

Preliminary Experiment on Electromagnet Undulator for Far-Infrared FEL

A. Zako, Y. Miyauchi, A. Koga and T. Tomimasu

Free Electron Laser Research Institute, Inc. (FELI)
4547-44, Tsuda, Hirakata, Osaka 573-01, Japan

Abstract

The development of a new type undulator is in progress. This undulator will cover the far infrared (20-60 μm) region. It is a unique hybrid type one with electro- and permanent(Sm-Co)-magnets. This report describes our undulator plan, its structure and the preliminary experiment on the trial model of the undulator.

遠赤外域FEL用アンジュレータの予備試験

1. はじめに

現在、FEL研では2台のアンジュレータの発振に成功しており[1, 2]、さらに3台目のアンジュレータによる可視・紫外域の発振実験を行っている。これら3台のアンジュレータにより0.3~20 μm までの領域をカバーできるが、昨今必要性が増してきている遠赤外域のFEL光は得られない。我々はこの要求を満たすべく、遠赤外域のアンジュレータの開発に取り組んだ[3]。本書では、計画中の遠赤外域用アンジュレータと、その特性を評価するために試作した短ピッチのアンジュレータの磁場測定結果について報告する。

2. 基本設計

今回計画中のアンジュレータは、1) 20-60 μm の波長領域をカバーする。2) 電子エネルギーと磁極間隔を変えずに波長のチューニングを簡略化する。3) 従来アンジュレータ1で発振に寄与した後、ビームダンプでビーム電流計測にのみ使用していた電子ビームを再利用することを主眼に計画した。

表1に示す諸元でアンジュレータの基本パラメータを検討した。

表1 アンジュレータ諸元

周期長 (mm)	60	80	100	120
周期数	48	36	29	24
電子ビームエネルギー (MeV)	28			
ピーク電流 (A)	30*			
エミッタンス ($\pi\text{mm}\cdot\text{mrad}$)	50*			
エネルギー広がり (%)	1*			

*解析のための数値

図1に発振波長とK値の関係を示す。またこの時の小信号利得を図2に示した。この計算にはFELIXの式を用いた[4]。この結果、利得曲線の頂上部

を発振波長に持つK値をとるアンジュレータ周期長は、80-100mmが適当であると考えられる。

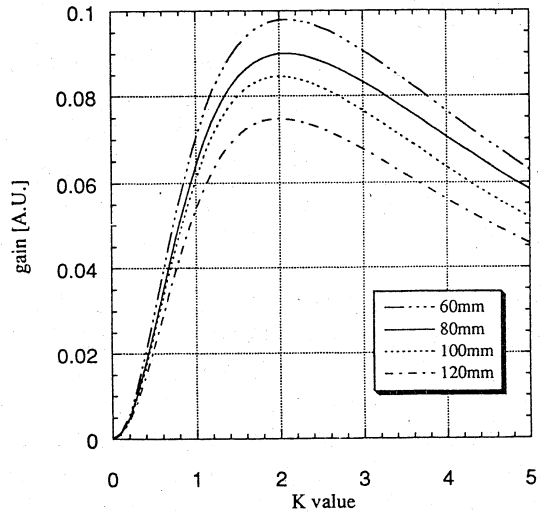


図1 K値と小信号利得の関係

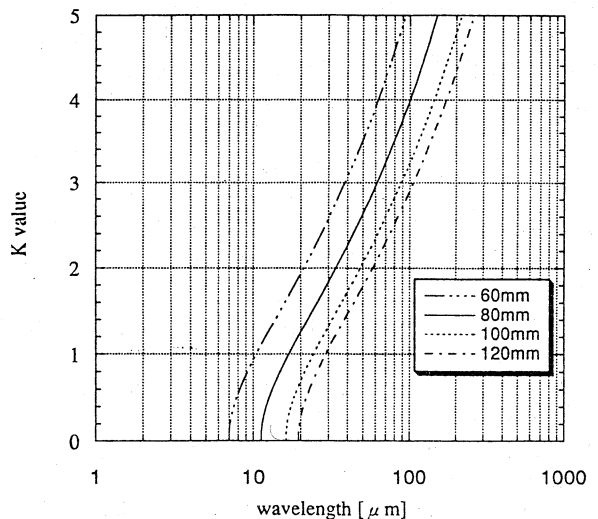


図2 発振波長とK値の関係

基本構造について検討する。これまで製作した3台のアンジュレータと同様のハルバツハ型アンジュレータの場合、アンジュレータ製作時の磁場の調整において、ギャップ間隔を調整し、ピーク磁場を変動させる。しかしながらこの調整方法は、永久磁石の吸引力に逆らいながら、微妙に間隔を調整するギャップ調整機構を必要とするので装置が大型化し、かつ調整に時間がかかる。またギャップ長が変化した結果、ピーク磁場のばらつきが大きくなり電子ビームの軌道が大きく曲げられるなどマイナス面も多い。そこでアンジュレータは電磁石タイプとし、波長を変化させる方法として、電磁石の通電電流を変化させピーク磁場を調整する方法を採った。しかし従来、電磁石タイプは磁極の数だけコイルを必要とし、また十分に起磁力を得るにはコイルのアンペアターンを大きくしなくてはならないが、周期長が決まっているので、外方向への断面積が大きくなり、隣り合う磁極間で漏れる磁場が増大する。図3に基本構造を示す。これは永久磁石と電磁石の混在したハイブリッド型で、Novosibirskのグループが先駆的に行っていた[5]。この形式は永久磁石によりK値の最低値を設定し、電磁石の起磁力で必要なK値幅をとる方式である。

