

令和 2 年 7 月 9 日現在

機関番号：84502

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K18304

研究課題名(和文)放射光によるポアンカレビーム生成

研究課題名(英文)Generation of Poincaré beam by synchrotron radiation

研究代表者

松葉 俊哉 (Matsuba, Shunya)

公益財団法人高輝度光科学研究センター・光源基盤部門・研究員

研究者番号：00635477

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究はビーム軸と垂直な2次元平面内に様々な偏光状態を全て含むポアンカレビームと呼ばれる光を放射光によって作り出すことを目的としている。当初、適切なアンジュレータ光の重ね合わせで様々な偏光状態を実現できると予想し、紫外領域の放射光を使って、2次元的な偏光状態の測定解析手法を考案した。実験やシミュレーションにより幾つかの課題が明らかになり当初想定通りではなかったが様々なアンジュレータ光の重ね合わせに対する2次元的な偏光状態の観察などの新たな知見が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

空間的に偏光の種類や位相が操作されたStructured lightと呼ばれる光が近年注目を集めている。このような光はレーザーと光学素子を組み合わせて生成するのがほとんどであったが、放射光で生成することが出来れば利用可能な光の波長範囲が大きく広がり、新たな応用が生まれる可能性がある。

研究成果の概要(英文)：The objective of this research is to generate a Poincaré-beam which contains all polarization states in a two-dimensional plane perpendicular to the beam axis, using synchrotron radiation. Initially, we predicted that various polarization states could be realized by appropriate superposition of undulator radiation. Therefore, a method for experiment and analysis was devised. Experiments and simulations revealed some issues, but we obtained new knowledge of two-dimensional polarization states for the superposition of various undulator radiation.

研究分野：放射光

キーワード：放射光 structured light

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

光の偏光状態や位相、強度が空間的に変調された光は structured light と呼ばれ、応用展開へ向けて近年活発に研究が行われている。代表的なものは光渦と呼ばれるもので、偏光状態は一様であるが、光軸に垂直な断面で見た場合その位相が光軸まわりの方位角に依存して変化する。その他にベクトルビームと呼ばれる光がありこちらは偏光の状態が方位角に従って変化する。直線偏光の振動方向が方位角に依存して変化するビームの中心に向かって振動するラジアル偏光といった光がよく知られている。そしてポアンカレビームというものはそのビーム断面内にポアンカレ球で表されるすべての偏光状態が含まれる光のことである。

これらの光はこれまでは、レーザーと光学素子の組み合わせで作ることが主だったが、その手法では利用可能な波長範囲が限定されるが、放射光によって structured light を作り出すことで X 線領域まで利用範囲を拡張できる。そのため、光渦やベクトルビームを放射光によって作り出す研究がおこなわれていた。これまでに光渦は円偏光アンジュレータ放射の 2 次光によって生成できることが実証されていて、ベクトルビームも左右の円偏光の 2 次光を重ね合わせることで生成可能であることが予見されていた。しかしながらポアンカレビームというものは特に注目を集めておらず、それを生成しようと意図した研究は行われていなかった。

### 2. 研究の目的

特定の種類のアンジュレータ放射の重ね合わせの状態のビーム断面内の偏光状態を詳細に測定することで、ポアンカレビームと呼ばれる偏光状態になっていることを実験的に確認することを目的としている。

### 3. 研究の方法

これまでの研究により円偏光アンジュレータの 1 次光とそれとは反対回転の円偏光の 2 次光を重ね合わせることでポアンカレビームが生成されると考えていた。定性的には 1 次光と 2 次光の強度分布の違いによって、重ね合わせた光の観測位置が動径方向に進むにしたがって右と左の円偏光の強度比が変わって偏光状態はポアンカレ球の子午線方向に動いていき、方位角方向に動くと 2 次光の位相が 360 度変化するため、ポアンカレ球の赤道方向を掃引され、その二つの効果でポアンカレ球の球面を覆いつくせると考えられる。

放射光の偏光などの特性は Synchrotron Radiation Workshop と呼ばれる放射光計算用のシミュレーションコードを用いて計算することが可能である。まずシミュレーションによって偏光状態のよくわかっているアンジュレータ放射を計算して、そこで偏光状態の解析手法、測定手法等について検討を行った。

