

STATUS OF JAEA ERL

Quantum Beam Science Directorate*, Japan Atomic Energy Agency
Tokai, Ibaraki, 319-1195 Japan

Abstract

The energy-recovery linac free-electron laser at Japan Atomic Energy Agency has been shutdown and decommissioned. The components of the accelerator were transferred to other laboratories. Now, the research group is conducting R & D's of photocathode DC guns and superconducting cavities for future ERL light sources. Construction of a new accelerator is also planned to demonstrate non-destructive assay of nuclear material by using laser Compton scattered X and γ -rays.

JAEA ERL の現状

1. はじめに

日本原子力研究開発機構(平成 17 年 10 月までは日本原子力研究所)にて開発運転されてきた超伝導リニアック自由電子レーザーは、平成 21 年度までに運転を停止し、解体撤去された。本稿では、本施設のこれまでの成果と廃止措置の経緯、現状と今後の展開について報告する。

2. 超伝導自由電子レーザー、エネルギー回収型リニアックの廃止措置

2.1 FEL の建設と運転

原子力機構 ERL-FEL のこれまでの経緯を簡単に振り返る。

同位体分離をはじめとした原子力分野におけるレーザーの利用を展開すべく、昭和 62 年、日本原子力研究所において自由電子レーザーの研究計画が立案された。産業利用が可能な高出力自由電子レーザーを実現するため、超伝導リニアックを採用し、将来的にはエネルギー回収型リニアックへの発展も当初から視野に入れた計画であった。

平成 3 年には 250kV 電子銃を含む入射器が、平成 6 年には 17MeV リニアックが完成した。その後、FEL アンジュレータと光共振器が設置され、FEL 発振を目指した実験が始まり、平成 10 年 2 月 26 日に最初の FEL 発振が得られた。

平成 13 年には、エネルギー回収型リニアックへの改造が施され、平成 20 年まで運転が続けられた。

これまでの主な成果は以下の通りである。

- わが国で唯一の超伝導リニアックの開発と運転^[1]
- FEL の高効率、高出力発振の記録更新^[2]

- FEL の超短パルスの記録更新^[3]

- 世界で 2 番目のエネルギー回収型リニアックの開発と運転^[4]

2.2 FEL の廃止措置に至る経緯

平成 17 年 10 月に日本原子力研究所と核燃料サイクル機構の二法人が統合し、日本原子力研究開発機構となった。この統合にあたっては、二法人の負の資産ともいべき廃止措置費用の捻出が大きな問題となった。廃止措置とは、研究開発のために建設された原子力施設のうち、役割を終えた施設の解体撤去、および、放射性廃棄物(施設の運転中に生じたものと解体で生じるもの)の処理処分のことである。本来であれば、施設の建設、運用期間を通して、将来の廃止措置に必要な費用を積み立てておくべきであったが、旧法人時代にはそのような仕組みがなかったため、廃止措置費用は隠れた借金となっていた。二法人統合の当時の試算では、廃止措置には約 2 兆円が必要とされ、新法人の発足後 80 年かけてこれを支出する計画が立てられた。

新法人の最初の中期計画(平成 17 年度~平成 21 年度)では、廃止措置に関する事項として、34 の施設について廃止措置のスケジュールが定められ、その中で自由電子レーザーは、「中期目標期間中に使命を終え、廃止措置に着手する施設」とされ、「平成 18 年度に停止すること」に決まった。これらの決定は監督官庁と法人経営陣の判断によるもので、現場の研究者が意見を挟む余地は全くなかった。新法人の発足に合わせて立ち上がった「ERL 光子源開発研究グループ」は、研究で成果を上げると同時に、廃止措置を遂行するという、二つの仕事を課せられることとなった。

* 羽島良一, hajima.ryoichi@jaea.go.jp

2.3 FELの廃止措置実施計画の策定

FEL装置は、中期計画に定められた通り、平成18年度に本格的な運転を停止したが、継続中の科研費研究などのために平成19年度、20年度と限定的な運転を続けた。

平成19年12月、福田内閣は独立行政法人整理合理化計画を閣議決定した。この中で、FEL施設については、「平成20年度第3四半期を目途に、廃止措置実施計画を作成し、廃止措置着手・終了年度を明確にするとともに、現中期計画にそれらを反映する」こととされた。「閣議決定」は「法人の中期計画」よりもはるかに重みのある決定であり、「研究はやらなくてよいかから、廃止措置をしっかりとやるように」との声がラインの上層部から聞こえてきたほどである。

廃止措置実施計画を作成するにあたって、二つの問題があった。ひとつは費用の問題であり、もうひとつはFEL研究棟建家の存続の問題である。原子力機構の廃止措置は、建家を解体撤去し更地に戻すのが原則である。原子力科学研究所(東海)の研究棟の裏手で、いくつかの建家が撤去され更地になっているのをご存知の方もおられよう。

