

Knot-APPLE アンジュレータの磁石設計と性能評価

MAGNETIC DESIGN FOR KNOT-APPLE UNDULATOR AND ITS PERFORMANCE

川田惟允^{#,A)}, 宮本篤^{B)}, 佐々木茂美^{B)}

Nobumitsu Kawata^{#,A)}, Atsushi Miyamoto^{B)}, Shigemi Sasaki^{B)}

^{A)} Department of Physical Science, Graduate School of Science, Hiroshima University

^{B)} Hiroshima Synchrotron Radiation Center, Hiroshima University

Abstract

In order to generate a low energy photon beam in a high energy storage ring with an insertion device, it is necessary to increase the undulator's deflection parameter, K . If this is the case, a high heat load on beamline elements is a serious problem because the on-axis radiation power increases drastically as increasing K parameter for a linear undulator. To overcome this problem, a Figure-8, a Pera, a Knot undulator were proposed. However, these undulators cannot change polarizations. On the other hand, APPLE undulator is capable for generating variable polarization. A novel Knot-APPLE undulator was proposed. It is capable for reducing on-axis high heat load and generating every polarization state. But we have some difficulties for displacing radiation power peak from higher harmonics off-axis due to differences in gap dependence between horizontal field and vertical one especially in vertical linear mode for a present magnet structure. In this paper, we looked for most appropriate magnet size and structure to obtain ideal magnetic field in every polarization state. In the presentation, we show radiation spectra and corresponding power density distributions expected from another possible magnet structure for Knot-APPLE undulator.

1. 序論

中高エネルギー蓄積リングで真空紫外域または軟 X 線などの低エネルギーの放射光を発生するにはアンジュレータの K 値を大きくする必要があるが、特に直線偏光において、ビーム軸上に基本波以外の高調波の放射パワーが集中する。それによりビームライン光学素子への熱負荷が実験に影響を及ぼすなどの問題になってくる。この問題はすでに提唱されている Figure-8 アンジュレータ、または Knot アンジュレータを用いることで解決できる^[1-4]。

Figure-8 アンジュレータでは水平磁場成分の周期長が垂直磁場成分の 2 倍になっていて、ビーム軌道は 8 の字のようになる。電子の速度ベクトルは常にアンジュレータ中心軸からずれていて、8 の字の時計回りと反時計回りの円偏光が打ち消し合って、直線偏光が得られる。

Knot アンジュレータでは水平磁場成分の周期が垂直磁場成分の 1.5 倍になっている。Figure-8 アンジュレータと同様に電子の速度の方向がアンジュレータ中心軸からずれている。放射パワーの角度分布が結び目のような形になることが knot の由来になっている。

しかし、これらのアンジュレータは偏光を切り換えることが出来ない。Knot アンジュレータに APPLE アンジュレータの偏光可変特性を持たせたものが Knot-APPLE アンジュレータである。このアンジュレータでは水平直線偏光、円偏光、垂直直線偏光を発生することができ、すべての偏光モードでビーム軸上の放射パワーを低減することが出来る。

[#]m140018@hiroshima-u.ac.jp

2. Knot-APPLE アンジュレータ

Knot アンジュレータの理想的な磁場分布と放射パワースペクトル分布を Figure 1 に示す。(a)

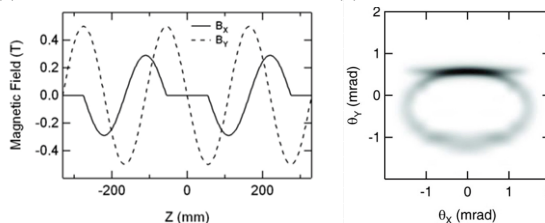


Figure 1: (a) Ideal magnetic field distribution of Knot undulator, (b) spatial distribution of corresponding power density.

