

RF ガンシステムの汎用化と応用研究開発

研究代表者 鷲尾 方一
(先進理工学部 応用物理学科 教授)

1. 研究課題

高性能の小型レーザーフォトカソードRFガンによって生成された高品質電子ビームとレーザーの相互作用によってX線発生が可能なレーザーコンプトン散乱において、X線の高強度化に資する光蓄積共振器開発を行っている。今年度は将来的にレーザー発振器のタイミングと同期して加速器を運転することを踏まえた時の、レーザーに対する要求性能を評価した。

2. 主な研究成果

小型高輝度X線源として期待されるレーザーコンプトン散乱であるが、短時間X線イメージングなどの実用化のためにはさらなる高強度化が求められる。そのためには電子ビーム（加速器）の高度化とともにレーザーの高度化が要求される。具体的にはパルスレーザー光を光蓄積共振器内で足し合わせることで受動的に強度を高め、電子ビームと相互作用させる手法が有効である。概念図を図1に示す。

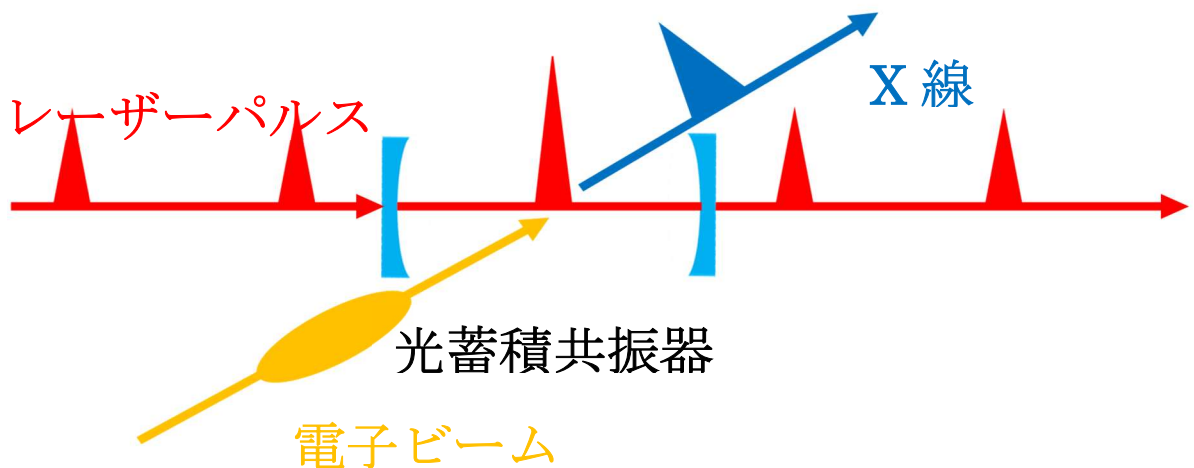


図1：光蓄積共振器を用いたレーザーコンプトン散乱の概念図

本研究では特に自発共鳴というアイデアを提案し、試験している。自発共鳴レーザーシステムの概念図を図2に示す。本セットアップの特徴は光共振器が光のループ内に内包されており、レーザー発振器の一部を成しているところにある。このような構成にすることで従

来必要であった、共振器長に対する高精度のフィードバックシステムが原理的に不要になり、トレードオフを超えた高増大率が期待される。

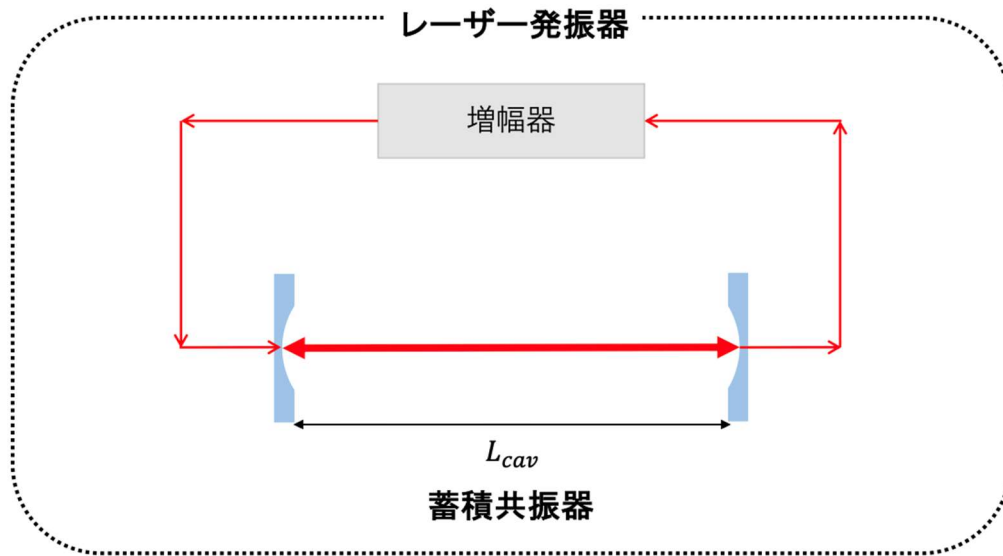
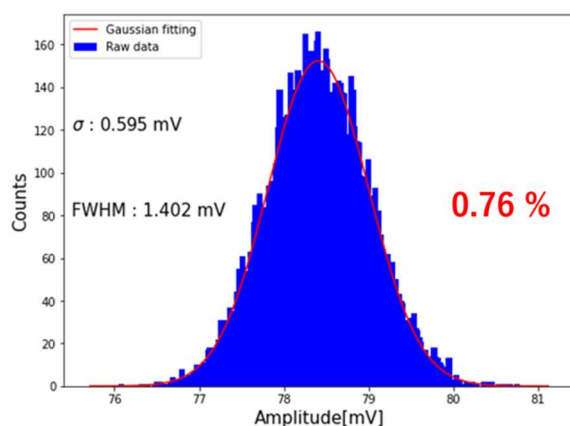


