

氏名（本籍）	竹崎 元人（北海道）
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	甲第 184 号
学位授与の日付	平成 27 年 3 月 22 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	多心光コネクタの設計と高機能化に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 長瀬 亮 (副査) 教授 武石 洋征 教授 梅村 茂 教授 坂本 幸弘 准教授 徳永 剛

## 学位論文の要旨

### 多心光コネクタの設計と高機能化に関する研究

年々通信速度や通信容量が増大しており、高速通信および大容量通信を実現するためには光ファイバによる通信は必要不可欠である。

増大する通信量へ対応するには効率のよい光通信網の構築が必要であり、適用領域に合わせた光ファイバケーブルの敷設方法の開発や面積あたりの実装密度を上げることが課題となる。実装密度を向上させるには光ファイバ同士を多心一括で接続できる多心光コネクタの使用が有効である。このような目的のために開発された MT コネクタ (IEC 61754-5) が現在広く普及しているが、シングルモードファイバに適用するためには単心系光コネクタに比較してランダム接続時の損失が大きいこと、組み立て工程が煩雑で装置内光配線には適用しにくいこと、ボード上高密度光配線に向けて開発が進められているポリマー光導波路の接続技術が確立していない背景がある。

本論文では多心光コネクタである MT コネクタ技術をベースとした多心光コネクタにおける設計手法および多心光コネクタの高機能化について論ずるとともに、様々な敷設環境に適応した多心光コネクタの有効性の確認を目的とし、実験により実証した。

(1) 多心光コネクタである MT コネクタを用いて、その構造から接続損失発生要因を考察した。接続損失発生要因を考慮した多心光コネクタを安定して量産するために成形条件および成形環境の再検討を行った。成形機使用部品や金型部品の材質変更、成形材料の最適化を行ったことにより、従来は継続成形の限界が 50,000 ショットであったのに対し、300,000 ショットまで継続可能となり、高精度な状態で安定して量産が実現可能であることを明らかにした。

(2) 多心光コネクタをシングルモードファイバに適用する場合でも、単心系光コネクタに匹敵する損失分布を得るため、多心光コネクタの量産時における寸法精度と光学特性の関係について研究し、99.41 % $\leq$ 0.35 dB 以下を目標として、新たに設計した低損失シングルモード用 MT コネクタを量産し、その寸法特性、光学特性および信頼性について検証した。50,000 心を超える低損失シングルモード用 MT コネクタの接続損失データから寸法設計値に対する光学特性評価を行い、目標値である 99.41 % $\leq$ 0.35 dB を満足する結果を得るとともに、モンテカルロシミュレーションを行い、実測値とシミュレーション計算値に良い一致が見られたため、設計値と実測値の相関が取れていることを確認した。また Telcordia GR-1435-CORE を参照し、耐環境性および耐久性について検証を行った結果、試験前後での劣化や破損は見られず十分な性能を有していることを実証した。よって、本章で検証した低損失シングルモード用 MT コネクタの設計値を用いることにより、これまで単心系光コネクタでしか実現できなかった IEC61755-1 Grade B の性能を有した低損失シングルモード用 MT コネクタを量産時でも安定した生産が可能であることを示した。

(3) 光配線板での多心一括接続を容易にするため、多心光コネクタ端面の研磨が必要なく、簡易な組み立てが可能であり、かつ MT コネクタとの互換性を有する 50/125 GI 型マルチモードファイバを使用した MTPIPE コネクタの開発を行った。50/125 GI 型マルチモードファイバにおける接続損失理論式から接続損失目標設計値を MAX $\leq$ 1.0 dB と設定した。機器内での使用を考慮し、研磨を要しない組立て方法を新たに提案するとともに、必要となる屈折率整合剤として屈折率整合フィルムの検討を行った上、量産ラインにより MTPIPE を開発した。

寸法についてはコア偏心量の目標値である最大 2.5  $\mu$ m 以下を満足し、光学特性については、1 接続あたり 2 か所の接続点を含むものの、最大で 0.42 dB が得られ、目標の 1.0 dB より良好な性能を有していることを確認した。信頼性については Telcordia GR-1435-CORE を参照して環境試験およびコネクタの耐久力確認試験として着脱試験を実施した結果、試験前後で光学特性の変動が見られず、また MTPIPE の接着部分の剥離も見られなかったことから、十分な強度と性能を兼ね備えた多心光コネクタを開発したことにより、組立時に研磨が不要である新たな構造により装置内での多心一括接続を実現し、実用に供せられることを明らかにした。

(4) PMT コネクタにおける接続損失発生要因を明確にして、実際に生産された PMT コネクタと光導波路フィルムを組立・寸法特性を評価した。PMT コネクタの構造を解析し接続損失発生要因について明確にした上、50/125GI 型マルチモードファイバとの接続を考慮して寸法設計を行った。設計に基づき量産ラインで製造した PMT コネクタの寸法評価を行い、目標値である開口部寸法ずれ量 2.5  $\mu$ m 以下を満足し、十分な精度で量産できることを確認した。次にこの PMT コネクタを使用して実際に光導波路フィルムを取り付け、コア位置寸法測定を実施したところ、目標値であるコア位置ずれ量 2.5  $\mu$ m 以下を満足する結果が得られず、合わせて光学特性である接続損失も目標値である 0.5 dB 以下を満足する結果が得られなかったが、取得したデータからコア位置ずれが