解析手法や実験手法が確立されたのちに極端紫外光放射光施設 UVSOR-III の光源開発用ビームライン BL1U を用いて放射光の偏光状態測定を行う。図 1 にアンジュレータ、光学系の配置を示す。実験ビームラインでは直列に 2 台のアンジュレータが並びその間に、フェーズシフタが設置されている。アンジュレータは APPLE-II 型と呼ばれ様々な種類の偏光を放射することが可能であり、フェーズシフタによってその重ね合わせの位相を調整可能になっている。アンジュレータからの光は SiO<sub>2</sub> 窓を通してまっすぐと真空外へ取り出される。光学素子を通した後にバンドパスフィルタと CCD カメラによって 2 次元的な強度分布が得られる。偏光の状態を決めるためには以下の 6 通りの光学系を通した光の強度の測定が必要である。そのうちの 4 つは偏光子の透過軸を 0 度(鉛直方向)、45 度、90 度、135 度とした時の強度で、残り 2 つは 45 度の偏光子と 1/4 波長板を通過したものと 135 度の偏光子と 1/4 波長板を通過したものである。平面上の各位置においてこれらの測定結果を解析することでその位置の偏光状態が判明する。

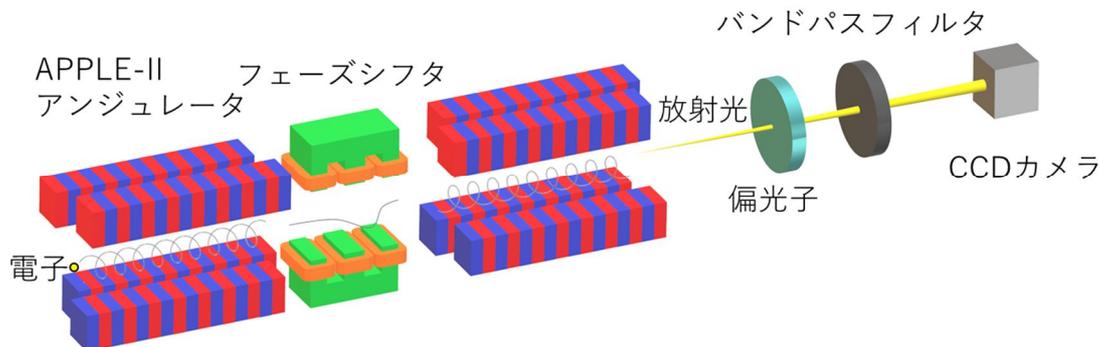


図 1 放射光観測実験のセットアップ

#### 4. 研究成果

図2にシミュレーションによって得られた水平偏光アンジュレータと右円偏光アンジュレータからの一次光の2次元的な偏光状態の解析結果を示す。どちらもほぼ一般的な偏光状態を示すことが分かっているので、解析によって妥当な結果が得られていることが分かる。

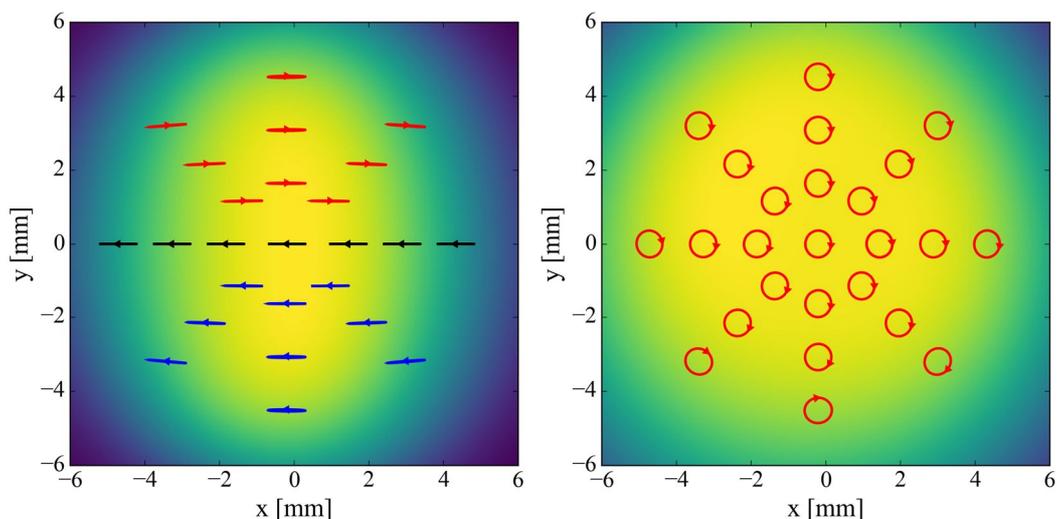


図2. シミュレーション得られた水平偏光アンジュレータ（左図）と右円偏光アンジュレータ放射（右図）の2次元的な偏光状態分布。光の強度が背景に黄色っぽい色で示され、その上の特定の位置での偏光を直線、楕円、円で示している。右回りの時は赤色の楕円、左回りでは青色の楕円、100%に近い直線偏光は黒い直線で示した。