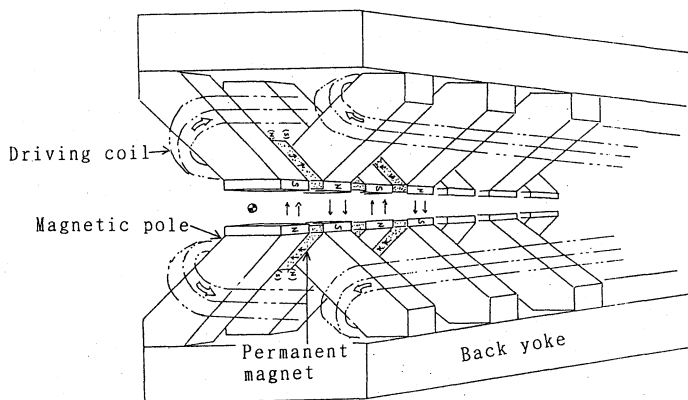


図3 遠赤外線用アンジュレータの基本構造

3. 短ピッチアンジュレータ実験

本タイプのアンジュレータは基礎データが不足しており、有効なピーク磁場を得られるか不明である。そこで短ピッチのアンジュレータを試作し、磁気特性を調べた。表2は試作した短ピッチのアンジュレータの仕様である。

計測はZ軸ステージに固定したガウスメータで行った。図4は中心磁極のギャップ中心におけるピーク磁場を計測したものである。電磁石の起磁力を高めていった時のピーク磁場の変化がわかる。コイル通電電流が最大時に磁場の飽和が生じているが、ヨーク内部で飽和が発生していると思われる。また、飽和の始まる前のピーク磁場は、もれ磁場を無視し

た偏向電磁石の中心磁場の近似、

$$B = \mu_0 NI / d \quad (1)$$

但し、NI : アンペアターン

d : ギャップ長

から得られる傾きを比較すると表3のようになる。

表2 テストアンジュレータ諸元

周期数	3
周期長	100mm
磁極厚さ	18mm
永久磁石厚さ	32mm
永久磁石種	Sm-Co
	[R26H; Shin-etsu Co.]
コイルアンペアターン	4.8kA・Turn/台
ギャップ調整量	10-150mm

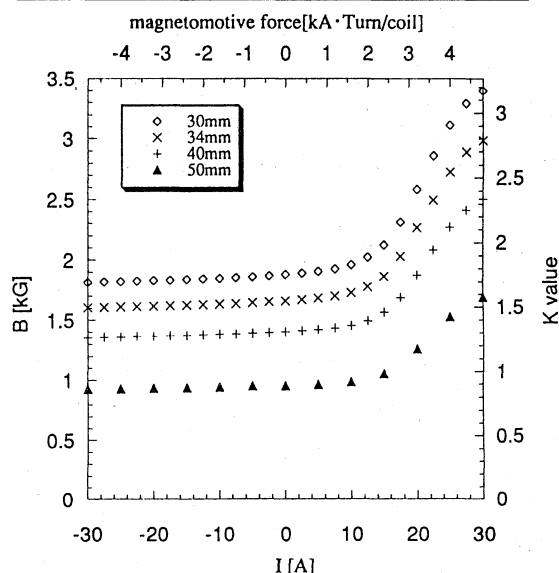


図4 短ピッチアンジュレータにおける起磁力とK値の関係

表3 ギャップ長と電磁石による磁場の関係

ギャップ長d (mm)	図3から得た傾き (kG/A)	(1)式より (kG/A)
30	0.107	0.134
34	0.093	0.118
40	0.078	0.101
50	0.053	0.080