FEL研究棟は築50年を越えるとは言え、加速器が設置可能な管理区域、クレーン、冷却水、空調、受電設備などを備えている。これを取り壊して、加速器研究を展開できるスペースを新たに探し出すのは至難の技である。したがって、FELの加速器は廃止するが建家は残したいというのが研究グループの希望であった。

そんななか、平成19年5月にKEKの神谷幸秀理事より「FEL装置をKEKで引き取ってもよい」との申し出があった。しかも、移設に必要な費用はKEKが負担するとの条件である。廃止措置費用の負担を減らすことができる、ありがたい提案であった。原子力機構の財務担当者、監督官庁の指導を仰いで譲渡の手順を定めた。まず、原子力機構内での転用照会を行い数点の物品を他グループに移管し、つぎに、処分制限財産の制限解除を監督官庁に求めた。さらに、平成20年2月に、装置売却の一般競争入札を行い、条件を満たす入札がなかったのを確認した後、KEKへの無償譲渡手続きに入った。無償譲渡の契約は平成21年5月までに完了した。

これらの譲渡手続きと並行して、平成20年5月、廃止措置計画策定のワーキンググループが所内で編成され、FELの廃止措置実施計画が議題に上がった。KEKが搬出費用を負担しFEL装置を無償で引き取るスキームは、費用の負担を大幅に削減できると同時に、資産の有効利用が図れる画期的な廃止措置であるとして、原子力機構財務担当者から高い評価を得た。また、心配していたFEL研究棟建家の問題についても、ねばり強い交渉の末、放射線管理区域の解除縮小を条件に建家の存続が認められた。FELの廃止措置実施計画は、「平成

21年度末までにRI装置の許認可取消、平成22年度末までに不要機器を撤去する」となり、閣議決定を守ることができた。

RI装置(電子線加速器)の許認可取消は、平成21年4月13日づけで水戸原子力事務所に提出し受理された。

2.4 FELの解体と搬出

次期計画のために実施中の光陰極DC電子銃、超伝導空洞開発のための装置群を除いて、FELを構成する大半の機器はKEKへ無償譲渡されることになった。FELの解体とKEKへの搬出は、電子銃・超伝導空洞実験の合間を縫って行うこととし、平成21年10月13日から12月9日までの間に、3回に分けて行われた。解体搬出は(株)ケーパックの熟練した作業員の手によって順調に完了した。

KEKに移設されたFEL装置のうちマグネット電源が電子銃テストスタンドで、IOT用のDC電源がコンパクトERLで再利用されているほか、一部の物品は共同研究先にも提供されていると聞いている。

FELを搬出した後の加速器室の管理区域解除には、天井を含む壁面の全てをスミア検査する必要があり、足場の設置、作業員の確保に約2,000万円の費用がかかる。研究費を工面してこの費用を捻出するのは現実的でないので、当面は加速器室の管理区域はそのままとし、周辺の実験室から管理区域解除作業を順次進めることとし、監督官庁の了解を得た。

3. FEL研究棟における現在の研究活動

現在、FEL研究棟では、2台の光陰極DC電子銃の研究開発を進めているのに加えて、いくつかの要素技術について研究を展開している。電子銃の電圧は250kVと500kVであるので、法令上は、加速器(RI)ではなくX線発生装置である。

光陰極DC電子銃は、低エミッタンスかつ大電流の電子ビームを発生できることから、エネルギー回収型リニアックの入射器として最適の装置である。昨年度には、世界初の500-kV電圧印加に成功するなど、順調な研究開発が進んでいる^[5]。

1.3GHz高周波源(IOT)を中心としたテストスタンドでは、JAEA、KEK、ISSPの共同チームによるERL主加速器用のカップラー試験が行われている^[6]。

また、MBE装置を用いたマルチアルカリ光陰極の研究が、東京大学との共同で進んでいる^[7]。

4. 今後の研究

原子力機構の第二期中期目標期間(平成22~26年度)では、われわれグループはガンマ線を用いた核種分析技術の研究をテーマに掲げている。これは、高輝度電子ビームと先端レーザー技術を融合した、レーザーコンブ

トン散乱 X / ガンマ線の発生技術、および、これを用いた元素 / 核種の非破壊検知・計測技術の開発である。

加速器による X 線、中性子の発生技術は、これまでに大きく発展し、SPRING-8、J-PARC といった施設が建設され利用に供されている。ガンマ線については、これまで制動放射による白色光が利用されてきたが、これは、X 線放射光で言えば第 0 世代 (X 線管) に相当する old technology である。制動放射に代わる方式として、レーザーコンプトン散乱 (LCS) を用いた単色ガンマ線の発生がある。近年、発展の著しい電子ビームとレーザーの技術を組み合わせることで、LCS ガンマ線の強度、輝度を格段に向上できる。われわれグループは、これまで培ってきた ERL の技術をベースにして、大強度かつ高輝度の単色ガンマ線ビームの発生と原子力分野への利用の展開を研究テーマに定めたのである。

