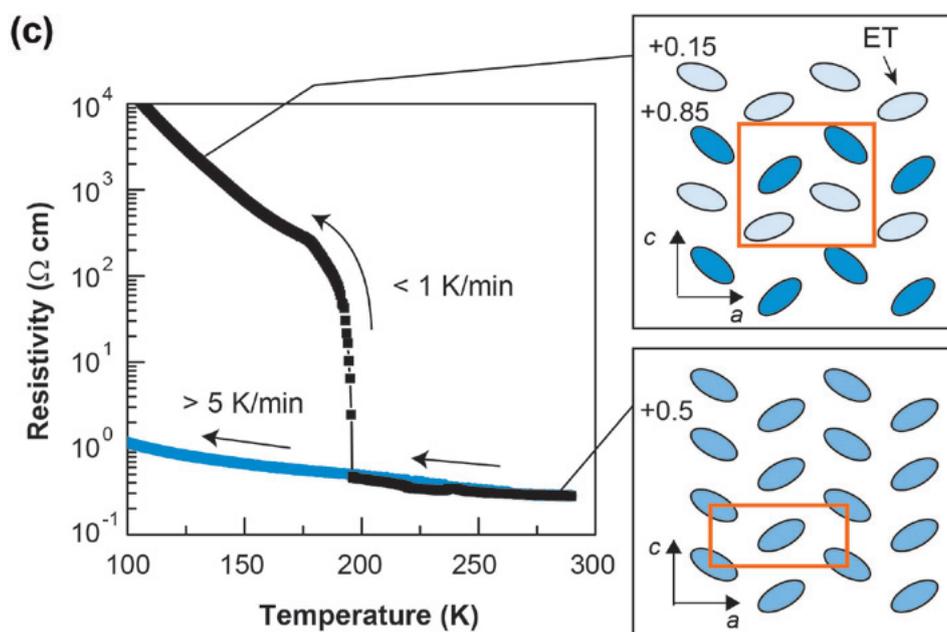
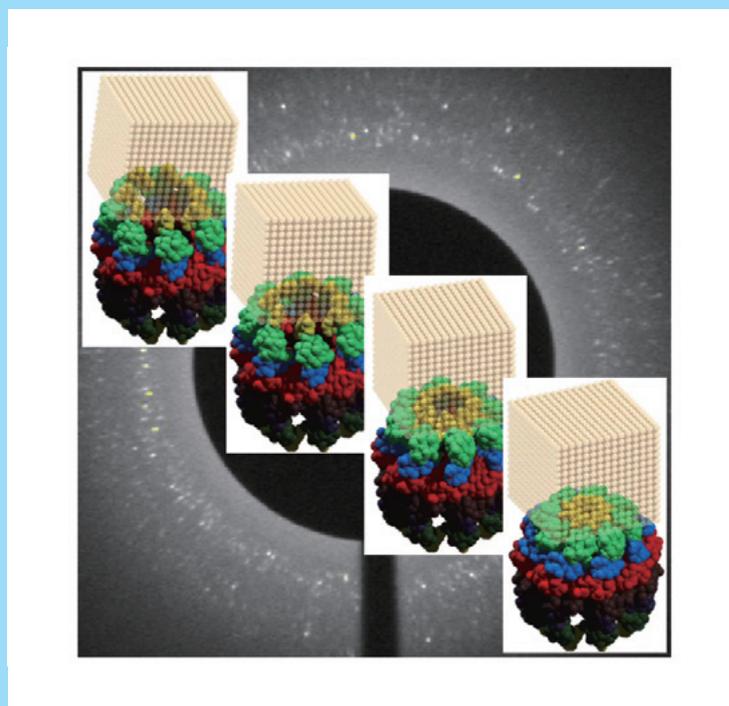


- ヒトミルクオリゴ糖分解酵素ラクト-N-ビオシダーゼのX線結晶構造解析
- X線回折動画からのタンパク質1分子内部動態計測
- 有機伝導体  $\theta$ -(ET)<sub>2</sub>RbZn(SCN)<sub>4</sub>における電荷クラスタグラス



# 目次

施設だより	村上 洋一	1
現 状		
入射器の現状	古川 和朗	2
光源の現状	小林 幸則	4
放射光科学第一, 第二研究系の現状	足立 伸一	5
ERL計画推進室報告	河田 洋	7
最近の研究から		
ヒトミルクオリゴ糖分解酵素ラクト-N-ビオシダーゼのX線結晶構造解析	伊藤 佑・伏信 進矢	10
Crystal Structures of GH20 lacto-N-Biosidase from <i>Bifidobacterium Bifidum</i>		
X線回折動画からのタンパク質1分子内部動態計測	佐々木裕次・一柳 光平・関口 博史	15
Single Molecule Observations of Protein's Internal Motions from X-ray Diffraction Movies		
有機伝導体 $\theta$ -(ET) <sub>2</sub> RbZn(SCN) <sub>4</sub> における電荷クラスタガラス	佐藤 拓朗・賀川 史敬	22
Charge-cluster Glass in an Organic Conductor, $\theta$ -(ET) <sub>2</sub> RbZn(SCN) <sub>4</sub>		
プレスリリース		
反射高速電子回折法によりシリセンの構造決定に成功		
～世界最高強度の陽電子ビームを用いてシリコン新素材の構造が明らかに～		27
文部科学省「情報ひろば」において企画展示を開催～加速器科学の過去・現在・未来～		27
誤差5%以内で金属の実効原子番号を測定するX線イメージング法を開発		
—透過X線の位相検出にX線干渉計を用いて高感度化—		28
物構研におけるマルチプローブ利用研究のすすめ		
～放射光、低速陽電子、中性子、ミュオンを使って新しい世界を見てみよう～		
研究成果1 低速陽電子実験装置を利用して		
Ge(001)表面に形成されるPt吸着ナノワイヤー構造の原子配置と相転移	望月 出海・深谷 有喜・前川 雅樹・河堀 厚男・和田 健・兵頭 俊夫	29
研究成果2 低速陽電子実験装置を利用して		
表面2次元電子化合物	松田 巖・深谷 有喜	33
研究成果3 低速陽電子実験装置を利用して		
反射高速陽電子回折(RHEPD)によるTiO <sub>2</sub> (110) (1 × 2)表面の構造解析	朝倉 清高・有賀 寛子・望月 出海・深谷 有喜・和田 健・兵頭 俊夫	38
研究会等の開催・参加報告		
物構研特別シンポジウムを開催	村上 洋一	42
第5回北海道大学・KEK 連携シンポジウム 報告	足立 伸一	42
ユーザーとスタッフの広場		
星野 学氏, 日本結晶学会進歩賞を受賞		43
PFユーザーの佐藤友子氏, 日本高圧力学会奨励賞を受賞		43
吉松公平氏, 日本放射光学会奨励賞を受賞		44
高草木 達氏, 日本化学会北海道支部奨励賞を受賞		44
オークリッジ国立研究所(ORNL)滞在記		45
APS, HPCATにおける高圧下での液体の研究ビームライン		47
PFトピックス一覧(11月~1月)		48
PF-UAだより		
平成25年度第2回PF-UA 幹事会並びに運営委員会議事録		49
人 事		
人事異動・新人紹介		51
お知らせ		
「物構研サイエンスフェスタ2013 第5回MLFシンポジウム/第31回PFシンポジウム」開催のお知らせ	阿部 仁・下村浩一郎	52
CMRC 全体会議 開催のお知らせ		54
平成26年度後期フォトン・ファクトリー研究会の募集	村上 洋一	55
運転スケジュール(April~July 2014)		56
掲示板		
放射光共同利用実験審査委員会速報	兵藤 一行・宇佐美徳子	57
平成26年度前期放射光共同利用実験採択課題一覧		59
物構研談話会		64
第55回 物質構造科学研究所運営会議議事次第		64
平成25年度第2期配分結果一覧		65
編集委員会だより		70
巻末情報		71

(表紙説明)【左上】ヒトミルクオリゴ糖分解酵素であるラクト-N-ビオシダーゼ触媒ドメインの結晶構造。(最近の研究から「ヒトミルクオリゴ糖分解酵素ラクト-N-ビオシダーゼのX線結晶構造解析」より)

【右上】タンパク質分子のフォールディング過程に関与するシャペロニンの分子内部動態を計測するためにナノ結晶を標識した図(左上から右下に運動が進む)。背後図に複数のナノ結晶からの回折ラウエ斑点。これらの点を独立に時分割追跡する。(最近の研究から「X線回折動画からのタンパク質1分子内部動態計測」より)

【下】 $\theta$ -(BEDT-TTF)<sub>2</sub>RbZn(SCN)<sub>4</sub>における、異なる冷却速度下での抵抗率温度依存性と電子状態の概念図。(最近の研究から「有機伝導体 $\theta$ -(ET)<sub>2</sub>RbZn(SCN)<sub>4</sub>における電荷クラスタガラス」より)

今年は例年になく大雪が関東・東北地方を襲っていますが、皆様におかれましては寒さにも負けず、年度末のお忙しい時期を過ごされていることと存じます。さて、「放射光科学第一、第二研究系の現状」にありますように、来年度は非常に厳しい予算状況であるだけでなく、昨今の異常な電気代の値上がりにより、これまでのようなユーザー運転時間の確保が極めて困難な状況です。今後、運転時間回復に向けた様々な取り組みを行い、ユーザーの皆様にも多く実験を行って頂けるよう努力していきたいと考えています。

### 人材育成について

いよいよ大学院生奨励課題（T型課題）実験が来年度よりスタートします。T型課題の新設に関しましては、PF-UAと十分な話し合いを重ね、PF-PACおよび物構研運営会議での議論・承認を経て、この度の運用開始となりました。ご議論頂きました多くの先生方に感謝致します。この課題は、PFを高度に活用した優れた研究を主体的に推進する大学院生を、大学とPFが共同で指導・支援することにより、放射光科学の将来を担う人材を育成していくことを目的としています。今回、4件の申請があり、厳正な書類審査・面接選考を経て、3件が採択となりました。この初代T型課題の学生さん達が、この採択を弾みにして、大きく成長されることを切に祈っています。

近年、放射光科学は世界的に飛躍的な発展を遂げています。日本の中のユーザー数も年々、増加傾向を続けています。放射光利用に必要な機器や研究手法の発展により、以前は苦勞して取っていたデータよりも、より精密なものがあったという間に取れるようになってきました。放射光利用技術が成熟して、多くのユーザーにとって、その利便性が格段に高まってきました。この事自体は非常に良いことで、放射光利用技術の健全な発展の結果であると思います。しかし一方で、全てのユーザーがボタンを押すだけで、望みのデータが取れることだけに満足するようになれば、放射光科学分野のさらなる発展は望めないのではないかと危惧しています。放射光というツールの利用が十分に成熟したときには、そうなることも自然かと思いますが、放射光にはまだまだ開拓すべき余地が多く残っていると思います。放射光の特徴である、エネルギー可変性・偏光特性・指向性・パルス性・コヒーレント性のどれを取っても、これらの特性をより賢く使う実験手法の開発は今後も必要であろうと考えています。この開発研究に従事することにより、これまで見えなかったものが見えてくるという放射光科学の醍醐味が味わえるのではないのでしょうか。今後、新しい放射光源が建設されたときには、このような機会はさらに大きく広がってくると思います。T型課題を遂行する学生さんや、放射光科学を専門とする大学院生・若手研究者の皆様には、放射光を利用した研究だけでなく、放射光利用法の

開発研究も行って頂くことを期待しています。人材育成というものは一朝一夕にはなし得ないものです。施設側としては大学と密に協力しながら、地道に放射光科学の将来を担う人材育成に取り組んでいきたいと考えています。

### マルチプローブ利用研究について

PFニュースでも2013年の2月号より、「物構研におけるマルチプローブ利用のすすめ」という特集記事が掲載されてきました。物構研で利用できる放射光・低速陽電子・中性子・ミュオンという量子ビームを使った利用研究を促進しようという狙いで、放射光以外のプローブの専門家からの興味深い記事を多数、掲載させて頂きました。物構研では、これら2種類以上のプローブを相補的に利用する共同利用実験課題（マルチプローブ課題：MP課題）の導入を検討しています。先日のPF-PACでもその考え方が示され、ご議論頂きました。MP課題の審査は、課題毎に物構研運営会議の議を経て選出された5名からなる審査委員会（MP PAC）が行います。そこで科学的価値・技術的可能性・実験組織などについて審査（書類審査とヒアリング）がなされます。MP PACには、関係するPACの委員が入り、その審査結果を関係PACに報告します。関係PACではその報告を基に、当該課題の審査を行います。その後、物構研運営会議でそのMP課題について協議を行い、最終採択を判断するという手順です。採択されると、ユーザーはその1つのMP課題で、複数の量子ビームを利用出来ます。

さて、しかし何故MP課題が必要なのでしょう？それぞれのプローブで得られる情報が異なり、それらを相補的に利用することで研究対象の全体像が明らかになるというのはよく分かります。それだけならば、「サンプルのたらい回しによる研究」でも十分、と思われるかも知れません。私は、各研究者が主体的に複数の量子ビームの利用に取り組むことで異分野交流が促進され、新しい発想を生む可能性が増えると期待しています。これまで放射光しか使っていなかったユーザーが、中性子・ミュオン・低速陽電子を利用してみると、新しい発見に巡り会う機会が増えると思います。私自身も若い頃、放射光・中性子・ミュオンを相補的に利用する機会に恵まれ、多くの驚きと楽しみを経験しました。また、実際の利点としては研究スピードが格段に上がると思います。これまでは各プローブで実験・解析した後、他のプローブの実験に課題申請するのが普通でしたが、MP課題を利用すればフィードバックが早くできます。トライアル回数の増加は、研究に質的な変化をもたらすことが多々あります。また最近では、機能が発現しているその場で観測することの重要性が認識されるようになってきました。微妙な実験条件や試料の違いをコントロールするために、このMP課題は有効ではないでしょうか。更なる検討の後、MP課題を早期にスタートさせたいと考えていますので、どうぞ御期待下さい。

## 入射器の現状

加速器第五研究系研究主幹 古川 和朗

### 概要

2014年1月は予定通り1月7日に入射器を立ち上げ、14日からPF・PF-ARの入射を開始した。その後、入射器下流部を用いてPF・PF-ARの入射を継続しながら、上流部ではSuperKEKBに向けた試験運転を継続している。

### SuperKEKBに向けた建設と試験運転

SuperKEKBに向けた入射器の改造における大きな目標として、電子ビームの低エミッタンス化と陽電子ビームの大電流化が挙げられる。陽電子ビームはKEKB計画に比べると4倍以上の電流が期待され、またダンピングリングを通して低エミッタンス化を図る必要がある。

陽電子生成の増倍は、5 Teslaのパルス磁場を作るフラックス・コンセントレータ(FC)と15 m長のソレノイド、そして内径30 mmの大口径S-バンド加速管(LAS)などの導入によって達成される(図1)。KEKB時に比べ、ピーク磁場で2.5倍以上、また捕獲口径で1.5倍、ソレノイド長も2倍に拡大される。標的に発生した陽電子をこれらの装置で効率よく捕獲した後、1.1 GeVでダンピングリングに導き、エミッタンスを下げ、さらに直線加速器に戻し4 GeVまで加速する。KEKB時のエネルギー3.5 GeVよりもエネルギーが上がるので、陽電子標的位置も、上流側へ約40 m移動する。捕獲時には、標的後の最初の2 mにおいてはマイクロ波の減速位相においてパンチングしながら捕獲し、その後加速に転じる。こうすることによって、加速位相を用いる場合に比べて捕獲効率が大きく向上するわけではないが、400 ps離れた隣のパンチへの捕獲とエネルギー幅を小さくすることができ、ダンピングリング入射時のビームロスを大幅に減らすことができる。

別のパルスにおいては、同じ場所を電子ビームも導く必要があるため、標的にも工夫が必要で、約3 GeVの電子ビームは偏向せずに標的脇の小孔を通し、またウェイクフィールドを生じないようにLAS加速管の中央を通して、以降7 GeVまで加速する。陽電子生成する場合には、大電流電子ビームを標的直前で偏向する(図2)。さらに、電

子ビームのパワーが集中することによって、標的が破壊されることを避けるために、標的直前で陽電子生成用大電流電子ビームだけにスポイラを導入する。

フラックス・コンセントレータの製造・磁場測定は順調に進んだ。運用時には放射化が予想されるが、真空・電力・冷却水などの接続について、保守作業時を十分に考慮したアセンブリを構成している(図3)。それらの接続部には新しいコネクタの採用が必要となったため、設計・製造に時間を要し、試験時間を圧迫したこともあり、十分に専門家の目が届かず、後述のようにケーブルの焼損に繋がってしまった。

LAS加速管のマイクロ波コンディショニングについては、予想よりも時間がかかっており、考慮すべき項目がないかどうか専門家に集まっていたり、検討をお願いした。将来的にはさまざまな試験を行うことができる独立の試験ステーションの建設を検討するが、当面は時間を充分掛けてコンディショニングを行う必要があるという助言をいただいている。このままコンディショニングは継続しながら、徐々に加速電界を向上させる予定である。

電子ビームについては、2011年からDAW空洞とネオジウム(Nd)レーザーを組み合わせた基本版のRF電子銃をユニット#32において試験運用している。さらに2013年から、擬似進行波型空洞(QTWSC)とイットリビウム(Yb)を用いたレーザーを組み合わせた高機能版のRF電子銃を

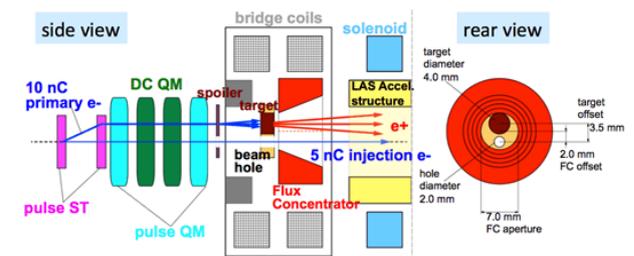


図2 陽電子生成標的の近傍の構成模式図。側面(左)とビーム軸方向(右)の図。

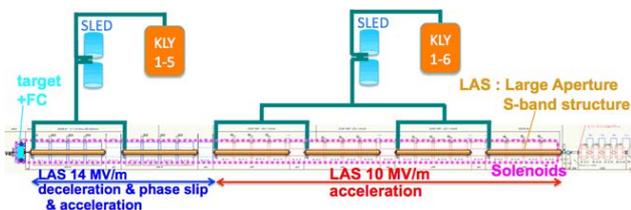


図1 陽電子生成捕獲部の最初の15 m部分の概要。

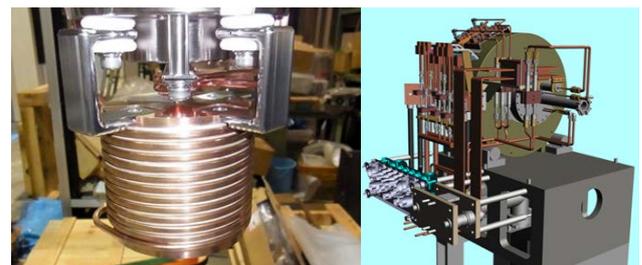


図3 フラックス・コンセントレータとその電力・冷却水供給アセンブリ。

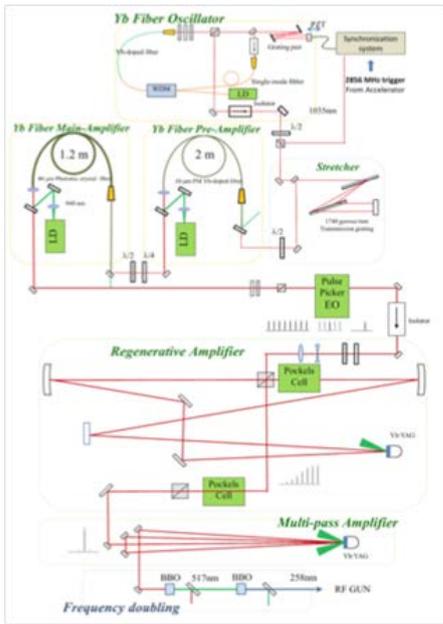


図4 大出力レーザーを駆動する多段のシステム。

ユニット #A1 において試験している。新しい RF 電子銃は、さらに加速電界や収束力に優れ、空間電荷効果の影響が大きい大電流ビーム発生・加速においては有利と期待されている (図4)。

電子ビームの品質は今期のビーム試験の対象であり、新規に設置されたパンチ圧縮用シケインや、ビーム・ワイヤスキャナなどのビーム測定装置を使って鋭意改善中で、エネルギー幅圧縮などに成果が出始めている。

光陰極には長期安定な  $\text{Ir}_2\text{Ce}$  を採用しているため、ほぼレーザーがビームの安定度を決める。既に、電子ビームに必要な  $5 \text{ nC/bunch}$  の電荷は達成しているが、安定度を得るためには今後もさまざまな安定化機構を必要とすると考えている。例として図5に、ある時のビーム電荷の履歴を示す。

既に、600 m にわたっての低電流ビームも通してみたが、まずは、最初の 120 m 区間 (A, B セクタ, 1.5 GeV) を用いて、ビームの測定、安定化などの開発研究を進めている。例えば、図6は概略の軌道補正を試みた、A, B セクタ区間のビームの水平、垂直位置と電荷の様子、図7は、B セクタ終端でのビーム・ワイヤスキャナを用いたビーム

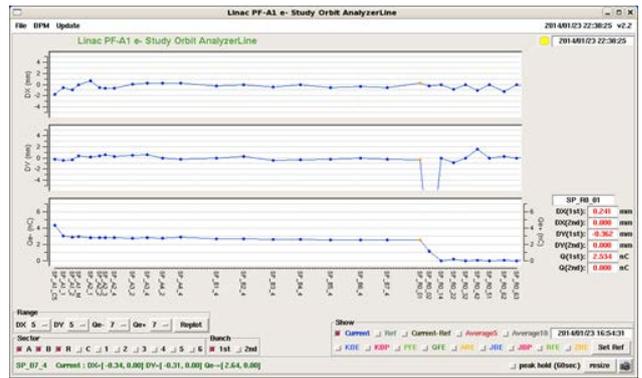


図6 横軸を距離とした、A, B セクタの電子ビームの水平、垂直位置と電荷。

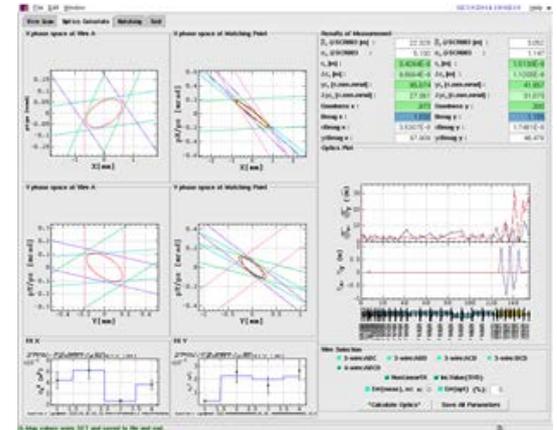
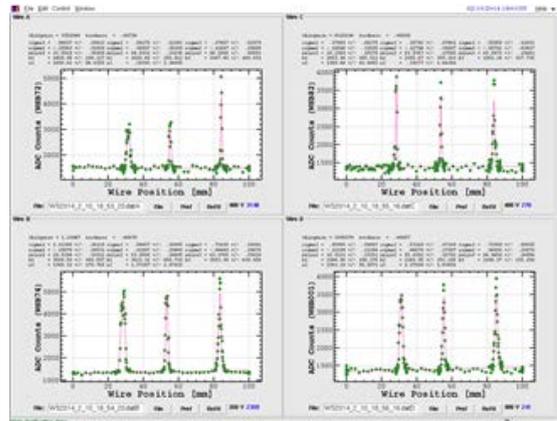


図7 B セクタ終端の電子ビームサイズの測定 (上) と光学補正後の位相空間内のビームの様子 (下)。

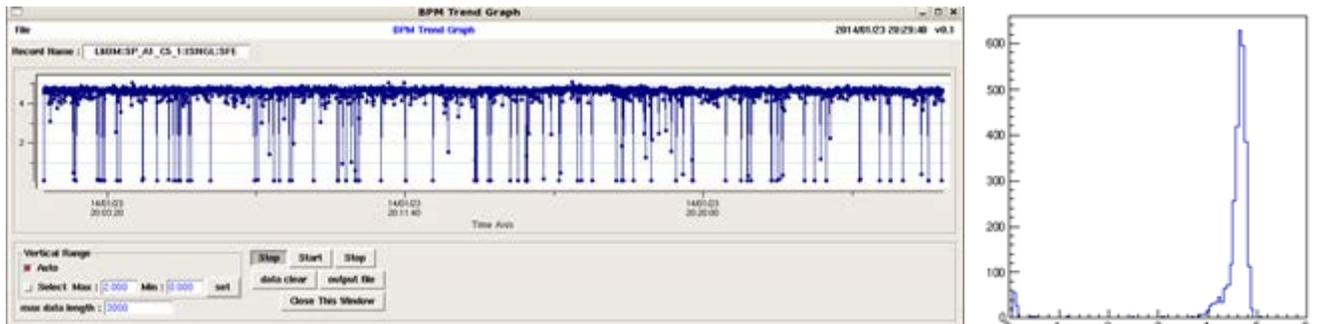


図5 電子銃から生成された  $5 \text{ nC}$  のビーム。左が横軸時間、縦軸電荷の履歴。右が横軸電荷のヒストグラム。

光学補正の様子で、徐々にビーム管理の経験を積んでいるところである。今後は、電子銃から得られた品質の良いビームをエミッタンス増大が無いように導く技術を修得する必要がある。

アポートなどによって、メインリングが陽電子を入射できなくなった際に、ダンピング・リングに残ったビームをどのように廃棄するか、という課題について、いくつも解決方法が存在することもあり、検討を先送りしてきたが、効果的な方法について再度議論を始めている。このように、実際の運転形態を仮定して決定しなくてはならない事項も多数予定されており、安全にも配慮しながら、適切な選択肢を選んでいく必要がある。

## 光源の現状

### 光源リングの運転状況

昨年11月から12月上旬にかけて、PFリングの運転は概ね順調に行われていたが、12月9日未明ビームダンプが発生、RFがダウンした。ビームダンプの原因が、RF空洞の反射によるものと判断し、再立ち上げを行って、運転を再開した。しかしながら、その後ビームダンプが立て続けに起こったため、念入りにRF周辺の機器を調べたものの原因が特定できなかったが、RFがダウンしてビームダンプが起こる数ミリ秒前にビームロスが生じていることがわかってきた。そこで、RF以外の原因も疑い、電磁石電源の電流値を詳細に調べたところ、4極電磁石電源の一台(QD電源)が、時々 $\pm 20$  A程度の変動を起こしていることに気がついた。しかも、その変動とビームダンプが同

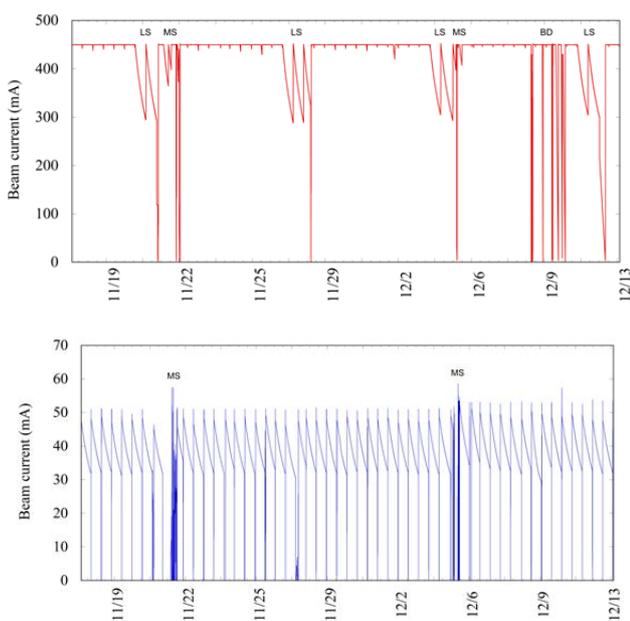


図1 PFリングとPF-ARの蓄積電流値の推移。MSはマシン調整、LSは入射器調整、BDはビームダンプを示している。

### 年末のケーブル焼損事故

12月末には、開発中のフラックス・コンセントレータの試験中に火災が発生し、パルス電力の供給ケーブルを20 cmほど焼損した。安全性・保守性を考慮した設計が複雑になり、製作が遅延したため、試験時の高圧パルス電力ケーブルの取り回しと支持に関して、専門家の目が届きにくくなっていたことが影響した。幸い、新しい試験であったこともあり、複数の監視装置を用意していたため発見が早く、影響は最小限であった。電源設置の関係で管理区域内で試験を行っていたこともあり、多数の方々に対応にあたっていただいたことを深謝したい。また今後の新規の導入に関して、電気装置安全の認識を新たにしたい。

加速器第七研究系研究主幹 小林 幸則

期していることが判明、数ミリ秒前にビームロスを起こしていた原因がQD電源であることを特定した。結局、電磁石電源(1995年頃製造)に用いられているアクティブフィルターのゲイン調整用ポテンシオメータが、老朽化のため正しい値に設定されていないことが変動の原因であった。ポテンシオメータを外し、スクリュードライバーで正しい値に設置することで変動は収まり、その後ビームダンプは起きなくなった。老朽化したゲイン調整用ポテンシオメータは他の電源も含めてすべてマシン調整日に交換した。PF-ARでは、マシン調整日に改善を試みているものの、50 mA以上蓄積することが困難な状況や加速中のビームロスは起こっていたが、それ以外は概ね順調にユーザー運転は行われた。図1にPFリングおよびPF-ARの11月17日9:00から12月13日9:00までの蓄積電流値の推移を示す。

### 真空封止型短周期アンジュレータSGU#17のトラブル

PFリングにおいて、11月22日9:14 Top-Up運転中であつたが、突然入射が滞りビームを蓄積することができなくなるというトラブルが発生した。原因調査のため、チャンネルをクローズしたところ、ビームが入るようになった。調査の結果、SGU#17のGapを6.0 mm以下(最小Gapは4.0 mm)にすると入射が悪くなり、蓄積ビームの寿命が短くなることがわかった。真空封止型アンジュレータはチャンネルクローズすると自動的にGapを最大(約45 mm)にする操作が行われる。しかしながら、その時点では、なぜこのような現象が発生したのかの原因までは突き止められず、アンジュレータの真空槽内を調べないことには分からないという結論であつた。運転継続という観点では、Gap値6.0 mm以上では蓄積ビームの寿命には問題なく、また真空および放射線レベルにも異常は見られなかったため、アンジュレータの運用およびTop-Up運転は可能と判断し、最小Gap値の設定を4.0 mmから6.0 mmに変更し

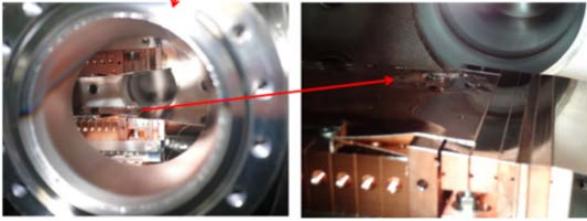


図2 真空封止型短周期アンジュレータ SGU#17の真空槽内。ニッケルメッキした銅フォイルの一部が損傷している。

てユーザ運転を再開した。その後、BL-17 担当者からもう少し Gap を狭めたいという要望があり、11月28日に追加調査を実施、設定最小 Gap 値を 5.7 mm までとした。根本的な原因調査として、12月20日 9:00 に運転が停止した後に、真空をパージして、真空槽内の観察を行うこととした。

12月25日午後、関係者およびメーカーの立ち会いのもと、真空槽内を覗いたところ、渦電流対策のため永久磁石に貼り付けてあるニッケルメッキした銅フォイル（厚さ約 80 ミクロン）の外側下の一部が溶けて凹凸ができていたことが判明した（図2）。そのため Gap を閉めると隙間がさらに狭くなり、その部分を通過する入射ビームが削られていたと考えられる。一方で、蓄積ビームが通過する位置ではその影響が少なかったと推測される。また、銅フォイルの一部が溶けた原因が、ビーム軌道が大きくずれたときに放射光が当たったためだと考えられ、軌道を大きくずらした操作を行った10月24日のマシン調整時にステアリング電磁石の応答関数を測定したときではないかと推定されている。ただ、Gap が 6.0 mm 以下で入射ができなくなったのは、応答関数の測定の日から約 1 ヶ月を経過した11月22日であるので、その期間にじわじわと放射光をあてた何らかの別の要因があることも考えられる。銅フォイルの復旧作業は、冬の停止期間内には無理であるため、調査後すぐに真

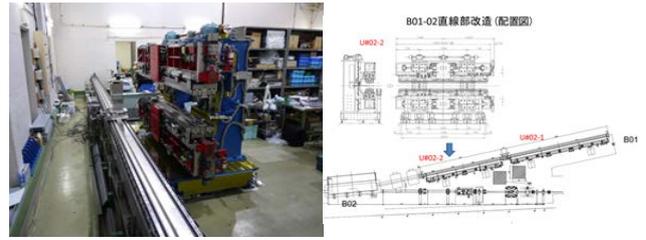


図3 新規可変偏光アンジュレータ (U#02-2) のリング内配置図 (右図) と準備室に搬入されたアンジュレータの写真 (左図)。

空の復旧作業に入った。BL-17 の 1 月・2 月の運用については、継続して最小 Gap 値 5.7 mm で行い、春の停止期間中（3月中）に銅フォイルの交換作業を行う予定である。

### 新規可変偏光アンジュレータ U # 02 2号機の導入

可変偏光アンジュレータ U#02 2号機が、昨年12月上旬に AR 北実験棟脇挿入光源準備室に搬入された（図3左図）。現在準備室内で磁場調整を行うとともに、PF リング地下機械室で真空チャンバーの準備作業を行っている。3月に PF リング北長直線部（B01-B02 間直線部）の既設 U#02 1号機を上流に移動し、下流に新規 2号機を設置する予定である（図3右図）。

### 人の動き

加速器第7研究系光源第一グループに所属され、放射光源加速器の現場で、電子軌道に関連する研究・開発や若手の教育指導を行っていただいております神谷幸秀シニアフェローが、昨年11月1日付けで研究支援戦略推進準備室学術フェローに採用され、管理局に異動となりました。神谷学術フェローは、機構に新たに組織されました研究支援戦略推進部の部長として、機構全体の研究支援・促進に尽力されることとなります。

## 放射光科学第一、第二研究系の現状

放射光科学第二研究系研究主幹 足立 伸一

### PF および PF-AR の運転状況とスケジュール

PF および PF-AR の 2013 年度秋期運転は、予定通り 12月20日（金）に終了しました。年が明けて 2014 年となり、PF は 1月16日（木）、PF-AR は 1月17日（金）より、それぞれユーザー運転を開始しました。どちらも順調に運転が進行しており、2月21日（金）まで運転した後に停止期間となる予定です。

来年度の運転スケジュールについては、2014 年度予算の内示を受けて、現在機構内で調整を進めています。2014 年度はこれまでにない厳しい運転スケジュールとなることが予想されます。まず全国大学共同利用機関の運営費交付金のうち、特に特別経費が軒並み予算削減となる中

で、放射光共同利用実験を行うための予算についても例外ではなく、2013 年度に比べて 13.3% 減額の内示となりました。これに加えて、円安による原油価格の高騰等の影響による電気料金値上げは加速器運転にとって大変深刻であり、PF および PF-AR の運転時間の確保が極めて厳しくなっている状況です。現在の試算では、年間の加速器運転時間として 3000 時間程度、ユーザー運転時間として 2500~2700 時間程度となると予想しています。例年 4 月に行っていたユーザー運転についても 2014 年度は行わず、5月の連休明けからユーザー運転を開始します。またこの状況に伴い、可能な限り運転時間を確保するために、やむなく員等旅費の削減を行うことも合わせて検討してい

ます。このような状況の中で、PFにおける大学共同利用実験をこれまで通りの運転時間を確保しながら継続することが極めて厳しくなっており、今後、ユーザーの皆様と歩調を合わせながら、運転時間の回復に向けた取り組みを進めてまいります。

### 事故に対する注意喚起

2014年1月27日にPF実験ホール内において、ユーザー実験用装置に装着されていたビューポートのガラスが割れて飛散し、装置付近で作業していたユーザー2名が負傷するという事故が発生しました。事故の原因は、装置の真空槽を真空排気する際に、ロータリーポンプの吸気側と排気側を誤って接続したことによるもので、そのために真空槽内の圧力が上昇しガラスが破断したと考えられます。またビームタイム終了後の作業であり、疲労により注意力が欠如していたことも、事故の要因となったと考えられます。幸いユーザー2名は軽傷でしたが、一歩間違えば失明など、より深刻な事故となった可能性もあります。

PFでは、大事故には至らないものの一歩間違えば深刻な事故になる可能性のある事故、いわゆる「ヒヤリハット事故」についてリストアップし、大きな事故を未然に防ぐための対応を進めているところです。今回の事故に関しては、ロータリーポンプの吸気側と排気側を明示する等の安全対策を行いますが、ユーザーの皆様におかれましても、日頃からPFでの共同利用実験中の安全について一層ご注意いただくよう、改めて注意喚起させていただきます。

### BLの建設、工事関係

2013年度の秋期運転から冬期運転にかけて、BL-2A,BとBL-15Aの立ち上げ調整が進行しています。それぞれのビームラインの設置目的と立ち上げの現状について、少し詳しくご紹介します。

まずBL-2はタンデム配置の2台のアンジュレータと斜入射分光器および二結晶分光器を用いて、同一のポートでBL-2Aでは30-2000 eV程度、BL-2Bでは30-4000 eV程度の単色光を供給できるような高輝度ビームラインとして整備を進めています。2013年春に旧ビームラインの撤去、設備関係の整備を行い、2013年夏期シャットダウン中にビームラインコンポーネントの設置作業を行いました。2013年10月にファーストビームを導入し、その後、既存のアンジュレータを用いて新たな光学系の調整、および250-1500 eVのエネルギー領域で各実験装置の立ち上げ調整を進めているところです。2014年2-3月に低エネルギー領域をカバーするアンジュレータの設置および既存のアンジュレータの下流への移設を行った上で、2014年度第1期より全エネルギー領域での立ち上げ・調整を開始する予定です。

BL-15Aは短周期アンジュレータを光源とする高輝度ビームラインとして、2013年春に旧ビームラインの撤去、設備関係の整備を行い、2013年夏期シャットダウン中にビームラインコンポーネントの設置作業を行いました。

BL-15Aでは、高分子フィルムや生体膜などの多様な膜構造、天然物や工業材料など不均一な分布をもった物質構造を複合解析手法(SAXSやXAFS/XRFなど)により解明する研究を推進する予定です。2013年10月にファーストビームを導入し、その後、初段ミラーシステム、液体窒素冷却二結晶分光器、各実験装置等の立ち上げを進めています。2014年2月に最後の後段ミラーシステムを立ち上げる予定で、2014年春からの共同利用実験開始を目指してビーム調整や性能評価を進めています。

またこれら2つのビームライン以外にも、BL-10C、BL-11Aなどにおいて、2-3月中にビームライン高度化作業が予定されています。詳細については、PFホームページやメルマガ等で随時お知らせする予定です。

PFの周辺では、PF-AR直接入射路建設のためトンネル工事が行われており、これに伴ってPFへのアクセス道路とKEKB周回道路が交互に通行止めになっております。今年度中の工事のため、ユーザーの皆様には大変ご不便をおかけしますが、ご協力をお願いいたします。またあわせて機構内での交通安全にご留意くださいますようお願いいたします。なお、通行止めの状況はPFホームページで公開しておりますので、来所される前にご確認ください。

### 共同利用関係

人員の異動等に伴い、2014年度より共同利用の運用方法を一部変更するビームライン・ステーションについて、まとめてご連絡させていただきます。対象となるのは、BL-4A、BL-18A、BL-19A、BL-18Bです。

BL-4AはこれまでPFスタッフによる管理運営を行って参りましたが、担当者の飯田厚夫先生のご退職に伴い、2014年4月よりユーザーグループ運営ステーションとして再スタートすることになりました。担当ユーザーグループは、マイクロビームX線分析応用UGで、広島大学の高橋嘉夫先生に運営ワーキンググループの代表者をご担当いただきます。高橋先生をはじめ、運営ワーキンググループの先生方には、ビームライン運営で大変お手数をおかけいたしますが、何卒よろしく願います。PF施設側としては、物質化学グループを窓口としてサポートさせていただきます。

BL-18AとBL-19Aの2つのステーションは、これまで東京大学物性研究所軌道放射光施設が主体となって共同利用が進められてきましたが、2014年3月末で同施設による運営を終了いたします。BL-19はアンジュレータを光源としVSX領域をカバーするビームラインとして、長きにわたりスピン分解光電子分光など特徴ある研究成果を輩出してきました。今後の運営については検討が始まったところですが、他のVSX領域の研究分野を見ながら、ユーザーの皆様と共に検討を進めてまいります。

BL-18Bはインドビームラインと呼ばれ、インド政府科学技術省科学技術局により運営されているビームラインですが、粉末回折計、表面回折計などの装置整備が完了し、2014年4月より一般ユーザーに公開されることになりま

した。現在有効な課題を持っているユーザーの方で、4月以降に BL-18B の利用を希望される方はご相談ください。2014年5月の課題申請からは新規課題申請も受け付ける予定です。BL-18Bでの実験にご興味のある方は、インドビームラインのホームページをぜひご覧ください。

<http://www.saha.ac.in/surf/india.japan/web/>

## シンポジウム

2013年12月17日(火)に KEK つくばキャンパス小林ホールにおいて、物構研特別シンポジウム「物質・生命科学における大学共同利用～物構研のあり方を問う～」を開催しました。大学共同利用の将来と物構研のあり方、とりわけ物質科学と生命科学の分野における大型施設のあり方について、各方面の先生方からご講演いただき、活発な議論が行われました。今回をスタートラインとして、今後とも継続して議論を深めていく予定です。

また、物構研サイエンスフェスタ 2013(第5回 MLF シンポジウム/第31回 PF シンポジウム)を2014年3月18日(火)、19日(水)の2日間に亘って、つくば国際会議場(エポカルつくば)にて開催いたします。施設側スタッフとユーザーの皆様が一堂に会することのできる年1回に貴重な機会ですので、是非ご参加下さい。特に2日目の PF シンポジウムでは、午前中に PF の運営に関するセッションを設け、運転時間削減問題に対する取り組みや、放射光将来計画に関する議論を中心に行う予定です。ぜひご参加ください。また例年通り、前日の3月17日(月)の夕方にユーザーグループミーティングを開催するように会議室を確保しています。皆様の積極的なご参加をお待ちしております。

## 人の動き

2013年11月以降の人事異動についてご紹介いたします。まずは新任・昇任関係です。

2013年12月1日に、伴弘司氏が(株)国際電気通信基礎技術研究所から PF の学術フェロー(特任教授相当)として着任しました。PF は国内8か所の放射光施設等と連

携して産業利用を促進する「光ビームプラットフォーム」の中心機関として参画していますが、伴氏はこれまでの企業経験を活かして、このプラットフォームのトップ・コーディネータとして活躍していただいています。年が明けて2014年1月1日には、張小威氏が特別教授に着任しました。張氏は、これまでに核共鳴散乱ビームラインの建設と利用実験の推進、シリコン結晶の格子定数の精密測定などの分野で活躍してきましたが、今後は次世代放射光源における X 線光学・ビームラインの開発研究に従事するとともに、中国の放射光施設との技術・研究交流に關与する予定です。1月16日には、清水伸隆氏が生命科学グループの准教授として着任しました。清水氏にはこれまで特別准教授として PF の小角散乱ステーション(BL-6A, BL-10C)の高度化を担当してきましたが、今後は PF のパーマネントスタッフとして、小角散乱分野の新たな利用研究の開拓に向けて、さらなる飛躍を期待しています。また、同じく1月16日付で松垣直宏氏が准教授に昇任しました。これまでの構造生物ビームラインにおける共同利用と高度化を進めつつ、今後はさらに構造生物ビームライン全体を統括する立場で利用研究を推進していただくよう期待しています。2月1日には、先端研究基盤共用・プラットフォーム形成事業の技術指導研究員として、君島堅一氏が着任されました。主に XAFS 測定の産業利用トライアルユースをご担当いただく予定です。

次に退職・異動関係ですが、構造物性グループの特任助教として、主に軟 X 線回折実験を担当してきた岡本淳氏が、2月7日付で PF を退職されました。岡本氏は現在建設が進んでいる台湾の第3世代放射光施設 TPS のアシスタント・サイエンティストとして着任し、主に軟 X 線非弾性散乱実験を担当される予定です。また、主に PF-AR でピコ秒時間分解 XAFS 実験を担当してきた研究員の佐藤篤志氏は、3月1日付でドイツ・ハンブルグにある DESY の CFEL (Center for Free-Electron Laser Science) に移籍し、European XFEL におけるビームライン建設と利用実験立ち上げに参画する予定です。PF で育った二人の若手研究者が世界を舞台に今後益々活躍されることを祈念します。

## ERL 計画推進室報告

ERL 計画推進室長 河田 洋

### はじめに

少し、時期はずれのご挨拶となりましたが、明けましておめでとうございます。昨年秋から cERL の建設そして立ち上げを進めてまいりましたが、昨年秋に重大なニュースが SLAC から入ってきました。それは、SLAC で進めている LCLS の次期計画である LCLS-II を、従来の常伝導加速空洞(ビームの繰り返し周波数 数 10 Hz)を用いた増強計画から、質的に異なる超伝導加速空洞を用いた高繰り返し

し(ビームの繰り返し周波数 1 MHz)の FEL 計画に変えるというものでした。詳細は以下の SLAC のサイトを参照ください(<https://news.slac.stanford.edu/features/director-modified-proposal-lcls-ii>)。このようなことを書きますと、「ERL の推進室長が、何故、海の向こうの FEL 計画のことを書くの?」と言われてそうですが、この高繰り返しの FEL は、まさに ERL 計画で開発を進めてきている CW の超伝導加速空洞技術をベースにしているからです。この LCLS-II 計

画が起因しているかどうかはわかりませんが、国際的な加速器研究者の間で、ERL 計画の超伝導空洞に関する問い合わせが増えたということを見聞きしています。また、この LCLS-II 計画は、もともと NGLS (Next Generation Light Source) というパークレーの計画がベースとなっています。昔の話ですが、2008 年の 3 月に「ERL サイエンス研究会 1」を開きました。2 日間かけて、「ERL で何ができるか」を多くの方々にお話しいただいたのですが、その冒頭の私の発表「ERL プロジェクトのビジョンと位置付け」のところで、ERL 計画の将来の発展性として、当時 LBNL が提唱していた、上記の高繰り返し FEL の計画を引用したことを思い出します。プロシーディングスは KEK レポート (<http://ccdb5fs.kek.jp/tiff/2008/0825/0825016.pdf>) になっていますのでご参照ください（上記プロシーディングスの p8）。今後、LCLS-II 計画がどのように推移するかは計り知れませんが、国際的な立場で、放射光科学の一助に KEK の ERL 計画が貢献できればとも思います。そのためにも、まずは cERL の所定の性能を早く実現することが第一歩となるでしょう。今年、その cERL の立ち上げが最重要課題ですが、どうぞ、変わらずご支援いただければと思います。

### cERL の建設状況

cERL では昨年 10 月から今年の 1 月にかけて、まさに建設とそして立ち上げ開始となる緊張感にあふれる毎日でした。非常に厳しいスケジュールの中、10 月末までに cERL の周回部真空ダクトの設置作業が予定通り終了し、並行して真空ダクト設置作業のため一時退避していたマグネット上部も順次もとに戻されました。11 月から各機器へのケーブル配線作業、放射線防護のための局所的な放射線シールド設置作業、同時にケーブル配線が終了した貫通孔から順に放射線シールドの戻し作業、そして加速器運転のためのインターロック作業が、それぞれの業者が同時並行や不都合がある場合には時間的に交代しながらまさに戦場のようなスケジュール管理のもと進められました。その結果、図 1 に示しますように、真空ダクトがつながり、原子力機



図 1 レーザー逆コンプトン散乱ビームラインの取り出しダクトも設置された。

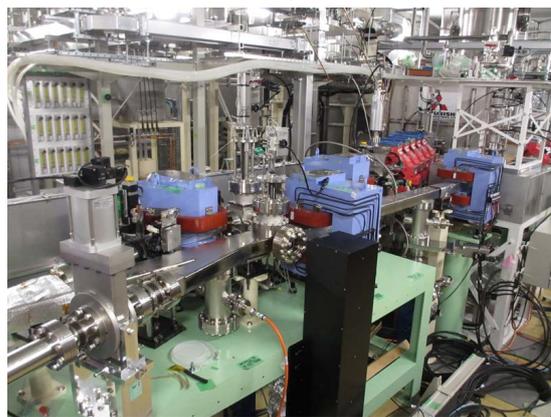


図 2 cERL の中で最も狭い領域に複雑に磁石列が配置されている所の入射部から周回部の接続部分（マージャー部）。



図 3 周回部から発生する可能性があるビームロスに備えた周回マグネット近傍に設置した放射線シールド。

構との共同研究で進めているレーザー逆コンプトン散乱ビームラインの取り出しダクトも設置されています。図 2 は、cERL の中で最も狭い領域に複雑に磁石列が配置されている所の入射部から周回部の接続部分（マージャー部）です。そして図 3 は周回部から発生する可能性があるビームロスに備えた周回マグネット近傍に設置したシールドの写真です。

また、ハードウェアの建設だけではありませんでした。本格的な超伝導加速空洞の運転に備えて、酸欠警報装置を設置し、その運用を開始する必要もあります。その酸欠警報の取り扱い講習会を 11 月上旬に行ないましたが、関係スタッフのみならず関係業者を含めて、約 50 名の参加者のもと、酸欠警報システムの内容と、簡素モニターの取り扱い方や緊急ボンベの取り扱い方を実地講習が行われました。そして、いよいよ 11 月 15 日にはインターロックの自主検査を行い、20 日に放射線区域責任者検査、そして 21 日の放射線主任者検査が行われ、無事に主任者検査に合格し、加速器は試験運転状態となった次第です。11 月末から入射部及び主加速部超伝導空洞のエージングを開始し、12 月 16 日から 20 日までの 5 日間に年末の加速器コミッショニングを開始しました。

この 5 日間のコミッショニングの様子は以下の通りです。12 月 16 日に夏前に立ち上げを行った入射部の調整を終了し、17 日には、今までビームを通していない主加速



図4 コミッショニング中のコントロールルームの様子。



図5 東京工業大学の学生達と cERL を見学している様子。

超伝導空洞にビームを導入しました。18日は主加速空洞の加速調整を行い20 MeVの電子ビーム加速を確認すると同時に、周回路のビーム輸送調整を開始しました。そして、19日に加速ビームを周回路のビーム位置モニターで順次確認しながら周回させ、主加速空洞に戻し、減速ビームをダンプライン上流のビーム位置モニターで確認することまでに至りました。20日は、丹念にビーム軌道の調整を行いつつ、周回ビームを調整することを行いましたが、時間切れで昨年の加速器コミッショニングを終了した次第です。まだまだ、立ち上げ調整運転ですが、無事に減速ビームを2013年中に確認できたことは嬉しい限りでした。

現在、1月中旬過ぎから調整運転を開始していますが、一つ一つ確認して、原子力規制庁の施設検査を受験できる性能の達成と合格レベルの性能向上を目指して進めています。順調に施設検査に合格できれば、さらなる性能向上を目指し調整すると同時に、来年度予定しているレーザー逆コンプトン散乱ビーム生成に向けてのスタディーを開始する予定です。図4はコミッショニング中のコントロールルームの様子で、皆、コントロールパネルを見つめています。

#### ERL 計画の対内外の活動

12月2日の週に、PFのBL-20Aで展開されている大学運営ステーション（東京工業大学・理学部・化学学科）の講義・演習の一環として、cERLの見学が主に修士学生に向けて行われました。学生達は、講義・演習の一環であるPFのBL-20Aを用いた放射光実験を行い、放射光のパルス特性を利用した時間構造の実験を行っていますが、cERLは、将来光源としてサブピコ秒のパルス構造が得られる事を説明すると、目を輝かせていた。また、学生達は実物の加速器を見るのも初めてで、興味深くその加速器要素を見ていました。図5はその見学の時の様子です。

また、1月30日には、原子力機構で開かれました国際シンポジウム「Nuclear Physics and Gamma-ray Sources for Nuclear Security and Nonproliferation」に参加したガンマ線や中性子線を用いる核物質の測定・検知技術開発の研究者の方々（30名）が将来、レー

ザー逆コンプトン散乱が取り出される実験施設を見学され、将来の発展に期待の聲が湧いていました。

## ヒトミルクオリゴ糖分解酵素ラクト-N-ビオシダーゼのX線結晶構造解析

伊藤佑, 伏信進矢

東京大学大学院農学生命科学研究科

### Crystal structures of GH20 lacto-*N*-biosidase from *Bifidobacterium bifidum*

Tasuku ITO, Shinya FUSHINOBU

Department of Biotechnology, The University of Tokyo

#### Abstract

ラクト-N-ビオシダーゼは、ヒトミルクオリゴ糖からビフィズス菌の生育因子を遊離する糖質加水分解酵素として注目されていたが、その立体構造は未知であった。本研究ではラクト-N-ビオシダーゼのX線結晶構造解析を行い、構造中のリガンドのコンフォメーションから、本酵素の反応機構における基質のコンフォメーション変化の推定を可能にした。さらに、本酵素のビフィズス菌の生態における位置付けを考察した。

#### 1. はじめに

##### 1-1 ヒトミルクオリゴ糖 (Human Milk Oligosaccharides; HMO)

HMOとは、ヒトの母乳に含まれる、ラクトース (Gal-β1,4-Glc) 以外のオリゴ糖のことである [1]。HMOは乳児の腸内にビフィズス菌を定着させ、乳児の健康を促進するプロバイオティクス効果を持っている。ヒトの母乳には約7%の糖質が含まれているが、そのうち80%をラクトースが、20%をHMOが占めている。HMOは約130種類のオリゴ糖からなる複雑な混合物であり、ラクトースを基本骨格として、ラクト-N-ビオース (Gal-β1,3-GlcNAc; LNB) あるいはN-アセチルラクトサミン (Gal-β1,4-GlcNAc; LacNAc) が結合し、さらにそこにシアル酸やフコースが結合した構造をとる。HMOは、LNBを含むタイプI型、LacNAcを含むタイプII型に大別される。HMOの構造は多種多様だが、その中でも代表的なものの1つにタイプI型のラクト-N-テトラオース (Gal-β1,3-GlcNAc-β1,3-Gal-β1,4-Glc; LNT) がある。母乳中には、LNBを含むタイプI型のオリゴ糖がタイプII型よりも多く含まれている。これは、哺乳類、類人猿の中でもヒトにしか見られない特徴であることが分かっている。

##### 1-2. HMOとビフィズス菌

乳幼児の腸管によく見られるビフィズス菌のうち、*Bifidobacterium bifidum* JCM1254株、*Bifidobacterium longum* subsp. *infantis*、*Bifidobacterium breve*の3種はそれぞれ異なる方法でHMOを利用して考えられている。まず、*B. bifidum* JCM1254株は、いくつかの膜結合型の菌体外酵素を持っていることが分かっている。これらの菌体外酵素によってHMOからLNBが遊離し、菌体内に取り込まれると考えられる。一方、*B. longum* subsp. *infantis*は3糖以

上のオリゴ糖を丸ごと菌体内に取り込み、菌体内に多数あるグリコシダーゼによってHMOを分解することが知られている [2]。また、*B. breve*は他の腸内細菌が分解したオリゴ糖や単糖を取り込んでいると考えられている。

##### 1-3. ビフィズス菌のLNB/GNBに特異的なHMO代謝経路

1-2節で述べたうち、膜結合型菌体外酵素を利用する、*B. bifidum* JCM1254株のHMO分解経路についてFig. 1に示す [3]。ラクト-N-ビオシダーゼ (LNBBase) は、膜結合型菌体外酵素として分泌され、ラクト-N-テトラオースからLNBを遊離する。一方、LNBBaseと同じ分泌酵素であるendo-α-GalNAc-aseは、腸内粘膜の糖タンパク質に豊富に含まれるムチンからガラクト-N-ビオース (Gal-β1,3-GalNAc; GNB) を切り出す。GNBはHMOには存在しないが、LNBと構造的に良く似ている。LNBとGNBは、これらに特異的なトランスポーターにより菌体内に取り込まれ、菌体内でGNB/LNBに特異的なホスホリラーゼによ

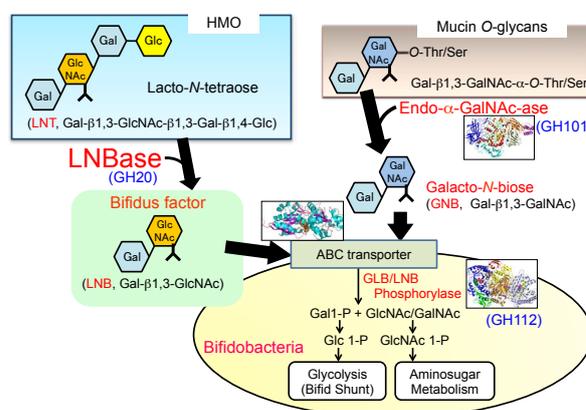


Figure 1 GNB/LNB pathway of Bifidobacteria.

