

DESIGN AND OPERATION CHARACTERISTICS OF rf LINAC FREE ELECTRON LASER

H.OHASHI, R.HASHIMA, M.KISHIMOTO, H.KOBAYASHI
and S.KONDO

NUCLEAR ENGINEERING RESEARCH LABORATORY
FACULTY OF ENGINEERING, UNIVERSITY OF TOKYO

Abstract

Free electron laser experiment is being planned using 35 MeV linac facility at NERL of the University of Tokyo. Detailed design of the experimental setup and analysis of FEL operation characteristics are under way. Some results are presented laying emphasis on the effects of electron beam parameters.

線型加速器自由電子レーザー実験と発振特性

東京大学工学部附属原子力工学研究施設
大橋弘忠、羽島良一、岸本 牧、小林 仁、近藤駿介

1. はじめに

東大・原子力工学研究施設では、35 MeV線型加速器を用いた自由電子レーザー (FEL) 実験の計画を進めている。現在、実験及び実験装置の設計と過渡過程も含めたFEL動作特性の解析を行っている。

並行して電子ビームパラメータの測定を行い、ビームクオリティの向上を図っているが、別報 [1] に述べるとおり、微視的に見たビームパラメータは、予想を超えて複雑な挙動を示しており、ビームクオリティ向上と併せて、FEL動作特性に対するこれらの効果の評価が必要となっている。本報では、この観点から行っているFEL特性解析の結果とそれを踏まえた実験計画の現状について紹介する。

2. FEL特性解析

ウィグラ磁界中の電子の運動と電磁波のエボリューションは、運動方程式及びマクスウェル方程式から導いた以下の式で表される。

$$\begin{aligned}\dot{\gamma} &= - (e E_0 K / \sqrt{2} m c \gamma) \sin \psi \\ \dot{\psi} &= k_0 c \{ 1 - k / k_0 \cdot (1 + K^2) / 2 \gamma^2 \} + \dot{\phi} \\ \partial E_0 / \partial \tau &= 1 / \sqrt{2} \cdot \mu_0 e c^3 K n \langle \sin \psi / \gamma \rangle \\ E_0 \partial \phi / \partial \tau &= 1 / \sqrt{2} \cdot \mu_0 e c^3 K n \langle \cos \psi / \gamma \rangle\end{aligned}$$

ここに、 γ : 相対論的質量因子、 e : 電荷、 m : 質量、 c : 光速、 K : ウィグラパラメータ、 k : 波数、 k_0 : ウィグラ波数、 ψ, ϕ : 位相、 μ_0 : 透磁率、 n : 電子密度、 E_0 : 電界 である。計算は、位相上

で一様に分布した電子を入力とし、個々の電子をトラッキングして行う。

図1にビーム電流密度と増幅率の関係を、図2に立ち上がり過程におけるシミュレーション結果を示す。4.5 μ s のパルス幅内で発振させるためには、10%程度増幅率を必要とする。

エネルギー分散は半値幅で定義されるが、この他にも全体の電子分布状況が問題となる。図3、図4は、裾を長くひき半値幅内の電子数の少ない分布としてローレンツ分布を想定し、ガウス分布の場合とエネルギー分散の効果を比較したものである。ローレンツ分布では増幅率がガウス分布の場合の60%程度に低下する。エネルギースペクトルの改善においては、半値幅とともにこのことを考慮する必要がある。また、ローレンツ分布では、電流を犠牲にして裾部の電子をカットすることにより、増幅率がある程度大きくなる。

高調波の増幅率を求めた結果の一例を表1に示す。高調波の増幅率は次数につれて低下するが、Kが大きい場合は、波長に依存して決まる同じ波長の基本波の増幅率を上回る場合があり、短波長化の方法として、基本波を抑制した高調波発振が考えられる。

3. 電子軌道解析

ウィグラ磁石中での電子軌道の解析を行っている。ウィグラ磁石は、入手した200個の磁石片を Halbach 型に並べて構成する。磁石片表面磁界の標準偏差は0.45% [2] である。製造データをもとに最適手法で各磁石片の配置を決定したところ、ウィグラ磁界のばらつきは0.15%となった。この場合の電子軌道を図5に示す。

各磁石片の磁界方向取り付け誤差を ± 0.5 mmの範囲内でランダムに与えた場合の電子軌道を図6に示す。この垂直方向のずれは、入口の半幅磁石片の間隙調整または調整用コイルの電流調整により修正が可能である。

4. 実験計画

以上のような検討を背景として、第一段階では約15MeVの低エネルギービームによる数十 μ mの領域での実験を計画している。ウィグラ周期数は約25であり、K \sim 2程度までの実験により、高調波の特性の検討を行う予定である。

参考文献

- [1] H.KOBAYASHI et al.; in this proceedings
- [2] 住友特殊金属(株); ウィグラ磁石片検査成績書

Table 1. Gain of Higher Harmonics

wave	wavelength	gain
fundamental	49.7 μ m	33.1 %
third harmonics	16.4 μ m	10.2 %
fifth harmonics	9.8 μ m	4.0 %