図5は電磁石を動作させず永久磁石による起磁力によるピーク磁場をプロットしたものである。ハイブリッドアンジュレータの近似式[6]と比較した。

$$B = 3.33 \exp\{-5.5(g/\lambda_u) + (g/\lambda_u)^2\} \quad (2)$$

但し g ; ギャップ長

λ_u ; アンジュレータ周期長

ハイブリッド型に対し、背面側ヨークへの回り込み、ヨーク間の漏れにより同式の30%程度まで低減化し電磁石による起磁力の変動量を大きくとれる。

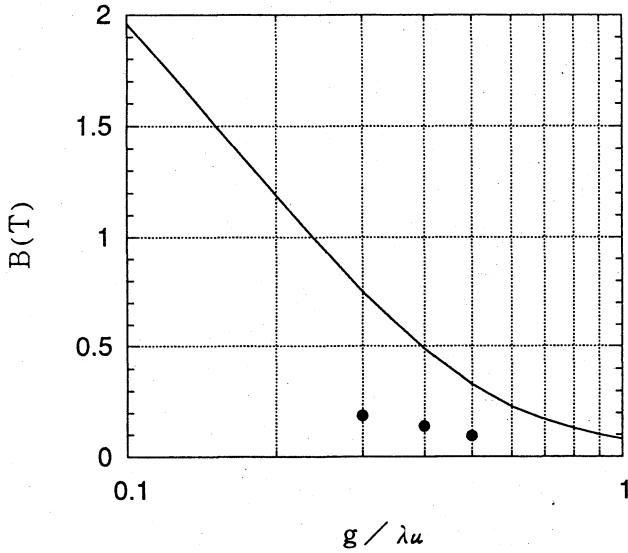


図5 ギャップ長と永久磁石による磁場の関係

図6は周期性を調べたものである。周期数がすくないので端部効果により周期性は良くないが、波形は疑似三角関数的であり、高調波成分は少ない。

4. まとめ

予備試験により、周期長が100mmでは0.88から3.1までK値幅を持つアンジュレータが可能であることがわかった。しかし利得を増やすため周期長を80mmにし、磁極の飽和を低減したアンジュレータの開発が必要である。

参考文献

- [1] T. Tomimasu, et al., Proc. PAC'95 (DALLAS, May 1-5, 1995) FAA30
- [2] E. Oshita, et al., ibid, TAQ35
- [3] Y. Miyauchi et al., To be published in Proc. 2nd Asian Symp. on FEL (Novosibirsk, June 13-16, 1995)
- [4] P. W. van Amersfoort, et al., The FELIX PROJECT STATUS REPORT APRIL 1988
- [5] P. D. Vobly, Private communication
- [6] W. B. Colson, et al., Laser Handbook - free electron lasers, Vol.6 (North-Holland, 1990)

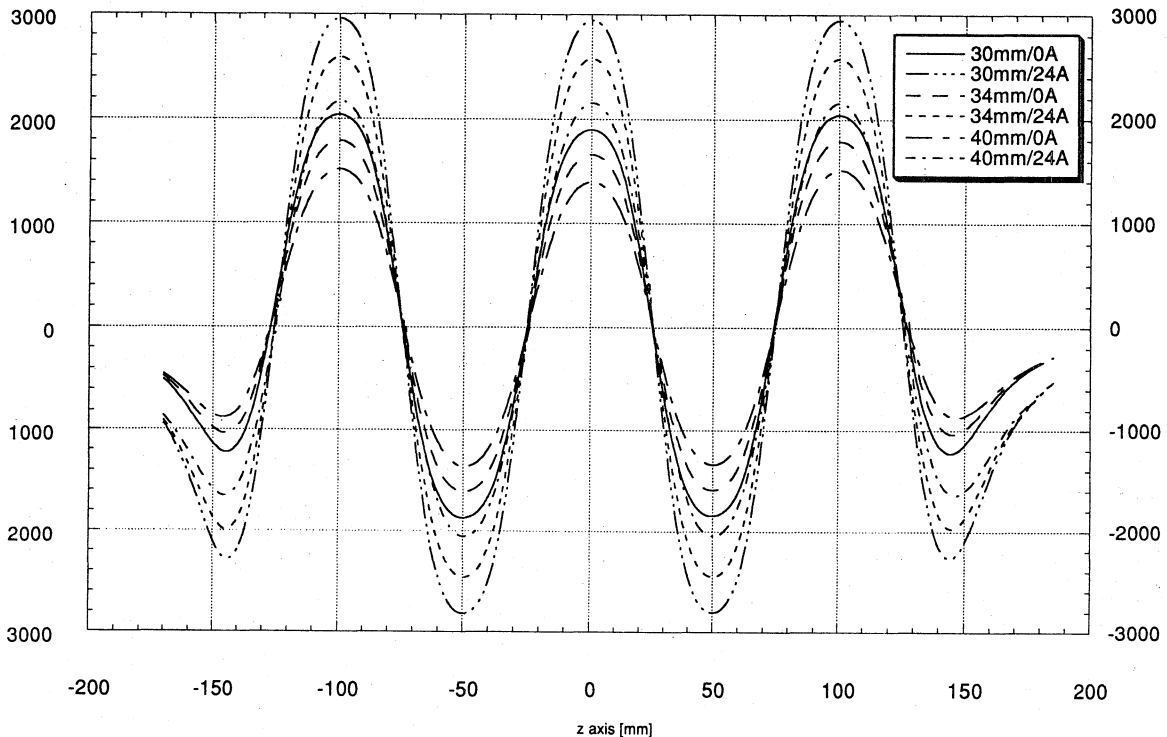


図6 短ピッチアンジュレータにおける周期性