

[P7-18]

## Simulation of High Quality Electron Beam Generation

R. Kuroda, M. Washio, S. Kashiwagi  
 J. Yang\*, T. Hori\*, F. Sakai\*, Ilan. Ben-Zvi†, X.J. Wang†

Waseda University, 3-4-1 Okubo, Shinjuku, Tokyo

\*Sumitomo Heavy Industries Ltd, 1-1-2 Yato-cho, Tanashi Tokyo

†Brookhaven National Laboratory, 725C BNL, Upton, NY 11973, USA

### Abstract

Low emittance sub-picosecond electron pulses are expected to be used in wide field, such as high brightness X-ray generation by inverse Compton scattering, etc. In order to produce the low emittance sub-picosecond electron pulses, we are developing a compact racetrack microtron (RTM) with a 5MeV electron beam injection system adopting a laser photo cathode RFgun. We have investigated for the first time by numerical simulation in the case of short and single pulse acceleration. As the results, RTM is also useful to accelerate a picosecond electron pulse under a transient state of beam loading. In the simulation, a picosecond electron pulse is accelerated to 139MeV in RTM for the injection of about 5MeV pulse with pulse length of 3.72ps, charge of 0.1nC per pulse, and emittance of  $1.72 \pi$  mm mrad, which corresponds of output of the RFgun. However, as we increase electron charge from 0.1nC to 1nC for output of the RFgun, we have enormous growth of emittance. Thus we have developed numerical simulation for RFgun using MAGIC code. As the result, we have expected optimum solution in simulation, such as about  $6 \pi$  mm mrad of emittance at 1nC of electron charge.

## 計算機シミュレーションによる高品質電子ビーム発生

### 1 はじめに

近年、急速なレーザー技術の発展に伴い、レーザー光と電子ビームを衝突させることによって起こる、逆コンプトン散乱を利用した高輝度 X 線発生が実現可能なものとなっている。この X 線は単色性・指向性・エネルギー選択性に優れ、超短パルスといった特徴を持ち、さまざまな用途に使用可能であると考えられている。住友重機械工業及び早稲田大学理工学総合研究センターにおいては、高輝度 X 線の発生に向けて、その要素のひとつである高品質電子ビームの発生について計算機シミュレーションを行い検討を進めている。今回の高品質電子ビーム発生システムとしては、コンパクト性・低電力・低コストなどの面から、RFgun+Microtron システムを採用している。

### 2 計算機シミュレーション

高品質電子ビーム発生の際、入射系として電子銃の役割が大きいものとなっている。入射系として用いる RFgun は、光カソードに Nd:YAG レーザー第 4 高調波(266nm)をパルス

照射し光電子を発生させ、空洞内で RF 加速により高加速が得られる電子入射システムである。このシステムによって得られる電子ビームについて、シミュレーションコード MAGIC を用いて計算を行った。計算はすべてシングルショットである。

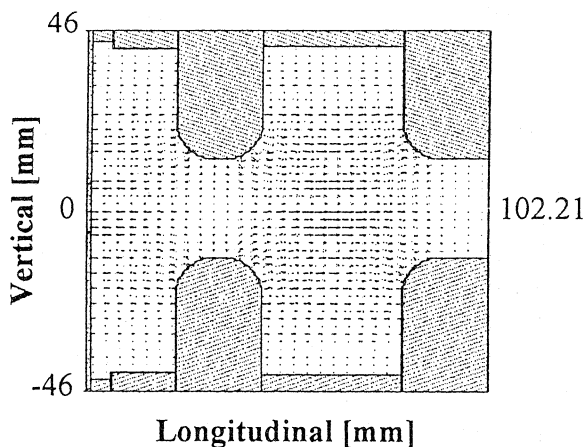


図.1 RF 空洞

ここで、シミュレーションではレーザーを想定することができないので、平面波で行った。主なパラメータは、表.1 に示してある。実際の RFgun は、1.5 セル構造を持つ無酸素銅製の空洞を持っており、空洞の形状及び共振電界を図.1 に示した。また、エミッタンスの悪化を防ぐため、RFgun の出口付近で 7kGs の磁場が得られるようなソレノイド磁場を想定した、静磁場を導入している。以上のようなパラメータで、入射系シミュレーションを行ない、output 電子ビームを加速系へと移行した。

