

学 位 論 文 題 名

光通信線路の心線切替接続技術に関する研究

学位論文内容の要旨

ディジタル通信や映像サービス等を提供する ISDN（サービス統合ディジタル網）を確立するインフラストラクチャとして本格的な光加入者線路網の構築が全国的に開始される趨勢にあり、これらに対処するため多心光ファイバケーブル、光多心コネクタ、多心融着接続、光線路試験、光心線切替接続技術等の研究開発が活発に進められている。

光ケーブルのルート変更、需要変動時の光心線融通等を行う心線切替接続作業は、従来、夜間、長時間の回線借用（NTT がユーザから回線を借用し工事を行うこと）を行い実施していた。近年ディジタル通信サービスの需要拡大に伴い回線の使用率が高まり、回線借用が困難な状況が発生し、工事期間と稼働を削減できる光心線切替技術の開発が要望されていた。又、光心線切替接続技術は現状マンパワーに依存している保守・運用業務を将来オペレーションシステム化するための要素技術で、FTTH（Fiber To The Home）を実現するキーテクノロジーの一つであるといえる。

心線切替接続方式は①局内や光線路の途中に切替機能を有する切替ノードを予め設置しておき、網的な切替を行う光切替ノード設置切替接続方式、②光線路の接続に用いる光ファイバ心線接続用コネクタを直接切替る光ファイバ心線接続部品利用切替接続方式、③光線路の光ファイバ心線を任意な箇所被覆を除去し、切断・移動し、融着接続して切替る光ファイバ心線直接切替接続方式に分類される。①は網的な規模で切替を行う大規模な心線切替接続方式で、②、③は2点間で切替を行う小規模な切替接続方式である。

心線切替接続は通常ルート変更を伴っており、信号の遅延が発生し、技術的に無瞬断切替は困難である。本論文では、回線の瞬断により伝送装置の同期外れは発生するが、接続と同時に伝送装置が同期復帰する瞬断許容型切替接続方式を研究対象とした。本論文は7章より構成され、以下に研究の主な内容と成果を示す。

第1章では光通信線路の心線切替接続の研究を行う背景、心線切替接続技術の研究経緯、研究課題、本研究の位置付けについて述べている。

第2章では、光線路の途中に切替機能を有する切替ノードを設置しておき網的な切替を行う①の光切替ノード設置切替接続方式の要求条件と構成法を明らかにしている。この方式への適用を狙いとするロータリ型メカニカル光スイッチを提案し、その構造設計に資する静力学的な切替トルク解析法、動的な回転切替特性解析法を明らかにし、オープンループで回転切替制御が行えることを示している。マルチモードファイバ、ロッドの偏差に起因する損失要因を検討し、損失面からの構造設計条件を明らかにしている。試作した光スイッチの切替特性は理論的解析とほぼ一致する結果が得られ、設計の妥当性を検証した。

第3章～第5章では、②の光ファイバ心線接続部品利用切替接続方式の要求条件と構成法について述べ、シングルモードファイバ用光多心コネクタ切替技術の要素技術とシステム化技術について述べる。

第3章では、多心コネクタのクランプばねの除去・装着法について述べている。フェルールの押圧力、フェルール材料のヤング率、フェルール端面の曲率半径、端面の接触長、接触圧力の関係を弾性力学的に検討し、力学的に安定なフェルール接触条件を明らかにしている。押圧力印加、解除時のフェルール端面間の屈折率整合剤の流動モデルについて検討し、損失変動を小さくするための押圧力印加、解除条件を明らかにしている。これらの検討結果を基にクランプばねの除去・装着機構を試作し、その特性を評価した結果、損失変動は0.5dB以下で、実用に供せるクランプばねの除去・装着機構が実現できることを実験的に検証している。

第4章では、光多心コネクタ切替機構の設計法について述べている。切替動作に必要なフェルール水平移動機構、垂直移動機構の振動特性解析を行い、両機構の振動整定時間を最小とする外力、ばね係数等の構造設計条件を明らかにしている。又、切替動作の直前に予めフェルール内のガイドピンを移動させてからコネクタ切替を行うと切替時間の短縮に効果のあることを示している。これらの検討結果を基にガイドピン抜きからフェルール移動、接続、ガイドピン打ち込みまでの一連の切替動作が20msで行えることを示している。試作したコネクタ切替機構の切替時間、損失等の特性評価を行い、解析値と実験値が一致することを実験的に検証し、実用に供せるコネクタ切替機構が実現できることを示している。

第5章では、現用回線として使用されている既設光ケーブルを新設光ケーブルへコネクタ単位で高速切替する可搬型の心線切替接続システムを提案し、システムの要求条件、システムを構成するのに必要な同期制御、心線対照の機能構成の考え方について述べている。切替対象テープ心線を識別する心線対照については曲げ受光効率と曲げ半径、曲げ受光適用距離の関係を明らかにしている。切替2点間の同期切替制御についてはトリガコマンドの偏差を補償して切替える同期

切替制御法を明らかにしている。これらの検討結果を基に心線切替接続システムを試作し、その特性評価を行い、要求される諸特性を満足していることを検証した。更に、高速デジタル伝送回線への本システム適用時の回線断時間の特性評価を行い、回線断時間100ms以下で本システムが充分実用に供せることを検証している。

