

[A18a02]

RADIATION SPECTRUM FROM UNDULATOR FOR FEL AT NIHON UNIVERSITY

Hiroyuki Nakazawa*, Ken Hayakawa, Yoichi Matsubara, Kazuo Sato, Isamu Sato,
Toshinari Tanaka, Ichiro Kawakami, Yasushi Hayakawa, Kazue Yokoyama*,
Narudo Seki*, Koichi Kanno*, Yutaka Matsumoto*, Hitoshi Kobayashi**,
Atsushi Enomoto**, Takuya Kamitani**, Masahiro Kato**, Kimichika Tsuchiya**,
Shozo Anami**, Akira Iwata***, Masayuki Kawai***, Keiji Nomaru***, Fumihiko Oda***

Atomic Energy Research Institute, Nihon University

7-24-1 Narashinodai, Funabashi, 274-8501 Japan

*College of Science and Technology, Nihon University

7-24-1 Narashinodai, Funabashi, 274-8501 Japan

**High Energy Accelerator Research Organization, KEK

1-1 Oho, Tsukuba, 305-0801 Japan

***Kawasaki Heavy Industries, Ltd.

118 Futatsuzuka, Noda, 278-8585, Japan

Abstract

Preliminary experiment on undulator radiation was carried out at Atomic Energy Research Institute of Nihon University. The measured spectrum was wider than natural width. Dependence of the wavelength on the undulator gap width is consistent with theoretical prediction.

日大FEL用アンジュレーターからの放射光スペクトル

1. はじめに

1994年度から日大原子力研究所電子線利用研究施設では紫外線領域FELの設計を始め、建設に着手した。1998年2月にアンジュレーターに電子ビームを通すことに成功した。引き続き、可視光領域においてアンジュレーター放射のスペクトル計測を行った¹⁾。本件はその結果等について報告する。

2. アンジュレーター

アンジュレーターの磁石列の対は、図1の模式図に示すように磁極が水平に向き合うように配置した。この配置は、対称性が良く、ギャップを変える際の動きもスムーズであり、実験における再現性に優れているという利点がある。磁石の材質はNdFeBで、残留磁束密度は1.28[T]に設定された。アンジュレーターのパラメーターを表1に示す。電子ビームはア

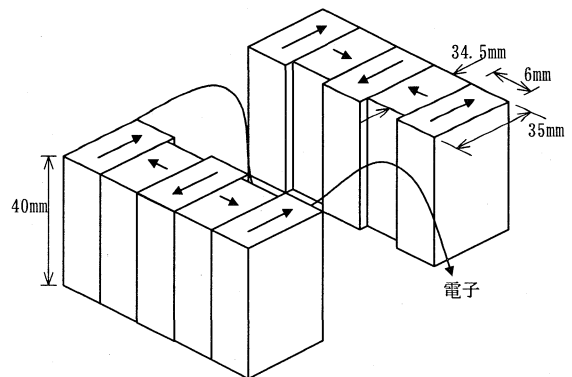


図1 アンジュレーターの形状

ンジュレーター磁石の間隙に配置した内径7mmの管内を上下に蛇行しながら通り抜ける。

ギャップを変えて磁場を計測した結果、アンジュレーターギャップとK値の関係は図2のグラフのようになる。

表1 アンジュレーターのパラメーター

| | |
|--------------|---------|
| アンジュレーター形式 | Halbach |
| アンジュレーター全長 | 2400mm |
| アンジュレーター周期長 | 24mm |
| アンジュレーターギャップ | 11~30mm |
| アンジュレーター周期数 | 100 |

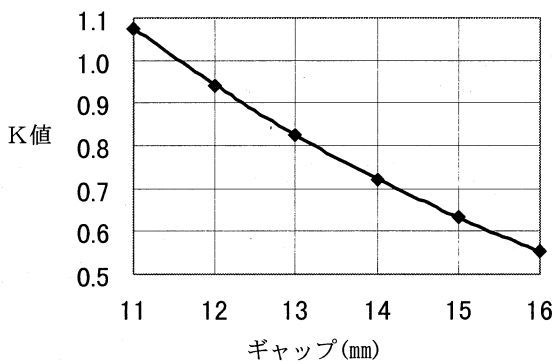


図2 アンジュレーターギャップとK値の関係

3. アンジュレーター放射光の計測

アンジュレーター放射光は、光共振器内、アンジュレーター下流側に設置したハーフミラーを使って取りだし、平面鏡を用いて計測室まで伝送された。実験初期は、アンジュレーターを通過する電子ビームの電流値が少なく、計測室から肉眼で光を確認することができなかつたため、計測を始める前にアンジュレーター放射の状況を実験室内でCCDカメラにより観測した。図3はその時観測したものの一例である。この図ではわからないが、中心から周辺部にわたって、色に変化している様子が観測された。アンジュレーター光のスペクトルは、分光器(Nikon G250)で分光し、光電子増倍管でその強度を計測した²⁾。

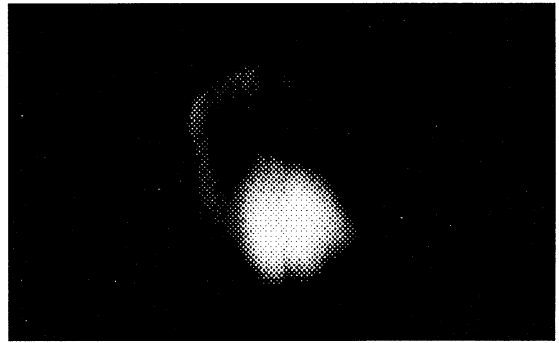


図3 アンジュレーター放射

4. アンジュレーター放射光の計測結果

ギャップ12.30mm(K=0.90)のアンジュレータを95MeVの電子が通過したときの自発放射光のスペクトルを計測した結果を、図4に実線で示す。スペクトルは対称なものではなく長波長側にテールを引いた形になった。この原因として、観測者の見込み角の影響が考えられる。

