

## §5. 光から見た加速器・光源

## 5-3. スペクトル測定から見たビームエミッタンス

山本 樹

高エネルギー物理学研究所・放射光実験施設  
MR 超高輝度放射光計画推進室

## Beam Emittance Properties Estimated by the Measured Spectrum

Shigeru YAMAMOTO

KEK-PF Tristan Super Light Facility

Beam emittance properties of the Tristan Main Ring, which was operated as a light source at a beam energy of 10 GeV, were characterized on the basis of the measured spectrum: a natural emittance and an emittance coupling are obtained to be 14 nm and 0.015, respectively.

## 1. はじめに

本特集号第3章に述べたように、X線アンジュレータ XU#MR0 は、Tristan 主リング (MR) における高輝度放射光実験の光源として1995年秋の実験期間中安定に高輝度放射光を供給し続けた。ここでは実験期間最後に行った10 GeVにおけるスペクトル測定に基づく、電子ビーム性能 (エミッタンス) の評価について述べることにする。

## 2. 電子ビームエミッタンスの推定

図1には以下の議論のために本特集号第3章に示した光束密度スペクトルの測定結果<sup>1)</sup>を再録した。残念ながら、MRの10 GeV運転における目標の加速器パラメータが実現されている (自然エミッタンス  $\varepsilon_0=5$  nm, エミッタンス結合比

$\kappa=0.02$ ) とした場合の一次光の光束密度は、 $6.7 \times 10^{16}$  光子/sec/mrad<sup>2</sup>/0.1%バンド幅、に達し実測値 ( $3.3 \times 10^{16}$  光子/sec/mrad<sup>2</sup>/0.1%バン

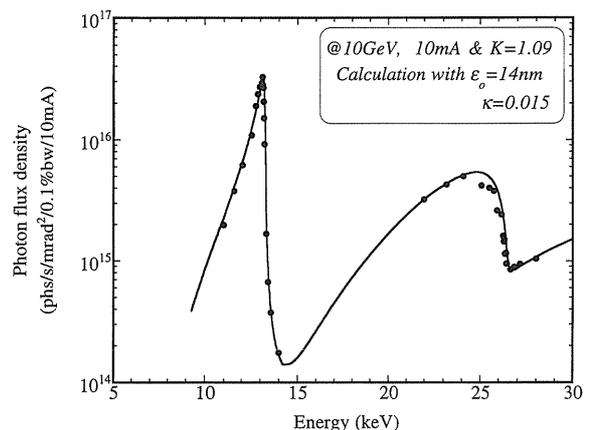


Figure 1. Photon flux density of the radiation from the XU#MR0 with  $K=1.09$ . The solid circles indicate the observed results and the solid curve indicates the result of a calculation made with  $\varepsilon_0=14$  nm and  $\kappa=0.015$ .

\* 高エネルギー物理学研究所・放射光実験施設 MR 超高輝度放射光計画推進室 〒305 つくば市大穂 1-1  
TEL 0298-64-5680 FAX 0298-64-7529 e-mail Shigeru@kekvox.kek.jp

ド幅)を説明することはできない。以下に、図1の実測スペクトルから電子ビームエミッタンスを推定することを試みる。 $\epsilon_0$ と $\kappa$ の組み合わせは、放射スペクトルの(a)放射輝度のピーク値、(b)各ピークのパンド幅、および(c)偶数次放射と奇数次放射の輝度ピーク値の比等に大きな影響を与える。従って、これらを拘束条件に使えば、逆に $\epsilon_0$ と $\kappa$ の推定を行うことが可能になる<sup>2)</sup>。 $\epsilon_0$ と $\kappa$ の二つのパラメータの推定であるので、拘束条件は原理的には二つで足りるが、冗長度を含めてここでは上記三点について実測に基づいて拘束条件を課することにする：具体的には(a)一次光の光束密度 $D_1=3.3 \times 10^{16}$ 光子/sec/mrad<sup>2</sup>/0.1%パンド幅、(b)一次光のパンド幅 $\Delta\omega/\omega_1=0.042$ 、および(c)二次光輝度と一次光輝度比 $D_2/D_1$ 。図2は問題となる $\epsilon_0$ と $\kappa$ の組み合わせについて(アンジュレータ磁場の完全性を仮定して)、(a) $D_1$ 、(b) $\Delta E/E$ 、および(c) $D_2/D_1$ を等高線としてプロットしたものである。上記三点の拘束条件が、 $\epsilon_0=14$  nm および $\kappa=0.015$ の組み合わせにおいて(のみ)満たされていることが良くわかる。

図1の実線は $\epsilon_0$ と $\kappa$ の上記の組み合わせについて描いたもので、実測スペクトルとの非常に良い一致が細部についても得られていることから、上記の推定が正しいことを強く示唆している。 $y$ 方向エミッタンス( $\epsilon_y$ )については、2結晶分光器による $\sigma'_y$ 測定<sup>3)</sup>から $\beta$ 関数の値を用いて求めることができる。その値は $\epsilon_y=0.25$  nm ( $E_B=10$  GeVの時)で上記推定( $\epsilon_y=0.21$  nm)と非常に調和的である。

しかし、加速器に設置された可視光モニタによる独立な測定は、 $x$ 方向エミッタンス $\epsilon_x$ について4~5 nm ( $E_B=8$  GeV、および10 GeV共に)という数値を与えており<sup>4)</sup>、上記推定と矛盾する。このことは、XU#MR0の磁場に何らかの不整があって、電子ビームエミッタンスは良好であるにも拘わらず図1の実測スペクトルの状態にまで劣化しているか、または可視光モニタによるエミッ

