

PF-UA 第 1 回幹事会議事録

日時：2013 年 6 月 5 日（水）13:00～14:30

場所：KEK4 号館 2 階輪講室 1

出席者：佐藤衛，朝倉清高，田中信忠，植草秀裕，腰原伸也，清水敏之，近藤寛，木村正雄，村上洋一，足立伸一，熊井玲児

◆幹事報告

会計報告（田中会計幹事）

H25 年度予算案を提示

BL-4A 問題（腰原戦略・将来計画検討幹事）

- ・ 2 結晶分光器の運用に集中したユーザー運営 BL とする。
 - ・ 多層膜分光器装置の運営がユーザー運営 BL の形で可能かどうか，ユーザー間で検討中。
 - ・ 人事については最低限 3 年前までに PF-UA 側に提案し，状況説明をするように要望する。
- の 3 点について運営委員会で協議の後，PF に要望書を提出。

院生奨励課題（近藤教育担当幹事）

PF-UA からの提案に対する PF 側の疑問，問題点が示された。

- ・ PF 側の受入担当教員の役割が不明確。
- ・ 放射光に軸足を置いた研究とはどのような研究を想定しているのか。
- ・ 既存課題のビームタイム確保に使われかねないのではないか。
- ・ 特別共同利用研究員とどう摺り合わせるのか。

これらを受けた教育小委員会の意見をまとめて再度 PF に要望書を提出する。7 月の PAC にかけて，できれば来年 4 月実施を目指す。

◆新 3 GeV リング構想について（村上施設長）

村上施設長から 6/1 の放射光光源将来計画検討会の報告があった。

ERL 実現までの 10 年を埋めるために今後の放射光将来計画として

- ・ PF は「3 GeV 高輝度蓄積リング計画」の実現に向けて，All Japan の体制の中で先導的な役割を果たす。
- ・ ERL の加速器技術開発は継続的に行っていく。

拡大運営委員会でコンセンサスを得られたら，3 GeV 高輝度蓄積リング実現に向けての要望書を KEK に提出する。

PF-UA 第 1 回拡大運営委員会議事録

日時：2013 年 6 月 5 日（水）15:00～17:00

場所：KEK4 号館 2 階輪講室 1，2

出席者：佐藤 衛，朝倉清高，清水敏之，田中信忠，岡林 潤，植草秀裕，腰原伸也，沼子千弥，木村正雄，近藤 寛，今井基晴，奥田浩司，尾嶋正治，鈴木昭夫，高橋敏男，高橋嘉夫，田淵雅夫，林 好一，藤森 淳，船守展正，三木邦夫，百生 敦，横谷明德，足立伸一，熊井玲児，河田 洋，千田俊哉，村上洋一，平井光博，高橋博樹，中尾裕則，吉信 淳，小田切丈，岸本俊二，和田 健，松下昌之助，手塚泰久，枝元一之，山口博隆，杉山和正，月原勝宏，山田和芳，兵藤一行，組頭広志

1. 佐藤会長から挨拶があった。

2. 物構研 山田所長より挨拶があった。

2013/5/23 J-PARC ハドロン実験施設で放射性同位体の漏洩と内部被曝の事故があり，つくば地区の加速器を有する研究機関でも大規模に調査を行っている。JAEA と KEK が協力して，問題解明と今後の対処についての検討を進めている。このように，これまで考えてもいなかった事件が生じた場合にどうするかも重要な検討事項で，放射光科学研究施設にも影響が大きいだろう。

3. 会計幹事から H25 年度の予算案について説明があった。

4. 戦略・将来計画小委員会 腰原幹事より報告があった。

BL-4A の担当教員の退職に伴うビームライン運営の見直しについて，今後，他のビームラインでも起こりうる事態のプロトタイプとして慎重に検討してきた。これまで，PF-UA から，当該のマイクロビーム UG（高橋嘉夫代表）に，UG 運営グループのラインとして運用が可能かどうかを検討依頼してきた。BL-4A では 2 結晶モノクロメータと多層膜モノクロメータが運用されてきたが，PF のスタッフと UG の共同体制で今後 BL-4A を運営するにあたっては，2 結晶モノクロメータのみ維持する方向で計画を進める。高橋代表からは，この問題に関しては，一部のユーザーにとっては，それまで何も情報がないまま，突然多層膜モノクロメータが使えない，という状況になることに対する懸念のコメントがあり，マシンタイム配分・ビームタイム申請に関わることなので，BL-4A のスペックに関する早急な告知とすでに課題が採択されたユーザーに対する対応を行うことが必要であることを確認した。高圧 UG も同じような状況にあり，高圧 UG についても，やはり 3 年くらいから PF-UA と PF との間で議論を始めるべきとの見解も確認した。

