

平成 22 年 5 月 25 日現在

研究種目：若手研究（B）  
研究期間：2008～2009  
課題番号：20700384  
研究課題名（和文） 渦スペクトルセンシングに関する研究  
研究課題名（英文） Study on vortex spectra sensing  
研究代表者  
若山 俊隆（WAKAYAMA TOSHITAKA）  
埼玉医科大学・保健医療学部・助教  
研究者番号：90438862

## 研究成果の概要（和文）：

新しい光科学技術である軌道角運動量を有した光渦はそのユニークな特性とともに、DNA や細胞の制御など、応用分野でも注目を集めている。現在までに光渦の発生法や微小物体の制御に関する研究は提案されているが、センシングに関する研究は多くなかった。本研究では、渦スペクトルの生成と、渦スペクトルがもつ特異な光学特性を応用し、生体分子の挙動や物質の組成に関わる情報を引き出すことを目的に研究を行った。作製された軸対称 1/4 波長板を用いた渦スペクトルセンシングによってホモジニアスでない物性の偏光特性の検出を明らかにした。

## 研究成果の概要（英文）：

Optical vortex having an orbital angular momentum, as a latest technology in the field of optical sciences, has been attracted great interests to its unique optical properties and its applications as operations of DNA and biological cells. Up to day, there are a lot of researches for the generation of optical vortex and the operation of small objects, although there are hardly any researches related on the sensing and/or measurement. In this study, firstly, we aimed at generating the vortex spectra. Secondly, we aimed at bringing out the information related on the behavior of the biological polymer and the composition of the matter using vortex spectra with singularity points. It has been made clear that vortex spectra sensing can detect the properties of polarization of inhomogeneous physical properties using fabricated axisymmetrical quarter wave plates.

## 交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

## 研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・医用生体工学・生体材料学

キーワード：光渦，偏光渦，渦スペクトル，ミューラー行列，ストークスパラリメータ

## 1. 研究開始当初の背景

偏光と位相の特異点をもつ光渦は、そのユニークな光学特性から光自体に対する基礎研究が盛んに行われていた。応用研究に関しても光渦の発生や微小物体の制御法を中心に研究が進められていた。しかしながら、センシングに関する研究は、上記と比較すると

極めて少なかった。このような背景から、光渦のユニークな光学特性を利用したセンシング法が確立されれば、今までにない光計測技術が確立されると想像した。とくに偏光と位相の特異点を併せもつ渦スペクトルを上手に扱うことで、生体分子の挙動や物質の組成に関わる情報を計測できると考えられた。

## 2. 研究の目的

渦スペクトルセンシングを達成するために以下の3点を主要な研究目的と定めた。

- (1) 偏光と位相の特異点を併せもつ光渦のトポロジカルチャージの次数を変化させ、渦スペクトルを発生させる手法を提案し、その渦スペクトルを評価する。
- (2) 渦スペクトルのユニークな光学特性を応用したセンシング技術を開発する。
- (3) 生体分子の挙動や機能そして物質の組成に関わる情報の解析法を開発する。

## 3. 研究の方法

渦スペクトルセンシングを達成するためには渦スペクトルの発生方法とその解析方法が鍵となる。このような理由から、下記の方法を中心に研究を行った。

- (1) 渦スペクトルを自在に制御するため、ポアンカレ球を用いた幾何学的位相の考察。
- (2) 液晶空間位相変調器(SLM)を用いた場合において、渦スペクトルの発生法の提案、および発生したビームの偏光と位相の評価。
- (3) 液晶空間位相変調器(SLM)を用いない場合において、渦スペクトルを発生させる方法の提案、および、その発生素子の評価。
- (4) 渦スペクトルを用いたトポロジカルなミューラー行列パラメータとトポロジカルなストークスパラメータの提案、そして、数値解析によるシミュレーションおよび基礎実験から上記パラメータの性能評価。
- (5) 計測対象にホモジニアスでない物質を導入することで、従来の計測法では計測困難であったビーム内に閉じ込められた情報をトポロジカルなストークスパラメータから検出する手法の解明。

