HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	A comprehensive study on cylindrical symmetry in optical physics: Full-quantitative characterization of cylindrically polarized optical pulses [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	鈴木, 雅人
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12297号
Issue Date	2016-03-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/61645
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Masato_Suzuki_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学　位　論　文　内　容　の　要　旨

博士の専攻分野の名称　　博士（工学）　　氏名　鈴木 雅人

学　位　論　文　題　名

A comprehensive study on cylindrical symmetry in optical physics: Full-quantitative characterization of cylindrically polarized optical pulses

(光物理学における円筒対称性に関する研究: 偏光渦パルスの完全定量評価)

偏光渦パルス (円筒対称偏光分布を有する光パルス) を対物レンズなどで強く集光すると、その集光点において「縦電場」や「縦磁場」など通常の近軸波動方程式からは導き出せない、非自明でかつ興味深い電磁場分布を作り出すことができる。この特徴を活用した応用として、微細物質加工、光粒子トラッピング、フィルム上のナノ粒子検出などが提案されており、現在精力的に研究がなされている。これらの応用を精緻化するには、偏光渦パルスの偏光分布の状態や対称性の高さを評価する指標が必要であるが、それらを統一的にかつ完全定量的に測ることができる指標は存在しなかった。

本研究では、光物理学における円筒対称性に着目し、これを完全定量的に表す指標を導入する。具体的には、偏光状態を定量的に評価するために伝統的に用いられてきたストークスパラメータおよび偏光度を偏光渦パルスに拡張し、拡張ストークスパラメータおよび拡張偏光度の概念を新たに導入する。そして、偏光渦パルスの評価および円筒対称光学系における偏光渦パルスの非線型伝播実験を通じて、拡張ストークスパラメータと拡張偏光度の完全定量的評価手法としての有効性を示す。

第一章 : 序論

第一章では、偏光特異点の概念を導入し、偏光特異点が存在するレーザービームモードの一つである偏光渦モードについて概説する。そして、偏光渦モードの定量的評価手法の問題点について述べ、本研究の目的を論じる。

第二章 : 円筒対称偏光分布を有する光パルス (偏光渦パルス)

第二章では、近軸波動方程式の解の一つである円筒対称偏光ラゲールガウスモードについて概説し、円筒対称偏光ラゲールガウスパルスの表式を導き出す。

第三章 : 拡張ストークスパラメータ

第三章では、偏光渦パルスを完全定量的に評価するための拡張ストークスパラメータおよび拡張偏光度の概念を新たに導入する。

従来のストークスパラメータ、偏光度が時間領域に対するパラメータであるのに対して、拡張ストークスパラメータ、拡張偏光度はそれらを時空間領域に拡張したパラメータである。そのため、従来のストークスパラメータ、偏光度の概説を先に行い、拡張ストークスパラメータ、拡張偏光度を導入する。先行研究で既に提案されている高次ストークスパラメータは偏光度の定義が不可能であることから、本拡張ストークスパラメータ、拡張偏光度が従来のストークスパラメータと偏光度を真に拡張したものと言える。

さらに、拡張ストークスパラメータで定義された拡張ポアンカレ球上での断熱的な偏光状態変化により付与されるパンチャラトナム・ベリー位相についても論じる。*q*-plate と呼ばれる速軸が分

布した波長板に対して、「シュレディンガー方程式と等価な方程式」を導出し、その支配演算子 (ハミルトニアンに対応する) を初めて提示する。そして、ある一つの拡張ポアンカレ球上で閉曲線をなす断熱的な状態変化によって付与されるパンチャラトナム・ベリー位相は、従来のポアンカレ球上でのそれによるパンチャラトナム・ベリー位相と等価であることを示す。

第四章 : 偏光渦広帯域パルスの生成と評価

拡張ストークスパラメータ、拡張偏光度による完全定量解析の有効性を示すために、偏光渦広帯域パルスをコヒーレント結合系により生成し、生成された光パルスを拡張ストークスパラメータ、拡張偏光度での評価を行う。

実験では、次数が 1,2 の偏光渦広帯域パルスを生成した。拡張ストークスパラメータから得られる生成した光パルスの偏光純度は十分高い (99% 以上) ものであり、さらに、拡張偏光度から求められる光パルスの偏光対称性についても十分高い (95% 以上) と定量的に解析された。また、数値計算結果から、数 % 程度の誤差で偏光対称性を求められることが明らかとなった。これは、拡張ストークスパラメータ、拡張偏光度による完全定量解析が光源評価に有意義であることを示している。

第五章 : 軸対称光学系における軸対称偏光パルスの非線型光学効果

拡張ストークスパラメータ、拡張偏光度による完全定量解析が光パルスを用いた分光の分野においても有効であることを示すために、軸対称光学系における軸対称偏光パルスの非線型伝播実験を通じてそのデモンストレーションを行う。

軸対称偏光パルスとは偏光渦パルスの中でも最も対称性が高い軸対称の偏光分布を有する光パルスである。この軸対称偏光パルスを一軸性結晶内の光軸に沿って非線型伝播させた後、拡張ストークスパラメータ、拡張偏光度を用いて、その偏光状態の完全定量解析を行った。その実験結果は、数値計算での結果とよい一致を示しており、偏光渦パルスを用いた非線型分光ポラリメトリなどの応用において、拡張ストークスパラメータ、拡張偏光度が活用できることを示している。

第六章 : 結論

第六章では本研究をまとめ、拡張ストークスパラメータ、拡張偏光度による偏光渦パルスの完全定量評価の有効性と今後の展望について述べる。