

タンデムアンジュレータ によるベクトルビーム発生

#松葉 俊哉 (広大放射光), 川瀬 啓悟 (量研), 宮本 篤 (東芝),
佐々木 茂美 (上海科技大), 藤本 将輝 (分子研 UVSOR),
許斐 太郎 (高工研), 山本 尚人 (高工研),
保坂 将人 (名大SR), 加藤 政博 (分子研 UVSOR)

第16回日本加速器学会年会

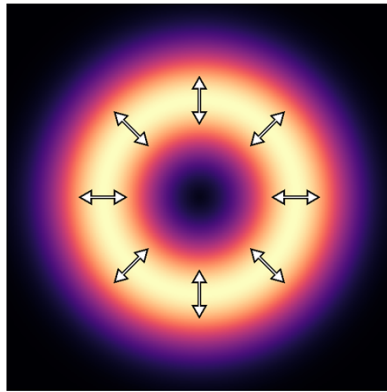
2018/0810 ハイブ長岡 (長岡市)

発表の概要

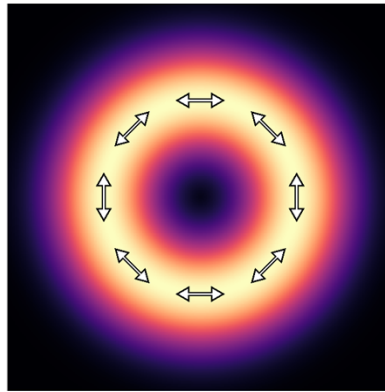
- イントロダクション
- ベクトルビーム発生 の原理
- ベクトルビーム発生実験の結果

ベクトルビームとは

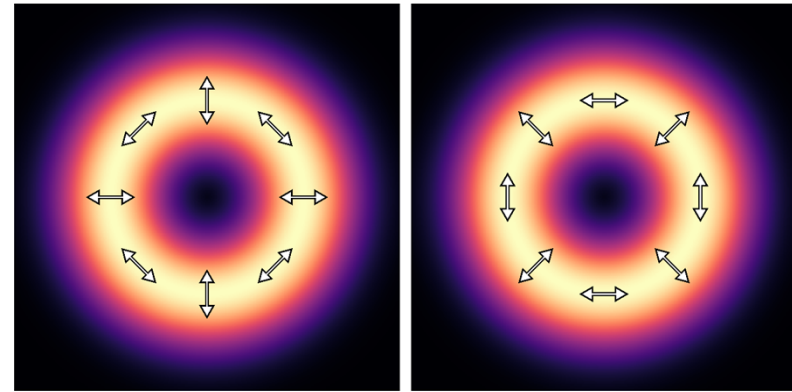
ラジアル偏光



アジマス偏光



anti-vortex mode



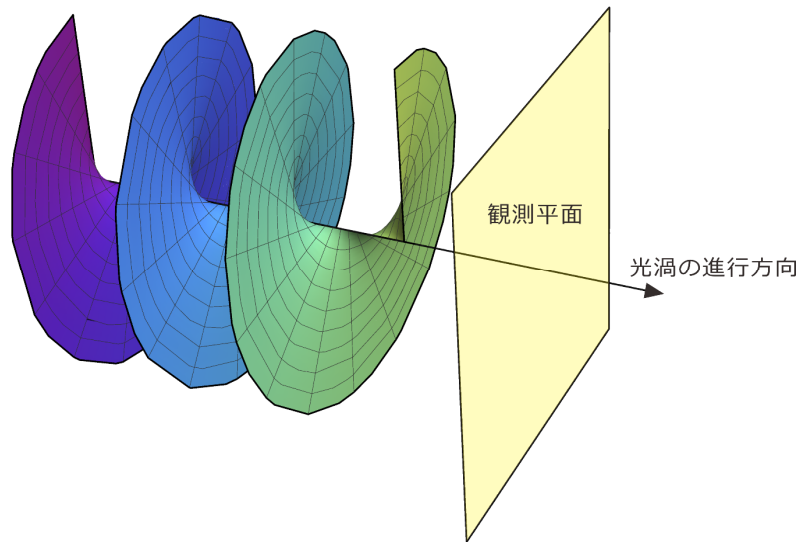
この他にも一周で複数回回転するものや、さらに円環が複数になるようなものも存在する。

ラジアル偏光は収束させると、回折限界を超えて収束され、強い縦方向の電場が出てくる。

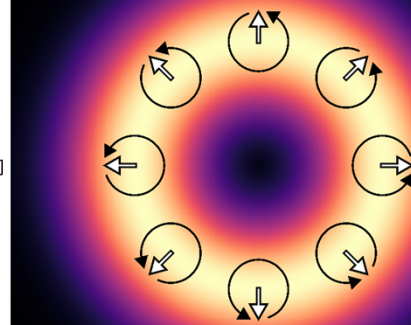
ベクトルビームや光渦といった空間的に強度、位相、偏光状態が操作された光はStructured lightと呼ばれ、近年注目を集めている。

光渦

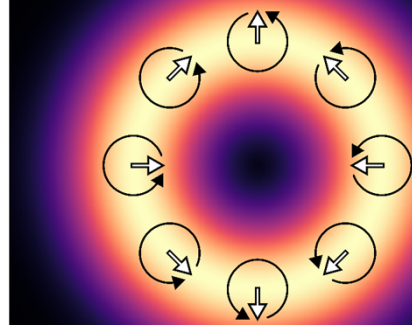
光渦は偏光状態は一様、位相が位置によって変化する



左円偏光が右旋回の光渦

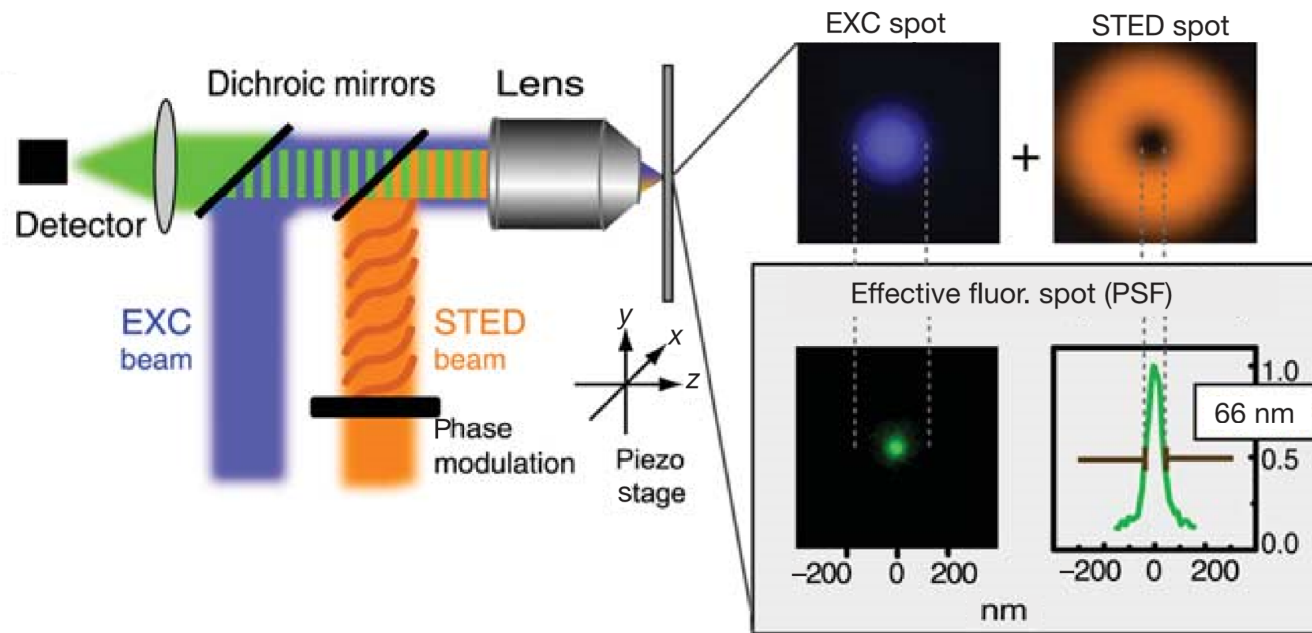


左円偏光が左旋回の光渦



超高解像顕微鏡への応用

光渦を応用した超高解像の蛍光顕微鏡は
2014年のノーベル化学賞を受賞



- Kartin I. Willig et. al., nature, 440, 13 (2006)