て加リン酸分解されて代謝される。このことから、HMOの構成単位の1つであるLNBが、ビフィズス菌の重要な生育因子の1つだと考えられている。これらの酵素(タンパク質)はビフィズス菌のHMO代謝経路の鍵となる酵素であり、構造解析を含め、詳しく研究されている。LNBaseは、このHMO代謝経路の中にある重要な酵素の1つである。

## 2. *B. bifidum* JCM1254 由来 LNBase

### 2-1. LNBaseの基質特異性

LNBaseは、LNTやLNB- $\beta$ -pNPに対してのみ高い活性を示す[4]。フコシル化などの修飾を受けていない、LNTのようなオリゴ糖のLNB部分に対して特異的に作用すると言える。

### 2-2. GH20におけるLNBase

LNBaseは $\beta$ -*N*-アセチルヘキソサミニダーゼ( $\beta$ -HexNAcase)とともに、糖質加水分解酵素(Glycoside Hydrolase, GH)ファミリー20に分類されている。LNBaseは、LNBという2糖を切り出すのに対し、 $\beta$ -HexNAcaseは $\beta$ -*N*-アセチルヘキソサミン単糖を切り出す。本研究以前は、GH20では、単糖を切り出す $\beta$ -HexNAcaseについては、多くの構造が明らかになっていた。しかしながら、2糖を切り出すLNBaseの構造は未知であった。LNBaseと構造が明らかになっている $\beta$ -HexNAcaseとのアミノ酸配列同一性は最大でも22%であり、立体構造、特に基質結合ポケットのサイズに違いがあることが予想された。

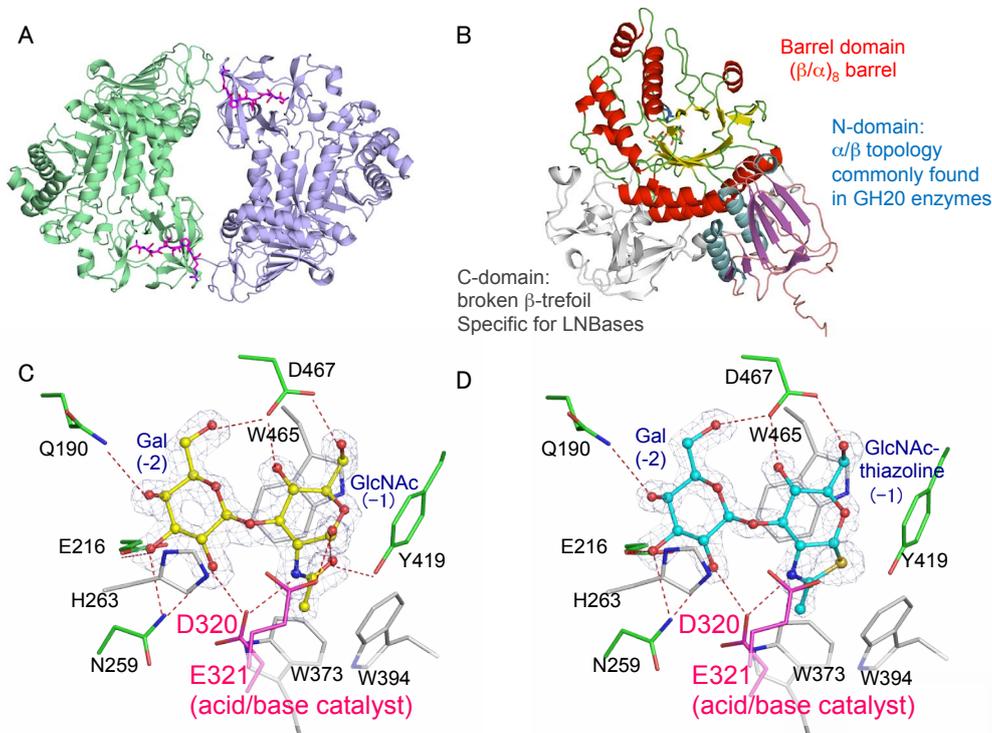
## 3. LNBaseの結晶構造

### 3-1. X線結晶構造解析

本研究で用いたLNBaseは、*B. bifidum* JCM1254株からクローニングされた[4]。全長1112残基で、シグナルペプチド、GH20の触媒ドメイン、CBMドメイン、Ig-likeドメイン、膜貫通ドメインなどで構成されている。当初、触媒ドメインのみを含む627アミノ酸からなるコンストラクトを用いていたが、良質な結晶が得られなかった。そこで、それよりさらに短いコンストラクトをいくつか作製した。そのうち、N末端から4アミノ酸だけ短くした623アミノ酸からなるコンストラクトで、硫酸存在下において良質な結晶が得られた。この結晶化条件では、LNBやLNB-チアゾリンが入っていないと結晶が成長しなかった。LNB-チアゾリンは強力な阻害剤であり、LNBaseに対して $K_i$ は125 nMである。LNBは10 mM前後の濃度で結晶が出来たが、LNB-チアゾリンは0.1 mM以下でないと結晶が出来なかった。KEK-PF BL-17Aにおいて、これらの結晶のX線回折データを収集した。Se-SAD法によって位相を決定し、LNBaseとLNB、LNBチアゾリンの共結晶の構造を共に1.8 Åの分解能で決定した[5]。

### 3-2. 全体構造

LNBaseは溶液中では単量体である。しかし、結晶の非対称単位には2分子入りしており、発現ベクター(pET-28b)由来のN末端His $\times$ 6タグとそれに続く人工配列(21アミノ酸)のうち11アミノ酸の電子密度マップが確認され、そのうち7つのアミノ酸が隣の分子のCドメイン(後述)



**Figure 2**  
The crystal structure of LNBase. Dimer in the asymmetric unit (A), monomer (B), active centers of LNB complex (C) and LNB-thiazoline complex (D).

と相互作用することによって、結晶の非対称単位内でのダイマー形成に関わっていた (Fig. 2a)。このダイマー相互作用はアーティファクトであるが、結晶中での分子のパッキングに関わっており、今回結晶化に用いたコンストラクト以外では同様の結晶は得られなかったと推察された。

LNBaseの全体構造は、3つのドメインで構成されていた (Fig. 2b)。まず、Nドメインは、機能は不明だが、GH20に広く保存されているフォールドだった。2本の $\alpha$ ヘリックスに、7本のストランドからなる $\beta$ シートが覆い被さる、 $\alpha/\beta$ トポロジーをとっていた。次に、バレルドメインは触媒ドメインであり、他のGH20と同じくTIMバレル構造をとっていた。最後に、Cドメインは、シバフタケ由来のレクチン (糖結合タンパク質) にやや似ており、壊れかけた $\beta$ トレフォイルフォールドをとっていた。しかし、Cドメインへの糖の結合は確認出来なかった。ただ、先述したように、このCドメインは、結晶中で7つのアミノ酸と相互作用しており、ペプチド結合能を有する可能性はあると言える。また、欠失すると活性が低下することから安定性に寄与していると考えられた。Nドメインとバレルドメインの全体構造は、他のGH20の $\beta$ -HexNAcaseと良く似ていたが、CドメインはLNBaseにしか存在しないユニークなドメインだった。

### 3-3. 活性中心

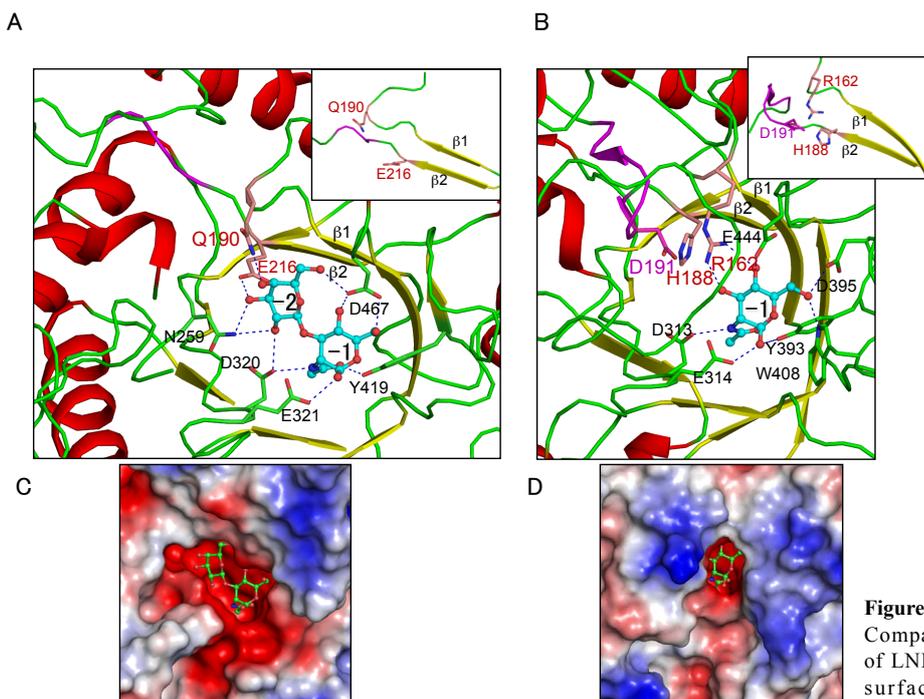
活性中心には、LNBとLNBチアゾリンの電子密度マップがはっきり見えた (Fig. 2c, d)。LNBの非還元末端のGlcNAcのピラノース環は、 ${}^4E$ と呼ばれる、溶液中では不安定であるはずの歪んだコンフォメーションをとっていた。 ${}^4E$ とは、IUPACによる命名法にしたがっており、4位の炭素だけが持ち上がり、他の5つの原子は、ほぼ同一平面上にある、エンベロープ型のことを指す。また、LNB

チアゾリンのコンフォメーションは溶液中でも安定な ${}^4C_1$ のイス型であり、これは反応中間体 (オキサゾリン) に相当する。また、LNBaseの活性中心を構成するアミノ酸は、GH20で保存されており、LNBの全ての水酸基が周辺のアミノ酸と水素結合していた。すなわち、LNBのどちらの糖に修飾があっても基質が結合できないことを意味する。これは、LNBaseの、フコシル化されたHMOを分解しないという性質と一致する。触媒残基のAsp320はGlcNAcの2-アセトアミド基のN原子と水素結合していた。また、一般酸/塩基触媒のGlu321はGlcNAcの1位の酸素原子と水素結合していた。

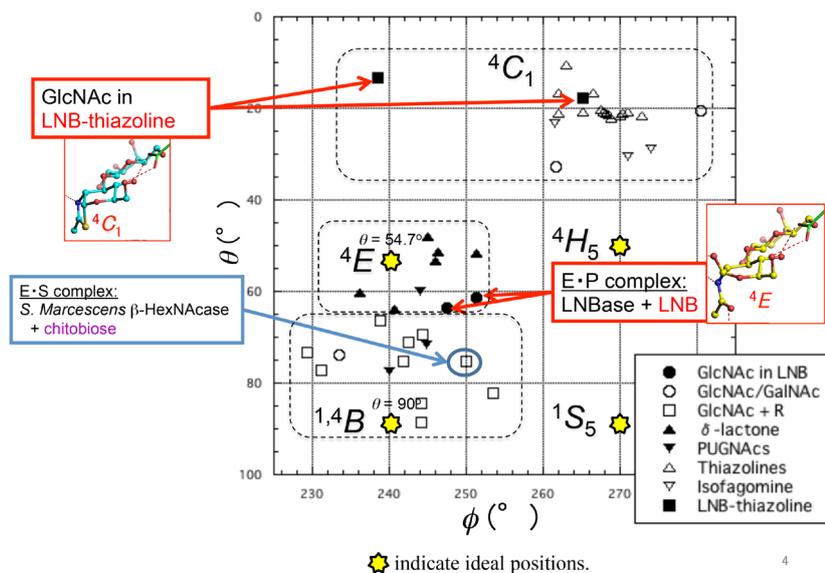
次にLNBaseと同じくGH20に分類される他の酵素と比較した (Fig. 3)。比較対象は、GH20の中で最も良く研究されている *Streptomyces plicatus* 由来の $\beta$ -HexNAcase (SpHex)[6]である。両者の分子表面図から、LNBaseでは2糖、SpHexでは単糖がそれぞれすっぽりはまるサイズの基質結合ポケットが存在することが分かった (Fig. 3c, d)。LNBaseはSpHexに比べてサブサイト (-2) に当たる部分が広がっている。SpHexでは、このサブサイト (-2) に当たる部分を、3つのアミノ酸 (Arg162, His188, Asp191) が遮っていた (Fig. 3b)。一方で、LNBaseのサブサイト (-2) では、これらの3つのアミノ酸は、別のアミノ酸に置き変わっていた (Fig. 3a)。さらに、SpHexに存在する長いループ (紫色) が欠失しており、ここにガラクトースが入るスペースが出来ていた。

### 4. GH20の反応機構における基質のコンフォメーション変化

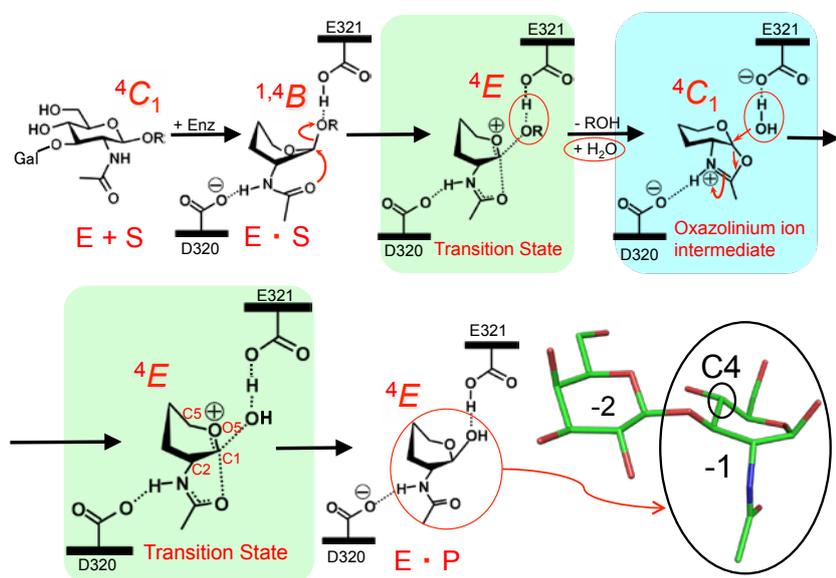
多くの糖は、溶液中での安定な形として、椅子型のコンフォメーションを取るが、糖質加水分解酵素の中での反応においては、イス型以外の様々なコンフォメーション



**Figure 3**  
Comparison with GH20 SpHex. Active sites of LNBase (A) and SpHex (B), and molecular surfaces of LNBase (C) and SpHex (D).



**Figure 4**  
Mercator projection of sugar ring conformations observed in sugars bound to the -1 subsite of GH20 enzymes analyzed by Cremer-Pople parameter.



**Figure 5**  
Proposed reaction mechanism of LNBase and possible conformations of the GlcNAc sugar ring.

を取り得る。IUPACの命名法では、通常の椅子型コンフォメーションは、4位が上にあり1位が下がったchairという意味で、 ${}^4C_1$ と呼ぶ。その他、boat, skew boat, half chair, envelopeの合計38種類のコンフォメーションが定義されている。CremerとPopleは、これらのコンフォメーションを正確に記述するためのパラメータを開発した[7]。Cremer-Pople parameterは $\theta, \phi, \rho$ からなる極座標系であり、38個全てのコンフォメーションを球面上に配置することが出来る。Fig. 4は、その一部分をメルカトル図法で表示したものである。ここに、本研究で得られたLNBとLNBチアゾリンのコンフォメーションをプロットした。それに加えて、他のGH20酵素でこれまでに報告されている複合体の結晶構造中の基質/アナログ/阻害剤のリガンド全てに対して求めたパラメータをプロットした。その結果、全ての場合において ${}^{1,4}B$ ,  ${}^4E$ ,  ${}^4C_1$ の3種類のコンフォメーションに大別できることが明らかになった。従って、

GH20の反応機構においては、GlcNAcはこの3つのコンフォメーションの間を変化していると予想される。

これを踏まえて、本研究の結果から予想されるLNBaseの酵素の反応機構における糖のコンフォメーション変化についてFig. 5に示す。GH20は、substrate-assisted反応と呼ばれるアノマー保持型の反応機構を経ることが分かっている。まず、Aspによって分極された基質の2-アセトアミド基の中のカルボニル酸素がアノマー炭素を求核攻撃するとともに、一般酸/塩基触媒のGluが一般酸触媒として働いて脱離基が外れ、オキサゾリニウムイオン中間体を形成する。その後、一般酸/塩基触媒のGluによって活性化された水が、アノマー炭素を求核攻撃することによって、反応産物ができる。この反応機構において、E·S複合体では ${}^{1,4}B$ 、オキサゾリニウムイオン中間体では ${}^4C_1$ 、E·P複合体では ${}^4E$ に近いコンフォメーションを取ると考えられる。また、2度起こる遷移状態では、オキサカルベニウム

イオン様の状態をとるとされており、そこでは、C1 と O5 の間の結合が 2 重結合性を帯びるために、C2, C1, O5, C5 の 4 つの原子が同一平面上にあるとされている。今回の結果は、GH20 が <sup>4</sup>E に近い遷移状態を通ることを強く支持している。

## 5. おわりに

*B. bifidum* JCM1254 がタイプ I 型 HMO を分解するに当たって、LNBase は HMO から LNB を切り出すのに中心的な役割を果たす。しかし、HMO を分解するには、LNBase だけでなく、フコースやシアル酸のような修飾糖を取り除く他の酵素も必要である。*B. bifidum* JCM1254 から、HMO 分解に関わる多くの菌体外グリコシダーゼが見つかった [3]。GH95 1,2- $\alpha$ -L-fucosidase (AfcA), GH29 1,3-1,4- $\alpha$ -L-fucosidase (AfcB), そして GH33 exo- $\alpha$ -sialidase (SiaBb1, SiaBb2) は、それぞれ  $\alpha$ 1,2-,  $\alpha$ 1,3/4- 結合したフコース、そして、シアル酸修飾された HMO を完全に分解する。本研究によって、LNBase の基質特異性を知るための構造基盤が明らかになった。LNB が別の糖で修飾されていると LNBase の活性中心に入ることができない。なぜなら、LNBase は、LNB に特化した基質結合ポケットを持っており、このポケット内では LNB の全てのヒドロキシ基が水素結合で認識されているからである。この特徴は、GNB/LNB トランスポーターの糖結合タンパク質 (GL-BP) が、修飾されていない LNB を特異的に認識する性質とも一致する。LNB は菌体内に取り込まれると、GNB/LNB ホスホリラーゼやその他の酵素によって代謝される。しかしながら、LNBase のアグリコンの結合部位 (+ 側のサブサイト) は広がっており、様々な官能基が入れるようにも見える。このことから LNBase は、様々なタイプ I 型 HMO がフコシダーゼとシアリダーゼに処理された後に作用するものであると考えられる。以上のことから、LNBase はタイプ I 型 HMO の LNT から LNB を切り出すこと、また、その作用は菌体内に取り込まれる直前になされるという位置付けが明白である。

本研究では、サブサイト (-2) において、 $\beta$ -1,3 結合した Gal を認識するのに重要な残基 (Gln190, Glu216 など) を同定した。これらの残基が保存されているかどうか、推定遺伝子が LNBase 活性を持つかどうかを予測する重要な指標になる。乳児の腸内細菌がどのように HMO を代謝しているのかをより深く知るためには、そのゲノム内に LNBase が存在するか否かが、重要な情報となりうる。

さらにごく最近、石川県立大学の片山高嶺教授のグループによって、*B. longum* JCM1217 から全く新規な LNBase が発見された [8]。本研究の対象である LNBase とは全く異なる活性化機構を持ち、基質特異性も広い。LNBase と HMO をめぐる物語は今後も続いていくものと期待される。

## 謝辞

京都大学大学院生命科学研究所の山本憲二名誉教授、石川県立大学生物資源工学研究所 (現: 腸内細菌共生機構学

講座) の片山高嶺教授、京都大学大学院農学研究科の櫻岡晴子助教、京都市産業技術研究所の和田潤博士、秋田県立大学生物資源科学部の鈴木龍一郎助教、近畿大学生物理工学部の芦田久教授、西オーストラリア大学の Keith A. Stubbs 博士、農研機構食品総合研究所 酵素研究ユニット長の北岡本光先生、主任研究員の西本完先生には大変お世話になりました。また、KEK-PF のスタッフの方々には大変お世話になりました。皆様に心より深く御礼申し上げます。この研究は生研センター基礎研究推進事業と JSPS 科研費の助成を受けて行われました。

## 引用文献

- [1] Urashima, T., et al., *Milk oligosaccharides, in Oligosaccharides: Sources, Properties and Applications*, N.S. Gordon, Editor., Nova Science Publishers: New York (USA), 1-58. (2011)
  - [2] Sela, D.A., et al., *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, **105**, 18964-9 (2008)
  - [3] Fushinobu, S., *Biosci Biotechnol Biochem*, **74**, 2374-84 (2010)
  - [4] Wada, J., et al., *Appl. Environ. Microbiol*, **74**, 3996-4004 (2008)
  - [5] Ito, T., et al., *J Biol Chem*, **288**, 11795-806 (2013)
  - [6] Mark, B.L., et al., *J Biol Chem*, **276**, 10330-7 (2001)
  - [7] Cremer, D. and J.A. Pople., *J. Am. Chem. Soc.*, **97**, 1354-1358 (1975)
  - [8] Sakurama, H., et al., *J Biol Chem*, **288**, 25194-206 (2013)
- (原稿受付日: 2013 年 12 月 2 日)

## 著者紹介

伊藤 佑 Tasuku ITO

東京大学大学院 農学生命科学研究科 応用生命工学専攻 博士課程 3 年

〒113-8657 東京都文京区弥生 1-1-1

TEL: 03-5841-5150

e-mail: 6536776822@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

略歴: 2010 年東京大学大学院農学生命科学研究科 応用生命工学専攻修士課程修了。

最近の研究: ビフィズス菌由来植物細胞壁分解酵素の研究。  
趣味: 仮面ライダー鑑賞。

伏信進矢 Shinya Fushinobu

東京大学大学院 農学生命科学研究科 応用生命工学専攻 教授  
〒113-8657 東京都文京区弥生 1-1-1

TEL: 03-5841-5151 FAX: 03-5841-5151

e-mail: asfushi@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

略歴: 1997 年東京大学大学院農学生命科学研究科 応用生命工学専攻博士課程中退。農学博士。

最近の研究: 各種の酵素の立体構造解析と機能解析。  
趣味: ボクシング観戦 (休止中), ポップス音楽収集。

## X線回折動画からのタンパク質 1 分子内部動態計測

佐々木裕次<sup>1,2</sup>, 一柳光平<sup>1</sup>, 関口博史<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院新領域創成科学研究科物質系専攻

<sup>2</sup> 公益財団法人 高輝度光科学研究センター SPring-8/JASRI

### Single Molecule Observations of Protein's Internal Motions from X-ray Diffraction Movies

Yuji C. SASAKI<sup>1,2</sup>, Kouhei ICHIYANAGI<sup>1</sup>, Hiroshi SEKIGUCHI<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Advanced Materials Science, Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

<sup>2</sup> Research & Utilization Division, Japan Synchrotron Radiation Research Institute, SPring-8

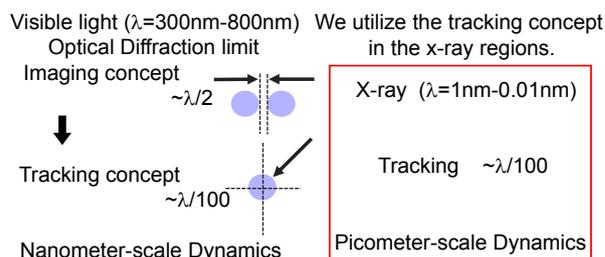
#### Abstract

1998年にX線1分子追跡法(Diffracted X-ray Tracking: DXT)を提案実現した。現在まで15年間に、マイクロ秒からナノ秒領域の高速性を達成し、1分子内部運動をピコメートル位置決定精度で計測でき、現存する1分子計測法としては、最高精度で最高速度を達成するまでに進展させることができた。DXTは標識法を適応しているために問題点も指摘されるが、その特性を利用して新たな可能性も生まれる。今日までの量子プローブ1分子計測法の技術的進展を総括し今後の展開を議論したい。

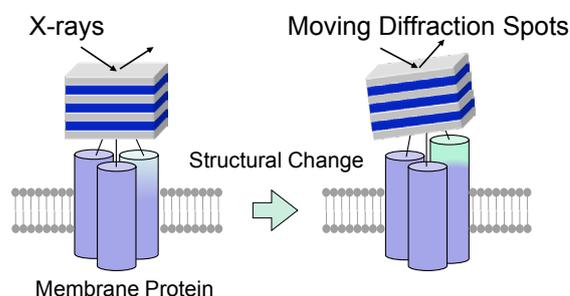
#### 1. X線1分子追跡法の提案と進展

1976年T. Hirschfeld [1]によって「基板上的蛍光分子は数えられる」という素朴な進歩から1分子計測技術は始まった。今は1分子生理学と呼ばれるまでに進展し、表面科学や高分子科学においてもその計測技術の利用が盛んにおこなわれている。T. Hirschfeldのように可視光領域のプローブを用いた蛍光1分子検出法は、その計測精度の向上を目的として多くの工夫が成されてきた。タンパク質分子が機能発現する際に、起こる分子内部の構造変化情報をマイクロ秒の高速性で、かつÅ以下の高精度性を持って1分子検出することは、多くの生命現象の素過程を理解する最善策である。着目した1分子からの動的構造情報を*in vivo*において究極的に高感度計測する。理想的には装置が実験室規模で、この究極的1分子計測システムの実現は、生命科学のように多様なサンプル系を研究対象とする場合には必須なモノとなる。素粒子研究のように世界に1台というコンセプトで開発してはいけない研究分野である。

Fig. 1では1分子計測と顕微鏡の概念が基本的な違いを示した。「回折限界」という光学常識から逸脱した「分子追跡概念」は当時としては画期的な発想であった。現在も1分子計測技術の基本であり、今はSuper-Resolution(超解像)の基本発想となっている[2]。1998年にその発想をX線領域に拡張して、ナノ結晶を標識するというアイデアを提案して実現したのがX線1分子追跡法(Diffracted X-ray Tracking; DXT)である[3,4]。その原理をFig. 2に示す。DXTのアイデアは単純で直径数十nm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し、標識結晶からのX線回折斑点を指標に、着目したタンパク質



**Figure 1**  
There is the difference between the imaging concept and the tracking one. The single molecule technology is usually applied to the tracking concept. Diffracted X-ray Tracking (DXT) methods are the first demonstration of single molecular detection systems to be adapted in the tracking concept in x-ray wavelength region.



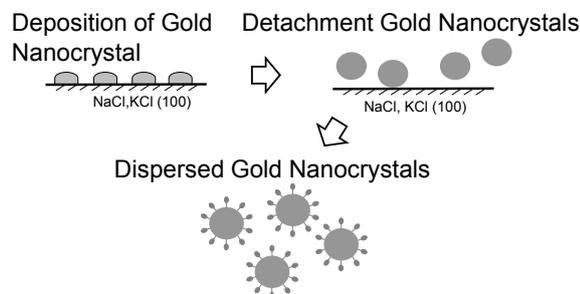
**Figure 2**  
Schematic drawing of the single molecular detection system using x-rays. DXT monitors the behavior of a single special domain with the guidance of diffraction spots from the nanocrystal which is tightly coupled to the special domain. Additionally most of proteins or enzymes are composed of multi-domain proteins, such as dimer, trimer, or higher-order structures. DXT can observe collaboration movements from this structural symmetry.

分子の動きを時分割的に追跡する。目的1分子の一部に構造変化が起こるとその部位に標識されているナノ結晶が分子内部の構造変化と同期し方位が変化しナノ結晶からの回折斑点の位置が動く。次元性としては、 $\theta$ 方向と $\chi$ 方向を全く独立な次元として測定されるので、極座標表示と考えれば3次元的な運動へ帰属することも可能である。タンパク質分子が基板やメンブレンに垂直に固定した場合は、その垂直方向に平行に微小振動している運動 (tilting) が $\theta$ 方向に回折スポットが運動する方向で、タンパク質の面内に (垂直方向に対して垂直な面 (細胞膜面内) おける回転運動 (rotating) に帰属されるのが $\chi$ 方向の回折スポット運動に対応する。標識されたナノ結晶は、非標識体のタンパク質分子の微細な運動様式を追従して運動してくれるという当時の勝手な仮定は、水溶液の粘性抵抗を考慮した妙案だったと自負する。しかし、仮定は仮定で、それを証明するためのX線回折現象の定量性の利用は (後述)、今後の標識法の標準的評価法として活用できる。

## 2. DXTの最難関技術はナノ結晶作製にある

X線計測技術としては、謎の物体に標識されたナノ結晶の方位依存性をラウエ回折法で時分割計測しているだけにすぎない。技術的にはそれほど難しく新規性もなかったかもしれない。DXTを実現する最大の難関は標識する金ナノ結晶の結晶性向上にあった。1998年前後の考案当初は、市販されている直径10-40 nmの金コロイドを利用したDXTを考えていた。それまでの多くの論文で金コロイドの結晶格子の電子顕微鏡画像は色々なところで報告されていたからだ。DXTの利用として1つだけ異なっている点があるとすれば、時分割的にラウエ回折を撮るので、例えば、ビデオレイト (33ミリ秒積算) の動画撮影を必須としている点である。その時間内に精度良く回折位置を検出する必要があった。当時、多くの市販されていた金コロイド粒子を時分割ラウエ計測したが30ミリ秒レベルで回折斑点計測できる粒子は1つも無かった。

自作の試みは主に2通りの検討がなされた。1つはエッチング装置を用いるもので、そのプロセスは非常に複



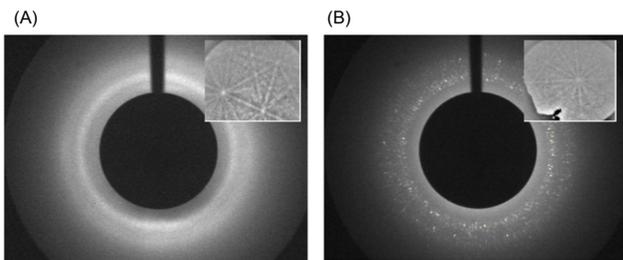
**Figure 3**

The preparation scheme of labeled gold nanocrystals. First, vacuum evaporation was used to deposit a super thin layer of gold on a cleaved NaCl(100) or KCl(100). The deposited gold formed islands on the substrate and grew epitaxially. Then, to disperse the deposited gold nanocrystals in aqueous solutions without aggregation, the substrate was dissolved by adding the detergent solutions.

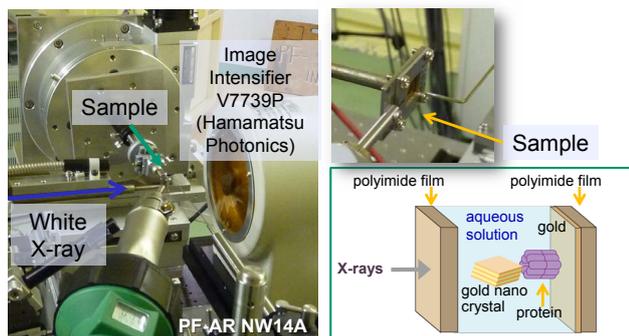
雑なために初期のDXTの実験での適応のみとなっている [3,4]。もう1つの方法は Fig. 3 のようにイオン結晶系上のエピタキシャル成長を利用している。この作製法はプロセスがシンプルで大量生産に向いている。加えて、NaCl(100) や KCl(100) 上の金の薄膜成長過程に関する研究は1950年台から極めて詳細に研究がされており、その蒸着速度や基板表面の清浄性が極めて重要であることが指摘されていた [5]。

可視光を用いた1分子計測技術においても、蛍光を発光する分子等が良く利用されている [6]。当初はその分子の大きさが小さい事より、Cy3 や Cy5 等の比較的小さな分子が利用されていたが、より高速性の必要性が議論され始め、数ミリ秒レベルやマイクロ秒レベルが必要な1分子計測の場合は、直径数~数十 nm の Quantum Dot (量子ドット) [7] の利用が現在主流となってきた。その意味からも金ナノ結晶の作製目標サイズは、量子ドットと同様サイズの直径5-10 nm サイズに設定している [8]。しかし、現在に至るまで、このサイズでの良質金ナノ結晶の作製には成功していない。今のところの最小サイズは20 nm である。その原因は金蒸着時のイオン結晶表面の清浄性が一番に考えられる。上記の薄膜形成過程の純粋な研究目的と異なる点は、比較的大量に作製しなければならない点と、作製されたナノ結晶はその後にタンパク質分子に化学的に標識させなければならないので、ナノ結晶の最終工程において、水溶液中で安定に分散状態にならない点である。つまり、エピタキシャル成長できる基板は、後に金ナノ結晶から剥離させなければならないし、その工程はシンプルにしなければタンパク質分子への化学的な悪影響を回避できない。現在は Fig. 3 のように水溶液上で簡単に NaCl(100) 面や KCl(100) 面から金ナノ結晶を剥離することができる。現在も多くの蒸着条件を精密に決定し、より小さくてより結晶性の良い金ナノ結晶作製技術が確立してきているので、直径5-10 nm サイズの作製も時間の問題であろう。このサイズになると色々な生物組織に挿入することが可能となるので、DXTの測定対象がより大きな *in vivo* 系へと適応できるはずである。

ナノ結晶の結晶性やサイズの評価は非常に重要である。DXT測定前にすべてを評価し、最小サイズの良質金ナノ結晶の作製条件において、タンパク質分子への化学的標識を行う。DXT前評価法としては、イオン結晶上からメンディングテープによって剥がしたサンプルからのラウエ回折と、大気中のAFM評価、溶液中のDLS評価が主である。これらによって、結晶性とサイズ、そして水溶液中の分散性が評価できる。最近加えた評価法にSEMによる電子後方散乱回折EBSD (Electron Backscattering Diffraction) 評価がある。これは後述する電子線1分子追跡法 (Diffracted Electron Tracking; DET) の原理として利用している [9]。Fig. 4は、ある条件下で作製した金ナノ結晶のラウエ回折パターンとEBSDパターンである。Fig. 4(A)はラウエ回折では明確な回折斑点が計測できていないのに、EBSDで非常に明確な結晶パターンが得られている。Fig. 4(B)はその逆



**Figure 4**  
Characterizations from Laue pattern and EBSD profile. (A) The crystallinity of the gold nanocrystal is good only in the surface region. (B) The crystallinity of the gold nanocrystal is good except for the surface region.



**Figure 5**  
A photograph of the instrumental arrangements for DXT at PF-AR NW14A. The sectional view of the DXT sample is shown. Although X-rays have penetrability, there is a limit in the thickness of an aqueous layer (5-10micro-meter).

で、ラウエ回折では明確な回折斑点が計測できているのに、EBSDではFig. 4(A)よりも不鮮明な結晶パターンが得られている。EBSDは金ナノ結晶の表面部位のみの結晶性を評価し、DXTはナノ結晶全体の結晶性を評価していると考えられる。

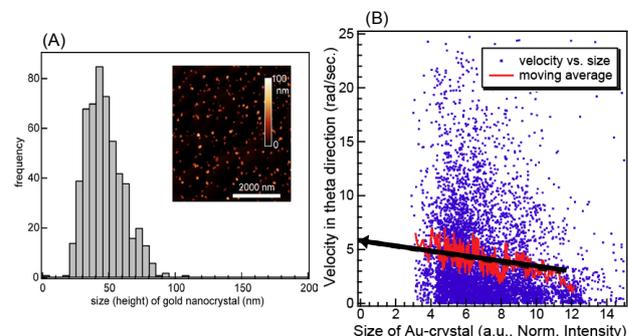
Fig. 5はDXTの装置配置写真(KEK PF AR NW14A)である。後述するシャペロニンのATP結合に伴う1分子内部回転運動計測[10]では、caged ATPの利用が必須であった。時分割ラウエ回折法とレーザー光励起(YAGレーザー使用)を併用して実験できる装置配置が得意とする本ビームラインでなければ不可能な実験であった。

### 3. 標識法とX線による追跡法の特異性を有効利用

1分子内部における動態挙動を高精度に高速計測し、機能性タンパク質分子の機能発現メカニズムの素過程を計測することに異論を唱えられることはない。それも、無標識でそのままの姿で1分子構造動態評価できることが最終目標である。無標識1分子計測の最近の成果としては、高速AFMの実現がある[11]。現状でも数十ミリ秒の高速性と数nm以下の高精度性を誇る。AFMが登場した当初を考えると極めて画期的な成果である。しかし、多くのタンパク質分子の構造動態評価は、マイクロ秒以下の高速性でかつ1Å以下の高精度性を必要としている。これを実現す

るためには、現在の1分子計測技術群の中で検討すると、何らかの標識法を採用するしかない。可視領域では量子ドットを使い、X線領域ではDXTのようにナノ結晶を標識利用する。標識法が毛嫌いされるのは、その標識することによる観察分子への影響である。無標識との動態特性が定量的に評価できるのであれば、標識法にも市民権が得られるはずであるが、今のところ同等の分子構造動態情報を無標識で得ることはできない。

最近DXTでは、この無標識と標識の間隙を定量的な解析で埋めることを提案した。自作した金ナノ結晶はイオン単結晶上のアニーリング温度やアニーリング時間を制御することでFig. 6(A)のように、10 nmから100 nmまでその直径を制御作製することができる。また、検出している回折スポットは位置情報以外にX線回折強度も定量的に解析できる。Fig. 6(B)は、タンパク質分子に標識された金ナノ結晶の回折強度から算出した粒径サイズと、ある機能性タンパク質分子のナノ結晶からの回折斑点の運動速度の関係を示す。赤線は100点程度の回折スポットの平均運動速度であり、それぞれほぼ正規分布を持っている。各サイズの点を結ぶとほぼ直線関係(赤線)が得られる。この傾向は、大きいナノ結晶を標識すると若干ではあるが分子の運動量が減少することを示している。1分子レベルの運動特性を考えると、この運動速度減少は、金ナノ結晶の質量と言うよりもサイズからの局部粘性抵抗の増大を示すと考えられる。その効果はより小さいサイズにおいても連続的な変化が推測される。従って、この直線関係から、y切片にあたるナノ結晶サイズ「ゼロ」時の運動速度を求めることができる。Fig. 6(B)において求めることができるが、Fig. 6(B)の中間レベルのナノ結晶サイズと比べて数%程度の運動速度の増大が示されており、標識の影響はそれほど大きくないことが定量的に示すことができた。もちろん、この強度評価では双晶のような2つのドメインが1つの標識ナノ結晶に存在する場合は、サイズによる効果を大きめに評価してしまう。しかし、AFMやEBSDのデータから考えると、直径20-60 nmの金ナノ結晶は双晶を取っておらず、ほぼ1

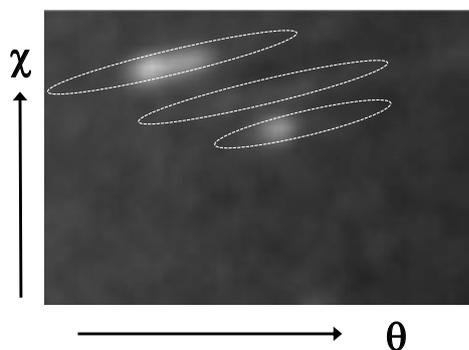


**Figure 6**  
Sized effect of gold nanocrystal on proteins. AFM image of the gold deposited 2.0 nm thick at substrate temperature 420°C on the cleaved KCl (100) substrate. The size of gold nanocrystals ranged from 20 to 80 nm. The observed angular velocity of the labelled gold nanocrystal has a relation linear between the normalized intensity (estimated size) of the diffraction spot.

つの結晶粒として考えることができるとの評価をしている。

以上のような定量評価は、可視領域で用いている量子ドットでは不可能で、定量的な解析を得意とするX線計測技術に軍配が上がる。もちろん、量子ドットからのX線回折スポットを計測できるのであれば、その標識評価も可能であるが、現在まで多くの市販されている量子ドット（直径5-20 nm）ではビデオレイトレベルの積算ではX線回折スポットを測定することに成功していない。しかし、これに成功できたならば、量子ドットを標識プローブとして用いることができ、可視領域とX線領域の1分子計測が同時測定可能となり、DXTがより汎用的な方法論として利用されるようになるかもしれない。標識は量子ドットだけで、全く違う波長における1分子同時計測法は、より多面的な動的挙動を明らかにしてくれることであろう。

DXTのもう1つの特徴は追跡法であることだ。これは検出器系において思わぬ利点があった。X線検出には、回折記録用X線イメージンシファイア(X-II)を用いている。検出器入射窓でX線を電子に変換し、それを高電圧下で加速し、出力窓の蛍光体に当てて、その蛍光を可視光用のカメラで観察する。入射窓ではベリリウム(0.5 mm厚)の真空側に厚さ0.15 mmのCsIが蒸着しており、これによってX線は可視光に変換される。CsIの真空側にはフォトカソードが蒸着しており、これによって可視光は電子に変換される。印加されている高電圧によって電子は加速され、出力面の蛍光体に当たって強い蛍光を生じる。この際に電子レンズが入力面の電子の分布を縮小して出力面に投影するため、入力面のX線像を増倍して可視光像として観察することが可能となる。像が縮小されるため、可視光用カメラでレンズを通して出力画像を観察することが容易になる。この場合、X-IIの残光特性を決めるのは蛍光体である。入力面の蛍光体であるCsIは数マイクロ秒の残光を持つと言われる。出力面の蛍光体には一般には発光量の多いP43(GADOX/GOS, Gd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:S:Tb)が使用されるが、P43は数ミリ秒の残光を持つと言われている。P46(YAG, Y<sub>3</sub>Al<sub>5</sub>O<sub>12</sub>:Ce)の残光はマイクロ秒オーダーで減衰するので、高速撮影に適していると考え、シングルショットをマイクロ秒で計測する高速DXTは、この蛍光体P46で当初測定していた。しかし、X線回折の信号強度が思うように



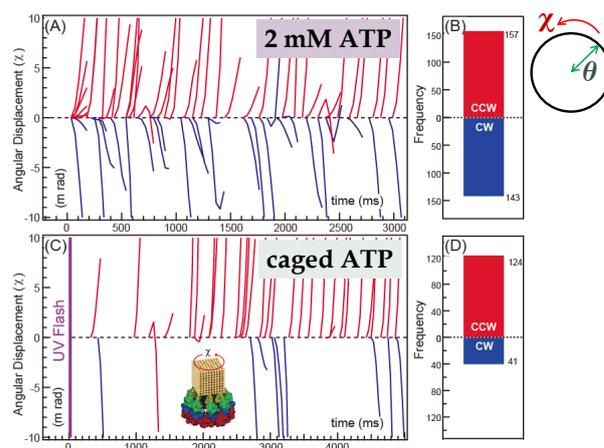
**Figure 7**  
Typical observed Laue diffraction pattern from high speed DXT technique. It can check that the spots has spread.

取れなかった。P46は残光が短いだがそれは積算的な感度で考えると悪くなるのは当然である。しかし、良く考えるとDXTは追跡法である。明暗の明確な画像を撮りたいわけではない。回折スポットの中心座標が決まるだけで良い。それでP43に戻しシングルショットを十マイクロ秒で測定すると、ちょっと大きめではあるが、直径70-80 nmの金ナノ結晶からの明確な回折スポットを得ることができた。良く回折斑点を見るとFig. 7(10μ秒積算)のように検出された回折斑点が少々長いストリークを持っている(点線で囲っている3か所に線状の回折点が見える)。これは残光が長いためである。しかし、最終的には回折位置の決定に何も支障はなかった。このように検出器系の心臓部の蛍光体を高速型にしないために、その高感度性を維持できるのはDXTならではの利点と言える。

#### 4. 高速DXTによるアロステリック効果の観察(シャペロニンを例として)

シャペロニンは変性タンパク質と直接相互作用し、その折れたたみを促進させるタンパク質である。シャペロニンは複数のサブユニットから成るリング構造を背中合わせに2つ重ねた筒状構造をとり、ATP依存的にその構造を変化することで機能するが、そのダイナミクスは明らかでなかった。高精度の分子内運動計測を実現するDXTを用いて、II型シャペロニンの構造変化をDXTで1分子計測した。様々なATP濃度条件およびcaged-ATP存在下における光照射前後での測定を比較した結果、シャペロニン・リングはATP結合後、非協同的な閉運動後、リング上方からみて反時計回りに約10度ねじれることが判明した[10]。

Fig. 8は2 mM ATP濃度条件および2 mM caged-ATP存在下における光照射前後での測定を比較した結果を示している。2 mM ATP存在下では、CWとCCWの両方向に回



**Figure 8**  
ATP-triggered twisting directional analysis of the group II chaperonin in the  $\chi$  axis. Rotational position trajectories are shown as a function of time in the presence of 2 mM ATP (A) or 5 mM caged-ATP after a UV flash (C). The histograms in (B) and (D) show the frequency of the initial direction, either clockwise (CW) or counterclockwise (CCW), in the presence of 2 mM ATP or 5 mM caged-ATP, respectively.

