

メトロ・アクセスにおける OADM

Optical Add/Drop Multiplexer in Metro/Access Network System

香川 昌義*

Masayoshi Kagawa

塚田 浩之*

Hiroyuki Tsukada

米田 正史*

Masafumi Yoneda

概 要 マルチメディア分野の発達に伴い、大容量化、高速化と同時に、柔軟に構成を変更出来ることが求められているメトロ・アクセス系に適したネットワークとして、波長多重通信方式 (Wavelength Division Multiplexing System, WDM System) に光 Add/Drop モジュール (Optical Add/Drop Multiplexer, OADM) を組み合わせた構成が導入され始めている。我々はメトロ・アクセス系ネットワークでの使用に適した、任意の1～数チャンネルに対応した OADM の開発を行った。

1. はじめに

現在、ADSL, CATV, FTTH等、高速・広帯域なブロードバンドアクセスが普及してきており、送受信されるデータも文字ばかりではなく、動画や音声といったマルチメディア分野での利用が大きく伸びており、今後も増加していく傾向にある。そのため、加入者サイドと基幹ネットワークを結ぶメトロ・アクセス系のネットワークにおいて、伝送信号の大容量、低コスト化と同時に、加入者に応じて通信容量を迅速に変更できる拡張性が求められて来っており、WDM通信技術が導入され始めている。

メトロ・アクセス系ではネットワークの信頼性と伝送効率、運用性から、拠点間を環状につないだリングネットワークを採用していることが多い。各拠点においては、大容量の信号から必要な信号を切り分け、ユーザと送受信を行っている。そのため、従来のように光信号を電気信号に変換して処理するシステムで運用する場合、装置規模が莫大なものとなり、システムの維持コストが大きくなってしまふ。

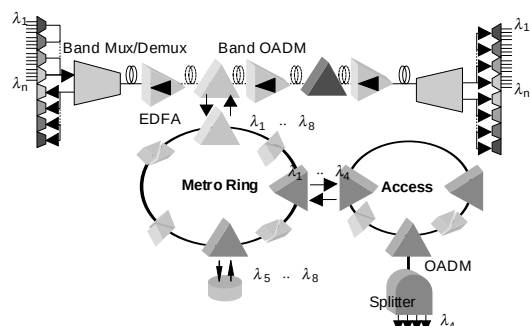


図1 ネットワークの構成
Configuration of optical network system

近年、より低コストなデバイスを用いてネットワーク構築が可能な、低密度波長多重 (Coarse-WDM, CWDM) 通信技術が注目されて来ている。しかし、基幹ネットワークに用いられている DWDM との相互乗り入れが出来ないため、CWDM と DWDM の切り替え地点において光-電-光変換が必要となる。

大容量伝送のコストを下げるためには、従来光信号を電気信号に変換した後に進んでいた多くの処理を光信号のままで行うことが必要となる。これを実現するためのキーデバイスの1つとして、波長多重された信号から任意の波長を分波/合波する、光 Add/Drop モジュール (OADM) が挙げられる。多重化された光信号に対して、伝送先ごとに波長を割り振ることで、OADM を用いて任意の波長を自由に Add/Drop することが可能となる。また OADM のエクスペリメンタル損失を小さくすることにより、光アンプの部品構成を簡略化することが出来るため、ネットワークのコストを下げる事が可能である。

2. OADM の構成

誘電体多層膜フィルター (TFF) を使用した基本構成を図2に示す。

波長多重された信号から、Narrow Band Pass Filter (狭帯域透過フィルタ, BPF) を介して任意の1信号波長のみ透過させ、

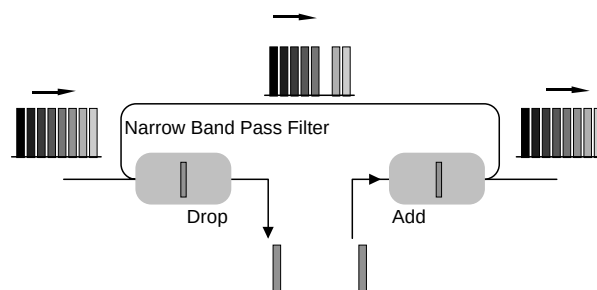


図2 誘電体多層膜フィルターの構成
Configuration of TFF based OADM

* ファイナル製品事業部 光コンポーネント部

他の信号波長については反射させることによって分岐（Drop）させる。また任意の1信号波長を波長多重された信号波長に挿入する場合については、Filterによって反射された信号波長に、透過された信号波長を挿入（Add）する。

