

PRESENT STATUS OF RF-GUN-BASE COMPACT ACCELERATOR AT WASEDA UNIVERSITY

Kazuyuki Sakaue^{1A)}, Tatsuro Aoki^{A)}, Ryosuke Betto^{A)}, Yuji Hosaka^{A)}, Hitoshi Hayano^{B)}, Shigeru Kashiwagi^{C)},
Ryunosuke Kuroda^{D)}, Tatsuya Suzuki^{A)}, Nobuhiro Terunuma^{B)}, Junji Urakawa^{B)}, Masakazu Washio^{A)},
Junichiro Yokose^{A)}, Yukihiya Yokoyama^{A)}

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

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization
1-1 Oho, Tsukuba, Ibaraki, 305-0801

^{C)} Institute of Scientific and Industrial Research, Osaka University
8-1 Mihogaoka, Ibaraki, Osaka, 567-0047

^{D)} National Institute of Advanced Industrial Science and Technology
1-1-1 Umezono, Tsukuba, Ibaraki, 305-8568

Abstract

We are developing a compact electron accelerator system based on photo-cathode rf-gun at Waseda university. Using this compact accelerator, a pump-probe pulse radiolysis experiment for clarifying an early reaction of radiation irradiation and a laser-Compton scattering experiment for realizing a soft X-ray microscope have been performing as application researches. High peak current and short pulse electron beam for the former application and high average current and high quality beam for the latter are required. On these requirements, we have replaced a copper metal photo-cathode with Cs-Te semi-conductor cathode because of its high quantum efficiency. At the same time, we improved an rf-gun cavity for improving a Q-value. These improvements showed valid results in electron beam generation and application experiments. In this paper, the present status of the Waseda electron accelerator and forward planning will be presented.

早稲田大学RF電子銃加速器システムの現状と今後の展望

1. はじめに

早稲田大学ではRF電子銃をベースとした小型加速器システムを喜久井町キャンパス内に設置しビームの高品質化研究及びそれをういた応用研究を行っている。電子ビームの高品質化研究としては、昨年度までにRF電子銃空洞の改良^[1]及びCs-Teカソードの採用によりマルチバンチ生成による電子ビームの大電流化・シングルバンチ運転におけるバンチの高輝度化が可能となり、現在開発を進行中である。本加速器の応用研究としては、放射線反応の初期過程を解明するためのポンププローブ法によるパルスラジオリシス実験^[2]やレーザーコンプトン散乱による軟X線生成実験^[3]を行っている。RF電子銃の改良によって応用実験においても一定の効果が得られており、更なるビームの高強度化によってより幅の広い応用研究が見込まれている。

本講演では、早稲田大学RF電子銃加速器の現状、特に改良型RF電子銃による成果と今後のより高品質な電子ビーム生成へ向けた試み、それに伴う応用研究の展開について報告する。

2. 早稲田大学RF電子銃加速器の現状

2.1 改良型Cs-TeカソードRF電子銃

これまでに改良型RF電子銃空洞の早稲田大学への設置及びCs-Teカソードでの電子ビーム安定生成を行った。改良型RF電子銃は以前までのRF電子銃空洞の運転における知見に基づき、チューナ構造やエンドプレート設置部を改良し、空洞に余計な穴や隙間のない構造になっている。この改良はカソード材をこれまでの銅から高量子効率の期待できるCs-Teに変更するのに伴い行われた。Cs-Teは寿命の観点から頻繁な入れ替えが予想されるため、改良型RF電子銃はカソード交換装置を付属している。Cs-TeカソードはRF電子銃空洞に装着可能なMoプラグ上に蒸着して生成される。その蒸着は共同研究を行っている高エネルギー加速器研究機構(KEK)のATF内に設置されているカソード蒸着装置で蒸着した後、真空を保ったまま早稲田大学に輸送する。これは初めての試みであり、輸送中の真空度の劣化などを評価する必要がある。詳細は^[1]を参照されたい。

¹ E-mail: kazuyuki.sakaue@aoni.waseda.jp

以下に早稲田大学に設置された改良型RF電子銃システムを示す。導波管の先にあり、鉛遮蔽で見えにくくなっているのが改良型RF電子銃空洞である。

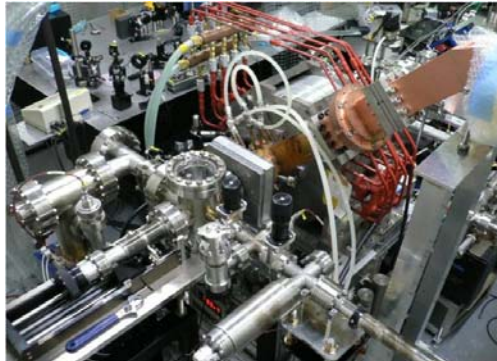


図1：早稲田大学RF電子銃

その後ろ(写真手前)に設置しているのがカソード交換装置である。

2.2 改良型電子銃における量子効率評価試験

これまでに改良型電子銃空洞の評価として主に2項目に関して評価を行った。まずCs-Teカソード導入による高電荷量電子ビーム生成及びその量子効率測定試験を行った。その結果を以下に示す。図2は

