

## §5. 光から見た加速器・光源

## 5-1. アンジュレーター放射の特性評価

杉山 弘\*, 張 小威\*\*

\*高エネルギー物理学研究所・MR 超高輝度放射光計画推進室,

\*\*高エネルギー物理学研究所・放射光実験施設

## Characterization of Undulator Radiation

Hiroshi SUGIYAMA\* and Xiaowei ZHANG\*\*

\*Tristan Super Light Facility, Photon Factory, National Laboratory for High Energy Physics,

\*\*Photon Factory, National Laboratory for High Energy Physics

We measured vertical angle dispersion and spectrum of the undulator radiation by means of monochromator and additional optical system. The vertical angle dispersion was around  $10 \mu\text{rad}$  and changed as ring current of MR and magnetic flux density of the undulator. The peak of photon flux density of 1st harmonics (13.1 keV) was about  $3 \times 10^{16}$  photons/s/mrad<sup>2</sup>/0.1%b.w./10 mA at 10 GeV operation of the MR.

## 1. はじめに

アンジュレーター光の特性評価をビームラインのモノクロメーターと実験室の光学系を使用して行った。本来ならばスペクトルとエミッタンス測定を逐次行い、光源調整の参考にすることが最良ではあった。しかし測定自体に比較的時間が掛かり実験スケジュールには余裕がなかったため、比較的短時間で測定可能な垂直方向の発散角の測定を逐次行い、さらに実験期間の最後の3日間でスペクトル測定を行った。

## 2. 垂直方向発散角の測定

アンジュレーター1次光についての垂直方向発散角測定の光学系を図1に示す。モノクロメーターの第1, 第2結晶およびアナライザー結晶を

Si220またはSi400の(-, +, +)配置にして、アナライザー結晶のロックンクカーブを測定した。第1, 第2結晶は回折条件を合わせたので実質的にはモノクロメーター1組とアナライザーの(+, +)配置である。ロックンクカーブの一例を図2に示す。

ガウス分布を仮定したとき、アナライザー結晶のロックンクカーブの分散 $\sigma_z^2$ は近似的に次のようになる、

$$\sigma_z^2 = 4\sigma_y^2 + 4\sigma_p^2 + \sigma_m^2, \quad (1)$$

ここで $\sigma_y^2$ : 電子ビームの垂直方向発散角の分散,  $\sigma_p^2$ : 光の回折限界に関する発散角の分散,  $\sigma_m^2$ : 光学系の回折角度幅に関する分散である。

\* 高エネルギー物理学研究所・MR 超高輝度放射光計画推進室 〒305 つくば市大穂 1-1

TEL 0298-64-5699 FAX 0298-64-5707 e-mail hiroshis@mail.kek.jp

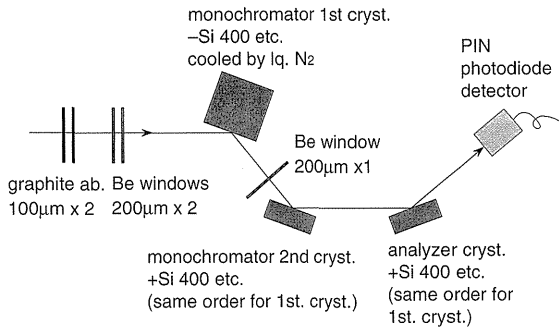


Figure 1. A schematic optical system for the measurement of vertical angle dispersion.

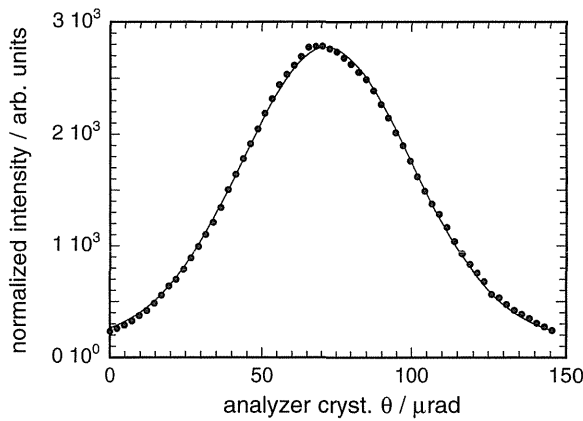


Figure 2. A rocking curve by analyzer crystal with (—, +, +) Si 400 setting and 11.9 keV at 8 GeV operation of the MR.