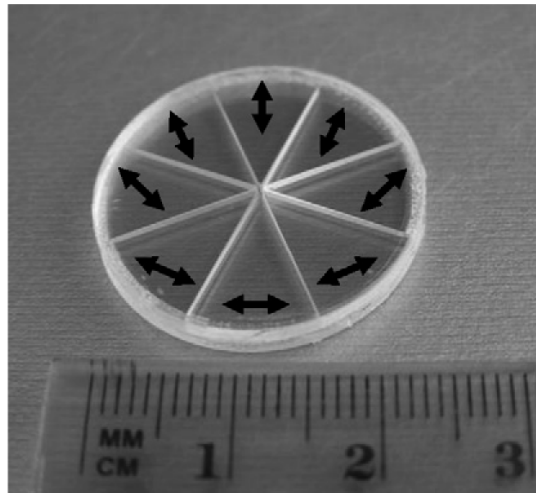
ベクトルビームもconfocal microscopy, two photon microscopy,
Dark field microroscopyなどに応用されている。

ベクトルビームや光渦の生成法

レーザーと光学素子で発生する方法が一般的で
可視光や赤外領域での研究が盛んだった

ベクトルビーム

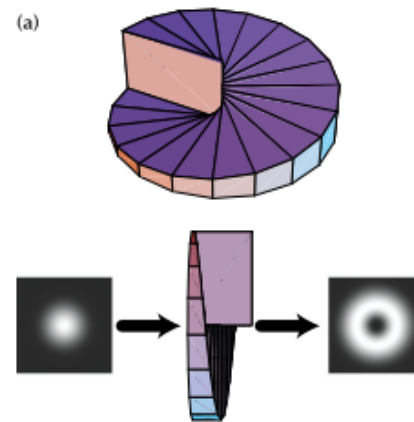
2分の1波長板の速軸を
場所によって変える
Segmented $1/2\lambda$ plate



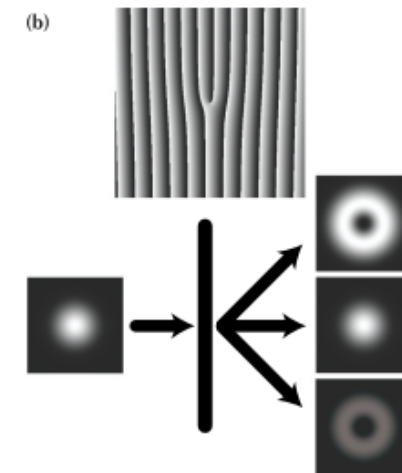
G.Machavariani, et. al., Opt comm
281, 4, p732 (2007)

光渦

Spiral phase plate



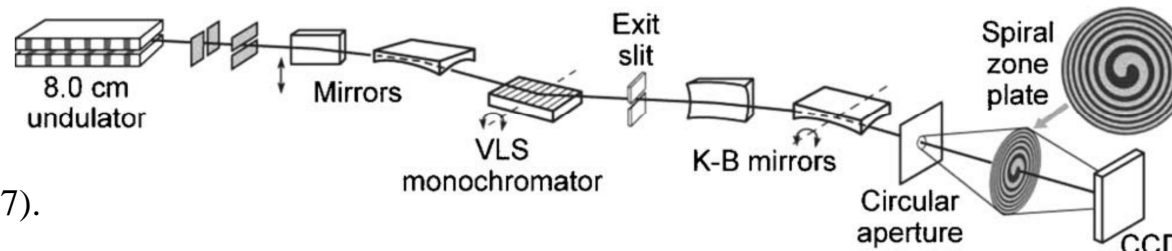
Fork grating



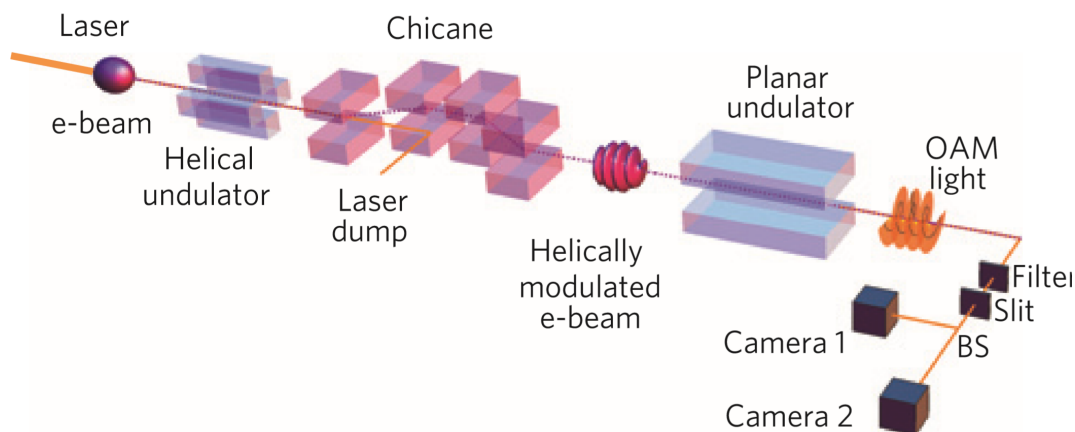
J. Courtial, et. al., Eur. Phys. J. Special Topics 145, 35 (2007)

加速器光源での光渦生成例

放射光をアパーチャーを通して
Spiral Zone plate を入れる。



Anne, sakdinewat et. al., Opt lett. **32**, 18 (2007).

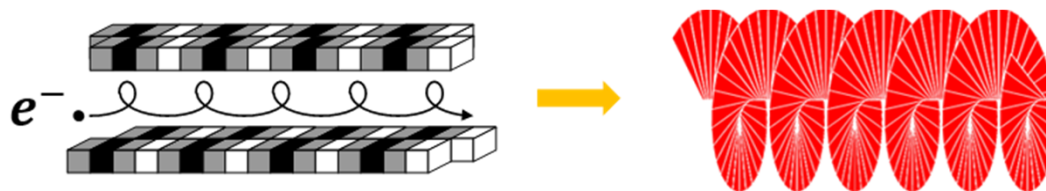


らせん状のバンチからの放射

E. Hemsing, et. al., Nat. Phys. **9**, 549 (2013).

円偏光アンジュレータの高次放射

S. Sasaki and I. McNulty, Phys. Rev. Lett. **100**, 124801 (2008).
 J. Bahrtdt, et. al., Phys. Rev. Lett. **111**, 034801 (2013)
 M. Katoh, et. al. Sci. Rep. **7**, 6130 (2017).

