



## プロジェクトの概要

石川哲也 (独立行政法人理化学研究所 播磨研究所)

X線自由電子レーザー SACLA の建設は、2006年度に始まり、当初計画通り2010年度に完成した。2011年3月11日に、東日本大震災に見舞われ、年度末の調整に必要な部品等の納入に相当な影響は出たものの、2011年6月には、当時の世界最短波長タイ記録の1.2 Å でのレーザー発振を観測し、その後の調整により設計最短波長の0.6 Å に近づいている。

自由電子レーザーは1970年の Madey の論文がその端緒であるが<sup>1)</sup>、高反射率ミラーによる光共振器の利用が見込めない短波長領域での可能性が拓けたのは、1980年代の「自己増幅自発放射 (Self-Amplified Spontaneous Emission: SASE)」原理の発見によってである<sup>2,3)</sup>。1990年代には、SASE 原理に基づくコヒーレント X 線光源の検討がアメリカで始まり、SLAC の2マイル線形加速器を利用した Linac Coherent Light Source (LCLS) 計画に収束していった<sup>4)</sup>。1990年代後半には、ドイツで電子陽電子リニアコライダーと X 線自由電子レーザー (XFEL) を組み合わせた TESLA 計画が検討されたが、そのうちの X 線自由電子レーザー部分が先行して、ヨーロッパ全体での European XFEL 計画として推進されることとなった<sup>5)</sup>。

1990年代後半の日本は、SPring-8 が動き出した頃であり、すぐに次の計画を検討し始める雰囲気はなかった。しかし、SPring-8 で光源コヒーレンスを最大源利用するために開発した1000 m ビームラインや30 m 真空封止型アンジュレータは、将来のコヒーレント X 線利用を考えている欧米の XFEL 検討のなかで注目を集め、その建設を担当した筆者や北村英男博士は欧米での検討会議に招請されることになった。

このような会議に出て考えたことは、「SPring-8 で標準的に用いられている真空封止アンジュレータを XFEL に使ったら、非常に小型化することが可能ではないか」ということで、戻ってすぐに北村博士と検討をはじめ、理化学研究所内部での R&D 予算確保の準備を始めた。幸いなことに、2001年度予算で、要素技術開発研究の開始が認められ、SPring-8 Compact SASE Source (SCSS) と名付けられたプロトタイプ機建設をターゲットとした開発が始められた。真空封止アンジュレータを用いることで、磁場周期を短くし、低エネルギー電子ビームで短波長 X 線レーザーを作るとというのが、基本的なコンセプトであるが、それに加えて、高加速勾配加速管によって一層の小型化を図

るため、Cバンド加速管を開発していた当時 KEK にいた新竹積博士の助力を乞うこととした。新竹博士は加速管のみならず、小型化に必要な極低エミッタンス電子源の検討も行い、欧米とは全く異なるコンセプトの熱電子銃とベロシティバンチングの組み合わせによって、高密度・極低エミッタンス電子ビームを作る方法を提案した。翌2002年に新竹博士を主任研究員として理化学研究所に迎え、若い人たちの頑張りもあって2003年度が終わるころには、ほぼ必要な要素技術開発の目途が立ちつつあり、要素技術開発と平行して、XFEL のプロトタイプとして1 GeV 線形加速器による軟 X 線自由電子レーザーの概念設計が進められた。このような状況の下、2005年度予算要求に当たってプロトタイプ機建設の機運が盛り上がり、当初計画の1 GeV の1/4の250 MeV 線形加速器による極端紫外自由電子レーザーを建設することとなった。2004年度には平行して6 GeV 線形加速器による波長0.1 nm をターゲットとする XFEL の設計研究を進め、概念設計レポートを完成させて、外部レビューによる国際レビューを行うに至った<sup>6)</sup>。その結果は野心的であり是非進めるようにというものであり、また同時に将来の SPring-8 への入射を考慮して、線形加速器のエネルギーを8 GeV にすべきという勧告をいただいた。2005年には、総力を挙げてプロトタイプ機の建設にあたり、その立ち上げ調整に高輝度光科学研究センターの田中均博士の応援を得て進めることとなった。プロトタイプ機は、実機建設のための貴重なデータを与えつつ、2006年6月に波長49 nm でのレーザー増幅を観測し、その後全国のユーザーに利用されている<sup>7)</sup>。

8 GeV 実機建設は、2006年から5年計画で、第3期科学技術基本計画の中での「国家基幹技術」として進められることになったが、加速器建設の統括を高輝度光科学研究センターの熊谷教孝博士にお願いし、筆者が利用を含むプロジェクトの全体統括に当たった。XFEL 施設建設は、途中幾多の困難を乗り越えながらも、全体としては順調に進み、予定通り2010年度にはハードウェアとしての完成を見た。この間、施設愛称を一般公募することによって SACLA (SPring-8 Angstrom Compact free electron Laser) とし、2011年3月には、加速器としての定格8 GeV を達成した。その後レーザー発振を観測したことは、最初に述べたとおりである<sup>8)</sup>。2011年度内に、光源お

よび利用実験装置の整備を進め、2012年3月にはSPring-8と同様な供用が開始された。

XFELを利用するための装置開発は、競争的資金が準備されるとともに、理研の内部予算での整備が全国のポテンシャルユーザーと協力して進められている。供用開始時には、ただちに利用可能な実験装置が複数台準備されているが、光源の新奇性を考えると、光を見てからの利用装置開発の加速が必須であると考えられる。このための方策を準備している。

最後に、SACLAの建設にあたっての、皆様の御支援に感謝し、今後のサイエンスの一層の発展に寄与していくことをお約束して、概要の紹介としたい。

#### 参考文献

- 1) J. M. J. Madey: J. Appl. Phys. 42, 1906 (1971).
- 2) R. Bonifacio, C. Pellegrini and L.M. Narducci: Optics Commun. 50, 373 (1984).
- 3) K-J. Kim: Nucl. Instrum, Methods A 250, 396 (1986).
- 4) J. Arthur et al.: Linac Coherent Light Source (LCLS) Conceptual Design Report (Stanford, 2002, <http://www.slac.stanford.edu/pubs/slacreports/slac-r-593.html>)
- 5) M. Altarelli, et al. (Eds): XFEL: The European X-Ray Free-Electron Laser, Technical Design Report (DESY Hamburg, 2006, <http://xfel.desy.de/tdr/tdr/>).
- 6) T. Tanaka and T. Shintake (Eds.): SCSS X-FEL Conceptual Design Report (RIKEN Harima Institute, 2005).
- 7) 放射光学会編集委員会 編: 「EUV SASE-FEL利用の展開」, 放射光 23, 275 (2010).
- 8) 理化学研究所播磨研究所 放射光総合科学研究センター XFEL 研究開発部門: 放射光 24, 210 (2011).

#### ● 著者紹介 ●



#### 石川哲也

物理化学研究所 播磨研究所 所長

E-mail: [ishikawa@spring8.or.jp](mailto:ishikawa@spring8.or.jp)

専門: X線干渉光学

#### 【略歴】

1982年東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻博士課程修了, 工学博士。同年, 日本学術振興会特定分野(光子物理学)奨励研究員, 1983年高エネルギー物理学研究所放射光実験施設測定器研究系助手, 1989年東京大学工学部物理工学科助教授, 1995年理化学研究所マイクロ波物理学研究室主任研究員, 1997年理化学研究所播磨研究所X線干渉光学研究室主任研究員, 2005年理化学研究所播磨研究所放射光科学総合研究センター・副センター長兼務, 2006年同センター長, 2003年からSPIE Fellow. 2010年4月より現職。