

映像配信用高密度実装型光ファイバ増幅器

光電子技術研究所 武本 恭介^{*1}・島田 典昭^{*1}・相沢 卓也^{*1}
酒井 哲弥^{*2}・細谷 英行^{*3}

High-Density Mounted Optical Fiber Amplifier for Video Distribution

K. Takemoto, N. Shimada, T. Aizawa, T. Sakai & H. Hosoya

近年、高品質な映像の配信や多チャンネルでの映像配信サービスが行われるようになってきている。こういったサービスを実施するために、光回線でのアナログ伝送の需要が高まり、それとともなって光回線の多分岐化による損失補償を行うための光増幅器の需要が拡大している。そこで当社では、映像配信向けの光ファイバ増幅器を開発した。本機はマルチスロット型筐体と、EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier: エルビウム添加光ファイバ増幅器) ユニット、電源ユニット、ファンユニット、SNMP (Simple Network Management Protocol: ネットワーク管理のためのプロトコル) ユニットにより構成される。本機の特長は、第一にアナログ伝送に最適な光学特性であること、第二に高密度実装によりEDFAユニットを最大9台搭載可能でありながら外形が19インチラック-高さEIA (Electronic Industries Alliance: 米国電子工業会) 3Uという省スペース化を達成していること、第三に電源とファンの冗長化構成が可能で、かつ各ユニットが活線挿抜可能でありメンテナンス性が高いこと、第四に安全設計に対応していることである。また小規模システム用として、EDFAユニットを1台搭載して省スペース化を追求したEIA:1Uの光増幅器も開発した。これらの光増幅器のEDFAユニットや各種オプションユニットの特長について紹介する。

High quality and/or multi-channel video distribution services have been widely deployed recently. The demands for analogue transmission on optical fibers are increasing to realize such services and this trend also cause to increase in demands of optical fiber amplifier which can compensate for optical power loss by optical fibers' divergence. We have developed an optical fiber amplifier for video distribution service based on a multi-slot chassis comprising of EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) units, power source units, fan units, and a SNMP (Simple Network Management Protocol) control unit. The low distortion, low noise figure and wide operating wavelength of this amplifier are suitable for analogue transmission. The 19 inches rack chassis with 3U height complies with the EIA (Electronic Industries Alliance) standards. Up to 9 EDFA units can be loaded into the multi-slot chassis. Plural power units and fan units can be loaded for backup and these optional units can raise reliability. Hot swapping is available to all the units for easy maintenance. We have also developed amplifier with 1U height. This allows one EDFA unit to be loaded and is suitable for relatively small system application. In this report, we describe the characteristics of the EDFA unit. In addition, other available features in other units are also described.

1. ま え が き

近年、ブロードバンドネットワークの爆発的な普及に伴い、映像配信サービスでも、100を越える多チャンネルで従来の地上波映像、衛星波映像、VTR映像などの配信が行われるようになってきている。このようなサービスを実施するために、光回線による高品位なアナログ伝送の需要が高まっている。図1に、光回線を用いた映像配信システムの概念図を示す。映像配信サービスを多数のユーザに対して提供するためには、光回線の途中やユーザ宅の近

傍で光回線を多数分岐する必要がある。その分岐とともなって発生する光出力の低下を補償するため、アナログ伝送に適した光増幅器の存在が不可欠である¹⁾。

そこで当社では、映像配信サービス向けのアナログ伝送における分配損失の補償を効率的に実現するために、実装密度を高め19インチラック-高さEIA:3Uの筐体に、最大9台のEDFAユニットを搭載可能な、光ファイバ増幅器FOAMシリーズを開発した²⁾ので報告する。

2. 製 品 概 要

今回開発したマルチスロット型光ファイバ増幅器FOAM-U12の外観を図2に示す。19インチラックに設置可能なEIA:3U高さの筐体(以下3U筐体と記す)と、それ

*1 光通信研究部

*2 光通信研究部グループリーダー

*3 光通信研究部長

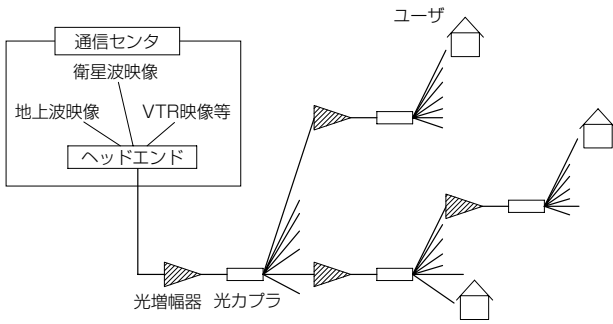


図1 光ファイバ増幅器を用いた光映像分配システム
Block diagram of video distribution system using optical amplifier

