

PRESENT STATUS OF RF-GUN SYSTEM AT WASEDA UNIVERSITY

Masakazu Washio^{1,A)}, Kazuyuki Sakaue^{A)}, Yoshimasa Hama^{A)}, Taku Saito^{A)}, Ryo Moriyama^{A)}, Shuichi Minamikuchi^{A)}, Kentaro Hidume^{A)}, Masaaki Kawaguchi^{A)}, Shigeru Kashiwagi^{B)}, Ryunosuke Kuroda^{C)}, Junji Urakawa^{D)}, Hitoshi Hayano^{D)}, Kiminori Ushida^{E)}

^{A)} Advanced Research Institute for Science and Engineering, Waseda University
3-4-1 Okubo, Shinjuku-ku, Tokyo, 169-8555

^{B)} ISIR Osaka University
8-1 Mihogaoka, Ibaragi, Osaka, 567-0047

^{C)} AIST
1-1 Umezono, Tukuba, Ibaraki 305-0045

^{D)} KEK
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki 305-0801

^{E)} RIKEN
2-1 Hirosawa, Wako, Saitama 351-0198

Abstract

High-tech research center project, which was started in 1999 has been approved second phase of research from government. In this project, we have installed high quality electron beam system based on the RF photo-cathode system at Kikui-cho campus of Waseda University. In second phase of the project, improvement of beam quality and developments of applications using the system will be extensively conducted.

早稲田大学におけるRFガンシステムの現状

1. はじめに

早稲田大学・理工学総合研究センターは、1999年に文部科学省の私立大学ハイテクリサーチセンタープロジェクトの採択を受け、小型フォトカソードRFガンを用いて、「高品質ビームの発生とその物性・反応研究への応用」を展開してきた。2002年2月には、文部科学省より放射線施設検査の合格を得て本格的電子ビーム発生実験を開始した。このハイテクリサーチセンタープロジェクトは5年間のプロジェクトとして採択され、昨年3月にはその第一期の研究を終了して成果報告を行った。その後、高品質ビーム発生関連研究を一層進展させるべく第二期の申請を行い、更に5年間のプロジェクトの遂行が認められた。第一期では、主にRFガンシステムの設計・立ち上げとビーム品質の測定などを中心に研究を行い、応用研究としてのパルスラジオリシスや逆コンプトン散乱による軟X線発生などの原理実証を行ってきた。第二期においては、電子ビームの一層の高品質化とビーム計測技術の高度化、更に応用研究の一層の充実を目標として研究を開始した。

ここでは、ハイテクリサーチセンタープロジェクト第二期初年度に得られた結果について述べる。

2. ビーム発生システム

すでに多くの場において説明してきたが、ここで再度、我々のシステムコンセプトを簡単に説明しておく。当初よりフォトカソードRFガンは高品質の短バンチビーム生成にはきわめて有用なシステムであることが予測されていたが、実際にシステムを構築し安定運転を実施するために、事前に多岐にわたる検討を加えた。その中で特に注意深く検討した項目が、RFガン空洞から発生する電子（暗電流）の低減化とレーザーおよびRFの安定化である。暗電流の低減化にはダイヤモンドバイトを用いた、空洞表面の超平滑切削を実施し、実際に暗電流を従来装置の1/3程度まで減らすことに成功した。

一方、レーザーおよびRFの安定化については、種々の周辺パラメータを含め、不安定性を誘起する事象が多々あるため、それらを検証し、実用的なシステム構築を行ってきた。レーザーの安定化については、本体の本質的な安定化を図るため、シードレーザーへの過飽和吸収ミラーとPZTを組み合わせた周波数安定性を極限まで高めるための装置設計と、出力光を安定化するためのフィード

¹ E-mail: washiom@waseda.jp

バックを組み合わせたNd:YLFレーザーを採用した。一方、実際に加速器近傍で動作させたときの安定性評価についても別途検討を行い、出力光の安定性が、RFの影響を強く受けることを見出し、この対策のためにレーザーを簡易的なシールド領域におくことで、問題解決を図ってきた。また、RFパワーの安定度については、RFモジュレータ自身の充電電源を含めて安定性を追及し $\Delta V/V$ を0.3%以内に抑えることで、当面の運転に支障が無いレベルを維持することができた。さらに、RFガン本体の温度管理も $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 以内に制御できるよう、冷却系についても特段の配慮を行い、運転開始当初より、ある程度品質の良い電子ビームの発生が行えた。