転していたが、Caged ATP 存在下ではほぼ CCW が最初の回転方向であることが計測できた。つまり、CCW 方向が ATP の結合した際に連動して起こる回転運動であることが分かったのだ。また、ATP が結合してから構造変化するまでに少々タイムラグがあることも別に行ったストップフローの蛍光測定で判明し、その時は  $\chi$  方向の回転ではなく、 $\theta$  方向の運動で、かつ極めて早い運動であることが確認された。また、CCW 方向と CW 方向の回転運動速度が異なることも判明した。これを説明するためには、もう少し実験しなければならないが、今のところ、CCW は 1 ステップで回転し、CW は 2 ステップで回転しているので、それが原因で CCW の方で少々回転速度が速いのではないかと考えている。この結果は DXT 測定法ならではの定量的な成果である。

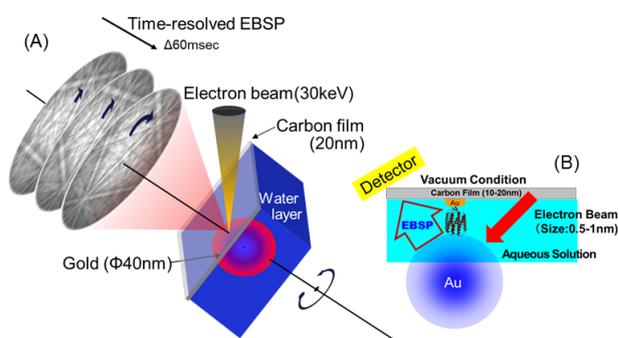
機能性タンパク質分子の多くは、複数ドメイン構造を取っている場合が多く、対称性としてはヘテロ型やホモ型がある。今回、測定したシャペロニンもホモ 8 量体でリング構造を形成するが、金ナノ結晶を化学固定するために Cys や Met を遺伝子導入する。従って、1 個のナノ結晶に 8 個の Cys サイトが反応することになり、しっかりと固定してタンパク質分子との運動同期性を上げたい DXT の目的には合致するが、反応サイトが多すぎると空間的な拘束性が出てきて、本来の分子内部運動を再現できなくなると本末転倒の事態となる。ナノ結晶のサイズ効果 Fig. 6(B) とは違った標識の際の注意点となる。実際、このシャペロニン系において、その回転運動を電子顕微鏡で断片的に捉えた研究があるが、最大回転角は DXT データよりも 2 倍程度であった。勿論、ホモ型であっても遺伝子導入に工夫を凝らせば、その Cys 導入総数を 8 カ所から減らすことは可能でその実験は現在進行中である。

以上のような過剰な運動拘束を与えてしまう多点結合式ナノ結晶標識にも有効利用できる現象がある。それはアロステリック効果である。局所的な構造変化がどのように分子全体に伝播するかは、協奏モデルか逐次モデルかの判断が可能になり、機能発現のメカニズム解析においても是非計測したい分子内部運動の一つである [12]。今回のシャペロニンは ATP 結合サイトが多いので観測結果は複雑であったが、アロステリック効果を 1 分子内部構造動態の連鎖運動として計測することが、この多点結合式ナノ結晶標識で可能となる。対象分子の基板吸着させる方向を定義できる系において、分子の右回りや左周りを特定できるように、リガンド結合時の構造変化の後にどのような構造変化が連鎖するのかは、多点で 1 つのナノ結晶を標識することで検出できる。また、この連鎖運動は大きなドメイン間の運動であることを考えると、ナノ秒レベルの超高速な運動というよりも、マイクロ秒レベルの分子内部運動と考えられるので、マイクロ秒 DXT で多点結合式ナノ結晶標識を用いれば十分可能であると期待している。

## 5. 他の量子プローブ 1 分子計測法への波及と今後の 1 分子計測の行方

DXT は、分子に標識したナノ結晶からの X 線回折斑点の動きを連続的にトレースする。現在、ピコメートルの位置決定精度でマイクロ秒の高速性を実現し、世界最高精度最高速度 1 分子計測法となった。しかし、DXT 最大の欠点は、X 線プローブ源として大型放射光施設を利用することである。そこで X 線よりも試料との相互作用の大きい電子線を用いて、実験室規模で常時高精度 1 分子計測できる汎用性の高い 1 分子運動追跡装置の開発を行った。加えて現状の DXT では、X 線ビームを原子サイズにできないため、放射線照射による試料ダメージが問題点となっているが、Å サイズの電子ビームを用いることでこのダメージの問題を解決できるようになった。本開発装置では、EBSD 検出器を装備した走査型電子顕微鏡 (Scanning Electron Microscope; SEM) を用い、生体分子に標識したナノ結晶の結晶方位の変化を、原理的に生体分子へのダメージを与えることなく、高速時分割計測を実現した。この開発装置では、電子線 1 分子追跡法 (DET) の原理検討として、金コロイド粒子の動的挙動を計測対象とした [9]。

DET の基本装置構成を Fig. 9 に示す。溶液中の試料を観察できる SEM 用の環境試料室 (Wet Cell) を薄膜カーボン製 (厚さ 10-20 nm) の隔膜を用いて、生体分子に標識したナノ結晶の結晶方位の変化を EBSD パターンで高速時分割計測できるコンパクトなラボサイズの高精度電子線 1 分子 (粒子) 追跡法である。SEM を用いて、水溶液中に存在する直径 40 nm の金コロイド粒子の運動をピコメートル (原子サイズの 1/100) 精度で 60 ミリ秒の高速性で 2 秒間動画の計測をすることに成功した。また、測定により DET は DXT と異なり、市販の金コロイドを標識体として使用できることが新たに分かった。DXT は、非常に良質なナノ結晶を必要とし、その作製に関する研究に多くの時間が費やされる。一方で DET では、良質な結晶でなく、市販されている直径数十 nm の金コロイド粒子の方位を EBSD が敏感かつ高精度に検出できる。



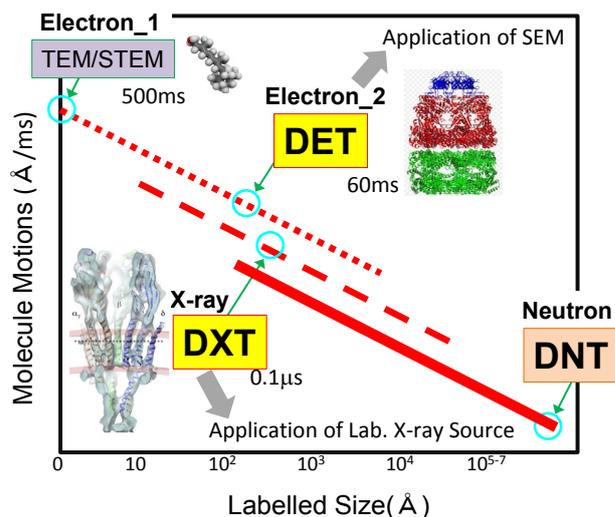
**Figure 9** Conceptual diagram of Diffracted Electron Tracking (DET). This is the arrangement of our new dynamic single molecular detection system using the EBSD pattern from the labeled gold nanoparticles on the coating polymer film with wet-SEM. DET can observe 3D dynamical motions of the labeled gold nanoparticles in the vacuum and aqueous solutions with the milli-second time scale.

上記 DET と DXT を比較することで明確化してきた点がある。1 つは X 線が結晶性について、電子線を用いた際と比較すると非常に感度が悪い点である。電子線を利用したならば、結晶性が良いとは言えないナノ結晶の表面部分だけの結晶性を高感度に検出できた (例えば Fig. 4 のように)。溶液状態における環境資料室の利用等の全く別のハードルはあるが、結晶方位を検出情報と考えると電子線が最適である。しかし、電子線によるダメージは深刻で電子線プローブが直接タンパク質分子に照射されていない状況を作ったとしても、今後より一層の工夫が必要となる。もう 1 つはプローブ径の威力である。X 線は 100  $\mu\text{m}$  程度の大きい直径でサンプルに照射されるので、測定時間中すべて X 線が照射されてしまっている。全く情報を利用していないにも関わらずである。それに対して電子顕微鏡は数  $\text{\AA}$  のビーム径を実現しており、かつビーム走査をもう 1 つの情報とするならば、DXT で得ることが出来なかった並進運動も検出可能となる。

以上のように、DET は装置規模が研究室レベルであるという点を加えると、現状では DET 法の方が間違えなく魅力的である。しかし、DXT に拘るのは、得られる情報が表面近傍だけではなく、深部 ( $\sim\mu\text{m}$  レベル) での計測が可能で、細胞を用いた *in vivo* 計測が実現できるからだ。タンパク質 1 分子の正確な機能発現メカニズムを計測するのが最終目的であるならば、細胞場という条件は最低守らなければならない。

DXT はそのプローブの波長性を高精度性の理由としているのであれば、量子ビームすべての 1 分子追跡法は試されるべきであろう。それらすべてを標識法で実現するならば、その標識効果を Fig. 10 のように推測することができる。今後の開発として、中性子 1 分子追跡法 (Diffracted Neutron Tracking; DNT) は避けては通れない計測である。また、電子顕微鏡を用いて標識なしで分子の動態観察に最近成功しているが [13], その観察情報を利用して、標識法からの無標識構造動態測定をできる点は非常に有効で、これら X 線, 電子線, そして中性子を用いた量子ビーム 1 分子追跡法の確立は実現するべき方法論と考えている。DNT の魅力的な点を一つ述べるならば, *in vivo* 計測において, その計測場が細胞から組織へ移行して行った場合, その必要な計測時間はより一層長時間必要となる。その (例えば数日) 間を連続的に測定できるほどの非破壊性を持っているプローブでなければならないことは自明であり, 中性子が最適と判断できる。

この 15 年間に DXT は順調にその特性を生かし, 多義に渡るサンプル系の新しい動態情報をじっくりと計測してきた [14,15]。今後も例えば, 細胞内チャネルタンパク質分子の構造動態計測, パッチクランプ法との併用 DXT 計測, 可視 1 分子計測との DXT 同時計測, 天然変性タンパク質分子の動態挙動計測, 局所的な粘性特性の変化する過飽和現象計測, ミクロ流体に係る動的挙動現象等, 未知なる現象を高速に高精度に計測して行く予定である。今回, DET を新たに開発することで, DXT の欠点も明確化された。



**Figure 10**  
Relationship between DXT, DET, and DNT. Single molecule detection systems using quantum-beam (X-ray Electron, and neutron) are characterized by sized effect of labelled gold nanocrystals. TEM/STEM can observe single-molecule dynamical observations with a non-labelling method.

新たに DNT を実現する過程で, DXT や DET にとってプラスになる要因の発見もあるだろう。例えば, Fig. 6(B) を逆方向に考えるならば, 実験室レベルの X 線光源を用いた DXT も現実味を帯びてくる。X 線のナノプローブが手軽に利用できるようになれば, ラウエ回折計測の S/N も現状よりも格段に向上するであろう。DXT は X 線回折現象を高速に利用しているだけである。他にも, X 線干渉現象や X 線全反射現象時に起こるエバネッセント波発生は新しい 1 分子計測の原理として非常に魅力的である。その利用の際に, 「高速性」と「高感度性」さえ実現できるならば, 1 分子計測への道は開かれるに違いない。

## 謝辞

シャペロニン系の DXT 計測は主に KEK PF AR NW14A において行われた。本ビームラインの建設, そしてその広域的普及利用にご尽力されてこられた足立伸一氏, 野澤俊介氏, 佐藤篤志氏に深く感謝する。本 DXT 研究は, 初期段階 (1998 年から) において JST 個人研究推進事業さきがけ研究 21(JST/PRESTO) の研究助成により推進された。また, 2001 年から JST 戦略的基礎研究推進事業 (JST/CREST) において 5 年間  $\times$  2 (合計 10 年間) の研究助成をいただいた。SPring-8/JASRI の八木直人氏と鈴木芳生氏には DXT アイデア当初から深い議論をしていただいた。今回のサンプル系において, 養王田正文氏, 桑島邦博氏, 中川あゆみ氏, 守谷和騎氏, 真壁幸樹氏, 山本陽平氏に, この場をお借りして深く感謝したい。養王田正文氏の極めて積極的な DXT 利用研究のスタンスがなければ, このレベルまで DXT の技術的進展は出来なかった。

## 引用文献

- [1] T. Hirschfeld, Appl. Opt., 15(12), 2965(1976).
- [2] A. Yildiz, P.R. Selvin, Acc. Chem. Res. 38, 574 (2005).
- [3] Y. C. Sasaki, Y. Suzuki, N. Yagi, S. Adachi, M. Ishibashi, H. Suda, K. Toyota, M. Yanagihara, Phys. Rev. E. 62, 3843 (2000).
- [4] Y. C. Sasaki, Y. Okumura, S. Adachi, H. Suda, Y. Taniguchi, N. Yagi, Phys. Rev. Lett. 87, 248102-1. (2001).
- [5] S. Ino, D. Watanabe and S. Ogawa, J. Phys. Soc. Japan 17, 1074 (1962).
- [6] S. Weiss, Science 283, 1676 (1999).
- [7] A. P. Alivisatos, K. P. Johnsson, X. Peng, T. E. Wilson, C. J. Loweth, M. P. Bruchez, P. G. Schultz, Nature, 382, 609 (1996).
- [8] B. A. Kairdolf, A. M. Smith, T. H. Stokes, M. D. Wang, A. N. Young, S. Nie, Ann. Rev. Anal. Chem., 6, 143(2013).
- [9] N. Ogawa, K. Hoshishashi, H. Sekiguchi, K. Ichianagi, Y. Matsushita, Y. Hirohata, S. Suzuki, A. Ishikawa, Y. C. Sasaki, Sci. Rep. 3, 2201 (2013).
- [10] H. Sekiguchi, A. Nakagawa, K. Moriya, K. Makabe, K. Ichianagi, S. Nozawa, T. Sato, S. Adachi, K. Kuwajima, M. Yohda Y. C. Sasaki, PLOS ONE 8(5) e64176 (2013).
- [11] T. Ando, T. Uchihashi, N. Kodera, Ann. Rev. Biophys. 42, 393(2013)
- [12] J-P, Chaneux, Protein Science, 20, 1119 (2011).
- [13] M. Koshino, T. Tanaka, N. Solin, K. Suenaga, H. Isobe and E. Nakamura, Science, 316, 853 (2007).
- [14] Y. C. Sasaki, Dynamical Observations of Soft Nanomaterials Using X-rays or High-energy Probes, p69-107, SOFT NANOMATERIALS, American Scientific Publishers (2009).
- [15] Y. C. Sasaki, Picometer-scale Dynamic X-ray Imaging, 209-234, FUNDAMENTALS OF PICOSCIENCE, CRC Press (2013).

(原稿受付：2013年12月20日)

## 著者紹介

佐々木裕次 Yuji C. SASAKI



東京大学大学院 新領域創成科学研究科  
物質系専攻 教授  
〒277-8561  
柏市柏の葉 5-1-5 基盤棟 609  
TEL：04-7136-3856  
FAX：04-7136-3857  
e-mail: ycsasaki@k.u-tokyo.ac.jp

略歴：1991年東北大学大学院工学研究科博士課程修了（工学博士）。

最近の研究：量子プローブを用いた新規1分子計測法の考案とその学融合的展開。

趣味：メジャー雑誌に投稿して落ちまくること、科学啓蒙活動及び執筆。

一柳光平 Kouhei ICHIYANAGI

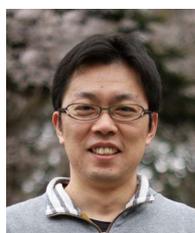


東京大学大学院新領域創成科学研究科  
物質系専攻 助教  
〒277-8561  
千葉県柏市柏の葉 5-1-5 基盤棟 609  
TEL:04-7136-5550  
FAX:04-7136-4297  
e-mail: ichiyana@k.u-tokyo.ac.jp

略歴：2006年東京工業大学大学院総合理工学研究科物質科学創造専攻博士課程修了（博士（理学））。

最近の研究：不可逆系構造ダイナミクスの時間分解X線測定技術の確立。

関口博史 Hiroshi SEKIGUCHI



公益財団法人高輝度光科学研究センター  
利用研究促進部門 研究員  
〒679-5198  
兵庫県佐用郡佐用町光都一丁目1番1号  
TEL 0791-58-0833  
FAX 0791-58-0830  
e-mail: sekiguchi@spring8.or.jp

略歴：2004年東京工業大学生命理工学研究科博士課程修了（博士（理学））。2012年より現職。

最近の研究：タンパク質の分子内ダイナミクス計測。

趣味：自転車、野球全般

## 有機伝導体 $\theta$ -(ET)<sub>2</sub>RbZn(SCN)<sub>4</sub> における電荷クラスタガラス

佐藤拓朗<sup>1</sup>, 賀川史敬<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学大学院 工学系研究科 物理工学専攻, <sup>2</sup> 理化学研究所 創発物性科学研究センター

### Charge-cluster glass in an organic conductor, $\theta$ -(ET)<sub>2</sub>RbZn(SCN)<sub>4</sub>

Takuro SATO<sup>1</sup>, Fumitaka KAGAWA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Applied Physics, University of Tokyo, <sup>2</sup>RIKEN Center for Emergent Matter Science (CEMS)

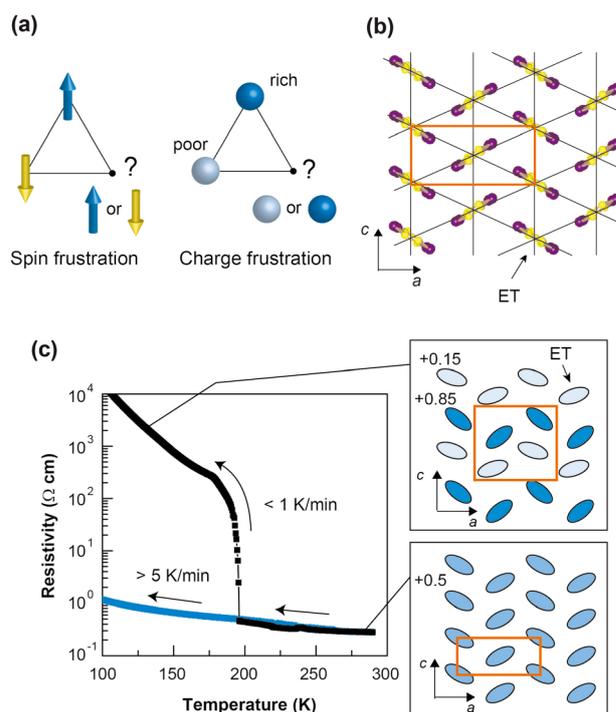
#### Abstract

電気抵抗ノイズ測定, X線散漫散乱実験を用いて, 三角格子を有する擬2次元有機伝導体  $\theta$ -(ET)<sub>2</sub>RbZn(SCN)<sub>4</sub> において, 急冷下で電荷の自由度がガラス的に凍結することを明らかにした。ガラス形成液体において議論されている, 揺らぎの減速, 動的不均一性の発達, 中距離秩序のクラスタの成長という概念に整合する挙動が電子系において観測されたことを受け, ガラス化の包括的理解に向けた新たな研究の展開が期待される。

#### 1. はじめに

幾何学的なフラストレーションを有するスピン系は, しばしば低温においても長距離磁気秩序を示さず, 量子スピン液体 [1] に代表されるような, 秩序が量子力学的に融解した状態, もしくは, スピングラス [2] やスピンアイス [3,4] といった, 秩序を示さないままスピンの配向が古典的に凍結した状態をとる。このような幾何学的フラストレーションが, ウィグナー型電荷秩序の形成に対して働いた場合は何が起ころうか? この疑問が本研究の出発点となる動機である。ここでウィグナー型の電荷秩序とは, 同数の電荷 rich サイト・電荷 poor サイトが, rich-rich (または poor-poor) サイト同士が極力隣り合わないという制約の下, 格子点上に配列する現象のことを指す。この際に幾何学的フラストレーションが働いた場合, スピンフラストレーションとの類推で (Fig. 1a), 巨視的な数の電荷配列パターンがエネルギー的にほぼ縮退し, 結果として長距離電荷秩序が抑制されて非自明な電子状態が実現するかもしれない。このような電荷自由度のフラストレーションに起因する非自明な電子状態の発見を目指し, 本研究で我々は, 三角格子を有する擬2次元有機伝導体  $\theta$ -(ET)<sub>2</sub>RbZn(SCN)<sub>4</sub> (以下,  $\theta$ -RbZn と略記する) に着目した [5]。ここで ET は bis(ethylenedithio)tetrathiafulvalene 分子を表す。この物質は絶縁体のアニオン層と伝導性を持つ ET 分子層が交互に積層した構造をとっている [6]。ET 分子軌道からなる伝導バンドは正孔 1/4 充填 (電子 3/4 充填) であり, クーロン反発によって電荷 (正孔) が互いに避け合って局在した, 電荷秩序を形成する不安定性を有する [7]。一方で, Fig. 1b に示すように, 伝導面内において ET 分子は三角格子を形成しているため, 電荷配列に際して幾何学的フラストレーションが働くものと期待される [8]。このことから, 幾何学的にフラストレートした格子における電荷秩序現象を

研究する上で,  $\theta$ -RbZn は格好のモデル物質と言えるだろう。



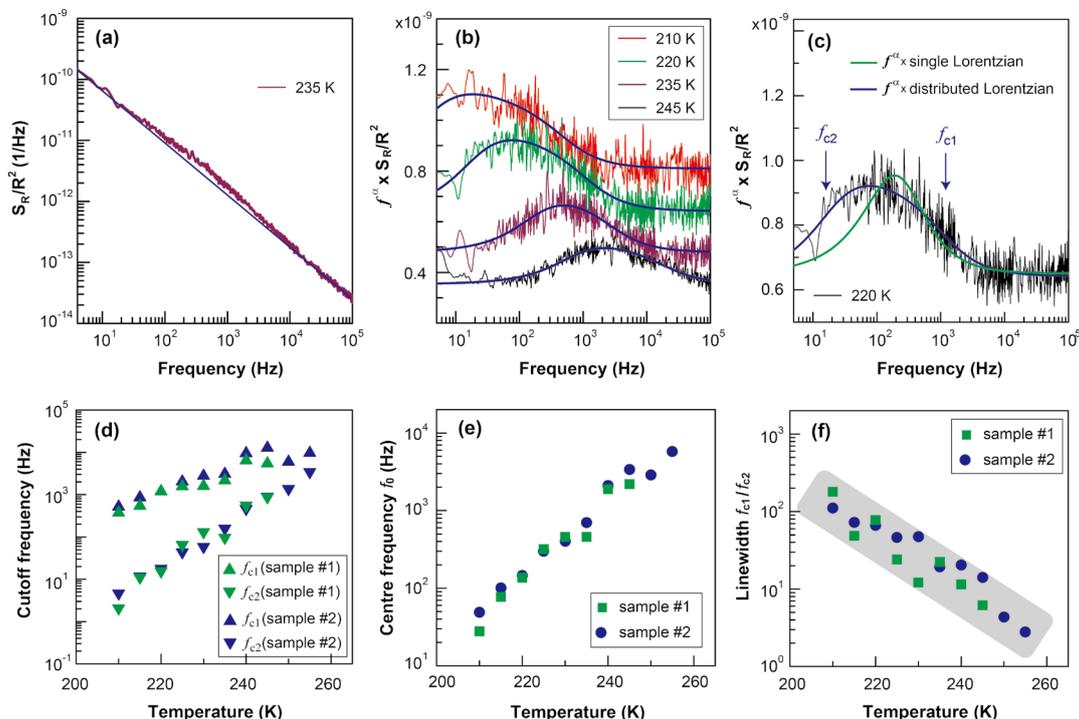
**Figure 1** Charge frustration and crystal structure of  $\theta$ -(ET)<sub>2</sub>RbZn(SCN)<sub>4</sub>. (a) An illustration of the analogy between spin frustration and charge frustration. (b) The structure of the ET layer. (c) The temperature dependence of the resistivity during cooling for different temperature-sweeping rates. The insets indicate the crystal structures of the high-temperature phase (lower inset) and the low-temperature phase (upper inset). In the upper inset, the charge-ordering pattern is also shown. To emphasize the two-fold structural modulation of the *c* axis, the upper inset is depicted in an exaggerated manner. In each panel, the unit cell is indicated by a red rectangle.

実際のところは、 $\theta$ -RbZn は 200 K で  $q_0 = (0, 0, 1/2)$  の変調を伴った構造相転移を起こし、これにより電荷フラストレーションが弱まり、 $q_0$  と同じ周期を持った水平型電荷秩序 (Fig. 1c の上挿図) が同時に発現する [9-11]。この電荷秩序/構造相転移は電気抵抗の急激な上昇を伴う、典型的な 1 次転移である (Fig. 1c)。しかし、試料を急冷 (> 5 K/min) すると状況は一変し、200 K での 1 次転移が消失し [Fig. 1(c)], 室温における三角格子構造が平均構造として低温まで保たれる [12]。我々の関心はフラストレーションの影響下における電子状態にあるので、本研究では特に (i) 200 K より高温の電子状態 (熱力学的平衡状態として存在)、及び、(ii) 急冷条件下における 200 K より低温の電子状態 (準安定な過冷却状態として存在) に着目した。急冷過程においては、200 K 付近で抵抗値には異常が見られないことから、(i) と (ii) の電子状態の間には熱力学的な相転移はなく、両者は連続的につながっているものと考えられる。先行研究によれば、200 K より高温では (並進対称性の破れを伴った長距離秩序を示していないという意味で) 電荷は液体的であるにもかかわらず、その電子状態は既に単純な金属とは大きく様相が異っており、例えば、光学電気伝導度に明確なドルーデピークが観測されず [13], また NMR の実験からは kHz オーダーという非常に遅い電荷揺らぎの存在が示唆されている [14]。このような遅い電荷揺らぎは、電荷が古典的な凍結に向かう過程で生じてい

るものと推測されるが、電荷のガラス状態を結論づけるには、ガラス的挙動の検出に的を絞った実験を展開する必要があるだろう。そこで我々は、電荷ガラス相の発現を検証するために、揺らぎの減速とその不均化の発達、ガラス転移といった、構造ガラスにおける特徴的な挙動 [15] が電荷の自由度において観測されるか調べることにした。

## 2. 電気抵抗ノイズ測定による電荷揺らぎダイナミクスの検出

遅い電荷揺らぎの周波数を定量的に抽出し、そのダイナミクスが冷却と共に減速していく様子を直接観測するため、電気抵抗のノイズ測定を行った。通常の電気抵抗測定においては、一定電流を試料に流し、その際に生じる平均電圧値を記録するが、ノイズ測定においては、平均電圧値周りの揺らぎに着目し、それを周波数分解することで抵抗揺らぎのパワースペクトルを得る [16]。これにより、平均電圧値には反映されない情報を抽出することができる。本研究ではノイズ測定を、熱力学的平衡状態である、200 K より高温の“電荷液体相”に適用した。観測された典型的なパワースペクトル  $S_R$  を Fig. 2a に示す。大域的に見ると、 $S_R$  はいわゆる  $1/f$  ノイズ ( $\propto 1/f^\alpha$ ) の周波数依存性を示していることがわかる (指数  $\alpha$  は一般に 0.8-1.4 程度の値をとり、 $\theta$ -RbZn においてはわずかに温度依存を示し、 $\alpha \sim 0.8-0.9$  をとる) [17]。抵抗体に限らず普遍的に観



**Figure 2** Resistance fluctuations in the charge-liquid phase. (a) A typical resistance power spectrum density  $S_R$  normalized by the resistance squared  $R^2$ .  $S_R/R^2$  is found to be independent of an applied current as long as the current is low enough, indicating that the detected fluctuations reflect the nature of the equilibrium state. (b) Power spectra densities for various temperatures with  $f^\alpha \times S_R/R^2$  representations. The solid curves are fits to the distributed Lorentzian model (see Supplementary Information in ref. [5]). (c) A comparison of the  $S_R/R^2$  characterizations using different schemes. The notations  $f_{c1}$  and  $f_{c2}$  represent the high- and low-frequency cutoffs, respectively, in the distributed Lorentzian model. (d) Temperature profiles of the fitting parameters  $f_{c2}$  and  $f_{c1}$ . (e) Slowing of the centre frequency and (f) concomitant growth of the dynamic heterogeneity (f). The shaded area in (f) is intended as a guide for the eyes.

測される  $1/f^\alpha$  ノイズの起源は未だ解明されておらず、また、本研究の範囲を大きく超えるのでここでは議論しないが、代わりに我々が着目したのは、ある周波数領域で  $1/f^\alpha$  から外れる hump 構造である (Fig. 2a 中、青線参照)。これは、特徴的な周波数を持った揺らぎに起因するスペクトルが  $1/f^\alpha$  ノイズに重畳していることを示唆している。 $1/f^\alpha$  以外の寄与をより明確にするために、 $S_R$  に周波数 (正確には周波数の  $\alpha$  乗) を掛けたものを、周波数に対してプロットしたのが Fig. 2b である。この表示法を用いることで、 $1/f^\alpha$  の寄与は一定値のオフセットに変換され、特徴的な揺らぎの寄与がそこからのピーク構造として、より明確に図示される。

このピーク構造をより定量的に解析するために、以下に示す、 $1/f^\alpha$  とローレンチアンを足し合わせ  $f^\alpha$  を掛けたものでフィッティングを試みた [18]。

$$f^\alpha \times S_R(f) = \frac{A f^\alpha \tau_c}{1 + (2\pi f \tau_c)^2} + \text{const.}$$

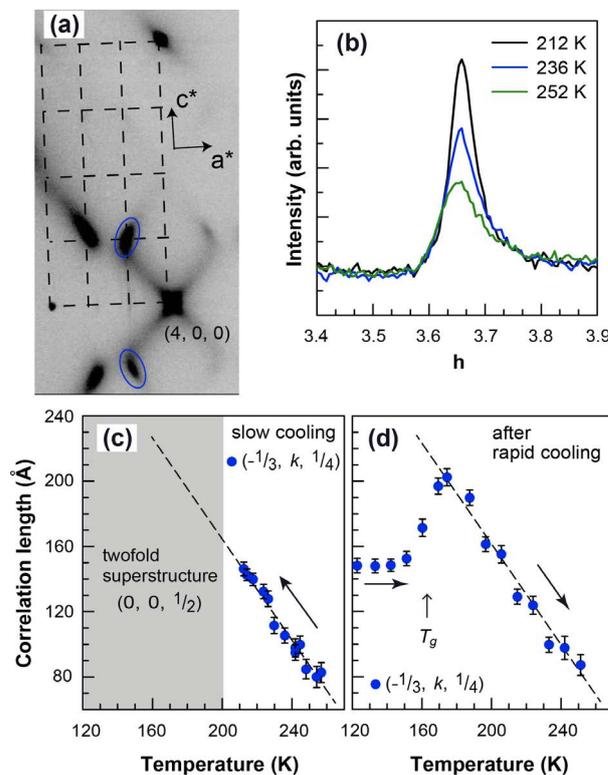
ここで  $A$  は係数、 $2\pi\tau_c$  は揺らぎが持つ特徴的な周波数の逆数である。しかし、実験で観測されたピークの線幅は広く、単一のローレンチアンを用いた枠組みでは再現できないことが分かった (Fig. 2c 中、緑線)。これは揺らぎの特徴的な周波数がある分布を持っていることを示している。そこで、ある周波数領域  $f_{c2} < f < f_{c1}$  でのみ有限の値を持ち、 $D(f) \propto f$  で与えられる状態密度を上記のローレンチアンに導入したところ (詳細は文献 5 の Supplementary Information を参照されたい)、実験で得られたスペクトルをよく再現することが分かった (Fig. 2c 中、青線)。ここで導入したカットオフ周波数  $f_{c1}$ ,  $f_{c2}$  を用いることで (Fig. 2d)、このモデルの範囲で、揺らぎの中心周波数  $f_0 = (f_{c1} f_{c2})^{1/2}$ 、及び線幅  $f_{c1} f_{c2}$  の評価が可能になる。それぞれの温度依存性を Fig. 2e, Fig. 2f に示す。ここで注目すべき特徴は 2 つあり、1 つ目は、低温に向かうにつれ、中心周波数  $f_0$  が減少する点である。特に、構造相転移が起きる 200 K 付近では、遅い揺らぎ成分は 10 Hz 以下にまで達することは注目し値する。2 つ目は、線幅の増大であり、これは冷却と共にダイナミクスがより不均一になることを示している。このような“動的不均一性”の発達を伴った遅い揺らぎの成長は、過冷却液体におけるガラス化過程を特徴づける代表的な現象として知られており [19]、 $\theta$ -RbZn においてガラス的な電荷ダイナミクスが成長していることを窺わせる。

### 3. X線散漫散乱による電荷秩序クラスタの観測

分子動力学シミュレーションを用いた過冷却液体の研究の中には、不均一かつ遅いダイナミクスの発達と中距離的な秩序 (クラスタ) の発達との関連を示唆しているものがある [20-22] (ただし、この描像が広く受け入れられている状況でもない)。このような主張があることをふまえ、 $\theta$ -RbZn において電荷の中距離的なクラスタが発達しているか調べるため、KEK の放射光施設フォトンファクトリー (PF) の BL-8A にて、X線散漫散乱の実験を行った。得ら

れた振動写真の一例を Fig. 3(a) に示す。先行研究によって、ブラッグ点近くに  $q_d \sim (\pm 1/3, k, \pm 1/4)$  の散漫散乱が現れることが報告されている [11,12]、今回の実験においても同様に  $q_d$  の散漫散乱が観測された。ここで  $k$  は、 $b$  軸方向 (ET 層間方向) に相関を持たないことを表している。以上の結果は、過冷却液体における中距離クラスタ形成の文脈で捉えるならば、3×4 倍の長周期構造を持った、2 次元的な電荷秩序クラスタが電荷液体相において形成されていることを意味する。この電荷クラスタは、徐冷時の構造相転移温度以下で発現する水平型電荷秩序 (1×2 倍周期) と異なる対称性を持っていることから、1 次転移近傍において見られる相分離現象に因るものではないことを強調しておく。

本実験ではさらに、電荷秩序クラスタが低温に向かってどのように発達するのかを詳細に調べた。散漫散乱のラインプロファイルを Fig. 3(b) に示す。冷却と共に、強度と相関長  $\xi$  の発達する様子が見てとれる。特に  $\xi$  は低温に向かって非臨界的に発達し、210 K で  $\sim 140$  Å にまで成長する [Fig. 3(c)]。この値は、実空間上の三角格子 25 個分に相当



**Figure 3** Spatial correlation of the charge clusters investigated using X-rays. (a) Oscillation photograph of the  $a^*$ - $c^*$  plane at 225 K. Diffuse rods characterized by  $q_d \sim (\pm 1/3, k, \pm 1/4)$  are observed near the Bragg reflections (some are indicated by red ellipsoids in the image). (b) Line profile of  $q \sim (1/3, k, 1/4)$  along the  $-2a^*+c^*$  direction. The slight asymmetry in the line shape is due to the background asymmetry, which is temperature independent and irrelevant to the temperature-dependent diffuse scattering. (c,d) Temperature dependence of the charge-cluster correlation length  $\xi$  during slow cooling (c) and during heating after rapid cooling to 120 K (d). The value of  $\xi$  is estimated along the  $-2a^*+c^*$  direction on the  $(1/3, k, 1/4)$  diffuse rod. The broken lines in (c,d) are drawn as guides for the eyes. The error bars represent the numerical ambiguity of the fitting.

する長さであり、中距離的という表現が相応しいかもしれない。また、Fig. 3c, Fig. 2eの結果を比較すると、電荷揺らぎの減速と電荷秩序クラスタの発達は相関しているように見受けられる。液体-ガラス転移に関して多くの理論が提唱されている中で[15,23]、以上の観測結果は、局所的に対称性の破れた結晶的なクラスタが不均一かつ遅いダイナミクスの起源であるという考え方[20-22]と整合していると言える。

#### 4. ガラス転移の観測

ここまでに紹介したノイズ測定・X線散漫散乱実験の結果は、電荷秩序/構造相転移温度(200 K)より高温の電荷液体相におけるもので、系が電荷ガラス相への“転移”(正確には熱力学的な相転移ではなく、あくまでも動的なものである)に向かっていくことを強く示唆しているものの、ガラス転移そのものを捉えたものではない。電荷ガラス転移は、急冷によって200 Kにおける構造相転移を回避し、フラストレーションが保たれた過冷却準安定状態において起こるものと推測される。そこで、まず~90 K/minで120 Kまで急冷し、系が過冷却準安定状態に落ち着いた後、緩やかに昇温しながら相関長 $\xi$ を測定した。結果をFig. 3dに示す。120~150 Kの温度域では、相関長 $\xi$ の値は140~150 Åで一定値を示しており、この値は、Fig. 3cから予測される過冷却電荷液体相における値より明らかに小さい。このような、長距離秩序を伴わないまま電子状態が準安定状態に凍結する振る舞いは、ガラスの特徴が良く顕れていることから、系は電荷クラスタガラス状態にあると我々は結論づけた。さらに温度を上げていくと、160-170 Kで相関長は急激に増大し、その後は徐冷過程(Fig. 3c)と同様の温度依存性を示した。相関長の急激な増大は、電荷の凍結状態が融解して準安定過冷却状態の電荷液体相に戻り、電荷クラスタが(擬)熱力学平衡状態におけるサイズに落ち着いたと考えたと説明がつく。したがって、160-170 K付近における相関長の異常は、電荷自由度におけるガラス転移を反映したものと解釈され、これを以て、ガラスを特徴づける基本的な量である“転移”温度の検出に成功したと考えている。

#### 5. おわりに

不均一な電子状態は、巨大磁気抵抗マンガン酸化物系、銅酸化物高温超伝導体など、これまでもドーパントを含む強相関電子系においてしばしば観測されてきた[24]。これらの系ではランダムに分布したドーパントが、不均一な電子状態の発現に際して重要な役割を果たしていることが報告されている[25,26]。これに対し、本研究で用いた有機導体は、顕わにはドーパントを含まず、一般にクリーンな系と考えられている。また、構造相転移によって幾何学的フラストレーションを解消した場合には電荷ガラス相に到達できないことから、幾何学的フラストレーションが電荷ガラス形成に密接に関連していると考えられるが、この仮説の立証には、フラストレーションの制御など、より系統

的な実験が待たれるところである。本稿を通じて、一人でも多くの方に電荷のガラス状態に興味を持って頂ければ、筆者らにとって望外の喜びである。

#### 6. 謝辞

本稿で紹介した研究は、東大の宮川和也博士、鹿野田一司教授、理研の十倉好紀教授、KEKの小林賢介博士、熊井玲児教授、村上洋一教授との共同研究によるものです。実験結果につきまして、東大生産研の田中教授、理研の妹尾博士を初めとする、多くの方々に議論して頂きました。この場を借りて感謝申し上げます。また、最先端研究開発支援プログラム(FIRST)「強相関量子科学」事業からの支援に感謝致します。PFでの実験は、共同利用課題(No. 2012G115)のもとで行いました。

#### 引用文献

- [1] L. Balents, *Nature* **464**, 199 (2010).
- [2] A. P. Binder and K. Young, *Rev. Mod. Phys.* **58**, 801 (1986).
- [3] A. P. Ramirez, A. Hayashi, R. J. Cava, R. Siddharthan, and B. S. Shastry, *Nature* **399**, 333 (1999).
- [4] S. T. Bramwell and M. J. P. Gingras, *Science* **294**, 1495 (2001).
- [5] F. Kagawa, T. Sato, K. Miyagawa, K. Kanoda, Y. Tokura, K. Kobayashi, R. Kumai, and Y. Murakami, *Nature Phys.* **9**, 419 (2013).
- [6] H. Mori, S. Tanaka, and T. Mori, *Phys. Rev. B* **57**, 12023 (1998).
- [7] H. Seo, *J. Phys. Soc. Jpn.* **69**, 805 (2000).
- [8] J. Merino, H. Seo, and M. Ogata, *Phys. Rev. B* **71**, 125111 (2005).
- [9] K. Miyagawa, A. Kawamoto, and K. Kanoda, *Phys. Rev. B* **62**, 7679 (2000).
- [10] K. Yamamoto, K. Yakushi, K. Miyagawa, K. Kanoda, and A. Kawamoto, *Phys. Rev. B* **65**, 085110 (2002).
- [11] M. Watanabe, Y. Noda, Y. Nogami, and H. Mori, *J. Phys. Soc. Jpn.* **73**, 116 (2004).
- [12] M. Watanabe, Y. Noda, Y. Nogami, and H. Mori, *Synth. Met.* **135-136**, 665 (2003).
- [13] H. Tajima, S. Kyoden, H. Mori, and S. Tanaka, *Phys. Rev. B* **62**, 9378 (2000).
- [14] R. Chiba, K. Hiraki, T. Takahashi, H. M. Yamamoto, and T. Nakamura, *Phys. Rev. Lett.* **93**, 216405 (2004).
- [15] P. G. Debenedetti and F. H. Stillinger, *Nature* **410**, 259 (2001).
- [16] J. Müller, *Chem. Phys. Chem.* **12**, 1222 (2011).
- [17] P. Dutta, and P. M. Horn, *Rev. Mod. Phys.* **53**, 497 (1981).
- [18] S. Machlup, *J. Appl. Phys.* **25**, 341 (1954).
- [19] M. D. Ediger, *Annu. Rev. Phys. Chem.* **51**, 99 (2000).
- [20] J. P. Doye, D. J. Wales, F. H. M. Zetterling, and M. Dzugasov, *J. Chem. Phys.* **118**, 2792 (2003).

- [21] A. Widmer-Cooper, P. Harrowell, and H. Fynewever, Phys. Rev. Lett. **93**, 135701 (2004).
- [22] H. Shintani and H. Tanaka, Nat. Phys. **2**, 200 (2006).
- [23] G. Adam and J. H. Gibbs, J. Chem. Phys. **43**, 139 (1965).
- [24] E. Dagotto, Science **309**, 257 (2005).
- [25] D. Akahoshi, M. Uchida, Y. Tomioka, T. Arima, Y. Matsui, and Y. Tokura, Phys. Rev. Lett. **90**, 177203 (2003).
- [26] I. Zeljkovic, Z. Xu, J. When, G. Gu, R. S. Markiewicz, and J. E. Hoffman, Science **337**, 320 (2012).

(原稿受付日：2013年12月25日)

## 著者紹介

佐藤拓朗 Takuro SATO



東京大学大学院工学系研究科 物理工学専攻 修士課程

〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

e-mail: 5582937584@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

最近の研究：有機伝導体  $\theta$ -(ET)<sub>2</sub>X 塩の物性。

賀川史敬 Fumitaka KAGAWA



理化学研究所 創発物性科学研究センター (CEMS) ユニットリーダー

〒351-0198 埼玉県和光市広沢 2-1

Tel: 048-467-9600

e-mail: fumitaka.kagawa@riken.jp

略歴：2006年 東京大学大学院工学系研究科博士課程修了，ERATO 研究員，東京大学大学院工学系研究科特任講師，講師を経て，2013年理化学研究所 創発物性科学研究センター (CEMS) ユニットリーダー，現在に至る。博士 (工学)。

最近の研究：強相関電子系の電子物性，有機強誘電体における強誘電ドメイン構造。

### 反射高速用電子回折法によりシリセンの構造決定に成功～世界最高強度の陽電子ビームを用いてシリコン新素材の構造が明らかに～

平成 25 年 11 月 21 日  
大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構  
独立行政法人 日本原子力研究開発機構  
国立大学法人 東京大学

#### 【本成果のポイント】

- ・輝度を増強した高強度エネルギー可変単色陽電子ビームによる反射高速陽電子回折法 (RHEPD) を用いて、銀単結晶表面上に作ったシリセンの構造を決定。
- ・陽電子ビームを用いた回折法が様々な物質最表面の構造決定に有効な手段として多方面の応用が期待。

#### 【概要】

高エネルギー加速器研究機構（以下「KEK」）物質構造科学研究所（以下「物構研」）の兵頭俊夫特定教授らのグループと日本原子力研究開発機構（以下「原子力機構」）先端基礎研究センターの河裾厚男研究主幹のグループ、および東京大学物性研究所（以下「東大物性研」）の松田巖准教授による共同研究および共同利用研究（研究代表：原子力機構・深谷有喜研究副主幹）は、結晶最表面の原子配置を精度よく決定できる反射高速陽電子回折法を用いて、銀単結晶表面上に形成したシリコンの原子 1 層からなる "シリセン" の構造を調べました。その結果、炭素原子 1 層からなる平面状のグラフェンと異なり、凹凸のある構造（バックリング構造）であることを初めて実験的に確認しました。

金属的な性質のグラフェンと異なり、シリセンはシリコン原子が平面内で僅かな凹凸を持つために半導体的な性質を持つと理論的に予測されており、電子デバイスへの多様な応用が模索されています。本成果は、この理論予測を裏付けるとともに、KEK における高強度・高輝度・エネルギー可変単色陽電子ビームが、結晶最表面の原子配置に極めて敏感であり、かつ、十分な強度と品質を持っていることを実証するものです。

本成果は、米国物理学会が発行するフィジカルレビュー B 誌最新号（第 88 巻 20 号）に掲載されました。

<http://prb.aps.org/abstract/PRB/v88/i20/e205413>

（この記事の続きは、<http://www.kek.jp/ja/NewsRoom/Release/20131121140000/> をご覧ください。）

### 文部科学省「情報ひろば」において企画展示を開催～加速器科学の過去・現在・未来～

平成 25 年 12 月 2 日  
大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構

大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構（機構長：鈴木厚人、以下「KEK」という。）は、文部科学省「情報ひろば」において、KEK の推進する「加速器科学の過去・現在・未来」をテーマとして、KEK における研究活動の基盤である「加速器」に関する企画展示を行います。

1. 企画展名：  
「加速器科学の過去・現在・未来」
2. 展示期間：  
平成 25 年 12 月 2 日（月曜日）～平成 26 年 3 月末（予定）  
[開館時間] 月曜から金曜の 10 時～18 時  
※土曜日、日曜日、祝日は休館
3. 展示場所：  
文部科学省情報ひろば「企画展示室」(旧文部省庁舎 3 階)
4. 展示概要：  
高エネルギー加速器研究機構 (KEK) は、粒子加速器を研究手段に用いて、宇宙・素粒子・原子核・物質・生命の謎を解き明かす加速器科学を推進するために、1970 年代から国内外の研究者に対して研究の場を提供するとともに、最先端の加速器科学研究を先導してきました。  
今回の展示では、加速器科学のこれまで歴史（過去）を紹介するとともに、KEK における代表的な加速器や研究成果（現在）の紹介、また、将来の加速器科学研究の発展に向けた開発研究（未来）の紹介を行います。  
（この記事の続きは、<http://www.kek.jp/ja/NewsRoom/Release/20131202140000/> をご覧ください。）

## 誤差 5% 以内で金属の実効原子番号を測定する X 線イメージング法を開発 —透過 X 線の位相検出に X 線干渉計を用いて高感度化—

2014 年 1 月 9 日  
株式会社日立製作所  
大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構  
学校法人北里研究所

株式会社日立製作所（執行役社長：中西 宏明／以下、日立）、大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構（機構長：鈴木 厚人／以下、KEK）および学校法人北里研究所（理事長：藤井 清孝／以下、北里大学）は共同で、金属膜を透過する X 線（放射光）の吸収量とともに位相の変化を X 線干渉計によって測定し、金属の実効原子番号を観察する X 線イメージング法を開発しました。本方式で、アルミ、銅、鉄、亜鉛の単一元素からなる材料を観察したところ、誤差 5% 以内で元素を特定できることを実証しました。本計測技術は、大気中で数十ミリメートル領域を数十ミクロンの空間分解能で一括に観察できることから、磁石新素材やインフラ構造部材における元素分布の新たな評価技術として期待されます。

X 線が物質を透過する際に密度の高い領域ほど吸収されることを利用して、レントゲンのように被写体内部の密度分布を画像化する技術が実用化されています。また、近年では被写体の密度変化をさらに高い感度で知る方法として、被写体を透過する X 線の位相の変化を調べる X 線位相イメージング法が研究されています。位相とは、X 線を波としてみた場合の、その波における山や谷の位置のことで、透過する X 線の吸収による強度の変化に比べて 1000 倍以上敏感に変化するために、吸収の小さい生体組織や有機材料の観察手段として注目されています。しかし、感度が高いとは言え、この方法で観察できるのは物質の密度であり、原子の種類を知ることはできません。しかし、2010 年に X 線の位相と吸収の変化を同時に測定することで得られる両者の比により、測定部分の平均的な原子番号（実効原子番号）が特定可能であるという論文が発表されました。この技術の適用範囲を金属まで拡大できれば、大気中で広い領域（KEK の放射光施設フォトンファクトリー BL-14C で数十ミリメートル角）を数十ミクロンの分解能で計測できるため、磁石材料やインフラ構造部材などを一括で観察することが可能となります。

このような観点から今回、日立、KEK および北里大学は共同で、金属の観察まで適用できる高いエネルギーの放射光を用いた X 線イメージング法を開発し、誤差 5% 以内の精度で実効原子番号を計測できることを実証しました。開発技術の内容は以下の通りです。

(1) X 線干渉計による高感度化  
金属を透過する数十キロエレクトロンボルト (keV) の大き

なエネルギー領域で高い精度の実効原子番号を観察するためには、高感度に位相の変化を検出することが必要です。今回、日立が独自に開発を進めている X 線干渉法（単結晶から製作されたマッハツェンダー型の X 線干渉計を用いて、位相の変化を波の重ね合わせにより直接的に検出する方式）を採用することで他の位相検出法に比べて 10 倍程度の検出感度を実現しました。さらにこの方式では、光学素子や検出器の位置を変更し再調整する必要がなく、X 線干渉計内での参照波の光路を遮蔽板で閉鎖するのみで吸収と位相の両像を取得可能であるため観察時間の短縮化が図られます。

(2) 実効原子番号の測定精度を検証

軽元素から金属までの元素を対象とした測定が可能なエネルギー 17.8 keV（波長 0.7 オングストローム）の放射光を用いて、アルミ、銅、鉄、亜鉛の単一元素からなる箔の吸収ならびに位相コントラスト像を測定しました。この結果から実効原子番号を算出したところ、各金属について誤差 5% 以内で原子番号に一致した値を得ることができました。

開発した技術で錆びた鉄を測定したところ、酸化により錆が進行している部分では実効原子番号が小さくなっていることを検証しました。これは、酸化により元素番号の小さい酸素（元素番号 8）の割合が、鉄（元素番号 26）に比べて増加したことによるものであり、この検証により本イメージング法では酸化など元素組成の変化も簡便に可視化できることが確認できました。

開発した技術は、大きなエネルギー領域での放射光の特長を利用し、大気中で数十ミリメートルの広い範囲を測定できること、また数十ミクロンの空間分解能で、被写体となる材料の実効原子番号を特定できることから、新たな磁石新素材やインフラ構造部材の観察技術として期待されます。

なお、本成果は、2014 年 1 月 11 日から広島国際会議場（広島県）で開催される「第 27 回日本放射光学会年会」で発表する予定です。

# 物構研におけるマルチプローブ利用研究のすすめ

～放射光，低速陽電子，中性子，ミュオンを使って新しい世界を見てみよう～

Vol. 30 No.4 から始まった「物構研におけるマルチプローブ利用研究のすすめ」。放射光と他の量子ビームとの違いや，各ビームラインの紹介，利用の手引きをご紹介した第1回目から一歩進み，Vol. 31 No.1 からは各ビームラインを使用して得られた研究成果について，2つのビームラインごとにご紹介してきました。今回が最終回となりますが，この連載はお楽しみ頂けましたでしょうか。これをきっかけの1つとして，マルチプローブ利用研究が益々活発に行われるようになることを願っております。

## 研究成果1 低速陽電子実験装置を利用して

### Ge(001) 表面に形成される Pt 吸着ナノワイヤー構造の原子配置と相転移

望月出海<sup>1</sup>，深谷有喜<sup>2</sup>，前川雅樹<sup>2</sup>，河裾厚男<sup>2</sup>，和田健<sup>1</sup>，兵頭俊夫<sup>1</sup>

<sup>1</sup>物質構造科学研究所，<sup>2</sup>日本原子力研究開発機構先端基礎研究センター

#### Study of Atomic Configuration and Phase Transition of Pt-induced Nanowire on a Ge(001) Surface

Izumi MOCHIZUKI<sup>1</sup>, Yuki FUKAYA<sup>2</sup>, Masaki MAEKAWA<sup>2</sup>, Atsuo KAWASUSO<sup>2</sup>  
Ken WADA<sup>1</sup>, and Toshio HYODO<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Materials Structure Science,

<sup>2</sup>Advanced Science Research Center, Japan Atomic Energy Agency

#### Abstract

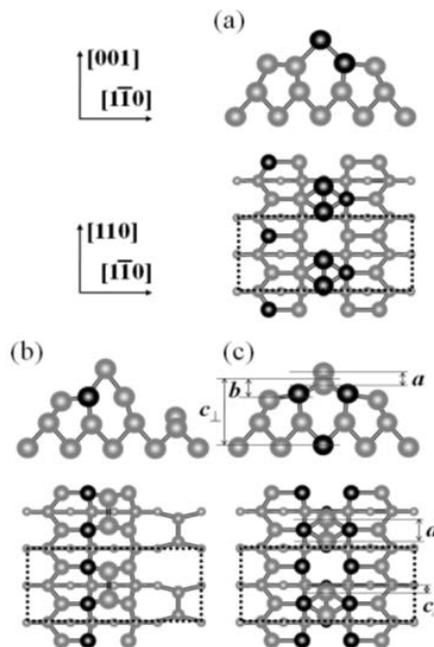
反射高速陽電子回折 (reflection high-energy positron diffraction, RHEPD) 法を用いて，Ge(001) 表面に形成された Pt 吸着ナノワイヤー構造の原子配置を調べ，提案されていた多くの構造モデルの中で，Vanpoucke らが理論計算より提唱した“Nano-Wire モデル” [D. E. P. Vanpoucke et al., Phys. Rev. B 77, 241308(R) (2008)] が，正しいことを突き止めた。加えて，100 K 近傍で観測される表面相転移の際に，ナノワイヤー上で起っている原子配置の変化についても詳細に調べた。

#### 1. はじめに

近年，半導体素子微細化技術の進展に関連して，原子制御されたナノ構造が示す物性解明に大きな関心が持たれている。とりわけ，半導体結晶表面に自発的に原子が並んでできるナノワイヤーは，ナノスケール電極材料への応用や，低次元物質特有の相転移現象・電子輸送現象を発現することから，精力的に研究されている。しかしながら，理想的な一次元物性を発現する物質例は極めて少なく，その構造や電子状態の解明が表面研究において重要な位置付けにある。

#### 2. Ge(001) 表面に形成される Pt 吸着ナノワイヤー構造と表面相転移

清浄な Ge(001) 面に Pt を 1 原子層程度吸着させると，幅 1.6 nm のナノワイヤー構造が表面に形成される [1]。このナノワイヤーは，サブミクロンスケールにわたって欠陥を伴わないため，理想的な一次元物性を発現する可能性があり，その物性解明が期待されている。表面の対称性はウッズの表記で“Ge(001)-p(4×2)-Pt”である。発見者の Gürlu らは，走査型トンネル顕微鏡 (STM) による詳細な観察から，ナノワイヤーが Pt 原子列で構成されていると考え，Platinum-Dimer (PD) モデル [1] (Fig. 1a) を提唱した。ところが，最近の第一原理計算は，実はその原子列が Ge で



**Figure 1** Schematic illustrations of Ge(001)-p(4×2)-Pt: (a) PD, (b) TDC and (c) NW models. The black and gray spheres represent Pt and Ge atoms, respectively. The dotted rectangles represent (4×2) unit cells. The interlayer and interatomic distances are labeled by  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $c_{\perp}$ , and  $d$ .