次に図3左に実験的に得られた右円偏光の1次光と左円偏光の2次光を重ね合わせの偏光状態分布を示す。光の中心付近では1次光の強度のみが観測されることで、右周りの楕円偏光が観測されるが、外側に行くにしたがって1次光の強度が減少し2次光の強度が増加してくるので直線偏光を経て左円偏光になっていることが分かる。また方位角方向への位置変化に注目してみると楕円偏光の長軸方向が1回転していることも見て取れ、定性的には予想に近いビームが得られている。本実験のセットアップでは直列に並んだ2台のアンジュレータ光の縦方向の重ね合わせが80%程度に制限され、重ならない部分が無偏光の成分として観測されることや、アンジュレータ光軸調整が想定より困難であったことなどから、より明確な結果を得るにはさらなる検討が必要である。

また、本研究では予定していたアンジュレータ放射の重ね合わせ以外にも、幾つかの状態での偏光状態を測定することを行ってきた。例えば図3右図は左右の円偏光の2次光同士の重ね合わせの偏光状態を表している。アンジュレータ放射の2次元的な偏光状態を実験的に調べられたことは筆者の知る限りはないため、アンジュレータ放射の特性について新たな知見を得ることができたと考える。

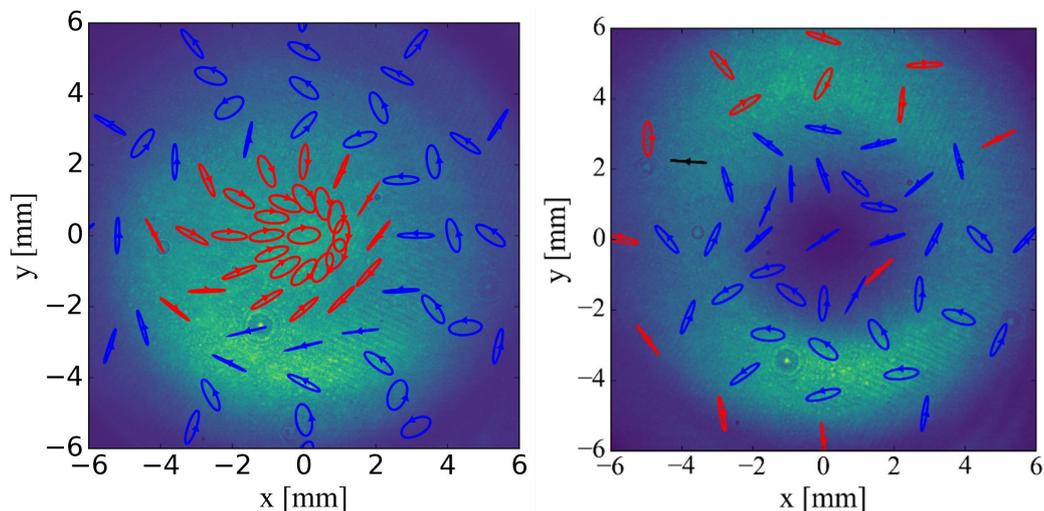


図3. 左図が右円偏光の一次光と左円偏光の2次光の重ね合わせ、右図が右円偏光の2次光と左円偏光の2次光の重ね合わせの偏光分布

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Matsuba Shunya, Kawase Keigo, Miyamoto Atsushi, Sasaki Shigemi, Fujimoto Masaki, Konomi Taro, Yamamoto Naoto, Hosaka Masahito, Katoh Masahiro	4. 巻 113
2. 論文標題 Generation of vector beam with tandem helical undulators	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 1~4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5037621	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 松葉俊哉, 藤本将輝, 保坂将人, 加藤政博	4. 巻 33
2. 論文標題 タンデムアンジュレータによる放射光ベクトルビームの生成	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本放射光学会誌	6. 最初と最後の頁 231-235
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 松葉俊哉, 川瀬啓悟, 宮本篤, 佐々木茂美, 藤本将輝, 許斐太郎, 山本尚人, 保坂将人, 加藤政博
2. 発表標題 タンデムアンジュレータによるベクトルビーム発生
3. 学会等名 第15回日本加速器学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松葉俊哉, 川瀬啓悟, 宮本篤, 佐々木茂美, 藤本将輝, 許斐太郎, 山本尚人, 保坂将人, 加藤政博
2. 発表標題 タンデムヘリカルアンジュレータによるベクトルビームの生成
3. 学会等名 第32回日本放射光学会年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Matsuba Shunya、Kawase Keigo、Miyamoto Atsushi、Sasaki Shigemi、Fujimoto Masaki、Konomi Taro、Yamamoto Naoto、Hosaka Masahito、Kato Masahiro
2. 発表標題 EXPERIMENTAL DEMONSTRATION OF VECTOR BEAM GENERATION WITH TANDEM HELICAL UNDULATORS.
3. 学会等名 10th International Particle Accelerator Conference
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----