



## 1. 特集「動き始めた XFEL 施設 SACLA」の概要

登野健介 (財団法人高輝度光科学研究センター)

放射光学会員を中心とする広範なユーザーコミュニティをはじめ、幅広い科学技術分野からの期待を背負って建設が進められた X 線自由電子レーザー SACLA がついに完成した。そして調整運転開始からおよそ 3 ヶ月後の 2011 年 6 月 7 日、SASE 方式による波長  $1.2 \text{ \AA}$  のレーザー発振を達成するに至った。2011 年 12 月現在のレーザー波長は  $1 \text{ \AA}$  を優に下回っており、世界最短波長を誇っている。本誌では、2012 年 3 月の供用開始と時期を同じくして、日本放射光学会員に SACLA の完成報告をおこなうべく特集を組むこととした。加速器、アンジュレータ、ビームライン光学系といった光源設備について概説するとともに、光源性能、データ取得システム、供用運転の情報など、利用実験に深く関わる記事も収録している。

SACLA は 8 GeV 線型加速器を備えた XFEL 施設である。表紙に SPring-8 キャンパス内に建設された施設の写真を示した。SACLA が供給する光の主な特徴として、(1) 第 3 世代放射光を 9 桁上回る高い輝度、(2) 完全に近い空間コヒーレンス、(3) フェムト秒領域の超短時間パルス、の 3 点が挙げられる。このような特徴を活かせば、オングストロームオーダーの空間分解能とフェムト秒領域の時間分解能によって物理・化学現象を観察することも不可能ではなくなる。例えば結晶化が難しい生体高分子の構造解析、化学反応や相転移などの高速現象の追跡、強いピークパワーによって実現される極限状態の探索など、多くの応用例が考えられる。さらに、従来の放射光科学の延長では考えられないようなサイエンスへの展開も期待したい。

光源としての性能もさることながら、小型で安定な装置となっていることも SACLA の大きな特徴である。実用上の観点から見れば、複数ユーザーによる同時利用が難しいという大きなデメリットを XFEL は抱えている。XFEL のマシンタイム不足を緩和し、なるべく多くの研究者に利用の機会を提供するには、光源の小型化と普及がひとつの鍵となるであろう。SACLA は真空封止短周期アンジュレータを採用することにより、電子ビームエネルギー 8 GeV (欧米の XFEL の約  $1/2$  から  $1/3$ ) で波長  $1 \text{ \AA}$  以下の X 線レーザーを供給することを可能にした。さらに、低エミッタンス直流電子銃を備えた電子入射システムと C バンド加速管も光源の安定化と小型化に寄与している。結果として施設全長約 700 メートルという XFEL 施設としては極めてコンパクトなものとなった。まさに、小

型 XFEL 光源を開発して普及させるべきという SCSS プロジェクトの基本理念が具現化されたものといえる。

また、同じ敷地内にリング型光源の SPring-8、EUV-FEL の SCSS 試験加速器が同居していることも、非常に大きな利点である。これらは、XFEL 用の光源機器や利用実験機器の研究開発に大いに活用されてきた。ユーザーにとっても、XFEL の光とは異なる性質を利用して、同じ試料について違った切り口の実験を実施することができる。このような地の利を最大限に活かすため、SACLA と蓄積リングの両方の光を同時に利用できる XFEL-SPring-8 相互利用実験施設が整備されている。さらに、XFEL の線型加速器で生成させた高品質電子ビームを SPring-8 の蓄積リングへ入射するためのビーム輸送チャンネルも設けられている。

SACLA 内部の構成に話を移すと、全長約 700 メートルの施設は、大きく分けて加速器棟 (長さ約 400 メートル)、光源棟 (230 メートル)、実験研究棟 (60 メートル) から構成される。加速器棟には 8 GeV 線型加速器が納められており、XFEL の発振に必要な低エミッタンス・高ピーク電流の電子ビームが生成される。アンジュレータを納める光源棟には最大で 5 本のビームラインを設置することができ、現在は硬 X 線用 (BL3) と広帯域軟 X 線用 (BL1) の 2 本が設置されている。将来的には硬 X 線ビームラインが 3 本、軟 X 線ビームラインが 2 本整備される計画である。実験研究棟の実験ホールには 2 個の光学ハッチと 4 個の実験ハッチが納められ、実験に必要な利用基盤機器が整備されている。これらの主要な構成要素や SACLA の運転、光源性能について以降に続く記事で詳細に解説していく。