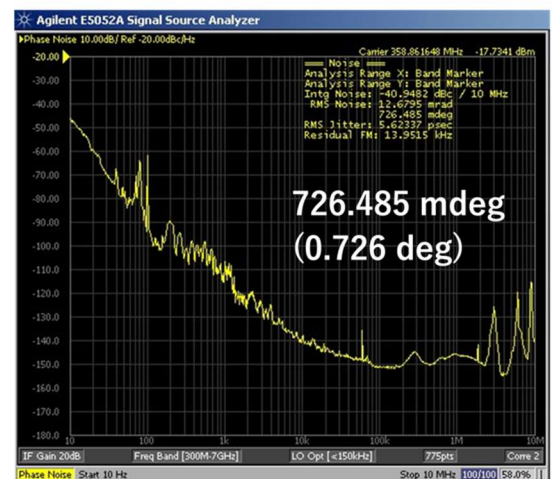
図 2：自発共鳴レーザーシステムの概念図

これまでの成果としてモードロック発振及び光共振器へのレーザー蓄積に成功し、環境温度安定化の改善を実施してきた。レーザーコンプトン散乱のためには電子ビーム及びレーザーパルスのタイミングを同期させる必要がある。そのためにレーザー発振器の光信号から加速器制御信号を生成し、加速器運転を行う。今年度は実際に加速器制御信号をレーザーの光信号から生成し、その安定性を評価した。まずは光共振器を外した状態で計測を行った。図 3 に制御信号の振幅・位相の変動を測定した結果を示す。振幅変動はオシロスコープの計測機能を利用してヒストグラムを取得し、位相雑音はシグナルアナライザによって計測した。

加速器運転のための要求値
 振幅安定度：0.5 %以下
 位相雑音：2.5 deg (RMS)以下



358 MHzのML発振の振幅分布



358 MHzのML発振の位相雑音

図 3：光信号によって生成された加速器制御信号の振幅及び位相変動計測結果

位相変動に関しては要求値に対して余裕を持って安定度を得ることができたが、振幅変動に関しては要求値に対してわずかに大きい測定結果であった。

3. 共同研究者

坂上和之(東京大学工学系研究科原子力専攻・准教授)

小柴 裕也(早稲田大学 招聘研究員)

4. 研究業績

4.1 学術論文

・”Enhancement of Glass Ablation Rate During Micro-via Processing using Very Long Pulse 248-nm Excimer Laser for Semiconductor Interposer Packaging”, Yasufumi Kawasuji, Akira Suwa, Yasuhiro Adachi, Tomonari Tanaka, Kouji Kakizaki, and Masakazu Washio, JLMN-Journal of Laser Micro/Nanoengineering、Vol. 19, No. 1, 2024

4.2 総説・著書

4.3 招待講演

「石英ガラスの超短パルスレーザー加工現象に関する研究」、寺澤英知、ギガフォトン講演会、2024年2月、栃木

4.4 受賞・表彰

4.5 学会および社会的活動

以下の学会役員活動等を通じて、加速器及びレーザーの先端的な応用技術の開発と啓蒙を行い、技術の社会実装を目指す。

日本放射線化学会 常任理事

ラドテック研究会 理事

RadTech Asia Organization, Vice-president

ビーム物理研究会 副会長

高エネルギー加速器研究機構・客員教授

5. 研究活動の課題と展望

自発共鳴という斬新なコンセプトを取り込んだ光蓄積共振器開発を行っている。将来的に加速器とのタイミング同期を取るために、レーザーに要求される振幅と位相の安定性を評価した。レーザー信号から生成した RF 信号の振幅及び位相、それぞれの安定性は 0.76%及び 726mdeg であった。加速器制御系の要求を考慮すると、振幅安定性は要求を満たしていないが、位相安定性は要求を満たしていることがわかった。ただしこれは発振器ループ内に光共振器ミラーを設置していない測定のため、今後は光共振器を配置した自発共鳴時の安定性を評価するとともに、光ファイバークリーニングなどを通して振幅安定度の改善が可能で、技術の実現性を確認できた。