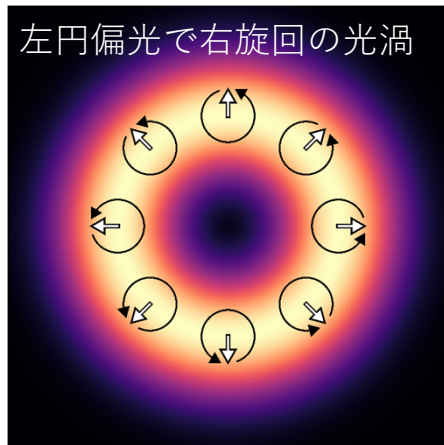


発表の概要

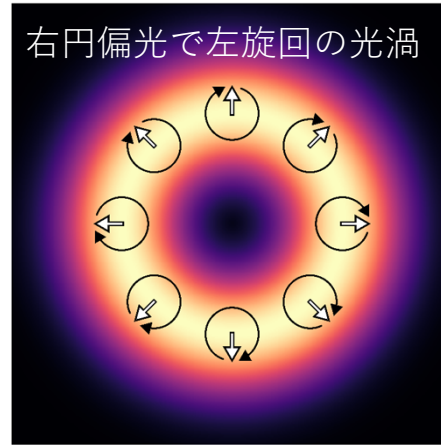
- イントロダクション
- ベクトルビーム発生の原理
- ベクトルビーム発生実験の結果

ベクトルビーム発生 の原理

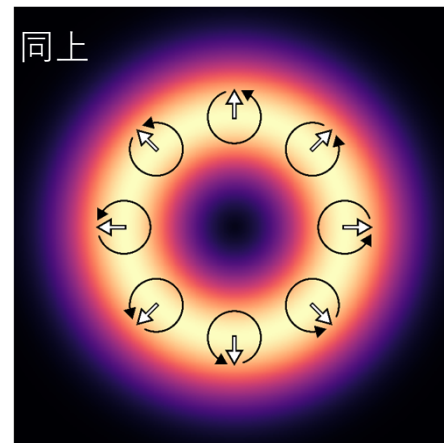
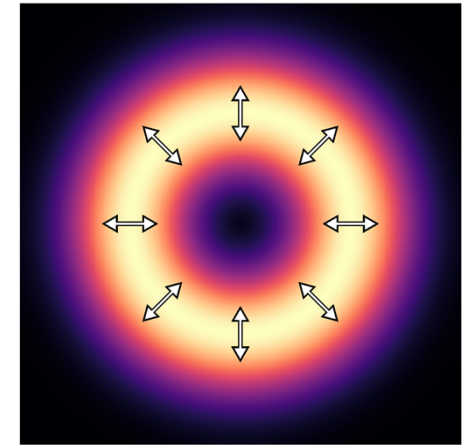
逆旋回らせん面を持つ左右の円偏光を重ね合わせることでベクトルビームができる