構成されているという描像を支持しており、新たな構造モデルとして Tetramer-Dimer-Chain (TDC) モデル [2] (Fig. 1b) や、Nano-Wire (NW) モデル [3] (Fig. 1c) など、10種類以上が提唱されている ([3] の “NW モデル” は、一般的な一次元構造モデルという意味でなく、提唱者がつけた固有の名称であるので注意されたい)。また、ワイヤー方向に沿っての2倍周期が低温では4倍周期に構造転移することが観測されており、電荷密度波の形成を伴うパイエルズ転移である可能性が示唆されている [4]。

こうした議論が続くなかで、この系の構造解明は、相転移現象や物性解明の鍵を握る最重要課題である。そこで我々は、結晶最表面の構造解析にとりわけ威力を発揮する「反射高速陽電子回折 (RHEPD) 法」を用いて、このナノワイヤー構造の原子配置と、相転移に伴う原子変位について詳細に調べた。本記事では、最初に、RHEPD 法の特徴について簡単に紹介した後、構造解析についての成果を述べる。なお、最近、我々は RHEPD を「全反射高速陽電子回折 (TRHEPD) 法」と呼ぶことを提唱しているが、ここでは、従来からの RHEPD という名称を使うことにする。

### 3. RHEPD 法

RHEPD は、反射高速電子線回折 (reflection high-energy electron diffraction, RHEED) の陽電子版で、1992年に名古屋大学の一宮彪彦教授 (当時) によって提唱され [5]、日本原子力研究所 (現・日本原子力研究開発機構) の河裾厚男・岡田漱平によって実用化された [6]、純粋に日本発の研究手法である。実験では、10~20 keV 程度に加速された陽電子ビームを、表面すれすれの角度で結晶試料に入射させ、表面から反射してきた回折波を、ビーム前方のスクリーンに投影し、回折パターンを得る。陽電子を使うことを除けば、電子による RHEED と全く同じ手法である。しかしながら、ビーム強度が、通常、電子より6桁以上も小さいにもかかわらず陽電子を利用するのは、以下に説明する高感度性という大きなメリットがあるためである。

固体中の原子核と電子が作る静電ポテンシャルは正であり、負の電荷をもつ電子の結晶内のポテンシャルエネルギーは負である。このため、電子は表面すれすれ入射したとしても、結晶内に引き込まれて、結晶面への視射角が実質上大きくなり、最低次指数の回折スポットは得られない。これに対して、正電荷をもつ陽電子のポテンシャルエネルギーは正なので、結晶表面で反発され、ビームは浅い角度に曲げられて、最低次指数の回折スポットも観測できる。さらに、ある臨界角 (入射エネルギー及び物質によって異なるが  $2^\circ \sim 3^\circ$ ) 以下の視射角で入射させると全反射する。全反射が起こらない電子の場合、微小な視射角で入射しても、必ず 1 nm 程度は結晶内に侵入する。これに対して全反射した陽電子は 0.1 nm 程度しか侵入できない。このため RHEPD は RHEED に比べて遥かに表面感度が高い。入射強度をそろえた場合の回折強度も2桁近く高い。因みに、X線も全反射を起こすが、散乱断面積が小さいため、全反射条件下でも 3 nm 程度は物質内部に侵入する。

## 4. 実験

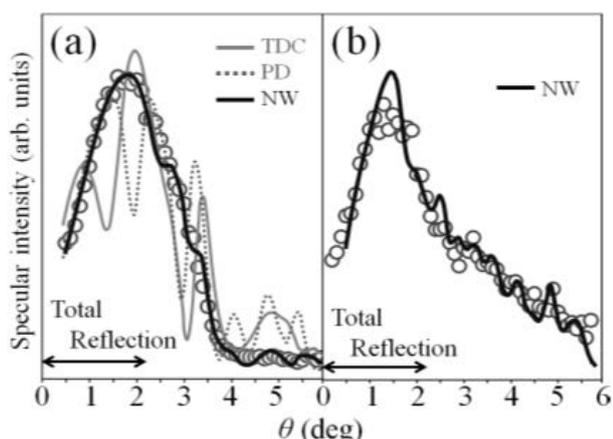
実験は、全て超高真空 ( $\sim 10^{-8}$  Pa) チェンバー内で行った。10 keV に加速した陽電子ビーム [7,8] を、試料表面すれすれの視射角 ( $\theta$ ) で入射させ、視射角を  $\theta = 0.5^\circ \sim 6.0^\circ$  の範囲で  $0.1^\circ$  毎に変化させて、56枚の回折パターンを得た。さらに、それらのパターンから鏡面反射スポットの回折強度を抽出し、その視射角依存性を示す「ロッキング曲線」を得た。Ge(001) 表面における全反射の臨界視射角は、入射陽電子エネルギー (10 keV) と、Ge 結晶ポテンシャル (14.3 V) [9] から計算すると、約  $2.2^\circ$  である。

構造解析では、実験で得られたロッキング曲線の形状を可能な限りよく再現できる正しい構造モデルを探すことが目的となる [5,10]。測定の際、ビームの入射方位角を自由に選べるが、ここでは解析の容易さを考慮して、 $[1\bar{1}0]$  方向 (多波条件) の  $[1\bar{1}0]$  方向から約  $23^\circ$  ずらした方向 (1波条件) という、特定の2種類の方角を選択した。「一波条件」のロッキング曲線の形状は、表面垂直 (Z) 方向の原子位置と、それらの原子密度のみに依存し、表面平面 (X, Y) 方向の原子位置に依らない [11]。したがって、一波条件の解析では、X, Y 方向の原子位置を気にしないで、Z 方向の原子配置について精度良く決定できる。このため、比較的短時間に解析を終えることができ、多くの構造モデルの中から正しいモデルを峻別したい場合に非常に有効である。一方、「多波条件」のロッキング曲線形状は、X, Y 方向の原子位置にも依存する [11] ので、完全な3次元原子配置を決定することができる。そこで通常は、まず一波条件の解析を行って構造モデルを選別し、それから多波条件の解析を行って詳細な3次元原子配置を決めるという一連の流れで、最表面構造を決定する。

試料は、(001) 面に対してフラットに鏡面研磨した Ge ウェハを、短冊状 (5 mm  $\times$  10 mm  $\times$  0.5 mm) に切り出し、チェンバー内に導入した。そして、表面清浄化のため Ar<sup>+</sup> イオンスパッタリング-アニーリング処理を繰り返し行った。スパッタリングは、イオン加速電圧を 800 V とし、試料を通電加熱により約 670 K に保時して 15 分間行った。続いて、約 850 K で 15 分間アニールした。表面の清浄化後、ナノワイヤー構造をつくるため、約 620 K に保持した試料に 1.2 ML 程度の Pt を蒸着した。ここでは、Ge(001) 理想切断面の原子密度 ( $\cong 6.3 \times 10^{14}$  atoms/cm<sup>2</sup>) を 1 ML と定義する。

### 4-1. RHEPD によるナノワイヤーの構造決定

まず、多数提案されているナノワイヤー構造モデルから正しいモデルを峻別するため、一波条件における RHEPD ロッキング曲線の解析を行った。Fig. 2a に描かれた白抜丸は、室温において測定した一波条件のロッキング曲線である。また、PD モデル (Fig. 1a)、TDC モデル (Fig. 1b)、NW モデル (Fig. 1c) を用いて再現計算した3つのロッキング曲線を、それぞれ、灰色点線、灰色実線、黒実線で示した。これらを比較すると、PD モデルと TDC モデルは、 $\theta = 2^\circ$  近傍のピーク形状を再現できておらず、構造モデルとして相応しくない (信頼因子:  $R = 4.9, 4.6$ )。一方、NW



**Figure 2** RHEPD rocking curves under (a) one-beam condition, and (b) many-beam condition. The open circles denote experimental data. The solid gray, broken gray, and solid black lines are the calculated curves for the TDC, PD, and NW models, respectively.

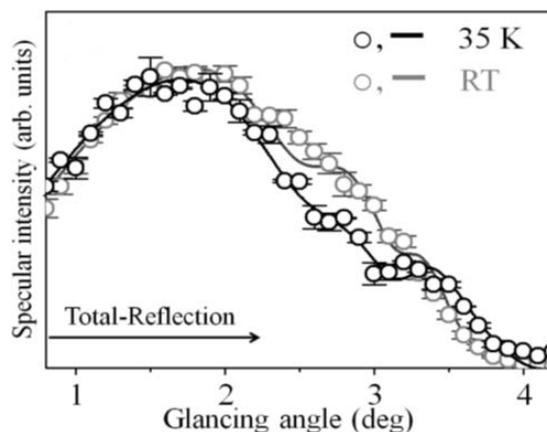
モデルは、原子位置の表面垂直 ( $Z$  方向) の座標を微妙に調節することで、実験結果と矛盾なく、全体の曲線形状を非常に良く再現できた ( $R = 1.2$ )。また、ここで示した3つのモデル以外に、理論計算 [1-3,12] より提案されている10種類以上の構造モデルについても、同様にロッキング曲線を比較した結果、それぞれに調整を加えても、NWモデルのみが実験を良く再現できることを確認した [13]。従って、Vanpoucke らが提唱した Pt 被覆率 0.75 ML の NW モデルが、Ge(001)-p(4×2)-Pt ナノワイヤー構造に対する正しい構造モデルであることを実験的に突き止めた。即ち、最表面の原子列は、Pt 原子ではなく、Ge ダイマーによって構成されていることが分かった。

続いて、表面平行 ( $X, Y$  方向) の座標を含めて、NWモデルの正確な3次元原子配置を決定するため、多波条件のRHEPDロッキング曲線の解析を行った。Fig. 2bには、白抜丸で、室温測定した多波条件のロッキング曲線を示した。NWモデル(実線)は実験結果を良く再現できている ( $R = 1.8$ )。

#### 4-2. 表面相転移

このナノワイヤー構造が形成された表面では、100 K 近傍の温度範囲で進行する相転移 [4,13] が観測され、室温の p(4×2) 周期構造 (高温相) が低温になると p(4×4) 周期 (低温相) に変化する。この対称性の変化が、ナノワイヤー構造のどのような原子変位に起因しているのか調べるため、低温相のロッキング曲線についても解析を行った。Fig. 3は、一波条件のロッキング曲線の  $\theta = 1^\circ \sim 4^\circ$  の範囲の拡大図であるが、灰色の丸が室温のデータ (Fig. 2a) のデータと同じもの、黒の丸が 35 K のデータを示す。室温から低温への温度降下と共に、 $\theta = 2.3^\circ \sim 3.2^\circ$  付近の強度が低下して、曲線形状が変化しており、なにかの構造変化を伴った、変位型の構造転移が進行していると考えられる。

そこで、室温の解析から決定した構造モデルを元に、原子密度は変化させず、原子位置のみを調整することで実験



**Figure 3** Comparison of the one-beam RHEPD rocking curves. The gray and black open circles show the experimental data at RT and 35 K, respectively. The solid lines are the calculated curves for the NW model.

**Table 1** Interlayer and interatomic distances in the Pt-induced nanowire, as determined from the RHEPD rocking curve analysis. The labels  $a$ ,  $b$ ,  $c (= \sqrt{c_{ij}^2 + c_{\perp}^2})$ , and  $d$  are denoted in Fig. 1(c). Uncertainties are written in parentheses. The theoretical values [3] are also listed.

	$a$	$b$	$c$	$d$
This study (Å)				
Room temperature	0.04	0.64	3.3	2.9
(uncertainty)	(±0.09)	(±0.15)	(±0.2)	(±0.2)
Low temperature	0.22	0.74	3.4	2.9
(uncertainty)	(±0.10)	(±0.17)	(±0.2)	(±0.2)
Theory (Å) [3]	<0.03	0.52	3.13	2.72

結果を説明できる p(4×4) 周期構造ができないか探索した。その結果、(4×4) 単位胞の最表面に配置している、ワイヤー方向に沿って隣り合う2つのGeダイマーが、互い違いに傾いて非対称な形状になった構造が、データをよく説明できる4倍周期構造であることが分かった。ロッキング曲線の最適結果を Fig. 3 に黒色実線で示す。室温では最表面のGeダイマー原子間に高さ差が無い対称的な配置になり、2倍周期となって、p(4×2) 構造が観測され、低温ではGeダイマー原子間に高さ差が生じるため4倍周期となって、p(4×4) 構造が観測される。すなわち、ダイマーが非対称構造から対称構造へと変化することに起因した、変位型転移であることが明らかになった [13]。Geダイマー原子の高さ差の最適値は  $a = 0.22 \pm 0.10$  Å である。Table. 1には、Fig. 1c に図示した  $a \sim d$  の原子間距離について、実験結果と理論計算 [3] の結果を並べて示した。

#### 5. まとめ

RHEPDを用いて、Ge(001)表面に形成されるPt吸着ナノワイヤー構造について詳細に調べ、Vanpoucke らが提唱した、Pt被覆率 0.75 ML の NW モデルが正しい構造モデルであることを突き止めた。また、相転移において、最表面Geダイマーが、室温の対称構造から低温では非対称構造へ変位型転移をしていることを明らかにした。以上の結果は、Pt吸着ナノワイヤー構造の原子配置を初めて実験

的に決定したもので、今後、理論計算などにより、このナノワイヤー構造におけるスピン状態や低次元電子状態 [14] の解明に関する研究の進展に波及するものと期待している。

## 引用文献

- [1] O. Gürlü *et al.*, Appl. Phys. Lett. **83**, 4610 (2003).
- [2] A. A. Stekolnikov *et al.*, Phys. Rev. B **78**, 155434 (2008).
- [3] D. E. P. Vanpoucke *et al.*, Phys. Rev. B **81**, 085410 (2010).
- [4] A. van Houselt *et al.*, Surf. Sci. **602**, 1731 (2008).
- [5] A. Ichimiya, Solid State Phenom. **28&29**, 143 (1992).
- [6] A. Kawasuso and S. Okada, Phys. Rev. Lett. **81**, 2695 (1998).
- [7] A. Kawasuso *et al.*, Rev. Sci. Inst. **75**, 4585 (2004).
- [8] K. Wada *et al.*, Eur. Phys. J. D **66**, 37 (2012).
- [9] G. Radi, Acta Crystallogr., sect. A: Cryst. Phys., Diffr., Theor. Gen. Crystallogr. **26**, 41 (1970).
- [10] A. Ichimiya, Jpn. J. Appl. Phys. **22**, 176 (1983).
- [11] A. Ichimiya, Solid State Phenom. **28-29** 143 (1992).
- [12] U. Schwingenschlögla *et al.*, EPL. **81**, 26001 (2008).
- [13] I. Mochizuki *et al.*, Phys. Rev. B **85**, 245438 (2012).
- [14] K. Yaji *et al.*, Phys. Rev. B **87**, 241413(R) (2013).

## 著者紹介

望月出海 Izumi MOCHZUKI



高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所 研究員

〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

TEL: 029-864-5661

e-mail: mochizu@post.kek.jp

略歴：2012 年高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所研究員。博士（理学）。

最近の研究：高輝度・高強度陽電子ビーム回折法の開発と表面研究への応用

深谷有喜 Yuki FUKAYA



日本原子力研究開発機構先端基礎研究センター 研究副主幹

〒370-1292 群馬県高崎市綿貫町一二三番地

TEL: 027-346-9330 FAX: 027-346-9432

e-mail: fukaya.yuki99@jaea.go.jp

略歴：2001 年日本学術振興会特別研究員（DC2）。2003 年横浜市立大学大学院総合理学研究科博士後期課程修了。現在、日本原子力研究開発機構先端基礎研究センター研究副主幹。博士（理学）。

最近の研究：全反射高速陽電子回折を用いた最表面原子配列の直接決定法の開発

前川雅樹 Masaki MAEKAWA



日本原子力研究開発機構先端基礎研究センター 研究副主幹

〒370-1292 群馬県高崎市綿貫町一二三番地

TEL: 027-346-9330 FAX: 027-346-9432

e-mail: maekawa.masaki@jaea.go.jp

略歴：1998 年日本原子力研究所（現日本原子力研究開発機構）研究員。博士（工学）。

最近の研究：スピン偏極陽電子ビームの開発、陽電子マイクロビームの開発

河裾厚男 Atsuo KAWASUSO



日本原子力研究開発機構先端基礎研究センター 研究主幹

〒370-1292 群馬県高崎市綿貫町一二三番地

TEL: 027-346-9331 FAX: 027-346-9432

e-mail: kawasuso.atsuo@jaea.go.jp

略歴：1995 年日本原子力研究所（現日本原子力研究開発機構）入所。理学博士。

最近の研究：スピン偏極陽電子消滅の基礎構築とスピントロニクス研究への応用

和田健 Ken WADA



高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所 特別助教

〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

TEL: 029-864-5661

e-mail: ken.wada@kek.jp

略歴：2005 年東京大学大学院総合文化研究科博士課程修了。2005 年東京大学教養学部附属教養教育開発機構助手（のち助教）、2010 年 KEK 物質構造科学研究所特別助教、現在に至る。博士（学術）。

最近の研究：高強度低速陽電子ビーム装置開発とそのビームを用いた物質研究

兵頭俊夫 Toshio HYODO



高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所 特定教授

〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1

TEL: 029-864-5658

e-mail: toshio.hyodo@kek.jp

略歴：1971 年東京大学大学院理学系研究科物理学専攻中退、1971 同年東京大学教養学部物理教室助手、1992 年同教授、1996 年東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻教授、2005 年東京大学教養学部附属教養教育開発機構教授、2010 年 KEK 物質構造科学研究所特別教授、2013 年現職。理学博士。

最近の研究：陽電子科学（原子分子・固体・表面）。

## 表面 2 次元電子化合物

松田 巖<sup>1</sup>, 深谷有喜<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 東京大学物性研究所

<sup>2</sup> 日本原子力研究開発機構先端基礎研究センター

### Formation of a two-dimensional electron compound at a surface

Iwao Matsuda<sup>1</sup> and Yuki Fukaya<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Institute for Solid State Physics, the University of Tokyo

<sup>2</sup> Advanced Science Research Center, Japan Atomic Energy Agency

#### Abstract

固体表面それ自身が 2 次元であるため、系は低次元特有の物性を発現するだけでなく基板と吸着種の組み合わせによって多種多様な低次元新物質も生成される。中でも長距離秩序を有する“表面超構造”は古くから物性研究の対象となっていた。Si(111) 結晶表面に元素の異なる金属原子を共吸着させると  $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$  周期の表面超構造が形成される。その全金属被覆率は金属原子の種類によらず必ず 1.1~1.2ML であり、またユニットセル内の価電子数も常に 3 個である。このような価電子数/原子数比と結晶構造の 1:1 関係は、固体物理で良く知られる“Hume-Rothery 則”を思い出させ、 $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$  表面超構造は固体表面上の 2 次元電子化合物の特性を示した。陽電子回折による表面構造決定と光電子フェルミ面マッピングによる電子状態解析の結果、表面電子の 2 次元フリーデル振動を介したアドアトム間相互作用で 2 次元電子化合物が形成されていることが分かった。電子化合物 (Hume-Rothery 型化合物) の形成モデルを巡ってはこれまで 3 次元物質を対象に議論が続いていたが、今回表面 2 次元物質を研究することでその決着を付けることができた。

#### 1. はじめに：Hume-Rothery 則と表面超構造

周期表に載っている元素を複数混ぜ合わせた合金は原料と異なる物性を発現し、工業的に価値のある材料となるだけでなくその特異な電子状態は物性研究の対象としても興味深い。これまでの合金研究 (*metallurgy*) によりこの合金の価電子状態と結晶構造の間には規則性があることが知られており、これは後に「Hume-Rothery 則」と呼ばれ物性科学の歴史の大事な成果の 1 つとして Kittel の有名な教科書などにも記載されている [1]。この名の経験則は幾つか存在し [2]、その中に「合金を構成する価電子数と原子数の比 (平均価電子数) に応じてその結晶構造が決まる」というものがあり実際に Table 1 のようになっている。このような原子数と電子数の関係で決まる物質は「電子化合物 (electron compound)」と呼ばれ、Hume-Rothery 則に従うものは特に「Hume-Rothery 化合物 (Hume-Rothery compound)」と呼ばれる [3,4]。この経験則の起源を巡って

は様々な理論研究が進められ、今のところ主に 2 つの理論モデルの間で議論が続いている [3,4]。

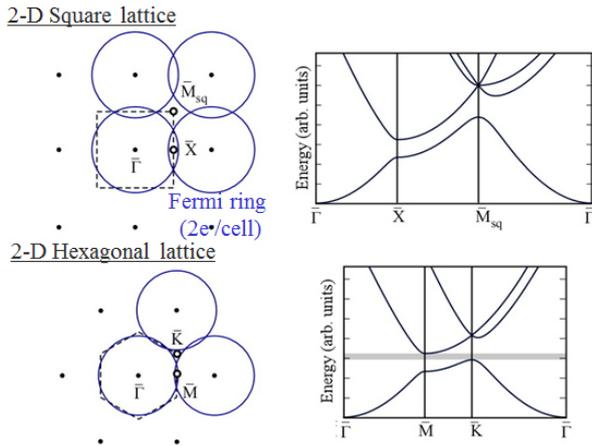
1 つは Jones モデルと呼ばれるもので、フェルミ面とブリルアンゾーンに注目し、周期ポテンシャルによるゾーン境界でのエネルギーギャップ形成を用いて説明するものである [3,4]。このエネルギーギャップがフェルミ準位近傍で形成されるとエネルギーの高い電子が減少するので系は安定化することになる。実際真鍮などで計算を行うと状態密度ではフェルミ準位にて擬ギャップが形成し、電子エネルギーは自由電子 (Free Electron, FE) でのいるよりも周期ポテンシャルの影響を受けている方 (Nearly Free Electron, NFE) が低いことになる。そして Hume-Rothery 則はこのフェルミ面の大きさとブリルアンゾーンの普遍的なバランスで説明することができる。

一方、もう 1 つのモデルでは各元素イオンの擬ポテンシャルの摂動論を展開したもの (擬ポテンシャルモデル) であり、その 2 次の摂動項で現れるフェルミ準位の電子 (伝導電子) を介したイオン間相互作用で説明するものである [3,4]。この摂動項は 2 つのイオン間 (イオンペア) のポテンシャルに書き換えることができ、伝導電子のフリーデル振動を介した相互作用として表すことができる。そのためイオンの位置すなわち原子構造に大きく依存し、これが Jones モデルと大きく異なるところである。

このように Hume-Rothery 則の起源を巡っては「フェル

Table 1 Hume-Rothery Rule: Crystal structure of binary metal changes with a ratio between numbers of valence electrons and atoms[1].

Alloys	fcc	bcc	$\gamma$	hcp
Cu-Zn	1.38	1.48	1.58-1.66	1.78-1.87
Cu-Al	1.41	1.48	1.63-1.77	
Cu-Si	1.42	1.49		
Ag-Cd	1.42	1.50	1.59-1.63	1.65-1.82



**Figure 1** Two-dimensional (2-D) Brillouin zones of the square lattice or the hexagonal lattice with a 2-D Fermi surface (the Fermi circle) of two electrons in the unit cell ( $2e^-/\text{cell}$ ). The nearly free electron (NFE) calculation shows that a system of the 2-D square lattice is metallic with electron filling of  $2e^-/\text{cell}$ , while that of the 2-D hexagonal lattice becomes insulating by  $2e^-/\text{cell}$  and the system show the complete energy gap (shaded region).

ミ波数 (フェルミ面) と「結晶構造 (ブリルアンゾーン)」の関係として議論されてきたが、実際の物質系において2つのモデルを切り分けるのはこれまで困難であった。

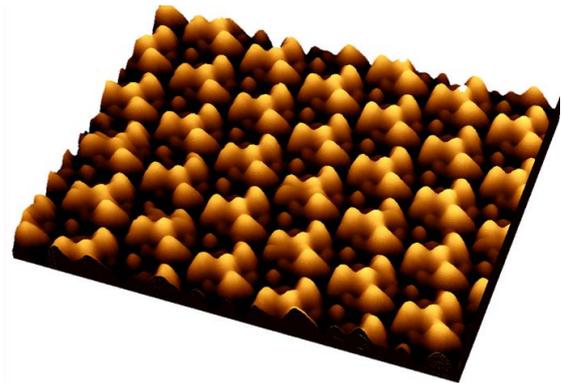
さて、これまでの議論は3次元系であったがこれを2次元系にすると状況が劇的に変わってくる。Fig. 1は2次元フェルミ面 (フェルミ円) と2次元ブリルアンゾーンについて、単純なバンド計算を行ったものである。フェルミ面としては単位胞当たり2個の電子 ( $2e^-/\text{cell}$ ) が詰まっているものを描いている。2次元正方格子の場合、系は電子を下から詰めていっても金属のままだが、2次元六方格子の場合では  $2e^-/\text{cell}$  で絶縁体となる。すなわち Jones モデルでは3次元系の合金は擬ギャップの形成で電子的に安定になるが、2次元六方格子系での2次元合金層では真性なギャップが形成され最も高い安定エネルギーを得ることを意味する。

固体表面はそれ自身が2次元系であり、これまで何百も

の表面長距離秩序相が報告されてきた [5]。これら2次元表面相のうち「価電子数と原子数の比 (平均価電子数)」と「表面超構造」において一定の法則があり、且つそれが六方格子表面上で実現されていれば固体表面上の合金層において2次元電子化合物の実現が考えられる。また、Hume-Rothery 則にまつわる長年の論争にも決着を付けられる可能性もある。そこで我々は表面での2次元電子化合物の探索とその形成について研究を行ってきた [6-17]。

## 2. Si(111) 表面における2次元合金相: $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$ 表面超構造

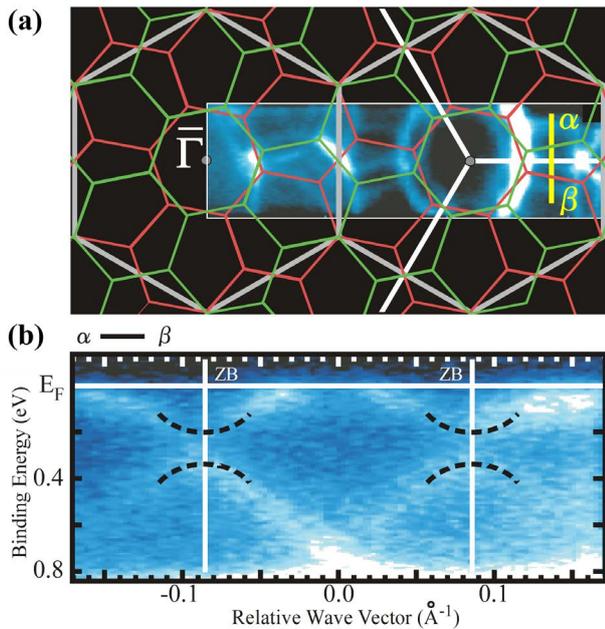
ダイヤモンド構造を成すシリコン結晶の(111)面は六方格子を成している。この表面にアルカリ金属や貴金属の元素を (共) 吸着させると  $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$  相が形成される [6-21]。Table 2のように、我々の研究もふまえてこれまで8種類の作製条件において同表面超構造が報告されてきた [6-21]。そのイメージの1例として Fig. 2 に走査型トンネル顕微鏡像を示す。 $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$  表面超構造の作製法は基本的に2種類である。1つは Si(111) 表面を単原子層 (1 ML) 分の Ag で終端した Si(111)  $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ -Ag 表面上に室温以下で各金属原子を追加蒸着するもので、もう一方はその他の表面



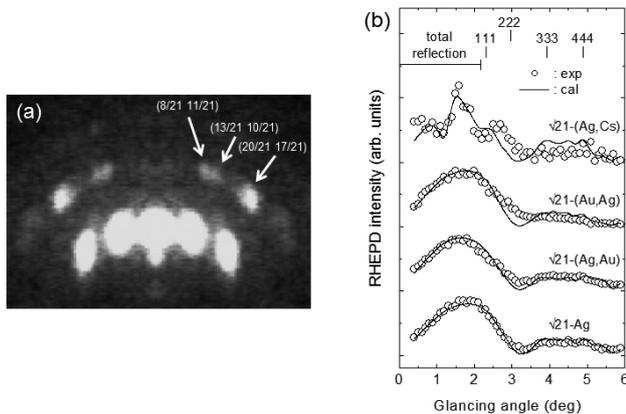
**Figure 2** An example of the scanning tunneling microscope image of the  $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$  surface superstructure, prepared only with noble metal. The surface is prepared by the condition (2) in the table 2.

**Table 2** Preparation conditions for  $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$  surface superstructure on the Si(111) substrate. The surface phase can be prepared by two types of the evaporation conditions. One is carried out by additional metal deposition on the Si(111)  $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ -Ag surface below room temperature (LT). The other is made by additional metal deposition on the other ordered surface typically at 450°C (HT). 1 ML is defined as surface atomic density of Si(111)  $1 \times 1$  ( $1\text{ML} = 7.8 \times 10^{14}$  atoms/cm<sup>2</sup>).

Initial surface phase (coverage)	adatom (coverage)	formation temprature	total coverage	a number of valence electrons
2-D surface phase		LT	1.1~1.2 ML	3/unit cell
(1) $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ -Ag (1.0 ML)	Au (0.1~0.2 ML)	LT	1.1~1.2	3
(2) $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ -Ag (1.0 ML)	Ag (0.1~0.2 ML)	LT	1.1~1.2	3
(3) $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ -Ag (1.0 ML)	Na (0.1~0.2 ML)	LT	1.1~1.2	3
(4) $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ -Ag (1.0 ML)	K (0.1~0.2 ML)	LT	1.1~1.2	3
(5) $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ -Ag (1.0 ML)	Cs (0.1~0.2 ML)	LT	1.1~1.2	3
(6) $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ -Au (1.0 ML)	Ag (0.2~0.3 ML)	HT	1.1~1.2	3
1-D surface phase				
(7) $5 \times 2$ Au (0.4~0.5 ML)	Ag (~0.7 ML)	HT	1.1~1.2	3
(8) $3 \times 1$ -Ag (0.3 ML)	Au (0.8 ML)	HT	1.1~1.2	3



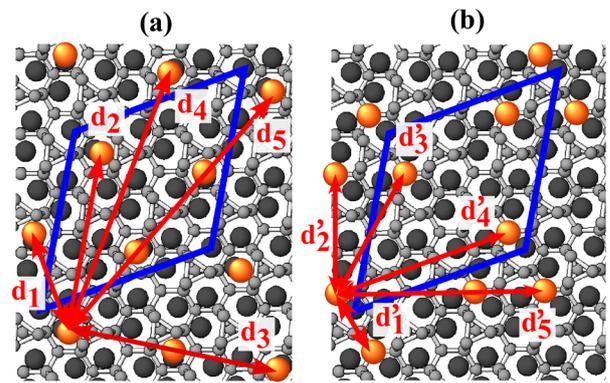
**Figure 3** (a) Fermi surface and (b) band diagram at zone boundaries (ZB) of the  $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$  surface superstructure, prepared by the condition (2) in the table 2. The surface phase is composed of two domains and the individual Brillouin zones are depicted as green and red lines in (a). The band dispersion in (b) corresponds to that along wave vector line  $\alpha$ - $\beta$  in (a). The measurement was made with photon energy of 21.2 eV.



**Figure 4** (a) RHEPD pattern of the  $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$  surface superstructure, prepared by the condition (2) in the table 2. The incident positron energy is 10 keV. The incident azimuth corresponds to the  $[11\bar{2}]$  direction. The glancing angle is set at  $2.7^\circ$ . (b) Rocking curves of specular spots from the various  $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$  surface superstructures of  $\sqrt{21}$ -(Ag,Cs) [(5) in table 2],  $\sqrt{21}$ -(Au,Ag) [(7)],  $\sqrt{21}$ -(Ag,Au) [(1)],  $\sqrt{21}$ -Ag [(2)]. The data points are shown as white circles, while solid lines are results of the structure optimizations. The incident energy and azimuth are the same as (a).

秩序相に  $450^\circ\text{C}$  程度で加熱しながら追加蒸着するものである。いずれの方法でも  $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$  表面超構造は全被覆率 (total coverage) が  $1.1\sim 1.2$  ML で形成される [6-10,12,18-21]。

各表面のフェルミ面 (バンド構造) は角度分解光電子分光法で直接調べることができる。Fig 3(a) はその 1 例で、観測されるフェルミ面は  $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$  の単一ブリルアンゾーンよりも大きい。フェルミ面の面積は単位胞当りの電子数

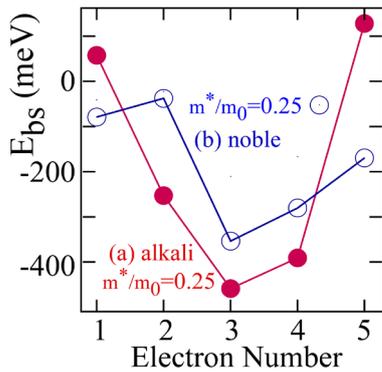


**Figure 5** Atomic structure of the  $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$  surface superstructure (a) that contains alkali metal atoms or (b) that consists of only noble metal atoms. Representative interatomic distance ( $d_i$ ,  $d'_i$ ) between adatoms (orange circle), up to the fifth nearest neighbors, are indicated with (red) arrows in (a,b). The  $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$  unit cell is shown by blue lines. The black circles are metal atoms and the small gray figures are silicon atoms with their bonding network.

に対応し、ブリルアンゾーン単位胞の面積で 2 個の電子数 ( $2 e^-/\text{cell}$ ) に相当する。Fig. 3 のように  $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$  表面超構造全てについて、ユニットセル 3 つの伝導電子がある [6,7,10,12,20,21]。

$\sqrt{21} \times \sqrt{21}$  表面相の原子構造については、Table 2 のうち 4 つが陽電子回折によって決定されている [13-16]。Fig. 4 はこれら表面の陽電子回折ロックング曲線である。貴金属のみで構成されている  $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$  表面超構造同士は曲線が似ているがアルカリ金属を含む  $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$  表面超構造の曲線とは大きく異なる。これは貴金属のみで構成されている  $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$  表面超構造同士は構造が類似しているのに対し、アルカリ金属を含む  $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$  表面超構造とは異なることを意味する。実際に陽電子回折ロックング曲線に合うように構造最適化を行うと、表面は Fig. 5 のような 2 種類となる。両表面とも貴金属からなる Si(111)  $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$  表面のトライマー構造を基本とし、そこに  $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$  のユニットセルに対して 3 個のアダトム (adatom) が分配される。アルカリ金属を含む  $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$  相ではアダトム全てがアルカリ金属であり、そして均等に配置している (Fig. 5(a))。一方、貴金属のみの  $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$  表面超構造では 3 つの貴金属アダトムが集まっている (Fig. 5(b))。下地の  $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$  構造の金属被覆率は 1 ML で、 $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$  のユニットセルの 3 個の金属原子は 0.14 ML に対応するので全被覆率は 1.14 ML となり、試料表面作製のための蒸着量と一致する。

これまでの表面電子構造の研究により Si(111)  $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$  -Ag 表面は非占有状態として自由電子的なバンドを有し、 $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$  表面相はそこに電子が 3 つ入り、さらに  $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$  の周期にバンドが折り返されたものに対応する [6,7,12,20,21]。Fig. 3(b) は角度分解光電子分光によるバンドマッピングの結果で、自由電子的なバンドはゾーン境界でギャップを生じた NFE バンドを形成し、Fig. 1 の 2 次元六方格子のものにまさに対応していることが分かる。 $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$  表面相でのアダトムの数はユニットセル内で



**Figure 6** Calculation results for the stabilization energy ( $E_{bs}$ ) of the  $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$  surface superstructure based on the pseudopotential model.  $E_{bs}$  of the individual structure model, alkali or noble metal adatom is calculated by varying a number of electrons in a unit cell or the Fermi vector,  $k_F$ . The phase shift,  $\delta_F$ , is fixed at the optimized value for  $3e/\text{cell}$ .

3個なので、ちょうど1個のアダトムが1個の電子を表面状態バンドにドーピングし、アダトムはそれぞれ一価イオンとして吸着している計算となる。実際、陽電子回折による構造解析からも、アダトムの吸着サイトでの結合距離はイオン半径から予想される値に近く、この結果を支持する [13-16]。

### 3. 表面2次元電子化合物

以上のように Si(111) 表面の金属共吸着で形成する全ての  $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$  合金秩序相は 1.14ML の被覆率とユニットセル内に3個の価電子数を有し、平均価電子数と表面結晶周期に 1:1 関係がある。これはまさに表面において「電子化合物」の形成を意味し、その安定性を Jones モデルと擬ポテンシャルモデルから考察する [6]。

Jones モデルでは系の安定性は FE のエネルギーと NFE のエネルギーの差から計算される。 $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$  表面相は2次元 NFE バンドを有し、ゾーン境界で真性なギャップを形成する。そのため計算すると  $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$  表面相はユニットセル内の電子数が2個の時に最も安定であり [6]、光電子分光の結果と一致しない [6,7,10,12,20,21]。そのため、Jones モデルは適当ではない。

一方、擬ポテンシャルモデルでは、系の安定エネルギー (Band structure energy,  $E_{bs}$ ) は以下の2次元フリーデル振動の式 ( $V(r_{ij})$ ) で与えられる [6]。

$$E_{bs} = \frac{1}{2} \sum_{i \neq j} V(r_{ij}) \quad (1)$$

$$V(r_{ij}) \sim -\xi_F \left[ \frac{2 \sin(\delta_F)}{\pi} \right]^2 \frac{\sin(2k_F r_{ij} - 2\delta_F)}{(k_F r_{ij})^2} \quad (2)$$

ここで  $\xi_F (= \hbar^2 k_F^2 / 2m^*)$  と  $\delta_F$  はそれぞれフェルミエネルギーと位相シフトである。上記の電子構造の議論により、フェルミ波数 ( $k_F$ ) として表面状態バンドの値を代入し、イオン間隔 ( $r_{ij}$ ) としてアダトム間の距離 ( $d_s, d'_s$ ) を代入するのが妥当である。一方、アダトムでの位相シフト ( $\delta_F$ ) については、まず光電子分光による電子状態解析で決定した  $k_F$  と、陽電子回折の構造解析で決定したアダトム間距

離を (1) と (2) 式に代入する。そしてそのエネルギー ( $E_{bs}$ ) 値が最小となる位相シフトの値を最適値として  $\delta_F$  を求めた。Fig. 6(a) はその結果で、貴金属のアダトムの場合は  $\delta_F = 0.67\pi$  でアルカリ金属のアダトムでは  $\delta_F = 0.49\pi$  となる。この  $\delta_F$  の値を用いて、電子数に対して  $E_{bs}$  を求めると Fig. 6(b) となり、ユニットセル内の価電子数が3個の時に最も系が安定となり、実験結果 (Table 2) を再現する。アルカリ金属の一価イオンではフリーデルの総和則を用いて  $\delta_F$  を理論的に導出することができ [22]、 $\delta_F = 0.5\pi$  となる。また金属 (Cu) 表面上のアルカリ金属 (Cs) イオン回りのフリーデル振動の観測でも位相シフトは  $\delta_F = 0.43 \pm 0.08\pi$  であり [23]、上記の  $\delta_F$  の値は妥当であることが分かる。一方、貴金属の  $\delta_F$  値について調べるために、 $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$  表面を構成する3角 Ag クラスタ [6,8] を Si(111) $\sqrt{3} \times \sqrt{3}$ -Ag 表面に用意し、その周りのフリーデル振動から Ag 原子での位相シフトを調べたところ、 $\delta_F = 0.63 \pm 0.05\pi$  であり上記  $E_{bs}$  の最小値から求めたものと一致した。

このように擬ポテンシャルモデルは  $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$  表面相の結晶周期と価電子数を明確に説明し、さらにアルカリ金属と貴金属の構成元素による表面原子構造の違いをアダトムの位相シフトの違いとして定量的に解釈することもできた。

### 4. まとめ

Si(111) 表面上に形成する  $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$  表面相は電子化合物としての特性を示し、光電子分光と陽電子回折の実験からその形成について研究した。電子化合物の安定性として提唱されている2つの理論モデルのうち、擬ポテンシャルモデルでは明確に電子構造と原子構造の実験結果を説明することができたが、Jones モデルではできなかった。実は Jones モデルは Anderson らによって Si(111)7x7 表面超構造の安定性を議論する上で提唱されたことがあった [24] が、後に不對電子 (ダングリングボンド) の数を減らすモデルが正しいことが分かった。 $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$  表面超構造と 7x7 表面超構造はその結晶周期が数 nm ある。そのため、このような長周期構造では単位胞内での原子配置の寄与も無視できないようであり、周期のみで議論する Jones モデルは不適切となり原子構造を元にした擬ポテンシャルモデルの方が妥当となったと考えられる。

本研究は光電子分光の電子構造解析と陽電子回折の原子構造解析の結果を合わせて、表面合金層形成の詳細に踏み込むことができた。現在両手法の高度化と高分解能化が著しく進んでおり、両者の連携によって今後も様々な珍しい表面物性が明らかになると期待される。

### 謝辞

本研究は中村史一氏、久保敬祐氏、平原徹氏、山崎詩郎氏、Won Hoon Choi 氏、成田尚司氏、橋本美絵氏、小野雅紀氏、Han Woong Yeom 氏、河裾厚男氏、長谷川幸雄氏、長谷川修司氏、小林功佳氏と共同で行いました。Photon Factory BL-18A において、これまで  $\sqrt{21} \times \sqrt{21}$  表面の光電子分光実験が実施されてきました。

## 引用文献

- [1] C. Kittel, *Introduction to Solid State Physics*, Chapter 21 (Wiley, 1995).
- [2] U. Mizutani, *Hume-Rothery Rules for Structurally Complex Alloy Phases* (CRC Press, 2011).
- [3] T. B. Massalski and U. Mizutani, *Prog. Mat. Sci.* **22**, 151 (1978);
- [4] G. T. de Laissardiere, D. Nguyen-Manh, and D. Mayou, *Prog. Mat. Sci.* **50**, 679 (2005).
- [5] V.G.Lifshits, A.A.Saranin, A.V.Zotov, *Surface Phases on Silicon: Preparation, Structures, and Properties* (Wiley,1994).
- [6] I. Matsuda, F. Nakamura, K. Kubo, T. Hirahara, S. Yamazaki, W. H. Choi, H. W. Yeom, H. Narita, Y. Fukaya, M. Hashimoto, A. Kawasuso, M. Ono, Y. Hasegawa, S. Hasegawa, and K. Kobayashi, *Phys. Rev. B* **82**, 165330 (2010).
- [7] I. Matsuda, T. Hirahara, M. Konishi, C. Liu, H. Morikawa, M. D'angelo, S. Hasegawa, T. Okuda, and T. Kinoshita, *Phys. Rev. B* **71**, 235315 (2005).
- [8] C. Liu, I. Matsuda, M. D'angelo, S. Hasegawa, J. Okabayashi, S. Toyoda, and M. Oshima, *Phys. Rev. B* **74**, 235420 (2006).
- [9] C. Liu, S. Yamazaki, R. Hobara, I. Matsuda, and S. Hasegawa, *Phys. Rev. B* **71**, 041310(R) (2005).
- [10] M. D'angelo, M. Konishi, I. Matsuda, C. Liu, S. Hasegawa, T. Okuda, T. Kinoshita, *Surf. Sci.* **590**, 162 (2005).
- [11] Y. Fukaya, K. Kubo, T. Hirahara, S. Yamazaki, W. H. Choi, H. W. Yeom, A. Kawasuso, S. Hasegawa, and I. Matsuda, *e-J. Surf. Sci. Nanotech.* **10**, 310 (2012).
- [12] I. Matsuda and S. Hasegawa, *J. Phys. Cond. Mat.* **19**, 355007 (2007).
- [13] Y. Fukaya, A. Kawasuso, and A. Ichimiya, *Surf. Sci.* **600**, 3141 (2006).
- [14] Y. Fukaya, A. Kawasuso, and A. Ichimiya, *Surf. Sci.* **601**, 5187 (2007).
- [15] Y. Fukaya, I. Matsuda, M. Hashimoto, K. Kubo, T. Hirahara, S. Yamazaki, W. H. Choi, H. W. Yeom, S. Hasegawa, A. Kawasuso, and A. Ichimiya, *Surf. Sci.* **606**, 919 (2012).
- [16] Y. Fukaya, I. Matsuda, R. Yukawa, and A. Kawasuso, *Surf. Sci.* **606**, 1918 (2012).
- [17] A. Ichimiya, H. Nomura, Y. Horio, T. Sato, T. Sueyoshi, and M. Iwatsuki, *Surf. Rev. Lett.* **1**, 1 (1994).
- [18] J. Yuhara, R. Ishigami, and K. Morita, *Surf. Sci.* **326**, 133 (1995).
- [19] J. Yuhara, M. Inoue, and K. Morita, *J. Vac. Sci. Technol. A* **115**, 2714 (1993).
- [20] H. M. Zhang, K. Sakamoto, and R. I. G. Uhrberg, *Phys. Rev. B* **64**, 245421 (2001); *Phys. Rev. B* **70**, 245301 (2004).
- [21] J. N. Crain, K. N. Altmann, C. Bromberger, and F. J. Himpsel, *Phys. Rev. B* **66**, 205302 (2002).
- [22] P. Avouris, I.-W. Lyo, R. E. Walkup, and Y. Hasegawa, *J. Vac. Sci. Technol. B* **12**, 1447 (1994).
- [23] Th. von Hofe, J. Kröger, and R. Berndt, *Phys. Rev. B* **73**, 245434 (2006).
- [24] E. Tosatti and P. W. Anderson, *Solid State Commun.* **14**, 773 (1974).

