

技術紹介

8 実装性に優れた小型光ファイバカプラの開発

Development of Miniature Optical Fiber Couplers

武田 光善	Teruyoshi Takeda	光デバイス事業部 技術部
佐々木 弘之	Hiroyuki Sasaki	光デバイス事業部 技術部 マネージャー
葛西 誠	Makoto Kasai	弘前航空電子(株) 光推進部
川村 政則	Masanori Kawamura	弘前航空電子(株) 光推進部

キーワード 光ファイバカプラ、融着延伸
Keywords optical fiber coupler, fused taper

■ 要旨

融着延伸型の光ファイバカプラ（以下光カプラと言う）は市場に投入されて久しく、光通信技術の発達と共に、要求仕様の変化に対応してきた光製品のひとつです。ブロードバンド通信が普及するに従って、光カプラに対するコストは低価格要求となってきました。当社では長年光カプラの開発、生産を行ってきましたが、今回この新しい市場要求に答えるべく、新たに実装性に優れた小型光カプラの開発を行いました。その結果は大変良好なものとなりました。

■ SUMMARY

Long time has passed since fused taper type optical coupler, which is one of the optical products to meet a various market demand, was introduced to the market. Along with the diffusion of broadband communication, severer cost-down requirement has been imposed on the optical fiber coupler. JAE has been engaged in development and production of optical fiber coupler for a long time. Responding to the new requirement of the market, we have successfully developed a miniature easy-to-mount optical fiber coupler.



図1 集積型光カプラの外観

1 まえがき

当社の光カプラに関する製品コンセプトは、“実装性に優れた高機能な製品を提供する”ことにあります。当社では既に以下の光カプラ（詳細は図2参照）が開発されています。これらの光カプラの開発については既にこれまでの航空電子技報で発表してきました。1) 2) 3) 4)

