

低損失光サーキュレータの開発

Development of Low Loss Optical Circulator

牧内 洋二*

Yoji Makiuchi

松浦 寛*2

Hiroshi Matsuura

概 要 光サーキュレータは、大容量長距離通信システムに使用されている波長多重通信方式（Wavelength Division Multiplexing System; WDM）に基づいた、OADM（Optical Add-Drop Module）のキーデバイスである。その高性能化を実現できる低損失光サーキュレータを開発した。本モジュールは、使用温度・波長範囲内で挿入損失が0.44 dB以下と超低損失であることを特徴とする。また、機械部品をYAGレーザ溶接することや光路中に接着剤を使用しない組み立て技術によって高い信頼性や耐ハイパワー性を持っている。

1. はじめに

1990年代北米を中心として発展してきたインターネットは近年爆発的に発展をしている。当初ローカルだけであったネットワークは、今や世界規模で広がり送受信されるデータも、文字のみならず画像・映像データも加わり、必要とされる通信容量は格段に大きくなっている。広域のネットワークにおいて、大容量のデータを瞬時に伝達するため光ネットワークは必要不可欠である。以前まで大学や研究所、一部企業だけであった光ネットワークは、インターネットの広がりとともに一般家庭にも急速に普及してきている。それに伴い、光ファイバ網の有効利用が必要になってきている。その一つの方法として、1本の光ファイバに波長の違う複数の信号を送るという波長多重通信方式（Wavelength Division Multiplexing System）が使われている。光サーキュレータは、任意の波長の取り出しや多重化を行うWDM方式OADMで使われているキーデバイスである。近年光ネットワークの拡大により、信号の通信距離が長くなった結果、より遠くへ信号を伝達するため、モジュール単体の低損失化の要求が今まで以上に大きくなってきている。また、OADMだけでなく双方向アンプなど幅広い機器に使用するためにも、低損失化が必要条件になってきた。

本稿では、光サーキュレータの基本原則から、各ポート間の損失を最適化することにより低挿入損失3ポート光サーキュレータの製品化に成功したので報告する。また、3ポートサーキュレータの原理を応用することにより同等の特性を持つ4ポートサーキュレータを開発したので報告する。

2. 低損失光サーキュレータ

低損失光3ポートサーキュレータの構成図を図1に示す。3

本のシングルモード光ファイバ、単芯フェルルール、レンズと一軸性複屈折結晶、ガーネットからなる非相反部から構成されており、それぞれの部品はレーザ溶接、または接着剤で固定されている。ただし、耐ハイパワー性を考慮し光路中には接着剤を使用しない設計である。

ここで図1に基づいて、モジュールの機能について説明する。ポート1から入射した光はレンズでコリメートされ、非相反部を通過しポート2側のレンズで集光されポート2に出力される。また、ポート2から入射した光はレンズでコリメートされ非相反部を通過しポート3側のレンズで集光されポート3に出力される。図2に低損失光サーキュレータの外観図を示す。