蓄積電流値やアンジュレーターのギャップ（磁束密度）を変化させてロッキングカーブを測定し、(1)式より  $\sigma_y$  を求めた。

図3に蓄積電流値に対する  $\sigma_y$  の変化の様子を示す。単バンチ運転の場合は1 mA を越えると急激に  $\sigma_y$  が大きくなるが、同じ電流値でも多バンチ運転にして、1バンチあたりの電流値を小さくすれば  $\sigma_y$  を小さく抑えることができた。実際の利用実験では1バンチあたりの蓄積電流を1 mA 以下になるようにした。

図4にはアンジュレーターのギャップ（磁束密度）に対する  $\sigma_y$  の変化の様子を示す。磁束密度が大きいほど  $\sigma_y$  がほぼ直線的に大きくなる。これはアンジュレーターに何らかの形で不要な横磁場が存在しているためである。この横磁場を打ち

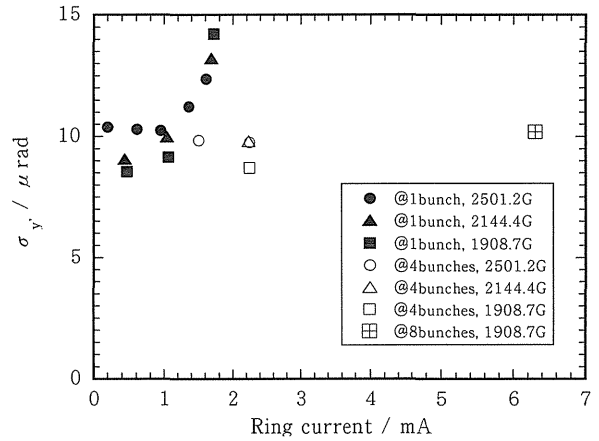


Figure 3. A relation of vertical angle dispersion of undulator radiation  $\sigma_y$  and ring current.

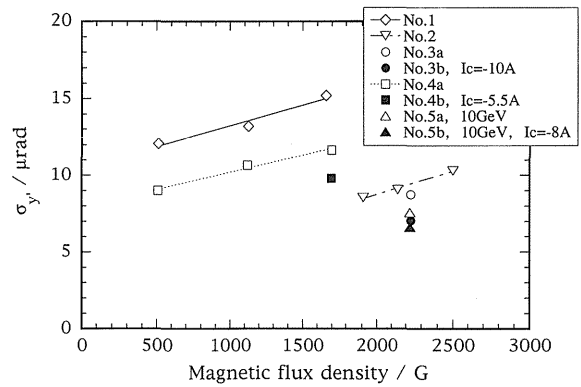


Figure 4. A relation of vertical angle dispersion of undulator radiation  $\sigma_y$  and magnetic flux density of undulator (undulator gap). “Ic” is current of correction field coil.

消すように磁場を印加すると、 $\sigma_y$  は改善される (§2)。また測定によって  $\sigma_y$  の値がばらついているが、この原因については特定できていない。

### 3. スペクトル測定

全ての利用実験終了後にスペクトル測定を行った。10 GeV 運転時のアンジュレーターの最大K値付近 (K=1.09) での1次光ピークまわりのおよそ11~14 keV とその高調波成分を測定した。測定時の蓄積電流は2~5 mA であった。またここでは前節で述べた補正横磁場を印加した状態で測定を行った。

図5にスペクトル測定の際の光学系配置図を示

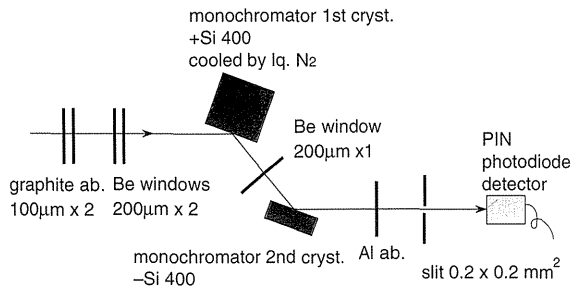


Figure 5. A schematic optical system for the measurement of spectrum.

