

# Design of Free Electron Laser Experiment Utilizing UT/NERL Linac

Ryoichi Hajima, Maki Kishimoto, Tadahiro Ohashi and Shunsuke Kondo

Nuclear Engineering Research Laboratory  
Faculty of Engineering, University of Tokyo

## ABSTRACT

A status of Free Electron Laser project planned at UTNL and some FEL analyses are presented. Effect of installation error of an achromatic magnet system is estimated with PARMELA. Results of 3-D FEL calculation and FEL spectrum analysis are also shown.

## 東大原施自由電子レーザー実験計画と解析

東大原施 羽島 良一、岸本 牧、大橋 弘忠、近藤 駿介

### はじめに

東京大学工学部附属原子力工学研究施設では、自由電子レーザー (FEL) の実験を計画中であり、現在 LINAC の改修と FEL 用ビームラインの取り付けを進めている。同時に、FEL 特性解析も行っている。

本稿では、

- (1) FEL 実験用アクロマティックマグネットシステムの取り付け誤差の影響評価
- (2) 3次元 FEL ゲイン計算コードによる計算例
- (3) FEL 発振光スペクトル解析

について報告する。

### アクロマティックマグネットシステムの取り付け誤差評価

アクロマティックシステムは、LINAC から出たビームを、FEL 共振器に導くために設置される。計 4 個のベンディングマグネットからなり、2 個一組で対称になっている。入口手前 800mm で収束したビームが、2 個のベンディングマグネット通過後 800mm (WIGGLER 中央部) で再び収束するように設計されている。(図 1)

マグネット設置に角度誤差があった場合と、マグネット中心と軌道中心にずれがあった場合について、収束点におけるビーム内電子の位置と運動量を計算し、マグネットの取り付け誤差の影響を評価した。

計算は、2次元 PARTICLE TRACKING CODE 「PARMELA」を使って行った。1 番目のマグネットに角度誤差 ( $3^\circ$  を仮定) があった場合と、磁石中心と電子ビーム中心が 5mm ずれている場合の結果を図 2. に示した。

### 3次元FEL計算コードによる計算例 (電子ビーム径に対する制約)

FELにおいて電子ビーム特性は非常に重要であり、エネルギー分散、ブライトネスの向上が1パスゲインの増大に不可欠であることが知られている。3次元FEL計算によって、1次元で考慮されなかった電子ビーム径の大小を計算に取り入れることができるようになり、電子ビームパラメーターの一つとして電子ビーム径にも制約があることがわかった。

平板型WIGGLERでは、y方向(WIGGLER磁場方向)に磁束密度が分布をもつため、電子ビーム内で入射位置の異なる電子は、大きさの異なる磁場を感じるようになる。したがって、ビーム中心の電子が共鳴条件を満たしていても、 $y \neq 0$ の電子は共鳴条件からはずれることになる。

表1.のパラメーターでは、 $y=1.00\text{mm}$ の電子で共鳴パラメーター  $\nu=0$ となる。(  $\nu=2.61$ でゲイン最大、 $\nu=0$ でゲイン0)

$y > 1.00\text{mm}$ に入射された電子は、電磁波の増幅には寄与せず、逆に電磁波を減衰させることになる。3次元コードによる計算では、電子ビーム半径2mmの場合、1パスゲインが1次元計算に比べて1/3程度に減少してしまう結果が得られた。しかし、電流密度を変えないで、電子ビーム半径を1mmとした場合、1パスゲインの低下はほとんどなかった。

### FEL発振スペクトルの解析

FELの原子力分野への応用の一つとして同位体分離への利用がある。このとき問題となるのは、発振スペクトル幅(周波数帯域)を同位体シフトより狭くできるかどうかという点である。

FELの発振スペクトルは次のようなものによって決まると考えられる。

- (1)有限パルス長からくるフーリエ変換リミット
- (2)共振器によるモード選択とQ値
- (3)FEL発振メカニズムによるモード選択

RF-LINACの短パルス電子ビームを用いたFELでは、(1)が支配的であるが、静電加速器のような長パルス電子ビームでは、(2)、(3)によってスペクトルが決まる。将来GFEL、マイクログラナーなどの短波長化技術が確立されれば、エネルギーの低い静電加速器を使って、スペクトル幅の狭い短波長光が得られる可能性がある。

フーリエ変換リミットが問題とならない長パルス電子ビームを使ったFELにおいて、発振スペクトルを決定すると考えられる、FELモード選択メカニズムの解析を行い、FEL発振スペクトル特性を評価した。

計算は、Maxwell方程式において、電界・電流項を固有関数で展開する方法で行った。

$$\left(\nabla^2 - \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2}\right) \sum_{q=1}^m e^{i(k_q z - \omega_q t + \phi_q)} E_q(z) = \mu_0 \frac{\partial}{\partial t} \sum_{q=1}^m e^{i(k_q z - \omega_q t + \phi_q)} J_q(z)$$