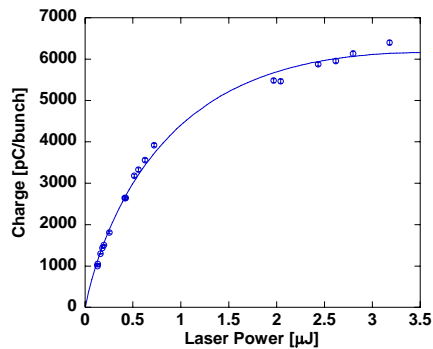


図2：量子効率評価試験

横軸にカソードに入射するレーザーのパルスエネルギー、縦軸に生成電子ビーム電荷量をプロットしている。照射するUVレーザーのパルス幅は約10ps(FWHM)であり、横方向サイズは約200μm(rms)である。ピーク電流が大きいために加速される電流量が4nC/bunchあたりから飽和していることがわかる。しかしながら、これまでの銅カソードでは生成できなかった5nC/bunchを超える電子ビームバンチが生成できるようになったことはCs-Teカソードを用いたことによる一つの成果である。また、ゼロカレントにおける量子効率(図2のゼロクロスにおける傾き)によるカソードの量子効率を評価することが出来る。本結果から得られる量子効率は約2.9%と銅カソードにおける量子効率の10⁴と比較しても2桁以上の向上が見られた。ここで、評価した量子効率2.9%という値にはRF電場によるショットキー効果や後述するレーザー偏光の効果を含んだものであることを注意しておく。

この量子効率を評価したのはカソード交換直後であるため、2.9%と良い値が得られているが、長時

間運転した後も約1%の量子効率が得られている。以下に24時間にわたる量子効率の変動を測定した結果を示す。ほぼ24時間に渡って約1%の量子効率が

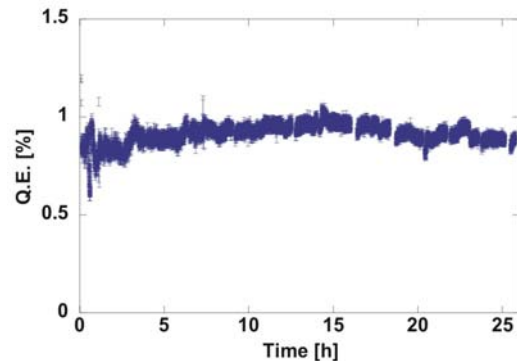


図3：量子効率安定度測定試験

得られ、安定していることがわかる。少しずつカソードは劣化するものの、半年後にも0.3%程度の量子効率を保っている。

2.3 改良型電子銃における加速効率評価試験

改良型RF電子銃空洞はこれまでの電子銃空洞に比べて高いQ値を得ることに成功している。(旧空洞:7900→新空洞:12200)これはつまり加速効率が向上したことに他ならない。この成果を実際に電子ビームで確認するために加速効率の比較を行った。

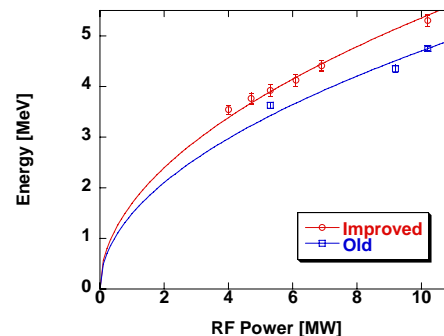


図4：加速効率評価試験結果

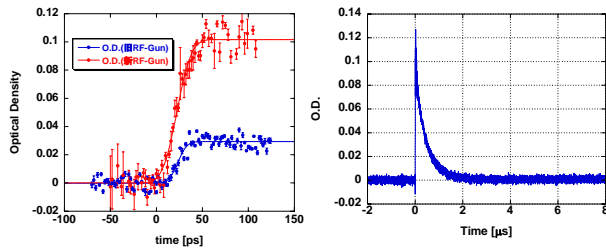
以下にその結果を示す。青プロットが旧空洞によって加速されたビームの平均エネルギー、赤が改良型空洞のものである。横軸を加速RFのピークパワーとしてプロットしている。どのプロットもRFのパルス幅は2μsecで最大加速位相・タイミングでの測定である。明らかに加速効率が向上し、最大5.5MeVの電子ビームが生成されていることがわかる。

3. 応用研究における成果と展望

3.1 パルスラジオリシス実験

パルスラジオリシス実験の要求する電子ビームは単バンチかつ高輝度(高線量)の電子ビームである。線量が多ければ多だけ放射線反応の数を増やし、信号強度を上げることが可能である。図2に示した