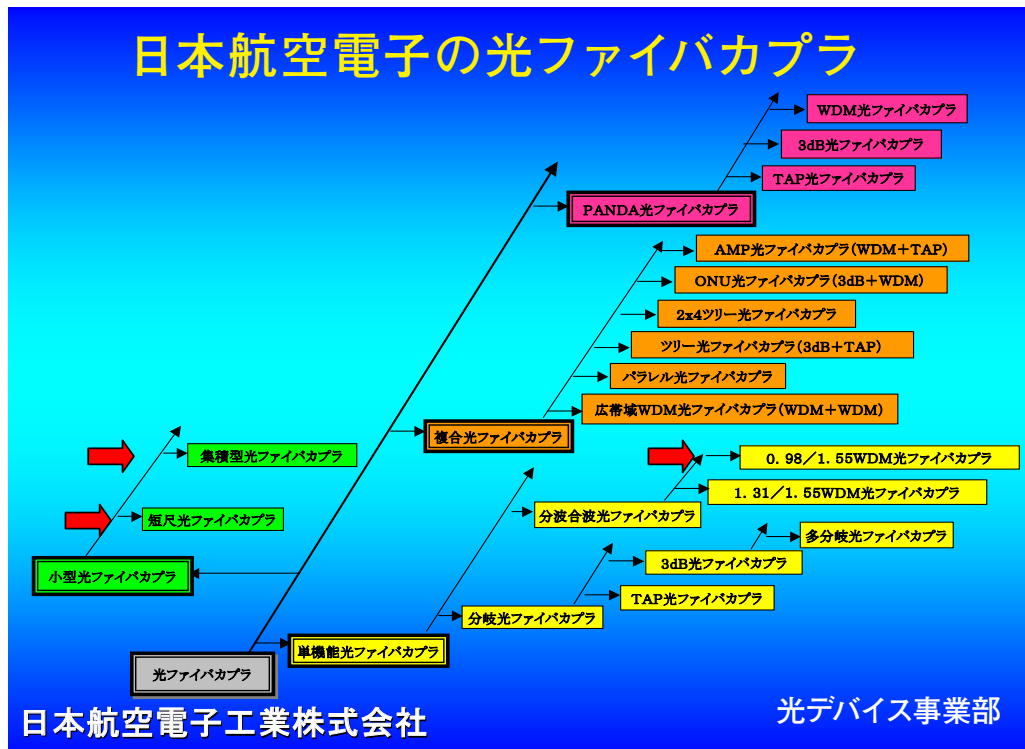


図2 日本航空電子の光カプラ

- (1) 単機能光カプラ
- (2) パンダ光カプラ
- (3) 複合光カプラ
- (4) 小型光カプラ

このうち実装性に優れた光カプラとしては、複数の光カプラを一体にした小型複合光カプラを開発して市場に投入しております。今回は新たに実装性に優れた以下の3品種（図2において矢印で示してあります）を開発しましたので、これらについて報告します。

- (1) 0.98 / 1.55 WDM光カプラ
- (2) 短尺光カプラ
- (3) 集積型光カプラ

2 開発コンセプト

光ケーブルの主要市場は通信市場となります。通信市場は大変大きな市場であり、その中でも代表的な市場としてはインターネットに代表されるアクセス系市場があります。このアクセス系市場に使用される光ケーブルには、特に低価格が要求されております。低価格の実現には光ケーブル自体の単価の低減と共に実装コストの低減も重要な要素となります。

実装コストはお客さまである装置メーカーで発生するコストであり、お客さまがどのような実装を行っているかに強く依存することになります。一方で部品メーカーとしては、お客さまにおいて低コストな実装が可能となるような部品を、供給する必要があります。

一般に実装容易な部品の条件としては、以下のような要素があります。

- (1) 実装に制約条件が少ないこと
- (2) 実装面積が可能な限り小さいこと
- (3) 実装部品点数が少ないこと

これらの要素と本発表の製品の開発方針をまとめると以下ようになります。

表 1 実装要求と開発方針

実装要求	開発方針
実装条件に制約が少ないこと	0.98 / 1.55WDM 光ケーブルにおいて ・ 実装時のファイバの曲げ半径の小径化 ・ 光ケーブルとファイバとの接続損の低減化
実装面積が可能な限り小さいこと	光ケーブルの長さ方向の寸法の更なる短尺化
実装部品点数が少ないこと	複数の光ケーブルをひとつのパッケージに納める集積化

3 開発した光カプラの概要

今回開発したこれらの光カプラの概要を以下に述べます。

3.1 0.98 / 1.55 WDM光カプラ

この光カプラは、光ファイバアンプの合波用（信号光と励起光の合波用）として使用されるものです。この種類の光カプラの場合は、実装上の制約条件が通常の光カプラよりも多く、お客様において実装しにくい問題がありました。これらの問題の詳細は付録（7. 項）に述べますが、要約すると以下ようになります。

従来融着延伸法で製作するWDM光カプラでは、融着延伸する2つの光ファイバは一般に同一である必要があります。この場合、

- 1.55 μm 用光ファイバ（1.3 μm 帯シングルモード光ファイバ）で光カプラを製作した場合は、0.98 μm の光はマルチモードになるため使用出来ません。
- 0.98 μm 帯光ファイバで光カプラを製作した場合は、1.55 μm の光に対して曲げ損失が大きくなるため、大きなループで実装することとなり実装面積が広がります。

又光カプラを他の部品と接続するときに0.98 μm 用光ファイバと1.55 μm 用光ファイバの接続という、異種光ファイバ同志の接続のため接続損失が大きくなります。

一般的に融着延伸する2つの光ファイバーに異種光ファイバを用いたWDM光カプラでは100%の分岐を実現することは出来ませんでした。今回当社はこの異種光ファイバ（0.98 μm 帯光ファイバと1.55 μm 帯光ファイバ）を用いて100%分岐出来る光カプラ（0.98 / 1.55 WDM光カプラ）を開発しました。従ってお客様において、光カプラの光ファイバの曲げ半径を大きくとる実装を行う必要が無くなります。更に光ファイバの接続部分は同種光ファイバ同志の接続が可能となります。

