

氏名	梶岡博 かじ おか ひろし
学位の種類	工学博士
学位記番号	論工博第1667号
学位授与の日付	昭和59年3月23日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
学位論文題目	光ファイバの伝送特性に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 池上淳一 教授 池上文夫 教授 木嶋 昭

### 論文内容の要旨

本論文は、光ファイバの多モード伝送特性を実用的見地から理論的・実験的に研究したもので、9章よりなっている。

第1章は序論であって、光ファイバの特性向上の歴史および本研究の目的と概要を述べている。

第2章では、摂動のない均一コア形 (SI) およびグレーディッド形 (GI) ファイバの波動理論解析を行い、後章で必要となる基礎事項を述べている。特に、位相定数の等しいモード群の位相定数および遅延時間を表わす式を誘導している。また、波動理論と光線理論との対応について述べ、モード群次数と光線の伝搬角との関係を求めている。

第3章では、モード変換の要因について述べた後、モード変換を考慮に入れて伝送特性を解析する方法として電力結合方程式を導き、これを出発点として、モードの振幅が僅かしか変化しない小区間の両端における複素表示された光電力を関係づけるモード散乱行列を定義し、長尺の光ファイバのベースバンドの伝達関数をモード散乱行列の積から求める方法を提案している。

第4章では、伝送損失の要因および測定法について述べている。また、伝送帯域幅の測定法ならびにモード変換が生じない場合の帯域幅について考察している。つぎに、光ファイバの屈折率分布の測定法を挙げ、そのうちの透過法について誤差の検討を行っている。さらに、SI ファイバについて、モード分布が伝搬距離により変化することを実験により示すと共に、モード分布が励振条件に依存しない定常状態が存在することを確認している。

第5章では、モード変換の要因としてナイロン被覆の収縮によるマイクロバンドとガラス組成の密度のゆらぎによるレーレー散乱の二つを取り上げ、これらに基づくモード変換係数とファイバ心線の構造パラメータとの関係を検討している。つぎに、モード散乱行列を用いた数値計算により伝送帯域幅および振幅減衰量と励振条件、光ファイバ長、結合強度 (モード変換係数×ファイバ長) などとの関係を求め、計算結果が実測結果とよく合うことを示している。さらに、定常状態の実現度と光ファイバ長、モード変換係数、ベースバンド信号周波数との関係を検討している。

第6章では、まず、現状の GI ファイバの波長  $0.8\sim 1.5\ \mu\text{m}$  帯の損失波長特性を分析し、モード変換損の重要性を指摘している。つぎに、モード分散によるパルス幅広がりを最小にする屈折率のグレーディング指数 ( $\alpha_{\text{opt}}$ ) を求め、広帯域特性を得るにはグレーディング指数を  $\alpha_{\text{opt}}$  に近づけることのほか、屈折率分布のゆらぎを少なくし、コア・クラッド境界面の分布を滑らかにする必要があることを指摘している。また、理論的・実験的検討により、モード変換行列に用いるモード変換パラメータを決定した後、モード変換が長尺ファイバの伝送特性に与える影響について詳細な検討を行っている。

第7章では、均一コアW形ファイバの伝送特性について述べている。中間層幅の異なるW形ファイバを試作し、伝送特性の実測結果と数値解析結果とを比較検討することによりモード変換パラメータを決定し、このパラメータを用いて長尺のW形ファイバの伝送帯域の長さ特性、伝送損失、帯域幅の中間層幅依存性、モード励振条件依存性を計算し、実験結果とよく合うことを示している。また、W形ファイバと SI ファイバとの耐応力特性を検討し、前者の方が優れていることを明らかにしている。

第8章では、テレビジョン信号を GI ファイバにより伝送する場合に発生する高調波歪を検討している。半導体レーザにより GI ファイバに励起されるモード数が強度変調により変化すると仮定の下に第2高調波歪を解析し、実験結果とよく合う結果を得ている。また、この解析結果から歪を少なくする条件を求めている。

第9章は結論であって、本研究で得られた成果を要約している。

### 論文審査の結果の要旨

現在、光伝送には、主として、多モード光ファイバが使用されているが、伝搬途中でモード変換によりモード分布が変化するため複雑な伝搬特性を呈する。このことが多モード光ファイバ回線の設計を困難にしている。本論文は多モード光ファイバのベースバンド伝送特性を把握するために行った理論的・実験的研究の結果を纏めたもので、得られた主な成果は次の通りである。

1. モード振幅の変化が微小である小区間を基本区間とし、その両端における複素表示光電力を関係づけるモード散乱行列を定義し、この行列の積からベースバンド伝達関数を計算する方法を提案した。この方法により任意のモード変換係数、励振条件、群遅延時間、モード減衰定数に対して、均一コア形 (SI)、グレーディッド形 (GI) およびW形光ファイバの伝送特性を計算し、実測値とよく一致が得られることを示すと共に、伝送特性を解明した。

2. ナイロン被覆の収縮によるマイクロベンドに起因するモード変換係数をジャケットの不均一性によるモデルを用いて計算し、光ファイバの構造パラメータとの関係を求めた。レーレー散乱による変換係数は小さく、モード変換はマイクロベンドのみにより起るとして計算した伝送特性が実測結果とよく一致することを示した。また、マイクロベンドを軽減する3層構造を提案した。

3. モード分布は、モード変換により、伝搬するにつれて定常状態に近づくことを実験により確認し、定常状態実現度の尺度の定義を提案し、モード変換係数が大きい程、ベースバンド信号周波数が低い程短い伝搬距離で定常状態に近づくことを明らかにした。

4. GI ファイバについて、透過法による屈折率分布の測定結果とそれに対する伝送帯域幅の測定値と

に基づいて、広帯域特性を得るためにはグレーディング指数を最適値に近づけることのほか、屈折率分布のゆらぎを少なくし、コア・クラッド境界面の分布を滑らかにすることが極めて重要であることを明らかにした。

5. モード変換は伝送損失を増加さず、ベースバンド帯域幅を広くする効果を持っており、25 km 程度の GI ファイバでは 0.1 dB/km 程度の僅かなモード変換損でも帯域幅拡大に著しい効果があることを明らかにした。

6. 中間層幅の異なる W 形ファイバを試作し、伝送損失および帯域幅の実測値とモード散乱行列法を用いた数値解析結果とを比較検討することによりモード変換パラメータを決定し、これを用いて帯域幅の長さ特性、伝送損失、帯域幅の中間層幅依存性および励振条件依存性を数値計算し、実験結果とよく一致することを確認した。なお、W 形ファイバにおいてもモード変換の要因は GI ファイバと同じくマイクロバンドであることを明らかにした。また、W 形ファイバは SI ファイバより耐応力特性が優れていることを理論的・実験的に明らかにした。

7. テレビジョン信号を GI ファイバで伝送する場合に発生する高調波歪は、半導体レーザの強度変調により、ファイバに励振されるモード数が変化することに基因するとの観点から第 2 高調波歪を計算し、歪に寄与する因子を分析すると共に、低歪になる条件を明らかにし、これに基づいて光ファイバを試作し、実験により解析結果の妥当性を確認した。

以上要するに、本論文は、モード変換を考慮に入れて多モード光ファイバの伝送特性を解析できる方法を提案し、解析結果が実測値とよく合うことを示すと共に、光ファイバの伝送特性に関して新しい知見を加えたもので、学術上・実際上貢献するところが少なくない。よって本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。

また、昭和 59 年 1 月 10 日論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。