

[F18p08]

## OPTICAL AND MEASUREMENT SYSTEM FOR FEL AT NIHON UNIVERSITY

Y. Hayakawa, K. Hayakawa, I. Sato, K. Sato, T. Tanaka, I. Kawakami, Y. Matsubara,  
 \*H. Nakazawa, \*K. Yokoyama, \*K. Kanno, \*Y. Matsumoto,  
 \*\*H. Kobayashi, \*\*A. Enomoto, \*\*T. Kamitani, \*\*M. Kato, \*\*K. Tsuchiya, \*\*S. Anami,  
 \*\*\*A. Iwata, \*\*\*M. Kawai, \*\*\*K. Nomaru, \*\*\*F. 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 Japan

\*\*\*Kawasaki Heavy Industries, Ltd.  
 118 Futatsuzuka, Noda, 278 Japan

### Abstract

The measurement system for FEL at Nihon University has been developed. It consists of a spectrometer with a grating and a photomultiplier, a signal of which is processed by a PC through an integral circuit and an ADC. The ADC and a stepping motor of the spectrometer are controlled so that a multi-channel analysis for the spectrum is possible. Visible undulator radiation was brought out from the cavity using a half mirror and transported to the spectrometer by eight mirrors. The spectrum of the radiation was measured and has a width of 25nm in FWHM, which is larger than the theoretical width or the resolution of the measurement system.

## 日大FELの光学計測系

### 1. はじめに

日大原子力研究所電子線利用研究施設 (AERI) において紫外線領域 FEL が計画され、そのための電子線型加速器およびアンジュレータの建設が 1994 年度から始められた [1]。1998 年 2 月には電子ビームをアンジュレータに通すことに成功し [2]、可視光領域の放射光が観測されるに至った。ここでは、このアンジュレータ放射光のスペクトルを測定するために構築された光学輸送系および分光システムについて報告する。

### 2. アンジュレータおよび光学輸送系

AERI のアンジュレータ (Halbach) のパラメータは周期長 24mm、周期は 100、常用 K 値は 0.7 である [3]。現在は波長 488nm での自由電子レーザー発振を目指しており、光共振器にはこの波長に合わせた多層膜反射鏡を使用している。レーザー発振を実現するためには、発生するアンジュレ

ータ光の特性、特にそのスペクトルを詳しく調べることが重要である。そのために、アンジュレータの下流にハーフミラー (ビームスプリッター)

