

PONの敷設工事における試験の必要性

1章 はじめに

AIを活用したチャットサービスや画像・動画生成などのオンラインコンテンツの普及、高精細ビデオストリーミング、SNSなどのサービスの活用により、データ伝送量や処理量が急増しています。これらの需要にこたえるため、Passive Optical Network (PON) 技術は進化し続けています。

また、世界各国では、光ファイバネットワークや5Gネットワークなどのブロードバンド環境を早期に構築するため、米国の Broadband Equity, Access, and Deployment (BEAD) プログラムやRural Digital Opportunity Fund (RDOF)、英国のProject Gigabit、ドイツのGigabit Strategy、中国のダブル・ギガビット網の共同発展行動計画、日本のデジタル田園都市国家インフラ整備計画などによる多額の助成金が投入されています。

本書では、PONの主な技術仕様、敷設・保守時の課題、および必要となる試験ソリューションについて紹介します。

2章 PONの技術と進化

PONは、局舎からの1本の光ファイバを光スプリッタで分岐し、複数の加入者で共用する光ファイバネットワークです。PONの基本構成を図1に示します。

Optical Line Terminal (OLT) : 通信/CATV事業者などの局舎に設置される光通信終端装置

Optical Network Terminal (ONT) : 加入者の宅内に設置される光通信終端装置。ONUとも呼ばれる。

光スプリッタ : 通信事業者の局舎とユーザ宅の間の光ファイバを分岐する部品

PONの”P (Passive)” は、電力の供給が不要な光スプリッタを指します。光スプリッタは、1本のファイバを複数の加入者で共用するので回線の利用効率が高く、経済的なネットワークを実現できます。光スプリッタは多段接続されることもあります。なお、局舎と加入者の宅内の機器には、電力の供給が必要です。

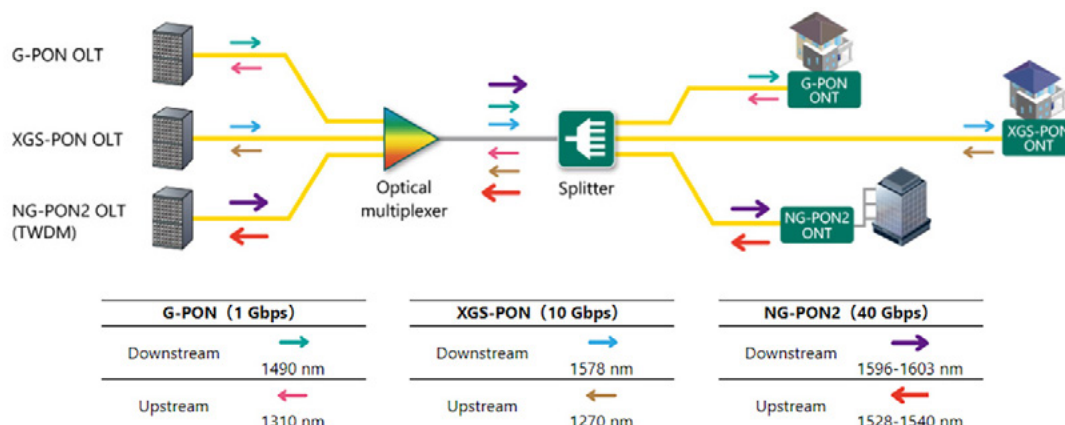


図1 PONの構成と使用波長

PONの国際標準化は、ITU-TとIEEEで進められています。一例として、ITU-TのPON規格の代表的な仕様を表1に、使用される波長を図1に示します。ITU-Tでは、Download link (DL) 2.4 Gbps/Upload link (UL) 1.2 GbpsのG-PONが2003～2004年にかけて標準化されました。その後、DL 10 Gbps/UL 2.5 GbpsのXG-PONを経て、DL/ULがともに10 GbpsのXGS-PONが2016年に制定されました。以降、通信のさらなる大容量化へ対応するため、時分割多重に波長分割多重を組み合わせた40 GbpsのNG-PON2が標準化されました。

XGS-PON以降では、サポートする光スプリッタの分岐数が従来の64分岐から128～256分岐に増えたことが特徴の一つです。分岐数が増えると分岐一本あたりの光パワーは小さくなるため、本書の後半で触れる光パワーメータやOptical Time Domain Reflectometer (OTDR) のような試験器で測定可能な範囲(ダイナミックレンジ)には、注意を払う必要があります。

