

Design of RF Linac Driving Near-Infrared FEL

M.Ogoshi, M.Takabe, H.Sakae, S.Mandai, *S.Hiramatu

Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd.

*National Laboratory for High Energy Physics

ABSTRACT

The compact synchrotron light source system called 'LUNA' has been successfully operated at IHI. We plan to utilize its Linac as the driver of FEL. For this purpose, we design the alternative new injection system which consists of a thermionic microwave gun and a magnetic buncher in addition to the present injection system. The design of the near-infrared FEL system and its performance predicted by the beam simulation analysis are presented.

リニアックによる近赤外 FEL システムの設計

1.はじめに

IHIにおいて開発を行った小型シンクロトロン放射装置 LUNA の入射器として用いられているリニアックは、ビームを約 50 MeV まで加速可能であるため近赤外領域の FEL 発振が可能である。ただし、現在達成されているエミッタンス (約 30π mm mrad)、およびピークビーム電流 (約 7 A) では近赤外の FEL 発振には不十分である。そこで本検討では、高周波電子銃とマグネティックバンチャーで構成される入射装置を従来の静電型電子銃に併設した場合の加速管の下流のウィグラー部で得られるビームおよび FEL の性能の評価を行った。以下では本 FEL システムの概要とビームシミュレーションで予想される性能について述べる。

2.目標仕様と装置概要

(1)目標仕様

本装置のビームエネルギーは一定 (~ 50 MeV) とし、ウィグラーの K 値を変えて発振波長の調整を行うこととする。ウィグラーには、プレーン型 (周期数 50, 周期長 50 mm) を用い、K 値が 0.45 \sim 2.8 の範囲で調整可能だとすると、発振波長は 3 \sim 12 μ m となる。この近赤外領域の FEL 発振に必要な目標ビーム仕様を以下に示す。

a. ビームエネルギー	~ 50 MeV
b. エネルギー拡がり	0.5 % 以下
c. エミッタンス	9.2π mm mrad 以下
d. ビーム電流	30 A 以上 (ピーク) 200 mA 以上 (平均)
e. ビーム径	3 mm 以下

(2)装置概要

本装置の構成を図 1 に示し、本装置を構成する入射系、加速系、ビーム輸送系 (ウィグラー部) の各概要について以下にまとめる。

a.入射系

入射系には、FEL 用として高周波電子銃とバンチ圧縮およびエネルギー選択機能を備えたビーム輸送系¹⁾を設置することとした。高周波電子銃は S バンド 2856 MHz の熱陰極型である。ビームエネルギーは 0.9 MeV、平均ビーム電流は 2.5 A とした。高周波電子銃の下流には、180 度偏

向のアクロマティックビーム輸送系を設置しバンチ圧縮およびエネルギー選択を行う。

b. 加速系

加速系は、1.5 m の加速管 1 本と 2 m の加速管 2 本より構成される。各加速管は $2/3 \pi$ モードの進行波型で共振周波数は、2856 MHz である。加速管に高周波電子銃を加えたビームローディング特性を図 2 に示す。本図より、目標ビーム電流値 (200 mA) で 50 MeV を越える十分なエネルギーが得られことが分かる。

c. ビーム輸送系 (ウィグラー部)

ウィグラー部では、光学系と加速器の干渉を避けるためにシケイン状にビームを輸送するものとする。またエネルギー拡がりによる位置および時間のずれを抑えるために、本輸送系は 2 重アクロマテック型 S ベンド 2 組で構成した。

3 予想性能

本装置の設計においては、ビームシミュレーションを用い、ウィグラー部でビーム径およびエネルギー拡がりを小さく、かつ高輝度ビームが得られるように本装置のパラメータを調整した。以下に本装置の予想性能をまとめる。

(1) ビーム性能

図 3 に入射系および加速系でのビーム軌道とエネルギー拡がりを示す。また加速管下流のビーム輸送系でのビーム径と η 関数の変化を図 4 に示す。ウィグラー部のビーム径は水平、垂直方向とも 1.5 mm 以下となった。またビームバンチ幅は、図 5-2 に示される様に 2.5 度 (全幅) に圧縮されており高いピーク電流が得られた。ただしエネルギー拡がり、加速管内でのエネルギー拡がりの影響が大きく半値幅で 1.7 % (図 5-1) と目標値より大きな値となった。予想ビーム性能を以下にまとめる。

