

## EFFECTIVENESS OF INTRODUCING A QUASI-PERIODICITY IN APPLE-II TYPE VARIABLY POLARIZING UNDULATOR

Shigemi Sasaki<sup>#,A)</sup>, Atsushi Miyamoto<sup>A)</sup>, Kenya Shimada<sup>A)</sup>, Hirofumi Namatame<sup>A)</sup>,  
and  
Masaki Taniguchi<sup>B,A)</sup>

<sup>A)</sup> Hiroshima Synchrotron Radiation Center, Hiroshima University  
2-313 Kagamiyama, Higashi Hiroshima, 739-0046

<sup>B)</sup> Graduate School of Science, Hiroshima University  
1-3-1 Kagamiyama, Higashi Hiroshima, 739-8526

### Abstract

The Hiroshima Synchrotron Radiation Center has a project for constructing a new quasi-periodic variably polarizing undulator as one of the performance upgrade plan at HiSOR facility. By introducing a quasi-periodicity into the APPLE type magnetic configuration, effective elimination of higher harmonics not only for the linearly polarized radiation but also for the elliptically polarized radiation at the position of experimental station.

### APPLE-II 型可変偏光アンジュレータの準周期化の効用について

#### 1. はじめに

広島大学放射光科学研究センターでは紫外線域から軟 X 線域までの放射光利用施設の更なる高性能化を目指して、現有施設・設備の高度化を進めている。この一環として、現在 HiSOR 電子蓄積リングに挿入されている周期長 100-mm の円偏光アンジュレータをより周期長の短い APPLE-II 型の可変偏光アンジュレータに置き換える予定である。現在のアンジュレータは電子軌道の上下の各 I-ビームに 3 列の磁石列があり、真ん中の磁石列が垂直磁場を発生し、外側の磁石列が水平磁場を発生する通称 SPring-8 タイプと呼ばれている構造となっている。この SPring-8 タイプの原型構造では、真ん中の磁石の幅が狭くなることに由来する電子軌道上の垂直磁場のロールオフが大きく、特に HiSOR のような低エネルギーリングではビームダイナミクスへの影響が大きいことが想定されたため、現有アンジュレータでは、磁石表面中心に溝を掘り、垂直磁場の水平方向均一性を保つ構造となっている。一方 APPLE-II 型アンジュレータでは垂直磁場の均一性に大きな問題はないが、水平磁場のロールオフが大きいという問題がある。しかしこのことに由来するビームの不安定性などについては、世界の主要な第 3 世代放射光施設でのマシンスタディーなどを通して解決策が確立している。以上のような状況から、HiSOR では磁場周期長 78-mm、周期数 23 の APPLE-II を採用することとした。それにより、輝度は光子エネルギー 40 eV で現在より 3 倍強、20 eV で 60%程度大きくなる。また、この APPLE-II は準周期化にも対応できる構造とすることを決定した。準周期化することにより、基本波のフラックスは 2 ~ 3 割減ることが予想されるが、全フラックスを取りこんだ場合の 2 次光及び 3 次光による汚染が 1 桁

以上少なくなることから、特に VUV 領域の光子エネルギーを用いる高分解能光電子分光実験には大きなメリットがある。本論文では、準周期化に際して用いる磁石配列および磁場構造と、放射光スペクトルについて述べる。

#### 2. 準周期化の磁場分布

周期的アンジュレータ磁場を準周期化するに際しては、準周期化に必要な特定の半周期についてのみ磁場強度を変えて必要な電子と光の位相差を導入するのが理想的であるが、磁石配列の機械的周期を変えずに半周期だけ磁場強度を変えることは物理的に不可能である。次に考えられる物理的に可能な最も理想的な磁場分布は、準周期化に必要な半周期の磁極間隔の両サイドの 1/4 周期を加えた 1 周期分の正弦波の磁場強度を変えることである。この関係を概略的に図 1 に示す。

