

European XFELでのパルス強磁場を用いた測定系開発

山本 真吾 (Dresden High Magnetic Field Laboratory, HLD-EMFL)

極端紫外-硬 X 線域における第 4 世代光源の X 線自由電子レーザーに関して、2017 年 12 月時点で稼働している施設には、LCLS(アメリカ)、SACLA(日本)、FERMI(イタリア)、FLASH(ドイツ)、PAL-XFEL(韓国)、そして本記事で紹介する European XFEL(ドイツ)がある。以下では、HIBEF プロジェクトでの極限環境下での測定系開発も紹介する。

1. European XFEL

European XFEL は、ドイツ北部の都市ハンブルクの研究所 DESY から、州をまたいで北西に 3.4 km 伸びる世界最長の X 線自由電子レーザー施設である。他の先行する XFEL 施設と財源面で異なるのは、この施設はドイツを含む 11 の欧州の国々から費用が賄われている点である。12 億ユーロの巨額な財源をドイツ国内だけでなく、他国からの供給にも求めて、施設を有限会社(European XFEL GmbH)として組織した点は興味深い。

光源としての細かなパラメータは文献[1]を参照していただくとして、この施設の大きな特色は、電子加速に超伝導 RF 空洞を用いることで最大 17.5 GeV の電子エネルギーに対して、27000 バンチ/秒のバンチ構造(図 1)を実現していることである(これまでの XFEL 施設では、常伝導空洞を用いて、 ~ 100 Hz の繰り返し周波数で運転)。これにより、従来の XFEL 施設に比べて 2-3 桁大きな平均輝度が得られる。これは、物性研究の分野で、(超)薄膜や対象元素が非常に希薄な系、これまで放射光で観測が難しかった外的因子誘起の相転移現象、X 線域の非線形現象の研究などに対して、先行する XFEL・放射光よりも有利に働くと期待できる。ただ、固体試料の場合は、FEL による損傷や、量子現象が顕著になる低温下の測定で、輻射による温度上昇の影響などに常に注意を払う必要がある。

施設の構成は、3 つのアンジュレータ光源があり、その下流側が分岐していて、計 5 本のビームラインがある。最終的にはそれぞれに 3 つの実験ステーションが建設予定である。光エネルギーは、0.26-3 keV の軟 X 線、3-25 keV の硬 X 線域にわたっている。

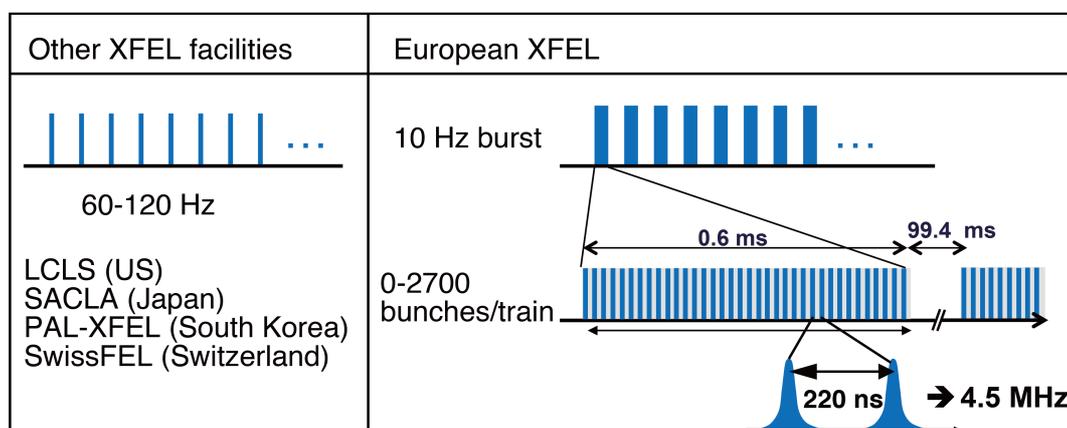


図 1 従来の XFEL と European XFEL のバンチ構造の比較。

2. HIBEF プロジェクト

HIBEF (Helmholtz International Beamline for Extreme Fields at the European XFEL)は、極限環境下(パルス強磁場、大強度レーザー、高圧)を XFEL と組み合わせた測定系の開発・研究を目的としたヘルムホルツ協会・European XFEL・DESY が連携して推進するプロジェクトである。所属するそれぞれのサブ研究ユニットが、専門とする極限環境下での測定システムを、European XFEL 施設の硬 X 線ビームラインの End station の一つの HED で開発していく。この User consortium は、ソフト(研究対象)とハード(光源)の相性のすり合わせを加速させ、非常に高価な XFEL を必要とする研究対象をより効率的に選択していくことを目指す。

3. European XFEL とパルス強磁場

Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR)の High Magnetic Field Laboratory (HLD) では、パルス磁場を XFEL と組み合わせた測定システムの開発を HIBEF で行っている。従来の放射光実験では~ 40 テスラのパルス磁場が使用されてきた。本プロジェクトでは、最大エネルギー1 MJ のコンデンサバンク(最大充電電圧 24 kV, 100 kA)を用いて、パルス幅 0.6 ミリ秒で、量子ビームとの組み合わせでは世界最大の 60 テスラの磁場パルスを発生させる測定系の開発をしている。パルス磁場の時間幅を European XFEL の 2700 バンチからなるバンチ列の長さに合わせてすることで、一発のパルス磁場で磁場依存性を測定できる(図 2、左)。手法は、共鳴・非共鳴の X 線散乱(回折)、X 線吸収測定、コヒーレンスを生かしたイメージング測定などが考えられる(図 2、右)。強相関係を対象に、電荷・スピン秩序の微視的な性質、disorder の果たす役割、低エネルギー励起の集団モードのダイナミクス、集団的な fluctuation とクーパー対との関係などに対する研究を展開していく。

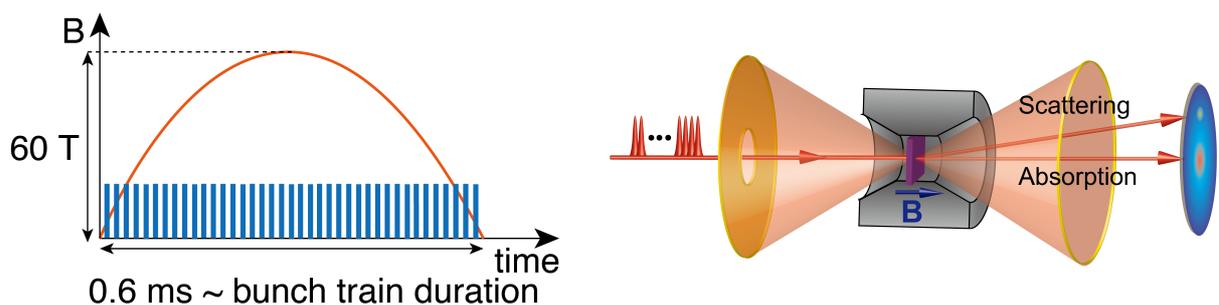


図 2 (左) パルス磁場の磁場波形(赤)とバンチ列(青)との関係の概念図。(右) 共鳴・非共鳴下での X 線散乱、吸収測定の概念図。

4. 謝辞

I acknowledge the support of the HLD at HZDR, member of the European Magnetic Field Laboratory (EMFL).

[1] T. Tschentscher et al., Appl. Sci. 7, 592, (2017)