ビームエネルギー	57 MeV
エネルギー拡がり	1.7 MeV (半値幅)
平均電流	300 mA
ピーク電流	43 A
電荷量	106 pc
規格化エミッタンス	2.4 π mm mrad (X) 1.2 π mm mrad (Y)

(2) FEL ゲイン

得られたビーム性能を用い理論式²⁾を基に FEL のゲインを求めた結果を図 6 に示す。ウィグラーの K 値の調整範囲 (0.45 ~ 2.8) においてゲインは 0.13 ~ 6.6 となり、本波長領域の光共振器での損失 (約 0.05) を越える十分な値が得られた。ただし、ここではビームエネルギー拡がりの効果を考慮していないため実効的なゲインはこの値よりは低下することが予想される。

4. まとめ

高周波電子銃とエネルギー選択機能を備えたマグネティックバンチャーを組み合わせた入射装置を設置することにより、現状のエミッタンスは約 1/10 にピーク電流は 6 倍に改善され、これにより近赤外領域の FEL 発振に必要なビーム性能が得られることが分かった。ただしビームのエネルギー拡がりは、目標値を越える大きな値となったが、これは主に加速系でのビーム収束装置および加速管のパラメータの調整が十分行われていないためだと考えられるので、今後はエネルギー拡がりを抑えるようにこれらのパラメータの最適化を行う予定である。

参考文献

- 1) M.Takabe et al., Proc.of the 16th Linear Accelerator Meeting in Japan, Sept. 1991
- 2) C.Pellegrini, IEEE Transactions on Nuclear Science, Vol.NS-26, No.3, June 1979

