

新型準周期アンジュレータの開発研究

R&D FOR NEW TYPE QUASI-PERIODIC UNDULATOR

美馬初哉^{#,A)}, 宮本篤^{B),*}, 佐々木茂美^{B)}

Hatsuya Mima^{#,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

The synchrotron radiation spectrum generated by a periodic liner undulator contains higher harmonics of integral multiple of the fundamental harmonic in the spectrum. These higher harmonics are usually an obstacle to user's experiments. Therefore, one has to use many optical elements such as monochromator, band-pass filter, and mirror to eliminate unwanted higher harmonics. However, such kind of beamline setup may cause a reduction of photon beam intensity. In order to solve these difficulties, the quasi periodic undulator (QPU) was invented in which higher harmonics appear at irrational positions instead of rational positions in the spectrum. A combination of a QPU and a single monochromator can provide highly monochromatic photon beam for end-users. Until today, QPU used in all over the world are designed to reduce the peak magnetic field strength at certain positions representing the quasi-periodicity which introduces a small phase advance of photon wave at every QP position in an undulator. In this study, we design a new type QPU by increasing the magnetic field strength at every QP position to introduce a larger phase advance of the photon wave. In this paper, we introduce a new QPU model, and compare capability of new type QPU and conventional QPU.

1. 序論

放射光利用研究には、高調波の混じらない単色の光を必要とする実験があるが、単色光を手に入れるための第一方法に光学素子による方法が考えられる。全反射ミラーや2つの結晶モノクロメータを用いることで単色光を得ることができる。しかし、これらの方法では強度を犠牲にってしまうことや配置調整が難しいといった欠点がある。この欠点を克服するために考案されたのが準周期アンジュレータである。準周期アンジュレータは並進対称性を持たないにもかかわらず、長距離秩序を持つというユニークな性質を持つ準結晶からのX線散乱をアンジュレータの放射とを結び付けることで考え出された。準結晶からの回折班は等間隔には並ばない。これをアンジュレータから放射される光に応用できると高調波は等間隔に現れない。準周期性をアンジュレータに反映するために、アンジュレータ磁石の磁場を準周期位置で変化させることで、電子と光の位相差に準周期性を持たせることができる。^[1-3]このように実際に準周期位置で磁場を弱めることで準周期化したアンジュレータが世界中で使われている。しかし、同様に磁場を準周期位置で強めるタイプの準周期アンジュレータは考案されているものの、従来の準周期アンジュレータと性能を比較するところまで至っていない。そこで、磁場を弱めるタイプの準周期アンジュレータと新型準周期アンジュレータからのスペクトル比較を行った。また、2次元の格子空間から投影法を用いて準周期を作成し、その格子空間にフーリエ変換を施すことで理論強度を求めた。

2. 各アンジュレータのパラメータ

第一に周期的な場所での磁場強度を0.43 Tに統一し、従来型QPUと新型QPU、PUからの放射光スペクトルを比較する。この時、RADIA^[4]を用いてTable 1のアンジュレータのパラメータから磁場の計算を行う。

Table 1: Parameters of Undulator

名称	新型 QPU	従来型 QPU	PU
全長[mm]	2037.5	2037.5	2037.5
周期長[mm]	50	50	50
磁石の種類	NdFeB	NdFeB	NdFeB
残留磁束密度[T]	1.2	1.2	1.2
ギャップ[mm]	20.3	24.5	24.4
周期位置での最大磁場 B_p [T]	0.43	0.43	0.43
準周期位置での最大磁場 B_q [T]	0.50	0.355	—
ギャップオフセット [mm]	5	0	0
準周期位置のギャップオフセット[mm]	0	7.5	0

[#] mr.wimindow@gmail.com

* present address : TOSHIBA Power System Company

Figure 1, Figure 2, Figure 3 にそれぞれのアンジュレータにおける磁場分布を示す。

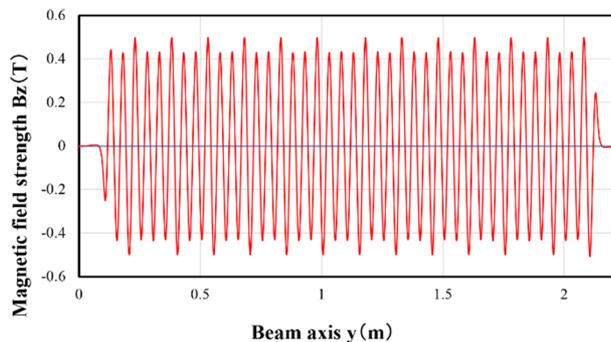


Figure 1: Magnetic field distribution of new QPU.

