

第5回日本放射光学会若手研究会 「パルス特性を用いた次世代材料研究の最前線」報告

今村真幸 (佐賀大学シンクロトロン光応用研究センター)

第5回日本放射光学会若手研究会「パルス特性を用いた次世代材料研究の最前線」が平成25年9月10日から11日に東京大学物性研究所(6階大講義室)にて開催されました。54名の方にご参加いただき、盛況のうちに無事閉会しました。まずはこの場を借りてご参加いただいた皆様、講演者の皆様に感謝の意を表したいと思います。本研究会は若手研究者のリーダーシップの育成、研究会で議論されるサイエンスを通じた新しいネットワークの形成への貢献、独創的・萌芽的な研究テーマの発掘およびその研究促進に寄与することを目的として、日本放射光学会が年に1回公募しているもので、今年が5回目となります。前々年度は「水の構造と物性研究の最前線」、前年度が「表面電子のスピンの生み出す物理の最前線—ラッシュバ効果、トポロジカル絶縁体—」と、放射光による物性の探索を主軸とした研究会が続いておりましたので、今回は「時間分解分光」という測定手法に立脚したテーマを選定しました。

近年、短い時間幅を持つ放射光による時分割測定の実験が国内外の放射光リングにおいて整備されてきています。蓄積リング型の放射光施設におけるリングを周回する電子のバンチをパルス光として用いる試みや、次世代光源として、自由電子レーザーやエネルギー回収型ライナックの開発研究が国内外で精力的に推し進められてきています。高輝度、エネルギー可変性、高い時間・空間コヒーレンスなどの性質を併せもった放射光のパルス特性を励起光源として利用することで、物質の光励起により誘起され

る電子やフォノンのマイクロプロセスを介して、電子輸送現象、表面起電力効果、触媒反応、化学反応、光誘起相転移など様々な物理現象の経時変化を時分割して観測することが可能となってきました。時分割分光のビームラインは現在建設中の放射光施設においても計画されており、このような放射光のパルス特性を励起光源として用いた試みは、今後の物性研究においてますます重要な位置を担っていくものと思われます。このような現状から、放射光施設や実験室において時分割分光をプローブとして用いている研究者や時間分解研究に興味を持つ研究者が一堂に会し、情報交換を行う機会を設けることが必要という考えのもと、研究会を企画しました。

プログラムの策定に当たっては、蓄積リング型光源や次世代放射光光源の時分割測定ビームラインにおいて実際に開発を担当されている方や利用経験がある方にご講演をお願いしました。また、実験室系においてパルスレーザーと様々なプローブを組み合わせた研究を行っている方に講演をお願いしました。これは、この研究会を通して、高輝度かつエネルギー可変なパルス光源としての放射光の魅力や実際に得られる知見を知っていただくことにより、放射光を用いた時間分解研究のコミュニティが広がっていくことが期待出来るのではないかとこの想定からです。また、多様な背景を持つ研究者を講師としてお招きすることで、放射光励起による時分割測定に求められていることを知り、パルス光を用いた時間分解分光実験の持つ可能性や問題意



図1 初日の最後に撮影した全体集合写真

表1 研究会のプログラム

1日目：9月10日

セッション名	講演者	所属	タイトル
開催の趣旨	今村真幸	佐賀大	
低炭素社会を実現させる時間分解研究	小澤健一	東工大	表面光起電力測定から探る二酸化チタンの光励起キャリアの動的過程
	杉本敏樹	京大	可視光応答型酸素発生光触媒表面における電子-格子結合ダイナミクス
	山田剛司	阪大	時間分解2光子光電子分光で観る有機薄膜の電子励起過程
	櫻井岳暁	筑波大, JST さきがけ	有機薄膜太陽電池界面の電子構造研究～パルス放射光実験に寄せる期待～
特別セッション：時間変化とは？	杉野修	東大	光学応答の高精度第一原理計算へ向けて
	菊野昌宏	独立時計師協会 (AHCI)	特別講演：菊野昌宏の時計作り

