

安定化光源および光パワーメータ機能を内蔵したミニOTDR用光ユニット

New Optical Unit with Stabilized Light Source and Optical Power Meter Functions for Mini-OTDR

UDC 621.317.74/.75/.78 : 681.7.068.2/.3

押味 孝志	Takashi Oshimi	計測器事業部 第4開発部
坂本 貴司	Takashi Sakamoto	計測器事業部 第4開発部
亀山 仁	Hitoshi Kameyama	計測器事業部 第4開発部
加藤 敬太	Keita Kato	計測器事業部 第4開発部
岩崎 王亮	Kimiaki Iwasaki	計測器事業部 第4開発部
玉腰 政昭	Masaaki Tamakoshi	計測器事業部 第4開発部

1 まえがき

光パルス試験器（OTDR：Optical Time Domain Reflectometer）は光ファイバケーブルの長さ、伝送損失、接続点損失および反射減衰量の測定を片端から非破壊で行える計測器であり、光ファイバケーブルの研究開発、製造、布設、保守などの分野で広く使用されている。

1994年9月に我々は特に布設および保守時に使用されることを目的にミニOTDR：MW9070Aを開発し報告した¹⁾。さらに、1996年9月には機能追加を図ったMW9070Bおよび36dBという汎用器なみの広ダイナミックレンジを実現したMW9070B用光ユニットMW0972Bについて報告した²⁾。

今回、安定化光源と光パワーメータ機能を内蔵し、さらに41.5dBの広ダイナミックレンジ化と8mの短デッドゾーン化を図った光ユニットMW0972Cを開発したので報告する。

本ユニットは、布設および保守現場においてケーブルの全損失測定用に安定化光源、光パワーメータも使用されることから、OTDRに安定化光源と光パワーメータを内蔵してほしいという要求に対応したものである。

図1にミニOTDR MW9070Bと、今回開発した光ユニットMW0972Cの外観を示す。なお、光ユニットはMW9070B本体の背面に実装される。

2 開発方針

本ユニットを設計するにあたり、以下の開発方針をたてた。

2.1 安定化光源、光パワーメータ機能を内蔵

現状のOTDR機能に加え、安定化光源および光パワーメー



図1 MW9070BとMW0972Cの外観
External view of MW9070B and MW0972C

タ機能を追加する。これにより光ファイバケーブル布設、保守時のOTDR機能による各接続点損失測定と、安定化光源と光パワーメータ機能による全損失測定が本ユニットのみで行えるようにする。

安定化光源および光パワーメータの機能および性能は、従来MW9070Bとセットで使用されることが多かった当社ハンディ型光ロステストセットMS9020Cと同等とする。さらに、光パワーメータ機能については、光ファイバケーブルの伝送損失測定だけでなく、光伝送装置の出力パワー測定に使用されることも考えられる。そして、近年の光増幅器の普及に伴い+20dBm程度の出力に対応できる光パワーメータの需要が多くなっている。そこで測定範囲の上限を+20dBm以上とする。

2.2 OTDRの性能向上

OTDR機能においては、従来のMW0972Bより短時間で測定可能とするため、さらなる広ダイナミックレンジ化を目指す。世界最高レベルとするため、ダイナミックレンジは40dB以上、またデッドゾーンは10m以下とする。

