

[P 1 - 4]

## RF Gun Study for SPring-8 Linac

T. Taniuchi, H. Yoshikawa, S. Suzuki, K. Yanagida, A. Mizuno, T. Hori, T. Kobayashi,  
T. Asaka, S. Fukushima, Y. Itoh, A. Kuba, H. Sakaki and H. Yokomizo

SPring-8

Kamigori, Hyogo 678-12, Japan

### ABSTRACT

The SPring-8 Linac is under construction and the beam commissioning of the linac has been started in August 1996. There are some plans for the future application of this machine. One of them is the single pass FEL based on the self-amplified spontaneous emission (SASE). In this scheme, the beam emittance of  $1 \pi\text{mm mrad}$  will be required. However, the emittance of the current electron injector system which consists of a thermionic gun, pre-bunchers and a buncher is expected to be around  $50 \pi\text{mm mrad}$ . In order to achieve such a small emittance, an RF electron gun with a photocathode is under study. In this paper, some results of the simulation study for the RF gun cavity by using MAFIA code are reported.

### SPring-8線型加速器のためのRF電子銃の研究

#### 1. はじめに

SPring-8線型加速器[1]は8月よりビーム・コミッショニングが開始されており、10月からシンクロトロンへの入射が予定されている。蓄積リング稼働後の1日数時間のビーム入射以外の時間を利用した、線型加速器の新たなビーム利用が検討されている。特にSASE[2]と呼ばれるシングルパスのFELは次世代の光源として世界中で研究が行われており、SPring-8線型加速器においても将来利用の1つとして検討が進められている[3]。

SASEでは高いピーク電流が要求されるため、短バンチ、低エミッタンスのビームが必要となる。現在の電子入射部は熱陰極電子銃及びプリバンチャ、バンチャで構成されているが、このシステムではSASEで必要とされる $1 \pi\text{mm mrad}$ の規格化エミッタンスを実現することはできない。そこで、新たな電子入射部としてフォトカソードRF電子銃の開発研究を行っている。

SASE計画の一環として開発が進められている電子銃加速空洞としては、SLAC-LCLSのSバンド2セル空洞[4]、TESLA-TTFのLバンド2セル空洞[5]などがある。RF電子銃の加速空洞におけるエミッタンス増大の主な要因は空間電荷効果および空洞内電磁場であるが、LCLS、TTFとも空間電荷効果

によるエミッタンス増大が支配的となるような加速電界を選択し、ソレノイド磁場により空間電荷効果により増大したエミッタンスを補正する方法を採用している。バンチ当たりの電荷 $1 \text{nC}$ では加速電界は $100 \text{MV/m}$ 程度であり、電荷量が増えるに従って最適な加速電界は高くなっていく[6,7]。SPring-8のSASEでは最終的にバンチ当たり $1 \sim 10 \text{nC}$ の電荷が要求されるため、より高い加速電界を発生できるような空洞の開発が必要である。そこで高電界加速に重点を置いたRF空洞の開発を進めている。

2セル空洞の場合、空洞出口での到達エネルギーを上げることができる反面、共振周波数の調整機構や0モードの影響を抑制するためのカプラー構造が必要となり、高電界発生時の放電の要因となる可能性があることや、カソード表面の電界強度よりもディスク先端付近の電界強度が高くなってしまふことなどから、1セル空洞の方が高電界に対して有利であると思われる。

カソード部は、やはり放電防止の観点から空洞と一体構造とし、カソード材としては表面活性化処理のためのカソード取り出しや交換の必要のない金属を採用する予定である。

## 2. ビーム加速シミュレーション

空洞内での加速およびエミッタンスの評価には計算コードMAFIA[8]を用いた。今回はMAFIAの2次元PICモジュールTS2により、軸対称1セル空洞についての解析を行った。MAFIAにおける空洞の入力形状を図1に示す。ただし、軸対称であるので実際にはこの半分の形状である。

