

学 位 論 文 題 名

加入者光線路構成技術の研究

学位論文内容の要旨

広帯域 ISDN に代表される情報化社会の到来にむけて、情報通信のインフラストラクチャである伝送媒体は従来とは桁違いの能力が要求され、光ファイバ線路技術の研究開発が活発に行われている。

光ファイバの特徴は低損失、広帯域といった基本的な伝送特性の他、細径、軽量、無誘導といった長所があるが、実用的な伝送路を構成するためにはその接続、保護技術に関して従来の金属導体に比べて高度な技術が必要になる。このため、各種構造の心線・ケーブル構造設計や、融着接続技術等の研究開発が行われ、1981年に公衆通信網の中継系に導入が開始されて長距離大容量幹線の主役になっている。

一方、加入者系を光化するためには経済性の要求や建設・保守性の向上を実現する必要がある。加入者線路網の特徴は、光ファイバが個々のユーザに配線されるため面的に広がる線路網を構成することであり、多心高密度のケーブルから配線、引込み用の少心ケーブル等多種類のケーブルが必要なこと、配線替え等建設後のアクセスが多いこと、経済性が大きなウエイトを占めること等、中継系とは異なった要求条件を解決する必要がある。

また、線路の保守は金属導体の地下ケーブルではケーブル内に乾燥空気を充填し、常時そのガス圧を監視するガス保守方式がとられてきた。光ファイバケーブルも導入の当初は金属導体ケーブルと同じガス保守方式が適用されてきたが、浸水による機械的強度の劣化特性や損失特性への影響の解明にともない、試験システム高度化の研究とあわせて浸水検知システムを始めとする非ガス保守システムの研究が進められた。

本論文は光ファイバの加入者系への導入に関する光ファイバケーブル、線路構成、保守システムに関する研究結果をまとめたものであり、7章から構成される。以下に本研究の主な内容と成果を示す。

第1章では光ファイバの研究の歴史的な経緯と加入者光線路の研究経緯を述べ、研究の背景と

位置付けを明確にし、本研究の目的と論文の構成を述べる。

第2章では加入者光線路の特徴、構成と要求条件について述べ、問題点を明確化するとともに、これを満たすための配線法、損失設計、信頼性設計等線路設計の基本的な手法について記述した。すなわち、網状に展開する加入者光線路において、信頼性と建設後の線路に容易にアクセスできる融通性を満足させる線路構成として、光ファイバの心数を通減せずにケーブルをループ状に建設する無通減ループ配線が適していること、コネクタ接続を基本とする線路設備構成モデルとその損失設計、信頼性の考え方を示した。また、加入者光ファイバケーブルの基本構造、心数単位、設計条件を述べている。

第3章では加入者光線路の重要な要求条件である低コスト化を目的として提案した簡易構造ケーブルについてその構造と特徴、具体的な設計方法と試作ケーブルの特性について明らかにしている。すなわち、抗張力体およびパイプを偏心させた簡易構造のケーブルについて、光ファイバに所要余長を付与する構造設計式を与えるとともに、光ファイバ余長の曲げに起因する損失増の推定式を与え、損失増を 0.1dB/km 以下にするためには、曲がり振幅 r_0 で規格化した余長率 (ε/r_0) を $0.005\text{ (mm}^{-1}\text{)}$ 以下にする必要があることを明らかにした。これらの設計条件に基づく試作ケーブルについて、温度、引張、曲げ、側圧、しごきの各特性を評価した結果、いずれの特性も設計値と良く一致し、設計の妥当性を検証した。

第4章ではSM型加入者光ファイバケーブルの設計について、SM型光ファイバの基本特性と加入者への適用に関する問題点を明確にし、それを解決するためのファイバパラメータの設計法とスロット型光ファイバケーブルによる高密度ケーブルの設計法を明らかにしている。光ファイバパラメータの設計では、基本的な伝送特性要求条件のほか、光ファイバのハンドリング中に生じる損失変動特性を検討し、損失変動を一定値以下にするための光ファイバパラメータ設計法を明らかにした。ケーブル構造に関しては、高密度収容構造を検討し、スロットの形状と数、収容テープ心線数、ロッドの撚り合わせ本数等の高密度ケーブル構造を明らかにした。また、防水テープを用いた防水光ファイバケーブルの構成法を示した。これらの設計に基づいてケーブルを試作し、試作ケーブルが光ファイバケーブルに要求される諸特性を満足していることを検証した。さらに、実際に現場環境に建設した光線路の特性を調査し、設計通りの特性が得られたことを示した。

第5章では近年、大容量長距離中継系に導入が開始されている分散シフトファイバについて、分散シフトファイバによる中継、加入を統一した光線路構成の可能性を探るため、分散シフトファイバの加入者系への適用可能性について検討した。その結果、 $1.55\mu\text{m}$ 帯でのみ使用する場合は

モードフィールド径、実効カットオフ波長の許容偏差は中継系のパラメータの偏差より広く、将来的にはコストの低減が可能であること、波長多重で使用する場合は $1.3\mu\text{m}$ 帯におけるコネクタ損失が $1.55\mu\text{m}$ に比べて大きくなるため、 $1.3\mu\text{m}$ 帯でのパラメータの許容偏差は中継系の規格の約50%と小さくなること、これを解決するためにはコネクタ技術を現状の融着接続と同レベルに改善する必要があることを示した。また伝送速度として $1.55\mu\text{m}$ で 2.4Gb/s 、 $1.3\mu\text{m}$ で 155Mb/s を考えた場合の使用する光源のスペクトル幅に対する要求条件を明らかにした。

