

JSR09 企画講演報告

企画1 「XFEL プロジェクトこの一年」—FELで拓かれる可能性— 報告

田中 均 (理研 XFEL 計画推進本部)

企画趣旨

放射光学会が平成17年度に「究極を目指す光源」として位置づけ、国家基幹技術に認定された X 線自由電子レーザー (XFEL) プロジェクトの年毎の進捗状況を放射光コミュニティーに報告する。今年は、過去2回の報告を考慮し、また、試験加速器におけるユーザー利用が本格的に展開されてきた事を受け、「これまでの放射光光源とは質的に異なる SASE FEL 及び Seeded FEL を使う」を全体のテーマに据え、光源より下流の活動及び進捗をまとめて報告する企画とする。年会の中で、この企画講演を今後普及していく、新たな光の利用を真剣かつ前向きに放射光学会会員に考えてもらう機会と位置づける。

企画参加人数

160名

講演構成

	司会 石川哲也
講演1: 企画講演の導入	田中 均20+3分
講演2: FEL とは一試験加速器と XFEL で利用可能な究極の光—	田中隆次30+3分
講演3: FEL を有効活用するための検出器とデータ収集系	初井宇記30+3分
休憩	10分
講演4: SASE から FEL へ—試験加速器を用いた EUV 波長領域での試み—	高橋栄治30+3分
講演5: A Progress Report on the LCLS and the XPP Endstation	Kelly Gaffney 30+3分
総合討論	15分

講演内容と質疑応答

- 講演会は XFEL 計画推進本部の石川哲也プロジェクトリーダーの司会進行で進められ、冒頭で企画提案者から SPring-8 全体の光源高度化戦略とその中の XFEL の位置づけ、昨年プロジェクト進捗、今回の講演会の趣旨と構成が説明された。
- 次に XFEL 計画推進本部の田中隆次氏から XFEL 実機と試験加速器で得られる光の特性が、()自発放射光、()SASE FEL 光、()シード化された FEL 光の3つの形態を比較する形で丁寧に報告された。この報告に対し、「レーザー出力飽和後に見られるシード FEL のシングルモードの乱れ」に関し、質問が集中した。講演者側から、アンジュレータセグメント後半で SASE の増幅が顕著となり生じた事、本シミュレーションでは

SASE で飽和が得られる電子ビームの質を前提とした事、シードレーザーの性能にも依存するが、SASE が抑制されるよう (アンジュレータ出口できれいなシングルモードのレーザーとなるよう) 電子ビームパラメータを調整するのは容易な事等が説明された。

- 次に XFEL 計画推進本部の初井宇記氏から XFEL 光を有効活用するための検出器とデータ収集系の開発戦略と開発状況が報告された。この報告に対し「XFEL の特徴である100 fs以下の短パルス性が CCD 検出器で生かせるのか、時間分解能は十分であるのか」という質問がよせられた。講演者から、ポンプ・プローブ実験における時間分解能は、ポンプパルス、プローブパルスのパルス幅と時間ジッタによって決まり、時間分解能は検出器の読み出し速度によらない事が説明された。時間ジッタなどの不安定性対策として、ショット毎にデータとパルス特性を測定し、データ取得後に対応するパルス特性を解析することで不安定性を補正する方式 (ポストプロセス) が提案されている。これを可能にするために日本の XFEL 施設では、ショット毎の測定が可能なフレームレート60 Hz の検出器を実現すればよい事が説明された。
- 理化学研究所エクストリームフォトリクス研究グループの高橋栄治氏から、XFEL シード化に向けた開発戦略とロードマップ、そのもとで実施する試験加速器による EUV SASE のシード化の取り組みの現状が報告された。これに対し「希ガスをを用いた高次高調波生成は実現可能だが波長は水の窓程度であろう。そこから0.1 nm まではまだ距離がある」という指摘がなされた。講演者側から、カスケード HGHG を用いる事で原理的に0.1 nm のシード化は可能であるとの説明がなされた。
- 最後に、SLAC の PULSE Institute の Kelly Gaffney 氏から LCLS プロジェクトの進捗と今秋から実験が予定される X-ray Pump Probe (XPP) Endstation の整備状況、さらに具体的な実験計画が報告された。具体的な XPP の実験計画は、大変興味深いものであった。コミッションの初期段階から成果を出すために、「短パルスアンジュレータ自発放射」を利用した実験も準備されている事が示された。
- 総合討論では、XFEL 計画推進本部永園充氏が「FLASH と SCSS 試験加速器で急速に展開されつつあるサイエンスの現状」を、また矢橋牧名氏が「コヒーレント光源のダウンサイジングと光源建設の世界情勢」を紹介した後、EUV・軟 X 線領域でのコヒーレント光源について議論を行った。そこで「軟 X 線領域は SPring-