Nw=25, E=15MeV, λ w=4.4cm, I=7.0A

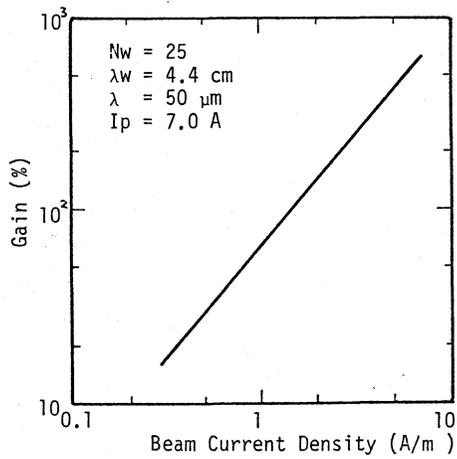


Fig. 1. Variation of Gain with Beam Current Density

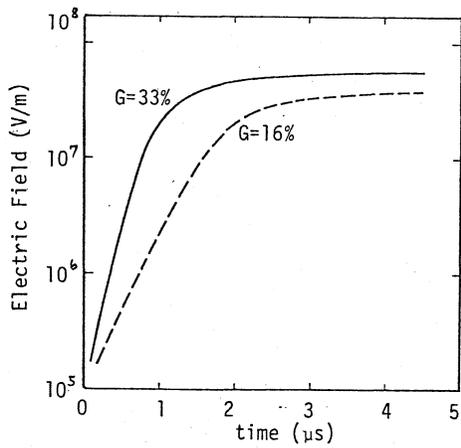


Fig. 2. Saturation of Wave Intensity at the Startup Process

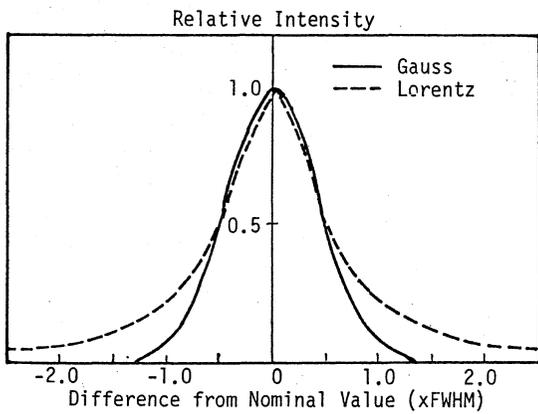


Fig. 3. Gauss and Lorentz Distribution

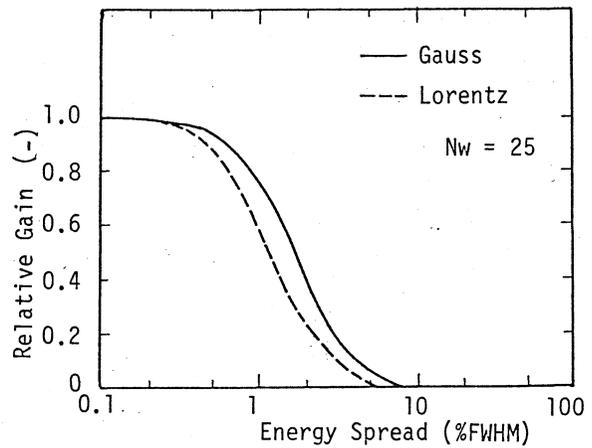


Fig. 4. Effect of Energy Spread on Gain

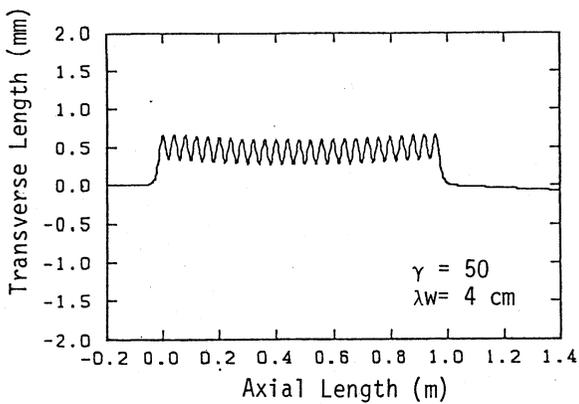


Fig. 5. Electron Trajectory in Wiggler

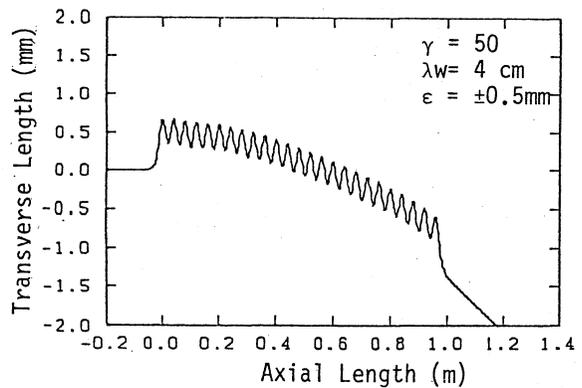


Fig. 6. Electron Trajectory in the Case with Random Installation Error