

氏名(本籍)	やま なり まさ ひろ 山 成 正 宏 (茨城県)		
学位の種類	博 士 (工 学)		
学位記番号	博 甲 第 4584 号		
学位授与年月日	平成 20 年 3 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当		
審査研究科	数理物質科学研究科		
学位論文題目	<b>Fiber-based polarization-sensitive Fourier domain optical coherence tomography</b> (ファイバーを用いた偏光感受型フーリエドメイン光干渉断層計)		
主査	筑波大学教授	工学博士	伊藤 雅 英
副査	筑波大学教授	理学博士	青木 貞 雄
副査	筑波大学教授	理学博士	巨瀬 勝 美
副査	筑波大学教授	医学博士	大鹿 哲 郎
副査	東京医科大学講師	医学博士	三浦 雅 博
副査	東京農工大学教授	工学博士	岩井 俊 昭

## 論文の内容の要旨

緑内障は網膜の神経節細胞と網膜神経線維層の損失を起こす視神経症である。緑内障は盲目の主な原因の1つであり、そのプロセスは不可逆であるため、その早期の発見が重要課題となっている。視野検査が緑内障を診断する「標準検査」として使用されている。しかしながら、視野検査が早期発見のために完璧な方法ではないことは知られている。その上、主観的な測定のため、結果はばらつくことが多い。高い眼圧は直接緑内障と関係があるが、緑内障発症のしきい値は個人によって異なるし、低い眼圧が必ずしも健全な目であることを意味するわけではない。GDx-VCC（カール・ツァイスメディテック社製）は、網膜神経線維層の複屈折性を使うことによって、網膜神経線維層の厚さ分布を可視化することができる商業的に利用可能な走査型レーザー偏光解析装置である。網膜神経線維層の複屈折が一定であると仮定して、網膜神経線維層の複屈折分布を直接網膜神経線維層の厚さ分布に対応させることができる。これまで、眼科医はこれらのいくつかの方法を複合的に用いて包括的に緑内障の診断をおこなってきた。

偏光感受型光コヒーレンストモグラフィー（Polarization-sensitive optical coherence tomography: PS-OCT）が生物試料の屈折の深さ方向の分布を測定するために開発された。自由空間 PS-OCT を使うことによって、3次元の位相遅延像が得られている。

本論文においては、840nmの光源を用い、ジョーンズマトリックスに基づく分析法を使い、偏光感受型スペクトルドメイン光コヒーレンストモグラフィー（Polarization-sensitive spectrum domain optical coherence tomography: PS-SD-OCT）システムを開発した。網膜の表面反射を用いることによって、角膜などの複屈折の補償をおこない、位相遅延量を定量的に測定することができる。GDx-VCCと異なり、本システムは複屈折補償に黄斑部の蝶ネクタイパターンを用いないので、たとえ患者が黄斑病にかかっていたとしても、複屈折測定を可能にしている。本論文では、網膜の3次元の累積的な位相遅延分布が示されている。また *en-face* の累積的な位相遅延分布も示され、GDx-VCCによる測定結果と比較されている。

応用として、まず、健康な人間の網膜視神経乳頭下方の位相遅延分布を計測した。HSV カラーマップの色味を0度から180度までの位相遅延量に対応させ、通常の強度OCT像に重ねて表示させた。厚い網膜神経線維層エリアで、累積的な位相遅延の強い変化が観測された。累積的な位相遅延は網膜神経線維層の後の境界線と網膜色素上皮層の間でほとんど一定であった。また、脈絡膜の下方で、位相遅延は雑音的になり位相のスクランブルがあることがわかった。

連続的に光源の波長を走査することができる光源（Swept source: SS）を用い、波長走査と同期した偏光変調を行う、ファイバーベースのPS-SS-OCTが1.3 $\mu\text{m}$ 帯において開発された。測定対象のジョーンズマトリックスのすべての要素を空間方向の走査密度の制限なしで1点の周波数走査間で計算することができる。これを用いて前眼部の位相遅延像が測定された。

## 審査の結果の要旨

本論文は、ファイバー光学系を用いた、偏光感受型光コヒーレンストモグラフィー装置の開発し、それを用い、ヒト眼の生きたままの測定に応用したものであり、光コヒーレンストモグラフィーの実用性を強くアピールするものである。これまで測定が困難であった網膜神経線維層の位相遅延を定量的に評価し、網膜の3次元的な複屈折を計測した画期的なシステムである。ブロードバンド光源を用い2光束干渉計の干渉光をフーリエ変換し生体の深さ方向の情報を得るスペクトルドメイン光コヒーレンストモグラフィーに偏光感受機能を組み込み、光ファイバーを光学系とし、ジョーンズマトリックスを用いて偏光情報を解析するシステムを世界で初めて提案し、実現したものである。また、ブロードバンド光源ではなく、波長操作型光源を用いた前眼部の複屈折計測の前例がない。これら新規性と高い実用性を兼ね備えたシステム設計、実装、臨床応用は、医工連携における秀でた実例であり、高く評価される。

よって、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。