第6章では、③の光ファイバ直接切替接続方式の要求条件と構成法について述べ、この方式への適用を狙いとするファイバ切断・移動時のファイバ振動挙動について述べている。ファイバ切断時に発生するファイバ縦振動、横振動の解析法とファイバ固定端移動時に発生するファイバ横振動の解析法を明らかにしている。これらの検討結果を基にファイバ寸法、切断条件、移動条件を設定し、ファイバ切断時と移動時の損失変動を測定し、解析面からの検討結果と実験結果がほぼ一致することを検証している。これらよりファイバ切断から移動までの損失変動を1dB以下とするファイバ長、ファイバ切断、ファイバ固定端移動条件を明らかにした。

第7章では、以上の章の結論として、本研究で得られた結果の要点をまとめている。

学位論文審査の要旨

主査	教授	深井一郎
副査	教授	伊藤精彦
副査	教授	本間利久
副査	教授	小柴正則

本論文は加入者系光通信線路の保守運用に必要な技術である光心線切替接続技術の確立を目的として実施した研究成果をまとめたものである。光加入者系の要求条件である低コスト化に重点をおき、心線切替時に伝送装置の同期外れは発生するが、瞬時に伝送装置が同期復帰する瞬断許容型心線切替接続方式を研究対象としている。本論文は7章より構成され、論文の主な内容と成果は以下のとおりである。

第1章では、心線切替接続の研究を行う背景、心線切替接続技術の方式構成法、研究経緯を述べ、本研究の位置付けを明確にし、研究の目的と論文の構成を述べている。

第2章では、光線路に切替ノードを設置しておき網的な切替を行う光切替ノード設置切替接続方式の特徴、構成、要求条件について述べ、ファイバ型の切替部品が光線路に適していることを

明らかにしている。ファイバ型のロータリ型メカニカル光スイッチを提案し、静的な切替トルクと動的な回転切替解析式を導出し、回転切替制御法を明らかにすると共に高速切替を実現する設計条件を明らかにしている。この結果を基に試作した光スイッチで切替時間、損失等の特性評価を行い、設計の妥当性を検証している。

第3章～第5章では、光ファイバ心線接続部品利用切替接続方式の特徴、構成、要求条件について述べ、シングルモードファイバ用光多心コネクタ切替技術の要素技術、構成法について明らかにしている。

第3章では、多心コネクタの切替に必要なクランプばねの除去・装着法の問題点を明確にし、その解決法を述べている。クランプばねのフェルール押圧位置偏差、押圧力、材料のヤング率、端面の接触長等の関係を検討し、力学的に安定なフェルールの接触条件を明らかにしている。屈折率整合剤の流動をモデル化し、損失変動を一定値以下に抑制する押圧力印加、解除条件を明らかにしている。これらの結果を基にクランプばね除去・装着機構を試作し、特性評価を行い、設計法が妥当であることを検証している。

第4章では、光多心コネクタ切替機構の要求条件と構成法について述べ、フェルール上下配置が高速切替に適した構造であることを示すと共に構造設計法を明らかにしている。フェルール水平移動機構、垂直移動機構の振動を解析する式を導出し、振動整定時間を最小とし、切替動作を20ms以下で行うための構造設計条件を明らかにしている。試作切替機構の切替時間、損失等の評価を行い、設計法が妥当であることを検証している。

第5章では、現用の既設光ケーブルを新設光ケーブルに高速切替する可搬型の心線切替接続システムを提案し、システム構成に必要な心線切替、同期制御、心線対照の設計法を明らかにしている。テープ心線の曲げ受光効率と曲げ半径、適用距離の関係式を導出し、心線対照の設計条件を明らかにしている。切替制御についてはトリガコマンドの偏差を補償して切替える同期切替制御法を明らかにしている。試作した心線切替接続システムが信頼性等要求特性を満足することを検証すると共に本システム適用時の伝送装置回線断時間を評価し、回線断時間は100ms以下で本システムが充分実用に供せることを検証している。

第6章では、光ファイバを切断・移動・融着接続して切替える光ファイバ直接切替接続方式の特徴、構成、要求条件について述べ、ファイバ切断時に発生するファイバ縦振動、横振動とファイバ固定端移動時に発生するファイバ横振動の解析式を導出し、損失変動を一定値以下に制御するファイバ寸法、切断条件、固定端移動条件を明らかにしている。実験により解析結果と実験結果がほぼ一致することを確認し、解析の妥当性を検証した。

第7章では、以上の章の結論として、本研究で得られた結果の要点をまとめている。

著者は、切替ノードを設置しておき網的な切替を行う光切替ノード設置切替接続方式、光心線接続用コネクタを切替る光ファイバ心線接続部品利用切替接続方式、ファイバを切断・移動・融着して切替える光ファイバ直接切替接続方式について、システム構成法を明確にし、切替要素技術に関して理論的、実験的な検討を行い、その設計法を確立すると伴に多くの知見を得ている。この成果は広帯域 ISDN に代表される情報化社会においてインフラストラクチャの構築を可能にする光線路網の構築に不可欠な光線路保守運用技術に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。