しかしながら、電子ビームの一層の高品質化および広い応用研究を行うために、当初のシステムを更に高度化する必要に迫られた。特に電子ビームエミッタンスについては、当初目論んだ値よりかなり大きなものを得るにとどまっていたため、昨年度よりレーザー光の入射方法の変更を通じた電子ビームの高品質化を実行した。またこのようにして得られたビームをすでに種々の応用実験に適用している。

3. ビーム計測

3.1 バンチ長測定

我々のシステムではビームの電荷量をファラデーカップで、ビームエネルギーはダイポールマグネットにより測定している。一方バンチ長測定には特段の配慮が必要である。そこで、以前より報告を行っていたようにバンチ長測定に2周波解析^[1]による計測およびRFキッカー法による計測を実施している。（これらの計測結果等については、本学会において坂上ら^[2]によって詳細が示されているので参照してほしい。）何れのバンチ長計測法によっても、PARMELAで予測されるバンチ長に極めてよく一致し、モニターが正常に作動していることが確認された。

3.2 エミッタンス測定

今回は電子ビームの低エミッタンス化を目的として、UVレーザー光の入射方法について種々見当を加えた。従来は一切の光整形を行わずにカソードにUVレーザーを入射していたため、カソード表面ではレーザー光は横長の楕円形に照射されていた。この形では、レーザー光のカソード面への到達時間に遅れが出るばかりでなく、電子の放出領域も横方向に広がっており、エミッタンスが比較的大きくなっていた。これに対し昨年度からプリズムを2枚組み合わせた光整形法を入射UVレーザーに加え、カソード表面で真円となるよう調整を行った。その結果我々が従来得ていたエミッタ

スを大きく下回る、非常に良いエミッタンスの電子ビーム（ $\sim 3\text{mm}\cdot\text{mrad}$ ）を得ることに成功した。（これらの結果は本学会において森山らが報告^[3]を行っているのでそちらを参照してほしい。）

4. ビーム応用研究

4.1 逆コンプトン散乱による軟X線発生システムの開発

既に報告^[4]してきたように、逆コンプトン散乱によって発生するX線は、エネルギー可変性、準単色性（指向性）、短パルス性、高輝度性、高偏極性、コンパクト性といった様々な特徴を持っている。発生X線は、レーザー光のエネルギー（波長）、電子のエネルギー、衝突角度、散乱角度等を選ぶことによりそのエネルギーを選択することができる。逆コンプトン散乱を用いてX線発生を行う場合、シンクロトロン放射光などと比べ、電子のエネルギーが比較的低い状態で、高エネルギーのX線が生成できる。そのため、X線源としてシステム全体を非常にコンパクトにすることができる。これにより、実験室レベルの物理化学実験、及び生物学・医学応用等の利用が可能になる。そこで我々は、将来生体観測用の軟X線顕微鏡への応用を目指し、RF-gunから得られる電子線とRF-gunのカソード励起に用いているレーザー光の基本波（IR光）とのコンプトン散乱実験システムを構築した。

本実験で得られたX線の信号強度400 mVと時間プロファイル（rms 8.4ps）を得た。MCPのゲインは印加電圧2 kVのとき 5×10^6 であり、MCP表面の量子効率10%とすると、約70個の光子が検出されたことになる。これから全発生光子数を計算すると 1.6×10^4 個となり予想X線の光子数とほぼ一致している。また、散乱X線のエネルギーは約370 eVと計算され、炭素のK殻吸収端を若干上回るエネルギーのX線が得られたことになる。

4.2 パルスラジオリシスシステムの開発^[5]

我々はフォトカソードRFガンを用いたピコ秒パルスラジオリシスシステム（ストロボスコピック法）の開発を行っている。我々の研究室のシステムの特長として、システム全体がコンパクトな点、電子ビームが放射線化学反応をサンプルセル中に起こすのに十分なエネルギーを持っている点、ピコ秒の時間分解能を持ったシステムが構築できる点が挙げられる。励起源としてはRF電子銃からの電子ビーム（バンチ長10ps、電荷量1 nC）、分析光としてNd:YLFレーザーの基本波（波長：1047nm）を水セルに照射して生成される白色光を用いている。現在までに予備実験を行い、ストロボスコピック法パルスラジオリシスシステムにおいて時間分解能：約26psを達成した。

また、今年度新規ビームラインを増設し、常時利用可能な新規パルスラジオリシスシステムの構築を行っている。

昨年度まで、軟X線生成実験と交互に直線のビームラインを共有してきたが、今回の新規ビームラインを増設することにより、両実験がスムーズに行うことができ、ビームをさらに絞り時間分解能向上することのできるメリットがある。

