

軌道角運動量を持つ光：光渦ビームの生成の試み Attempt to generate x-ray beam carrying orbital angular momentum

中尾裕則

高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所 放射光

〒305-0801 つくば市大穂 1-1

Hironori NAKAO*

Photon Factory, Institute of Materials Structure Science,

High Energy Accelerator Research Organization,

1-1 Oho, Tsukuba, 305-0801, Japan

1 はじめに

第3世代の放射光施設では光の位相の揃ったコヒーレントX線を利用した研究が進んでいるが、この光の等位相面をらせん状に制御した光渦と呼ばれるX線ビームが、新たな光として注目されている[1]。また光の等位相面をらせん状に制御した結果として、X線が軌道角運動量を持ち、この光渦ビームを用いた新たな光学遷移過程の観測の可能性としても注目されている[2]。この光渦ビームの生成方法として、回折限界光源の条件のもとAPPLE-II型の挿入光源を利用することで、軌道角運動量を持った光子が生成できることが、理論・実験で報告された[3,4]。この挿入光源より生成されるX線ビームは、純粋に光子1個1個が軌道角運動量を持っており、回折限界光源ではない光源においても光渦ビームの生成が期待できると考えた。そこで、回折限界条件ではない光源であるPhoton Factory (PF)において、光渦ビームの生成を試みた[5]。

2 ビームプロファイルの計算

回折限界光源ではないPFでAPPLE-II型の挿入光源を利用して光渦ビームの生成が可能なのか、SPECTRA[5]を用いたビームプロファイル計算により検討した。まず、PFが回折限界光源であった場合に、既存のBL-16AのAPPLE-II型挿入光源で作られるビームプロファイルを計算した。図1に円偏光を取り出す挿入光源の条件での(a)1次光(525 eV)と(b)2次光(1050 eV)の強度分布(光源から15m地点)の計算結果を示す。図1(b)の2次光が、特徴的なドーナツ状の強度分布を示し、光の等位相面がらせん状になり、光軸の中心が位相特異点となって暗点となる軌道角運動量を持った光渦ビームが、これまでの報告通り計算できていることがわかる。続いて、現在のPFの光源パラメータを用いた計算結果を図1(c),(d)に示す。回折限界光源と比較してPFでは水平面方向(x)のエミッタンスが大きく、ビームが横に広がっていることがわかる。結果2次光は、ドーナツ状の強度分布ではなくなっているが、水平面上の強度が弱く、上下にずれた位置にピークを持つ強度分布となることが分かった。

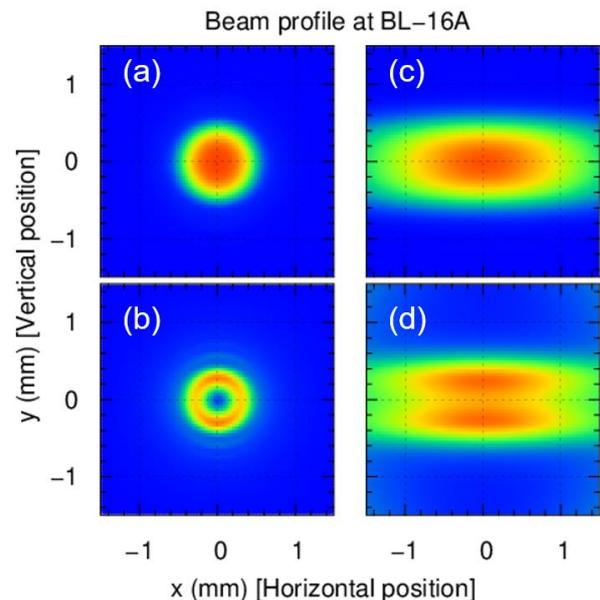


図1：ビームプロファイルの計算結果。回折限界光源の光源パラメータでの円偏光挿入光源からの(a)1次光(525 eV)、(b)2次光(1050 eV)の計算結果と、実際のPFの光源パラメータでの(c)1次光、(d)2次光の計算結果。

