
- [3] H. J. Bunge, et al.: J. Appl. Cryst., **36** (2003) 137-140.
- [4] L. Néel, J. Pauleve, R. Pauthenet, J. Langier and D. Dautreppe : J. Appl. Phys., **35** (1964) 873-876.
- [5] M. Kotsugi, W. Kuch, F. Offi, L. I. Chelaru and J. Kirschner : Rev. Sci. Instrum., **74** (2003) 2754-2758.
- [6] H. Sakurai et al.: J. Phys. Soc. Jpn., **62** (1993) 495-463.
- [7] C. Mitsumata, A. Sakuma, K. Fukamichi, T. Tsunoda and M. Takahashi : J. Phys. Soc. Jpn., **77** (2008) 044602 1-6.
- [8] C. Mitsumata and S. Tomita : Appl. Phys. Lett., **91** (2007) 223104 1-3.
- [9] T. Shima, M. Okamura, S. Mitani and K. Takanashi : J. Magn. Magn. Mater. **310** (2007) 2213-2214.

### 小飼 真人 KOTSUGI Masato

(財)高輝度光科学研究センター 利用研究促進部門  
応用分光物性グループ  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1  
TEL : 0791-58-0833 FAX : 0791-58-0830  
e-mail : kotsugi@spring8.or.jp

### 三俣 千春 MITSUMATA Chiharu

日立金属(株) 生産システム研究所  
〒360-0843 埼玉県熊谷市三ヶ尻6010  
TEL : 048-531-1724  
e-mail : Chiharu\_Mitsumata@hitachi-metals.co.jp

*Status of the*  
**RIKEN Quantum NanoDynamics Beamline (BL43LXU):**  
The Next Generation for Inelastic X-Ray Scattering.

Alfred Q. R. Baron

*Materials Dynamics Laboratory, RIKEN SPring-8 Center, 1-1-1 Kouto, Sayo, Hyogo, 679-5148*  
*Research and Utilization Division, SPring-8/JASRI, 1-1-1 Kouto, Sayo, Hyogo 679-5198*

*Abstract*

BL43LXU, the RIKEN Quantum NanoDynamics Beamline will be a world-leading facility using non-resonant inelastic x-ray scattering (IXS) to investigate atomic and electronic dynamics by directly probing the  $A^2$  contribution to the dynamic structure factor,  $S(Q,\omega)$ . Resolutions from  $<1$  to  $\sim 100$  meV will be available via two spectrometers: a high-resolution instrument with a 10 m arm; and a medium-resolution instrument with a 2 m arm. Here we describe the status and over-all design of the beamline, including the source, which is expected to provide unprecedented flux and brilliance between 14.4 and 26 keV. First light is expected before the end of 2011.

The RIKEN Quantum NanoDynamics Beamline, BL43LXU, will be a next generation facility for inelastic x-ray scattering (IXS). The purpose of the beamline is investigation of atomic and electronic dynamics with resolution from  $<1$  meV to  $\sim 100$  meV, spanning momentum transfers from  $\sim 0.1$  nm $^{-1}$  to  $\sim 150$  nm $^{-1}$ , and energy transfers from  $\sim 0.5$  meV to  $>10$  eV, via non-resonant inelastic x-ray scattering. Of particular note is the use of a long insertion device to increase flux on the sample by about a factor of 10 over present instruments, a crucial improvement given the flux-limited nature of many

IXS experiments. The beamline has been funded by MEXT through RIKEN with a 3-year maru-sai budget, beginning in FY2009. Several workshops have been held to discuss the scientific case for the beamline <sup>[1]</sup> (Figure 1), and, even before those discussions, a team of scientists from SPring-8 had begun conceptual design work to address some of the associated technical hurdles <sup>[2]</sup>.

The present article describes the design and expected performance of BL43LXU. As this is a short report in a facility-based publication, the focus will be an overview



Figure 1 Photograph during the NanoDynamics Beamline workshop in 2008.



of the expected capabilities of the beamline for those with some background in synchrotron radiation instrumentation. For a broader context as to how the instrument and the applications discussed here fit into the over-all picture of solid-state physics and x-ray scattering, we refer the reader to, e.g., the recent overview issue of *Kotai Butsuri* [3]. One crucial issue, though, is that while IXS experiments provide superior quality data, with nearly no background (see discussion in [4]), they remain severely count-rate limited. This is true for measurements of atomic dynamics in complex materials, or with complex sample environments, where scan times can be days. It is even more of an issue for measurements of electronic dynamics, where the cross sections are reduced. Thus, the improved source strength is a very important aspect of the beamline. Also of note is that BL43LXU will do non-resonant high-resolution investigation of *electronic* excitations at larger momentum transfer, which might be considered the momentum-resolved extension of optical or IR or Raman spectroscopy. This new field will allow access to both correlations in low-energy transitions (such as orbitons) and access to the higher order multipole character of localized transitions.

At the time of the writing of this article, January of 2010, most of the specifications for equipment for BL43LXU have been fixed, and the main components are now out for bid, with contracts to be set before April of 2010. Thus, the over-all design of the beamline is well established. First light is expected late in 2011, and first experiments in 2012. One should note that the present paper discusses the expected performance when the beamline is fully operational - achieving these goals will encompass the first few years of beamline operation.

BL43LXU will take advantage of the strengths of the SPring-8 storage ring, including the high, 8 GeV, electron beam energy, the availability of a long (30 m) straight section, and in-vacuum undulator technology to produce a uniquely powerful source in the hard x-ray region. Specifically, the use of a three 5 m insertion devices (IDs) in series, each with a 19 mm period and a 6 mm minimum magnetic gap, will allow unprecedented flux and brilliance between 14.4 and 26 keV ( $k_{\text{max}}=1.56$  at 14.4 keV,  $k\sim 1$  at 22 keV). Calculated flux and brilliance is shown

in Figure 2. Importantly, the short undulator period and 8 GeV electron energy of the storage ring allows this range of x-ray energy to be covered in the fundamental of the undulator, leading to a favorable ratio of useful flux to heat load. However, to achieve the small gap for this requires intermediate focusing of the electron beam, with magnets (quadrupoles and sextupoles) between the undulator segments, to keep the electron beam size small enough for the 6 mm gap, and to retain sufficient injection aperture [6]. While this reduces the length of the insertion device to 15 m (as compared, say, to the 24 m ID at BL19LXU) there is still a large gain in both brilliance and flux over the desired energy range (see Figure 2). For those who may wonder about the performance of this beamline as compared to the SPring-8 x-ray free electron laser (XFEL), we note that the XFEL is a pulsed source and, while the peak pulse intensity is very large, the time-averaged flux per unit bandwidth (which is the relevant figure of merit for IXS) of the XFEL will be *much* ( $\sim 10^3$  times) *less* than at BL43LXU.

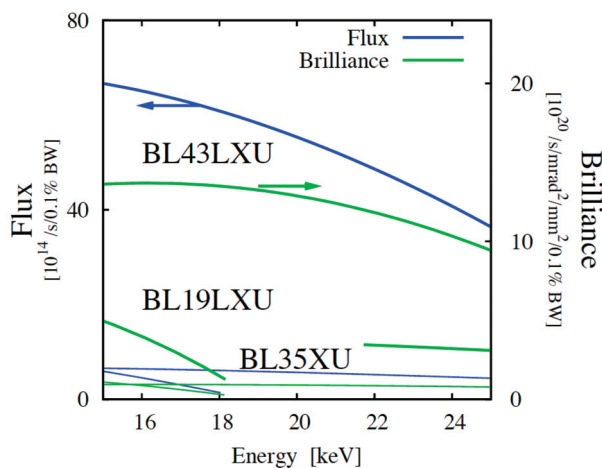


Figure 2 Flux and Brilliance

Calculated flux and brilliance for a standard SPring-8 insertion device (ID), 4.5 m long, 32 mm period, as at BL35XU, the 24 m ID at BL19LXU (also 32 mm period), and the 15 m, 19 mm period, ID planned for BL43LXU. Calculations using SPECTRA<sup>[5]</sup>. Flux calculations have assumed a fixed front-end slit size for each ID. For BL19LXU, only the Brilliance is shown, and the gap in the tuning curve is due to the large (12 mm) minimum aperture at BL19LXU, which has no intermediate electron-beam focusing. For BL43LXU, the calculations have been done assuming a single undulator of 15 m length.



The power load on the pink-beam components is a serious concern. While operation of the insertion device in the fundamental improves the flux to power load ratio, the long insertion device still has a large total power,  $\sim 47$  kW at minimum gap, and an extremely high peak power (about  $3 \text{ MW/mrad}^2$ ) based on calculations using SPECTRA [5]. With some re-design, and thanks to the good thermal properties of glidcop, the front-end is expected to survive these power loads [7]. However the power onto the monochromator remains a serious problem, with the central cone expected to be  $\sim 1.8$  kW at minimum gap. Liquid nitrogen cooling of a silicon monochromator crystal has been shown to be effective up to  $\sim 700 \text{ W}$  [8], but the expected power at BL43LXU is more than double that, with a substantially higher power density. BL43LXU will therefore use a liquid nitrogen cooled mirror upstream of the monochromator (M1 in Figure 4) to reduce the power onto the monochromator by removing the x-rays from the higher undulator harmonics (see Figure 3). Cooling the silicon using liquid nitrogen to a temperature near to the zero in the thermal expansion, and the large beam footprint, should reduce the thermal distortion of the mirror from  $\sim 1$  kW absorbed power to  $\sim 0.4$  microradians [9]. It is hoped to

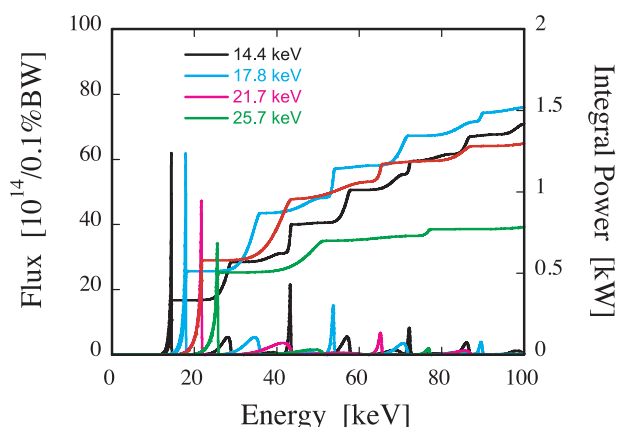


Figure 3 Calculated spectra and integrated power for several settings of the BL43LXU undulator.

The front-end slit size has been chosen to keep the power absorbed by the first mirror  $< 1$  kW and the power absorbed by the mono  $< 550 \text{ W}$ . The power is the flux integrated from low energy to the value given on the x-axis. The mirror will act to cut-off that part of the power at energies above the fundamental, so at the first plateau of the power curve.

reduce this even to the 0.1 microradian level by gently bending the mirror. A diamond monochromator was also considered, but difficulties in removing the expected power deposition ( $\sim 100 \text{ W}$ , even for a thin diamond) and issues of crystal quality and performance (especially at higher energy) led to a preference for the nitrogen cooled silicon mirror. A matched mirror (M2 in Figure 4) will be installed after the mono to return the beam to horizontal. It is worth noting that mirror technology has progressed to a point where substantially sub-microradian slope errors are possible on long flat mirrors (the mirrors are specified to have  $< 0.3$  micro-radian tangential slope error over the central  $800 \times 60 \text{ mm}^2$ ).

The beamline will have two main instruments, as shown in the layout presented in Figure 4: a large high-resolution spectrometer and a smaller medium-resolution spectrometer. The high-resolution spectrometer will be for measurements with good momentum resolution, a small fraction of a Brillouin zone (typical analyzer acceptance between  $\sim 1 \times 5$  and  $10 \times 10 \text{ mrad}^2$ , or momentum resolution in one dimension between about  $\sim 0.1$  and  $1 \text{ nm}^{-1}$ ), and energy resolution between  $< 1$  and  $40 \text{ meV}$  (see also Table 1). The better energy resolution will be used for measuring atomic dynamics, with the relaxed resolution ( $6$  and  $40 \text{ meV}$ ) to permit higher rates for lower cross-section experiments, especially those investigating electronic excitations. The medium resolution instrument will be primarily for electronic excitations, and will have larger acceptance ( $\sim 50 \times 50 \text{ mrad}^2$ ) analyzers on a short,  $\sim 2 \text{ m}$ , arm. It will operate primarily at  $15.816 \text{ keV}$  (corresponding to the Si(888) back reflection for the analyzer crystals) and is expected to have energy resolution between  $10$  and  $100 \text{ meV}$ , depending on the choice of incident beam monochromatization. Both spectrometers will operate with a horizontal scattering plane. The high-resolution spectrometer will have a maximum scattering angle of  $\sim 55$  degrees, while the medium resolution spectrometer will scan to  $\sim 130$  degrees in two-theta. For scattering angles near to  $90$  degrees on the medium resolution spectrometer, a diamond half-wave plate will be employed to rotate the plane of the polarization to vertical and to reduce losses from pi-polarized Thomson scattering. We note that early designs considered a single spectrometer with an arm length of about  $6 \text{ m}$ .

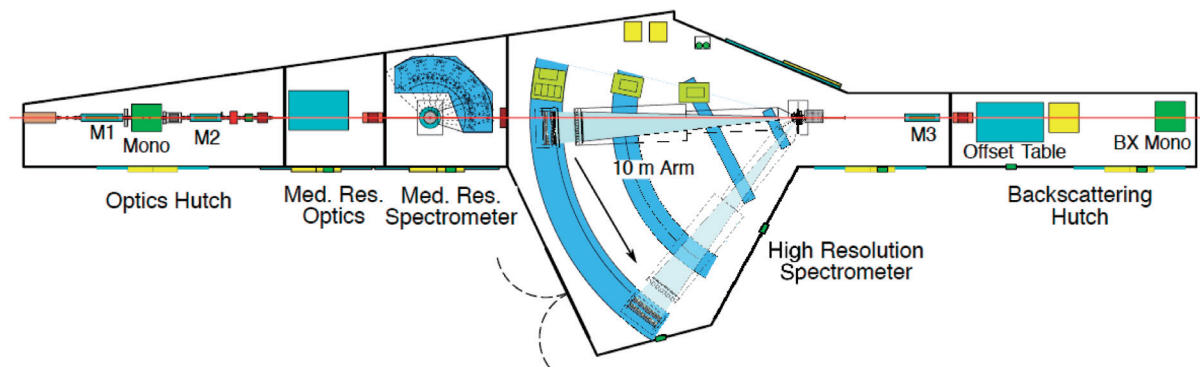


Figure 4 Planned hutch layout for BL43LXU.

Beam from the undulator is incident from the left, and for the high resolution spectrometer, is backscattered by the BX mono (far right), and impinges on the sample from the right. M1 is the nitrogen cooled mirror, M2 the matched mirror to return the beam to horizontal and M3 the focusing cylindrical mirror for the high resolution scattering. The length of the displayed hutches is 47 m.

However, this was finally discarded, as being less than optimal for many experiments: the 6 m arm length, as compared to the 10 m now planned, would make sub-meV work difficult, while for medium resolution a shorter,  $\sim 2$  m, arm was desirable to increase analyzer solid angle and therefore count rates.

It is worth taking a moment to comment on the planned operating energy range, and modes of operation. The energy range is largely dictated by using silicon optics in a near-backscattering geometry: silicon remains the material of choice when large-area highly-perfect crystals are needed, while the backscattering geometry (Bragg angles near to 90 degrees) is desirable to get maximum angular acceptance for a given energy resolution, as can be seen by differentiating Bragg's law. However, silicon backscattering optics quickly become inefficient at higher energy, with reflectivity dropping fast as x-ray energies approach 30 keV. Meanwhile, from the point of view of sample investigation, higher energy, for a fixed incident flux (in units of photons/s/meV), is almost always better, as this allows one to get higher rates from larger samples due to reduced photoelectric absorption, and also to more easily penetrate into complex sample environments. Thus, the 15-26 keV energy range, which covers intrinsic resolutions in backscattering from about 4 to 0.3 meV (single reflection bandwidth in silicon) is a very reasonable one. Finally, the extension of the operating energy range down to 14.4 keV is to match the nuclear

resonance in  $^{57}\text{Fe}$ . This resonance has an intrinsic linewidth of  $<10 \mu\text{eV}$ , so, in principle, using time-gating and a nuclear analyzer, as discussed in [10], very high resolution experiments will be possible (estimates suggest 0.3 meV resolution should be possible). Table 1 summarizes the expected operating conditions.

The medium resolution spectrometer will use analyzers operating at the silicon (888) back-reflection with a temperature gradient [11] to allow large space at the sample with a resolution of  $\sim 10$  meV. This resolution can then be relaxed to gain flux by increasing the incident bandwidth. It is worth emphasizing that one of the reasons to use the (888) analyzer reflection instead of the (555) as is sometimes done, is the relatively good response of the tails. The tails of Bragg reflections increase as the square of their width – if  $\Delta E_D$  is the intrinsic (energy) Darwin width of the reflection (nearly the full width at half maximum) centered at  $E_0$  the reflectivity at an energy  $E$  with  $|E - E_0| \gg \Delta E_D$  is just  $R \approx (\Delta E_D)^2 / (4(E - E_0))^2$ . Relaxing the resolution, increasing  $\Delta E_D$ , of the analyzer in an effort to get more counts, results in tails increasing as the square of the width, which is a very serious concern for measurements at smaller energy transfers. Figure 5 shows the resolution function from a setup where a single-reflection Si(888) monochromator is used with a Si(888) analyzer, which has been used to measure a d-d excitation in NiO [12]. The integral intensity of the d-d excitation was some

Table 1 Expected operating conditions for BL43LXU.

All operating conditions, except the last two lines, refer to the large high-resolution spectrometer with a 10 m two-theta arm.  $Q_{\max}$  and  $E_{\max}$  are the maximum momentum and energy transfers accessible.  $\Delta Q_{\max}$  is the maximum acceptance for a single analyzer - the lower limit will be  $<0.1 \text{ nm}^{-1}$  (limited by count-rate) for the high-resolution spectrometer. The last two lines are for the medium resolution spectrometer for electronic excitations, and the nuclear resonant scattering (NRS) setup, respectively. The resolution, in energy and momentum, for the NRS setup, will be primarily count-rate limited, with the values listed based on an estimate for a sample with relatively high rate (light elements).

