

双方向光増幅器による 一心双方向型光マルチドロップシステムの開発

Development of Long-Haul Bidirectional Passive Optical Network Employing a Novel Bidirectional EDFA

加藤 智之*
Tomoyuki Kato

大村 英之*
Hideyuki Omura

村上 泰弘*²
Yasuhiro Murakami

山下 育男*³
Ikuro Yamashita

竹中 保*³
Tamotsu Takenaka

青海 恵之*³
Shigeyuki Seikai

概要 ITV(Industrial Television)カメラを用いて無人箇所の監視を行うシステムには、複数の監視箇所を得た映像信号を有人箇所まで長距離伝送する機能や、各無人箇所へカメラ制御信号などを分配する機能を有することが必要とされている。また、近年では、伝送路にOPGWを活用する場合や、使用可能な光ファイバ数が限られている場合にも、前述のような複数箇所の監視を実現するシステムへの需要が高まっている。

そこで、今回、複数の地点で得た映像信号の長距離伝送、及びカメラ制御信号の分配を光ファイバ1心で実現すべく、関西通信設備サービス(株) 殿、関西電力(株) 殿と共に、双方向光増幅器を活用した一心双方向型光マルチドロップシステムの開発を行った。

本稿では、一心双方向型光マルチドロップシステムの概要、今回新規開発を行った双方向光増幅器をシステムへ導入する場合の伝送品質設計論、及び関西電力(株) 殿京都支店管内における実証実験の結果について報告する。

1. はじめに

ITV(Industrial Television)カメラを用いて無人箇所の監視を行うシステムには、複数の監視箇所を得た映像信号を有人箇所まで長距離伝送する機能や、各無人箇所へカメラ制御信号などを分配する機能を有することが必要とされている。また、近年では、伝送路にOPGWを活用する場合や、使用可能な光ファイバ数が限られている場合にも、前述のような複数箇所の監視を実現するシステムへの需要が高まっている。

今回報告するシステムの基本となる光マルチドロップ方式は、そのようなシステムを実現するための有効な手段の一つである。

図1に示したこの方式は、各監視箇所から得られた映像信号をFM変調及び光信号化し、光カプラを介して共通の光ファイバで伝送する系(上り系)と、カメラ制御信号を変調及び光信号化し、各監視箇所へ分配する系(下り系)の2つの系から成り、光ファイバ2心によって複数箇所の監視を実現する方式である^{1)~3)}。この方式では、各変調器の搬送波周波数を異なる値に割り当てることで、O/Eに複数の信号が同時に受信された場合にも、各信号の識別が可能となる。

今回我々は、システムに必要な光ファイバの省心化、及び長距離伝送化を更に進める検討を、関西通信設備サービス(株) 殿、関

西電力(株) 殿と共に実施し、光ファイバ1心で上り/下り系共に100km以上の伝送を可能とする、双方向光増幅器^{4)~5)}を活用した一心双方向型光マルチドロップシステムの開発を行った。

本稿では、一心双方向型光マルチドロップシステムの概要、今回新規開発を行った双方向光増幅器をシステムへ導入する場合の品質設計論、及び関西電力(株) 殿京都支店管内における実証実験の結果について報告する。