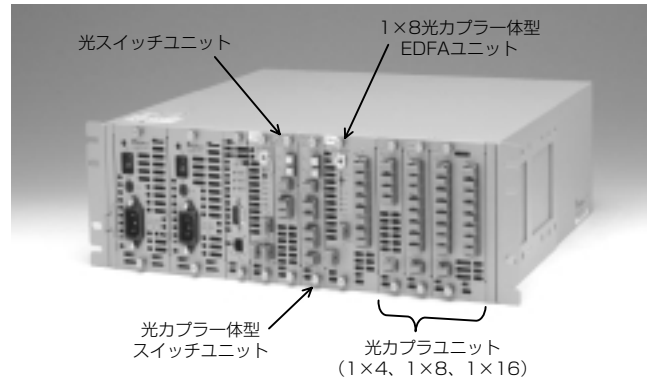


図3 FOAM-U12のオプションユニット実装例
Appearance of application of FOAM-U12's option units

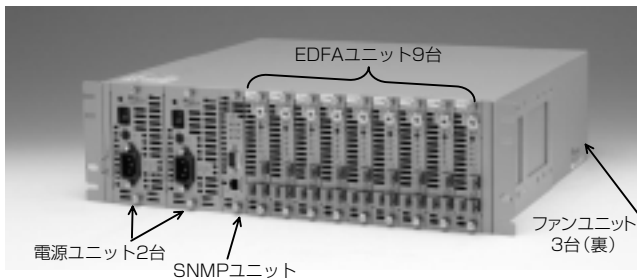


図2 マルチスロット型光ファイバ増幅器 FOAM-U12
Appearance of multi slot type optical amplifier system FOAM-U12

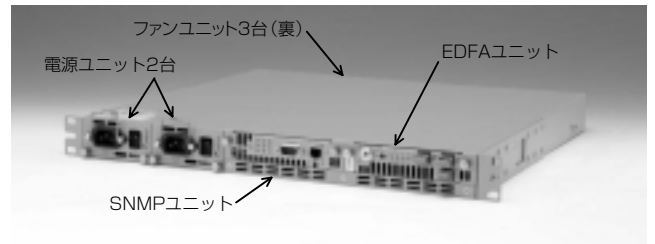


図4 1Uタイプ光ファイバ増幅器 FOAM-M01
Appearance of 1U type optical amplifier system FOAM-M01

表1 EDFAユニットの仕様一覧
Specification of EDFA unit

項目	EDFAユニット	光カプラー一体型EDFAユニット
型名	FOAM-U12AU2	FOAM-U12AC
動作温度	0~40℃	0~40℃
保存温度	-20~70℃	-20~70℃
動作/保存湿度	10~90% (結露ないこと)	10~90% (結露ないこと)
入力光波長範囲	1,530nm~1,560nm	1,530nm~1,560nm
入力光パワー (Pin)	-3dBm~+10dBm	-3dBm~+10dBm
出力光パワー (Pout)	+17dBm, +19dBm, +22dBm	+17dBm, +19dBm, +22dBm (分岐前)
雑音指数 (NF)	≤ 5.0dB (@Pin=0dBm, λ=1,550nm)	≤ 5.0dB (@Pin=0dBm, λ=1,550nm)
出力安定性	≤ 0.5dB	≤ 0.5dB
偏光依存利得	≤ 0.3dB	≤ 0.3dB
光コネクタ	SC型/APC (アングルドPC)	SC型/APC (アングルドPC)
適用ファイバ	SM10/125, 1.31 μm 零分散	SM10/125, 1.31 μm 零分散
占有スロット	1	2
出力ポート数	1	2, 4, 8 (出力光パワーを出力ポート数で等分岐)