水平磁場の周期長は 330mm で垂直磁場の周期長 220mm の 1.5 倍になっている。その結果、放射パワーは Figure 1(b)のように結び目のような形になっている。この理想的な磁場分布を実現する Knot-APPLE アンジュレータの磁石配列を Figure 2 に示す。

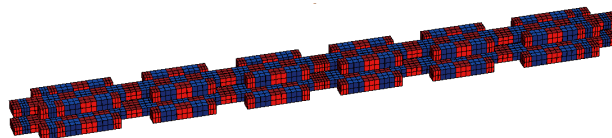


Figure 2 : RADIA model of magnet structure for a Knot-APPLE undulator.

この配列は垂直磁場を発生するハルバック型磁石列をビーム軸の上下に配置して、その両側に水平磁場を発生する磁石列を設置する。水平磁石列は

Figure 2 のように磁場が 0 となる領域を作るために、磁石を設置しない部分がある。この磁石配列での実際の磁場分布と放射パワー分布を Figure 3 に示す。

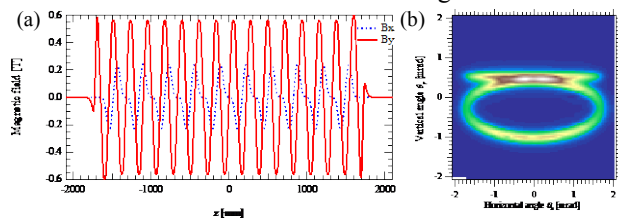


Figure 3: (a) Field distribution, (b) power density of Knot-APPLE undulator in the horizontal linear mode.

円偏光を発生するには、対角に位置する磁石列を並行に動かす。垂直直線偏光は反並行に動かす。

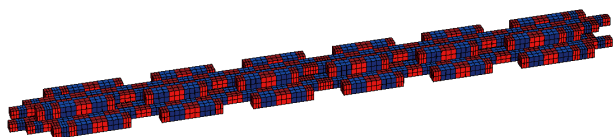


Figure 4: RADIA model of magnet structure for a Knot-APPLE undulator in the circular polarization mode.

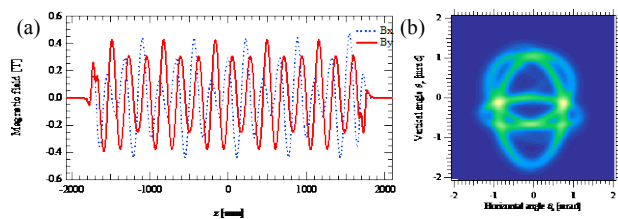


Figure 5: (a) Field distribution, (b) power density in the circular polarization mode.

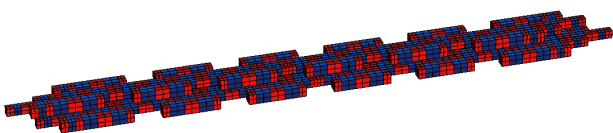


Figure 6: RADIA model of magnet structure in the vertical linear mode.

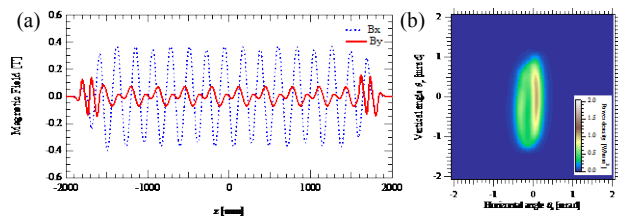


Figure 7: (a) Field distribution, (b) power density in the vertical linear mode.

円偏光モードにおける磁石配列を Figure 4 に示し、磁場分布と放射パワー分布を Figure 5 に示す。Figure 5(b)から確かに円偏光が発生していることが分かる。

同様に垂直直線偏光モードにおける磁石配列を Figure 6、磁場分布と放射パワー分布を Figure 7 に示す。Figure 7(b)のパワー分布は Figure 3(b)の分布が 90° 回転したものとほぼ同等である。このことから垂直直線偏光が発生していることが分かる。なお、計算にはエネルギー 3.5GeV、エミッタンス 11.2nmrad、周長 432m の Shanghai Synchrotron Radiation Facility (SSRF)のパラメータを使用した。

