

氏名	たなか まさとし 田中 正俊
本籍	兵庫県
学位の種類	博士（工学）
学位の番号	乙第11号
学位授与年月日	平成29年3月16日
学位授与の要件	本学学位規則第23条
学位論文題目	マルチコア光ファイバとその接続に関する研究
論文審査委員	主査 教授 森下 克己 副査 教授 岸岡 清 副査 教授 小見山 彰 副査 教授 樋口 英世

論文内容の要旨

急激に増え続けている通信トラフィック需要に応えるために、光ファイバ通信の伝送容量の拡大が、時間分割多重技術と波長分割多重技術によって図られているのであるが、多重化技術の限界と伝送媒体である光ファイバの物理的限界が明らかになっている。そのような状況下で、もう1つの多重化技術として空間多重技術が注目を浴びており、1本の光ファイバに複数のコアを設けたマルチコア光ファイバの研究が盛んに行われている。マルチコア光ファイバ通信網を構成するためには、コア間クロストークの低減、マルチコア光ファイバ同士の接続技術、マルチコア光ファイバを送信機・受信機に接続するためのファンイン・ファンアウト部品は不可欠となっている。

第1章は、序論であり、このような研究背景について述べた後、マルチコア光ファイバ研究の目的について述べている。併せて、マルチコア光ファイバ通信網を構成するための課題について述べている。

第2章は、マルチコア光ファイバの製造法について述べている。プリフォームの作製方法とし

て、単孔石英管法と多孔石英管法の2種類を比較している。その結果、コア非円率などの点で多孔石英管法が優れていることを述べている。

第3章は、マルチコア光ファイバのコア間クロストークの挙動について述べている。マルチコア光ファイバは、1本の光ファイバに複数のコアを接近して配置するため、通信品質を劣化させるコア間クロストークが生じる。光ファイバ長、光の波長、コア間距離などが変化した場合におけるクロストークの挙動を、導波モード間の結合係数と電力結合理論から導出した簡易計算式で説明している。この計算式から得られるクロストークの挙動は、測定結果とよく一致することを述べている。

第4章は、ファンイン・ファンアウト部品について述べている。マルチコア光ファイバを送信機・受信機に接続する場合は、ファンイン・ファンアウト部品を介して接続する。この部品は、複数の孔を設けた石英製のキャピラリにシングルコア光ファイバを挿入して熔融延伸したテーパファイババンドルを、マルチコア光ファイバに接続して作られている。熔融延伸でシングルコア光ファイバのコア径は減少する。コア径が減少してもモードフィールド径はあまり変化しないシングルコア光ファイバを使うことで、テーパファイババンドルとマルチコア光ファイバの接続損失が抑制できることを示している。

第5章では、マルチコア光ファイバを融着接続する場合の軸回転調整の方法に関して、ケーブル布設現場などの野外においても利用可能なパワーモニタ法を提案している。マルチコア光ファイバは中心軸だけでなく、その外側にもコアが設けられているため軸回転によりコア位置を調整してから接続する必要がある。光ファイバ側面からの入射と出射を用いることで野外でも実施できるパワーモニタ法を使った軸回転調整を確立している。この軸回転調整を利用して融着接続したときの接続損失は、従来のパワーモニター法による結果と同等であることを示している。

第6章では、マルチコア光ファイバを高精度でかつ容易に軸回転を調整できる方法を提案している。従来のパワーモニタ法におけるモニタ光電力の変化は、軸回転ずれが小さくなるほど緩やかになるため調整し難いものであった。一方、提案の方法はクラッド励振法を利用することで、その光電力の変化は軸回転ずれが小さくなるほど急になるので調整し易くなる。軸回転ず

れが無い状態から 1° の回転角度ずれを与えた場合の光電力の変化量を測定し、従来のパワーモニタ法では0.1dBの変化であったのに対し、提案の方法ではステップ型屈折率分布コアのマルチコア光ファイバにおいて2.1dB、トレンチ付加型屈折率分布コアのマルチコア光ファイバにおいては0.9dBに増加することを示している。

第7章では、接続時の軸回転調整を容易にする目的で、マルチコア光ファイバのクラッド断面形状を六角形にした結果について述べている。コネクタ接続において、フェルールの挿通孔形状を六角形にして、そこに断面形状が六角形のマルチコア光ファイバを挿入すれば、常に一定の回転方向に固定できる可能性がある。軸回転調整を不要にするコネクタ接続の可能性について述べている。光ファイバの融着接続においては、マルチコア光ファイバをV溝上に固定している。V溝の斜面とクラッドを面接触させることによりマルチコア光ファイバを特定の回転方向に固定できる可能性がある。また、断面形状が六角形のマルチコア光ファイバの機械強度についても検討を行っている。

