

自由電子レーザーは究極のレーザー？

—自由電子レーザーの研究開発プロジェクト—



夢はバラ色

Is Free Electron Laser an Ultimate Laser?

—R&D Project of Free Electron Laser—

三 間 冨 興*

Key Words : Free Electron Laser, Rf-linear Accelerator, Electron storage Ring, Wiggler, Synchrotron Radiation

平成2年度末より、通産省（基盤技術促進センター）のプロジェクトとして「自由電子レーザー研究所」が関西地区に発足した。このプロジェクトは大阪科学技術センターで昭和63年に設置された。「光技術高度化懇談会」の「自由電子レーザー研究会」の提案によるもので、産官学で構成された研究会の3年間の夢が実現したものである。このプロジェクトが自由電子レーザーの開発研究のマイルストーンとなることを期待している。

1. 研究の経過

レーザー研究は1958年のシャウロウとタウンズの理論が契機となり、全世界に広がった。同年、核融合についてもそれまでの秘密研究が公開され、本格的な研究が開始された。その後、まもなくレーザー核融合が提案され、核融合用大出力レーザーの開発がスタートした。これらに遅れること20年、スタンフォード大学 高エネルギー物理研究所で自由電子レーザーの研究は始まった。我が国では、大阪大学を中心として1980年頃から研究が開始された。

自由電子レーザーは真空中を伝播する電子ビームから電磁波を放射させるもので、クライストロン、マグネトロン、ジャイロトロン等のマイクロ波やミリ波を発生させる電子管の延長線上にある。また、電子蓄積リングを用いるシンク

ロトロン放射光発生装置も仲間である。従って、電子の加速エネルギーを変えることにより、レーザー波長を自由に変えることが出来る。一方、通常のレーザーでは、固体もしくは気体中の束縛電子のエネルギー準位により発振波長が固定されている。使用済みの電子ビームのエネルギーの回収が可能なことより、通常のレーザーの様な冷却能力による平均出力の上限がないため、高平均出力、高効率のレーザーとなりうる。これらの特徴から、自由電子レーザーには究極のレーザーになる可能性がある。

2. 光技術高度化懇親会と自由電子レーザープロジェクト

昭和61年8月、科学技術庁長官より、航空・電子等技術審議会に対し「光科学技術の高度化に関する総合的な研究開発の推進について」の諮問がなされた（諮問大11号）。これに対して、電子技術部会（部会長 霜田光一、岡村総吾）に光科学技術分科会（主査 霜田光一）が設置され、レーザー光、シンクロトロン放射光の利用を中心とした光科学技術の高度化に関する総合的な研究開発の推進方策が審議された。その結果を受けて、航空・電子等技術審議会は、その研究開発の推進について答申し、光科学技術の高度化のための重要課題として、光源の高輝度化・短波長化を挙げ、レーザー光と放射光に対し、その特徴を十分にいかし、相互の補完性を配慮しながら両者の研究開発を推進してゆかなければならないとした。具体的な推進すべき重要研究開発課題として、大型放射光光源の開発とともに、自由電子レーザーの開発が挙げられた。

*Kunioki MIMA

1945年8月17日生

昭和43年京都大学理学部物理学科卒業

現在、大阪大学レーザー核融合研究センター、レーザーシミュレーション工学部門、教授、理学博士、プラズマ・核融合理工学、TEL 06-877-5111

以上の様な答申に呼応して、大阪科学技術センターでは昭和62年5月光技術高度化懇親会（委員長 中原恒雄、顧問 熊谷信昭）を設置し、産官学の協力により、自由電子レーザー、光エレクトロニクス材料、高速AD・DA変換光電子デバイス等のテーマに関し、技術動向を検討し、国家プロジェクトへの提言をまとめることになった。そのためワーキング・グループが設置されることになり、昭和62年8月には「自由電子レーザー・ワーキング・グループ」（主査 三間閑興）が発足した。昭和63年5月には、このワーキング・グループは「自由電子レーザー研究会」に発展した。この間、「自由電子レーザーの開発に関する提言」がまとめられ、科学技術庁、通産省へ働きかけられた。この結果、平成2年度より基盤技術促進センターのプロジェクトとして自由電子レーザーの研究の施設が関西地区に出来ることになった。

