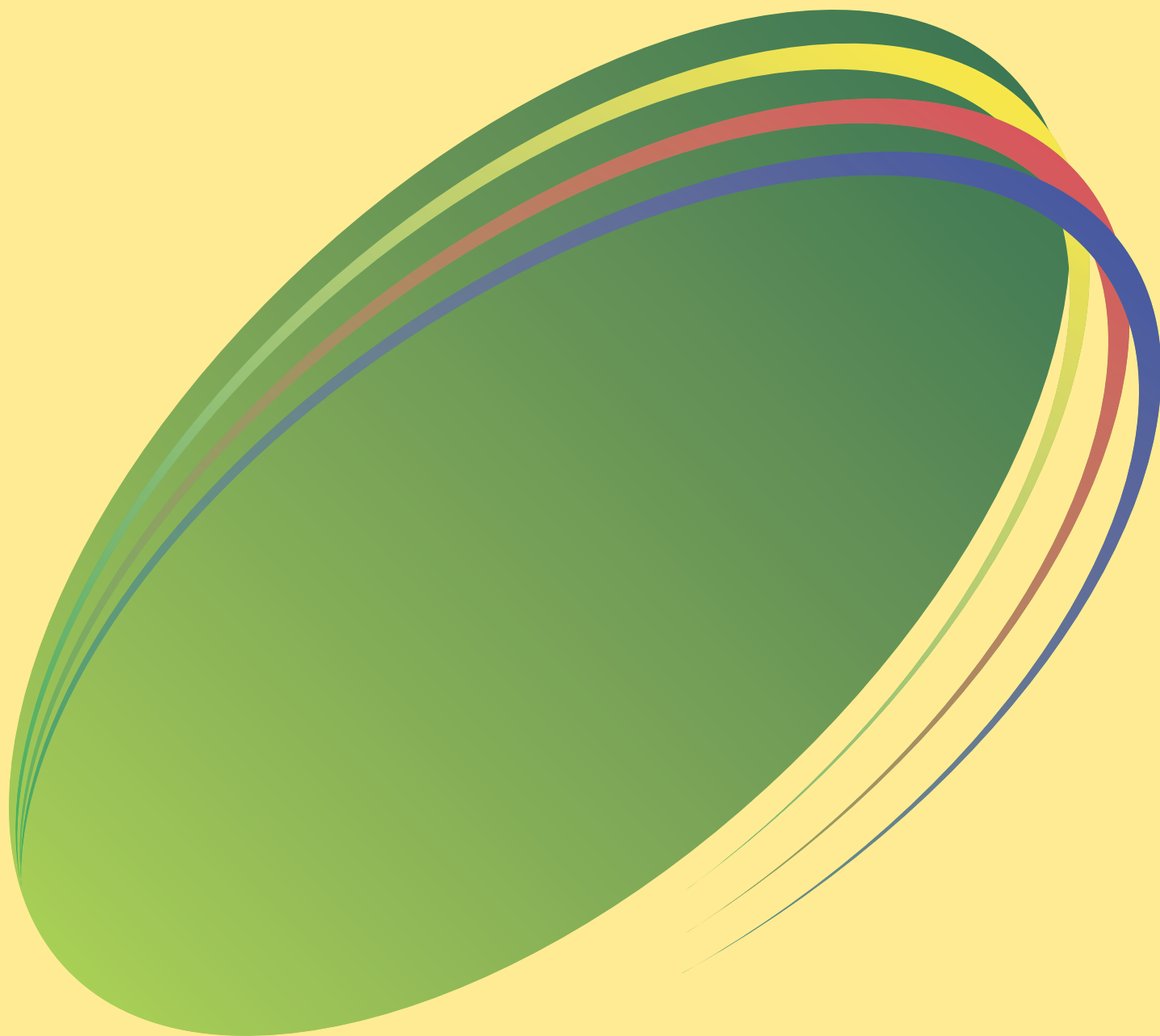


# SPring-8

INFORMATION  
[利用者情報]

Vol.13 No.2 2008.3



## SPring-8 Information

### 目次 CONTENTS

#### 理事長の目線

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

吉良 爽  
KIRA Akira

82

#### 1 . SPring-8の現状 / Present Status of SPring-8

平成20年前期共同利用期間( 2008A )における構造生物学ビームライン  
( BL41XUおよびBL38B1 ) の留保ビームタイムの運用について  
Call for the Reserved Beam Time Application 2008A for the Structural Biology  
(BL41XU, BL38B1) Beamlines

登録施設利用促進機関 (財)高輝度光科学研究センター  
A Registered Institution for Promoting Synchrotron Radiation Research, JASRI

83

2008A期におけるBL41XUを利用する成果公開優先利用課題の  
追加募集について

Call for 2008A Reserved Beamtime Non-Proprietary Grant - Aid Proposals Using BL41XU

登録施設利用促進機関 (財)高輝度光科学研究センター  
A Registered Institution for Promoting Synchrotron Radiation Research, JASRI

85

産業利用 ビームラインBL14B2におけるXAFS測定代行( 試行 )  
課題の募集について

Call for XAFS Measurement Service Proposals (trial) at Engineering Science  
Research Beamline (BL14B2)

登録施設利用促進機関 (財)高輝度光科学研究センター  
A Registered Institution for Promoting Synchrotron Radiation Research, JASRI

87

平成20年度 放射光に関わる加速器、ビームライン機器、  
計測機器等の研究の募集について ( 萌芽的研究支援 2 )

Call for Budding Research Support Proposals 2 (Accelerator, Beamlines, Detectors)

(財)高輝度光科学研究センター  
JASRI

91

東京大学物質科学ビームライン計画( 東大放射光アウトステーション )  
University-of-Tokyo Materials Science Beamline Project -UT SR Outstation-

東京大学 放射光連携研究機構  
Synchrotron Radiation Research Organization, The University of Tokyo

尾嶋 正治  
OSHIMA Masaharu  
柿崎 明人  
KAKIZAKI Akito

92

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

99

|  |   |                    |           |
|--|---|--------------------|-----------|
| 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   | .....              | 101       |
| 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   | .....              | 103       |
| 2 . 最近の研究から / FROM LATEST RESEARCH                                 |   |                    |           |
| X線 1 分子追跡法考案ビフォーアフター   |   |                    |           |
| Proposing and Afterwards at Diffracted X-ray Tracking (DXT) Method |   |                    |           |
|  | (財)高輝度光科学研究センター 利用研究促進部門  | 佐々木 裕次             |           |
|  | Research & Utilization Division, JASRI  | SASAKI C. Yuji     | ..... 110 |
| 3 . 利用者懇談会研究会報告 / RESEARCH GROUP REPORT(SPring-8 USERS SOCIETY)    |   |                    |           |
| マイクロ・ナノイメージングと生体機能研究会報告  |   |                    |           |
| Activities of “ Biomedical Micro / Nano Imaging ” Group            |   |                    |           |
|  | 東海大学 工学部  | 伊藤 敦               |           |
|  | School of Engineering, Tokai University                                       | ITO Atsushi        |           |
|  | 東京大学大学院 新領域創成科学研究科  | 百生 敦               |           |
|  | Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo                 | MOMOSE Atsushi     |           |
|  | 神戸大学大学院 医学系研究科  | 篠原 正和              |           |
|  | Kobe University Graduate School of Medicine                                   | SHINOHARA Masakazu |           |
|  | 東京大学 総括プロジェクト機構   | 水谷 治央              |           |
|  | Organization for Interdisciplinary Research Projects, The University of Tokyo | MIZUTANI Haruo     | ..... 122 |
| X線スペクトロスコーピー利用研究会  |   |                    |           |
| Research Group of X-ray Spectroscopy Users                         |   |                    |           |
|  | 京都大学大学院 工学研究科   | 田中 庸裕              |           |
|  | Graduate School of Engineering, Kyoto University                              | TANAKA Tsunehiro   | ..... 128 |
| 4 . 告知板 / ANNOUNCEMENT   |   |                    |           |
| 独立行政法人理化学研究所 播磨研究所 ポスドク研究員募集                                       |   |                    |           |
| コヒーレントX線回折イメージング研究   |   |                    |           |
| RIKEN POST-DOCTORAL POSITIONS at Japan's XFEL /                    |   |                    |           |
| SPring-8 Coherent X-ray Diffraction Imaging                        |   |                    |           |
|  |   |                    | ..... 132 |
| 「SPring-8 利用者情報」送付先登録票   |   |                    |           |
| “ SPring-8 Information ” Subscription Request Form                 |   |                    |           |
|  |   |                    | ..... 133 |

# 理事長の目線

財団法人高輝度光科学研究センター  
理事長 吉良 爽

年が明けて1月に、供用10周年記念の行事の一環として、産業利用講演会が東京で行われた。今回は、産業利用の先導的ユーザーである会社の責任者に講演をお願いし、経営戦略にかかわるような方に多数招待状を送った。その招待に対して、10周年のご祝儀的な意味もあるが、代理を含めて83名の出席者があり、それ以外の関係者を加えて聴衆は全部で約120名程度であった。

講演はどれも大変面白かった。聞き終わったあと、これは産業界の指導者だけでなく、SPring-8の学术利用利用者やJASRIの研究者・技術者にも一度聞いてもらいたい、という思いが強く湧いてきた。参会者からも同じ感想を聞いた。秋に行われた10周年記念式典の時も、産業利用に関する報告を聞いて、何人かの学术関係者が、予想以上にしっかりやっている、という驚きの念をこめた感想を述べていたが、今回は、各事業分野の世界的展望から始まって、その中におけるSPring-8の利用の話が、具体的な成果の紹介と将来展望という形で提示されたので、印象はもっと強かった。産業利用はいつの間にか私の想像を超えた水準に達していたのである。強い関心を持って推進してきた私がそう感じるくらいであるから、無関心であった多くの学术利用者もきっと驚くのではなかろうか、というのが私の素朴な感想である。ついでにいえば、素直に驚いて欲しい、というのが私の願いである。

これまで産業利用を軌道に乗せるために、JASRIは、産業利用支援室を利用促進部門から独立させるという無理な運営をしなければならなかった。しかし、学术と産業の利用がこのような形で分かれているのは過渡的な姿であって、本来は学术も産業も同じ枠の中にあって相互に影響しあいながら発展するのが望ましいことはいうまでもない。産業利用が力をつけ、周囲への説得力を持ってきたことによって、

学术側の理解と共感を得て、学术との融合へ大きく近づいたように思う。そのための第一歩として、ここに述べた10周年記念産業利用講演会のような内容のものを、学术関係者を対象として行うことは有意義ではなかろうかと思う。

このような時期に、学术のリードの下に企業体が集まり、より高度な成果をあげることを目指してフロンティアソフトマター開発産学連合体が発足し、この新しい形を具現するための専用ビームラインの建設の準備に取りかかっている。これこそ産学が共通に利用するSPring-8のあるべき姿の一つと思うので、大いに期待しているところである。過去の経緯を乗り越えて、お互いを認め合った協力関係を作り出すのに、機は熟してきていると私は感じる。

# 平成20年前期共同利用期間(2008A)における構造生物学ビームライン(BL41XUおよびBL38B1)の留保ビームタイムの運用について

登録施設利用促進機関  
財団法人高輝度光科学研究センター

平成20年前期共同利用期間(2008A)に、構造生物学ビームライン(BL41XUおよびBL38B1)に留保ビームタイムを設けました。下記の要領で利用研究課題(成果非専有課題のみ)の募集を行います。なお、BL41XUでは成果公開優先利用課題についても留保ビームタイムを設けましたので、本誌85ページから86ページの「2008A期におけるBL41XUを利用する成果公開優先利用課題の追加募集について」を参照してください。

## 1. 利用期間と応募締切

| BL     | 利用期間                      | シフト数 | 締切            |
|--------|---------------------------|------|---------------|
| BL38B1 | 04/18 10:00 ~ 04/20 10:00 | 6    | 04/04(金)10:00 |
| BL41XU | 04/20 10:00 ~ 04/21 10:00 | 3    | 04/04(金)10:00 |
| BL38B1 | 05/23 10:00 ~ 05/24 10:00 | 3    | 05/09(金)10:00 |
| BL41XU | 06/04 10:00 ~ 06/05 10:00 | 3    | 05/21(水)10:00 |
| BL38B1 | 06/05 10:00 ~ 06/09 10:00 | 12   | 05/21(水)10:00 |
| BL38B1 | 06/17 10:00 ~ 06/19 10:00 | 6    | 06/03(火)10:00 |
| BL41XU | 06/30 10:00 ~ 07/01 10:00 | 3    | 06/16(月)10:00 |
| BL38B1 | 07/01 10:00 ~ 07/03 10:00 | 6    | 06/16(月)10:00 |
| BL41XU | 07/04 10:00 ~ 07/04 18:00 | 1    | 06/20(金)10:00 |
| BL38B1 | 07/08 10:00 ~ 07/10 10:00 | 6    | 06/24(火)10:00 |
| BL38B1 | 07/18 10:00 ~ 07/19 10:00 | 3    | 07/04(金)10:00 |
| BL38B1 | 07/20 10:00 ~ 07/22 10:00 | 6    | 07/04(金)10:00 |

## 2. 応募条件

以下の(1)~(3)の条件を満たしていただける場合。

- (1) 実験の実施全体に対してSPring-8の現場で責任をもつことができる方
- (2) 対象ビームラインの利用経験がある方(ビームライン担当者による支援は最低限としますのでご了承ください)
- (3) 利用日の1週間前までに、平成20年度分の放射線業務従事者登録申請書(様式5-1)の書類提出が完了できる方

## 3. 応募方法

User Informationウェブサイトから申請してください。

User Information : <http://user.spring8.or.jp/>

トップページ > ログイン > 課題申請 / 利用計画書 > 課題申請 / 利用計画書作成

課題を申請するには、まずユーザーカード番号とパスワードでログインする必要があります。

なお、実験責任者は、ログインのアカウントのユーザー名で登録されるため、代理で課題申請書を作成する場合は、実験責任者のユーザーカード番号で作業の上、提出する必要があります。その場合、アカウントやパスワードの管理は実験責任者の責任の下でお願いします。

[成果非専有課題における留保ビームタイムの申請方法]

- (1) 「成果の形態および課題種」の選択画面で“成果を専有しない”を選択
- (2) 「共用ビームライン」選択欄で“一般課題”を選択
- (3) 「申請形式」選択欄は“留保ビームタイム”を選択
- (4) 「基本情報」の「留保ビームタイム」選択欄では、“BL (2008. . . :00 - 2008. . . :00)[シフト]”を選択

詳しくは、User Informationウェブサイトの「利用申請」(トップページ > SPring-8利用案内 > 課題申請)をご覧ください。

Web入力に問題がある場合は、次頁[問い合わせ先]へ連絡してください。応募締切時刻までに連絡を受けた場合のみ別途送信方法の相談を受けません。申請が完了し、データが正常に送信されれば、受理通知と申請者控え用の誓約事項のPDFファイルがメールで送られますので、必ずご確認ください。

#### 4. 留意点

- (1) 持ち込む試料：利用研究課題申請書に記載のものに限ります（試料および薬品等申請書で変更を審査する時間がないため）。
- (2) 集合：ビームラインの習熟度に応じて、使用方法説明のため割り当てビームタイム開始時刻よりも早い時間にお越しいただくことがありますので、ご了承ください。
- (3) ビームライン点検：それぞれのビームタイムの終了後に次の利用者との間で行ってください。
- (4) 消耗品実費負担：SPring-8ホームページの「SPring-8における消耗品実費負担に対応する利用方法の詳細について」(トップページ>お知らせ>アナウンス)をご覧ください。
- (5) 審査結果の通知前に次の留保ビームタイムの締め切りがあるため複数のビームタイムに申請し、1課題が採択されれば以降のビームタイムが不要となる場合、申請書の「提案の種類と提案理由」にその旨を記載してください。その際、希望シフト数より少ないビームタイム配分となることも想定して記載してください。  
例) シフト以上で採択されたら、以降の申請は取り下げます。

#### 5. 審査結果の通知

審査結果は、課題実施の1週間前にメールまたは電話にて通知いたします。正式な通知書も追って送付いたします。

#### [ 問い合わせ先 ]

〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1  
(財)高輝度光科学研究センター 利用業務部  
楠本久美、平野志津  
TEL : 0791-58-0961 FAX : 0791-58-0965  
e-mail : sp8jasri@spring8.or.jp



## 2008A期におけるBL41XUを利用する成果公開優先利用課題の追加募集について

登録施設利用促進機関  
財団法人高輝度光科学研究センター

BL41XUに成果公開優先利用課題の留保ビームタイムを設けました。2008Aの留保ビームタイムについて以下の要領でご応募ください。

### 1. 利用期間と応募締切

| BL     | 利用期間                      | シフト数 | 締切            |
|--------|---------------------------|------|---------------|
| BL41XU | 04/18 10:00 ~ 04/20 10:00 | 6    | 04/08(火)10:00 |
| BL41XU | 05/23 10:00 ~ 05/24 10:00 | 3    | 05/13(火)10:00 |
| BL41XU | 06/05 22:00 ~ 06/09 22:00 | 12   | 05/26(月)10:00 |
| BL41XU | 06/16 22:00 ~ 06/19 10:00 | 7.5  | 06/06(金)10:00 |
| BL41XU | 06/19 22:00 ~ 06/20 10:00 | 1.5  | 06/06(金)10:00 |
| BL41XU | 07/01 10:00 ~ 07/03 10:00 | 6    | 06/20(金)10:00 |
| BL41XU | 07/08 10:00 ~ 07/10 10:00 | 6    | 06/27(金)10:00 |
| BL41XU | 07/20 10:00 ~ 07/22 10:00 | 6    | 07/10(木)10:00 |

### 2. 応募資格

申請者(実験責任者)が以下の競争的資金(一般に公開された形で明確な審査を通過して得られた大型研究費を有する公的な課題と定義)において、総額2千万円以上(再委託等で別の研究機関に配分される額を除いた額)の研究課題の採択をうけた方、あるいは総額2千万円以上の研究課題の採択をうけた方から再委託で当該年度500万円以上を配分された課題分担者を対象とします。

(1) 国が実施する競争的資金(所管省庁は問いません)

科研費補助金、科学技術振興調整費など

(2) 独立行政法人などの政府系機関が実施する競争的資金

JST、NEDO、医薬品機構など

対象とする競争的資金は内閣府総合科学技術会議が公表しているものを基本とします。

<http://www8.cao.go.jp/cstp/compefund/ichiran.html>

大学内ファンド、民間資金によるファンド、日本国外のファンドは対象外とします。

競争的資金を受けた課題の趣旨とSPring-8利用申

請の内容が異なると認められる場合は、対象外とされることがあります。

### 3. 応募方法

(1) Webサイトからの申請準備

申請される方は、以下「6. 問い合わせ先(書類提出先)」まで連絡してください。優先利用課題のWeb申請ができるように設定します。なお、課題を申請するにはユーザーカード番号とパスワードでログインする必要がありますので、まだユーザーカード番号を取得していない方は、以下のUser Informationウェブサイトから申請してください。

(2) Webサイトからのオンライン課題申請

User Information : <http://user.spring8.or.jp/>

トップページ > ログイン > 課題申請/利用計画書 > 課題申請/利用計画書作成

から、新規作成の「New」をクリックし、「成果を専有しない」を選択するといくつかのSTARTボタンをクリックできるようになりますので、共用ビームラインの「成果公開優先利用課題」をクリックしてください。上記1)で連絡いただいた方のみ、「成果公開優先利用課題」のSTARTボタンをクリック出来るように設定します。

必須入力項目

- ・実験課題名(日本語および英語)と研究分野分類・研究手法分類
- ・希望ビームラインと所要シフト数
- ・安全に関する記述
- ・SPring-8を必要とする理由
- ・実験方法:「タンパク質結晶構造解析」と記入してください。
- ・ビームライン選定の理由
- ・競争的資金の情報(制度名/公募主体/資金を受けた課題名/研究代表者名/課題の概要/実施年度/資金額)

必ず、利用希望日時を課題名（必須入力項目：「実験課題名（日本語）」の後に記入してください。例）「・・・課題名・・・【4/18～20 希望】」

(3) 郵送等オフラインで提出するもの

1) 成果公開優先利用同意書

(User Informationサイトからダウンロードしてください)

2) 競争的資金申請書のうち、研究目的と研究計画についての部分のコピー

(申請書に放射光を利用する研究であることが触れられていない場合は、補足説明をつけてください。PDFファイルに変換し電子メールでの添付提出も可能です。)

上述2点を「6. 問い合わせ先（書類提出先）」へ郵送してください。その際は封筒に「成果公開優先利用書類」と朱書きしてください。

4. 応募締切

前述 1. に記載のとおりです。同意書、研究目的と研究計画のコピー郵送期限は、各締切日の2日後必着とします。

電子申請システムの動作確認はしておりますが、予期せぬ動作不良等の発生も考えられます。申請書の作成（入力）は時間的余裕をもって行っていただきますようお願いいたします。

Web入力に問題がある場合は「6. 問い合わせ先」へ連絡してください。応募締切時刻までに連絡を受けた場合のみ別途送信方法の相談を受けます。申請が完了し、データが正常に送信されれば、受理通知と申請者控え用の誓約事項のPDFファイルがメールで送られますので、必ずご確認ください。また、システムの都合上、メール本文で「受理期：2008B」と表示されていますが、2008A期で受理いたします。

5. 課題審査

安全性、技術的可能性のチェック及びSPring-8を利用する必要性を審査します。優先利用枠を超えるシフト数の応募があった場合には、予算規模（複数のサブテーマが含まれる課題については、申請者の分担予算額）の大きい順に順位をつけます。ただし、シフト配分に対して相応の成果が期待できないと判断される場合は、利用研究課題審査委員会で順位を判断します。

6. 問い合わせ先（書類提出先）

〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1  
(財)高輝度光科学研究センター 利用業務部  
平野志津、楠本久美  
TEL：0791-58-0961 FAX：0791-58-0965  
e-mail：sp8jasri@spring8.or.jp

7. 審査結果の通知

審査結果は、課題実施の1週間前にメールまたは電話にて通知いたします。正式な通知書も追って送付いたします。

8. 料 金

優先利用料：131,000円/シフト（税込）

なお別途、消耗品費の実費負担をお願いします。詳細はSPring-8ホームページの「SPring-8における消耗品実費負担に対応する利用方法の詳細について」(トップページ>お知らせ>アナウンス)をご参照ください。

定額分：10,300円/シフト（税込）

(利用者別に分割できない損耗品費担当)

従量分：使用に応じて算定

(液体ヘリウム、ヘリウムガスおよびストックルームで提供するパーツ類等)

9. 成果の公表

課題終了後60日以内に所定の利用報告書をJASRIに提出していただきます。JASRIでは、2008A期終了後60日目から2週間後に利用報告書をWeb公開します。また、論文発表等で成果を公表して、公表後すみやかにJASRIに登録していただきます(本利用は成果公開ですので、一般課題の成果非専有課題と同等の成果の公表となります)。



## 産業利用 ビームラインBL14B2における XAFS測定代行( 試行 )課題の募集について

登録施設利用促進機関  
財団法人高輝度光科学研究センター

2008A期産業利用 ビームラインBL14B2においてXAFS測定代行( 試行 )課題の募集を行います。以下の要領でご応募ください。

### 1. 産業利用 ビームラインBL14B2におけるXAFS測定代行( 試行 )課題について

XAFS測定代行( 試行 )は、産業利用 ビームラインBL14B2において(財)高輝度光科学研究センター(JASRI)産業利用推進室のスタッフがユーザーに代わってSPring-8を利用した測定を行う課題です。ユーザーのSPring-8へのご来所および測定現場へのお立会いは任意としており、試料をSPring-8へ送付することにより利用課題の実施が可能です。企業内あるいは研究組織内で専門スタッフを確保することが困難な中堅企業あるいは研究組織等への利便性拡大や即時利用ニーズへの対応を図るべく測定代行の利用制度を試行的に実施するものです。

本試行実施を通じて具体的な利用ニーズの把握を行うとともに、制度化に向けた課題整理を行い、効果的かつ効率的な支援体制構築に資することを目的としています。

2008A期は『成果専有時期指定課題』の一形態として取扱うことから、課題申請(ここでは課題登録)および消耗品実費負担と成果専有(時期指定)に掛かるビームタイム使用料の負担等については、当該『成果専有時期指定課題』に準じた運用となります。

### 2. 募集領域

- ・広帯域XAFS測定(4~72keV)
- ・希薄・薄膜試料のXAFS測定

### 3. XAFS測定代行( 試行 )課題における試料および測定時の試料環境

- (1) 生物(動物、植物、微生物)試料は、原則として対象外とします。
- (2) 財団が定める「ランク4」の化学薬品、即ち、

下記に列記したとおり、取扱いに際し国または県の許可が必要な物質は、対象外とします。

- 1) 化学兵器の禁止および特定物質の規制等に関する法律に定める特定物質
  - 2) 麻薬および向精神薬取締法に定める麻薬および向精神薬
  - 3) 覚醒剤取締法に定める覚醒剤およびその原料
  - 4) 大麻取締法に定める大麻草およびその製品0
  - 5) あへん法に定めるあへん、けし、けしがら
  - 6) 毒物および劇物取締法に定める特定毒物
  - 7) 労働安全衛生法に定める製造禁止物質
- (3) ガス雰囲気下など“その場(in situ)測定”は、原則として対象外とします。

### 4. 対象ビームライン

BL14B2 産業利用 ビームライン

### 5. 実施予定

上記ビームラインを対象に下記の日程で各3シフトずつを割り当てます。

- 1) 平成20年4月6日(日)10:00~  
4月7日(月)10:00(3シフト)
- 2) 平成20年5月12日(月)10:00~  
5月13日(火)10:00(3シフト)
- 3) 平成20年6月15日(日)10:00~  
6月16日(月)10:00(3シフト)
- 4) 平成20年7月14日(月)10:00~  
7月15日(火)10:00(3シフト)

### 6. 利用料金

利用料金は、次の(1)および(2)の合計金額となります。2008A期では測定代行( 試行 )課題として実施されるため、次の(1)および(2)以外の料金は発生いたしません。

- (1) 成果専有時期指定に掛かるビームタイム使用料  
測定方法、試料数、測定スペクトル数によりビ

ームタイムが算出されます。下記の応募方法にある手続きにしたがって、JASRIスタッフと十分に事前打合せを行い、必要ピームタイムを確認していただく必要があります。そこで確認されたピームタイムで成果専有時期指定料金相当(180,000円/2時間)が算出されます。

(2) 消耗品実施負担相当額

測定代行に掛かる消耗品費(定額分(2,575円/2時間)および従量分(測定代行中に使用した消耗品等の金額))を徴収いたします。

7. 応募方法

(1) 申込受付

測定代行(試行)課題を希望される方は、『測定代行申込書(様式A)([https://user.spring8.or.jp/files/applications/daikou\\_form\\_A.doc](https://user.spring8.or.jp/files/applications/daikou_form_A.doc))』により事前に測定代行の申込を行っていただきます(様式Aは上述のウェブサイトからダウンロードしてご利用ください)。必要事項をご記入のうえ、JASRI産業利用推進室(daikou@spring8.or.jp)宛に申込書をメール添付でお送りください。その際のメール件名は『測定代行申込』とご記入願います。

(2) 事前打合せおよび内容確認

申込を受け付けた後、JASRI産業利用推進室のスタッフが測定代行の実施内容に関して事前打合せをさせていただきます(SPring-8へのご来所は任意です)。事前打合せ終了後、産業利用推進室から申込者に対し『測定代行実施内容等確認書(様式B)』および課題申請用記入要領を併せて送付しますので、記入要領に従って課題登録を行ってください。

(3) 課題登録

『測定代行実施内容等確認書(様式B)』を受け取っていただいた後、『成果専有時期指定課題』として、ウェブサイトを利用した電子申請をしていただくことで、課題登録となります。郵送、宅配、FAX、メール、持ち込みによる申請は受け付けません。以下のUser Informationウェブサイトから申請してください。