表1 ITU-T PON規格の仕様

	G-PON	XG-PON	XGS-PON	NG-PON2
規格名	ITU-T G.984 Series	ITU-T G.987 Series	ITU-T G9807 Series	ITU-T G.989 Series
ダウンリンク/アップリンク	2.4/1.2 Gbps	10/2.5 Gbps	10/10 Gbps	40/10 Gbps
スプリッタ分岐数	1 × 64まで	1 × 64まで	1 × 128 (256) まで	1 × 128 (256) まで
共存	N/A	G-PONと共存可		

現在は、北米や欧米、中国を中心にXGS-PONの敷設が加速しています。PONでは、XGS-PONや既存のG-PONなど、複数の規格を共存させて運用します。

3章 PONネットワークで発生するトラブル・課題

PONシステムでしばしば発生するトラブルの例を図2に示します。

光ネットワークの通信障害を引き起こす主な原因は、光ファイバのコネクタ端面の汚れや傷です。端面の汚れや傷は、敷設や保守の作業時に発生します。汚れや傷により、光信号の減衰や、コネクタ接続部での反射が発生します。これにより、光信号を送受信するOLTやONTでは、受光パワー不足や、反射光がノイズとなり受光エラーを引き起こす可能性があります。PONを構成するスプリッタやファイバの接続点は、屋外のクロージャ内や地下のマンホール内など汚れやすく、高温多湿の環境にも設置されるので、端面の汚れや傷には、細心の注意が必要です。

また、ファイバの過度な屈曲、コネクタ間の接続不良、スプライスの融着不良なども、光信号の減衰や反射を生じさせます。これらは最悪の場合、光ファイバの損傷や断線を引き起こし、ネットワークサービスの中断やダウンタイムの発生といった緊急事態を招く可能性があります。クロージャやキャビネットなど狭い場所での配線では、ファイバに過度な屈曲が生じやすいことを考慮しておくことが重要です。

