

Multi Mode Effect on Electron Trapping in FEL

Shin-ichiro KURUMA and Kunioki MIMA^A

Institute for Laser Technology

Institute of Laser Engineering, Osaka University^A

In the Free Electron Laser(FEL), a bunched electron beam is decelerated by the ponderomotive potential that is the beat wave of a wiggler magnetic field and an excited wave. In this report, the relation of electron trapping to the excited wave guide modes is investigated. The case of a single mode excitation is compared with the case of multi mode excitation by the three dimensional simulations. In the case of multi mode excitation, the electron distribution in ponderomotive potential spreads, so the conversion efficiency is not enhanced significantly.

自由電子レーザーに於ける電子のトラッピングに対するマルチモードの効果

1.はじめに

導波管型FELに於いて、電子ビームから電磁波へのエネルギー変換効率を改善する為の手段として、ウィグラー磁場の強度を距離と共に弱めることにより共鳴条件を維持するテーバードウィグラーがある。本研究の目的は励起電磁波がシングルモードの場合とマルチモードの場合にポンドラモーティブポテンシャルにトラップされるバンチした電子ビームの振る舞いを明らかにすると共にテーバードウィグラー場の効果との関係を調べることである。三次元数値解析コードを用いた計算により各位置の位相空間での電子ビームのエネルギー分布を調べた。また、主励起モードであるTE11モードの振幅の空間発展並びに電子ビームの全エネルギー及び縦方向の平均エネルギーの空間発展を調べた。2では、数値計算の為の初期パラメーターの設定の仕方について述べる。3では、数値計算の結果を示し、それに対する検討を行なう。

2. 数値計算パラメーターの決定

数値計算のパラメーターとしては大阪大学レーザー核融合研究センターで行われている Induction Linac FEL の実験に近いものを選んだ。ウィグラーピッチ $\lambda_w=6\text{cm}$, ビームエネルギー $E_b=6\text{MeV}$ ($\gamma_0=13$), ビーム電流 $I_b=2\text{KA}$, ビーム半径 $r_b=3\text{mm}$, 導波管半径 $r_c=1\text{cm}$ であり、放射光の波長は $\lambda_s=500\ \mu\text{m}$ とした。この時、ウィグラー磁場強度は、共鳴条件並びに安定軌道の条件から決定される。

$$\omega^2 = (k_z^2 + k_\perp^2) c^2 + \omega_p^2 / \gamma_0$$

$$\omega = (k_z + k_w) v_z - \omega_p / \gamma_z \sqrt{\gamma_0}$$

$$v_\perp / c = -K / \gamma_0$$

$$\gamma_0^{-2} = 1 - v_\perp^2 / c^2 - v_z^2 / c^2$$

これらの式より

$$K = \left\{ \gamma_0^2 - \left(\frac{\gamma_0 \bar{\omega}}{1 + \bar{\omega} \sqrt{1 - (\beta_{nm} / \bar{r}_c \bar{\omega})^2}} \right)^2 - 1 \right\}^{1/2}$$

但し、 $K=eBw/kwmc$, $\bar{r}_c=kwrc$, $\bar{\omega}=\omega/kwc$, β_{nm} はバッセル関数の零点でここでは励起モードを TE_{11} とした。また簡単化の為ビームプラズマ周波数 $\omega_p / \gamma_z \sqrt{\gamma_0}$ は小さいとして無視した。(これは数値計算で静電波を解かないこと、即ちコンプトン領域を仮定することとコンシステントである。上記のパラメーターでは $\omega_p / \gamma_z \sqrt{\gamma_0} \approx 0.07 \ll 1$ である。) 以上より、 $Bw=2.36\text{KG}$ と決定される。

3. 数値計算結果と検討

図1は、(a) シングルモード励起の場合 (TE_{11}, TM_{11}) とマルチモード励起の場合 ($TE_{1n}, TM_{1n}, n=1, 2, 3$) の TE_{11} モードの振幅の空間発展を示している。但し入射電磁波強度は、 $P_i=800\text{W}/\text{mode}$ (図の $AE=-5$, Filling Factor=0.25 に対応) とし、また $z/\lambda_w=20$ の位置より $z/\lambda_w=30$ にかけてウィグラー磁場強度に40% のテーパーをかけた。これを見るとマルチモード励起の場合は、波の振幅

が $z/\lambda_w=16$ で飽和した後成長しないのに対して、シングルモード励起の方は $z/\lambda_w=20$ を過ぎてもテーバードウィグラーの効果によって波の増幅が起こっているのが解る。図2は、電子ビームの全エネルギー γ_0 及び縦方向の平均エネルギー γ_z の空間発展を示している。これを見ると全エネルギー γ_0 が減っているにもかかわらず縦方向エネルギー γ_z が増えている。従って全エネルギー γ_0 の減少は横方向エネルギー γ_\perp の減少によるものであることが解る。図3は、 $z/\lambda_w=26$ での電子ビームの位相空間内のエネルギー分布であり、(a)はシングルモード励起の場合、(b)はマルチモード励起の場合である。これを見ると、シングルモード励起の場合にはバンチした電子ビームはボンデラモーティブポテンシャルの減速相にトラップされているが、マルチモード励起の場合にはボンデラモーティブポテンシャル内にトラップされた電子ビームのエネルギー分布が広がっているのが解る。従ってマルチモード励起の場合にはテーバードウィグラーを用いても変換効率の改善は望めないことが解る。

