



特集号「EUV SASE-FEL 利用の展開」に寄せて

石川哲也 (理化学研究所 播磨研究所)

理化学研究所では、SPring-8のある播磨研究所に2006年から5年計画でX線自由電子レーザー施設(X-Ray Free Electron Laser; X-Ray FEL: XFEL)の整備を行ってきた。様々な独自技術の組み合わせによって、欧米の同等施設と比較して、非常に小型化したものである。このXFELが5つの国家基幹技術の一つとして推進されてきたことは、多くの放射光学会員にとっては周知のことであろう。幸いなことに、天の時、地の利、人の和に恵まれ、今年度末の完成に向けて極めて順調に進展している。本特集号に取り上げられるEUV SASE-FELは、XFELのプロトタイプ的存在であり、8 GeV線形加速器によるXFELのための様々な技術開発に利用されてきた。一方で、8 GeV実機利用のための技術開発に広範に使われ、他方でEUV領域のレーザーとしても様々な利用の可能性が実証されている。今回の特集号は特に利用の側面を取り上げて企画されているが、つい6~7年前には、一部で動くはずがないとか、使い物にならないと喧伝されていた我々のコンパクトFELが、大勢の方に利用され、第一級の成果を輩出していることは、このプロジェクトに最初から関わっている者として非常に喜ばしいことである。

およそ10年前、理化学研究所はSPring-8に1000 m ビームラインを完成させ、伝播による空間コヒーレンスの向上を図ることによって、X線領域でのコヒーレンスの威力を世界に示した。同時期に、SPring-8の長直線部に27 m真空封止型アンジュレータを設置・運用することによって、長尺アンジュレータの建造、設置、調整技術を確立した。この成果により、アンジュレータを主導した北村英男博士とビームライン建設を主導した筆者は、当時アメリカで計画が進んでいたLCLSやドイツDESYのTESLA-XFELの会議にしばしば招待されることになった。そこで我々が見たものは、まさしく世界に2~3台しか建設できないようなビッグプロジェクトであり、XFELからの驚異的な光の特性を考えると、需要が供給を大きく上回ることは必須と考えられた。

リング型光源とは違って、一つの加速器から取り出さるビームライン数が少ないXFELの優れた特性を多くの利用者が享受するための一方策は、多数のXFELを建設することであろう。これが実現されるためには、XFELの低コスト化が必須である。そこで、何とか日本の技術によってXFELのコンパクト化と低コスト化を図ることが

出来ないかという検討が重ねられた。得られた結論は「真空封止型アンジュレータの短周期化によりX線レーザー発振に必要な電子ビームエネルギーを低減させる。これにより線形加速器を小型化することによって、全体のダウンサイジングを図る」というものであった。しかし一方で、低エネルギー電子ビームでのXFEL実現には、従来にない低エミッタンス電子ビームを供給する入射器が必要であることも明らかになってきた。

コンパクトXFEL実現のための様々な課題を解決するために、理化学研究所では1 GeV線形加速器でいわゆる水の窓領域の波長3~4 nmの自己増幅自発放射(SASE)型FEL建設をターゲットとした研究開発プログラムを策定し、2001年に5年計画で開始した。更に一層のコンパクト化のためにKEKで新竹積博士のグループが開発していたCバンド加速管を採用することとし、課題となっていた高性能電子銃を含む入射部の設計検討も新竹博士に依頼したところ、単結晶カソードを用いた熱電子銃と周波数の異なる高周波空洞を組み合わせた「ベロシティ・バンチング」という画期的なアイデアが提示された。その後、新竹博士は理研に主任研究員として移籍した。彼を中心とする加速器設計チームは、2003年には電子銃の問題をほぼ解決し、入射部の概念設計を完了した。2004年に、第三期科学技術基本計画での「国家基幹技術」の議論が始まり、XFELはその候補の一つに挙げられていた。そこで、6 GeV線形加速器をベースとした0.1 nm XFELの概念設計書を完成させ、国際レビューに臨んだところ、高い評価を得たが、このレビューでXFEL線形加速器の高品質電子ビームをSPring-8に入射して利用できるよう、エネルギーを6 GeVから8 GeVに上げるべきとの勧告がなされ、現在のパラメータがフィックスされた。

一方で、他に類を見ない入射部や真空封止型アンジュレータの利用を懸念する声も多く、いきなりXFEL実機建設を始めるのではなく、プロトタイプ機を製作して技術的課題が克服されていることを実証せよとの要請があり、2005年に最初の計画の1/4のスケールの250 MeV電子線形加速器をベースとしたEUV SASE-FELを建設することになった。これは波長60 nmのEUV領域でのFELであるが、8 GeV XFELに使われるほぼすべてのコンポーネントを含んでいる。関係者の多大な努力により、このFELは無事発振し飽和出力が確認され、我々の設計概念

が正しかったことが実証された。しかしながら、飽和に至る調整過程で8 GeV 実機に向けての様々な課題も見出され、逆にその課題を解決するための場としてまさに試験機の役割を果たしてきた。

他方で、来るべきXFELの利用のために、文部科学省で競争的資金が用意され、様々な開発が進んでいる。これらの中には、EUV領域のレーザー光でテストできるものも多く、プロトタイプ機を利用することが一つのターゲットとして挙げられていた。また、EUV-FELそのものの利用に対する関心も高く、理化学研究所では加速器開発研究の合間を縫って、FEL利用研究にプロトタイプ機を供することとした。この領域のFEL利用は、8 GeV実機完成以降も何らかの形で継続されることが望まれている。いづれにせよ、利用開始以来2年余りで、本学会誌特集号に取り上げられるまでにこの分野の利用研究が発展したことは、繰り返しにはなるが、非常に喜ばしいことであり、

8 GeV実機利用も同様あるいはそれ以上であって欲しいと願うものである。

● 著者紹介 ●



石川哲也

理化学研究所 播磨研究所 所長

E-mail: ishikawa@spring8.or.jp

専門：X線干渉光学

【略歴】

1977年東京大学大学院工学系研究科物理工学専攻、1982年博士（工学）、1983年高エネルギー物理学研究所助手、1989年東京大学工学部物理工学科助教授、1996年理化学研究所主任研究員を経て、2010年4月より現職。