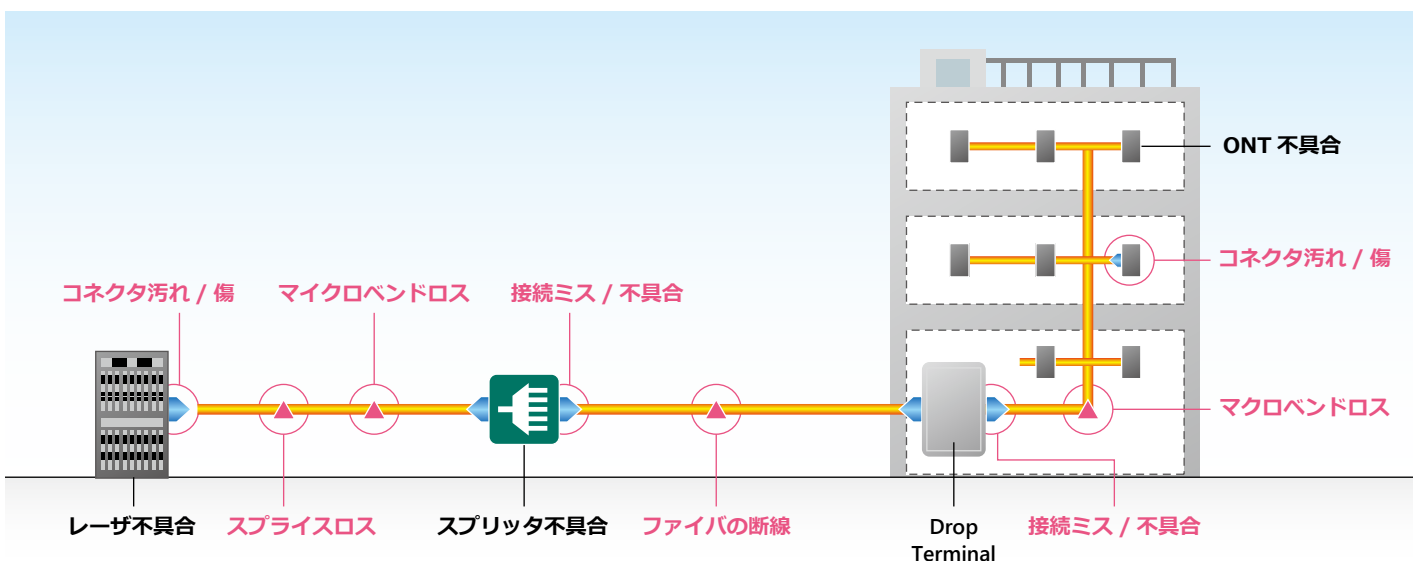


図2 PONシステムでのトラブル例

PON技術の進展により、光スプリッタの分岐数の増加が及ぼす影響にも配慮が必要です。G-PONでの光スプリッタの最大分岐数は64でしたが、XGS-PONの最大分岐数は、128または256に増加します。これにより、分岐一本あたりの光パワーは小さくなるため、高い損失バジェット（光送信モジュールの出カパワーと、光受信モジュールの最低感度の差）が要求されます。安定した通信品質を維持するためには、PONをEnd-To-Endで試験し、分岐ごとの損失バジェットを検証すべきです。さらに、ファイバ曲げの有無や光ファイバの接続箇所、融着箇所での損失や反射が適切な値に収まり、PONシステムの要求値を満たしていることを確認する必要があります。

PONの敷設・保守作業時には、決められた試験項目の実施漏れや、技術者任せによる結果の誤判定などのミスにより、以降の工程で後戻りなどのトラブルが発生します。このようなトラブルは作業効率を下げ、余計なコストを発生させるだけでなくサービス開始の遅延要因となるため、技術者をしっかりとサポートする必要があります。

4章 PONで生じるトラブル対応に必要な試験

PONで発生することがある主なトラブルの例と、トラブルの防止や解消のために活用される試験ソリューションを紹介します（表2）。

表2 トラブル事例と活用される試験ソリューション

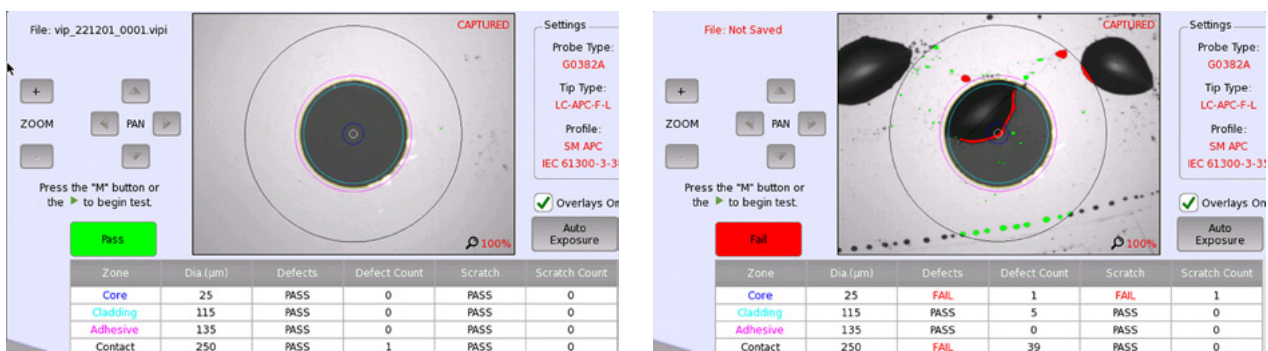
トラブル事例	光ファイバ端面検査機	光パワーメータ	OTDR
光ファイバコネクタ汚れ/傷	○		
光ファイバコネクタ接続ミス		○	○
OLT/ONTレーザ不具合		○	
スプリッタ不具合		○	○
スプライス損失			○
マイクロ/マクロベンディング損失			○
光ファイバ断線			○

光ファイバの端面検査

光ファイバのコネクタ端面には、傷、手脂、衣類の繊維、ほこりなどの汚れが付着することが多々あります。傷や汚れを見過ごし、光ファイバ同士を接続すると、もう一方のコネクタを傷つけたり、汚したりするおそれがあります。また、傷や汚れにより、光信号を減衰させたり、光の反射を生じさせたりするおそれがあり、結果としてPONの通信障害を引き起こす可能性があります。そこで、敷設時には、コネクタ端面の清掃や、端面の状態の確認を必ず実施します。それでも端面の状態が改善しない場合には、光ファイバを交換します。コネクタ端面の清掃と確認は、定期的な点検時にも不可欠です。

