



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	光ファイバネットワークにおける屋外設置パッシブコンポーネントの信頼性に関する研究 [論文内容及び審査の要旨]
Author(s)	渡邊, ひろし
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12646号
Issue Date	2017-03-23
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/65799
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Hiroshi_Watanabe_abstract.pdf, 論文内容の要旨



学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称 博士（工学） 氏名 渡邊 ひろし

学 位 論 文 題 名

光ファイバネットワークにおける屋外設置パッシブコンポーネントの信頼性に関する研究
(Study on the reliability of passive components installed in outside optical fiber networks)

インターネットは日常生活の様々なシーンで利用され、今日では教育、商取引など多岐のサービスに活用されている。このインターネットの基盤として光ファイバによるネットワークが広く普及してきた。このため光ファイバネットワークは、社会インフラとしての重要性が一層向上し、故障によるサービスの途絶は今後益々許容されなくなる。この光ファイバネットワークの構成の中で、屋外に設置されるネットワークである光線路設備は、面的に広く敷設されて長期間使用される特徴がある。従って、インターネットの安定的な提供には、光線路設備の信頼性向上に向けた検討が不可欠である。このため本研究では以下の3課題を設定した。

- 1) 光線路設備に設置される光部品（パッシブコンポーネント）の屋外環境下での信頼性検証
- 2) 運用中の光線路設備の故障原因究明と故障低減
- 3) 新規パッシブコンポーネントによる機能追加時の光線路設備全体の信頼性確保

第1章は序論であり、本研究の位置付け、屋外設置パッシブコンポーネントの概要、本研究の目的、及び構成を述べる。

第2章では、光線路設備で使用されるパッシブコンポーネントの屋外環境下での信頼性の課題として、PLC型光スプリッタの故障率算出とスプリッタモジュールの屋外環境下での信頼性を明らかにした。

光線路設備では、光ケーブル、光接続部品、光スプリッタが、主要構成品となる。このうち、光ケーブルと光接続部品は、屋外環境下で十分な信頼性を有することが確認されている。一方、光スプリッタは、屋外の既存の光クロージャに設置可能なように筐体サイズを小型化した、石英ガラスの光導波路による PLC(Planar Light Circuit) 型光スプリッタの使用が検討された。しかし、この PLC 型光スプリッタは、当時広く使用された実績に乏しく、屋外環境下での信頼性や故障率が明らかでなかった。このため、光スプリッタに求められる故障率を明確にすべく、光線路設備をモデル化し、設備全体の故障率から光スプリッタに割当てられる故障率の閾値を算出した。また PLC 型光スプリッタは、湿熱による光学劣化の影響が大きいことに着目し、加速劣化試験を実施した結果から、PLC 型光スプリッタの故障率を算出した。評価した PLC 型光スプリッタの故障率は、閾値を十分に下回ったことから、屋外環境下で使用する光スプリッタとして十分な信頼性を有することを明らかにした。

また光加入者の急増に従って、より迅速な設備構築を可能とする設備形態が必要となった。このため、屋外の光クロージャに収納可能で、光コネクタ機能を有するモジュール化した光スプリッタ（スプリッタモジュール）が必要となった。屋外環境下で使用するスプリッタモジュールには先行事例がなく、その信頼性評価項目も明らかでなかった。このため、光クロージャ用スプリッタモジュールを設計・試作し、屋外環境下での信頼性評価として、耐候性、機械特性、温湿度特性の試験項目を設定した。これらの試験を実施し、試験前後の光学特性変動が十分小さかったことから、屋外環境での様々なストレスに対して十分な信頼性を有することが確認した。

第3章では、運用中の光線路設備の故障原因究明と故障低減を課題として、現場組立型光接続部品の故障発生メカニズム究明と故障低減方法を明らかにした。

現場組立型光接続部品は、光ファイバ同士が屈折率接合材を介して突合されるメカニカルスプライスやメカニカルスプライス機構を内蔵した現場組立コネクタがある。これらは施工不良が原因で、突合せ点の間隙やファイバ端面にカット不良がある場合に、施工直後は～1dB 程度の接続損失が、後日 10 dB 以上に増加し、通信断を引起す故障が確認されていた。このため、突合せ点に隙間やカット不良のある現場組立型光接続サンプルを