Resolution (meV)	X-Ray Energy (keV)	$\Delta Q_{\max}$ ( $\text{nm}^{-1}$ )	$E_{\max}$ (eV)	$Q_{\max}$ ( $\text{\AA}^{-1}$ )	Analyzer	Source Flux (GHz/meV)
<0.9	25.7	1.2	4.9	12	Si (13 13 13)	140
1.4	21.7	1.0	4.1	10	Si (11 11 11)	230
2.8	17.8	0.8	3.4	8.3	Si (9 9 9)	390
6.0	15.8	0.7	3.0	7.4	Si (8 8 8)	440
40	15.8	0.7	10	7.4	Si (8 8 8)	440
10 – 100	15.8	3.4	>10	16	Si (8 8 8)	440
>0.3	14.4	>0.3	>10	15	$^{57}\text{Fe}$ Nuclear	430

3 orders of magnitude less than phonon intensity, and the peak some 4 orders of magnitude reduced. Thus the tails are very important. Comparing the Si(888) with its 4 meV Darwin width, against the Si(555) which has a 14 meV width at 10 keV, one can expect measure excitations about a factor of 2 to 3 closer to phonon lines using the Si (888) analyzer.

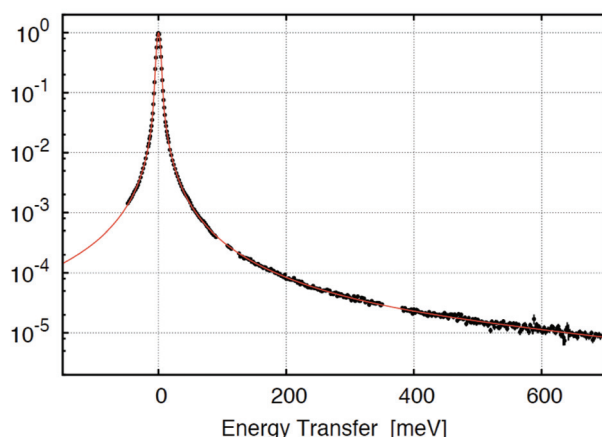


Figure 5 Resolution function using the silicon (888) reflection. (4 meV Darwin width for the analyzer and the monochromator). Note points removed near 100 and 350 meV correspond to known excitation bands in the plexi-glass sample used to simulate inelastic an elastic response. The solid line is a smooth curve fit to the data.

We briefly mention some of the expected improvements, in addition to higher flux, beyond the instrument BL35XU. The first is that the analyzer array on the 10 m arm will be increased in size, with a planned goal of 42 elements (as opposed to the 12 at BL35XU). As the data rate, for some experiments, scales linearly with the number of analyzers, this is a large improvement. In addition, these analyzers will take advantage of a new design concept so that when a temperature gradient is applied to them <sup>[11]</sup>, combined with an efficient position sensitive detector (such a detector is being developed now <sup>[13]</sup>), improved resolution may be possible. The long-term goal is  $\sim 0.7 \text{ meV}$  at 25.7 keV and 1.3 meV resolution at 21.7 keV (FWHM). The default beam size at BL43LXU is expected to be smaller, compared to that at BL35XU due to improvements in mirror technology and placement. In particular, the bent cylindrical mirror (M3) is expected to focus the beam to about  $20 \times 35 \mu\text{m}^2$  in the full width at half maximum, including the effects of mirror slope error. This is good for focusing an entire beam at  $\sim 20 \text{ keV}$  without losses, and will allow most experiments to be performed. Focusing to smaller size,  $\sim 5 \text{ microns}$  or less, is expected, and is under consideration, though it will reduce the flux onto the sample.

The paper has introduced the RIKEN Quantum NanoDynamics beamline, BL43LXU, discussing the main capabilities and over-all design. Science at the beamline will (1) directly build on the studies of atomic dynamics at BL35XU, and (2) enter the new field of high-resolution measurement of electronic excitations. Directions of work in the first category include phonons in larger-unit-cell correlated materials where both good momentum and good energy resolution are required, extreme and geologically relevant environments (including high-pressure and high temperature conditions in diamond anvil cells), atomic dynamics associated with liquid phase transitions, and the detailed behavior of the atomic dynamics of glasses. All of these fields are now limited by count-rate at present instruments, and their extension, and the path to new and important data at BL43LXU, is relatively straightforward. In addition, the high-resolution measurements of electronic dynamics (with demonstration experiments recently done) will provide a window into new science, with one target being dispersion of low-energy electronic excitations such as orbitons, and another being the details of structure of electronic transitions, including extending investigations of features known from more conventional spectroscopic methods (IR, optical, Raman) to higher momentum transfers.

#### Acknowledgements:

This project has had help from many of the scientists and administrative staff at SPring-8. The contributions of M. Abe, H. Aoyagi, H. Arita, K. Fukami, H. Fukui, Y. Furukawa, S. Goto, Y. Harada, D. Ishikawa, Y. Ishizawa, H. Kimura, H. Kitamura, H. Konishi, T. Matsushita, T. Mochizuki, H. Ohashi, T. Ohata, H. Ohkuma, M. Oishi, S. Sasaki, J. Schimizu, Y. Senba, M. Shoji, K. Sorimachi, K. Soutome, S. Takahashi, M. Takata, K. Takeshita, T. Takeuchi, H. Tanaka, T. Tanaka, S. Tsutsui, H. Uchiyama, J. Yahiro, H. Yamazaki, and the strong support of the RIKEN SPring-8 Center Director, T. Ishikawa, are gratefully acknowledged.

#### References

[1] Workshops included the “Workshop on High-Resolution IXS” in 2006, the “Workshop for a NanoDynamics Beamline:” in 2008, and a

workshop on “Spectroscopy and Instrumentation for IXS” (SIIXS) in 2009.

- [2] The team included A. Q. R. Baron, T. Mochizuki, H. Tanaka, K. Soutome, T. Takahashi, T. Tanaka, H. Ohashi and S. Goto, among others.
- [3] 固体物理, **44**, For IXS in particular, see A.Q.R. Baron, 固体物理, **44** (2009) 727-742. (Solid State Physics (Kotai Butsuri), **44** (2009) 727-742).
- [4] A. Q. R. Baron : 分光研究第58巻第5号 (2009) pp.205-214 (Journal of The Spectroscopical Society of Japan, Vol. **58**, #5 (2009) 205-214 (Japanese) or arXiv 0910.5764 (English)).
- [5] T. Tanaka and H. Kitamura : Journal of Synchrotron Radiation **8** (2001) 1221 and <http://radiant.harima.riken.go.jp/spectra/index.html>.
- [6] K. Soutome, Y. Shimosaki, J. Schimizu, M. Takao, M. Oishi, M. Shoji, Y. Okayasu, K. Fukami, C. Mitsuda and H. Yonehara : unpublished.
- [7] S. Takahashi, Private Communication and S. Takahashi, M. Sano, T. Mochizuki, A. Watanabe and H. Kitamura : Journal of Synchrotron Radiation **15** (2008) 144.
- [8] A.I. Chumakov : Private Communication.
- [9] Based on finite element (ANSYS) calculations by T. Mochizuki.
- [10] A. I. Chumakov, A. Q. R. Baron, R. Ruffer, H. Grunsteudel, H. F. Grunsteudel and A. Meyer : Phys. Rev. Lett. **76** (1996) 4258.
- [11] D. Ishikawa and A. Q. R. Baron : Journal of Synchrotron Radiation, **17** (2010) 12-24.
- [12] A. Q. R. Baron et al.: Unpublished.
- [13] H. Toyokawa, Y. Furukawa, T. Hirono, H. Ikeda, K. Kajiwara, M. Kawase, T. Ohata, G. Sato, M. Sato, T. Takahashi, H. Tanida, T. Uruga and S. Watanabe : To Be Published in the Proceedings of the Hiroshima Symposium On The Development And Application Of Semiconductor Tracking Detectors.

#### *Alfred Q.R. Baron*

Materials Dynamics Laboratory,  
RIKEN SPring-8 Center, 1-1-1 Kouto, Sayo, Hyogo, 679-5148  
&  
Research and Utilization Division  
SPring-8/JASRI, 1-1-1, Kouto, Sayo, Hyogo 679-5198  
TEL : 0791-58-0803 x 3883 FAX : 0791-58-1816  
e-mail : baron@spring8.or.jp



## BL15XU広エネルギー帯域先端材料解析BL次期計画

独立行政法人物質・材料研究機構 共用ビームステーション  
 小林 啓介、吉川 英樹、上田 茂典  
 田中 雅彦、山下 良之、松下 能孝  
 スプリングエイトサービス株式会社  
 勝矢 良雄、石丸 哲

### 1. はじめに

(独)物質・材料研究機構の専用ビームラインBL15XUは放射光利用による材料開発の推進を目的として、1999年に(旧)科学技術庁 無機材質研究所によって建設が開始された。2009年10月に最初の10年の施設利用契約期間を終了し、新しく次の10年間の契約を締結した。この報告では本ビームラインにおける次期10カ年の計画の概要について述べる。

### 2. ビームラインの歴史

本ビームラインは建設に当たって、手法として物質材料解析の基本である電子構造解析と結晶構造解析を2本柱とし、それを同一のビームラインで実施することを意図して設計された。そのために電子構造解析に必要な軟X線から結晶構造解析に必要な硬X線までの広エネルギー帯域で高輝度のアンジュレーター光を利用することを基本思想として、挿入光源ならびに二結晶分光器の設計が行われた。具体的には挿入光源においては、0.5~6 keVの低エネルギー領域では熱負荷を低くするための円偏光アンジュレーター、それよりも高エネルギー側では水平偏光アンジュレーターの2つの磁石列をリボルバー式に切り替える方式が採用された。またビームライン分光器はそれに対応して、低エネルギー領域にはYB<sub>66</sub>、高エネルギー領域にはSi 111を用いた2種類の二結晶分光器を切り替えて使うという世界的にも他に類を見ないビームラインが建設された。

物質材料の開発を推進することを目的としたビームラインの考え方は、2001年4月に(旧)無機材質研究所と金属材料技術研究所が合併し、文部科学省(独)物質・材料研究機構(National Institute for Materials Science, NIMS)が発足した後も継承された。2006年4月に共用ビームステーションの名称でビームライングループが独立した組織としてNIMS内に位置づけられ、新体制での運営になった。

これを契機にNIMS内外のユーザー利用が飛躍的に推進されることになった。この段階で、本ビームラインのミッションを「物質・材料研究のナショナルセンターとしての役目を持つNIMS内部の物質・材料研究に資すること。その成果の論文化を進め、外部に共同研究的利用を開き、NIMS内外の研究者間の相互作用を通してNIMS内の研究者、技術者の育成と資質向上を図ること。この目的のために放射光の特徴を最大限に生かした物質・材料科学のための先進的な実験手法を準備し、安定なビームライン運営を実現し、共同研究ベースでのユーザー利用研究を展開すること。」と具体的に規定した。この規定を元にビームライン業務を以下の4つに大別した。

- ①NIMS内研究者の共用施設として、放射光を利用した高度な物質材料解析を展開
- ②国際ナノテクノロジー・ネットワーク事業に参画し、ナノテクノロジー分野の外部機関の研究者にビームラインを開放
- ③量子ビーム(放射光、中性子、高エネルギーイオンビーム)の一つである放射光を使った利用技術の高度化を目的として、スタッフによる研究開発および外部機関と連携した研究開発
- ④上記①~③を通じ、NIMSを拠点とする国内外の他機関との連携プロジェクトを推進し、物質材料解析の一翼を担う

この規定を元に、ビームラインで展開してきた最近の物質材料解析の実施例を図1に示す。図から分かるように、NIMSの種々の材料研究に放射光解析が幅広く利用されてきた。

### 3. 第一期10カ年における主な改良と現状

#### 3-1 ビームライン

本ビームラインのSi二結晶分光器は、従来はピン

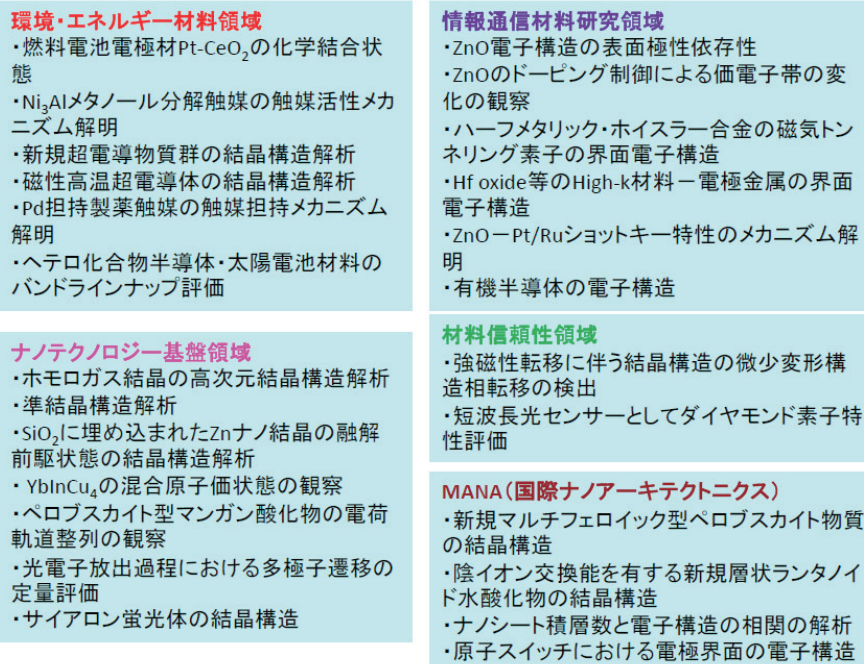


図1 ビームラインで展開してきた物質材料解析の実施例

ポスト水冷方式でかつ回転傾斜配置であったが、冷却能力の不足、ガasketの放射線損傷などによる様々な問題点が明瞭になってきたため、2008年夏期停止期間に液体窒素冷却方式の平行平板型Si二結晶分光器に改造した。この改造に際して分光器真空槽内に液体窒素のフレキシブル配管を設置するスペースを確保する必要性から、YB<sub>66</sub>結晶分光器を取り去る必要が生じた。軟X線領域ではYB<sub>66</sub>結晶分光器は回折格子分光器よりもパフォーマンスが劣り、かつSPring-8には4本の軟X線ビームラインがあるので、これを除去することによる本質的な問題点はないと判断した。一方でSi結晶分光器は111面と311面の2種類の結晶を並進移動により切り替え可能とし、X線回折実験で利点の多い高エネルギー側の利用範囲を伸ばすこととし、改造前のエネルギーの上限値20 keVを36 keVまで拡大した。最終的にSi二結晶分光器は、分光結晶の1次光として2.2~36 keVの範囲をカバーできることになった<sup>[1]</sup>。

従来のSi二結晶分光器では、回転傾斜配置と大きいオフセット値(100 mm)に因るX線屈折効果を利用した高次光除去を行っていたが、平行平板型Si二結晶分光器では従来の高次光除去方式が用いられないため、全反射ミラーを使った高次光除去方式に切り替えた。なお、高次光除去のために導入した全反射ミラーをベントさせることによって(高次光除去と同時

に) X線回折装置にビームを集光することが可能となり、平板法によるX線回折実験が可能となった。

上記の改造によって、本ビームラインの最も大きな特徴である広帯域特性のうち2.2 keV以下の低エネルギー側を犠牲にすることになった。それでもなお2.2~6 keVの領域をカバーするビームラインは、SPring-8にはない。世界的に見るとESRFのID32が同等のエネルギー範囲を持つ。最近ではPETRA III、SOLEIL、DIAMONDなどの新しい放射光施設でこの中間エネルギー範囲をカバーするビームラインが増えてきている。

#### 実験ステーション

本ビームラインには建設当初から粉末構造解析、光電子分光、光電子顕微鏡、二結晶発光分光分析など4つの実験ステーションが導入されていたが、いずれもスループット、使い易さ、安定性などに問題を含んでいた。そこで2006年度以降、本ビームラインがNIMSにおける共用ビームステーションという位置づけがなされた際に、NIMS内の物質・材料研究と共同研究的支援というミッションを遂行するために実験ステーションの選択と新規導入、改良を行ってきた。

現在、本ビームラインは粉末構造解析および硬X線光電子分光<sup>[2,3]</sup>の二つの実験ステーションを主に利

用して、結晶構造、電子構造の両面からNIMS内外の物質・材料研究を推進する態勢をとっている。以下にこの二つの実験ステーションの現状をまとめる。

(1) 硬X線光電子分光 (HXP) ステーション

- ・軟X線から硬X線までを利用：利用可能なX線エネルギー範囲 2.2~10 keV  
世界で最も広いエネルギー範囲をカバーするX線光電子分光実験ステーション。  
物質/試料構造ごとに光イオン化断面積、プローブ深さ、フォノン散乱の影響等に合わせて励起X線のエネルギーを変えることにより、測定を最適化することができる。
- ・広エネルギー帯域で高エネルギー分解能測定が可能。(Si 220, 311, 440, 333, 444, 555のチャンネルカット結晶を使った後置分光器を利用。AuのFermi端での実測値：60 meV at 5.95 keV。)
- ・6 keV以下のX線エネルギー領域では円偏光が使えるため、硬X線光電子分光における磁気円二色性の測定が可能
- ・測定試料温度は20K~400K (開放フロー型Heクライオスタットおよびヒータを装備)

(2) 高輝度粉末X線回折計ステーション

- ・利用するX線エネルギー範囲 6~36 keV
- ・955 mmの大半径カメラで世界最高水準の高分解能粉末結晶構造解析
- ・検出器にはイメージングプレート (IP) を利用して0.003度の分解能での実験が可能。さらに高分解能を必要とするときにはアナライザー結晶付きのシングルチャンネル検出器に置き換え可能
- ・キャピラリー法に加え平板法での高分解能回折実験手法を開発中
- ・液体Heおよび液体窒素の吹きつけ型冷凍機を装備