8ではどのようにカバーしていくつもりであるのか」という指摘がなされた。石川プロジェクトリーダーから、本プロジェクトはXFEL実現に主眼があり、先ずはその実現を優先していく事、試験加速器のエネルギー増強は技術的には容易であるが、XFEL完成後に、その低エネルギー運転により軟X線領域がカバーされていくとの見通しが示された。

反省点

総合討論の時間が短すぎ、多様な指摘、コメントを引き出すことが出来なかった。次回は時間配分にこの点を考慮する。

企画2「産業基盤技術としての放射光利用」報告

渡辺義夫 (JASRI)

趣旨

本企画2「産業基盤技術としての放射光利用」は、1月11日(日)午後3時から小柴ホールに於いて、休憩をはさみ3時間にわたって行われた。本企画講演は、民間研究者の会員数が少ない日本放射光学会において、学際的な内容でない企画に120名余の聴衆が集まるたいへん盛況な企画講演会となった。

本企画は、予稿集の趣旨説明にある通り、第3期科学技術基本計画の「社会・国民に支持され、成果を還元する科学技術」の中で科学技術の成果をイノベーションを通じて社会に還元する努力を強化することが謳われており、放射光利用技術に於いても産官学連携の推進とそれに基づいた産業利用の推進並びに成果の社会への還元が期待されていること、また、近年では放射光利用技術は産業基盤技術に不可欠な先端分析ツールであるとの認識から産業界の利用も年々増加してきていることの2つの背景の下に実施された。また、民間企業の放射光利用に焦点を当て、企業幹部である研究開発部門あるいは事業化部門の責任者クラスの方々が放射光を如何に戦略的に利用しているか、あるいは放射光施設側が、それに対応すべく如何に利用技術、利用支援、さらには利用制度を実施しているかをそれぞれの立場で披露してもらうことで、今後の放射光利用技術のさらなる発展を促し、ひいては我が国の経済の活性化と産業振興及び科学技術の進展に寄与する事を本企画の目的とした。

講演内容

まず、(財)高輝度光科学研究センターの渡辺義夫が、本企画の趣旨説明とSPring-8の産業利用の現状と利用制度等の説明を行い、2007年度実績として共同利用研究課題のうち民間企業からの課題数が300課題となり、共同利用研究課題全体に対して20%の課題数の割合であることを示した。また、民間利用の結果として企業自らが申告した事業貢献への代表事例をいくつか紹介し、最後に、SPring-8の民間利用の方向性に関して、①有料利用によるビームタイムの確保と②専用ビームライン化の2つの流れがある