2日目：9月11日

セッション名	講演者	所属	タイトル
超高速時間分解実験の世界	石田行章	東大	時間分解 ARPES による光励起非平衡状態の研究
	東純平	佐賀大	時間分解光電子分光法を用いた半導体表面における光起電力効果の研究
	成瀬延康	阪大	フェムト秒時間分解電子回折法による超高速構造動力学研究
	新倉弘倫	早稲田大	分子内アト秒電子波束運動の測定
	河口智也 ¹ , 徳田一弥 ¹ , 境田真志 ¹ , 佐藤堯洋 ² , 富樫格 ³ , 小川奏 ² , 矢橋牧名 ² , 市坪哲 ¹ , 松永利之 ⁴ , 田中義人 ² , 西野吉則 ⁵ , 山田昇 ¹ , 松原英一郎 ¹	京大 ¹ , 理研 ² , JASRI ³ , パナソニック株 ⁴ , 北大 ⁵	X線自由電子レーザーによる相変化記録材料の超高速格子変形の観察
基調講演：次世代光源	阪井寛志	高エネ研	放射光源最前線
時間分解ツールの新展開	Mathieu G. Silly	SOLEIL	Transient photo-excited phenomena investigated by time resolved X-ray photoemission spectroscopy at TEMPO beamline
	山本達	東大	時間分解軟X線光電子分光法でみる半導体表面キャリアダイナミクス
	山口明啓	兵庫県立大	時間分解光電子分光による磁気円盤の動的挙動の直接観察
	吉田昭二, 竹内修, 重川秀美	筑波大	光励起 STM による超高速スピンドイナミクス計測
総括	足立純一	高エネ研	

識などを共有することを目的としてプログラムを編成しました。

研究会でははじめに、私から、本研究会開催の趣旨説明として、放射光のパルス特性を用いた時間分解分光における国内外の研究動向についてお話しさせていただきました。続いて「低炭素社会を実現させる時間分解研究」というセッションからはじめました。東京工業大学の小澤健一氏には「表面光起電力測定から探る二酸化チタンの光励起キャリアの動的過程」について発表していただきました。光触媒材料である二酸化チタンについて、東京大学アウトステーション SPring-8 BL-07LSU において時間分解光電子分光実験を行うことで明らかになった結果についてお話

しいいただきました。結晶構造や表面ダイナミクスが光励起キャリアの動的特性にどのような影響を与えるかについて、光起電力効果を調べることで明らかにされました。京都大学の杉本敏樹氏には「可視光応答型酸素発生光触媒表面における電子-格子結合ダイナミクス」と題して、光触媒粉体の反応場となる電荷トラップサイトの構造を過渡吸収により選択的に観測した結果についてお話しいただきました。大阪大学の山田剛司氏には「時間分解2光子光電子分光で観る有機薄膜の電子励起過程」と題して、有機分子/基板界面における非占有電子状態および励起電子のダイナミクスを膜厚をパラメーターとしながら系統的に観測した結果についてご講演いただきました。筑波大学の桜井



図2 研究会の様子

岳曉氏には「有機薄膜太陽電池界面の電子構造研究—パルス放射光実験に寄せる期待—」と題して、有機薄膜太陽電池の有機半導体/電極界面の電子状態について放射光を用いて明らかにした結果についてお話しいただきました。さらに、有機分子太陽電池の仕組みや現在の開発の争点などを詳細に解説いただき、今後、パルス放射光を用いてどのような知見が期待されるかについてお話しいただきました。

続いて、1日目の後半には「時間変化とは？」と題したセッションを設けました。東京大学の杉野修氏から、「光学応答の高精度第一原理計算へ向けて」というタイトルで、動的過程を扱うために第一原理計算の手法を基底状態から励起状態へ拡張するための取り組みについてご講演いただきました。従来までの第一原理計算の進展や、時間依存密度汎関数法など、他の手法との比較も交えながら、現状の問題点も含めた最新の第一原理計算の発展について詳細に解説いただきました。1日目の最後には特別講演として、独立時計師アカデミー正会員の菊野昌宏先生をお招きしました。先生が所属されている独立時計師アカデミーはメーカーに属さずに、創作的な時計を作る高い技術力を持った数十人の時計技師から構成される国際的組織です。日本人で初めての独立時計師となるまでのきっかけや、機械式時計の精緻な部品を金属の材料から手作業で加工し時計として組み上げていく工程などについてお話しいただきました。情熱を持って仕事に取り組み、その中で現れる問題点に対し解決策を講じるという、放射光科学にも共通する内容のご講演は、聴衆者の皆さんにも楽しんでいただけたようで、質疑応答も大いに盛り上がりました。また、菊野先生にもご参加いただきました懇親会では2013年に制作された「折鶴」というリピータースケール時計を見せていただき、腕時計という限られた空間内で折鶴が舞い、時間を知らせるという仕掛けに驚くとともに、その丁寧な仕事を間近に感じることができました。