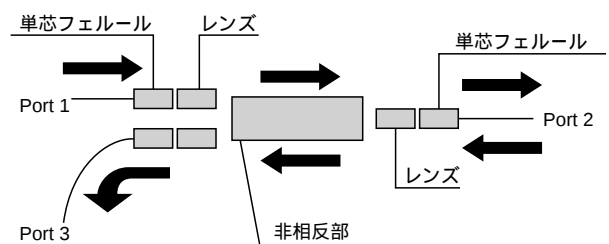


図1 低損失光サーキュレータの構成図
Schematic diagram of developed optical circulator



図2 低損失サーキュレータの外観図
Appearance of developed optical circulator

* ファイテル製品事業部 光コンポーネント部

*2 ファイテルフォトンクス研究所 光部品開発部

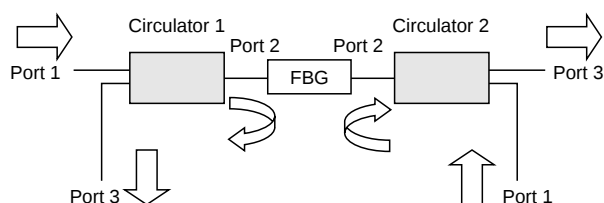


図3 OADMの構成例
Schematic diagram of OADM

表1 低損失光サーキュレータの仕様
Specification of develop optical circulator

項目	入出力ポート	規格
挿入損失	Port 1 to 2	≤ 0.5 dB
	Port 2 to 3	
逆方向損失	Port 2 to 1	≥ 30 dB
	Port 3 to 2	
ダイレクティブィティ	Port 1 to 3	≥ 55 dB
PDL	Port 1 to 2	≤ 0.1 dB
	Port 2 to 3	
反射減衰量	Port 1, 2, 3	≥ 55 dB
仕様波長範囲	1525 ~ 1570 nm	
寸法	L 71.5 × W 11 × T 6 mm	

2.1 応用例

OADMにおける光サーキュレータの使用例を図3に示す。

波長多重された信号はサーキュレータ1のポート1に入射すると、ポート2を通過し、任意の波長だけ反射させるFBGに到着する。フィルタで反射された信号光は、サーキュレータ1のポート2に戻りポート3から出力（Drop）される。その他の信号光は通過して、サーキュレータ2のポート2に入力されポート3へ出力される。多重化の場合は、追加する信号をサーキュレータ2のポート1から入力する。ポート1からポート2へと出力された信号はFBGで反射し、再びポート2を通りポート3に出力される。そのときFBGを通過してきた信号と多重化（Add）される。

3. 仕様

昨今の低損失化にこたえられるように設計を考慮し、全使用温度（-5 ~ 70）・全波長範囲内で表1を目標仕様とした。

4. 製品特性

以下にモジュールの光学特性について述べる。

4.1 挿入損失、温度特性とPDL

各ポート番号は図2外観写真の番号と一致している。本モジュールに限らず光通信で使われる部品において、挿入損失とPDLは非常に重要である。図4、図5にポート1からポート2への挿入損失、PDLのヒストグラムを、図6、図7にポート2からポート3の挿入損失、PDLのヒストグラムを示す。