ビームライン分光器を水冷から液体窒素冷却方式に変更したことによって、分光結晶の劣化が解消されビーム発散が抑えられた。これによって硬X線光電子分光ステーションでは試料表面にX線スポットを約50 μm程度に集光することが可能となり、改造前と比較して2倍のハイスループット化を実現した。X線回折実験においてはビームラインのエネルギー上限値の拡大によって、より高エネルギーでの測定が可能となり、試料の自己吸収効果を低減することができ、精度の高い実験が可能となった。また、高次光カットミラーをベントさせて集光ミラーとし

て使用出来るようになったため、平板法による粉末回折実験が可能となった。

4. 次期10カ年計画

4-1 NIMS における物質・材料研究の展開とビームライン次期計画の方針

NIMSの第二期中期計画 (5年間) は2010年度で終了するため、第三期中期計画の策定が現在行われつつある。本ビームラインの次期10カ年の計画はこの第三期計画に沿った形で立案せねばならない。NIMSの第三期中期計画において想定されているいくつかの重点研究分野の中で、本ビームラインが重要なキー的役割を果たすべき分野として「環境・エネルギー分野」と「ナノ・エレクトロニクス分野」が挙げられる。

具体的には「環境・エネルギー分野」に関しては、図2に示すような5つのサブ分野に分けて考えられており、それぞれに未踏の高性能機能デバイス開発を必要としている。これらの開発は急務であるものの、従来の材料技術の延長上にはソリューションを想定することは難しく、新しい機能性物質の開発が今後5~10年の物質・材料研究の重要なターゲットとなるものと予想される。

「ナノ・エレクトロニクス分野」においてはSi-ULSIのダウンサイジングの行き詰まりが視野に入り出している今日、ULSI開発には3次元集積化の方向とともに、多様化への展開の兆しが見え始めている。すでに要素デバイスとして、メモリーデバイスにおいては酸化物、強誘電体、強磁性体、相変化材料など様々な物質・材料の応用研究が行われ、光

NIMSにおける物質・材料研究の今後の展開

環境・エネルギー材料領域の重点化 《グリーンナノへの展開》

下記の紫色の項目はNIMSビームラインでの利用が可能と思われる分野

◆エネルギーを作り出すactiveなグリーンナノ領域  
燃料電池、二次イオン電池、太陽電池、触媒、熱電材料、コジェネレーション技術、水素貯蔵技術

◆エネルギーや資源を節約するpassiveなグリーンナノ領域  
元素戦略(脱希少資源、資源の再利用)、超高耐熱材料、センサー、ソフトマテリアル、低コスト水質浄化技術、高速情報通信技術、高速情報処理技術、原子スイッチ技術、形状記憶合金、生分解性ポリマー、低コスト医療検査技術、超電導材料、海水からの資源回収技術

◆材料の寿命を延ばすpassiveなグリーンナノ領域  
長寿命構造材料、低コスト長寿命の防蝕技術、耐環境ポリマー

◆廃棄物処理のactiveなグリーンナノ領域  
産業廃棄物処理技術、二酸化炭素固定技術

◆危険回避、危険予測のpassiveなグリーンナノ領域  
危険物質の評価管理技術、寿命予測機能を持つ材料

図2 NIMSにおけるエネルギー環境分野の今後の展開



デバイスについてもIII-V化合物以外に窒化物、酸化半導体およびその多元混晶が使われ、センサー、アクチュエーターなどにも多種多様な化合物が利用されるようになってきている。ULSIがこれらの多種多様な要素デバイスを混載したものへと変貌する中で、多様で複雑な新物質群の開発はエレクトロニクス産業復興につながってゆくものと予想される。

一方で、すべての要素デバイスのサイズはナノ化の方向にあり、これに伴って材料そのもののナノ化がさらに進展していく。またナノ化による物性の変調、新規機能発現を期待した材料開発がますます盛んに行われるだろう。このナノ材料の探索と開発は、「エネルギー・環境分野」、「ナノ・エレクトロニクス分野」の両分野においても、ますます顕著な流れとなっていくものと予想される。

上記のごとく多様な発展が予想される新規機能性材料の探索・開発を、単純な試行錯誤とセレンディピティだけに頼って行うのではなく、今後は物質デザイン、合成、物性・機能評価が、互いにより密接な関係を持って開発が進められるようになると予想される。図3は、それを模式的に示したもので、理論計算・物質合成・解析評価の三位一体の総合的な物質創製を表現している。本ビームラインは、この物質創製のサイクルの中で「解析評価」を担当し、「理論計算」や「物質合成」に直結した物性情報を提供することを可能にする。

例えば、「理論計算」に直結した情報を与える放射光利用として、物質の化学結合や電子構造を決定している価電子の空間情報およびエネルギー情報を

得ることが挙げられる。既にSPring-8のBL02B2で多くの試みがなされているように、粉末X線回折データの解析から価電子の電荷密度分布を求めることができる。一方で、本ビームラインでは硬X線光電子分光によって価電子帯の状態密度に関する情報が求まる。これらは価電子を別の視点で見たものであり、いずれも第一原理計算で求められる物性の基本情報である。本ビームラインでは同一試料の粉末回折と硬X線光電子分光実験が可能で、その結果を第一原理計算と照らし合わせることで新規物質の電子構造-物性の予測精度を向上させることが出来るだろう。この結果を試料合成グループにフィードバックすれば、機能性物質の探索・開発を効率よく進めることが可能になるだろう。現時点ではこれは単なる理想に過ぎないが、計算科学や合成手法のめざましい進歩は、いずれこのようなスキームに従った新規機能物質の探索と合成が現実のものとなっていくと考えられる。NIMSの物質・材料合成、評価および計算科学の諸グループとの協力連携により、本ビームラインの次期10カ年の中で追求すべき重要なターゲットとしてこのような研究の方向性を作り出して行くことを考えている。

上記のNIMSの将来計画に想定されている「環境・エネルギー」、「ナノエレクトロニクス」は放射光利用を必要とする重要分野である。「有機・バイオ」その他の分野についても放射光は重要な評価手段として必要になってくると考えている。これら重点的研究分野のすべての物質・材料群の開発研究において、「微小領域観察」「深さ方向分析」「in-situ

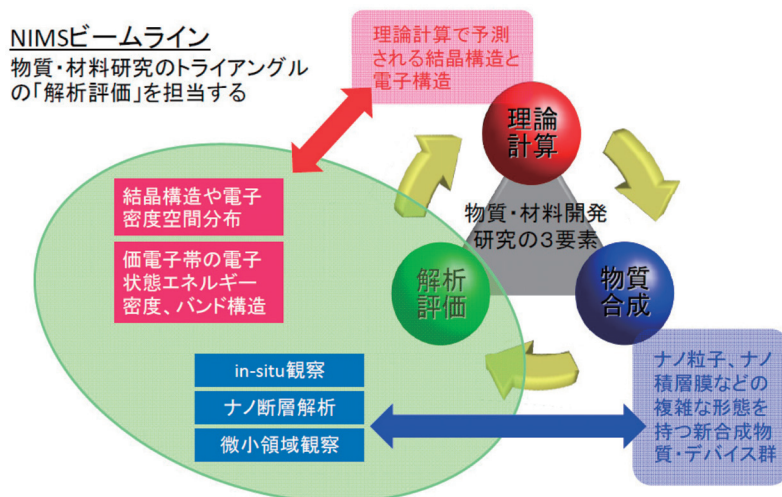


図3 物質・材料探索の新しい方向

観察」の重要性は今後ますます増大する。本ビームラインにおいても必要に応じてこれらの手法を取り入れるべく実験ステーションの改良を進めて行かねばならない。

#### 4-2 BL15XUにおける施設・設備計画

NIMSは日本の物質・材料研究のナショナルセンターとして非常に多種多様にわたる物質・材料研究を行っている研究機関であり、10年先の将来にわたってその研究分野の発展を明瞭に見通すことは不可能である。したがって本ビームラインでは上記に述べた基本的な考えを元に、常に物質・材料の研究動向を見極め、研究・開発の発展のメインストリームを常にキャッチアップできるようにビームラインおよび実験ステーションの先端化を図っていくことを次期計画の基本として施設・設備の高度化を進めてゆく考えである。以下に各実験ステーションにおいて将来的に必要と予想される高度化案についてまとめる。

#### 4-3 硬X線光電子分光ステーション

##### (1) 自動化・省力化

2010年に硬X線光電子分光用の集光ミラーを、より集光能力の高いものに変更することで、更なるハイスループット化を図る。これによってハイスループット化が達成されれば、通常のユーザー利用のための設備改善の第一段階は完了する。省力化、ユーザーフレンドリー性の改善には試料導入や測定条件設定、データ取得読み出しの自動化が望まれ、その必要度は非常に高い。特に放射光ビームラインにおける超高真空システムへの試料導入の自動化は技術的に難しい点があるため、中長期的に解決すべき問題として検討を進めていく。

##### (2) 深さ方向解析

硬X線光電子分光は検出深さが大きい。本ビームラインでは2.2~10 keVの範囲で励起X線のエネルギーを任意に選択できるので、検出深さを広い範囲で変えることが可能である。この特徴を生かして、ナノスケール薄膜試料の電子構造、化学結合状態の解析を進めていく。なお励起X線のエネルギー可変性に加えて、光電子の脱出角度依存性を利用した測定を行うことにより、化学状態の深さ方向分布に関するより詳細な情報が得られる。

##### (3) デバイス動作のその場観察

検出深さが大きいいため、デバイス構造を持った試

料の動作時の光電子分光が可能である<sup>[4]</sup>。具体的な例として、Si-CMOS構造の試料において、印加したゲート電圧を変化させた際の内殻準位のエネルギーシフトから、界面状態密度の分布を求めたり各層内の電場分布を求めたりすることが可能となる。この手法は、固体電解質/電極界面やR-RAM、原子スイッチなどにも適用可能な応用範囲が広い手法であると共に、電気的手法等では明らかにできない物性、動作メカニズム解明が可能となる手法である。本ビームラインの特徴的な実験手法として発展させていきたい。

##### (4) 磁気円二色性、スピン分解光硬X線電子分光

磁性材料の研究にはスピンに関する電子状態の情報が重要である。スピン分解光電子分光法は最も基本的な手法であるが、硬X線領域でのスピン分解光電子分光 (Spin-HXPS) には開発すべき機器要素が多くある。本ビームラインのマンパワーを考えると、本グループだけで機器開発をすることは出来ない (DFG-JSTプロジェクトの枠でJ. G. Univ. Mainzグループと共同してBL47XUにおける長期課題のためのSpin-HXPS装置開発を行っている)。一方、光電子スペクトルにおける磁気円二色性 (MCD) については、円偏光X線が利用できれば硬X線領域でも比較的容易に実験を行うことができる。すでにBL39XUのスタッフとの共同研究でBL39XUにおいて、 $\text{Fe}_3\text{O}_4$ などを試料に世界で初めてMCD-HXPS実験を行い、その有用性を示すことが出来た<sup>[5]</sup>。その後、本ビームラインの円偏光アンジュレーターを利用してフェライト試料におけるMCD-HXPSテスト実験を行ったところ、良い結果を得ることができた。この手法をより広範囲の物質・材料に適用できるように、本ビームラインに円偏光の位相制御のためのダイヤモンド移相子の導入を検討する。

##### (5) 光電子回折、定在波光電子分光の応用

検出深さが大きい利点を生かす別の応用としてX線定在波法と光電子回折-ホログラムが考えられる。X線定在波法は、試料へのX線入射角を調節してターゲット原子位置での定在波振幅を制御し、その原子からの光電子スペクトル強度の変化を測定することにより局所敏感な光電子分光を行う方法である。光電子回折はターゲット原子からの光電子スペクトル強度の角度依存性に現れる回折による強度変動からターゲット原子周辺の局所構造を明らかにす

ることが可能である。ホログラム解析を行えば実空間構造を再構築することも可能である。従来は表面敏感な軟X線光電子分光で行われてきたため、どちらの手法も表面解析の手段として利用されてきた。HXPSにおいては埋もれた層、界面やバルクに適用できるため、その応用範囲は広いと考える。

さらに界面局所に対する感度をエンハンスする手法の開発も始めている。本ビームラインと共同研究関係を持つLBNL/ UC-DavisのC. S. Fadleyグループは、基板上に繰り返し多層膜を形成しこれをX線定在波発生部位とし、その上に光電子分光測定をしたい層を形成し、その層内の界面を調べる手法を開発している。具体的には、この定在波発生部位の上にウェッジ形状を持つ層を形成し、ウェッジの厚さが変化する方向にX線励起の位置を変えると層内の界面における（実際には試料をその方向に動かす）定在波の振幅が変化するので、それに応じて光電子放出強度が変化することを利用した手法である。この手法の有効性は、既に本ビームラインで確認され、有望な結果を得ている。同グループとの共同研究を通じてこの手法の応用を更に広げていく。

光電子回折や定在波法を導入するためには、試料マニピュレーターの改良（多軸回転、高温用など）、アナライザーとマニピュレーターの自動制御プログラムの開発などが必要になってくる。これらに本質的な技術的困難はなく、将来導入する方向で準備を進める。

#### (6) 角度分解硬X線光電子分光によるバンド分散の測定

硬X線領域における角度分解光電子分光によってバンドマッピングを行うという世界初めての試みをこれまでに行ってきた。すでにWおよびGaAsにおけるバンド分散の観測に成功している<sup>[6]</sup>。この手法は表面の影響の少ない真にバルク的なバンド分散を得ることができる点で非常に意味があるものと考え、発展させていきたい。

#### (7) 大気圧硬X線光電子分光

近年、大気圧下での軟X線光電子分光装置の開発が世界的に進められている。これを硬X線光電子分光に適用することは、NIMS内のエネルギー・環境関連テーマに対応する上で有意義であると思われる。ただし、これには未知の開発要素が多く含まれるため、現時点では紙上検討の段階に留まっている。

### 4-4 粉末X線回折ステーション

#### (1) 自動化・省力化

結晶構造解析は、本ビームラインがNIMS内での物質・材料研究に重要な寄与ができる評価法である。このステーションのスループットを制限しているのは、X線露光時間ではなく、試料の位置合わせ、IPの交換、データ読み出し、データチェックなどがボトルネックになっている。単独でこれらの作業を行えるユーザーは、残念なことにきわめて限られている。従って、これらの作業にはスタッフが介在せざるを得ず、これがスタッフに対する大きな負荷になっている。

この問題を解決するために、2010年に実験ステーションの自動化のための装置改良を行う。これによってスタッフが主体的に行う研究の余裕を確保し、先端的物質・材料研究への寄与を高めていく。

この方向の装置自動化において、電氣的読み出しが可能な高分解能検出器がもっとも重要なキーになる。X線用CCD、ピラタス検出器などさまざまな方式のものが開発されているが、重量、分解能等の点で本ビームラインの粉末回折計に最適な検出器は現時点では見当たらない。その中で我々が必要とする大半の測定には対応できるMYTHEN 1 次元検出器アレイを導入して、早期に全自動化システムを導入し、夜間の測定に当てることで労働環境の改善を図りたい。2010年度中にはこの自動測定のパラドフォームを完成させる。これにより生じた余力を使って、より高度な研究を行うために必要な改造を行っていく。

#### (2) 平板法

これまで粉末X線回折はキャピラリー法によって行ってきた。しかしながら、この手法は自己吸収の強い物質については限界がある。そこで自己吸収の影響が原理的にキャンセルされる平板法の併用が考えられる。この手法の導入が成功すれば、本ビームラインが広いエネルギー範囲をカバー出来る利点を生かし、物質の吸収端における異常分散効果を利用した結晶構造解析が可能となる。

#### (3) in-situ測定と試料環境条件の多様化

光照射や気相-固相反応による結晶構造の変化の観察などへの展開を考えて開発を進める。実験によっては平板法が適していると考えられる。ユーザーとの共同研究の進捗にあわせ、低温プローブの改良、高温プローブの導入、磁場や電場の印加、化学反応



のその場観察など、必要な高度化および改良を行っていく。

上述の高度化項目のすべてを実現することは、限られた人的資源では難しく、また限られたビームタイム資源を考慮しても不合理であることは明瞭である。先に述べた様にNIMSは重点的研究分野を策定しつつも、実際に行われる研究は将来にわたって変遷しながら発展していくものと予想される。このような研究・開発の動向に沿って、現在予想できる高度化項目の中から必要性の高いものを選んで順次実現していく方針である。

## 5. 最後に

第一期10年間の本ビームラインにおける利用研究と装置改良を基礎として次期10年間の計画を立て、実行を開始している。2011年度にはNIMSの第二期中期計画が始まるので、新しい10カ年の前半はNIMSの第三期5カ年計画に沿った形で進めることになる。物質・材料研究がますます多様化する中、結晶構造-電子構造の解析を軸とした放射光による研究を行って行きたい。将来の物質・材料研究はもちろんより多様な実験手段を必要とし、放射光利用についても多様な手法の組み合わせが要求されるようになるものと予想している。本ビームラインだけで対応できる範囲は限られているので、JASRI、RIKEN、JAEAなどSPRING-8における他の機関との協力関係を維持しつつ、SPRING-8を物質・材料研究の研究手段として十二分に活用するようにしたいと考えている。

## 謝辞

本ビームラインの高度化ならびに研究の遂行にあたって、広島大学放射光科学研究センター (HiSOR)、(独)日本原子力研究開発機構 (JAEA)、(独)理化学研究所 (RIKEN)、(財)高輝度光科学研究センター (JASRI)、SPRING-8兵庫県ビームラインの皆様方に多大なお世話になりましたことに深く感謝致します。

## 参考文献

- [1] S. Ueda et al. : Proc. SRI 2009 , to be published.
- [2] K. Kobayashi et al. : Appl. Phys. Lett. **83** (2003) 1005.
- [3] K. Kobayashi: Nucl. Instr. Methods in Phys. Res. A **601** (2009) 32.

- [4] Y. Yamashita et al.: e-Journal of Surface Science and Nanotechnology (2010) to be published.
- [5] S. Ueda et al.: Applied Physics Express **1** (2008) 077003.
- [6] C. S. Fadley, S. Ueda and K. Kobayashi : SPRING-8 Research Frontiers, to be published.