3 構成

図2に本ユニットのブロックダイヤグラムを示す。

OTDR、安定化光源、光パワーメータおよび可視光源の各ブロックから構成されている。光パワーメータと可視光源はユーザが選択できるようにオプションとした。

光の入出力コネクタは3つとし、OTDRと安定化光源を同一コネクタ、光パワーメータと可視光源はそれぞれ別コネクタとした。

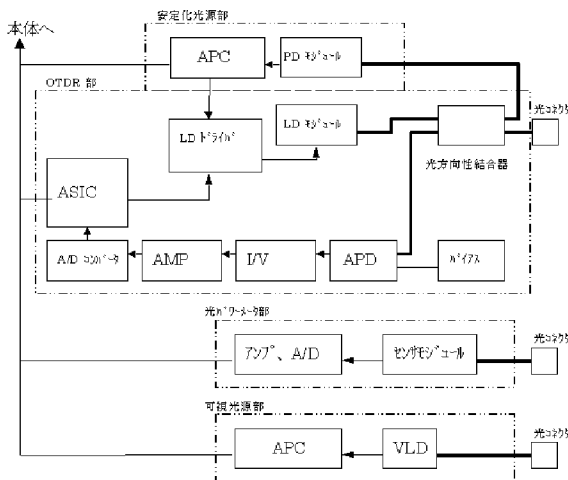


図2 MW0972Cのブロックダイヤグラム
Block diagram of MW0972C

4 設計の要点、性能

4.1 安定化光源機能

4.1.1 OTDR用LDを共用

安定化光源用LD (Laser Diode) としてOTDR用LDを共用することにした。これにより新たなLD追加によるコストアップを抑えることができる。しかし、OTDR用LDは温度制御を行っていないため単純な定電流駆動では光出力安定度を得ることができない。そこで、フロントモニタ方式による光出力安定化回路 (APC : Automatic Power Control) を追加した。フロントモニタ用PD (Photo Diode) モジュールは光方向性結合器の未使用ポートに接続した。

ところが、従来のLDモジュールは高結合効率が優先される光学系を採用しており、モジュール内部の反射対策は施されていない。そのためLDモジュール内部の反射が原因で光出力が不安定になる問題が生じた。そこでLDモジュールの結合効率を維持し、LDへの反射戻り光を低減させる光学系を新規に開発した。

4.1.2 性能

前記APC回路の追加とモジュール内部の反射対策により、光出力レベル - 3dBm、安定度0.1dB以下を実現した。図3に光出力安定度の測定例を示す。波長1.55 μm 、変調モードは連続光、約60分間の常温での測定結果である。安定度として0.1dB以下が得られている。また図4にOTDR機能時 (パルス発光時) の、図5に光源機能時 (CW発光時) の光スペクトルの一例を示す。中心波長はそれぞれ1,309.1nm、1,306.7nmであり、 $1,310 \pm 25\text{nm}$ の中心波長規格を満足している。