挿入損失において、ポート1からポート2は平均0.36 dBに、ポート2からポート3では平均0.39 dBと低損失になっている。

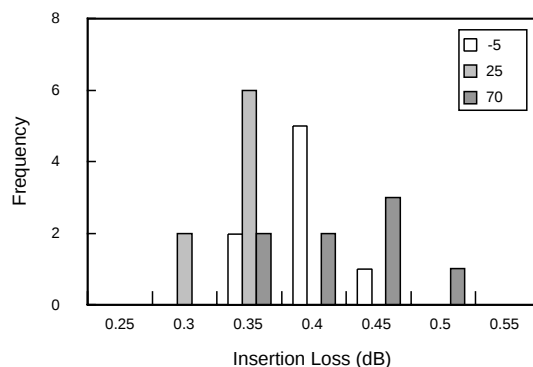


図4 ポート1からポート2の挿入損失ヒストグラム
Histogram of insertion loss from Port 1 to Port 2

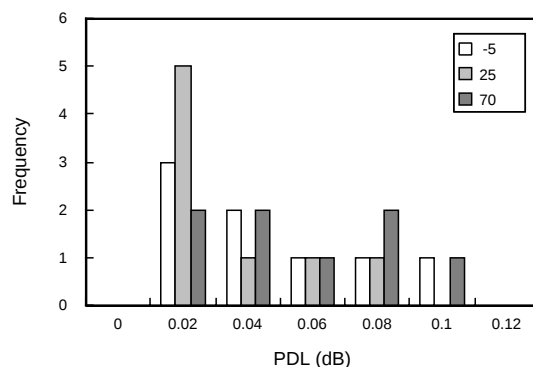


図5 ポート1からポート2のPDLヒストグラム
Histogram of PDL from Port 1 to Port 2

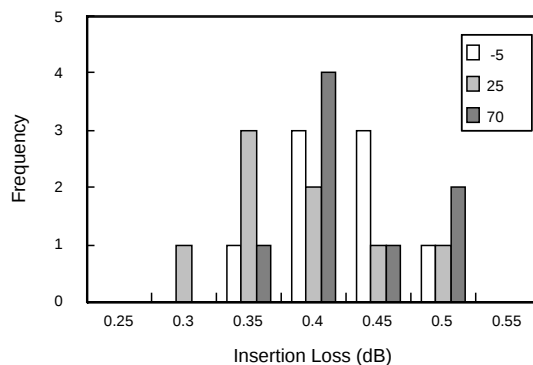


図6 ポート2からポート3の挿入損失ヒストグラム
Histogram of insertion loss from Port 2 to Port 3

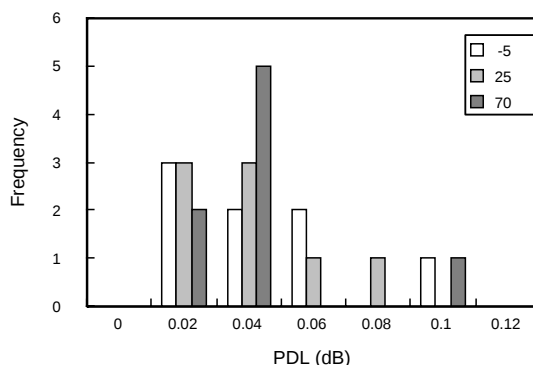


図7 ポート2からポート3のPDLヒストグラム
Histogram of PDL from Port 2 to Port 3

ポート2からポート3の挿入損失は、光路変換素子を使用しているため、ポート1からポート2の挿入損失より若干高めになっている。

また、PDLにおいてはポート1からポート2、ポート2からポート3とも平均0.04 dBと十分仕様を満たしている。

図8にポート1からポート2の挿入損失の温度特性例を、図9にポート2からポート3の挿入損失の温度特性例を示す。温度による変動は最大でも0.05 dBとなっており非常に小さい。波長変動もポート1からポート2では0.1 dB以下、ポート2からポート3では0.08 dB以下となっている。

4.2 逆方向損失

図10、図11に、ポート2からポート1、ポート3からポート2の逆方向損失のヒストグラムを示す。逆方向損失が小さい場合、戻り光により、元の信号に影響を与えてしまう。サークュレータの原理上温度特性を有するが、本モジュールでは設計を最適化することにより、平均47 dBと仕様を十分満たしている。

4.3 ダイレクティビティ

図12に、ポート1からポート3のダイレクティビティの温度・波長特性を示す。温度・波長変化においても55 dB以上と仕様を満たしている。

4.4 反射減衰量

図13に各ポートの反射減衰量のヒストグラムを示す。全ポートにおいて平均63 dBとなっており仕様を十分満たしている。

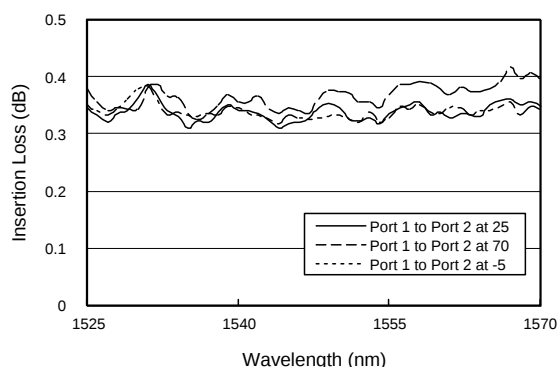


図8 ポート1からポート2の挿入損失の温度特性
Temperature dependence of insertion loss changes from Port 1 to Port 2