5. 近藤教育担当幹事より、院生奨励課題（T型課題）について説明があった。

院生奨励課題（T型課題）については7月のPACで提案し、承認されれば、来年の4月から運用が開始される。この課題は、大学院生の優れた研究を推進する課題であり、a) 大学院生（博士後期課程在学者もしくは博士後期課程進学予定の修士2年生）が申請を行い、b) 所属大学の指導教員が保証人としてメンバーに加わる、c) PF受入担当教員と事前に相談するなどの条件が課せられる。

これに類似した学生の研究支援システムとして、すでに特別共同利用研究員という、PFスタッフと大学のスタッフが共同の指導者になって院生の研究指導を行う制度があり、これに対して院生奨励課題をどのように位置づけるかを、教育小委員会で検討している。

特別共同利用研究員制度では、運用に関して大学とKEKの間で協定を結ぶようにしているが、T課題では、大学側の指導教員が最終的な責任者とする。

課題審査は、学生が主体となって研究を計画・推進することを前提に、PACの審査基準で行う。このとき、受け入れ担当の指導教官と事前に打ち合わせて、研究課題を検討することとする。T課題での旅費のサポートはG課題よりも厚くする方向で検討している。またT課題の義務として、PFシンポジウムで成果発表を行い、PACの審査を受けることとする。

6. PFの将来計画について、村上施設長より説明があった。

Photon Factoryは、年間3200人のユーザーを有する31歳の施設である。これまで、フォトンファクトリー次期光源検討委員会により、PF次期光源としてERLが採択され、KEKロードマップにもその記載があるが、日本放射光学会より、東日本に第三世代リング建設計画があがってきており、KEKがこの計画に積極的に関与していく可能性の検討を行う依頼があった。ERLまでの10年間を埋めるための近将来計画をKEKの中で議論することが望まれている。

ARは直線入射路を確保することでエミッタンスを下げようとしている。一方、PFは30年を経た施設として、次の3 GeVリングの計画を協力で推進することが、次の世代へのスムーズな移行につながると考えている。

参加者からのコメント：

- 東北の3 GeVリング、今回の3 GeVリング、SPring-8IIの3つの計画があるなかで、日本の放射光実験施設の運営体制をAll Japanでどのように構築していくか、放射光学会で検討をお願いしたい。
- PFとPF-ARのアクティビティは、現在から3 GeV、そしてERLへシームレスに移行することが最も重要である。
- 3 GeVリングのスペックについて、実際のユーザーである、PF-UAからどんどん要望を発信して行くことが重要である。KEKが先導する、PF-UAも支援するという体勢が重要であり、PF懇談会からPF-UAになった

大きな力をここで発揮できるのではないか。PF-UAからは、3 GeVの先導的な役割を果たしていただきたいこと、またユーザーとしての要望について、KEK機構長と放射光学会に要望書を提出する。PF-UAの皆さんにはもう少し詳細な情報を提供する予定で、今後、新しい光源でどのようなサイエンスを展開できるか議論を始める。これから育ち行くユーザーのことが、放射光学会にとって非常に重要である。

- PFの大きな特徴として、教育・産学協同連携、650もの論文、旅費も支給という存在を無くしてはならない。

ユーザーぐるーぷ紹介シリーズ 表面界面構造ユーザーグループ紹介

東京大学 高橋敏男
お茶の水女子大学 近藤敏啓

1. はじめに

表面界面構造ユーザーグループ（UG）は、PF懇談会がPF-UAと改組された際に、旧表面界面構造UGと旧固液界面UGが統合され2012年度に発足した。2つのUGは、測定の主対象が真空中か溶液中かで多少異なるが、試料の表面や界面では、表面界面に垂直方向の周期性が切断されるために、表面界面に特有なバルクとは異なる構造が出現するので、そのような構造と物理的・化学的特性との関係に興味をもって研究をするという観点から共通点が多く、名称は改めて表面界面構造グループとして再出発することにした。