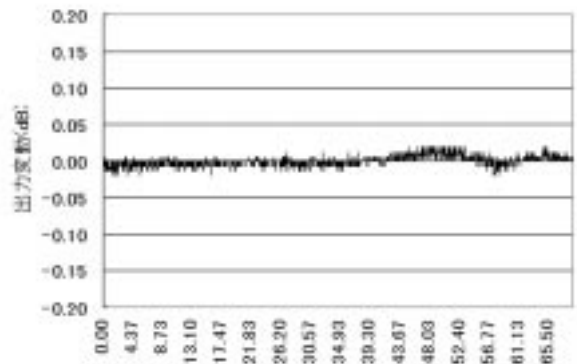


図3 光源機能時の光出力安定度
Stability of optical output power in stabilized source function

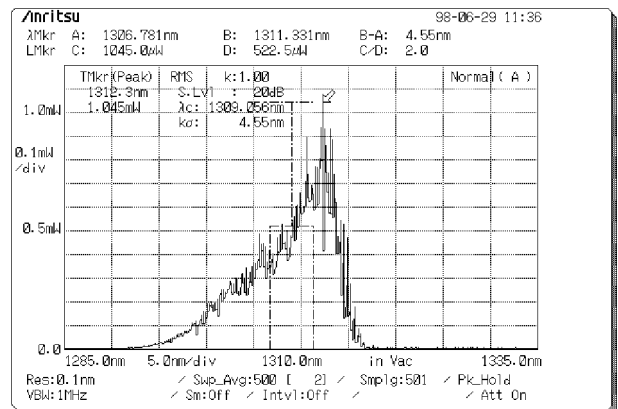


図4 OTDR機能時の光スペクトラム
Optical spectrum in OTDR function

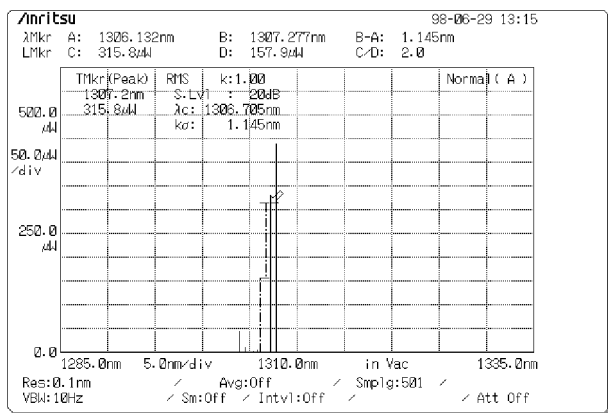


図5 光源機能時の光スペクトラム
Optical spectrum in stabilized source function

なお、出力光波形は連続光および270Hz, 1kHz, 2kHz 矩形変調波とした。

4.2 光パワーメータ機能

4.2.1 構成

図6に光パワーメータ部のブロック図を示す。

被測定光は、センサモジュールに入り光电変換される。そしてI/V変換器、アンプ、LPF (Low Pass Filter) 等を経てA/Dコンバータに入る。A/Dコンバータの出力は、本体のCPUで処理され測定結果として表示される。変調光の場合は、アンプ後、BPF (Band Pass Filter) を経て検波器に入力される。検波器で交流信号は直流信号に変換され、LPF 等を経てA/Dコンバータに入力される。変調周波数は国内外を考えた場合、270Hz, 1kHz および2kHz に対応する必要がある。そこで中心周波数が外部クロックにより変えられ、かつ小型化が実現できるスイッチドキャパシタICをBPFに採用した。

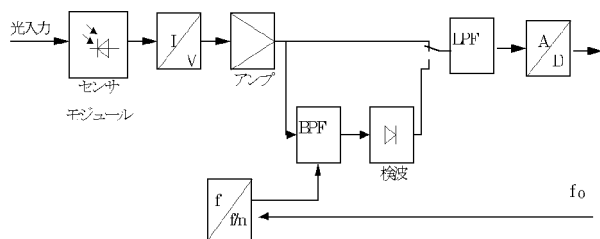


図6 光パワーメータ部のブロックダイアグラム
Block diagram of optical power meter block

4.2.2 ノイズ対策

I/V変換部のトランスインピーダンスは最大で10M となり、外部の雑音を非常に受けやすくなる。さらに実装密度が高く

なるためノイズの影響も大きい。そのため多層プリント板を2段構造にし、アナログ部、デジタル部と電源部の3ブロックに分け、アナログ部への電源部およびデジタル部信号の回り込み防止を行った。また、センサモジュールとI/V変換部の接続箇所はガードリング処理を行い、さらにシールド板で覆った。その結果、変調光受光時に -55dBm の感度を達成した

4.2.3 ハイパワー対応ファイバ入力型センサモジュール

+20dBm 以上の最大入力範囲と高感度受光を得るために、受光素子にInGaAs フォトダイオードを用い、光減衰フィルターを内蔵したセンサモジュールを開発した。モジュール内部のファイバ端面斜研磨やフィルター、受光素子を光軸に最適な角度で配置することにより40dB以上の反射減衰量を実現した。モジュールはさまざまな光コネクタに対応するためにファイバ入力とした。これにより、OTDRと同じリプレイサブルコネクタが使用可能となり、またMS9020C用の同タイプの光センサモジュールより小型化することもできた。

図7にセンサモジュールの外観を示す。



図7 センサモジュールの外観
External view of sensor module

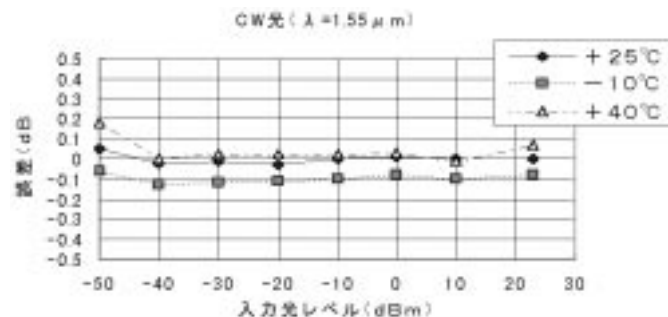


図8 光パワーメータの測定誤差
Error of optical power measurement

4.2.4 性能

光パワーの測定範囲は連続光で + 23dBm ~ - 50dBm , 変調光で + 20dBm ~ - 55dBm (変調光) を実現した。入力光レベルと測定誤差の測定例を図8に示す。 - 10dBm での測定精度は ± 5 % 以下となっている。