ファイバブラッググレーティング（FBG）を使用した基本構成を図3に示す。

波長多重された信号は、サーキュレータからFBGに入射され、任意の1信号波長のみを反射させ、他の信号波長については透過される。反射された信号波長はサーキュレータにより波長多重された信号が入射するポートとは別のポートへと分岐される。また任意の1信号波長を波長多重する場合については、サーキュレータから入射された信号波長は、FBGによって反射され、FBGを透過してきた波長多重された信号波長に挿入（Add）される。

これらの方式の特徴としては、TFFを用いた方式においては、構成がTFFモジュールのみと簡単で低コスト的である。一方FBGを用いた方式では、分岐された信号波長以外の波長多重された信号波長の中には、分岐される前の信号波長の光がわずかに残ってしまうが（TFF方式では0.3%程度）、0.1%以下まで、光をカットすることができる。これは、分岐後挿入される信号波長との干渉が少なくなり、信号ノイズが低減される利点がある。

実際にはOADMをメトロ・アクセス系ネットワークで使用する場合、4チャンネル程度をAdd/Dropさせることが求められる。そこで本文では、連続する4チャンネルのTFF方式のOADMを例に詳しく説明する。

TFFモジュールの基本構成を図4に示す。2本のシングルモード光ファイバと、2芯フェルール、第1レンズ、フィルタ、第2レンズ、単芯フェルール、シングルモード光ファイバから構成されそれぞれの部品はレーザー溶接、又は接着剤で固定されている。ただし、ワットクラスの光パワーの入力に耐えられ

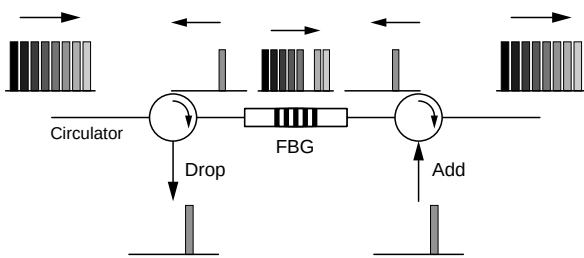


図3 ファイバブラッググレーティングの構成
Configuration of FBG based OADM

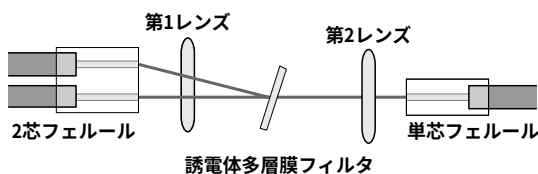


図4 2芯型光モジュールの基本構成
Basic configuration of optical combiner module

るようにするため光路中には接着剤を使用しない構造となっている。光路としては、 λ_1 反射、 λ_2 透過のフィルタを用いた場合、2芯フェルール側に入射した波長 λ_1 の光は第1レンズでコリメートされフィルタで全反射する。反射した波長 λ_1 の光は再び第1レンズに入射集光されて2芯フェルールのもう一方のファイバに入る。つぎにフィルタで透過された波長 λ_2 の光は第2レンズを介し単芯フェルールのファイバに結合する。図5に光モジュールの外観図を示す。

図6に示すのは、一般的なTFF方式の4チャンネルOADMでの分岐（Drop）の構成である。BPFにより1チャンネルが透過され、残りの信号波長は反射されて、次のBPFに入射される。これを4回繰り返すことにより、 n チャンネルの信号波長から4チャンネルを分岐する。このために4つのWDMモジュールを直列に接続して構成したOADMである。この構成では、4つのフィルタにおいて反射を繰り返すことによる、エクスプレスチャネルの挿入損失が大きくなってしまふ欠点がある。エクスプレスチャネルの挿入損失は、その後の伝送において、より高利得光アンプが必要となるなどコスト面に大きく影響を与えてしまう。