User Information : <http://user.spring8.or.jp/>  
トップページ>ログイン>課題申請/利用計画書>課題申請/利用計画書作成

『成果の形態および課題種』の選択画面で“成果を専有する”をチェックし、『成果専有時期指定

課題』を選択してください。

課題を申請するには、まずユーザーカード番号とパスワードでログインする必要があります。まだユーザーカード番号を取得していない方は、ユーザー登録を行ってください。

なお、申込責任者は、ログインのアカウントのユーザー名で登録されるため、代理で課題申請書を作成する場合は、申込責任者のユーザーカード番号で作業のうえ、提出する必要があります。その場合、アカウントやパスワードの管理は申込責任者の責任の下でお願いします。

また、『成果専有時期指定課題』の電子申請の際に、『成果専有利用同意書』も合わせて提出(紙ベースによる送付)していただきます。

<同意書送付先>

〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1  
財団法人高輝度光科学研究センター 利用業務部  
『測定代行(試行)』係(朱書で記入すること)  
TEL : 0791-58-0961 FAX : 0791-58-0965  
e-mail : sp8jasri@spring8.or.jp

8. 応募締切

各実施予定日に対する締切は下記のとおりですが、先着順とします。

(1) 申込締切

- 1) 平成20年3月21日(金)10:00
- 2) 平成20年4月28日(月)10:00
- 3) 平成20年5月30日(金)10:00
- 4) 平成20年6月30日(月)10:00

(2) 課題登録締切(オンラインによる「成果専有時期指定課題」の提出締切)

- 1) 平成20年3月31日(月)10:00
- 2) 平成20年5月8日(木)10:00
- 3) 平成20年6月9日(月)10:00
- 4) 平成20年7月10日(木)10:00

ただし、申込受付、事前打合せおよび内容確認が終了していることが条件となります。

9. 測定代行(試行)実施に必要なオンライン提出資料  
事前打合せと同時並行して審査していただきました実験内容の安全性が確認された後、下記の2つの資料をオンライン提出していただきます。

- 1) 試料および薬品等持込申請書
- 2) 利用申込書:測定代行者(SPring-8スタッフ)を利用申込書に記載してください。

10. 試料送付

試料をSpring-8へ送付していただきます。送付先は下記のとおりです。

< 試料送付先 >

〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1  
財団法人高輝度光科学研究センター 利用業務部  
『測定代行（試行）』係（朱書で記入すること）  
TEL：0791-58-0961 FAX：0791-58-0965  
e-mail：sp8jasri@spring8.or.jp

11. 実施方法等

- (1) 上記のとおり、試料送付を受け付けます。
- (2) Spring-8へのご来所、測定現場へのお立会いは任意です。ただし、測定現場への立会いは、共同利用実験の実施と同様の事前手続きが必要となりますので事前打合せの際に、ご相談ください。
- (3) 測定代行の実施後、申込責任者に対し、実施ビームタイム等の確認書を送付いたしますので、ご記入の上ご返送ください。
- (4) 申込責任者の確認連絡後、測定代行者はビームタイム利用報告書を提出します。
- (5) 測定データは、電子媒体に収納し、実施報告書とともにお渡しします。
- (6) 試料は測定後に返却いたします。なお、送料は

ユーザー負担となります。

- (7) 利用成果(測定データ)はユーザーに帰属します。
- (8) 申込責任者に利用料金の請求書を送付し、利用料金をお支払いいただきます。
- (9) 測定代行実施後、測定代行支援の制度化に関するご意見をお聞きしますので、ご協力をよろしくお願いします。

12. その他

(1) 測定代行の相談窓口

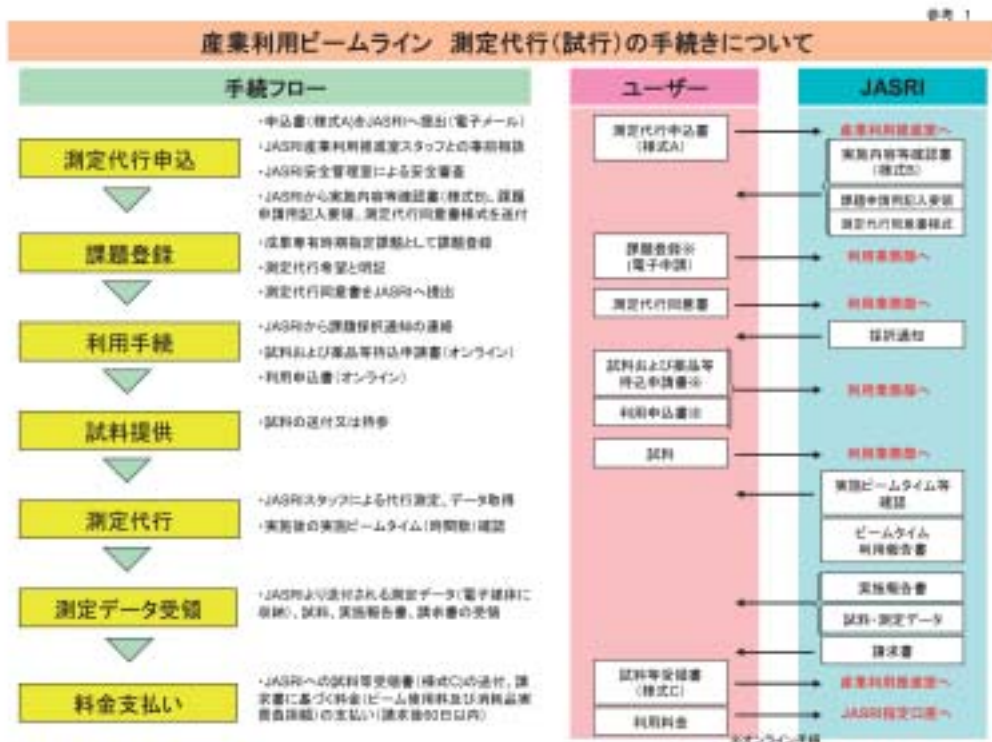
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1  
財団法人高輝度光科学研究センター 産業利用推進室  
TEL：0791-58-0924 FAX：0791-58-0830  
e-mail：daikou@spring8.or.jp

(2) 手続きに関する問い合わせ

〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1  
財団法人高輝度光科学研究センター 利用業務部  
TEL：0791-58-0961 FAX：0791-58-0965  
e-mail：sp8jasri@spring8.or.jp

【ご参考】

1. 産業利用ビームライン測定代行（試行）の手続きについて





2. SPring-8測定代行（試行）同意事項

- (1) 実験課題を申請する際、実験責任者が財団法人高輝度光科学研究センター（以下「甲」という。）に対して誓約した事項と当該同意事項が矛盾する場合、同意事項を優先する。
- (2) 機関（以下「乙」という。）は実験課題の実施につき、試料等の測定を甲に依頼する。甲は、依頼された測定を代行するにあたり、測定代行内容確認書を乙に発行し、確認書の範囲内で測定代行を行う。
- (3) 乙は、測定代行を依頼した試料等（以下「測定試料等」という。）に関する情報を甲に提供する。
- (4) 乙は、測定試料等に対し、十分な安全対策等を施す。
- (5) 甲は、測定代行が終了したときは、その結果を甲の定める実施報告書に基づき、乙に発行する。なお、実施報告書の発行後、修正等が必要となったときは、新規に実施報告書を発行する。
- (6) 甲は、測定代行終了後、実施報告書と共に、返還可能な測定試料等を乙に返還する。返還に係る費用は、乙が負担する。
- (7) 測定代行により得られたデータは、乙に帰属する。
- (8) 甲は、測定代行終了後、ビームタイム利用報告書により測定ビームタイム及び使用した消耗品を乙の同意を得て確定し、乙にビーム使用料及び消耗品費を請求する。乙は、請求日から60日以内に甲が指定する銀行口座に、請求された金額を振り込む。なお、振込手数料は乙の負担とする。
- (9) 測定代行に係るビーム使用料は、成果専有時期指定利用料金（180,000円 / 2時間）を適用する。
- (10) 測定代行に係る消耗品費は、定額分（2,575円 / 2時間）及び従量分（甲が指定する消耗品等の金額）とする。
- (11) 乙が、ビームタイムの減少を希望する場合、測定予定日の2週間前までに甲に書面にて通知し、了解を得る。
- (12) 甲の装置の故障等、乙の責任によらない原因により、測定予定ビームタイムが減少した場合、又は測定予定ビームタイムを利用出来なかった場合、測定ビームタイムについて、甲乙協議の上、確定する。
- (13) 乙は、甲の責任及び免責について、次の各号について同意する。
  - 1) 測定代行は、甲が実施するビームラインにおいて、通常の測定支援を通じて蓄積された既存

の技術水準により行うものであり、甲が当該技術水準を超えて測定代行を実施することを保障するものではないこと、及び得られた結果の正確性・有用性を保障するものではないこと

- 2) 甲が、測定試料等の保管、処理、測定等を行った際に生じた損害について、甲の故意による場合を除き、賠償請求を行わないこと
  - 3) 測定ビームタイムの減少に伴い、測定試料等に損害が生じた場合でも、賠償請求を行わないこと。また減少したビームタイムの補填を請求しないこと
- (14) 甲は、乙から提出された申請書類等の取扱及び保管を厳格に行い、利用申請の内容に係わる秘密を保持し、第三者に開示又は漏洩しない。乙から提供された測定試料等及び測定結果の管理責任は甲が持ち、乙は甲の要請に基づき必要な協力を行う。甲は事前に乙と合意した事項以外は公表しない。この秘密保持の期間は、乙が同意した日から3年間とする。
- (15) 甲は、測定代行に関する支援体制の検討にあたり、乙の同意を得た内容について、乙に対し意見等を求めることができるものとし、乙は必要な協力を行う。

## 平成20年度 放射光に関わる加速器、ビームライン機器、計測機器等の研究の募集について（萌芽的研究支援2）

財団法人高輝度光科学研究センター

萌芽的研究支援は、将来の放射光研究を担う人材の育成を図ることを目的として、萌芽的・独創的な放射光科学研究を創出する可能性のある大学院生を対象に、旅費及び研究のための実験等消耗品を支援するものです。平成20年度に加速器、ビームライン機器、計測機器等の研究を下記の要領により募集します。

### 募集領域

加速器、ビームライン機器、計測機器等の研究

### 応募資格

課題実行時に大学院博士後期課程に在学する者でSPring-8における研究に対して主体的に責任を持って実行できる方。

なお、指導教員が申請を許諾し、SPring-8での研究に対し責任を負える方に限ります。

### 応募方法

(1) 申請書 1部

(2) 誓約書 1部

[ 誓約書には申請者と指導教員の署名が必要 ] を、下記提出先へ送付してください。封筒に「萌芽的研究支援2 応募書類」と朱書してください。

申請書ダウンロードURL

[http://user.spring8.or.jp/files/budding\\_researchers/form01\\_13\\_2n\\_ja.doc](http://user.spring8.or.jp/files/budding_researchers/form01_13_2n_ja.doc)

誓約書ダウンロードURL

[http://user.spring8.or.jp/files/budding\\_researchers/form07\\_13\\_2n\\_ja.pdf](http://user.spring8.or.jp/files/budding_researchers/form07_13_2n_ja.pdf)

### 応募締切

平成20年4月18日(金)午前10時JST

(国内からの応募は4月16日消印有効 / 誓約書の送付期限 平成20年4月25日)

### 審査

JASRIの審査委員会で審査されます。

### 審査結果の通知

平成20年5月中旬の予定

### 報告書

課題終了後、支援対象研究に関する論文、あるいは研究報告書（A4和文5枚程度）をご提出いただきます。

### 旅費支援

SPring-8までの旅費（滞在費込み）を支援します。

### 提出先・問い合わせ先

〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1

(財)高輝度光科学研究センター 利用業務部

楠本久美、平野志津

TEL : 0791-58-0961 FAX : 0791-58-0965

e-mail : sp8jasri@spring8.or.jp

## 東京大学物質科学ビームライン計画 (東大放射光アウトステーション)

東京大学 放射光連携研究機構(工学系研究科) 尾嶋 正治  
東京大学 放射光連携研究機構(物性研究所) 柿崎 明人

### 1. はじめに

平成18年5月1日、東京大学は総括室直轄の時限プロジェクトとして放射光連携研究機構を開設し、物質科学部門と生命科学部門を両輪として放射光利用研究を推進することとなった<sup>[1]</sup>。具体的には、物質科学部門では最高輝度の軟X線ビームラインを新しく建設し、物質科学、ナノテクノロジーの分野で卓越した成果を出し、技術の発展、若手の育成をはかるとともに、ナノビーム、時間構造、コヒーレンスなどを利用する次世代研究の芽を育てることをねらいとしている。一方、生命科学部門においてはビームラインを建設するのではなく、構造生物学研究室を設置して迅速なタンパク質構造解析を可能にすることで、生命科学における突出した成果を世界に向けて発信することを目的としている。

放射光連携研究機構の設立理念は、「世界最高の高輝度放射光を用いて生命科学、物質科学における最先端サイエンスを展開し、卓越した研究成果を出し続けて世界をリードする。また、これらを体系的に行うことによって生命科学と物質科学の融合、シナジー効果によって新しい研究分野を創出する。」であり、基本方針として、

- (1) 世界最高輝度の特色ある「東大ビームライン」を作ってこれを機構の中核とし、既存施設ビームラインを活用する「連携ビームライン」と併せて「東大放射光アウトステーション」として上記ミッションを達成する。
- (2) 原則として、アンジュレータなどの基幹的インフラは東大の概算要求、あるいは東大資金で建設し、実験装置については外部資金を戦略的に獲得して設置する。
- (3) 物性研が担ってきた「VUV/SX全国共同利用」は、PF、SPring-8の共同利用制度のもとにこれを継続する。

とうたっている。これに基づき、SPring-8にビームライン建設趣意書、計画書を提出し、その承認を待

ってビームライン建設を開始した。完成は2009年度中の予定である。

### 2. 物質科学用ビームラインの建設・特性

東京大学放射光アウトステーション物質科学ビームライン計画では、SPring-8の27m長直線部(BL07IS部)に軟X線領域の高輝度放射光を発生するアンジュレータと高輝度軟X線に対応したビームラインと高分解能分光光学系を建設・整備し、高いエネルギーおよび空間分解能で先端放射光利用実験を行う実験装置を設置して物質科学研究の飛躍的な進展を目指している(Fig. 1)。特に、マイクロビーム、時間構造、コヒーレンス、偏光特性など、SPring-8のアンジュレータで利用可能となる高輝度放射光の特徴を活かして、物質の電子状態解析、磁性体の磁化過程、化学反応や触媒反応過程の解析、ナノスケールの局所構造解析、生体物質の構造や機能解明などを行って、物質の構造や機能の理解の精度を上げ、新しい学問分野の創成に寄与することを目標としている。物質科学部門は、このビームラインの建設・整備、放射光利用研究の推進と共同利用実験のサポートの中核を担う予定である。

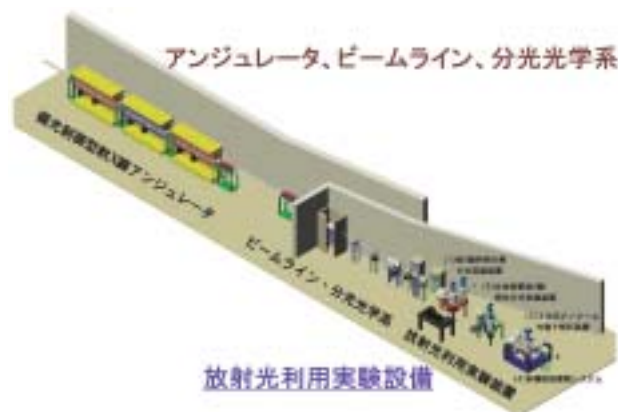


Fig. 1 Schematic of University-of-Tokyo Materials Science Outstation at SPring-8.



建設中のアンジュレータは、水平および垂直偏光を発生する8の字アンジュレータを8セグメント交互に配置し、基本波が250eV～2keVをカバーし、各セグメント間に設置するバンブ磁石で位相を制御して偏光切り替えを行うものである。アンジュレータの概略をFig. 2に示す。特に、このアンジュレータには光源の位置を変えずに偏光の切り替えを行うことができるという優れた特徴がある<sup>[2]</sup>。アンジュレータの建設は、SPring-8の挿入光源グループの協力を得て平成19年度に水平偏光部4セグメント部分がスタートし、平成21年度以降に垂直偏光部4セグメントを増設する予定である。全体が完成すると、水平および垂直偏光のほかに左右切り替え可能な円偏光が高輝度軟X線を利用する様々な研究に利用できるようになる。現在予定されている建設計画のスケジュールをFig. 3に示す。

フロントエンドを含むビームラインと分光光学系の設計・建設準備作業も進行中で、SPring-8のこれまでの実績を基礎に、前置鏡とダイアフラムからなる前置光学システム、斜入射平面回折格子分光器、それぞれの実験装置に最適化した放射光を照射する後置光学システムで構成する分光システムについてJASRIと協力して検討している。Fig. 4にビームラインの概要を示す。このビームラインの実験設備で、10 $\mu$ m × 10 $\mu$ m以下に集光された250eV～2keVの軟X線領域の10<sup>12</sup> photons/sec以上の強度の高輝度放射光がエネルギー分解能10,000以上で利用できることを目指している。

物質科学部門では、最先端の放射光利用実験装置を整備して軟X線領域の放射光を利用して行われてきた物質科学研究を、これまで以上に高い空間、時間分解能で行って進展させるとともに、SPring-8の長尺アンジュレータによって初めて実現できる高輝度放射光の特徴を活用して、ナノ磁性体のスピンドイナミクスの実時間観察、光励起中間状態の

型式： 偏光制御軟X線アンジュレータ  
 基本波： 250eV～2keV  
 輝度： 10<sup>19</sup> photons/sec/mm<sup>2</sup>/mrad<sup>2</sup>以上  
 偏光： 垂直、水平直線偏光および左右円偏光



Fig. 2 Schematic of Polarization control soft X-ray undulator at the SPring-8 long straight section.

高速緩和現象の解明、表面化学反応中間体の同定など、これまで空間平均、時間平均的な描像でしか理解することができなかった物質のダイナミクスの原因を解き明かす新しい研究領域の発展にも力を注いでいく予定である。このビームラインの整備と高輝度放射光を利用する物質科学研究は、次世代放射光源（ERLおよびXFEL）の超高輝度、短パルス放射光を利用する物質科学研究にもつながると期待している。

このビームラインでの研究計画と実験設備の具体的な仕様策定については、若手研究者を中心に議論されており、VUV・SV利用者懇談会（辛会長）の中に下記5つのサブグループが作られ、各世話人のもとで実験計画の議論が行われてきた。

- (1) ナノビーム高分解能光電子分光
- (2) 生体物質軟X線発光分光
- (3) 時間分解軟X線分光
- (4) 軟X線光電子顕微鏡によるナノ構造物質の構造と機能解析
- (5) 軟X線イメージング

これらの提案に加えて回折スペクトロスコピーについても新しく提案された。そこで限られた予算を使ってどのテーマを優先して建設すべきかについて



Fig. 3 Construction schedule for University-of-Tokyo Materials Science Outstation .

光学系の構成: 前置光学システム、斜入射平面回折分光器、後置光学システム  
 エネルギー範囲: 250eV~2keV  
 分解能:  $E/\Delta E \sim 10,000$  以上  
 ビームサイズ:  $10\mu\text{m} \times 10\mu\text{m}$  以下

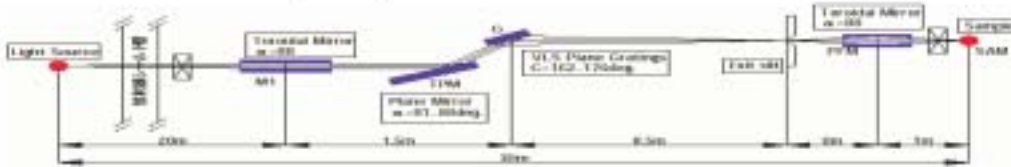


Fig. 4 Schematic drawing of soft X-ray beamline.

議論するため、平成19年12月8日にISSPミニシンポジウム「東京大学アウトステーション計画の実験設備について」を開催し、テーマの優先度を審議した。以下の6名によるプレゼンが行われ、ぎりぎりの議論が行われた。

- (1) 組頭広志(東京大学工学系研究科)「走査型ナノ光電子分光による機能性界面のピンポイント計測」
- (2) 原田慈久(東京大学工学系研究科)「超高分解能軟X線発光分光による固体・固液・液液界面の電子状態分析」
- (3) 松田巖(東京大学物性研究所)「時間分解高輝度軟X線分光で展開する物性科学」
- (4) 奥田太一(東京大学物性研究所)「光電子顕微鏡による物性研究の現状と展望」
- (5) 小野寛太(高エネルギー加速器研究機構)「軟X線分光ホログラフィによるナノ材料・生体のイメージング」
- (6) 松井文彦(奈良先端科学技術大学院大学)「回折スペクトロスコープ：原子サイト選択的な電子状態・原子軌道の分光研究」

一方、東京大学放射光連携研究機構が文部科学省に提案していた概算要求について、平成19年12月に内示額の提示があり、全国共同利用の位置づけが正式に認められたが、予定した実験装置を全て準備することはできない状況になった。そこで、平成20年1月13日の日本放射光学会第21回年会・合同シンポジウム中に開催したVSX高輝度光源利用者懇談会で議論した結果、Fig. 1に示すように、3つの実験装置を準備するとともに、1つのフリーポートを準備してユーザーの装置持ち込み実験を可能にすることで合意が得られた。

具体的には、2006年度からナノ領域高分解能光電

子分光実験装置の整備が戦略的創造研究推進事業(JST-CREST)によって進められており、ビームラインの建設・整備後に利用可能となる予定であるので、これを優先的に設置することとした。また、放射光とレーザーとの同期照射による時間分解分光実験の要素技術開発が、今年度から科研費を利用して始まっており、新しい実験に向けたR&Dが行われている。

近年、高輝度放射光源の利用を重点的に推進する動きが世界各地に広がっていて、既存の放射光施設にはそれぞれ軟X線領域のアンジュレータが設置されている。しかし、光子エネルギー250eV~2keVの領域で本計画のアンジュレータほど高い性能を示すものはない。本計画で建設・整備するアンジュレータとそれを最大限利用可能にするビームライン、分光光学系および先端的実験設備が、多様な物質群を研究対象とする物質科学研究の分野で国際的研究拠点の一つになることを期待している。

### 3. ビームラインにおける研究計画

#### 3-1. ナノビーム高分解能光電子分光

SPring-8の超高輝度性という特徴を活かして軟X線ナノビームを作り、ナノ領域の新物質の電子構造、物性を解析する研究を展開する。具体的には、Fig. 5に示すように軟X線放射光をZone plateによって50~30nmにまで絞り、試料をピエゾ駆動機構でx-y面内で走査することで2次元の電子構造の情報を得る。角度分解型電子アナライザーを用いて一挙に光電子を取り込むことによって、ナノ領域(ナノ結晶)の深さ方向(z)解析が可能になる。エネルギー分解能は50meVをめざす。ZPを用いたビーム集光はピンホールサイズとZPまでの距離、エネルギー分解能、およびZP最外殻spacingの3項が効いてくる

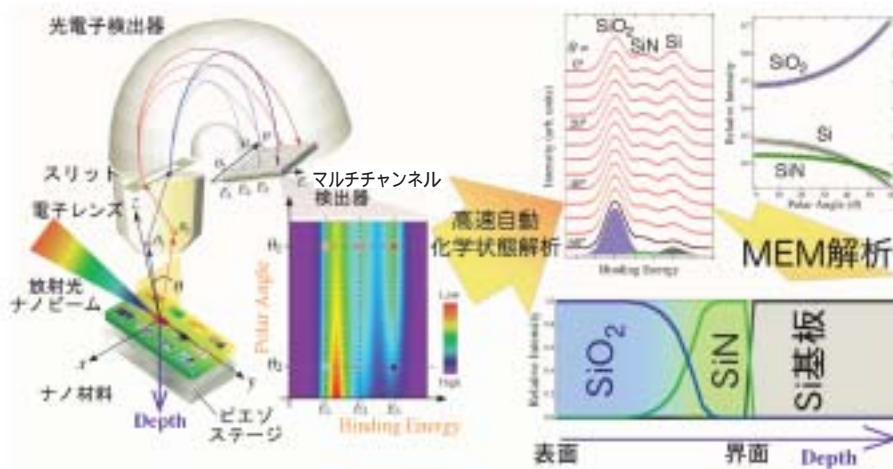


Fig. 5 Outline of Nano-beam 3-dimensional analysis project.

