

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では時間分解実験の有用性を広めるため、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。

全体でのグループミーティングは1回行った。

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、放射光のパルス性を活用した実験がまだ活発とは言えない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、パルスセレクター開発、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[1]。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。

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。スタッフR&D用ビームラインBL-19Bにて、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た。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。

もう1つの測定法として、光電子顕微鏡の手法を用いることにより、表面でのダイナミクスの解明を目指している。レーザーによるポンプ-プローブ実験が進められ、測定システムが整備できた。

2-2. 極短周期アンジュレータの開発 [2]

アンジュレータの短周期化を目指して開発を進め、これまでに極短周期アンジュレータに必要な磁場強度での4 mm周期の着磁の実証およびその磁石を連結して長尺化するための方法の開発が行われた。現実の電子ビームを用いたアンジュレータ放射の観測実験がさらに進められた。

2-3. 軟X線パルスセレクターの開発・運用

これまでに、エア軸受を利用した実用レベルの軟X線パルスセレクター(1, 2号機)を開発し、気相での光励起基礎過程の研究に有用なコインシデンス実験に利用してきている。さらに、より高性能な磁気軸受を利用した軟X線パルスセレクター(3号機)の開発・改良を続け、目標としていた切り出し性能が確認できた。

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、共同開発に向けて検討を開始した。

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において先行している。WGのメンバーがBESSY IIにて実験を行い、時間分解軟X線測定システムのノウハウを現地で学んできた。PFで行ったのと同種の実験も行ってきた。実験データから同程度の情報が得られていることが確認できた一方で、現状ではBESSY IIでの

方が測定効率は非常に高いことがわかった。

溶液を対象とする軟X線分光実験手法は、国際的にも分子科学研究所のUVSORが先行している。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。レーザー照射下にある溶液試料の軟X線吸収スペクトルの測定を行い、光励起による有意なスペクトル変化を確認することができた。同様な測定対象と測定系を用いれば、PF 2.5 GeVで整備したレーザーと組み合わせて、溶液試料の軟X線過渡吸収スペクトルの測定が可能であると判断できた。

2-5. ナノ秒領域のダイナミクス計測法の開発

PF 2.5 GeV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）に協力している。AC電場印加下での電子状態変化に適用して明確な変化が見られる実験データを得ることができ、実験手法を確立することができた。

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、学術的な議論が可能となるような実験データが得られるよう、検出系の整備をさらに進める。特に、今後は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、光化学反応の研究の分野で必要となる測定技術の導入を速やかに進めていく。

これまでスタッフR&D用として利用してきたBL-19Bは再構築のため、今年度末をもって閉鎖された。実証実験および装置開発チームタイムの確保のため、WGと共同研究者でS2型課題を申請した。今後はS2型課題で申請した実験手法の確立と展開を目指す。

KEKの次期光源計画が見直され、まずは、WGの活動をその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。

引用文献

- [1] 足立純一他, 2017年度量子ビームサイエンスフェスタ, ポスター P2-110T (2018/3/2-4).
- [2] 山本樹, レーザー研究第 45 巻第 2 号 pp.82-86 (2017).