エクスプレスチャネルの挿入損失改善として、図7の構成のように、 n チャンネルの信号波長から最初に、4チャンネル分を一括して分離するフィルタ（4 skip 0 フィルタ）を挿入することにより、エクスプレスチャネルは1回の反射のみとなり、大幅な挿入損失の改善となり、システム全体のコスト削減になる。



図5 TFFモジュールの外観写真
Appearance of DWDM Module

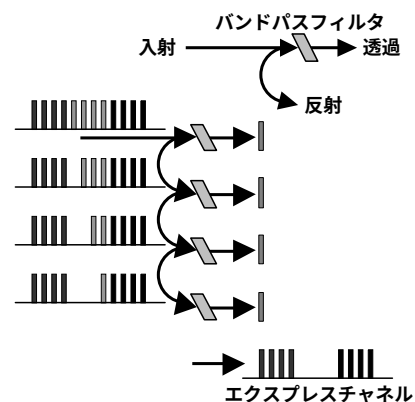


図6 バンドパスフィルタを4つ直列に接続した構成
Basic configuration of TFF based 4-ch OADM

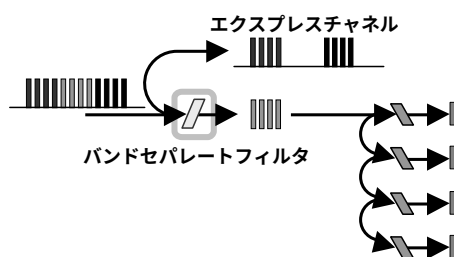


図7 バンドセパレートフィルタを使った構成
Configuration of TFF based 4ch-OADM with band separation filter

表1 100 GHz スペース4チャンネルOADMの仕様
Specifications of 4-ch OADM with 100-GHz spacing

Attribute	Min.	Max.
Operating temp.	0°C	70°C
Pass band	±0.11	NA
Pass band loss	NA	3.5 dB
Expressed channels loss	NA	0.6 dB
Ripple (Drop channel)	NA	0.5 dB
Adjacent channel isolation	25 dB	NA
Polarization dependent loss	NA	0.3 dB
Chromatic dispersion@pass band	NA	±70 ps/nm

3. 応用例

BPFでWDMを構築した場合、それぞれの挿入損失の差は各BPFでの反射回数による。4波長のバンドセパレートフィルタを用いた場合、反射を通過する回数が減少し挿入損失特性が向上する。またAdd/Dropする各波長間の挿入損失偏差も約1/4となる。

4. 目標仕様

バンドセパレータとして4 skip 0を用いた、100 GHz スペース4チャンネルOADMとして表1の仕様を定めた。

5. 製品特性

5.1 バンドセパレータ (4 skip 0) の特性

図8に4 skip 0の透過波形を示す。透過帯域193.0 THzから193.3 THzの100 GHz間隔4チャンネル分 (327.5 GHz) において、挿入損失0.49 dBであり低損失である。また、透過帯域内における平坦性も0.13 dBと優れた値となっている。隣接チャンネルのアイソレーションは25 dB以上である。

図9に反射波形を示す。挿入損失は0.3 dB以下と低損失である。透過帯域におけるアイソレーションは18 dB以上であり、OADMとしてAdd/Dropした場合Dropチャンネルのアイソレーションは36 dB以上となり大きなクロストークがとれる。