コネクタ端面の傷・汚れはきわめて小さいため、目視での確認は困難です。そこで、カメラを内蔵した検査機を使用します。端面検査機は、PCや測定器の解析ソフトウェアと組み合わせることで、端面の画像を分析し、傷や汚れの有無を自動で検知します。端面の合否判定しきい値は、国際規格IEC 61300-3-35により、光ファイバの種類（シングルモード、マルチモード）、コネクタの種類（PC、APC）ごとに定められています。判定結果の画面では、検知された汚れや傷をカラフルなマーカで可視化するとともに、汚れや傷の数や良否も表示します。

合否判定結果は、解析ソフトウェアのレポート出力機能により、自動で生成することが可能です。これにより作成したレポートを作業報告書としてご活用いただけますので、報告書を作成する作業を省略できます。



(a) 合格判定の例

(b) 不合格判定の例

図3 ファイバ端面検査例

光パワー試験

光パワー試験は、光ファイバの敷設状況や障害状況を確認するための基本的な試験の一種です。OLTに接続されたトランシーバからの出力光や、ユーザ宅に到達する光のパワー、光スプリッタの各分岐での損失などを光パワーメータで評価します。そして、PONシステムで要求される仕様を満たしていることを確認します。PONの敷設・保守作業では、光ファイバの端面検査とセットで実施します。

光ファイバケーブル試験

光パワーが要求に比べて低い場合に、その原因箇所を光パワーメータのみで特定するのは困難です。また、光パワーが要求仕様を満たしていたとしても、光ファイバケーブルに屈曲、接続不良、融着不良などの問題があり、光信号の減衰や反射が生じていることがあります。これは、長期的な通信安定性の維持に対するリスクとなります。

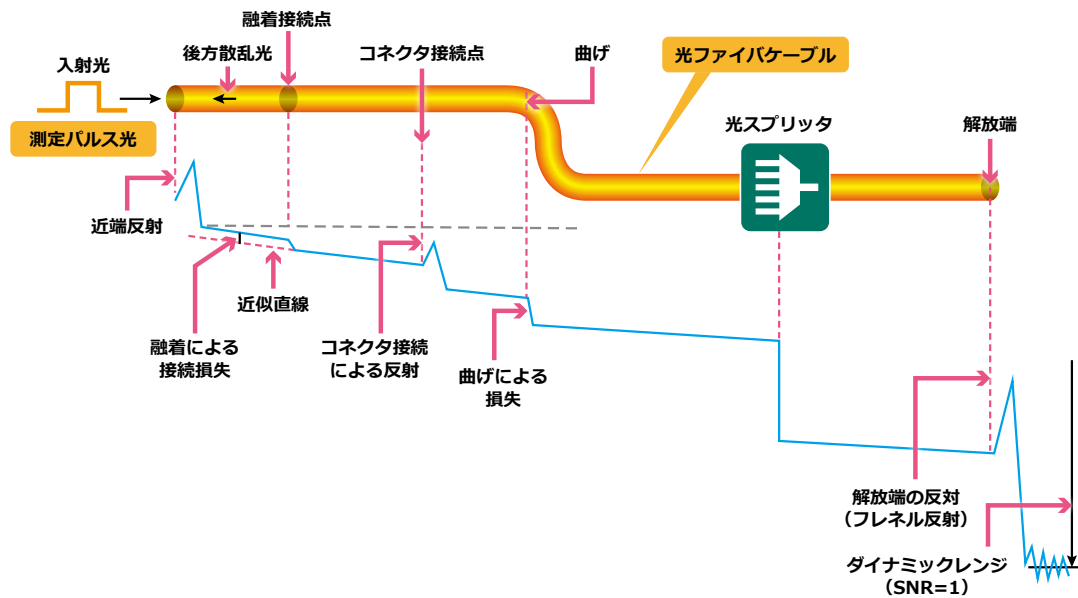


図4 光ファイバケーブルの状態とOTDR測定波形

光ファイバケーブルの損失、反射、障害点など、イベントと呼ばれる発生位置の検知には、OTDRを使用します。OTDRは光ファイバケーブルの片端に接続し、光パルス信号を光ファイバケーブルへ入射します。そして、光ファイバケーブルからOTDRへ戻ってくる散乱光や、ケーブルの接続不良・破断などで生じる反射光を測定・解析します。試験結果をイベントとともに画面に表示します。

OTDRで検出および評価可能な特性は、以下のとおりです。

- 光ファイバの距離
- コネクタ
- スプライス
- 光スプリッタ
- 光伝送損失
- マクロバンドでの損失
- 融着箇所やコネクタ接続箇所での損失
- 接続点での反射減衰量
- 全反射減衰量 など