に搭載する各種ユニットから構成される。3U筐体は、電源ユニット2台・ファンユニット3台・SNMPユニット1台・EDFAユニット9台を搭載でき、いずれのユニットも活線挿抜が可能である。また電源ユニット・ファンユニットを複数搭載し冗長化を実現している。さらに光分岐を行う光カプラユニット、光回線の冗長化を行うために複数の光信号を切り換える光スイッチユニット、光スイッチと光カプラを一体化した光カプラー一体型スイッチユニット、EDFAユニットと光カプラを一体化した光カプラー一体型EDFAユニットを開発した。これらのオプションユニットはEDFAユニットと互換性を有した構造となっており、図3の写真のようにEDFAユニットと同様に3U筐体に搭載することができる。これらのオプションユニ

ットによって、EDFAユニットが搭載されていない空きスロットを活用して多機能化を図ることができ、中継局などで光増幅器が占める設置スペースを大幅に削減することができる。

さらに小規模システム用として、省スペースを追求したEIA:1U高さの筐体（以下1U筐体）も開発した。1U筐体は、電源ユニット2台・ファンユニット3台・SNMPユニット1台・EDFAユニット1台を搭載でき、EDFAユニット・SNMPユニットは3U筐体用のものと共用可能である。3U筐体同様にすべてのユニットが活線挿抜可能で、電源ユニット・ファンユニットの複数搭載による冗長化も実現している。この1U筐体を用いた光増幅器の外観図を図4に示す。

3. 各種ユニットの紹介

FOAMシリーズを構成する各種ユニットについて紹介する。

3.1 EDFAユニット (型名: FOAM-U12AU, AC)

本機で使用するEDFAユニットの代表的な特性を表1に示す。高い光出力で、広帯域・低雑音・低歪な光学特性を有し、使用者の安全に配慮したアイセーフ機構を搭載している。これらの特長について説明する。

(1) 高出力

従来主流であった+17dBm, +19dBm光出力品に加え、より多分岐の分配や、長距離伝送を可能とする+22dBm光出力品の計3種類のユニットを開発した。また後述する光プラユニットとEDFAユニットを一体化したユニットも用意した。

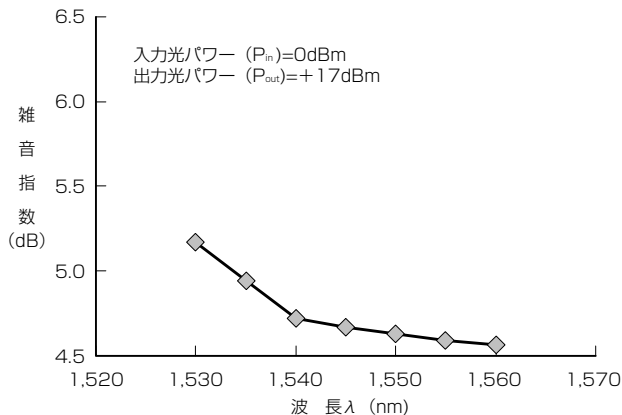


図5 FOAM-U12AUの雑音特性
Noise figure characteristic of FOAM-U12AU

(2) 広帯域・低雑音・低歪
図5に、本EDFAユニットの雑音特性を示す。本機は波長1,530~1,560nmの広帯域にわたってNF (Noise Figure : 雑音指数) が5.5dB以下と低雑音な増幅特性を有しており、良好な伝送を行うことができる。図6にCNR (Carrier to Noise Ratio : 搬送波対雑音比) 評価装置の実験系を、図7に多段接続によるCNR値の影響を示す。多段接続を行った場合もCNR値がほとんど低下しておらず、映像配信を実施するにあたって高画質な画像を伝送することが可能であることがわかる。

(3) アイセーフ機構
ユーザの安全のためアイセーフ機構を搭載した。図8にアイセーフ機構の概要を示す。これはEDFAユニット稼動中にEDFAユニットの出口コネクタを引抜いた場合に、自動的に出力光をシャットダウンする機構で

