

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	視覚特性解明のための補償光学系の開発に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	山口達夫
Author(English)	Tatsuo Yamaguchi
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10009号, 授与年月日:2015年9月25日, 学位の種別:課程博士, 審査員:内川 恵二,山口 雅浩,小池 康晴,金子 寛彦,吉村 奈津江
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10009号, Conferred date:2015/9/25, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第		号	学位申請者氏名	山口 達夫	
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名
	主査	内川 恵二	教授	審査員	吉村 奈津江	准教授
	審査員	山口 雅浩	教授			
		小池 康晴	教授			
		金子 寛彦	准教授			

論文審査の要旨（2000 字程度）

本論文は「視覚特性解明のための補償光学系の開発に関する研究」と題し、7章より成り立っている。

第1章「序論」では、人間の眼球の角膜、水晶体、涙液といった光学系により発生する収差のために、網膜撮影による錐体の観察および収差と視覚系コントラスト感度関数との関連性を明らかにすることは困難であると指摘し、補償光学技術により眼球光学系の収差の補償と整形を可能とすることが重要であると述べている。そして、本研究の目的は、空間位相変調器を用いた補償光学技術を開発すること、さらに網膜撮影システムと視覚刺激装置に補償光学技術を適用して、視覚系のコントラスト感度関数の心理物理学的測定を行い、視覚系の空間周波数特性と収差の関係を解明することであると述べている。

第2章「空間位相変調器を用いた補償光学技術」では、過去の研究で用いられていた deformable mirror（可変鏡）での補償光学技術では、収差補償の分解能が充分ではないこと、眼の瞳孔の移動に追従できないこと、任意の収差が作成できないこと、といった問題があり本研究への応用が困難であると述べている。deformable mirror の代わりに空間位相変調器を用いれば補償素子数が多いという特徴から上記の問題を解決することができるが、空間位相変調器の特性から偏光依存性と動作の遅さという別の問題が生じることを指摘し、それらを解決するために高精度光学系の開発と収差測定の高速度化アルゴリズムを考案した補償光学系を作製している。その結果、高精度で瞳孔に追従可能な 10Hz での収差測定、2.5Hz での収差補償を可能にしていることを示している。

第3章「網膜撮影システム」では、本研究で立案した、補償光学系に網膜撮影のための光学系を付加したシステムを構成する網膜照明系、網膜撮影系、固視系、前眼部撮影系の各要素について述べている。そして、模擬眼の収差補償と解像力チャートの撮影実験を行った結果、乱視度数+0.75D の収差補償能力と撮影分解能 $2\mu\text{m}$ を達成していることを示している。次に、人間の眼球の収差補償と網膜の撮影を行い、残収差の安定した収差補償と鮮明な錐体観察が可能であることを明らかにしている。さらに、照明光学系に輪帯アパチャーを追加する光学系の設計と実験について述べ、神経線維層と網膜色素上皮層の分離撮影可能性があると述べている。

第4章「補償光学コントラスト感度測定装置」では、過去の研究では視覚刺激装置に CRT や液晶ディスプレイが用いられているがダイナミックレンジが充分ではないこと、刺激光と収差測定の波長が大きく異なるために色収差が発生していることを指摘している。本研究では、刺激のダイナミックレンジを拡大させるために、小型の液晶ディスプレイを2台用いて、それぞれ背面から赤色の発光ダイオードにより均一に照明する光学系を提案し、さらに、色収差の少ない赤色収差測定の光学系と刺激光の制御の方法について述べている。装置の性能の検証をした結果、網膜照度 $0\sim 20\text{td}$ で約 60,000 段階でのコントラスト画像を呈示することが可能であると述べている。

第5章「視覚のコントラスト感度関数測定」では、与えられた任意収差によるコントラスト感度関数を測定するために、収差一定とみなせる範囲である視野角 1.05deg 内に 0.3sec 間の縦縞の視覚刺激を用いて、収差補償なし、無収差、横様コマ収差、縦様コマ収差といった4種の収差条件において、刺激の空間周波数を変化させてコントラスト閾値測定の心理物理実験を行っている。実験の結果、閾値が刺激の空間周波数 6.5c/deg をピークとして減少するというコントラスト感度関数を得て、本実験方法の妥当性を確認している。また、各種収差と日常装用している眼鏡で発生している収差との比較を行い、長期的な収差に順応することにより生ずる画像補正機能をもつ視覚系神経メカニズムの存在を示唆している。

第6章「総合的考察」では、第2章から第6章までの結果を総括して、補償光学系の技術開発と視覚系の空間周波数特性の測定において共に有効性を示すと共に、本装置は最適な眼鏡作製の提案や角膜屈折矯正手術の術前診断に利用できると述べている。

第7章「結論」では、本研究で得られた成果を総括している。

以上を要するに、本論文では新しい補償光学系を開発して、網膜撮影システム装置と視覚刺激装置に適用し、人間の視覚系の空間周波数特性の測定を可能にすることを示したものであり、工学上ならびに工業上貢献するところが大きい。よって本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認められる。