PONの試験における留意点です。たとえばXGS-PONの系では複数の光スプリッタの連結により敷設され、最大分岐数は128になります。8分岐と16分岐などの光スプリッタが連結されるケースでは、光スプリッタの損失だけで21 dB (= 8分岐 : 9 dB + 16分岐 : 12 dB)と理論上算出されます。しかし現実には、光スプリッタ内部で生じる過剰損失に加えて、光ファイバケーブル各所に設置されたスプライスやコネクタによる接続損失、光ファイバの屈曲による損失、光ファイバの伝送損失などが加算されます。結果として、全体の損失は、理論値に比べて大きくなります。このため、ダイナミックレンジ性能が小さいOTDRで測定した場合、光スプリッタを通過した後、ファイバから戻ってくる光レベルはOTDRの受信感度以下になり、OTDR画面では測定波形がノイズレベル以下になります。つまり、光スプリッタ以降の損失、反射、障害点などを検出することは困難です。そこで、PONを評価する際には、PON全体の損失を十分に上回るダイナミックレンジ性能を持つOTDRを活用することが重要です。

なお、XGS-PONやNG-PON2では、G-PONに比べて長波長の光信号を使用します。光ファイバの屈曲による光損失は、光信号の波長が長いほど増加する特性があるため、光ファイバの屈曲の有無には注意を払う必要があります。

5章 アンリツのソリューション紹介

PON敷設ソリューションの概要

PONの敷設や保守の効率化に貢献する試験ソリューションを紹介します。



オートフォーカスファイバ스코ープ G0382A



400倍ファイバ스코ープ G0306C



ネットワークマスタ プロ MT1000A/MT1040A
MU10002xA OTDRモジュール



アクセスマスタ MT9085シリーズ



ネットワークマスタ ファイバメンテナンステスタモジュール MT9090A

図5 アンリツのPON試験ソリューション







アンリツは、ファイバ端面検査機を2種類提供しています。

G0382A：ファイバ端面を自動でフォーカスする機能を備えています。

G0306C：ファイバ端面に手動でフォーカスを合わせるタイプです。

ファイバ端面検査機は、PCやOTDRなどの測定器に接続し、付属のソフトウェアとともに使用します。G0382AとG0306Cともに、光ファイバコネクタのさまざまな種類に対応するコネクタチップをご用意しています。

Bulk type

 SC-PC-F For SC Connector	 SC-APC-F For SC Connector (APC)
 FC-PC-F For FC Connector	 FC-APC-F For FC Connector (APC)
 LC-PC-F For LC Connector	 ST-PC-F For ST Connector

Universal type

 1.25PC-M φ1.25 mm PC Universal	 1.25APC-M φ1.25 mm APC Universal
 2.5PC-M φ2.5 mm PC Universal	 2.5APC-M φ2.5 mm APC Universal

図6 コネクタチップの例

パワーメータ機能は、MT1000A/MT1040A OTDRモジュール、MT9085シリーズ、MT9090Aファイバメンテナンススタモジュールのいずれにも搭載されており、パワーメータを別途用意する必要はありません。

光スプリッタの各分岐で光パワーや合否判定結果などを繰り返し試験する際には、ロステابل機能を用いることで試験データを来歴形式で残すことができ、これらの一括管理が可能です。また、OTDRには光源が搭載されているので、パワーメータ機能と組み合わせることで、光スプリッタの光損失を評価することができます。

PONを評価する際には、PON全体の損失を十分に上回るダイナミックレンジ性能を持つOTDRを活用することが重要と先に述べました。アンリツのOTDRは、最大128~256分岐のPONに対して、End-To-Endでの試験を実現する、高ダイナミックレンジモデルをラインアップしています。

建設・保守の作業現場では、必ずしも日頃より使いなれた測定器が使用できる環境にあるとは限りません。また、経験が浅い作業員にとって、複雑な測定器操作は、作業効率を妨げることになります。これに対するソリューションが、Fiber Visualizer機能です。光ファイバの遠端、PONスプリッタ、ファイバ曲げ、光コネクタ、融着点などの各ポイントを直観的に理解しやすいイベントアイコンで表示し、あらかじめ設定された良否判定しきい値に基づき、自動で合否判定します。Fiber Visualizer機能により、OTDRの波形を解析する経験がない作業員でもOTDRを用いたPONの試験をミスなく効率的に行うことができます。

