1.3 µ m 帯 4 波多重伝送装置の開発

Development of 1.3 µ m Four-Channel WDM Transmission System

新保隆行* Takayuki Shimbo 内野竜嗣* Tatsuji Uchino 関谷建作*

齋藤靖彦* Yasuhiko Saito

青木典之*2 Noriyuki Aoki 神谷 勇*2 Isamu Kamiya 久世祐輔*3

Yusuke Kuze

概 要 一部区間の心線不足解消を目的とした,1.3 µ m帯4波多重伝送装置の開発及び製品化を

行った。本装置は、400Mb/s以下のPDH信号あるいは2.4Gb/s以下のSDH信号であれば任意の速度のディジタル信号を波長多重伝送することが可能である。

本稿では,システム設計,システム構成,装置概要及び特性について報告する。

1. はじめに

近年,インターネット通信の爆発的普及により幹線系の情報量が急激に増大しつつある。これに対応すべく2つの方法がとられている。一つは情報の伝送路である光ファイバの新設である。もう一つは,ファイバ心線あたりの伝送容量の増大である。前者の方法は,建設工事が必要となるため莫大な費用がかかるばかりでなくサービス開始時期が遅れるという重大な問題を

後者の方法には二つのアプローチがある。一つは時分割多重化(TDM)による伝送速度の高速化であり,現在,10Gb/sまでのシステムが既に商用に供され,現在40Gb/sの伝送速度のシステムが研究開発中である。もう一方は,波長多重(WDM)による伝送容量の増加である。エルビウムドープ光ファイバ増幅器(EDFA)の出現と,高密度波長光源並びに波長フィルタの開発により,16波多重や32波多重といった波長多重信号の長距離中継伝送が実用化されており,80波多重や128波多重のシステムが研究開発されているとの報告もある。波長多重技術と光増幅技術とを組み合わせた波長多重光増幅伝送システムは,光ファイバを新設することなく短期間に伝送容量を大幅に増加できるため,特に北米を中心として長距離基幹系に盛んに導入されている。

一方,東京電力をはじめとする電力会社では,電力の安定供給,お客様サービスの向上,業務の効率化を目的とした情報ネットワークの充実が図られてきつつある。これに伴い,電力保安通信網に要求される情報伝送容量も年々拡大する状況にある。この対策としては

(1)光ファイバ線路を新設する。

かかえている。

- (2) 高次群多重化装置を新設しファイバ当たりの伝送容量を 増大する。
- (3)波長多重化によりファイバ当たりの伝送容量を増大する。
 - * 研究開発本部 WS プロジェクトチーム
- *2 東京電力株式会社 技術開発本部 システム研究所 光・電波・電子 技術グループ
- *3 東京電力株式会社 電子通信部 通信技術グループ

が考えられる。

まず第一の光ファイバの新設は,工事費や工事期間の問題の他に,市街地や河川といったごく一部の区間で工事が実際上不可能という大きな問題が存在する。

第二の多重化装置の新規導入による方法は,既設のPDH (Presiochronous Digital Hierarchy)回線の高次群多重化装置への収容の場合に問題となる。すなわち,今後はSDH(Synchronous Digital Hierarchy)多重化に移行することが主流となっており,そのような状況下でPDH多重化装置を新規に導入するのは得策でない。

第三のWDMによる方法は、光ファイバを新設することなく 伝送容量が増加でき、更に既設のPDH回線もそのまま収容可 能である。したがって、上記二つの方法がかかえるような基本 的な問題を内在しておらず、電力会社における通信設備の環境 下において最適な方策であると考えられる。

2. システム設計

前章で述べた内容を踏まえると,システムの設計条件は以下 のように整理できる。

- (1) 既設の光ファイバ線路が使えること。
- (2) 32Mb/s ~ 400Mb/s の PDH 回線はもちろんのこと, 50Mb/s ~ 2.4Gb/s の SDH 回線も収容可能なこと。
- (3) 既存 PDH 回線の伝送距離(~40km)と同程度以上の伝送距離を伝送可能なこと。
- (4)波長多重による経済効果を発揮するため,波長多重数は 4波以上であること。
- 2.1 既設ファイバの利用と信号波長の選択

既に布設されている光ファイバは, $1.3~\mu$ m 帯零分散単一モードファイバ(SMF)がほとんどを占めている。これら SMFは,本来 $1.3~\mu$ m 帯光信号を伝送するために開発されたものであるが,EDFAの出現以来 SMFを用いて $1.5~\mu$ m 帯の光信号を波長多重化して伝送するシステムが導入されている。EDFAは $1.5~\mu$ m 帯の光信号は増幅できるが $1.3~\mu$ m の光信号は増幅できないためである。しかしながら,その場合いくつかの問題がある。一つは波長分散による波形劣化であり,他の一つは光