2日目の午前中には「超高速時間分解実験の世界」と題して、フェムト秒からアト秒のパルス光を用いた取り組み

についてご講演いただくセッションを設けました。東京大学の石田行章氏には「時間分解ARPESによる光励起非平衡状態の研究」についてお話しいただきました。層状半金属グラファイトやトポジカル絶縁体など様々な物質系についてポンプ・プローブ法による時間分解ARPESにより非平衡状態のダイナミクスを観測した結果についてご講演いただきました。佐賀大学シンクロtron光応用研究センターの東純平氏には「時間分解光電子分光法を用いた半導体表面における光起電力効果の研究」についてお話しいただきました。放射光やレーザーを励起光として組み合わせたフェムト秒からマイクロ秒までの広い時間領域におけるダイナミクスを光電子分光により観測可能な佐賀大学ビームラインについてのご紹介もしていただきました。大阪大学の成瀬延康氏には「フェムト秒時間分解電子回折法による超高速構造動力学研究」と題し、フォトカソードRF電子銃のパルスによるフェムト秒時間分解透過型電子回折装置によって得られた結果についてご講演いただきました。高励起密度での電子励起によって格子が不安定化することによって誘起される非熱的溶融をこれまで報告のなかった金属において観測した結果について紹介していただきました。早稲田大学の新倉弘倫氏には「分子内アト秒電子波束運動の測定」という題目で、アト秒の時間幅をもつ高強度レーザーパルスを原子・分子に照射した際に生じる、トンネルイオン化-電子衝突過程そのものを利用して炭化水素系分子内に電子波動関数が時間発展する様子を詳細に観測した結果についてお話しいただきました。また、アト秒の時間領域で原子や分子の内部で時間変化する電子波束の情報を測定する様々なアプローチについても詳細に解説いただきました。京都大学の河口智也氏には「X線自由電子レーザーによる相変化記録材料の超高速格子変形の観察」と題して、近赤外フェムト秒レーザーをポンプ光、X線自由電子レーザーSACLAをプローブ光として用いたポンプ・プローブ法による時間分解粉末X線回折により、結晶における超高速格子変形を観測した結果についてご講演いただきました。近年、利用が始まったX線自由電子レーザーSACLAにおける実験の詳細についてもお話しいただきました。次世代光源におけるマシントイムの実際について知ることができ、今後、実験を行う際には大変参考となるものでした。

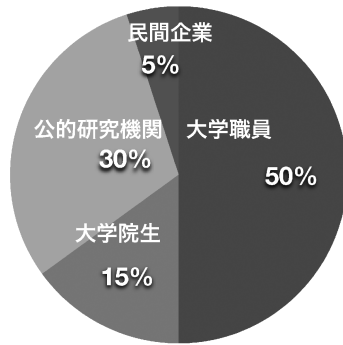
午後のセッションのはじめに、高エネルギー加速器研究機構の阪井寛志氏から「放射光源最前線」というタイトルで基調講演をしていただきました。自由電子レーザーやエネルギー回収型ライナックの基本的な動作原理や得られる光源性能について詳細に解説いただきました。また、理化学研究所のX線自由電子レーザーSACLAや高エネルギー加速器研究機構のコンパクトERLの現状についてもお話しいただきました。質疑応答においては、第4世代光源の供用情報や放射光ユーザーが次世代光源に求める性能について、活発な意見交換が行われました。続いてのセ

セッションでは「時間分解ツールの新展開」と題して光のパルス特性と様々なプローブを組み合わせた新たな時間分解実験についてご講演いただきました。SOLEILのMathieu Silly氏には、「Transient photo-excited phenomena investigated by time resolved X-ray photoemission spectroscopy at TEMPO beamline」というタイトルにてフランスのSOLEILのTEMPOビームラインにおける超短パルスレーザーとパルス放射光を組み合わせたポンプ-プローブ時間分解分光実験により、得られた有機および無機半導体における過渡的なキャリア再結合過程についてお話しいただきました。また、現在、TEMPOビームラインにおいて計画されているレーザーライジングによるフェムト秒パルスについてもお話しいただきました。東京大学の山本達氏には「時間分解軟X線光電子分光法でみる半導体キャリアダイナミクス」についてお話しいただきました。東京大学アウトステーション SPring-8 BL-07LSUにおいて面方位によって異なる電子状態をパラメーターとして、半導体表面における光キャリアの緩和ダイナミクスを系統的に明らかにした結果についてご講演いただきました。兵庫県立大学の山口明啓氏には「時間分解光電子分光による磁気円盤の動的挙動の直接観察」と題して、SPring8-BL25SUにおいて行われた、数ミクロンの半径を有する磁気円盤中に形成される磁気渦の巡回挙動を、

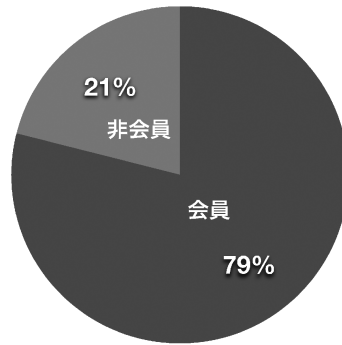
100 nm以下の空間分解能と元素選択制を有するX線円色性時間分解光電子分光顕微鏡によって観測した結果についてお話しいただきました。筑波大学の吉田昭二氏には「光励起STMによる超高速スピンドイナミクス計測」というタイトルにて、円偏光のレーザーパルス対により励起されたスピン偏極したキャリアを時間分解STMにより計測することで、GaAsにおけるスピン寿命を観測した結果についてご講演いただきました。研究会の最後には高エネルギー加速器研究機構の足立純一氏から研究会の総括していただきました。研究会全体を振り返り、それを受けた今後の展望について意見を述べていただきました。