原子力分野において最も有力なガンマ線の利用である核種の非破壊計測・検知については、別論文に詳しく述べているので、そちらを参照されたい^[8]。

今年の 4 月に米国で開催された核セキュリティ・サミットでは、47 カ国から首脳が集まり、プルトニウムやウランなどが核テロリズムに使われないように安全や保全を確保し、その維持と管理を厳格に行うための方策が話し合われた。その中で、鳩山首相は、核物質の測定、検知及び核鑑識に係る技術開発の実行を含むナショナル・ステートメントを発表した。われわれの提案は、まさに、この技術開発を担うものである。

ヨーロッパでは、Extrem Light Infrastructure (ELI) と呼ばれる超高強度レーザーのプロジェクトが立ち上がった。建設予定の 4 つの施設のうち、ルーマニアでは光核物理の研究に特化した施設 (Nuclear Physics Pillar) が建設されることになった。ここでは、20 ペタワットのレーザーと LCS ガンマ線を組み合わせ、真空からの対生成や真空の複屈折現象の観測などの基礎研究が展開される。LCS ガンマ線源としては、フランス LAL の蓄積リング、米国 LLNL のリニアックと並んで、われわれが提案した ERL 光源が候補となった。議論の結果、2011-2015 の第一期ではリニアック (X-band) によるガンマ線光源を建設し、第二期以降に ERL を含む拡張が検討されることになった。このような世界の動向を見れば、LCS ガンマ線に対する期待の大きさがわかるだろう。

最後に、われわれグループの本拠地 (原子力機構東海研) とは別のサイトになるが原子力機構関西研に設置されている 150-MeV マイクロトロンを用いたプロジェクトが立ち上がったので紹介する。これは、科学技術振興調整費の「安全・安心な社会のための犯罪・テロ対策技術などを実用化するプログラム」として、港湾から輸出されるコンテナに隠匿された核爆弾を非破壊検査するための装置の開発である。われわれは、京大エネルギー

理工学研究所 (大垣英明教授)、京大原子炉実験所 (三沢毅准教授) と共同し、小型の D-D 中性子源とマイクロトロンによる LCS ガンマ線源を組み合わせた装置を提案し採択された。LCS ガンマ線を原子核共鳴蛍光散乱 (NRF) と組み合わせることで、Pu-239、U-235 などの核爆弾の原料となる同位体を選択的に識別することができる。原子力機構関西研のマイクロトロン、京大原子炉を用いた実験を今年度から開始している他、将来の製品化について、非破壊検査機器メーカーとも議論をはじめたところである。

5. まとめ

20 年あまりにわたって研究開発、運転を続けてきた原子力機構 FEL 装置は、平成 21 年度末までに廃止され、装置は解体撤去された。本装置を用いて、われわれグループが先鞭をつけた超伝導リニアック、高出力自由電子レーザー、エネルギー回収型リニアックの技術は、いまや世界の各地で新たなプロジェクトとして花を開いている。とりわけ、エネルギー回収型リニアックについては、わが国におけるコンパクト ERL、Daresbury の ALICE 加速器、JLAB と BINP の自由電子レーザー、Cornell 大学の X 線放射光源計画、BNL の電子冷却装置、HZ-Berlin の放射光源計画など、多くのプロジェクトが目白押しの状況にある^[9]。

原子力機構 ERL-FEL グループは、レーザー・コンプトン・ガンマ線の高輝度、高強度化と、原子力分野への利用の展開を目指して、要素技術である高輝度・大電流電子銃、超伝導空洞の技術開発を進めると同時に、新たな加速器の建設を含む提案を行っている。

参考文献

- [1] M. Minehara, Nucl. Instr. Meth. A557 (2006) 16-22.
- [2] N. Nishimori, R. Hajima, R. Nagai, and E.J. Minehara, Phys. Rev. Lett. Vol. 86 (2001) 5707-5710.
- [3] R. Hajima, R. Nagai, Phys. Rev. Lett. 91 (2003) 024801.
- [4] R. Hajima, T. Shizuma, M. Sawamura, R. Nagai, N. Nishimori, N. Kikuzawa and E.J. Minehara, Nucl. Instrum. Meth. A507 (2003) 115-119.
- [5] R. Nagai et al., Rev. Sci. Instrum. 81 (2010) 033304.
- [6] H. Sakai et al., "Power Coupler Development for ERL Main LINAC in Japan", Proc. IPAC-2010, pp.2953 (2010).
- [7] 中園祥央 他, "カートリッジ型高周波電子銃アンチモン系光陰極の性能向上", 本論文集.
- [8] 羽島良一 他, "ERL による高輝度 X/ 線源の開発と核種非破壊分析への応用", 本論文集.
- [9] R. Hajima, "Review of ERL Light Sources", Review of Acc. Sci. Tech., to be published.