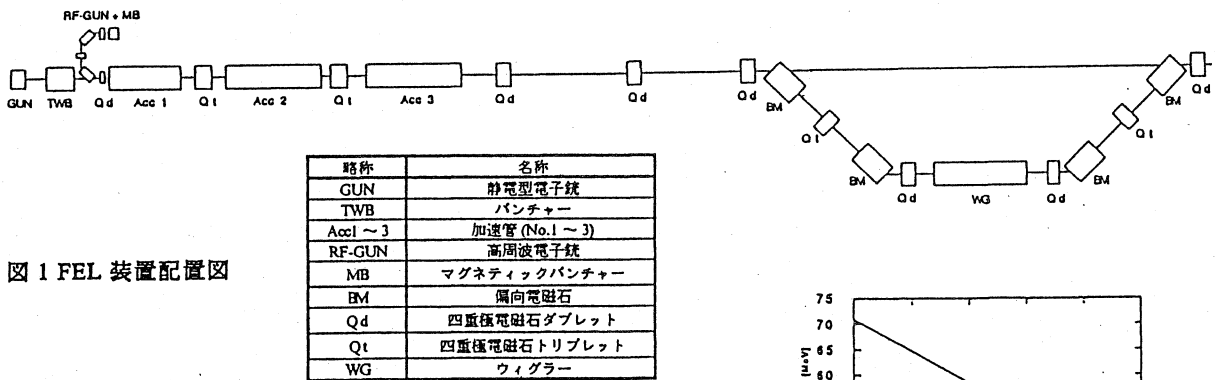


図1 FEL 装置配置図

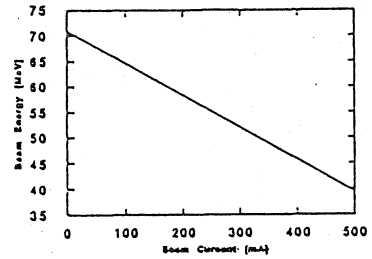


図2 ビームローディング特性

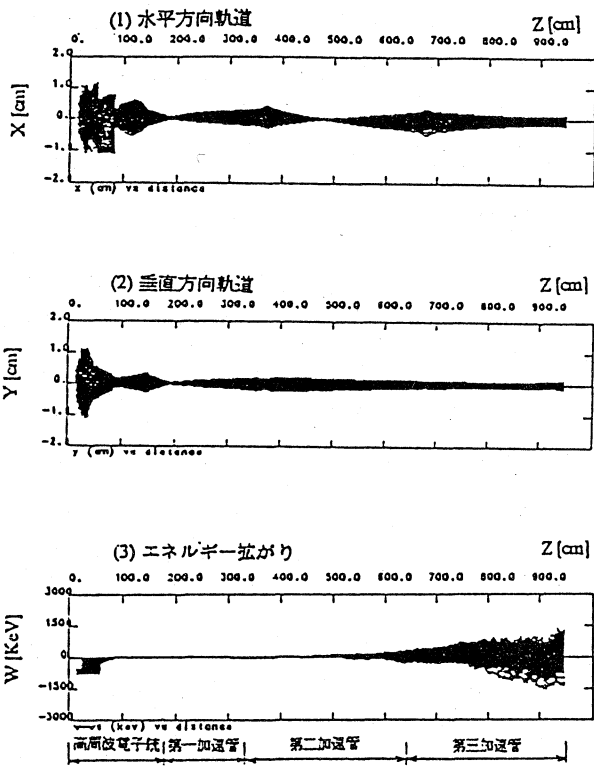


図3 入射系および加速系でのビーム軌道とエネルギー拡がり

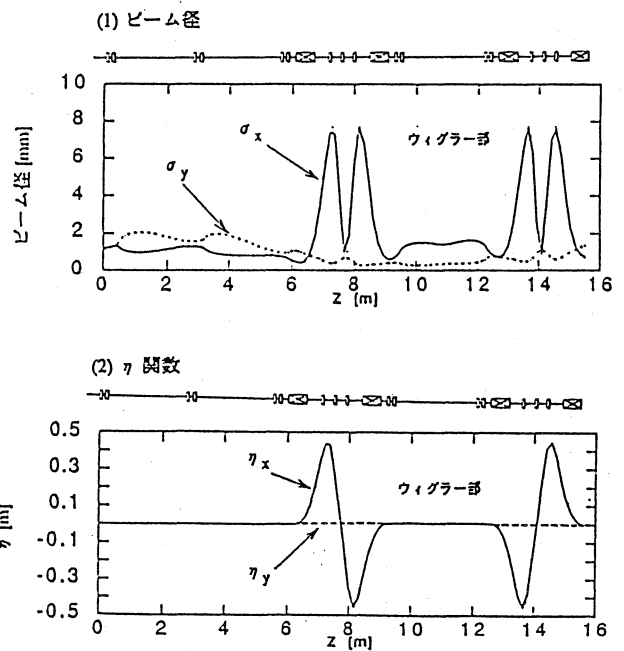


図4 ビーム輸送系でのビーム径とeta関数

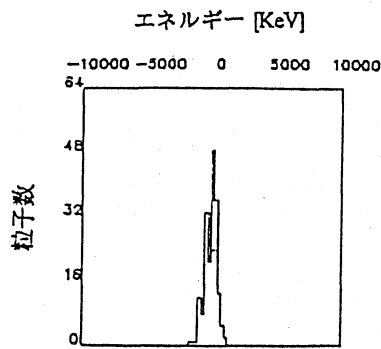


図5-1 エネルギー分布

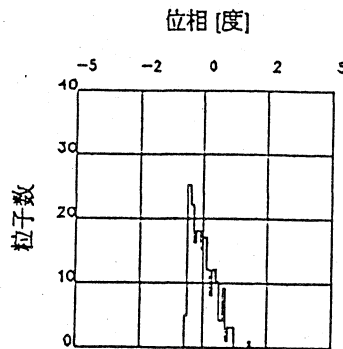


図5-2 位相分布

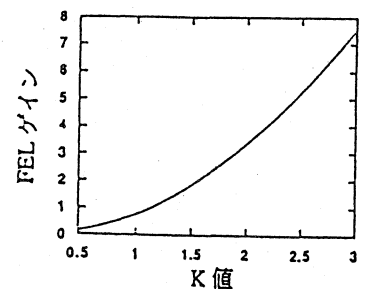


図6 FEL ゲイン