研究会の受付にてアンケート用紙をお渡しし、参加いただいた方にアンケートにお答えいただきました。ご協力ありがとうございました。図3にアンケート結果の一部を示します。参加者の所属は大学の教職員の方が50%、大学院生が15%、公的研究機関の方が30%、民間企業の方が5%という結果でした。放射光学会の会員ですかという設問では会員が79%、非会員が21%でした。また、放射光の利用経験については5年以上が74%、3から5年が5%、1から3年が11%、未経験が11%という結果でした。また、研究会は役に立ちましたかという設問にはとても役に立ったという多くの回答をいただきました。この高い満足度はひとえに講師の先生方の講演のおかげですので、企画

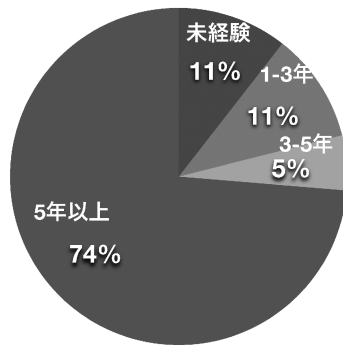
設問: 所属について教えてください



設問: 放射光学会員ですか？



設問: これまでの放射光利用経験について



設問: 研究会は役に立ちましたか？

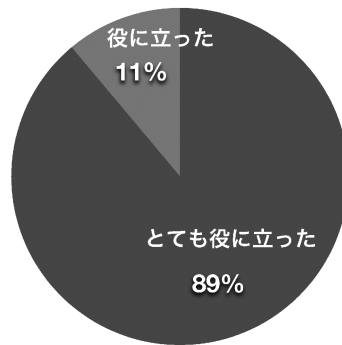


図3 参加者の皆様に記入いただいたアンケート結果の一部

した幹事としては大変ありがたく思っております。本研究会が既に放射光を利用されている方には、これから時間分解分光のビームラインや次世代放射光施設の利用するにあたって助けとなり、放射光の利用が未経験の方にとっては新たに放射光を利用するきっかけとなっていれば幸いです。

本研究会では放射光のパルス特性を用いた分光技術に関する技術開発の話題を提供するとともに、これらを用いた材料科学における最先端の研究成果、またこれらを解析するための理論など、時間分解分光における多岐にわたる取り組みについてご講演いただきました。現在、パルス光としては超短パルスレーザー、次世代光源である自由電子レーザー、蓄積リング型の放射光などを利用することが出来、それぞれに利用することの出来るエネルギー、パルスの時間幅、コヒーレンスなど特徴が異なります。今後はこれら種々のパルス光源の特性を相補的に組み合わせることで、物理現象の経時変化を広いエネルギー域かつ広い時間領域において追跡し、包括的に理解するということが行われていくことになるのは確実です。そのような中で、パルス放射光を用いた時分割測定は国内外でこれからも開発が進み、今後の材料科学の中で必須のツールとなっていくでしょう。放射光による時分割測定のコミュニティの拡大、ひいては放射光のパルス特性を用いた材料科学研究の裾野がさらに広がっていき、新しいサイエンスを発信していく

ことを期待しています。

このような研究会を企画するというのは私にとって初めての機会でした。企画するにあたり前回までの高い完成度を維持できるかという不安がありました。しかしながら、共同申請者の方々から多大なるサポートしていただいたおかげもあり、非常に実りのある研究会となったと感じております。私自身にとってもよい経験となり、このような機会を与えていただいたことに感謝しております。

研究会の開催にあたって、たくさんの方々にご協力いただきました。放射光学会事務局の佐藤亜己奈さんには会計業務をご担当いただき大変お世話になりました。当日の受付では日本女子大学の鈴木虹架さん、竹内悠さんにお世話になりました。会場係として東大物性研の中島淳貴さんにお世話になりました。東京大学物性研の矢治光一郎助教には昨年度の経験を通じた適切なお助言をいただきました。高エネルギー加速器研究機構の足立純一講師にはプログラムの策定にあたり大変お世話になりました。そして、なにより共同申請者である東大物性研の松田巖准教授には研究会の企画、運営にあたり多大なるご協力をいただきました。氏のご協力無くしては研究会の開催は成り立たなかったと思います。この場を借りて感謝申し上げたいと思います。