用い、ヒートサイクル試験時の接続損失と反射減衰量を同時に測定し、両者の相関関係から突合せ点の状態を推定する新たな解析法で、屈折率整合材に空気が混入する損失変動メカニズムを明らかにした。

この施工時の間隙発生低減のため、施工不良が組立時に識別可能なように、一定以上の間隙では現状より大きな接続損失が発生する新たな光接続機構を提案・試作した。この接続部品は、固形整合材を用い、その固形整合材を突合せ点の光軸に対して斜め方向に配置する機構である。固形整合材の厚み以上の間隙では、突合せ点の軸ずれにより 10dB 以上の損失が発生し、厚み以下の間隙では、固形整合材の効果で、温度変化に対しても大きな損失が発生しない特徴を持つ。この試作品の光学特性を検証し、所望の特性を満たすことを確認したことで、間隙発生の低減に資する技術であることを明らかにした。

一方、カット不良端面の防止には、現場組立コネクタ組立時にファイバ端面の確認が必要である。従来、ファイバ端面の確認には、最低 100 倍程度の顕微鏡が必要であったが、実際の屋外の施工時ではより簡便な確認方法が求められた。このため、被測定ファイバ端面に正常なファイバ端面を近接させ、ファブリ・ペロー干渉状態を作り出し、2 波長の反射減衰量の測定値からカット端面の良否を判定する試験方法を考案した。この試験方法を実現する試作機で、様々な形状のファイバカット端面の良否が判定できた。従って、提案した試験方法はカット不良の防止に資する技術であることを明らかにした。

第 4 章では、新規パッシブコンポーネントによる機能追加時の光線路設備全体の信頼性確保を課題として、無瞬断切替技術で使用する屋外設置光カプラの最適な分岐比設計手法、及び新たなパッシブコンポーネントを追加する場合の故障率と価格に基づいた最適な物品の選択手法を提案した。

光線路設備では、道路の拡幅工事等の支障移転で通信断が不可避な場合がある。この通信断回避のため、通信経路に 2 個の光カプラと現用・迂回ルートを設け、両光路長を完全に二重化し、順次ルートを切替える無瞬断切替技術が研究されてきた。この無瞬断切替技術では、通信可能な距離を極力長くするため、光カプラの最適な分岐比を明確にする必要があったが、これまで未検討であった。このため、現用・迂回ルートのパワーバジェットの算出に基づき、光カプラの最適な分岐比を導く設計手法を提案し、シミュレーションと実験で提案手法の有効性を明らかにした。

光線路設備に新たなパッシブコンポーネントを設置し運用する場合には、通信事業者にとって、光線路設備の信頼性を担保しつつ、設備の設置費用と故障時の修理費用の合計であるトータルコストを抑制する経済合理性の追求が必要である。このような経済合理性の検討には、パッシブコンポーネントの故障率と価格に基づいたトータルコスト評価は不可欠であるが、従来検討されてこなかった。このため、複数のパッシブコンポーネントの中から、故障率と価格を基に、トータルコスト算出と比較により、コストミニマムとなるパッシブコンポーネントを選択する手法を提案した。さらにリスク分析手法を導入することで、故障率や運用期間の変動の影響を定量化した。従って、このトータルコストの観点から、最適なパッシブコンポーネントを選択する提案手法の有効性を明らかにした。

第 5 章では、本研究のまとめと今後の展望について述べる。

以上要するに、本論文は光ファイバネットワークにおける屋外設置パッシブコンポーネントの信頼性に関して有益な知見を得るとともに、トータルコストの観点から最適なパッシブコンポーネントを選択する手法の有効性を明らかにし、光ファイバネットワークの安定な運用について新しい知見を得たものである。