このプロジェクトでは、200 MeV 前後の電子ビームを発生させる高性能高周波線形加速器を開発し、赤外から紫外域にわたる広い波長領域をカバーする自由電子レーザーを発振させることが目的である。また、このレーザー光の利用技術についても、その可能性を明らかにし、実証することになっている。現在に到るまで、高周波線形加速器での紫外域自由電子レーザーは実現されておらず、その成果が世界中の自由電子レーザー研究者から注目されている。

3. 自由電子レーザーの技術課題と展望

自由電子レーザーは三つの要素技術からなっている。第1は、高輝度電子ビームを発生させるための加速器技術であり、第2は電子ビームを入射し放射光を発生・増幅させるウィグラー（アンジュレーター）の技術である。第3の技術は、発振器等の光学技術である。電子ビームのエネルギー及び加速器と発振波長とはおおよそ図1のように対応しており、例えば軟X線や紫外線を得るためには200MeV以上の高エネルギービームが必要である。それには、高周波線形加速器や電子蓄積リング等が用いられる。高周波線形加速器を用いる自由電子レーザーでは、発振器中で光パルスが数百回往復し、電子

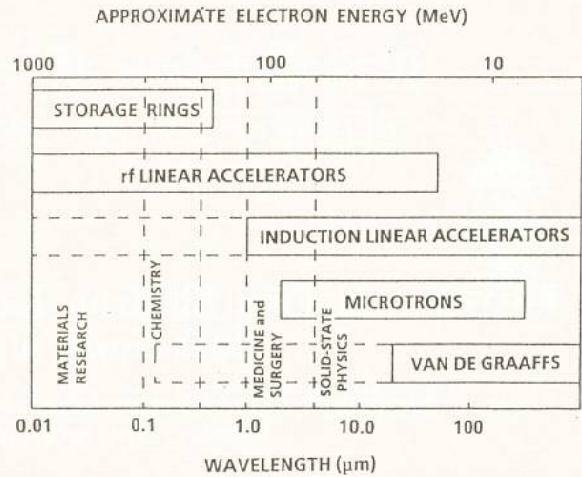


図1 自由電子レーザーの発振波長と電子ビームのエネルギーおよび加速器との関係

ビームと相互作用することにより、飽和発振状態になる。従って電子ビームは $20\mu\text{s}\sim 30\mu\text{s}$ 以上継続することが必要で、高出力のパルスクライストロンの設計や加速管中の電子ビームの安定性等につき特別の配慮がある。これらの加速器技術がプロジェクトの成否を決定すると言っても過言ではない。

高精度で電子ビームパルスと光パルスの同期やアラインメントを取る技術、ウィグラーからのシンクロトロン放射光に含まれる高エネルギーフォトンによる光学系の損傷の問題等も解決しなければならない課題である。これらの諸問題が解決されると、軟X線から遠赤外にわたるコヒーレントな放射光が得られることになる。高エネルギーでかつ高輝度のX線光源として、現在計画中の高性能大型電子蓄積リングの放射光施設とともに、自由電子レーザーは第4世代のフォトンファクトリーを形成することになる。

4. おわりに

自由電子レーザーは波長可変、高効率、高出力の三拍子がそろったレーザーとなる可能性を持っている。すでに、赤外では高出力、波長可変性が実証されており、世界各国で、より短波長、より高効率にするための研究が進められている。現在のところ、まだ発振技術は発展途上にあり、発振自体が研究対象になっている。安定で再現性の良い発振技術の確立とともに、半導体レーザーほどに小さい自由電子レーザーの可能性を追究するのが夢である。