ファイバの曲げ等による損失の増加である。

SMFは 1.5μ m帯の光信号に対して $17ps/nm/km \sim 20ps/nm/km$ の波長分散があり,SMFを用いて 1.5μ m帯信号を伝送する場合には波形劣化により伝送距離に限界が生ずる。この伝送距離限界は光信号のスペクトル拡がりとディジタル伝送速度に依存する。2.4Gb/s直接強度変調信号の場合でも伝送距離限界は約100km程度であり,今要求されている40km程度の伝送では波長分散による劣化はほとんど無視できると考えられる。

実際上問題となるのは光ファイバの曲げ等による損失の増加である。SMFを伝送する場合の光ファイバの曲げによる損失増加量は $1.3~\mu$ m帯波長の信号よりも $1.5~\mu$ m帯波長の信号の方がはるかに大きい。図1にSMFにおける $1.3~\mu$ m帯と $1.5~\mu$ m帯波長の曲げ損失の特性例を示す 2 。例えば,曲げ半径15mmの場合 $1.3~\mu$ m信号では0.1dB/mの損失であるのに対して $1.5~\mu$ m信号では10dB/mもの曲げ損失が発生する。

光ファイバの曲げによる損失の形態としてはふた通りに分けて考えられる。一つは,ファイバ布設時の工事不良や光コードの収容不良などのように損失は増加するけれどもその損失が時間的に一定の場合と,マイクロベンディングロスのように季節によって緩やかに損失が変動する場合である。もう一つはクロージャ等の接続部の作業を行う場合のように損失が時間的に速く変動する場合である。前者の場合にはあらかじめ線路損にこの損失を見込んでおけば対応可能であるが,後者の場合には損失変動の速さやその大きさによっては光受信装置がこの変動に追随できず符号誤りを起こしてしまう恐れがある。図1から,クロージャ等の作業による損失変動の大きさは,光信号波長が1.3 μ mの場合の方が1.5 μ mの場合に較べてはるかに小さいと考えられるため信号波長は1.3 μ m帯を用いることとした。

2.2 多種類の回線の収容

通常ディジタル信号の中継伝送には、タイミング再生 (Retiming),波形整形(Reshaping),識別再生(Regenerating) のいわゆる3R機能を有する中継装置が用いられる。それは、各

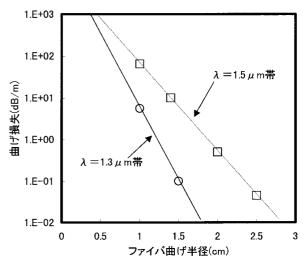


図 1 SMF伝送時のファイバ曲げ損失 Fiber bending loss

中継装置でタイミングを取り直してパルスを正しく再生することで,多数の中継を行っても符号誤りなく伝送するためである。したがって,伝送装置は伝送速度ごとに異なったものを用意する必要がある。WDM 伝送すべき回線の種類は PDH が 3 種類 (32Mb/s,100Mb/s,400Mb/s), SDH が 4 種類 (52Mb/s,150Mb/s,620Mb/s,2.4Gb/s)の合計7 種類であるから,従来の伝送装置のように3R機能を持たせた場合には7種類のパッケージを用意しなければならなくなる。このことは開発コストの増大を招くばかりか,回線の保守運用コストが大きくなる恐れがある。

ところで、本システムでは途中に中継器を置かないで40km 程度の伝送を行うのであるから、必ずしもWDM伝送装置にリタイミング機能を設けないでも符号誤り率特性をさほど劣化させることなく伝送できる可能性がある。そこで、クロック抽出を行わない、すなわちタイミング再生なしの2R中継にトライすることとした。また、SDH信号は全てNRZパルスであるが100Mb/s及び400Mb/sのPDH信号はRZパルスでありパルスの形式が

