

審査の結果の要旨

論文提出者： 齊藤 公博

CD や DVD に代表される光ディスクシステムは光産業を支える最も太い柱である。最近も Blu-ray や HD DVD が実用化され、更なる大容量化に向けて研究開発が進んでいる。そこでは記録の高密度化とシステムの小型集積化が同時に要求され、加えて低コスト化の要求にも応えるため、回折素子や偏光素子など高機能素子を用い、部品点数を減らす努力がなされて来た。その結果、光学の原理は不変であるが、カメラレンズのような典型的な光学系とは異なるさまざまな機能や形状の光学系が考案され、これらを的確に解析する必要が出てきた。さらに、レンズ部分だけではなく、光源や光ディスク媒体から検出器まで、システム全体で性能を評価することが不可欠となっている。本論文の著者はこのような要求に答えるため、平面波展開法を基礎に据え、光の伝播を改めて考察し直し、これに停留位相法を適用することにより、光の回折理論を再構築した。その結果を各種光ディスクの設計や評価へ応用した。特に、著者の考案による有効点像分布関数は、レンズの結像特性だけではなく、検出器の形状や光ディスクの基本構造を取り込んだもので、いろいろな方式の光ディスクの動作特性を統一的に論ずることを可能にした。

本論文は7つの章で構成される。

第1章は本論文の序で、本研究の背景と概略を述べた後、本論文の構成をまとめている。

第2章は「平面波展開に基づく光ビーム伝播の解析法」と題し、光波を平面波に展開する方法に基づき、偏光を考慮した光の伝播を論じている。光の場を平面波の重ね合わせとして表現し、これに停留位相法を適用し、回折積分公式を導いた。この結果にもう一度停留位相法を適用することにより、幾何光学的な光線追跡の式を得た。停留位相法の誤差の見積りから、この計算法の適用限界を明らかにした。この結果は、固体浸レンズなど高開口数の光学系に対し、偏光を考慮して、焦点近傍の回折像を解析し、光線追跡の適用限界の評価に応用された。

第3章「異方性媒質を含む光学系の光線追跡と Fraunhofer 回折計算」では、第2章で論じた平面波展開法を異方性媒質中の光の伝播に適用している。異方性媒質中の平面波の伝播は既知の事実であるが、光線追跡法としての定式化はほとんどなされていなかった。著者は、複屈折媒質の光波を、固有偏光状態を基底にとって平面波展開し、これに停留位相法を2回適用することにより、光線追跡法を定式化した。この方法は複屈折媒質を用いた台形プリズムの設計に応用された。この台形プリズムは偏光ビームスプリッターとして働き、検出器と一体化することにより、光磁気信号とトラッキングのサーボ信号を同時に得ることを可能とする。この素子は、Mini-Disc 用光磁気ピックアップとして実用化されている。

第4章は「光ディスク媒体内部における電場分布および回折光の計算方法」と題し、3次元的な屈折率

構造を持つ媒質に光を絞り込んだときの、媒質内部の電場分布の計算法が論じられている。光ディスクは案内溝など表面に複雑な構造を持つ。光ディスク表面に光を絞り込んだときの焦点近傍の電場分布の計算には、表面の立体構造の影響を考慮しなくてはならない。著者は、これまで知られている多くの解析法から5つの方法、すなわち、Rayleigh法、表面電流法、RCW(rigorous coupled wave)法、座標変換法、有限要素法、を選び、これらについて詳細に調べた。同一のモデルに対しこれらの方法を用いた計算結果を示し、相互比較を行った。光ディスクに関しては、総合的にはRCW法が優れているとの結論に達した。この結果は、案内溝の凸部に信号を記録する方式と凹部に記録する方式の優劣の決定などに応用された。

第5章「有効点像分布関数を用いた光ディスクシステムの再生特性解析」では、各種光ディスク方式を統一的に比較するために、有効点像分布関数という新しい概念が導入され、その具体的な応用例が論じられている。点像分布関数とは点光源を物体としたときの像の強度分布であり、光学系の結像特性を表す応答関数である。光ディスクシステムの解析では、点像は複雑な構造を持つ光ディスクを照射し、反射光がピックアップ光学系を通過した後、いろいろな構造の検出器に入り、最終的に電気信号を出力する。著者は、光ディスク上の信号（マーク）の回折や吸収の効果が小さく線形近似が許されるとき、光ディスクシステムの応答関数を、従来の点像分布関数を拡張した有効点像分布関数という形で表現できることを見出した。この有効点像分布関数は、異なる方式を統一的に記述できるという意味で、極めて有用である。よく似た考え方は、これまでも位相差顕微鏡やレーザー走査型顕微鏡の解析などでも用いられた例があるが、光ディスクシステムに応用されたのは本論文が初めてである。

第6章は「光ディスク光学系を用いたホログラム記録再生とその解析」と題し、平面波展開のホログラフィック光メモリーへの応用が論じられている。ホログラフィーは多重の情報を体積記録でき、高密度の光記録方式の候補としてこれまで多くの研究開発がなされてきた。著者は、ホログラムの記録再生過程を、平面波展開法を用いて定式化し、多重記録の選択性やクロストーク雑音の大きさを見積り、記録密度を評価した。

第7章は結びで、本論文の結果の要約と今後の展望が述べられている。

以上を要約すると、本論文は、平面波展開法と停留位相法を解析の道具に、複雑な構造を持つ光ディスクシステムの再生特性を明快に論じ、設計法を与えたものである。この結果は、光ディスクシステムの解析に新しい方法をもたらすと同時に、Mini-Disc用のコンパクトな光ピックアップの設計など製品開発に応用された。特に、著者の提案する有効点像分布関数の理論は、いろいろな光ディスクシステムの再生特性を統一的に評価することを可能にした。従来、個別に論じられてきたものに統一的な視点を与えたことの意義は小さくない。以上、本論文の成果は物理工学に寄与するところ大であり、博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。