ことを示した。次に、(財)豊田中央研究所の臼杵有光氏は「自動車産業における放射光利用」と題して講演した。排ガス浄化触媒の開発に当たり、放射光利用が大きく貢献したことを強調した。特に、(財)豊田中央研究所では、現在の放射光利用が2000年当時に比べて約2倍の利用時間であることを示した。また、現在SPring-8で建設が進んでいる豊田ビームラインの状況と今後の計画も言及し、触媒研究だけでなく、自動車の体積率で約50%を占める樹脂材料の開発にも不可欠なツールであることを示した。次に、「分析技術としての放射光」と題して(財)東レリサーチセンターの橋本秀樹氏が講演した。分析会社の目から見て放射光利用に求める手法は非常に明快であり、事業に直結した開発や不良・故障解析に役立つこと、しかも他の手法で解決できないものということで、小角散乱、XAFSなどいくつかの事例を紹介した。また、施設側への要望として、使い勝手の良い、即ちユーザーフレンドリーな実験システムやデータの再現性・信頼性の確保を言及し、放射光利用の拡大には利便性、安定性が不可欠であることを強調した。次に、「PFの産業利用」と題して、高エネルギー加速器研究機構の野村昌治氏が講演した。走査型トンネル顕微鏡(STM)の開発とPFの運転がほぼ同時期に開始されていることから、それぞれを対比して、STMは既に市販され、研究者は実験室で普通に利用しているのに対し、放射光は施設利用中心であるということから、利用経験のない民間企業の研究者も普通に使えるようにする支援体制の充実が施設として急務であることを示した。就職難のポストドクによる支援研究者増加策など支援体制に関する質問に対して、イノベーション創出事業で着実に実績を作ること、あるいは共同研究費で稼ぐことで人材を雇うなどの方策はあるが、放射光を専門としない分野の大学からの共同利用も増加しており、それに対する支援も負担になってきていることから、明るい状況ではないとの回答であった。次に、「私立大学における産業連携」と題して、立命館大学SRセンターの太田俊明氏が講演した。私立大学として放射光施設を維持運営することが如何に難しいことを示し、職員と教員との協働があってはじめて成立することを財務面を含め説明した。「先生(教員)は商品、職員は営業マン、企業はお客様」という旗印の下、産業利用促進を進め施設の維持運営費を賄っているとの説明であった。また、放射光以外を専門としている先生方(研究者)が学内にいることで、プロジェクト研究を興しやすく外部資金を積極的に提案できる土壌があると、施設の特徴を紹介した。最後に、「SAGA-LSにおける産業利用支援」と題して、九州シンクロトロン光研究センターの平井康晴氏が講演した。地域産業振興、産官学連携、科学技術分野人材集積拠点ということで、県(地方自治体)主導で利用促進を進めていること、随時受付を基本にした利用制度で、利用の増加を図り、ビームラインの増強と利用時間の増加を計画していることを紹介された。

はじめにも述べた通り、学際的な内容ではない企画であったため、どの程度興味を引いてもらえるか心配であったが、それぞれ施設毎に特徴をもった利用制度であり、その違いを知る上でも参加された会員の皆さんには有益であったと思う。また一方で、この利用制度については、放射光利用研究というものが施設利用であるという必然性からではあるものの、施設連携さらには利用制度の摺り合わせも、今後検討すべき時期に来ているということを示しているように思う。本学会が中心になって、この任を担うことを願い、本企画講演が成功裡に終了したことを報告する。

企画3 「宇宙利用研究分野における放射光利用研究」報告

小賀坂康志 (科学技術振興機構)

趣旨

本企画講演は、新しい利用分野の枠組としての「宇宙利用分野」の可能性を探るために提案された。宇宙利用研究分野は、理学・工学両分野の基礎から応用に至る様々な研究を包含する広い研究領域である。

企画は立てたものの、宇宙分野研究の放射光利用にはほとんど共通技術がない。本企画講演でカバーする分野(表参照)に限っても、惑星科学や半導体物理分野の研究はX線トモグラフィ・X線CT・X線蛍光分析・X線回折など物性物理的手法が主だが、天体観測装置の開発はX線光学実験に近い。微少重力利用技術についてはむしろ放射光利用技術の範疇とも言える。

このように実験手法でくくれないことが、利用分野としての宇宙が根付かなかった理由かも知れない。しかし宇宙利用研究は、宇宙空間という手が届かない極限環境下に装置を置くという技術的困難さや、再現実験・追試実験が非常に困難であるという厳しさがある。例えば貴重な宇宙空間物質サンプルは、同じものを入手することは不可能であるし、宇宙機に搭載する装置は絶対に故障してはならない。こうした側面は、宇宙利用分野をくくる共通の特質であり、実験精度に対する厳しさとして、新しい実験技術の萌芽が期待できるかも知れない。

と、ややこじつけの感がある趣旨説明だが、無理に共通項をこじつけずとも、次に示すようにバラエティーに富んだ先端研究成果が披露され、学術的に非常に価値の高いセッションとすることができた。本企画講演は、表に示す通りの6講演で構成された。以下、これらについて紹介する。