3.2 短尺光カプラ

この光カプラは、お客様における実装スペースの小型化を実現するために開発を行いました。光カプラは2本の光ファイバの被覆を除去しその部分を融着延伸させて作ります。従って元々細長い光ファイバを延伸するため、光カプラの形状は非常に細長くなります。一般的な光カプラのパッケージ外形は、 $\phi 3 \times 55 \text{ mm}$ の円筒状をしています。この形状は他の光部品と比較すると、体積としては小さいですが長さとしてはかなり長くなります。従って全体の実装スペースを制約している要素に光カプラの長さがあります。

当社が開発した短尺光カプラは、パッケージの長さを短くする事によってお客様の実装スペースを小さくすることが出来るようにしました。

3.3 集積型光カプラ

光ファイバによる高速大容量が実現されていくに従って、複数（多チャンネル）の光ファイバを同時に処理する必要性が増えてきています。これはすなわち複数の同じ光カプラがひとつの装

置の中に実装される場合が増えてきていることになります。このようなお客様での実装状況を踏まえて、複数の同じ光カプラがひとつのパッケージに収納されていれば、実装を短時間で行うことが出来てかつ実装スペースを小さくすることが出来るようになります。当社では既に2つの光カプラを1つのパッケージに収納した複合光カプラ（パラレルタイプ）を開発しています。

今回本誌で発表するこの集積型光カプラは、当社が既に実用化している複合光カプラ（パラレルタイプ光カプラ）の集積度を更に向上させて、最大8個の光カプラをひとつのパッケージに収納させたものです。更にパッケージの大きさも従来までの光カプラのパッケージサイズとほぼ同じ大きさです。すなわち従来の1つの光カプラ実装スペースに最大8個の光カプラを実装することが出来ることになります。

4 実現するための技術

3章で、お客様において光カプラを実装する上で発生する課題を述べました。これらの課題を解決するときに障害となる技術的課題とそれを解決するために今回開発した技術を以下の表にまとめます。

表 2 光カプラの課題とそれを解決するための技術

開発した光カプラ	実装上の課題 すなわち解決すべき課題	解決するときに 障害となる技術的課題	技術的課題を 解決するための技術
0.98 / 1.55 WDM光カプラ	(1) 0.98 μm 光ファイバを使うと1.55 μm の波長の光は実装するときに損失しやすい (2) 0.98 μm 光ファイバと1.55 μm 光ファイバの接続は同種の光ファイバ接続よりも難しい	異種光ファイバを用いた時のWDM性能の劣化	融着延伸技術の応用
短尺光カプラ	寸法が長い	延伸長を短くするにつれて光学性能が劣化する	製造装置、製造条件の最適化
集積型光カプラ	ひとつの実装スペースに同じ光カプラがいくつも実装されるとスペースが大きくなる	同時に複数の光カプラを延伸しそれを集積化する製造技術	当社独自技術（複合化技術）の応用

上記の表を見てわかるように今回開発した技術は、今まで当社が保有している技術を応用あるいは発展させたものです。従って上記表には無い共通技術（例えば信頼性を確保する技術、あるいは製造装置を設計する技術等々）についても、当社が保有している豊富な技術を有効に発揮することが出来ます。

4.1 0.98 / 1.55 WDM光カプラの概要

今回開発した 0.98 / 1.55 WDM 光カプラは、0.98 μm 入射ポートには 0.98 μm 光ファイバを用い、1.55 μm 入射ポートには 1.3 μm 光ファイバを用いて実現しました。概要を図 3 に示します。