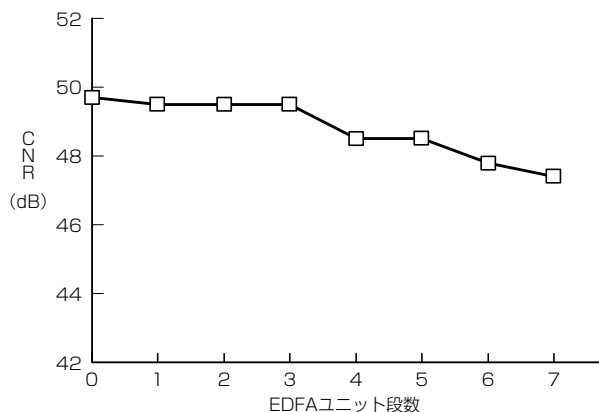


図7 EDFAユニットを多段接続した時の映像配信システムのCNR特性
CNR characteristic of video distribution system of multi stage cascade EDFA units

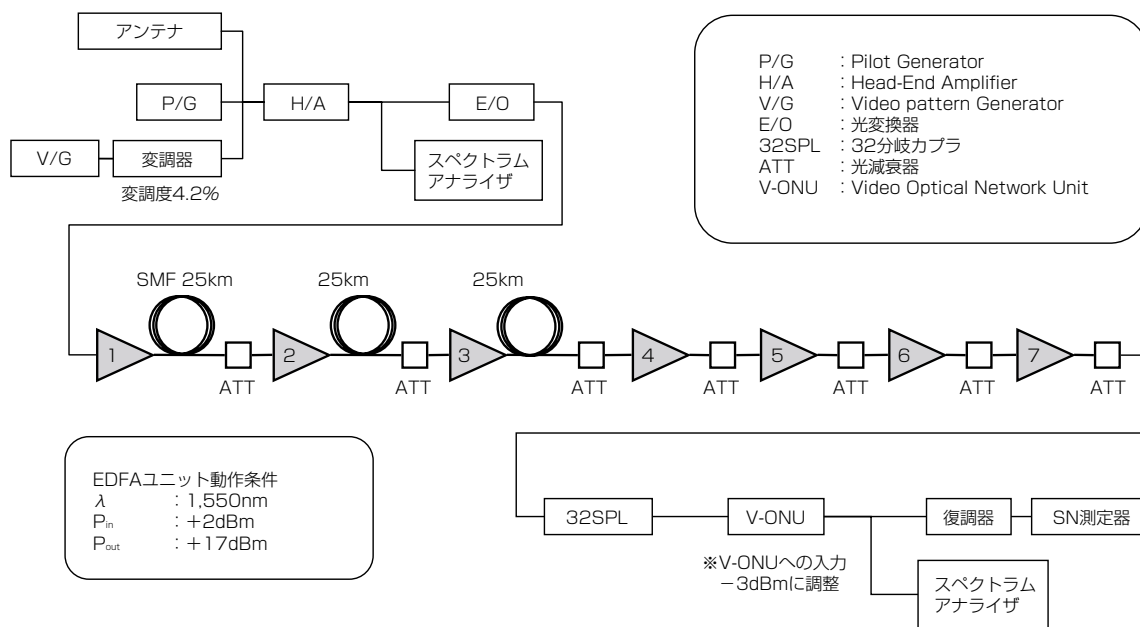


図6 多段接続によるCNR値評価系
Block diagram of CNR measurement using multi stage cascade EDFA units

ある。

この機構により、EDFAユニットに光コネクタを挿抜する際にユーザが誤って外部に出力光を照射してしまう事故を防ぐことができる。この機構はEDFAユニットの出力コネクタのはずれと、EDFAユニットに接続されたファイバの出口コネクタのはずれの両者に対応している。