簡単にこの特集号の構成について述べておくことにする。まずは SACLA の光を生み出す源となる線型電子加速器に関する以下の記事を 2 本収録した。

第 2 章 加速器のハードウェア

第 3 章 SACLA 加速器制御システム

蓄積リングから供給される放射光の場合とは異なり、SACLA においてはビームラインだけでなく加速器の運転条件までも実験に合わせて設定する必要がある。また、光のパルスごとに電子を入射するため、加速器の特性が直接的に XFEL ビームの特性に反映されることとなる。したがって、XFEL の特性を理解して研究に活かすには、加

速器でどのような電子ビームが生成されているかを知っておくほうがよい。

続いて利用実験に深くかかわる以下の設備について解説する。

第4章 ビームライン

第5章 SACLAにおける1 $\mu$ mコヒーレント集光装置の開発

第6章 検出器・データ取得システム・実験機器制御・解析

加速器とアンジュレータからなる光源部のみならず、利用実験の基盤となる設備についてもXFELの特性に適したものが要求される。例えばビームラインをはじめとする光学システムには、高いピークパワーへの耐久性とビーム品質の保持が求められる。特にコヒーレンスを劣化させないように、ミラーなどの光学素子には格段の配慮が必要である。実験機器については、繰り返しの少ないパルス光源を相手にするのに適したシステムを構築しなければならない。しかも、一回照射するだけで試料を破壊してしまうほど強力なパルスとなれば、単一パルスで有意なデータを取り終えられるシステムとすべきである。さらに、最大60 Hzで繰り返されるパルスが無駄にすることなく利用してデータを蓄積することが望まれる。このような実験方法に対応しうる実験ステーション、データ収集システム、X線検出器といった実験基盤を開発、整備することもSACLAの重要な役目である。

以上の記事は主にSACLAの設備に重点を置いたものである。次に光源性能と調整運転（コミッショニング）について解説した記事が続く。

第7章 ビームコミッショニング・光源性能

いかにしてレーザー発振の条件を満たす高品質な電子ビームを生成し、およそ100 mにも及ぶアンジュレータ内を光軸と一致させて通過させるか、SACLAのコミッショニングにおいては非常に高いハードルを越えなければならなかった。綿密なコミッショニング計画の策定と周知な準備があればこそ、完成後わずか3か月という短期間でレーザー発振に至ることができたのである。このようなコミッショニングの記録をまとめておけば、今後XFELのような線型加速器をベースとした放射光光源が建設される際、貴重な資料となるに違いない。また、約1年間のコミッショニングの過程で蓄積された光特性のデータは、SACLAの利用を検討する際の必須情報である。設計性能は既

にテクニカルデザインレポートとしてまとめられているが<sup>1)</sup>、SACLAの現状での光源性能を報告しておく必要がある。

SACLAが無事に完成し、我々はXFELの光を手にすることができた。次に期待されるのは、新しいサイエンスの展開である。特集の最後に、SACLAの利用申請を検討する際の参考になるよう、供用に関する情報を掲載した。

第8章 供用運転の情報

先行する米国のLCLS (Linac Coherent Light Source) で利用実験が行われているとはいえ、いまだXFELサイエンスは未踏の領域である。放射光学会員をはじめとする広範なユーザーコミュニティが利用研究に向けて積極的に貢献していくことが望まれる。SACLAでは引き続き光源の高度化を図るとともに、利用研究のための体制を充実させていかなければならない。さらに、従来の放射光と大きく異なるXFELの特性を考えれば、これまで放射光とは縁の薄かった分野をも巻き込んでいく必要がある。この特集がXFEL科学の大きな流れを引き起こす呼び水となり、ひいては放射光科学全体の発展に資することができれば幸甚である。

## 参考文献

- 1) M. Yabashi and T. Ishikawa (eds), XFEL/SPring-8 Beamline Technical Design Report ver. 2.0 (RIKEN, 2010).

## ● 著者紹介 ●



### 登野健介

高輝度光科学研究センター XFEL 研究推進室 先端利用グループ 利用技術開発・整備チーム チームリーダー  
E-mail: tonok@spring8.or.jp  
専門：クラスター科学

#### 【略歴】

1997年東京大学理学部化学科卒業、2002年博士課程修了、理学博士、同年豊田理化学研究所・研究員、2003年日本学術振興会・特別研究員、2006年東京理科大学理学部・助手、2009年理化学研究所 X線自由電子レーザー計画推進本部・研究員、2011年より現職