

3-10. 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。そのため、フェムト秒オーダーの繰り返し起きる現象を、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、そのような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。

そこで、次期光源あるいは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にある。そのためにも、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。その目標に向けて、本WGの目的は、大きく2つあった。

- a) PF および PF-AR からのパルス光を活用した高速ダイナミクス装置を整備し、実証実験を推進する
- b) cERL から得られる光の可能性を追求し、その光の評価実験と物質科学の実証実験を行う

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)を進めている。昨年度に引き続き、レーザー pump-放射光 probe 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[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 の構成員の大部分が協力し、レーザー pump - 放射光 probe 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。2016 年度は 1 週だけハイブリッドモード運転があり、回折散乱実験のデータを取得することができた。また実験には、東大山崎裕一講師の協力を得た。

もう 1 つの測定法として、SR プローブにおいて光電子顕微鏡 (PEEM) 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。SR 実験の準備段階として、レーザー probe 実験を行った。

2-2. 極短周期アンジュレータの開発 [2]

アンジュレータのより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 周期の着磁が可能であることが実証されている。その磁石を連結して長尺化するための方法が開発でき、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進められた。

2-3. 軟 X 線パルスセクターの開発・運用

これまでに、エア軸受を利用した実用レベルの軟 X 線パルスセクター (1, 2 号機) を開発し、さらに、より高性能な磁気軸受を利用した軟 X 線パルスセクター (3 号機) の開発に着手している。

2015 年度の動作試験中に故障に至った 3 号機について、その原因を明確にすることができた。そして、比較的簡易な対策法が有効であることが実証でき、仮のスリット回転体を用いた長時間運転でも問題ないことが確認できた [3-5]。

また、原子分子分野の利用ビームタイムにおいて、2 号機を利用した。2015 年度に続き、研究成果として発表できるデータを取得することができた。一方、2 号機の性能評価を継続し、いくつかの問題が明確になった。想定していたスリット開口時間と透過率が得られていないこと、また、設置状態が性能に大きく影響している可能性があることである。

2-4. 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つとしてパルス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。パルス印加によるスペクトルに対する効果は、有意に感知できない結果となった。同様な実験手法をAC電場印加下での電子状態変化に適用して有意な変化が見られる実験データを得ることができた。使用した実験機器では、PF小野准教授のグループの協力を得た。

3. 今後の展望

PFスタッフで進めているPF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ような実験データが得られるよう、検出系の整備を進める。

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。

KEKの次期光源計画が見直され、ERL光源での実現を目指している100 fsオーダーのX線領域での分光・散乱・回折実験の実現は将来光源へと持ち越されることになった。このため、中期的なWGの戦略も再検討が必要である。PR-ARが担ってきている時間分解計測の分野で先導的な役割を果たすことができるよう、今後も他の施設との相補性なども考慮に入れて中期的な方針を議論していく。

引用文献

- [1] 足立純一他, 2016年度量子ビームサイエンスフェスタ, ポスター 263U (2017/3/14).
- [2] 山本樹, レーザー研究第45巻第2号 pp.82-86 (2017).
- [3] 田中宏和, 小菅隆, 足立純一, 2016年度量子ビームサイエンスフェスタ, ポスター 264U (2017/3/14).
- [4] 今井学, 田中宏和, 小菅隆, 足立純一, 第30回日本放射光学会年会, ポスター 8P023 (2017/1/8).
- [5] 田中宏和, 小菅隆, 足立純一, 第30回日本放射光学会年会, ポスター 8P022 (2017/1/8).