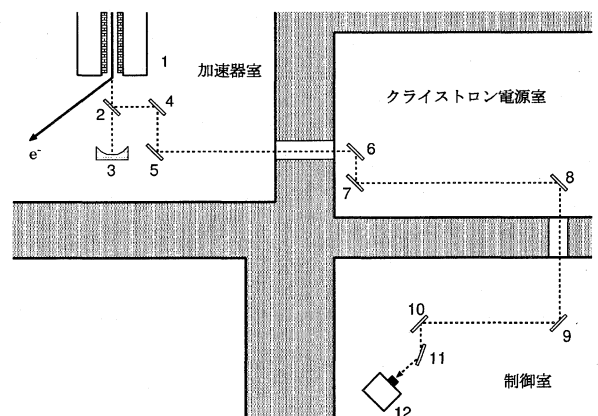


図1. アンジュレータ放射光の輸送経路

- 1) アンジュレータ, 2) ビームスプリッター,  
 3) 共振器ミラー, 4) ~ 11) 反射鏡,  
 12) 分光器

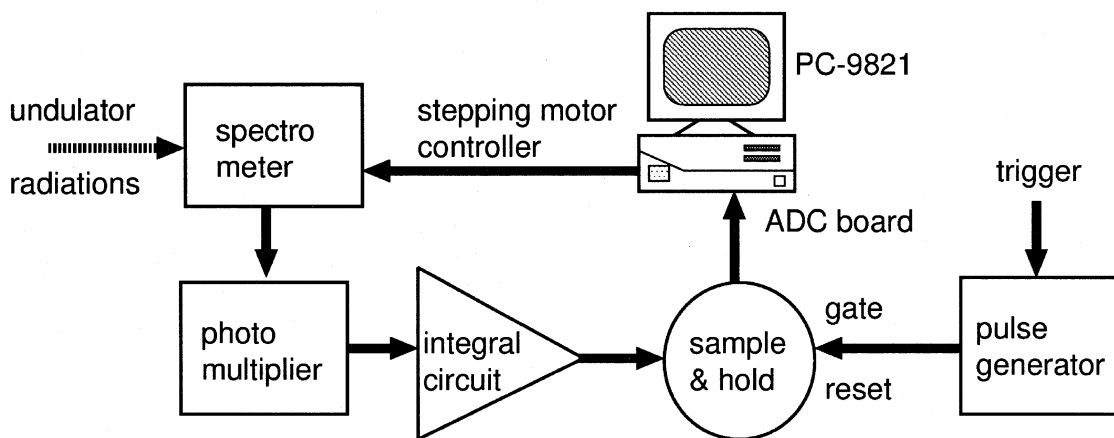


図2. 放射光スペクトル測定システムの概念図

を挿入してアンジュレータ放射光をキャビティの外に取り出し、それを分光することにした。図1にその様子を示す。ビームスプリッターで取り出された放射光は計8枚の反射鏡を用いてリニアック制御室に設置された分光器まで輸送される。ビームスプリッターから分光器までの光路はおよそ30mになる。

### 3. 光計測システム

反射鏡で運ばれてきた放射光はグレーティングを用いた分光器（ニコン製モノクロメータ G-250）によって分光され、そのスペクトルが測定される。今回使用した分光器の仕様は表1のようになっている。放射光のスペクトルを得るには、分光器で分光された光の強度を測定する必要があるが、分光後の光の強度は大変弱いため光検出器としては光電子増倍管を採用することにした。光電子増倍管のシグナルは積分回路で処理され、光の強度は

パルス波高に変換される。このパルスを市販のADCボードによってパソコン（PC-9821）に取り込み、データ処理を行う。積分回路とADCの間にはサンプルホールドが入れてあり、そのゲートとリセットにはリニアックのトリガーパルスを用いているのでビームと同期したシグナルのみが計測されるようになっている。この計測システムの概念図を図2に表す。

分光器にはパルスモータが取り付けられており、それによってグレーティングの回転角すなわち分光する光の波長を変えることができる。これもパソコン用ステッピングモータコントローラボードを用いてコントロールすることにした。パルスモータとADCを連動させることにより、横軸が光の波長、縦軸が光の強度となるようなマルチチャンネル分析（MCA）が可能となる。このため、MS-DOS用MCAプログラムの開発を行った。このMCAシステムを用いてアンジュレータ放射光のスペクトル測定を行う。

表1. モノクロメータ（G-250）の仕様

光学型式	Czerny-Turner 型
回折格子	
刻線本数	600本/mm
刻線面積	52×52mm
逆線分散	6nm/mm（理論値）
光学的波長範囲	170~1600nm
波長精度	0.3nm
波長再現性	0.1nm
分解能	0.2nm
	スリット幅 0.01mm
	スリット長さ 4.0mm
	546nmにおける半値幅

### 4. アンジュレータ放射光スペクトルの測定

上記のシステムによって実際にアンジュレータ放射光のスペクトルを測定した。電子ビームのエネルギー97MeV、アンジュレータのギャップ間隔13mm（K値0.82）、分光器のスリット幅0.5mm（波長分解能5nmに相当）という条件では図3のようなスペクトルが得られた。このスペクトルは長波長側にテールを引いた形状をしている。また、