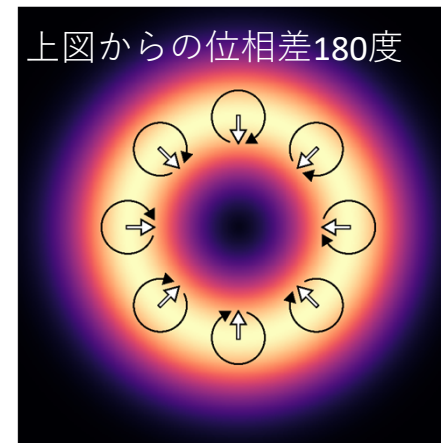
+



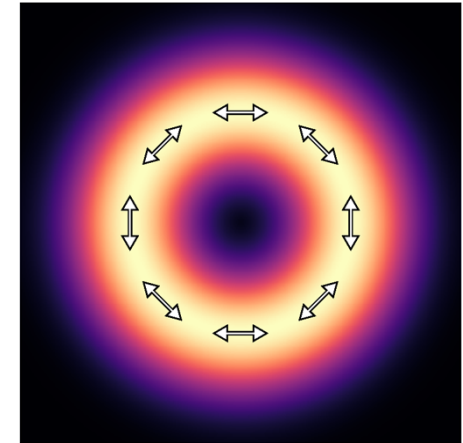
=



+

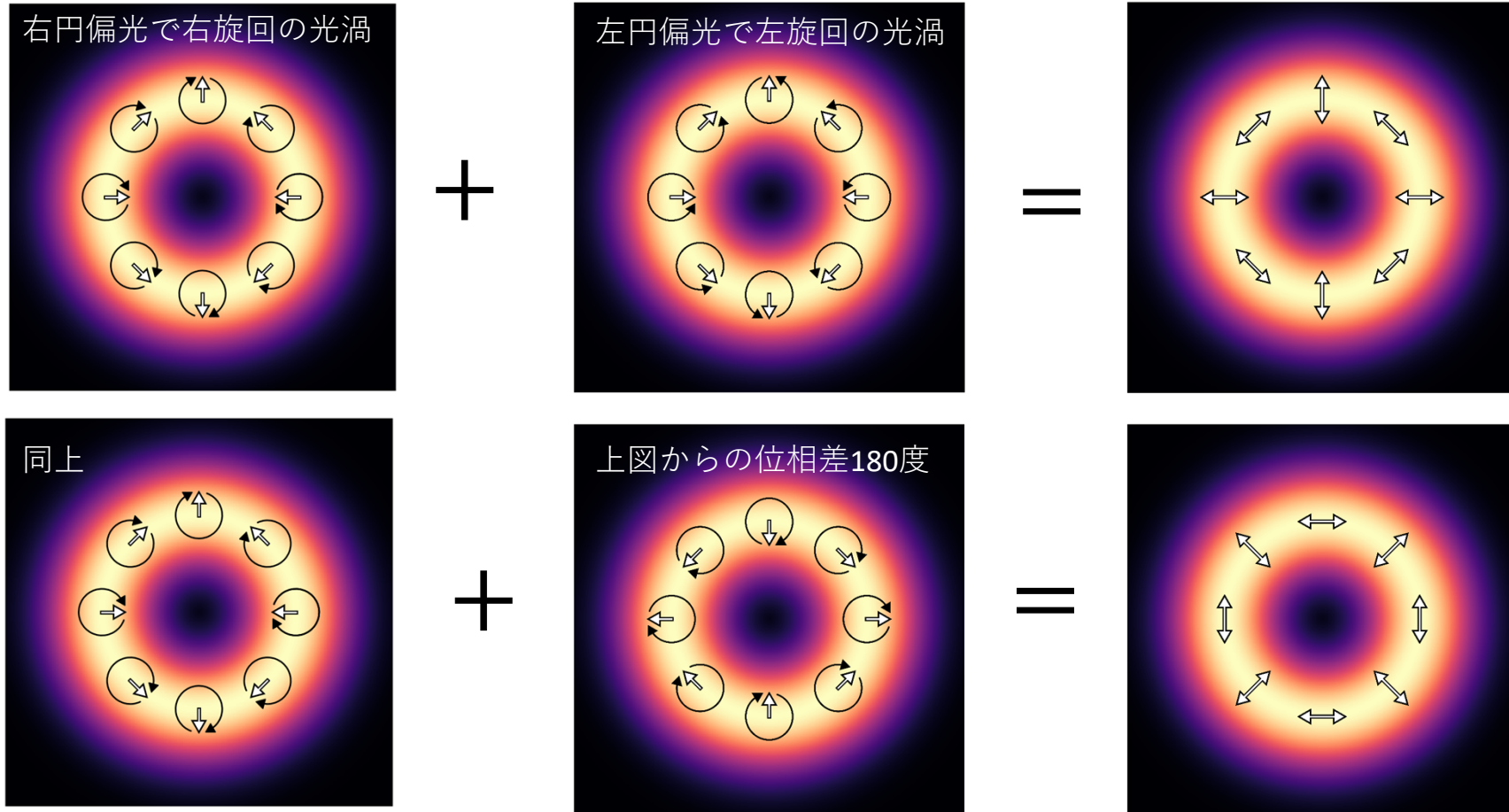


=



ベクトルビーム発生 の原理

らせん面の旋回方向を逆転させると anti-vortex mode のベクトルビームができる。



逆円偏光のアンジュレータの2次光を重ね合わせることでベクトルビームができる。

クロスアンジュレータ

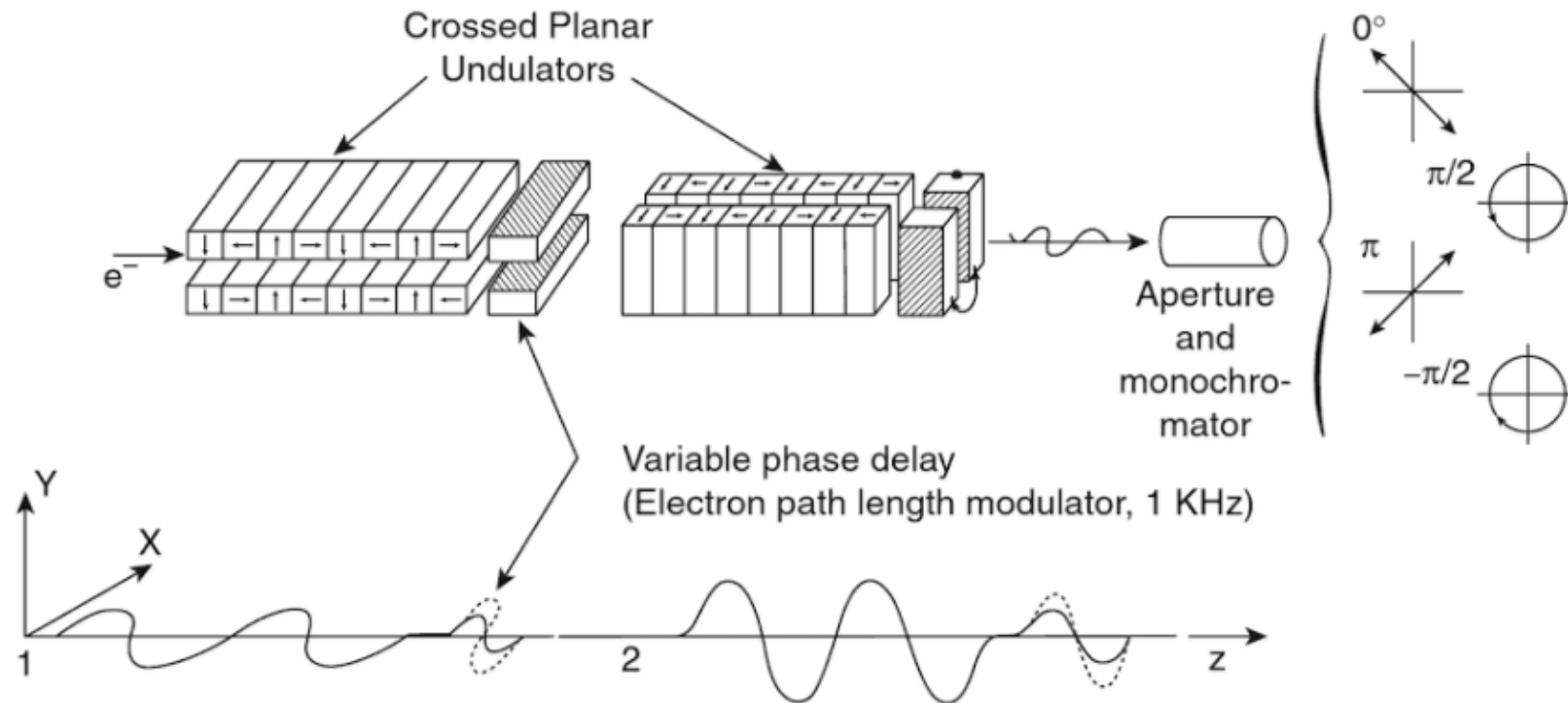


Figure 2.11 Schematic of a pair of crossed undulators, which could be used to produce variably polarized radiation. Reproduced from Ref. [22]. K-J. Kim, Nucl. Instr. and Meth. 219 , 425 (1984).

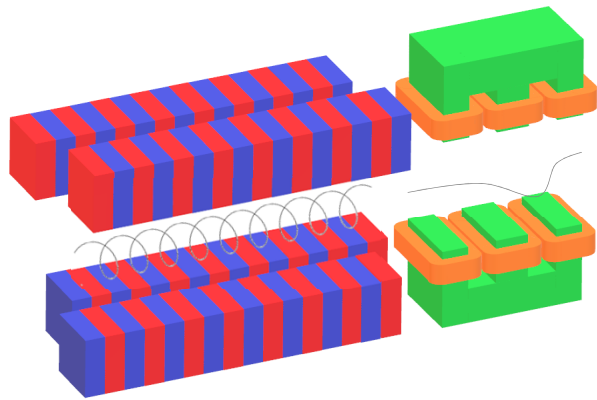
クロスアンジュレータの手法を2次元に拡張して円偏光アンジュレータの放射する光渦を重ね合わせる。

発表の概要

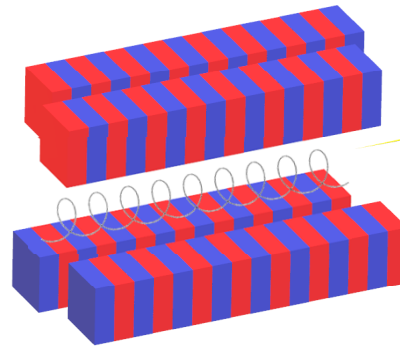
- イントロダクション
- ベクトルビーム発生 の原理
- ベクトルビーム発生実験の結果

分子研UVSOR-III BL1Uで実験

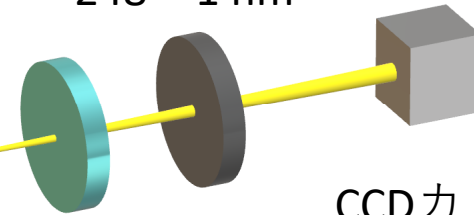
APPLE-II
右円偏光
1次光 496 nm
2次光 248 nm フェーズシフタ