## 4. 研究成果

研究の方法の(1)～(5)に関して、下記のような研究成果を挙げた。

(1) 渦スペクトルを発生させるために、ビームのアジマス方向に幾何学的位相を生じさせる方法を、ポアンカレ球を用いて検討した。偏光状態をポアンカレ球上で循環的に変化させるための光学系を明らかにした。

(2) 液晶空間位相変調器(SLM)を用いる光学系には $RP \cdot Q \cdot SLM \cdot Q$ 光学系として、入射光には円偏光を用いた。ラジアル偏光子(RP)を透過後、液晶空間位相変調器(SLM)によって空間位相変調を行った。このとき、偏光状態はビーム内で空間的にかつ循環的に変化されるために $1/4$ 波長板で液晶空間位相

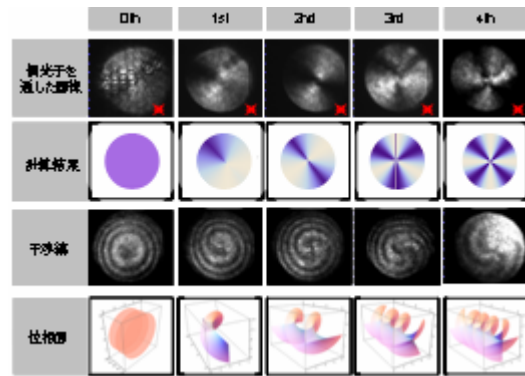


図1 SLMを用いた渦スペクトルの発生

変調器をサンドイッチさせた。これによって幾何学的位相が導入され、トポロジカルチャージを有したビームの発生を確認できた。液晶空間位相変調器を用いて得られたビームの偏光と位相の評価を行った結果を図1に示す。図1の上段は偏光分布を1枚の偏光子から評価している。矢印が偏光子の透過軸を示している。これにより偏光状態は数値計算結果のような直線偏光が軸対称に変化していることがわかった。一方で、位相特性は干渉縞から評価した。0次のときは同心円状だった干渉縞が1次、2次と次数が上がるごとに渦の状態が変化していることを確認した。トポロジカルチャージの次数は0次から4次まで連続的に変化させることができた。上記に加えて液晶空間位相変調器のラジアル方向にも変調を行うことで、ラジアル方向にもつビームを生成することにも成功した。ビームの中心部分と外側では変更分布の消光部分と干渉縞の本数が異なっている。しかしながら、使用した液晶空間位相変調器の分解能の問題から、次数が高くなると、偏光と位相特性が非連続的なビームになってしまうことが課題として挙げられた。

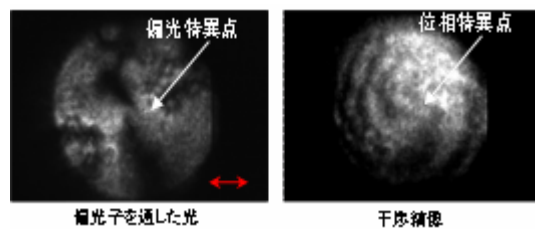


図2 次数を二つもつ渦スペクトル

(3) 上記のような課題を克服するために液晶空間位相変調器を用いない渦スペクトルの発生素子の開発も行った。これには複屈折位相差量が制御された液晶ディスプレイ用の位相差フィルムを用いた。上記の位相差フィルムをセグメント状に切断し、30個のセグメントを円形になるように張り合わせた。このとき、1枚1枚の複屈折の主軸方位は、