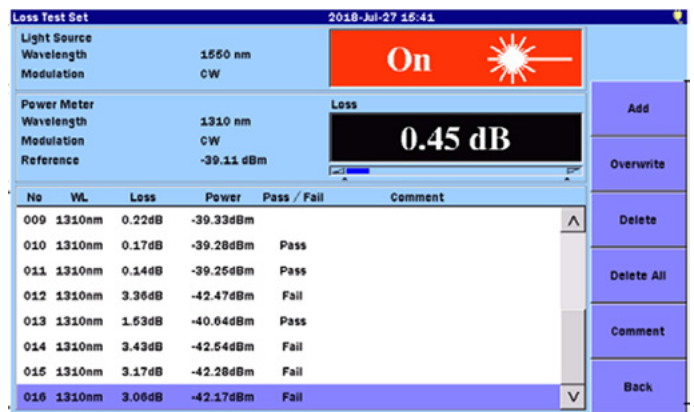


図7 ロステابل画面

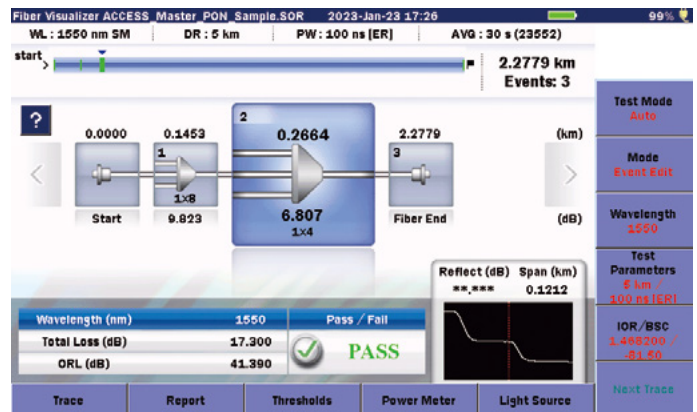


図8 Fiber Visualizer画面

PON敷設工事における測定のさらなる効率化

ワイヤレス通信機能の活用

PONや加入者の宅内での工事では、電柱での光ファイバ結線作業や加入者宅内での作業など、技術者が高所作業車（バケット車）と宅内を何往復もすることがしばしばあります。MT1000A/MT1040A OTDRモジュールとMT9085シリーズでは、無線LANを用いたセルラー通信により、OTDRを遠隔操作することが可能です。技術者は、モバイルルータを介して、手元のタブレット端末から加入者宅内のOTDRを制御でき、OTDR測定画面を確認できます。これにより、一人で作業を行う場合でも、高所と地上の往復回数を削減することができるため、工事の時間短縮を実現できます。

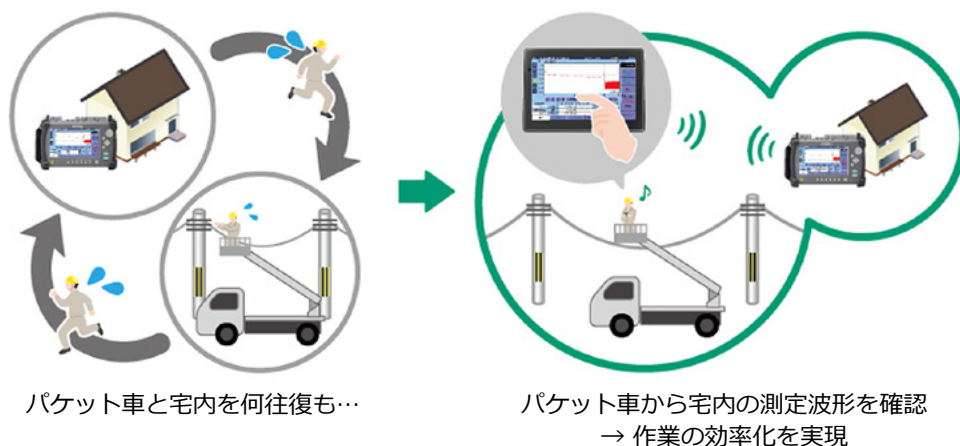


図9 ワイヤレス通信機能の活用例

シナリオ自動試験

作業ミスを減らし、作業効率を向上させるソリューションとして、MT1000A/MT1040Aでは測定プロセスを自動化するシナリオ自動試験機能を提供しています。これにより、作業者に作業手順をガイダンスするので経験の浅い作業者でも、画面の案内に従って操作するだけで、設定、測定開始、合否判定、測定結果レポート提出までの一連の工程を測定漏れ/ミスなく完了することができます。