一般的なリニアアンジュレータと Knot-APPLE アンジュレータの水平直線偏光モードのビーム軸上の放射スペクトルの比較を Figure 8 に示す。

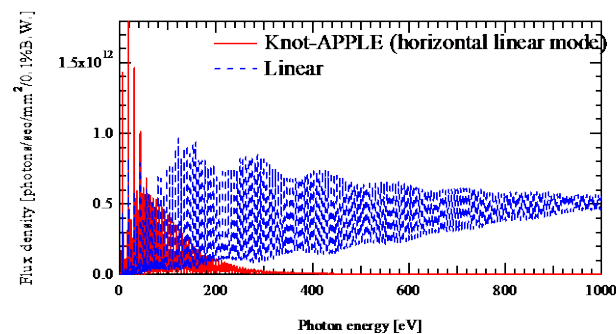


Figure 8: Comparison of photon flux densities.

Figure 8 から明らかなように、一般的なリニアアンジュレータでは高エネルギー領域まで高調波の放射パワーピークが存在しているが、Knot-APPLE アンジュレータではそれが低減されていることが分かる。

各偏光モードのビーム軸上の放射スペクトルを Figure 9-11 に示す。

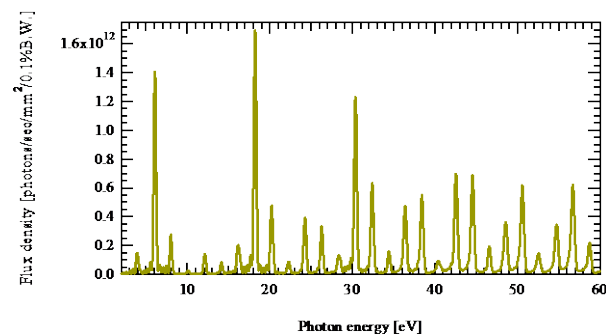


Figure 9: Photon flux density spectrum in the horizontal linear mode.

水平直線偏光モードでの 1 次光 (基本波) のエネルギーは 6.1eV で、偏光度は 98%である。

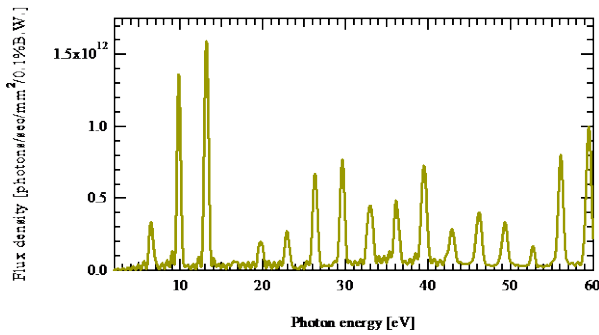


Figure 10: Photon flux density spectrum in the circular mode.

円偏光モードでの 1 次光のエネルギーは 9.8eV で偏光度は 90%である。

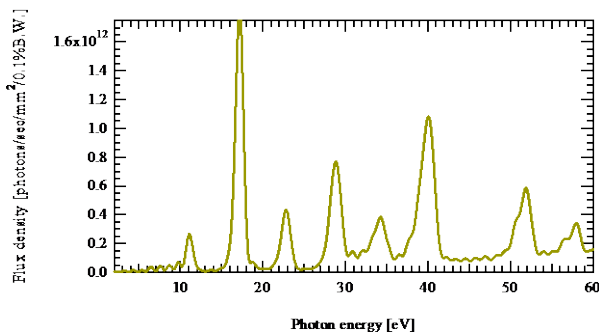


Figure 11: Photon flux density spectrum in the vertical linear mode.

垂直直線偏光モードでの 1 次光のエネルギーは 17eV で、偏光度は 99%である。

3. 磁石配列設計

ここまで Knot-APPLE アンジュレータの性質を述べてきたが、このままの配列では特に垂直直線偏光モードにおいて、垂直磁場成分と水平磁場成分の磁石ギャップ依存性が大きく異なることが分かった。その結果として、特にギャップが大きい場合に高調波の放射パワーピークをビーム軸から十分に外すことが困難になった。この問題の対策として、このモデルよりも最適な磁石の寸法と配列を考える必要がある。一つの案として Figure 12 のような磁石配列を提案する。