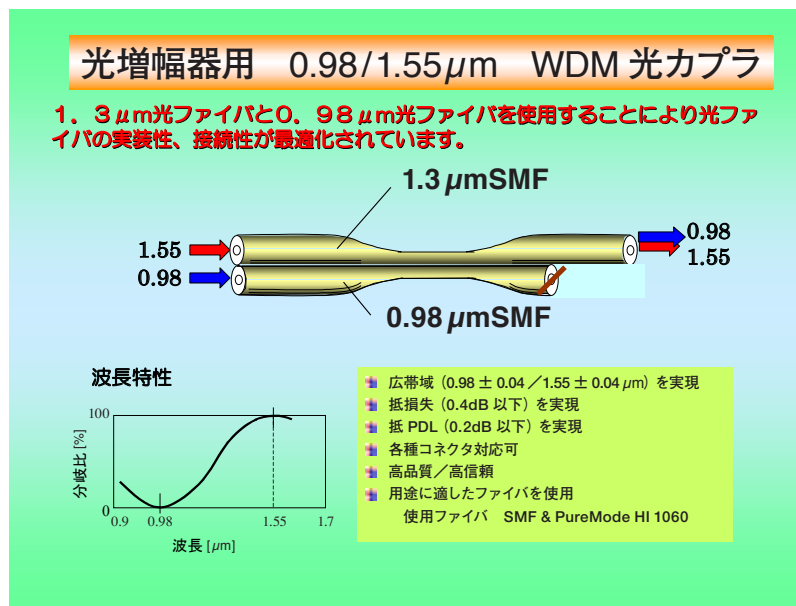


図 3 0.98 / 1.55 WDM光カプラの概要

4.2 短尺および集積型光カプラの概要

従来の $\phi 3 \times 55 \text{ mm}$ のカプラパッケージの大きさを $\phi 3 \times 35 \text{ mm}$ へと短尺化しました。更に $\phi 3 \times 35 \text{ mm}$ の短尺パッケージに 8 個の光カプラを実装し、集積度を向上させたものを図 4 に示します。



図 4 集積型光カプラの外観 (拡大)

5 試作結果

今回開発した3種類の光カプラの試作結果を紹介します。

5.1 0.98 / 1.55 WDM光カプラ

5.1.1 試作結果

試作した 0.98 / 1.55 WDMのデータを表 3 に示します。

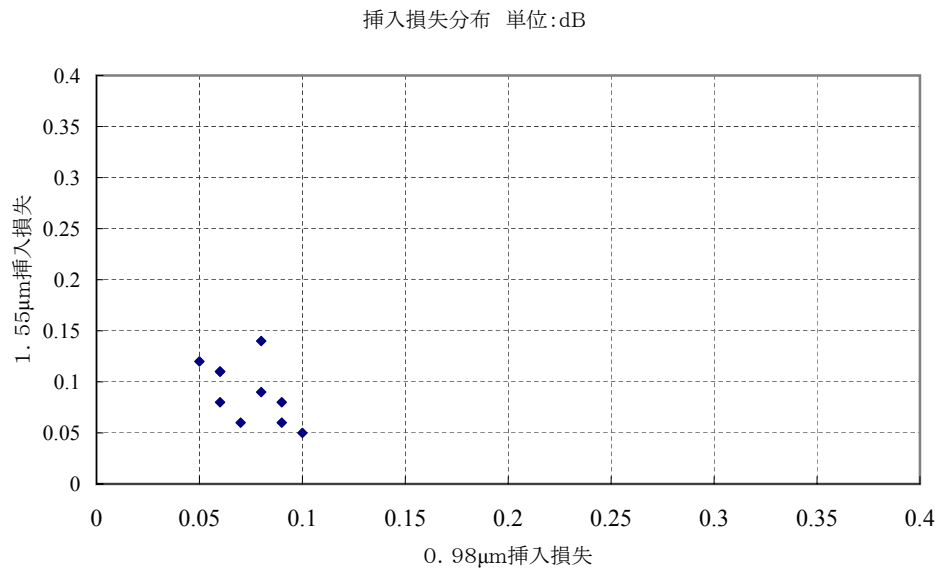
表 3 試作データ

S/N	挿入損失 [dB]		PDL* [dB]	
	0.98 μ m 側	1.55 μ m 側	0.98 μ m 側	1.55 μ m 側
1	0.05	0.12	0.13	0.01
2	0.08	0.09	0.17	0.05
3	0.06	0.11	0.16	0.02
4	0.06	0.08	0.03	0.08
5	0.09	0.06	0.01	0.02
6	0.10	0.05	0.19	0.05
7	0.07	0.06	0.14	0.02
8	0.06	0.11	0.17	0.05
9	0.09	0.08	0.18	0.02
10	0.08	0.14	0.14	0.01
平均	0.074	0.090	0.132	0.033
標準偏差	0.016	0.028	0.059	0.022