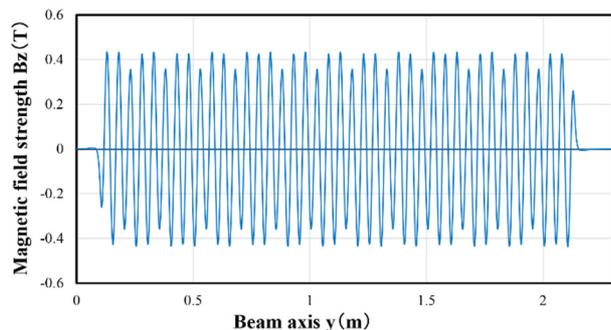


Figure 2: Magnetic field distribution of existing QPU.

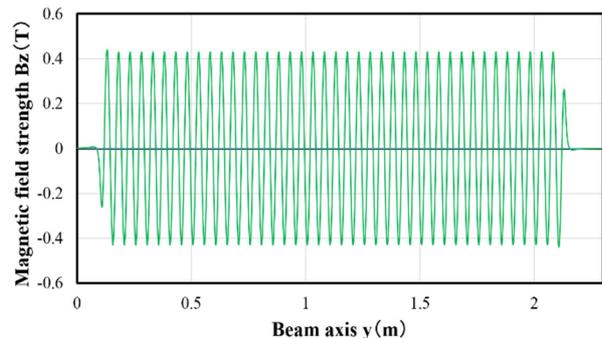


Figure 3: Magnetic field distribution of PU.

3. 放射光スペクトル

2 節で得られたそれぞれの磁場分布からアンジュレータ光のスペクトルを求める。この時、計算に用いたビームのパラメータを Table 2 に示す。

Table 2: Parameters of Beam at HiSOR-II

名称	値
蓄積電子のエネルギー[MeV]	700
周長[m]	147.517
エミッタンス[nm rad]	8.8
エネルギー広がり	5.68×10^{-4}
電流[mA]	300
ベータトロン関数 β_x [m]	5.0
ベータトロン関数 β_y [m]	5.0
ハーモニック数	50
パンチ長[mm]	23.99
カップリング[%]	10.0

スペクトル計算には計算コード SPECTRA10.0^[5]を用いた。Figure 4, Figure 5, Figure 6 にそれぞれのアンジュレータ光のスペクトル分布を示す。

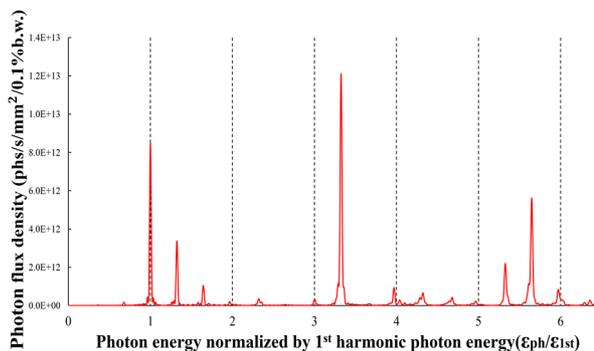


Figure 4: Radiation spectrum of new QPU.

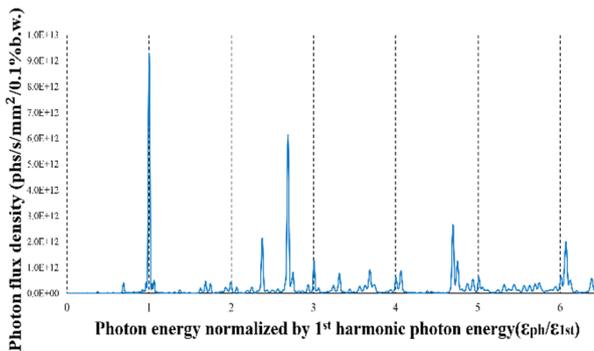


Figure 5: Radiation spectrum of existing QPU.

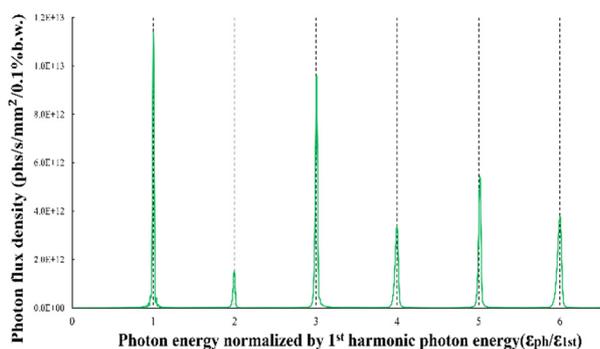


Figure 6: Radiation spectrum of PU.