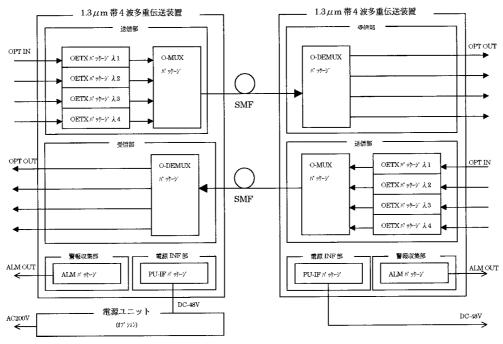


図2 システム構成図 System block diagram

異なる。そこで両方のパルス波形に対応可能な回路を考案してれを用いることとした。その結果, $PDH32Mb/s \sim 400Mb/s$,並びに $SDH50Mb/s \sim 2.4Gb/s$ の信号に同一パッケージで対応可能な,いわゆるビットレート・フリーな伝送装置を実現することができた。

PDHやSDHの各種伝送速度に、一種類の装置で対応が可能であるという意味で、ビットレート・フリーWDM伝送装置実現の効果は極めて大きいといえる。

2.3 波長多重数

波長多重数が少ないとそれによる経済効果も減少するのでなるべくたくさんの波長を多重伝送できることが望ましい。

一方,伝送可能な波長多重数は,波長フィルタの実現性,1.3 μ m帯WDM光源の実現性,光レベル配分などにより決定される。現状の技術レベルと前述の経済効果を勘案し,波長多重数を4に決定した。具体的な波長は主としてWDM光源の実現性を考慮して,1300nm,1306nm,1312nm,1318nm を中心波長に選んだ。

3. システム構成

開発した 1.3 µm帯4波多重伝送装置のシステム構成図を図 2に示す。本装置は送信部,受信部,警報収集部,及び電源INF 部で構成される。

送信部は波長変換機能を有するOETXパッケージ 4.3節)と,波長合波機能を有するO-MUXパッケージ(4.4節)で構成される。受信部は波長分波機能を有するO-DEMUXパッケージ 4.4節)で構成される。警報収集部は,ALMパッケージ(4.5節)で構成される。電源INF部は,PU-IFパッケージで構成される。PU-IFパッケージは,局舎又は電源ユニットからのDC-48Vを受け,各パッケージに電源を受け渡す機能を有している。また,電源ユニットはオプションにより設けることが可能で,AC/DC変換機能を有している。局舎からのAC200Vの電源を受け,DC-48Vに変換し,電源INF部に受け渡す。

表 1 装置主要諸元 Specifications

項目	内容	備考
適用ファイバ	1.3µm 帯零分散単一モード	
	ファイバ	
最大伝送容量	10Gbps (2.5Gb/s×4波)	
/ファイバ		<u> </u>
入力光信号	PDH 32Mb/s(CMI)	
	PDH 100Mb/s(RZ)	
	PDH 400Mb/s(RZ)	
	SDH 50Mb/s(NRZ)	
	SDH 150Mb/s(NRZ)	
	SDH 600Mb/s(NRZ)	
	SDH 2.4Gb/s(NRZ)	
入力光レベル	-7dBm∼-15dBm	
光出力レベル	+4dBm±1.5dB/1波	平均マーク率
		1/2、NRZ
消光費	13dB以上	
波長配置	λ1:1300±0.6nm	
	λ2:1306±0.6nm	
	λ3:1312±0.6nm	
	λ4:1318±0.6nm	ł
光合分波損失	5dB 以下	
実装形態	JIS 19 インチラック搭載	
消費電力	120W 以下	
電源電圧	DC-48V または AC200V	
冷却方式	自然空冷方式	
大きさ	W480×H400×D450mm	
活線挿抜	他の ch に影響ないこと	

4. 装置概要

4.1 装置諸元

装置の主要諸元を表1に示す。

本装置は $,1.3 \mu$ m帯の波長を光源とした波長多重伝送装置で ,最大波長多重数4波 ,1波あたりの最大伝送容量2.5 Gb/s で <math>,ファイバ1心あたりの最大伝送容量は10 Gb/sである。伝送波長は6 nm間隔で配置している。

波長の許容偏差は光源の偏差と光フィルタの実現性を考慮し ± 0.6nm とした。

送信部の出力電力は40km伝送を可能とするため平均4dBmという比較的高めの値に設定した。

4.2 装置外観

図3及び写真1に本装置の外観を示す。

本装置は、一般によく用いられているJIS 19インチラックに搭載可能であり、保守が容易な自然空冷とした。W480×H400×D450とコンパクトのサイズの中に、送信部 OETXパッケージ×4及びO-MUXパッケージ)、受信部 O-DEMUXパッケージ)、警報収集部 ALMパッケージ)、電源INF部の他、ファイバ余長処理部、及び上下に対流誘導盤といったものをすべて組み込んだ。これにより、設置時の実装床面積の利用効率を高めている。