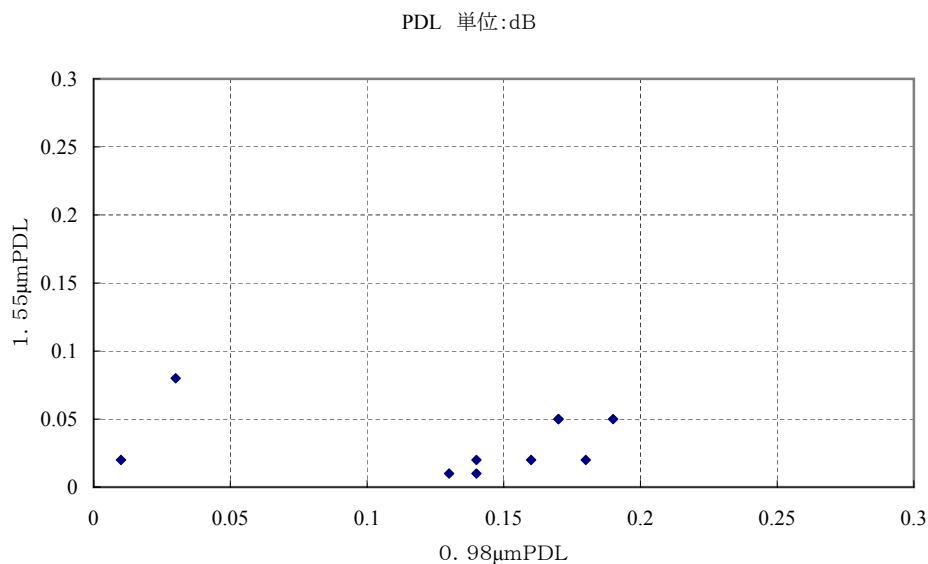
表 3 試作データからわかるように挿入損失および PDL についていずれも 2 つの波長共良好な性能が得られています。既に述べましたように、従来までの 0.98 μ m 帯光ファイバを用いた WDM 光カプラにおいては、0.98 μ m 帯光ファイバに 1.55 μ m の光を伝播させるため損失が発生しやすかったのに対し、今回試作した結果では、最大でも 0.14 dB と非常に小さいことが分かります。

更にこの結果をグラフ化するとグラフ 1、2 のようになります。

(注)* PDL：挿入損失偏光依存性



グラフ 1 挿入損失分布



グラフ 2 偏光依存性分布

この2つのグラフは、それぞれ横軸に 0.98 μm における性能（挿入損失および PDL）、縦軸に 1.55 μm における性能（挿入損失および PDL）をとりそれぞれの性能の分布を示してあります。また2つのグラフは、スケールの最大値を目標規格にとってあります。従って開発した光カプラは全て規格を満足していることがわかります。

挿入損失分布を見ると分布はグラフの原点付近に集中しており、2つの波長帯（0.98 μm と 1.55 μm ）共に非常に挿入損失が小さいことが分かります。一方 PDL 分布を見ると、2つの波長帯いずれも PDL は小さいことが分かりますが、分布は特に X 軸付近に集中しています。これより 0.98 μm の PDL よりも 1.55 μm の PDL の方がやや小さいことが分かります。今後更なる高性能化を目指すために、製造条件の最適化により 0.98 μm 帯の PDL を小さくしていく予定です。

5.1.2 評価結果

この光カプラの評価結果を以下に紹介します。4章で述べたように、耐環境性あるいは高信頼性に影響を与えるパッケージング技術については当社で既に蓄積されている技術を反映して試作しています。従って実際に評価した結果も非常に安定した性能が得られました。