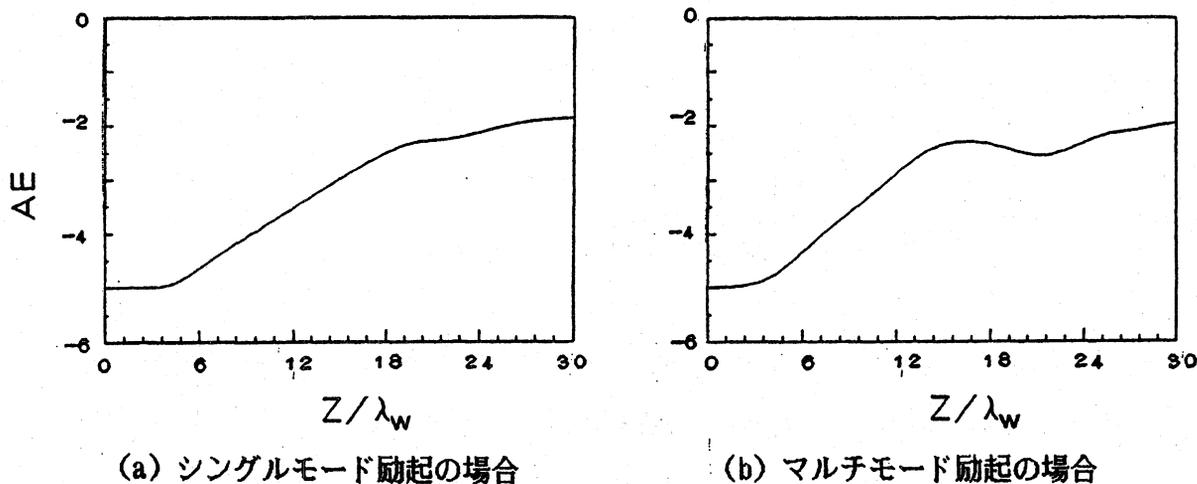


図1. TE11モードの振幅の空間発展 ($AE=\log(eA_s/mc)$, A_s はベクトルポテンシャル)

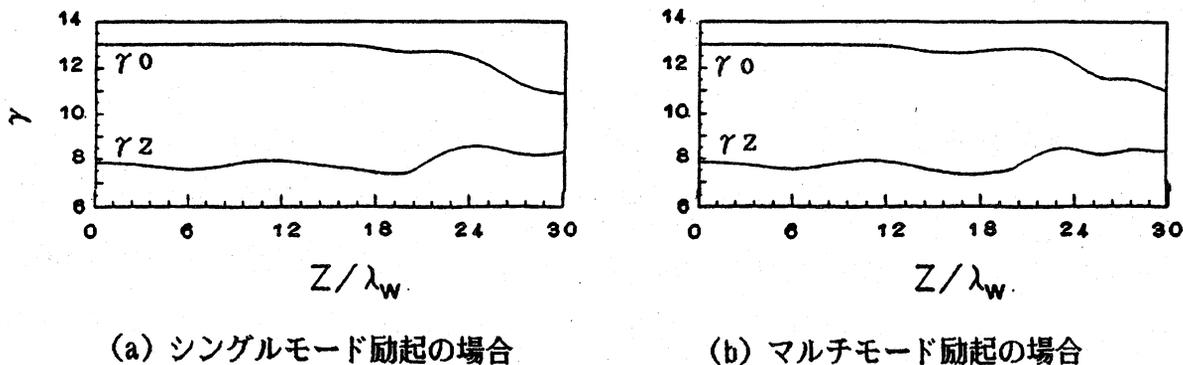
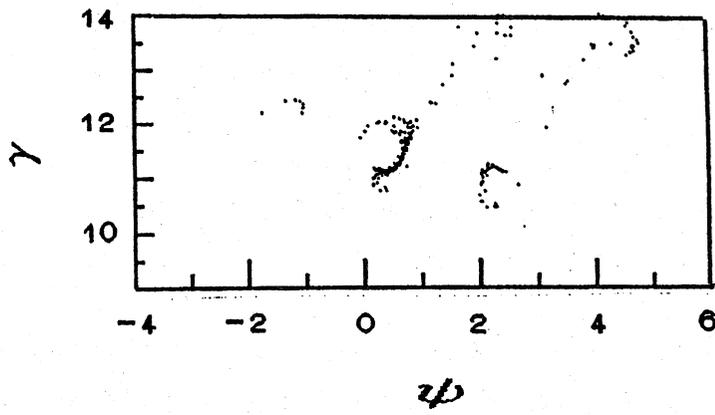
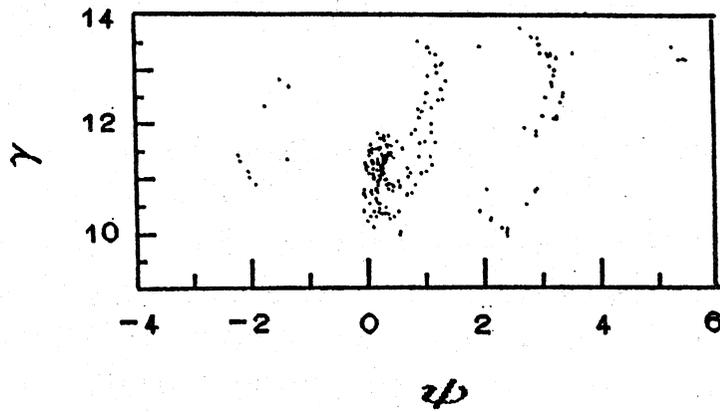


図2. 電子ビームの全エネルギー γ_0 及び縦方向平均エネルギー γ_z の空間発展



(a) シングルモード励起の場合



(b) マルチモード励起の場合

図3. 位相空間に於ける電子ビームのエネルギー分布 ($z/\lambda_w=26$, $\psi = \int (kz + kw - \omega/vz) dz$)