また,操作性を考慮し,すべての光及び電気コネクタは前面に てアクセス可能とした。これにより,装置背面のスペースが少な い場所でも,フレキシブルな設置が可能である。

4.3 OETXパッケージ

OETX パッケージの機能構成を図4に示す。OE部にて光伝送装置(SDH又はPDH)からの光信号を受信し,電気信号にした後,TX部にて1.3 μ m帯の所定の波長の光信号に変換後,O-MUX パッケージに受け渡す機能を有している。本パッケージ

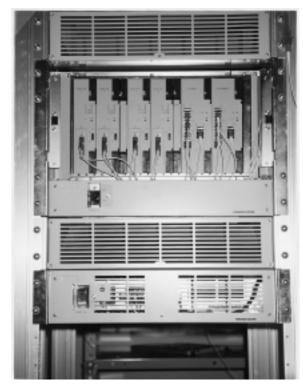


写真 1 装置外観
Appearance of transmission equipment

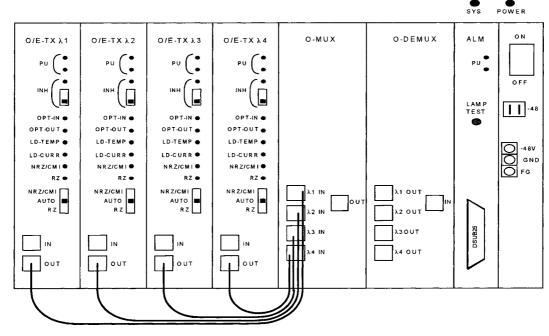


図3 装置正面図 Front panel

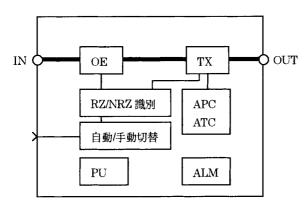


図 4 OETXパッケージ機能ブロック図 OETX block diagram

は、前述したとおり2Rによる中継を行っている。このため、PDH $32Mb/s \sim 400Mb/s$ 、SDH $50Mb/s \sim 2.4Gb/s$ のすべての伝送速度に対応可能なパッケージを実現している。また、このとき、入力する信号がRZ/NRZを識別し、自動的に電子回路の動作点の最適化を行う機能を有している。RZ/NRZの切替えは、手動にて強制的に切替えることも可能で、フロントパネルのスイッチで自動/手動のモード切替えを設定する。写真2にOETXパッケージの外観を示す。

4.4 O-MUX/DEMUXパッケージ

O-MUXパッケージは、OETXパッケージからの1.3 μ m帯の所定の信号最大4波分を波長多重しWDM伝送路に送出する機能を有している。また、O-DEMUXパッケージは、WDM伝送路からの光信号を受信し、最大4波の1.3 μ m帯所定の波長に分波して端局装置に受け渡す機能を有している。O-MUXパッケージ及びO-DEMUXパッケージは波数が少ない場合に損失が小さい誘電体多層膜フィルタを採用した。このフィルタの構成は特定の1波長だけを通過させ、残りを反射させるため、複数波の場合は多段に接続する構成になる。このため波長間で若干のレベル差が生じる。そこで光合波部と光分波部で配列を逆

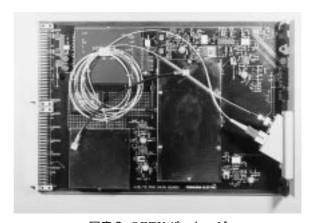


写真 2 OETX パッケージ OETX

にし波長間のレベル差を抑えるるような構成を施した。

O-MUX/DEMUXを組み合わせた場合の光フィルタ特性を図5に示す。なお,各波長の通過帯域挿入損失は,O-MUXとO-DEMUXを合わせて5dB以下を実現した。

4.5 ALM パッケージ

ALM パッケージでは,各パッケージからの警報情報を収集し,接点情報を発出する機能を有している。また,装置のすべての警報情報を一括し,個別警報同様,接点情報を発出すると共に装置上方に実装されている LED を点灯させる機能を有している。

表2に警報監視項目を示す。

5. 特性

試作した装置で各種の試験を行った。

図6に示すような系を構成し,符号誤り率特性 BER特性 を 測定した。 1~ 4までの光信号を波長多重した系で,それぞれのチャンネルについて評価を行った。BER特性の評価方法と しては,光伝送装置及び疑似伝送路 SMF 46km を組み合わせ