(1) 高温高湿試験

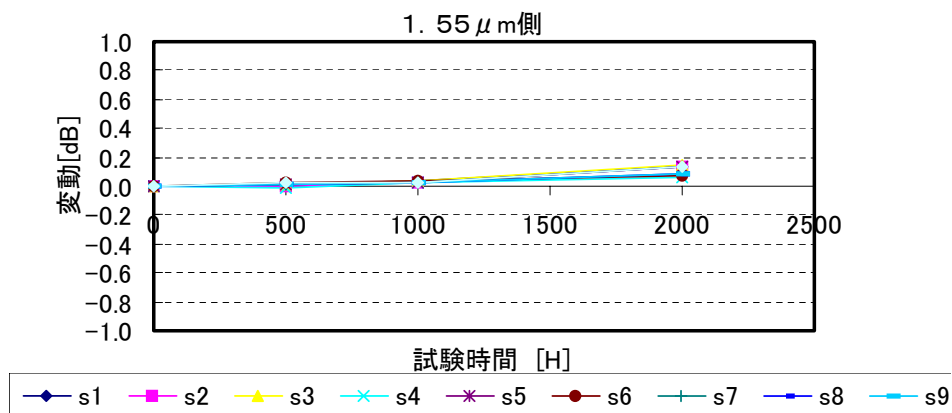
● 試験条件

温度：75℃

湿度：95%

印加時間：2000 時間

試作した 0.98 / 1.55 WDMの高温高湿放置試験の結果をグラフ 3 に示します。



グラフ 3 0.98 / 1.55 WDM光カプラの高温高湿放置試験結果

このグラフでもスケールの最大を規格にとってあります。すなわち試験前後での挿入損失変動は 1dB 以下を規格としています。

このグラフに示すとおり、高温高湿評価試験において非常に安定した性能を確認出来ました。

(2) 熱衝撃試験

● 試験条件

温度：－40／85℃

サイクル時間：1 時間

印加時間：500 時間

試作した 0.98／1.55 WDMの熱衝撃試験の結果を表 4 に示します。

表 4 熱衝撃試験前後の挿入損失変動 [dB]

サンプル	0.98 μ m 側	1.55 μ m 側
17	0.04	0.06
18	0.02	0.03
19	0.04	0.02
20	－0.04	－0.01
21	0.05	0.03

この熱衝撃試験でも試験前後での挿入損失変動は 1dB 以下を仕様としています。従って熱衝撃試験の印加前後での挿入損失変動はほとんど変化がなく、非常に安定した性能が得られました。

5.2 短尺光カブラ

短尺光カブラの試作結果を以下に紹介します。

表 5 試作結果

サンプル	挿入損失 [dB]		波長依存性* [dB]		PDL [dB]		パッケージ長 [mm]
	ポート1→ ポート2	ポート1→ ポート3	ポート1→ ポート2	ポート1→ ポート3	ポート1→ ポート2	ポート1→ ポート3	
1	0.29	13.1	0.01	0.05	0.03	0.21	35
2	0.31	12.8	0.01	0.04	0.05	0.21	35
3	0.33	13.4	0.02	0.10	0.04	0.21	35
4	0.31	12.4	0.01	0.02	0.03	0.21	35
5	0.29	13.3	0.01	0.05	0.04	0.19	35
6	0.28	13.1	0.01	0.04	0.02	0.19	35
7	0.38	13.4	0.01	0.06	0.00	0.22	35
8	0.33	12.1	0.01	0.03	0.01	0.22	35
平均	0.315	12.95	0.011	0.049	0.028	0.208	
標準偏差	0.030	0.45	0.003	0.023	0.016	0.011	

今回開発した短尺光カブラのパッケージ長は 35 mmで、通常の光カブラのパッケージ長が約 55 mmであるのに対し約 2 / 3 とすることが出来ました。更に7.2項に述べますように、一般には延伸長を短くすると波長依存性、PDL が劣化することが考えられますが、従来の光カブラと同様に非常に良好な性能が得られています。

