

Knot-APPLE アンジュレータの概念設計

CONCEPTUAL DESIGN OF KNOT-APPLE UNDULATOR

佐々木茂美^{#, A)}, 宮本篤^{A)}, 喬山^{B)}

Shigemi Sasaki^{#, A)}, Atsushi Miyamoto^{A)}, Shan Qiao^{B)}

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

^{B)} Shanghai Institute of Microsystem and Information Technology

Abstract

An intense on-axis radiation power from a linear undulator is a serious problem for a VUV/soft-X-ray beamline at medium or high energy light source facility. This problem may be solved by using a specially designed linear undulator such as Figure-8, Pera, or Knot undulator. However, a permanent magnet undulator of such kind is not capable of generating elliptically polarized radiation. On the other hand, an APPLE undulator is able to generate variable polarization, but is not able to reduce on-axis power density in linear modes. To solve these problems, we investigated various magnetic structures and found that the combination of Knot and APPLE undulator scheme works to generate low on-axis power density in every polarization mode.

1. はじめに

中高エネルギーの放射光源リングで真空紫外線域や軟 X 線域の高輝度放射光を発生するためには、周期長の長いアンジュレータを K 値が非常に大きい状態で用いなければならない。その場合、特に直線偏光アンジュレータでは不要な高次光による放射パワーがビーム軸上に集中し、光学素子への過重な熱負荷が深刻な問題となる。この、軸上の熱負荷を軽減するために Figure-8 アンジュレータが提唱され[1]いくつかの放射光施設で利用に供されている。また、同様の目的のために Pera、Knot、Leaf アンジュレー

タ等のアイデア[2-4]が提唱されているが、Figure-8と同様、円偏光の発生はできず構造も複雑であるためか実現には至っていない。他方、APPLE 型アンジュレータは、左右円偏光、斜め直線偏光等、全ての偏光状態を発生できるが、直線偏光時の軸上パワーの問題は残っている。上記全ての問題を解決すべく、我々は偏光可変かつ全ての偏光モードで軸上の放射パワーを低減できる Knot-APPLE アンジュレータを提唱する。

2. Knot アンジュレータ

Figure 1 に Knot アンジュレータの磁石構造を示す。

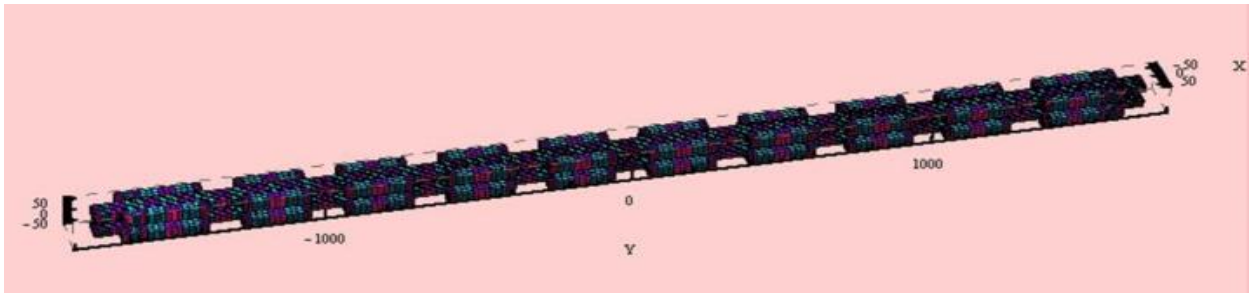


Figure 1: RADIA model of magnet structure for a Knot Undulator.

この磁石構造は、Figure-8 アンジュレータと同様、アンジュレータ中心軸の上下に基本周期長のハルバック型磁石列を配置し、中心磁石列の左右に水平磁場を発生する磁石列を配置する構造となっている。Figure-1 に示した構造の水平磁場を発生する磁石ブロックのビーム軸方向 (Fig. 1 では y 軸方向) のサイズは、端部磁場調整用磁石ブロックを除いて、中心磁石列のものと同じく周期長の $1/4$ としている。また、各セグメントの間には磁場強度が 0 に近いフラットな領域を設けるために磁石を配置しない空隙を設けている。このような構造による水平磁場の周

期長は基本周期の 1.5 倍となっている。Figure 2 に、Figure 1 の構造を持つ Knot アンジュレータの磁場分布を示す。

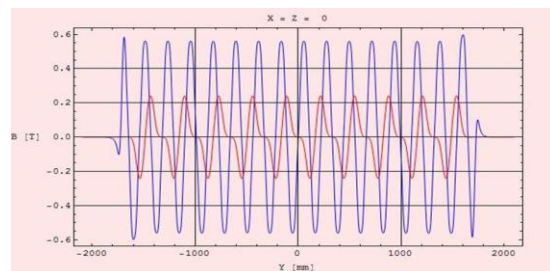


Figure 2: Field distribution of Knot undulator.