このアイセーフ機構の動作原理はEDFAユニットの出口からはずれたコネクタの種類によってEDFAユニ

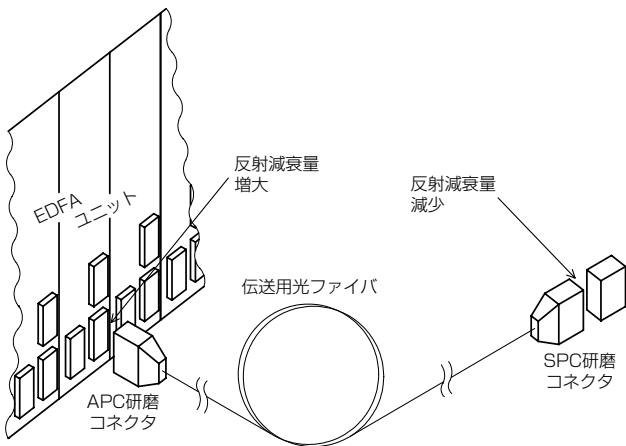


図8 アイセーフ機構の適用範囲
Available points of Eye-Safe function

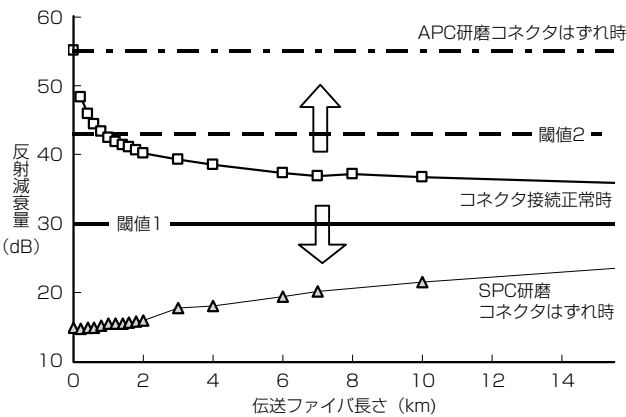


図9 コネクタはずれ時の反射減衰量と伝送ファイバ長さとの関係

Relation between return loss and length of transmission fiber at connector pulled out

ットに接続された伝送ファイバの反射減衰量が増加することを利用している。APC (Angled Physical Contact) 研磨コネクタがはずれたときは、伝送ファイバ中のレイリー散乱が減少することによって反射減衰量が増加し、SPC (Super Physical Contact) 研磨コネクタがはずれたときは、フレネル反射が増加することによって反射減衰量が減少する。この2種のコネクタははずれは、出口コネクタからの反射減衰量の変化に対して、二重に閾値を設定することで検出が可能となる。図9にEDFAユニットに接続された伝送ファイバの長さ、そのファイバからの反射減衰量の関係を示す。コネクタ接続が正常に行われている場合は伝送ファイバからの反射減衰量は閾値1と閾値2の間に位置しているが、接続ファイバの先についているSPC研磨コネクタがはずれると、反射減衰量は閾値1を下回り、出口直後のAPC研磨コネクタがはずれると、反射減衰量が閾値2を上回る。これらによってコネクタはずれの検出を行うことが可能となっている。なお閾値1, 2の値はネットワークの構成に応じて自在に調整可能である。

3.2 光増幅器筐体

FOAMシリーズ用に使用する光増幅器筐体の代表的な特性を表2に示す。それぞれの筐体の特徴は次のとおりである。

(1) マルチスロット型筐体 (型名: FOAM-U12PF)

この筐体は、19インチラックへ搭載可能なマルチスロット型としては、業界最小サイズのEIA:3U高さを達成し、最大9台のEDFAユニットを実装可能である。

このような高密度実装を実現するためには、EDFAユニットに搭載された光ファイバ増幅器励起用のレーザダイオード (以下LD) の発熱を効果的に処理することが必須である。+17, +19dBm出力EDFAユニットは、波長980nmのLDを1台、+22dBm出力EDFAユニットは、波長980nmのLDと波長1,480nmのLDを1台ずつ搭載している。EDFAユニットを高出力化するためには、必要とされるLD台数が増加するだけでなく、LD駆動出力増大にともない総発熱量も増大する。さらにLDは熱に弱いため冷却構造が不十分だとLD自身の発熱により、LDケース温度が動作定格温度を上回りLDの破損や出力低下の原因となるため、冷却構造の重要度は高い。この筐体では、高さ方向の寸法を抑えるために、筐体や各ユニットの前面パネルに設けた通風孔から吸気し背面のファン