(注)* 波長依存性：挿入損失波長依存性

5.3 集積型光カブラ

集積型光カブラの試作結果の一例を以下に紹介します。表 6 は、挿入損失 13dB の集積型光カブラを 3 個試作しました。

表 6 試作結果 測定波長 1550 nm

サンプル	内部光ファイバ カブラ番号	挿入損失 [dB]		PDL [dB]	
		ポート1→ポート2	ポート1→ポート3	ポート1→ポート2	ポート1→ポート3
1	1	0.38	13.3	0.01	0.06
	2	0.36	13.2	0.01	0.02
	3	0.32	13.1	0.03	0.02
	4	0.28	13.5	0.01	0.04
	5	0.31	13.2	0.02	0.04
	6	0.32	12.2	0.01	0.02
	7	0.38	13.4	0.01	0.04
	8	0.38	13.4	0.01	0.04
2	1	0.38	13.3	0.01	0.07
	2	0.33	13.2	0.01	0.02
	3	0.28	13.5	0.01	0.07
	4	0.33	12.8	0.01	0.07
	5	0.29	13.4	0.01	0.07
	6	0.39	12.4	0.01	0.04
	7	0.23	13.5	0.01	0.04
	8	0.27	13.1	0.01	0.05
3	1	0.27	13.7	0.02	0.09
	2	0.27	13.4	0.01	0.08
	3	0.35	13.5	0.01	0.02
	4	0.29	13.0	0.01	0.03
	5	0.36	12.8	0.01	0.06
	6	0.27	13.7	0.02	0.09
	7	0.27	13.4	0.01	0.08
	8	0.35	13.5	0.01	0.02
平均		0.319	13.23	0.012	0.048
標準偏差		0.046	0.36	0.005	0.023

表 6 から分かるようにパッケージ内の 8 個の光カブラの挿入損失のバラツキも小さく、また PDL も全て非常に小さな光カブラが実現出来ていることが分かります。

6 むすび

以上述べてきたとおり、実装性に優れた小型光カプラを開発し良好な性能が実現されている事を確認しました。これらの光カプラは、使用波長に対して最適な光ファイバを用いた光カプラ、あるいは最大 8 個の光カプラを一つのパッケージに収納した光カプラなど、お客様において実装しやすい光カプラです。

今後も“実装性に優れた高機能製品を提供する”ための、新たな光カプラの開発を実施していきたいと考えています。

7 付録

7.1 0.98 / 1.55 WDM光カプラの問題点

0.98 / 1.55 μm WDM光カプラに内在する基本的な問題について解説します。

問題は 3 点あり、このうち 2 点は実装に関する問題です。

(1) 0.98 μm 光ファイバを使うと 1.55 μm の波長の光は実装するときに損失しやすい

この光カプラは既に市場に投入されておりますが、実装面を考えると二つの問題があります。その 2 つに共通する問題は 2 つの波長 (0.98 μm と 1.55 μm) の差が大きいため、それぞれの波長帯で最適な光ファイバが異なることに起因するものです。現在市場に投入されている光ファイバは、この波長帯では 0.98 μm 用シングルモード光ファイバと 1.3 μm 用シングルモード光ファイバです。

まず最も一般的な光ファイバである 1.3 μm 帯光ファイバに 0.98 μm の波長の光を伝播させるとマルチモードになってしまいます。マルチモードの状態の光を (シングルモード) 光カプラに入射すると光学性能 (分岐比あるいは過剰損失等) は不安定になります。一方反対に、0.98 μm 帯光ファイバに 1.55 μm の波長の光を伝播させるとシングルモードでの伝播は出来ませんが、モードフィールド径が非常に大きいため伝播損失 (特に光ファイバを曲げた場合に発生する伝播損失) が大きくなってしまいます。これは、光ファイバアンプでせっかく光のパワーを増幅するのに加かわらず光ファイバアンプ自体で損失を発生させてはアンプとしての効率が悪くなります。