そこで、偏向電磁石後の45°ビームラインを500mm延長し、新たに四極電磁石（シングレット、ダブルット）新規ステアリングを設置し、ビームを輸送するシステムを構築した。セットアップを図1に示す。

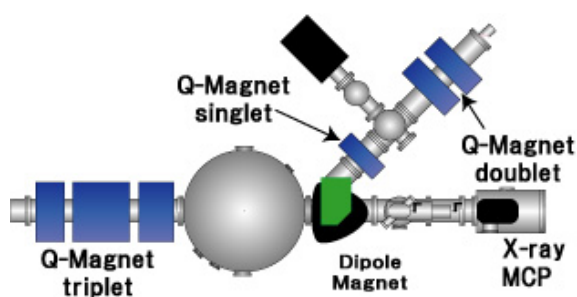


図1. 新規ビームラインセットアップ
(下流部分)

分析光源としてはレーザー光の非線形光学現象を利用して発生させた白色光（波長：400～1000nm）を利用している。従来は白色光生成用としてフローセル（10×10×30mm）にフラッシュランプでアンプしたIR光を集光して利用していたがフローセルの形を太鼓型（直径30mm、長さ30mm）にすることにより白色光を安定に生成できるようにした。また、分析光をディテクターまでガイドするレンズを全て波長依存性の無い非球面コンデンサーレンズを使用し、白色光生成点から受光面までガイドした。その結果得られた白色光の安定度測定の結果を図2に示す。図2の上は、従来のシステムで得られていた白色光の安定度で、大きなノイズが含まれている。一方今回の非球面レンズを用いた系では、ゆらぎとして約3.3%という値を得、従来のシステムのゆらぎの約1/4というきわめて良好な値に抑えることができた。これらをふくめ、システムに種々の改良を加えた結果、水和電子の吸収の立ち上がり時間から評価した時間分

解能として18.6psを達成することができた。

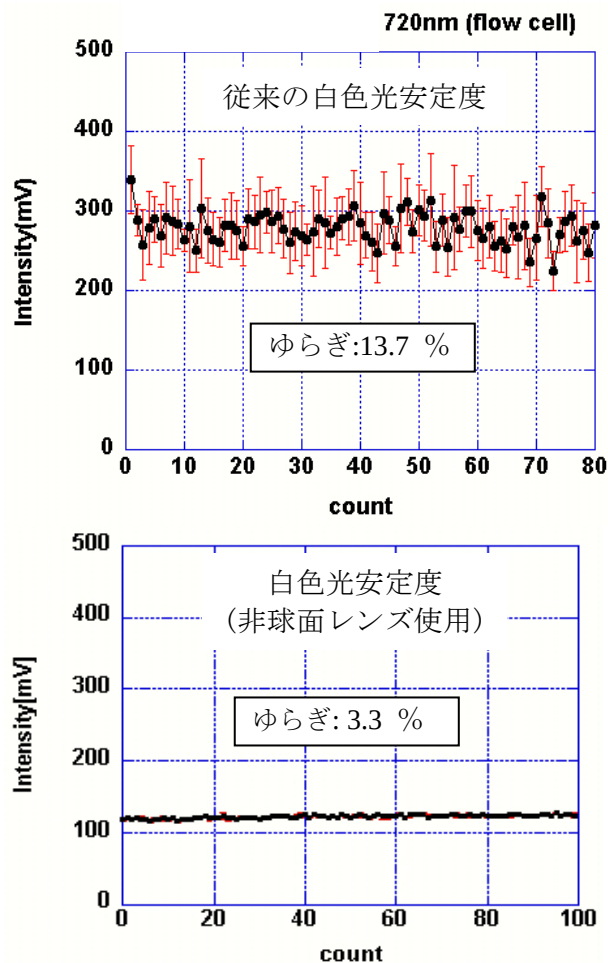


図2 白色光の安定度測定結果
(720nm)

参考文献

- [1] “Bunch Length Monitor Using Two-Frequency Analysis for RF Gun System”, R. Kuroda, et al., Japanese Journal of Applied Physics, Volume 43, 2004, pp.7747-7752
- [2] K. Sakaue et al., Proceedings of the 30th Linear Accelerator Meeting in Japan, 20P089
- [3] R. Moryama et al., Proceedings of the 30th Linear Accelerator Meeting in Japan, 20P054
- [4] S. Minamikuchi et al., Proceedings of the 30th Linear Accelerator Meeting in Japan, 21P104
- [5] M. Kawaguchi et al., NIM B, in press