4.3 OTDR 機能

4.3.1 広ダイナミックレンジ化

LD 光出力のアップ, 受光素子の暗電流低減, 初段アンプの低雑音化およびパルス幅の拡大などにより, 波長 1.31 μ m において従来の 36dB から 41.5dB へ, 波長 1.55 μ m で 34dB から 39.5dB へそれぞれ 5.5dB アップを実現した。従来と同じパルス幅 10 μ s 同士で比較した場合は 4dB アップとなる。これにより測定時間 (平均化処理時間) の短縮が可能となる。

図9と図10に波長 1.31 μ m , パルス幅 10 μ s での従来機 MW0972B との平均化処理時間の比較データを示す。測定ファイバは長さ 100km , 損失約 35dB である。MW0972B の平均化

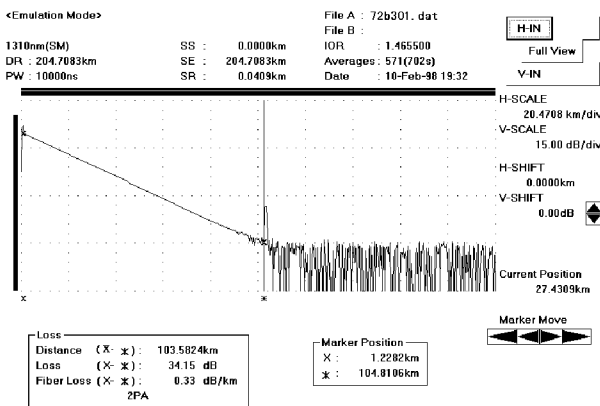


図9 100km ファイバの MW0972B での測定例 (平均化時間 702 秒)
Measurement result of 100km fiber by MW0972B with 702 seconds averaging

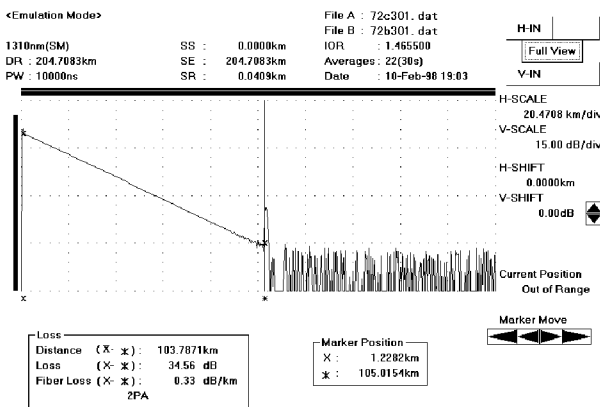


図10 100km ファイバの MW0972C での測定例 (平均化時間 30 秒)
Measurement result of 100km fiber by MW0972C with 30 seconds averaging

処理時間 702 秒に対し, 本ユニットの場合わずか 30 秒で同じ SN 比の波形が得られている。

図 11 に, 波長 1.55 μ m での損失約 40dB , 距離 183km の長距離光ファイバの測定例を示す。従来見ることのできなかった遠端まで明瞭に観測されている。

4.3.2 短デッドゾーン化

A/D コンバータのアナログ入力帯域を 20MHz から 60MHz へ拡大した。さらにアンプの位相補償の見直しにより, フレネル反射の波形応答に見られるすそ引きを低減した。これによりパルス幅 20ns で後方散乱光デッドゾーン 8m 以下を実現した。図 12 と図 13 に MW0972B と本ユニットの比較データを示す。コネクタの反射減衰量は 40dB である。MW0972B のデッドゾーン 15.4m が 7.2m に短縮されている。

4.4 操作性の向上

4.4.1 安定化光源, 光パワーメータ機能対応

電源を入れたとき本体に最初に表示される Setup 画面に, OTDR 測定と光損失測定 (OLTS : Optical Loss Test Set) の選択項目を追加した。ここで OLTS を選択すると, 図 14 に示す, OLTS 画面が表示される。本画面は測定条件と測定結果から構成される。画面上部には測定条件を表示し, Select ボタンで光源, 光パワーメータおよび損失測定用の基準レベルの設定を順次切り替えることが可能である。画面下部には, 基準レベル, 光パワーメータへの入力レベルおよび損失値を標準の 4 倍の大きさのフォントで順に表示する。基準レベルは使用者が設定する値で, 基準レベルから光パワーメータへの入力レベルを引いた値を損失値として表示する。安定化光源の出力レベルを基準レベルに設定して被測定光ファイバ通過後のレベルを測定すれば, 光ファイバの全損失を一目で知ることができる。