光の波長	266 nm
光のパルス幅 (FWHM)	10ps, 20ps
スポットサイズ	1.2mm, 2.4mm
照射角	60 度
照射密度	1 mJ/cm <sup>2</sup>
カソードの量子効率(Cu)	1×10 <sup>-5</sup>
最大加速電界	100 MV/m
共振周波数(πモード)	2854.62 MHz
共振周波数(0モード)	2847.99 MHz

表 1: RFgun のパラメータ

加速系として用いる Microtron (図.2)は、電子の軌道を 1 対の偏向電磁石によって 180 度曲げ、1 つの加速管を何度も用いることによって高加速が得られるコンパクト性に優れた加速器である。また Microtron 内部の加速管は、左右端にハーフセル、中央部にフルセルを 7 つ持つ構造をしており、クライストロンから 2856MHz の高周波 (RF)を得て、加速管内部に MV オーダーの定在波を立たせることによって、6MeV/1 周の加速勾配が得られるようになっている。

ここで、RFgun シミュレーションによって得られた電子ビームをもとに、Microtron の軌道計算を行い、最終的な出力電子ビームについて解析を行った

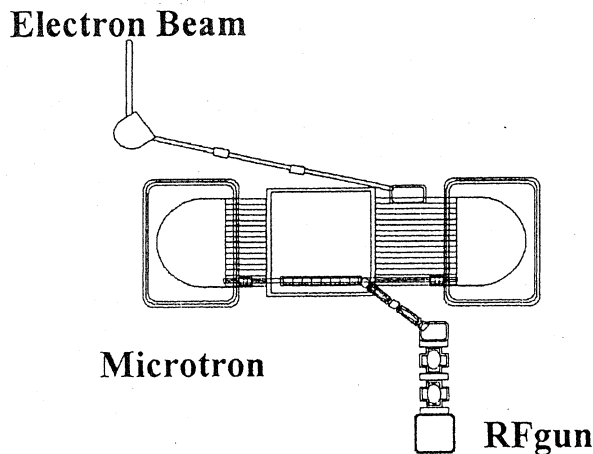


図. 2 : Microtron

### 3 計算結果

RFgun シミュレーションによって得られた電子ビームのパラメータは、表.2 に示してあるように、平均エネルギー約 5MeV・バンチ長 (FWHM) 約 3ps・チャージ量 100pC・規格化エミッタンス 1.72 π mm mrad (図.3)であった。

エネルギー	4.9375 ± 0.0225 MeV
バンチ長(FWHM)	3.72 ps
チャージ量	100 pC
規格化エミッタンス	1.72 mm mrad

表 2: 電子ビームのパラメータ (from RFgun)

周回数	23 laps
エネルギーゲイン	6 MeV/lap
偏向磁場	1.23 and 1.228 Tesla
磁場勾配	0.14 Tesla/m
逆磁場	0.2929 and 0.2777 Tesla
シケイン磁場	0.33 Tesla
RF周波数	2856 MHz
加速勾配	15 MV/m
加速空洞数	7 full + 2 half cells

表 3: Microtron のパラメータ

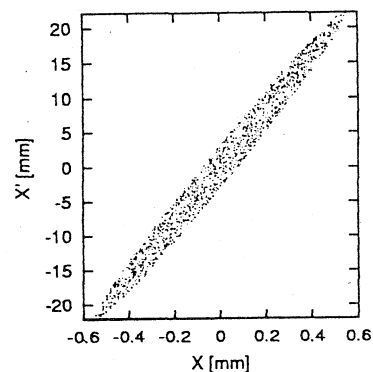


図. 3 : 電子のエミッタンス分布 (from RFgun)

これをもとに、表.3 に示すパラメータで、Microtron の軌道計算を行った結果、23 週目にエネルギー 139.55MeV ± 0.07%・バンチ長 (FWHM) 1.5ps の高品質な電子ビームが得られることがわかった (図.4,5)。また、この際の透過率が約 82%と、ビームロスを極端に減らすことが可能であることがわかった。しかし、エミッタンスに関する議論は、dispersion の問題からうまく行かず、Microtron のパラメータを更に最適化することが必要であることがわかった。