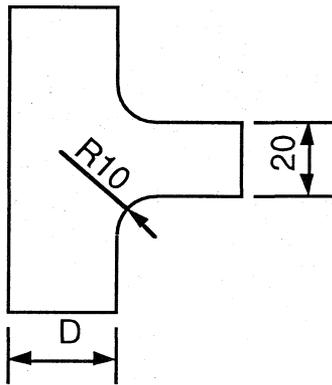


図1 MAFIA計算に用いた空洞形状

表1はMAFIA計算で用いた電子バンチおよび加速電界のパラメータである。

表1 MAFIA計算におけるパラメータ

|          |          |               |
|----------|----------|---------------|
| バンチ電荷    | 1        | nC            |
| スポットサイズ  | 1        | mm            |
| 径方向分布    | flat top |               |
| バンチ長     | 2        | psec          |
| 軸方向分布    | flat top |               |
| カソード表面電界 | 100      | MV/m          |
| 初期エミッタンス | 0        | $\pi$ mm mrad |
| マクロ粒子数   | 10000    |               |

いくつかの空洞長(図1のD)に対するバンチ発生時のRF位相と各ビーム特性(エネルギー、規格化rmsエミッタンス、エネルギー分散)の関係を図2に示す。ここではカソード面での加速電界が最大となる位相を $90^\circ$ と定義している。また、rmsエミッタンスは次式で定義される。

$$\varepsilon_{rms} = \sqrt{\langle x^2 \rangle \langle x'^2 \rangle - \langle x x' \rangle^2}$$

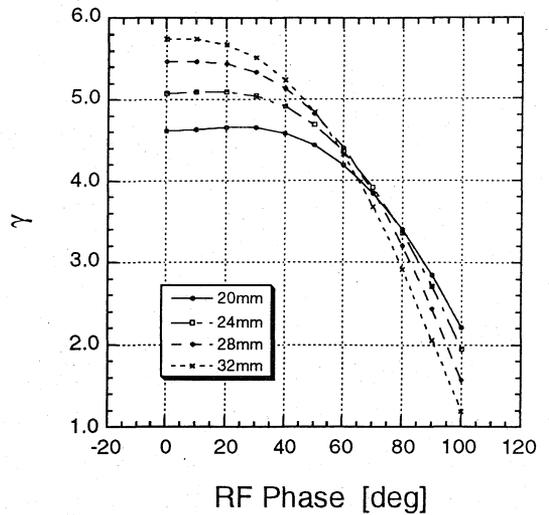


図2a RF位相と全エネルギー

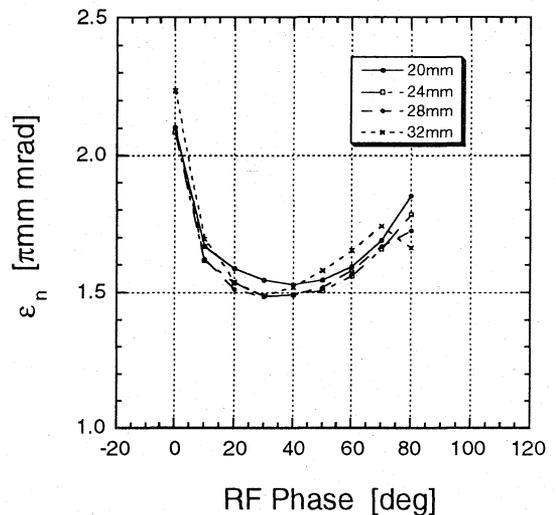


図2b RF位相と規格化rmsエミッタンス

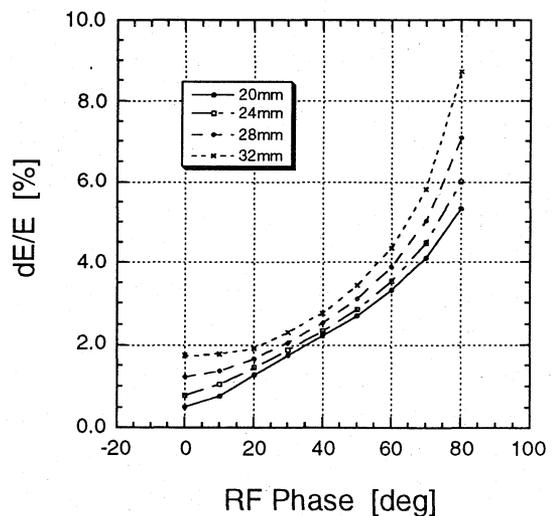


図2c RF位相とエネルギー分散

エネルギー及びエネルギー分散に対しては $0^\circ$ 付近が適正位相である一方、エミッタンスに対しては $30\sim 40^\circ$ 、バンチ長に対しては $50^\circ$ 付近が適正位相であることが分かる。