## 著者紹介

松田巖 Iwao MATSUDA



東京大学物性研究所 准教授

〒 277-8581 千葉県柏市柏の葉 5-1-5

TEL: 04-7136-3402

Fax: 04-7136-3283

E-mail: imatsuda@issp.u-tokyo.ac.jp

略歴：2001年チューリッヒ大学物理学科博士研究員，同年東京大学大学院理学系研究科助教。2006年東京大学物性研究所 准教授。理学博士。最近の研究：時間分解真空紫外・軟X線分光による表面ダイナミクスの研究。

深谷有喜 Yuki FUKAYA



日本原子力研究開発機構先端基礎研究センター 研究副主幹

〒 370-1292 群馬県高崎市綿貫町一二三番地

TEL: 027-346-9330 FAX: 027-346-9432

e-mail: fukaya.yuki99@jaea.go.jp

略歴：2001年日本学術振興会特別研究員（DC2）。2003年横浜市立大学大学院総合理学研究所博士後期課程修了。現在、日本原子力研究開発機構先端基礎研究センター研究副主幹。博士（理学）。最近の研究：全反射高速陽電子回折を用いた最表面原子配列の直接決定法の開発。

反射高速陽電子回折 (RHEPD) による  $\text{TiO}_2$  (110) ( $1 \times 2$ ) 表面の構造解析朝倉清高<sup>1</sup>, 有賀寛子<sup>1</sup>, 望月出海<sup>2</sup>, 深谷有喜<sup>3</sup>, 和田健<sup>2</sup>, 兵頭俊夫<sup>2</sup><sup>1</sup>北海道大学触媒化学研究センター, <sup>2</sup>物質構造科学研究所低速陽電子実験施設,<sup>3</sup>日本原子力研究開発機構先端基礎研究センターStructure Analysis of  $\text{TiO}_2$ (110) ( $1 \times 2$ ) Surface by Reflection High Energy Positron Diffraction (RHEPD)Kiyotaka ASAKURA<sup>1</sup>, Hiroko ARIGA<sup>1</sup>, Izumi MOCHIZUKI<sup>2</sup>, Yuki FUKAYA<sup>3</sup>, Ken WADA<sup>2</sup>, Toshio HYODO<sup>2</sup><sup>1</sup>Catalysis Research Center, Hokkaido University, <sup>2</sup>Slow Positron Facility, Institute for Materials Structure Science,<sup>3</sup>Advanced Science Research Center, Japan Atomic Energy Agency

## Abstract

$\text{TiO}_2$ (110) 表面にできる ( $1 \times 2$ ) 再構成構造を反射高速陽電子回折法 (RHEPD) により決定した。これまで提案されてきたいくつかのモデルでこの RHEPD のロッキング曲線を解析したところ  $\text{Ti}_2\text{O}_3$  added row 構造だけが RHEPD のロッキング曲線を再現し、長年の懸案を解決した。

## 1. はじめに

表面はダンダリングボンドを持ち、安定化するために再構成する。こうした再構成表面を調べることは、表面物性を明らかにするだけでなく、固体触媒研究においては、原子レベルでの触媒の反応活性の理解に重要である。 $\text{TiO}_2$ (110) 表面は、典型的な酸化物で半導体的特性を持つため、最も盛んに研究がされてきた酸化物表面である。この表面は再構成構造として ( $1 \times 2$ ) 構造を示すことが知られていたが、その原子レベル構造についてはいくつかのモデルが提案され、決着がついていない。最近、我々は陽電子回折を用いて、この  $\text{TiO}_2$ (110)( $1 \times 2$ ) の再構成表面構造を研究し、表面構造を決定した。これまでの  $\text{TiO}_2$ (110) に関する表面研究について簡単なレビューをし、本成果について述べる。

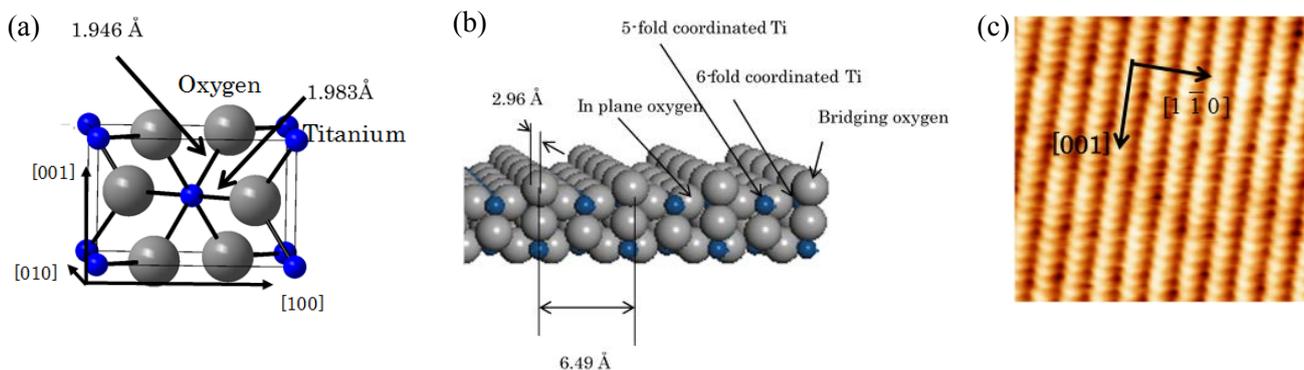
2.  $\text{TiO}_2$ (110) 表面研究

$\text{TiO}_2$  は光触媒 [1,2] や金属ナノ粒子触媒の担体 [3-5] など触媒化学にとって重要な役割を果たす酸化物の一つである。 $\text{TiO}_2$  には、いくつかの結晶構造が知られているが、その代表は正方晶系に属するルチル  $\text{P4}_2/\text{mnm}$  とアナターゼ  $\text{I4}_1/\text{amd}$  の 2 種類である。特にルチルの (110) 面は安定であり、古くから研究が行われてきた [6]。Fig. 1 にルチル型結晶構造とその (110) 面構造を示す。Ti は基本的に 6 配位構造をとり、Ti-O、Ti-Ti の距離は、それぞれ 2 種類ある。(110) 面には、2 つの特徴がある。1 つは、表面から酸素が突きだしており、1 列に並んでいることである。すなわち、この表面には異方性がある。この表面に露出し、1 列に並んだ O を Bridging oxygen (ブリッジ酸素) とよぶ。2 点目は、Ti が表面に露出している点である。この表面に露出した 5 配位の Ti を 5-fold coordinated Ti と呼ん

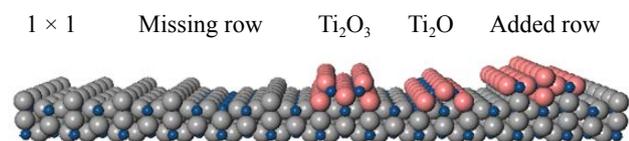
でいる。一方、Bridging oxygen の下にある Ti は、通常の 6 配位 Ti であるので、6-fold coordinated Ti と呼んでいる。また、Bridging 酸素より 1 段下にあり、5-fold coordinated Ti と 6-fold coordinated Ti を結合する酸素は In plane oxygen (面内酸素) と呼ばれる。

$\text{TiO}_2$  は、半導体的性質をもち、超高真空中で加熱すると  $\text{Ti}^{3+}$  が生成して電流が流れるようになる。このため、 $\text{TiO}_2$  単結晶表面では 1970 年代から表面科学的な研究がなされている。さらに、電気伝導性を必要とする STM (Scanning Tunneling Microscopy) も早くから適用され、その結果、原子分解能を有する  $\text{TiO}_2$ (110) 表面の像が取得されている (Fig. 1(c))。

この表面の吸着特性や反応性は主に 5-fold coordinated Ti と Bridging oxygen が担っている。 $\text{TiO}_2$  を還元していくと  $\text{Ti}^{3+}$  を生成し、 $\text{Ti}_2\text{O}_3$  になるが、その間にはマグネリ相と呼ばれる中間相をへる。表面ではこのマグネリ相が顔を出したりする [6,7]。また、還元反応の途中として、水素の吸着や Bridging 酸素の脱離で生じた欠陥についても STM で観測されている [8,9]。あるところまで還元を進めると、( $1 \times 2$ ) のパターンが LEED (Low-energy electron diffraction) にあらわれるようになる。金属の (110) の ( $1 \times 2$ ) パターンの類推からこの構造は Bridging 酸素が 1 列おきに欠損した Missing row 構造 [10] ということが容易に推測された (Fig. 2)。ところが、この表面を STM で観測すると、近接した 2 重の輝線が観測され、それが ( $1 \times 2$ ) 構造をもっていた [11]。大西と岩澤らは、Fig. 2 に示す  $\text{Ti}_2\text{O}_3$  構造を提案した [11]。この構造の特徴は、 $\text{Ti}^{3+}$  が表面の酸素が取り囲む 4 配位サイトに吸着し、2 重の  $\text{Ti}^{3+}$  の列を 2 倍周期で生成するものである。その後、post missing row model [12]、 $\text{Ti}_2\text{O}$  [13] や added row モデル [14,15] が提案された。こ



**Figure 1** (a) Unit cell structure of  $\text{TiO}_2$  rutile. (b) Surface structure of  $\text{TiO}_2(110)$ . (c) STM image of  $\text{TiO}_2(110)$  surface, Sample Bias Voltage : + 1.5 V  
Tunneling current : 0.2 nA.



**Figure 2** Various  $(1 \times 2)$  reconstructed structure models of  $\text{TiO}_2(110)$  surface.

のなかで、 $\text{Ti}_2\text{O}_3$  モデルが最有力とされているが [16,17], 近年、柴田らは、高分解能 HAADF STEM (High angle annular dark field scanning transmission electron microscopy) による  $\text{TiO}_2(110)$   $(1 \times 2)$  の原子像観察に成功し、 $\text{Ti}_2\text{O}$  モデルが妥当であるという主張をした [18]。このように  $\text{TiO}_2(110)$   $(1 \times 2)$  表面構造は発見されて 30 年が経ってもいまだ最終構造の決まっていない再配列表面である。

連携協定を結んでいる北海道大学と高エネルギー加速器研究機構との間で開かれた 2012 年度の定例連携シンポジウムにおいて、陽電子の表面研究の重要性が確認され、この古くからある未解決問題を、陽電子回折により共同して検証することになった。

### 3. RHEPD (Reflection high-energy positron diffraction)

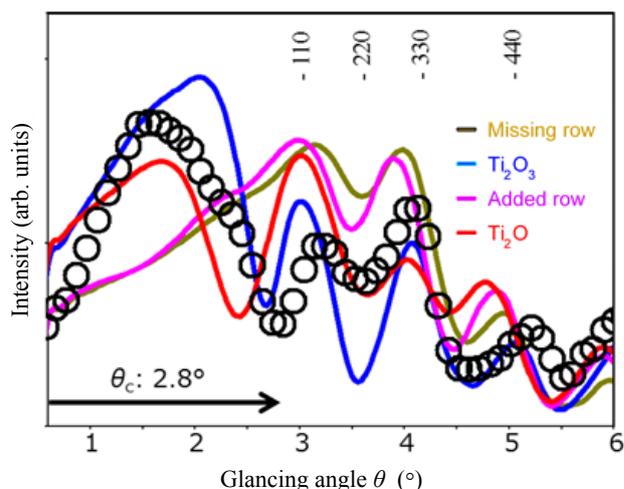
陽電子を用いた表面科学構造解析手法である LEPD (Low-energy positron diffraction) は、電子を用いた LEED と比べ、電子との交換相互作用がないことおよびイオン芯との静電的反発により、物質との相互作用が単純化され、解析が容易になるとされている [19,20]。一方、RHEED (Reflection high-energy electron diffraction) の電子を陽電子に換えた RHEPD (Reflection high-energy positron diffraction) は、結晶内部に存在するイオン芯との反発により、臨界角以下では、陽電子が物質中に入らず、表面第一層から反射するため、著しく表面敏感になる [21-23]。従来は同位体から放出される陽電子が用いられてきた。KEK-PF においては、低速陽電子実験施設 (SPF) の専用ライナックを用いて発生させた高強度陽電子ビーム [24] を用いて、この RHEPD による表面科学研究が展開されている。最近では、 $\text{Ag}(111)$  表面上のシリセンの構造解析が話題になった [25]。

### 4. $\text{TiO}_2(110)$ $(1 \times 2)$ 表面の RHEPD

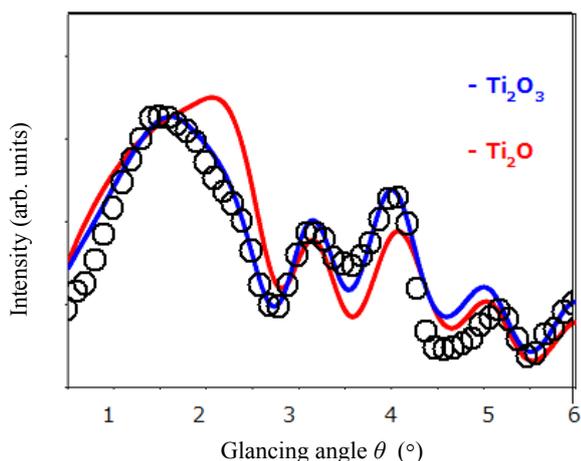
実験は SPF にある RHEPD を有する超高真空チャンパーでおこなった。 $\text{TiO}_2(110)$  表面は、Sputtering と通電加熱による annealing 後、30 分間 1200 K でアニールした。測定は  $[1\bar{1}0]$  方向から  $22.5^\circ$  ずらした方位角でビームを入射させ、入射視射角を  $0\sim 6^\circ$  の範囲で変化させて (00) スポットの強度変化を調べ、RHEPD ロッキング曲線を取得した。ここでは異なる 2 枚の  $\text{TiO}_2(110)$  単結晶について合計 3 回の測定を行い、それらを平均した。また測定後に RHEED を用いて  $(1 \times 2)$  パターンを確認した。

Fig. 3 にその結果を示す [26]。臨界角は  $2.8^\circ$  であり、これ以下の視斜角では表面第一層からの反射になると考えられる。この角度以下で、実験値 (○) は  $1.5^\circ$  付近にピークを持つが、Missing row および added row モデルはなだらかに強度が上昇していきただけであり、表面構造としてはふさわしくないものと考えられる。一方、 $\text{Ti}_2\text{O}_3$  モデルおよび  $\text{Ti}_2\text{O}$  モデルは臨界角以下にピークを持っている。したがって、表面構造はこの 2 者に近いものと考えられる。

この 2 つの構造モデルに対して、さらにバルク原子の



**Figure 3** RHEPD rocking curve of 00 spot of the  $\text{TiO}_2(110)$   $(1 \times 2)$  (open circle) and theoretical curves calculated with various model structures, missing row (purple), added row (green),  $\text{Ti}_2\text{O}_3$  (Blue),  $\text{Ti}_2\text{O}$  (red). (Only the surface structure is correctly included.)



**Figure 4** RHEPD rocking curve of 00 spot of the  $\text{TiO}_2(110)$  ( $1 \times 2$ ) (Open circle) and theoretical curves calculated with various model structures,  $\text{Ti}_2\text{O}_3$  (Blue) and  $\text{Ti}_2\text{O}$  (red) (Both surface and bulk structures are optimized.)

影響も加えて、原子位置、特に面に垂直方向の最適化を試みた [26]。すると Fig. 4 に示すように、 $\text{Ti}_2\text{O}_3$  モデルでは、 $2.8^\circ$  以下の表面ピークを再現することができた (信頼係数:  $R=1.7\%$ )。さらに、バルク情報も含む臨界角以上の入射角においても  $\text{Ti}_2\text{O}_3$  モデルは、実験を良く再現している。一方、 $\text{Ti}_2\text{O}$  モデルでは、かなり原子位置を動かしても、信頼係数を改善することができなかった ( $R=3.1\%$ )。したがって、 $\text{Ti}_2\text{O}_3$  モデルがもっとも妥当であると結論された。大西らが  $\text{Ti}_2\text{O}_3$  モデルを提案してからも、20 年間議論が続いてきたが、RHEPD は  $\text{Ti}_2\text{O}_3$  モデルの妥当性をはっきりと示した。特に、表面敏感なピークの一一致は、決定的なものと言える。 $\text{TiO}_2$  は触媒担体としても重要であり、その表面での金属の構造も研究されている [3,27,28]。とくに、 $\text{TiO}_2$  は低温酸化活性で知られる Au のナノ粒子の良い担体である。Au のナノ粒子も ( $1 \times 2$ ) 表面の  $\text{Ti}_2\text{O}_3$  列にそって成長するといわれ、 $\text{Au}_{55}$  の icosahedral 構造が観測されている [29,30]。こうした金属と担体との相互作用、特に界面構造については、まだ十分にわかっているとはいえない状況にあり、STEM, STM, XAFS などで精力的な研究がなされている [29-35]。これに RHEPD や LEPD などに加わることで、新しい展開が期待される。

## 5. 謝辞

本研究は、2013U002 の課題のもとに実験を行った。また、KEK 大学加速器支援事業の支援をいただいております。ここに改めて感謝したい。

## 引用文献

[1] A. Fujishima, K. Nakata, T. Ochiai, A. Manivannan and D. A. Tryk, *The Electrochem. Soc. Interface*, 22, 51 (2013).  
 [2] A. Fujishima, X. Zhang and D. A. Tryk, *Surf. Sci. Reports*, 63, 515 (2008).  
 [3] K. Asakura, *Catalysis J. J. Spivey and M. Gupta Editors*,

RSC publishing, Cambridge, 24, 281 (2012).

[4] M. S. Chen and D. W. Goodman, *Science*, 306, 252 (2004).  
 [5] D. W. Goodman, *Catalysis Letters*, 99, 1 (2005).  
 [6] U. Diebold, *Surf. Sci. Reports*, 48, 53 (2003).  
 [7] G. S. Rohrer, V. E. Henrich and D. A. Bonnell, *Science*, 250, 1239 (1990).  
 [8] S. Suzuki, K. Fukui, H. Onishi and Y. Iwasawa, *Phys. Rev. Lett.*, 84, 2156 (2000).  
 [9] U. Diebold, J. Lehman, T. Mahmoud, M. Kuhn, G. Leonardelli, W. Hebenstreit, M. Schmid and P. Varga, *Surf. Sci.*, 411, 137 (1998).  
 [10] P. J. Moller and M. C. Wu, *Surf. Sci.*, 224, 265 (1989).  
 [11] H. Onishi and Y. Iwasawa, *Surf. Sci.*, 313, L783 (1994).  
 [12] P. W. Murray, N. Condon, G. and G. Thornton, *Phys. Rev. B*, 51, 10989 (1995).  
 [13] K. T. Park, M. H. Pan, V. Meunier and E. W. Plummer, *Phys. Rev. Lett.*, 96, 226105 (2006).  
 [14] C. L. Pang, S. A. Haycock, H. Raza, P. W. Murray, G. Thornton, O. Gulseren, R. James and D. W. Bullett, *Phys. Rev. B*, 58, 1586 (1998).  
 [15] R. A. Bennett, P. Stone, N. J. Price and M. Bowker, *Phys. Rev. Lett.*, 82, 3831 (1999).  
 [16] M. Blanco-Rey, J. Abad, C. Rogero, J. Mendez, M. F. Lopez, J. A. Martin-Gago and P. L. de Andres, *Phys. Rev. Lett.*, 96, 055502 (2006).  
 [17] M. Blanco-Rey, J. Abad, C. Rogero, J. Mendez, M. F. Lopez, E. Roman, J. A. Martin-Gago and P. L. de Andres, *Phys. Rev. B*, 75, 081402(2007).  
 [18] N. Shibata, A. Goto, S.-Y. Choi, T. Mizoguchi, S. D. Findlay, T. Yamamoto and Y. Ikuhara, *Science*, 322, 570 (2008).  
 [19] I. J. Rosenberg, A. H. Weiss and K. F. Canter, *Phys. Rev. Lett.*, 44, 1139 (1980).  
 [20] K. G. Lynn and H. Lutz, *Rev. Sci. Instrum*, 51, 977 (1980).  
 [21] Y. Fukaya, M. Maekawa, I. Mochizuki, K. Wada, T. Hyodo and A. Kawasuso, *J. Phys. Conf. Ser.*, 443, 012068 (2013).  
 [22] A. Ichimiya, *Solid State Phenom.*, 28, 143 (1992).  
 [23] A. Kawasuso and S. Okada, *Phys. Rev. Lett.*, 81, 2695 (1998).  
 [24] K. Wada, T. Hyodo, A. Yagishita, M. Ikeda, S. Ohsawa, T. Shidara, K. Michishio, T. Tachibana, Y. Nagashima, Y. Fukaya, M. Maekawa and A. Kawasuso, *Eur. Phys. J. D*, 66, 1 (2012).  
 [25] Y. Fukaya, I. Mochizuki, M. Maekawa, K. Wada, T. Hyodo, I. Matsuda and A. Kawasuso, *Phys. Rev. B*, 88, 205413 (2013).  
 [26] I. Mochizuki, H. Ariga, Y. Fukaya, K. Wada, T. Hyodo, T. Shidara, K. Asakura, M. Maekawa, and A. Kawasuso, in preparation.  
 [27] Y. Koike, K. Fujikawa, S. Suzuki, W. J. Chun, K. Ijima, M. Nomura, Y. Iwasawa and K. Asakura, *J. Phys. Chem. C*,

112, 4667 (2008).

- [28] Y. Koike, W. J. Chun, K. Ijima, S. Suzuki and K. Asakura, *Materials Transactions*, 50, 509 (2009).
- [29] Y. Maeda, T. Fujitani, S. Tsubota and M. Haruta, *Surf. Sci.*, 562, 1 (2004).
- [30] W.-J. Chun, K. Miyazaki, N. Watanabe, Y. Koike, S. Takakusagi, K. Fujikawa, M. Nomura, Y. Iwasawa and K. Asakura, *J. Phys. Chem. C*, 117, 252 (2013).
- [31] K. Asakura, S. Takakusagi, H. Ariga, W.-J. Chun, S. Suzuki, Y. Koike, H. Uehara, K. Miyazaki and Y. Iwasawa, *Faraday Discussions*, 162, 165 (2013).
- [32] W. J. Chun, K. Miyazaki, N. Watanabe, Y. Koike, S. Takakusagi, K. Fujikawa, M. Nomura and K. Asakura, *J. Ceram. Soc. Jpn.*, 119, 890 (2011).
- [33] N. Shibata, A. Goto, K. Matsunaga, T. Mizoguchi, S. D. Findlay, T. Yamamoto and Y. Ikuhara, *Phys. Rev. Lett.*, 102, 136105 (2009).
- [34] M. S. Chen and D. W. Goodman, *Top. Catal.*, 44, 41 (2007).
- [35] D. W. Goodman, *Catal. Lett.*, 99, 1 (2005).

## 著者紹介

朝倉清高 Kiyotaka ASAKURA



北海道大学触媒化学研究センター 教授  
〒001-0021 北海道札幌市北区北二十一条西十丁目  
TEL: 011-706-9113 FAX: 011-706-9113  
e-mail: askr@cat.hokudai.ac.jp

略歴：1984年東京大学大学院理学系研究科化学専攻中退，1984年東京大学理学部化学学科助手，1992年東京大学理学部化学学科講師。1995年東京大学理学部スペクトル化学研究センター助教授，1999年北海道大学触媒化学研究センター教授，理学博士。  
最近の研究：量子ビームによる触媒表面構造。

有賀寛子 Hiroko ARIGA



北海道大学触媒化学研究センター 助教  
〒001-0021 北海道札幌市北区北二十一条西十丁目  
TEL: 011-706-9115 FAX: 011-706-9115  
e-mail: ariga@cat.hokudai.ac.jp

略歴：2008年東京大学大学院理学系研究科化学専攻博士課程修了博士（理学）取得，2008年ドイツ Fritz Harber Institute 博士研究員，2009年北海道大学触媒化学研究センター特任助教，2010年北海道大学触媒化学研究センター助教。  
最近の研究：触媒・光触媒反応と表面構造の相関の解明。

望月出海 Izumi MOCHZUKI



高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所 研究員  
〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1  
TEL: 029-864-5661  
e-mail: mochizu@post.kek.jp

略歴：2012年高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所研究員。博士（理学）。  
最近の研究：高輝度・高強度陽電子ビーム回折法の開発と表面研究への応用。

深谷有喜 Yuki FUKAYA



日本原子力研究開発機構先端基礎研究センター 研究副主幹  
〒370-1292 群馬県高崎市綿貫町一二三番地  
TEL: 027-346-9330 FAX: 027-346-9432  
e-mail: fukaya.yuki99@jaea.go.jp

略歴：2001年日本学術振興会特別研究員（DC2）。2003年横浜市立大学大学院総合理学研究科博士後期課程修了。現在，日本原子力研究開発機構先端基礎研究センター研究副主幹。博士（理学）。  
最近の研究：全反射高速陽電子回折を用いた最表面原子配列の直接決定法の開発。

和田健 Ken WADA



高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所 特別助教  
〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1  
TEL: 029-864-5661  
e-mail: ken.wada@kek.jp

略歴：2005年東京大学大学院総合文化研究科博士課程修了。2005年東京大学教養学部附属教養教育開発機構助手（のち助教），2010年 KEK 物質構造科学研究所特別助教，現在に至る。博士（学術）。  
最近の研究：高強度低速陽電子ビーム装置開発とそのビームを用いた物質研究。

兵頭俊夫 Toshio HYODO



高エネルギー加速器研究機構物質構造科学研究所 特定教授  
〒305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1  
TEL: 029-864-5658  
e-mail: toshio.hyodo@kek.jp

略歴：1971年東京大学大学院理学系研究科物理学専攻中退，1971同年東京大学教養学部物理教室助手，1992年同教授，1996年東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻教授，2005年東京大学教養学部附属教養教育開発機構教授，2010年 KEK 物質構造科学研究所特別教授，2013年現職。理学博士。  
最近の研究：陽電子科学（原子分子・固体・表面）。

## 物構研特別シンポジウムを開催

放射光科学研究施設長 村上洋一

12月17日、KEK 小林ホールにて、物構研特別シンポジウム「物質・生命科学における大学共同利用～物構研のあり方を問う～」が開催されました。

物構研は、つくばキャンパスでは放射光施設フォトンファクトリー (PF) と低速陽電子施設、東海キャンパスでは、J-PARC の物質・生命科学実験施設 (MLF) の中性子とミュオンという量子ビーム施設を擁し、大学共同利用を推進する研究所です。

時代の変遷とともに大学共同利用の位置付けも変わりつつありますが、このような先端的大型施設は、幅広い分野のユーザーにいか「利用」されるべきか、またいかに「育成」され、施設として最大限の成果を創出すべきか、という観点に立ち返って議論をする場として、この物構研特別シンポジウムが企画されました。今回は、大学共同利用施設および共用促進法が適用される施設、それぞれの歴史的経緯や現状をお話いただいたうえで、物質・生命科学分野の大型施設の将来像について、パネルディスカッションを含めて議論を行いました。特に、将来を担う人材育成の問題については、さまざまなアイデアや活発な意見交換がなされました。この議論は、すぐに何らかの結論が出せるようなものではありませんが、議論を深めていくことにより、大型施設のあるべき姿について、今後もシンポジウムは継続し、議論を深めて方向性を見いだしていくことになっています。



図1 挨拶をする山田物構研所長 (左上)、村上放射光科学研究施設長 (右上) と会議の様子 (下)。

## 第5回北海道大学・KEK 連携シンポジウム報告

放射光科学第二研究系 足立伸一

1月16、17日の二日間にわたり、高エネルギー加速器研究機構4号館セミナーホールにおいて、北海道大学とKEKとの連携シンポジウムが開催されました。このシンポジウムは北大-KEK連携協力協定に基づき、加速器科学を基盤とした相互連携研究の推進を目的として北大とKEKで毎年開催されているものです。プログラムの詳細は <http://imss.kek.jp/seminar/symposium/2014/0116/index.html> をご覧下さい。

16日に開催したシンポジウムの第1部「最新加速器技術と新規量子ビーム源の可能性」では、コンパクト ERL によるレーザー逆コンプトン X 線の発生とその理論的背景、電子加速器による中性子の発生、レーザー逆コンプトン  $\gamma$  線による偏極低速陽電子ビームの発生など、新しい量子ビーム源の可能性について議論されました。

また17日の第2部「表面の構造と電子状態—全反射高速陽電子回折・角度分解光電子分光・超低速ミュオンと触媒研究」では、表面構造と触媒反応の計測をテーマとして、全反射高速陽電子回折 (TRHEPD)、超低速ミュオン、光電子分光、時間分解 XAFS など、複合的な量子ビーム計測手法を用いた研究例が報告されました。

次回第6回は、2015年度に北海道大学にて開催される予定です。



図1 会議の様子 (上) と集合写真 (下)。

### 星野 学氏, 日本結晶学会進歩賞を受賞

2013年11月6日

東京工業大学大学院理工学研究科物質科学専攻・産学官連携研究員（KEK 物質構造科学研究所協力研究員）の星野学氏が、平成25年度の日本結晶学会進歩賞を受賞しました。この賞は結晶学の進歩発展に寄与し、優秀な研究を発表した35歳未満の研究者に授与されるものです。

受賞対象となった研究は「単結晶X線構造解析による短寿命励起分子構造の可視化」です。光エネルギーを利用する光触媒反応や高速光スイッチング素子などの開発は、グリーンイノベーションの観点からも社会的に関心を集めています。従来、光によって誘起される現象の観測には、主に分光法が用いられていましたが、分光法で得られる情報は電子遷移や分子振動に関するものであり、より詳細な構造解析が求められていました。

原子レベルの構造解析に用いられるX線結晶構造解析法は、時間的な平均構造を観測する手法ですが、近年、高強度のパルスレーザーと超短パルスX線光源の技術の発展により、結晶中の分子の立体構造が変化する過程を直接観測することが可能になってきました。星野氏は、ピコ秒（1兆分の1秒）パルスレーザーとフォトンファクトリーPF-ARの超短パルスX線光源を組み合わせ、分子の一瞬の姿（立体構造）を捉えるポンプ-プローブ単結晶構造解析を行いました。

その結果、この手法を用いて有機光触媒の光誘起電子移動、および光や温度変化によって伝導性や光学特性、誘電率の変わる有機物質（TTF-CA 単結晶）の光誘起による相転移の構造変化を捉えることに成功しました。これは、分光法では得られない光励起に伴う光触媒や光スイッチング物質の分子構造変化を直接求めた研究で、今後の光反応における高速な構造変化を動的側面より解明する研究に発展するものと期待できます。

本賞は2013年10月12日の結晶学会にて、授与されました。



図1 授賞式の様子

### PF ユーザーの佐藤友子氏, 日本高圧力学会奨励賞を受賞

2013年11月26日

日本高圧力学会の2013年度奨励賞にフォトンファクトリーを利用して顕著な成果を上げている佐藤友子氏（広島大学 大学院理学研究科）が選出され、11月14日（水）～16日（金）に行われた第54回高圧討論会総会にて表彰されました。奨励賞は高圧力の科学・技術の進歩に貢献した若手研究者・技術者2名までに授与されるものです。

受賞対象となった研究は「高圧下におけるSiO<sub>2</sub>ガラスの振る舞いの解明」です。二酸化ケイ素（SiO<sub>2</sub>）は地殻を構成する物質の一つで、水晶や砂（石英）、窓ガラスとして身の回りに多く存在している物質です。地殻より下の地球内部は高温高圧であり、そのような環境下でのSiO<sub>2</sub>の振る舞いについて研究が進められています。

佐藤氏は、フォトンファクトリーのビームラインBL-18CやNE1Aなどを利用し、高圧を発生させる装置「ダイヤモンドアンビルセル」と放射光を組み合わせ、研究を進めてきました。

SiやOのような軽元素で構成され、かつ非晶質である物質は通常X線で見るとは困難ですが、X線の吸収を利用した密度測定および回折法による構造測定のための技術開発を行い、地球内部のマントル深部に相当する100万気圧までのSiO<sub>2</sub>ガラスの構造変化の測定に成功しました。その結果から、マントル深部でメルト（マグマ）と結晶（鉱物・岩石）の密度逆転が容易には起こらないことを指摘しました。

また、加圧したSiO<sub>2</sub>ガラスの塑性変形が、結晶のケイ酸塩とは大きく異なることを見だし、ガラスの永久高密度化現象と密接に関連する可能性を指摘しました。さらに、圧力媒体として広く使われているヘリウムが、SiO<sub>2</sub>ガラスの空隙に入り込ることにより、他の圧力媒体中では観測されない異常な挙動を示すことを発見しました。

このように、佐藤氏の挙げた業績は、地球科学のみならず、材料科学、凝縮系物理学など多くの分野に知見を与えたことが高く評価されました。



図1 左から、高圧学会長の高橋博樹氏（日本大学教授、PF高圧ユーザーグループ代表）と、受賞した佐藤友子氏。

## 吉松公平氏、日本放射光学会奨励賞を受賞

2014年1月15日

吉松公平氏（東京工業大学 大学院理工学研究科）がフォトンファクトリーに設置した装置（レーザー分子線エピキタシ装置）の改良，および利用実験の成果が認められ，日本放射光学会奨励賞を受賞しました。この賞は，日本放射光学会員である35歳未満の若手研究者を対象に，放射光科学に関する優れた研究成果に対して授与されるものです。

受賞対象となった研究は「放射光光電子分光による強相関量子井戸状態の観測」です。当時在籍していた東京大学尾嶋研究室では，ビームラインと直結したレーザー分子線エピキタシ装置で試料を作製した後，真空中のまま光電子測定槽に試料を搬送し，放射光によってその電子状態を観測する一体型の装置を開発していました。

この装置をフォトンファクトリーのビームライン BL-28 に移設し，絶縁層の基板の上に伝導性のバナジウム酸ストロンチウム ( $\text{SrVO}_3$ ) の厚さを制御して積層させ，強相関電子を微小領域に閉じ込める量子井戸の作製に成功しました。そして，放射光光電子分光法により，積層枚数による電子のエネルギー状態を調べ，エネルギーが飛び飛びの値になる「量子化」されていることを観測しました。これは層の厚さを変えるだけで，電子のエネルギーを制御できるということを示し，また電子の分布（電子の広がり）を層の厚さによって選択することも可能となります。

この業績は，遷移金属酸化物薄膜を用いた強相関電子系の量子井戸に着目し，電子の閉じ込め，振る舞いの制御に初めて成功した例として，高く評価されました。

掲載論文：“Metallic Quantum Well States in Artificial Structures of Strongly Correlated Oxide” Science 15 July 2011: 319-322. [DOI:10.1126/science.1205771]



図1 左から：宮本幸治（広島大学放射光科学研究センター）氏，吉松公平氏，日本放射光学会長・村上洋一氏（KEK 物構研教授），長坂将成氏（自然科学研究機構 分子科学研究所）

## 高草木達氏、日本化学会北海道支部奨励賞を受賞

2014年2月3日

高草木 達氏（北海道大学 触媒化学研究センター 表面構造化学研究部門）が日本化学会の北海道支部が授与する奨励賞を受賞しました。この賞は，北海道支部が平成15年より設置した賞で，日本化学北海道支部会員である40歳未満の若手研究者を対象に，化学の基礎または応用に関する貴重な研究をなし，その業績が特に優秀な者に授与するものです。

受賞対象となった研究は「単結晶表面上に構築した金属ナノ構造体の高分解能計測と表面化学プロセスの原子レベル観察」です。

触媒反応や薄膜が形成される時，表面では様々なナノ構造が形成され，その構造が材料の特性を大きく左右します。そのため，表面ナノ構造とその特性の関係を，原子レベルで理解することが重要です。高草木氏は，原子レベルの分解能を有する走査型トンネル顕微鏡やフォトンファクトリーの放射光を利用した表面回折実験や XAFS（ザフス，X-ray Absorption Fine Structure / X線吸収微細構造）測定から，触媒反応や薄膜形成プロセスに関わる金属ナノ構造体を多角的に解明しました。また，実際に反応プロセスをリアルタイム追跡することで，表面のナノ構造体が反応プロセスに影響をあたえる仕組みを明確にしてきました。

これらの業績は，原子レベル観察と実条件での動的観測によって得られた，多くの世界初の観測結果であり，表面化学，触媒化学，電気化学の理解発展に貢献してきたことが評価されました。



図1 左から：高草木氏，太田 信廣 日本化学会北海道支部長（北大電子研）

## オークリッジ国立研究所 (ORNL) 滞在記

日本原子力研究開発機構 関根由莉奈

2012年5月、私は初めてオークリッジ国立研究所 (Oak Ridge National Laboratory, ORNL) で中性子回折実験を行う機会を得ました。ORNLはアメリカ合衆国のテネシー州、Oak Ridgeという所にあるエネルギー省管轄の国立研究所です。ORNLに訪問した時の様子、感想について紹介したいと思います。

初めてのORNL訪問に際して、最初に思ったことはOak Ridgeとはどこにあるのか?という疑問でした。私にとって、Oak Ridgeは聞き慣れない地名でした。調べてみるとOak RidgeはKnoxvilleという町にあるMcGhee Tyson空港から約40kmの所にあることが分かりました。ORNLはそこからさらに約15km離れた場所に位置していました。McGhee Tyson空港へは日本からの直通便はなく、アトランタやデトロイトで乗り継ぎをする必要がありました。旅程を調べた結果、現地で車を運転する必要があることが分かりました。当初、私は運転経験が浅く、また海外で運転したことがなかったため、アメリカで車を運転することに不安を感じました。しかし、取りあえず国際運転免許証を取得してORNLへ旅立ちました。

今回は成田からアトランタへ行き、そこで乗り継ぎをしてMcGhee Tyson空港へ向かう旅程となりました。まず約13時間のフライトでアトランタ空港に到着しました。すぐに乗り継ぎの搭乗口へ向かいました。アトランタでの乗り継ぎでは、とても小さい飛行機に乗り込みました。飛行機内では私以外にアジア人はいなく、若干心細く感じました。普段、日本や海外の大都市では味わうことの出来ない感覚だったと思います。アトランタから1時間程でようやくMcGhee Tyson空港へ到着しました。McGhee Tyson空港は小さいながらも綺麗な空港で、落ち着いた雰囲気がありました。空港内で車をレンタルし、いよいよ車の運転することになりました。幸いにも、先にORNLに滞在して

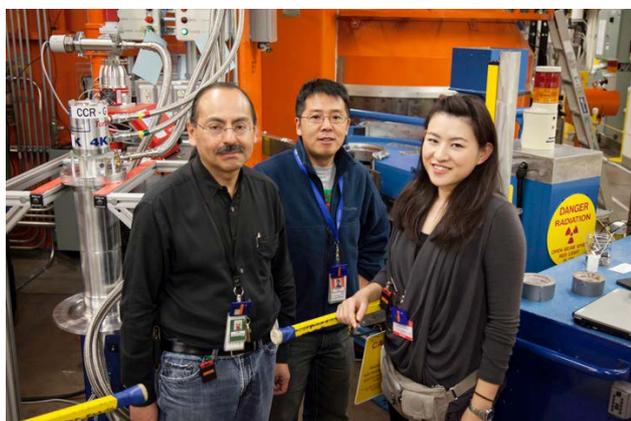


図1 装置責任者のDr. Jaime A. Fernandez-Baca (写真左)と装置担当者のDr. Songxue Chi (写真中)と筆者 (写真右)。

いた同僚の方が空港まで来てくださり、同乗してくれました。最初、左ハンドル、右側走行は変な感じがしましたが、すぐに慣れることが出来ました。日本での運転経験が浅かったことが良かったのかもしれません。到着した日はもう日が暮れていたためにそのままホテルで休みました。次の日、いよいよORNLへの訪問です。

ORNLへはホテルから車で向かいました。10分程走ると、建物はほとんどなく、木々が連なる景色が続きました。そこに突如ゲートが現れます。ゲートにいる警察官にパスポートや書類をチェックされた後、入構が許可されました。このゲートからさらに車で10分程の所にあるビクターセンターに向かい、そこで入構証やフィルムバッジを受け取りました。実験を行う予定の研究用原子炉施設 (High Flux Isotope Reactor, HFIR) へ行くため、さらに10分程車を走らせました。

HFIRでは、最初に施設を使用するためのトレーニングを受ける必要がありました。施設の人に説明を受けながら施設中を見学することになりました。施設の各装置の概要や緊急時の対応などに関して一通り説明を受けた後、施設の使用が許可されました。その後、実験という運びとなり、装置責任者のJaimeと装置担当者のSongxueが迎えてくれました。写真に写っている装置は、使用した広角中性子回折装置 (WAND) です。この装置は、日本原子力研究開発機構とORNLとの「中性子散乱日米科学技術協力」に基づいて開発されたものです。強いビーム強度を持つこと、さらに試料スペースが広く、様々な試料環境で測定出来ることが特色です。

私はこの装置を使って、高分子ハイドロゲル中の水の構造を調べています。ここで、少しゲル中の水について簡単に説明したいと思います。ゲルとは高分子編目と水から成る物質で、高分子に対して95%以上の水を含むことが出来ます。この物質は私達の生体にも“目”をはじめとする多くの組織に存在しています。このことから、コンタクトレンズ等のバイオマテリアルとして多くのゲル材料が開発されています。ゲルは水を主成分とすることから、水はゲルの性質に深く関与します。今まで、ゲル中には融点の異なる、自由水、中間水、束縛水の3種類の水が存在すると考えられています。私達は今までにラマン分光法を用いてゲル中に含まれる水が普通の水とは違う構造を持つことを明らかにしました。また、含水率の変化により3種類の水の比率が変化し、構造も変化していくことを見出しました。この水の詳しい構造を明らかにするため、WANDを用いた測定を行うことを計画しました。

写真は、WANDにTop loadingの冷却器を設置した様子を写したものです。実験では、試料を低温から室温に変化させて測定を行うことを計画していました。この時、試料環境整備を専門とする技術者の方達が冷凍機の設置を行ってくれました。ORNLの大変良い特徴の一つは、試料環境整備の技術者が数名在籍しており、彼らに頼むと様々な装置の設置や移動を素早く行ってくれるところです。彼らの



図2 今回使用した広角中性子回折装置 (WAND)。



図3 ORNL 敷地内で出会ったターキーとうさぎ。

協力の基、装置の設置が完了して実験がスタートしました。測定や温度の変更はマクロにより自動で行うことが出来ました。このマクロは非常に使い易かったです。このシステムのおかげで測定中は比較的自由に行動出来ました。測定の合間には Jaime の計らいにより、ORNL の研究者達と研究についてディスカッションする機会を得ました。今後の実験に大変有益なヒントを得ることが出来ました。ORNL 訪問の初日は、このように Jaime や Songxue、技術者の人達の助けを借りて無事に実験を始めることが出来ました。

ORNL では、ビジターは原子炉から少し離れた(徒歩2分程)建物の中で、机とPCがある仕切られたスペースを1人につき1つ使用することが出来ます。この建物にはキッチンも完備され、テレビを見ながら休憩出来る部屋もあります。実験中はこの建物内で快適に過ごすことが出来ました。ORNL における食事についてですが、HIFR に近い建物に小さな食堂が1つあり、また、最初に行ったビジターセンター内にも大きな食堂が1つあります。ORNL の敷地外の Oak Ridge 周辺にも飲食店がいくつか点在しており、滞在時のディナーはステーキレストランへ行く頻度が多かったです。やはりアメリカは牛肉が安くておいしいです。ただ、味付けはほとんど塩と胡椒のみなので、日本の醤油の味付けと比べると私には少し物足りなく感じました。

Oak Ridge での滞在時、日用品の買い出しのために、現地のショッピングセンターに行く機会があり、町の雰囲気を感じることが出来ました。Oak Ridge は白人が多くを占める小さくのんびりした町です。町の人も穏やかな人が多いように感じました。ある日、ハンバーガーレストランで私が注文の仕方が分からず躊躇していると、後ろに並んでいた老婦人が注文を助けてくれました。さらに気付かないうちに私の分の支払いまで済ませておいてくれたのです！一人きりで困ってしまった際に、このように親切にされたことはとても嬉しかったです。今でも感謝しています。

ORNL は大変自然豊かな所にあり、様々な動物が生息し

ています。写真は、ORNL 敷地内で出会ったターキーとうさぎです。車を運転していると、時々写真のようなターキーの群れや鹿、リス、ウサギなどが飛び出してきました。気をつけて運転しなければいけません。秋には、敷地内で増え過ぎた鹿を駆除するためにハンターが所々にいるそうです。動物だけではなく、様々な昆虫もいます。滞在中、実験を終えて車でホテルに帰る際、感動的な風景を見ることが出来ました。それは、草原一面に広がる緑の光でした。暗闇に多くの小さい緑の光が浮き上がる風景は幻想的なものでした。調べると光の正体は蛍でした。日本では、蛍は綺麗な水辺にいる印象を受けますが、実は蛍は約2000種に分かれ、その中の大半以上は陸地に生息するとのこと。毎年、テネシー州では春から夏にかけて蛍が見られるそうです。

途中何度か試料や測定条件を変えて7日間の実験を終えました。実験からは、ゲル中の水は普通の水と大きく異なり水素結合が弱い状態で存在しているというラマン分光法の結果と一致する結果を得ました。この結果について現在論文を投稿中です。更に詳しい構造評価を行うため引き続き WAND での実験計画を進めているところです。

以上のように、アメリカでの車の運転等、緊張する場面もありましたが無事に ORNL へ初訪問し実験を行うことが出来ました。現在までに、WAND をはじめ小角中性子散乱装置 (GP-SANS) 等を用いて4回実験を行うことが出来ました。これらの装置を使って主に水や高分子の構造評価を行っています。ORNL は日本から行くには少し不便な場所がありますが、装置担当者の方々のサポート体制も良く、とても素晴らしい実験施設だと感じています。

## APS, HPCAT における高圧下での液体の研究ビームライン

カーネギー地球物理研究所, HPCAT 河野義生

私は、約3年前より、アメリカ、イリノイ州のアルゴンヌ国立研究所内にある放射光施設 Advanced Photon Source (APS) の Sector 16, HPCAT でビームラインサイエンティストとして働いています。HPCAT は、High Pressure Collaborative Access Team の略称で、カーネギー研究所が運営する高圧放射光実験専門のビームラインになります。HPCAT は1つのビームラインではなく、4つの実験ステーション(+4つの光学機器ハッチ)を持ち、それら4つはすべて同時に実験しているの、日本の放射光施設の感覚からいうと、4つのビームラインがあるという考え方の方が分かりやすいかと思います。HPCAT は主にダイヤモンドアンビルセルを用いた高圧実験が主流ですが、最近ビームライン 16-BM-B にパリーエジンバラ (PE) 型の高圧プレスを導入し、高圧プレス実験も開始してしまし、私はその高圧プレス実験の責任者として働いています。

ビームライン 16-BM-B の PE プレス実験の主な研究テーマは、高圧下における液体やアモルファス物質の構造、物性の研究になります。高圧下における結晶の研究は、世界各地のビームラインで数多く研究がなされていますが、それに比べて高圧下における液体の研究は非常に限られているのが現状です。日本でも PF や SPring-8 で、高圧下での液体の構造、もしくは密度、粘性などの物性の測定は行われてはいますが、固体の研究にくらべて明らかに少なく、そのため、高圧ビームラインは液体の研究に最適化されていると言いがたいのが現状だと思えます。そこで、我々は、高圧下における液体の構造、物性研究の拠点となるような液体の構造、物性測定に最適化したビームラインを目指して、開発を続けています(ビームラインレビュー, Kono et al., 2013, Phys. Earth Planet. In., <http://dx.doi.org/10.1016/j.pepi.2013.09.006>)。

現時点での状況として、我々のビームラインでは、高圧高温 (7 GPa, 2500 K) 条件下で、液体もしくはアモルファス物質の構造、超音波弾性波速度、液体の粘性の測定が可能です。特に、構造測定と同時に、超音波弾性波速度、もしくは粘性が測定できるのが他のビームラインにない利点で、それにより、液体の構造と物性の関係を直接調べることが可能になっています。図1のハッチ内の右側にあるのが、最大荷重 200 トンの PE プレスになります。液体の構造測定は、マルチアングル - エネルギー分散 X線回折測定により行っています。また、X線ラジオグラフィ測定用のカメラを2つ備えていて、試料直後のカメラは主に超音波測定などで高精度の試料長測定に用いています(例えば, Kono et al., 2012, Rev. Sci. Instrum., 83, 033905)。一方、Ge-SSD 後ろには高速度カメラを設置しており、主に液体の粘性測定に用いています。この高速度カメラは、従来の

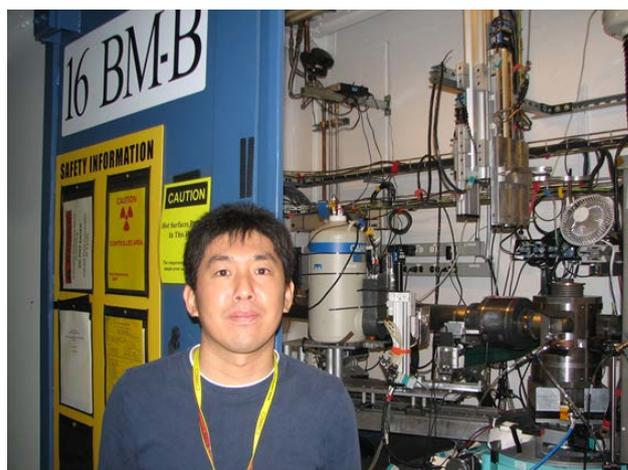


図1 APS, HPCATのビームライン16-BM-Bの実験ハッチと筆者。

高圧X線ラジオグラフィ測定で用いられていたカメラフレームレート (30-60 フレーム / 秒) を遙かに凌ぐ 10,000 フレーム / 秒以上の録画が可能であり、これにより、粘性率の大きな珪酸塩マグマなどのみならず、金属や塩、水などの低粘性液体の粘性を精度良く測定することが可能となりました(例えば, Kono et al., 2013, Phys. Rev. B, 87, 024302)。ビームライン 16-BM-B は液体の研究実験が主とはなっていますが、限定はしておらず、実際固体試料の弾性波速度測定なども行っています。

HPCAT で通常のユーザーが実験を行うためには、年3回ある APS の General User Proposal ([http://www.aps.anl.gov/Users/apply\\_for\\_beamtime.html](http://www.aps.anl.gov/Users/apply_for_beamtime.html)) を通してビームタイムを申請する必要があります(次回、6-8月期のビームタイム申請締め切りは3月7日です)。ビームタイムが採択されると、HPCAT では、Local contact と呼ばれる担当者(ビームラインサイエンティスト)がそれぞれのユーザーに割り当てられ、その担当者と実験の詳細を議論することになります。もちろん、プロポーザル提出前にコミュニケーションを持つことがほとんどですので、多くの場合はすでに研究などの打ち合わせが済んでいて、Detectorは何を使うかなどの実験の実験についての細かいセットアップの話をするようになります。16-BM-B は研究内容によりセットアップがほとんど固定されているので、あまりそのようなビームラインセットアップの打ち合わせはありませんが、一方で、高圧プレス用のセルをどうするかなどの打ち合わせをします。これは日本の放射光施設での高圧プレス実験と大きく違うところで、HPCAT では基本的には高圧プレス用のセルパーツなどのほとんどすべてをユーザーに供給しており、ユーザーは試料を持ってくるのみというのがほとんどです。世界的にみても、高圧プレス実験というのは経験者がいないとできないというイメージが強く、いい研究室があるのに二の足を踏んでいる研究者が多いような印象があるので、高圧プレス業界の裾野を広げる意味を含めて、未経験者でも実験ができる環境を整えるよう努力して

います。現状では、半分以上は高圧プレス未経験（だった）ユーザーですが、それでも多くの実験では1回目から良いデータがでています。このように、ユーザーサポート体制の充実を皆が意識しているのはこちらのチームラインの良いところだと思います（一方で、成果が出ているのに論文を書かないでいるユーザーには厳しいですが）。

HPCAT では、通常のユーザーだけでなく、短期、長期滞在者なども受け入れていますので、ぜひ実験しに来ていただくと幸いです。HPCAT のホームページ (<http://hpcat.gl.carnegiescience.edu/>) に他のチームラインを含めたHPCAT のより詳しい情報や、私を含めたチームラインサイエンティストの連絡先なども出ています。興味のある方は気軽に相談して下さい。

## PF トピックス一覧 (11月～1月)

KEK では2002年より「トピックス」、「ハイライト」、「プレスリリース」と題して最新の研究成果やプレスリリースなどを紹介していますが、PF のホームページ (<http://pfwww.kek.jp/indexj.html>) でも、それらの中から、またはPF 独自に記事を作成して掲載しています。各トピックスの詳細は「これまでのトピックス」(<http://pfwww.kek.jp/topics/index.html>) をご覧下さい。