2. 一心双方向型光マルチドロップシステム

2.1 システムの概要

今回、システムに必要な光ファイバの省心化、及び長距離伝送実現を目指し、以下の方針でシステムの検討・開発を行うこととした。

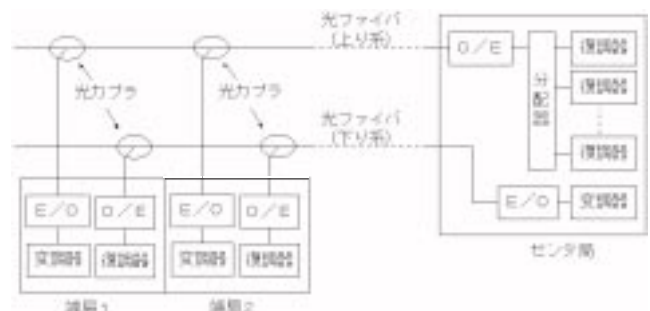


図1 光マルチドロップ基本構成
Configuration of passive optical network

* 研究開発本部 情報・電子研究所 システム機器研究室

² 関西通信設備サービス(株) 通信技術部 通信工事課

³ 関西電力(株) 総合技術研究所 情報通信研究室

(1) 光ファイバ1心で上り/下り系の光信号を伝送する。

このため、上り/下り系の光信号の分離にWDMカプラを利用する。

(2) 双方向増幅型の光増幅器を用いて中継増幅を行い、長距離伝送を実現する。

このため、上り/下り系の光波長は共に1.5 μm帯を用い、WDMカプラは1.5 μm帯を2つの波長帯に分離可能なタイプを適用する。

図2に、上記方針に基づく一心双方向型光マルチドロップシステムの基本構成を示す。

本システムは、光ファイバ1心で上り/下り系共に伝送を行うため、それぞれの光信号を1.55 μmと1.53 μmの波長帯に割り当て、WDMカプラを用いてそれらを分離する。これにより、上り/下り系共に1.5 μm帯の光信号を用いることが可能となるため、光増幅器によって上り/下り系双方の光信号を増幅することが可能となる。

2.2 システムの伝送品質

映像信号や音声信号の伝送品質を示す指標として、CNRが一般的に用いられる。そこで、このCNRに関する設計方法について以下に示す。

各O/Eにて受信された信号のCNRは、式(1)に示す計算式によって求めることができる。

$$\text{CNR} = 10 \log \left[\frac{(1/2)(m \text{MSPr})^2 / D}{D} \right] \quad (1)$$

$$D = [2q \{I_{do} + M^{2+\chi} (I_{dm} + S(nP_r + P_{\text{ASE}}))\} + I_t^2 + (M \text{SnPr})^2 \text{RIN}_{\text{out}}] B$$

m : 1chあたりの変調度

M : APDの増倍率

n : 光信号数

χ : APDの過剰雑音指数

S : 受光感度(A/W)

q : 電荷($1.6 \times 10^{-19}\text{C}$)

I_{do} : 受光素子の暗電流(A)

I_{dm} : APDの増倍暗電流(A)

I_t : 等価入力換算雑音電流密度(A/Hz^{1/2})

P_r : 1光源からの受光電力(W)

B : 信号帯域幅(Hz)

ここで、 RIN_{out} は光増幅器から出力される信号光のRIN、 P_{ASE} は光増幅器から出力されるASE光パワー(ゲインがフラットな場合)であり、それぞれ以下の式(2)、(3)により表すことができ

る。

$$\text{RIN}_{\text{out}} = \text{RIN}_{\text{in}} + \frac{4h\nu n_{sp}}{P_{\text{in}}} + \frac{(2h\nu n_{sp})^2 B_f}{P_{\text{in}}^2} \quad (2)$$

$$P_{\text{ASE}} = p_{\text{ASE}} \cdot B_f = 2h\nu n_{sp} (G - 1) \cdot B_f \quad (3)$$

RIN_{in} : 光増幅器へ入力される信号光のRIN(dB/Hz)

P_{in} : 光増幅器への信号光入力パワー(W)

h : プランク定数

ν : 信号光周波数(Hz)

n_{sp} : 反転分布パラメータ

B_f : 光増幅器の利得帯域または光フィルター幅(Hz)

G : 光増幅器の利得

図3に、光増幅器入力パワーを変化させた際の、O/E受光レベルとCNRの関係について示す。これより、光増幅器を用いたシステムでは、光増幅器への入力パワーが減少するにつれ、CNRが劣化することが分かる。

そこで、先の3式を用い、この劣化現象について説明する。

- ・ 光増幅器への入力パワーが小さくなると、式2における第2項(信号光-ASE光間ビート雑音)、及び第3項(ASE-ASE光間ビート雑音)が大きくなり、光増幅器から出力される信号光のRINが劣化する。
- ・ 光増幅器への入力パワーが小さくなると、式3より、光増幅器出力光に含まれるASE光の割合が信号光に比して増加することになる。これが式1の雑音成分の増加を招きCNRが劣化する。

すなわち、光増幅器をシステムに適用する際は、特にこの光増幅器への入力パワーに注意し、双方から光増幅器に入力される光信号が小さくなりすぎないように運用する必要がある。

2.3 システムの主要諸元

表1に本システムの主要諸元を示す。

今回、端局数、伝送距離などについては実際の運用状況(端局を変電所、センタ局を制御所に配する)を想定し、制御所が監視を行う変電所の数や、それら変電所からセンタ局まで監視信号を伝送した際の総延長距離などを考慮して定めている。