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

図中、青い線は垂直磁場、赤い線は水平磁場を示す。垂直磁場成分の周期長は 220mm、水平磁場周期長は 330mm である。

Figure 3 は、3.5 GeV のエネルギーの電子ビームを Figure 2 の磁場を通したときのキックアングル[rad]である。

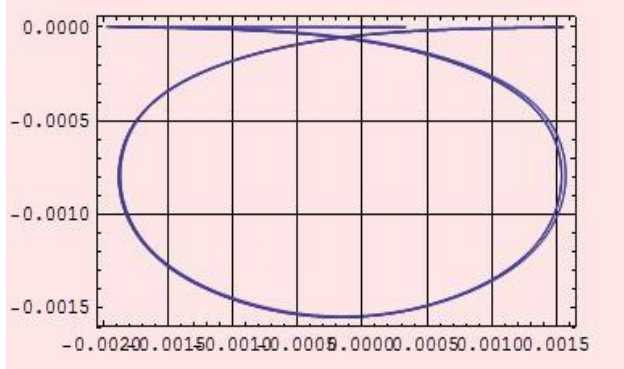


Figure 3: Kick map of Knot undulator.

Figure 4 に軸上放射強度スペクトルを示す。6.2 eV のピーク位置での偏光は水平直線偏光で、偏光度は 99%以上が達成されている。計算に際しては、SSRF のパラメータ、蓄積電子エネルギー $E=3.5$ GeV、電流 $I=200$ mA、エミッタンス $\epsilon_0=11.2$ nmrاد、を用いた。

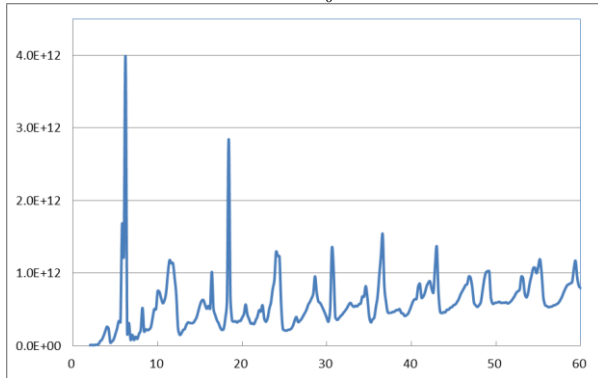


Figure 4: On-axis spatial flux density of the horizontal polarization mode.

3. Knot-APPLE アンジュレータ

Knot-APPLE アンジュレータは、前章で示した Knot アンジュレータの垂直磁場用磁石列を左右二つに分割し、外側の水平磁場を発生する磁石列と合わせて同一の磁石ホルダーに固定し一つの磁石列とし、合計 4 列の磁石列にしたものに、APPLE アンジュレータの磁石位相駆動機構を導入したものである。

3.1 垂直偏光モード

Knot-APPLE アンジュレータを垂直直線偏光モードにするのは、磁石列位相を $\pm\pi$ (± 110 mm) だけ反平行にずらすことにより達成できる。この反平行位相駆動では、通常の APPLE アンジュレータと同様に、直線偏光の偏光面が水平から垂直へ回転するのみで、駆動経路の途中で楕円偏光を発生することはない。

Figure 5 に、垂直直線偏光モードでの磁石配列(一部)を示す。

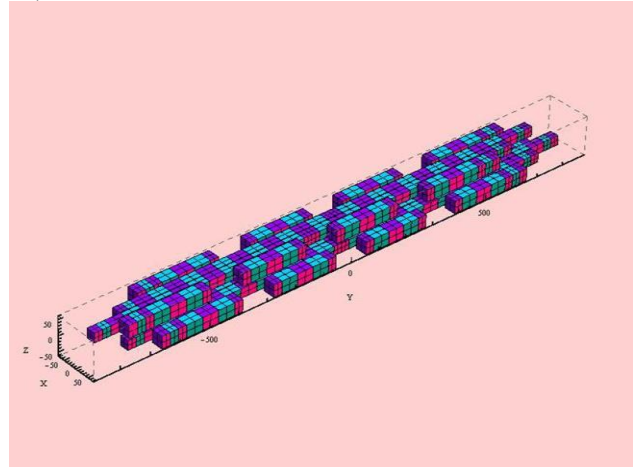


Figure 5: Magnet Structure of Knot-APPLE undulator in the vertical polarization mode.