### 小林 啓介 KOBAYASHI Keisuke

(独) 物質・材料研究機構 共用ビームステーション  
〒679-5148 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1  
TEL : 0791-58-0223 FAX : 0791-58-0223  
koba\_kei@spring8.or.jp

### 吉川 英樹 YOSHIKAWA Hideki

(独) 物質・材料研究機構 共用ビームステーション  
〒679-5148 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1  
TEL : 0791-58-0223 FAX : 0791-58-0223  
e-mail : hyoshi@spring8.or.jp

### 上田 茂典 UEDA Shigenori

(独) 物質・材料研究機構 共用ビームステーション  
〒679-5148 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1  
TEL : 0791-58-0223 FAX : 0791-58-0223  
e-mail : uedas@spring8.or.jp

### 田中 雅彦 TANAKA Masahiko

(独) 物質・材料研究機構 共用ビームステーション  
〒679-5148 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1  
TEL : 0791-58-0223 FAX : 0791-58-0223  
e-mail : masahiko@spring8.or.jp

### 山下 良之 YAMASHITA Yoshiyuki

(独) 物質・材料研究機構 共用ビームステーション  
〒679-5148 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1  
TEL : 0791-58-0223 FAX : 0791-58-0223  
e-mail : YAMASHITA.Yoshiyuki@nims.go.jp

### 松下 能孝 MATSUSHITA Yoshitaka

(独) 物質・材料研究機構 共用ビームステーション  
〒679-5148 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1  
TEL : 0791-58-0223 FAX : 0791-58-0223  
e-mail : MATSUSHITA.Yoshitaka@nims.go.jp

### 勝矢 良雄 KATSUYA Yoshio

スプリングエイトサービス(株) 共用ビームステーション  
〒679-5148 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1  
TEL : 0791-58-0223 FAX : 0791-58-0223  
e-mail : katsuya@spring8.or.jp

### 石丸 哲 ISHIMARU Satoshi

スプリングエイトサービス(株) 共用ビームステーション  
〒679-5148 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1  
TEL : 0791-58-0223 FAX : 0791-58-0223  
e-mail : ishmaru@spring8.or.jp

## 東京大学物質科学アウトステーションビームライン： BL07LSUについて

東京大学 物性研究所  
東京大学 放射光連携研究機構  
松田 巖

### 概要

東京大学では、2006年5月に総長直轄の組織として物質科学部門、生命科学部門の2部門からなる放射光連携研究機構<sup>[1]</sup>を開設し、既存施設の高輝度放射光を利用して先端的研究の展開を目指している。物質科学部門では、SPring-8の長直線部に世界最高水準の軟X線アンジュレータービームライン(BL07LSU)の建設・整備を計画し、2007年度から大学の独自予算でその建設が始まった。そして2009年秋までに水平偏光8の字アンジュレーター4台から成る高輝度軟X線アンジュレータービームラインおよび4つの実験ステーションが完成し、同年10月9日にその完成披露式典が催された(図1)。BL07LSUでは2009年後期から共同利用を開始しており申請は半年ごとに東京大学にて受け付けている(東京大学物性研究所共同利用ホームページ<sup>[2]</sup>)。本稿では本アンジュレータービームラインの挿入光源(長尺アンジュレーター)および分光光学系を簡単に説明するとともに、各実験ステーションを紹介する。

### 長尺アンジュレーター

SPring-8の30 m長直線部に設置する長尺アンジュ



図1 平成21年10月9日 BL07LSU完成披露式典<sup>[1]</sup>

レーター(BL07IS)では、基本波が250 eV~2000 eVの軟X線領域をカバーする水平、垂直偏光8の字アンジュレーター<sup>[3]</sup>が交互に置かれ、さらにそれぞれ間に合計7台の移相器が設置される<sup>[4]</sup>。このことにより本挿入光源では水平垂直直線偏光および左右円偏光の軟X線が発生し、さらにその切換えの高速化も可能である。この偏光制御型軟X線アンジュレーターの水平偏光部の建設は2007年から始まり、2008年春のアンジュレーター本体完成後、同年夏に8 GeV電子蓄積リングの直線部に設置が行われた(図2)。垂直偏光部の建設は2009年度内に行われ、2010年に同直線部への設置が予定されている。挿入光源の各パラメーターは表1の通りである。

### ビームライン分光光学系

BL07LSUでは先端的分光実験を目指し、ユーザーから表2に示す光の性能が期待された。また本ビームラインはSPring-8の既存軟X線ビームライン(例えばBL27SU)と比較して放射パワーは1桁以上大きいため、光学設計では熱負荷が分光性能やビームサイズに与える影響を抑制しつつ、表2の要求



図2 直線部に設置された偏光制御型軟X線アンジュレーターの水平偏光部4台



表1 長尺アンジュレーター (BL07IS) のパラメーター

○光源諸定数

基本波：250 eV ~ 2000 eV  
 輝度： $10^{18-19}$  photons/s/mm<sup>2</sup>/mrad<sup>2</sup>/0.1%b.w.  
 偏光：水平垂直直線偏光・左右円偏光

○挿入光源諸定数

水平偏光8の字アンジュレーター	垂直偏光8の字アンジュレーター
磁場周期長 (cm) : 10	磁場周期長 (cm) : 10
周期数 : 26	周期数 : 20
台数 : 4	台数 : 4
設置 : 2008/08	設置予定 : 2010夏

移相器

总台数:7  
 (3台は設置済、残り4台は2010年夏に設置予定)

表2 ビームライン (BL07LSU) に期待される光の性能

エネルギー範囲(hν):250~2000 eV

フラックス: >10<sup>12</sup> photons/sec/0.01%B.W.

エネルギー分解能(E/ΔE): >10000

集光サイズ: <10 μm(ゾーンプレートで< 100nm)

性能や放射線遮蔽の条件を念頭に行われた。

ビームラインは入射スリットレス、連続偏角可変のMonk-Gillieson型不等刻線間隔平面回折格子分光器 (VLS-PGM) を使用しており、光学配置は図3のように3つの鏡 (M0、M1、M2)、回折格子 (G)、出射スリット (S<sub>ext</sub>)、そして各実験ステーション (Exp. stations) の後置集光系 (後置鏡、ゾーンプレート) から構成されている<sup>[5]</sup>。M0は分散方向にサジタル集光する円筒鏡で、M1は出射スリット (S<sub>ext</sub>) 方向にタンジェンシャル集光するベント円筒鏡である。M0とM1はM2とGへ熱負荷をかけないように光のパワーを大幅に吸収する役割を果たしている。M2は平面鏡で、不等刻線間隔平面回折格子 (G) と共に連続偏角可変機構に取り付けられている。Gと

して刻線密度の異なる2種類 (G600、G1200) を用意しており、両者はいずれも光エネルギー領域250~2000 eVをカバーし、高分解能測定用としてG1200が使用される。2009年9月までに基幹チャンネル、光学ハッチ、分光光学系、後置集光系の設置が完了しており (図4)、10月より放射線使用前検査を経て、コミッショニングが順調に進められている。

ビームライン実験ステーション

高輝度軟X線を利用する実験設備の具体的な仕様については、物質科学の分野で最先端の研究成果を目指すだけでなく、高輝度放射光の特長であるナノビーム、時間構造、コヒーレンスなどを利用して次世代の放射光研究の芽を育む観点からも検討されて

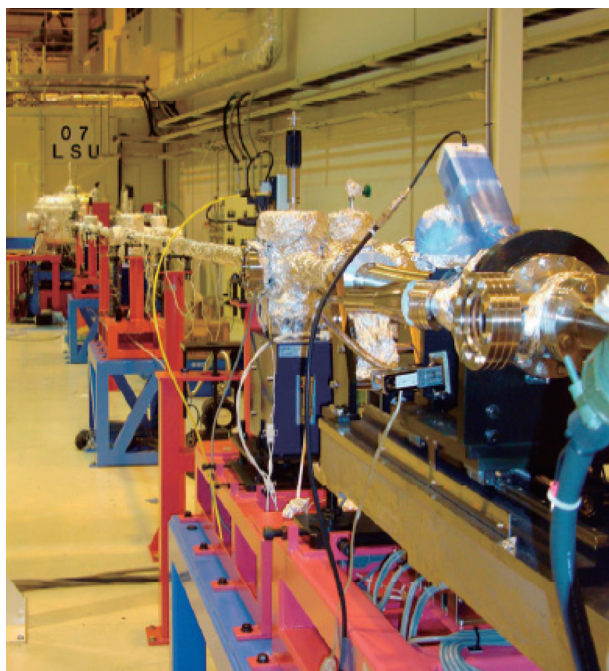


図4 BL07LSUの様子。写真では 出射スリットから上流側を撮影している。

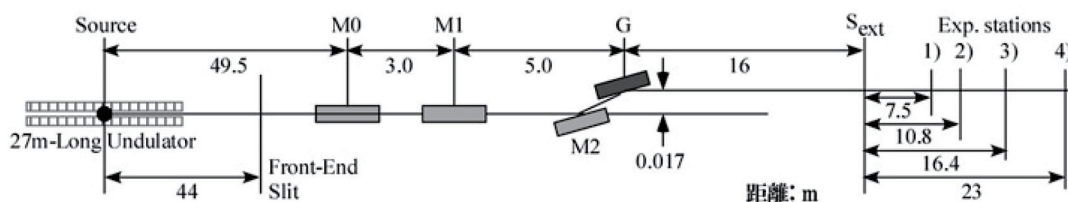


図3 BL07LSUの光学系レイアウト (横から見た図)。各光学素子間の距離 (m) を示してある。実験ステーション (Exp. station) は 1) 時間分解軟X線分光実験ステーション、2) フリーポート実験ステーション、3) 3次元走査型光電子顕微鏡、4) 超高分解能軟X線発光ステーションで、位置は各ステーションでの集光点に対応している。

きた。そしてユーザーコミュニティと若手研究者を中心としたサブグループによって議論されてきた結果、時間分解軟X線分光実験装置、生体物質軟X線発光分光実験装置、ナノ領域光電子解析実験装置、および実験設備が接続可能な後置鏡システムの4つを優先して整備することになり、2008年から各利用実験設備の建設・整備が始められた。2009年秋までに全ての実験ステーションの設置が完了し、それぞれの調整が現在行われている。各ステーション(Exp. stations)での実験内容は以下の通りである(図3)。

(1) 時間分解軟X線分光実験ステーション (TR-SX spectroscopy)

本ステーションでは、高輝度軟X線パルスと超短レーザーパルスのタイミング同期および遅延を制御し、両者を組み合わせた高速かつ高分解能な軟X線光電子分光測定を行う(図5)。これにより物質の動的現象における電子状態、化学状態、振動状態、原子構造の変化をリアルタイムで追跡し、固体の光誘起相転移、半導体材料のキャリア変化、磁性体のス

ピンダイナミクス、光触媒における表面化学反応などの機構を解明する。

(2) フリーポート実験ステーション (Free-Port station)

本ステーションでは、全国の研究者が実験装置を持ち込んで放射光の利用実験が行われる。

(3) 3次元走査型光電子顕微鏡 (3D nano-ESCA)

本ステーションは、100ナノメートル(1千万分の1メートル)以下の空間分解能で、物質の3次元化学状態・電子状態の空間分布を測定することのできる、世界でただ一つの装置である(図6)。次世代LSI・次世代メモリー・環境触媒微粒子などの最先端ナノテクノロジーデバイスやグリーンテクノロジー材料を、その内部の構造までも3次元的に描き出すことができる。

(4) 超高分解能軟X線発光ステーション(HORNET)

本ステーションは、気体・液体・固体を問わず、あらゆる物質の化学結合を担う電子の状態を、元素

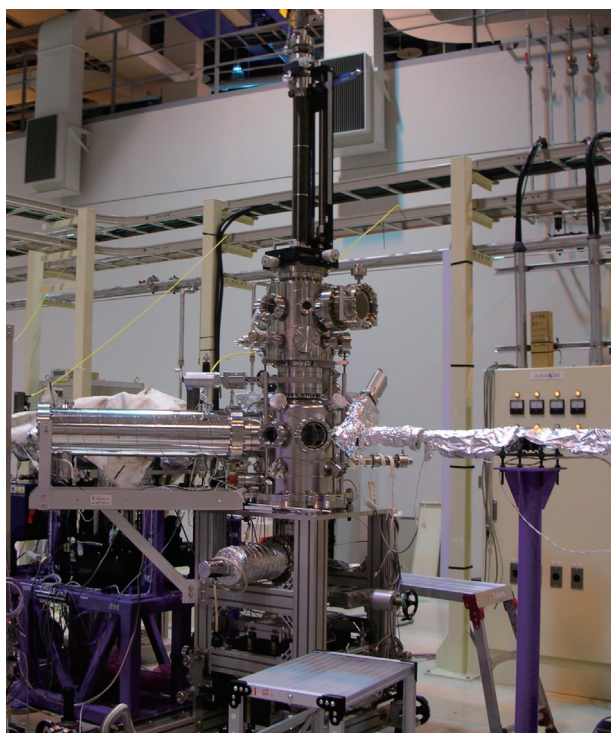


図5 時間分解軟X線分光実験ステーション (TR-SX spectroscopy)

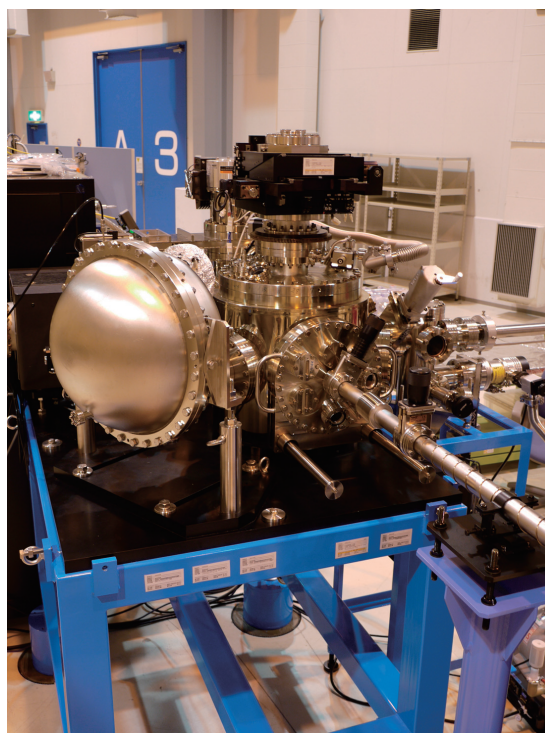


図6 3次元走査型光電子顕微鏡 (3D nano-ESCA)



ごと、軌道ごとに調べられる発光分光装置を備え、世界最高のエネルギー分解能で測定ができる(図7)。試料は真空環境下でも、大気に置いたままでも測定ができる。溶液、液体の電子状態の観測、タンパク質・細胞内器官などの生体物質と水の相互作用の研究、燃料電池触媒の分析などに適用できる。



図7 超高分解能軟X線発光ステーション (HORNET)

#### 謝辞

本高輝度軟X線アンジュレータービームライン BL07LSUの建設は仙波泰徳氏<sup>1</sup>、大橋治彦氏<sup>1</sup>、高橋直氏<sup>1</sup>、成山展照氏<sup>1</sup>、松下智裕氏<sup>1</sup>、大端通氏<sup>1</sup>、古川行人氏<sup>1</sup>、田中隆次氏<sup>1,2</sup>、竹下邦和氏<sup>1</sup>、後藤俊治氏<sup>1</sup>、北村英男氏<sup>1,2</sup>、山本達氏<sup>3,5</sup>、藤澤正美氏<sup>3,5</sup>、原田慈久氏<sup>3,4</sup>、堀場弘司氏<sup>3,4</sup>、組頭広志<sup>3,4</sup>、柿崎明人氏<sup>3,5</sup>、尾嶋正治氏<sup>3,4</sup> (1JASRI/SPring-8、<sup>2</sup>RIKEN/SPring-8、<sup>3</sup>東大放射光連携研究機構、<sup>4</sup>東大院工、<sup>5</sup>東大物性研) と共同で行われた。

#### 参考文献

- [1] <http://www.oshimalab.t.u-tokyo.ac.jp/SRRI/index.html>
- [2] <http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/contents/kyoudou/index.html>
- [3] 田中隆次：8の字アンジュレーター 放射光 **10** (1997) 251; T. Tanaka and H. Kitamura : Nucl. Instr. and Meth. A **364** (1995) 368 ; T. Tanaka, et al.: J. Synchrotron Radiat. **5** (1998) 459.
- [4] 田中隆次：アンジュレーター分割と位相制御による放射光特性の改善 放射光 **16** (2003)65 ; T. Tanaka and H. Kitamura : Nucl. Instr. and Meth. A

**490** (2002) 583.

- [5] Y. Senba, H. Ohashi, A. Harasawa, M. Fujisawa, T. Okuda, I. Matsuda, S. Takahashi, N. Nariyama, T. Matsushita, T. Ohata, F. Furukawa, T. Tanaka, K. Takeshita, S. Goto, H. Kitamura, A. Kakizaki and M. Oshima : Design of a new soft X-ray beamline for a long undulator source of SPring-8, Nucl. Instr. and Meth. A, in print.

松田 巖 *MATSUDA Iwao*

東京大学 物性研究所、東京大学 放射光連携研究機構  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1  
SPring-8 蓄積リング棟内 BL07LSU 側室A28  
TEL : 0791-58-0802 (代) 内線 : 4111 PHS : 3619  
FAX : 0791-58-1886  
e-mail : imatsuda@issp.u-tokyo.ac.jp

## 第23回共同利用期間 (2009A) において実施された利用研究課題

財団法人高輝度光科学研究センター  
利用業務部

第23回共同利用期間 (2009A) における共同利用は、平成21年4月から平成21年7月にかけて実施されました。放射光利用はビームライン1本あたり計画243シフト (共用ビームラインではユーザービームタイムは195シフト [1シフト=8時間])、実績241シフトでした。2007B期より運転スケジュールの利用期の区切りが年度になっています。2009A期では26本の共用ビームラインと、理研ビームラインのうちの2本 (BL17SUおよびBL45XU) で共用課題が実施されました。なお、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2007B期より利用期をさらに2期に分けて (今回は、2009A第1期と2009A第2期) 課題募集選定を行っています。

2009A期において専用ビームラインは15本が稼働し、2本が建設中でした。日本原子力研究開発機構の専用ビームライン4本と物質・材料研究機構の専

用ビームライン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2009A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2009A実施課題数とシフト数を示します。表3に、2009A期に共用施設で実施された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期から2009A期までの課題種別実施課題数の推移を示します。

2009A期の延べ利用者数は、共用施設4,240人、専

表2 専用施設の2009A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)	200	2754.625
ナノネット支援課題	16	129
成果専有課題	22	46.5
合計	238	2930.125

表1 共用施設<sup>(注1)</sup> の2009A課題種別の課題数と実施シフト数

課題種	応募課題数計	採択課題数計	課題採択率	実施課題数	当期以前に採択された課題等の継続実施数 <sup>(注2)</sup>	実施課題数合計	実施シフト数合計
一般課題 (非専有)	621	397	63.9	393	5	398	3027
一般課題 (成果専有)	31	30	96.8	30		30	105.375
萌芽の研究課題	30	18	60.0	18		18	117
時期指定課題	9	9	100.0	9		9	17.625
測定代行課題	4	4	100.0	4		4	3
重点メディカルバイオ・トライアルユース課題	8	5	62.5	5		5	33
重点拡張メディカルバイオ課題	14	13	92.9	13		13	90
重点ナノテクノロジー支援課題	83	42	50.6	41		41	375
重点産業利用課題 <sup>(注3)</sup>	154	112	72.7	108	3	111	591
成果公開優先利用枠課題	21	21	100.0	21		21	197
長期利用課題	4	3	75.0	3	6	9	182
重点パワーユーザー課題					6	6	264
12条戦略課題					4	4	99
合計	979	654	66.8	645	24	669	5101

(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2) 一般1年課題、産業利用1年課題、長期利用第2期以降課題、重点パワーユーザー課題、12条戦略課題

(注3) 12条一般課題としての課題を含む

表3 2009A期に共用施設\*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**	
大学等 教育機関	一般課題 (成果非専有)	課題数	77	7	102	37	29	9	7	1	269	
		シフト数	324	57	846	276	264	54	52	12	1885	
	萌芽的研究課題	課題数	1	1	11	2	2				17	
		シフト数	3	12	66	15	15				111	
	時期指定課題	課題数	1								1	
		シフト数	1								1	
	重点メディカルバイオ・ トライアルユース課題	課題数	2	1							3	
		シフト数	18	6							24	
	重点拡張メディカルバイオ 課題	課題数	5	3		1					9	
		シフト数	33	18		3					54	
	重点ナノテクノロジー 支援課題	課題数	1	4	22	4					31	
		シフト数	9	36	189	36					270	
	重点産業利用課題	課題数			3	5			23		31	
		シフト数			21	21			120		162	
	成果公開優先利用枠課題	課題数			4	7			3		14	
		シフト数			30	51			35		116	
長期利用課題	課題数	1		1				1		3		
	シフト数	33		18				18		69		
重点パワーユーザー課題	課題数			4		1			1	6		
	シフト数			180		48			36	264		
計	課題数	87	17	147	56	32	9	34	2	384		
	シフト数	420	130	1350	402	327	54	225	48	2956		
国公立 研究機関等	一般課題 (成果非専有)	課題数	12	4	39	8	7		9	10	89	
		シフト数	48.5	39	366	84	57		83	78	755.5	
	一般課題 (成果専有)	課題数	1		1				2		4	
		シフト数	3		2				2		7	
	時期指定課題	課題数								2	2	
		シフト数								4	4	
	測定代行課題	課題数							1		1	
		シフト数							0.75		0.75	
	重点メディカルバイオ・ トライアルユース課題	課題数	1								1	
		シフト数	3								3	
	重点ナノテクノロジー 支援課題	課題数			5				1		6	
		シフト数			48				15		63	
	重点産業利用課題	課題数			1				4		5	
		シフト数			6				27		33	
	成果公開優先利用枠課題	課題数	2		1	3			1		7	
		シフト数	48		9	18			6		81	
長期利用課題	課題数	2								2		
	シフト数	32								32		
12条戦略課題	課題数	1		3						4		
	シフト数	15		84						99		
計	課題数	19	4	50	11	7		18	12	121		
	シフト数	149.5	39	515	102	57		133.75	82	1078.25		
産 業 界	一般課題 (成果非専有)	課題数	1		2			1	13		17	
		シフト数	3		12			9	90		114	
	一般課題 (成果専有)	課題数			4				22		26	
		シフト数			6				92.375		98.375	
	時期指定課題	課題数		1	1				4		6	
		シフト数		3	1				8.625		12.625	
	測定代行課題	課題数							3		3	
		シフト数							2.25		2.25	
	重点メディカルバイオ・ トライアルユース課題	課題数	1								1	
		シフト数	6								6	
	重点拡張メディカルバイオ 課題	課題数							1		1	
		シフト数							6		6	
	重点ナノテクノロジー 支援課題	課題数			1						1	
		シフト数			9						9	
	重点産業利用課題	課題数			9			2	57		68	
		シフト数			45			7	312		364	
計	課題数	1	2	17			3	100		123		
	シフト数	3	9	73			16	511.25		612.25		
海 外 機 関	一般課題 (成果非専有)	課題数	3	3	18	1	1		2	2	30	
		シフト数	10.5	30	189	15	12		21	27	304.5	
	萌芽的研究課題	課題数		1							1	
		シフト数		6							6	
	重点拡張メディカルバイオ 課題	課題数		3							3	
		シフト数		30							30	
	重点ナノテクノロジー 支援課題	課題数			3						3	
		シフト数			33						33	
	長期利用課題	課題数	2	1	1						4	
		シフト数	51	18	12						81	
	計	課題数	5	8	22	1	1		2	2	41	
		シフト数	61.5	84	234	15	12		21	27	454.5	
	課題数合計			112	31	236	68	40	12	154	16	669
	シフト数合計			634	262	2172	519	396	70	891	157	5101

\* 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  
 \*\* 考古学、鑑識科学、ビームライン技術、素粒子・原子核科学



用施設1,761人でした。平成21年6月5日に延べ利用者数が10万人を突破し、2009A終了時の延べ利用者数は103,286人となりました。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

表4 共用施設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	合計	
一般課題(成果非専有課題)・緊急課題	94	234	274	237	361	371	464	470	520	391	464	397	410	388	373	323	442	298	547	455	450	378	398	8739	
成果専有課題(一般・時期指定・測定代行)				5	4	8	5	11	17	14	14	15	10	23	29	32	24	31	42	68	51	84	43	530	
萌芽的研究課題(成果非専有課題)															18	15	18	12	25	30	26	13	18	175	
成果公開優先利用課題																		4	8	9	32	16	21	90	
長期利用課題						4	5	7	8	9	10	8	8	7	6	8	10	10	10	11	12	8	9	150	
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	721	
重点産業トリアルユース課題											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	96	118	91	111	486	
重点メディカルバイオトリアルユース課題																	7	9	11	9	6	6	5	53	
重点拡張メディカルバイオ課題																					13	15	13	41	
重点パワーユーザー課題												4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	7	6	63
重点戦略課題(12条戦略課題)														3	6	3	6	5	6	6	6	4	4	49	
合計	94	234	274	242	365	383	474	488	545	540	634	549	569	555	560	620	724	550	781	739	769	672	669	12030	

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。測定代行の試行は2007Bと2008Aで、本格開始は2008B。

表5 共用施設および専用施設利用実績の推移

利用期間	利用時間	共同利用		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
第4回	1999B H11. 9 - H11.12	1,371	242	1,631	65
第5回	2000A H12. 1 - H12. 6	2,051	365	2,486	100
第6回	2000B H12.10 - H13. 1	1,522	383	2,370	88
第7回	2001A H13. 2 - H13. 6	2,313	474	2,915	102
第8回	2001B H13. 9 - H14. 2	1,867	488	3,277	114
第9回	2002A H14. 2 - H14. 7	2,093	545	3,246	110
第10回	2002B H14. 9 - H15. 2	1,867	540	3,508	142
第11回	2003A H15. 2 - H15. 7	2,246	634	3,777	164
第12回	2003B H15. 9 - H16. 2	1,844	549	3,428	154
第13回	2004A H16. 2 - H16. 7	2,095	569	3,756	161
第14回	2004B H16. 9 - H16.12	1,971	555	3,546	146
第15回	2005A H17. 4 - H17. 8	1,880	560	3,741	146
第16回	2005B H17. 9 - H17.12	1,818	620	4,032	187
第17回	2006A H18. 3 - H18. 7	2,202	724	4,809	226
第18回	2006B H18. 9 - H18.12	1,587	550	3,513	199
第19回	2007A H19. 3 - H19. 7	2,448	781	4,999	260
第20回	2007B H19. 9 - H20. 2	2,140	739	4,814	226
第21回	2008A H20. 4 - H20. 7	2,231	769	4,840	232
第22回	2008B H20. 9 - H21. 3	1,879	672	4,325	217
第23回	2009A H21. 4 - H21. 7	1,927	669	4,240	238
合計		44,925	12,030	76,728	3,317

注：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)

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)は共用ビームラインおよび専用ビームラインが利用できたシフト総計です(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。図2に、期の終わりの最終の数として、審査を受けた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。共用延べシフトは図1と同じ値です。

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/](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>刊行物>Spring-8 User Experiment Report)

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/ja/expreport>)

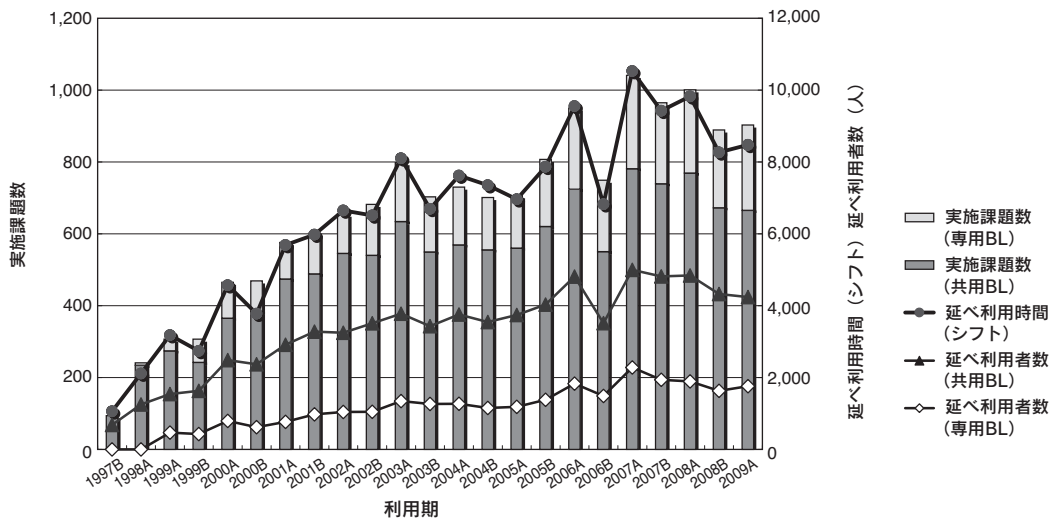


図1 共用施設および専用施設の利用実績の推移

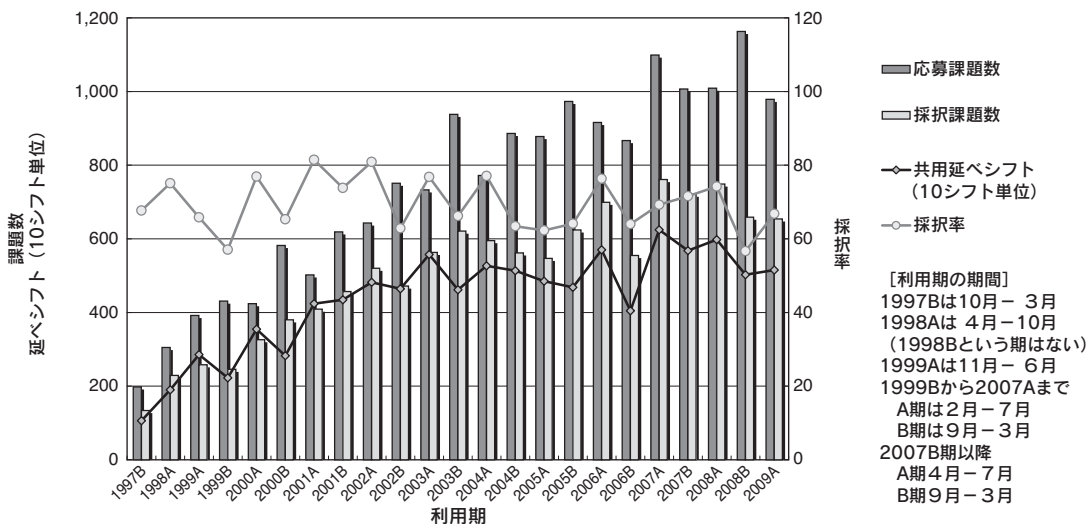


図2 共用施設の応募・採択課題数の推移実績

## 2008A採択長期利用課題の中間評価結果について

財団法人高輝度光科学研究センター  
利用業務部

2008A期に長期利用課題として採択となった2件の課題について中間評価を実施しました。中間評価は、実施開始から1年半が経過した課題について、実験責任者からの事前の提出書類および口頭での成果報告を受け、長期利用分科会で3年目の実施判断を行うものです。以下に対象課題の評価結果と実験責任者による成果リストを示します。

### 1. SPIN polarized high resolution HARd X-ray Photo Emission Spectroscopy (SPINHAXPES)

実験責任者名 (所属)	Claudia Felser (Johannes Gutenberg-University, Mainz)
採択時の課題番号	2008A0017
ビームライン	BL47XU
評価結果	3年目を実施する

#### [評価コメント]

The aim of this proposal is to develop spin polarized high-resolution hard x-ray photoemission spectroscopy (SPINHXAPES), which can play an important role in the fields of science and technology. The original plan contained two experimental developments as the main work: installation of a phase retarder and development of a new multi channel spin detector. The phase retarder has been successfully installed in the beamline and several MCD data from core level photoelectron spectra have been already obtained. The plan for the spin detector has been changed due to difficulties during transportation of the detector from Europe to SPring-8, but now a new detector is in SPring-8 and measurements using it is scheduled in 2009B. The group has also found that a usage of a thin film increases the photoelectron intensity and therefore may compensate the extremely low intensity throughput of a spin detector. Expecting that the group can obtain new data providing deep insight into the spin resolved electronic structure of magnetic

materials and spintronics devices using these techniques, the review committee concludes that it is appropriate to give another year for this long-term project. On the other hand, the review committee strongly requests to the group for publishing papers within the period of this long-term project.

#### [成果リスト]

- [1] G. H. Fecher, B. Balke, S. Ouardi, C. Felser, G. Schönhense, E. Ikenaga, Jung-J. Kim, S. Ueda and K. Kobayashi, High energy, high resolution photoelectron spectroscopy of  $\text{Co}_2\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Si}$ , J. Phys. D: Appl. Phys. 40 (2007) 1576-1581.
- [2] B. Balke, G. H. Fecher, H. C. Kandpal and C. Felser, Properties of the quaternary half-metal-type Heusler alloy  $\text{Co}_2\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Si}$ , Phys. Rev. B 74 (2006) 104405.
- [3] A. Gloskovskii, S. Ouardi, X. Kozina, G. Stryganyuk, G. H. Fecher and C. Felser, Hard X-ray photoelectron spectroscopy of Heusler materials, DPG Spring Meeting 2009, Technische Universität Dresden, Dresden March 22-27, Germany.
- [4] G. Stryganyuk, S. Ouardi, X. Kozina, A. Gloskovskii, G. H. Fecher, C. Felser, M. Hahn, G. Schönhense, M. Yamamoto, K. Inomata, E. Ikenaga and K. Kobayashi, Spin-resolved HAXPES technique for the investigation of new spintronic materials, DPG Spring Meeting 2009, Technische Universität Dresden, Dresden March 22-27, Germany.
- [5] S. Chadov, G. H. Fecher, C. Felser, J. Minar, J. Braun and H. Ebert, Electron correlations in  $\text{Co}_2\text{Mn}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Si}$  Heusler compounds, J. Phys. D: Appl. Phys. 42 (2009) 084002.
- [6] G. H. Fecher, C. Felser and K. Kobayashi, Detection of the Valance Band in Buried  $\text{Co}_2\text{MnSi-MgO}$  Tunnel Junctions by Means of Hard X-Ray Photoemission Spectroscopy, SPring-8 Research Frontiers 2008,



Reprint 2009, 86.

## 2. Structure Study of Regulated Intramembrane Proteolysis

実験責任者名 (所属)	Nieng Yan (Tsinghua University)
採択時の課題番号	2008A0019
チームライン	BL41XU、BL38B1
評価結果	3年目を実施する

### [評価コメント]

It is notable that the structures of several important membrane proteins have been obtained since this project started. These are all challenging studies and the scientific level is outstanding. The papers are all published in journals with high impact factors. This demonstrates the ability of the researchers to carry out high-level science. On the other hand, the relationship between these scientific achievements and the purpose of the proposed project is not clear.

The study on S2P published in PNAS has a large scientific impact and is considered to be central to this proposal. However, it is rather disappointing that only the structure of the cytoplasmic domain of S2P has been solved. Although this may not have been the case in this particular study, a cytoplasmic domain is generally easier to crystallize than the entire membrane protein and thus its scientific impact is lower. The goal of this project should be crystallization and structural determination of the entire S2P molecule. This will reveal how the cytoplasmic domain PDZ2 affects the catalytic domain and facilitate understanding the mechanism of regulated intramembrane proteolysis.

Since the regulated intramembrane proteolysis is of great biological significance, we recommend continuation of the study following the plan in the original proposal for another year. We look forward to structural determination of S2P and SPP.

### [成果リスト]

- [1] Xiang Gao, Lijun Zhou, Xuyao Jiao, Feiran Lu, Chuangye Yan, Xin Zeng, Jiawei Wang and Yigong Shi. (2009) Structural Basis of Substrate Recognition and Transport by the Amino Acid Antiporter AdiC. *Nature (AIP)*.
- [2] Yi Wang, Yongjian Huang, Jiawei Wang, Chao Cheng, Weijiao Huang, Peilong Lu, Ya-Nan Xu,

Pengye Wang, Nieng Yan\* and Yigong Shi\*. (2009) Structure of the formate transporter FocA reveals a pentameric aquaporin-like channel. *Nature*. (Article, in press) (\* indicates co-corresponding author).