第8章は、結論であり、得られた結果をまとめて本論文の総括を行っている。

論文審査結果の要旨

現在、光ファイバ通信の伝送容量の拡大は、時間分割多重技術と波長分割多重技術によって図られており、1本の光ファイバで 100 Tbit/s にまで大容量化できることが示されている。今後のトラフィック需要の増大に応えるには、さらなる容量拡大が必要となっている。しかし、光ファイバにおける非線形現象と物理的限界(光ファイバの溶融)により、これまでの多重化技術は限界を迎えている。この限界を破る多重化技術として、空間多重技術が脚光を浴びており、1本の光ファイバに複数のコアを設けたマルチコア光ファイバ方式が注目を浴びている。

本論文は、マルチコア光ファイバ通信網を実現させるのに必要不可欠な4つの課題に取り組んでいる。マルチコア光ファイバの製造、コア間クロストークの挙動把握と低減化、マルチコア光ファイバの入出力部品(ファンイン・ファンアウト部品)、マルチコア光ファイバの接続の研究に取り組み、マルチコア光ファイバ通信を実用化の域にまで高めており、十分に価値があるものと評価できる。

マルチコア光ファイバの製造においては、コア非円率を下げ、伝送損失を減少する必要がある。本論文では、単孔の純粋石英管に複数のコア材とスペーサーを入れて製作する単孔石英管法と複数の孔を設けた石英管にコア材を挿入する多孔石英管法を比較検討し、多孔石英管法がコア非円率と伝送損失低下に関して優れていることを示し、マルチコア光ファイバの製造法を確立している。

マルチコア光ファイバではコアを接近させて配置するため、コア間で電力の移行が起こり、コア間クロストークが生じて通信品質を劣化させる。マルチコア光ファイバの設計指針を得るためにコア間クロストークの挙動を求める簡易計算式を導出している。計算式に含まれる2つの定数を測定により求めれば、異なる伝搬距離や異なった波長におけるコア間クロストークを見積もることができる。また、同じコアパラメータからなるマルチコア光ファイバであれば、コア間距離を変化させた場合のコア間クロストークも見積もることができ、マルチコア光ファイバの設計が可能となる。

マルチコア光ファイバを送信機や受信機に接続する場合は、ファンインとファンアウト部品が必要になる。テーパ光ファイバとマルチコア光ファイバを接続した構造のファンイン・ファンア

ウト部品を提案し、挿入損失の少ないファンイン・ファンアウト部品の開発に成功している。通常のシングルコア光ファイバではテーパー状に細くしてコア径を半分にすると、モードフィールド径が大きく変化して、マルチコア光ファイバとの接続損が大きくなる。本論文では、コア径を半分にしてもモードフィールド径がほとんど変化しない光ファイバを設計し、接続損の少ないファンイン・ファンアウト部品の開発に成功している。

マルチコア光ファイバを用いた光通信システムでは、マルチコア光ファイバ同士の接続は不可避である。通常はコアに試験光を入射し、接続された他方のマルチコア光ファイバの出力端で試験光の光電力をモニタしている。しかし、軸回転ずれが小さくなるほど試験光の光電力の変化は小さくなり調整が困難となっていた。本論文では、マルチコア光ファイバの側面からクラッドに試験光を入射する方法を提案し、軸回転ずれが小さくなるほどモニタする光電力の変化が大きくなり、調整が容易になることを示すと共に、接続損を従来の方法と比べて同等以下にすることに成功している。また、マルチコア光ファイバの軸回転調整を必要としない融着接続を実現するために、クラッド断面形状が六角形のマルチコア光ファイバを提案し、基礎的な実験をして実現のための課題を明らかにしている。

以上のように、本論文ではマルチコア光ファイバを用いた通信を実現させるために必要不可欠な課題に取り組み、実用化の域にまで高めており高く評価できる。よって、本論文は博士学位論文として価値あるものと認める。

論文審査委員

主 査 教授 森 下 克 己

副 査 教授 岸 岡 清

副 査 教授 小 見 山 彰

副 査 教授 樋 口 英 世

論文審査結果の要旨

最終試験の結果、合格と認める。

論文審査委員	主査	教授	森下克己
	副査	教授	岸岡清
	副査	教授	小見山彰
	副査	教授	樋口英世