測定方法としては、2つの旧UGとも主として表面X線回折散乱法（Surface X-ray diffraction/scattering; SXD、あるいはSXS）を用い、X線吸収微細構造（X-ray Absorption Fine Structure; XAFS）も相補的に適宜用いている。統合してからまだ間もないので、ここでは2つの旧UGの最近の話題をそれぞれ紹介することにする。

2. 最近の研究から

1) 旧表面界面構造ユーザーグループ

旧表面界面構造UGでは、結晶表面の再構成構造や吸着構造、超薄膜構造などのように超高真空中で試料作製しその場観察で測定するものについてはBL-15B2に設置されていた6軸表面X線回折計を用いて行われてきた。その中から吸着構造と超薄膜構造に関する最近の研究を1つずつ紹介する。

Si(553)面などの微傾斜表面は(111)面テラスとステップから成り、単原子層以下の微量の金属原子が吸着するとステップに平行な金属1次元構造が(111)面テラス上に形成される。このような1次元構造は、パイエルス転移や朝永ラッティンジャー液体状態が出現する可能性があり注目されている。Au/Si(553)が作る1次元構造については、室温ではAu原子がステップに垂直なdimer構造を形成し、そ

の dimer がステップと平行な 1 次元鎖状構造をとることを SXD 法の測定から明らかにし、結果として、それまで曖昧であった Au の吸着量(被覆率)も確定することができた。さらに、相転移点以下の低温では、Au の dimer が 2 倍周期の変調構造をとりパイエルズ転移的な振る舞いをすることも分かった。

近年、トポロジカル絶縁体が注目されているが、Bi はバルクでは半金属であるが、適当な基板上にエピタキシャル成長させて格子歪みをおこせるとトポロジカル転移をおこし、ディラックコーン状の電子状態をとることが角度分解光電子分光の測定から示唆されている。Si(111) 基板に Bi₂Te₃ 超薄膜 (7 quintuple layer) をエピタキシャル成長させ、さらにその上に Bi 超薄膜 (7 bilayer) をエピタキシャル成長させた試料を SXD 法で調べると、Bi 超薄膜は、数パーセントの格子歪みをおこしていることが分かり、第一原理計算の結果とも良く一致しており、Bi 超薄膜がトポロジカル転移していることを強く支持する結果を得た。

X線回折散乱法では、位相問題を避けて通ることはできないが、SXD 法の解析においても、得られた回折強度データからモデルフリーに構造を求めようという試みがなされており、ここで挙げた 2 つの研究でも有効に利用されている。前者では、再構成した再表面 Si 原子の一部はダイヤモンド構造とは異なり silicene のようにハニカム状の構造をとることも明らかにされた。後者では、2 種類の Bi および Bi₂Te₃ 超薄膜 (計約 10 nm 厚) を原子層分解能で電子密度分布として解析が可能になり詳細な構造情報が得られ、さらに、Si(111) 基板と Bi₂Te₃ 超薄膜の界面には構造の乱れた濡れ層 (バッファー層) が存在することも明らかにされ結晶成長機構に関する知見も得られた。

他方、大気中で測定可能なシリコンや化合物半導体など電子デバイス関連の試料については、BL-3A/4C で精力的な研究が多数なされている。

2) 旧固液界面ユーザーグループ

電池やセンサへの応用が期待される電気化学分野では、溶液の存在のため真空系の表面分析法が使えないため、旧固液界面 UG では電極/溶液界面のその場構造追跡法として、放射光を利用した表面 X 線散乱 (SXS) 法や表面敏感な XAFS 法を用いている。ここでは、SXS 法による固液界面構造追跡の最新のトピックスを紹介する。

異種金属基板表面に析出させた貴金属超薄膜は、基板金属とも析出金属とも異なる性質を示すことが知られており、しばしば高い触媒活性を示す。このような挙動は、析出金属が基板金属の原子配列に沿って配列・析出することで、表面電子エネルギーが変化することによって起こるものと考えられている。高価な貴金属を少量使うだけで、元の貴金属以上の触媒活性が得られる可能性を持っているため、触媒活性向上と触媒コスト低減の両者に通じる新しい触媒材料開発の一つの指針となっている。最近、近藤 (お茶大) らは、ある条件で金単結晶基板上に電気化学的に析出させた白金超薄膜が白金そのものよりも高い触媒活性を