3 実験結果

BL-16AのAPPLE-II型挿入光源を1台使い、光渦ビームの生成を試みた。挿入光源からのビームプロファイルは、光源から15m地点のマスクを垂直方向(y)に移動させるナイフエッジスキャンを行うことで測定した。(実験条件の詳細は、文献[5]を参照のこと)まず挿入光源を円偏光条件で固定し、1次光と2次光のエネルギー近傍で、ビームプロファイルのエネルギー依存性を測定した。ビームプロファイルが一番シャープになるエネルギー525eV, 1040 eVを、それぞれ1次光、2次光と決定した。1次光と2次光のビームプロファイルを図2(b)に示す。比較のために、計算結果を図2(a)に示しているが、大まかに実験と計算が合っていることがわかり、光渦ビームが生成されていることが期待される。

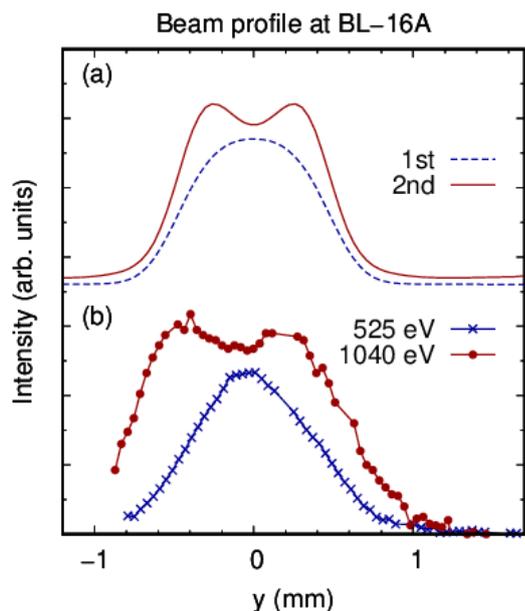


図2：1次光、2次光の垂直方向のビームプロファイルの(a)計算結果と(b)測定結果。

次に、生成した X 線ビームが軌道角運動量を持っているのか検証するために、生成した X 線を用いピンホールの回折パターンを測定した。しかしながら、軌道角運動量を持つことを反映した回折パターンは観測されなかった。計算により検証したところ、回折限界光源でない PF で得られる X 線ビームは、位相特異点が空間的に広く分布しているため、ピンホールからの回折では軌道角運動量を持っているのか検証できないことが分かった。

4 まとめ

BL-16A の挿入光源を利用して、光渦ビームの生成を試みた。計算通りのビームプロファイルを持つ光が得られたものの、軌道角運動量を持っていることを実証することはできていない。なお、得られた X 線ビームを用いた新たな光学遷移過程の観測の可能性は残されている。ただし、世界的に研究されてきたと思われる新たな遷移過程[2]は、現在ところ報告されていない。したがって、微弱と予想される新たな光学遷移過程の BL-16A での観測は難しいと、現在は考えている。一方、光渦の概念から、新たなイメージングの可能性など議論されており、今後の展開を期待している。

謝辞

本研究は、山崎裕一(NIMS)、水牧仁一郎(JASRI)、田端千紘(京大)、鈴木(酒巻)真粧子(群馬大)、雨宮健太(KEK)の各氏との共同研究である。また研究のアイディアは、KEK 放射光 Conceptual Design Report を取りまとめている中で出てきたものであり、関係者に感謝致します。

参考文献

- [1] L. Allen et al., *Phys. Rev. A* **45**, 8185 (1992).
- [2] M. Veenendaal and I. McNulty, *Phys. Rev. Lett.* **98**, 157401 (2007).
- [3] S. Sasaki and I. McNulty, *Phys. Rev. Lett.* **100**, 124801 (2008).
- [4] J. Bahrtdt et al., *Phys. Rev. Lett.* **111**, 034801 (2013).
- [5] H. Nakao et al., *AIP Conf. Proc.* **2054**, 060035 (2019).
- [6] T. Tanaka and H. Kitamura, *J. Synchrotron Radiat.* **8**, 1221 (2001).

* hironori.nakao@kek.jp