

理研

XFELの光特性 非破壊評価手法開発

理化学研究所(理研)放射光科学総合研究センター
ビームライン開発チームの片山哲夫客員研究員、矢橋
牧名チームリーダーらの国際共同研究グループは、X
線自由電子レーザー(XFEL)の一部を分岐させて
高度な光診断に応用する技術を開発。理研のXFEL
施設『SACLA』での実証実験に成功した。

SACLAが生成するX
線自由電子レーザー(XFEL)は、発光時間が数フ
ェムト秒(1フェムト秒は
1000兆分の1秒)と極
端に短いため、原子や分子
の動きをフラッシュで写真
を撮るように捉えて観察で
きる。観察対象の中で起き
る高速現象を捉えるには時
間分解計測を用い、その中
で最もポピュラーな『ポン
プ・プローブ法』では、ポン
プ光(フェムト秒レーザ
ー)を先に試料に照射して
反応を誘引し、プローブ光
(XFEL)で観察する。
2つのパルス光を試料に照
射するタイミングを変える
ことで時間変化を追跡でき
る。ただ、タイミングを1
000兆分の数秒で制御す
ることは難しく、試料に到
達する時間差に揺らぎが生
じ、この揺らぎが原子・分
子動画撮影の際のネックと
なっていた。

研究グループは、実験と
並行してこの揺らぎを計測
するXFELビーム診断シ
ステムを開発した。システ
ムの特徴は、XFELビー
ムの光特性を非破壊で診断
することによって本来の時

射すると、2本の1次回折
光が分岐する。この回折光
は、回折格子を透過してい
く光(透過光)とは異なる
光路を伝搬する。ここでは、
上向きに分岐した1次回
折光をエネルギースペクト
ル計測に、下向きに分岐し
た1次回折光をタイミン
グ計測に透過光を利用し
た。光がお互いに干渉しな
いよう設計することで、実
験から独立した光診断が可
能となった。

構築したシステムの性能
を検証するため、透過光を
使った光診断を同時に行い
XFELビーム診断システ
ムによる計測結果との間の
相関を比べた。その結果、
到達タイミング計測では、
透過光と1次回折光の2
つの計測間で、非常に高い
相関が得られた。計測結果
の広がりを示すヒストグラ
ムから、タイミングの揺ら
ぎが二乗平均平方根(RMS,
0に近い程高精度)で
250フェムト秒であるこ
とが分かった。また、XFEL
ビーム診断システムの
正確さがRMSで7・0フ
ェムト秒であることが明ら
かとなった。

持つ多数のスパイク構造を
一つずつ細かく観測でき、
758meVの低分解能で
計測すると、スペクトル全
体をカバーできる。どちら
の場合も透過光と1次回
折光の間でスペクトルの波
形はよく一致していた。
片山客員研究員の話「研
究成果によってSACLA
が持つ数フェムト秒という
時間分解能を最大限に生か
すことができそうです。今後、
光触媒反応や人工光合成反
応中に起きている超高速
現象を解明することで設計
指針や性能向上につながる
ことを期待します」