

# 試験加速器によるレーザー発振の成功について

田中 均

X線自由電子レーザー計画合同推進本部 軌道解析グループ  
グループディレクター

X線の波長領域で自由電子レーザーを発振させるためには、(i) 高品位の(高密度でありながら低温で極めて平行性のよい)電子ビームを生成し、(ii) 高周波電場で安定に加速した上で、(iii) 磁場の方向が交互に入れ替わる周期的永久磁石列で構成される高精度のアンジュレータで電子ビームを精密に蛇行させ光を放射させる必要がある。本計画では、「施設をコンパクトとする」と「究極のビーム安定性」をキーワードに、先行するアメリカやヨーロッパの計画とは異なる独自の技術を用い高性能の自由電子レーザーの実現を目指している。

世界に先んじた革新的独自技術を用い、コンパクトでより性能の高いX線自由電子レーザーを開発していく事は、日本の技術力の維持・強化の観点からも極めて重要である。しかし、その反面で失敗を犯す危険も存在する。革新的独自技術を基礎に、強度の高い安定なX線レーザーの生成は可能なのか、要求されるビーム性能を本当に実現できるのかを検証する目的で、平成17年、試験加速器がSPring-8(スプリングエイト。Super Photon Ring-8-GeV)の敷地内に建設された。

試験加速器は、エネルギーこそ2億5千万電子ボルトと低い(実機80億電子ボルトの約30分の1)が、冒頭に述べた自由電子レーザー実現のための3要素に対応した独自の技術、(i) 高電圧パルス熱電子銃を用いた高品位電子ビーム入射器、(ii) 通常の加速管に比べ加速勾配が大きく、かつ小型のCバンド高効率加速システム、(iii) 永久磁石列を真空中に入れることで強い磁場を実現、短い長さで、しかも低エネルギーの電子ビームでX線発生を可能とする真空封止アンジュレータが全て盛り込まれている。

試験加速器のビーム調整は、平成17年12月からスタートした。調整は最上流の電子銃から、下流のアンジュレータに向かって、部分毎に電子ビームの基本性能の確認とシミュレーションの結果を再現する機器パラメータの設定を繰り返した。約半年にわたり入念に調整ステップを積み上げた結果、2億5千万電子ボルトのエネルギーまで高品位の電子ビームを安定に加速できるようになった。引き続き、真空封止アンジュレータを用いたレーザー発振実験を行い、予定通り本年6月に49ナノメートルの波長において、レーザー発振の初観測に成功した。

電子ビームの品質を評価するため、レーザー発振の加速電荷やアンジュレータのギャップ依存性が系統的に測定された。この結果、試験加速器で得られたビーム性能は、シミュレー

シオンで予測される性能とほぼ一致することが確認された。図 1 に加速する電荷量(横軸)に対するレーザー発振強度(縦軸)の変化を示す。実験データ(丸)はシミュレータで予測されたビーム性能(実線)と良い一致を示していることが分かる。また、加速器システムが基本的に安定なので、レーザー発振は非常に良く再現されることも実証された。図 2 に 30 秒間の電子ビームパルス毎のレーザー発振状態を示す。パルス当たり約 1 マイクロジュール(100 フェムト秒のパルス幅を仮定した場合、10 メガワットの出力に対応)の強いレーザー発振が安定に維持されていることが分かる。

試験加速器で得られたこれらの実験結果は、独自技術を用いた加速器システムの妥当性と潜在能力を明確に示すものである。試験加速器から X 線自由電子レーザーへ到達する過程では、幾つかの技術開発要素が残されている。しかし、今回の試験加速器の実験結果により、主要な 3 つの独自技術を用いて X 線自由電子レーザーの建設を進めることに基本的な問題がない事を確認できた。

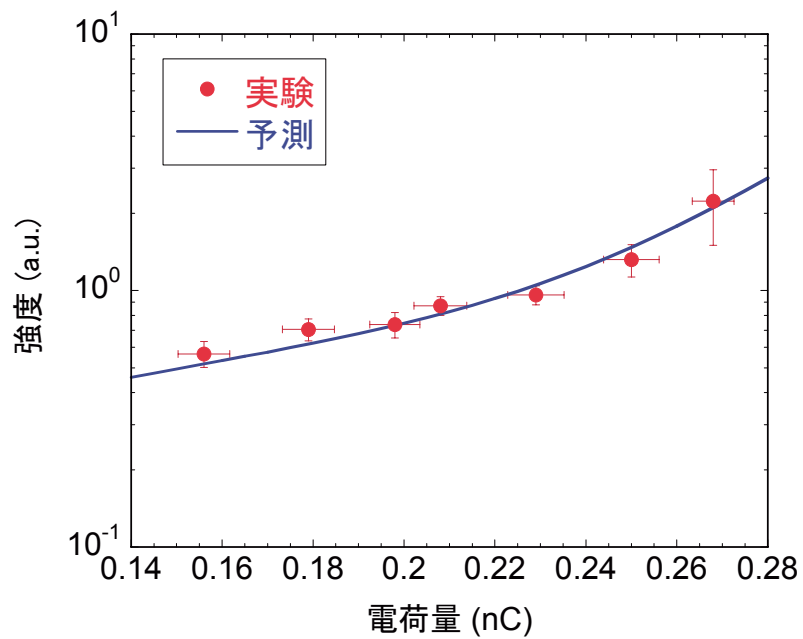


図 1. レーザー光の強度と加速電荷量の関係。

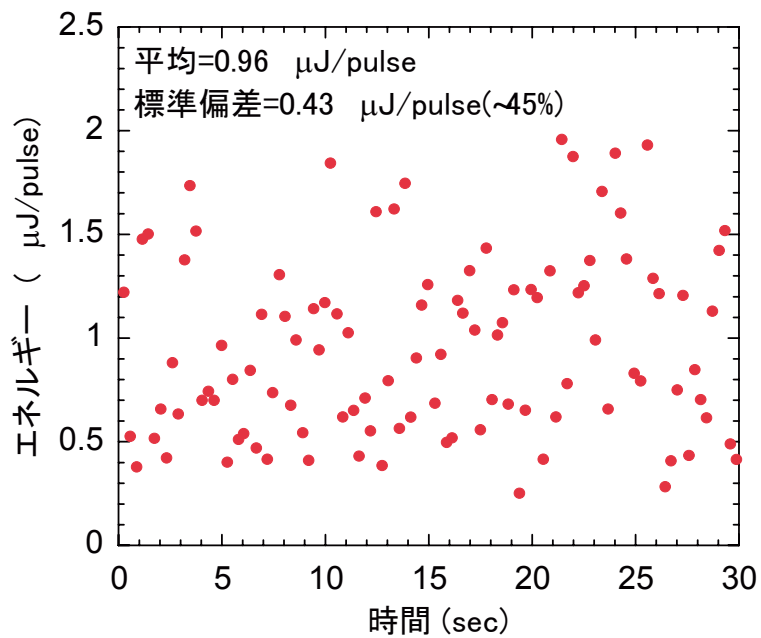


図 2. レーザー発振の時間安定性。