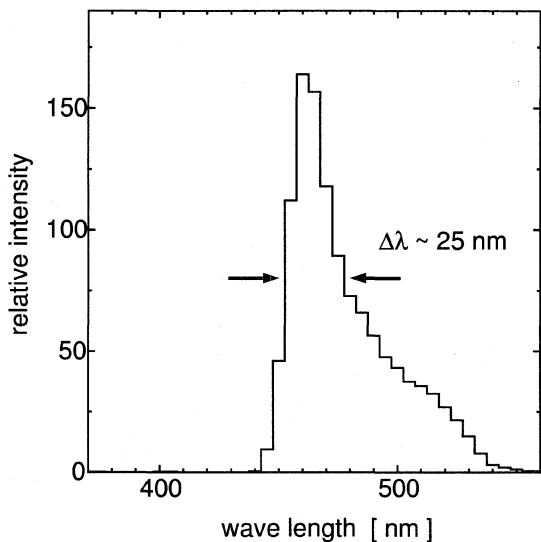


図3. アンジュレータ放射光のスペクトル  
電子ビームエネルギー97MeV、アンジュレータギャップ間隔 13mm、分解能 5nm で測定

スペクトルの幅は半値幅で 25nm (5%) あり、アンジュレータの周期数で決まる理論的な線幅 (1%) や電子ビームのエネルギー分散 (0.5%) [4] に比べて広がっている。図 4 は電子ビームエネルギー97MeV、アンジュレータギャップ間隔 12.24mm (K 値 0.91) で発生した放射光を 488nm

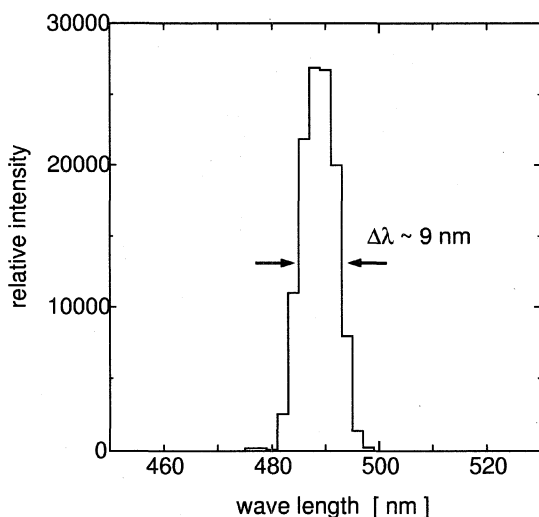


図4. バンドパスフィルタ通過後のスペクトル  
電子ビームエネルギー97MeV、アンジュレータギャップ間隔 12.24mm、分解能 2nm で測定  
フィルタの仕様は 488nm を中心に半値幅 10nm

のバンドパスフィルタ (半値幅 10nm) を通し、スリット幅 0.2mm (波長分解能 2nm) で測定したものである。得られたスペクトルの半値幅は 9nm (2%) で、ほぼフィルタの仕様通りの幅であった。従って、測定系のもつ分解能はそれ以下であり、スペクトルの幅が広い原因は他にあると考えられる。この原因としてはビーム電流の揺らぎやビームのエミタンス、観測の見込み角の影響が考えられる。特にビームの角度分布に伴う見込み角の効果はスペクトルが長波長側にテールを引く形をしている原因になっているものと思われる[5]。

### 5. 今後の課題

今回のスペクトル測定では測定回数を多くすることによりビーム電流が平均化されると仮定している。しかし、より正確で効率の良いスペクトル測定を行うためにはビーム電流モニターの出力をパルスごとに積分し、その値をデジタル化して取り込んでスペクトルの規格化に用いる必要がある。現在、この規格化のための回路およびソフトウェアを開発中である。

また、今回はキャビティ内にビームスプリッターを挿入することによって放射光を取り出してスペクトルを測定しているが、レーザー発振の条件を調べるという意味ではキャビティ内にハーフミラーが入っているのは好ましくない。今後、強度は弱くなるが、共振器ミラーを透過してくる放射光を取り出してそのスペクトルを調べていく。これに続いてアンジュレータ光がキャビティに蓄積されていく様子やレーザー発振の兆候を捕らえることを試みる予定である。

### Reference

- [1] K. Hayakawa et al., Proc. of 21st Linear Accelerator Meeting in Japan, (1996) 20.
- [2] T. Tanaka et al., Proc. of this meeting.
- [3] I. Sato et al., Proc. of 22nd Linear Accelerator Meeting in Japan, (1997) 104.
- [4] K. Yokoyama et al., Proc. of this meeting.
- [5] H. Nakazawa et al., Proc. of this meeting.