### 2013年11月～2014年1月に紹介されたPF トピックス一覧

- 11.06 星野 学氏, 日本結晶学会進歩賞を受賞
- 11.07 ERL 開発棟の周回部建設状況
- 11.12 放射光実験を体験, サマーチャレンジ秋の実習
- 11.21 コンパクト ERL 放射線主任者試験に合格
- 11.21 反射高速陽電子回折法によりシリセンの構造決定に成功
- 11.26 PF ユーザーの佐藤友子氏, 日本高圧力学会奨励賞を受賞
- 11.28 京都大学・山田重人教授が物構研で講演 ～放射光でヒトの発生を観る～
- 11.28 Photon Factory News Vol. 31 No. 3 NOV 2013 がウェブに掲載されました。
- 11.29 大学共同利用機関シンポジウム2013 - 万物は流転する - を開催
- 12.02 TYL スクール理系女子キャンプ (2014/4/3,4; KEK つくばキャンパス) の参加者を募集しています。
- 12.02 【連載科学マンガ】カソクキッズ セカンドシーズン第14話「ミュオンと第2章まとめ」が公開されました。
- 12.02 文部科学省「情報ひろば」において企画展示を開催 ～加速器科学の過去・現在・未来～
- 12.04 第2回タンパク質結晶構造解析初心者向け合同講習会を開催

- 12.13 京都大学・北川宏教授が物構研で講演 ～元素融合で新物質を～
- 12.26 物構研特別シンポジウムを開催
- 12.26 光ビームプラットフォーム
- 01.09 誤差5%以内で金属の実効原子番号を測定するX線イメージング法を開発 ～透過X線の位相検出にX線干渉計を用いて高感度化～
- 01.10 鈴木厚人機構長「2014年 年頭のご挨拶」
- 01.15 吉松公平氏, 日本放射光学会奨励賞を受賞
- 01.20 鋳型を使わずにRNAを合成するしくみを解明
- 01.27 サイエンスキャンプDX開催
- 01.28 東大新領域・KEK 連携教育シンポジウム開催

### 新しく博士課程に進級された学生さんへ PF ニュースであなたの修士論文を紹介しませんか？ 博士論文も歓迎します！

PF ニュースでは、新しく博士課程に進級された学生さんの修士論文の研究内容を紹介するコーナーを設けております。PF で頑張っている博士課程の学生さん自身の紹介、また、その研究内容がアピール出来る場です。我こそはという博士課程の学生さんは、ぜひ下記のフォーマットに従い、あなたの修士論文の研究を紹介して下さい。また今年、修士課程から博士課程へと進学する学生さんが所属される研究室の指導教員の方は、積極的に学生さんにPF ニュースへの投稿を勧めて頂ければ幸いです。

【投稿資格】PF/PF-AR のビームラインを利用した研究に関する修士論文を執筆し、修士を取得した方。

#### 【投稿フォーマット】

1. 修士論文タイトル
2. 現所属、氏名、顔写真
3. 連絡先メールアドレス（希望者のみで可）
4. 修士号取得大学、取得年月
5. 実験を行ったビームライン
6. 論文要旨（本文1000文字以内）
7. 図1枚

#### 【原稿量】

図とテキストで刷り上り1ページ（2カラム）。

#### 【提出物・提出方法】

文字データと図表データをメール添付でPF ニュース編集委員会事務局・高橋良美 ([pf-news@pfqst.kek.jp](mailto:pf-news@pfqst.kek.jp)) までお送り下さい。

## 平成 25 年度第 2 回 PF-UA 幹事会並びに 運営委員会議事録

### 【幹事会】

日時：11 月 23 日（土）13 時～14 時 45 分  
場所：高エネルギー加速器研究機構 4 号館 2 階輪講室 1  
出席者：佐藤衛，朝倉清高，清水敏之，沼子千弥，井田隆，岡林潤，植草秀裕，朴三用，篠原佑也，伊藤孝憲，近藤寛，村上洋一，足立伸一，熊井玲児，千田俊哉

議題：運営委員会議事を参照

### 【運営委員会】

日時：11 月 23 日（土）15 時～17 時  
場所：高エネルギー加速器研究機構 4 号館 2 階輪講室 1  
参加者：佐藤衛，朝倉清高，清水敏之，岡林潤，植草秀裕，朴三用，篠原佑也，雨宮慶幸，井田隆，栗栖源，近藤寛，佐々木聡，高橋嘉夫，沼子千弥，藤森淳，船守，三木邦夫，百生敦，横谷明德，伊藤孝憲，足立伸一，熊井玲児，千田俊哉，村上洋一，河田洋

議題：

#### 1. 会長挨拶

2. 木村利用幹事が PF の職員になり幹事を外れることになったので，PF-UA 会則第 12 条に基づき，会長は伊藤孝憲氏（AGC セイミケミカルズ）を利用幹事に指名し，運営委員会で承認された。

#### 3. 施設報告（村上施設長）

##### (1) 将来計画関連について

日本学術会議のマスタープランとして新しい時代の科学技術立国を支える放射光科学の高輝度光源計画として高輝度 3 GeV 蓄積リングと回折限界リング計画が提案されている。これに関連して，KEK ロードマップには附記という形で高輝度 3 GeV 蓄積リングに対する KEK の姿勢が記述されている（平成 25 年 10 月 29 日）。さらに，物構研内部では，将来計画検討ワーキンググループを作って物構研の将来計画について議論しているが，ユーザーコミュニティとの連携も必要であるので，PF-UA に対して協力の依頼があった。

##### (2) 人事関連について

##### (3) 運転時間について

2013 年度は，電気代の値上がりの影響で，PF で 3500 時間台の運転時間になってしまった。震災前は 4000 時間を確保していたが，今は予算的に厳しい状況が続いている。PF-UA としては，4000 時間以上の運転時間を確保できる

よう，要望を出して行く。

##### (4) 放射光実験関連事項

- ・ PF-AR 直線入射路工事に伴う放射線遮蔽作業とビームタイム一部キャンセルについて
- ・ PF 直接入射路工事のため，PF-AR を 2015 年 7 月～12 月まで停止し，2016 年 1 月から 6.5 GeV 運転が可能である

##### (5) 2014 年前期課題申請状況 T 課題 3 名

##### (6) コンパクト ERL 関連事項

周回部の建設が終了し，2013 年度に周回運転達成，2014 年度に LCS ビーム。

(7) 物構研特別シンポジウム：2013 年 12 月 17 日 小林ホール。

(8) 物構研サイエンスフェスタ：2014 年 3 月 18 日（火），19 日（水）エポカルつくば。

### 5. PF-UA 幹事会からの報告

(1) 庶務幹事 PF-UA の賛助会員の増加を促進して行く。国際結晶年に関連するシンポジウムに共催する。

#### (2) 行事幹事

物構研サイエンスフェスタで，PF-UA 総会を行う。担当：清水幹事

放射光学会 合同シンポジウム（広島）2014 年 1/11-13 で PF-UA の集いを行う。担当：井田幹事 1/11 12:30-13:30 PF-UA の集い（12:00-13:30 幹事会）

(3) 利用幹事 P 課題 申請条件等についての変更提案

(4) 戦略将来計画 BL-4A がユーザー運営ビームラインとして運用が始まる。

(5) 選挙管理 次期会長選挙について，

(6) 教育担当 T 課題の募集を H25 年度 11 月期の課題募集から開始した。

- ・ 課題申請のサポートを PF-UA の HP で宣伝した。PF-UA T 課題申請相談室として 5 名のサポートが入る。
- ・ T 課題の条件として，かなり PF に常駐し，内部スタッフと連携して実験を行うことを強調する。
- ・ 学生のメリットは，PF スタッフを指導教員とすることができることである。
- ・ 学生の主体性を語るために，口頭での面接を行う。

### 6. P 課題の変更について（篠原幹事）

P 型課題：

1. 初心者型の申請の解釈を拡大し，経験者でも新しい手法に取り組む場合には，初心者型とする修正案。
2. 初心者型の申請に経験者排除条項を除く。
3. P 型課題の受け入れ時期を，これまで年 2 回から，随時に変更する。

2 点目について，PAC でかなり批判があったので，PF-UA

の運営委員の意見をいただいて、次回の PAC の会合に  
語りたい。

場合によっては、本来 G 型 / U 型課題で申請すべき課題に  
ついて、初心者や課題責任者として P 型課題として提出  
されるなど、P 型課題の趣旨とは異なる課題が提出される  
可能性もある。この点に関しては、申請提案が研究の予備  
的な検討の状態であれば問題ないと考えられる。間口を広  
げる、ということについてはいいのではないか。P 型で出  
てきたものが G 型の方がいいと思われる場合には、G 型  
を勧める。

#### 7. ビームタイムについて

電気代の高騰のため、運転時間が減らされており、例え  
ば XAFS 関連のビームタイムでは、配分率が 55% と非常  
に厳しい状況になっている。

この配分率の低下は、PF の Activity に影響を与える心  
配がある。

⇒これについて、PF-UA として KEK や物構研に要望を出  
した方がいい。

また、文科省から、採択率 90% という数字は、SPring-8  
の 70% に比較して高すぎるといった意見もあり、これが一  
人歩きしないように、注意が必要。採択率×ビームタイ  
ム配分率が実際の状況であるので、これを説明してゆく。

#### 8. 3 GeV リングと将来計画について

All Japan 体制を確認し、12 月 9 日および 10 日に東北大  
学金研で開催されるシンポジウム等を利用して東北計画と  
整合性をとることが重要であることが確認された。

## 人事異動・新人紹介

	発令年月日	氏 名	現 職	旧 職
(辞職)	H25.10.31	神谷 幸秀	研究支援戦略推進準備室学術フェロー	加速器科学支援センター シニアフェロー
	H26.2.7	岡本 淳	台湾放射光センター アシスタント・サイエンティスト	物構研 放射光科学第二研究系 特任助教
(昇任)	H26.1.1	張 小威	物構研 放射光科学第二研究系 特別教授	物構研 放射光科学第二研究系 研究機関講師
	H26.1.16	清水 伸隆	物構研 放射光科学第二研究系 准教授	物構研 放射光科学第一研究系 特別准教授
	H26.1.16	松垣 直宏	物構研 放射光科学第二研究系 准教授	物構研 放射光科学第二研究系 助教
(採用)				

- |   |
|---|
| 1. 着任日 2. 現在の所属・職種 3. 前所属・職種<br>4. 専門分野 5. 着任に当っての抱負 6. モットー<br>7. 趣味 |
|---|

## 「物構研サイエンスフェスタ 2013 第5回 MLF シンポジウム / 第31回 PF シンポジウム」開催のお知らせ

物構研サイエンスフェスタ実行委員長 阿部 仁  
下村浩一郎

「物構研サイエンスフェスタ 2013 第5回 MLF シンポジウム / 第31回 PF シンポジウム」を2014年3月18日(火)-19日(水)の日程で開催します。会場はつくば国際会議場(エポカルつくば)です。このシンポジウムは、施設側スタッフ、ユーザーの皆様が一堂に会することのできる機会ですので、是非ご参加下さいませようお願い申し上げます。

また、PFのユーザーグループに関しては、例年通り前日の3月17日(月)夕方にユーザーグループミーティングを開催していただきます。

今年度はMLFシンポジウムと合同開催となり、新しい交流も多く生まれ、ポスターセッションや懇親会等も含めてより盛大なシンポジウムとなりそうです。皆様のご発表、ご参加をお待ちしております。

**主催：**物質構造科学研究所、J-PARC センター、総合科学研究機構 (CROSS)、PF-UA、MLF 利用者懇談会

**共催：**茨城県

**後援：**東海村

**協賛：**日本物理学会、日本放射光学会、日本中性子科学会、日本中間子科学会、日本結晶学会、日本表面科学会、日本陽電子科学会、日本高圧力学会、中性子産業利用推進協議会、日本化学会、日本加速器学会、高分子学会、日本金属学会、日本機械学会、日本鉄鋼協会、日本原子力学会、応用物理学会、日本地球惑星科学連合、日本材料学会、日本放射化学会

**会期：**2014年3月18日(火)～19日(水)

**場所：**つくば国際会議場(エポカルつくば)  
茨城県つくば市竹園2-20-3

### 参加申し込み方法：

ホームページ (<http://imss-festa.kek.jp/2013/>) より参加申込フォームにてお申し込み下さい(ウェブでの参加申し込み、懇親会代事前申込は3月5日(水)まで。その後は当日会場にて)。

**参加費：**無料

**懇親会：**3月18日(火) 18:30～ 会場内アトリウム  
会費：事前払い5,000円(一般)、3,000円(学生)  
当日払い6,000円(一般)、4,000円(学生)

### プログラム：

**【3月18日(火)(1日目)】**

#### 物構研サイエンスフェスタ(大ホール)

08:30- 受付開始

09:00-09:10 物構研所長挨拶

09:10-12:00 サイエンスセッションI：水素とスピンの織りなす物性研究

09:10-09:35 「高密度水素化物の材料科学～量子ビーム活用も含めた研究の最前線」  
折茂慎一(東北大学)

09:35-10:00 「ミュオンで探るペロフスカイト型酸化物中の不純物水素の電子状態」  
伊藤 孝(日本原子力研究開発機構)

10:00-10:25 「水素ドープ型鉄ヒ素系超伝導体」  
細野秀雄(東京工業大学)

10:25-10:40 休憩

10:40-11:05 (仮)「計算機で見た固体の中の水素」  
常行真司(東京大学)

11:05-11:30 「電子ドープ系銅酸化物超伝導体における放射光と中性子の相補利用研究」  
石井賢司(日本原子力研究開発機構)

11:30-13:00 写真撮影/昼食

13:00-13:10 文部科学省来賓挨拶

13:10-13:20 高エネルギー加速器研究機構 理事挨拶

13:20-14:35 サイエンスセッションII：持続可能な社会への貢献

13:20-13:45 「TiO<sub>2</sub> 表面構造と触媒機能」  
有賀寛子(北海道大学)

13:45-14:10 「量子ビーム(中性子)を用いた鉄鋼材料の開発と評価」  
友田 陽(茨城大)

14:10-14:35 「人工光合成を目指した光触媒の開発」  
工藤昭彦(東京理科大学)

14:40-17:00 ポスターセッション(多目的ホール)

17:00-17:15 休憩(ポスター撤去、移動)

17:15-18:30 サイエンスセッションIII：生命科学と量子ビーム

17:15-17:40 「放射光と中性子の連携利用による構造生物学」  
三木邦夫(京都大学)

17:40-18:05 「高輝度軟X線を用いた対電子観測によるDNA損傷の物理学的プロセス」  
岡 壽崇(東北大学)

18:05-18:30 「世界中で整備が進む中性子回折装置と最近の成果」  
黒木良太(日本原子力研究開発機構)

18:40-20:40 懇親会(アトリウム)

### 【3月19日(水)(2日目)】

#### 第31回 PF シンポジウム (中ホール 300)

- 09:00-10:10 施設報告 [座長:阿部 仁]
- 09:00-09:30 施設報告 (村上洋一)
- 09:30-09:40 構造生物学研究センター報告 (千田俊哉)
- 09:40-09:50 構造物性研究センター報告 (村上洋一)
- 09:50-10:00 低速陽電子実験施設報告 (兵頭俊夫)
- 10:00-10:15 休憩
- 10:15-12:00 PF の運営に関する意見交換  
PF の運営に関する意見交換, PF 将来計画, ユーザー  
運転時間の削減問題など
- 12:00-13:00 昼食
- 13:00-14:00 光源・ビームライン報告 [座長:足立伸一]
- 13:00-13:15 「PF・PF-AR・PEARL 運転報告」  
(原田健太郎)
- 13:15-13:30 PF リング挿入光源更新計画 2013」  
(土屋公央)
- 13:30-13:45 「X線ビームラインの現状および整備計画」  
(五十嵐教之)
- 13:45-14:00 「軟X線・真空紫外ビームラインの現状お  
よび整備計画」(雨宮健太)
- 14:00-14:45 cERL 報告
- 14:00-14:15 「cERL のコミッションングの進捗状況」  
(島田美帆)
- 14:15-14:30 「cERL の超伝導空洞の開発現状」  
(阪井寛志)
- 14:30-14:45 「cERL レーザー・コンプトン散乱ビームラ  
インの現状と今後の展望」  
(羽島良一・日本原研究機構)
- 14:45-15:00 休憩
- 15:00-15:15 ポスター賞表彰式 (中ホール 300)
- 15:15-16:15 PF-UA 総会
- 16:15-16:30 閉会

#### 第5回 MLF シンポジウム (中ホール 200)

- 09:00-9:50 開会・施設報告
- 09:00-09:50 物質・生命科学実験施設報告 新井正敏
- 09:50-11:30 招待講演
- 09:50-10:20 「Emerging Battery Research in Indonesia: The  
Role of Nuclear Application」  
Evvy Kartini (BATAN)
- 10:20-10:30 休憩 (10分)
- 10:30-11:00 「ウラン化合物の磁性と超伝導 -MLF に  
寄せる期待-」 網塚浩 (北海道大学)
- 11:00-11:30 「中性子回折で観る高重水素組成の鉄重水  
素化合物  $\text{FeD}_x$  の多彩な構造と物性」  
青木勝敏 (東北大学金研)
- 11:30-12:40 ユーザー
- 11:30-12:00 MLF への要望
- 12:00-12:40 MLF 利用者懇談会, 昼食
- 12:40-12:50 休憩 (10分) 後, パラレルセッションへ。

#### パラレルセッション 会場1: 中ホール 200

- 12:50-14:50 ハードマター, 材料 (ダイナミクス)
- 12:50-13:20 「 $\text{Pr}_{1-x}\text{Ce}_x\text{Ru}_4\text{P}_{12}$  におけるリエントラント金属-  
非金属転移の量子ビーム散乱による研究」  
岩佐和晃 (東北大学)
- 13:20-13:50 「スピン 3/2 反強磁性交替鎖物質  $\text{RCrGeO}_5$   
( $R = \text{Y, Nd or } ^{154}\text{Sm}$ ) の非弾性中性子散乱  
研究」 長谷正司 (物材機構)
- 13:50-14:20 「偏極中性子散乱装置 POLANO の建設状況」  
横尾哲也 (KEK-IMSS, J-PARC センター)
- 14:20-14:50 「QENS 測定による  $\text{Na}_x\text{CoO}_2$  の Na イオン  
拡散解析」 野崎 洋 (豊田中研)
- 14:50-15:00 休憩 (10分)
- 15:00-15:30 ポスター賞授賞式 (中ホール 300), 休憩
- 15:30-17:30 ハードマター, 材料 (構造)
- 15:30-16:00 「 $\text{Ca}(\text{OD})_2$  の高圧下での熱膨張 -PLANET で  
の高温高圧中性子回折実験 -」  
永井隆哉 (北海道大学)
- 16:00-16:30 「無機カイラル磁性体におけるカイラル磁  
気ソリトン格子の検証」  
高阪勇輔 (青山学院大学)
- 16:30-17:00 「PDF 解析法を用いたスピネル化合物  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$   
における局所構造歪みの観測」  
樹神克明 (JAEA)
- 17:00 閉会

#### パラレルセッション 会場2: 中会議室 201

- 12:50-14:50 ソフトマター・生物・技術開発
- 12:50-13:20 「量子ビームで水和水の構造, 運動, 機能  
を観る」 菅原洋子 (北里大学)
- 13:20-13:50 「動的ポリマーブラシの構造とダイナミクス」  
横山英明 (東京大学)
- 13:50-14:20 「重合性テレケリックポリジメチルシロキ  
サンと親水性モノマーの共重合体が形成す  
るハイドロゲル中の不均一構造解析」  
山本勝宏 (名古屋工業大学)
- 14:20-14:50 「In-situ SEOP 方式偏極  $^3\text{He}$  中性子スピン  
フィルター的应用と磁気シールドの開発」  
吉良 弘 (CROSS)
- 14:50-15:00 休憩 (10分)
- 15:00-15:30 ポスター賞授賞式 (中ホール 300), 休憩
- 15:30-17:30 線源・デバイス・技術開発
- 15:30-16:00 「軽元素ドーパント直接観測のための中性子  
ホログラフィー法」  
大山研司 (東北大学金研)
- 16:00-16:30 「世界最大強度パルス核破砕中性子源・ミュ  
オン源に対する陽子ビーム入射の技術開発」  
明午伸一郎 (J-PARC センター JAEA)
- 16:30-17:00 「ミュオン生成標的の現状報告」  
牧村俊助 (J-PARC センター KEK)
- 17:00 閉会

**MSL ワークショップ「格子間水素同位体の位置と電子状態—酸化物を中心に」兼 MLF シンポジウムパラレルセッション 会場3：202A 会議室**

- 12:50-12:55 はじめに(趣旨説明) 門野良典 (KEK)  
12:55-13:20 「共有結合性結晶における不純物水素同位体の量子状態」(20分) 中西 寛 (阪大)  
13:20-13:45 「ペロフスカイト型酸化物中の不純物水素」(20分) 岩崎誉志紀 (太陽誘電)  
13:45-14:05 「固体中水素の電子状態と NMR 化学シフト」(15分) 佐藤暢哉・常行真司 (東大)  
14:05-14:25 「チタン酸バリウム中の格子間水素・ミュオンの電子状態」(15分) 髭本亘・伊藤孝 (JAEA)  
14:25-14:50 「マイエナイト (C12A7) 系およびアパタイト中のヒドリド (H-) イオン」(20分) 林 克郎 (東工大)  
14:50-15:00 休 憩 (10分)  
15:00-15:30 ポスター賞授賞式 (中ホール 300), 休憩  
15:30-15:50 「C12A7 中のミュオンの電子状態」(15分) 小嶋健児 (KEK)  
15:50-16:10 「超高压を用いた水素化合物の合成と鉄系超伝導体への応用」(15分) 飯村壮史 (東工大)  
16:10-16:30 「ルチル TiO<sub>2</sub> 中の格子間水素・ミュオンの電子状態」(15分) 下村浩一郎 (KEK)  
16:30-16:50 「ルチル型 SiO<sub>2</sub>・GeO<sub>2</sub> 中のミュオンの電子状態」(15分) 船守展正 (東大)  
16:50-17:10 「ルチル型酸化物半導体中の不純物水素の電子状態」(15分) 吉澤香奈子 (東大)  
17:10- 全体討論

**物構研サイエンスフェスタ 2013 実行委員：**

◎阿部仁(放射光), 岩野薫(放射光), 宇佐美德子(放射光), 遠藤仁(中性子), 大石一城 (CROSS), 岡崎伸生 (CROSS), 帯名崇(加速器七), 梶本亮一 (JAEA), 上條亜衣(放射光), 川北至信 (JAEA), 河村成肇(ミュオン), 鬼柳亮嗣 (JAEA), 幸田章宏 (ミュオン/MLF 利用者懇談会), 清水敏之 (東大薬/PF-UA), 清水伸隆 (放射光), ○下村浩一郎 (ミュオン), 鈴木淳市 (CROSS), 林好一 (東北大/PF-UA), 原田正英 (JAEA), 深谷有喜 (JAEA/PF-UA), 横谷明德 (JAEA/PF-UA), 和田健 (陽電子)  
(◎委員長, ○副委員長)

**CMRC 全体会議 開催のお知らせ**

**開催日：**平成 26 年 3 月 17 日 (月) 10:00 ~ 17:00

**場所：**つくば国際会議場 (エポカルつくば)  
中会議室 202B

**【プログラム】**

- 10:00-10:10 今年度の CMRC 概要説明 (村上)  
元素戦略(電子材料)：鉄系超伝導体の新展開  
10:10-10:35 ミュオンで見た水素ドープ鉄系超伝導体の電子相図 (小嶋 or 平石)  
10:35-10:55 水素ドープ鉄系超伝導体における磁気秩序構造 (平賀)  
10:55-11:20 光電子分光による鉄系超伝導体の性質 (下志万)  
11:20-11:40 放射光 X 線回折による鉄系超伝導体の新奇秩序構造の観察 (山浦)  
11:40-12:10 鉄系超伝導体における軌道の物理 (紺谷)  
昼食休憩 12:10-13:30  
元素戦略(磁性材料)  
13:30-14:00 Ne<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B の磁化反転過程 (小野)  
14:00-14:20 Sm<sub>2</sub>Fe<sub>17</sub>N<sub>3</sub> の磁気構造解析 (斎藤)  
表面・界面科学  
14:20-14:30 先端のプロープで探る表面・界面 (雨宮)  
14:30-14:55 深さ分解 XMCD と偏極中性子反射率による FeMn/Ni 界面における特異な磁気状態の観察 (雨宮, 酒巻, 水沢, 武田)  
14:55-15:15 休憩  
15:15-15:20 KEK 低速陽電子施設の反射高速電子回折実験の紹介 (和田)  
15:20-15:40 Pt/Ge(001) 表面構造解析と電子状態 (望月)  
15:40-16:00 Si(111)-√21 × √21Ag 表面構造解析とフェルミ面 (松田)

マルチプローブによる構造物性研究の今後の展開

- 16:00-17:00  
・摩擦と潤滑 (瀬戸) 10分  
・地球惑星科学 (近藤) 10分  
・強相関電子系における磁性と電子状態 (中尾) 10分  
・分子性結晶の構造解析 (熊井) 10分  
・物質中水素の量子状態観測 (大友) 10分  
・強相関酸化物超構造の新奇量子状態 (組頭) 10分

**【参加申し込み方法】**

参加申込フォームよりお申込みください。

<http://cmrc.kek.jp/form20140317.html>

※旅費・KEK 宿舍希望を伴う申込は締切ました。

## 平成 26 年度後期 フォトン・ファクトリー研究会の募集

放射光科学研究施設長 村上 洋一

物質構造科学研究所放射光科学研究施設（フォトン・ファクトリー）では放射光科学の研究推進のため、研究会の提案を全国の研究者から公募しています。この研究会は放射光科学及びその関連分野の研究の中から、重要な特定のテーマについて 1～2 日間、高エネルギー加速器研究機構のキャンパスで集中的に討議するものです。年間 6 件程度の研究会の開催を予定しております。

つきましては研究会を下記のとおり募集致しますので応募下さいますようお願いいたします。

### 記

1. 開催期間 平成 26 年 10 月～平成 27 年 3 月
2. 応募締切日 平成 26 年 6 月 20 日（金）  
〔年 2 回（前期と後期）募集しています〕

### 3. 応募書類記載事項（A4 判、様式任意）

- (1) 研究会題名（英訳を添える）
- (2) 提案内容（400 字程度の説明）
- (3) 提案代表者氏名、所属及び職名（所内、所外を問わない）
- (4) 世話人氏名（所内の者に限る）
- (5) 開催を希望する時期
- (6) 参加予定者数及び参加が予定されている主な研究者の氏名、所属及び職名

### 4. 応募書類送付先（データをメールに添付して送付）

放射光科学研究施設 主幹秘書室 石川 銀  
Email:gin.ishikawa@kek.jp TEL: 029-864-5196

なお、旅費、宿泊費等については実施前に詳細な打ち合わせのうえ、支給が可能な範囲で準備します（1 件当り上限 50 万円程度）。開催日程については、採択後に PAC 委員長と相談して下さい。また、研究会の報告書を KEK Proceedings として出版していただきます。

## 予 定 一 覧

2014 年

3 月 17 日	CMRC 全体会議（つくば国際会議場）
3 月 18 日～ 19 日	物構研サイエンスフェスタ 2013（つくば国際会議場）
5 月 9 日	PF 平成 26 年度第一期ユーザー運転開始
5 月 13 日	PF-AR 平成 26 年度第一期ユーザー運転開始
6 月 20 日	平成 26 年度後期フォトン・ファクトリー研究会公募締切
6 月 30 日	PF, PF-AR 平成 26 年度第一期ユーザー運転終了

※最新情報は <http://pfwww.kek.jp/spice/getschtxt> をご覧下さい。

# 運転スケジュール(April ~ July 2014)

E : ユーザー実験    B : ポーナスタイム  
M : マシスタディ    T : 立ち上げ  
MA : メンテナンス    HB : ハイブリッド運転

4月		PF	PF-AR	5月		PF	PF-AR	6月		PF	PF-AR	7月		PF	PF-AR
1(火)				1(木)				1(日)				1(火)			
2(水)				2(金)				2(月)				2(水)			
3(木)				3(土)				3(火)	HB	E		3(木)			
4(金)				4(日)	STOP	STOP		4(水)				4(金)			
5(土)				5(月)				5(木)	MA/M	MA/M		5(土)			
6(日)				6(火)				6(金)				6(日)			
7(月)				7(水)				7(土)				7(月)			
8(火)				8(木)	T/M			8(日)	E	E		8(火)			
9(水)	STOP	STOP		9(金)				9(月)	E	E		9(水)			
10(木)				10(土)				10(火)				10(木)			
11(金)				11(日)	E	T/M		11(水)	B	B		11(金)			
12(土)				12(月)				12(木)	M			12(土)			
13(日)				13(火)		E		13(金)				13(日)			
14(月)				14(水)	B	B		14(土)				14(月)			
15(火)				15(木)	M			15(日)	E	E		15(火)	STOP	STOP	
16(水)				16(金)				16(月)				16(水)			
17(木)				17(土)				17(火)				17(木)			
18(金)				18(日)	E	E		18(水)	B	B		18(金)			
19(土)				19(月)				19(木)	M	M		19(土)			
20(日)				20(火)				20(金)				20(日)			
21(月)	T/M			21(水)	B	B		21(土)				21(月)			
22(火)				22(木)		M		22(日)	E	E		22(火)			
23(水)				23(金)				23(月)				23(水)			
24(木)				24(土)				24(火)				24(木)			
25(金)				25(日)	E	E		25(水)	B	B		25(金)			
26(土)				26(月)				26(木)	M			26(土)			
27(日)				27(火)				27(金)				27(日)			
28(月)	STOP			28(水)	B	B		28(土)	E	E		28(月)			
29(火)				29(木)	M			29(日)				29(火)			
30(水)				30(金)		E		30(月)	STOP	STOP		30(水)			
				31(土)	HB							31(木)			

スケジュールは変更されることがありますので、最新情報はPFホームページ(<http://pfwww.kek.jp/indexj.html>)の「PFの運転状況／長期スケジュール」(<http://pfwww.kek.jp/unten/titlej.html>)をご覧ください。

## 放射光共同利用実験審査委員会速報

実験企画調整担当 兵藤 一行  
宇佐美徳子

2014年1月30日、31日に放射光共同利用実験審査委員会が開かれました。審議の結果、以下のように実験課題が採択されました。

### 1. G型、P型の審査結果

11月12日に締め切られた平成26年度前期のG型、P型の共同利用実験課題公募に申請された課題、G型192件、P型5件が審査され、G型187件、P型5件、計192件の課題が採択（条件付き採択課題を含む）されました。不採択課題は5件ありました。採択された課題の中で条件付きとされたものは12件でした。採択課題名および申請課題に対する評価の分布は別表を参考にして下さい。採択基準は評点2.5以上と設定されています。

条件付き採択課題は、申請者からの補足説明に対するPAC委員長の判断により条件が解除されて実施可能となります。この中には試料名やその安全性に関する記述が十分でないため、倫理委員会等の状況が不明なため、課題名が包括的であるために条件付きとなった課題が複数ありました。申請時には十分ご注意ください。また、申請書のV欄の記述が不十分な申請書が多く見受けられています。この欄には実験に使用する試料名とその安全性について記入していただくことになっています。施設の安全担当者が判断しやすいように、この欄は必ず記述していただくように改めてお願いいたします。特に生物由来の試料は由来生物種もご記入ください。

条件付き採択課題となった課題の決定通知書には、条件に関する最初の返答（最終返答でなくても結構です）に関

する期限（3月3日）を明記してあります。それまでに何の返答も無かった場合には不採択となりますのでご注意ください。

### 2. S2型課題の審査結果

S2型課題として3件の申請があり、2件が採択となりました。採択された課題は以下のとおりです。

#### 課題番号 2014S2-001

課題名：「有機分子集合体の物性発現機構の解明とその最適化のための構造物性研究」

責任者：KEK 熊井 玲児（有効期間3年）

#### 課題番号 2014S2-003

課題名：「結晶場解析による新しい量子格子液体系物質の研究」

責任者：名古屋大学 澤 博（有効期間3年）

### 3. T型課題の審査結果

今期から新設されたT型課題には4件の申請があり、3件が採択となりました。このT型課題は、ユーザーコミュニティ（PF-UA）と議論を重ねて新設された課題であり、PFを高度に活用した優れた研究を主体的に推進する大学院生を、大学とPFが共同して指導、支援を行い、放射光科学の将来を担う人材の育成を行うことを目的としています。

採択された課題は以下のとおりです。有効期間は、大学院博士課程3年次修了までです。今後も、この課題カテゴリーへの大学院生の積極的な応募を期待します。

参考）[http://pfwww.kek.jp/whats\\_new/announce130830.html](http://pfwww.kek.jp/whats_new/announce130830.html)

#### 課題番号 2014T001

課題名：「新規ジアルキル縮合酵素のX線結晶構造解析」

責任者：東京大学大学院 薬学系研究科 森 貴裕

#### 課題番号 2014T002

課題名：「強相関酸化物ヘテロ構造を用いた界面強磁性の設計・制御」

責任者：東京大学大学院工学系研究科 応用化学専攻 北村 未歩

#### 課題番号 2014T003

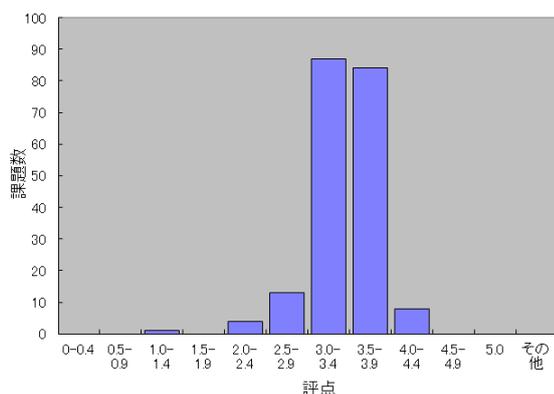
課題名：「 $\text{NaAlH}_4$  水素吸蔵放出機構の解明」

責任者：総合研究大学院大学 高エネルギー加速器科学研究科 藤崎 布美佳

### 4. PF研究会

今期は以下の2件の研究会が採択されました。

平成26年度前期PAC 評点分布



## 「次世代放射光源で期待される XAFS を活用したサイエンス」

提案代表者：朝倉 清高（北海道大学）、木村 正雄（KEK）、田淵 雅夫（名古屋大学）

開催予定時期：2014 年 4-5 月

## 「放射光イメージングを用いた産業利用の現状と将来展望」

提案代表者：米山 明男（日立製作所）

開催予定時期：2014 年 7 月

## 5. その他

以下の事項が PAC で確認、承認されました。

### ・放射光共同利用実験審査委員会委員の追加

木村 正雄 教授（KEK・PF）

### ・ユーザーグループ運営ステーションの新設

名称：マイクロビーム X線分析応用

ビームライン名：BL-4A

対応グループ名：マイクロビーム X線分析応用

代表者：広島大学 高橋 嘉夫

有効期間：2014 年 4 月から 2017 年 3 月

### ・P 型課題の条件変更について

PF の放射光共同利用実験課題では、予備実験および放射光実験初心者を受け入れるためのカテゴリとして、P 型課題（予備実験型、初心者型）を設置しています。2014 年 4 月から以下の 3 件を運用することになりました。

1. 放射光経験者が新しい手法を試みるための実験課題申請を初心者型に含める。
2. 初心者型の条項から経験者解除についての条項を削除する。これにより、初心者型実験を遂行する場合には、放射光経験者のサポートを得ることができるようになります。
3. P 型課題を随時受付とするとともに総合的な受付窓口を設置する。

### ・論文登録状況の評点への反映について

PF を利用して出版された論文の登録を促進するために、これまでに採択・実施された課題からの報告論文数が少ない課題申請者に対して、調査・問い合わせをして、その結果を課題評価に加味してきました。現在の基準を改めて下記に示します。このルールでは、論文登録に関する問い合わせに対して、何も回答が無い場合には「不採択」となります。回答をいただいた場合でも、下記のルールに従い回答内容を PAC で検討して減点する場合があります。

参 考 ) [http://pfwww.kek.jp/users\\_info/pac\\_application/pac\\_proc.html](http://pfwww.kek.jp/users_info/pac_application/pac_proc.html)

#### <現在の論文発表の課題審査への反映基準>

申請課題の採択時から遡って 2.5 年前から 8.5 年前に採択された課題が 2 件以上ある場合について、

1. 採択課題数の 1/3 以上の課題について論文が登録されていない実験責任者について、事情を照会する。
2. 調査の回答に基づき、問題点の解析を行う。
3. 回答がない実験責任者の申請課題は不採択とする。
4. 論文登録の少ない実験責任者の申請については、実験責任者からの回答、該当期間の課題に関する論文登録状況、学位論文等の登録状況を考慮して、PAC 分科会で評点の減点を提案し、PAC で決定する。減点は以下の基準で行う。
  - \* 2/3 以上の課題について論文登録がない場合は、-1.0 を基準とする。
  - \* 1/3 を越える課題について論文登録がない場合は、-0.5 を基準とする。

課題終了後から論文出版までの時間、各研究分野での論文出版状況を考慮して、より実質的な論文登録状況の評点への反映を行うために、2014 年 4 月から以下のように課題責任者に調査・問い合わせを行う条件を変更することになりました。

#### <新しい条件設定>

申請課題の有効期間が終了して 1 年が経過した課題から遡り、課題有効期間終了後 6 年が経過した課題が 3 件以上ある場合について問い合わせの対象とする。

また、課題申請をする時にこのようなことが起きないように、論文出版時には PF への論文登録を忘れずに、かつ速やかにしていただきますよう改めてお願いします。また、合わせて、PF を利用して博士論文、修士論文を取得された場合は、速やかに PF への学位論文登録をお願いします。

### ・ビームタイム延長 / 変更申請書に関する規定の削除について

課題申請時に記載したビームタイムの変更等があった場合に、ビームタイム延長 / 変更申請書を提出していただく規定になっておりましたが、PF-PAC ではビームタイムの長さに関する厳密な審議をしていないこと、課題有効期間中に実験状況の変化や加速器運転の都合によるビームタイムの削減やビームタイムキャンセルなどもあることから、ビームタイムの長さに関しては、ビームタイム配分時に運用上考慮することとし、この規定を削除することになりました。現在、ビームタイム配分は、実験課題責任者からの各期の配分申請を考慮してビームライン担当者が原案を作成し、その後、PF 内各サイエンスグループでの議論、PF-PAC 委員長が主催する PF ビームタイム配分委員会での議論を経て決定されています。

### ・その他

現在、新設が検討されている物構研の放射光、低速陽電子、中性子、ミュオンの 4 つの量子ビームのうち 2 つ以上を用いて研究を行うことが必要な研究プロジェクトに対応したマルチプローブ共同利用実験課題に関する情報交換、意見交換が行われました。

## 平成26年度前期放射光共同利用実験採択課題一覧

受理番号	課題名	所属	実験責任者	ビームライン
<b>1. 電子物性</b>				
2014G009	界面終端構造を制御した酸化物半導体薄膜の表面電子状態観測	Stanford Univ. U.S.A.	MINOHARA Makoto	2A
2014G013	高分解能光電子分光による酸化物プロトン導電体/電極薄膜の表面・界面の電子状態	東京理科大学	樋口 透	2A, 2B
2014G020	人工光合成のための可視光応答性光触媒の電子構造解析	東京理科大学	工藤 昭彦	2A, 2B
2014G075	Mn, Fe L-edge XMCD Study on room temperature magnetic refrigeration material MnFe(P,Si)Compounds	Inner Mongolia Normal Univ. CHINA	Gusi TE	16A, 7A
2014G091	サイズ選別した金属酸化物クラスター内原子のXAFSによる荷電状態測定	(株)コンボン研究所	早川鉄一郎	2B, 7A
2014G094	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 膜の界面磁気モーメントの観測	北海道大学	長浜 太郎	16A
2014G096	全反射XPSおよびXAFSによる超微量アルカリ金属の吸着状態解明	日本原研機構	馬場 祐治	27A
2014G100	大気非曝露搬送系を用いた二次電池電極材料の部分蛍光収量軟X線吸収分光	産総研	朝倉 大輔	11A, 7A
2014G108	分子の光解離で生成した原子対の”もつれ”	東京工業大学	穂坂 綱一	20A, 28A/B, 2B
2014G119	回転状態を制御した水素分子2電子励起状態の光解離	上智大学	小田切 丈	20A, 28A/B
2014G123	軟X線強磁性共鳴分光によるスピントロニクス材料の磁気ダイナミクス解析	物材機構	上野 哲朗	16A
2014G134	ブルシアンブルー類似錯体の軟X線吸収・共鳴X線発光分光2	大阪府立大学	岩住 俊明	11A, 7C
2014G135	軟X線分光によるリチウムイオン電池正極材料の電子状態解析	京都大学	豊田 智史	2A
2014G136	パーコレーション型イオン電子混合伝導性ペロブスカイト型酸化物の電子構造	東京大学	山口 周	11A, 13A/B
2014G148	生体試料観察を目的とした軟X線イメージングにおける位相情報活用の検討	東海大学	伊藤 敦	11A, 16A, 2A
2014G157	高い熱電性能を示すペロブスカイト酸化物(Sr,La)(Ti,Mn)O <sub>3</sub> の電子構造	東京理科大学	大川万里生	28A/B, 2A
2014G159	軟X線共鳴磁気散乱による遷移金属酸化物超薄膜・界面の電子・スピン状態分布測定	東京大学	藤森 淳	16A
2014G170	金属インターカレート芳香族超伝導体の分子レベル構造と電子状態	筑波大学	山田 洋一	13A/B, 3B
2014G177	高温超伝導と(反)強磁性が共存する鉄ヒ素化合物の軟X線共鳴光電子分光、XMCD、ARPES	東京大学	藤森 淳	16A, 28A/B, 2A
2014G180	Emergent magnetic switching: tailoring spin-frustration and spin flop coupling at spin-glass/ferromagnetic interface	Institute of Physics, Beijing, China	Zhihong Wang	16A
2014G192	Electronic and Magnetic properties of (R <sub>x</sub> Fe <sub>1-x</sub> )BO <sub>3</sub> Compounds (R= Er, Nd)	Mersin University, TURKEY	Osman Murat Ozkendir	16A
<b>2. 構造物性</b>				
2014G001	大容量二次電池正極材料の放射光粉末X線回折	産総研	細野 英司	8A, 8B
2014G006	コバルト超薄膜の電場による強磁性-常磁性スイッチングの起源解明	大阪大学	若林 裕助	3A, 4C
2014G012	ヨウ化物による第二臨界点存在立証のための密度測定	愛媛大学	淵崎 貞弘	NE5C, NE7A
2014G028	層状コバルト化合物の圧力誘起スピン転移と配位構造の相関関係	物材機構	辻本 吉廣	18C
2014G033	表面X線散乱時分割測定法の開発	KEK	松下 正	NW2A
2014G049	フェリ磁性を示すバナジウムスピネル酸化物の単結晶構造解析	大阪府立大学	石橋 広記	8A, 8B
2014G073	Au電極における表面再構成および表面拡散の動的構造観測	千葉大学	中村 将志	NW2A, 4C
2014G078	Investigation of photo-induced structural dynamics in water splitting systems based on Quantum Dots for visible light hydrogen production	Institute of High Energy Physics CHINA	Ye Tao	NW14A
2014G081	Al置換されたphase D相中のAl位置の決定とH位置の推定	東北大学	栗林 貴弘	10A
2014G089	特異な構造をもつ有機伝導体の電荷秩序	東京工業大学	川本 正	8A, 8B
2014G107	Bi系層状合金における結晶構造の圧力依存性	新潟大学	大村 彩子	NE1A, 18C
2014G112	ヤーン・テラーイオンを導入したFe系混合導電性酸化物の精密X線構造解	名古屋工業大学	籠宮 功	4B2
2014G113	回折とイメージの複合測定による地球核形成とその物性の研究	大阪大学	近藤 忠	NE1A
2014G116	融合成長による金ナノ粒子成長過程の溶液中その場測定	千葉大学	森田 剛	8B
2014G117	石油の回収率増進に向けた方解石/海水・石油界面の構造解析	東京工業大学	佐久間 博	4C
2014G122	鉄系超伝導体の超伝導と磁気秩序の共存状態の核共鳴小角散乱	京都大学	北尾 真司	NE1A
2014G124	表面X線散乱法による電極触媒界面のその場構造追跡	物材機構	魚崎 浩平	3A
2014G129	希土類化合物RRu <sub>2</sub> Al <sub>10</sub> における磁気秩序と異方的混成効果	広島大学	松村 武	3A
2014G132	核共鳴散乱法による単結晶AFe <sub>2</sub> As <sub>2</sub> (A: Ca,Sr,Eu,Ba)超伝導体の量子臨界点の研究	兵庫県立大学	池田 修悟	NE1A
2014G139	Fe-Zn系金属間化合物の高圧相変態	東京大学	山口 周	NE1A
2014G151	超高压下その場小角X線散乱法による非晶質物質の相転移中間状態の研究	東京大学	船守 展正	18C
2014G152	ルチル型TiO <sub>2</sub> 表面の光誘起超親水化反応における表面構造変化の研究	東大物性研究所	白澤 徹郎	NW2A, 4C
2014G153	共鳴X線回折による希土類化合物SmSn <sub>3</sub> の多重極子秩序変数の観測	埼玉大学	道村 真司	3A, 4C, 8A
2014G155	X線回折散乱法によるトポロジカル絶縁体Bi <sub>2</sub> Se <sub>3</sub> 超薄膜の表面界面構造研究	東大物性研究所	高橋 敏男	14B, 3A, 4C
2014G158	多重安定性金属多核錯体の単結晶および薄膜中における外場誘起スピン転移挙動の解明	筑波大学	大塩 寛紀	8A

2014G173	稀産鉱物の単結晶X線構造解析	国立科学博物館	門馬 綱一	10A
2014G186	太陽電池材料Cu(In,Ga)Se <sub>2</sub> カルコパイライト半導体単結晶の蛍光X線ホログラフィー	愛媛大学	白方 祥	6C
2014P005	細孔中に封入されたシクロヘキサンにおける新規な転移に伴う構造変化	東京工業大学	辰巳 創一	8B

### 3. 化学・材料

2014G008	Selective Trapping of Metastable States by Weak Intermolecular Interaction and Its Application for Dynamic Functional Molecular Systems	Pohang Univ. of Science and Technology KOREA	Masaki KAWANO	NW2A
2014G014	Structural characterization of coprecipitated palladium-iron oxide catalysts for the selective hydrogenolysis of C-O bond in biomass derived compounds	Mediterranea University of Reggio Calabria DICEAM, ITALY	Francesco Mauriello	NW10A, 9A
2014G017	micro-XRFによる口腔粘膜疾患組織内の微量元素の分布・状態分析	東京医科歯科大学	宇尾 基弘	4A
2014G027	ナノ制御錯体の歪み構造由来の特異的反応機構の解明	岡山大学	大久保貴広	12C, 9C
2014G031*	リチウムイオン電池正極のその場計測	日立製作所	平野 辰巳	15A1, 9C
2014G040*	ログスパイラル分光器を用いたHOPG燃料電池モデル基板上のPt触媒の偏光蛍光XAFSに3次元構造解析	北海道大学	朝倉 清高	15A1
2014G041	酸化物表面における配位高分子薄膜の構造解明	国際基督教大学	CHUN Wang Jae	NW10A, 12C
2014G042	Mechanism of magnetostructural transformation in GaCMn <sub>3</sub> type Antiperovskites: EXAFS Study	Goa Univ. INDIA	PRIOLKAR Kaustubh	12C
2014G043	酸化物半導体のナノ結晶化による格子膨張と強磁性	鳥取大学	中井 生央	NW10A, 12C
2014G044	高性能二次電池の開発を目指した電極材料の電子状態解析	産総研	大久保将史	12C, 9A
2014G045	MFIサブナノ空間を反応ポットとして利用した安定なZn(I), Cd(I)の創製およびそれらの反応性	岡山大学	黒田 泰重	NW10A, 9C
2014G046	高繰り返しポンププローブXAFS実験システムの構築とダイナミクス研究への展開	自然科学研究機構	上村 洋平	NW2A, 9A
2014G047	XAFS study on room temperature magnetic refrigeration material MnFe(P,Si) Compounds	Inner Mongolia Normal Univ. CHINA	Gusi TE	12C, 9A
2014G048	金属間相互作用を用いたドナー・アクセプター分子の自己集合	物材機構	田代健太郎	NW2A
2014G050*	機能性磁性化合物の構造解析	東京大学	中林 耕二	NW2A
2014G051	メタロセン配位子が形成する金属-有機ナノチューブのXAFS法による構造解析	東京大学	相田 卓三	NW10A
2014G052	炭素材料表面上に吸着したオキソバナジウムイオンの配位構造のXAFS測定による分析	大阪市立工業研究所	丸山 純	9C
2014G053	直接接合ポリ酸-エチル銀クラスターの構造及び生成過程の解明	東京工業大学	尾関 智二	NW10A, NW2A, 12C, 15A1, 15A2, 9A
2014G054	銀形ゼオライト発光機構のXAFSによる解明	弘前大学	宮永 崇史	NW10A, 11A, 11B
2014G055	X線吸収分光法を用いたNaイオン電池用正極材料Na <sub>2/3</sub> Ni <sub>1/3</sub> Mn <sub>2/3</sub> O <sub>2</sub> の充放電機構の解明	東京理科大学	駒場 慎一	12C
2014G056	XAFS測定によるスラグ再資源化のためのリン含有スラグ中でのリンの局所構造と化学状態の評価	兵庫県立大学	梅咲 則正	9A
2014G057	XANESスペクトル解析による特定元素に隣接した空格子点の検出並びにその配位環境の精密決定	大阪大学	江村 修一	9A
2014G058	表層環境での放射性セシウムおよび放射性ストロンチウムの挙動に与える層状ケイ酸塩および天然有機物の影響	広島大学	高橋 嘉夫	NW10A, 4A, 9A
2014G059	形状選択的クロスカップリングモレキュラーインプリンティングPd触媒のXAFS構造解析	名古屋大学	邨次 智	NW10A
2014G060	アルコール選択酸化Ruナノクラスター・バイメタリックナノクラスターの触媒活性構造形成過程XAFS解析	名古屋大学	邨次 智	NW10A, 9C
2014G062	有機金属錯体を用いて調製した高分散担持触媒のXAFS研究	産総研	崔 準哲	12C, 9C
2014G063	水熱合成法により調製したV <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -SiO <sub>2</sub> 酸化物光触媒の局所構造解析	京都大学	田中 庸裕	9C
2014G064	3d遷移金属ドーブTiO <sub>2</sub> ZnO系希薄磁性半導体ナノ微粒子の局所構造解析	横浜国立大学	一柳 優子	9C
2014G065	植物細胞に蓄積された貴金属のキャラクタリゼーション	東京電機大学	保倉 明子	NW10A, 12C, 15A, 9A
2014G066	酸化還元電位に鋭敏な応答性を有する堆積物中の元素の動態解析	東京大学	松尾 基之	9A
2014G067	シングルショット時間分解DXAFS法の開発と衝撃圧縮下におけるスピント局所構造ダイナミクスの研究	東京大学	一柳 光平	NW2A
2014G068	YbIn <sub>1-x</sub> M <sub>x</sub> Cu <sub>4</sub> (M=Mg, Tl)系における価数相転移の温度依存性	愛媛大学	平岡 耕一	9C
2014G069	偏光に着目した蛍光X線イメージングの低濃度元素検出能力向上	物材機構	桜井 健次	NW2A, 4A, 9C
2014G070	生成物同時計測XAFSシステムの開発	東京大学	佐々木岳彦	NW10A, 9C
2014G071	Biナノ粒子・ナノ結晶の原子相関	富山大学	池本 弘之	12C
2014G072	遷移元素をドーブした酸化Zr薄膜のXANESおよびEXAFS測定	愛媛大学	栗栖 牧生	12C
2014G074	リチウムイオン電池正極材料における低温下での電子状態変化	日本自動車研究所	松田 智行	7C, 9A
2014G083	[Ru(bpy) <sub>2</sub> (CO) <sub>2</sub> ] <sup>2+</sup> 触媒による二酸化炭素還元反応中間体のXAFS観測	北里大学	石田 斉	NW10A