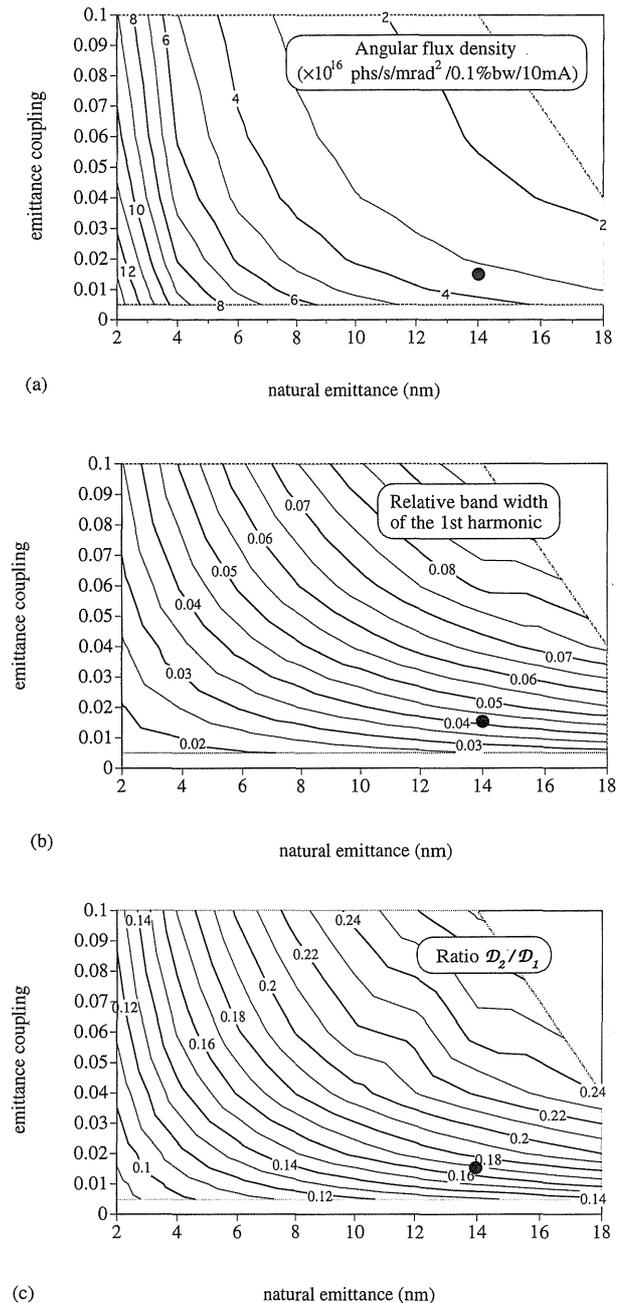


Figure 2. Contour maps of (a) the flux density of the first harmonic ( $D_1$ ) of the radiation from the XU#MR0, (b) the bandwidth of the first harmonic ( $\Delta\omega/\omega_1$ ), (c) and the ratio of the second-harmonic flux density to the first ( $D_2/D_1$ ), which were shown as functions of the natural emittance ( $\epsilon_0$ ) and the emittance coupling ( $\kappa$ ).

ッタンス測定に大きな誤差があるかという問題を提起する。

一般にアンジュレータ磁場に不整がある場合、輝度低下分だけパンド幅が増加する発散角型劣化、と単に輝度の低下のみが起こる位相型劣化の

二通りが考えられる。XU#MR0の鉛直方向主要磁場は十分調整されており、この磁場成分による輝度劣化は低次の放射については全く問題にならないが、水平成分についてはアンジュレータ製作時には高精度の測定を行えなかったため実験中はその存在を否定できなかった。しかしながら、図1の測定結果からは発散角型不整は否定され位相型についても考えにくいことがわかった<sup>5)</sup>。

実測スペクトルによる光源の性能評価の正否を最終的に判定するために、実験終了後XU#MR0の水平磁場測定を行った。結果は不整磁場の存在を否定する(アンジュレータのサイン型磁場のバラッキと同程度( $\pm 5$  Gauss)以下)ものであり、スペクトルの劣化は低次の放射については無視できること(測定磁場分布のフーリエ変換の結果)、および上述の推定値が支持されることを示している<sup>6)</sup>。このことは光源性能としての放射輝度(Brilliance)が、 $6.9 \times 10^{17}$  光子/sec/mm<sup>2</sup>/mrad<sup>2</sup>

/0.1%バンド幅( $K=0.97$ )であり、目標エミッタンスが達成された場合の1/6程度に相当することを意味する。しかし、MRのような巨大加速器を高性能・低エミッタンスの光源加速器に改造し、アンジュレータを高輝度の光源として使用できたという今回の我々の成果は、次世代のコヒーレント光源建設の基礎を固める上で大いに貢献すると考えている。

## 参考文献

- 1) 山本 樹：放射光10, No. 2 (本号).
- 2) S. Yamamoto et al.: J. Synch. Rad., 4, in press (1997).
- 3) 杉山 弘：「MR放射光総合報告会」報告書, KEK Proceedings 96-8, p88.
- 4) 三橋利行 他：「MR放射光総合報告会」報告書, KEK Proceedings 96-8, p14.
- 5) 山本 樹：「MR放射光総合報告会」報告書, KEK Proceedings 96-8, p68.
- 6) 山本 樹 他：第10回放射光学会年会.