

FOCUSING WIGGLER FOR FREE ELECTRON LASER

Y. Tsunawaki, *N. Ohigashi, **T. Okazaki, ***K. Mima, ****S. Kuruma, +S. Sato, ++S. Ishii,
***T. Akiba, +++K. Imasaki and ***S. Nakai

Osaka Sangyo Univ., Daito, 574 Osaka; *Kansai Univ., Suita, 564 Osaka; **Sumitomo Elect. Indust., Konohana, 554 Osaka; ***ILE Osaka Univ., Suita, 565 Osaka; ****Inst. Laser Tech., Suita, 565 Osaka; +Mitsubishi Elect. Co., Amagasaki, 661 Hyogo; ++Mitsubishi Heavy Indust., Kobe, 655 Hyogo; ***Inst. FEL, Nishi-ku, 550 Osaka

ABSTRACT

A plane polarized wiggler does not have the ability to focus an electron beam in the undulating plane (X-Z plane) because the magnetic field decreases away from the X-axis. To focus in the bending plane, a quadrupole field must be added to the undulating field. This can be achieved using curved magnets or trapezoid-shape magnets. In this paper, we analyze a few magnet configurations which produce X-Z focusing. It has been found that semicircular magnets or trapezoid magnets having 1.2° angle are suitable as focusing permanent magnet wiggler. It has been analyzed, furthermore, that the latter wiggler gives better growth of FEL power.

自由電子レーザー用電子ビーム収束ウィグラー

1. はじめに

FEL用ウィグラーとして Halbach型ウィグラーが一般によく用いられている。このような平面ウィグラーの場合、ウィグラー面内においては電子ビームを収束させる作用はない。効率よく電子ビームを伝搬させるため、図1に示すようにウィグラーの磁極形状を湾曲させたとき、および台形状にしたとき等について、ウィグラー自身による電子ビーム収束作用とFEL場の成長を計算によって解析した。

2. 計算方法

ウィグラー中の磁場強度分布は、1ケの永久磁石に対する電流密度に基づいたBiot-Savartの式をもとに得られる磁場を全磁石にわたって積算して求めた。また電子軌道解析は、電子の相互の作用はないとして、Lorentzの関係式を用いて行った。更にFEL場は一次元3次元コードを用いてその成長を見た。尚、ウィグラーの大きさは、幅を $2\lambda_w$ 、高さ $0.5\lambda_w$ とし、ウィグラー中心のK値が1となるような磁極間隔を選んだ。また電子ビームの幅は $0.1\lambda_w$ 、そのエネルギーは $\gamma=10$ とし、さらに得られた結果が一般化できるようにビームはウィグラー中心で収束しているとした。

3. 結果および考察

図1(1)のように磁極全幅にわたって湾曲させても電子ビームの収束性はそれ程改善されなかった。図1(2)のように中心部のみ半円近く湾曲させると大きく収束性の増大が見られた。しかしウィグラー面に垂直な方向では逆に広がる。図2はX, Y方向のビーム幅およびβトロンの振動の波長を湾曲部の曲率半径の関数として示す。ほぼ $0.37\lambda_w$ の曲率半径でX, Y両方向でそれらは等しくなる

のが見られる。図3に 曲率半径 $0.333\lambda_w$ で48周期 ($\lambda_w=6\text{cm}$) の湾曲状ウイグラーについて、ウイグラー軸に対して 0° および最大角 $\pm 33\text{ mrad}$ をもつ3つの軌道上を同時に電子が伝搬する場合についての FEL場の成長を示す。電子軌道に応じて共鳴条件が異なるため、必ずしも単調に場は大きくなり、入力パワーよりも小さくなった後、成長していくのが見られる。同様に図1(3)(4)の台形状磁極をもつウイグラーの場合についての収束性を図4に示す。 θ の増加と共にX方向には収束性が増すがY方向には広がり、 $\theta \sim 1.2^\circ$ のところでビーム幅および β トロン振動波長はX,Y方向で共に等しくなる。湾曲ウイグラーのときと同一条件の3つの軌道上を同時に伝搬する電子ビームについて、Z方向への伝搬と共に FEL出力が変化する様子を図5に示す。FEL場は効率よく成長し飽和に達しているのが判る。

