

氏名(本籍)	佐藤裕治(北海道)			
学位の種類	博士(工学)			
学位記番号	博甲第6078号			
学位授与年月日	平成24年3月23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	システム情報工学研究科			
学位論文題目	非球面水中音響レンズ及び反射鏡の設計に関する研究			
主査	筑波大学教授	工学博士	水谷孝一	
副査	筑波大学教授	Ph.D.(工学)	堀憲之	
副査	筑波大学教授	工学博士	安信誠二	
副査	筑波大学准教授	博士(工学)	若槻尚斗	
副査	筑波大学講師	博士(工学)	川村洋平	
副査	筑波大学助教	博士(工学)	海老原格	

### 論文の内容の要旨

本論文の目的は高い集束性能を持つ水中音響レンズ又は反射鏡を設計し、性能を評価することである。この目的を達成するため二つの非球面で構成されるアプラナート光学系の設計原理を応用した。また、集束性能を評価するため数値計算および水槽実験を行った。

第1章では、研究の背景として海洋探査及び水中音響可視化技術の重要性を示した。また、水中音響レンズ及び反射鏡を光学レンズ及び反射鏡と比較し、また、他の水中可視化技術と比較し、本研究の位置づけを明確にした。そして、本研究で明らかにする範囲を述べ、研究の目的及び方法を示した。

第2章では、アプラナート光学系の設計に必要な光学理論及び評価方法を示した。アプラナート光学系とは、サイデル収差のうち球面収差とコマ収差を補正できる結像光学系であり、球面収差を補正するには光路長一定の条件が、コマ収差を補正するにはアッペの正弦条件がそれぞれ必要であることを示した。また、集束性能を評価するための基準として、理論的に導出される回折限界と、数値計算によって導出される焦点深度を示した。

第3章では、二つの非球面屈折面で構成されるアプラナートレンズを水中音響レンズへ応用し、シリコンゴムを材質とする両凸面アプラナートレンズ及びアクリル樹脂を材質とする両凹面アプラナートレンズを設計した。収差を補正できない両凹面球面レンズと比較した結果、両凹面アプラナートレンズが理論値に最も近い分解能と焦点深度を示した。また、両凹面アプラナートレンズと両凹面球面レンズを水槽実験によって比較した結果、両凹面アプラナートレンズが高い集束性能を有することを示した。

第4章では、水とインピーダンス整合がよいシリコンゴムを用いて複数の両凸面アプラナートレンズを設計し、それらを組み合わせて薄型レンズとすることを検討した。この薄型レンズはフレネルレンズに類似した段付形状であるため、アプラナートフレネルレンズと呼称する。アプラナートフレネルレンズは設計条件によって様々な形状になるため、数値計算を用いて形状を最適化した。また、薄型かつ軟質であるため、形状を保持するためにアクリル製のカバーを取り付けた。カバーを装着したアプラナートフレネルレンズと双

曲面フレネルレンズを水槽実験によって比較した結果、アプラナートフレネルレンズは広い入射角で優れた集束性能を有することを示した。

第5章では、2面の非球面反射面で構成されるリッチー・クレチアン反射望遠鏡を水中音響反射鏡に応用した。リッチー・クレチアン反射鏡はレンズと比較して半分以下の画角であったため、軸外し配置を適用した。その結果、軸外しリッチー・クレチアン反射鏡は通常のリッチー・クレチアン反射鏡の2倍程度の画角を有することを示した。

第6章では、非球面の屈折面と反射面から構成されるアプラナート裏面反射鏡を設計した。この際球面収差を補正できるシュトラウベル鏡を参考にしたため、設計した反射鏡はアプラナートシュトラウベル反射鏡と呼称する。アプラナートシュトラウベル反射鏡はアプラナートレンズ及びリッチー・クレチアン反射鏡の設計方法を適用できなかったため、最適化計算を用いて設計した。材質をシリコンゴム及びアクリル樹脂としてアプラナートシュトラウベル反射鏡を設計し、水槽実験で比較した結果、シリコンゴム製が高い集束性能を示した。また、受波アレイが反射鏡前面に位置し、入射波を阻害する問題を解決するために軸外し配置を適用した。この結果、通常のアプラナートシュトラウベル反射鏡に対し広い画角を有することを示した。

第7章では、各レンズ及び反射鏡の特性をまとめ、比較した。この結果、アプラナートフレネルレンズとアプラナートシュトラウベル反射鏡は収差が少なく高い集束性能を有することを示した。

## 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は、光学レンズに対して減衰率が大きくレンズ間の反射を抑制できない水中音響レンズにおいて収差補正を行う際、複数ではなく1枚の薄い非球面レンズを用いることを提案している。球面収差とコマ収差を補正できるアプラナート系を採用し、薄型化のためにフレネルレンズもしくは裏面反射鏡の設計法を導入している。本論文で提案されているアプラナートフレネルレンズ及びアプラナートシュトラウベル反射鏡では標準レンズと同程度の画角を持ち、収差が十分補正されているため、水中音響可視化技術への応用が可能であると考えられ、特に装置の高分解能化、小型化等に貢献できると考えられることから、評価に値する。

平成24年1月23日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、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。