ので、高輝度ビームラインの特徴が十分に発揮される。これによって、例えばFig. 5 に示す次世代LSI用ゲート絶縁膜のx - y - z 3次元分布解析（化学結合状態識別）が可能になる。すなわち、検出角度依存光電子スペクトルを我々が開発した最大エントロピー法MEMで解析することによって深さ方向元素分布（3次元分布）を得ることが出来、素子プロセスの開発に貢献出来る。また、InGaNなどの半導体量子ドットや強相関係酸化物薄膜パターンにおいては相分離現象の制御（あるいは活用）が大きな課題となっており、ナノ領域における組成、電子（化学）状態の解明、処理時間依存性の解析によって、相分離メカニズムの解明に大きな威力を発揮するものと期待している。

### 3-2．生体物質軟X線発光分光

軟X線発光分光法はphoton-in/photon-outの手法であるため、深く埋もれた界面（特にデバイス構造の界面）絶縁物薄膜や固液界面における電子状態を検出することが出来る。ここでは、エネルギー領域：0.25～1.2keVに対して従来の検出効率を維持しつつ、エネルギー分解能： $E/\Delta E \sim 10000$ という軟X線光電子分光に匹敵する高性能な軟X線発光分光装置を開発し、一方で光源の十分なphoton fluxを活かして秒単位の高速度・高分解能測定を目指す（Fig. 6）。放射光をKBミラー方式でサブマイクロビームにして試料に照射することで、デバイス界面構造において最も重要な部分（例えばゲート電極直下のチャンネル領域）に焦点を絞った電子状態解析が可能になる。次世代LSI用high-kゲート絶縁膜では界面のシリケ

ート化が不均一に起きるため、サブマイクロビーム発光分光の電子状態マッピングは極めて有益な界面情報を与える。

一方、発光の元素選択性と絶縁物でも測れる特徴を活かせば溶液、生体物質の物性と機能性の根源に迫ることが可能になる。特に固液界面の解析ではタンパク質・DNAの機能性に及ぼす水の影響を解明することをめざしている。また、ナノ空間の溶液＝細胞水モデルの構築によって生体内の水の働きを解明していく。さらに、金属タンパク質の反応中心における多機能性の電子論的解明をめざす。

### 3-3．時間分解測定

長尺アンジュレータの放射光パルス（パルス幅30～40ps）と同期したフェムト秒レーザーパルス（10～100fs）を発振するレーザーステーションをビームラインに設置する（Fig. 7）。そして原子構造、電子状態、スピンの向きを直接プローブできる軟X線分光の特性を活かし、多種多様なピコ秒時間分解軟X線分光実験を行う。レーザーステーションから時間分解測定専用実験装置とその他の実験ステーションへポンプレーザーを導くことで、ピコ秒時間分解のX線吸収（NEXAFS、MCD）、X線光電子分光（XPS）、X線回折（XRD）、光電子顕微鏡観察（PEEM）、X線発光（XES）などの実験が可能になる。その結果、化学の分野では、TiO<sub>2</sub>表面の光触媒を中心とした光化学反応のリアルタイム測定や氷結晶/金属界面の水分子の動的観察などが実現し、また物理の分野ではナノスケール物質のコヒーレント格子波の伝播や、光誘起相転移、スピンドYNAMICSなどの研究が行われ



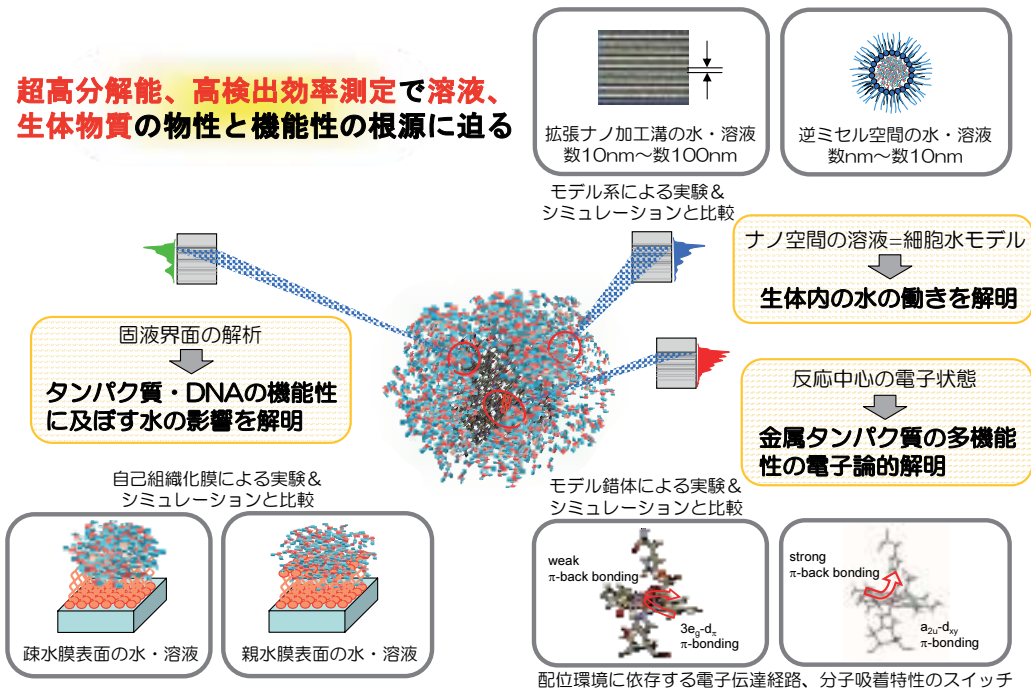


Fig. 6 Outline of Soft X-ray emission spectroscopy project

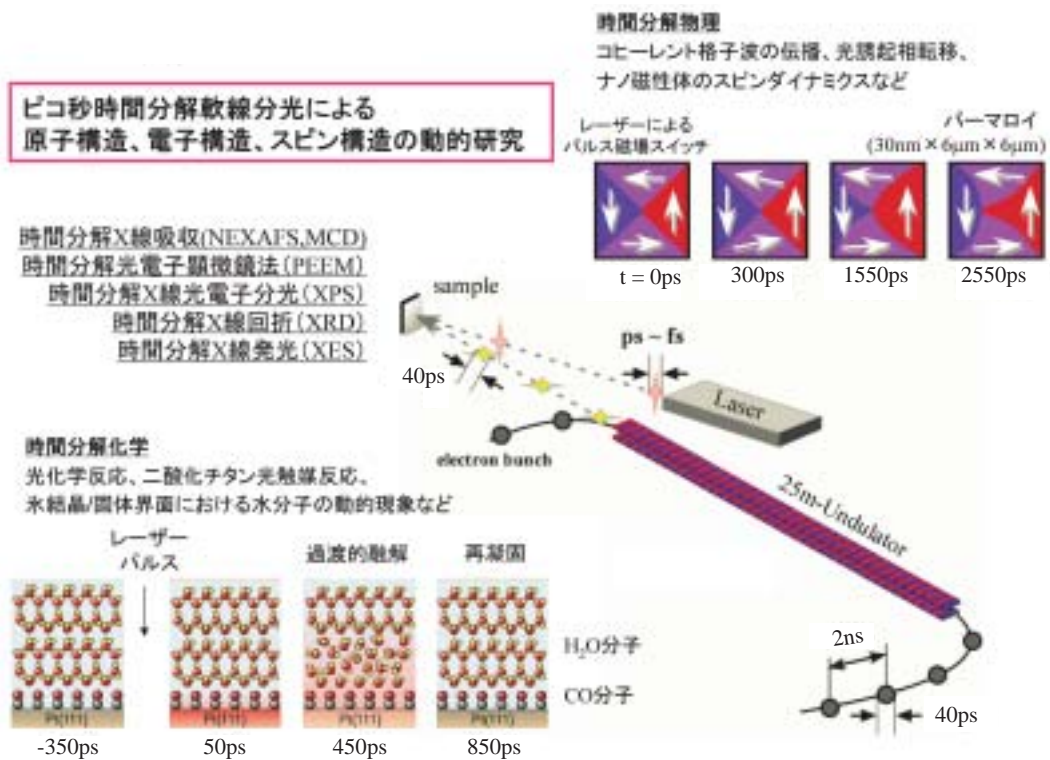


Fig. 7 Outline of Time-resolved soft X-ray spectroscopy project.

る。さらに、X線分光におけるケミカルシフトとピコ秒の時間分解能を利用すれば、現在技術開発が進められている高速(原子)スイッチング研究への応用も可能である。一方、本光源は高輝度軟X線であるため非線形光学現象の発現も期待され、新しい時間分解軟X線分光技術も開発されるであろう<sup>[2,3]</sup>。

### 3-4 . 軟X線光電子顕微鏡によるナノ構造物質の構造と機能解析

結像(投影)型の放射光光電子顕微鏡は実時間で0.5eV以下の分解能で光電子イメージを撮影することが可能であるため、ナノ構造の表面・界面における反応や、磁性体の磁区ドメインの動的観察、デバイス駆動中の界面電子状態変化などを解析することができるという優れた特徴を持つ。ここでは、エネルギー範囲：250~2000eVで、空間分解能：30nm以下、エネルギー分解能：200meV以下を達成し、SPring-8の短いパルス幅(~40ps)をプローブとして用いることにより

ナノ磁性体の磁区ドメインの高速観察( $t < 100ps$ )  
 ナノ領域の高エネルギー分解能光電子分光：ケミカルシフトの観測( $E < 200meV$ )  
 触媒反応のその場観測などを行う。

### 3-5 . 軟X線イメージング

軟X線イメージング法では、X線に比べて物質との相互作用が強いため、高感度、高速、生体構成元素(C、Nなど)が可能になる。また、ナノデバイスの界面観察(デバイス応用)、ナノ磁性体の磁気構造(物性物理、磁気工学)、生体物質のイメージング(細胞生物学)、単一分子イメージング(環境科学、生物学)、ポリマー・ソフトマター(材料科学)、ナノスケール3次元CT(ナノ科学)、など幅広い分野への応用が可能になる。

一例を挙げると、遷移金属元素が希薄に含まれているポルフィリン系試料(クロロフィル、ヘモグロビンなど)の超薄膜を堆積し、金属原子(Mn、Feなど)のイメージングを可能にし、電荷移動、酸化還元反応の高速追跡を試みて機能と界面電子状態の関係を明らかにすることも夢ではないと考えている。

### 3-6 . 回折スペクトロスコピー

光照射された試料からあらゆる方向に放出される信号を余すところなく拾い集める検出器を用い、先端分光を展開する研究提案。これまで光電子・Auger電子回折とX線光電子分光・X線吸収分光法を組合せ、磁性薄膜や超伝導体表面のサイト選択

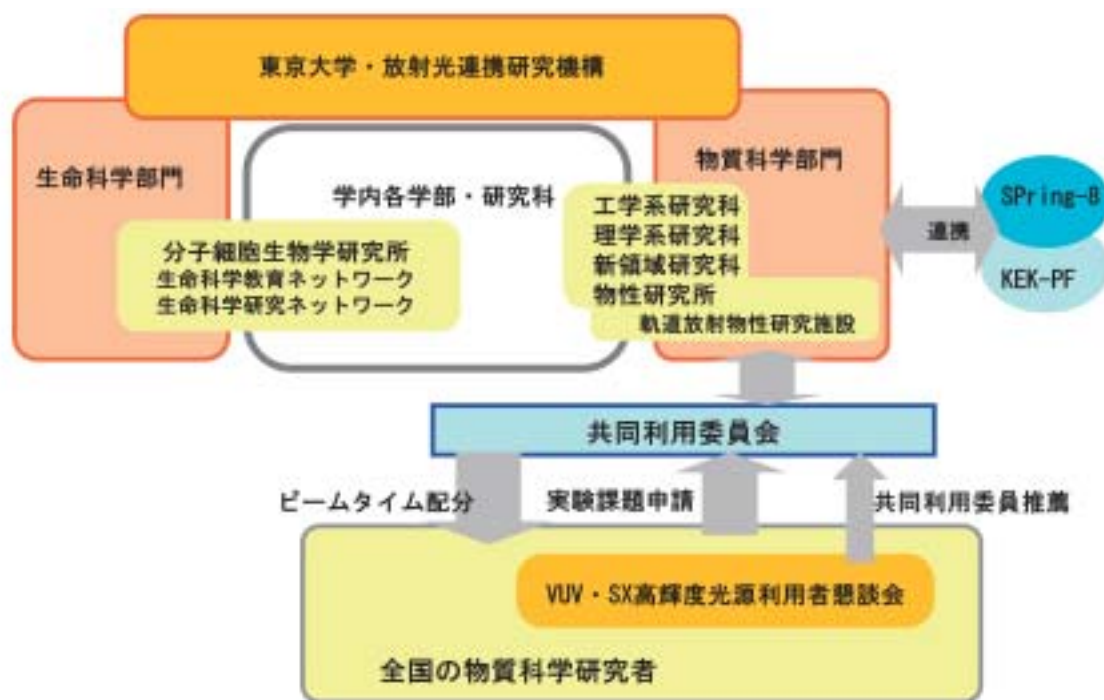


Fig. 8 Relationship among University-of-Tokyo Synchrotron Radiation Research Organization, synchrotron radiation facilities and users community.

的・原子層分解の電子状態や磁気構造を解析してきた。また単一エネルギー電子ホログラフィの解析アルゴリズムの開発も進んでいる。一度に回折"snap"パターンが測定できる特徴を活かし、新光源では2D focused beam scanによる微結晶・不均一系構造解析や時間・温度依存性測定による反応・相転移ダイナミクス追跡が研究の柱となる。電子状態や磁気構造の原子サイト選択的・立体的解析という点に独自性を求めていく。力を最大限発揮できる対象は結晶・配向性試料。「原子軌道」の情報に直接アクセスできるメリットは大きい。

#### 4. まとめ

東大放射光アウトステーション軟X線ビームラインは限られた予算で世界最先端の軟X線利用物質科学研究を展開しようとするもので、SPring-8物質科学用軟X線ビームラインに設置する実験装置について、文部科学省大型設備費用に加えて、各種外部資金で建設する予定である。このビームラインの運営は全国共同利用を原則としており、Fig. 8 に示す共同利用体制を考えている。限られたリソースを最大限に利用するためには、全国の軟X線利用研究者との密接な連携、研究計画のさらなる練り上げが不可欠である。東大柏キャンパスで予定していた高輝度光源計画で提案されていた研究テーマのいくつかは時代遅れになっており、この分野の研究競争の激しさを痛感している。このSPring-8軟X線ビームラインだけでは多くの利用者の要求を満たすことは到底不可能であるが、真に最先端をねらう研究を展開して大きな成果を挙げることで次の展望が開けてくるものと確信している。引き続き、温かいご支援をお願いしたい。

#### 謝辞

本計画を進めるに当たって放射光連携研究機構設立にご尽力頂いた方々にこの紙面を借りて厚くお礼申し上げます。特に、東大放射光アウトステーションWGのメンバー（五神真氏、寿榮松宏仁氏、野村昌治氏、山本雅治氏、若槻壮市氏、雨宮慶幸氏、上田和夫氏、桐野前副学長、岡村副学長、藤森淳氏、近藤寛氏、豊島近氏、高田昌樹氏、吉信淳氏、辛埴氏）、VUV/SX利用者懇談会、およびその利用WG世話人（組頭広志氏、松田巖氏、奥田太一氏、原田慈久氏、小野寛太氏、松井文彦氏）の方々に感謝いたします。

#### 参考文献

- [ 1 ] <http://www.chem.t.u-tokyo.ac.jp/appchem/labs/oshima/SRRI/index.html>
- [ 2 ] 田中隆次：放射光 **16 (2)** (2003) 35.
- [ 3 ] [http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/labs/sor/srl\\_short.html](http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/labs/sor/srl_short.html)

#### 尾嶋 正治 OSHIMA Masaharu

東京大学 放射光連携研究機構 機構長（工学系研究科）  
〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1  
TEL : 03-5841-7191 FAX : 03-5841-8744  
e-mail : oshima@sr.t.u-tokyo.ac.jp

#### 柿崎 明人 KAKIZAKI Akito

東京大学 放射光連携研究機構 物質科学部門長（物性研究所）  
〒277-8581 千葉県柏市柏の葉5-1-5  
TEL : 04-7136-3400 FAX : 04-7134-6083  
e-mail : kakizaki@issp.u-tokyo.ac.jp



## 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19年12月～平成20年2月の実績

SPring-8は12月21日から平成20年1月21日までマシンの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実施した。

## 1. 冬期長期運転停止期間中の主な作業

## (1) 線型加速器関係

クライストロン点検作業  
その他作業及び点検

## (2) シンクロトロン関係

イオンポンプ電源改造  
その他作業及び点検

## (3) 蓄積リング関係

中央制御室運転端末Linux化作業  
既設ID/FE改造・保守点検  
RF点検作業  
新規BL建設・準備作業  
その他作業及び点検

## (4) ユーティリティ関係

電気設備保守点検作業  
冷却水設備保守定期点検  
空調用設備保守点検作業  
防災設備保守点検作業  
その他作業及び点検

## (5) 安全管理関係

放射線監視設備定期点検  
入退管理システム定期点検  
特例区域設定/管理区域境界簡易扉設置  
その他作業及び点検

平成20年2～3月の運転・利用実績

SPring-8は平成20年1月22日から2月29日までマルチバンチ及びセベラルバンチ運転で第6サイクルの運転を実施した。第6サイクルではフィリング変更時における入射遅延等あったが、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)は約0.7%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合計332件、利用研究者は1,519名で、専用施設利用研究の実験数は合計126件、利用研究者は574名であった。

## 1. 装置運転関係

## (1) 運転期間

第6サイクル(1/22(火)～2/29(金))

## (2) 運転時間の内訳

|   |        |
|---|--------|
| 運転時間総計                                      | 約909時間 |
| 装置の調整及びマシンスタディ等                             | 約215時間 |
| 放射光利用運転時間                                   | 約689時間 |
| 故障等によるdown time                             | 約5時間   |
| 総放射光利用運転時間(ユーザータイム= + )<br>に対するdown timeの割合 | 約0.7%  |

## (3) 運転スペック等

第6サイクル(マルチバンチ及びセベラルバンチ運転)

- ・1/14-filling + 12 bunches
- ・11 bunch train × 29
- ・160 bunch train × 12 (マルチバンチ)
- ・4/58-filling + 53 bunches
- ・203 bunches
- ・入射は電流値優先モード(2～3分毎(マルチバンチ時)もしくは20～40秒毎(セベラルバンチ時))のTop-Upモードで実施。
- ・蓄積電流 8GeV、～100mA

## (4) 主なdown timeの原因

RF-BPMのインターロックによるアポート  
フィリング変更時の入射遅延

## (5) トピックス

1月14日11時頃にRF-BPM動作によるインタ

ーロックでビームアポートが発生した。現場にて確認を行い、ID23の磁石列後方カバー前方部が溶けている事を確認した。直ちにギヤブロックを行い、安全を確認し運転を再開している。

## 2. 利用関係

### (1) 放射光利用実験期間

第6サイクル(1/25(金)~2/25(月))

### (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    | 14本    |
| 理研ビームライン    | 7本     |
| 加速器診断ビームライン | 2本     |
| 共同利用研究実験数   | 332件   |
| 共同利用研究者数    | 1,519名 |
| 専用施設利用研究実験数 | 126件   |
| 専用施設利用研究者数  | 574名   |

#### 今後の予定

- (1) SPring-8は平成20年3月1日から4月1日までマシンの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) 年度末停止期間後は平成20年4月2日から4月24日まで第1サイクルの運転を行う。但し、4月2日から4月5日まではマシン及びBL立ち上げ調整期間としユーザーへの放射光の提供は行わない予定である。詳細な運転条件については決定しだいユーザーに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 (2008年1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                                      | ~1998 | 1999 | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | total |    |
|-------------------------------|------------------------------|---|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|----|
| Public Beamlines              | BL01B1                       | XAFS (1997.10)  |       | 16   | 17   | 34   | 24   | 18   | 18   | 27   | 34   | 20   | 1    | 209   |    |
|                               | BL02B1                       | Single Crystal Structure Analysis (1997.10)           | 2     | 5    | 3    | 9    | 15   | 15   | 10   | 9    | 9    | 4    |      | 81    |    |
|                               | BL02B2                       | Powder Diffraction (1999. 9)                          |       |      | 13   | 26   | 35   | 48   | 41   | 34   | 23   | 23   | 1    | 244   |    |
|                               | BL04B1                       | High Temperature and High Pressure Research (1997.10) | 3     | 4    | 9    | 13   | 17   | 8    | 23   | 11   | 8    | 8    |      | 104   |    |
|                               | BL04B2                       | High Energy X-ray Diffraction (1999. 9)               |       |      |      | 6    | 15   | 8    | 18   | 12   | 14   | 23   | 1    | 97    |    |
|                               | BL08W                        | High Energy Inelastic Scattering (1997.10)            | 7     |      | 4    | 14   | 5    | 10   | 9    | 10   | 16   | 11   | 1    | 87    |    |
|                               | BL09XU                       | Nuclear Resonant Scattering (1997.10)                 |       | 5    | 5    | 4    | 10   | 13   | 7    | 6    | 8    | 6    |      | 64    |    |
|                               | BL10XU                       | High Pressure Research (1997.10)                      | 2     | 10   | 12   | 20   | 21   | 19   | 21   | 28   | 15   | 27   | 1    | 176   |    |
|                               | BL13XU                       | Surface and Interface Structure (2001. 9)             |       |      |      |      |      | 7    | 12   | 18   | 14   | 13   | 2    | 66    |    |
|                               | BL19B2                       | Engineering Science Research (2001.11)                |       |      |      |      |      | 6    | 14   | 20   | 17   | 5    |      | 62    |    |
|                               | BL20B2                       | Medical and Imaging (1999. 9)                         |       |      | 5    | 14   | 16   | 12   | 25   | 11   | 7    | 6    |      | 96    |    |
|                               | BL20XU                       | Medical and Imaging (2001. 9)                         |       |      |      |      |      | 2    | 13   | 4    | 7    | 6    | 11   | 43    |    |
|                               | BL25SU                       | Soft X-ray Spectroscopy of Solid (1998. 4)            | 2     | 6    | 14   | 17   | 23   | 13   | 30   | 36   | 15   | 24   | 1    | 181   |    |
|                               | BL27SU                       | Soft X-ray Photochemistry (1998. 5)                   | 3     | 2    | 8    | 10   | 19   | 17   | 23   | 41   | 32   | 16   |      | 171   |    |
|                               | BL28B2                       | White Beam X-ray Diffraction (1999. 9)                |       |      | 1    | 1    | 1    | 9    | 7    | 8    | 5    | 5    |      | 37    |    |
|                               | BL35XU                       | High Resolution Inelastic Scattering (2001. 9)        |       |      | 1    | 2    |      |      | 5    | 8    | 5    | 3    | 13   | 37    |    |
|                               | BL37XU                       | Trace Element Analysis (2002.11)                      |       |      |      |      |      |      | 1    | 12   | 11   | 9    | 11   | 1     | 45 |
|                               | BL38B1                       | Structural Biology (2000.10)                          |       |      |      | 1    | 4    | 13   | 25   | 30   | 36   | 17   | 1    | 127   |    |
|                               | BL39XU                       | Magnetic Materials (1997.10)                          | 4     | 8    | 7    | 18   | 5    | 11   | 16   | 10   | 10   | 15   |      | 104   |    |
|                               | BL40B2                       | Structural Biology (1999. 9)                          |       |      | 1    | 15   | 24   | 30   | 31   | 30   | 25   | 24   |      | 180   |    |
|                               | BL40XU                       | High Flux (2000. 4)                                   |       | 1    | 1    | 3    | 3    | 3    | 9    | 9    | 11   | 11   |      | 51    |    |
|                               | BL41XU                       | Structural Biology (1997.10)                          | 2     | 13   | 14   | 21   | 30   | 35   | 47   | 53   | 52   | 33   | 1    | 301   |    |
|                               | BL43IR                       | Infrared Materials Science (2000. 4)                  |       |      |      | 5    | 1    | 5    | 6    | 10   | 5    | 4    |      | 36    |    |
|                               | BL46XU                       | Engineering Science Research (2000.11)                |       |      | 1    |      | 3    | 6    | 3    | 8    | 10   | 3    |      | 34    |    |
| BL47XU                        | HXPES・MCT (1997.10)          | 2   | 4     | 9    | 13   | 9    | 6    | 16   | 25   | 19   | 14   |      | 117  |       |    |
| Public Use at Other Beamlines | BL11XU                       | Quantum Dynamics (1999. 3)                            |       |      |      |      | 3    | 3    | 1    | 1    | 2    | 2    |      | 12    |    |
|                               | BL14B1                       | Materials Science (1998. 4)                           |       |      | 2    | 2    | 9    | 5    | 1    | 2    | 3    | 5    |      | 29    |    |
|                               | BL15XU                       | WEBRAM (2002. 9)                                      |       |      |      |      |      |      | 3    | 4    | 8    | 5    |      | 20    |    |
|                               | BL17SU                       | RIKEN Coherent Soft X-ray Spectroscopy (2005. 9)      |       |      |      |      |      |      |      |      |      | 1    |      | 1     |    |
|                               | BL19LXU                      | RIKEN SR Physics (2002. 9)                            |       |      |      |      |      |      | 1    | 3    | 1    |      |      | 5     |    |
|                               | BL22XU                       | Quantum Structural Science (2004. 9)                  |       |      |      |      |      |      |      | 1    | 4    |      |      | 5     |    |
|                               | BL23SU                       | Actinide Science (1998. 6)                            |       |      | 1    | 2    | 1    | 4    | 2    | 4    | 9    | 8    |      | 31    |    |
|                               | BL29XU                       | RIKEN Coherent X-ray Optics (2002. 9)                 |       |      |      |      |      | 1    | 1    |      | 3    | 1    |      | 6     |    |
|                               | BL44B2                       | RIKEN Structural Biology (1998. 5)                    |       |      | 1    |      | 2    | 2    | 1    | 2    | 3    |      |      | 11    |    |
|                               | BL45XU                       | RIKEN Structural Biology (1997.10)                    |       | 1    | 2    | 6    | 5    | 9    | 9    | 5    | 4    | 7    |      | 48    |    |
| Subtotal                      |                              |   | 27    | 76   | 130  | 258  | 302  | 354  | 455  | 492  | 437  | 376  | 11   | 2918  |    |
| Contract Beamlines            | BL08B2                       | Hyogo Prefecture BM (2005. 9)                         |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      | 0     |    |
|                               | BL11XU                       | Quantum Dynamics (1999. 3)                            | 1     | 1    | 3    | 3    | 2    | 3    | 7    | 6    | 6    | 10   |      | 42    |    |
|                               | BL12B2                       | NSRRC BM (2001. 9)                                    |       |      |      | 1    | 3    | 16   | 20   | 18   | 2    | 2    |      | 62    |    |
|                               | BL12XU                       | NSRRC ID (2003. 2)                                    |       |      |      |      |      | 1    |      | 5    | 2    | 4    |      | 12    |    |
|                               | BL14B1                       | Materials Science (1998. 4)                           | 2     |      | 2    | 4    | 7    | 5    | 7    | 4    | 3    | 2    |      | 36    |    |
|                               | BL15XU                       | WEBRAM (2001. 4)                                      |       |      |      | 2    | 14   | 9    | 3    | 3    | 13   | 6    |      | 50    |    |
|                               | BL16B2                       | Industrial Consortium BM (1999. 9)                    |       |      |      | 9    | 3    | 1    | 1    | 2    | 6    | 1    |      | 23    |    |
|                               | BL16XU                       | Industrial Consortium ID (1999. 9)                    |       |      | 1    | 1    | 1    | 1    | 4    | 4    | 4    | 1    |      | 17    |    |
|                               | BL22XU                       | Quantum Structural Science (2004. 9)                  |       |      |      |      |      |      | 1    | 3    | 11   | 7    |      | 22    |    |
|                               | BL23SU                       | Actinide Science (1998. 6)                            | 2     | 1    | 2    | 13   | 11   | 11   | 13   | 5    | 5    | 5    |      | 68    |    |
|                               | BL24XU                       | Hyogo Prefecture ID (1998.10)                         | 2     | 3    | 13   | 21   | 18   | 12   | 11   | 8    | 6    | 5    |      | 99    |    |
|                               | BL32B2                       | Pharmaceutical Industry (2002. 9)                     |       |      |      |      |      |      | 6    | 3    | 2    | 2    |      | 13    |    |
|                               | BL33LEP                      | Laser-Electron Photon (2000.10)                       | 2     | 2    | 3    | 3    | 2    | 1    |      |      |      |      |      | 13    |    |
|                               | BL44XU                       | Macromolecular Assemblies (2000. 2)                   |       |      |      | 1    | 9    | 10   | 18   | 22   | 31   | 19   |      | 110   |    |
| Subtotal                      |                              |   | 9     | 7    | 24   | 58   | 70   | 70   | 91   | 83   | 91   | 64   | 0    | 567   |    |
| RIKEN Beamlines               | BL17SU                       | Coherent Soft X-ray Spectroscopy (2005. 9)            |       |      |      |      |      | 2    | 5    | 3    | 3    |      |      | 13    |    |
|                               | BL19LXU                      | SR Physics (2002. 9)                                  | 1     |      |      | 4    | 3    | 2    | 11   | 6    | 12   | 10   |      | 49    |    |
|                               | BL26B1                       | Structural Genomics (2002. 9)                         |       |      |      |      |      | 2    | 18   | 35   | 22   | 11   | 1    | 89    |    |
|                               | BL26B2                       | Structural Genomics (2002. 9)                         |       |      |      |      |      | 1    | 5    | 4    | 6    | 3    |      | 19    |    |
|                               | BL29XU                       | Coherent X-ray Optics (2002. 9)                       |       |      | 2    | 15   | 9    | 18   | 11   | 13   | 5    | 4    | 1    | 78    |    |
|                               | BL44B2                       | Structural Biology (1998. 5)                          |       | 4    | 13   | 19   | 20   | 29   | 22   | 18   | 16   | 13   |      | 154   |    |
| BL45XU                        | Structural Biology (1997.10) | 3   | 4     | 17   | 16   | 14   | 21   | 20   | 15   | 15   | 11   | 1    | 137  |       |    |
| Subtotal                      |                              |   | 4     | 8    | 32   | 54   | 46   | 73   | 89   | 96   | 79   | 55   | 3    | 539   |    |
| Hardware / Software R & D     |                              |   | 103   | 17   | 12   | 69   | 19   | 26   | 22   | 18   | 22   | 5    | 1    | 314   |    |
| NET Sum Total                 |                              |   | 123   | 99   | 183  | 369  | 371  | 437  | 560  | 592  | 515  | 432  | 17   | 3698  |    |