新型 QPU が高エネルギー側の無理数次に高調波がシフトしていることがわかる。新型 QPU のスペクトルを理論計算と比較した結果を Figure 7 に示す。

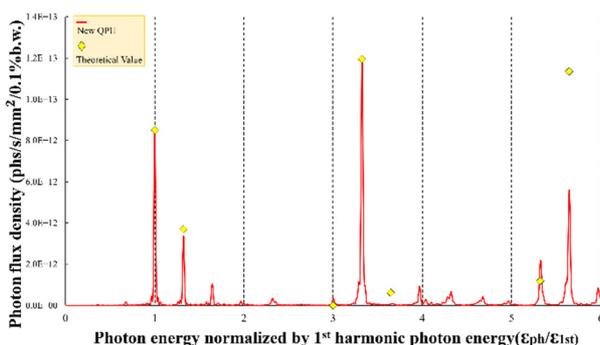


Figure 7: Comparison of theoretical value and radiation spectrum of new QPU.

Figure 7 より理論値とほぼ一致していることが見て取れる。したがって新型 QPU の設計が正しくできたと考えられる。3 種類のアンジュレータ光のスペクトルを Figure 8 に示す。

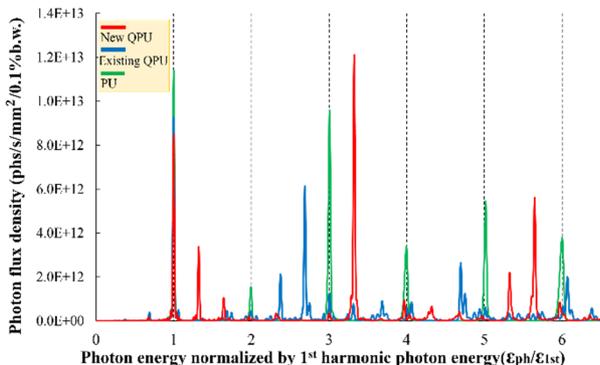


Figure 8: Comparison spectra of three different type of undulator.

どちらの QPU も高調波のエネルギー位置が 1 次光のエネルギーの整数倍の位置からずれていることが確認できる。従来型 QPU は低エネルギー側に高調波がシフトしており、新型 QPU は高エネルギー側に高調波がシフトしている。ここでのスペクトルはそれぞ

れの 1 次光のエネルギーを規格化して、比較しているが、実際は 1 次光のエネルギーはそれぞれ異なる値を持っている。したがって次にそれぞれのアンジュレータのギャップを変えることで、1 次光のエネルギーを 30eV に統一し比較を行う。それぞれのアンジュレータのギャップは Table 3 に示す。

Table 3: Gap of Three Different Type of Undulator

アンジュレータの種類	ギャップ (mm)
新型 QPU	20.88
従来型 QPU	23.66
PU	24.07

Figure 9 に上記の条件でスペクトルを求めた結果を示す。

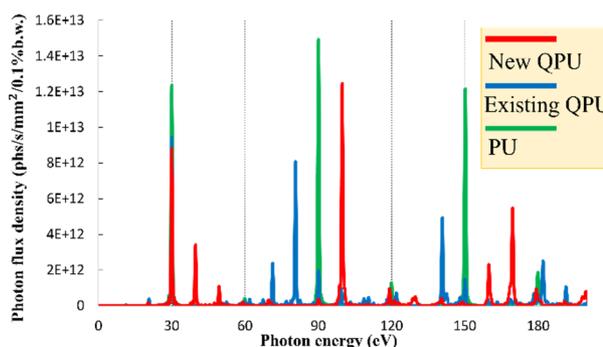


Figure 9: Comparison spectra of three different type of undulator ($E_{1st} = 30$ eV).

Figure 9 の結果から 1 次光のエネルギーで規格化したことによる影響はほとんどないことがわかる。

4. まとめ

本論文では、2 種類の準周期アンジュレータと 1 種類の周期アンジュレータの放射光スペクトルを比較した。新型準周期アンジュレータが従来型準周期アンジュレータと同じように高調波が無理数次にずれていることが確認できた。3 次光付近のスペクトルに注目すると新型準周期アンジュレータの放射光強度が従来型と比べ、約 2 倍高強度になっていることがわかる。したがって、より明るい 3 次光付近のエネルギーの光を用いて実験をしたいユーザーにとって、従来型のものより新型の準周期アンジュレータの方が適しているといえる。

参考文献

- [1] S. Hshimoto, S. Sasaki, Nucl. Instr. Methods in Phys. Res. , A361, 611, (1995).
- [2] S.Sasaki, Proceedings of IPAC'10, Japan (2010).
- [3] S.Sasaki, Proceedings of Particle Accelerator Society Meeting 2009, JAEA, Japan.