

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

レーザーフォトカソード RF ガンは X 線自由電子レーザー (XFEL) などの最先端の加速器設備へ採用されており、高品質電子ビーム源として広く認識されている。本プロジェクト研究では、レーザーフォトカソード RF ガンシステムのより一層の高度化と汎用化を進め、生成した電子ビームの高度制御技術及びその評価手法を開発・発展させることで、高品質な加速器電子ビームでしか生成することのできないユニークな光発生などの応用研究開発に繋げることができる。特に、今年度は、電子ビームとレーザーの相互作用によって高輝度の 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に関して報告を行う。

2. 主な研究成果

小型高輝度 X 線源として期待されているレーザーコンプトン散乱であるが、短時間での X 線イメージングなどの応用研究を行うためにはさらなる高輝度化が求められている。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。レーザー光を光蓄積共振器に蓄積することで受動的に強度を高め、そこに電子ビームを通す手法が有効である。概念図を図 1 に示す。

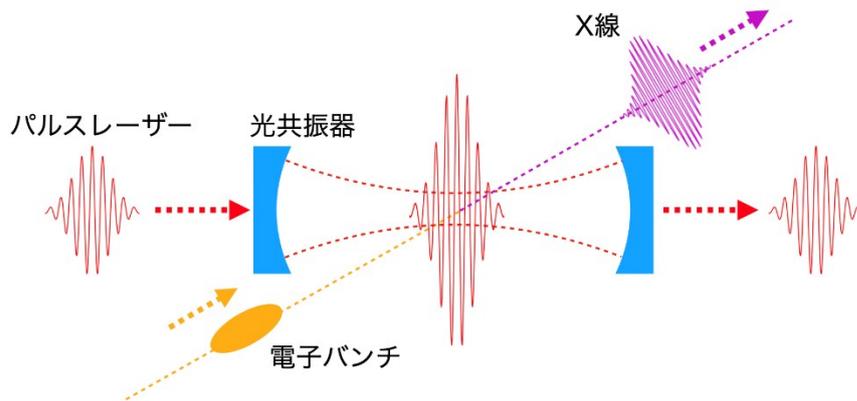


図 1：光蓄積共振器を用いたレーザーコンプトン散乱の概念図

光蓄積共振器の増大率（蓄積光と入射光のパワー比）は光共振器のフィネスという性能指数で表され、フィネスの大きい光共振器ほど増大率も大きい。しかしながらフィネスが大きくなると共振器長に対する要求精度も高まるというトレードオフがあるため、増大率が制限

される。本研究ではそのトレードオフを超えた光増大を実現するために自発共鳴というアイデアを提案し、原理実証を行った。実験セットアップの概略図を図 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。可飽和吸収機構や分散補償機構はモードロックのために必要であり、超短パルスレーザー発振を実現する。

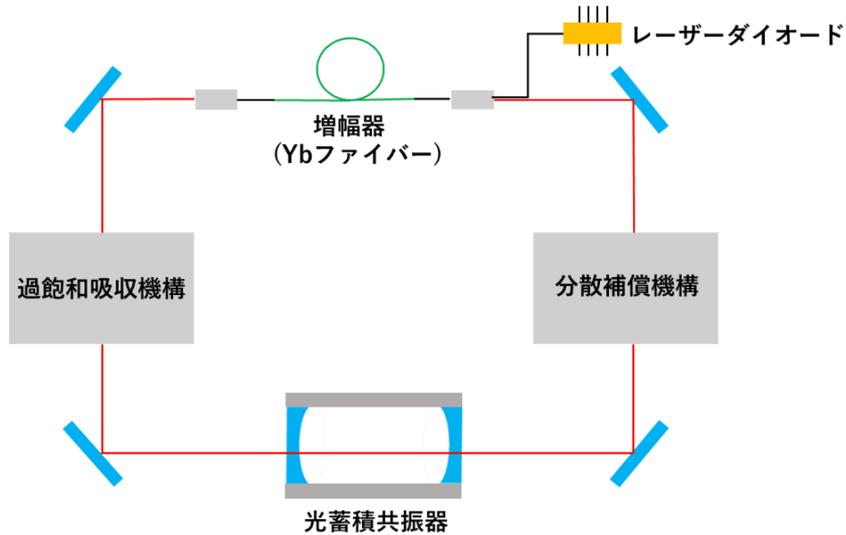


図 2：自発共鳴レーザーシステムの概略図

反射率が 99% のミラーを使ってフィネスが 300 程度の光共振器を構築し、原理実証試験を行い、自発モードロック発振に成功した。フォトダイオードとオシロスコープで測定した時間波形を図 3 に示す。357 MHz (2.8 ns) のモードロック発振であることが確認できる。また温度依存性が大きい知見を得ることができており、これは光ファイバー部が支配的であると推測している。

