

3-11. 超高速ダイナミクスワーキンググループ

足立 純一

物質構造科学研究所放射光科学第一研究系

総合研究大学院大学高エネルギー加速器科学研究科物質構造科学専攻

1. 概要

超高速ダイナミクスワーキンググループは、次世代光源で実現されるフェムト秒領域での超高速ダイナミクス実験のための技術基盤を整備することを目標としており、2013年に設置が認められた。

加速器ベースの将来光源から得られる光の特徴の1つの側面は、フェムト秒オーダーの時間幅を持つパルスX線が得られることにある。それにより、フェムト秒オーダーの繰り返し起きる現象について、原子レベルの情報を高精度かつ非破壊的に直接調べる実験が可能になる。物質科学の様々な分野において、マイクロ秒以下の時間領域で原子の動き・非平衡状態にある電子的構造の変化を捉えて、理解することが望まれている。そのため、将来光源で実現される短パルスX線の可能性を追求し、ピコ秒・フェムト秒領域での超高速ダイナミクス実験のための技術基盤を準備しておくことが必要である。また、要求される技術要素の開発途上の過程で、その技術を既存の光源を利用した高速ダイナミクス実験に適用し、成果を示していくことが、放射光ユーザーのみならずより広い物質科学研究者からの次期光源でのより高速な時間分解実験の実現に向けての協力体制を確立するため必要となる。

現段階で、KEK内では実現できない短パルス活用実験は、他施設を利用してそれぞれのメンバーの研究方針に基づいて実験が進められている。そのような機会を通じて先端技術を学び、現施設の改修や次期光源計画に還元していくことも目指している。

また、WGでは時間分解実験を普及させるため、他大学・他機関との共同研究を積極的に進める方針としている。

2. 活動内容

メンバーの大部分は主所属となるグループを持ち、そのグループにおいて主となる研究活動および共同利用施設の維持管理業務を行っている。

WGとして時間分解計測を行うための計測法の開発・基盤整備(光源開発を含む)を、特に、放射光のパルス性を活用した実験実績が不十分であるPF 2.5 GeVリングでの手法開発を中心に進めている。昨年度に引き続き、レーザーポンプ-放射光プローブ実験のための基盤整備、パルスセクター開発、極短周期アンジュレータ開発、ハイブリッドモード運転活用のための検出システム開発に取り組んだ。開発・整備の対象ごとに数名の班に分かれて活動しており、各班での打ち合わせを必要に応じて行った。

スタッフR&D用ビームラインが他の目的のビームライ

ンへと更新された。パルス性を活かしたコインシデンス計測・時間分解計測の実証実験を継続するビームタイムを確保し、発展させるため、S2型課題を申請し、2018S2-003として採択された[1]。

2-1. PFリングでのレーザーポンプ-SRプローブ実験の実現

WGのメンバーの大部分が協力し、レーザーポンプ-放射光プローブ実験のための基盤整備を進めている。ハイブリッドモード運転時のビームタイムでレーザー励起された物質の時間分解軟X線線回折散乱および軟X線過渡吸収スペクトルの測定を目指している。光誘起相転移現象を対象として、軟X線共鳴回折信号の時間変化を測定できるシステムを完成させることができ、学術的に意味があるデータを測定できるようになってきた[3]。このシステムを用いて系統的な研究展開を図るため、より効率的な装置への改良を進めていく。

また、開発された光電子顕微鏡システムにより、レーザーによるポンプ-プローブ実験が進められた。デバイス材料表面での光励起ダイナミクスの解明を目指した研究が進められた。

2-2. 極短周期アンジュレータの開発[2]

極短周期(4 mm)アンジュレータについて動作実証実験を進めている。東北大電子光物理学研究センターの光源加速器(t-ACTS)においてアンジュレータ放射の定量計測を行った。得られたアンジュレータ放射の光束密度スペクトルは計算値とほぼ一致していることが確認できた。放射光用光源での実用化に向けた実証試験が検討されている。

2-3. 軟X線パルスセクターの開発・運用

磁気軸受を採用した軟X線パルスセクター(3号機)の実証実験と評価を継続し、ほぼ実用レベルの段階であることが確認できた[4]。一方で、新たな問題点も現れており、運用法により回避できるかどうか、利用しながら評価を続けていく。問題の1つに、帰還電流による電源の破損がある。インターロックを整備することにより、電源回路を保護するようにした[5]。