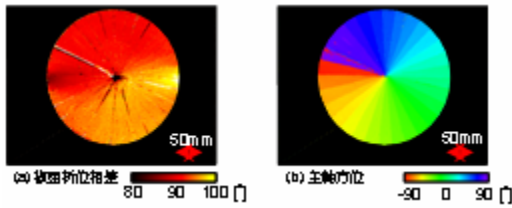


図3 作製された軸対称 1/4 波長板

そのセグメントの角度に合わせて切断した。これによって、機械的に回転させる 1/4 波長板法と同様の機能をもつことができた。このようにして作製された素子を軸対称 1/4 波長板 (AQWP) と名づけた。一般的に複屈折計測に用いられる回転 1/4 波長板法を用いて作製した軸対称 1/4 波長板の評価を行った。図3に示すように複屈折位相差は  $90^\circ \pm 5^\circ$ 、主軸方位は方位角に対して  $\phi$  となっていることを確認した。

(4) このような素子の作製を行っている過程で、作製された素子が偏光計測に応用できるのではないかとこの着想に至った。このアイデアから軸対称 1/4 波長板のさらなる改良を行った。上記に記述した素子はセグメントの方位角に対して、その主軸方位も同じにしてきたが、これだと、トポロジカルチャージの次数は 1 次となる。そこで、方位角に対して主軸方位を  $n$  倍に変化させることを行った。特に、 $1/2$  次と  $5/2$  次を組み合わせることで、ワンショットミュラー行列ポラリメータの開発ができると考えた。作製された軸対称 1/4 波長板 ( $1/2$  次および  $5/2$  次) を図4に示す。偏光子を直交する状態にした間に作製した素子を挿入することで、素子の主軸方位を観察することができる。これらの素子を用いて渦スペクトルセンシングの応用の一つとしてワンショットミュラー行列偏光計の原理開発を行い、その原理確認を数値シミュレーションから示し、基礎実験として、高分子材料の評価を行った。しかしながら、ワンショットミュラー行列計測に関しては、結像系の問題から計測精度に問題が生じ、一定の性能が得られなかった。しかしながら、トポロジカルなストークスポラリメータに関しては、一定の性能を満足させることができた。

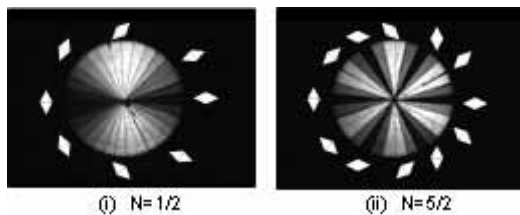


図4 作製した軸対称 1/4 波長板をクロスニコル下で観察している。

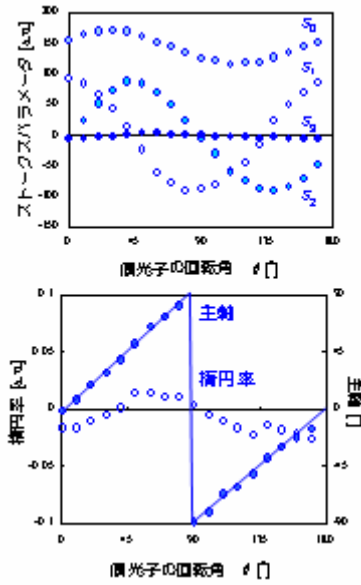


図5 トポロジカルなストークスポラリメータの結果

以上までのまとめとして、渦スペクトルの幾何学的位相を考慮し、液晶空間位相変調器を用いて、渦スペクトルのトポロジカルチャージを 1 次から 4 次まで自在に変化させることを達成した。液晶空間位相変調器をラジアル方向に制御し、トポロジカルチャージを変化させたビームの生成にも成功した。一方で、液晶空間位相変調器を用いない渦スペクトル発生素子の作製も同時に行った。このような素子の開発を取り組むなかで、渦スペクトルを用いたトポロジカルなミュラー行列ポラリメータとトポロジカルなストークスポラリメータの開発を行うことができた。