す. このときのモノクロメーターには Si 400 回折を用いた. エネルギー設定は  $^{57}\text{Fe}$  核共鳴エネルギー (14.4 keV) に設定時のモノクロメーター第2結晶のエンコーダー値を基準にして, 第2結晶の角度を調節することにより行った. 第2結晶直後に Al アブゾーバー, スリット ( $0.2 \times 0.2 \text{ mm}^2$ ) を設置し, Al アブゾーバーの厚さを 0~12 mm に変化させながら PIN フォトダイオード検出器で強度測定をし, 図 6 の様な関係を得た. 図 6 は 13.1 keV とその高次光に対する結果である. 点は測定値, 実線は 1~3 次光に対する Al の吸収係数を用いてフィッティングした結果である. 曲線の主な傾きは 1 次光と 2 次光によるもので, 3 次光はあまり寄与していない. さらにこの測定から高調波の Al に対する吸収率の違いを利用して 1 次光と 2 次光の成分を分離した. そして各エネルギーに対して同様のことを行った. 検出器の出力電流から光子数への変換については (1) 9~21 keV の範囲で NaI シンチレーション検出器との比較から実験的に求める, (2) 次にこの値に対して理論式<sup>1)</sup>のパラメーターを決め, (3) 近似的に 1 次光, 2 次光の各エネルギーに対する変換係数を求めた.

このようにして求めた各エネルギーの光子数に対してモノクロメーター結晶の反射率と角度幅, スリットサイズ, モノクロメーター直前にある Be 窓とグラファイトアブゾーバーに対する吸収, モノクロメーター下流部分大気による吸収の各効

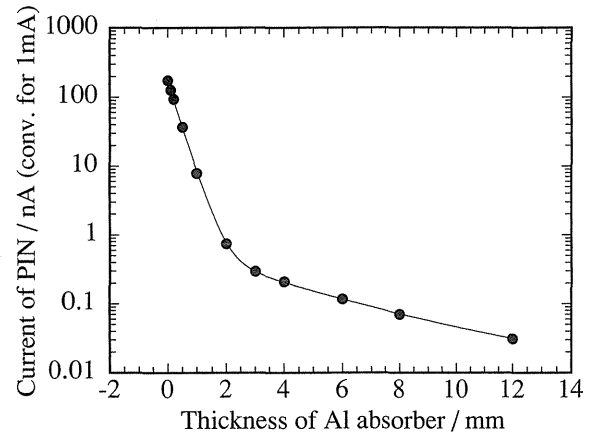


Figure 6. A relation of output current of PIN photodiode detector and thickness of aluminum absorber as the measurement of spectrum.

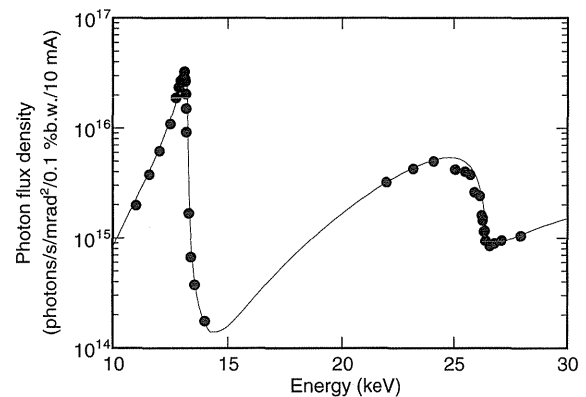


Figure 7. A spectrum of undulator radiation at 10 GeV operation of the MR.

果の補正を行って図 7 に ● で示すスペクトルを得た. ここでは蓄積電流 10 mA 換算で示している. このとき 1 次光の最大光束密度は約  $3 \times 10^{16}$  photons/s/mrad<sup>2</sup>/0.1%b.w./10 mA であった. また電子ビームのエミッタンス 14 nm, カップリング 1.5%での計算値 (§5-3) を図 7 中に実線で示しておく. はじめにも述べたように, ここでのスペクトル測定は, アンジュレータに何らかの理由で発生している不要な横磁場を取り除くために補正磁場を印加した状態で行った. 補正磁場により, かなり改善はされたが, 完全には補正できなかった. そのためこの測定は“補正しきれなかった不要な横磁場”の影響を受けている. 図 7 中に示し

た計算値は不要な横磁場による垂直方向の電子軌道の湾曲の効果をエミッタンスとカップリングの増加という形で取り込んで計算している。

参考までに 8 GeV 運転の際の、蓄積電流 2.6 mA のとき Si 220 の 2 結晶モノクロメーター直後の 8.5 keV の全光子数は、実験室内のスリット

やアブゾーバーが全く無い状態で約  $7 \times 10^{11}$  個であった。

#### 文献

- 1) S. Ban, H. Hirayama, Y. Namito, S. Tanaka, H. Nakashima, Y. Nakane and N. Nariyama: J. Nucl. Sci. Technol., **31**, 163 (1994).