Figure 6 に垂直偏光モードでの磁場分布、Figure 7 にキックアングルを示す。Figure 2 に示した水平偏光モードの磁場分布と比較すれば明らかなように、垂直偏光モードでは、垂直磁場成分の周期長が水平磁場成分のその 1.5 倍となっている。

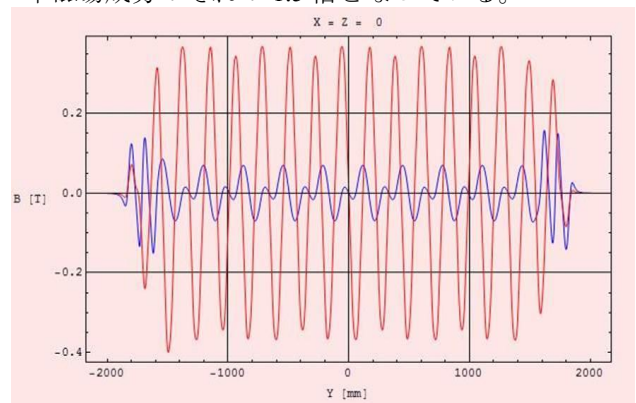


Figure 6: Field distribution of Knot-APPLE undulator in the vertical polarization mode.

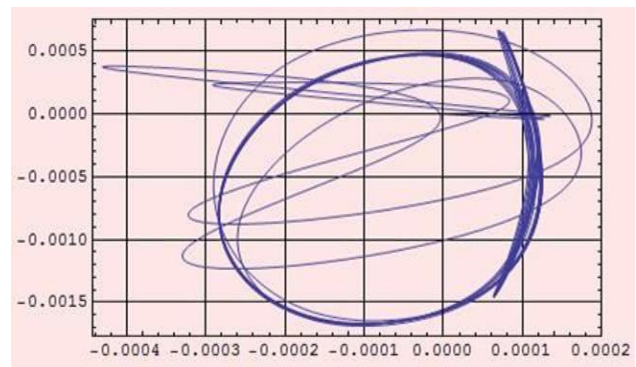


Figure 7: Kick map in the vertical polarization mode.

垂直偏光モードの放射スペクトルを Figure 8 に示す。計算に際し、リングパラメータとアンジュレータギャップは水平偏光モードと同一とした。

ピーク位置 (17.4 eV) での偏光度は 97%である。

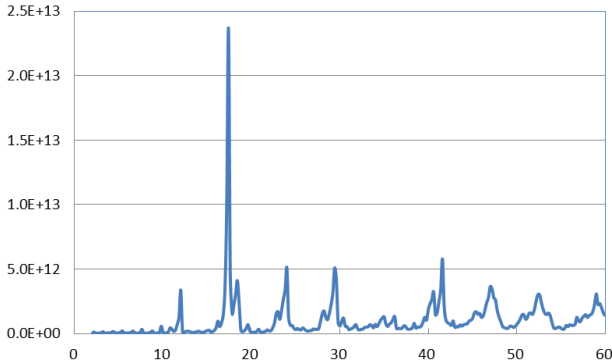


Figure 8: On-axis spatial flux density of the vertical polarization mode.

3.2 楕円偏光モード

楕円偏光を実現するには、磁石位相を反平行に動かす垂直偏光モードと異なり、平行に動かす必要がある。Figure 9 に、楕円偏光モードでの磁石配列(一部)を示す。

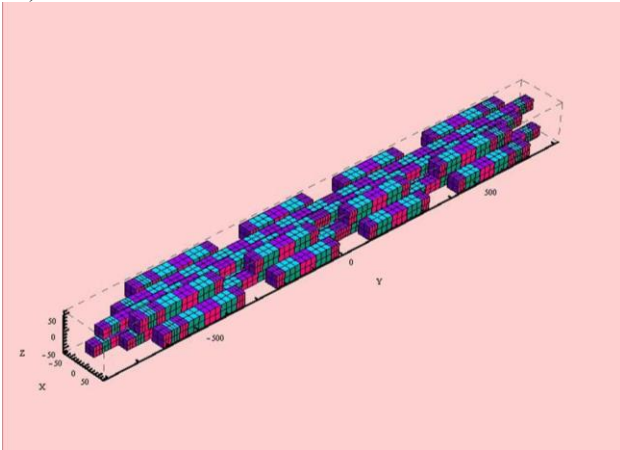


Figure 9: Magnet Structure of Knot-APPLE undulator in the elliptical polarization mode.