以上のことより、湾曲した磁極のウイグラーのを用いるよりはむしろ台形状のものを用いれば、電子ビームは効率よく伝搬し、共鳴条件も乱されることなくFEL場が成長するのが判る。従ってこの種のウイグラーは優れた電子ビーム収束作用を持つウイグラーとなろう。しかし θ の僅かな変化で電子ビームの軌道が変動するため、実用的には磁極の選択や組立には細心の注意が必要であろう。

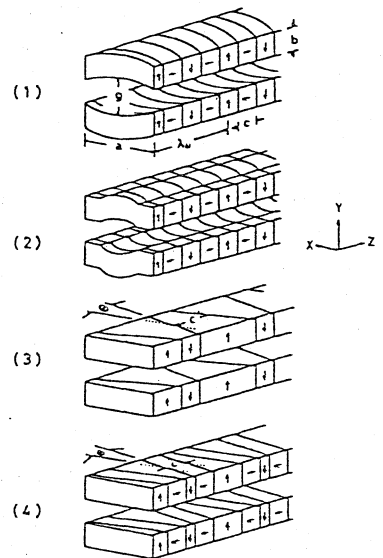


図1. 種々の形状をもつ Halbach型ウイグラー

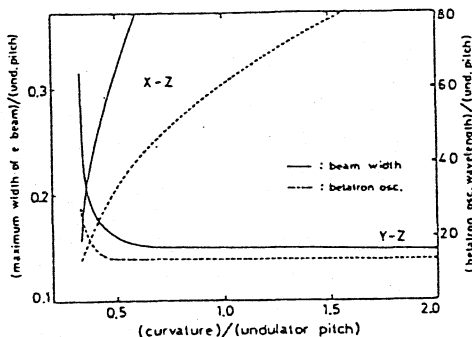


図2. 湾曲状ウイグラーにおける電子ビーム幅と β トロン振動波長

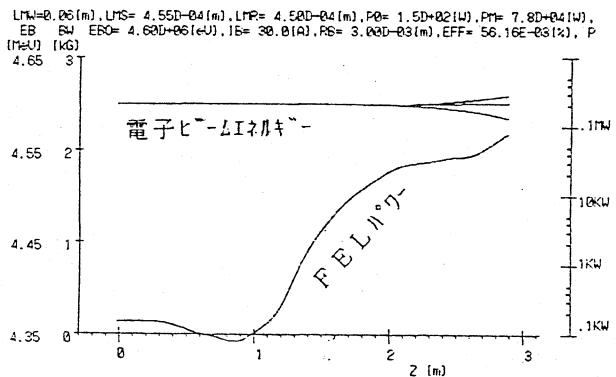


図3. 湾曲状ウイグラーにおけるFELパワーと電子ビームエネルギー

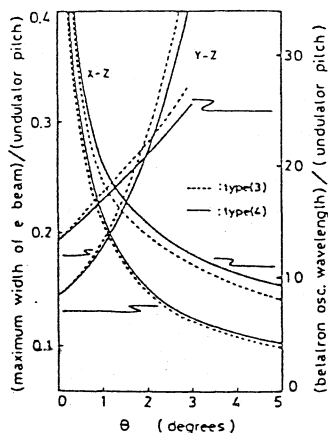


図4. 台形状ウイグラーにおける電子ビーム幅と β トロン振動波長

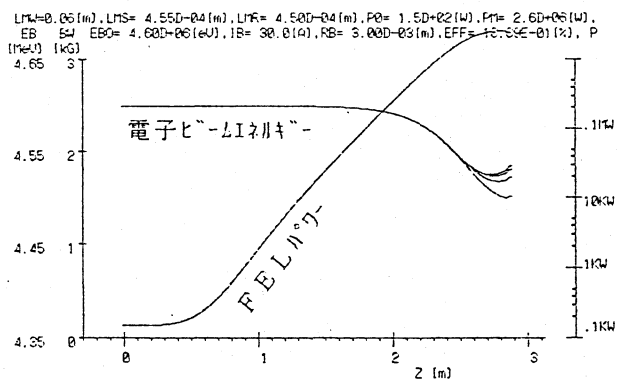


図5. 台形状ウイグラーにおけるFELパワーと電子ビームエネルギー