これまでに、エア軸受を利用した実用レベルの軟X線パルスセクター(1, 2号機)を開発した。1号機は実証試験機としての役割を終え、運用休止としている。2号機は、主にコインシデンス実験に利用してきたが、より高性能である3号機の実用化により、バックアップ機としての機能に移行しつつある。

軟X線パルスセレクター開発について、他放射光施設から3号機と同様な機器を導入したいとの相談があり、昨年度から継続して検討を進めている。

2-4. 他放射光施設での実験

ドイツの高輝度軟X線放射光施設である BESSY II は 2-1 節で述べたようなレーザーポンプ - 軟X線放射光プローブ実験の研究で先行している。今年度も WG のメンバーが BESSY II にてレーザーライジング法によるフェムト秒パルス軟X線を用いた実験を行った。このような実験に対し、PF 2.5GeV リングでのピコ秒からマイクロ秒領域の実験は相補的なデータが得られ、対象によってはより効率的な実験を行うことができるようになってきた。

溶液を対象とする透過法による軟X線分光は、分子科学研究所の UVSOR が先行している。今年度も WG のメンバーが UVSOR にある液体試料の軟X線吸収分光の測定システムを利用した実験を行った。レーザー励起により誘起された光反応ダイナミクスを UVSOR にて調べることが困難であることがわかってきた。そこで、共同研究としてレーザー励起によるダイナミクス測定を PF 2.5 GeV リングにて行うことの検討を始めた。

2-5. ナノ秒領域のダイナミクス計測法の開発

既存の放射光リングのパルス性と高繰り返し性を活用した計測法の実証を目指している。その1つとして、今年度も AC 電場印加下での誘電体の電子状態変化を X線分光で調べる実験（広島大学 中島准教授の課題）に協力した [6]。

3. 今後の展望

PF スタッフで進めている PF 2.5 GeV リングでの時間分解計測の実証実験にて、サイエンスの議論が可能となる実験データが得られるようになってきた。効率的に実験を行うことができるよう、検出系の整備をさらに進める。そして、コインシデンス計測・時間分解計測を利用する研究者の裾野をさらに広げていくため、成果の得られ始めた実験手法については利用者を増やすことができるよう参入を呼びかける。

KEK の次期光源計画が見直され、WG の活動を次期光源で展開できる学術分野に注力していく方針である。優先順位は下がるが、ERL 計画が目指した極短パルスかつ高繰り返し光源で目指す実験の準備も並行して進めていく。

参考文献

- [1] 足立純一, 2018 年度量子ビームサイエンスフェスタ, ポスター 2018S2-003 (2019/3/12-13).
- [2] 山本樹 他, *加速器*, 投稿中 (2019).
- [3] J. Adachi, R. Fukaya, C. Tabata, H. Nakao, Y. Yamasaki, S. Nozawa, K. Ichiyanagi, K. Fukumoto, and S. Adachi; Poster PB3-05 “A time-resolved resonant soft X-ray diffraction measurement with a laser pump-SR probe at

PF 2.5 GeV ring”, SRI2018, Taipei (Taiwan), June 10-15 (2018).

- [4] H. Tanaka, M. Imai, T. Kosuge, and J. Adachi; Poster PB3-04 “Development of a pulse selector with a magnetic bearing for the hybrid fill mode operation at the Photon Factory 2.5 GeV ring”, SRI2018, Taipei (Taiwan), June 10-15 (2018).
- [5] H. Ishii, J. Adachi, H. Tanaka and T. Kosuge, “Interlock System for a Magnetic-Bearing Pulse Selector”, *Proc. MEDSI2018* (Paris, France), 385-387 (THPH23).
- [6] S. Kato, S. Ono, J. Adachi, H. Nitani, Y. Niwa, Y. Takeichi, S. Yasui, and N. Nakajima; Poster II-44 “Dielectric properties of BaTiO₃ under AC electric field studied by time-resolved X-ray absorption spectroscopy”, XAFS2018, Kraków (Poland), July 22-27 (2018).