表2 光ファイバ増幅器筐体仕様一覧
Specification of optical amplifier chassis

項目	EIA:3Uマルチスロット筐体	EIA:1U筐体
型名	FOAM-U12	FOAM-M01
電源電圧	AC電源: 100V ± 10%, 50/60Hz DC電源: 48V ± 10%	AC電源: 100V ± 10%, 50/60Hz
動作温度	0~40℃	0~40℃
保存温度	-20~70℃	-20~70℃
動作/保存湿度	10~90% (結露ないこと)	10~90% (結露ないこと)
外形寸法	482.0mm (W) × 399mm (D) × 132.4mm (H)	482.0mm (W) × 400mm (D) × 43.6mm (H)
消費電力	約290W (高出力EDFAユニットフル実装時)	約100W (フル実装時)
EDFAスロット数	9	1

表3 光カプラユニット仕様一覧
Specification of optical coupler unit

分岐数	2	4	8	16
型名	FOAM-U12CP-1×2	FOAM-U12CP-1×4	FOAM-U12CP-1×8	FOAM-U12CP-1×16
波長 (nm)	1.3μm帯, 1,530-1,560nm			
挿入損失 (dB)	≤4.7	≤8.4	≤12.0	≤15.5
挿入損失均一性 (dB)	≤1.4	≤2.0	≤1.5	≤2.0
反射減衰量 (dB)	≥50	≥50	≥50	≥50
占有スロット	1			2
ファイバ	SM10/125			
コネクタ	SC/APC			
使用環境	0~40℃, 90%RH以下			

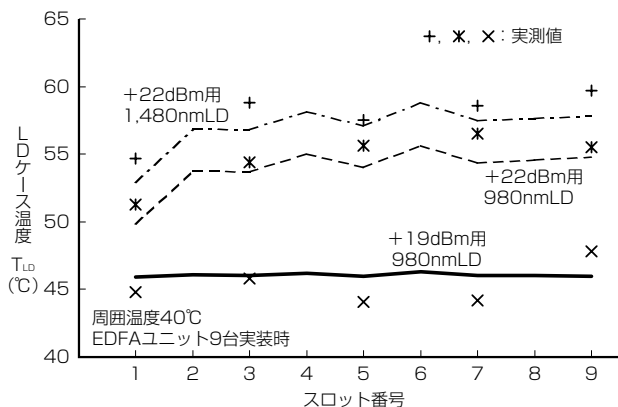


図10 LDケース温度の計算値と実測値
Comparison of a calculation value and an actual measurement of LD-case temperature

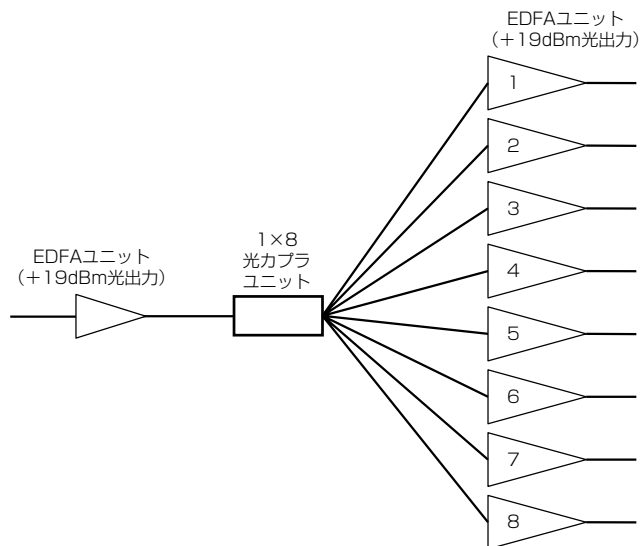


図12 カプラユニットの使用例 8分岐の分配補償
Application of optical coupler unit for 1×8 splitter

22dBm出力EDFAユニットの T_{LD} の計算値, プロットは実測値を示す. 周囲温度40℃にて T_{LD} がLDの動作定格温度の70℃を十分下回り冷却構造が十分であることが示されている. また実測の結果は計算値と良く一致している.

本機に搭載されているEDFAユニット用スロットやSNMPユニット用スロットは活線挿抜に対応しており, 装置全体が稼動中でもスロットごとのEDFAユニットの交換が容易である. これらのスロットのみならずファンユニットや電源ユニットも活線挿抜に対応している. さらにファンユニットと電源ユニットは複数搭載して冗長化構成をとっているため, メンテナンス性に優れた構成となっている.