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等登録データベース([http://www.spring8.or.jp/ja/users/intellectual\\_property/article/publicfolder\\_view](http://www.spring8.or.jp/ja/users/intellectual_property/article/publicfolder_view))に2008年1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 (2008年1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)       | 209         | 38                 | 27    | 274 |
|                               | BL02B1                    | Single Crystal Structure Analysis           | (1997.10)       | 81          | 11                 | 15    | 107 |
|                               | BL02B2                    | Powder Diffraction                          | (1999. 9)       | 244         | 13                 | 40    | 297 |
|                               | BL04B1                    | High Temperature and High Pressure Research | (1997.10)       | 104         | 8                  | 25    | 137 |
|                               | BL04B2                    | High Energy X-ray Diffraction               | (1999. 9)       | 97          | 6                  | 19    | 122 |
|                               | BL08W                     | High Energy Inelastic Scattering            | (1997.10)       | 87          | 6                  | 28    | 121 |
|                               | BL09XU                    | Nuclear Resonant Scattering                 | (1997.10)       | 64          | 14                 | 17    | 95  |
|                               | BL10XU                    | High Pressure Research                      | (1997.10)       | 176         | 13                 | 34    | 223 |
|                               | BL13XU                    | Surface and Interface Structure             | (2001. 9)       | 66          | 7                  | 22    | 95  |
|                               | BL19B2                    | Engineering Science Research                | (2001.11)       | 62          | 28                 | 22    | 112 |
|                               | BL20B2                    | Medical and Imaging                         | (1999. 9)       | 96          | 46                 | 39    | 181 |
|                               | BL20XU                    | Medical and Imaging                         | (2001. 9)       | 43          | 24                 | 19    | 86  |
|                               | BL25SU                    | Soft X-ray Spectroscopy of Solid            | (1998. 4)       | 181         | 3                  | 23    | 207 |
|                               | BL27SU                    | Soft X-ray Photochemistry                   | (1998. 5)       | 171         | 11                 | 16    | 198 |
|                               | BL28B2                    | White Beam X-ray Diffraction                | (1999. 9)       | 37          | 13                 | 11    | 61  |
|                               | BL35XU                    | High Resolution Inelastic Scattering        | (2001. 9)       | 37          | 4                  | 4     | 45  |
|                               | BL37XU                    | Trace Element Analysis                      | (2002.11)       | 45          | 8                  | 22    | 75  |
|                               | BL38B1                    | Structural Biology                          | (2000.10)       | 127         | 10                 | 8     | 145 |
|                               | BL39XU                    | Magnetic Materials                          | (1997.10)       | 104         | 10                 | 36    | 150 |
|                               | BL40B2                    | Structural Biology                          | (1999. 9)       | 180         | 8                  | 30    | 218 |
|                               | BL40XU                    | High Flux                                   | (2000. 4)       | 51          | 8                  | 21    | 80  |
|                               | BL41XU                    | Structural Biology                          | (1997.10)       | 301         | 2                  | 28    | 331 |
|                               | BL43IR                    | Infrared Materials Science                  | (2000. 4)       | 36          | 10                 | 14    | 60  |
|                               | BL46XU                    | Engineering Science Research                | (2000.11)       | 34          | 9                  | 5     | 48  |
| BL47XU                        | HXPES・MCT                 | (1997.10)                                   | 117             | 45          | 45                 | 207   |     |
| Public Use at Other Beamlines | BL11XU                    | Quantum Dynamics                            | (1999. 3)       | 12          | 2                  |       | 14  |
|                               | BL14B1                    | Materials Science                           | (1998. 4)       | 29          | 1                  | 8     | 38  |
|                               | BL15XU                    | WEBRAM                                      | (2002. 9)       | 20          | 11                 | 7     | 38  |
|                               | BL17SU                    | RIKEN Coherent Soft X-ray Spectroscopy      | (2005. 9)       | 1           |                    |       | 1   |
|                               | BL19LXU                   | RIKEN SR Physics                            | (2002. 9)       | 5           |                    |       | 5   |
|                               | BL22XU                    | Quantum Structural Science                  | (2004. 9)       | 5           |                    |       | 5   |
|                               | BL23SU                    | Actinide Science                            | (1998. 6)       | 31          | 5                  | 10    | 46  |
|                               | BL29XU                    | RIKEN Coherent X-ray Optics                 | (2002. 9)       | 6           |                    |       | 6   |
|                               | BL44B2                    | RIKEN Structural Biology                    | (1998. 5)       | 11          |                    | 2     | 13  |
|                               | BL45XU                    | RIKEN Structural Biology                    | (1997.10)       | 48          | 5                  | 6     | 59  |
|                               | Subtotal                  |   | 2918            | 379         | 603                | 3900  |     |
| Contract Beamlines            | BL08B2                    | Hyogo Prefecture BM                         | (2005. 9)       |             |                    |       | 0   |
|                               | BL11XU                    | Quantum Dynamics                            |                 | 42          | 2                  | 4     | 48  |
|                               | BL12B2                    | NSRRC BM                                    | (2001. 9)       | 62          |                    |       | 62  |
|                               | BL12XU                    | NSRRC ID                                    | (2003. 2)       | 12          | 4                  |       | 16  |
|                               | BL14B1                    | Materials Science                           |                 | 36          | 7                  | 18    | 61  |
|                               | BL15XU                    | WEBRAM                                      | (2001. 4)       | 50          | 1                  | 9     | 60  |
|                               | BL16B2                    | Industrial Consortium BM                    | (1999. 9)       | 23          | 8                  | 27    | 58  |
|                               | BL16XU                    | Industrial Consortium ID                    | (1999. 9)       | 17          | 5                  | 26    | 48  |
|                               | BL22XU                    | Quantum Structural Science                  |                 | 22          | 1                  | 1     | 24  |
|                               | BL23SU                    | Actinide Science                            |                 | 68          | 15                 | 49    | 132 |
|                               | BL24XU                    | Hyogo Prefecture ID                         | (1998.10)       | 99          | 13                 | 35    | 147 |
|                               | BL32B2                    | Pharmaceutical Industry                     | (2002. 9)       | 13          |                    | 2     | 15  |
|                               | BL33LEP                   | Laser-Electron Photon                       | (2000.10)       | 13          | 22                 | 3     | 38  |
| BL44XU                        | Macromolecular Assemblies | (2000. 2)                                   | 110             |             | 18                 | 128   |     |
|                               | Subtotal                  |   | 567             | 78          | 192                | 837   |     |
| RIKEN Beamlines               | BL17SU                    | Coherent Soft X-ray Spectroscopy            |                 | 49          | 1                  | 1     | 51  |
|                               | BL19LXU                   | SR Physics                                  |                 | 49          | 4                  | 11    | 64  |
|                               | BL26B1                    | Structural Genomics                         |                 | 89          | 1                  | 13    | 103 |
|                               | BL26B2                    | Structural Genomics                         |                 | 19          | 1                  | 9     | 29  |
|                               | BL29XU                    | Coherent X-ray Optics                       |                 | 78          | 14                 | 16    | 108 |
|                               | BL44B2                    | Structural Biology                          |                 | 154         | 2                  | 10    | 166 |
|                               | BL45XU                    | Structural Biology                          |                 | 137         | 4                  | 30    | 171 |
|                               | Subtotal                  |   | 575             | 27          | 90                 | 692   |     |
| Hardware / Software R & D     |                           |   | 314             | 372         | 345                | 1031  |     |
| NET Sum Total                 |                           |   | 3698            | 752         | 991                | 5441  |     |

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

Proceedings: 査読なしのプロシーディング

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

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

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

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

## 最近SPring-8から発表された成果リスト

財団法人高輝度光科学研究センター  
利用業務部

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

[http://www.spring8.or.jp/ja/users/intellectual\\_property/article/publicfolder\\_view](http://www.spring8.or.jp/ja/users/intellectual_property/article/publicfolder_view)

このデータベースに登録された原著論文の内、平成19年12月～平成20年1月にその別刷もしくはコピー等を受理したものの(登録時期は問いません)を以下に紹介します。論文の情報(主著者、巻、発行年、ページ、タイトル)に加え、データベースの登録番号(研究成果番号)を掲載していますので、詳細は上記検索ページの検索結果画面でご覧いただくことができます。また実施された課題の情報(課題番号、ビームライン、実験責任者名)も掲載しています。課題番号は最初の4文字が「year」、次の1文字が「term」、後ろの4文字が「proposal no.」となっていますので、この情報から以下のURLで公表している、各課題の英文利用報告書(SPring-8 User Experiment Report)を探してご覧いただくことができます。

[http://www.spring8.or.jp/ja/support/download/publication/user\\_exp\\_report/publicfolder\\_view](http://www.spring8.or.jp/ja/support/download/publication/user_exp_report/publicfolder_view)

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

### 課題の成果として登録された論文

#### Physical Review B

| 主著者                | 研究成果番号 | 雑誌情報                | 課題番号      | ビームライン | 実験責任者           | タイトル  |
|--------------------|--------|---------------------|-----------|--------|-----------------|---|
| Sung-Kwan Mo       | 11768  | 74 (2006)<br>165101 | 2000B0335 | BL25SU | Allen James     | Photoemission Study of $(V_{1-x}M_x)_2O_3$ (M=Cr,Ti)  |
| Taku Tsuchiya      | 11832  | 76 (2007)<br>174108 | 2006A1154 | BL10XU | 遊佐 斉            | Post-Rh <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (II) Transition and the High Pressure-Temperature Phase Diagram of Gallia: A First-Principles and X-ray Diffraction Study         |
|                    |        |                     | 2006B1121 | BL10XU | 遊佐 斉            |   |
| John Tse           | 11851  | 76 (2007)<br>174109 | 2004A0603 | BL10XU | Jiang Jianzhong | Electron Density Topology of High-pressure Ba <sub>8</sub> Si <sub>46</sub> from a Combined Rietveld and Maximum-entropy Analysis                                     |
| Henning Sternemann | 11878  | 75 (2007)<br>245102 | 2006B4261 | BL12XU | Tse John        | Giant Dipole Resonance of Ba in Ba <sub>8</sub> Si <sub>46</sub> : An Approach for Studying High-Pressure Induced Phase Transitions of Nanostructured Materials       |
| Jung-Fu Lin        | 11879  | 75 (2007)<br>012201 | 2006A4256 | BL12XU | Lin Jung-Fu     | Electronic Bonding Transition in Compressed SiO <sub>2</sub> Glass  |
| Shih-Lin Chang     | 11903  | 73 (2006)<br>134111 | 2006A4261 | BL12XU | Chang Shih-Lin  | Fabry-Perot Resonator for Hard X Rays: A Diffraction Experiment   |
| Masao Yano         | 11976  | 77 (2008)<br>035118 | 2004A6009 | BL25SU | 菅 滋正            | Electronic Structure of CeRu <sub>2</sub> X <sub>2</sub> (X = Si, Ge) in the Paramagnetic Phase Studied by Soft X-ray ARPES and Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy |
|                    |        |                     | 2006A1167 | BL25SU | 関山 明            |   |
|                    |        |                     | 2007A1005 | BL25SU | 菅 滋正            |   |
| Xu-Guang Zheng     | 12060  | 77 (2008)<br>024418 | 2006B1189 | BL02B2 | Zheng Xu-Guang  | Defect-induced Short-range-order from a Spin-ice Related State in Deformed Pyrochlore Structure Co <sub>2</sub> (OH) <sub>3</sub> Cl                                  |

### Biochemistry

| 主著者             | 研究成果番号 | 雑誌情報                     | 課題番号      | ビームライン | 実験責任者             | タイトル  |
|-----------------|--------|--------------------------|-----------|--------|-------------------|---|
| Rey-Ting Guo    | 8635   | 43 (2004)<br>7678-7686   | C04A1017  | BL12B2 | Wang Andrew H.-J. | A Molecular Ruler for Chain Elongation Catalyzed by Octaprenyl Pyrophosphate Synthase and Its Structure-Based Engineering to Produce Unprecedented Long Chain <i>Trans</i> -Prenyl Products |
| Yu-Chih Lo      | 8648   | 44 (2005)<br>1971-1979   | C05A1013  | BL12B2 | Liaw Yen-Chywan   | Substrate Specificities of Escherichia <i>Coli</i> Thioesterase I/Protease I/Lysophospholipase L <sub>1</sub> are Governed by Its Switch Loop Movement                                      |
| Ting-Shou Chen  | 8649   | 44 (2005)<br>7414-7426   | C05A1014  | BL12B2 | Chen Chun-Jung    | Structural Difference between Group I and Group II Cobra Cardiotoxins: X-ray, NMR, and CD Analysis of the Effect of <i>cis</i> -Proline Conformation on Three-Fingered Toxins               |
| Norihisa Tamura | 9964   | 44 (2005)<br>11115-11121 | 2005A0036 | BL41XU | 村上 聡              | Direct Interaction of Multidrug Efflux Transporter AcrB and Outer Membrane Channel TolC Detected via Site-Directed Disulfide Cross-Linking  |

### Applied Physics Letters

|                |       |                     |                        |                  |                |  |
|----------------|-------|---------------------|------------------------|------------------|----------------|--|
| Chao-Hung Du   | 11902 | 88 (2006)<br>241916 | 2005B4006              | BL12B2           | Chang Shih-Lin | Direct Measurement of Spatial Distortions of Charge Density Waves in K <sub>0.3</sub> MoO <sub>3</sub> |
| Yukako Kato    | 11980 | 91 (2007)<br>251916 | 2004B0927<br>2005A0538 | BL25SU<br>BL25SU | 大門 寛<br>加藤 有香子 | Dopant-site Effect in Superconducting Diamond (111) Studied by Atomic Stereophotography                |
| Nadia Zatsepin | 12034 | 92 (2008)<br>034101 | 2006B1033              | BL13XU           | Nikulin Andrei | Early Detection of Nanoparticle Growth from X-ray Reciprocal Space Mapping                             |

### Japanese Journal of Applied Physics

|                 |       |                        |           |        |       |  |
|-----------------|-------|------------------------|-----------|--------|-------|--|
| Tsukasa Nakai   | 11163 | 46 (2007)<br>3968-3972 | 2006A1641 | BL47XU | 中居 司  | Effect of Interface Layers on Phase-Change Recording Material Analyzed by Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy Method           |
|                 |       |                        | 2005B0232 | BL47XU | 吉木 昌彦 |  |
| Yoshihiro Saito | 11887 | 46 (2007)<br>5771-5773 | 2005B0789 | BL39XU | 斎藤 吉広 | Characterization of SiN <sub>x</sub> /Ga <sub>x</sub> In <sub>1-x</sub> As Interface using Hard X-ray Photoemission Spectroscopy |
| Yuki Nakamoto   | 12078 | 46 (2007)<br>640-641   | 2007A1338 | BL10XU | 中本 有紀 | Generation of Multi-Megabar Pressure Using Nano-Polycrystalline Diamond Anvils   |

### Journal of Magnetism and Magnetic Materials

|                   |       |                         |           |         |      |   |
|-------------------|-------|-------------------------|-----------|---------|------|---|
| Masao Yano        | 11769 | 310 (2007)<br>437-439   | 2004A6009 | BL25SU  | 菅 滋正 | Bulk 3-D Fermi Surfaces of CeRu <sub>2</sub> Ge <sub>2</sub> Probed by Soft X-ray ARPES   |
|                   |       |                         | 2004B0400 | BL25SU  | 関山 明 |   |
| Hidenori Fujiwara | 11770 | 310 (2007)<br>816-818   | 2001A0129 | BL25SU  | 関山 明 | Dimensionality of the Electronic States in Nd <sub>0.45</sub> Sr <sub>0.55</sub> MnO <sub>3</sub> Studied by Soft X-ray Photoemission |
|                   |       |                         | 2001B0174 | BL25SU  | 関山 明 |   |
|                   |       |                         | 2003A0593 | BL25SU  | 関山 明 |   |
| Toshio Miyamachi  | 11771 | 310 (2007)<br>e252-e254 | 2001A0075 | BL25SU  | 菅 滋正 | Bulk Sensitive Core-level Photoemission Spectroscopy of VO <sub>2</sub>   |
|                   |       |                         | RIKEN     | BL19LXU |      |   |

### Journal of Non-Crystalline Solids

|                 |       |                         |           |        |       |   |
|-----------------|-------|-------------------------|-----------|--------|-------|---|
| Takeshi Usuki   | 11941 | 353 (2007)<br>3040-3044 | 2003B0452 | BL04B2 | 白杵 毅  | Structure of Fast Ion Conducting AgI-As <sub>2</sub> Se <sub>3</sub> Glasses  |
|                 |       |                         | 2004B0320 | BL04B2 | 白杵 毅  |   |
|                 |       |                         | 2005B0735 | BL04B2 | 白杵 毅  |   |
|                 |       |                         | 2006A1551 | BL04B2 | 白杵 毅  |   |
| Junpei Okada    | 11995 | 353 (2007)<br>3174-3176 | 2004A0510 | BL35XU | 岡田 純平 | High-resolution Inelastic X-ray Scattering Measurements of an Al <sub>72</sub> Pd <sub>20</sub> Mn <sub>8</sub> Alloy above the Melting Point |
| Yutaka Murakami | 11943 | 353 (2007)<br>2035-2038 | 2005B0735 | BL04B2 | 白杵 毅  | Structure Modelling for Covalently Bonded Network Glasses   |
|                 |       |                         | 2006A1551 | BL04B2 | 白杵 毅  |   |



## Journal of Physics: Condensed Matter

| 主著者             | 研究成果番号 | 雑誌情報                | 課題番号                  | ビームライン         | 実験責任者         | タイトル  |
|-----------------|--------|---------------------|-----------------------|----------------|---------------|---|
| Takashi Uchino  | 11910  | 19 (2007)<br>455214 | 2004A0417             | BL04B2         | 内野 隆司         | Modification of Medium-Range Order in Silica Glass by Ball Milling: Real- and Reciprocal-Space Structural Correlations for the First Sharp Diffraction Peak |
| Toshihiro Nagao | 11949  | 20 (2008)<br>055201 | J05A0513<br>2006A0097 | BL08W<br>BL08W | 伊藤 真義<br>桜井 浩 | Momentum-density Distribution of Magnetic Electrons in Ferromagnetic Nickel   |
| Masahiro Nagao  | 11970  | 76 (2007)<br>492201 | 2006B4504             | BL15XU         | 長尾 全寛         | Nanostructural Evidence at the Phase Boundary of A- and C-type Antiferromagnetic Phases in $\text{Nd}_{1-x}\text{Sr}_x\text{MnO}_3$ Crystals                |

## Polymer Journal

|               |       |                        |                        |                  |                |  |
|---------------|-------|------------------------|------------------------|------------------|----------------|--|
| Masaru Kotera | 11981 | 39 (2007)<br>1295-1299 | 2003B0262              | BL46XU           | 西野 孝           | Elastic Modulus of the Crystalline Regions of Poly ( <i>p</i> -phenylene terephthalamide) Single Fiber Using SPring-8 Synchrotron Radiation  |
| Yo Nakamura   | 12005 | 39 (2007)<br>1098-1104 | 2005B0088<br>2002B0112 | BL40B2<br>BL40B2 | 中村 洋<br>中村 洋   | Synchrotron Small-Angle X-ray Scattering from Polystyrene Polymacromonomers in Toluene   |
| Kohji Tashiro | 12077 | 39 (2007)<br>1253-1273 | 2003A0043<br>2003B0161 | BL04B2<br>BL04B2 | 田代 孝二<br>田代 孝二 | Structural Refinement and Extraction of Hydrogen Atomic Positions in Polyoxymethylene Crystal Based on the First Successful Measurements of 2-Dimensional High-Energy Synchrotron X-ray Diffraction and Wide-Angle Neutron Diffraction Patterns of Hydrogenated and Deuterated Species |

## Earth and Planetary Science Letters

|                     |       |                       |                        |                  |              |   |
|---------------------|-------|-----------------------|------------------------|------------------|--------------|---|
| Tetsuya Komabayashi | 11973 | 260 (2007)<br>564-569 | 2005A5013<br>2005B0010 | BL10XU<br>BL10XU | 巽 好幸<br>巽 好幸 | Phase Transition in $\text{CaSiO}_3$ Perovskite   |
| Tetsuya Komabayashi | 11974 | 265 (2008)<br>515-524 | 2006A0099<br>2006B0099 | BL10XU<br>BL10XU | 廣瀬 敬<br>廣瀬 敬 | Simultaneous Volume Measurements of Post-perovskite and Perovskite in $\text{MgSiO}_3$ and Their Thermal Equations of State |

## Journal of Applied Physics

|              |       |                      |                        |                  |                |   |
|--------------|-------|----------------------|------------------------|------------------|----------------|---|
| Chao-Hung Du | 11904 | 101 (2007)<br>104915 | 2006A4001              | BL12B2           | Chang Shih-Lin | Nonlinearity and Dynamic Phase Transition of Charge-Density-Wave Lattice                              |
| Lingqi Li    | 12013 | 102 (2007)<br>114908 | 2006B1239<br>2006B1018 | BL20XU<br>BL20XU | 大垣 智巳<br>戸田 裕之 | Wavelet-based Local Region-of-Interest Reconstruction for Synchrotron Radiation X-ray Microtomography |

## Journal of Physics: Conference Series

|                  |       |                     |                        |                  |                |   |
|------------------|-------|---------------------|------------------------|------------------|----------------|---|
| Satoshi Tsutsui  | 11931 | 92 (2007)<br>012171 | 2004A0589<br>2005A0369 | BL09XU<br>BL35XU | 筒井 智嗣<br>筒井 智嗣 | Low-lying Optical Modes in Filled Skutterudites using Inelastic X-ray Scattering Techniques |
| Shinji Nakashima | 11945 | 92 (2007)<br>012136 | 2006A1453<br>2006A1448 | BL35XU<br>BL04B2 | 川北 至信<br>川北 至信 | Phonon Dispersion of Metallic Glass $\text{CuZr}_2$   |

## Physical Review Letters

|            |       |                     |           |        |                |  |
|------------|-------|---------------------|-----------|--------|----------------|--|
| Ke Yang    | 11877 | 98 (2007)<br>036404 | C05A1510  | BL12XU | 石井 啓文          | Inelastic X-ray Scattering Study of Exciton Properties in an Organic Molecular Crystal |
| Yen-Ru Lee | 11906 | 97 (2006)<br>185502 | 2006B4001 | BL12B2 | Chang Shih-Lin | Multiple-wave Diffraction Anomalous Fine Structure                                     |

## Surface Science

|                  |       |                         |           |        |               |  |
|------------------|-------|-------------------------|-----------|--------|---------------|--|
| Kazushi Sumitani | 11907 | 601 (2007)<br>5195-5199 | 2003A0618 | BL13XU | 高橋 敏男         | Structural Study of $\text{Si}(111)\text{-}6 \times 1\text{-Ag}$ Surface Using Surface X-ray Diffraction |
| Namdong Kim      | 11964 | 602 (2008)<br>369-374   | 2005A0007 | BL13XU | Chung Jinwook | Atomic Structure of a Thallium Nanodot Lattice Formed on the $\text{Si}(111)\text{-}7 \times 7$ Surface  |

## Acta Crystallographica Section F

|                |       |                        |           |        |       |  |
|----------------|-------|------------------------|-----------|--------|-------|--|
| Toshio Iwasaki | 11962 | 63 (2007)<br>1014-1016 | 2007A1271 | BL41XU | 清水 伸隆 | Crystallization and Preliminary X-ray Diffraction Studies of the ISC-like $[\text{2Fe-2S}]$ Ferredoxin (FdxB) from <i>Pseudomonas putida</i> JCM 20004 |
|----------------|-------|------------------------|-----------|--------|-------|--|

**Angewandte Chemie International Edition**

| 主著者              | 研究成果番号 | 雑誌情報                 | 課題番号      | ビームライン | 実験責任者 | タイトル  |
|------------------|--------|----------------------|-----------|--------|-------|---|
| Takato Mitsudome | 11827  | 47 (2007)<br>138-141 | 2007A1677 | BL01B1 | 金田 清臣 | Oxidant-Free Alcohol Dehydrogenation Using a Reusable Hydrotalcite-Supported Silver Nanoparticle Catalyst |

**Applied Catalysis A: General**

|          |       |                      |           |        |       |   |
|----------|-------|----------------------|-----------|--------|-------|---|
| Dalin Li | 12059 | 332 (2007)<br>98-109 | 2006B1217 | BL01B1 | 穴戸 哲也 | Self-activation and Self-regenerative Activity of Trace Rh-doped Ni/Mg(Al)O Catalysts in Steam Reforming of Methane |
|----------|-------|----------------------|-----------|--------|-------|---|

**Biochemical and Biophysical Research Communications**

|               |       |                     |           |        |      |   |
|---------------|-------|---------------------|-----------|--------|------|---|
| Shinya Mimasu | 12080 | 366 (2008)<br>15-22 | 2006A1494 | BL41XU | 仙石 徹 | Crystal Structure of Histone Demethylase LSD1 and Tranylcypromine at 2.25 Å |
|---------------|-------|---------------------|-----------|--------|------|---|

**Biophysical Journal**

|               |       |                        |                        |                  |                |   |
|---------------|-------|------------------------|------------------------|------------------|----------------|---|
| James Pearson | 11860 | 93 (2007)<br>4319-4329 | 2003A0465<br>2003B0382 | BL40XU<br>BL40XU | 白井 幹康<br>白井 幹康 | Effects of Sustained Length-Dependent Activation on In Situ Cross-Bridge Dynamics in Rat Hearts |
|---------------|-------|------------------------|------------------------|------------------|----------------|---|

**Bulletin of the Chemical Society of Japan**

|              |       |                        |           |        |       |  |
|--------------|-------|------------------------|-----------|--------|-------|--|
| Yasuo Kameda | 11886 | 80 (2007)<br>2329-2333 | 2006A1034 | BL04B2 | 亀田 恭男 | X-ray Diffraction Studies on the Structure of Concentrated Aqueous Solutions Involving Alanine Molecules with Different Optical Activities |
|--------------|-------|------------------------|-----------|--------|-------|--|

**Chemical Physics Letters**

|                |       |                    |           |        |                   |  |
|----------------|-------|--------------------|-----------|--------|-------------------|--|
| Ralph Puettner | 11765 | 445 (2007)<br>6-11 | 2006B1150 | BL27SU | Puettner<br>Ralph | Potential Energy Curves of the Quasi-Stable States of CO <sup>2+</sup> Determined Using Auger Spectroscopy |
|----------------|-------|--------------------|-----------|--------|-------------------|--|

**Chemistry Letters**

|                   |       |                    |           |        |       |  |
|-------------------|-------|--------------------|-----------|--------|-------|--|
| Nobuyuki Kitajima | 11863 | 37 (2008)<br>32-33 | 2006A0180 | BL37XU | 北島 信行 | Observation of Arsenic Transfer in Leaf Tissue of Hyperaccumulator Fern by Utilizing Synchrotron Radiation Micro-XRF Imaging |
|-------------------|-------|--------------------|-----------|--------|-------|--|

**ChemMedChem**

|                   |       |                     |           |        |        |  |
|-------------------|-------|---------------------|-----------|--------|--------|--|
| Hiromasa Kurosaki | 10071 | 1 (2006)<br>969-972 | 2002B0801 | BL38B1 | 山縣 ゆり子 | Probing, Inhibition, and Crystallographic Characterization of Metallo-β-lactamase (IMP-1) with Fluorescent Agents Containing Dansyl and Thiol Groups |
|-------------------|-------|---------------------|-----------|--------|--------|--|

**Crystallography Reports**

|                |       |                    |           |        |                |   |
|----------------|-------|--------------------|-----------|--------|----------------|---|
| Shih-Lin Chang | 11905 | 52 (2007)<br>23-27 | 2007A4250 | BL12XU | Chang Shih-Lin | Realization of Fabry-Perot Resonators for Hard X-Rays Using Micro- and Nanotechnology |
|----------------|-------|--------------------|-----------|--------|----------------|---|

**ECS Transactions**

|                |       |                     |           |        |       |   |
|----------------|-------|---------------------|-----------|--------|-------|---|
| Shinji Fujieda | 11930 | 6 (2007)<br>185-202 | 2005B3803 | BL23SU | 寺岡 有殿 | Bias Temperature Instability Characterization of Advanced Gate Stacks |
|----------------|-------|---------------------|-----------|--------|-------|---|