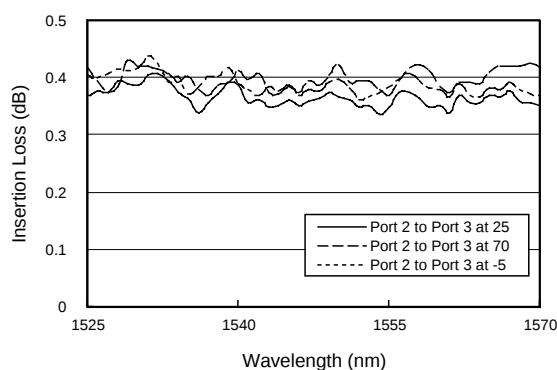


図9 ポート2からポート3の挿入損失の温度特性
Temperature dependence of insertion loss changes from Port 2 to Port 3

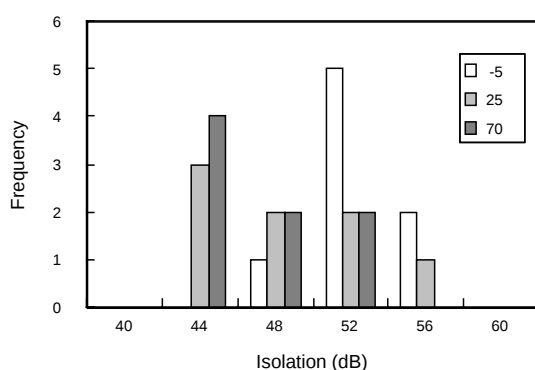


図10 ポート2からポート1の逆方向損失ヒストグラム
Histogram of isolation from Port 2 to Port 1

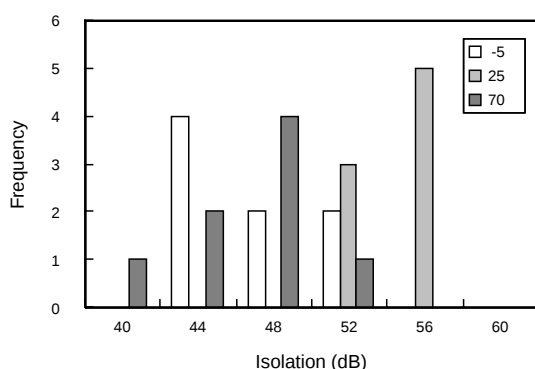


図11 ポート3からポート2の逆方向損失ヒストグラム
Histogram of isolation from Port 3 to Port 2

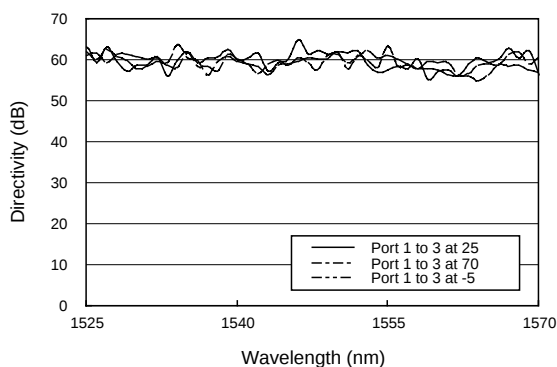


図12 ポート1からポート3のダイレクティビティの温度特性
Temperature dependence of directivity changes from Port 1 to Port 3