APPLE-II
左円偏光
1次光 496 nm
2次光 248 nm



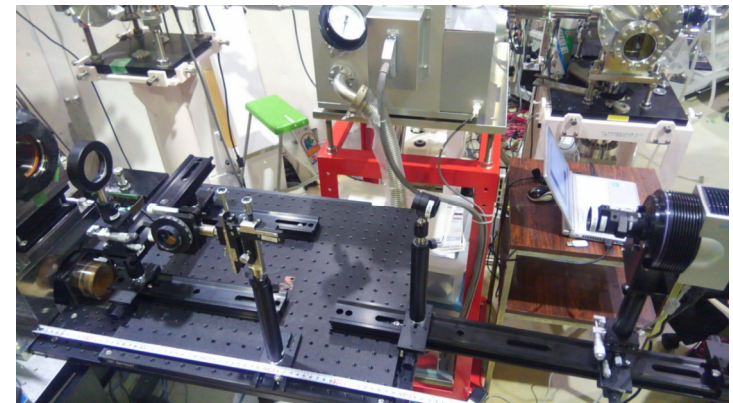
バンドパス
フィルタ
248 ± 1 nm



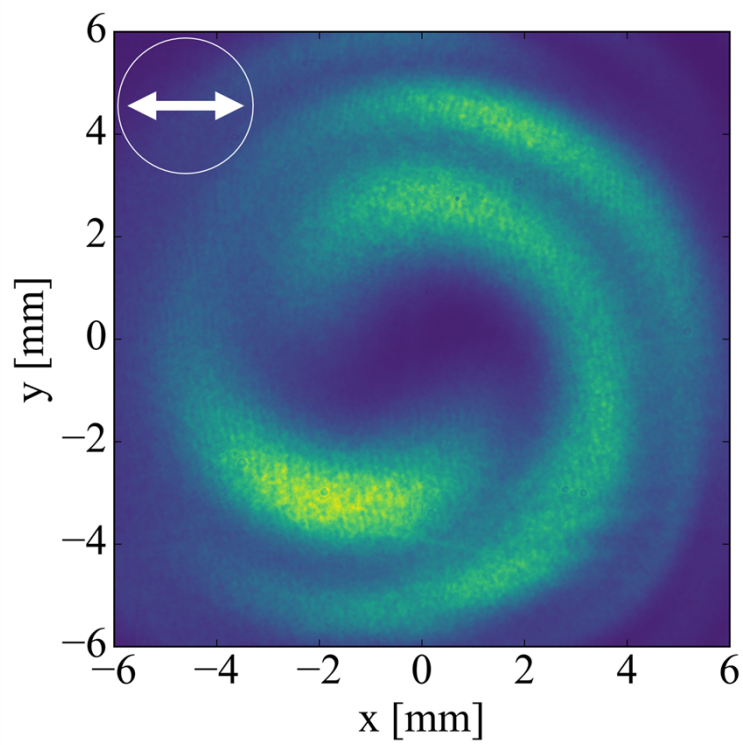
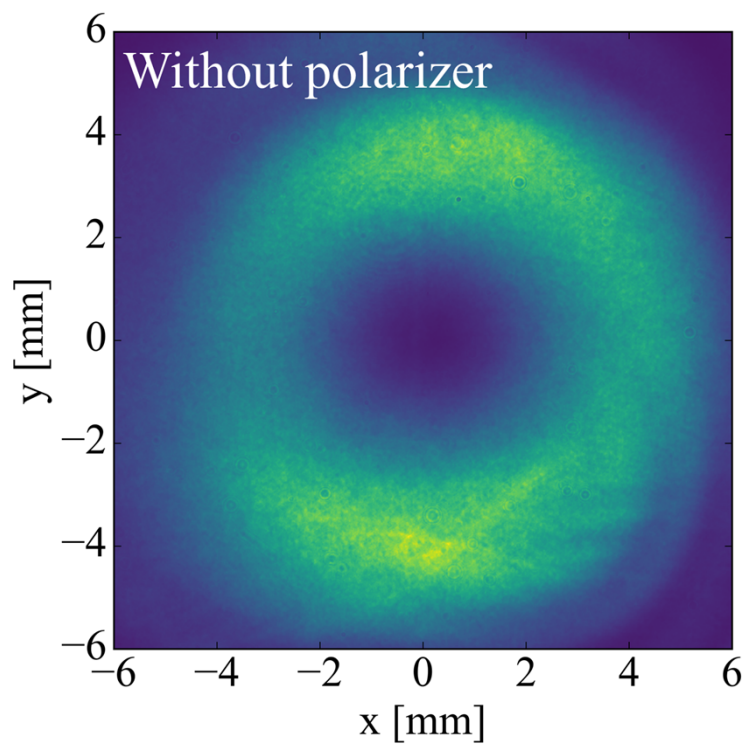
CCDカメラ