講演内容

土山講演と中村講演では、放射光を用いた地球外起源物質(隕石、宇宙塵)の分析による、太陽系の形成進化の研究の最新の成果が紹介された。太陽系は、原始太陽を取り巻くガス円盤が凝集進化し形成されたと考えられている。講演では、地球上で採取された隕石・宇宙塵と、スターダスト計画によって惑星間空間で採取された彗星起源の宇宙塵の、X線CT等の形状分析や蛍光X線分析等の結果が報告された。これらの物質の形態及び組成から、始原太陽系に存在した物質がたどった歴史、例えば塵状の物質がどのように衝突・溶融・合体等のプロセスを経たか、などを解明することができる。さらに、日本の小惑星探査機「はやぶさ」が2010年に地球に持ち帰る予定の、小惑星「イトカワ」の構成物質の研究への応用も期待されている。

次に石川講演と廣瀬講演では、宇宙航空研究開発機構(JAXA)における宇宙利用技術開発研究から、放射光を利用した研究成果が紹介された。石川講演では、微少重力実験において不可欠な、サンプル浮遊・固定技術の最新の成果が発表された。微少重力下で高温/過冷却融体を保持するための静電浮遊法技術は、今や地上においても小さなサンプルに対しては実用可能であり、多くの放射光実験ステーションで利用されている。また廣瀬講演では、宇宙環境で利用される半導体デバイスの放射線損傷についての研究が紹介された。半導体の放射線耐性は、衛星/宇宙機ミッションの信頼性や達成度に直結する重要な性能値である。講演では、X線光電子分光によるケミカルシフトの測定を用い、Si/SiO₂界面の誘電率測定を行った成果が報告された。

最後に郡司講演と小賀坂講演では、放射光を用いた天体観測装置の開発研究が紹介された。近年の観測性能の向上と、観測帯域の高エネルギー化に伴い、性能評価・実証実験のために良質の光源が求められるようになった。講演では、X線検出器としてX線偏光計(郡司)、X線ミラーとして多層膜硬X線望遠鏡(小賀坂)の、硬X線性能評価研究の成果が報告された。天体からのX線偏光は、天体の磁場等を調べるための重要な情報である。郡司グループは次世代衛星ミッションを見据えて開発を進めており、先頃、世界に先駆けて気球観測実験を成功させた。また硬X線ミラーは、これまで撮像観測が不可能であった10 keV以上において、光学系による精密観測を実現し、ブラックホール物理学や宇宙の非熱的現象の研究に新たな展開をもたらそうとするものである。硬X線ミラーは2013年打ち上げの日本のASTRO-H衛星への搭載が決まって

講演者	講演タイトル
土山 明(大阪大学)	放射光を用いた地球外物質の3次元構造の研究
中村 智樹(九州大学)	太陽系探査機リターンサンプルの放射光を用いた物質科学的研究
石川 毅彦(JAXA)	光電子分光法と第一原理計算による誘電率の推定法
廣瀬 和之(JAXA)	静電浮遊炉と放射光を組み合わせた高温融体の構造測定
郡司 修一(山形大学)	放射光を用いた飛翔体搭載用検出器の開発
小賀坂康志(名古屋大学 [†])	放射光を用いたX線望遠鏡技術開発

[†]現所属:科学技術振興機構

おり、その開発の進捗についても報告がなされた。

所感

本企画講演では50人を越える参加者があり、一般的なものから突っ込んだ専門的なものまで、多くの質疑応答が行われた。宇宙利用分野を貫く共通項が見出せたかどうかは不明だが、宇宙を舞台にした「放射光利用ショーケース」とでも呼べるような、バラエティに富んだ研究成果が披露された。新しい研究のタネが埋まっていそうな期待感を抱いた方も多かったのではないだろうか。

本企画講演で紹介された研究は、放射光実験技術の進歩によって精度の飛躍的向上を得ただけでなく、初めて実現したものも少なくない。そこには当事者の努力はもちろんのこと、多くの施設担当者の並々ならぬご尽力があったことは記しておかなければならない。

本企画講演を契機として、宇宙利用分野が根付くと共に、新しい分野創出の試みが継続して行くことを願う次第である。

企画4 「光電子分光によるフェルミオロジー：熱力学物性は光電子分光でどの程度理解できるか？」報告

木村真一 (UVSOR)