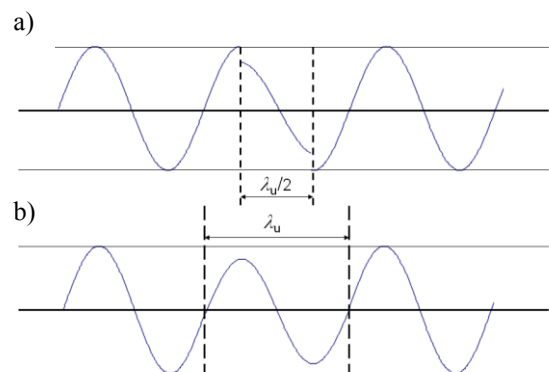


図 1 : 理想的な準周期磁場分布、a) 半周期に準周期の位相差を導入した場合、b) 1 周期に位相差を導入した場合。

図 1 b)に示す現実的な場合を想定し、準周期化に必要な電子と光の位相差を 1 周期に導入するには、各周期毎の磁場形状が正弦波であると仮定して導かれる以下に示す(1)式に従ってピーク磁場強度を変える必要がある[1, 2]。

$$\Delta\phi_q / \Delta\phi_p = \frac{\pi r \tan \alpha}{\pi} \cong \left( \frac{2B_{0q}^2 - B_{0p}^2}{B_{0p}^2} \right) \quad (1)$$

なお、 $\Delta\phi$  は半周期の位相差であり、下付き文字  $p, q$  はそれぞれ周期および準周期を表す[3]。

図 2 に示したのは HiSOR で計画している磁場周期長 78 mm、周期数 23 の APPLE 型可変偏光アンジュレータに準周期を導入したときの磁石配列の例(部分)である。

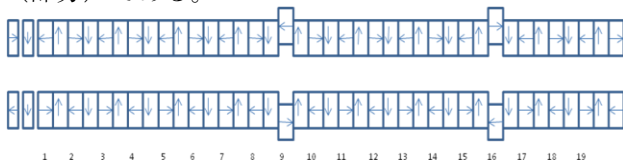


図 2 : 準周期アンジュレータの磁石配列概略図

この図では、水平方向に磁化したフルサイズの磁石のみを端から数えて 9 番目と 16 番目の磁石を電子軌道軸から遠ざけることにより準周期化を実現している。磁石を遠ざける距離は、(1)式で  $r = 1.5$ 、および  $\tan \alpha = 1/\sqrt{15}$  となるように  $B_{0q}/B_{0p}$  の比を決め、RADIA[3]を用いて計算した。