図10に透過波長分散波形を示す。透過帯域における分散は±25 ps/nm以下で低分散特性である。

図11に反射波長分散波形を示す。反射帯域における分散は±10 ps/nm以下と低分散特性である。

図12に温度による波長シフト特性を示す。従来製品におい

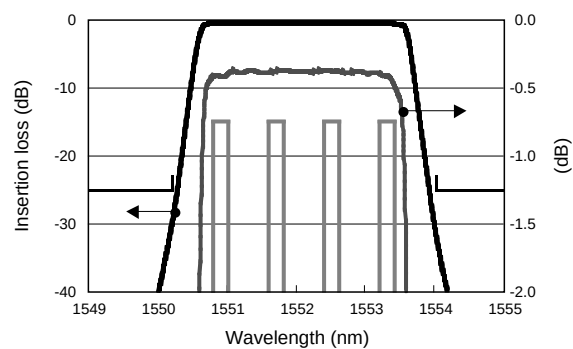


図8 4 skip 0の透過波形
Transmittance spectrum of 4 skip 0 module

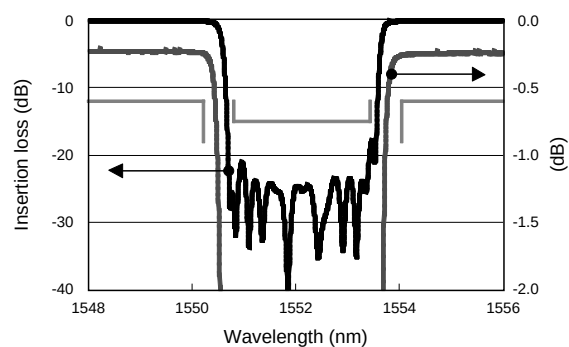


図9 4 skip 0の反射波形
Reflectance spectrum of 4 skip 0 module

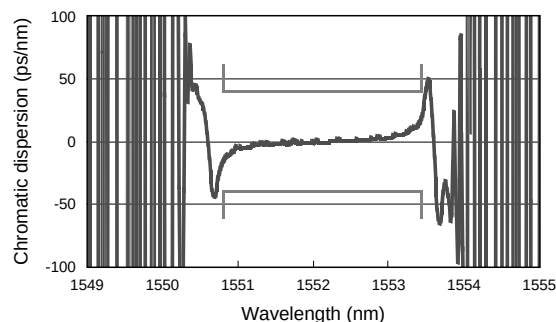


図10 4 skip 0の透過分散波形
Transmittance chromatic dispersion in 4 skip 0 module

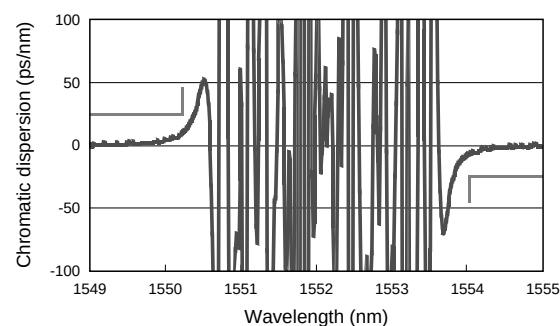


図11 4 skip 0の反射分散波形
Reflectance chromatic dispersion in 4 skip 0 module

ては、1 pm/°Cの波長温度依存があったが、0.5 pm/°Cに改善している。

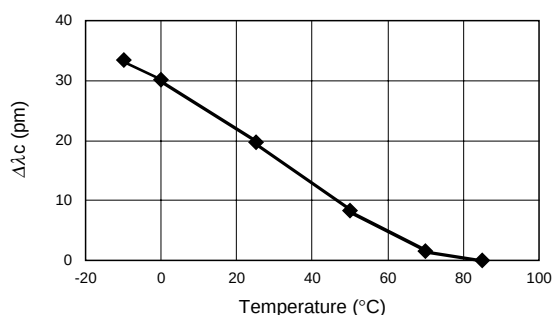


図12 4 skip 0 の透過波形温度依存特性
Temperature dependent transmission wave shape of 4 skip 0 filter

5.2 4チャンネルOADMの特性

図13-1, 2に4 skip 0を使用した4チャンネルOADMの透過波形を示す。

各チャンネルの挿入損失は1.24～2.21 dBと低損失であり、ITUグリッドに対して±0.11 nmの帯域におけるリップルも0.20 dB以下である。その他、光学特性は、表2に示す。

図14に製品外観を示す。

6. メトロシステムとしての応用例

今まで、ロングホールでのシステムでは、どれだけの大容量をいかに遠くに伝送するかが重要であったが、メトロシステムにおいては、低コストとシステム柔軟性が強く要求される。