電流項のモード成分は、電子を PARTICLE TRACKING して計算される。

表1.のパラメーター(発振波長 $50.4\mu\text{m}$ 、1パスゲイン40%)の場合、 $50.0\mu\text{m}$ から $51.0\mu\text{m}$ の間を10Modeに分割して、発振スペクトルを計算した結果、自発放射光スペクトル幅4%に対して、100パスでの発振スペクトル幅0.2%の値を得た。(図3)

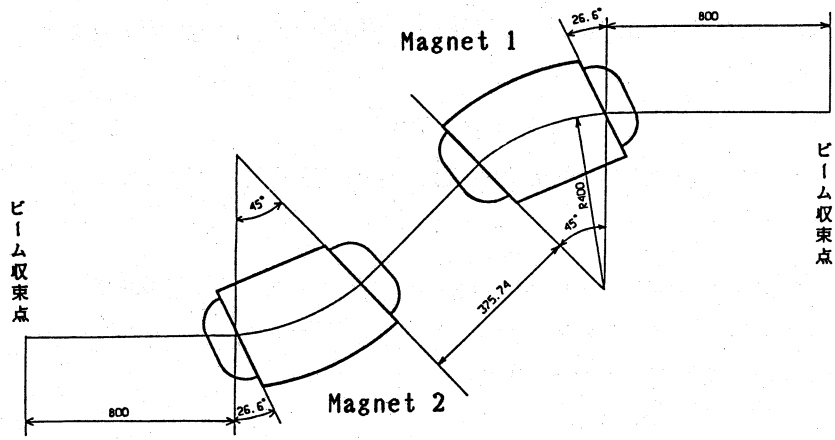


図1. アクロマティックシステム

表1 計算パラメーター

$$\gamma = 30, \lambda_w = 4.4(\text{cm}), N_w = 25, I = 7(\text{A})$$

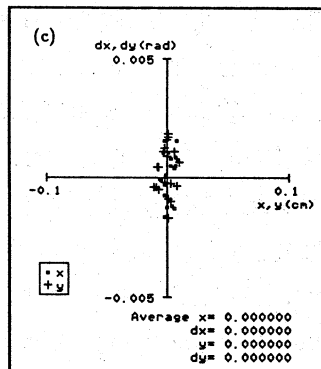
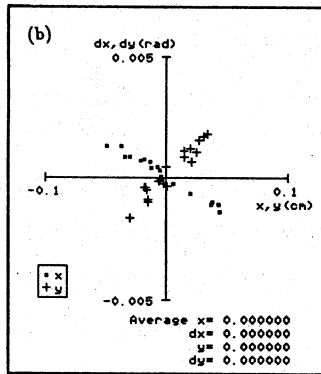
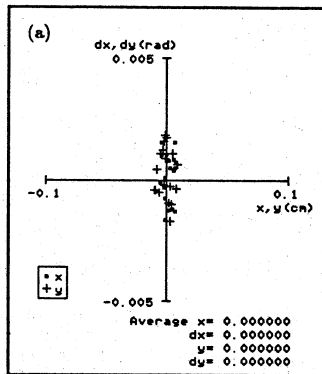


図2. 設置誤差の影響 (a)設置誤差のない場合  
(b)Magnet 1 に3°の角度誤差があった場合  
(c)磁石中心とビーム中心が5mmずれた場合

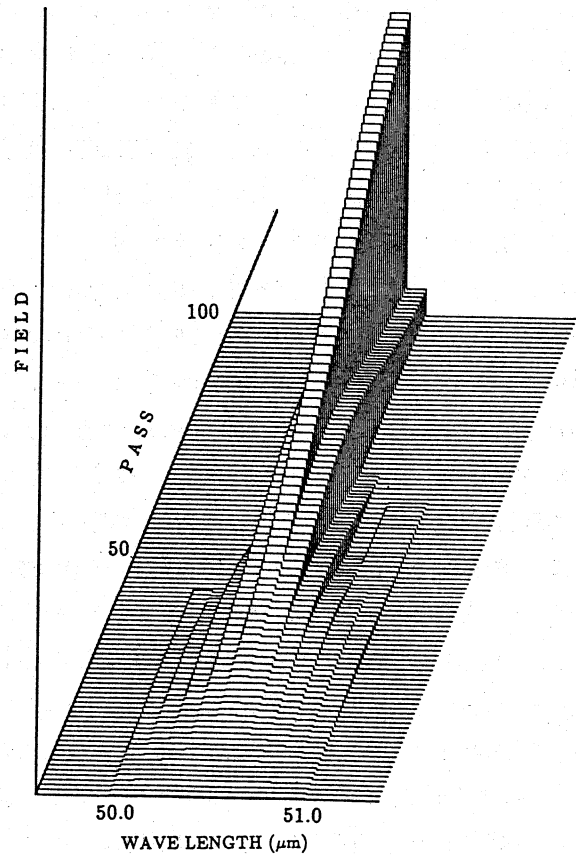


図3. 100パスまでの発振スペクトル変化