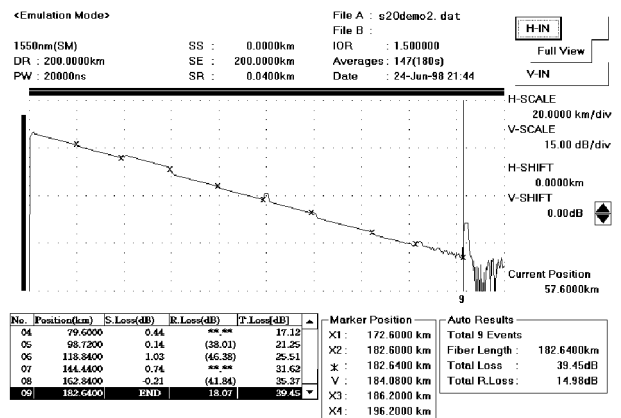


図11 長距離ファイバの測定例
Measurement result of long length fiber

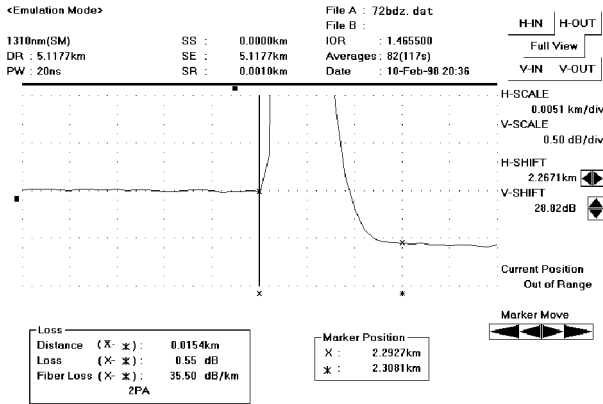


図12 MW0972Bのデッドゾーン
Dead zone of MW0972B

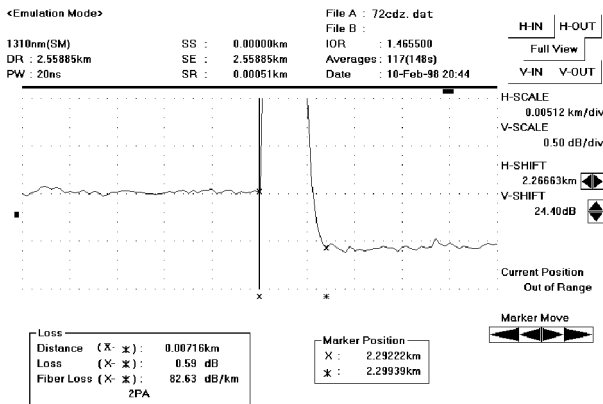


図13 MW0972Cのデッドゾーン
Dead zone of MW0972C

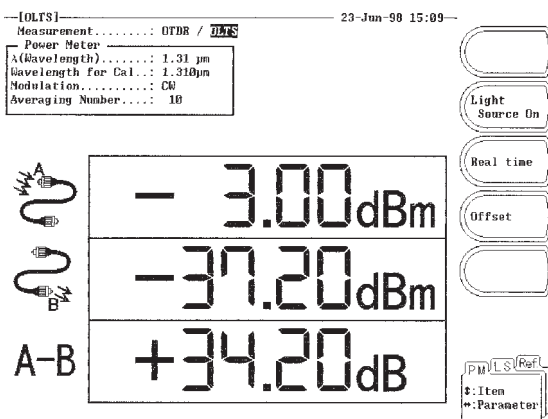


図14 OLTS画面
Display example of OLTS function

4.4.2 広ダイナミックレンジ対応

波形を表示する縦軸スケールは、従来10dB/divであり40dBまでの範囲を一度に表示できた。今回は広ダイナミックレン

ジ化に対応して新たに15dB/divを追加し、表示範囲を60dBに広げた。これにより損失40dBを超える光ファイバでも、近端から遠端まで一画面で表示可能となった。