(2) 1Uタイプ筐体 (型名: FOAM-M01PF)

搭載するEDFAユニット数を1台に限定し小型化した, 1Uタイプ筐体 (FOAM-M01) も開発した. 19インチラックEIA: 1Uサイズの外形で, EDFAユニットとSNMPユニットを3U筐体と共用可能である. かつ電源ユニットとファンユニットの冗長化構成を実現している. 1回線のみ増幅などの小規模のシステム構築を行う用途において, 大幅な省スペース化を行うことができる.

3.3 SNMPユニット

SNMPによる遠隔からの動作監視および制御を実施するためのユニットである. RS-232C・Ethernetポートを備

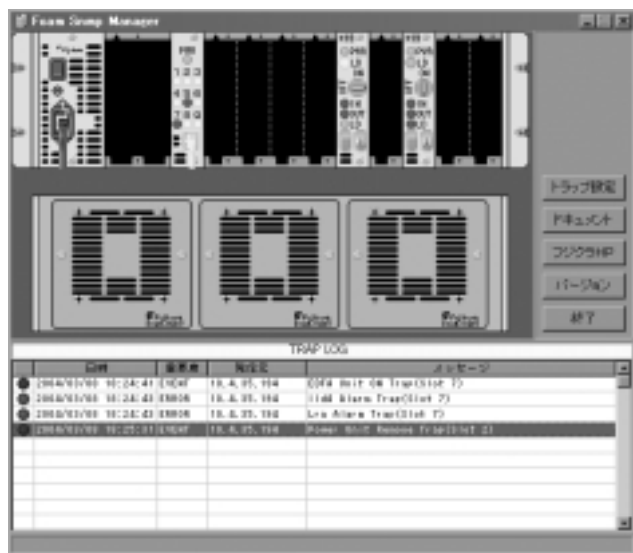


図11 マネージャソフト FOAMAN動作画面
Display image of EDFA manager software -FOAMAN-

で排気する構造を採用して筐体内の冷却を行っている. この構造の妥当性とEDFAユニット内でのLDの配置を検討するにあたり, EDFAユニットを筐体に最大数実装したときのLDケース温度 T_{LD} を熱解析シミュレーションにより計算して冷却構造の最適化を行った. 図10にシミュレーションにより算出した計算値と実測値との比較を示す. 横軸はEDFAスロットを左側から数えた番号で, 実線は+19dBm出力EDFAユニットの T_{LD} , 点線は+

表4 光スイッチユニット仕様一覧
Specification of optical switch unit

項目	光スイッチユニット		光カプラー一体型スイッチユニット	
	FOAM-U12SW-1×2A	FOAM-U12SW-1×2	FOAM-U12SC-1×2A	FOAM-U12SC-1×2
光スイッチ 入出力ポート数	1×2	1×2	1×2	1×2
光カプラー 入出力ポート数	-	-	1×2	1×2
波長 (nm)	1.3 μm帯, 1,530-1,560nm			
光スイッチ挿入損失 (dB)	≤20	≤12	≤20	≤12
反射減衰量 (dB)	≥50	≥50	≥50	≥50
クロストーク (dB)	≤-50	≤-50	≤-50	≤-50
切替時間 (msec)	≤10	≤10	≤10	≤10
光スイッチタイプ	自己保持	自己保持	自己保持	自己保持
光レベルによる切替機能	有	無	有	無
光カプラー挿入損失 (dB)	-	-	≤4.7	≤4.7
光カプラー挿入損失均一性 (dB)	-	-	≤1.4	≤1.4
ファイバ	SM10/125			
コネクタ	SC/APC			
使用環境	0~40℃, 90%RH以下			