- [3] Ping Yin, He Fan, Qi Hao, Xiaoqiu Yuan, Jiawei Wang and Nieng Yan. (2009) Structural Insights into the mechanism of Abscisic acid signaling by PYL proteins. *Nature Structural & Molecular Biology* (Epub: Nov 5<sup>th</sup>, 2009).
- [4] Feng Wang, Ziqing Mei, Yutao Qi, Chuangye Yan, Siheng Xiang, Zhiyuan Zhou, Qi Hu, Jiawei Wang and Yigong Shi. (2009) Crystal structure of the MecA degradation tag. *JBC* [Epub ahead of print: Oct 2, 2009].
- [5] Xiaochun Li, Boyuan Wang, Lihui Feng, Hui Kang, Yang Qi, Jiawei Wang and Yigong Shi. (2009) Cleavage of RseA by RseP requires a carboxyl-terminal hydrophobic amino acid following DegS cleavage. *PNAS* 106: 14837-42 [Epub: Aug 17, 2009].
- [6] Xiang Gao, Feiran Lu, Lijun Zhou, Shangyu Dang, Linfeng Sun, Xiaochun Li, Jiawei Wang and Yigong Shi. (2009) Structure and mechanism of an amino acid antiporter. *Science* 324:1565-8 [Epub: May 28, 2009].
- [7] Xu Zhang, Jiawei Wang, Chao Fan, Husheng Li, Honghong Sun, Shunyou Gong, Youhai Chen and Yigong Shi. (2009) Crystal structure of TIPE2 provides insights into immune homeostasis. *Nature Structural & Molecular Biology* 16: 89-90 [Epub: Dec 14, 2008].

## 平成22年度に指定されたパワーユーザーの紹介

財団法人高輝度光科学研究センター  
利用業務部

平成15年度より導入したパワーユーザー制度について、従来のパワーユーザー指定制（非公募）から、平成20年度より全てのユーザーに対しパワーユーザーになり得る機会を設ける公募制に変更しました。今回の応募に対して、パワーユーザー審査委員会で審査の結果、次の方がパワーユーザーに指定されましたので、紹介いたします。

### 利用者指定型に指定するパワーユーザー(平成22年度)

#### 1. 氏名（所属）

入船 徹男（国立大学法人愛媛大学）

#### 2. 期間

平成22年4月1日から平成27年度末まで

#### 3. 主題

研究テーマ：マルチアンビル実験技術の高度化と下部マントル条件下でのレオロジー・弾性波速度・相関係の精密決定：地球深部のダイナミクスと進化過程の解明に向けて

装置整備：大型D-DIA型ガイドブロックシステムの導入・開発と周辺装置の高度化

利用者支援：当該装置を用いた共同利用研究の支援

#### 4. ビームライン：BL04B1

#### 5. パワーユーザー審査委員会での評価コメント

本研究は、地球の体積の8割以上を占めるマントルのうち深さ660～2900kmと大部分を占める「下部マントル」に焦点を置き、その物性・化学組成の詳細や粘性などのレオロジーを明らかにし、地球深部の動的挙動（ダイナミクス）および進化過程について新たな知見を得ることを目的とした研究である。

具体的には、下部マントルに対応する温度圧力条件下での、(1) 6-6加圧方式を用いた変形実験によるレオロジーの解明、(2) 超音波測定技術を

応用した弾性波速度精密決定、(3) 焼結ダイヤモンドアンビルを用いた精密相転移・融点・状態方程式の決定、(4) ナノ多結晶ダイヤモンド（ヒメダイヤ）を利用したマントル全域への精密相転移観察実験領域への拡張、の4項目を重点目標としている。それぞれの項目は十分吟味されており、科学的妥当性に関しては極めて高いものと判断できる。挑戦的な研究であり、地球科学の分野を先導することは明白であるばかりでなく、本課題の技術を材料分野に適用することにより、材料分野においても大きな貢献をすることが期待できる。

実績に関しては、申請者は、これまでSPring-8の利用開始以来、ほぼ全期間にわたり課題が採択されているだけでなく、焼結ダイヤモンドアンビルを用いた70GPa領域までの高温高压発生技術開発、およびこれを用いたパイロライトやMgSiO<sub>3</sub>ペロブスカイト等の相転移・密度変化の観察など多大な成果を上げている。これまでの成果は、Natureなどの国際的に評価の高い学術誌にも数多く掲載しており、実績は十分である。

また、PUとして長期に利用する研究目標および研究計画も明確に定められている。

ユーザー支援に関しても、申請者らはこれまでもSPring-8において、企業や大学の研究グループに対して実験指導を行ってきた実績がある。

以上見るように大変具体的、意欲的な提案であり、申請者は十分な実績を持っているので、パワーユーザーとして指定することとした。

## 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21年9～12月の運転・利用実績

SPring-8は9月30日から10月30日までマルチバンチおよびセベラルバンチ運転で第4サイクルの運転を行い、11月6日から12月18日までセベラルバンチ運転で第5サイクルの運転を実施した。第4～5サイクルでは電磁石電源の故障による停止等があったが、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4サイクルは約1.5%、第5サイクルは1%であった。

放射光利用実績については、実施された共同利用研究の実験数は、第4サイクルは合計227件、利用研究者は1,064名で、専用施設利用研究の実験数は合計115件、利用研究者は458名であった。第5サイクルは合計364件、利用研究者は1,920名で、専用施設利用研究の実験数は合計187件、利用研究者は877名であった。

## 1. 装置運転関係

## (1) 運転期間

第4サイクル（9/30（水）～10/30（金））

第5サイクル（11/6（金）～12/18（金））

## (2) 運転時間の内訳

第4サイクル

運転時間総計 約712時間

①装置の調整およびマシンスタディ等 約185時間

②放射光利用運転時間 約519時間

③故障等によるdown time 約8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1.5%

第5サイクル

運転時間総計 約1,005時間

①装置の調整およびマシンスタディ等 約238時間

②放射光利用運転時間 約759時間

③故障等によるdown time 約8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1%

## (3) 運転スペック等

## ①第4サイクル（マルチバンチおよびセベラルバンチ運転）

・160bunch train×12（マルチバンチ）

・1/14filling+12bunches

・11bunch train×29

## ②第5サイクル（セベラルバンチ運転）

・4/58filling+53bunches

・203bunches

・1/14filling+12bunches

・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) 主な停止時間（down time）の原因

①電磁石補助電源故障および交換作業

②RF Ast温度表示計故障および交換作業

## 2. 利用関係

## (1) 放射光利用実験期間

第4サイクル（10/6（火）～10/28（水））

第5サイクル（11/11（水）～12/15（火））

## (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 7本

加速器診断ビームライン 2本

第4サイクル

共同利用研究実験数 227件

共同利用研究者数 1,064名

専用施設利用研究実験数 115件

専用施設利用研究者数 458名

第5サイクル

共同利用研究実験数 364件



共同利用研究者数	1,920名
専用施設利用研究実験数	187件
専用施設利用研究者数	877名

◎平成21年12月～平成22年1月の運転実績

SPring-8は12月19日から1月13日まで冬期長期運転停止期間とし、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った。

◎平成22年1月～2月の運転・利用実績

SPring-8は1月14日から2月26日までマルチバンチおよびセベラルバンチ運転で第6サイクルの運転を実施している。第6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

- (1) 2月27日から3月31日まで年度末運転停止期間とし、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。
- (2) 年度末運転停止期間後の運転条件については決定しだユーザーにSPring-8のWWW等で報告する。

# 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（2009年12月31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	~1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	total
Public Beamlines	BL01B1	XAFS (1997.10)	16	17	34	24	20	19	29	35	26	34	31	285
	BL02B1	Single Crystal Structure Analysis (1997.10)	7	3	9	15	15	11	13	10	7	7	6	103
	BL02B2	Powder Diffraction (1999. 9)		13	26	35	46	43	42	41	44	47	39	376
	BL04B1	High Temperature and High Pressure Research (1997.10)	7	9	13	17	8	22	12	8	11	10	10	127
	BL04B2	High Energy X-ray Diffraction (1999. 9)			6	15	8	18	12	20	37	17	20	153
	BL08W	High Energy Inelastic Scattering (1997.10)	7	4	14	5	10	9	10	17	14	6	6	102
	BL09XU	Nuclear Resonant Scattering (1997.10)	5	5	4	10	13	7	6	11	9	10	7	87
	BL10XU	High Pressure Research (1997.10)	12	12	20	21	19	20	29	17	28	26	17	221
	BL13XU	Surface and Interface Structure (2001. 9)					7	12	20	15	19	25	13	111
	BL14B2	Engineering Science Research II (2007. 9)										1	5	6
	BL19B2	Engineering Science Research I (2001.11)					6	14	20	17	9	11	13	90
	BL20B2	Medical and Imaging I (1999. 9)		5	14	16	12	25	11	15	10	18	8	134
	BL20XU	Medical and Imaging II (2001. 9)				2	13	4	7	9	17	23	16	91
	BL25SU	Soft X-ray Spectroscopy of Solid (1998. 4)	8	14	17	23	13	31	39	17	31	21	7	221
	BL27SU	Soft X-ray Photochemistry (1998. 5)	5	8	10	19	17	25	43	38	22	31	11	229
	BL28B2	White Beam X-ray Diffraction (1999. 9)		1	1	1	9	7	8	6	9	9	10	61
	BL35XU	High Resolution Inelastic Scattering (2001. 9)		1	2		5	8	5	3	13	19	4	60
	BL37XU	Trace Element Analysis (2002.11)					1	12	11	9	12	8	5	58
	BL38B1	Structural Biology III (2000.10)			1	4	13	27	33	42	27	26	21	194
	BL39XU	Magnetic Materials (1997.10)	12	7	18	5	11	16	10	10	18	12	20	139
	BL40B2	Structural Biology II (1999. 9)		1	16	24	30	31	31	27	37	19	19	235
	BL40XU	High Flux (2000. 4)	1	1	3	3	3	9	9	12	13	9	8	71
	BL41XU	Structural Biology I (1997.10)	15	14	21	30	35	54	55	53	53	49	49	428
	BL43IR	Infrared Materials Science (2000. 4)			5	1	5	6	10	5	7	12	4	55
BL46XU	Engineering Science Research III (2000.11)		1		3	6	3	8	11	5	14	6	57	
BL47XU	HXPES・MCT (1997.10)	6	9	13	9	6	17	24	25	19	18	18	164	
Public Use at Other Beamlines	BL11XU	Quantum Dynamics (1999. 3)				3	3	1	1	2	1	4	15	
	BL14B1	Materials Science (1998. 4)		2	2	9	5	1	3	3	5	3	33	
	BL15XU	WEBRAM (2002. 9)						4	4	8	6	5	27	
	BL17SU	RIKEN Coherent Soft X-ray Spectroscopy (2005. 9)									1	2	3	
	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)		1	2	1	4	2	4	9	8	3	34	
	BL29XU	RIKEN Coherent X-ray Optics (2002. 9)					1	1		3	1		1	
	BL44B2	RIKEN Structural Biology II (1998. 5)	1		2	2	1	2	3					11
	BL45XU	RIKEN Structural Biology I (1997.10)	1	2	6	5	9	11	5	6	10	2	3	60
Subtotal			103	130	259	302	354	473	521	508	529	502	380	4061
Contract Beamlines	BL08B2	Hyogo Prefecture BM (2005. 9)												0
	BL11XU	Quantum Dynamics (1999. 3)	2	3	3	2	3	7	7	7	11	5	5	55
	BL12B2	NSRRC BM (2001. 9)			1	3	16	20	22	3	2			67
	BL12XU	NSRRC ID (2003. 2)					1		5	6	6	8	5	31
	BL14B1	Materials Science (1998. 4)	2	2	4	7	5	7	5	4	4	11	4	55
	BL15XU	WEBRAM (2001. 4)			3	15	12	4	3	13	10	16	25	101
	BL16B2	Sunbeam BM (1999. 9)			9	3	1	1	2	7	3	2	4	32
	BL16XU	Sunbeam ID (1999. 9)		1	1	1	1	4	4	6	2	2	3	25
	BL22XU	Quantum Structural Science (2004. 9)							1	3	12	9	3	31
	BL23SU	Actinide Science (1998. 6)	3	2	13	11	11	13	5	6	5	11	12	92
	BL24XU	Hyogo Prefecture ID (1998.10)	5	13	21	18	12	11	8	6	12	5	4	115
	BL32B2	Pharmaceutical Industry (2002. 9)						6	3	2	3	6	1	21
BL33LEP	Laser-Electron Photon (2000.10)	4	3	3	2	1							13	
BL44XU	Macromolecular Assemblies (2000. 2)			1	9	12	17	26	31	21	12	16	145	
Subtotal			16	24	59	71	75	91	93	103	88	81	82	783
RIKEN Beamlines	BL17SU	Coherent Soft X-ray Spectroscopy (2005. 9)						2	5	4	7	17	13	48
	BL19LXU	SR Physics (2002. 9)	1		4	3	2	11	6	11	12	5	5	60
	BL26B1	Structural Genomics I (2002. 9)					2	18	35	22	19	21	6	123
	BL26B2	Structural Genomics II (2002. 9)					1	5	4	6	6	18	4	44
	BL29XU	Coherent X-ray Optics (2002. 9)		2	15	10	18	11	12	5	12	15	6	106
	BL44B2	Structural Biology II (1998. 5)	4	13	19	20	29	22	19	17	19	14	5	181
BL45XU	Structural Biology I (1997.10)	7	17	16	14	21	20	17	16	13	14	4	159	
Subtotal			12	32	54	47	73	89	98	81	88	104	43	721
Hardware / Software R & D			121	12	69	20	26	22	19	24	5	6	6	330
NET Sum Total			222	183	371	372	442	579	629	592	626	598	451	5065

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](https://user.spring8.or.jp/15_7_before_p.jsp)）に2009年12月31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（2009年12月31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)	285	42	42	369
	BL02B1	Single Crystal Structure Analysis (1997.10)	103	14	19	136
	BL02B2	Powder Diffraction (1999. 9)	376	21	51	448
	BL04B1	High Temperature and High Pressure Research (1997.10)	127	11	29	167
	BL04B2	High Energy X-ray Diffraction (1999. 9)	153	9	24	186
	BL08W	High Energy Inelastic Scattering (1997.10)	102	7	31	140
	BL09XU	Nuclear Resonant Scattering (1997.10)	87	15	20	122
	BL10XU	High Pressure Research (1997.10)	221	14	37	272
	BL13XU	Surface and Interface Structure (2001. 9)	111	8	27	146
	BL14B2	Engineering Science Research II (2007. 9)	6	3	3	12
	BL19B2	Engineering Science Research I (2001.11)	90	32	38	160
	BL20B2	Medical and Imaging I (1999. 9)	134	51	49	234
	BL20XU	Medical and Imaging II (2001. 9)	91	57	39	187
	BL25SU	Soft X-ray Spectroscopy of Solid (1998. 4)	221	7	29	257
	BL27SU	Soft X-ray Photochemistry (1998. 5)	229	14	20	263
	BL28B2	White Beam X-ray Diffraction (1999. 9)	61	14	14	89
	BL35XU	High Resolution Inelastic Scattering (2001. 9)	60	6	5	71
	BL37XU	Trace Element Analysis (2002.11)	58	12	26	96
	BL38B1	Structural Biology III (2000.10)	194	10	21	225
	BL39XU	Magnetic Materials (1997.10)	139	14	47	200
	BL40B2	Structural Biology II (1999. 9)	235	9	45	289
	BL40XU	High Flux (2000. 4)	71	13	34	118
	BL41XU	Structural Biology I (1997.10)	428	3	48	479
	BL43IR	Infrared Materials Science (2000. 4)	55	10	27	92
BL46XU	Engineering Science Research III (2000.11)	57	10	9	76	
BL47XU	HXPES・MCT (1997.10)	164	80	67	311	
Public Use at Other Beamlines	BL11XU	Quantum Dynamics (1999. 3)	15	2	2	19
	BL14B1	Materials Science (1998. 4)	33	1	8	42
	BL15XU	WEBRAM (2002. 9)	27	17	11	55
	BL17SU	RIKEN Coherent Soft X-ray Spectroscopy (2005. 9)	6		1	7
	BL19LXU	RIKEN SR Physics (2002. 9)	5		1	6
	BL22XU	Quantum Structural Science (2004. 9)	5		2	7
	BL23SU	Actinide Science (1998. 6)	34	5	10	49
	BL29XU	RIKEN Coherent X-ray Optics (2002. 9)	7		1	8
	BL44B2	RIKEN Structural Biology II (1998. 5)	11		3	14
	BL45XU	RIKEN Structural Biology I (1997.10)	60	5	10	75
Subtotal			4061	516	850	5427
Contract Beamlines	BL08B2	Hyogo Prefecture BM (2005. 9)				0
	BL11XU	Quantum Dynamics	55	2	5	62
	BL12B2	NSRRC BM (2001. 9)	67			67
	BL12XU	NSRRC ID (2003. 2)	31	5		36
	BL14B1	Materials Science	55	12	20	87
	BL15XU	WEBRAM (2001. 4)	101	4	16	121
	BL16B2	Sunbeam BM (1999. 9)	32	8	35	75
	BL16XU	Sunbeam ID (1999. 9)	25	6	30	61
	BL22XU	Quantum Structural Science	31	1	3	35
	BL23SU	Actinide Science	92	20	50	162
	BL24XU	Hyogo Prefecture ID (1998.10)	115	15	39	169
	BL32B2	Pharmaceutical Industry (2002. 9)	21		3	24
	BL33LEP	Laser-Electron Photon (2000.10)	13	22	3	38
	BL44XU	Macromolecular Assemblies (2000. 2)	145		20	165
Subtotal			783	95	224	1102
RIKEN Beamlines	BL17SU	Coherent Soft X-ray Spectroscopy	48	5	5	58
	BL19LXU	SR Physics	60	4	15	79
	BL26B1	Structural Genomics I	123	1	16	140
	BL26B2	Structural Genomics II	44	1	9	54
	BL29XU	Coherent X-ray Optics	106	22	19	147
	BL44B2	Structural Biology II	181	3	14	198
BL45XU	Structural Biology I	159	5	37	201	
Subtotal			721	41	115	877
Hardware / Software R & D			330	388	372	1090
NET Sum Total			5065	900	1160	7125