(5) 偏光や複屈折を計測することは、古くから生体細胞に働く分子配向状態を定量的に評価することから注目されていたが、従来の計測法ではビーム内で均一なホモジニアスな偏光ビームを使用してきたため、ビーム内に閉じ込められた情報は計測することは困難と言えた。本研究で提案された渦スペク

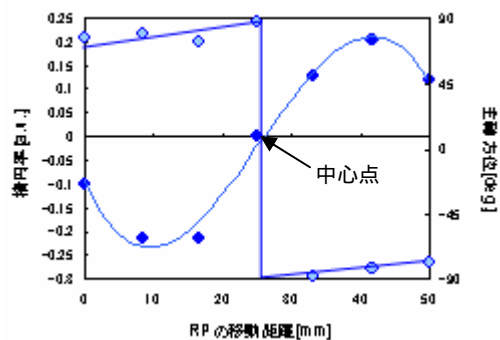


図6 ホモジニアスでない測定対象の計測

トルセンシングの先進性の一つとして、インホモジニアスな材料の評価があった。図6に示すようにインホモジニアスな材料をビーム内に入れたときに、その位置が移動することにストークスパラメータから得られる楕円率とその主軸方位を検出したところ、計測対象の中心位置がビームのなかで変化するのにしたがって、楕円率とその主軸方位がビーム中心に対して対称的に変化することを明確にとらえることに成功した。これにより、渦スペクトルを用いたセンシングによって、今までとらえることができなかったビーム内に閉じ込められてしまった情報を引き出すことが明らかになった。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計4件)

T.Wakayama, Y.Otani and T.Yoshizawa: "Spectroscopic birefringence imaging microscope based on channeled spectrum technique," Proceedings of ASPEN 2009, ASPEN2009, 2D81-2D84 (2009). (査読あり)

T.Wakayama, Y.Otani and T.Yoshizawa: "Axisymmetrical Mueller matrix polarimeter," Proc. of SPIE, 7461, 74610M-1~74610M-8(2009). (査読なし)

T.Wakayama, Y.Otani, T.Yoshizawa, "Generation of vortex spectra based on geometric phase for optical tweezers," Proc. of SPIE, 7266, pp.72660 A-1 ~72660A-4 (2008). (査読なし)

Y.Otani, T.Wakayama, N.Umeda, T.Yoshizawa, "Generation and consideration of vectorial vortex array," Proc. of SPIE, 6715, pp. 67150D-1~ 67150D-4 (2008). (査読なし)

[学会発表](計4件)

若山俊隆, 大谷幸利: "トポロジカルな分光複屈折顕微鏡の開発," 日本学術会議シンポジウム「先端フォトニクス of 展望」, 2010年4月9日, 日本学術会議講堂(東京都).

若山俊隆, 大谷幸利, 吉澤徹: "トポロジカルな偏光計(第2報) 軸対称 1/4波長板の二色性の除去," 2010年度精密工学会春季大会, 2010年3月16日, 埼玉大学(さいたま市).

加藤波里, 若山俊隆, 大谷幸利: "分光偏光変調器を用いた複屈折および旋光同時計測法," OPJ2009, 2009年11月26日, 朱鷺メッセ(新潟市)

若山俊隆, 大谷幸利, 吉澤徹: "トポロ

ジカルなワンショットミュラー行列ポラリメータ - 基本原理と実験 -, "2009年度応用物理学会春季大会, 2009年3月31日, 筑波大学(つくば市).

[産業財産権]

出願状況(計1件)

名称: 偏光特性測定装置及び偏光特性測定方法

発明者: 若山俊隆, 大谷幸利, 吉澤徹

権利者: 埼玉医科大学, 東京農工大学

種類: 測定装置および測定法

番号: 2009-79895

出願年月日: 2009年3月27日

国内外の別: 国内

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

若山 俊隆 (WAKAYAMA TOSHITAKA)

埼玉医科大学・保健医療学部・助教

研究者番号: 90438862

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし