

JSR12 企画講演報告

企画1 『3 GeV-ERL/XFEL-O 計画の現状と ERL サイエンスの展開』報告

河田 洋 (KEK ERL 計画推進室)

企画趣旨

KEK ではより迅速な建設、運転経費・建設経費の軽減、そして国内の放射光施設のバランスの観点から、5 GeV-ERL/XFEL-O 計画から 3 GeV-ERL/XFEL-O 計画に修正し、建設に向けて準備を進めている。この企画では、3 GeV-ERL/XFEL-O 計画の現状を報告した後で、3 GeV クラスの軟 X 線超高輝度・短パルス光源で期待される新しい研究、非破壊コヒーレント X 線源としての生物学的試料への新展開、そして第 2 期計画で計画している XFEL-O での超高エネルギー分解能 X 線非弾性散乱における新展開をそれぞれの分野の一人者の方に講演頂き、将来の研究構想を議論する場を持ち共通の理解を構築する。

講演構成

【3 GeV-ERL/XFEL-O 計画の現状】

- 「3 GeV-ERL/XFEL-O 計画の概要と現状」
河田 洋 (KEK) 20分
- 「ERL 加速器技術開発の進展と全体計画」
小林幸則 (KEK) 20分

【ERL サイエンスの展開】

- 「新光源による高速軟 X 線分光の研究展開」
松田 巖 (東大) 25分
- 「軟 X 線イメージングと ERL への期待」
小野寛太 (KEK) 25分

休憩 (10分)

- 「1 分子計測学の行方と新光源の利用」
佐々木裕次 (東大) 25分
- 「タンパク質時計に秘められた秩序ある遅いダイナミクス～源振の分子科学的解明と新光源への期待～」
秋山修志 (名古屋大) 25分
- 「XFEL-O で期待される X 線非弾性散乱の新展開」
石井賢司 (JAEA) 25分
- 「まとめ」
河田 洋 (KEK) 5分

講演概要

はじめに、KEK サイドからプロジェクトの概要と進捗状況を説明が行われた。河田から、ERL の原理の説明から全体計画の内容、特に昨年度からの動きとして 5 GeV-ERL から 3 GeV-ERL への計画の変更と第 2 期計画の XFEL-O の位置付け、そして実現に向けてのマイルストーンが報告された。小林幸則氏からは、その実現に向けて行われている技術開発の現状と見通し、特にその原理実証機であるコンパクト ERL は開発段階から建設段階と移

行し、2013年3月にはビームテストに到達するペースで建設を進めている事、また 3 GeV-ERL に関する設計も進行しているとの報告が行われた。質疑では、3 GeV クラスにエネルギーを減少させる事によって運転経費の軽減ができる等の事が議論された。

続いてその 3 GeV-ERL を用いるサイエンスに関して、5名の先生に軟 X 線から硬 X 線に至るサイエンスの展望の講演を頂いた。松田巖先生は、3 GeV-ERL の特徴であるコヒーレント・短パルスでありかつ非破壊・軟 X 線によって切り開かれるであろう物質科学、特に高速時間分解軟 X 線分光、光電子分光によって、従来観察が困難であった非平衡状態の電子状態 (バンド構造) といった物質機能の根源的なテーマが ERL で解明される期待を述べた。小野寛太先生は、現状の軟 X 線イメージング技術を概観するところから始まり、今後 nm の集光ビームによる物質科学の展開とコヒーレンス散乱による nm のイメージングの実現が ERL で可能になる事が報告された。休憩を挟んで、佐々木裕次先生からは、タンパク質 (特に膜タンパク質) の生体内での運動機能を直接観測するために佐々木先生が重点的に展開している金微粒子をタンパク質に取り付けて、そのラウエ像の動きから、タンパクの反応機構を捉えようとする試みとその結果が紹介された。この研究はまさに非破壊測定の実験に基づくものであり、今後、ERL のよってよりピンポイントでの観測が期待できれば、多くの系への応用が広がるであろう事が紹介された。秋山修志先生からは、タンパク質時計現象という 24 時間周期の遅い周期的な反応機構の解明に関して X 線小角散乱で現在進められている研究の紹介が行われ、その将来の研究展開として、全体として遅い反応のなかに潜む比較的短い反応の積み重ねをコヒーレント小角散乱 (コヒーレントイメージング) を行う事によってその反応機能を解明する事が出来るのではないかという展望が紹介された。最後に石井賢司先生から、現状でもフラックスがまだまだ足りない実験である X 線非弾性散乱研究において、現状の放射光源と比較して 6 桁の強度増大が期待される共振器型 FEL (XFEL-O) への期待が、多くの具体的な研究対象を例にして紹介された。

会場には、約 160 名の参加者がおり、PF の次期計画としての ERL の現状およびそれを用地展開されるであろうサイエンスの動向に関して、学会参加者が高い興味を持っていることがうかがえた。

企画2 『放射光を利用した金属水素化物研究のフロンティア』報告

青木勝敏 (原子力機構量子ビーム応用研究部門)

企画趣旨

21世紀は水素エネルギーの時代といわれる。水素エネルギー社会を実現する上で水素を、「造る」、「貯める」、「使う」ための要素技術の開発が急務である。可逆的に水素を吸収・放出する金属は貯蔵材料の有力な候補であるが、実用化材料を開発する基礎基盤として金属格子と水素原子との相互作用の理解が必要不可欠である。この数年の間、放射光を利用した電子状態・磁性研究、水素化反応機構研究が「水素貯蔵材料先端基盤研究事業 (NEDO 委託事業)」などのもとで精力的に展開され、研究が大きく進展した。本企画では金属水素化物の最先端の研究成果について講演をいただき、今後の研究の発展を展望することとした。

企画参加人数 113名

講演構成

司会 小林寿夫 (兵庫県立大)

1. 「趣旨説明」 青木勝敏 (JAEA) 5分
 2. 「鉄水素化物のメスbauer分光-金属格子の膨張による強磁性の復活」 平尾直久 (JASRI) 20分
 3. 「Eu 水素化物のメスbauer分光-価数変化による磁気モーメントの消失」 松岡岳洋 (阪大極限量子科学研究センター) 20分
 4. 「金属水素化物の X 線磁気円二色性 (XMCD)-電子状態から磁性の起源を解明する」 石松直樹 (広大大学院) 20分
 5. 「アルミニウム水素化物の軟 X 線発光・吸収分光-金属と水素の結合様式の実験的解明」 竹田幸治 (JAEA) 20分
- 司会 片山芳則 (JAEA)
6. 「水素吸蔵合金の PDF 解析-局所構造から水素吸蔵特性を理解する (English talk)」 H. Kim (AIST) 20分
 7. 「ナノ金属粒子の X 線回折-新奇な水素合金の創製」 北川 宏 (京大大学院) 20分
 8. 「ナノ金属粒子の時分割 XAFS-水素化反応の律速要因の解析」 松村大樹 (JAEA) 20分
 9. 「金属単結晶の表面 X 線回折-水素吸収のチャンネル形成の推測」 高橋正光 (JAEA) 20分
 10. 「まとめ」 水木純一郎 (関西学院大) 5分

講演概要

前半は本企画講演提案者の青木による趣旨説明と金属水素化物の電子状態、磁性の放射光分光測定に関する4件の研究報告、後半は金属水素化物の構造および水素化過程の構造変化の放射光回折実験に関する4件の研究報告と水木によるまとめがなされた。

講演2-4では遍歴電子系の遷移金属、鉄、コバルト、

ニッケルと局在電子系の希土類金属、ヨーロッパのそれぞれの水素化物の磁気転移に関する報告がなされ、水素組成を調整することで多様な磁性が発現されることが示された。金属格子間に吸収される水素原子の磁性への効果として、金属格子の膨張と金属格子-水素原子間の電荷移動によるフェルミ面の構造変化、状態密度変化が予測されるが、その解釈については電子バンド構造計算との比較検討が今後さらに重要となるとの共通認識が得られた。講演5ではこれまでの電子状態計算では議論が分かれていた Al-H 結合状に関して、共有結合性を示す実験結果が報告され、絶縁体の価電子、伝導電子状態を調べる上で軟 X 線発光・吸収分光測定の有用性が示された。

講演6では、放射光と中性子の粉末回折データから PDF 解析によって合金水素化物の局所構造を明らかにし、水素のサイト占有率などから水素貯蔵機構を解明した成果の報告がなされた。水素化に伴い非晶質化する合金も多いことから PDF の有効性が明確に示された。講演6, 7ではナノ金属粒子の水素化に関する報告がなされた。ナノ粒子化により新たな水素貯蔵合金が創出され、合金組成を調整することで貯蔵性能が向上する。また、水素化反応速度の解析からナノ金属粒子の表面での水素分子解離が反応を律速していることが示された。講演9では金属表面での水素分子解離、それに続く水素原子の金属格子間占有に伴う金属原子の再配列過程を観察しようとする挑戦的な試みが報告された。水素暴露による表面1~3層の金属原子の変位が実験で決定された。今後、計算機シミュレーションにより水素原子の安定サイト、移動パスなどを調べることで水素吸収過程の映像化がなされるものと期待される。

最後に8件の研究報告を踏まえて水木からまとめが報告された。実用化のニーズが高い水素貯蔵材料において基礎研究が必要とされる現状を整理し、今後の研究の展開を検討すべきである、基礎研究としては水素原子と金属格子との結合状態、それに伴う金属電子状態・物性変化の観測・解明という視点で取り組むべき、などの提言がなされた。

材料をテーマにした企画講演であることから、多くの聴講者数は望めないのではとの危惧があったが、100名を超える聴講者があったことは水素貯蔵材料に対する関心がその背景にあったものと思われる。反省点としては、冒頭の趣旨説明が不十分であり、以降の研究報告にスムーズにつながらなかったと思われる点があったことである。研究成果報告に重点をおいて、ひとつでも多くの放射光実験を紹介したいとの思いから趣旨説明を短めにしたが、水素貯蔵材料の用途、実用材料として求められる性能・機能、海外も含めた放射光を利用した材料開発の現状等についても紹介すべきであった。

先の大地震で被災した J-PARC、中性子施設の復興が関係者の努力により急ピッチで進んでいる。運転再開に伴って放射光と中性子を利用した水素貯蔵材料研究は急速に

加速されるであろう。本企画講演の聴講が契機となって水素貯蔵材料研究に興味を抱き、参加する研究者、技術者が増えることを期待して止まない。

企画3 『産業分野における放射光利用の新展開』報告

岡島敏浩 (SAGA-LS), 広沢一郎 (JASRI),
西堀麻衣子 (九大)

企画趣旨

SPring-8をはじめ全国にいくつもある放射光施設は、学術的な利用だけでなく放射光の産業利用の促進にも取り組んでおり、様々な研究課題や技術課題解決のための放射光利用が増えてきている。このような利用者、利用分野の拡大に伴い、放射光施設には対応の迅速性、汎用性が求められる。さらに、今後全国に分散した中小規模の放射光施設の重要性が高まり、また、地域課題の解決にもより一層の貢献が求められると考えられる。

本シンポジウムでは、産業や地域の課題解決のために放射光の利用を推進している各施設の取り組みを紹介していただき、今後の全国の放射光施設の将来展望について議論する。

講演構成

1. 「趣旨説明」 岡島敏浩 (SAGA-LS) 10分
2. 「Industrial Applications of Synchrotron Light—Experience from Diamond」
Elitherbeth Shotton (DLS) 40分
3. 「Industry-Academia Collaboration Utilizing SPring-8」
高原 淳 (九大) 30分
4. 「シンクロトロン光を利用する LIGA 微細めっき加工技術によるマイクロパーツの製作」
田口英信 (田口電機) 20分
5. 「SPring-8 共用ビームラインにおける産業利用促進活動」
広沢一郎 (JASRI) 20分
6. 「PF における産業利用について」
野村昌治 (KEK-PF) 20分
7. 「立命館大学 SR センターにおける産業利用活性化に向けた取り組み」
太田俊明 (立命大) 20分
8. 「SAGA-LS の産業・地域利用支援の現状と課題および全体のまとめ」
平井康晴 (SAGA-LS) 20分

講演概要

はじめに、本企画講演の提案者の一人である岡島より、企画講演を立ち上げた趣旨についての説明が(上記企画講演の趣旨の通り)行われた。この企画講演では、国外の放射光施設における産業利用の取り組み状況について調査することを目的に、英国、Diamond Light Source (DLS) の Industrial Liaison Office のマネージャーであるエリザベス・ショトン博士を招き、その状況について報告をいただいた。DLS では第1期、第2期のビームラインの整備計画が終了し、22本のビームラインが稼働中であり、現在第3期の整備計画が進行中とのことであった。講演で

は、企業ユーザーが DLS を利用するときの利用制度や支援体制についての説明があった。利用制度については、独占使用 (Proprietary Access)、DLS との共同研究、保障使用 (Guaranteed Access) の大きく3つのカテゴリーに分かれているが、いずれの場合も有償である。これらのカテゴリーに当てはまらないものは一般課題として公募され、課題審査と成果の公開が義務付けられている。また、企業ユーザーはビームタイムだけの利用の他に、Industrial Liaison Office のメンバーによるデータの取得や、実験計画から実験の実施、データ解析と成果の報告まで、希望に応じて様々な利用支援を選択することができる。DLS では、企業ユーザーの利用のうち製薬・バイオテクノロジー分野の利用が7割近くを占めている。最後に、DLS において行われた様々な応用についての報告が行われた。この講演に続いて、放射光の産業利用の例として、九州大学の高原淳教授と田口電気工業の田口英信氏により2件の講演が行われた。高原教授からは、放射光を利用して企業と大学が共同で自動車の軽量化に貢献するエンジニアリングプラスチック接着技術の開発を行った事例などが示された。また、田口氏からは地元の放射光施設である SAGA-LS を利用したマイクロマシンの開発についての紹介があった。続いて、放射光の産業利用や地域課題への取り組みおよびそれらの成果について、国内の4つの放射光施設から報告があった。いずれの施設からも、ビームラインや企業等の産業利用にかかわる利用状況および、各施設で行われている放射光の産業利用の活性化のための取組についての報告が行われた。この報告の中で、放射光の産業利用を活性化するためには、敷居を低くすることが全ての施設で共通の取組であった。この取組として、SPring-8 では測定法の標準化・自動化による測定の効率化、KEK・PF では産業界によるトライアルユース制度の拡充、Rits-SR では測定・解析の支援の充実等を図っていることの紹介があった。また、SAGA-LS からは県内公設研究機関と一緒に地域課題への取組の事例が示された。

今回は、各放射光施設が独自に行っている取組についての報告を行ったが、今後は各施設の特徴を生かしつつ施設間の協力体制が重要であると感じた。また、本企画講演は市民公開講座後の遅い時間にもかかわらず会場には約110名の参加者があり、今後の産業利用の展開に高い関心もたれていることを感じた。

企画4 『動き始めた X 線自由電子レーザー施設 SACLA』報告 田中 均 (理研 XFEL 研究開発部門)

企画趣旨

XFEL 施設 SACLA は、世界に類をみないコンパクト XFEL として、2006年度から2010年度まで5年間にわたって建設が行われた。2011年2月からビーム調整を開始し、6月7日には波長1.2 Åでのレーザー発振に成功した。その後も、短波長化と安定運転のための高度化を進め、

2012年3月からは、供用運転を開始する予定である。本企画では、コミッショニングの最新状況、及びXFEL利用の準備状況を詳細に報告するとともに、今後の展望について議論を行う。

企画参加人数 約196人

講演構成

- 司会 石川哲也（理研播磨）
- 講演1：趣旨説明 田中 均（理研播磨） 5分
- 講演2：SACLAの現状と展望 田中 均（理研播磨） 20分
- 講演3：ビームラインの現状と利用の展望 矢橋牧名（理研播磨） 20分
- 講演4：検出器開発と整備状況 初井宇記（理研播磨） 20分
- 休憩10分
- 講演5：The X-ray Correlation Spectroscopy Instrument at the Linac Coherent Light Source Aymeric Robert (SLAC) 30分
- 講演6：Coherent Diffraction Imaging at SACLA Song Changyong（理研播磨） 20分
- 講演7：微結晶を用いた創薬ターゲット膜タンパク質の構造解析とSACLAの可能性 島村達郎（京都大学） 20分
- 講演8：高エネルギー密度状態を利用した非線形X線光学 米田仁紀（理研播磨） 20分

講演概要

講演会は理研播磨研究所の石川哲也所長の司会進行で進められた。企画提案者から講演会の趣旨と構成が説明された後、XFELのビームコミッショニングの概要と現状のレーザー性能について報告があった。矢橋牧名氏からはビームラインと実験ハッチの整備状況に関し、レーザー特性診断に欠かせないモニター系の数々の実測結果、空間干

渉性等のレーザー特性評価試験データ、並びに試験実験の結果等を用いた詳細な報告がなされた。初井宇記氏からは、現在稼働中のMPCCDセンサーシステムの性能と今後の性能改善へのアプローチ、並びに、より高い信号強度を扱えるMVIAセンサーの開発状況などが報告された。これら施設側報告の後に、SLACのAymeric Robert氏がSASE XFELで進展が期待されているX線光子相関分光(XPCS)の専用ビームラインのLCLSにおける整備状況と目標とするサイエンスについての講演を行った。講演の最後に登場した美しい高分解能の回折パターン動画は印象的であった。引き続き、SACLAで実験を計画している研究者からの報告が行われた。Song Changyong氏は、SASE XFELの高い空間干渉性から幅広い応用が期待されるコヒーレント回折イメージング(CDI)に関し、最近のバイオイメージングの研究成果、CDI向けの実験装置開発状況、SACLAでのテスト実験で計測された回折パターン等について報告した。島村達郎氏は、創薬におけるターゲット膜タンパク質の構造解析の果たす役割と現状の問題点を、いくつかの具体的事例を交えて紹介した。SASE XFELの空間干渉性と強度を利用した極微小(ナノ)結晶による精密構造解析は、現状の問題を解決する一つの可能性として期待されることも述べられた。最後に、米田仁紀氏からは、SASE XFELの高いエネルギー密度を利用した非線形X線光学の展開に関し、SCSS試験加速器での実験結果やSACLAでの試験実験結果を織り交ぜた報告が成された。講演会を通じて、予想以上に質問が少なかったという印象が強い。これまで5回に渡り、SCALAの建設状況、レーザー性能と展開されるサイエンスに関し、企画講演を重ねてきた結果なのであろうか。放射光学会会員にSASE XFELが身近なものになったとポジティブに考えるとともに、今後は実験成果を中心とした話題提供を行っていただければと考える。