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論文検索）で検索できます。

[http://www.spring8.or.jp/ja/science/publication\\_database/](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21年10月～12月にその別刷もしくはコピー等を受理したものの一覧を紹介する予定でしたが、この3ヶ月間に非常に多くの登録がなされたため、分量が多くなりすぎて、利用者情報に掲載することができなくなってしまいました。事業仕分け以降、本当に多くの人に研究成果を登録していただきました。ここに感謝の意を表します。3ヶ月間に登録された論文の情報は、SPring-8 ホームページ内で、すべて紹介しておりますので下記URLから参照して下さい。

[http://www.spring8.or.jp/ja/science/publication\\_database/](http://www.spring8.or.jp/ja/science/publication_database/)

SPring-8 ホームページでは、これまでの利用者情報と同じく、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。この情報から以下のURLで公表している、各課題の利用報告書（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/](http://www.spring8.or.jp/ja/news_publications/publications/user_exp_report/)

### SPring-8 研究成果登録データベースに2009年9月～12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
Journal of Physics Conference Series	20	Biochemical and Biophysical Research Communications	7
Physical Review B	13	The Journal of Physical Chemistry C	6
Acta Crystallographica Section F	9	Angewandte Chemie International Edition	5
Journal of the American Chemical Society	9	Chemistry of Materials	5
Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America	9	FEBS Letters	5
Japanese Journal of Applied Physics	8	Journal of Geophysical Research	5
The Journal of Biological Chemistry	8	Journal of Molecular Biology	5
Physical Review Letters	8	Nature	5
Applied Physics Letters	7		

他全131誌、計 312報

実験責任者のかたには、これからも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 利用者情報に関するアンケート集計結果

財団法人高輝度光科学研究センター  
利用業務部

### 1. はじめに

SPring-8 利用者情報をより充実したものにすため、そして発行形態（紙媒体・WEB）の最適化について再検討するため、11月号において実施したアンケートの集計結果をご報告いたします。この結果は、今後の施策の参考とさせていただきます。

アンケート回答へのご協力ありがとうございました。

### 2. アンケートの実施方法

アンケートの実施にあたっては、SPring-8 UIサイトにおいて、アンケートの実施を告知し回答を呼びかけるとともに、アンケートのご案内を11月号に同封いたしました。さらにそれを補完する措置として、データベースにE-mailアドレスをご登録いただいている読者の皆様に送信し回答を依頼いたしました。

(1) アンケート案内の発送数：1856件

(2) メールの発信

- メール発信数：約1,280件
- 未達数：約340件

-----  
有効発信数：約940件

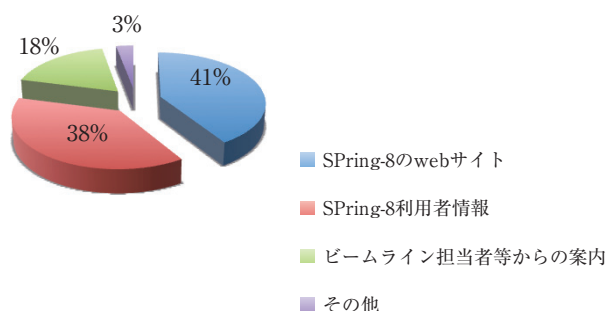
(3) 有効回答数：110件（回答率5.9%）

(4) 実施期間：2009年12月5日～2010年1月22日

### 3. アンケートの集計結果

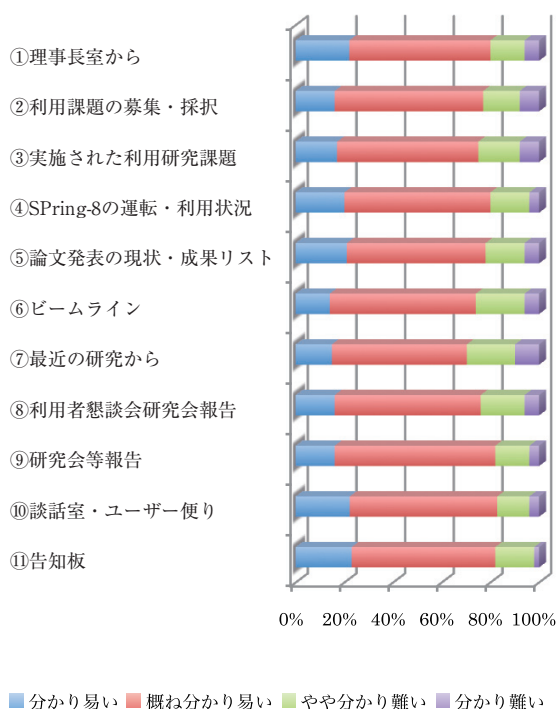
Q1. SPring-8に関する主たる情報収集の方法を選んで下さい。（複数回答可）

A1.



Q2. 記事の分かり易さについてお伺いします。

A2.



「やや分かり難い」または、「分かり難い」記事の理由

#### 全般についての分かり難さへのコメント

- 昔から放射光施設に関与してきた人以外、分かり難い。
- 記事の想定する読者像が不明だから。
- どういう読者を対象にして書かれた原稿なのかが分からない。
- SPring-8で行われている研究を理解して記事にしているか。
- 意味のない言葉が多すぎる。
- PDFファイル版やWEBであれば検索機能が使えるが、紙媒体だとできない。

「利用課題の募集・採択」記事が分かり難い理由

- 課題選定委員が変更になったかどうかが分からない。いつも不採択だった申請をもう一度気合いをいれて書き直すきっかけにもなるので、分かり易いところに載せて欲しい。
- 自分の関心がある分野については、「採択されやすいテーマ」など、全く推定できない。
- 情報量が中途半端、ホームページアドレス公開のみでよい。

「実施された利用研究課題」記事が分かり難い理由

- 文章が悪い。
- 書き方。
- 専門用語が多い。図が少ない。

「SPring-8の運転・利用状況」記事が分かり難い理由

- 専門用語が多すぎる。

「論文発表の現状・成果リスト」記事が分かり難い理由

- 雑誌毎のまとめというのが、あまりなじみがない。
- 実験責任者と第一著者とを見間違える。
- 色々な分野があって、どんな論文か分からない。

「ビームライン」記事が分かり難い理由

- 専門用語が多い。
- 専門用語が分かりにくく、ついていけない。
- ト書きで説明があるとよい。
- 略語の意味が分からない。
- 古い情報が記載されている。

「最近の研究から」記事が分かり難い理由

- 専門用語が多い。
- 専門用語が分からない。
- 専門用語が多くて分かりづらい。
- 略語の意味が分からない。
- 文章が長すぎる。
- どの研究が、どのような基準で選ばれて掲載されているかがはっきりしない。
- ト書きで説明があるとよい。
- 分かりやすいものはひとつもないのですが、一例として、本文あるいは図説明になにも書かないで、図中に略語を書いているものがあつた。
- 特に分野の大きく異なる研究について内容が難しく感じる。
- 国民の視点でSPring-8を理解してもらえるように

説明するには分かり難い報告になっていると感じます。例えば、研究の目的を知るのに2ページ弱読む必要があつた記事があつた。「はじめに」から始めるのではなく、アブストラクト（サマリー）を付けるべきだと考えます。とても読者（国民）の立場に立ったフォーマットになっていません。また、最後は結論を必ず書いていただきたい。アブストラクト（どんな目的で大体どんな結果が得られたのか）と結論を読めば、どんな研究なのかが分かるようにするべきです。

「利用者懇談会研究会報告」記事が分かり難い理由

- 専門用語が多くて分かり難い。

「研究会等報告」記事が分かり難い理由

- 専門でないユーザー（希望者）には、分かり難い場合がある。このビームラインでは、ではなく、この課題にはこのビームラインという説明がほしい。
- 専門用語が多くて分かり難い。

「談話室・ユーザー便り」記事が分かり難い理由

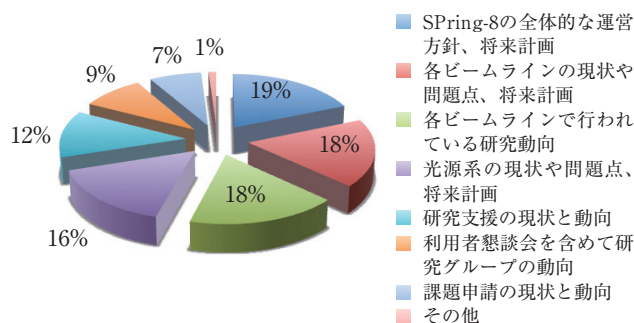
- 趣味に走りすぎて理解できない。

「告知板」記事が分かり難い理由

- デザインが告知板らしくなく、告知として認識しづらい。

Q3. 今後掲載して欲しい情報はどのようなものですか（複数回答可）。

A3.



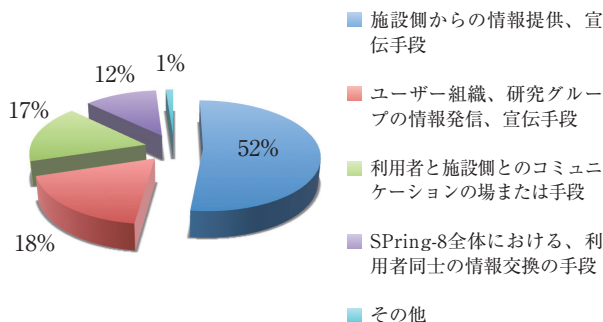
その他

- 広報活動の現状と将来計画
- 支出の内訳など施設の運営や財政面の情報
- 来年度運転予定表



Q4. SPring-8 利用者情報をどのように位置づけていますか（複数回答可）。

A4.

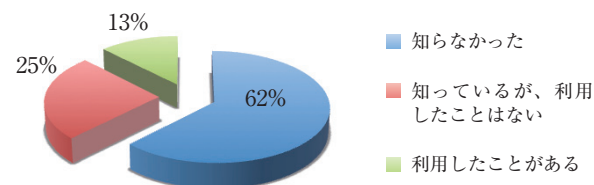


その他

- SPring-8の宣伝媒体
- SPring-8と利用者のきずな
- 施設側からの伝達手段、自己満足

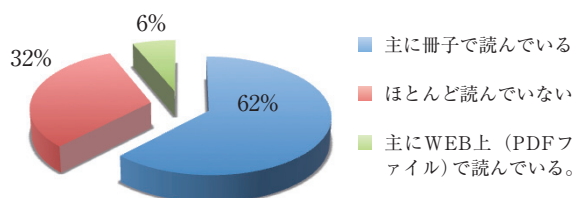
Q5. SPring-8 利用者情報のPDFファイルがSPring-8のWEBサイトに掲載されていますが、ご存じですか。

A5.



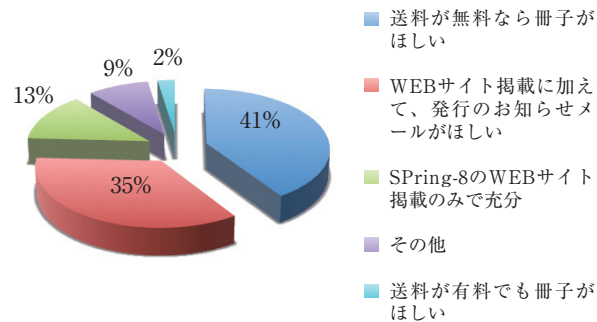
Q6. 利用者情報は冊子で読んでいますか、それともWEB上（PDFファイル）で読んでいますか。

A6.



Q7. SPring-8 利用者情報をどのような形態で入手したいですか。

A7.

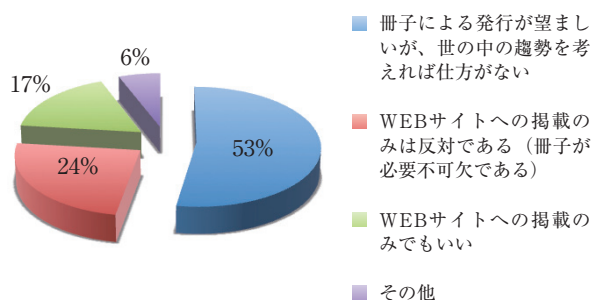


その他

- SPring-8のWEBサイト掲載に加えて、発行と記事のタイトルのリストのお知らせメールが欲しい。
- 現状でよい。
- あればたまにみる程度。
- WEBが良いが、PDFは不可。
- 冊子で発行される限りは送料の有無に関わらずほしいと思いますが、バックナンバーの置き場所の問題がそろそろあります。

Q8. SPring-8 利用者情報のWEBサイトのみの掲載について、どのようにお考えですか。

A8.



その他

- 可能であれば冊子による発行を希望。
- それぞれの組織、グループの1人、2人に代表してもらって冊子を配ればよいのではないかと。

Q9. 「最近の研究から」で取り上げてほしい記事及び記事全般に関するその他の提案がありましたら、ご自由にお書きください。

#### 取り上げて欲しい記事

- 燃料電池、太陽電池、蓄電池に関する記事
- 自由電子レーザーに関する基礎的講座を含む研究紹介など
- 事業仕分けについて
- Imaging関係
- 自由電子レーザーに関する基礎的講座を含む研究紹介、特に構造解析用資料の準備での従来との違いもまとめてほしい。
- 広い視点で記事を書いていただければ、と思います。
- 天文学に関係する事項。
- JASRIのグループあるいはチームの研究やBL整備に関する情報。BLサイエンティストがどのような研究を行っているのか、どのような研究を目指しているか、BLでどのような共同研究が行われているのか。
- 各ビームラインの特徴、そのビームラインを使った研究トピックスなどの記事の掲載を希望します。
- 少し主旨からは反れますが、SPring-8は最近存在感がありません。ワクワクするような成果が無いのは非常に寂しい限りです。これだけの大掛かりで莫大な税金をかけているのですから、利用者情報を読まなくてもNHKの7時のニュースに取り上げられるような、一般国民が容易に情報を得られるような取り上げ方がされるような成果を望みます。
- 情報発信の重要性を訴えておきながら、SPring-8としての広報活動の方向性が見えない。現在、SPring-8には何かと風当たりのきつい状況にあると思うが、これは国民への広報不足からくるSPring-8の重要性の理解不足に起因するものと考えられる。情報発信という重要な役割をユーザーにまかせきりにするのはいかがなものかと考える。SPring-8として、国民へ広報活動が行われているか、記事として取り扱っていただきたい。

#### 記事全般に関する提案など

- 「最近の研究から」の記事がいらぬ。
- 全体的にそれぞれの記事のデザインが同じなので、それぞれの記事が並列的に見えてしまう。もう少し記事毎の分類分けをしてみてもどうか。例えば、色わけしたインデックスをページ内の

右端につけて冊子を横からみてわかるようにするなど。

- WEBだけにするなら、「利用者情報」という形態は不要。適宜WEBサイトに情報掲示すればよい。
- 放射光学会誌があるので利用者情報はもういらぬ。
- Q8に関して、WEBサイトのみの掲載にすると、必要最小限の情報しか見ないようになりそうです。すなわち、Q2の①と⑦～⑪のような、SPring-8の多様な情報を見なくなることを懸念します。
- 特に提案はありませんが、施設まわりの自然、地理、歴史に触れた記事が楽しみでした。最近ないのでさみしく思っています。
- どこか節約できる場所があると思うので、冊子の利用者情報は続けていただければ、と存じます。そうでないとSPring-8は浮動的なユーザーとちよろちよろ研究を進めるだけの施設に成り下がる、と考えます。
- 記事検索ができるのなら、冊子よりもWEB掲載の方が便利になる。
- この冊子が届かない時、利用懇の会員になっているメリットは何になるのでしょうか。
- オフラインでも読めるように、1冊を1つのPDFにして配布してほしい。今のように目次と記事に分ける必要はないと思います。
- 掲載内容は大変充実しており、分かり易いように工夫されていると思います。大変有効に活用させていただいています。世の中の趨勢としてWEBサイトのみもやむを得ないと考えますが、見る機会が激減してしまうものと思います。これをカバーする目的として、各人宛のメールにてどのような記事が掲載されているのか、案内は重要だと思います。
- 調べたい時に調べるのであって全ての課題をチェックする事はほとんどない。つまり検索さえできればよいので、WEB Pageベースで充分。

#### アンケートへの意見

- 予算削減による緊急アンケートかもしれませんが、もしそうならばはっきりとそれを伝えプロモートされたらよいと思います。いずれにせよ利用者情報を、ユーザーサイドから見てより魅力的で役に立つ内容に改善していく良い機会かもしれません。

## 行政刷新会議の事業仕分けと利用者懇談会

SPring-8利用者懇談会 会長  
東京工業大学 応用セラミックス研究所  
佐々木 聡

### 1. はじめに

行政刷新会議の事業仕分けが開始され2日ほど経った11月13日金曜日に、第3WGから大型放射光施設(SPring-8)の運営予算を3分の1から2分の1程度縮減という判定結果が出て、SPring-8は共同利用の優等生と考えていた関係者や放射光研究者に激震が走りました。SPring-8の主な経費は、光熱水費を除くと施設を運転・維持管理し、利用者を支援するための人件費や施設保守費などの固定的経費であり、経費の大幅削減が行われると施設維持が困難になり放射光研究が不可能になると危惧されました。当日のお昼には沼子庶務幹事から幹事会に、利用者懇談会として何らかのアクションをとる必要があるのではないかと提案がありました。事業仕分けはまだ始まったばかりで全体像がつかめない段階でしたが、ユーザー共通の願いである実験環境やビームタイムを何としても確保したいという根幹部分については、色々な段階での結論が出される前に、素早く要望すべきだと感じました。

### 2. 利用者懇談会からの声明

「SPring-8における放射光実験ビームタイムの確保に関する要望書」を作成し、11月17日に文部科学省の川端達夫大臣、中川正春副大臣と後藤斎政務官宛に提出するとともに、面会の可能性を模索しました。そのときの要望書の内容は以下の通りです。