第6章では光加入者線路の保守方式について、光線路の劣化要因と信頼性について検討し、非ガス化のための課題を明確にするとともに、非ガス化を実現するための浸水検知技術とその適用による非ガス保守線路構成法について記述した。まず、従来の光線路構成要素である光ファイバケーブルおよびその接続部について、非ガス化した場合に予想される信頼性劣化の要因と劣化の程度を明らかにした。つぎに非ガス線路構成として防水光ファイバケーブルと接続部の浸水監視について検討し、接続部の浸水期間を3ヶ月、パルス反射による検出分解能 2dB として浸水センサを設計し、幹線ループ距離 15km の場合に 500m 長の分岐ケーブル20ルート以上を1ループのモニタファイバで監視でき、ガス保守と同等の信頼性を実現できることを明らかにした。

第7章は結論であり、本論文全体の結論とまとめを述べ、成果の総括を行っている。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 深 井 一 郎

副 査 教 授 本 間 利 久

副 査 教 授 小 柴 正 則

本論文は光ファイバの加入者系への導入に関する光ファイバケーブル、線路構成、保守システムの設計法の確立を目的として実施した研究結果をまとめたものであり、7章から構成されている。論文の主な内容と成果は以下のとおりである。

第1章では加入者光線路の研究経緯を述べ、研究の背景と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章では加入者光線路の特徴、構成と要求条件について述べ、問題点を明確化するとともに、これを満たすための配線法、損失設計、信頼性設計等線路設計の基本的な手法について記述して

いる。すなわち、信頼性と建設後の線路に容易にアクセスできる融通性を満足させる線路構成として、光ファイバの心数を通減せずにケーブルをループ状に建設する無通減ループ配線が適していること、コネクタ接続を基本とする線路設備構成モデルとその損失設計、信頼性の考え方を示している。また、加入者光ファイバケーブルの基本構造、心数単位、設計条件を述べている。

第3章では加入者光線路の重要な要求条件である低コスト化を目的として提案した簡易構造ケーブルについてその構造と特徴、具体的な設計方法と試作ケーブルの特性について明らかにしている。すなわち、抗張力体およびパイプを偏心させた簡易構造のケーブルについて、光ファイバに所要余長を付与する構造設計式を与えるとともに、光ファイバ余長の曲げに起因する損失増の推定式を与え、損失増を 0.1dB/km 以下にするための条件を明らかにしている。これらの設計条件に基づく試作ケーブルについて評価を行い、設計の妥当性を検証している。

第4章ではSM型加入者光ファイバケーブルの設計について、SM型光ファイバの基本特性と加入者への適用に関する問題点を明確にし、それを解決するためのファイバパラメータの設計法とスロット型光ファイバケーブルによる高密度ケーブルの設計法を明らかにしている。光ファイバパラメータの設計では、基本的な伝送特性要求条件のほか、光ファイバのハンドリング中に生じる損失変動特性を検討し、損失変動を一定値以下にするための光ファイバパラメータ設計法を明らかにしている。

ケーブル構造に関しては、高密度収容構造を検討し、スロットの形状の数、収容テープ心線数、ロッドの撚り合わせ本数等の高密度ケーブル構造を明らかにしている。また、防水テープを用いた防水光ファイバケーブルの構成法を示している。さらに、実際に現場環境に建設した光線路の特性を調査し、設計通りの特性が得られたことを示している。

第5章では近年、大容量長距離中継系に導入が開始されている分散シフトファイバについて、分散シフトファイバによる中継、加入を統一した光線路構成の可能性を探るため、分散シフトファイバの加入者系への適用可能性について検討している。その結果、 $1.55\mu\text{m}$ 帯でのみ使用する場合はモードフィールド径、実効カットオフ波長の許容偏差は中継系のパラメータの偏差より広く、将来的にはコストの低減が可能であること、波長多重で使用する場合は $1.3\mu\text{m}$ 帯におけるコネクタ損失が $1.55\mu\text{m}$ に比べて大きくなるため、 $1.3\mu\text{m}$ 帯でのパラメータの許容偏差は中継系の規格の約50%と小さくなること、これを解決するためにはコネクタ技術を現状の融着接続と同レベルに改善する必要があることを示している。

第6章では光加入者光線路の保守方式について、光線路の劣化要因と信頼性について検討し、非ガス化のための課題を明確にするとともに、非ガス化を実現するための浸水検知技術とその適

用による非ガス保守線路構成法について記述している。まず、従来の光線路構成要素である光ファイバケーブルおよびその接続部について、非ガス化した場合に予想される信頼性劣化の要因と劣化の程度を明らかにし、非ガス線路構成として防水光ファイバケーブルと接続部の浸水監視について検討している。その結果、ガス保守と同等の信頼性を実現できることを明らかにしている。

第7章は結論であり、論文全体の結論とまとめを述べ、成果の総括を行っている。

これを要するに、著者は加入者系への光ファイバケーブル導入にむけて線路構成法、ケーブル設計法等の線路構成基本技術と、光ファイバ線路の非ガス保守を可能とする信頼性、保守技術に関して理論的、実験的な検討を行い、多くの知見を得るとともにその設計法を確立している。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技術として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。