示すことを見出した。その原因を探るためには、金基板上に形成させた白金層の原子配列を決定する必要があった。

近藤らはこれまでも、種々の基板上に電析させた貴金属超薄膜の原子配列を、SXS 法を利用してその場決定してきたが、この系では基板金属である金と析出金属である白金とで原子番号が隣り合わせであり、構造因子や散乱因子の値が近いいため、SXS 法で詳細な原子配列を決定することができなかった。通常、SXS 法では複雑な解析をしなくて済むよう、基板金属/析出金属の吸収のないエネルギーの X 線を用いるが、ここではあえて析出金属である白金の吸収端近傍で SXS 測定を行い、白金による吸収を考慮した理論式をたてて、その場構造決定に用いた。この手法を共鳴表面 X 線散乱 (Resonance SXS; RSXS) 法と言う。この手法の適用によって、金の単結晶 (Au(111)) 表面上に、析出条件を制御することで、白金の原子層が layer-by-layer 的に、かつ pseudomorphic に析出していくことが確認され、触媒活性の高さの原因について解明された。この実験は、BL-3A/4C に最近導入された、これまで使用してきたシンチレーションカウンター検出器よりエネルギー分解能が高いシリコンデバイス検出器 (Silicon Device Detector; SDD) によって、散乱・回折 X 線と白金層からの蛍光 X 線を精度高く分けて測定できたためにはじめて可能となった。

上記の SXS 実験の他、主に物質・材料研究機構の魚崎浩平博士らのグループが中心となって、固液界面における XAFS 実験も盛んに行われている。

3. 今後の展開

以上のように、これまで 2 つの旧 UG は独立に研究を進めてきたが、測定法、解析法などでは共通点も多く、今後は情報交換を密にして研究を進めていきたいと考えている。BL-15B2 が今年の 3 月で閉鎖されたので、超高真空中での測定が不可欠な研究については、PF と協議の上、BL-18B で実施できるように進めている。

表面界面構造の研究では、殆どの場合に逆空間でロッドに沿った強度分布を測定する必要があるため測定に多くの時間を要する。そのため、迅速測定法がこれまでも試みられてきたが、最近、ポリクロメータと 2 次元検出器 (PILATUS) を組み合わせた波長分散同時測定法が松下正博士らのグループで開発され、ロッドに沿った強度分布を同時に測定できるようになった。ミリ秒の時間分解の測定も可能になりつつあり、今後ひろく活用されることを期待したい。

最後に、実験を支援して頂いた BL-15B2 担当者 (杉山弘、張小威、両博士)、および、BL-3A/4C 担当者 (中尾裕則、山崎裕一、両博士) に改めて感謝申し上げたい。

筑波大学 松村 明

1. メンバー

筑波大学医学医療系心臓血管外科 榎原 謙

筑波技術大学保健科学部 松下昌之助

筑波大学医学医療系脳神経外科

鶴嶋英夫, 鶴田和太郎, 中居康展, 松村明 (代表者)

高エネルギー研究機構放射光科学研究施設 兵藤一行

2. 最近の研究から

1) 放射光微小血管造影を用いた病態の可視化

放射光由来の高輝度で直進性を有するX線源を用いて血管造影を施行すると解像度の優れた血管造影像が得ることができる。また、高感度の撮像体を用いると、濃度分解能の高い画像が得ることができる。放射線を用いた血管造影法は、元来時間分解能を高めることができる可能性を有している。高解像度、高濃度分解能、高時間分解能を同時に満たす撮像手法は現在まだないが、それぞれの resolution に重点をおいて、その機能を中心に病態の検討や医学応用を追求することができる。

これらの基本的な撮像条件を用いて、以下の研究を行っている。

- 1) 末梢動脈の環境変化(喫煙 [1], 寒冷負荷 [2])による影響。
- 2) 糖尿病性心筋症の冠動脈寒冷負荷の評価 [3]。冠動脈の血管新生評価 [4]。冠動脈微小攣縮の評価 [5]。
- 3) 造影剤の希釈実験 [6]。
- 4) 微小肺動脈造影による肺気腫の評価 [7]。