ワイヤグリッド
偏光子

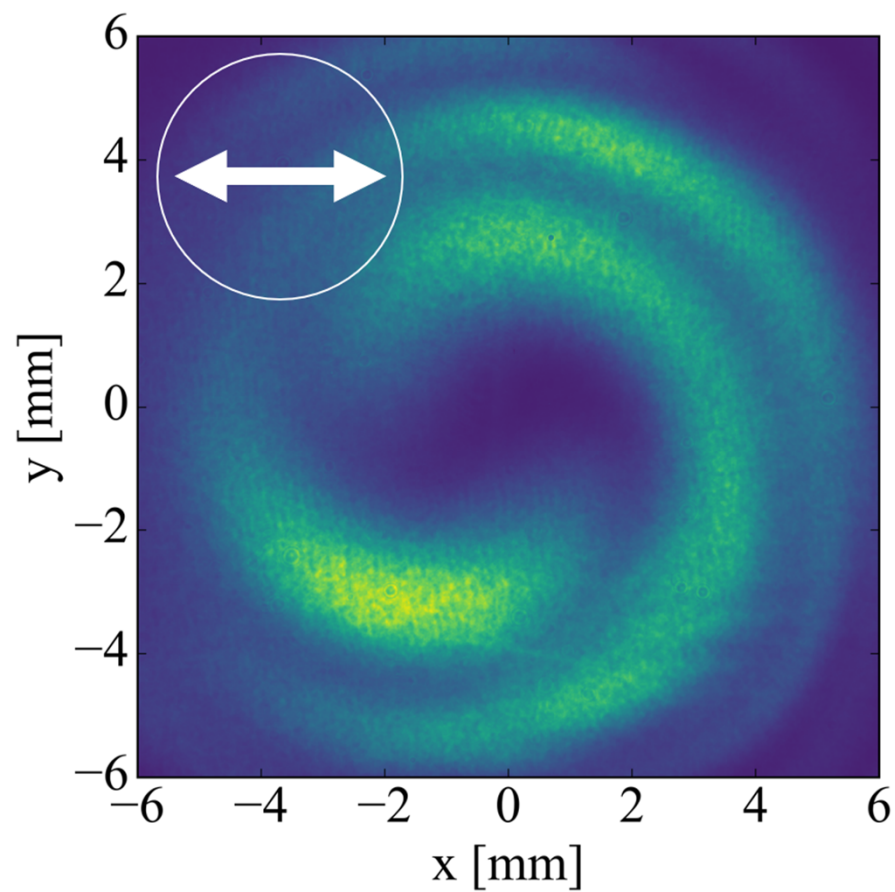
750MeV→500MeVにエネルギーを下げて運転
エミッタンス 8nm 程度



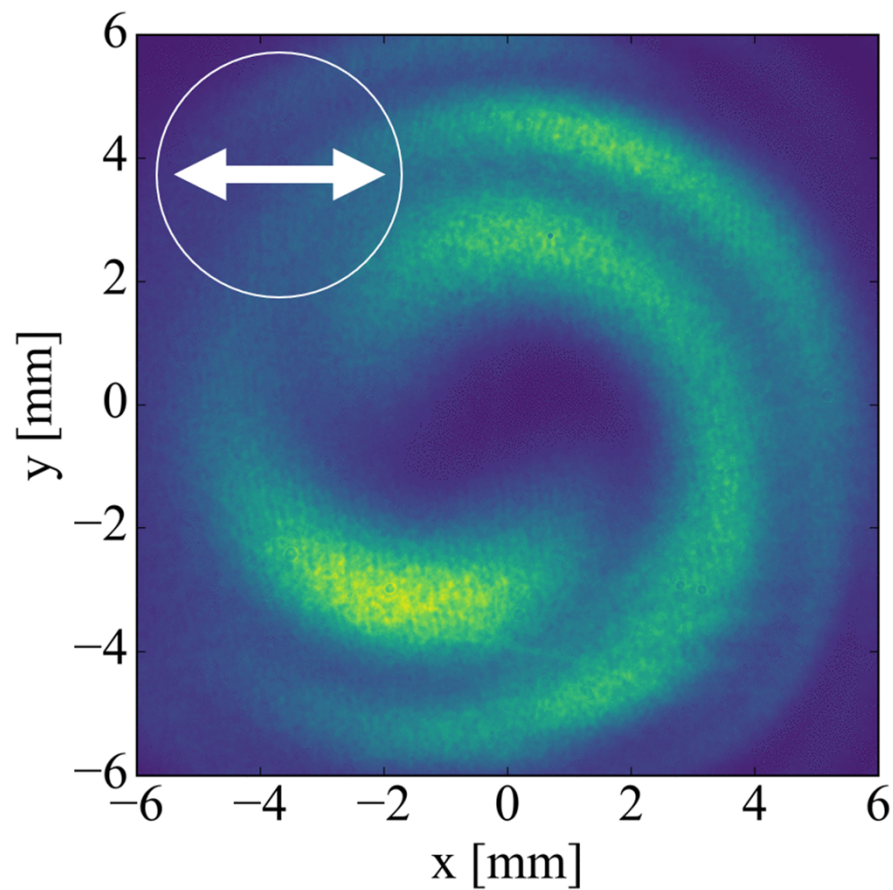
2次元強度分布



偏光子を回した時の様子

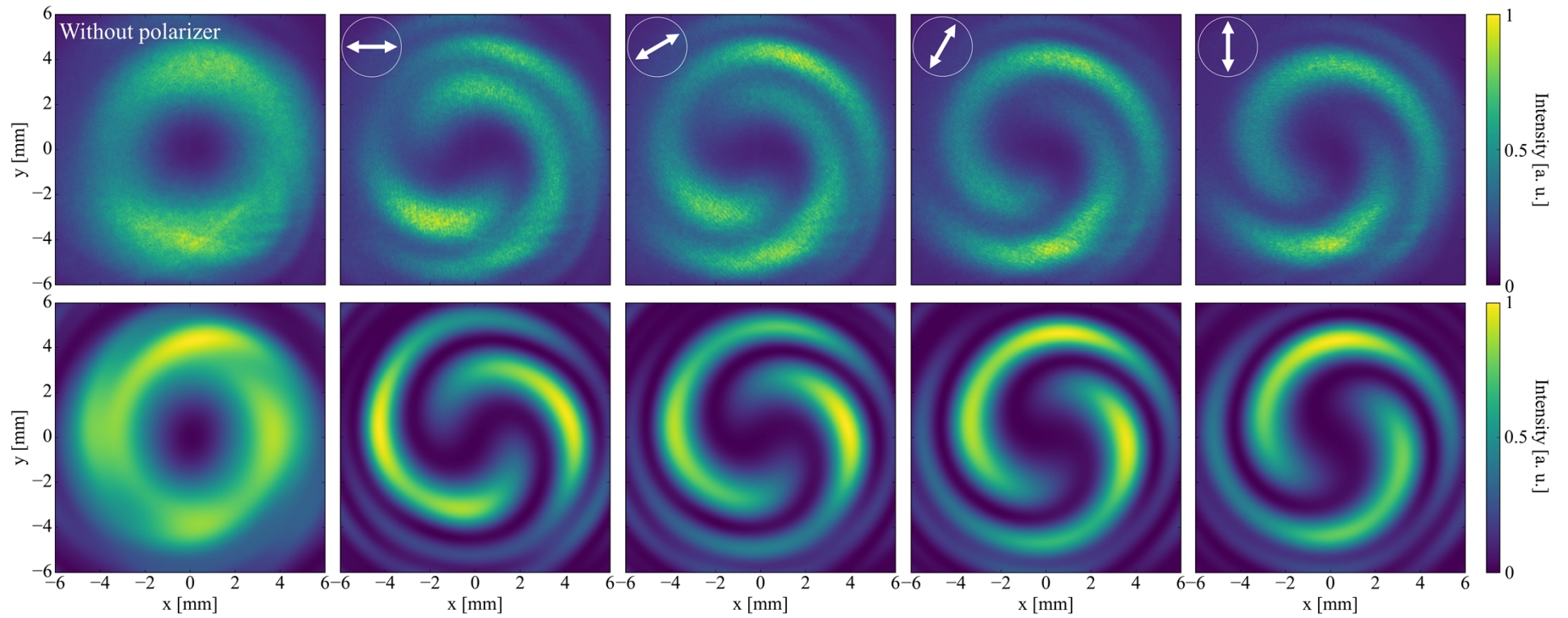


偏光子を回した時の様子