「11月13日の行政刷新会議の事業仕分けにおきまして、SPring-8の予算が大幅に縮減されるという結論が伝えられ、SPring-8利用者の間に大きな不安が広がっております。

国家予算の収支バランスを均衡のとれたものに向くことが緊急の施策であることは十分に理解しておりますが、将来の人類社会の発展のためには、たとえどのような状況下であっても、わが国の科学技術の水準を維持発展させていくことが必要不可欠であると考えております。そして先端的大型研究基盤施設として国費

で建設・運営されているSPring-8は、日本の科学技術の底辺を支える強力な基礎研究施設として、また、大学や各種研究所に散在する研究者が共同利用できる研究基盤として、日本になくてはならない確固たる研究拠点であると位置付けられます。実際に、学際領域を含む幅広い分野の研究を牽引する先導的な設備を有するとともに、わが国の大型研究施設での「共同利用研究」のモデルケースとなっています。

SPring-8の使命は科学技術基本法に基づき放射光科学の推進であり、その内容は、先端的科学・技術分野の促進、放射光利用技術の開発とその社会への還元、科学・技術水準の総体的向上などであると理解しております。いずれの使命も一朝一夕に達成できるものではなく、また放射光科学分野単独で出来るものでもありません。大学共同利用研究機関などと併せて、SPring-8の共用がわが国の研究基盤の強化に重要な役割を果たしていると日本学術会議も認めております(平成15年7月)。また、国際的な視点でも、科学技術に係る知識の集積が人類共通の知的資産であるとの認識から、多数の研究者が利用する大型研究施設は、オープンアクセス、成果の公開および無償利用を原則としています。

SPring-8利用者懇談会の構成会員は多岐の分野にわたりますが、多くは大学教員です。大学教員が研究を進めるにあたって、SPring-8を利用するのは不可欠な状況です。また、SPring-8は研究機関であると同時に、次世代の科学技術研究者育成のためのかけがえのない施設であり、SPring-8はその使命を十分に発揮しております。万一、放射光実験が行えないような事態になりますと、潜在的に独創的才能を有する若手研究者の多くが放射光利用の機会を奪われ、特に全国の大学院生が高度な教育訓練を受けられなくなるのではないかと危惧されます。

今回SPring-8の運営について検討される際には、研究・教育活動が十分に推進でき、真に優れた研究成果を挙げられる施設として、ビームタイムを確保するた



めの十分な経済的支援と適切な事業や制度を構築されますよう、強く要望いたします。』

### 3. その後の経過

次に行ったことは日本放射光学会への協力要請でした。11月17日のうちに尾嶋会長にお願いし、評議員間での議論の沸騰を受け学会としては冷静な対応を望むという雰囲気の中で、強い支援の約束をいただきました。翌日、利用者懇談会が文部科学大臣に要望書を持参する際には同行すると快諾をいただくとともに、他の学会に先駆けて科学技術の立場での放射光学会としての要望書を文部科学省に持参されました。強いサポーターの存在に心強く思ったものです。科学雑誌Natureの対応が素早く、David Cyranoski氏のJapanese science faces deep cutsという論説が17日にonlineでNature Newsに掲載されました。

同じく18日には、11日付で出されていた文部科学省からの事業仕分け対象事業でのパブリックコメントの募集に対し、懇談会会員の皆様に積極的な投稿をお願いしました。

文部科学省の大臣や政務官に直接面会するのは無理かなと諦めかけた頃、そのような機会が与えられました。当時、12月初旬には省内の予算が確定すると思われていましたが、まさにその直前の11月30日(月)に、後藤斎政務官と面会し、SPring-8を取り巻く環境の説明や要望をお伝えすることができました。この種の要望に関しては後藤政務官がすべて引き受けておられるとのことでした。面会したメンバーは、川上哲郎SPring-8利用推進協議会会長、尾嶋正治日本放射光学会会長とSPring-8利用者懇談会会長の私で(写真1)、それぞれ所属する団体の要望書を持参しました。その場では、SPring-8がもはや大学になくはならない施設であること、特に共同利用は研究室予算の少ない地方大学の研究者にとって強力な研究手段であり、もはや切っても切れない不可欠なものになっていること、放射光研究が科学技術の底辺を支える分析技術として重要であることをお話ししました。尾嶋会長からは30通以上の海外からの支援手紙の製本が手渡され、海外からも強い懸念が示されている状況が説明されました。政務官からは大臣ら政務3役の思いは事業仕分け前に提出した概算要求そのものであること、努力するが諸事情があり結果が不確かであることをぜひ理解して欲しいとの回答がありました。会談を通じて政務官の温



写真1 政務官との面会(尾嶋氏提供)

かい雰囲気が伝わり好印象をもって帰ってきました。SPring-8についての説明で、1つ1つのコンテンツで大学の研究室が行うようなマスコミにもあまり取り上げられないジミな研究をしていると話したときに、経済学専門の後藤政務官は、文科省に来て最初にSPring-8という言葉聞いた時に、なぜ春が8回も来るのか戸惑われたという感想を話されました。まさに寝耳に水で、SPring-8関係者は一般の人によく知られていると早合点してしまっているようです。一般の方への説明不足に如何に気づいていないかを思い知らされました。カレー事件で有名なSPring-8でも、兵庫県、関西、関東、東北では離れるにつれて知名度が全然違ってきます。12月5日には科学技術系の20学会が合同記者発表を行い、予算縮減が相次いだ行政刷新会議の事業仕分けを憂慮する声明が発表されました。その中でSPring-8や放射光が色々な学会の会長により何度も取り上げられていましたので、少なくとも専門家の間にはある程度認められてきているようです。また、12月9日に開催された総合科学技術会議では、着実に効率的に運用されているSPring-8に対し、予算の確保に努めるべきという判断が示されました。

12月25日には、事業仕分けの結果も含めて政府内で検討されていた平成22年度の政府予算案が閣議決定されました。SPring-8の運営予算案は、前年度から約1.7億円減の約84.9億円となりました。この削減額は当初心配したほど大きなものではなく、施設側からはホームページを通じ、効率的な運営や利用料金体系の再構築などの努力によって、できる限り従来と同程度の運転時間を確保するとのアナウンスがありました。

また、行政刷新会議の事業仕分けの対象となった

文部科学省事業についての意見募集（パブコメ）は、11月16日から12月15日の1ヶ月間で15万3,000件を超えたそうです。SPring-8も特に意見の多かった14項目の個別事項に入っており、文部科学省のホームページには、「事業仕分けの結果（1/3から1/2程度予算の縮減）に反対する意見が多く寄せられました。事業仕分けの結果や頂いた御意見を踏まえ、運営の一層の効率化に向け努力するとともに、利用料金体系の見直しなどにより自己収入の増額を図りつつ、施設運営のために不可欠な経費は確保して参ります。」との対応が掲載されています。多くの皆様の意見発信に対しまして深く感謝いたします。

#### 4. おわりに

厳しい国家予算の状況に変わりはなく、今年度よりも厳しい状況が次年度以降も続くことは必須です。SPring-8のような大型共同利用施設の運営経費は本来国がもつべきで、収益事業ではないことは明らかですが、残念ながら、そう主張するだけでは解決の糸口は見えてこないようです。本当に必要な予算は何かと問われる中で、利用者懇談会には何ができるのでしょうか。そのヒントは、行政刷新会議の事業仕分け第3WGから、大型放射光施設（SPring-8）に付けられたコメントの中にあります。そのコメントの2番目に、高額高コストのインフラなら波及効果を含めたメリットを説明しきる努力が必要（メリットそのものではなく説明の問題）、とあります。この部分は施設の努力だけでなく、ユーザー組織にも深く関係してきます。SPring-8の良さは利用する実験者が一番よく知っていますが、問題なのは、知らない人に如何に説明するかです。しかもその説明相手が専門家ではなく一般の国民としたらどうでしょうか。これまでSPring-8が非常に力を入れてきたホームページを通じての広報活動は、専門の近い周辺の分野の人にはかなりよく浸透し、今回の文部科学省のパブコメや記者発表などでは効を奏したのだと思います。しかし、その広報活動だけでは限界があります。なぜなら、ホームページには相手が見てくれるという条件がつくからです。多分、一夜にして解決というような妙案はないのだと思います。できることは、千数百名の懇談会会員の一人一人が地道な広報活動を行うことです。より専門に近いところでは、授業・講習会や啓蒙セミナーなどを通してSPring-8の紹介や放射光科学の面白さを伝えることでしょうか。そして、市民講座や生活に密着した

事柄でのアピールなど、できるだけ対象者の輪を拡げ、少しずつ社会に浸透させていく努力をすることでしょうか。

また、私たちには波及効果を含めたメリットとは何を意味し、それにどう係れるのでしょうか。ユーザーとしてまずやることは、得られた成果の公表でしょうか。膨大な運用予算を使用していますから、公表への責任はSPring-8利用の重みが比較的小さい場合でも重くなってきます。一例を挙げますと、論文中での議論の内容からみてSPring-8の貢献度が比較的小さい場合でも、SPring-8の利用を文中に明記するようなことが、モラル（あるいは義務）として問われてくると思います。言い換えれば、そのような努力が回りまわって、SPring-8の良さを説明してくれるはずですが、SPring-8で実験しているメインは優秀な若手研究者です。しかも共同利用ということで、日本や世界のあらゆる所からやって来ます。若手が育つことによる波及効果は、将来の社会にとって楽しみそのものではないでしょうか。

もう1つ事業仕分けで痛感したことですが、私たちは、SPring-8で実験したことのあるユーザー全員に呼びかける手段を持っていません。例えば、パブコメをお願いしようにも懇談会会員以外のアドレスはわかりません。ESRFやAPSを始め海外の主な放射光施設のように、SPring-8にもユーザー全員が加入したユーザー団体があった方がよくないでしょうか。実は、事業仕分け前に行われた昨年SPring-8シンポジウム（合同コンファレンス）で提案し、先日開催の利用者懇談会総会でも説明したのですが、利用者懇談会から呼びかけて、全ユーザー加入の新組織を創ることは無理でしょうか。新組織には最初の実験時に会費無料で登録することになり、しばらくSPring-8を離れても情報を共有できるメリットが得られます。利用者懇談会、利用推進協議会とスタッフ・ユーザーの3者が幹事としてお世話をすることは可能だと思います。

今後とも利用者懇談会にご協力をよろしくお願い致します。

佐々木 聡 *SASAKI Satoshi*

東京工業大学 応用セラミックス研究所  
〒226-8503 横浜市緑区長津田町4259番R3-11  
TEL : 045-924-5308 FAX : 045-924-5339  
e-mail : sasaki@n.cc.titech.ac.jp

## 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。

## 2009年度朝日賞

主催：朝日新聞文化財団

受賞者	豊島 近 東京大学 分子細胞生物学研究所 教授
ビームライン	BL41XU
研究業績	カルシウムポンプ作動機構の解明
研究内容	カルシウムポンプ蛋白質は生体膜に埋め込まれた膜蛋白質であり、ATP（アデノシン三リン酸）の加水分解によって放出されるエネルギーを利用し、濃度勾配に逆らってカルシウムイオンを輸送する。たとえば、筋肉の収縮のために、カルシウムの貯蔵庫である筋小胞体から放出されたカルシウムイオンを、筋小胞体中に汲み戻すことによって、筋肉の弛緩をもたらす。このポンプ蛋白質の作動機構を原子構造に基づいて理解することが本研究の目的である。2000年に最初の「カルシウム結合状態」の結晶構造を決定して以来、SPring-8の構造生物学IビームラインBL41XUを用い、運搬サイクル全体をほぼカバーする9つの中間状態の結晶構造を決定し、作動機構を解明した。
受賞理由	豊島教授グループは、困難なことで知られる膜蛋白質の結晶化に取り組み、独自の技術を開発してカルシウムポンプ蛋白質の構造決定に成功した。さらには、反応サイクル中の中間状態の構造を次々と決定し、濃度勾配に逆らってイオンを輸送するという複雑な動作を原子構造に基づいて説明するという画期的な研究を成し遂げた。しかも、構造変化の大きさは誰も予想し得なかったものであり、多くの派生的研究を促進するなど、構造生物学に多大なインパクトを与えた。

## 第7回ひょうごSPring-8賞

主催：ひょうごSPring-8賞実行委員会

受賞者	尾崎 哲也 (株)ジーエス・ユアサコーポレーション 研究開発センター第二開発部
ビームライン	BL19B2
受賞テーマ	ニッケル水素電池の高容量化と長寿命化
受賞理由	SPring-8のXAFS・粉末X線回折を用い、電池性能に優れた結晶系を同定するとともに、劣化につながる原因を解明し、合金化や元素の置換により世界初の「ポリタイプ積層水素吸蔵合金」を開発、ニッケル水素電池に採用。これにより市販化されたニッケル水素電池「eNi TIME（エニタイム）」は、従来品の蓄電性能を20%上回り、自己放電を大幅に改善することに成功、従来のアルカリ乾電池が使用されている機器に幅広く活用される等、大きな経済効果が期待される点が評価された。

## 平成21年度兵庫県科学賞

主催：兵庫県

受賞者	吉良 爽 (財)高輝度光科学研究センター 顧問
業績・活動	世界最高性能の放射光施設であるSPring-8の利用促進に努め、数多くの研究成果を創出し、国内外で高い評価を得るとともに産業利用の支援体制を整備するなど科学技術の発展に貢献
受賞者	宮野 雅司 (独)理化学研究所 宮野構造生物物理研究室
業績・活動	SPring-8を活用した膜蛋白質の研究により、世界に先駆けてウシロドプシンの結晶構造決定に成功するとともに、抗アレルギーの医薬品開発に貢献するなど医学の発展に貢献

[http://web.pref.hyogo.jp/ac13/ac13\\_00000009.html](http://web.pref.hyogo.jp/ac13/ac13_00000009.html)

<http://web.pref.hyogo.lg.jp/contents/000143300.pdf>より転載



## 第18回SPring-8施設公開 —たんけん・発見、科学の最先端！—

SPring-8では、毎年、科学技術週間（4月18日（発明の日）を含む1週間）にちなんで、「SPring-8施設公開」を実施しています。

第18回SPring-8施設公開は下記のとおり開催いたします。今年は「たんけん・発見、科学の最先端！」をキャッチフレーズに、科学講演会、科学実演・工作、見学ツアーをはじめとするいろいろなイベントを開催いたします。是非この機会にSPring-8の科学の最先端を体感してください。みなさまのご来場をお待ちしております。

○日 時：平成22年4月29日（木・祝日（昭和の日））  
9時30分～16時30分（受付は15時30分まで）

○場 所：大型放射光施設SPring-8（播磨科学公園都市内）

○入場料：無料（お気軽にお越しください）

○内 容：施設の公開、科学講演会、科学実演・工作、見学ツアー、パネル展示など

○問い合わせ先：(財)高輝度光科学研究センター 広報室

TEL：0791-58-2785 FAX：0791-58-2786

e-mail：openhouse10@spring8.or.jp

URL：http://www.spring8.or.jp/ja/news\_publications/events/open\_sp810

# 「SPring-8利用者情報」送付先登録票

## “SPring-8 Information” SUBSCRIPTION REQUEST FORM

(財)高輝度光科学研究センター 利用業務部図書情報課 「SPring-8 利用者情報」事務局  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1  
TEL: 0791-58-2797 **FAX: 0791-58-2798**

“SPring-8 Information” Secretariat, Library and Information Sec., User Administration Div.  
Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI)  
1-1-1 Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo 679-5198 JAPAN  
TEL: +81-(0)791-58-2797 **FAX: +81-(0)791-58-2798**

いずれかを○で囲んで下さい。 新規・変更・不要 (既に本誌がお手元に届いている場合は、新規の登録は不要です。)

Please check the appropriate box.

Add my name    Change my subscription information    Stop my subscription

フリガナ			
氏名 Name			
勤務先/所属機関 Affiliation	(旧勤務先) (Previous Affiliation)		
部署 Department/Division		役職 Job Title	
所在地 Address	〒		
TEL		FAX	
E-mail			

○その他の方で送付を希望される方は、本票に必要な事項を記入のうえ、図書情報課 (Fax: 0791-58-2798)までお送り下さい。

If you wish to subscribe to the "SPring-8 Information," please fill out and send this form to the Library and Information Section by fax at +81-791-58-2798.

○本誌は、SPring-8の利用者の方々に役立つ様々な情報を提供していくことを目的としています。ご意見、ご要望等ございましたら、ご連絡ください。

The SPring-8 Information aims at providing useful information for SPring-8 users. If you have any comments or suggestions, please feel free to contact us.

○上記の個人情報(名前、メールアドレス、連絡先等)は、SPring-8利用者情報誌発送以外の目的では利用いたしません。

We only use the personally identifiable information above (name and e-mail/postal addresses) to send you the "SPring-8 Information." We will not use the information for any other purposes.

ご意見/ご要望:  
Comments and suggestions:

## 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
	山田 裕弘	利用業務部
	淡路 晃弘	広報室
	持箸 晃	加速器部門
	古川 行人	制御・情報部門
	大橋 治彦	光源・光学系部門
	杉本 邦久	利用研究促進部門
	梶原堅太郎	産業利用推進室
	川上 泰弘	施設管理部
	田中 省吾	安全管理室
	山口 宏	利用者懇談会 編集幹事 (関西学院大学)
	小澤 芳樹	利用者懇談会 編集幹事 (兵庫県立大学)
	事務局	松本 亘
神田ゆかり		利用業務部

## SPring-8 利用者情報

Vol.15 No.1 FEBRUARY 2010

### SPring-8 Information

発行日 平成22年（2010年）2月16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)





梅の香に近き春を知るSPRING-8



財団法人 高輝度光科学研究センター  
Japan Synchrotron Radiation Research Institute

〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都<sup>こうと</sup>1-1-1  
[広報室] TEL 0791-58-2785 FAX 0791-58-2786  
[総務部] TEL 0791-58-0950 FAX 0791-58-0955  
[利用業務部] TEL 0791-58-0961 FAX 0791-58-0965  
e-mail : sp8jasri@spring8.or.jp  
SPRING-8 homepage : <http://www.spring8.or.jp/>