2014G088	軽元素オペランド条件XAFS測定による局所電子構造の解明	日本原研機構	本田 充紀	27A
2014G102	汚染水浄化プロセスにおいて発生する2次廃棄物の化学状態分析	日本原研機構	岡本 芳浩	27B
2014G103	放射光イメージングXAFSによる焼却灰および飛灰中のセシウムの化学状態分析	日本原研機構	岡本 芳浩	27B
2014G114	表面ナノ元素分析のためのXANAMによるX線誘起力相互作用変化の三次元画像化	名古屋大学	鈴木 秀士	7C
2014G118	L吸収端での蛍光XAFSによる粘土鉱物中に吸着したCsの電子構造測定	日本原研機構	下山 巖	27A, 27B
2014G126	効率的な水分解水素製造を実現するための金属ナノ粒子複合光電極の電子移動メカニズム解明	産総研	福 康二郎	NW10A, 12C, 7C, 9A, 9C
2014G128	XAFS法によるSr(II)選択的錯形成反応の構造化学的研究	総合科学研究機構	阿久津和宏	27B
2014G130	酸化物-金属間相互作用によりメソ細孔内に固定化された金属ナノ粒子の局所構造解析と触媒安定性の評価	産総研	桑原 泰隆	NW10A, 12C, 7C, 9A, 9C
2014G131*	ニッケル過剰耐性植物におけるニッケル局在部位の解析	宇都宮大学	高橋美智子	4A
2014G145	放射光マイクロビーム蛍光X線分析における深さ分析法の開発・検討	KEK	飯田 厚夫	4A
2014G146	科学捜査のための放射光蛍光X線分析を用いた自動車塗膜片の異同識別	高知大学	西脇 芳典	4A
2014G150	放射光XAFSによる希土類共添加酸化物半導体薄膜の構造解析と発光増感作用	東京理科大学	趙 新為	11A, 27B
2014G154	マイクロビームX線共鳴散乱によるキラルスメクチック液晶副次相の超構造解析	京都大学	高西 陽一	4A
2014G164	リチウム電池用新規正極材料としての分子性クラスターイオン材料の反応機構の研究	名古屋工業大学	園山 範之	NW10A, 9A
2014G176	芳香族有機塩素化合物の熱化学的抑制メカニズムの分子レベルでの究明	京都大学	藤森 崇	11A, 11B
2014G181*	Metal and alloy nanoparticles formed by cathodic corrosion in aqueous media	J. Heyrovsky Institute of Physical Chemistry of the ASCR, CZECH	KRTIL, Petr	NW10A, 12C
2014G182	溶融塩中に混在する異種アニオンのアクチニドへの配位構造	東京工業大学	松浦 治明	27B
2014P002*	ドーブしたダイヤモンドのXAFS測定	北海道大学	島田 敏宏	NW10A, 7A, 9C
2014P003*	金属-グラフェン複合体触媒の金属-担体相互作用の調査	岡山大学	仁科 勇太	NW10A, 12C, 9A
2014P004	多重水素結合二量体錯体におけるプロトン-水素連動混合原子価状態	岐阜大学	海老原昌弘	NW2A
<b>4. 生命科学 I</b>				
2014G003	$\alpha$ -グルコシダーゼと相同性を有するPedobacter由来機能未知酵素の構造研究	東京農工大学	殿塚 隆史	NW12A
2014G004	Structural and Functional Studies of IFITs	Institute of Biophysics CHINA	LIU Yingfang	5A
2014G007*	Dualリン酸化能を有するMAP2Kの活性制御機構及び基質認識機構における分子メカニズムの解明	大阪府立大学	木下 誉富	NE3A, 17A, 1A
2014G010	tRNA修飾酵素の結晶構造解析	産総研	沼田 倫征	NE3A, NW12A, 17A, 1A
2014G015	D型2-ヒドロキシ酸脱水素酵素群の構造-機能相関の解析	東京理科大学	田口 速男	NW12A
2014G022	膜孔形成蛋白質の中間体構造の解析	北海道大学	田中 良和	1A
2014G025	ウイルス複製タンパク質の構造に基づく複製機構の解明	農業生物資源研究所	加藤 悦子	17A, 5A
2014G026	キネシンスーパーファミリー蛋白質と微小管の構造生命科学	東京大学	廣川 信隆	NE3A, NW12A, 17A, 1A, 5A
2014G030	Structural Studies of the core protein Cas3 in CRISPR/Cas system	Institute of Biophysics CHINA	Yanli WANG	17A, 1A
2014G038	放線菌由来 $\beta$ -ガラクターナーゼの構造機能解析	農業生物資源研究所	藤本 瑞	NE3A, NW12A, 1A, 5A
2014G076	Crystallographic Analysis of Photosynthesis Membrane Proteins in Higher Plants	Institute of Biophysics CHINA	Wenrui Chang	17A, 1A
2014G077	Structure based drug interaction studies of Phosphoglycerate Kinase	Peking Univ. CHINA	Lorenzo (Lauren) Ihsan FINCI	17A
2014G080	tRNA修飾酵素の結晶構造解析	北海道大学	姚 閔	17A
2014G082	バクテリオファージの宿主認識に関わる蛋白質群の構造解析	東京工業大学	金丸 周司	1A
2014G086	リガンド結合による大腸菌Tarペリプラズム領域の構造変化	沖縄科学技術大学院大学	三瀬 武史	NE3A, NW12A, 1A, 5A
2014G087	新規な活性中心を有する植物糖鎖分解酵素の構造解析	東京大学	伏信 進矢	NE3A, NW12A, 17A, 1A, 5A
2014G093	[NiFe]ヒドロゲナーゼ成熟化タンパク質群の結晶構造解析	京都大学	三木 邦夫	NE3A, NW12A, 17A, 1A, 5A
2014G099	植物の花成蛋白質複合体の機能構造解析	奈良先端科学技術大学院大学	大木 出	NW12A, 5A
2014G104	アシネトバクター由来三量体オートトランスポーターの結晶解析	名古屋大学	鈴木 淳巨	17A
2014G105	多糖代謝に関わる酵素群の構造生物学的研究	北海道大学	加藤 公児	1A
2014G106	テルペン類の生合成に関わる酵素の結晶構造解析	東京大学	葛山 智久	NE3A, NW12A, 5A

2014G121	人工酸素運搬体の構造生物学的研究	宇宙航空研究開発機構	木平 清人	17A
2014G133	インフルエンザRNAポリメラーゼと宿主因子との構造生物学研究	横浜市立大学	朴 三用	17A, 1A
2014G140	修復・転写・細胞周期に関わるREV7シグナリング複合体のX線結晶構造解析	静岡県立大学	橋本 博	17A, 1A
2014G144	HIV予防薬開発を目指したアクチノヒビンと糖鎖との構造解析	いわき明星大学	角田 大	5A
2014G147	ポリエーテル天然物多様性を担う一般則を導くための、エポキシ化酵素およびエーテル環化酵素の結晶構造解析	北海道大学	尾瀬 農之	NE3A, 1A, 5A
2014G161	脊椎動物キネトコア因子CENP-SX/DNA複合体のX線結晶構造解析	情報・システム研究機構	西野 達哉	NW12A, 17A, 1A
2014G163	視覚機能・疾患に関与するタンパク質のX線解析	学習院大学	岡田 哲二	NW12A
2014G166	Crystallographic studies of multiple synthetase complex related proteins	Korea Univ. KOREA	HWANG Kwang Yeon	NE3A, NW12A, 17A, 1A
2014G168	多様な糖脂質と結合するCD1分子群のリガンド認識機構解明	北海道大学	喜多 俊介	NE3A, NW12A, 5A
2014G171	V型ATPaseの回転メカニズムの解明	千葉大学	水谷 健二	17A, 1A
2014G172	感染症原因菌の悪性化を統御するクオールモン受容体膜タンパク質複合体の結晶構造解析	東京大学	永田 宏次	NE3A
2014G174	相同組換えに関与する反応中間体の構造解析	明星大学	香川 亘	17A, 1A
2014G178	High-throughput structural studies on Transporters in E.coli	Institute of Biophysics CHINA	Xuejun Cai ZHANG	17A, 1A
2014G179	Structural studies of mechanosensitive channels at various conformational states	Institute of Biophysics CHINA	Zhenfeng LIU	NE3A, 17A, 1A, 5A
2014G183	膵臓酵素の糖結合部位の同定、外分泌と消化吸収調節における意義	お茶の水女子大学	小川 温子	5A
2014G184	酵素β-ラクタマーゼにおけるカルバペネム分解活性獲得メカニズムの構造学的解析	山形大学	井深 章子	NE3A, NW12A, 1A
2014G187	Structural basis for the formation of Bunyaviral ribonucleoprotein complex	Tsinghua Univ. CHINA	LOU Zhiyong	NW12A, 17A, 1A, 5A
2014G188	ナイロンオリゴマー分解酵素の産業利用を目指した構造基盤解析	兵庫県立大学	柴田 直樹	17A
2014G189	myo-inositolリン酸化に関連する酵素の構造機能解析	京都大学	藤橋 雅宏	1A
2014G190	Molecular Basis of Heme Uptake by Staphylococcus aureus, a Human Pathogen.	東京大学	津本 浩平	NE3A, NW12A, 17A, 1A, 5A
2014G191	Structural analysis of Melanocortin Receptor 4, GPCR protein.	Yonsei Univ. KOREA	Hyun-soo CHO	17A, 1A
2014G193*	Structural Insight on Novel HIV fusion inhibitors	Institute of Pathogen Biology CHINA	Sheng Cui	1A

## 5. 生命科学II

2014G002	ピンホールを用いる蛍光X線CTの開発	山形大学	湯浅 哲也	NE7A
2014G011	ナノ空間に拘束された高分子鎖の運動性と結晶化挙動	東京工業大学	野島 修一	10C
2014G016	pHが誘起する生体脂質膜の2分子膜液晶相とキュービック相の間の相転移の素過程とメカニズム	静岡大学	岡 俊彦	10C, 15A2, 6A
2014G018	位相X線CTの新しい撮像法を用いたヒト胚子の観察と中枢神経発生の解析	京都大学	山田 重人	14C
2014G019	位相コントラストX線イメージング法を用いたガスハイドレート結晶の精密密度解析	産総研	竹谷 敏	14C
2014G021*	倍率可変X線ブラッグ拡大素子の開発と応用	KEK	平野 馨一	14B, 3C
2014G023	非晶性ゲルの構造形成プロセスの解明によるグラデーションゲルの作製	山形大学	松葉 豪	10C
2014G024	高分子材料における新しい結晶核剤の発現機構の解明	山形大学	松葉 豪	6A
2014G029	多成分からなる蛋白質集団が示す集合離散現象の解析	奈良先端科学技術大学院大学	上久保裕生	10C
2014G034*	生体軟組織観察のための小角X線散乱イメージング	九州工業大学	鈴木 芳文	14B, 14C
2014G035	放射光X線マイクロビームを用いた組織ターンオーバーの機構解明	電力中央研究所	富田 雅典	27A, 27B
2014G036	単結晶ダイヤモンドエビ膜のX線トポグラフィ欠陥評価	産総研	加藤有香子	14B, 20B, 3C
2014G037	マイクロパターンガス検出器を用いたガスPMTの開発	山形大学	門叶 冬樹	14A
2014G039	X線干渉法を用いたZeffイメージング法の検討	日立製作所	米山 明男	14C
2014G084	Si-APDを受光素子とする高感度・高速X線シンチレーション検出器の開発	KEK	岸本 俊二	14A
2014G085	高エネルギーX線用サブナノ秒・ナノ秒発光シンチレータの開発	KEK	岸本 俊二	NE7A, 14A
2014G090	サブナノ秒Si-APDピクセルアレイX線検出器システムの開発	KEK	岸本 俊二	14A
2014G092	水溶性高分子網目中の水の吸着による網目構造変化	日本原研機構	富永 大輝	6A
2014G095	斜入射トポグラフィによるイオン注入SiC結晶の歪分布解析	KEK	高橋由美子	14B, 20B, 3C
2014G097	2鎖型陽イオン性界面活性剤水溶液に対する非イオン界面活性剤の添加効果	首都大学東京	川端 庸平	6A
2014G098	水溶液中におけるアミロースの局所構造	日本大学短期大学部	高田 昌子	10C
2014G101	X線屈折コントラスト法における光学的条件と密度分解能のサイズ効果との関係に関する研究	金沢大学	岡本 博之	14B
2014G109	糖類由来規則性ナノカーボンの構造精密制御に向けたテンプレートブロックコーポリマー液晶構造の解析	産総研	久保 史織	10C, 6A

2014G110	脂質二重膜の波状運動に対する面内ネットワーク構造の影響	KEK	山田 悟史	15A2
2014G111	X線溶液散乱法によるナンチャク型人工蛋白質ナノブロック自己組織化複合体の構造解析	信州大学	新井 亮一	10C, 15A2, 6A
2014G115	電場応答性ソフトイオン伝導体のナノ相分離構造	名古屋大学	野呂 篤史	10C
2014G120	食品エマルジョンにおける油脂の低温結晶化過程および結晶化に及ぼす乳化剤の添加効果の解明	広島大学	上野 聡	6A
2014G125	非イオン界面活性剤水溶液における圧力誘起ベシクルのラメラ構造転移	首都大学東京	川端 庸平	6A
2014G127	X線小角散乱法による小麦タンパクグリアジンの凝集構造評価	京都大学	佐藤 信浩	10C
2014G137*	皮膚角層微細構造に着目したアトピー性皮膚炎新規治療剤の開発研究	星薬科大学	小幡 誉子	10C, 6A
2014G141	PVA系高効率エネルギー変換材料の開発	東京工業大学	塩谷 正俊	6A
2014G142	ウイークビーム法X線トポグラフィの開発	産総研	山口 博隆	20B, 3C
2014G143	Al-Mg-Si合金のMgSiクラスターによる熱処理感受性変化のAl吸収端二次元ASAXSその場測定	京都大学	奥田 浩司	11A, 6A
2014G149	非イオン界面活性剤・電解質添加系におけるクラフト温度以下でのシリンダーベシクルの形成	首都大学東京	川端 庸平	6A
2014G156	吸収コントラストX線イメージング法を用いたマルチエネルギーCTによる生体組織の分別	日立製作所	馬場 理香	14C
2014G160	力学的にタフな電解質高分子ークレイコンポジットハイドロゲルの階層構造	群馬大学	武野 宏之	15A2
2014G162	小角X線散乱によるβB2-クリスタリンの凝集過程の追跡	京都大学	井上倫太郎	10C
2014G165	小角X線散乱の構造因子の解析によるタンパク質分子間ポテンシャルの算出:抗体・人工タンパク質への応用	富山県立大学	磯貝 泰弘	10C
2014G167	異常小角散乱法による高分子ブロック共重合体およびホモポリマーブレンド中におけるホモポリマーの分布状態	名古屋工業大学	山本 勝宏	15A2
2014G169	低エネルギー利用GISAXS法による高分子薄膜の相分離構造解析	名古屋工業大学	山本 勝宏	15A2
2014G185	Solution scattering studies on ubiquitin attaching and detaching enzymes	Korea Univ., KOREA	Yang Ouk Jung	10C
2014P001	NASH、C型肝炎における肝線維化進展に伴う肝組織内微量金属元素の分布変化	神戸大学	木下 秘我	4A

課題名等は申請時のものです。\*印は条件付き採択課題。

## 物構研談話会

2013 年

日時：12/11 (水) 16:00 ～

題名：強磁場下の混合原子価 Eu 化合物における X線吸収  
磁気円二色性スペクトル

講師：小谷 章雄氏 (KEK 物構研・理研 SPring-8)

日時：12/12 (木) 16:00 ～

題名：臭素架橋パラジウム錯体における光誘起モット絶縁  
体・CDW 転移とその時間分解 X線回折による検出  
のご提案

講師：岩野薫氏 (KEK 物構研)

日時：12/16 (月) 10:00 ～

題名：固体光電子分光の新しい時代

講師：菅滋正氏 (大阪大学)

2014 年

日時：2/4 (火) 13:30 ～

題名：Photoelectron Spectroscopy from Aqueous Solution -  
Probing Molecules in their Natural Environment

講師：Dr. Stephan Thürmer (千葉大学先進科学センター)

- ① 博士研究員 (物構研 13-11) の選考結果について
- ② 共同利用実験申請課題審査にかかる守秘義務について
- ③ 中性子将来計画について

### 【3】研究活動報告 (資料配布のみ)

1. 物質構造科学研究所報告
2. 素粒子原子核研究所報告
3. 加速器研究施設報告
4. 共通基盤研究施設報告

※第 54 回は書面審議のため議事次第はありません。

## 第 55 回 物質構造科学研究所運営会議議事次第

日時：平成 25 年 12 月 16 日 (月) 13:30 ～

場所：高エネルギー加速器研究機構 管理棟大会議室

### 【1】審議事項

- ① 教員人事 (物構研特定人事：特別教授)
- ② 教員人事 (物構研 13-2：准教授 1 名)
- ③ 教員人事 (物構研 13-3：准教授 1 名)
- ④ 教員人事 (物構研 13-4：准教授 1 名)
- ⑤ 教員人事 (物構研 13-5：准教授 1 名)
- ⑥ 教員人事 (物構研 13-6：助教 1 名)
- ⑦ 教員人事 (物構研 13-9：特任助教 1 名)
- ⑧ 教員人事 (物構研 13-10：特任助教 1 名)
- ⑨ 教員公募 (特任助教 1 名 (JST プロジェクト))
- ⑩ 教員公募 (特任助教 1 名 (3 次元半導体検出器))
- ⑪ 教員公募 (特別准教授 1 名 (中性子光学基礎物理))
- ⑫ 教員公募 (特別准教授若干名 (機能性材料構造解析))
- ⑬ 技術副主幹の選考について
- ⑭ 放射光共同利用実験審査委員会委員の選出について

### 【2】報告事項

1. 所長報告
- ① 人事異動について
- ② 研究員選考結果
2. その他

# 平成 25 年度第 2 期配分結果一覽

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	10/14	10/15	10/16	10/17	10/18	10/19	10/20
	stop	T/M	T/M	T/M	T/M	T/M	T/M
1A							
3A							
3B							
3C							
4A							
4B2							
4C							
5A							
6A							
6C							
7A							
7C							
8A							
8B							
9A							
9C							
10A							
10C							
11A							
11B							
11D							
12C							
13A/13B							
14A							
14B							
14C							
16A							
17A							
18A							
18B							
18C							
19A							
20A							
20B							
27A							
27B							
28A/28B							
	stop	stop	stop	stop	T/M	T/M	T/M
NE1A							
NE3A							
NE5C							
NE7A							
NW2A							
NW10A							
NW12A							
NW14A							
SPF		12G768 和田 健			13G630 白澤 徹郎		

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	10/21	10/22	10/23	10/24	10/25	10/26	10/27
	E	E	B	M	E	E	E
1A	調整	13G695 吉	13R 13R27 小		13G133 藤	12G555 ZHANG X	12G647 前仲 勝子
3A	調整				13G676 中島 多朗		
3B	13G081 櫻井 岳暁				13G081 櫻井 岳暁		
3C	12G159 山口 博隆				12G624 水野 薫		
4A	調整		13C210 飯田 厚夫		13C210 飯田 厚夫	12G747 景山 義之	
4B2	13G171 井田 隆				13G171 井田 隆	13G602 三宅	
4C	調整	13Y023 堀田 一徳	12G122 高橋 敏男		12G122 高橋 敏男		
5A	調整	13C203	13Y010	12G059 廣川 信雄	13Y0	12G529 藤	12G
6A	調整	12G118 奥田 浩司			12G117 奥田 浩司	13G719 渡辺 賢	13G212 竹森 重
6C	調整				調整		
7A	13R-18 雨宮 健太				13G689 遠藤 理	調整	
7C	12G135 岩住 俊明				12G135 岩住 俊明		
8A	調整				調整		
8B	調整				13S2-002 村上 洋一	12G115 熊井	
9A	調整		13U005	13Y006	13Y006 池内 淳一	12G680 朝倉 清高	
9C	調整	13C214 雨宮 健太			12G655 高垣 敏		
10A	13G127 栗林 貴弘				13G127 栗林 貴弘		
10C	調整	12G041 野島 修一	13G203 清水 敏之		13G724 大越 研人	13G099 渡邊 康	12G686 竹下
11A		13G134 荒地 良典	13U006		12G021 高岡 昌輝		
11B	13G690 近藤 寛				13G690 近藤 寛		
11D	13G702 羽多野 忠				13G019 堀内 拓大		
12C	調整	12G593 竹中 壮			13S2-004 雨宮 健太	12G145 保倉	
13A/13B	調整				12G689 吉信 淳	12G756 山田	
14A	13G071 木村 宏之				13G071 木村 宏之		
14B	12G007 加藤 有香子				12G134 岡本 博之		
14C	調整	13G584 武田 徹			12G138 山田 重人		
16A	調整	13S2-004 雨宮 健太			13V001	12G589 桜庭 裕弥	13S2-004 雨
17A	調整				13R	13G215 藤	13G
18A	13G682 中辻 寛				13G682 中辻 寛		
18B	13-IB-007 SINGH Sanjay				13-IB-007 SINGH Sanjay	13-IB-003 A	
18C	調整	12G753 藤崎 彩子	13G204 佐藤 友子		13G204 佐藤 友子		
19A	調整				調整		
20A	13G705 東 善郎				13G705 東 善郎		
20B	調整				調整		
27A	12G175 石山 新太郎		13G132 熊谷 賢次		12G553 馬場 祐治	12G741 圓谷	
27B	12G084 岡本 芳浩	13G136 大杉 武史			13G611 中田 正美	13G987 小川 隆	
28A/28B	13PF-1	12S2-001 高橋 隆			12S2-001 高橋 隆	13S2-002 村	
NE1A	T/M	E	B	E	E	E	E
NE1A	調整				13G590 遊佐 齊		
NE3A	調整	13Y001 天野 靖士	12G009	13Y008	13Y022	13G9	13G044
NE5C	調整				13G124 関根 ちひろ		
NE7A	12G659 久保 友明				13G578 鈴木 昭夫		
NW2A	調整	12G623 大柳 宏之	調整	12G705 桜井 健次			
NW10A	調整				13G1		
NW12A	調整	13Y0	13R-01 前藤 孝	13Y	12G083	13G9	12G139
NW14A	13G622 佐々木 裕次				13G603 佐藤 篤志		
SPF	13G630 白澤	13G694 望月 出海					

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	10/28	10/29	10/30	10/31	11/1	11/2	11/3
	E	E	B	B	E	E	E
1A	13R- 13G676 中尾	12G634 有馬 孝尚	13R-22 水			13G0 12G177 三 13G8 12G565 湯	
3A	13G676 中尾	12G634 有馬 孝尚				13G588 中村 智樹	
3B	13G081 櫻井 岳暁						
3C	12G624 水野 薫	13G591 志村 考功			13G054 平野 馨一		
4A	12G165 上野 聡			12G166 上野 聡		13P003 松葉 豪	
4B2	13G602 三宅 亮					13G216 八島 正知	
4C	13G591 志村 考功	12G128 柳原 英人				12G091 若林 裕助	
5A	13G0 13P006 三 13Y00 13G149 千	13Y00 13G149 千	12G561 田之倉 博 13G 12G108 田	13G 12G108 田	12G609 HED Nam 13G 12G658 湯	12G532 YANG CH	
6A	12G178 山本 博之	12G673 青木 祥一	13G687 三輪 洋平	13G193 西川 恵子	13G908 櫻井 伸一	13G976 高橋 浩	
6C	調整						
7A	調整	13G669 松本 吉弘			調整	12G173 近松 彰	12G0
7C	12G135 岩住	12G738 手塚 泰久					
8A	13V001 広沢 哲	調整	12G115 熊井 玲児		12S2-005 中尾 裕則		
8B	12G115 熊井 玲児	13G106 下村 晋				12G706 真庭 豊	
9A	13Y021 神尾 和樹	12G759 高見 隆一	13P008 和達 大樹	13G205 阿部 仁	13P103 園田 早紀	13G011 宇尾 基弘	13G550 江村
9C	13G199 岡林 潤	13G586 西村 俊	12G110 大久保 崇	13Y007 滝本 康幸	12G744 大場 洋次	12G705 桜井 健次	12G763 大山
10A	13G127 栗林	12G182 長瀬 敏郎				13G554 興野 純	
10C	12G686 竹下	12G628 川口 大輔	13G150 米澤 直人	13R-24 吉田 裕英	調整	13G084 清水 繁	13G027 藤田 秀一
11A	13G648 小林 英一		13P101 田原 正樹		12G058 北本 俊二		13G6
11B	12S2-005 中尾 裕則						
11D	13G019 堀内 拓大		調整		13G019 堀内 拓大		
12C	12G145 保倉	13C204 阿部 仁	12G017 KAWANO	13C205 阿部 仁	13G562 柏原 雅也	13G052 高橋	
13A/13B	12G756 山田	調整	13S2-00 12S2-00	13S2-00 12S2-00	13S2-00 13S2-000 高橋 高	12S2-00 13S2-00	12S2
14A	13G071 木村 宏之				13G131 西村 真一		
14B	13I001 星 哲哉		12G521 島雄 大介				
14C	12G138 山田	13G514 高桑 敬也	12G773 関根 紀夫			13PF-13 呉	
16A	13S2-004 雨宮 健太		12G270 岩瀬 彰宏		13PF-09 小出 常晴		
17A	12G 12G531 村	13C 13Y002 原 隆	12G 13G526 井	12G 13G110 C	12G 12G687 湯	13G 13G	12G014 才
18A	13G682 中辻 寛		調整				
18B	13-IB-003 AWASTHI Anar	13-IB-009 CHANDRA AMREESH			13-IB-026 BANERJEE		
18C	13G204 佐藤 友子	13G704 阿藤 敏行	13G501 川村 幸裕				
19A	調整			12G136 松田 巖			
20A	12G516 北島 昌史						
20B	調整						
27A	12G741 園谷	13P106 仁科 勇太	13C213 宇佐 美徳	13G524 山本 博之	12G079 豊田		
27B	13G083 上原 達野	12G114 趙 新為	調整		12G748 前澤 博		
28A/28B	13S2-002 村	12S2-001 高橋 隆					
NE1A	E	E	B	E	E	E	E
NE1A	13G633 財部 健一	13G639 岡田 卓		12G123 近藤 忠			
NE3A	13G7 13Y001 天野 靖士		12G642	13Y011 村井 生	13G9 12G103	13G7 13G194	
NE5C	13G124 関根 ちひろ			12G015 浜谷 望			
NE7A	13G621 平山 朋子				13G578 鈴木 明夫	13G609 後藤	
NW2A	調整	12G029 尾関 智二	13G723 小林 淳志	12G017 KAWANO Masaki			
NW10A	13G177 有馬 寛	調整	13I006 田中 伸一	13G222 原 賢二	13G087 増田 卓也		
NW12A	調整	13Y0 13G683	12G648 渡邊 慎	12G9 13G128	13G2 12G510	13G697	
NW14A	13G603 佐藤 篤志			13G638 野澤 俊介			
SPF	13G681 前川 雅樹			13U002 朝倉 清高			

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	11/4	11/5	11/6	11/7	11/8	11/9	11/10
	E	E	B	M	HB	HB	HB
1A	13G147 BAE Eunyoung				調整	12G083 田中 慎吉	12G543 Xiaodong
3A	13G588 中村 智樹		12S2-005 中尾 裕		12S2-005 中尾 裕	12G123 近藤 忠	
3B	13G081 櫻井 岳暁				13G010 枝元 一之		
3C	12G643 伊藤 正久				12G643 伊藤 正久		
4A	13G229 Chunying CHEN				13G229 Chunying	13Y025 上野 誠	12G145 保倉
4B2	13G216 八島 正知				13G216 八島 正知	12G171 柿本 健一	
4C	12G091 若林		12S2-005 中尾 裕則		12S2-005 中尾 裕則		
5A		13C203 13Y009 12G 13G626 少			12G 13G085 吉	13G016 Yuequan	13G693 千田 俊吾
6A	12G055 小嶋 聖子	調整	13G533 原田 雅彦		13G525 荒田 真史	13G530 住野 聖	13G631 高橋 直也
6C	調整				12G709 奥部 真樹		
7A	12G080 宮永	13S2-004 雨宮 健太			13S2-004 雨宮 健	13R-15 13S2-00 13R-15 13S2-00	
7C	13G632 佐藤 裕之				13G177 有馬 寛	12G518 松原	
8A	12S2-005 中尾 裕則		調整		調整		
8B	13G001 宇友 浩		13I006 田中 伸一		12G636 青藤 一功	12G115 熊井 玲児	
9A	13G550 江村	13I005 上田 俊彦	13G563 柏原 基之		13C209 阿部 仁		
9C	12G763 大山	13G546 12G692	13Y021 神尾 和樹		13G546 阿部 仁		
10A	13G554 興野 純				13G063 吉朝 朗		
10C	12G628 相澤 秀博	13G543 野田 展也	13G516 寺尾 基		12G533 松村 浩	12G630 武野 宏之	12G572 井井 光博
11A	13G612 大塚	13G160 山本 知之			12G135 岩住 俊明		
11B	12S2-005 中尾 裕則	13G685 高橋 由希			13G685 高橋 由希		
11D	13G019 堀内 拓大				13G100 田中 慎一郎		
12C	13G052 高橋 嘉夫	13G570 雨宮 英			調整	12G644 朝倉 清高	
13A/13B	12S2-006 吉信 淳	調整			調整	12S2-00 13G664 12S2-00 13G664 小森 文夫	
14A	13G131 西村 真一				12G062 岸本 俊二		
14B	12G170 張 小威				12G551 秋本 晃一		
14C	13PF-13 呉 彦霖				13R-15 中尾 裕則		
16A	13PF-09 小出	13G592 吉松 悠	13G592 吉		13G002 伊藤 健二		
17A	12G9 12G051 Sun-Shin C	12G 13G168 湯			13Y0 12G618 村	13R 13G695 吉	13G220 CHO Yun
18A	調整				調整		
18B	13-IB-026 BANERJEE Ar	13-IB-021 DEV BH			13-IB-021 DEV Bhupendra		
18C	13G211 武田 圭生				13G684 中野 智志	13R-15 中尾 裕則	
19A	12G136 松田 巖				12G136 松田 巖		
20A	12G516 北島 昌史				13R-15 中尾 裕則		
20B	調整				12G159 山口 博隆		
27A	12G079 豊田	12G741 園谷 志郎			12G068 下山 巖		
27B	12G599 藤谷 明徳	13G214 鈴木 啓吾	13G072 鈴木 雅志		13G527 青柳 登	12G081 岩瀬 彰宏	
28A/28B	12S2-001 高橋 隆				13G734 東 善郎		
NE1A	E	E	B	M	E	E	E
NE1A	12G123 近藤	13G079 小野 重明			12G050 永井 隆哉	13G704 阿藤 敏行	
NE3A	13G9	13G9 13Y001 天野 靖士			13Y0 12G543 Xiaodong	13G044	13R-26 才
NE5C	12G015 浜谷	12G566 森 嘉久			12G566 森 嘉久		
NE7A	13G609 後藤 弘匡				12G031 鈴木 昭夫		
NW2A	12G017 KAWANO Masaki	12G187 中林 耕二			12G017 KAWANO	13G723 小林 厚志	
NW10A	13G087 増	13Y006 13G548	13C204 阿部 仁		12G680 朝倉 清高		
NW12A	13R 13G165	13Y0 13G213 湯	13G9 13G168		12G1	13R 13G067 13R 13G097	
NW14A	13G638 野澤 俊介				13G166 朝倉 清高		
SPF	12G666 立花 隆行						

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	11/11	11/12	11/13	11/14	11/15	11/16	11/17
	HB	HB	HB	MA/M	E	E	E
1A		13Y0	13G231 W		調整 12G132 水 12G7	12G8 12G141 金	
3A	13G733 山崎 裕一				12S2-005 中尾 裕則	12G506 魚崎	
3B	13G010 枝元 一之				13G010 枝元 一之		
3C	13G172 宇治原 徹				12I009 八木 康洋	12S2-004 早	
4A	12G145 保倉 13P105 原田 誠				12G628 伊藤 新 13G052 高橋 嘉夫		
4B2	12G171 橋本 健一	13G171 井田 隆			13G171 井田 隆		
4C	12G047 佐久間 博				13G176 田中 啓介		
5A	13G 13G231 W 13Y0 13G231 W 13G 13G084 津				13G007 Xue mei 1 12G729 橋		
6A	13G103 池口 雅道 13G732 Timchen 13G101 木原 裕				12G704 上野 聡 12G769 市川 創作 13G650 上野 聡		
6C	12G709 奥部 真樹				13G595 佐々木 聡		
7A	13Y029 13G689 遠藤 理				13G689 遠藤 理 13G683 遠藤		
7C	12G518 松原 弘樹				12G099 鈴木 秀士		
8A	12S2-005 中尾 裕則				12S2-005 中尾 裕則		
8B	13V001 広沢 哲 13G040 奥野 純				12S2-005 中尾 裕則		
9A	13C209 阿部 13S2-002 村上 洋一				13S2-002 村上 洋一 12G110 大久保 勝		
9C	12G650 堂免 一成 13Y027 窪内 裕太				12G095 TE Gusi 12G701 岩本 正樹		
10A	13G063 吉朝 朗				12G641 中塚 晃彦		
10C	13G038 平井 光博 13G706 津本 浩平 13R-03 清水 伸隆				13R-03 清水 伸隆 12G153 小島 正樹 12G571 徳 園		
11A	12G135 岩住 俊明				13Y028 中	13Y028 中	
11B	13G685 高橋 由香利				13G688 櫻井 岳暎		
11D	13G100 田中 慎一郎				13G100 田中 慎一郎		
12C	13G870 南部 英 13G154 中井 生央				13P103 園田 早樹 12G719 堂免 一成		
13A/13B	13S2-00 12S2-00 13S2-00 12S2-00 13S2-00 12S2-00				13S2-00 12G610 13S2-00 12G610 13S2-00 12G610		
14A	12G062 岸本 俊二				13PF-14 井上 圭介		
14B	12G551 秋本 晃一				12G715 水野 薫		
14C	12G695 兵藤 一行				13G028 高田 英治		
16A	13V001 13PF-21 13G002 伊藤 誠二 13G861 関本 清				12S2-005 中尾 裕則		
17A	13G018 Yuequan 13C2 12G954 藤 12G 12G831 村				12G618 KIM Kyu 13G 12G815 田 13G 13G007 X		
18A	調整				13P102 石原 顕光		
18B	13-IB-019 RAY Sugata				13-IB-024 TRIPATHI Ambuj		
18C	13P001 辻本 吉廣 12G679 余 珊				12G679 余 珊 13G031 川崎		
19A	12G136 松田 巖				12G730 石坂 香子		
20A	12G045 穂坂 綱一				12G045 穂坂 綱一		
20B	13G591 志村 考功				13G608 水野 薫		
27A	13G707 成田 あゆみ				12G129 富田 雅典		
27B	13G213 宇佐美 悠 13G233 Catherine BESSA				12G599 横谷 明徳 13G214 鈴木 啓徳 調整		
28A/28B	13G703 横谷 尚陸				13PF-17 12S2-001 高橋 隆		
	E	E	E	E	E	E	E
NE1A	13S2-002 村上 洋一				13R-17 網塚 浩	13PF-10 小	
NE3A	13G 13Y001 天野 靖士			13G906 13Y0 13G689 中	13G9 13G026		
NE5C	12G566 森 3						
NE7A	12G031 鈴木 13G512 小野 重明				12G699 松下 昌之助		
NW2A	12G029 尾関 智 調整	12G167 松下 正					
NW10A	12G029 尾関 智 13I003 伊藤 学				12G586 吉田 寿雄 12G680 朝倉 清高		
NW12A	13Y0 12G 13Y001 子 13Y 13Y008 鈴木 12G1				12G9 13G686 12G9 13G141 13G9 13G174		
NW14A	13G166 朝 13G607 星野 学 13G532 富田 文菜						
SPF	12G768 和田 健				12G653 深谷 有喜		

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	11/18	11/19	11/20	11/21	11/22	11/23	11/24
	E	E	B	M	E	E	E
1A	13R 13R 13R	13G 13G			12G180 橋 13G7 12G584 橋	12G531 中	
3A	12G506 魚崎 13G095 近藤 敬啓				12G772 SOKOLOV Nikolai		
3B	13G010 枝元 一之				12G172 小澤 健一		
3C	12S2-004 早稲田 篤				12S2-004 早稲田 篤		
4A	13G556 石橋 秀巳 12G640 光福 聖				12G640 光福 聖 13G585 中井 崇 12G652 三月		
4B2	13G575 植草 秀裕					13G053 藤 斗	
4C	13G186 今福 宗行				13R-36 組頭 広志		
5A	12G665 尾関 智 13G 13G715 中 13G 12G681 橋				13G188 橋 13G062 ZHENG 斗 12G614 ZHANG 斗		
6A	12G166 上野 聡 12G066 塩谷 正樹 12G668 小林 治樹				13G662 伊藤 耕三 13G143 横山 英明		
6C	13G595 佐々木 聡				調整		
7A	13G683 遠藤 理				13C214 13P011 TE Gusi		
7C	12G099 鈴木 秀士				12G135 岩住 俊明		
8A							
8B	13V001 広沢 哲 12G115 熊井 玲海 13G712 谷本 久典				13G712 谷本 久典 12G706 真庭 豊		
9A	12G749 日原 聡士 13G502 松原 理雄 13G199				13P008 和達 大樹 13G052 高橋 嘉夫		
9C	13G043 永美 久寿 12G657 園山 範之				12G586 吉田 寿雄 13G005 原田		
10A	12G641 中塚 晃彦				12G056 栗林 貴弘		
10C	12G043 上久保 裕生 調整				12G041 野島 修一 13G507 櫻井 伸一 13G509 櫻井 伸一		
11A	13G569 坂間 弘				12G638 脇原 徹	13R-36 Petr KRTU	
11B	13PF-11 小林 賢介				12G626 伊藤 敬		
11D	13G100 田中 慎一郎				13G143 奥平 幸司		
12C	12G719 堂免 13Y015 国須 正洋				13G596 福田 康宏		
13A/13B	12G610 12S2-00 12G610 12S2-00 12G610 12S2-00				13G135 中山 泰生		
14A	調整	12G018 門叶 冬樹			12G184 藤原 健		
14B	13G116 橋 勝				13G116 橋 勝 13G054 平野		
14C	13G708 三好 敬喜				13G077 百生 敬		
16A	13PF-12 12S2-005 中尾 裕則				13V001 12S2-005 中尾 裕則		
17A	12G 13G168 中 13Y0 13G658 田 13G 13G138 橋				13G 13G015 橋 13G 13G015 橋 12G		
18A	13P102 石原 顕光				調整		
18B	13-IB-024 T 13-IB-018 BHATTACHARYA				13-IB-018 BHATTACHARYA 13-IB-028 Satyam PARLA		
18C	13G031 川崎 13G502 山脇 浩				12G509 平井 寿子		
19A	12G730 石坂 香子				調整		
20A	12G045 穂坂 綱一				12G089 小田 切丈		
20B	13G608 水野 薫				13G172 宇治原 徹		
27A	12G746 前澤 博 12G553 馬場 祐治				12G671 田中 正俊 13P106 仁科 勇次		
27B	調整	12G129 富田 雅典			13G616 岩瀬 彰宏 12G114 越 新海		
28A/28B	12S2-001 高橋 隆				13PF-17 12S2-001 高橋 隆		
	E	E	B	MA/M	E	E	E
NE1A	13PF-10 小 13G540 浜野 大樹 13G204 佐藤 友子				13G204 佐藤 友子 12G162 大村		
NE3A	12G9 13Y001 天野 靖士				13Y0 13G999 13G9 13G644 13R 13G687 中		
NE5C	13G517 大高 理				13G140 井上 徹		
NE7A	13G512 小野 重明 12G015 浜谷 望				12G015 浜谷 望 13G620 阿部		
NW2A	12G167 松下 正 調整				13G596 福田 康宏		
NW10A	12G057 柿沼 藤雄 13I006 田中 伸一				13G005 原田 雅史 12G145 保倉		
NW12A	12G9 13G139 13C203 13Y002 13G7 13G671 中				13G720 13G6 13G084 中		
NW14A	13G532 富 13G624 一柳 光平				13G624 一柳 光平 13G225 中村		
SPF	12G653 深谷 有喜			13S2-005 長嶋 泰之			

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	11/25	11/26	11/27	11/28	11/29	11/30	12/1
	E	E	B	B	E	E	E
1A	13R-37 藤井 13C2	13R-37 藤井 13C2	13R-37 藤井 13C2	13R-12 松田 蓮生 13G9	13G223 高 13G99	12G009 LIU Zhenf 13G9	12G721 吉
3A	12G772 SOKOLOV Nikolai			12S2-005 中尾 裕則			
3B	12G172 小澤 健一						
3C	12S2-004 早稲田 篤						
4A	12G652 三河内 岳	12G105 高西 陽一					
4B2	13G053 藤井 孝太郎	13G216 八島 正知					
4C	13G733 山崎 裕一			12S2-005 中尾 裕則			
5A	12G 12G154 才	13P006 三	12G614 ZHANG Wen	12G 13G024 高	13G 12G188 日	13G 12G019 藤	
6A	12G628 川口 大輔	13G718 西住 雄大	12G676 日野 和之	13G206 森田 剛	12G714 奥田 浩司	13G182 池本 弘之	
6C	調整			12G038 佐々木 聡			
7A	13G105 CHUNG Kwun-Bum		13G195 岡林 潤	13Y029	12G107	13G169 細野 英司	
7C	12G135 岩住	12G738 手塚 泰久				13G643 任 皓駿	
8A							
8B	12S2-005 中尾 裕則			12G764 佐賀山 基	12G140 石橋		
9A	13G096 SZILAGYI Robert	13S2-002 村上 洋一			12G192 原田 誠		
9C	13G005 原田	12G537 Hong HE		13G198 荒地 良典	12G149 駒場 健一		
10A	12G056 栗林 貴弘						
10C	13R-03 清水 伸徳	13R-03 清水 伸徳	13G189 榎 康幸	12G028 松葉 豪	13G092 新井 宗己	12G176 野田 篤史	13G038 平井 光博
11A	12G120 伊藤 敦			13G096 SZILAGYI	13Y03		12G117 奥田
11B		13Y026 中山	13Y028 上	13Y02	13Y02	12G021 高岡 昌輝	
11D	13G143 奥平 幸司			13G121 間瀬 一彦			
12C	13G596 稲田 康宏		13C216 阿部 仁	13Y032	13G222	12G094 朝倉 清高	
13A/13B	12G613	13S2-003	12G613	13S2-003 高橋 暁	12G670	13S2-04	12G670
14A	13G111 米徳 大輔					12G733 林田 清	
14B	13G054 平野 馨一	12G046 平野 馨一					
14C	13G077 百生 敦			12G563 武藤 貞嗣			
16A	13PF-12 北村 未実	12S2-005 中尾 裕則		13S2-004 雨宮 健二	13G685 高橋 由香		
17A	調整		13G 13G036 K	13R-23 伏見 通夫	13G 12G015 日	12G 12G068 藤	
18A	調整			12G639 大野 真也			
18B	13-IB-028 Satyam PARLA					13-IB-017 SINGH Am	
18C	12G509 平井 寿子	12G660 高橋 博樹				13G017 阿部	
19A	調整			13G190 矢治 光一郎			
20A	12G089 小田 切丈						
20B	13G172 宇治	12G551 秋本 晃一					
27A	13G185 吉村 武	13G617 松井 利之		13G714 池浦 広美	12G081 岩瀬		
27B	13G117 永井 英之	12G086 岡本 芳浩	12G927 青柳 登	13G072 鈴木 雅雄	12G999 横谷 明徳	13G214 鈴木 啓司	
28A/28B	13G218 吉田 鉄平	13G589 齋藤 智彦		12G146 大川 万里生	12G730 石坂		
	E	E	B	E	E	E	E
NE1A	12G162 大村 彩子	12G123 近藤 忠				13G684 中野	
NE3A	13G08 13Y001 天野 靖士		13Y011	13Y0	13G678	13G7 13G224 George G	
NE5C	13G140 井上 徹	13G686 巖 裕之				13G140 井上	
NE7A	13G620 阿部 洋	12G051 鈴木 明夫	13G665 西田 圭佑				
NW2A	13G596 稲田 康宏		13G546 阿部 仁			13PF-22 丹羽	
NW10A	12G145 保	12G696 山口 周	13G189 泉 理雄	12G763 大山 順也	13G011 宇尾		
NW12A	13G192	13G654 田之倉	13Y0	13Y0	12G009 LIU Zhenf	13G615	13G659 渡邊 信
NW14A	13G225 中村 一隆		13PF-19 張 小威	12G778 IHEE Hyotcherl			
SPF	13S2-005 長嶋 泰之						

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	12/2	12/3	12/4	12/5	12/6	12/7	12/8
	E	E	B	M	E	E	E
1A	13R-37 藤井 13C2	12G688 H 13Y0	13R-37 藤井 13C2		13R-37 藤井 13C2	12G 12G691 光	12G637 Chang W
3A	12S2-005 中	13PF-15 柳下 明			13P007 石橋 広記		
3B	12G172 小澤 健一				13G569 坂間 弘		
3C	12S2-004 早稲田 篤				12S2-004 早稲田 篤	12G643 伊藤	
4A	12G635 飯田 厚夫				12G636 飯田 厚夫	13G056 西脇 芳典	13G7
4B2	13G216 八島 正知				13G171 井田 隆		
4C	13R-11 道村 真司				13P104 藤井 政俊	12S2-005 中	
5A	調整				12G 13G003 林	12G 12G632 上	
6A	13P107 谷本 久典	13G525 奥田 真也	12G686 竹下 宏樹		12G164 川端 隆平	12G034 川端 隆平	12G653 川端 隆平
6C	12G038 佐々木 聡	調整			調整		
7A	13C209 阿部 仁					13G195 岡林 潤	
7C	13G643 任 皓駿				13G572 中島 伸夫		
8A					12G036 大塩 寛紀	12G636 藤原 一男	
8B	12G140 石橋 広記	13G001 守坂 浩			13G091 守坂 浩	13G723 小林 厚志	
9A	12G192 原田	13C206 阿部 仁	12G145 保 暁明子		13C206 阿部 仁	調整	12G662 高橋
9C	12G110 大久保 博		12G102 松嶋 雄志		12G073 Petr KRTIL	13G080 渡川	
10A	12G056 栗林 貴弘	12G112 門馬 綱一			12G112 門馬 綱一		
10C	12G572 平井 光博	13R-29 樋口 隆生	13G737 高野 敏志		13G682 新井 宗己	12G630 武野 史之	12G604 尾関 智二
11A	12G117 奥田 浩司				12G068 下山 巖		
11B	13C211	13Y030 上田 和浩	13C211 雨宮 健太		13G683 遠藤 理		
11D	13G121 間瀬 一彦				13G121 間瀬 一彦		
12C	12G094 朝倉 清高				12G752 吉田 真明		
13A/13B	12S2-006 吉信 淳				12S2-006 吉信 淳		
14A	12G733 林田 清				12G063 岸本 俊二		
14B	12G046 平野 馨一	13G731 安藤 正海			13G731 安藤 正海		
14C	12G563 武藤 貞嗣				12G549 中納 治久	12G148 竹谷	
16A	13G685 高橋	13Y001	13PF-16	13PF-2	13PF-16	13G082 有馬 孝尚	12G759 石渡
17A	12G	13Y008	13Y010	12G	13G122 王	12G037 Chang W	13R
18A	12G639 大野 真也				13G520 重田 諭吉		13G133 藤
18B	13-IB-017 SINGH				13-IB-022 BASU Jaydeep		
18C	13G017 阿部	13G641 久米 徹二			12G728 中山 敦子		
19A	13G190 矢治 光一郎				13G190 矢治 光一郎		
20A	13R-19 河内 宣之		13R-20 河内 宣之				13G078 星野
20B	12G007 加藤 有香子				12G504 小泉 晴比古		
27A	12G081 岩瀬	13G714 池浦 広美			13G679 平尾 法恵	12G113 本田	
27B	12G746 前澤 博	13R-43 宇佐 英徳	調整		13G072 鈴木 雅雄	12G746 前澤 博	12G599 横谷
28A/28B	12G730 石坂	12G751 下志万 貴博			13G021 清川 貴司	12G611 Wa	
	E	E	B	M	E	E	E
NE1A	13G684 中野 智志	12G667 丹羽 健			12G667 丹羽 健	12G512 陸山 洋	
NE3A	12G8 13Y001 天野 靖士		13Y01	13G188	13G162 田中 信	12G632 Zhong	
NE5C	13G140 井上 徹		13G074 今井 基晴		13G074 今井 基晴		
NE7A	12G015 浜谷 望				12G002 湯浅 哲也		
NW2A	13PF-22 丹羽 尉博				13PF-22 丹羽 尉博	13G710 大久	
NW10A	13G011 宇	13Y015 国須 正洋			12G686 吉田 孝雄	12G644 朝倉 清高	
NW12A	12G658	12G6 13G059	13C203 千田 俊樹		13G5 13G085	13G107	12G542 Zhiyong
NW14A	12G778 IHEE Hyotcherl				12G778 IHEE Hyotcherl		
SPF	13S2-005 長嶋 泰之			13G615 三木 一司			