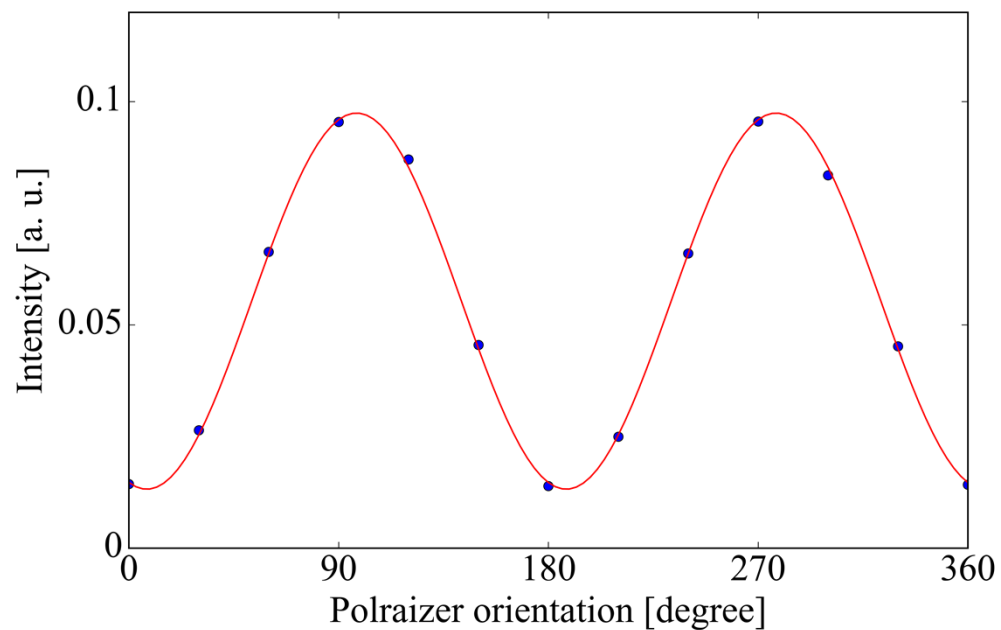
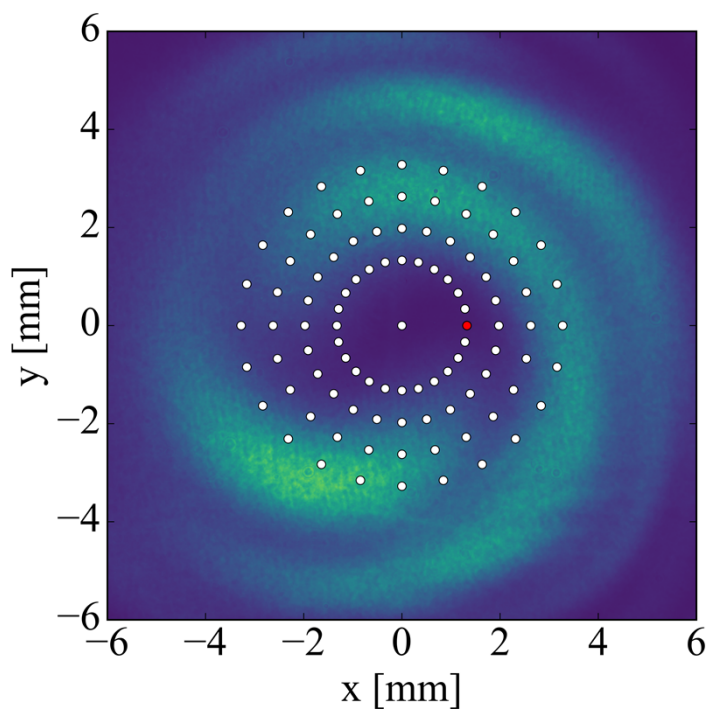
シミュレーションと比較

Synchrotron Radiation Workshopで実験と条件を合わせてシミュレーション

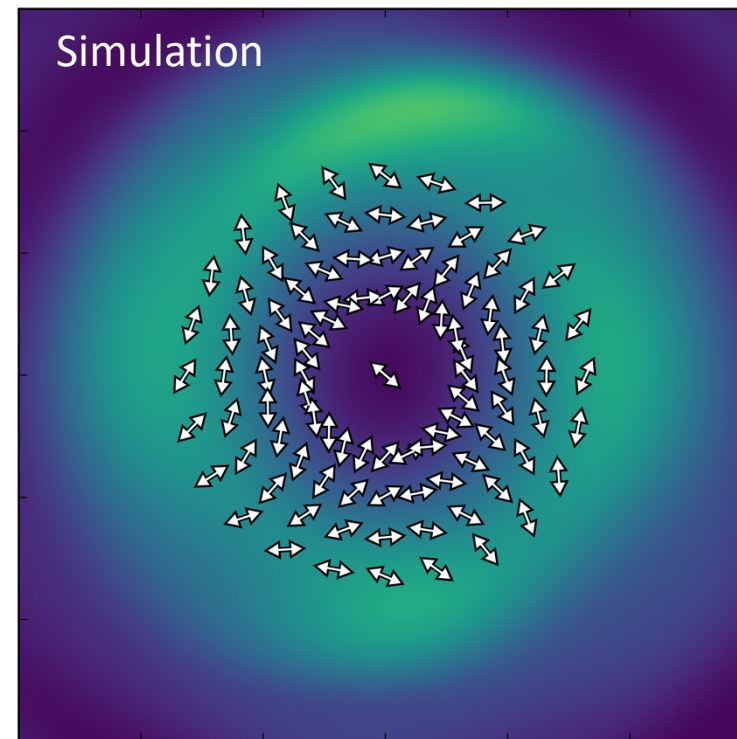
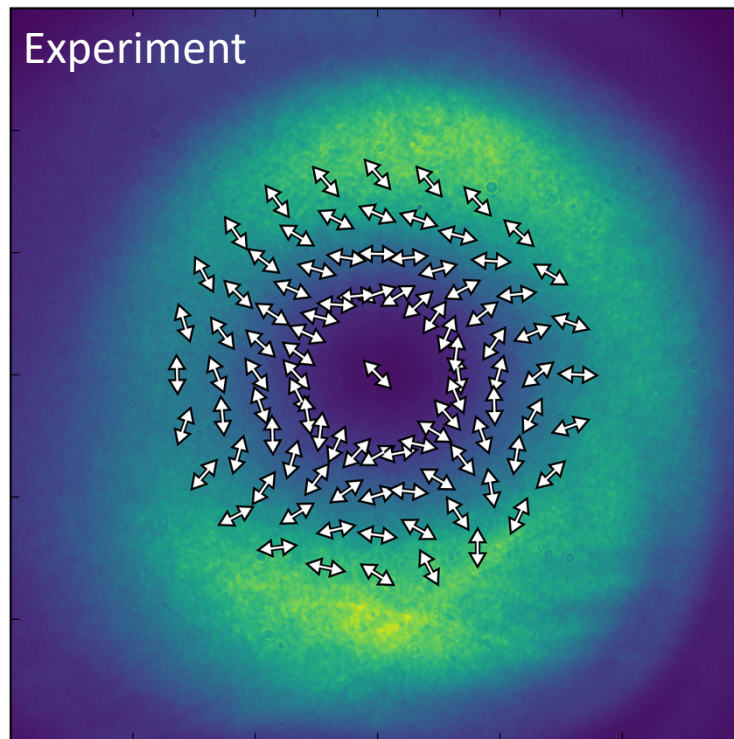