趣旨

熱力学物性の理解のために、起源となる電子状態の研究が盛んに行われている。その実験研究の中心の1つとして、バンド理論と直接対応がつけられる光電子分光がある。これまでの光電子分光は、熱励起のエネルギーに比べると分解能がよくなかったことや表面敏感性などから、熱力学物性と直接対応付けられる結果はあまり得られていなかった。しかしながら、最近のエネルギー分解能やバルク敏感性の向上によって、光電子スペクトルが熱力学物性を定量的に説明できるばかりでなく、得られた結果から新たな物性の予測もできるようになりつつある。

このシンポジウムでは、光電子分光が熱電材料・低次元系・強相関系などの熱力学物性をどの程度理解できるのかを、この分野を先導している若手研究者に最近の成果をふまえて講演していただくとともに、今後のさらなる物性の理解には、放射光をはじめとしてどのような実験研究が必要かを議論する。

講演構成

1. 趣旨説明 木村真一 (UVSOR)
2. 遷移金属のフェルミ面と多体効果 島田賢也 (HiSOR)
3. 電子構造の詳細解析に基づく電子輸送現象(熱電物性)の定量評価 竹内恒博 (名大)
4. 光電子分光で見た低次元物性 伊藤孝寛 (UVSOR)
5. 硬 X 線光電子分光による強相関物質の研究 田口宗孝 (理研播磨研)
6. 重い電子系 Ce 化合物の 3 次元 ARPES によるフェルミオロジー 関山 明 (阪大)

7. 新型鉄系高温超伝導体における微細電子構造と超伝導機構 佐藤宇史 (東北大)

8. 超高分解能レーザー光電子分光による固体物性の研究 石坂香子 (東大物性研)

講演・質疑内容

物性の基本である電気抵抗や帯磁率などの熱力学物性は、昨今のエネルギーおよび角度分解能向上やバルク敏感性の増大などの光電子分光技術の急激な進歩により、その起源となる電子状態の直接観測だけでなく電子相関の効果の観測も可能となってきた。そのような光電子分光を用いた研究の現状を、VUV から軟 X 線・硬 X 線に至る放射光、従来の He 光源そして VUV レーザーを用いて展開されている最近の物性研究についてまとめ、議論した。この企画講演は、今回新設された3時間の枠で行い、この分野の関心が高いことを反映して、80名以上の参加者があった。

まず、木村による趣旨説明の後、島田賢也 (HiSOR) 氏により、Cu や Ni の遷移金属における電子・格子相互作用、電子・電子相互作用によるバンド形状の変化を示し、多体相互作用の結合定数について言及した。竹内恒博 (名大) 氏は、層状コバルト酸化物の低温および高温での熱電特性の起源が角度分解光電子分光によって観測したコヒーレント成分からインコヒーレント成分へのクロスオーバーであることを示した。伊藤孝寛 (UVSOR) 氏は、2次元 CDW 系の物質である CeTe_2 の面直方向のバンド分散を正確に測定し、3次元的なフェルミ面の変化が CDW のネスティングに効いていることを示した。田口宗孝 (理研播磨研) 氏は、硬 X 線光電子分光のバルク敏感性の特色を生かして、内殻および価電子帯の光電子分光および理論計算を組み合わせることで遷移金属化合物の電子状態を論じた。関山明 (阪大) 氏は、軟 X 線角度分解光電子分光によって強相関 Ce 化合物の CeRu_2Si_2 と CeRu_2Ge_2 のバンド分散の違いから、重い電子形成を議論した。佐藤宇史 (東北大) 氏は、従来の He 光源および新規の Xe 光源による実験室系の光電子分光によって、新型鉄系高温超伝導体のフェルミ面と超伝導ギャップの対称性について論じた。最後に、石坂香子 (東大物性研) 氏は、VUV レーザーを用いた超高分解能光電子分光によって、ポロンドープダイヤモンドの電子格子相互作用が光電子スペクトルにあらわれ、大きな結合定数を持っていること、また、マンガノ酸化物でキュリー点以下に強いスピン揺らぎと考えられる構造を報告した。

反省点

講演時間は質問を含めて23分/人であった。決して十分な時間ではなかったが、講演者はまとまった話をしていただけ、十分議論ができたのではないかと思う。しかしながら、物質と手法が多岐にわたるように多くの講演者を入れてしまったため、全体討論の時間を取れなかったのは残念であった。