4.4.3 ファイルフォーマットの互換性拡大

測定条件および測定結果（波形も含む）をファイルとして記録、読み出す機能については、バージョンアップにより新機能を追加するたびに上位互換は対応してきたが、下位互換は対応していなかった。そのため、複数しかも新旧混在するMW9070Bを使用しているユーザの場合、フロッピーディスク等に記録したデータが、ある本体では読み出しできないという不具合が発生していた。

今回は、この下位互換に対応するために、ファイルバージョンを指定して記録する機能を追加した。これにより、旧バージョン形式で記録しておけば、旧バージョンのMW9070Bでも読み出すことが可能となった。ただし、旧バージョン形式で記録すると、新規に追加された機能の情報は記録されない。

4.4.4 ファイル名の自動インクリメント

多芯光ファイバケーブルを測定する場合、一芯ごとに測定結果をファイルに記録している。その場合、ファイル名を一芯ずついちいち変えて記録するという操作が必要となる。このような煩わしさを改善するために、ファイル名の中にある数字を自動的にインクリメントする機能を追加した。これにより、ファイルを記録するたびにファイル名を書き替えることなく記録することができる。さらに、インクリメントのステップも設定できるようにした。

5 規格

表1にMW0972Cの規格を示す。従来機種MW0972Bとの比較も合わせて示す。

6 むすび

安定化光源、光パワーメータを内蔵したミニOTDR用光ユニットMW0972Cを開発した。さらにOTDR機能の性能向上も図り、ダイナミックレンジは波長1.31 μmで41.5dB、1.55 μmで39.5dBを、デッドゾーンは8mを達成した。これにより、光ファイバケーブル布設、保守時の接続点評価と全損失測定が本ユニットのみで行える。ダイナミックレンジの拡大による測定時間の短縮と合わせ、作業の効率化が図れるものと期待する。

表1 MW0972Cの規格
Specification of MW0972C

項目	仕様	従来機種
型名	MW0972C	MW0972B
被測定ファイバ	シングルモード (ITU-T G652)	
中心波長	1,310/1,550 ± 25nm (25 , 1 μ s)	± 30nm
光コネクタ	FC/SC/ST/DIN/DIAMOND (HMS-10/A)	
距離レンジ	2.5/5/10/25/50/100/200km	
パルス幅	20/50/100/500/1,000/2,000/4,000/10,000/20,000ns	20 ~ 10,000ns
ダイナミックレンジ	41.5/39.5dB (SNR = 1 , 25 , 20 μ s)	36/34dB (SNR = 1 , 25 , 10 μ s)
デッドゾーン	フレネル3m ボックスキャッタ8m (ORL = 40dB)	フレネル5m ボックスキャッタ25m
マーカ分解能	0.5m	1m
精度	距離測定: ± 1 m ± 測定値 × 10 ⁻⁴ ± マーカ分解能 損失測定 (リニアリティ): ± 0.05dB/dB または 0.1dB リターンロス測定: ± 4dB	距離測定: ± 2m ± 測定値 × 10 ⁻⁴ ± マーカ分解能
測定時間	180秒 max (オート測定時)	
リアルタイム掃引	0.4秒	
光安全性	FDAクラス1, IECクラス1	
安定化光源機能	出力レベル精度: - 3dBm ± 1.5dBm (25 , 連続光) 瞬時安定度: 0.1dB 以下 中心波長: 1,310/1,550 ± 25nm (25) スペクトル半値幅: 5/10nm 以下 (25) 出力波形: CW/270Hz/1kHz/2kHz	なし
光パワーメータ機能 (オプション)	測定光: 1,310/1,550 ± 25nm 測定範囲: + 23dBm ~ - 50dBm (連続光) + 20dBm ~ - 55dBm (変調光) 測定精度: ± 5% (- 10dBm, 1.31/1.55 μ m, 連続光) 反射減衰量: 40dB 以上	なし
環境特性	MW9070B 本体と同じ	
寸法, 重量	120H × 290W × 35Dmm 以下 1kg 以下	

今後は測定速度のさらなる向上と多機能化について検討していきたい

参考文献

1) 岡本, 竹尾, 城野, 坂本, 高橋: “光ファイバ回線保守に最適な

MW9070A 光パルス試験器”, アンリツテクニカル, 68号, pp.63-71, (1994.9)

2) 坂本, 杉本, 亀山: “汎用器なみの広ダイナミックレンジを実現したミニOTDR”, アンリツテクニカル, 72号, pp.42-47, (1996.9)