ようにすでに5nC/bunchを超える単バンチ電子ビーム生成に成功しているため、その成果を確認した。



(A) ピコ秒システム (B) ナノ秒システム

図5: パルスラジオリシス試験結果

その結果を以下に示す。詳細は^[4]を参照いただきたいが、我々は2種類のパルスラジオリシスシステムを構築しており、(A)はピコ秒分解能のシステム試験結果、(B)はナノ秒分解能の試験結果である。(A)に示されているように線量が増大したことによってシグナルである吸収係数が約3倍向上したことがわかる。(B)はこの結果を受けて構築したナノ秒システムの評価試験であり、十分なS/Nで放射線生成物の時間挙動が測定されていることがわかる。

今後、よりシステムを高度化していくにあたって問題となるのがカソードにおいて生成されるビームの空間電荷制限電流である。図2に示されているようにすでにビームの電荷量は制限電流値に近づいており、飽和状態にある。そこで我々はより制限電流を引き上げること計画している。実際にはカソード上におけるレーザースポットサイズを広げ、かつパルス幅を2倍程度広げることによって10nC/bunchを超える電子ビーム生成を目指している。その概念図を以下に示す。我々のシステムではUVレーザー

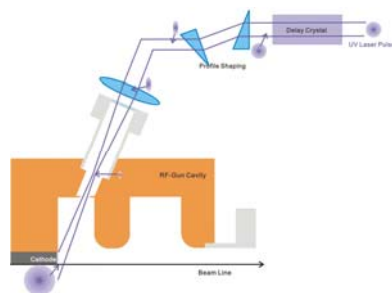


図6: 高輝度電子ビーム生成レーザー入射系概念図

のカソードへの照射を斜め(22.5度)から行っている。これはレーザーの偏光を効率よく用いるためである。我々はすでにCs-TeカソードにおいてもS偏光を用いるよりもP偏光を用いた場合の方が高い量子効率を得られること確認している。^[5]レーザーのスポットを広げ、カソードに照射する際に制限となっているのが、カソード入射ポート及び空胴に設けているレーザー入射口である。これらの位置においてレーザー光を集光し、カソード上では広いスポットを実現するような光学系を図6のように設計し、すでに2倍以上広げられることを確認している。現在この光

学系を構築し、高輝度単バンチ電子ビーム生成を行う予定である。

3.2 レーザーコンプトン散乱軟X線生成実験

レーザーコンプトン散乱軟X線生成実験においては、高輝度かつ高品質な電子ビームが要求される。バンチ電荷の増大はビーム品質の劣化も引き起こし、電子ビーム起因のバックグラウンドを増大させる恐れがある。そこで、我々は電子ビームを多バンチ化することによってバンチあたりの電荷量は最適値にしつつ、ビーム電流量を増大させる『マルチバンチ運転』の準備を進めている。すでにレーザーの設計は完了し現在構築しているとともに、より多数のバンチを生成するための『RF振幅変調法』によるビームエネルギー補正を検討している。詳細は本研究会^[6]を参照されたい。

4. まとめ

早稲田大学RF電子銃ベース小型電子加速器の現状として、改良型RF電子銃の評価試験を行い十分な成果が得られていることを確認した。本成果は応用研究でも一定の成果として現れており、今後さらに高輝度・高強度の電子ビームを生成していくことによってパルスラジオリシスシステムや軟X線生成実験により一層の成果が期待されることを示した。また、これらの高品質ビーム生成によって他の応用研究への展望が拓けると考えている。

5. 謝辞

本研究で作製した改良型RF電子銃空胴はKEK工作センターの高富氏・工藤氏の協力の下作製されたもので、氏らの技術なしには成し得なかった成果であり、ここに謝意を表します。

参考文献

- [1] Y. Kato, et al., "Development of a Cs-Te Cathode RF Gun at Waseda University", Proceedings of LINAC Conference'08, TUP095, 2008
- [2] H. Nagai et al., "Improvements in Time Resolution and Signal-toNoise Ratio in a Compact Pico-second Pulse Radiolysis System", Nuclear Instruments and Methods B265, pp.82, 2007
- [3] K. Sakaue et al., "Recent Progress of a Soft X-ray Generation System based on Inverse Compton Scattering at Waseda University", Radiation Physics and Chemistry, 77, pp.1136, 2008
- [4] A. Fujita et al., "Improvement of Compact Pico-Second and Nano-Second Pulse Radiolysis Systems at Waseda University", Proceedings of PAC'09, TU6PFP027, 2009
- [5] T. Suzuki et al., "Present Status of a Multi-Bunch Electron Beam Linac Based on Cs-Te Photo-Cathode RF-Gun at Waseda University", Proceedings of PAC'09, MO6RFP10-2, 2009
- [6] 鈴木達也他, "早稲田大学Cs-TeフォトカソードRF電子銃を用いたマルチバンチ電子ビーム生成及び診断システムの開発", 本研究会WPBDA36