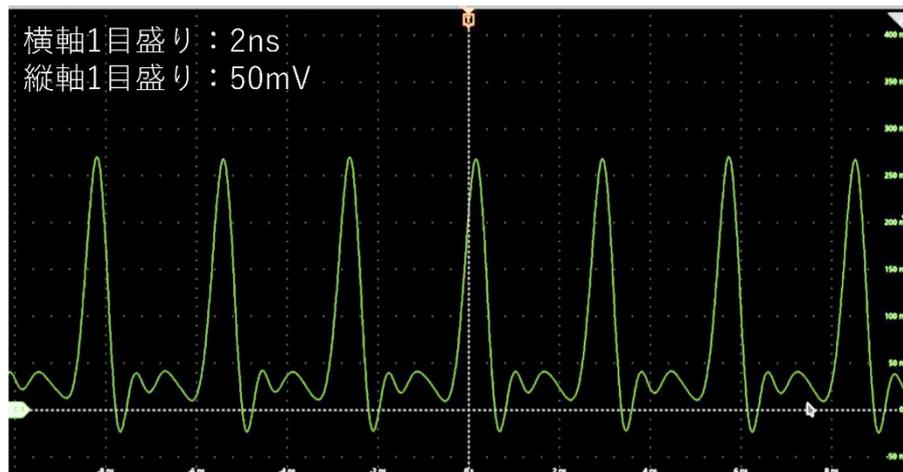


図 3：自発モードロックレーザーパルスの時間波形

3. 共同研究者

遠藤 彰 (理工学研究所・客員教授)
坂上 和之 (現東京大学・主幹研究員)
黒田 隆之助 (産業技術総合研究所・ラボチーム長)
小柴 裕也 (理工学術院・助手)

4. 研究業績

4.1 学術論文

“High-Charge Ultrashort Electron Bunch Generation by an Energy Chirping Cell-Attached Rf Electron Gun and Its Measurement Using a Transverse Deflecting Cavity,” Y. Koshiba, Y. Tadenuma, S. Otsuka, M. Washio, T. Takatomi, J. Urakawa, and K. Sakaue, *Phys. Rev. Accel. Beams*, 24, 83401 (2021).

"Time resolved pump-probe imaging of ablation phenomena in silica glass using visible femtosecond laser", E. Terasawa, D. Satoh, T. Shibuya, Y. Moriai, H. Ogawa, M. Tanaka, K. Sakaue, M. Washio, Y. Kobayashi, R. Kuroda, *J. Laser Micro Nanoeng.*, 16, 194 (2021).

"超短パルスレーザーによる石英ガラスの加工現象のポンププローブイメージング", 寺澤英知, 鷲尾方一, 佐藤大輔, 盛合靖章, 小川博嗣, 田中真人, 黒田隆之助, 澁谷達則, 小林洋平, 坂上和之, *放射線化学*, 111, 67 (2021).

4.2 総説・著書

なし

4.3 招待講演

なし

4.4 受賞・表彰

「超短パルスレーザーを用いた石英ガラス加工に対するナノ秒時間領域のポンプ・プローブイメージング」

丸征那、第18回放射線プロセスシンポジウム 優秀賞 2021年11月 web開催

「超短パルスレーザーによる石英ガラスの加工現象のポンプ-プローブイメージング」

寺澤英知、第64回放射線化学討論会、若手優秀講演賞、2021年12月 web開催

4.5 学会および社会的活動

日本放射線化学会 理事

日本加速器学会・評議員

ラドテック研究会 幹事

RadTech Asia Organization, Vice-president

ビーム物理研究会 副会長

5. 研究活動の課題と展望

上記のように、自発共鳴という新奇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。今後は温度安定化に努め、蓄積光エネルギーの安定化を図る。その後、より高い反射率ミラーを使った光共振器で同様の試験を行い、ハイパワー光蓄積を目指す。