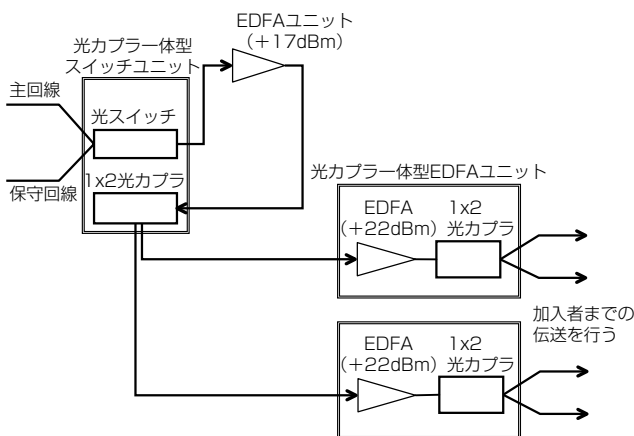


図13 スイッチユニットの使用例1. 中継局向け
Application of optical switch unit 1 : for repeater

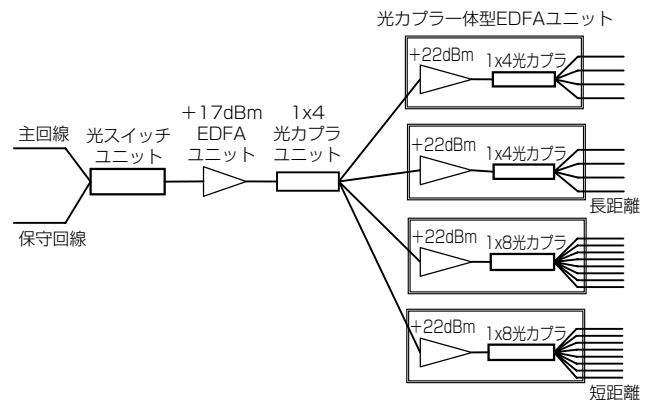


図14 スイッチユニットの使用例2. 加入者用分配器向け
Application of optical switch unit 2 : distributor for subscribers

えており、装置近傍だけでなく遠隔地においても光増幅器の実装・稼動状況の監視と制御が可能である。監視に関してはEDFAユニットの情報だけでなくファンユニットや電源ユニットの情報にも対応している。図11に管理用ソフトウェアの画面の一例を示す。このソフトを用いることでGUI (Graphical User Interface) での操作も可能である。

3.4 光カプラーユニット (FOAM-U12CP)

入力された光信号を等分岐するためのユニットである。表3に仕様を示す。分岐数は、1×2, 1×4, 1×8, 1×16の4種がある。

図12に光カプラーユニットとEDFAユニットとを組み合わせさせた使用例を示す。

光カプラーユニットの直前に1台のEDFAユニットを配置して分配前にあらかじめ信号光を増幅させ、カプラーユニットによって信号を8分岐し、8台のEDFAユニットで分岐後の光出力を目的のレベルへ補償する構成である。この構成により、1つの信号を例えば256のユーザに分配可能となる。

3.5 光スイッチユニット (FOAM-U12SW)

2つの入力光のうち、任意の1ポートの光を選択して出力するスイッチ機能を有するユニットである。手動での

回線切替えだけでなく、入力光の光レベルを検知して自動切替えする機能も搭載している。また非通電時でも選択した光経路を保持し続ける自己保持型のスイッチである。光回線冗長構成に使用するための1×2光カプラーを同一ユニット内に搭載したモデルも開発した。表4に仕様の一覧を示す。

図13, 図14に、光スイッチユニットを用いた冗長化の一例を示す。

図13は、中継局向けシステムを想定した回線の冗長化構成である。入力ポートを二重化した上で、4分岐で+19dBm光出力の分配を行うことができる。

図14は、加入者側での回線冗長化システムを想定した冗長化構成である。入力信号の二重化構成と加入者までの距離に応じ、短距離用16分岐と長距離用8分岐への分配を行う構成となっている。

4. む す び

映像配信用途に適した高密度実装型光ファイバ増幅器の開発を行った。適用規模に柔軟に対応できる2種類の筐体と、それら両方で共用可能なEDFAユニット、光カプラーユニット、光スイッチユニット、SNMPユニットの主要機能や特長を報告した。本機を用いることで、映像配

信用の光信号増幅システムの構築を行う上で、光回線を多分岐に分配したり、冗長性を持たせたりすることが可能となる。

最後に、本機の開発にあたり多大な御指導・御助言・御助力を頂いた関係各位に心から御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 石尾ほか：光増幅器とその応用，第一版，pp.203-206，1992，オーム社
- 2) 武本ほか：FTTH用高密度実装型光ファイバ増幅器の開発，電気情報通信学会 2004年総合大会講演論文集，C-3-118，pp.292，電気情報通信学会