K値と波長 λ の関係は、観測者と、z軸の間の角を θ 、方位角を ϕ とすると、

$$\lambda = \frac{\lambda_u}{2\gamma^2} (1 + K^2/2 + \gamma^2 \theta^2) \quad (1)$$

となる。ここで、 λ_u はアンジュレーター周期長、 γ は電子エネルギーである。電子が軌道を曲げられたときに放射する電磁波のエネルギーの式³⁾

$$\frac{dP}{d\Omega} = \frac{e^2 \beta^4}{16\pi \epsilon_0 \rho^2 \gamma^2} \left[\frac{\gamma^2 (1 - \beta \cos \theta)^2 - \sin^2 \theta \cos^2 \phi}{(1 - \beta \cos \theta)^5} \right] \quad (2)$$

で与えられる。また、アンジュレーター内での電子ビームの角度分布は

$$\sqrt{(\theta_{\max}^2 - \theta^2)} \quad (3)$$

に比例すると仮定する。ここで θ_{\max} は、アンジュレーター内を電子が通り抜ける管の長さ2400mmと内径7mmから求めた。その値は

$$\theta = \frac{7}{2400} \approx 3 \times 10^{-3}$$

となる。(1)(2)(3)式を合成して、スペクトル分布の形状を計算すると、図4の破線の様になり、計測されたスペクトルは理論の計算よりも3倍程度広い幅を持つものとなる。スペクトル幅が3倍程度となるときにスペクトルを計算すると、そのスペクトルの形

状は図4の点線の様になり、計測結果はこの計算と似た形状になる。

スペクトル幅は、放射光のスペクトル幅 $\Delta\lambda/\lambda$ (半値幅)はアンジュレーター周期を N 、電子ビームのエネルギー幅 $\Delta E/E$ (半値幅)、規格化エミッタンスを ϵ とすると

$$\left(\frac{\Delta\lambda}{\lambda}\right) = \left[\left(\frac{1}{2N}\right)^2 + \left(\frac{\Delta E}{E}\right)^2 + 4\frac{K^2}{(1+K^2/2)^2} \frac{\epsilon^2}{\lambda_u^2} \right]^{1/2} \quad (4)$$

と表せる⁴⁾。電子ビームのエネルギーの広がりがあるが0.5%程度であるから、規格化エミッタンスが $236\pi \times 10^{-6} \text{mrad}$ となる。

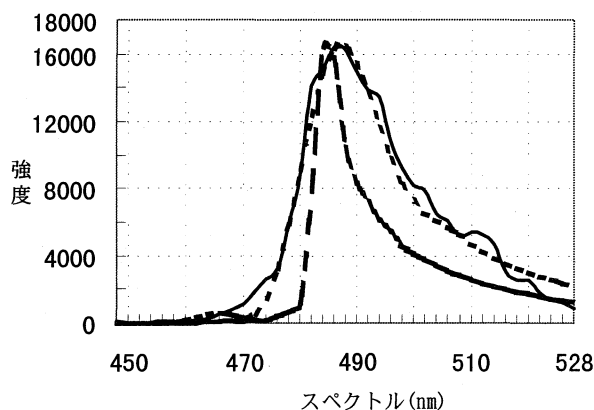


図4 ギャップ12.30mmの時のスペクトル(実線)、(1)(2)(3)式を合成して得られたもの(破線)、スペクトル幅を3倍として計算したもの(点線)

また、ギャップとピーク波長の関係は図2から、図5のようになる。計算値を実線、計測値を丸で示した。この図からギャップと波長の関係は理論と一致している。

この結果から電子線利用研究施設におけるアンジュレーター放射の実験値は理論と一致する。加速器からの電子ビームのエミッタンスは、通常の使用では十分なものではあるが、FELの発振のためには放射光のスペクトル幅を狭くしなければならない。そのため電子ビームのエミッタンス、電子エネルギーの揺らぎ等の改良が必要となる。

5. 今後の計画について

今後はFELの発振実験及びその解析を行う計画である。また、研究室においては、アンジュレータ

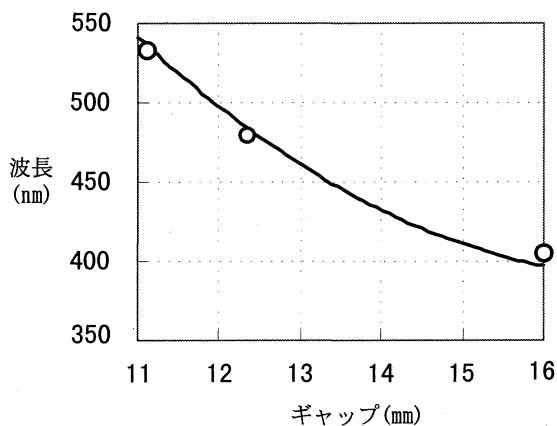


図5 ギャップと波長の関係と計測結果

一放射、FEL等の利用についての研究を行っていく計画である。⁵⁾

参考文献

- 1) T. Tanaka, et al., Proc. 23th Linear Accelerator Meeting in Japan (1998)
- 2) Y. Hayakawa, et al., Proc. 23th Linear Accelerator Meeting in Japan (1998)
- 3) 原子力学会 入門自由電子レーザー p54
- 4) G. Dattoli, et al., Proc. SR and FELs (Chester, April, 1989) p254
- 5) I. Sato, et al., Proc. 23th Linear Accelerator Meeting in Japan (1998)