**Europhysics Letters**

|               |       |                      |                        |                  |                                   |   |
|---------------|-------|----------------------|------------------------|------------------|-----------------------------------|---|
| David Schrupp | 11767 | 70 (2005)<br>789-795 | 2002B0104<br>2003B0159 | BL25SU<br>BL25SU | Claessen<br>Ralph<br>Sing Michael | High-energy Photoemission on Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> : Small Polaron Physics and the Verwey Transition |
|---------------|-------|----------------------|------------------------|------------------|-----------------------------------|---|

**Journal of Applied Physiology**

|                |       |                       |           |        |                  |   |
|----------------|-------|-----------------------|-----------|--------|------------------|---|
| Daryl Schwenke | 11862 | 102 (2007)<br>787-793 | 2006B1401 | BL28B2 | Pearson<br>James | Imaging of the Pulmonary Circulation in the Closed-Chest Rat using Synchrotron Radiation Microangiography |
|----------------|-------|-----------------------|-----------|--------|------------------|---|

**Journal of Catalysis**

| 主著者      | 研究成果番号 | 雑誌情報                  | 課題番号      | ビームライン | 実験責任者 | タイトル  |
|----------|--------|-----------------------|-----------|--------|-------|---|
| Dalin Li | 11783  | 250 (2007)<br>299-312 | 2006B1217 | BL01B1 | 宍戸 哲也 | Self-regenerative Activity of Ni/Mg(Al)O Catalysts with Trace Ru during Daily Start-up and Shut-down Operation of CH <sub>4</sub> Steam Reforming |

**The Journal of Chemical Physics**

|        |       |            |           |        |        |  |
|--------|-------|------------|-----------|--------|--------|--|
| Darrah | 12081 | 127 (2007) | 2007A1046 | BL27SU | Thomas | Boron 1s Photoelectron Spectrum of <sup>11</sup> B <sub>2</sub> F <sub>3</sub> : Vibrational Structure and Linewidth |
| Thomas |       | 244309     |           |        | Darrah |  |

**Journal of Electron Spectroscopy and Related Phenomena**

|                   |       |                       |           |        |      |   |
|-------------------|-------|-----------------------|-----------|--------|------|---|
| Akihiko Shigemoto | 11772 | 156 (2007)<br>472-475 | 2000B0337 | BL25SU | 菅 滋正 | Observation of Bulk Electronic States of Kondo Semiconductor YbB <sub>12</sub> by High-resolution Soft X-ray Photoemission Spectroscopy |
|-------------------|-------|-----------------------|-----------|--------|------|---|

**Journal of Mineralogical and Petrological Sciences**

|                |       |                       |           |        |       |   |
|----------------|-------|-----------------------|-----------|--------|-------|---|
| Daisuke Hamane | 11816 | 102 (2007)<br>291-297 | 2006A1459 | BL10XU | 藤野 清志 | Ferric Iron and Aluminum Partitioning between MgSiO <sub>3</sub> - and CaSiO <sub>3</sub> -perovskites under Oxidizing Conditions |
|----------------|-------|-----------------------|-----------|--------|-------|---|

**The Journal of Physical Chemistry B**

|            |       |                           |           |        |       |  |
|------------|-------|---------------------------|-----------|--------|-------|--|
| Xianyu Xue | 11846 | 111 (2007)<br>13156-13166 | 2006A1008 | BL04B1 | 神崎 正美 | High-Pressure -Al(OH) <sub>3</sub> and -AlOOH Phases and Isostructural Hydroxides/ Oxyhydroxides: New Structural Insights from High-Resolution <sup>1</sup> H and <sup>27</sup> Al NMR |
|------------|-------|---------------------------|-----------|--------|-------|--|

**Journal of the Physical Society of Japan**

|                  |       |                     |          |        |              |   |
|------------------|-------|---------------------|----------|--------|--------------|---|
| Kazuuya Yamamoto | 11859 | 76 (2007)<br>124705 | C05A2001 | BL15XU | Vlaicu Aurel | Intermediate-valence Behavior of YbCu <sub>5-x</sub> Al <sub>x</sub> around Quantum Critical Point Measured by Resonant Inelastic X-ray Scattering at Yb L <sub>3</sub> Absorption Edge |
|------------------|-------|---------------------|----------|--------|--------------|---|

**Materials Science and Engineering A**

|                 |       |                           |                        |                  |              |   |
|-----------------|-------|---------------------------|------------------------|------------------|--------------|---|
| Yutaka Murakami | 11942 | 449-451 (2007)<br>544-547 | 2003B0452<br>2004B0320 | BL04B2<br>BL04B2 | 白杵 毅<br>白杵 毅 | Intermediate-range Structure of Amorphous GeSe <sub>2</sub> Alloy |
|-----------------|-------|---------------------------|------------------------|------------------|--------------|---|

**Nature Materials**

|                  |       |                     |           |        |                  |  |
|------------------|-------|---------------------|-----------|--------|------------------|--|
| Marc De Boissieu | 12018 | 6 (2007)<br>977-984 | 2004A0439 | BL35XU | De Boissieu Marc | Lattice Dynamics of the Zn-Mg-Sc Icosahedral Quasicrystal and its Zn-Sc Periodic 1/1 Approximant |
|------------------|-------|---------------------|-----------|--------|------------------|--|

**Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A**

|                   |       |                       |                        |                  |                                |  |
|-------------------|-------|-----------------------|------------------------|------------------|--------------------------------|--|
| Konstantin Pavlov | 11818 | 548 (2005)<br>163-168 | 2005A0065<br>2003B0190 | BL20B2<br>BL20B2 | Pavlov Konstantin<br>Lewis Rob | Unification of Analyser-based and Propagation-based X-ray Phase-Contrast Imaging |
|-------------------|-------|-----------------------|------------------------|------------------|--------------------------------|--|

**Physica B**

|                |       |                             |          |        |                |  |
|----------------|-------|-----------------------------|----------|--------|----------------|--|
| Ignace Jarrige | 11876 | 378-380 (2006)<br>1154-1155 | C04B1500 | BL12XU | Jarrige Ignace | F-level Occupancy in TmTe Under Pressure Investigated by High-resolution X-ray Absorption Spectroscopy |
|----------------|-------|-----------------------------|----------|--------|----------------|--|

**Physics and Chemistry of Minerals**

|                |       |                      |                        |                  |              |   |
|----------------|-------|----------------------|------------------------|------------------|--------------|---|
| Hiroaki Ohfuji | 12068 | 34 (2007)<br>335-343 | 2005B7005<br>2006A0099 | BL10XU<br>BL10XU | 巽 好幸<br>廣瀬 敬 | A New High-Pressure and High-Temperature Polymorph of FeS |
|----------------|-------|----------------------|------------------------|------------------|--------------|---|

**Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics**

|                     |       |                      |                        |                  |              |  |
|---------------------|-------|----------------------|------------------------|------------------|--------------|--|
| Hiroyoshi Matsumura | 11549 | 70 (2008)<br>592-598 | 2006B6806<br>2006B1642 | BL44XU<br>BL38B1 | 井上 豪<br>井上 豪 | Novel Cation- Interaction Revealed by Crystal Structure of Thermoalkalophilic Lipase |
|---------------------|-------|----------------------|------------------------|------------------|--------------|--|

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

| 主著者               | 研究成果番号 | 雑誌情報                      | 課題番号      | ビームライン | 実験責任者 | タイトル  |
|-------------------|--------|---------------------------|-----------|--------|-------|---|
| Akira<br>Nakamura | 12072  | 104 (2007)<br>18484-18489 | 2005B0458 | BL41XU | 三木 邦夫 | Structural Basis for Regulation of Bifunctional Roles in<br>Replication Initiator Protein |
|                   |        |                           | 2007A1375 | BL41XU | 三木 邦夫 |   |
|                   |        |                           | 2003B0863 | BL41XU | 三木 邦夫 |   |
|                   |        |                           | 2004A0676 | BL41XU | 三木 邦夫 |   |
|                   |        |                           | 2004B0838 | BL41XU | 三木 邦夫 |   |
|                   |        |                           | 2005A0854 | BL41XU | 三木 邦夫 |   |
|                   |        |                           | 2005B1798 | BL41XU | 三木 邦夫 |   |
|                   |        |                           | 2006A2716 | BL41XU | 三木 邦夫 |   |
|                   |        |                           | 2006B2664 | BL41XU | 三木 邦夫 |   |
|                   |        |                           | 2003A0437 | BL41XU | 三木 邦夫 |   |
|                   |        |                           | RIKEN     | BL26B1 |       |   |
|                   |        |                           | RIKEN     | BL44B2 |       |   |

**Science**

|                 |       |                         |           |        |       |  |
|-----------------|-------|-------------------------|-----------|--------|-------|--|
| Umeharu<br>Ohto | 11172 | 316 (2007)<br>1632-1634 | 2006B1687 | BL38B1 | 大戸 梅治 | Crystal Structures of Human MD-2 and Its Complex<br>with Antiendotoxic Lipid IVa |
|-----------------|-------|-------------------------|-----------|--------|-------|--|

**Solid State Ionics**

|                  |       |                         |           |        |      |  |
|------------------|-------|-------------------------|-----------|--------|------|--|
| Takeshi<br>Usuki | 11939 | 177 (2006)<br>2581-2584 | 2003B0452 | BL04B2 | 臼杵 毅 | Ionic Conduction Pathways in Noble Metal<br>Chalcohalide Glasses |
|                  |       |                         | 2004B0320 | BL04B2 | 臼杵 毅 |  |
|                  |       |                         | 2005B0735 | BL04B2 | 臼杵 毅 |  |
|                  |       |                         | 2006A1551 | BL04B2 | 臼杵 毅 |  |

**Surface and Coatings Technology**

|                    |       |                         |           |        |       |   |
|--------------------|-------|-------------------------|-----------|--------|-------|---|
| Masahito<br>Tagawa | 11777 | 202 (2007)<br>1003-1010 | 2006A1598 | BL23SU | 田川 雅人 | Space Environmental Effects on MoS <sub>2</sub> and Diamond-<br>like Carbon Lubricating Films: Atomic Oxygen-induced<br>Erosion and its Effect on Tribological Properties |
|--------------------|-------|-------------------------|-----------|--------|-------|---|

**画像ラボ (Image Lab)**

|                     |       |                 |           |        |                    |                         |
|---------------------|-------|-----------------|-----------|--------|--------------------|-------------------------|
| Mitsuru<br>Nakazawa | 11838 | (2007)<br>10-14 | 2005A0066 | BL20B2 | Wilkinson<br>David | 材料内部の変形・破壊特性のための3次元画像解析 |
|                     |       |                 | 2005B0019 | BL47XU | 戸田 裕之              |                         |

**電気学会論文誌C (IEEJ Transactions on Electronic, Information and Systems)**

|                     |       |                       |           |        |                    |  |
|---------------------|-------|-----------------------|-----------|--------|--------------------|--|
| Mitsuru<br>Nakazawa | 11839 | 127 (2007)<br>824-830 | 2005A0066 | BL20B2 | Wilkinson<br>David | 3D Image Analysis for Evaluating Internal Deformation<br>/ Fracture Characteristics of Materials |
|                     |       |                       | 2005B0019 | BL47XU | 戸田 裕之              |  |

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

|           |       |                    |           |        |      |   |
|-----------|-------|--------------------|-----------|--------|------|---|
| Kengo Oka | 11908 | 54 (2007)<br>53-57 | 2007A1810 | BL02B2 | 岡 研吾 | Synthesis and Physical Property of Triangular Lattice<br>Antiferromagnet InFe <sub>2</sub> O <sub>4</sub> |
|-----------|-------|--------------------|-----------|--------|------|---|

**Doctor Thesis**

|                    |       |        |           |        |                   |  |
|--------------------|-------|--------|-----------|--------|-------------------|--|
| Thomas<br>Claesson | 11762 | (2007) | 2006A1001 | BL25SU | Månsson<br>Martin | Investigations of Transition Metal Systems |
|                    |       |        | 2006B1020 | BL25SU | Månsson<br>Martin |  |
| Martin<br>Månsson  | 11763 | (2007) | 2006A1001 | BL25SU | Månsson<br>Martin | Adatoms, Quasiparticles & Photons          |
|                    |       |        | 2006B1020 | BL25SU | Månsson<br>Martin |  |

課題以外の成果として登録された論文

**The Journal of Biological Chemistry**

| 主著者              | 研究成果番号 | 雑誌情報                      | 課題番号  | ビームライン | タイトル   |
|------------------|--------|---------------------------|-------|--------|--|
| Takashi Kumasaka | 11961  | 282 (2007)                | RIKEN | BL45XU | Crystal Structure of Blastocidin S Deaminase (BSD) <i>Implications for Dynamical Properties of Catalytic Zinc</i>                      |
|                  |        | 37103-37111               | RIKEN | BL26B1 |  |
| Seong Kim        | 12071  | 282 (2007)<br>33107-33117 | RIKEN | BL44B2 | Crystal Structure of the Oxygenase Component (HpaB) of the 4-Hydroxyphenylacetate 3-Monooxygenase from <i>Thermus thermophilus</i> HB8 |

**Acta Crystallographica Section A**

|                |       |                      |       |         |  |
|----------------|-------|----------------------|-------|---------|--|
| Kenji Tamasaku | 11892 | 63 (2007)<br>437-438 | RIKEN | BL19LXU | Idler Energy Dependence of Nonlinear Diffraction in X + EUV Parametric Down-Conversion |
|----------------|-------|----------------------|-------|---------|--|

**Biochemistry**

|                   |       |           |       |        |   |
|-------------------|-------|-----------|-------|--------|---|
| Katsuyoshi Harada | 11780 | 46 (2007) | RIKEN | BL44B2 | Structure and Ligand Binding Properties of Myoglobins Reconstituted with Monodepropionated Heme: Functional Role of Each Heme Propionate Side Chain |
|                   |       | 9406-9416 | RIKEN | BL45XU |   |

**Journal of Structural Biology**

|                          |       |                    |       |        |   |
|--------------------------|-------|--------------------|-------|--------|---|
| Thirumananseri Kumarevel | 12079 | 161 (2008)<br>9-17 | RIKEN | BL26B1 | Crystal Structure of the MarR Family Regulatory Protein, ST1710, from <i>Sulfolobus tokodaii</i> Strain 7 |
|--------------------------|-------|--------------------|-------|--------|---|

**Journal of Synchrotron Radiation**

|              |       |                  |         |  |   |
|--------------|-------|------------------|---------|--|---|
| Mutsumi Sano | 11996 | 15 (2008)<br>1-7 | フロントエンド |  | Quantitative Estimation of Thermal Contact Conductance of a Real Front-end Component at SPring-8 Front-ends |
|--------------|-------|------------------|---------|--|---|

**Physical Review B**

|                |       |                     |       |        |   |
|----------------|-------|---------------------|-------|--------|---|
| Hiroki Wadachi | 12014 | 77 (2008)<br>045122 | RIKEN | BL29XU | Hard X-ray Photoemission Study of LaAlO <sub>3</sub> /LaVO <sub>3</sub> Multilayers |
|----------------|-------|---------------------|-------|--------|---|

**Physical Review Letters**

|                |       |                     |       |         |  |
|----------------|-------|---------------------|-------|---------|--|
| Kenji Tamasaku | 11891 | 98 (2007)<br>244801 | RIKEN | BL19LXU | Interference between Compton Scattering and X-Ray Parametric Down-Conversion |
|----------------|-------|---------------------|-------|---------|--|

**Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics**

|           |       |                      |       |        |  |
|-----------|-------|----------------------|-------|--------|--|
| Seong Kim | 12073 | 70 (2008)<br>718-730 | RIKEN | BL45XU | Crystal Structures of the Flavin Reductase Component (HpaC) of 4-Hydroxyphenylacetate 3-Monooxygenase from <i>Thermus thermophilus</i> HB8: Structural Basis for the Flavin Affinity |
|-----------|-------|----------------------|-------|--------|--|

## X線1分子追跡法考案ビフォーアフター

財団法人高輝度光科学研究センター 利用研究促進部門  
 科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業  
 JST/CREST 佐々木チーム  
 佐々木 裕次

## 1. 計測法研究の意義とその困難さ

新しい学問領域は、新しい計測手段の発明から生み出されることは科学史が示している。1930年代、M. Delbrückらは当時分類学の一つであった生物学を物理学として取り扱おうとした。その成功が決定的になったのは、M. Delbrück傘下のA. Hersheyが $^{32}\text{P}$ と $^{35}\text{S}$ を高感度に分離できる放射性同位体実験に成功した時だった<sup>[1]</sup>。これにより明確に核酸のみの挙動を定量的に解析でき、分子生物学や細胞生物学がスタートした。また1950年代には、J. Watson、F. CrickがDNAの構造モデルを提案しようとした。その際も、R. FranklinやM. WilkinsのX線データがなければ、遺伝学の根本的難題を解決するあの美しい相補的な分子構造モデルを思いつくことはなかった<sup>[2]</sup>。偶然的な要因が多々重なるが、ブレイクスルー的な科学的進展には、当時の先端的計測法が重要な役割を果たしてきた。

では現代において上記のような計測法とはどのような手段になるのか? 「可視光を用いた原子顕微鏡」は現在議論されている。「1分子構造決定法」はもう始まっている。ミクロの決死圏的な「ナノロボットによる人体内計測」はかなり現実的だし、「脳機能(記憶)のビジュアル化」も十分可能性がある。測定規模を大きくするならば、「重力波検出」はすでに実践的で、「地球規模の地盤ひずみ断層計測」では有効な情報が得られそうである。「体内において、1分子内部の運動を高速かつ原子オーダー以下の精度で追跡」は今となってはそれほど驚かない。現状でも数通りの計測可能性を提案できる。

計測法の長い歴史を振り返ると、今まで多くの計測法がNobel Prizeに輝いた。X線回折(1914年、1915年、1946年、1962年、1964年、1985年、1988年、2003年)、X線分光(1917年、1924年)、電子分光(1937年、1981年、1982年)、中性子回折(1938年、1994年)、光電子分光(1981年、2007年)、原子分光(1919年、1943年、1944年、1955年、1961年、2005

年)、レーザー分光(1981年、1989年)、可視域干渉計(1907年、1908年)、ホログラフィー(1971年)、レーザートラッピング(1989年、1997年、2001年)、NMR(1952年、1955年、2002年、2003年)、電子顕微鏡(1986年、2003年)、質量分析法(1922年、2002年)、光学顕微鏡(1953年)、走査型トンネル顕微鏡(1986年)、心電図法(1924年)、電気泳動法(1948年、1980年)、放射性トレーサー法(1943年、1969年、1977年)、断層撮影CT技術(1979年)、フーリエ変換FT技術(1991年)、パッチクランプ法(1991年)。受賞は10年周期とか、5年周期とか囁かれるほどに多い。現代科学の根幹を支えている間違いのない証拠である。しかし、意外と新規の計測法を専門として研究を進展させている研究者人口はそれほど多くない。測定法自身を研究テーマにはしているが、その方法はすでに基本概念が確立されている系であり、その高速化、高精度化、測定系の拡張、そしてコンパクト化といったことに主眼を置いた研究や、他の計測手段との複合化を進めている研究は「計測法研究」とは私はいわない。無論、それらの研究はその方法論を進展させる上で間違いなく必要な研究段階ではあるが、計測方法論自身の検討、つまり、新しい基本概念の検討を主目的にした研究者人口がもう少し増えてもよい。方法論研究の難しさがそこに表れている。

新規計測法を有名にするのは、新規の科学的進展を目の当たりにさせる巧妙なサンプル系との組み合わせが必要になる場合が多い。計測法の考案は相当先を見て研究を進めなければ時代遅れになってしまう。時には新規な計測結果自身のみが目が奪われ、計測法の価値が軽んじられる場合も少なくない。計測屋の歯軋りする音が聞こえる。それでも新規計測法提案の重要性は変わらない。その学際的影響力の広さといい、顕微鏡的計測手段でなくとも、「百聞は一見に如かず」という研究戦略は爽快感さえあり、研究展開を如実に加速させる。ただ、ここで計測屋



の独り善がりの戯言と思われないうために、F. Burnetのクローン選択仮説を一例として引用すべきだろう。当時主流だった抗体産生の鑄型説に対抗して、彼はあらゆる抗原に抗体は先天的にB細胞クローンとして体内にすでに存在しているという抗体産生機構を提案した。当時は相手にされなかったが、現在はその説を疑う者はいない。つまり、「見えていたもの」ではなく、当時の「見えざるもの」を推論する事こそが科学の最も偉大な行為であることを私達は知っている。その仮説の証明法の1つが「計測」であり、この仮説の証明には、敬意を持って計測屋は当たらなければならない。それが「計測屋の品格」であり義務である。

計測研究領域において、計測屋として新規の計測方法を提案し続けることが使命と思っている研究者にとって、科学的に「無謀」と思われていることを手助けする先端的計測法の提案をするためには、その「無謀」な科学的行為が行われる以前にすでに存在もしくは、同時に存在していなければならない。新規計測法を登場させるタイミングの難しさである。早すぎると利用されることもなく忘れ去られるし、遅すぎると代用計測手段がすでにあり相手にされない。現状の「1分子計測学」において、新規な計測手段の基本的な発案は1980～2000年に提案され尽くされた。また、主要な生体分子に関する静止画としての構造生物学が出揃い始め、その運動の様子が議論され始めた時期と上記時期は重なる。その時期にX線1分子追跡法を提案できたのは運が良かったとしかいいようがない。

## 2. 可視領域1分子計測法の登場

1分子計測を最初に成功させたのは、企業研究者T. Hirschfeld<sup>[3]</sup>である。1976年の成果で、有名な走査型トンネル顕微鏡が考案された1982年<sup>[4]</sup>の数年前に発表された。実験的には極めて単純で、基板上に吸着した蛍光1分子を検出した。しかし、この方法が生命科学に非常に有効という記述もあり、1分子計測の第1号論文として価値がうかがえる。その頃の私は勿論研究生生活に入る前であるが、走査型トンネル顕微鏡が登場した時は、学生の私でも理解できた気がしたので良く覚えている。それほど単純な計測手段であった。その単純さ故、後の爆発的な他分野への利用がなされた。可視領域における1分子計測も同様の事がいえるであろう。

私が計測法の分野に研究の足を踏み入れたのは、

1987年の大学院修士課程の時である。幸運にも、屈折蛍光X線法(Refracted X-ray Fluorescence: RXF)を考案し、無機薄膜材料の正確な密度測定や化学特性を測定できる方法として提案した<sup>[5]</sup>。その後、企業の基礎研究所に職を見つけ、1991年ごろから筑波のPhoton Factory(PF)に通い始めた。当時の指導教官であった鈴木芳生氏の指導下で放射光の素人だった私が、やっと実験に慣れてきた頃に、共同で蛍光X線干渉法(Fluorescent X-ray Interference: FXI)として新計測法を提案し、その関連する仕事はScienceにも受理された<sup>[6]</sup>。FXIはナノ領域の層状構造を正確に評価できるもので、秒レベルの分子運動計測も可能であった。ただ、2次元的に平均化した情報のみしか得ることができず、1分子や1原子レベルに進展させるのは不可能に思えた。

当時高速測定をするために、蛍光X線からの回折縞をイメージングプレート(IP)で計測していた(図1)。蛍光X線の光源に使用していた直径数nmの金コロイドからのいつもの美しい干渉縞の中に、なにか明るい斑点が時々見えることに気がついた。IPのゴーストだと思って、初期化して再度数秒露光すると斑点は出なかった。これが偶然結晶性の良かった大きな金コロイドがサンプル内に入っていて、その回折スポットであることに気がつくまでに数カ月かかった。これが1つの金ナノコロイドからの回折だと分かった時は、かなり興奮したのを今でも覚えている。当時、蛍光X線の干渉検出は、色々工夫しても単分子層の感度がやっとであった。以前から目指していたナノレベル1粒子(分子)計測にはほど

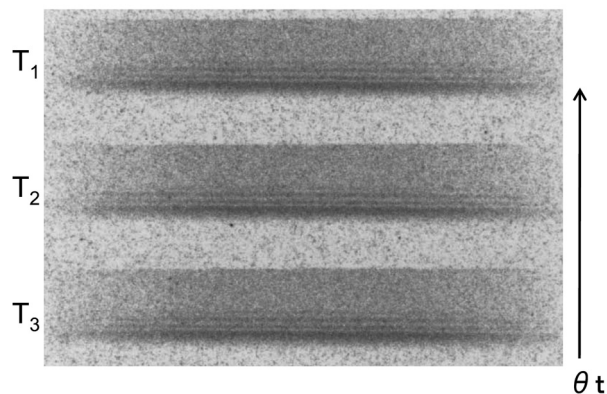


図1 金ナノコロイドの単層膜から得られた蛍光X線の干渉縞。各1秒間の積算で連続的に3つの干渉縞( $T_1$ ,  $T_2$ ,  $T_3$ )をIP上でずらして検出した。 $t$ は蛍光X線の取り出し角。

遠い検出感度で、どうしたら高感度化できるかいつも悩んでいた時期であった。

1つのコロイドからの信号が取れると確認した後、その運動を見れば1つのコロイドからの局所的な構造情報が得られるかもしれないという発想は意外とすんなり思いついた。その後、金ナノ結晶を標識体として使用し、間接的に生体1分子の運動を計測するというX線1分子追跡法の新規性と重要性を力説し、当時の科学技術振興事業団(JST)さきがけ研究21に1浪の末に採択され、1998年本格的にこの研究が始まった。X線1分子追跡法のアイデアが固まってから3年後のことである。その後10年程度、優秀な共同研究者の方々や大型予算採択に恵まれ、幾度となく停滞しながら、今日までなんとかX線で1分子レベルの運動計測を可能にする研究を展開してきた。

### 3. ナノ結晶という新しいトレーサー

X線1分子追跡法の測定名にもした追跡(Tracking, Tracer)という発想はかなり古く、最初の提案は放射性トレーサー法である。人工ラジオアイソトープをトレーサーに利用したG. HevesyとO. Chiewitzの論文は有名である<sup>[7]</sup>。通常、非放射性元素であったリンを放射性<sup>32</sup>Pとして自作製造し、生物系への利用法を示した研究は核医学研究の方向を決定的にした。その後すぐに放射性ヨウ素<sup>128</sup>I等の利用も始まった。それよりも10年も前にトレーサーの実験をした研究者がいた。核医学の父と呼ばれるH. Blumgartである。彼はラジウムを使って心不全の患者の病状を計測しようとした。トレーサーの持つべき特徴に関する彼の当時の議論は、現在の研究においても正論である。

- (1) 身体内に存在しない物質
- (2) 検査対象になる現象に影響を及ぼさない物質
- (3) 極微量でも検出可能な物質
- (4) 身体内から適当な速さで無くなっていく物質

昨今放射性トレーサーは、その放射性という特性から利用数は年々激減している。それに代わって現在標識トレーサーと言えば、高感度な蛍光分子や量子ドットが主流となっている。特に、高輝度の蛍光分子(Green Fluorescent Protein: GFP)の発見が当時プリンストン大学に在籍していた日本人O. Shimomuraであったことは私達に勇気を与えてくれた<sup>[8]</sup>。1962年発光生物学の研究過程で、発光クラゲであるオワンクラゲからイクオリンとGFPなる

発光分子を発見した。最近のインタビューでも、「双子の兄弟をこの世に生み出したが、弟の方が驚くほどに有名になってしまって、親としては驚いている」と、現在、生命科学の分野において欠くことのできないまでに普及したGFP分子(息子)を懐かしんでおられた。このGFPに代表される蛍光分子も、先に述べた放射性トレーサーの4つの特徴を見事に兼ね備えている。現在、数限りない蛍光分子が考案され使用され販売されている。丁度それは1920~1940年代に多くの人工ラジオトレーサーが登場した時代と類似する。歴史は繰り返すとはこのことかもしれない。