Figure 10 に磁石位相 65 mm 時の楕円偏光モードでの磁場分布、Figure 11 にキックアングルマップを示す。

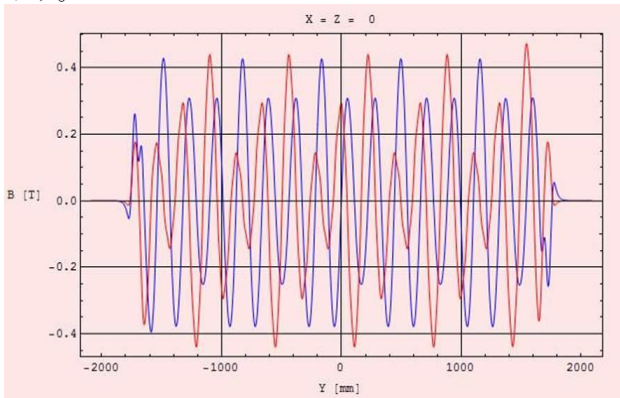


Figure 10: Field distribution of the elliptical mode at magnet row phase $D = 65$ mm.

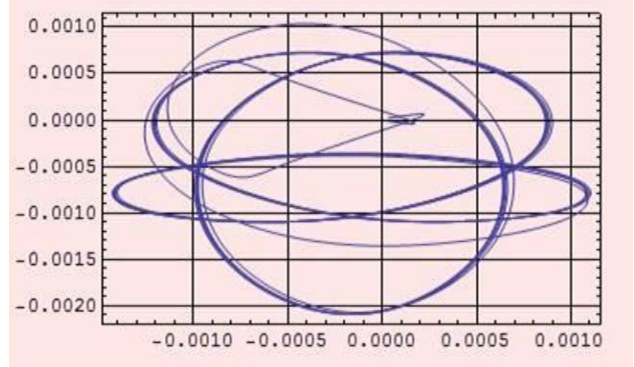


Figure 11: Kick map in the elliptical mode.

Figure 12 にこの楕円偏光モードにおける放射スペクトルを示す。計算に際し、リングパラメータとアンジュレータギャップは上記二つのモードの場合と同じとした。この磁石位相のときの円偏光度は、ピーク位置 (9.8 eV) で 90%である。

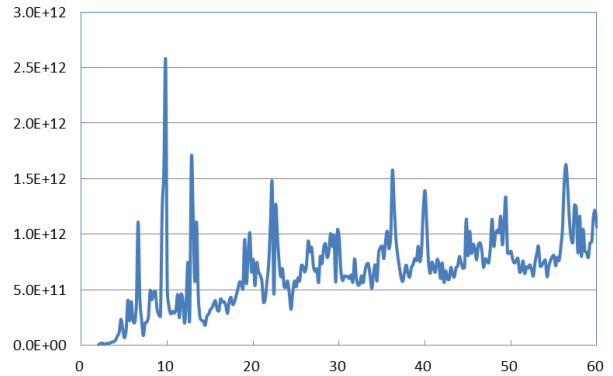


Figure 12: On-axis spatial flux density of elliptical polarization mode.

4. まとめ

世界で現在稼働中の、あるいはこれから建設されるであろう中エネルギーの高輝度光源リングで、真空紫外線域や低エネルギー軟X線を利用する放射光ユーザーを想定して、軸上放射パワーが小さくかつ偏光可変の挿入光源 Knot-APPLE アンジュレータを提唱した。3 GeV クラスの光源リングで、光子エネルギー10 eV 程度の光を発生するには、周期長の長い ($\lambda_u > 200$ mm) アンジュレータを大きな K 値 (~ 10) で使用する必要があり、本アイデアが有用であると考えられる。

参考文献

- [1] T. Tanaka and H. Kitamura, Nucl. Instrum. Meth. **A364**, 368 (1995).
- [2] S. Sasaki, "Undulators, wigglers and their applications," pp.237-243 (Ed. by H. Onuki and P. Elleaume, Taylor & Francis Inc, New York, 2003).
- [3] S. Qiao, et. al, Rev. Sci. Instrum., **80**, 085108 (2009).
- [4] J. Yan and S. Qiao, Rev. Sci. Instrum, **81**, 056101 (2010).