$0^\circ$ 側でエミッタンスが大きくなるのは、バンチ発生時に加速電界が低いいため空間電荷によるエミッタンス増が大きくなるためと考えられる。また、K.J.Kim[6]の解析によれば、バンチがRF位相 $90^\circ$ で空洞出口を通過するときRF電磁場によるエミッタンス増が最小となることから、初期位相が $50^\circ$ 以上でエミッタンスが大きくなっているのは、RF電磁場による影響が大きくなるためと考えられる。

この計算結果から、RF位相としては $30^\circ$ 付近が最適となることが分かる。また、空洞長はエミッタンスが小さく、エネルギー分散も比較的小さくなる24mm程度が良いと思われる。

この計算では、全体の傾向をつかむためにMAFIA計算における空間メッシュサイズ及び時間ステップを比較的大きくし、計算時間の短縮を図ったため、絶対値に対しては大きな誤差を含んでいる。エミッタンスの最終的な評価にはメッシュサイズ、時間ステップを十分小さく取る必要がある。

### 3. カプラー構造

通常の加速空洞では導波管からのRF電力は1つの結合孔を介して空洞に供給されるが、結合孔によって空洞内電磁場が歪められるため、電磁場分布の中心が空洞の中心軸からわずかにシフトする。そのため電界分布に含まれる高次モード成分によるエミッタンス増大が起きる。これを補正する方法としては、結合孔に対向する面を削る、結合孔を2つにして2方向からRF電力を供給する、あるいはTESLA-TTFで提案されているような軸対称な同軸カプラーなどが考えられるが、本研究では2方向からのRFフィード方式を採用する。

図3はMAFIAを用いて計算したシングルフィード・カプラー、ダブルフィード・カプラーを用いた空洞におけるビーム軸付近の電界分布を示す。横軸は2つの結合孔の中心を結ぶ方向の座標、縦軸は規格化された電界の軸方向成分である。

シングルフィード・カプラーの場合は電界分布の中心が結合孔側に約 $0.5\text{mm}$ シフトしているのに対し、ダブルフィード・カプラーにすることによりこれが補正される。

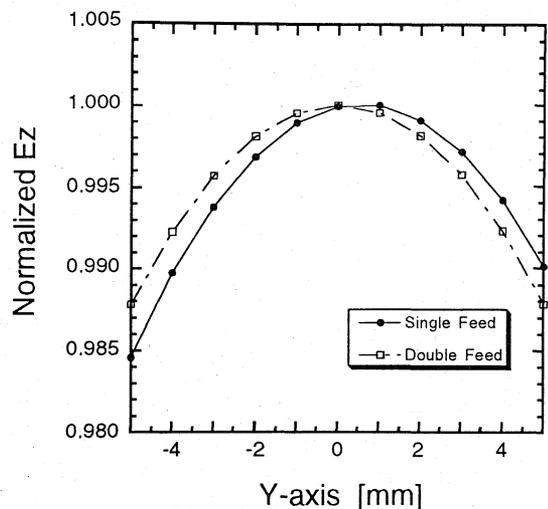


図3 ダブルフィードカプラーによる電界の対称化

### 4. 結論

SPring-8線型加速器の将来利用に向けたビーム性能向上を目的としてフォトカソードRF電子銃の研究を進めており、計算コードMAFIAを用いた解析を行った。今後は必要とされるエミッタンスを実現できるようさらに詳細な解析を進めるとともに、ソレノイド磁場によるエミッタンス補正等のシミュレーションを行っていく。また、高電界発生試験およびエミッタンス等のビーム特性の測定を行うため、線型加速器加速管室に試験装置を設置し、プロトタイプ空洞による試験を実施する予定である。

### 参考文献

- [1] H. Yoshikawa et al., Proc. of the 1996 Int. Linac Conf. to be published.
- [2] R. Bonifacio et al., Opt. Comm. 50, 373 (1984).
- [3] S. Suzuki et al., Proc. of the 1996 Int. Linac Conf. to be published.
- [4] D. T. Palmer et al., Proc. of the 1995 Part. Acc. Conf., 982 (1996).
- [5] A VUV Free Electron Laser at the TESLA Test Facility at DESY - Conceptual Design Report, TESLA-FEL 95-03, DESY Print June 1995.
- [6] K. J. Kim, Nucl. Instr. and Meth. A275, 201-218 (1989).
- [7] C. Travier, Nucl. Instr. and Meth., A340, 26-39 (1994).
- [8] M. Bartsch et al., Computer Physics Communications 72, 22-39 (1992).