私が提案した第3のトレーサーはナノ結晶という大きさ20nm程度の結晶体である。上記トレーサーの特徴を検討してみると、(1)に関してはほぼ合格といえる。勿論、2次元最密膜としては紫膜(バクテリオロドプシン2次元膜)のような結晶膜は存在するが例外的である。最近、たんぱく質分子やDNAの通常の立体構造から外れた時の凝集過程が色々な疾病に関係しているという研究がなされている。しかし、それほど良質な結晶状態ではない。凝集という過程を良質でない結晶状態として評価、もしくは計測することは今後面白い展開になるかもしれない。(2)に関しては微妙である。ナノ結晶は動きを見たい生体分子に化学的に標識するのだが、標識する部位や標識方法によってその分子の持つ活性を損なう場合がある。標識後に活性が失われていないかどうかの検証をしなければならないという予備実験が必要となる。今後、影響が全くでない標識法(極端には無標識)の検討は重要な課題である。また、ナノ結晶の大きさをできるだけ小さくする研究は今後期待できる。それはナノサイズの完全結晶研究やX線検出系研究が必要ということである。(3)においては、ナノ結晶はそもそも、その存在やその結晶方位を検出することを目的として標識するのであるが、その検出感度は第三世代放射光施設を利用するのであれば十分にミリ秒の測定で1粒子検出が可能である。理想的にはラボレベルのX線光源や小型放射光施設を利用した高速1粒子検出の実現が期待される。また、他のプローブとして有効な電子線においても20nm以下の大きさのナノ結晶で検出が十分可能であることは最近私達が確認した。(4)は本計測法を生体内計測(*in vivo*計測)へと発展させるまでの宿題となっている。多くの生命現象には未知な因子が多く存在する。ある1つの生命現象を研究対

象にした場合でも、関連する分子の同定がすべて終了している系はほとんどない。*in vitro*計測と*in vivo*計測の違いはまだ本質的な違いを秘めている。

#### 4. X線 1 分子追跡法の原理

1 分子内の特定部位の運動が原子オーダー以下の精度で実時間計測できれば、機能性生体分子の機能発現に伴う極めて微小な構造変化情報が得られる。この精度を達成するためにX線を利用する。しかし、多くの研究者は、“X線を用いて1分子を検出できるのか？”という疑問を持つ。それは、物質と電磁波との散乱断面積の大きさは、波長に比例するという常識からだ。可視領域において行われているように、発光、吸収、散乱現象を用いて1分子を直接的に検出することはX線領域では、第三世代大型放射光施設を用いて、かつ数時間の積算をしたとしても難しいことは計算すると明らかである。私はX線の物理現象で一番高感度な現象、X線回折を利用する時分割回折X線追跡法 (Diffracted X-ray Tracking : DXT) が1分子検出の可能性があると考えた。

X線 1 分子計測法のアイデアは単純である (図2)<sup>[9-12]</sup>。直径20nm程度の極微ナノ結晶をタンパク質分子にその機能を損なわないように標識する。そして、極微ナノ結晶からのラウエ斑点を指標に、着目したタンパク質分子の動きを時分割( $\mu\text{s}$  ~  $\text{ms}$ 程度)追跡する。図2には、目的1分子ユニットの一部に構造変化があると、その部位に標識されているナノ結晶がその構造変化と同期して変位し、ナノ結晶からのラウエ回折斑点の方向を変化させるという例を示している。ここで注意しなければならないのは、検出しているのは標識されたナノ結晶の回転方位であり、分子自身の方位や並進運動ではない。

従って、ここでは、ナノ結晶の運動とナノ結晶が標識された目的分子内の部位 (被標識部位) が同様の運動をしているということが大前提となる。これは、ナノ結晶と被標識部位の距離、結合状態に依存すると予想された。現在まで、比較的広い条件下でこの前提は成立していることが分かってきた。

以上のように、ここで議論するX線 1 分子計測法は、直接的に1分子の動きをX線検出する方法ではない。最近議論されている自由電子レーザー等の次世代大型放射光施設を用いた1分子構造解析とは異質のものである。しかし、このような研究方向は、X線だけではなく電子線の単粒子解析法<sup>[13]</sup>やNMRの1分子バージョンともいえる磁気共鳴力顕微鏡 (Magnetic Resonance Force Microscopy: MRFM) の目指す1分子構造決定法<sup>[14]</sup>、それに計算科学が推し進める1分子構造予想の流れを見ても必然的であり、ある意味ではX線分野はまだ遅れていたといつてよい。

X線 1 分子追跡法がpmの精度を達成することができる理由を図3で単純化して説明する。この機能性生体分子は、筋肉系の主要タンパク質分子の一部であるミオシン頭部は、長さ10nmのレバーアームと呼ばれる部位が反応分子 (ここではATP (アデノシン三リン酸)) と反応した瞬間に、どのような運動をするかが何十年にも渡って議論されてきた。このレバーアームは構造生物学的にいうと、ヘリックス構造をしているので剛体的な挙動を示すことが予想されていた。DXTにおいて現状並進運動は全く検出することはできないが、回転運動に関しては検出カメラとサンプル間の距離 (カメラ長) に依存するが、0.1mradレベルを検出することは十分可能である。レバーアームの運動を根元の部位付

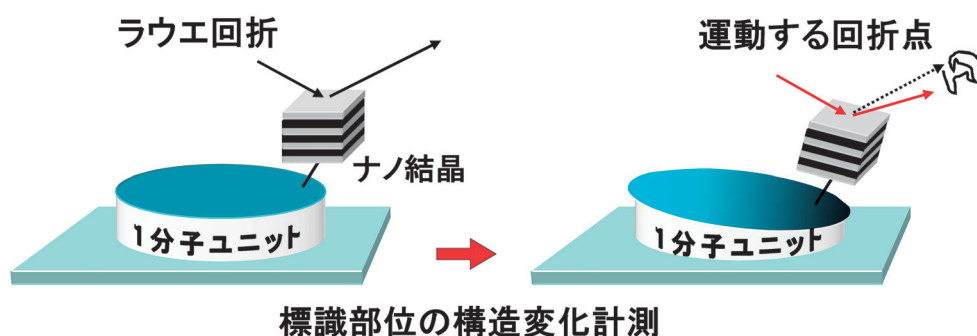


図2 X線 1 分子追跡法の原理図。1 分子ユニットは通常10 ~ 20nmと大きい。標識するナノ結晶の大きさは20 ~ 30nm。



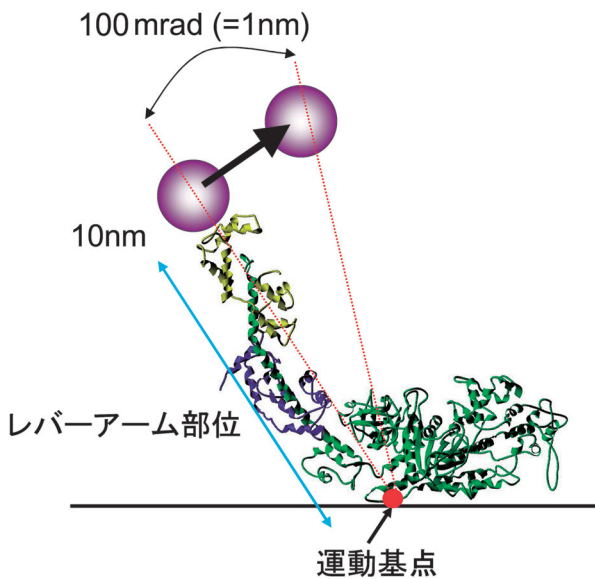


図3 ミオシン分子を基板に固定して、レバーアームと呼ばれる10nmの長さで比較的剛体的な部位の挙動を見る場合に、X線1分子追跡法がどこまでの計測精度があるかを示す。

近を中心とした単純な回転運動と仮定すると、幾何学的に末端部分の回転が10mrad動いたとするならば、並進的に0.1nm移動したことに対応する。つまり、0.1mradレベルの検出は、pm (nm/1000) に対応する検出が可能となる。

DXTの特長にまだ先があったことは、実験を進める上で初めて認識できた。通常図3のような変換された運動解釈が成立したとしても、計測システムとして大きなノイズに隠されてしまうことが多いが、DXTは回転運動を高精度計測できる点にその驚異的精度実現の理由がある。高精度走査顕微鏡の代表例として走査型トンネル顕微鏡 (STM) があるが、あの0.1nmレベルの精度を実現するためには、除振台の設置が発明当時から非常に重要であった。STMの測定は振動に非常に敏感なため、バネなどによって地面から直接震動が伝わらないように設計された。当初、開発者のG. Binnigらは測定部を超伝導磁気浮上させていたが、冷却のため1時間に20リットルもの液体ヘリウムを必要とする事からこれを改め、2段釣りのバネ機構と渦電流方式の永久磁石の振動減衰装置を用いるようになった。現在はよりコンパクトな除振システムとなっているが、除振システムの世界最高精度でもpmレベルの除振は現在でも不可能である。それが直接的な並進運動検出の障害の1つとなっている。DXTは回転運動なの

で並進的な除振は必要ない。この特性は装置構成を考える上で、極めて特長的で装置的な応用範囲も極めて広くなると考えている。

しかしDXTを成功させるためにも必要な技術があった。生体1分子ユニットのソフトな基板固定法や1分子に対して1ナノ結晶を1対1に標識する方法、または良質のナノ結晶作製技術である。水溶液中を拡散、ブラウン運動している分子にナノ結晶を標識しても、現在の放射光の強度ではナノ結晶からのX線回折斑点を実時間(最低ビデオレイト速度で)測定することは不可能である。従って、X線を非常に良く透過する石英基板(通常利用するのは厚さ70 $\mu$ m)の上に生体分子をソフトに化学固定する必要があった。固定法はいくつかの方法を考案した<sup>[15, 16]</sup>。典型的な例を先のみオシン分子の基板固定で説明する(図4)。この場合、末端部分(N末端やC末端)に活性なSH基やHis-tag基などを遺伝子導入する方法を利用した。His-tag基の導入は、変異体を精製する過程で最近頻繁に利用されているので、特別な変異体の作製を必要としない。問題はSH基の導入である。変異体導入されたSH基は一般に活性が高く、他の同一分子とSS結合を作ってしまうので、DTT等の酸化防止剤を共存させて試料保存しなければならない。ただし、基板と変異体を反応する際は、これらの酸化防止剤自身が優先的に基板表面と反応するケースが多いので、サンプル溶液から分子除去などを反応直前に行わなければならない。

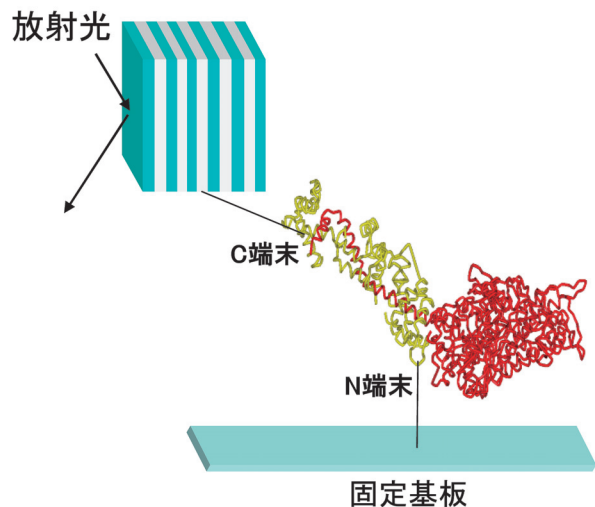


図4 ミオシン分子を基板固定して測定した例。N末端を基板に固定し、C末端をナノ結晶と反応させた。この状態においても分子の機能は保持されていることを別実験で確認することは重要である。

正確な生体分子の基板への配向性を必要としない系の場合は、二価性試薬を用いて生体分子内の活性なアミノ基など(非特異的固定)を介して基板固定する場合もある<sup>[17]</sup>。基板固定で注意する点は、目的分子と基板表面の間を直接接触させない程度に基板修飾分子で空間を空けることである。直接結合させることでタンパク質分子自身の構造に歪みが入り、保持する機能が劣化することが多く報告されている。しかし、空けすぎると極端ない方をすれば、水溶液中に存在している時の自由運動と同様の運動となり計測不可能になってしまう。上記空間は目的分子や固定する残基位置に依存して異なる。またここで注意する点は、この固定法がX線1分子計測法の必須条件ではないという点である。検出されるX線回折斑点の感度が向上すれば、より高速の計測が可能となり、水溶液中を浮遊している分子の分子内運動も計測できる。

図4にあるように理想的には目的1分子に標識されるのはナノ結晶1つでなければならない。それも目的分子中の1つのサイトを介してである。本研究で用いているナノ結晶は金結晶であり、金はX線回折の検出感度が高いばかりではなく、金表面とSH基との共有結合が有効に利用できる。金表面は無数の活性サイトを持っているので、複数のシステインとの反応が進むことが容易に予想される。現状は、金表面の汚れのためにそれほど多くの活性サイトを金ナノ結晶表面に考えなくてもよいらしく、将来的には活性表面をこちらが指定した表面電荷になるように金表面化学修飾を施して、完全に1つの反応分子のみを金ナノ結晶表面に修飾することを目指している。

最近多く利用され始めた極めて高効率に蛍光発光する量子ドット<sup>[18]</sup>の表面修飾法は非常に参考になる。元々ナノサイズの粒子は、表面イオンによる反発で水溶液中になんとか分散状態で保持できていた。しかし、イオン強度の高い生体環境下では、容易に凝集し沈殿してしまう現象が以前より知られていた。そこで多くの研究者が行ったのは、非特異的吸着が少なく生体環境下においても分散状態を長時間保持できる表面処理法を探すことであった。結果的にヘテロ2官能性ポリエチレングリコールをナノ粒子の表面処理剤に用いることで、反応性を持った安定なナノドットを得ることができた(図5)。ここで取り扱っている量子ドットは直径5~10nm程度の粒子で、その外側の表面処理に用いたポリマー

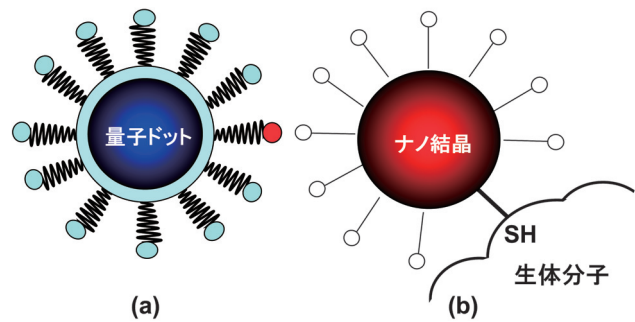


図5 (a)一般的量子ドットの構造。反応サイトを右側の1つのサイトに設定することも可能となっている(b) ナノ結晶は生体分子に標識されるモード。金表面と生体分子の持つSH基は直接的に共有結合する。ただ、ナノ結晶の本体には疎水特性が残っているので問題になる場合がある。

の長さは、4~8nm程度である。従って処理後のナノドットの大きさは、処理前の大きさに比べて倍近くに大きくなる。

この処理をX線1分子計測法で利用すると問題が起こるかもしれない。現在検討中であるが、X線1分子計測法で以前ポリマーの動的挙動を実験した際には<sup>[9]</sup>、その動的な挙動が確認される。つまり、ポリマー層を目的生体分子とナノ結晶の間に挿入することになり、ポリマーの動的挙動を付加した情報がX線1分子計測で得られる。現在、より短いポリマーで分散特性が維持できないかを検討しているが、極めて短くして(例えば数nm)分散性が残るのであれば、この有効な表面処理工程を利用できるかもしれない。この処理が可能になれば、ナノ結晶に目的生体分子を1つの結合サイトで反応させる処理法の確立も可能性が出てくる。

目的生体分子へのラベル反応は極めて単純である。現段階では、安定的に水溶液中に存在するナノ結晶と基板上に固定された生体分子を2~10時間程度5~10程度でインキュベーションし、その後、バッファーでソフトにかつ何度もよく洗い流すという単純なプロトコルにしている。この際注意する点は、洗い流すのであって洗い溶液を基板にたたきつけるように洗浄してはならない。比較的ソフトに基板固定しているためか、簡単に剥離することが確認されている。

#### 5. 結晶の方位情報のみ着目したブラッグ反射利用

DXTはブラッグ反射の応用である。従って、 $2d\sin\theta = n\lambda$  が基本となる。通常の認識と異なる点



は、通常変数と考えられていなかった  $d$  を  $(t)$  と考え、 $d$  値の決定を目的として上式を利用しなかった点である。 $d$  を既知なる値とし、 $(t)$  を  $d$  の決定のためではなく、回折現象を確認するための領域設定のみに利用した。1分子計測は1分子の存在はもとより、特定時間内の運動追跡が主な目的となる。ブラッグ反射を利用物理現象としているので  $d$  の値に領域が必要となる。本研究立ち上げ当初は、SPring-8/BL44B2を利用していたので、7~30keV という波長領域を確保できた。放射光を光源とする場合、白色光特性を持っている放射光を利用することは、極めて有効であるが現実はそうではない。X線回折現象を利用する場合は通常、最終目標が  $d$  値の決定であるから、正確な  $d$  の値と複数の正確な  $d$  の値が必要になり、それは単色化という技術を進展させた。この研究方向は放射光(X線)技術に限ったことではなく、レーザーや電子顕微鏡関連技術においても、集光技術やコヒーレント光利用と絡んで単色化技術は大きく進展した。

この研究方向に逆らう本法は、新規であるという表現もできるが、この単色化技術も取り込む進展をすべきかもしれない。例えば、ナノ空間内に  $d$  値に幅のある粒子を作製する。それは均一的な  $d$  スペースを持つ結晶とは異なった「傾斜結晶」のような概念となるのかもしれない。「複合結晶」ともいえる。類似の技術はすでにあり、傾斜結晶の技術を確立した方が、多くの単色化した放射光ビームラインを利用できる利点がある。また、今後台頭してくるX線自由電子レーザー(XFEL)の利用も含めて、「ナノ傾斜結晶」の体系的実現を早期に果たしたい。

現在、多くの高輝度な蛍光分子が開発利用されている。また、先述したが1920~40年代に多くの人工放射性トレーサーが開発されたように、ナノ結晶が新しい高エネルギープローブ(X線、電子線、中性子線等)トレーサーとして、微小方位の検出のために、色々な  $d$  スペースや、複数の  $d$  スペースの混合したナノ結晶体が利用可能となれば、多くの研究領域においてDXTが応用される可能性がある。また、現時点ではサンプル系に影響するかもしれないというナノ結晶自身の大きさに関して、そのナノ結晶自身の形状を制御することにより、意外な利用法の可能性もあるのではないかと現在形状制御の観点から作製法を再検討しているところである<sup>[19-21]</sup>。

## 6. 機能性生体分子運動計測

実験装置配置を示す(図6)。DXTは特定の領域内のブラッグ反射すべてにおいて回折斑点を検出できなければ、生体分子に標識された金ナノ結晶の運動を連続検出できないので、連続波長帯を持った白色X線が必要となる。従って、白色でかつ集光能力を持った大型放射光施設SPring-8/BL44B2にて実験を行った。本来白色特性というのは放射光光源の特徴であるから、白色を利用する実験方法は正に放射光でなければ実験できない方法論である。データは、数msレベルのパルスX線光源を使用して、ビデオレート程度で1~2秒間計測する。検出系は、X線を可視蛍光に変換するX線イメージングインテンシファイヤーV5445Pを使用した。可視蛍光はCCDカメラにて検出。この検出システムがビデオレートのリアルタイム計測を可能にした。

サンプルの断面構造を図7に示す。厚さ約7~10 $\mu$ mの水溶液層を挟んで片側をX線透過フィルムで封をしている。フィルムは、耐放射性の高いポリイミドフィルムを使用した。このポリイミドフィルムは比較的薄膜が均一でフィルム表面を清浄化しやすい。基板側は両面研磨した石英基板(厚さ40~70 $\mu$ m)を用いた。石英基板自身に化学修飾をして生体分子を吸着させることもあるが、金を蒸着して基板として使用することが多い。この場合の金は、アモルファス状態なのでX線の回折スポットを発生しない。サンプルの温度制御は可能で通常0~5℃設定下で行われた。1秒間の照射実験を何度も繰り返し、各運動を統計処理して既知のブラウン運動と比較検討を行うのが基本的なデータ収集法である。

DXTの最終目標は、生理条件化で機能発現して

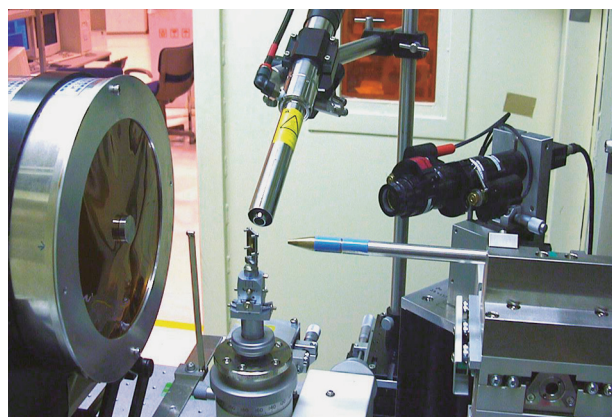


図6 X線1分子追跡法の装置配置図(SPring-8/BL44B2の場合)



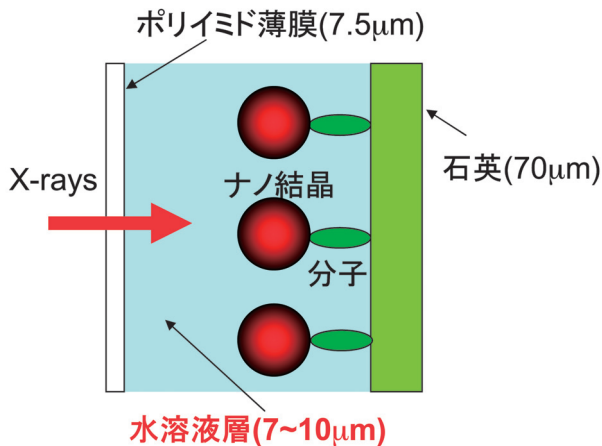


図7 X線1分子追跡法で用いられる典型的なサンプル断面図。ポリイミド薄膜や薄膜石英基板を使用するのは、できるだけX線の散乱強度を軽減させるためである。

いる状態での計測である。つまり *in vivo* 1分子計測を実現するために、より *in vivo* に近い状態で機能性タンパク質分子の機能発現に伴う1分子動的挙動計測を主に試みている。機能性タンパク質分子の中で、極めて魅力的なのは細胞の内側と外側の調製機能として極めて重要な役割を担っている膜タンパク質分子である。現在市販されている多くの臨床的

薬剤の30%以上は、この機能性膜たんぱく質分子に対応するための分子であり、最近解明された生物系全ゲノムの50%程度はこの膜系に関連した情報を保持していることが明らかになった。

最近までの主なサンプル系を図8に示す。先の例にも述べたDNA分子にミオシン分子、そしてアクチン繊維に、タンパク質のフォールディングに関係するGroEL/ES分子系、実際に生体分子の構造を変性させた(アンフォールド状態)ミクログロブリン、蛍光分子であるGFPも計測対象になった。先の膜たんぱく質系においては、バクテリオロドプシン(Bacteriorhodopsin: bR)<sup>[22]</sup>やチャンネル分子の代表的な例であるカリウムチャンネル分子(KcsA)<sup>[23, 24]</sup>も測定を行った。詳細な結果はここでは触れないが、極めて興味ある実験結果がいずれの計測においても得られている。

特にカリウムチャンネル分子に関しては、現状の研究展開の中で1分子計測がどのような意味を持つかを説明する。チャンネル分子の一種であるカリウムチャンネル分子は、カリウムイオン(K<sup>+</sup>)だけを選択的に通す分子で、これはバクテリアからヒトの細胞に至るまで広く存在する。すなわち、進化の初期から数十億年にもわたって生物が使い続けてきたカリウムチャンネルは、生物にとって最も基本的なたんぱ

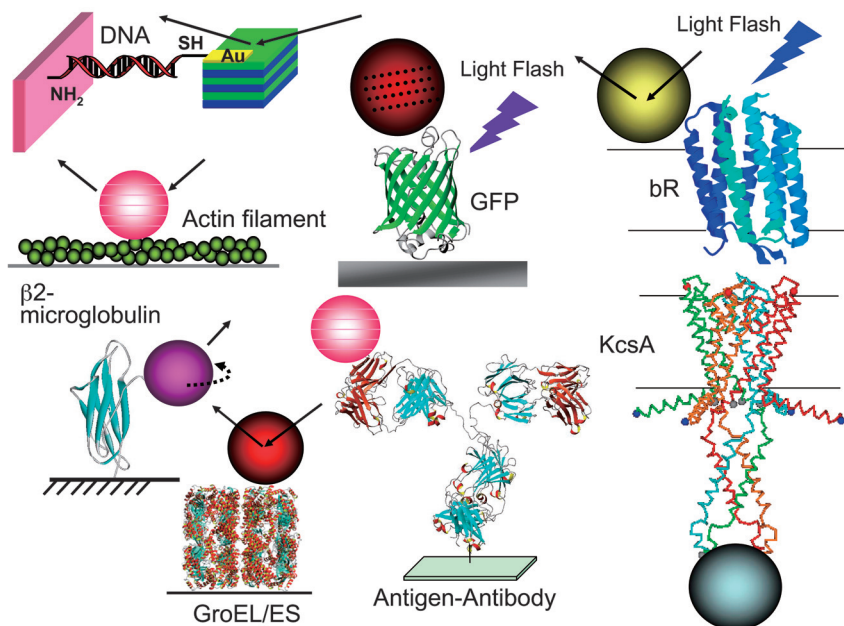


図8 DXTの今までのサンプル系。DNA、可溶性タンパク質分子、膜タンパク質分子、光励起型タンパク質分子など、分子内構造変化が注目されている分子はほとんど測定可能である。

く質分子の一つと考えてよい。「カリウムチャンネル分子がどのような形を持った分子で、イオンを通す穴はどのような構造か、またその穴を開閉するのはどのような機構か？」これがカリウムチャンネルという優れたナノマシンの解明するための最も本質的な課題であった。この課題に向かって長年多くの研究が積み重ねられてきたが、この中で2つの大きなブレイクスルーが現在まであった。第一のブレイクスルーはチャンネル分子の電気特性を1分子ごとに観察することができるようになった技術の登場であった<sup>[25]</sup>。そして、第2のブレイクスルーはカリウムチャンネル分子の立体構造の決定<sup>[26]</sup>。この構造決定以来、チャンネル研究は分子機能改変の戦略が立てやすくなり、世界中で研究が加速した。このような状況下において、1分子が動く様子を高精度に実時間で測定できる本法を用いて、「チャンネル分子が静止している状態で得られた立体構造、つまりスナップ写真」ではなく、「分子が働いている正にその状態、すなわちチャンネル分子が働くために構造を変化させつつあるその現場を捉えたビデオ映像」を得ることにより、沢山のチャンネル分子からの平均的な情報では得ることができなかった、1分子のチャンネルの構造が変わりつつある現場を捉えるという戦略を設定した。これは究極的な計測であり、これを実現する安定な計測手段が現状で本法しかなかった点は非常に幸運であった。

結果的に予想よりもかなり大きな運動が1分子計測された。本計測の次の研究ステップを考えるならば、この大きな開閉運動の制御の可能性がでてきたことである。すでに予備実験を検討しているが分子内部の詳細な運動計測の後に、運動制御へと研究が進んでいくことは極めて自然な流れである。「1分子機能制御技術」が出そろうのも時間の問題かもしれない。