偏光解析

中心を選んでそこから適当な同心円上に**15度**おきに点を選んで、強度の偏光子角度依存性から直線偏光の向きや偏光度を得る。

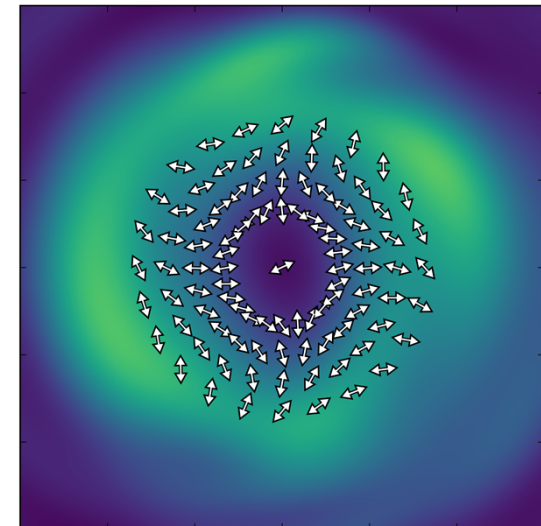
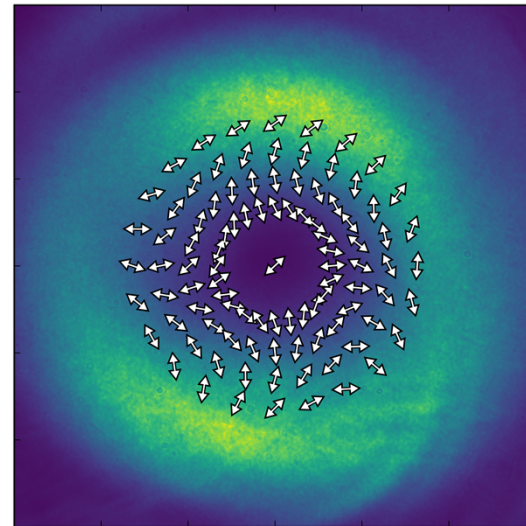
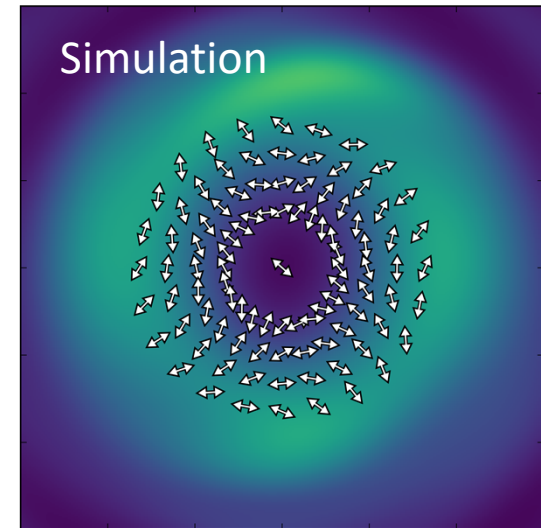
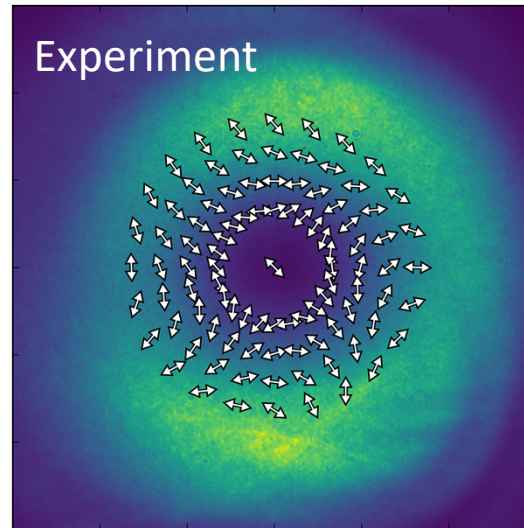


偏光解析の結果



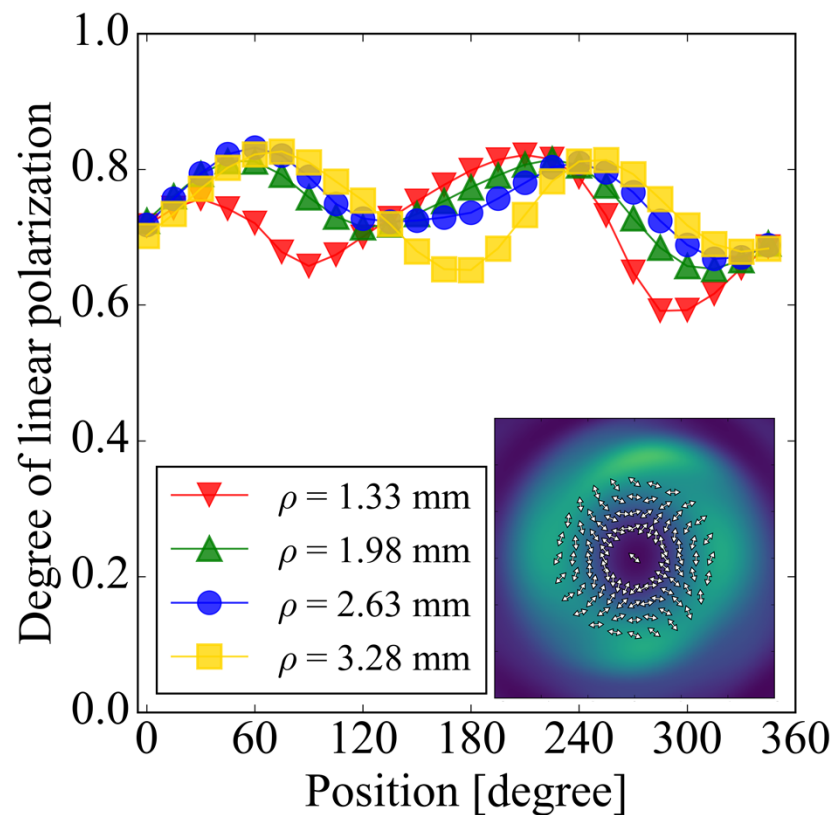
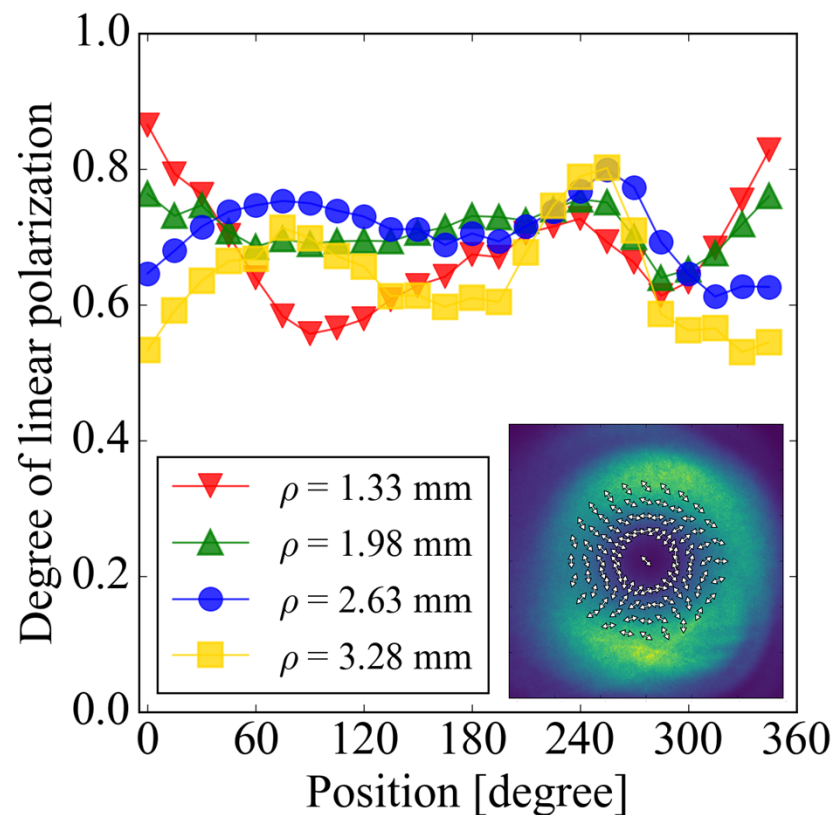
180度の位相差を作ったとき

バンプ電磁石で $0.12\mu\text{m}$
の軌道の伸びを作って
下流の放射の位相を
180度遅らせる



偏光度

実験、シミュレーションとも60-80%程度
細かな構造の違いはあるがおおむね一致する



まとめ

- アンジュレータ光渦を重ね合わせてベクトルビームを生成する手法を考案し実証した。

S. Matsuba. et. al. Appl Phys Lett 113, 021106 (2018).

- 将来の回折限界光源などで、短波長のベクトルビームを生成できる。
- 今後はストークスパラメータなどを測定したり、他の高次放射の重ね合わせなどを検証する。