図 3 は図 2 に示した磁石配列を採用したときの磁場分布(直線偏光モード時)である。

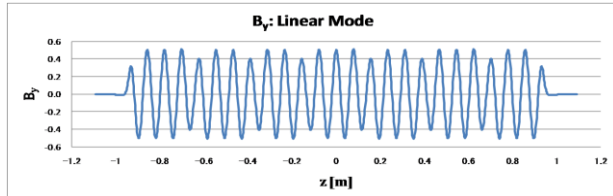


図 3 : 直線偏光モードでの磁場分布

図 4 に、同じ磁石配列で円偏光モードにしたときの磁場分布を示す。

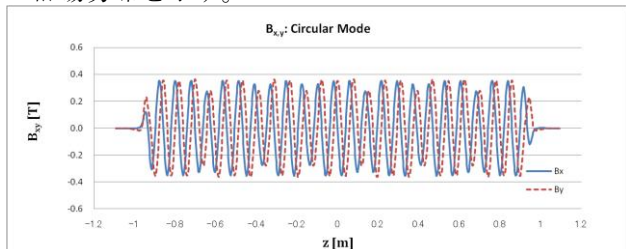


図 4 : 円偏光モードでの磁場分布

この図で、実線が水平磁場、破線が垂直磁場である。

図 3 および図 4 の磁場分布を求めるために用いた RADIA モデルを図 5 に示す。

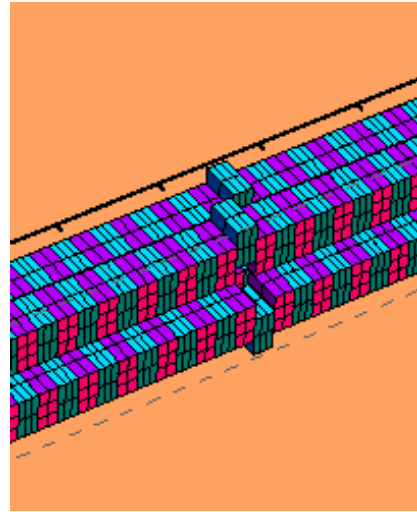


図 5 : RADIA モデルの磁石構造(部分)、楕円偏光モードの例

### 3. アンジュレータスペクトル

図 6 と図 7 にそれぞれ準周期化前と後の直線偏光時のスペクトルを示す。

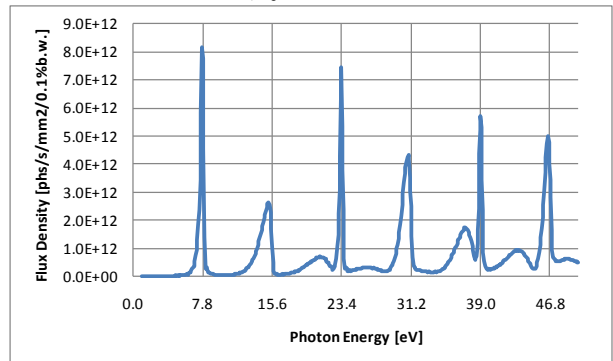


図 6 : 準周期化前の直線偏光モードスペクトル

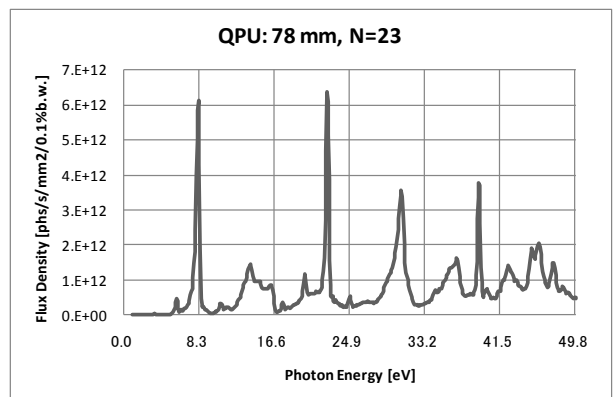


図 7 : 準周期化後の直線偏光モードスペクトル  
これらの図では、グラフの縦目盛を基本波の光子エネルギーを基準にしてその整数倍の個所に目盛線を引いてある。これから明らかなように準周期化後では高次光のピークが整数倍の位置からずれていることが分かる。

図8と図9にはそれぞれ準周期化前と後の円偏光モード時のスペクトルを示す。

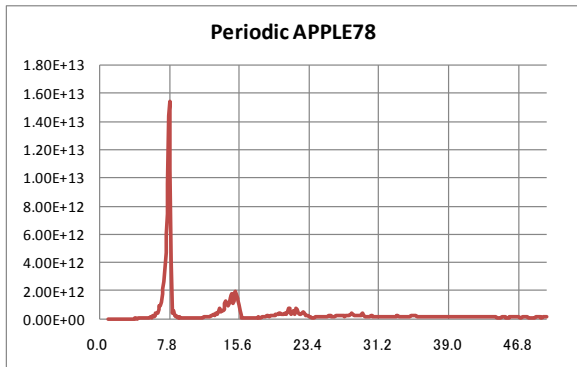


図8：準周期化前の円偏光モードスペクトル

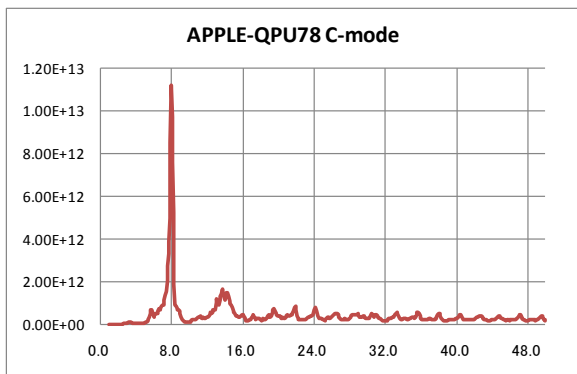


図9：準周期化後の円偏光モードスペクトル

円偏光モードでは準周期化の効果は軸上の強度スペクトルを見る限りにおいてはそれほど顕著ではないが、全フラックスを取る実験では2倍高調波のフラックスの大幅な減少が期待できる。

#### 4. まとめ

広島大学放射光科学研究センターでは、新規に導入する可変偏光アンジュレータを準周期化することにした。

準周期化は、電子と光の各周期毎の進行の位相差に準周期性を持たせればよいので、アンジュレータ光の偏光状態にかかわらず実現することが可能である。

準周期化は、電子と光の各周期毎の進行の位相差に準周期性を持たせればよいので、アンジュレータ光の偏光状態にかかわらず実現することが可能である。

#### 参考文献

- 1] S. Sasaki: Proceedings of IPAC2010, (May, 2010, Kyoto).
- [2] S. Hirata and S. Sasaki: ibid.
- [3] O. Chubar, P. Elleaume, J. Chavanne, J. Synchrotron Radiat. **5**, 481 (1998).