#### 7. 得られた新しい情報の信頼性と問題点

X線1分子追跡法によって新たに加えられた情報とは、実時間分子内運動である。可視領域の波長プローブを用いた1分子計測法の例外的な成功例を別にすれば、タンパク質分子系において、分子内部の運動をリアルタイムで計測に成功した例はほとんどない。今までは、各状態において結晶化により得られた構造情報を継ぎ接ぎして、連続的な運動部分を抽出してきた。非常に巧妙に各状態を揃え、その状態においておのおの結晶化を数十種類行って、それ

らの構造情報から変化分のみを取り出してきた。勿論、各状態を揃えることのできるタンパク質分子系はごく僅かである。光励起により分子内構造変化に関する系は、励起光をトリガーとして各状態を一斉に揃えることができるが、通常の分子はそのトリガー自身存在しない。また、前述の継ぎ接ぎ実験が仮に上手に行えたとしても、各結晶化から得られた構造変化情報があまりに大きな運動を示唆した場合、その変化前後の結晶情報を結ぶ運動(補間される運動情報)は無限大に存在する。つまり、多くのタンパク質分子において、分子内運動を精確に計測するためには、1分子ごとに独立に測定し、その測定精度はÅ以下の精度でなければ、非常に小さい運動によって機能発現していると考えられている機能性生体高分子の構造変化を有益に計測することは難しい。上記必要性を満たしているのは、X線1分子追跡法と可視域の特殊な1分子計測法のみである<sup>[27]</sup>。

X線1分子追跡法の現状における物足りなさはその情報量であろう。今のところ、分子内部の数点の構造変化を追跡する例しか行っていない。それは測定する分子の運動に関して、すでに注目されている部位が明確で、安定な構造情報がすでに存在している系のみを計測対象にしているからである。動的構造情報と考えると俄然情報量が足りなく感じることは明確で、またナノ結晶の大きさが邪魔をして、分子内部のある部位の構造変化を追うことは難しい。それを可能にする2、3のアイデアはあるので、今後の研究展開を見ていただきたい<sup>[28]</sup>。

ナノ結晶の大きさに関しては、その分子運動への影響は無視できない。現在使用しているナノ結晶がもし完全結晶であるならば、直径15~20nm以下のナノ結晶をミリ秒検出することは現状の放射光強度では難しい。今後、検出系の高感度化や信号検出環境の改善等は進めなければならない。

大きさの影響を考慮する上で、ナノ結晶の大きさを若干大きくして分子の運動を計測してみることはできる。通常、直径20~30nmで使用しているナノ結晶を40~50nmもしくは60~80nm等と大きくして、各分子内運動を独立に計測した。結果的にはほとんど計測された運動の大きさに影響は認められなかった。これらのナノ結晶の大きさ以上に大きくすると、ナノ結晶とタンパク質分子を固定している基板との相互作用や、目的タンパク質分子1つに対して1つの結晶という比率が狂ってしまう可能性があり<sup>[21]</sup>、これ以上の大きさの実験は不可能となる。

例えば他の1分子計測において、標識プローブの大きさが4  $\mu\text{m}$ から40nmまで変化させた時に、分子の大きな回転運動がどの程度変化するかを計測した例がある<sup>[29, 30]</sup>。この実験結果では、確かに $\mu$ オーダーの標識の際は、小さくすればするほどその検出された回転運動の速度は大きくなったが、60~70nmや40~50nmサイズの標識になった場合は、ほとんど変わらないという結果が得られている。X線1分子追跡法の標識はそれ以下の大きさであるから、その影響を今後詳細に評価する予定であるが、深刻な影響は少ないと予想している。

標識した場合としない場合との分子運動の差を定量的に予測することは可能である<sup>[31]</sup>。図9はその比較をした計算モデルである。この比較シミュレーションによって、観察対象分子が基板に固定された影響とナノ結晶の標識に関する影響を定量解析できる。その結果、本計算のモデルとなった分子の運動は、室温においてはほとんど影響がなかったが、高温(60~80度以上程度)になると、標識及び固定された分子の運動は極めて抑制されることが分かった。

#### 8. 今後の高エネルギープローブを用いた1分子計測の行方

考えてみると私の研究歴は、ダイナミックな表面分析に興味を持って研究室に配属になった大学4年生から、赤外分光法、電子線励起、X線表面解析、ラジオアイソトープ、中性子、そして放射光と、多くの波長をひたすら短い波長方向へと進展させてきた。その前後の時だったと思うが先輩からM. Born & E. WolfのPrinciples of Opticsを読めと助言された。図書館で立ち読みしてみるとX線の“X”の字はなく、可視領域の話ばかりであった。だまされたと思い読まないでいると「読んだか？」と聞かれ随分怒られた記憶がある。その助言の意味が最近になってようやく理解できた。「波長は財産である」という賢者の教えと重なって、現在まで可視域という波長領域の研究が飛び抜けて進展はしているが、元をたせばすべて同じ電磁波なのである。可視で起こったことは、工夫なく検出できるかどうかは別にして間違いなくX線でも起こっている。現在まで可視領域の1分子計測がこの1分子研究領域を活性化し加速してきた。「波長は財産である」という言葉

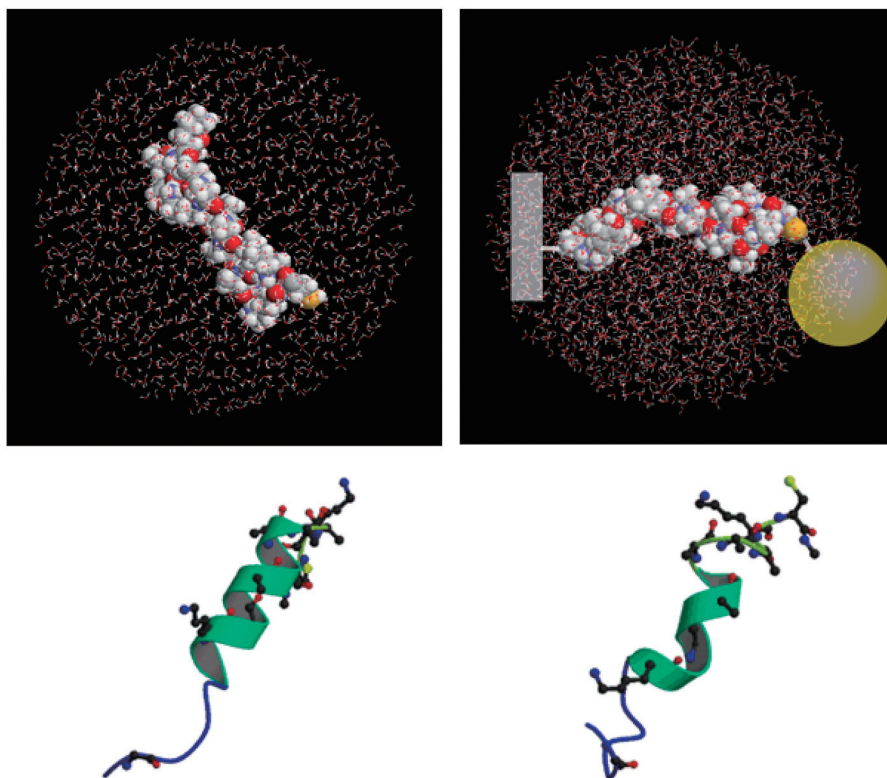


図9 基板固定とナノ結晶標識の影響評価のためのモデル図



の意味を改めて噛みしめると、今後高エネルギーブロープを用いた1分子計測研究は、可視域の研究成果の物まねでも当分の間は仕事ができそうともいえる。ただそこで重要な事は、短波長ゆえの特性をどのように計測手段の特徴として発揮できるかであり、そこが放射光研究者の知恵の見せ所となる。

#### 謝 辞

本研究は、その初期段階(平成10年)を科学技術振興事業団(JST)個人研究推進事業さきがけ研究21(研究総括:大嶋泰治氏)の研究助成により推進された。また、平成13年度から、同事業団JST/CREST研究領域“たんぱく質の構造・機能と発現メカニズム”(研究総括:大嶋泰郎氏)における研究課題「X線1分子計測からの*in vivo*蛋白質動的構造/機能解析」(研究代表者:佐々木裕次)において5年間の研究助成をいただいた。またその後も、平成18年度から新たにJST/CREST(研究領域“生命現象の解明と応用に資する新しい計測分析基盤技術”(研究総括 柳田敏雄氏)における研究課題「高精度1分子内動画計測から見える生体分子構造認識プロセス」(研究代表 佐々木裕次)の研究が現在行われている(平成24年終了)。X線1分子追跡法に関しては幸い平成18年から5年間、SPRING-8戦略的重点研究課題の指定を受けることもできた。

JST予算の総括である大嶋泰治氏、大嶋泰郎氏、柳田敏雄氏を初め、JST/CREST研究事務所の方々には日頃より大変お世話になった。厚く御礼申し上げます。また本研究推進にあたり、高田昌樹氏、植木龍夫氏、八木直人氏、鈴木芳生氏、足立伸一氏、谷口彬雄氏、奥村泰章氏、岡俊彦氏、井上勝晶氏、宮崎拓也氏、日暮高志氏、岡本祐幸氏、川島雪生氏、大石昇氏、須田斎氏、片岡幹雄氏、老木成稔氏、清水啓史氏、岩本真幸氏、石川晃氏にこの場をお借りして感謝したい。

#### 参考文献

- [ 1 ] A. D. Hershey and M. Chase : J. Gen. Physiol. **36** (1952) 39.
- [ 2 ] J. D. Watson and F. H. Crick : Nature. **171** (1953) 737.
- [ 3 ] T. Hirschfeld : Appl. Opt. **15** (1976) 2965.
- [ 4 ] G. Binning, H. Rohrer, Ch. Gerber and E. Weibel : Phys. Rev. Lett. **4** (1982) 57.
- [ 5 ] Y. C. Sasaki and K. Hirokawa : Appl. Phys. Lett. **58** (13) (1991) 1384.
- [ 6 ] Y. C. Sasaki, Y. Suzuki and T. Ishibashi : Science. **263** (1994) 62.
- [ 7 ] O. Chiewitz and G. D. Hevesy : Nature. **136** (1935) 754.
- [ 8 ] O. Shimomura, F. H. Johnson and Y. Saiga : J. Cell. Comp. Physiol. **59** (1962) 223.
- [ 9 ] Y. C. Sasaki, M. Ishibashi, M. Yanagihara, K. Toyota, A. Adachi, Y. Suzuki and N. Yagi : Phys. Rev. E. **62** (2000) 3843.
- [ 10 ] Y. C. Sasaki, Y. Okumura, S. Adachi, Y. Suzuki and N. Yagi : Nucl. Instrum. Methods A. **1049** (2001) 467-468.
- [ 11 ] Y. C. Sasaki, Y. Okumura, S. Adachi and N. Yagi : Phys. Rev. Lett. **87** (2001) 248102.
- [ 12 ] Y. C. Sasaki : Biochemical Society Transactions. Volume **32**, part 5 (2004) 76.
- [ 13 ] T. Nakagawa, Y. Cheng, E. Ramm, M. Sheng and T. Walz : Nature. **433** (2005) 545.
- [ 14 ] H. J. Mamin, R. Budakian, B. W. Chui and D. Rugar : Phys. Rev. Lett. **91** (2003) 207604/1.
- [ 15 ] Y. C. Sasaki, K. Yasuda, Y. Suzuki, T. Ishibashi, I. Satoh, Y. Fujiki and S. Ishiwata : Biophys. J. **72** (1997) 1842.
- [ 16 ] Y. Harada, K. Yasuda, S. Nomura, N. Kajimura and Y. C. Sasaki : Langmuir. **14** (7) (1998) 1829.
- [ 17 ] T. Sagawa, T. Azuma and Y. C. Sasaki : Biochem. Biophys. Res. Commun. **335** (2007) 770.
- [ 18 ] J. K. Jaiswal, H. Mattoussi, J. M. Mauro and S. M. Simon : Nature Biotech. **21** (2003) 47.
- [ 19 ] Y. Okumura, Y. Taniguchi and Y. C. Sasaki : J. Appl. Phys. **92** (2002) 7469.
- [ 20 ] Y. Okumura, T. Miyazaki, Y. Taniguchi and Y. C. Sasaki : Thin Solid Film. **471** (2005) 91.
- [ 21 ] Y. C. Sasaki, T. Higurashi, T. Miyazaki, Y. Okumura and N. Oishi : Appl. Phys. Lett. **89** (2006) 053121.
- [ 22 ] Y. Okumura, T. Oka, M. Kataoka, Y. Taniguchi and Y. C. Sasaki : Phys. Rev. E. **70** (2004) 021917.
- [ 23 ] M. Iwamoto, H. Shimizu, F. Inoue, T. Konno, Y. C. Sasaki and S. Oiki : J. Biol. Chem. **281** (38) (2006) 28379.
- [ 24 ] H. Shimizu, M. Iwamoto, F. Inoue, T. Konno, Y. C. Sasaki and S. Oiki : Cell. **132** (2008) 67.
- [ 25 ] B. Sakmann and E. Neher : Ann. Rev. Physiol. **46** (1984) 455.

- [ 26 ] D. A. Doyle, J. C. Morais, R. A. Pfuetzner, A. Kuo, J. M. Gulbis, S. L. Cohen, B. T. Chait and R. Mackinnon : Science. **280** (1998) 69.
- [ 27 ] S. Weiss : Science. **283** (1999) 1676.
- [ 28 ] 佐々木裕次 : 日本結晶学会誌 **47** (2005) 354
- [ 29 ] H. Noji, R. Yasuda, K. Kinoshita Jr. and M. Yoshida : Nature. **386** (1997) 299.
- [ 30 ] R. Yasuda, H. Noji, K. Kinoshita Jr. and M. Yoshida : Cell. **93** (1998) 1117.
- [ 31 ] Y. Kawashima, Y. C. Sasaki, Y. Sugita, T. Yoda and Y. Okamoto : Molecular Simulation. Volume **33**, Issue 1 & 2 (2007) 97.

佐々木 裕次 *SASAKI C. Yuji*

(財)高輝度光科学研究センター 利用研究促進部門  
〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1  
TEL : 0791-58-0833 (内線3931) FAX : 0791-58-2512  
e-mail : ycsasaki@spring8.or.jp



## マイクロ・ナノイメージングと生体機能研究会報告

東海大学 工学部 エネルギー工学科 伊藤 敦  
 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 物質系専攻 百生 敦  
 神戸大学大学院 医学系研究科 循環器内科学講座 篠原 正和  
 東京大学 総括プロジェクト機構 学術統合化プロジェクト 水谷 治央

### 1. 設立趣旨と活動方針

本研究会は、生体試料の形態と機能をX線イメージングからアプローチすることに興味を持つメンバーによって設立されました。生体試料といっても、対象が細胞などのミクロンレベルからセンチメートルレベルのがんなどの組織にわたり、要求される空間分解能、視野などが大きく違いますが、軽元素のイメージングが主体となるという点で共通しています。

従来は、軽元素を可視化するためには、吸収コントラストが用いられてきました。例えば、細胞内構造やその機能を観察するためには、軽元素の吸収端が存在する軟X線顕微鏡によって数十nmの高分解能観察が、また、組織レベルでは吸収コントラストにトモグラフィ(CT)を適用して3次元観察が行われてきました。しかしながら、SPRING-8、ESRF、APSなどの第三世代の放射光光源の出現によって、高輝度硬X線の利用が可能となり、硬X線領域において軽元素のコントラストが吸収よりはるかに高い位相コントラスト利用の重要性が強く認識されるようになってきました。厚い組織試料ではいままでもなく、軟X線顕微鏡が対象としていた試料においても、放射線損傷が小さい、水溶液中での観察が容易などから硬X線での位相コントラストイメージングのポテンシャルが期待されています。さらに、これらの位相コントラストイメージングに加えて、蛍光X線マッピング、CT技術によって、生体機能に重要な役割を果たす分子や元素の3次元分布観察も可能となります。現在では、硬X線光学素子の進歩によるX線顕微鏡技術との融合により、分解能の向上が著しく、これらのイメージング技術がマイクロ・ナノスペースで発展される機運も増してきています。

本研究会は、マイクロ・ナノイメージング、位相コントラストをキーワードに、主に生体の高次機能の解明のための構造観察技術の開発、整備、活用を目的としていますが、その目的達成のためには、材料科学、高分子化学、環境科学などの広い分野にお

いて同様の手法の活用を目的とする研究者との横断的情報交換による総合的な検討が重要と認識しています。具体的な活動方針として、以下の項目を掲げています。

#### ・利用研究のための組織づくり

海外でのX線イメージング研究の現状は、開発から利用のフェーズへと移行しつつある。定期的なワークショップなどを通して、国内外で行われている研究を紹介し、ポテンシャルユーザーに情報を提供する。こうして、生物学、医学、材料科学、高分子化学、環境科学などの広い分野から、適用試料、観察方法のアイデアを汲み上げ、より先端的な課題が生まれるよう、利用グループの組織づくりを目指す。

#### ・発展的利用のためのビームライン整備の提案

イメージング技術の利用を推進するビームライン整備は、多くのユーザーにとって使いやすいことが重要であり、さまざまな生体試料観察の精力的推進を支えるものであるべきである。この観点において、既存の実験ステーションの活用とグレードアップについての検討と提案を行う。

#### ・放射光の特徴を生かしたイメージング技術の開発、整備、活用の将来像の推敲

エンドユーザーとしての医学・生物学分野の研究者とX線光学の研究者との交流により、重要課題の抽出、共同研究の展開を図る。ここでは、放射光全般の活用を目的とし、軟X線顕微鏡を含む、高輝度光源を生かした観察手法(回折顕微鏡、硬X線ホログラフィなど)の提案とその整備の重要性についても議論する。

現在、会員の専門分野の構成は、X線光学(位相計測、軟X線光学)など装置開発の方と、生物試料、医学試料、有機高分子材料試料観察の方がほぼ半々となっています。X線光学のメンバーも全員生体試

料に関心を持ち、実際に医学・生物学研究者と協力して生体試料イメージングを行っています。

## 2. 研究会活動

これまで研究会会合を3回開催し、メンバーの研究発表と情報交換、講師をお呼びして新技術の紹介を行いました。

2007年1月は、「位相コントラスト法による生体構造解析」と題するワークショップをJASRIと共同で開催しました。位相コントラスト法の利用の実績と紹介を、本手法になじみのない医学・生物学研究者を主な対象として行ったものです。位相コントラスト生成の原理、位相を利用した顕微鏡、コヒーレントX線を利用した回折顕微鏡などの話題とともに、イメージングビームラインの紹介も行われました。このワークショップは、研究会の活動目的の一つであるエンドユーザーの拡大を目指したもので、SPring-8を利用してはいないが、位相コントラスト法に関心をもつポテンシャルユーザーの会員にとっては、情報収集と関心を高めるよい機会であったと思われま。なお、研究会メンバーのうち、位相コントラスト法に深い経験をもつものは、スピーカーとして参加しました。同日、第2部として、メンバーのみによる会合を開催し、「生体構造・機能研究におけるX線イメージングとSPring-8への期待」というテーマのもとに、SPring-8をまだ利用されていない生物・医学研究者から自らの研究対象にX線位相コントラストイメージングがどのように活用できるのかについて、ワークショップでの情報をふまえて話題をご提供いただきました。特にX線イメージングに適した試料調製の重要性が議論されました。JASRIのX線光学の方もお呼びして、生物・医学研究者の要望を聞いていただくよい機会であったと思えます。

2007年10月の第2回会合では、位相コントラスト及び回折顕微鏡で得られている医学、生物学画像の現状にテーマをしばりました。そこから今後どのような対象がX線イメージングとして適しているのかについて議論がなされました。2008年1月の第3回会合では、今後の活動予定と第2期申請について議論しました。これら会合開催の他に、関連学会、集会の案内などの情報を随時メールで配信しています。

最後に、これまでの研究会活動を活動方針にそってまとめてみます。

### 1) 利用研究のための組織作りと研究紹介

これまでSPring-8を利用した経験のない医学・生物学研究者(ポテンシャルユーザー)に多数加わっていただき、X線イメージングの手法、ビームラインの紹介など情報提供を行っています。逆に、ポテンシャルユーザーの要望を装置側の研究者に伝えることによって、利用者と開発者の組織作りを図っています。メンバーの研究、ポテンシャルユーザーの提案をもとに、先端的重要課題の抽出についても試みています。例を挙げれば、脳神経ネットワーク観察(一部を後述します)、骨形成に関わる細胞間ネットワーク形成観察、染色体構造の解明、など将来大きな成果が期待できるテーマをサポートすることがこの分野の発展に必要なとの議論がなされています。

### 2) 放射光の特徴を生かしたイメージング技術について

位相イメージング、回折顕微鏡、ホログラフィなどの紹介に重点を置いています。これらは主にJASRIのX線光学研究者を招いて解説をお願いします。

### 3) 実験ステーションアップグレードのための提案

利用しているビームラインはBL20XU、20B2、47XUなどです。医学試料の観察実績から、ヒト試料に対応できるような結晶干渉計の大視野化の提案(後述)、BL20XUの上流の使い方について、上流では下流より光強度が一桁高いので顕微鏡の常設などの提案がなされています。利用形態、光学系などさらに煮詰めて提案書としてまとめることを目指しています。

## 3. 研究活動例

### 3-1. X線位相イメージングの手法開発

SPring-8では被写体と検出器の間に適当な距離を設けることにより被写体表面や構造境界を縁取る輪郭強調コントラストが発生します。国内では屈折コントラストと呼ばれ(物理的には正確ではなく、外国でrefraction contrastとはあまり呼ばれないので、混乱・誤解の注意が必要です)、弱吸収物体の簡便な可視化に大変有効です。一方、より定量的な観察を可能とする位相イメージング法も各種開発が進んでおり、本研究会においても利用されています。下記に2つの方法について簡単に紹介します。

#### 結晶製X線干渉計

初期のX線位相イメージングは、結晶製X線干渉

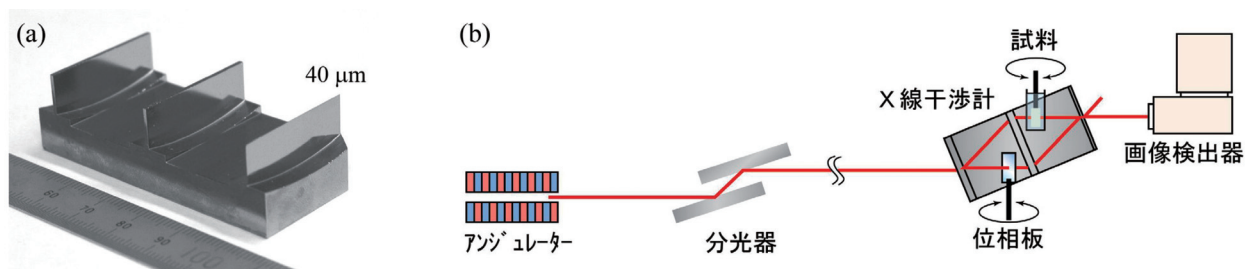


図1 結晶製X線干渉計による位相トモグラフィ装置。  
(a) シリコン結晶製X線干渉計、(b) 位相トモグラフィ装置の光学配置。

計を利用することによって実現されました。被写体を透過したX線に、コヒーレントなX線（参照波）を重ね合わせるにより干渉縞を生成させるものです。参照波X線を得るために結晶製X線干渉計を使うのですが、極めて波長の短いX線で機能させるためにシリコン単結晶から一体で削りだされたものとなっています。これを用いることにより、吸収法に比べて約千倍の感度向上が弱吸収物体に対して実現でき、生体軟組織や高分子材料を無造影で観察できます。最も早くに開発された手法ですが、その後開発された他の位相コントラスト法も含めても、未だにいちばん感度の高い方法です。

結晶製X線干渉計を用いるX線位相イメージング/トモグラフィ（断層撮影）装置（図1参照）は、現在BL20XUの医学利用実験施設内に常設されています<sup>[1]</sup>。アンジュレーター光のビームサイズによって視野が制限されますが、直径3mm程度の試料が位相トモグラフィで観察できます。空間分解能はおよそ10 $\mu$ mです。非常に感度が高いために試料を空气中で観察することが難しく、外形によるコントラストを適度に抑制するために水中で試料を観察することになっています。最新の観察例が本節の3-2.で紹介されています。

より大きい試料の観察をSPRING-8で可能とするために、当研究会からの声を受け、BL20B2において同様な装置を立ち上げる準備がJASRIにおいて始まりました。これまでより大きい結晶製X線干渉計を準備し、直径20mm程度の試料の観察を可能とする予定です。2008B期には多くのユーザーが利用できることを期待しております。

#### X線Talbot干渉計

2枚の透過X線格子を用いるX線Talbot干渉計（図2）が、比較的新しいX線位相イメージング法として注目されています<sup>[2]</sup>。構成が簡便であるた

め、フレキシブルな位相イメージングおよび位相トモグラフィの実験に適しています。被写体によってX線が屈折されて曲げられる角度を表す画像が得られます。ただし、簡便である反面、前述の結晶製X線干渉計を用いる場合よりも感度は劣ります。空間分解能は15 $\mu$ mですが、X線結像顕微鏡と組み合わせることにより空間分解能を1 $\mu$ m以下にすることもできています<sup>[3]</sup>。撮像装置は常設されていませんが、ビームライン担当者や本研究会に問い合わせただいただければ対応させていただきます。

#### 3-2. 位相コントラストX線CTを用いた動脈硬化ブランク組成の評価

日本人の生活の西欧化と長寿命に伴い、動脈硬化に起因する血管疾患は増加傾向（現在日本人の死因の第2位である）にあり、循環器領域においては冠

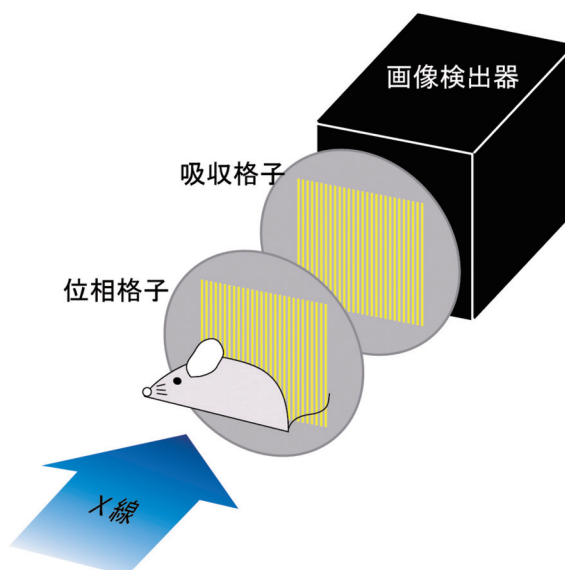


図2 X線Talbot干渉計による位相イメージングの構成



動脈疾患が増加しています。なかでも急性心筋梗塞は急性冠症候群と呼ばれ、心臓突然死に結びつく致死率の高い疾患です。

冠動脈の動脈硬化プラークには内部構造の異なる2種類のプラークがあります。1つは安定プラークと呼ばれるもので、内部は膠原繊維・平滑筋細胞にとみ、脂質の沈着は少なく、もう1つは不安定プラークと呼ばれる病態で、内部に多くの脂質沈着を認め、その表面を薄い繊維性皮膜が覆っているプラークです。不安定プラーク病変を基盤とし、血管局所の炎症反応の増悪などに伴い表面の繊維性皮膜が破れ、その結果血栓が急速に形成されて血流が途絶することで急性冠症候群が発症します。

現在、急性冠症候群の発症の予知を目的として、不安定プラークを検出する試みがなされています。侵襲的ではあるものの、心臓カテーテル検査を応用した各種検査手技が実用化されてきています。また非侵襲的な検査としてCT・MRIを用いた評価が進められています。近年のMultidetector CT技術の進歩は著しく、冠動脈造影CT検査を用いることで、冠動脈の狭窄度に関してはほぼ正確に診断できるようになっています。またプラーク組成に対する評価も研究が進められていますが、吸収コントラストX線イメージングの軟部組織に対する感度の低さが大きな足枷となっているのが現状です。