詳細は、こちらのWebサイトの“パッシブ光ネットワーク (PON)”欄をご参照ください。

[SEEKシナリオライブラリ – 試験を効率良く簡単に](#)

遠隔トラブルシューティング

トラブルの内容によっては現場の作業者では対処できず、PON技術に精通している熟練の技術者・管理者による対応が必要になることがあります。しかし、必ずしも熟練の技術者が現場に急行できるとは限りません。この課題を解決できるソリューションがクラウド技術を基盤としたSite Over Remote Access (SORA) MX109020Aです。SORAを使用すれば、無線LAN経由でモバイルに接続したMT1000A/MT1040Aが、クラウドを介して熟練の技術者・管理者がいるオフィスにつながります。熟練の技術者・管理者は、遠隔地からMT1000A/MT1040Aを操作し、トラブルの解析・処置を行うことが可能です。

なお、SORAを経由して測定結果レポートをクラウドストレージにアップロードすることもできます。

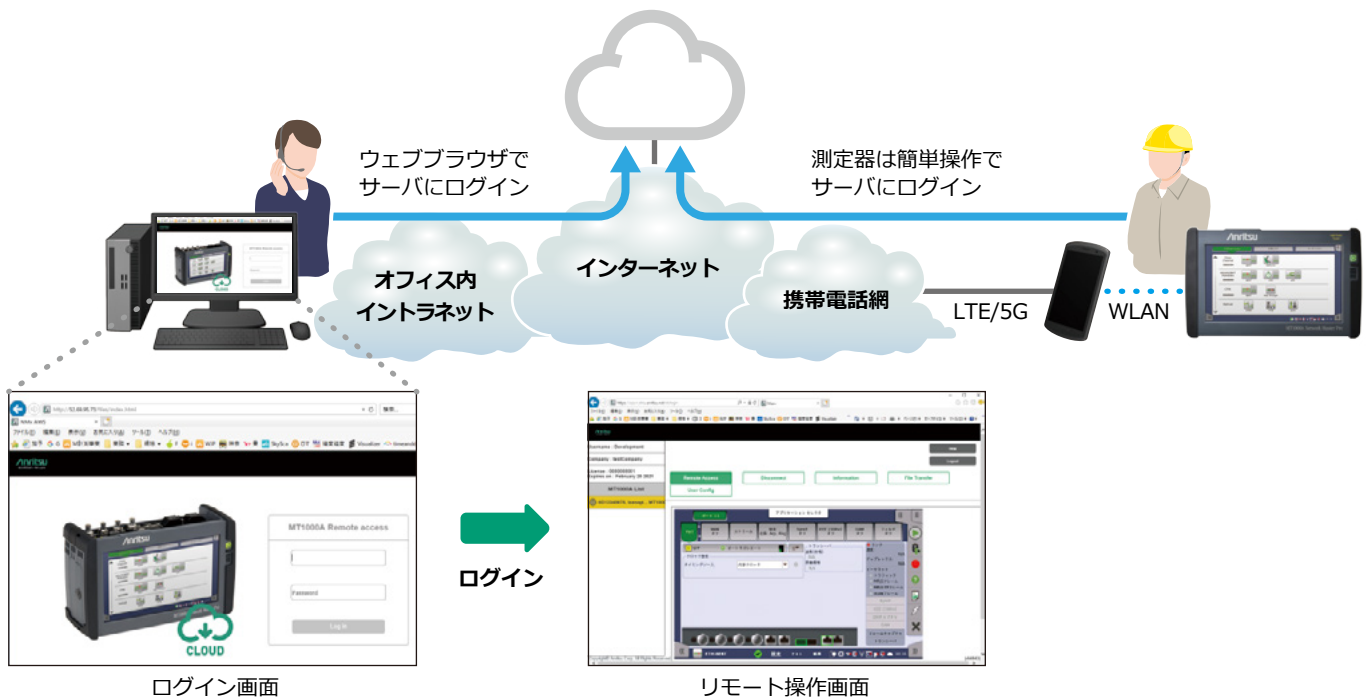


図10 SORAを使用したリモート制御の例

アンリツはPONの敷設・保守時に必要な試験ソリューション充実させ、お客様のPON敷設・工事時の試験の効率化に貢献します。