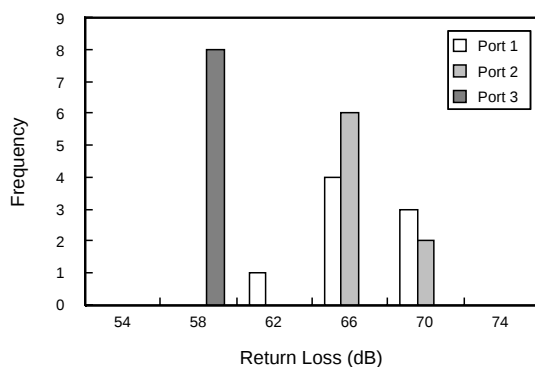


図13 ポート1, 2, 3のリターンロスのヒストグラム
Histogram of return loss

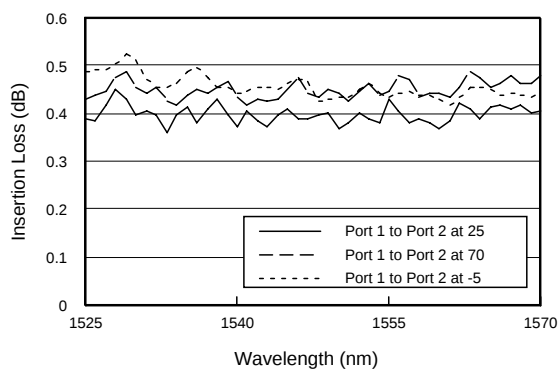


図 14 4ポートサーキュレータのポート1からポート2の温度特性
Temperature dependence of insertion loss changes for 4-Port circulator from Port 1 to Port 2

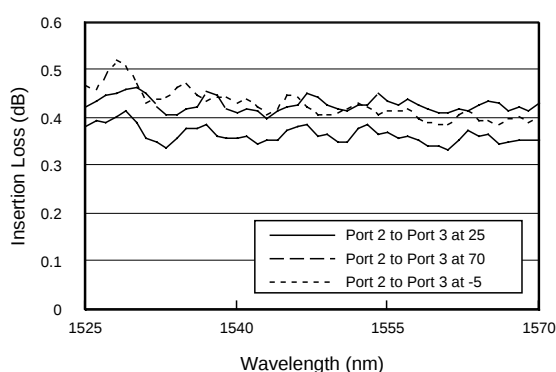


図 15 4ポートサーキュレータのポート2からポート3の温度特性
Temperature dependence of insertion loss changes for 4-Port circulator from Port 2 to Port 3

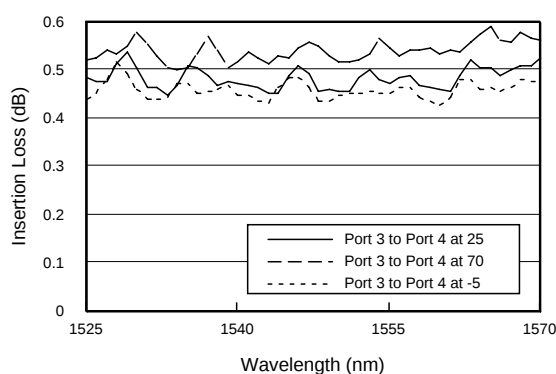


図 16 4ポートサーキュレータのポート3からポート4の温度特性
Temperature dependence of insertion loss changes for 4-Port circulator from Port 3 to Port 4

5. 4ポートサーキュレータ

今回、我々は3ポートの技術を応用することにより、4ポートサーキュレータも同時に開発した。図14から図16に、開発した4ポートサーキュレータの挿入損失を示す。ポート1からポート2，ポート2からポート3では挿入損失0.53 dB以下，ポート3からポート4において挿入損失0.6 dB以下の特性を持つ4ポートサーキュレータを実現した。また，挿入損失以外の特性については表1の仕様を十分満足している。

6. おわりに

光サーキュレータの基本原則から，各ポート間のロス最適化することにより，使用温度・波長範囲内で挿入損失が0.44 dB以下である低損失光3ポートサーキュレータを開発した。低損失化したことによりOADMにおける高性能化が期待されるとともに，双方向アンプなど幅広い機器の高性能化が期待される。

3ポートサーキュレータの技術を応用することにより，挿入損失が0.6 dB以下の低損失4ポートサーキュレータも開発した。今後，4ポートサーキュレータの要望が高まってきた場合すばやく答えることが出来る。

謝辞

本稿を書くにあたり光機能部品グループ，ファイテル製品事業部光コンポーネント部で有益な助言とご協力をいただいた皆様に感謝する。