メトロリングでは波長多重された信号を、数箇所において信号波長をAdd/Dropさせるシステムとなる。DWDMメトロシ

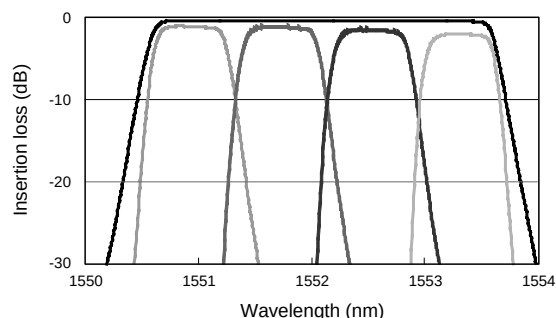


図13-1 4チャンネルOADM透過波形
Transmittance spectrum of 4-ch OADM module

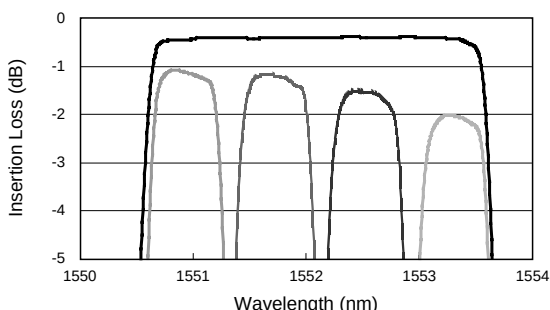


図13-2 4チャンネルOADM透過波形（拡大図）
Transmittance spectrum of 4-ch OADM module (magnification)

ステム（信号間隔100 GHz）において、C-Bandの信号帯域を使用した場合、4チャンネル×8ノード（計32チャンネル）の構成を図15に示す。この構成は、連続する4つの信号波長を一つのノードに割り当て、4波長ごとに波長多重を行い、安価な光アンプで信号光を増幅した後、4 skip 1（連続する4チャンネルを透過し、透過チャンネルと隣接する1チャンネル以外を反射させるTFFモジュール）8つを介して、合波させ伝送を行う。また各ノードにおいては4 skip 1を使用し、一括して4チャンネルのAdd/Dropを行いその後の伝送距離に合わせて必要であれば光アンプを使用する。このシステムのメリットは、1) GFF（ゲインフラットフィルタ：信号帯域内の増幅利得を均一化させるための光部品）を使った高価な光アンプを使用せずに、GFFを使用しない安価なアンプを使用することができる、2) 波長多重させるときに使用する光部品と、各ノードでOADMを行うために使用する光部品（4 skip 1, 光アンプ, 100 GHz WDM等）が共通化できる、ことである。

しかし、4 skip 1では、連続する4チャンネルを透過し、透過チャンネルと隣接する1チャンネル以外を反射させるため、C-Band帯域内における使用できる信号波長数が約7チャンネル分減少してしまうデメリットがある。そこで、本文OADMの紹介で取り上げた、4 skip 0を用いると図16に示すように、信号波長数は32から40チャンネル（ノード数では8から10ノード）とより無駄のない効率的なシステム構築が行えるメリットがある。

表2 100 GHz スペーシング4チャンネルOADMの光学特性
Optical characteristics of 4-ch OADM with 100-GHz spacing

Drop channel	193.3 THz	193.2 THz	193.1 THz	193.0 THz
Pass band loss (dB)	1.24	1.33	1.66	2.21
Pass band ripple (dB)	0.17	0.16	0.14	0.19
BW@-0.5 dB (nm)	0.50	0.52	0.49	0.45
BW@-25 dB (nm)	1.03	1.05	1.03	0.88
CD (Min) (ps/nm)	-27.36	-31.44	-33.12	-46.90
CD (Max) (ps/nm)	39.60	15.56	12.46	11.07