発生する原因について解析した結果、PMT コネクタ組み込み時における光導波路フィルムの X 軸ずれが大きく起因していることを明らかにした。よって、PMT コネクタおよび光導波路フィルム双方から接続損失とその原因を明らかにした。

以上により、多心光コネクタの設計として接続損失発生要因を明らかにし、量産時における低損失シングルモード用 MT コネクタによりその妥当性について実証した。また、多心光コネクタの高機能化として 50/125 GI 型マルチモードファイバの装置内無研磨接続およびボード上光導波路フィルム接続に関し、MT コネクタを基盤とした多心光コネクタの開発及び検討を行い、接続損失とその原因について明らかにし、様々な適用領域における多心光コネクタの設計手法を実証した。

## 審査結果の要旨

年々通信速度や通信容量が増大しており、高速通信および大容量通信を実現するためには光ファイバによる通信は必要不可欠である。増大する通信量へ対応するには効率のよい光通信網の構築が必要であり、適用領域に合わせた光ファイバケーブルの敷設方法の開発や面積あたりの実装密度を上げることが課題となる。実装密度を向上させるには光ファイバ同士を多心一括で接続できる多心光コネクタの使用が有効であり、このような目的のために開発された MT コネクタ (IEC 61754-5) が現在広く普及しているが、シングルモードファイバに適用するためには単心系光コネクタに比較してランダム接続時の損失が大きいこと、組み立て工程が煩雑で装置内光配線には適用しにくいこと、ボード上高密度光配線に向けて開発が進められているポリマー光導波路の接続技術が確立していない背景がある。

本論文では、多心光コネクタである MT コネクタ技術をベースとした多心光コネクタにおける設計手法および多心光コネクタの高機能化について論ずるとともに、様々な敷設環境に適応した多心光コネクタの有効性の確認を目的としたものであり、全 6 章で構成されている。

第 1 章では、通信容量の増大に関する背景と、光接続、特に多心光コネクタの高性能化と適用領域拡大に関する要求について述べている。

第 2 章では多心光コネクタの設計手法に関する検討について述べている。通信ネットワークにおいて既に普及している SC コネクタを代表とする単心系光コネクタは円筒形フェルールの外径基準による整列が基本となるため、接続特性と部材の精度や材料特性との因果関係が比較的明確で、これまでに性能向上や信頼性に関する技術が確立しているが、多心系光コネクタである MT コネクタはその構造上、接続精度を決める基準位置・面が多数存在し、位置決め精度と光学特性分布について明確になっていない。そのため本論文では多心光コネクタの設計手法について、接続損失発生要因を明確にするとともに、材料、成形金型、成形条件の観点から量産手法に対する

検討結果について述べている。

第3章では第2章で明確にした多心光コネクタの設計手法を用い、単心系光コネクタの接続特性に匹敵する性能をMTコネクタで実現することを目標として低損失シングルモード用MTコネクタについて設計し、その設計値で量産されたMTコネクタを用いて設計手法の妥当性について実証した結果を述べている。量産した50,000心を超える接続損失データから寸法設計値に対する光学特性評価を行い、目標値を満足した結果を得るとともに、モンテカルロシミュレーションを行い、実測値とシミュレーション計算値に良い一致が見られることから、提案した設計手法の妥当性を実証している。

第4章では多心光コネクタの高機能化を目的として、第2章で明確にした多心光コネクタの設計手法を用いて開発した光配線板用多心光コネクタ(MTPIPE)について述べている。装置内伝送信号の高速化に伴い、ボード上光インタコネクショントクが必要とされている。これまで光ケーブル同士の接続に用いられてきたMTコネクタをボード上で実装することを可能とするため、光ファイバレイに無研磨で光コネクタを取り付けられる新たな構造を開発し、その設計手法と実現手段について述べるとともに、信頼性を含め装置内で使用するための要求条件を満たしていることを測定データとともに示している。

第5章では多心光コネクタの高機能化を目的としたもう1点の適用領域として、光導波路フィルムに取り付ける多心光コネクタ(PMTコネクタ)を開発し、その構造と設計手法について述べている。必要な性能を満足するために求められる各部品の寸法精度を明らかにした後、量産できることを確認した上で接続特性の測定結果を述べている。現時点では高精度な導波路フィルムが作られていないため要求条件を満たす接続特性は得られていないが、導波路側に必要な条件を明確にし、導波路フィルムによるボード上光配線に関する設計手法を確立している。

第6章では、本論文の総括と今後の展望をまとめている。

以上、本論文はますます高速・大容量化する通信需要に応えるために必要な多心光ファイバ接続技術に取り組んだものであり、実験室レベルでなく量産時に必要な性能を得るための設計手法を確立するとともに製造条件を見出し、圧倒的なデータ量を統計処理することによりその正しさを証明している。また多心光コネクタの高機能化として、今後需要が高まるボード上光配線に必要な光ファイバ配線板や光導波路フィルムに適用できる新しい多心光コネクタを開発し、設計手法を確立するとともに信頼性を含む接続特性を示すことにより実用性を明らかにした。これらの技術的貢献は工学における学術論文として高く評価できる。

よって本論文は、博士(工学)の学位論文として合格と認められる。