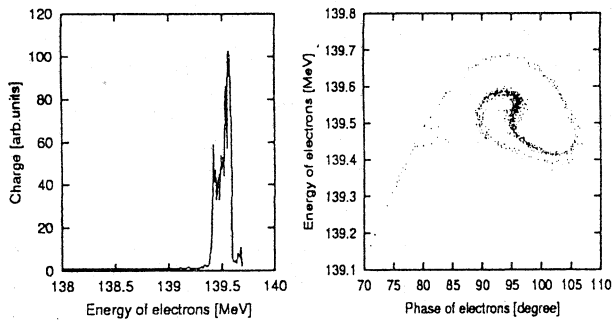


図.4 エネルギーvs位相プロット (from RTM)

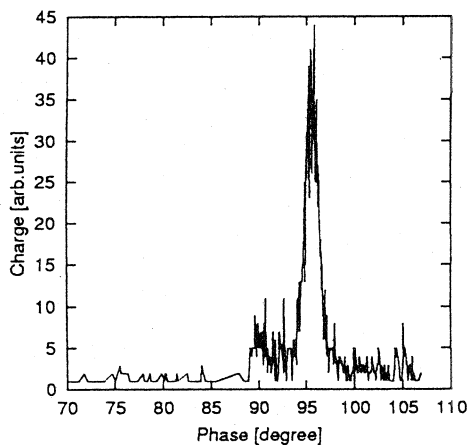


図.5 Output 電子ビームバンチ長

#### 4 今後の展開

今回の計算の際、RFgun から得られる電子ビームとして、上記のようなものを用いたが、RFgun シミュレーションでは、パラメータを吟味することにより様々な電子が得られることがわかっている。更に高品質な電子ビームを得るため、エミッタンスを検討した結果、バンチ長を犠牲にし、現在の3psを10psにし、ビームサイズを2.4mmから1.2mmにすることによって、規格化エミッタンス  $0.7\pi\text{ mm mrad}$  の電子ビームが得られることがわかっている。

しかし、これまで RFgun シミュレーションでは、電子チャージ量を100pCで計算しているが、必要とされているチャージ量としては、1nC以上を目標としている。それゆえ、チャージ量について検討した結果、スペースチャージ効果により、エミッタンスの増大が大きいため、規格化エミッタンスを  $10\pi\text{ mm mrad}$  以下にすることは困難である。しかし、今後最適化を進めることによって、 $6\pi\text{ mm mrad}$  前後のエミッタンスが得られることが予想できる。

#### 5 まとめ

以上検討の結果、RFgun+Microtron システムにより、ある程度高品質な電子ビームが発生できることがわかった。しかし、より高品質な電子ビームが要求されているため、チャージ量を増やし、更に低エミッタンスな電子ビームが必要である。そのため、入射系である RFgun から得られる電子ビームについて、更に計算を進めなければならない。その際、エミッタンス補正のためのソレノイド磁場についても、更に突き詰めた検討が必要である。

#### 6 謝辞

本シミュレーションにあたり、電磁場解析コード MAGIC の使用のため、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) の陳先生に協力を頂き、ここに感謝の意を表します。

#### 参考文献

- [1] M. Washio et al., "Femtosecond X-ray Pulse Generation Using a Low Emittance Electron Beam and a High Power Laser", 7th China-Japan Bilateral Symp. On Radiation Chem. Oct. 28, Cengdu, China (1996)
- [2] M. Washio et al., "Femtosecond X-rays Produced by Inverse Compton Scattering between a Low Emittance Electron Beam and an Intense Laser Light", J. Surface Sci. Soc. Jpn., Vol.19 No.2 pp23-29 (1998)
- [3] J. Yang et al., "Evaluation of Femtosecond X-rays Produced by Inverse Compton Scattering under Linear and Nonlinear Interactions between a Low Emittance Electron Beam and an Intense Polarised Laser Light", Proc. EPAC'98 Stockholm, pp1082-1084 (1998)
- [4] F. Sakai et al., "Development of High Duty Operation RF Photoinjector", Proc. 11th Symposium on Accelerator Sci. and Technology, Harima, Japan pp473-475 (1997)
- [5] T. Hori et al., "Simulations of Ultra Short Single Bunch Operation on 150 MeV Microtron", Proc. Epac'98 Stockholm, pp517-519 (1998)