この“0.98 μm 帯光ファイバに 1.55 μm の波長の光を伝播させると伝播損失が大きくなってしまう”という問題を解決するためにとられている対策は、光カプラの光ファイバの曲げ半径を出来るだけ小さくしないような実装をするということです。この実装条件に対する制約は、十分な実装スペースをとれる場合はあまり問題にはなりません。装置全体の小型化が進展していく中では次第に大きな問題となっていくと思われます。また一方でこの問題の対策として、1.55 μm の波長の光を伝播させても損失しにくい 0.98 μm 用シングルモード光ファイバも市場に投入されています。しかしこの場合は光ファイバがさらに特殊なものとなると同時に、このような損失の発生しにくい光ファイバであっても原理的には 1.55 μm の光の損失は、0.98 μm 光の損失よりも大きくなります。従って対策としては充分ではありません。

(2) 0.98 μm 光ファイバと 1.55 μm 光ファイバの接続は同種の光ファイバ接続よりも難しい

二つ目の問題点は、お客様が実装する時に他の部品の光ファイバと接続する必要があるために、この接続は光ファイバが異種の光ファイバ同志を接続しなければならないことです。異種光ファイバの接続は、同種光ファイバの接続よりも難しくなります。このWDM光カプラは、幹線に使用されている光ファイバ（すなわち 1.3 μm 帯光ファイバ）と接続されたり、光ファイバアンプの中でEDF（エルビウム・ドープド・光ファイバ）と接続されたりあるいはアイソレータ、0.98 LDと接続されたりします。これらの部品に使用されている光ファイバは全てが 0.98 μm 帯光ファイバで構成されているわけではありません。従って必ず異種光ファイバとしての接続が必要となります。

異種光ファイバ同志の接続が同種光ファイバ同志の接続よりも難しい理由は、2つの光ファイバのコア径が異なるもの同志を接続しなければならないことに主要因があります。コア径が異なると（すなわち伝播路が異なると）光の損失が発生します。

但し異種光ファイバの接続は不可能と言うことではありません。すなわちコア径を連続的に変化させることによって損失は小さくなります。しかしお客様において作り上げられる装置全体の中でその大部分は、同種光ファイバ同志の接続となるはずで、あるいは更に装置全体の設計を行う上では、基本的には同種光ファイバで接続されるように設計されるはずで、従ってこの部分の接続だけは通常他の部分の接続と接続条件が異なることになります。

(3) 異種光ファイバを用いたWDM光カプラの実現が難しい

一般に方向性結合器ではWDM機能を実現する場合、相等しい2本の伝送路（光ファイバ）を用いて実現されます。これは2本の伝送路（光ファイバ）が異なると100%分岐出来なくなるためです。当社において今回開発した 0.98 / 1.55 WDM光カプラは、融着延伸方法を工夫することにより、0.98 μm 帯光ファイバと 1.3 μm 帯光ファイバという異なる光ファイバを用いても100%分岐出来るようにしました。

7.2 短尺光カプラの問題点

この光カプラを実現した技術は、融着延伸方法にあります。光カプラのパッケージ長は、延伸部分の長さで決まります。このうち固定部分の長さは、当社で保有している固定技術から既に最も短くなるように最適化されております。従って光カプラのパッケージの長さを短くするためには、延伸部分の長さを短くする必要があります。

延伸長を支配する要因は、製造条件でありすなわち融着延伸条件と性能です。この融着延伸条件と性能の2つが支配要因となる理由は、延伸長が性能に影響するためです。すなわち単に延伸長を短くするだけでは、性能を劣化させてしまう場合があります。性能を劣化させないで延伸長を短くする製造装置、延伸条件を開発しなければなりません。

[参考文献]

- 1) 佐久間一浩 ほか：“シングルモード光ファイバケーブル,” 航空電子技報 ,No.11, pp.21-26 (1988)
- 2) 岡憲臣 ほか：“光ファイバケーブル製造装置「MARK-III」,” 航空電子技報 ,No.13, pp.80-84 (1990)
- 3) 佐々木弘之：“融着延伸型光ファイバケーブルの信頼度,” 航空電子技報 ,No.21. pp.3-10 (1998)
- 4) 武田光善 ほか：“小型複合光ファイバケーブルの開発,” 航空電子技報 ,No.24, pp.31-35 (2001)