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	12/9	12/10	12/11	12/12	12/13	12/14	12/15
	E	E	B	M	E	E	E
1A	13G713 Woo Che	12G189 Kwang Yk			13R 12G177 三	12G647 前仲 勝美	12G531 升
3A	12G035 松村 武				12G035 松村 武		
3B	13G569 坂間 弘				13G569 坂間 弘		
3C	12G643 伊藤 正久				12I009 八木 康洋	12G698 渡辺	
4A	13G722 井田	12G705 桜井 健次			12G160 江端 三幸	13P002 宇尾 基弘	
4B2	13G171 井田	12G734 米持 悦生			12G734 米持 悦生	13G575 植草 秀裕	
4C	12S2-005 中尾 裕則				12S2-005 中尾 裕則		
5A	13G2 12G642 三	13G 13G913 伊	12G 12G681 藤		13G 13G191 三	13G 12G154 三	12G 12G679 藤
6A	13G527 加藤 進	12G663 篠原 佑也			12G663 篠原 佑也	12G629 関 隆広	
6C	調整				13G177 有馬 寛		
7A	12G174 早川 鉄一郎				12G174 早川 鉄一郎		
7C	13G572 中島 伸夫				13G547 春山 修身		
8A	12G115 熊井 玲児	13R-32 原田 新一			12G115 熊井 玲児	12G706 真庭 豊	
8B	13S2-002 村上 洋一				13G668 神戸 高志		
9A	12G662 高草木 達				12G662 高草木 達	13G123 渡邊	
9C	13G080 浅川	13G130 藤原 香子	13G007 滝本 康幸		12G078 中川 貴	13G522 錦淵 友治	
10A	12G112 門前	12G130 宮脇 律郎			12G130 宮脇 律郎		
10C	調整	13G676 高橋 浩	13R-30 伊藤 俊行		13G118 伊藤 浩徳	13R-03 清水 伸隆	13G507 藤井 伸一
11A	12G068 下山 巖				13G642 志岐 成友		
11B	13G683 遠藤 理				12G714 奥田 浩司		
11D	13G121 間瀬 一彦				13G121 間瀬 一彦	13G702 羽多野 忠	
12C	12G752 吉田	13S2-004 雨宮 健太			13G173 八木 一三		
13A/13B	12S2-006 吉信 淳	13Y024 調整			12G568 12S2-006 12G568 12S2-006 12G568 12S2-006		
14A	13G708 三好 敏喜				12G692 坂倉 輝俊		
14B	13G731 安藤 正海				13G731 安藤 正海	12G551 秋本 晃一	
14C	12G148 竹谷	13C307 兵藤 一行	13G660 東 浩介		13C211 雨宮 健太	13G684 武田 雅	12G148 竹谷
16A	12G759 石渡 洋一				13S2-003 高橋 嘉子	13S2-003 13S2-003 13S2-003	
17A	13G 12G542 三	13Y0 13G580 藤	12G 12G576 岡		13Y003 13C203 13R 13G102 伊		
18A	13G520 重田 諭吉				13G520 重田 諭吉		
18B	13-IB-022 B	立上 実験			立上 実験		
18C	12G728 中山 敦子	12G753 藤崎 彩子			12G754 健裕 之		
19A	13G190 矢治 光一郎				13G190 矢治 光一郎		
20A	13G078 星野 正光				13G078 星野 正光		
20B	13G649 丸山 美帆子				13G116 橋 勝		
27A	12G113 本田 充紀				12G129 富田 雅典		
27B	12G599 横谷 明德	13G214 鈴木 智明			13G616 岩瀬 彰宏	12G114 藤 新太	
28A/28B	12G611 Wal	13G021 溝川 貴司			13S2-002 村上 洋一	12G045 穂坂	
	E	E	B	E	E	E	E
NE1A	12G082 小林 寿夫				12G603 河内 泰三		
NE3A	13G0 13Y001 天野 靖士	12G177 三	13Y0 12G550 三	12G0 13G044 三	13G075 三		
NE5C	12G049 永井 隆哉				13G517 大高 理		
NE7A	12G002 湯浅 哲也	13S2-001 松下 正					
NW2A	13G710 大久保 雄司	12G077 中川 貴			12G585 水越 克彰		
NW10A	13S2-002 村上 洋一	12G029 尾関 智三	12G597 黒田 泰重	13G518 吉朝			
NW12A	13G0 12G059 廣川 慎徳	13G137 三	13G 13Y008 伊	13G0 13G180 三	13G1 12G048 三	12G648 渡邊 信	12G0 13G093 三
NW14A	12G778 IHEE Hyotcherl				13G607 星野 学		
SPF	13G615 三木 一司				13S2-005 長嶋 泰之		

	Mon	Tue	Wed	Thu	Fri	Sat	Sun
	12/16	12/17	12/18	12/19	12/20	12/21	12/22
	E	E	B	E	stop	stop	stop
1A	12G721 池	13R 13R-21 田	13R 13R-22 水	12G0			
3A	12S2-005 中尾 裕則						
3B	13G569 坂間 弘						
3C	12G698 渡辺 紀生						
4A	12G145 保倉 明子	13G039 Yuxi GAO					
4B2	13G575 植草 孝太郎	13G053 藤井 孝太郎					
4C	13G071 木村 宏之						
5A	12G 13G672 三	13C203 13Y008 12G 13G104 伊	13R				
6A	13G189 藤 雄幸	12G026 松葉 泰	12G121 武野 聖之	調整			
6C	13G177 有馬 寛						
7A	12G174 早川 鉄一郎						
7C	13G187 藤枝 俊	13PF-20 藤崎 布美佳					
8A	12S2-005 中尾 裕則	調整					
8B	13G668 神戸 高志	13G523 田尻 幸之	13V001 広沢 哲	調整			
9A	13G123 渡邊 佳英						
9C	12G597 黒田 泰重	13C211 雨宮 健太					
10A	12G130 宮脇 律郎						
10C	12G710 吉岡 聡	13G203 清水 聖之	13G544 戸木 田	12G041 野島 修一			
11A	13G642 志岐 成友						
11B	12G714 奥田 浩司	13G677 松浦 真	13G606 橋本 洋平				
11D	13G702 羽多野 忠						
12C	13G173 八木 一三	13G557 田中 雅人					
13A/13B	12G568 13G081 12G568 13G081 12G568 13G081	調整					
14A	12G692 坂倉 輝俊						
14B	12G551 秋本 晃一	13C210 飯田 厚夫					
14C	12G148 竹谷	13C307 兵藤 一行	13C211 雨宮 健太	13Y020 三			
16A	13S2-003 高橋 嘉子	13Y001 13S2-004 雨宮 健太					
17A	13G 12G180 池	13Y0 13G513 藤	12G 13G526 伊	13R 13G004 藤			
18A	13G520 重田 諭吉						
18B	立上 実験						
18C	12G754 健裕 之	13G205 坂下 真実					
19A	13G190 矢治 光一郎						
20A	13G078 星野 正光						
20B	13G116 橋 勝						
27A	12G746 前津 博	13G679 平尾 法恵					
27B	13G587 小川 徹	12G150 松浦 治明					
28A/28B	12G045 穂坂 綱一						
	E	E	B	E	stop	stop	stop
NE1A	12G603 河内 泰三						
NE3A	13G0 13Y001 天野 靖士						
NE5C	13G517 大高 理						
NE7A	13S2-001 松下 正						
NW2A	調整	13I002 高原 達夫					
NW10A	13G518 吉	12G593 竹中 壮	12G098 深谷 剛久				
NW12A	12G0 13G089 三	13Y0 12G508 三	13Y0 13Y014 柏				
NW14A	13G607 星	13G622 佐々木 裕次					
SPF	13S2-005 長嶋 泰之						

### 「PF ニュース」からのお知らせ

平成 24 年度からの PF-UA の発足に伴い、PF ニュースはウェブが主体となりましたが、引き続きご愛読を賜り感謝致します。今後も新しい企画記事の連載など誌面の充実につとめ、PF ニュースをより魅力あるものにしていきます。昨年リニューアルした PF ニュースウェブページには、冊子版では白黒となっている図等もオリジナルのカラーのものを掲載しています。ウェブ版もお楽しみ頂ければと思います。

ウェブ掲載時にはメールでお知らせするシステムも運用しています。希望される方は、どうぞご登録下さい。PF ニュースウェブページにフォームを掲載しています（※ KEK の共同利用者支援システムでユーザー登録をされた皆様には、PF メルマガが配信され、そちらにも PF News 発行のお知らせが載りますので、その方はお知らせメールの登録は必要ありません）。

PF ニュース編集委員一同

### 投稿のお願い

#### 【最近の研究から】

PF で行われた実験、研究の成果をお寄せ下さい。

#### 【建設・改造ビームラインを使って】

特にビームラインの改良点、他のビームラインとの比較、要望等を是非お聞かせ下さい。

#### 【ユーザーとスタッフの広場】

PF での実験の成果等が認められ受賞された方、海外放射光施設に滞在、訪問された方、国際会議等に参加された方、修士論文等、どうぞご投稿下さい。また PF に対するご意見等がありましたら是非ご投書下さい。

詳細は事務局または PF ニュース HP をご覧下さい。

### 宛 先

〒 305-0801 茨城県つくば市大穂 1-1  
高エネルギー加速器研究機構  
物質構造科学研究所 放射光科学研究施設内  
PF ニュース編集委員会事務局  
TEL : 029-864-5196 FAX : 029-864-3202  
E-mail : pf-news@pfqst.kek.jp  
URL : <http://pfwww.kek.jp/publications/pfnews/>

### 編集後記

今まで、PF ニュースを見るのは、ビームラインに配られる冊子をビームタイム中に読む程度でした。今までの 2 年間、PF ニュース編集委員を仰せつかってから、どのように PF ニュースが作られるかを垣間見ることができました。表紙の色や図についても検討されることなど、いろいろ知りました。編集作業の大部分を行ってくださっている事務局の T さんや編集委員の皆さんの取り組みにより、毎号出版されます。昨年度からは、web でも見ることができ、バックナンバーも見ることができます。バックナンバーを見ると、10 年前の PF ニュースがついこの前のように思ってしまう自分が怖くなります。当時、TX（つくばエクスプレス）は未だなかったですが。

PF には様々なビームラインがありますが、「最近の研究から」では、近くのビームラインの最先端の成果を知るよい機会となっています。「ユーザーとスタッフの広場」では、会議の参加報告や海外の放射光施設を利用した感想などが記載されており、ビームタイム中の息抜きとしてとてもよいです。このような PF ニュースは、PF 同様に 31 年が経ちますが、今後もユーザーに愛される読み物であることを願っています（J.O.）。

### \*平成 25 年度 PF ニュース編集委員\*

委員長	岡林 潤	東京大学スペクトル化学研究センター			
副委員長	阿部 仁	物質構造科学研究所			
委員	足立 純一	物質構造科学研究所	安達 成彦	物質構造科学研究所	
	宇佐美徳子	物質構造科学研究所	小野 寛太	物質構造科学研究所	
	帯名 崇	加速器研究施設	杉山 弘	物質構造科学研究所	
	田中 万也	広島大学サステナブル・ ディベロップメント実践研究センター	千葉 文野	慶應義塾大学理工学部	
	辻 淳一	(株) 東レリサーチセンター	長江 雅倫	理化学研究所基幹研究所	
	原田 雅史	奈良女子大学生活環境学部	深谷 有喜	日本原子力研究開発機構	
	山崎 裕一	物質構造科学研究所	山本 勝宏	名古屋工業大学大学院工学研究科	
事務局	高橋 良美	物質構造科学研究所			



上り (×は土曜・休日運休、○は土曜・休日運転)

系統	KEK	つくばセンター	系統	KEK	つくばセンター	系統	KEK	つくばセンター	系統	KEK	つくばセンター
HA	6:20	6:43	71	10:18	10:40	71	14:28	14:50	HA	18:15	18:38
71	×6:28	×6:50	C8	○10:25	○10:45	HA	14:45	15:08	71	○18:28	○18:50
HA	6:50	7:13	HA	10:45	11:08	C8	×14:50	×15:10	18	○18:45	○19:05
HA	7:15	7:38	C8	×10:55	×11:19	HA	15:15	15:38	HA	18:45	19:08
71	7:28	7:50	HA	11:15	11:38	71	15:28	15:50	C8	×18:45	×19:15
HA	7:45	8:08	71	11:28	11:50	HA	15:45	16:08	HA	19:15	19:38
HA	8:10	8:33	HA	11:45	12:08	HA	16:10	16:33	71	×19:18	×19:40
71	8:28	8:50	C8	11:50	12:10	HA	16:35	16:58	C8	×19:30	×19:50
HA	8:45	9:08	HA	12:15	12:38	71	16:58	17:20	HA	19:45	20:08
C8	×8:50	×9:14	HA	12:45	13:08	HA	17:10	17:33	HA	20:10	20:33
C8	○9:05	○9:25	HA	13:15	13:38	C8	○17:20	○17:40	HA	20:35	20:58
HA	9:20	9:43	71	13:23	13:45	C8	×17:20	×17:45	18	×20:50	×21:10
C8	×9:25	×9:49	HA	13:45	14:08	HA	17:40	18:03	HA	21:10	21:33
HA	9:45	10:08	HA	14:15	14:38	C8	×17:50	×18:15	HA	21:40	22:03
HA	10:15	10:38	C8	○14:20	○14:40	71	×17:58	×18:20			

18系統のつくばセンター→土浦駅東口は22分間です。

## ②つくばエクスプレス

(2012年10月15日改定)

所要時間 つくば駅-秋葉原駅(快速)約45分 [1,150円]

普通回数券(11枚綴り), 昼間回数券(12枚綴り), 土・休日回数券(14枚綴り)あり

詳細はホームページ <http://www.mir.co.jp/> をご参照下さい。

平日・下り					
秋葉原発	つくば着	秋葉原発	つくば着	秋葉原発	つくば着
*5:30	6:27	10:15	11:08	○20:00	20:46
*5:45	6:43	○10:30	11:15	20:10	21:03
○6:05	6:50	10:45	11:38	20:20	21:13
6:18	7:11	(10時~16時まで同じ)		○20:30	21:16
6:30	7:23	○17:00	17:45	20:40	21:33
6:46	7:38	17:10	18:03	20:50	21:43
○7:00	7:45	17:20	18:13	○21:00	21:46
7:12	8:05	○17:30	18:16	21:12	22:05
7:24	8:19	17:40	18:33	21:23	22:16
○7:37	8:22	17:50	18:43	21:36	22:29
7:46	8:40	△18:00	18:49	21:48	22:41
8:02	8:57	18:10	19:03	○22:01	22:47
○8:11	8:59	18:20	19:13	22:15	23:07
8:18	9:14	△18:30	19:19	22:30	23:23
○8:30	9:17	18:40	19:33	22:45	23:38
8:41	9:37	18:50	19:43	○23:00	23:45
8:56	9:50	△19:00	19:49	23:15	0:08
○9:09	9:54	19:10	20:03	*23:30	0:28
9:17	10:10	19:20	20:13	*23:45	0:43
○9:30	10:16	△19:30	20:19		
9:45	10:38	19:40	20:33		
○10:00	10:45	19:50	20:43		

平日・上り							
つくば発	秋葉原着	つくば発	秋葉原着	つくば発	秋葉原着	つくば発	秋葉原着
5:07	5:59	○9:24	10:10	○17:18	18:03	21:26	22:19
○5:28	6:13	9:31	10:25	17:20	18:13	21:41	22:34
5:32	6:24	○9:55	10:40	17:32	18:25	21:57	22:50
5:51	6:43	10:00	10:53	○17:49	18:34	22:13	23:06
6:12	7:05	○10:25	11:10	17:51	18:44	*22:27	23:25
6:32	7:26	10:30	11:23	18:01	18:54	22:40	23:33
6:40	7:33	○10:55	11:40	○18:20	19:06	22:56	23:49
△6:52	7:43	11:00	11:53	18:23	19:15	*23:14	0:11
6:56	7:51	○11:25	12:10	18:32	19:25		
7:04	7:59	11:30	12:23	○18:50	19:36		
7:11	8:07	○11:55	12:40	18:53	19:46		
△7:24	8:16	12:00	12:53	19:02	19:54		
7:27	8:23	○12:25	13:10	○19:20	20:06		
7:35	8:30	12:30	13:23	19:23	20:16		
7:43	8:38	○12:55	13:40	○19:50	20:36		
△7:53	8:46	(12時~15時まで同じ)		19:53	20:46		
7:57	8:52	16:00	16:53	○20:18	21:03		
8:12	9:05	○16:27	17:12	20:24	21:17		
△8:25	9:14	16:31	17:24	20:38	21:31		
8:31	9:24	16:42	17:35	20:51	21:44		
8:47	9:40	16:52	17:45	○21:08	21:53		
9:01	9:54	17:01	17:54	21:11	22:03		

土曜/休日・下り					
秋葉原発	つくば着	秋葉原発	つくば着	秋葉原発	つくば着
*5:30	6:27	9:45	10:38	○20:00	20:45
*5:45	6:42	○10:00	10:45	20:15	21:09
○6:05	6:50	10:15	11:08	○20:30	21:15
6:18	7:11	○10:30	11:15	20:45	21:39
6:31	7:24	10:45	11:38	○21:00	21:45
6:43	7:35	(10時~16時まで同じ)		21:11	22:04
○7:00	7:45	○17:00	17:45	21:24	22:17
7:12	8:05	17:15	18:09	21:36	22:29
○7:24	8:09	○17:30	18:15	21:48	22:41
7:35	8:27	17:45	18:39	○22:03	22:48
7:48	8:41	○18:00	18:45	22:15	23:08
○8:00	8:45	18:15	19:09	22:30	23:23
8:20	9:12	○18:30	19:15	22:45	23:38
○8:30	9:15	18:45	19:39	○23:00	23:45
8:50	9:42	○19:00	19:45	23:15	0:08
○9:00	9:45	19:15	20:09	*23:30	0:28
9:19	10:12	○19:30	20:15	*23:45	0:43
○9:30	10:15	19:45	20:39		

土曜/休日・上り							
つくば発	秋葉原着	つくば発	秋葉原着	つくば発	秋葉原着	つくば発	秋葉原着
5:07	5:59	○7:58	8:43	10:29	11:22	21:00	21:53
○5:28	6:13	8:02	8:54	○10:55	11:40	○21:28	22:13
5:32	6:24	○8:28	9:13	11:02	11:54	21:40	22:33
5:51	6:43	8:32	9:25	○11:25	12:10	21:56	22:49
6:13	7:06	8:47	9:39	11:30	12:23	22:15	23:08
6:33	7:26	○9:10	9:55	○11:55	12:40	*22:27	23:25
○6:57	7:42	9:17	10:10	12:00	12:53	22:40	23:33
7:01	7:53	9:31	10:24	○12:25	13:10	22:56	23:49
○7:28	8:13	○9:54	10:39	12:30	13:23	*23:14	0:11
7:31	8:23	10:01	10:54	○12:55	13:40		
7:41	8:34	○10:25	11:10	(12時~20時まで同じ)			

○:快速

△:通勤快速(研究学園駅にも停まります。)

無印:区間快速 \*:普通

### ③ 高速バス

### 高速バス発車時刻表 [つくば号]

(2011年6月1日改正)

運賃 東京駅←つくばセンター(←筑波大学)：1150円(3枚綴り回数券3100円, 上り専用3枚綴りで1900円)  
 @ミッドナイトつくば号 東京駅→筑波大学：2000円(回数券は使用不可)  
 所要時間 東京→つくば65分～70分 つくば→上野90分(平日) つくば→東京110分(平日)  
 つくば→東京80分(日祝日)

○ 6:50U	○ × 9:30U	○ × 14:30U	○ × 18:40U	× 21:30U
× 7:00U	○ × 10:00U	○ × 15:00U	○ × 19:00U	○ 21:40U
○ 7:20	○ × 10:30U	○ × 15:30U	○ 19:20U	○ × 22:00U
× 7:30U	○ × 11:00U	○ × 16:00U	× 19:30U	○ 22:20U
○ 7:40	○ × 11:30U	○ × 16:30U	○ 19:40	× 22:30U
○ × 8:00U	○ × 12:00U	○ × 17:00U	○ × 20:00U	○ 22:40U
○ 8:20U	○ × 12:30U	○ × 17:20U	○ × 20:20U	○ × 23:00U
× 8:30U	○ × 13:00U	○ × 17:40U	○ × 20:40U	○ 23:50U@
○ 8:40U	○ × 13:30U	○ × 18:00U	○ × 21:00U	× 24:00U@
○ × 9:00U	○ × 14:00U	○ × 18:20U	○ 21:20U	○ 24:10U@
			○ × 24:30U@	

○ 5:00U	× 8:40U	○ × 11:30U	○ 16:20U	○ 19:20U
○ × 5:30U	○ × 9:00U	○ × 12:00U	× 16:30U	× 19:30U
○ × 6:00U	○ 9:20	○ × 12:30U	○ 16:40	○ 19:40U
○ × 6:30U	× 9:20U	○ × 13:00U	○ × 17:00U	○ × 20:00U
○ × 7:00U	○ 9:40	○ × 13:30U	○ 17:20U	○ 20:20U
× 7:20U	× 9:40U	○ × 14:00U	× 17:30U	× 20:30U
○ 7:30U	○ × 10:00U	○ × 14:30U	○ 17:40U	○ 20:40U
× 7:40U	○ × 10:20U	○ × 15:00U	○ × 18:00U	○ × 21:00U
○ × 8:00U	○ 10:40	○ 15:20U	○ 18:20U	○ 21:20
× 8:20U	× 10:40U	× 15:30U	× 18:30U	× 21:30U
○ 8:30U	○ × 11:00U	○ 15:40U	○ 18:40U	○ 21:40U
		○ × 16:00U	○ × 19:00U	○ × 22:00U

※○：平日 ×：土日休 @ミッドナイトつくば号。

上りは、平日・土曜のみ都営浅草駅、上野駅経由

※つくば市内のバス停(上下便とも) 筑波大学、学生会館、筑波大学病院、つくばセンター、竹園二丁目、千現一丁目、並木一丁目、並木二丁目、並木大橋、下広岡

※ミッドナイトつくば号の乗車券は乗車日の1カ月前から発売。

●発売窓口：学園サービスセンター(8:30~19:00) 東京営業センター(東京駅乗車場側/6:00~発車まで)

新宿営業センター(新宿駅南口JRバス新宿営業センター内/6:00~23:00)

●電話予約：JRバス関東03-3844-0489(10:00~18:00) ●ネット予約：決済 <http://www.kousokubus.net/> (高速バスネット)

### ④⑤⑥ 空港直通バス

(つくばセンターバス乗り場：8番)

#### 羽田空港←→つくばセンター

所要時間：約2時間(但し、渋滞すると3時間以上かかることもあります。) 運賃：1,800円 (2013年10月1日改定)

国際線ターミナル	第2ターミナル	第1ターミナル	つくばセンター
9:15	9:25	9:30	11:15
11:15	11:25	11:30	13:15
14:45	14:55	15:00	16:45
16:05	16:15	16:20	18:05
17:45	17:55	18:00	19:45
19:20	19:30	19:35	21:00
20:45	20:55	21:00	22:15
22:05	22:15	22:20	23:35

つくばセンター	第2ターミナル	第1ターミナル	国際線ターミナル
4:40	6:17	6:22	6:29
6:00	7:47	7:52	7:59
8:00	9:57	10:02	10:09
9:30	11:27	11:32	11:39
12:30	14:07	14:12	14:19
14:30	16:07	16:12	16:19
17:30	19:07	19:12	19:19
18:35	20:02	20:07	20:14

※ 平日日祝日とも上記時刻表

※ 羽田空港乗り場：1階到着ロビーバス乗り場13番、国際線ターミナル6番

※ 上下便、つくば市内でのバス停：竹園二丁目、千現一丁目、並木一丁目、並木二丁目、並木大橋

※ 問い合わせ：029-836-1145(関東鉄道) / 03-3765-0301(京浜急行)

#### 成田空港←→つくばセンター(土浦駅東口行) (AIRPORT LINER NATT'S)

(2013年11月18日改定)

所要時間：約1時間40分 運賃：2,540円

乗車券購入方法(成田空港行)：予約制。1カ月前から予約受付。乗車券は3日前までに購入。KEKの売店でも購入可。

予約センター電話：029-822-5345(月~土：8:30~19:00)

つくばセンター方面土浦駅東口行：成田空港1F京成カウンターにて当日販売

第2ターミナル	第1ターミナル	つくばセンター
7:40	7:45	9:20
9:05	9:10	10:45
10:35	10:40	12:15
12:50	12:55	14:30
14:30	14:35	16:10
16:15	16:20	17:55
17:20	17:25	19:00
18:45	18:50	20:25
20:10	20:15	21:50

つくばセンター	第2ターミナル	第1ターミナル
5:50	7:30	7:35
7:00	8:40	8:45
8:50	10:25	10:30
10:40	12:15	12:20
12:20	13:55	14:00
13:35	15:10	15:15
14:35	16:10	16:15
15:50	17:25	17:30
17:35	19:10	19:15

※ 平日日祝日とも上記時刻表

#### 茨城空港←→つくばセンター

(2013年12月20日改定)

所要時間：約1時間 運賃：1,000円

問い合わせ 029-836-1145(関東鉄道)

11:10	12:10
17:30	18:30

9:20	10:20
15:00	16:00

※航空便の運行状況によって、運休/時刻変更の場合があります。



# KEK 周辺生活マップ

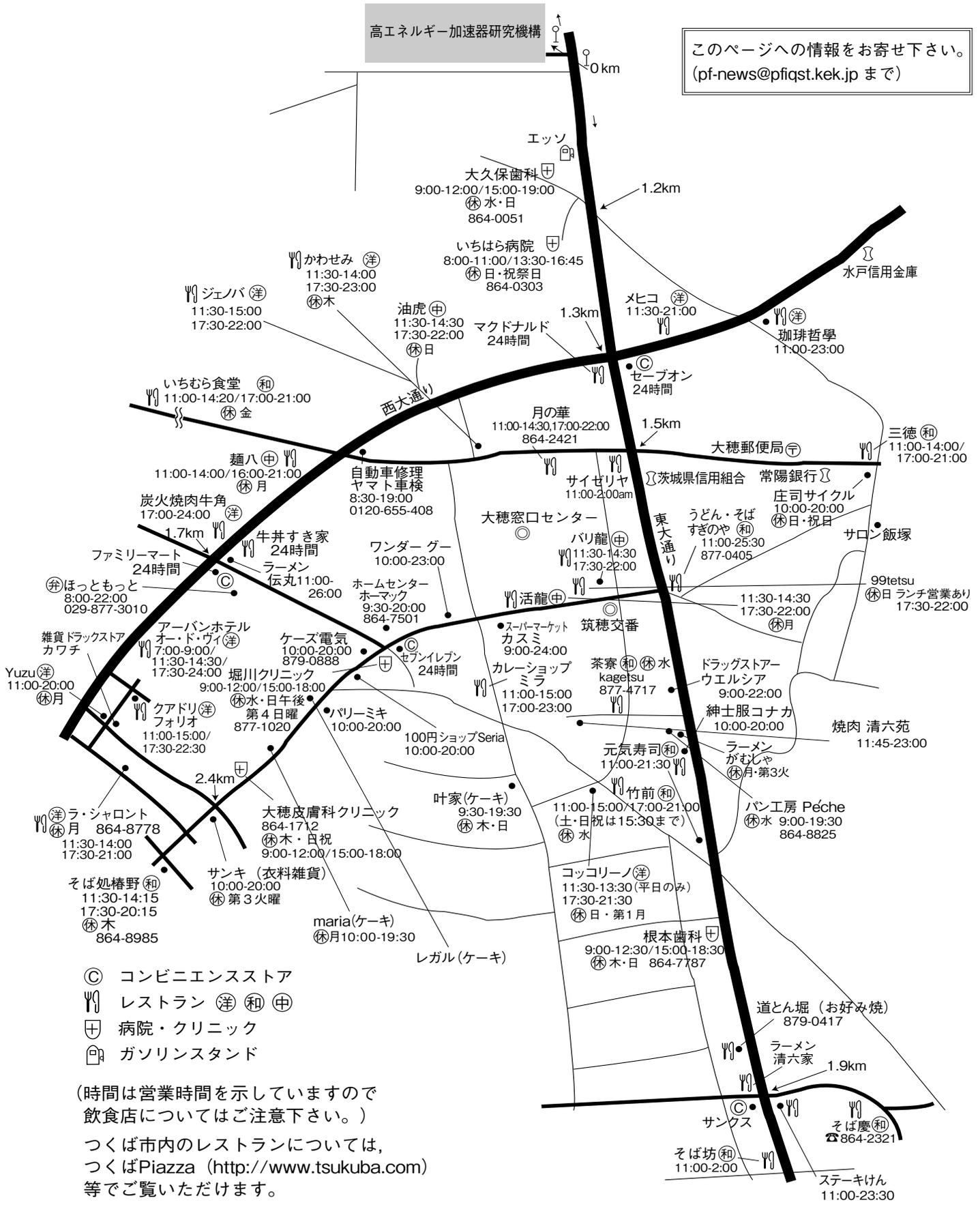
(確認日: 2014. 1. 20)

放射光科学研究施設研究棟, 実験準備棟より正面入口までは約 800 m

## KEK

高エネルギー加速器研究機構

このページへの情報をお寄せ下さい。  
(pf-news@pqst.kek.jp まで)



- ◎ コンビニエンスストア
- ㊦ レストラン (洋) (和) (中)
- ⊕ 病院・クリニック
- ⊡ ガソリンスタンド

(時間は営業時間を示していますので  
飲食店についてはご注意ください。)  
つくば市内のレストランについては、  
つくばPiazza (<http://www.tsukuba.com>)  
等でご覧いただけます。



## KEK内福利厚生施設

ユーザーの方は、これらの施設を原則として、機構の職員と同様に利用することができます。各施設の場所は後出の「高エネルギー加速器研究機構平面図」をご参照下さい。

### ●共同利用宿泊者施設（ドミトリー）

（管理人室 TEL/FAX:029-864-5574 PHS:2929）

シングルバス・トイレ付き 2,000円

シングルバス・トイレなし 1,500円

- ドミトリーは夜の22時から朝の8時までは施錠されます。また、この時間帯は管理人が不在ですので、22時以降にドミトリーに到着される方はインフォメーションセンター（029-864-5572, PHS:3398）でドミトリーの部屋の鍵を受け取って下さい。
- 支払いはユーザーズオフィスにて、現金の他、クレジットカード、デビットカードが利用可能です。また宿泊が週末等になり、ユーザーズオフィスで支払えない場合は銀行振込、管理人による現金での領収も可能です。

### ●図書室（研究本館1階 内線3029）

開室時間：月～金 9:00～17:00

閉室日：土、日、祝、年末年始、夏季一斉休業日  
機構発行のIDカードがあれば開室時間以外でも入館可能。詳しくは下記URLをご覧ください。

(<http://www-lib.kek.jp/riyou/index.html>)

### ●健康相談室（医務室）（内線 5600）

勤務時間中に発生した傷病に対して、応急処置を行うことができます。健康相談も行っていますので、希望者は事前に申し込んでください。

場 所 先端計測実験棟

開室時間 8:30～17:00（月曜日～金曜日）

### ●食 堂（内線 2986）

営 業 月～金 ただし祝日及び年末年始は休業

昼食 11:30～13:30 夕食 17:30～19:00

### ●レストラン（内線 2987）

営 業 月～金 ただし祝日及び年末年始は休業

昼食 12:00～14:00（ラストオーダー13:40）

### ●喫茶店「風来夢（プライム）」（内線 3910）

営 業 日：毎日（年末年始、夏季休業日を除く）

営業時間：7時30分～21時00分（土・休は8:00～）

（朝食）7時30分～9時30分

（昼食）11時30分～13時30分

（夕食）17時30分～21時00分

上記以外は喫茶での営業

（※清掃作業のため10時～11時は入店出来ません。）

### ●売 店（内線3907）

弁当、パン、食料品、菓子類、日用品、タバコ、お酒、雑誌、切手等、素粒子グッズの販売、クリーニング、DPE、宅配便の取次ぎ。

営 業 月～金 9:00～19:00

### ●宅配便情報

① PF に宅配便で荷物を送る場合には、下記宛先情報を宅配便伝票に必ず記載する。

【PF への荷物の宛先】 PF 事務室気付 BL-○○○（ステーション名）+受取者名

【PF-AR への荷物の宛先】 PF 事務室気付 PF-AR 共同研究棟 N○○○（ステーション名）+受取者名  
以下の情報を [shipping@pfiqst.kek.jp](mailto:shipping@pfiqst.kek.jp) 宛てに送る。

1. 発送者氏名、2. 所属、3. KEK 内での連絡先（携帯電話等）、4. 発送日、5. 運送業者、6. PF への到着予定日時、7. 荷物の個数、8. ステーション名およびビームタイム

② PF-AR 地区宅配便荷物置場の移動について

2010年9月24日より、宅配便荷物置場が従来使用してきたPF-AR南コンテナハウスから、PF-AR共同研究棟に移動しました。PF棟入口は平日8:30～18:00以外は自動施錠されますが、ユーザーカードによる解錠は可能です。

### ●自転車貸出方法（受付 [監視員室] 内線3800）

- ・貸出は実験ホール入口の監視員室で行う。
- ・貸出は一往復とし、最長でも半日とする。
- ・使用後は所定の自転車スタンドへ戻し、鍵は監視員室へ速やかに戻す。

（PF-ARでも自転車を10台用意していますので利用したい方はビームライン担当者または運転当番 [PHS 4209] に連絡して下さい。）

ユーザーズオフィスでも自転車の貸出を行っています。

### ●常陽銀行ATM

取扱時間：9:00～18:00（平日） 9:00～17:00（土）

日・祝日の取扱いはありません。常陽銀行以外の金融機関もカードのみの残高照会、引出しが可能です。

### ●郵便ポスト（計算機棟正面玄関前）

収集時間：10:30（平日・土曜）、10:00（休日）

●ユーザーズオフィスについては、<http://usersoffice.kek.jp/> をご覧ください。

Tel : 029-879-6135, 6136 Fax : 029-879-6137

Email : [usersoffice@mail.kek.jp](mailto:usersoffice@mail.kek.jp)

## ビームライン担当一覧表 (2014. 2. 1)

ビームライン	光源	BL担当者	
ステーション	形態 ステーション/実験装置名 (●共同利用, ○建設/立ち上げ中, ◇所外, ☆教育用BL, ★UG運営ST)	担当者 担当者 (所外)	
<b>BL-1</b>	<b>U</b>	<b>松垣</b>	
BL-1A	● タンパク質結晶構造解析ステーション	松垣	
<b>BL-2</b>	<b>U</b>	<b>雨宮</b>	
BL-2A	○ 固体表面・界面光電子分光実験ステーション(仮)	雨宮	
BL-2B	○ 機能性材料解析ステーション (仮)	雨宮	
<b>BL-3</b>	<b>U (A) / B M (B, C)</b>	<b>中尾</b>	
BL-3A	● 六軸X線回折計/二軸磁場中X線回折実験ステーション	中尾	
BL-3B	☆● VUV 24m球面回折格子分光器 (SGM)	柳下	加藤 (弘前大)
BL-3C	● X線光学素子評価/白色磁気回折ステーション	平野	
<b>BL-4</b>	<b>B M</b>	<b>中尾</b>	
BL-4A	● 蛍光X線分析/マイクロビーム分析	飯田	
BL-4B2	●★ 多連装粉末X線回折装置	中尾	井田 (名工大)
BL-4C	● 六軸X線回折計用実験ステーション	山崎	
<b>BL-5</b>	<b>M P W</b>	<b>松垣</b>	
BL-5A	● タンパク質結晶構造解析ステーション	松垣	
<b>BL-6</b>	<b>B M</b>	<b>五十嵐</b>	
BL-6A	● X線小角散乱ステーション	五十嵐	
BL-6C	●★ X線回折/散乱実験ステーション	河田	佐々木 (東工大)
<b>BL-7</b>	<b>B M</b>	<b>雨宮 (岡林: 東大)</b>	
BL-7A	◇● 軟X線分光 (XAFS, XPS) ステーション (東大・スペクトル)	雨宮	岡林 (東大)
BL-7C	● 汎用X線ステーション	杉山	
<b>BL-8</b>	<b>B M</b>	<b>熊井</b>	
BL-8A	● 多目的極限条件下ワンセンベルグカメラ	熊井	
BL-8B	● 多目的極限条件下ワンセンベルグカメラ	熊井	
<b>BL-9</b>	<b>B M</b>	<b>阿部</b>	
BL-9A	● XAFS実験ステーション	阿部	
BL-9C	● XAFS実験ステーション	阿部	
<b>BL-10</b>	<b>B M</b>	<b>五十嵐</b>	
BL-10A	●★ 垂直型四軸X線回折装置	山崎	吉朝 (熊本大)
BL-10C	● 溶液用小角散乱実験ステーション(酵素回折計)	清水	
<b>BL-11</b>	<b>B M</b>	<b>北島</b>	
BL-11A	● 軟X線斜入射回折格子分光器	北島	
BL-11B	● 軟X線2結晶分光ステーション	北島	
BL-11D	● 軟X線光学素子評価装置用ステーション	間瀬	
<b>BL-12</b>	<b>B M</b>	<b>仁谷</b>	
BL-12C	● XAFS実験ステーション	仁谷	
<b>BL-13</b>	<b>U</b>	<b>間瀬</b>	
BL-13A/B	● 表面化学研究用真空紫外軟X線分光ステーション	間瀬	
<b>BL-14</b>	<b>V W</b>	<b>岸本</b>	
BL-14A	● 単結晶構造解析・検出器開発ステーション	岸本	
BL-14B	● 精密X線回折実験ステーション	平野	
BL-14C	● X線イメージングおよび汎用X線実験ステーション	兵藤	
<b>BL-15</b>	<b>U</b>	<b>五十嵐</b>	
BL-15A1	○ セミマイクロビーム XAFS 実験ステーション	仁谷	
BL-15A2	○ 高輝度X線小角散乱実験ステーション	清水	

<b>BL-16</b>		<b>U</b>	<b>雨宮</b>
BL-16A	●	可変偏光軟X線分光ステーション	雨宮
<b>BL-17</b>		<b>U</b>	<b>山田</b>
BL-17A	●	タンパク質結晶構造解析ステーション	山田
<b>BL-18</b>		<b>B M</b>	<b>柳下 (矢治 : 東大物性研)</b>
BL-18A	◇●	表面・界面光電子分光実験ステーション	柳下 矢治 (東大物性研)
BL-18B(インド・DST)	◇○	Multipurpose Monochromatic Hard X-ray Station	熊井 VELAGA, Srihari (DST)
BL-18C	●★	超高压下粉末X線回折計	亀卦川 中野 (物材機構)
<b>BL-19 (東大・物性研)</b>		<b>U</b>	<b>柳下 (矢治 : 東大物性研)</b>
BL-19A	◇●	スピン偏極光電子分光実験ステーション	柳下 矢治 (東大物性研)
<b>BL-20</b>		<b>B M</b>	<b>足立 (純)</b>
BL-20A	☆●	3 m直入射型分光器	足立 (純) 河内 (東工大)
BL-20B	○	白色・単色 X線トポグラフィ/X線回折実験ステーション	杉山
<b>BL-27</b>		<b>B M</b>	<b>宇佐美</b>
BL-27A	●	放射性試料用軟X線実験ステーション	宇佐美
BL-27B	●	放射性試料用X線実験ステーション	宇佐美
<b>BL-28</b>		<b>H U</b>	<b>小野</b>
BL-28A/B	●	可変偏光 VUV・SX 不等間隔平面回折格子分光器 高分解能角度分解光電子分光実験ステーション	小野
<b>PF-AR</b>			
<b>AR-NE1</b>		<b>E M P W</b>	<b>亀卦川</b>
AR-NE1A	●	レーザー加熱超高压実験ステーション	亀卦川
<b>AR-NE3</b>		<b>U</b>	<b>山田</b>
AR-NE3A	●	タンパク質結晶構造解析ステーション	山田
<b>AR-NE5</b>		<b>B M</b>	<b>亀卦川</b>
AR-NE5C	●	高温高压実験ステーション /MAX80	亀卦川
<b>AR-NE7</b>		<b>B M</b>	<b>兵藤</b>
AR-NE7A	●	X線イメージングおよび高温高压実験ステーション	兵藤
<b>AR-NW2</b>		<b>U</b>	<b>阿部</b>
AR-NW2A	●	時分割 XAFS 及び時分割X線回折実験ステーション	阿部
<b>AR-NW10</b>		<b>B M</b>	<b>仁谷</b>
AR-NW10A	●	XAFS 実験ステーション	仁谷
<b>AR-NW12</b>		<b>U</b>	<b>山田</b>
AR-NW12A	●	タンパク質結晶構造解析ステーション	山田
<b>AR-NW14</b>		<b>U</b>	<b>野澤</b>
AR-NW14A	●	時間分解 X線回折実験ステーション	野澤
<b>低速陽電子</b>			
SPF-A3	○	全反射陽電子回折装置	兵頭
SPF-B1	●	低速陽電子ビーム汎用ステーション	兵頭
SPF-B2	●	ポジトロニウム飛行時間測定装置	兵頭

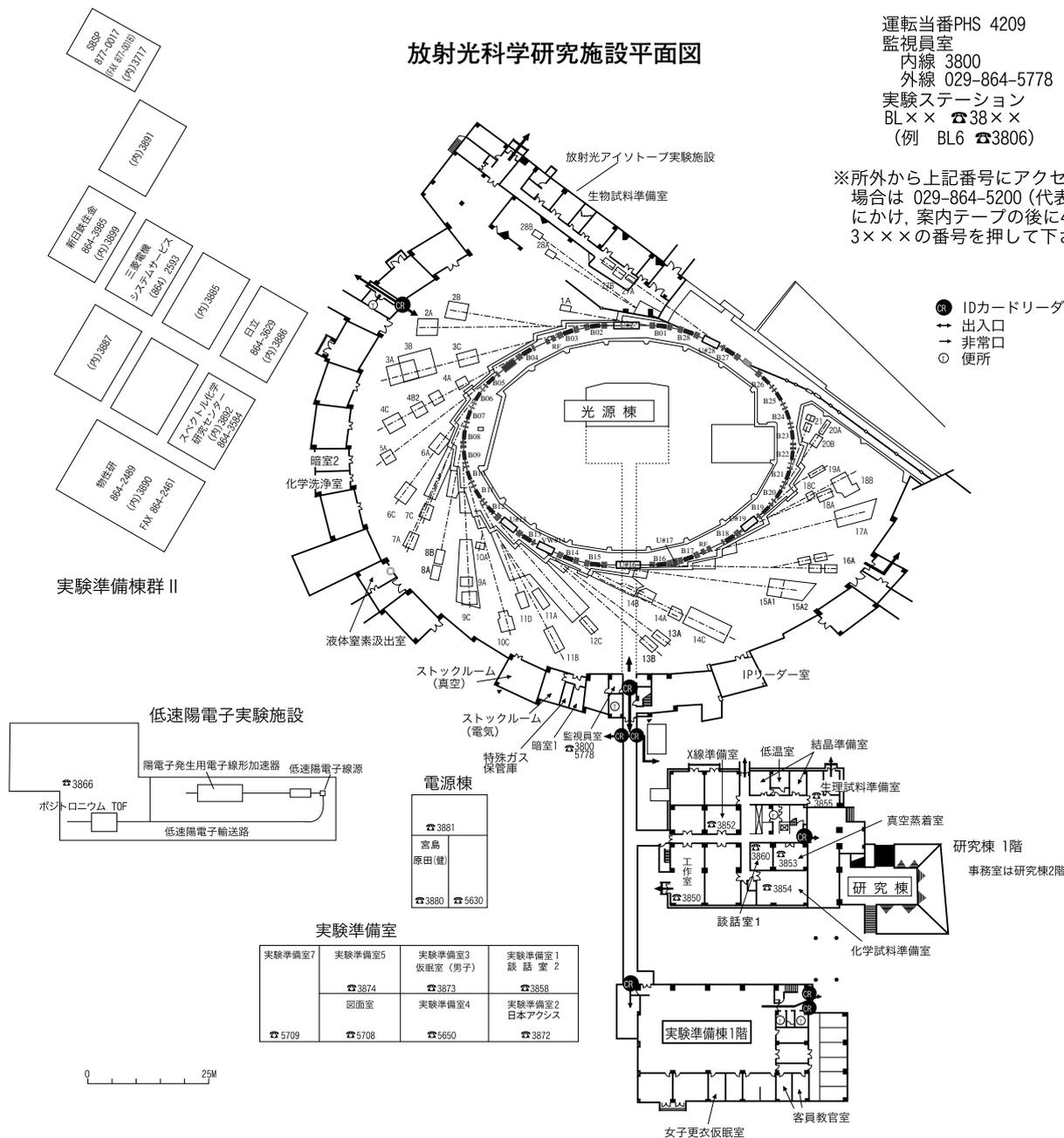
【所外ビームライン】 BL-7A 東大 RCS 岡林 jun@chem.s.u-tokyo.ac.jp  
 BL-18A, 19A 物性研 矢治 029-864-2489 yaji@issp.u-tokyo.ac.jp  
 BL-18B インド DST VELAGA, Srihari 029-879-6237 [2628] vsrihari\_kjgm@yahoo.co.in

# 放射光科学研究施設平面図

運転当番PHS 4209  
 監視員室  
 内線 3800  
 外線 029-864-5778  
 実験ステーション  
 BL×× ☎38××  
 (例 BL6 ☎3806)

※所外から上記番号にアクセスする  
 場合は 029-864-5200 (代表番号)  
 にかき、案内テープの後に4×××、  
 3×××の番号を押して下さい。

- IDカードリーダー
- 出入口
- ⇄ 非常口
- 便所



**実験準備室**

実験準備室7 ☎5709	実験準備室5 ☎3874	実験準備室3 仮眠室 (男子) ☎3873	実験準備室1 談話室2 ☎3858
	図面室 ☎5708	実験準備室4 ☎5650	実験準備室2 日本アクセス ☎3872

## PF-AR平面図

**PF-AR共同研究棟**

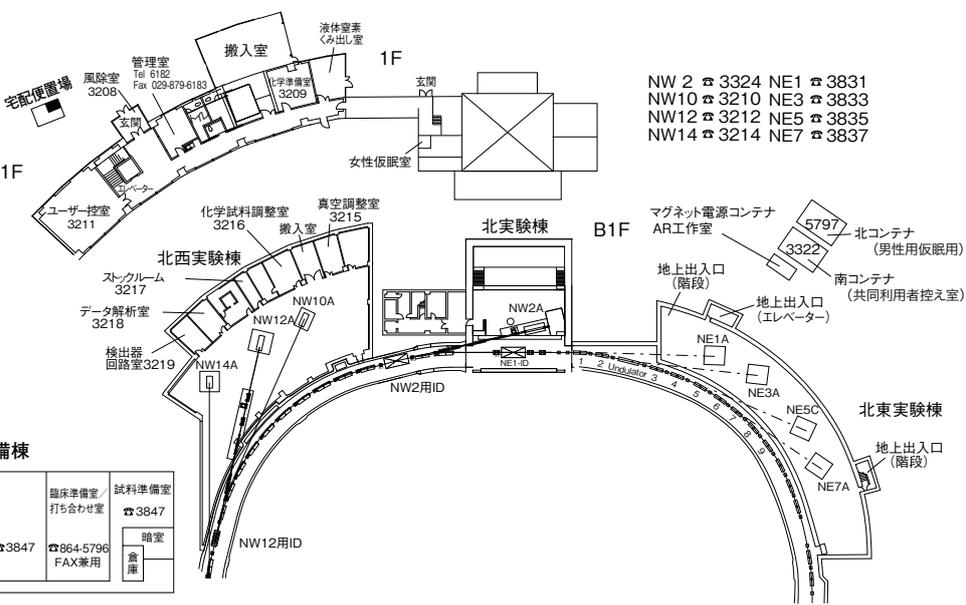
富田, 星野  
6185.6186  
Fax 6187

**PF-ARコンテナ**

北コンテナ 男子仮眠室/ 物品倉庫 ☎5797	南コンテナ ユーザー控室/ 打ち合わせ室 ☎3322
----------------------------------	-------------------------------------

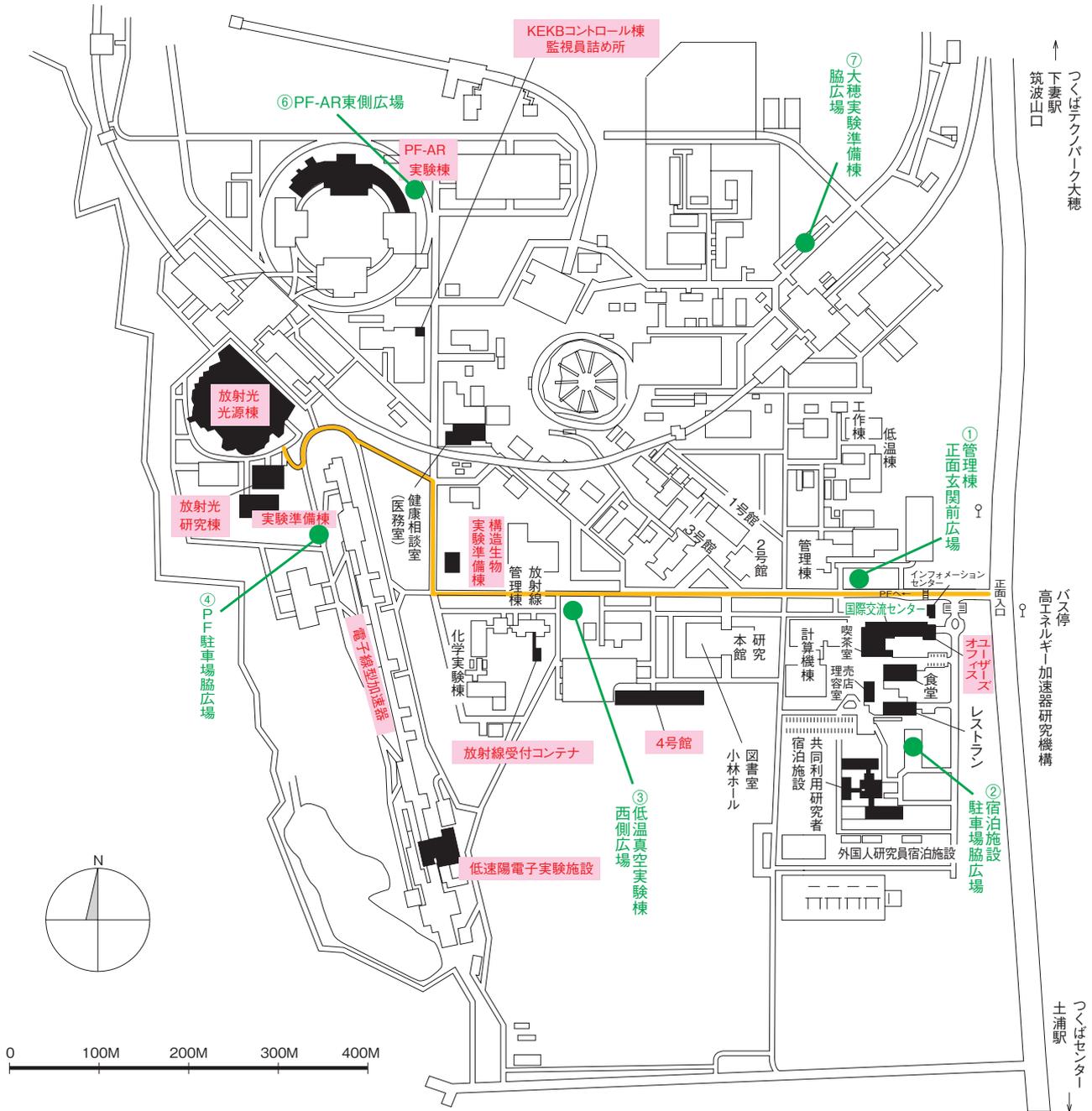
**PF-AR実験準備棟**

真空装置調整室 ☎3846	結晶加工室 ☎3846	臨床準備室/ 打ち合わせ室 ☎3847	試料準備室 ☎3847
	光学素子評価室 ☎3846	☎864-5796 FAX専用	暗室 倉庫



# 高エネルギー加速器研究機構平面図

(物質構造科学研究所 放射光科学研究施設関係分)



— 歩行者・自転車用ルート(工事のため通行できない場合がありますので、ご注意下さい。)

● 緊急時避難場所 Emergency Assembly Area

非常の際は、運転当番 4209 インフォメーションセンター 3399