Pass band: $\lambda_{ITU} \pm 0.11$ nm

Expressed Channels Loss (dB) : 0.28



図14 OADMモジュール外観
Appearance of OADM module

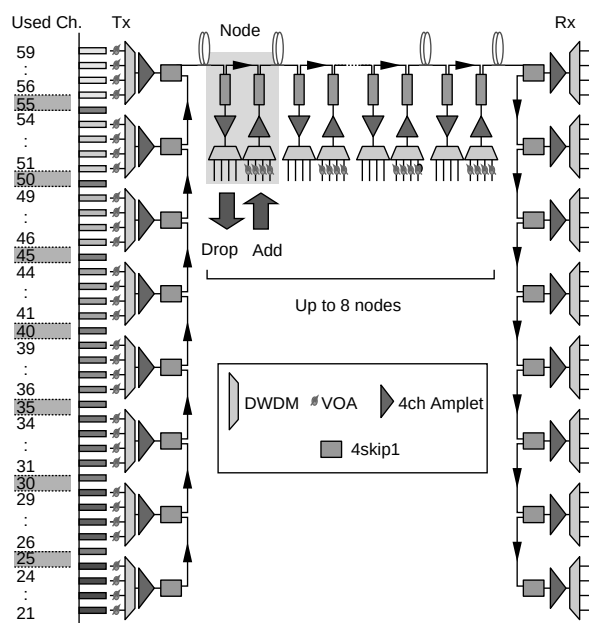


図15 DWDMメトロシステム (4 skip 1)
Outline of DWDM Metro network system using TFF based OADM with 4 skip 1 Module

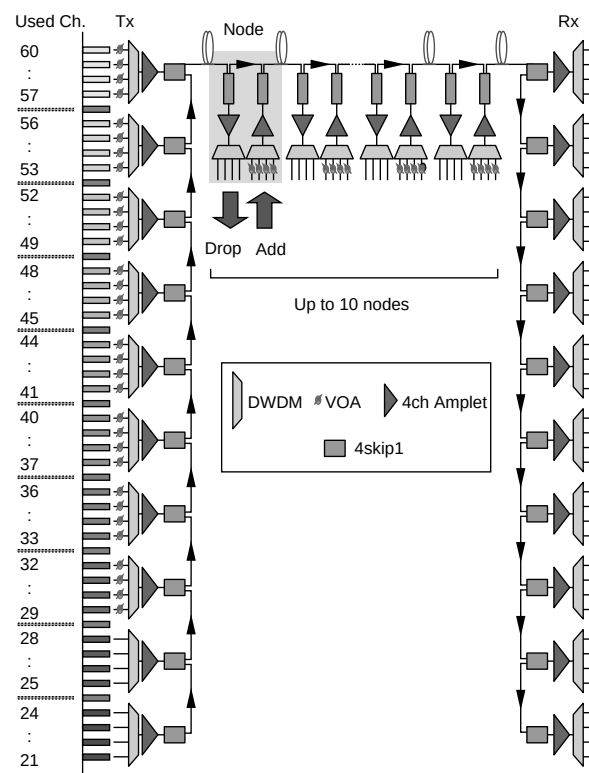


図16 DWDMメトロシステム (4 skip 0)
Outline of DWDM Metro network system using TFF based OADM with 4 skip 0 Module

7. おわりに

従来の、100 GHz WDM モジュールを直列に接続して構成した OADM ではなく、バンドセパレートモジュール (4 skip 0) を用いてエクスプレスチャネルの挿入損失を大幅に改善した

OADM の開発をした。また、このバンドセパレートモジュールの特性を利用し、より柔軟なシステム構築を可能とした。

今後は、図17に示す、100 GHz 間隔において連続する8信号波長を一括して分岐挿入する8 skip 0の開発を行う予定である。

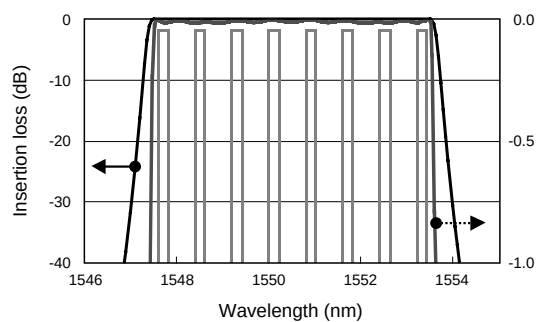


図 17 8 skip 0 設計透過波形
Transmittance spectrum of 8 skip 0 module (design)

参考文献

- 1) R.Riehler, A.Fornier and E.Pelletier: "Optical Monitoring of Thin-Film Thickness" edited by F.R.Flory, Thin Films for Optical Systems, ibid. 57-90 (1995)
- 2) 石黒, 池田他: 光学薄膜, 共立出版
- 3) H. Takahashi: Temperature stability of thin-film narrow-bandpass filters produced by ion-assisted deposition, Applied Optics, 34 (1995)
- 4) N. Shimojoh et al.: New gain equalization scheme in WDM optical amplifier repeated transmission systems, OECC'96, Technical digest, 17B3-3 (1996), 120-121