

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2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。

a) 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(2015年度は2回)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線回折散乱と軟X線過渡吸収スペクトルの測定を目指している。これらの実験に適した検出器の開発・評価を行い、市販のアバランシェフォトダイオードを利用した検出系について性能が不十分であることが判明した。このため、過渡吸収スペクトルのデータを得ることができたが、現象の詳細を議論するには不十分なデータであった。また、回折散乱実験のデータは得られなかった。実験には、東京大学山崎裕一講師の協力、また、試料作製では PF 橋本愛氏の協力を得た。

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。装置の整備を進めており、装置の再立ち上げを完了した。これにより、SR 実験の準備段階として、レーザー probe 実験を再開することができた。

OPO フェムト秒レーザーシステムを、BL-12 デッキ上のレーザーブースに設置している。このレーザーを pump-probe 実験にて活用するため、BL-13 および BL-11 ヘレーザーを導入するための光路設計を行った。

b) 極短周期アンジュレータの開発

アンジュレータのより短周期化を目指して開発を進めている。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できた。そして、その磁石を利用して実際のアンジュレータを製作するためのひな型となるアンジュレータを製作した。

c) 軟X線パルスセレクターの開発・運用 [2,3]

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、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)の開発に着手した。今年度は、3号機の実証試験を進め、短時間ではあるがPFリングハイブリッドモードにおいて孤立バンチ部の切り出しが実証できた。その後の試験運転で、3号機について、長時間の使用では時間ジッターが増

大してしまうこと確認された。その原因究明中に、残念ながら故障に至った。現在（2016年3月末）、原因究明のためのテスト運転を行っている状況にある。

また、原子分子分野の利用ビームタイム（富山大学 彦坂教授のグループ）に協力し、2号機を第Ⅰ期と第Ⅱ期のハイブリッドモードにて利用した。研究成果として発表できるデータを得ることができた。

d) 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）に協力した。高電圧パルスを印加する実験では、大きな電気ノイズが検出系に回り込む影響が無視できないことが判明し、今年度は、試料を薄膜化することにより電圧としてはできるだけ低いパルス印加を行う方針に切り替え、実験データを得た。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ており、WG の戦略も再検討が必要となってきた。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、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必要がある。

引用文献

- [1] 足立純一 他, 2015 年度量子ビームサイエンスフェスタ, ポスター 255U (2016/3/15).
- [2] 田中宏和, 小菅隆, 足立純一, 2015 年度量子ビームサイエンスフェスタ, ポスター 252U (2016/3/15).
- [3] 田中宏和, 小菅隆, 足立純一, 第 29 回日本放射光学会年会, ポスター 10P017 (2016/1/10).