今後、研究対象病態の拡大、適切な撮像機種を選択、疾患モデルの撮像条件への適応、実験動物の大型化や特殊化を通して、研究領域を深化させたいと考えている。

【文献】

- [1] Akishima S, et al. Cigarette-smoke-induced vasoconstriction of peripheral arteries —Evaluation by synchrotron radiation microangiography—. *Circ J* 2007;71: 418-422.
- [2] Sato F, et al. Sex difference in peripheral arterial response to cold exposure. *Circ J* 2008;72: 1367-1372.
- [3] Sasaki K, et al. Cardiac sympathetic activity assessed by heart rate variability indicates myocardial ischemia on cold exposure in diabetes. *J Jpn Coll Angiol* 2012;52: 295-301.
- [4] Imazuru T, et al. Erythropoietin enhances arterioles more significantly than it does capillaries in an infarct rat heart model. *Int Heart J* 2009;50: 801-810.
- [5] Matsushita S, et al. The minimum coronary artery diameter in which coronary spasm can be identified by synchrotron radiation coronary angiography. *Eur J of Radiol* 2008;68S: S84-S88.
- [6] Konishi T, et al. Reducing the dose of contrast medium in angiography by use of a highly sensitive receiver and synchrotron radiation system. *Am J of Roentgenol* 2011;197: W1-W6.
- [7] Ito H, et al. Analysis of pulmonary peripheral perfusion by synchrotron radiation micro-angiography with high sensitive receiver in pulmonary emphysema rat model. *J Synchrotron Rad* 2013;20: 376-382.

2) 可視不能な体内植え込み型医療機器 (生体材料) のリアルタイム可視化装置の開発

近年、医療機器の進歩に伴い、メスで切開しない手術である血管内手術も急速に普及しつつある。頭頸部の血管内手術においてもステントなどの体内植え込み型医療機器が使用され始めている。これらの医療機器の一部では、その構造が繊細になり、50 μm 程度の構造を有するようになってきている。既存のX線源を用いた可視化装置の解像度は200 μm 程度であるために、体内植え込み型の医療機器を可視化できなくなっている。血管内手術時に医療機器をリアルタイムで可視化できないことは、医師にとって大きなストレスであり、血管内手技の安全性を担保する上では大きな問題の一つになりつつある。

そこで我々の研究では散弾X線の少ない放射光を用いることにより、透視装置の解像度を上げて繊細な医療機器をリアルタイムで可視化することを考えている。放射光線源として高エネルギー加速器研究機構 (KEK) の放射光施設と産業技術総合研究所 (AIST) 計測フロンティア研究部門のレーザーコンプトン散乱単色X線装置を使用してシステムを構築している。可視化不能な医療機器であるステントを用いて観察するとクリアな画像をリアルタイムで得る事に成功している。また AIST のレーザーコンプトン散乱単色X線装置でも、ステントの可視化に成功している。レーザーコンプトン散乱単色X線装置を用いた研究では将来的に病院設置を考えた小型線源の開発を目指している。そして KEK の放射光施設ではステント以外の体内植え込み型医療機器の撮像を生体モデルを用いて行っており、撮像条件の最適化を図っている。

当研究における生体植え込み型医療機器のリアルタイム可視化は血管内手術の安全性と確実性に大きな貢献をするものと思われる。現在の可視化不可能な体内植え込み型医療機器のデザインにおいては、可視化不能であることを補うような工夫がなされている。しかし、このような工夫の多くは植え込み型医療機器の根本的性能とは関係がないことが多い。我々が開発している透視装置が実用化すれば上記のような工夫は必要なく、本来の植え込み型医療機器の性能を最大限にしたデザインが可能になってくる可能性もある。

我々の研究活動は KEK, AIST, 筑波大学と研究学園都市の主要研究施設にまたがっており、しかも実用化を目指したものである。筑波発の新規のリアルタイム可視化装置の開発を実現したいと考えている。

3) その他の研究グループ

次の研究グループでは、それぞれ吸収コントラストイメージングと位相コントラストイメージングの研究が進められている。

東海大学, 北里大学, 日立製作所, 山形大学, 東京理科大学, 帝京大学, 京都大学, 慶応大学, 順天堂大学, 茨城県立医療大学, 首都大学東京, 岡山大学, 名古屋医療センター, 九州大学, 総合研究大学院大学, PF, 大邱カソリック大学, ソウル大学, マサチューセッツ総合病院