

SACLA における超高速時間分解計測技術の進展

富樫 格

(公財)高輝度光科学研究センター

XFEL 施設 SACLA¹⁾では、4~15keV の硬 X 線領域において、パルス幅<10fs、繰り返し 60 Hz、出力~0.5mJ(@10keV)の高強度パルスを提供している。このような短時間パルスを活かした研究として、フェムト秒光学レーザーと組み合わせたポンプ・プローブ法による時間分解測定が実施されている。我々のグループでは、ポンプ・プローブ測定を実施できる X 線吸収²⁾・発光・散乱・回折の計測システム、ショットごとのデータを取得・解析するアプリケーション³⁾などを統合した時間分解 X 線計測プラットフォームの開発を行い、光化学反応や光誘起相転移現象のダイナミクス研究に成果を上げてきた^{4), 5)}。特に、到達時間モニタの開発により時間分解能の飛躍的な向上を達成できたことが大きい。到達時間モニタは、XFEL パルス照射によって GaAs の可視~赤外領域の透過率が過渡的に変化する効果を利用しており、XFEL パルスの到達時間を光学レーザー透過ビームプロファイルに生じるエッジとして検出する^{3), 6), 7)}。ショットごとに計測した到達時間をもとに、時間分解データを並べ替えることで、パルス幅と同程度の時間分解能が得られている。透過型回折格子⁷⁾で XFEL ビームを一部分離して到達時間モニタに導入することで、試料の観測と同時に到達時間計測が可能となっている。

しかしながら、積算型高精度時間分解計測には、更なるジッターの改善が必要となる。XFEL との同期を実現するため、加速器駆動 RF 信号との周波数差を制御信号として、フェムト秒パルスを作り出しているモード同期発振器の共振器長をフィードバック制御しているが、到達時間モニタでジッターを計測したところ、~0.3ps (rms) 程度であり、電気制御系の精度不足がタイミングジッターの原因となっている。このジッターを改善すべく、5.7GHz 高周波を用いた光-RF バランス位相検出器とタイミング制御システムを含むモード同期発振器を新たに開発し、500TW レーザーシステムを有する高強度レーザー実験プラットフォームに導入した。このシステムのターゲット部において到達時間モニタと同様のセットアップを構築し、XFEL と 500TW レーザーパルスのタイミングジッターを測定したところ、約 15 fs (rms)程度であった。現在、時間分解計測プラットフォームについても同様のタイミング制御システムの導入を進めている。

本講演では、SACLA のアップグレード、特に、セルフシード化による単色 X 線パルス発振や、ダブルパルス X 線パルス生成など、時間分解計測に関わる研究成果についても報告する。

参考文献

- 1). T. Ishikawa *et al.* Nat. Photon. **6** (2012) 540-544
- 2). T. Katayama *et al.* Appl. Phys. Lett. **103** (2013) 131105
- 3). K. Nakajima *et al.* J. Synchrotron Rad. **25** (2018) 592
- 4). Y. Obara *et al.* Struct. Dynam. **4** (2017) 044033
- 5). Y. Kumagai *et al.* Phys. Rev. X, **8** (2018) 031034
- 6). T. Sato *et al.* Appl. Phys. Exp. **8** (2015) 012702
- 7). . Katayama *et al.* Struct. Dynam. **3** (2016) 034301