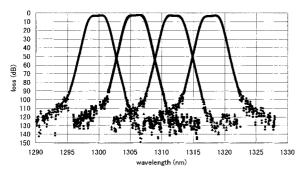


図 5 O-MUX 及び O-DEMUX 総合の光フィルタ特性 Characteristics of O-MUX & O-DEMUX

表 2 警報監視項目 ALM items

監視項目	警報名称	内容
光入力レベル低下	OPT-IN	送信側光入力レベルの監視
光出力レベル低下	OPT-OUT	送信側光出力レベルの監視
LD 温度異常	LD-TEMP	LD 内部温度異常の監視
LD 電流異常	LD-CURR	LDドライブ電流の監視
電源電圧異常	PU	電源の異常監視
システム異常	SYS	上記警報の何れかが発出した場合

た系と,この系に本装置を挿入した場合とのBERの違いを,光伝送装置の受信器への入力レベルに対して測定比較した。PDH32Mb/s~400Mb/s,並びにSDH50Mb/s~2.4Gb/sの伝送速度に対して,エラーフロアもなく,良好な特性が得られた。これらの測定結果の中からPDH100Mb/sの場合を図7に,またSDH2.4Gb/sの場合を図8に示す。図7,図8からもわかるとおり,両者とも,BER= 10^{-10} でパワーペナルティ(本装置を挿入した場合と入れない場合の差)は約0.5dBと極めて良好な特性が得られていることがわかる。

その他表3に示す各種の試験を行い、いずれも仕様を満足する良好な結果が得られた。

6. おわりに

情報量の増大に対応すべく,一部区間心線不足の解消を目的とした $1.3~\mu$ m 帯 4 波多重伝送装置の製品開発を行った。 $32 Mbps \sim 2.4 Gbps$ の伝送速度において既存光伝送装置との接続性を確認し,良好な特性が得られた。本装置は,既設のSMFに親和性のある $1.3~\mu$ m 帯を光源とし,PDH,SDH 各々の伝送速度にも装置の変更なく対応可能である。また,構造面において

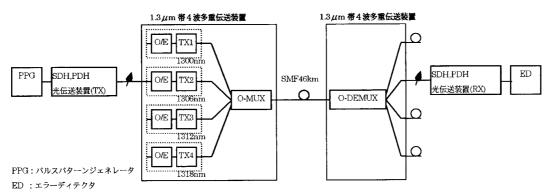


図 6 BER 特性試験系 Experimental set-up for transmission characteristics

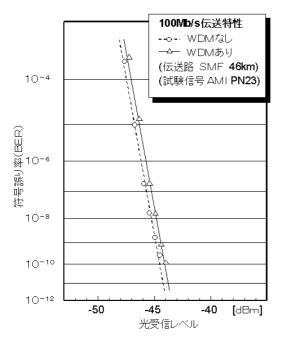


図7 PDH100Mbps 伝送時符号誤り率特性 BER for PDH100Mb/s transmission

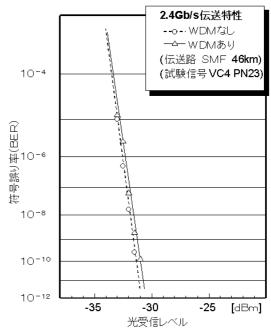


図8 SDH2.4Gbps 伝送時符号誤り率特性 BER for SDH2.4Gb/s transmission

表 3 試験項目 Test items

1000 1001115				
No.	試験項目	No.	試験項目	
1	温度試験	12	エミッション	
2	電源電圧変動試験	13	イミュニティ	
3	電源過電圧試験	14	光波長	
4	電源周波数変動試験	15	光出力レベル	
5	電源波形歪試験	16	消光比	
6	電源突入電流試験	17	合分波損失	
7	耐震強度試験	18	符号誤り率測定	
8	架内温度上昇試験	19	伝送遅延時間	
9	雷インパルス強度	20	警報動作	
10	絶縁耐力	21	消費電力	
11	絶縁抵抗			

も,接続コネクタはすべて前面にてアクセス可能とし,装置背面にスペースを持たなくても設置可能となるよう配慮した。本装置は,今後,電力系以外の通信網に対しても大きな効力が発揮されるものと期待される。

参考文献

- 1) 太田原,関谷,黒鳥,仁村;古河電工時報,No.100,(1997),105-110
- 2) D.Marcuse; J.Opt.Soc.Ame.Vol166.216 (1976)
- 3) 青木,久世,神谷,木村,新保;平成10年電気学会電子・情報・システム部門大会