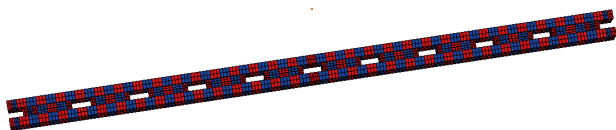


Figure 12: RADIA model of another possible magnet structure for Knot-APPLE undulator

この配列ははじめの磁石配列の垂直磁石列と水平磁石列を入れ替えた構造になっている。この構造により、垂直、水平磁場成分のギャップ依存性の差が

解消できる。しかし、水平磁場成分が強くなってしまい、円偏光度が著しく低下するという別の問題が発生する。そこで水平磁石列をビーム軸から遠ざけるようにオフセットを持たせることで、水平磁場成分と垂直磁場成分のバランスをとることにした。

各偏光モードの磁場分布と放射パワー分布を Figure 13-15 に示す。偏光の切り替えの方法ははじめのモデルと同様に磁石を並行あるいは反並行に動かす。

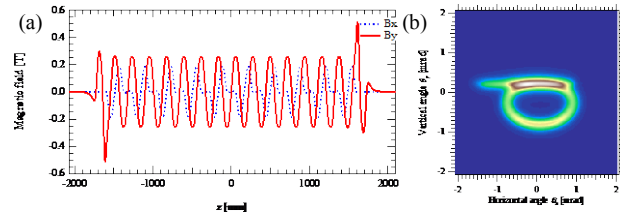


Figure 13: (a) Field distribution, (b) power density in the horizontal linear mode.

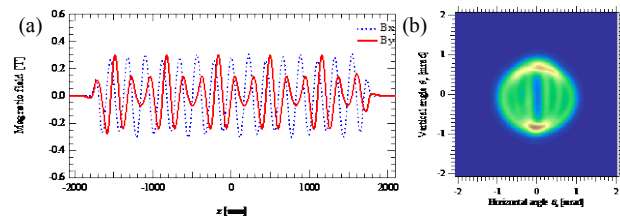


Figure 14: (a) Field distribution, (b) power density in the circular mode.

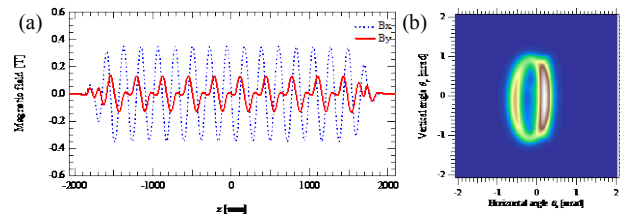


Figure 15 : (a) Field distribution, (b) power density in the vertical linear mode.

Figure 13-15 より、この磁石配列でも各偏光モードで基本波以外の放射パワーをビーム軸から遠ざけることが可能であることが分かる。特に垂直偏光モードでは初めのモデルよりも、磁場成分のバランスが良くなっていて、それが放射パワーの分布に現れている。

4. まとめ

新奇アンジュレータである Knot-APPLE アンジュレータの磁気回路設計を行った。このアンジュレータはビーム軸上の放射パワーの低減と偏向の切り替えが可能である。新たな磁気回路により、はじめの磁気回路よりも各磁場成分のギャップ依存性のアンバランスが解消された。さらに円偏光の放射パワー分布もより真円に近い形になっている。しかし、水平磁場を強くすると円偏光度が低下するという問題は解決されていない。今後ははじめの磁気回路の磁石寸法を変えるなどして、最も理想的な磁気回路を設計する必要がある。

参考文献

- [1] T. Tanaka and H. Kitamura, Nucl. Instrum. Meth. A364, 368 (1995).
- [2] S. Sasaki, B. Diviacco, R.P. Walker, Proc. EPAC98, pp.2237, 1998.
- [3] S. Sasaki, "Undulators, wigglers and their applications," pp.237-243 (Ed. by H. Onuki and P. Elleaume, Taylor & Francis Inc, New York, 2003).
- [4] S. Qiao, et al., Rev. Sci. Instrum., 80, 085108 (2009).