今回我々は位相コントラストX線CTを用いて、動脈硬化プラーク組成の評価を試みました<sup>[4]</sup>。

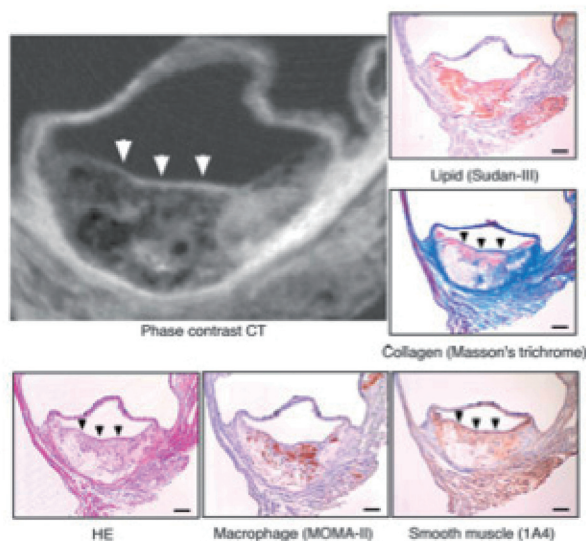


図3 動脈硬化モデルマウスのX線位相CT画像。比較のために脂肪沈着領域、膠原繊維領域、平滑筋領域の染色像を示した。

実験は、動脈硬化モデルとしてApoEノックアウトマウスの大動脈を用いました。このマウスに生後4週齢から高コレステロール食を負荷して飼育した群と、通常食にて飼育した群を作成しました。前者では脂肪沈着に富む動脈硬化プラークが形成され、後者では膠原繊維・平滑筋細胞に富む動脈硬化プラークが形成されることが予想されます。Ex vivoに取りだした血管を中性緩衝ホルマリンにて固定し、BL20XUにおいて結晶製X線干渉計を用いて位相コントラストX線CTの撮影を行いました（X線エネルギー 12.4keV 視野角5mm ピクセルサイズ 3.14μm CT撮影のため180°あたり400投影）。

結果を図3に示します。高コレステロール食負荷にて飼育したマウスの動脈硬化プラークは脂肪沈着（Sudan-染色）に富む病変となり、膠原繊維（Masson's染色）平滑筋細胞（1A4免疫染色）は少ないことがわかります。対応する位相コントラストX線CT画像では屈折率の低い、物質密度の低い動脈硬化プラークが描出されました。また脂肪沈着領域の前面に、薄い（15~20μm）の繊維性皮膜も描出されています。

組織学的評価と対応させながら、動脈硬化プラークの平滑筋領域・脂肪沈着領域・膠原繊維領域の屈折率/物質密度を定量評価した結果を図4に示します。脂肪沈着領域は低い屈折率（ $0.79 \pm 0.13 \times 10^{-8}$ ）ならびに低い物質密度（ $1.011 \pm 0.001766\text{g/ml}$ ）となりました。平滑筋領域・膠原繊維領域はより高い

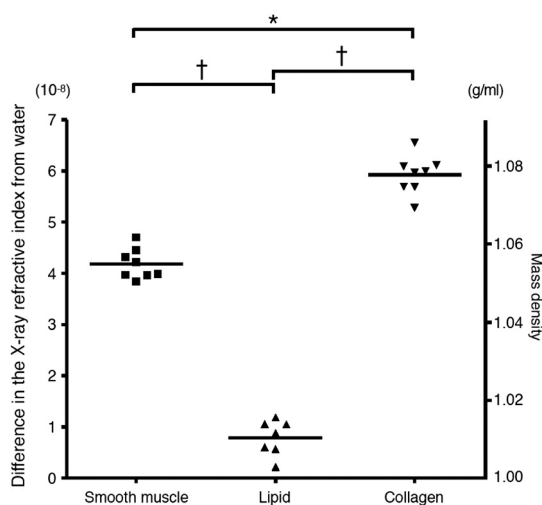


図4 動脈硬化プラークの平滑筋領域・脂肪沈着領域・膠原繊維領域の屈折率と密度

屈折率 ( $4.18 \pm 0.10 \times 10^{-8}$  and  $5.93 \pm 0.13 \times 10^{-8}$ ) ならびにより高い物質密度 ( $1.057 \pm 0.001407\text{g/ml}$  and  $1.08 \pm 0.001794\text{g/ml}$ ) を示しました。

以上、今回の実験はマウスの動脈硬化プラークを *ex vivo* で観察したのですが、動脈硬化プラークの軟部組織を感度高く評価することが可能であり、屈折率/物質密度というパラメーターがプラーク内組成を評価する新しい定量的な指標に成り得ることを明らかにしました。今後ヒト動脈硬化プラークの観察を行い、組織学的評価と屈折率/物質密度を対応させることで、ヒト動脈硬化プラークにおいて脂肪沈着領域を判定する適切な屈折率/物質密度の検討を行う予定です。

### 3-3. 脳神経ネットワークイメージングの試み

人間の脳には、神経細胞が一十億個以上存在し、それらがお互いに情報をやりとりすることで、脳の高次機能が保たれています。これまで、電気生理学や分子生物学の発展により、単一ニューロンの性質は詳細に研究されてきました。しかし、単一ニューロンの性質だけで、我々の認知機能などを説明することは困難です。それは複数のニューロンが至るところで結合し、その情報をやり取りする過程で、新たな機能が生み出されているからです。脳の高次機能は、脳内の神経回路ネットワークがある条件を満たすことで創出されると考えられます。その条件を明らかにすることで、脳高次機能の理解はよりいっそう進み、人間がいかんして記憶や言語などを巧みに操るのかを解明する道筋ができます。

脳内の神経回路ネットワークがどのような配線構造をとっているのか、その解答を提出するのは容易なことではありません。しかし、神経回路の配線図をいかんして再構築すべきかという議論は、世界的にまき起こっています。その一例として代表的なのは、“Human Connectome Project (ヒトコネクトーム計画)” です。Spornsらが2005年にこの“Connectome”というコンセプトを打ち出してから、脳の神経配線構造の詳細を明らかにしようという動きが活発化しています。彼らはMRIの拡散テンソル画像 (DTI) を用いて、ヒトの神経配線構造をラフな形で提示し、そのネットワーク構造を分析しています。しかし、DTIの空間分解能はmmの単位であり、1 voxelあたりに含まれる神経細胞の数は5~7000個相当に及びます。従ってこの手法では、ニューロンが実際にどのような配線構造を持ってい

るのかを明らかにすることはできません。

ニューロンを精細に観察するためには、顕微鏡技術が必須です。別の研究グループでは、空間分解能が高い電子顕微鏡を用いて、神経回路の配線図を再構築しようと考えていますが、ニューロンの配線図を同定するためには、大規模な観察視野が必要となります。そのため、電子顕微鏡で作成しなければならないスライス切片数は、ヒトの場合、数兆枚にも及び、研究者が手動で処理できる能力を大幅に超えているため、ある程度自動化された手法の開発が試みられています。電子顕微鏡による観察では、シナプス部位を同定することができるため、ニューロンの結合を精確に記述することができます。しかし、電子顕微鏡の観察が全自動化されたとしても、神経配線図の全貌を明らかにするためには、マウスでも約6千万枚のスライス切片が必要となり、現実的な数字ではありません。我々ヒトを含めた詳細な“Connectome”を解読するには、MRIレベルの大視野をもちながら、電子顕微鏡レベルの高分解能観察が必要となります。

これまで神経科学の領域で使われてきた観察技術を用いて、“Connectome Project”を完了することは哺乳類において、ほぼ絶望的です。これを乗り越えるためには、革新的な技術が必要となります。水谷はその候補の一つとして、高輝度X線を用いたイメージング法を提案しています。X線は物質透過性が高いため、大きな物体の内部構造を非破壊的に観察することができます。また、CTを併用すれば、3次元構造も測定でき、MRIと同様な断層撮影を可能とします。同時に、X線を光源として顕微鏡を構築すれば、高分解能のX線顕微鏡を組み上げることができます。そこで、X線顕微鏡にCTを組み合わせることで、哺乳類神経回路網の3次元立体構造および結合様式を計測することが可能なかを検証しています。

これまでの実験において、次のような結果を得ています。X線吸収投影像の観察により、 $0.6 \times 0.6 \times 2.5\text{mm}$  ( $0.9\text{mm}^3$ ) のブロックサイズに含まれるマウスニューロン (ゴルジ染色) の観察が可能となりました (図5)。分解能と感度を向上させるために、タルボ型の位相X線顕微鏡を構築し、CTを用いてニューロンの3次元再構築を行いました (図6)。本顕微鏡により空間分解能は500nmにまで上昇しましたが、目標となる理論分解能には届きませんでした。将来的には空間分解能10nmを達成することが目標です。シ



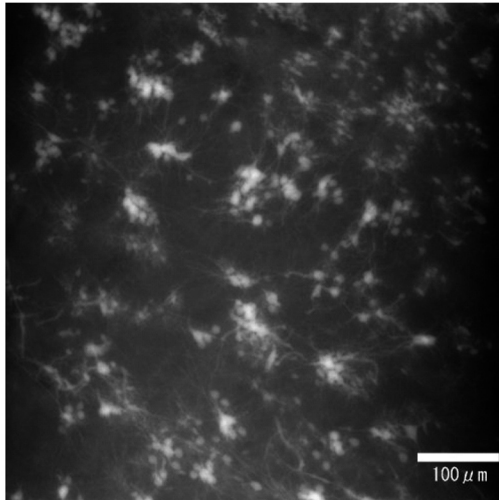


図5 マウス海馬領域における神経細胞の投影吸収画像。水銀を用いたゴルジ法により、一部の神経細胞を染色している。

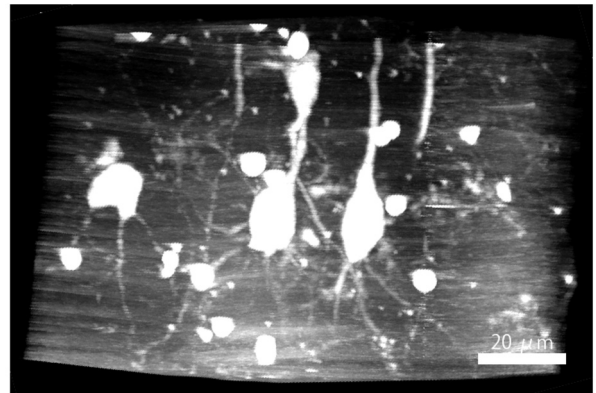


図6 マウス大脳皮質2/3層に存在する錐体型神経細胞。タルボ型位相X線顕微鏡CTを用いて、神経細胞の3次元再構築像を得た。

ナプスの可視化に必要な分解能は10nm、神経機能ユニットとして考えられている皮質カラム構造の直径は約1mmです。つまり、試料の厚さや視野が1mm近くのを分解能10nmの顕微鏡で観察しなければなりません。高分解能かつ大視野観察が可能なX線顕微鏡を用いることで、電子顕微鏡やMRIでは達成できない哺乳類の“Connectome Project”を推進すれば、将来的に“Connectomics”という新しい学問を生み出すことが期待されます。“Connectomics”とは、「コンピューターを用いた高速な高分解能神経画像の取得、神経回路セットまたは中枢神経系全配線図の解析、その結果として得られる配線結合状態のデータベース化、及び、そのデータを利用した神経科学的研究」です。現在、Connectomeの解析は実現していませんが、神経回路ネットワークが一部でも定量化されれば、配線データを用いた解析により、神経ネットワークの機能を裏付けることができるようになります。本研究は“Connectomics”創成のための萌芽研究的意味合いが強く、目標達成には多くの時間を要しますが、神経回路を基本とした脳機能や、回路損傷によって起こる脳機能障害を考察する上では不可欠なものです。

#### 参考文献

- [ 1 ] A. Momose, I. Koyama, Y. Hamaishi, H. Yoshikawa, T. Takeda, J. Wu, Y. Itai, K. Takai, K. Uesugi and Y. Suzuki : J. Phys. IV **104** (2003) 599-602.

- [ 2 ] A. Momose, W. Yashiro, Y. Takeda, Y. Suzuki and T. Hattori : Jpn. J. Appl. Phys. **45** (2006) 5254-5262.  
 [ 3 ] A. Momose, W. Yashiro, M. Moritake, Y. Takeda, K. Uesugi, A. Takeuchi, Y. Suzuki, M. Tanaka and T. Hattori : SPIE Proc. **6318** (2006) 63180T.  
 [ 4 ] M. Shinohara, T. Yamashita, H. Tawa, M. Takeda, N. Sasaki, T. Takaya, R. Toh, A. Takeuchi, T. Ohigashi, K. Shinohara, S. Kawashima, M. Yokoyama, K. Hirata and A. Momose : Amer. J. Physiol., Heart and Circulatory Physiol. (in press).

#### 伊藤 敦 ITO Atsushi

東海大学 工学部 エネルギー工学科  
 TEL : 0463-58-1211 ext.148 FAX : 0463-50-2017  
 e-mail : aeito@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp

#### 百生 敦 MOMOSE Atsushi

東京大学大学院 新領域創成科学研究科 物質系専攻  
 TEL : 04-7136-5470 FAX : 04-7136-4058  
 e-mail : momose@exp.t.u-tokyo.ac.jp

#### 篠原 正和 SHINOHARA Masakazu

神戸大学大学院 医学系研究科 循環器内科学講座  
 TEL : 078-382-5846 ext.5846 FAX : 078-382-5859  
 e-mail : shinodoc@med.kobe-u.ac.jp

#### 水谷 治央 MIZUTANI Haruo

東京大学 総括プロジェクト機構 学術統合化プロジェクト  
 TEL : 04-7136-3973 FAX : 04-7136-4100  
 e-mail : mizutani@cb.k.u-tokyo.ac.jp

## X線スペクトロスコーピー利用研究会

京都大学大学院 工学研究科  
田中 庸裕

### 1. はじめに

X線スペクトロスコーピー利用研究会 (Group of X-ray Spectroscopy Users、以下GXSUと略す)は、2006年から発足した利用者懇談会の第一期研究会の一つである。扱っているのは、X線微細構造(XAFS)法および蛍光X線法で、SPRING-8一般利用課題のカテゴリーX(XAFSはXa、蛍光X線はXb)に相当する研究手法をバインダーとするグループであり、とりわけ、XAFS法が中心となっている。SPRING-8利用者懇談会利用促進委員会のエネルギー環境分野に属している。

### 2. 設立趣旨

XAFSは、サイエンスという観点から見ると、21世紀になっても未踏の大地が広がっているわけではなく、また、XAFS領域の研究者が解明すべきだと共通で持っているテーマの大きなベクトルも存在しない。現在は、種々固有な現象観察と理論の精密化が行われているのである。つまり、コミュニティとしてのサイエンスの共通目標は存在しないといてもよい。一方、研究手法としてのXAFSは、物質を扱う物理学、化学、材料学はもとより生命科学、地学、環境学における必要不可欠な要素技術となっている。本研究会GXSUは、先述したようにXAFSという研究手法をバインダーとした研究グループであり、従って、GXSUは、共通するサイエンスでグループ化された他の研究会とその性格は異なっているものとなる。

本研究会は、XAFSを主要な研究手段の一つとする種々の、科学者、技術者によって構成されており、会員の多くはエンドユーザーである。主な、活動目標は、会員個人の持っているサイエンス、テクノロジーを、XAFSを通して円滑に発展させる事や支援する事、また、潜在的ユーザーを発掘し新たなサイエンスをXAFSに持ち込み、SPRING-8ユーザーの健全な発展を促す事である。研究会を通して、エンド

ユーザー、施設担当者、XAFS専門家が忌憚なく情報交換することをその趣旨においている。

現在のGXSUの主要キーワードは、in situ、時分割、空間分割であり、施設関係者ならびにユーザーの努力によって、これらのキーワードに関連した実験が容易に行われるようになってきたのは、大変喜ばしい事である。

### 3. 活動内容

2006、2007年度の代表は田中庸裕(京大工学研究科)、副代表は高岡昌輝(京大工学研究科)、SPRING-8担当は宇留賀朋哉(JASRI)、谷田肇(JASRI)である。2007年から庶務として寺村謙太郎(京大次世代)が加わった。JASRIから3名、産学から3名の幹事がいる。

#### 2006年度

第一回の研究会は、2006年9月に福岡大学で開催された第9回XAFS討論会に会場をお借りする形で開催された(9月2日)。図1の写真はその旗揚げの様子である。田中代表から、研究会の趣旨説明が



図1 第一回研究会(福岡大学)

あり、宇留賀氏から、XAFS関連のビームラインのステータスと今後の予定等の説明があり、石井真史氏（当時JASRI）より、キャパシタンスXAFSの報告、寺田靖子氏（JASRI）より、マイクロビームを用いた生体分光、XAFSについての講演があった。尚、同討論会においては、寺田氏は特別講演講師にも招かれている。

2006年11月1日、2日に開催されたSPring-8シンポジウムにポスター発表で参加した。

また、高エネルギー加速器研究機構で開催された日本XAFS研究会・Photon Factory主催のXAFS講習会にPF懇談会とともに後援団体として参加した。同様に、キャンパスイノベーションセンター東京地区で開催された、JASRI主催・SPring-8 利用推進協議会「産業利用研究会」共催のSPring-8講習会「産業利用に役立つXAFSによる先端材料の局所状態解析」に後援団体として参加した。

#### 2007年度

第一回に続く次の研究会は、2007年7月にJSTイノベーションプラザ北海道で開催された第10回XAFS討論会のユーザーズミーティング（7月25日）に協力する形で実施され、宇留賀氏より施設報告があり、その後松村大樹氏（原子力機構）により、BL41XUでのミリ秒時分割Quick XAFSのユーザー報告があった。この研究会は、GXSUの主催ではないので、研究会の回数にはカウントしない。なお、第10回XAFS討論会においては、同討論会特別講演として発光材料デバイスのXAFSならびにマイクロビームを用いた研究に関する講演として宮嶋孝夫氏（ソニー）が招待されている。

第二回研究会は、10月29日、30日に開催されたSPring-8シンポジウムに合わせて開催された。代表挨拶、施設報告のあと、2件の報告講演があった。一件目は奥村和氏（鳥取大）による、in situ時分割XAFS（QXAFS）の講演であり、固体触媒上での貴金属の還元、酸化による、凝集と分散を詳細に扱ったものであった。二件目は、今井英人氏（NEC）による、in situ時分割XAFS（DXAFS）の講演であった。燃料電池の白金触媒の劣化を扱ったものである。

2006年度と同様に、SPring-8シンポジウムにはポスタープレゼンテーションを行った。

第三回研究会は、2008年1月18日（金）、京都リサーチパークにおけるSPring8講習会に合わせて開

催された。代表挨拶、副代表による利用者懇談会拡大評議員会報告、施設報告のあと、3件の報告講演があった。一件目は、Paul Fons氏（産総研）による講演で、磁気記録媒体の記録機構についてXAFS、光学スペクトルによる結果の概略を話していただいた。局所的にレーザー光を当てる事によって、結晶-アモルファスの転移が10ナノ秒の間に起こるわけであるが、その転移のダイナミクスをリアルタイムで観察するストラテジーについて現在進行中の研究から講演された。二件目は、高岡昌輝氏（京大院工）による、ゴミ焼却場から出る飛灰中の重金属の化学状態分析と銅を触媒とするダイオキシン発生機構に関する講演である（図2）。特に、銅触媒に関するダイオキシン発生機構については、SPring-8、京都大学からのプレスリリースに加え、毎日、朝日、日経、京都の各紙が採り挙げたものである。三件目は、寺村謙太郎氏（京大次世代）による、固体懸濁液中の粉体表面に形成するナノ結晶の形成過程をin situ DXAFSで追跡したものであった。これについては、後述する。

第三回研究会と同じく京都リサーチパークで開催された、JASRI主催・SPring-8 利用推進協議会「産業利用研究会」共催のSPring-8講習会「産業利用に役立つXAFSによる先端材料の局所状態解析2」に後援団体として参加した。



図2 第三回研究会（京都リサーチパーク）

#### 4. 懸濁液粉体表面での微小金属形成

最後に、最近のトピックスの一つ紹介させていただいて筆を擱くことにする。これは、第三回研究会における寺村氏の発表を要約したものである<sup>[1]</sup>。

一時、大きく注目を集めた材料として、酸化チタン光触媒がある。この光触媒は、助触媒として貴金



属で修飾する事により、高活性化される事はよく知られている。貴金属修飾の方法としては、光電着法が最も効果的で、科学的根拠はともかくとして、酸化チタン上にナノ粒子が選択的に形成されるという特徴を持っている。

光電着法とは、犠牲剤と呼ばれるアルコールや酢酸などの親水性有機物の水溶液に貴金属塩を溶解し、酸化チタン粉末を懸濁させ、光照射を行い、酸化チタン表面に金属ナノ粒子を析出させる方法である。酸化チタンへの光照射により生じた正孔は犠牲剤を酸化し、励起電子は金属イオンを還元する。光電着法によるこのナノ粒子形成過程については永らく調べる方法がなかったが、寺村氏は、BL28B2のDXAFSによって懸濁する固体微粉末上での金属ナノ粒子形成過程に迫る事に成功した。

図3は、測定に供した懸濁液である。メタノール



図3 光電着懸濁液

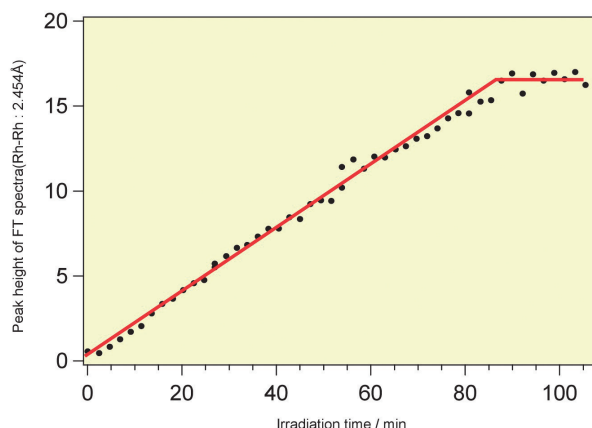


図4 Rh-Rh散乱ピーク強度の時間変化

水溶液に塩化ロジウムを溶解させ酸化チタン粉末を懸濁し続ける。上方から紫外線照射を行い、懸濁液側面からX線光路が通過する。常に窒素パージを行いながら測定されている。これは酸素が混じると、金属イオンのかわりに酸素が還元され、有機物の酸化ばかりが進行するからである。

図4に、懸濁された酸化チタン上に形成するロジウム金属のEXAFSフーリエ変換強度（Rh-Rh散乱ピーク高さ）の時間変化を示す。興味深い事に、ピーク高さは、光照射時間に比例して増加しており、途中で一定となる事である。一定になった時点で懸濁液中のロジウムイオンは消費され、すべて、ロジウム金属に還元されている。このときのピーク高さはロジウムバルク金属の80%程度で、3ナノメートル程度の微粒子が生成している事が分かる。ピーク高さ（つまり配位数）が照射時間に比例して増加する事から、粒子が時間成長するのではなく、均一な微粒子が時間とともに増えて行く事を表している。測定の1ショットが0.267秒であるので、金属イオンの還元による粒子成長は、少なくとも100ミリ秒以下で生じている事が分かる。つまり、光電着法とは、短時間で3ナノメートル粒子が成長し終わり、時間経過とともに均一な粒子数を増加させる手法であることが見出されたのであった。

## 5. おわりに

本稿が読者諸賢の目にとまる頃には、第一期研究会が終了する頃となる。X線スペクトロスコピー利用研究会は、引続き第二期を継続申請する予定である。XAFS、蛍光X線をご利用の懇談会会員の皆様は、どうぞ、ご入会いただきたい。

参考文献

[ 1 ] K. Teramura et al.: *J. Phys. Chem. C*, submitted.

田中 庸裕 TANAKA Tsunehiro

京都大学大学院 工学研究科 分子工学専攻

〒615-8510 京都市西京区京都大学桂

TEL : 075-383-2558 FAX : 075-383-2561

e-mail : tanakat@moleng.kyoto-u.ac.jp



独立行政法人理化学研究所 播磨研究所  
ポスドク研究員募集  
コヒーレントX線回折イメージング研究

(独)理化学研究所播磨研究所のX線自由電子レーザー(XFEL)では、ナノスケール構造やバイオシステム構造のコヒーレントX線回折イメージングについての研究に従事するポスドク研究員を募集します。現在の専門は問いませんが、放射光科学の分野、または以下の分野において経験のある方の応募を歓迎致します(固体物理、光学、生物物理学、タンパク質結晶学)。採用後は、SPRING-8、極紫外自由電子レーザー、2010年稼働予定X線自由電子レーザー(XFEL)等を光源として、コヒーレント回折イメージング研究を進めます。

- 【受入機関】 (独)理化学研究所 播磨研究所  
XFEL独立主幹ユニット(ユニットリーダー: Dr. Changyong Song)
- 【予定人数】 若干名
- 【着任時期】 応相談
- 【締め切り】 選考は2008年3月より開始し、ポジションが埋まり次第締め切ります。
- 【応募方法】 履歴書・研究業績一覧・主要論文別刷等・推薦状2通・これまでの研究内容の概要と今後の抱負を英語で作成し、xfeluser@spring8.or.jp まで送付。
- 【期間】 年度契約の任期制職員、2013年3月まで更新可能。
- 【給与】 経験、能力、実績に基づく。  
通勤手当、住宅手当、社会保険有り。  
\* 日本学生支援機構奨学金免除の対象、科学研究費補助金の申請資格有り。
- 【休日】 土・日、祝日、年末年始、理研の創立記念日
- 【問合せ先】 (独)理化学研究所 播磨研究所 放射光科学総合研究センター  
石川哲也  
〒679-5148 兵庫県佐用郡佐用町光都1-1-1  
TEL: 0791-58-2800  
FAX: 0791-58-2898  
e-mail: xfeluser@spring8.or.jp

# 「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<br>Name                |                                    |                 |  |
| 勤務先/所属機関<br>Affiliation   | (旧勤務先)<br>( Previous Affiliation ) |                 |  |
| 部署<br>Department/Division |                                    | 役職<br>Job Title |  |
| 所在地<br>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:

### 「裏表紙」、「談話室/ユーザ便り」募集について

「裏表紙」の写真・「談話室/ユーザ便り」に読者の皆様からの投稿をお待ちしております。特に「ぶらり散歩道」には播磨地方に関係した情報をお寄せ下さるようお願い致します。

「裏表紙」、「談話室/ユーザ便り」とも宛先は事務局まで

### SPring-8 利用者情報 編集委員会

|     |       |                     |
|-----|-------|---------------------|
| 委員長 | 的場 徹  | 利用業務部               |
| 委員  | 坂尻佐和子 | 企画室                 |
|     | 辻本 繁樹 | 研究調整部               |
|     | 平野 志津 | 利用業務部               |
|     | 淡路 晃弘 | 広報室                 |
|     | 藤田 貴弘 | 加速器部門               |
|     | 佐野 睦  | 光源・光学系部門            |
|     | 岩本 裕之 | 利用研究促進部門            |
|     | 廣沢 一郎 | 産業利用推進室             |
|     | 八尾裕香子 | 施設管理部               |
|     | 鳥山 喜章 | 安全管理室               |
|     | 鳥海幸四郎 | 利用者懇談会 編集幹事(兵庫県立大学) |
|     | 森本 幸生 | 利用者懇談会 編集幹事(京都大学)   |
| 事務局 | 松本 亘  | 利用業務部               |
|     | 山田 正人 | 利用業務部               |

## SPring-8 利用者情報

Vol.13 No.2 MARCH 2008

### SPring-8 Information

発行日 平成20年(2008年)3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)



冬の朝、青い空

( 撮影 : 高エネルギー加速器研究機構 瀬戸秀紀氏 )



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/>