そこで、先の伝送品質設計に従い今回のシステムを検討した結果、光増幅器の適用位置に最適な箇所があることが判明した。

すなわち、光増幅器を伝送路のある一方に偏って配置した場合、上り/下り系の内、どちらか一方の光信号が極端に小さな値で光増幅器に入力されることになる。この結果、出力光のRIN

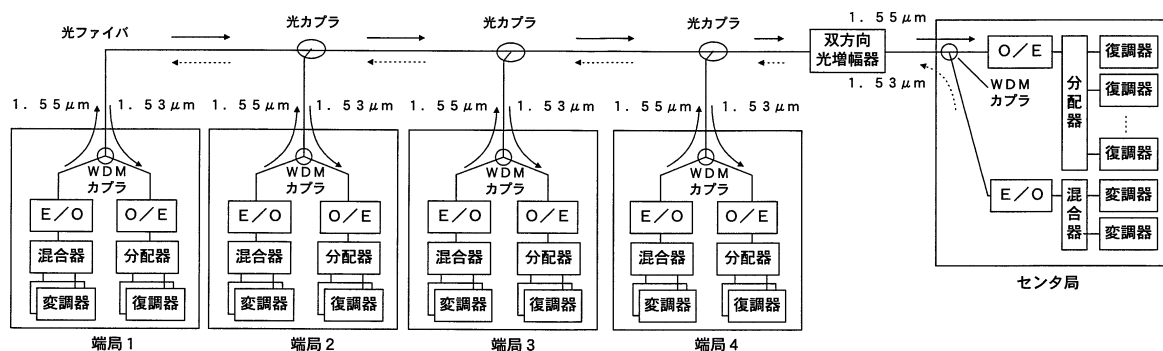


図2 双方向光増幅器による一心双方向型光マルチドロップ基本構成
Configuration of long-haul bidirectional passive optical network
employing a novel bidirectional EDFA

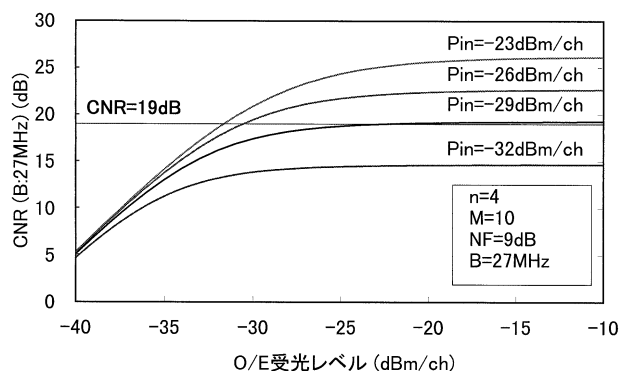


図3 CNR 対 O/E 受光レベルの関係 (信号光:4 波時)
CNR vs received optical power at O/E (n=4)

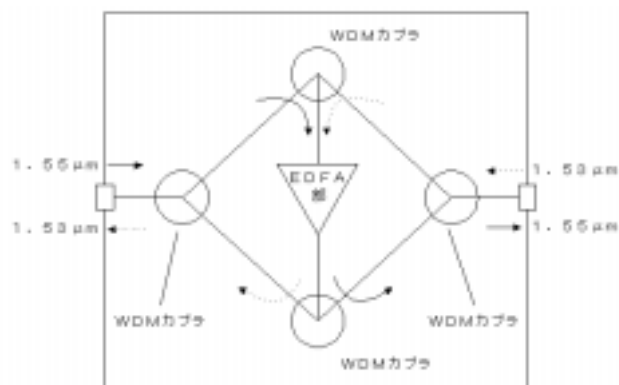


図4 双方向光増幅器の構成
Configuration of bidirectional amplifier

表1 一心双方向型光マルチドロップシステム主要諸元
Specifications of long-haul bidirectional passive optical network employing a novel bidirectional EDFA

項 目	仕 様
シ ス テ ム	端局数
	親局数
	伝送容量
	伝送距離
	光ファイバ
	所要 CNR
変復調	変調方式
	搬送波
	周波数
E/O	発光素子
	発光波長
	発光パワー
O/E	受光素子

が劣化し、また、出力光に含まれるASE光の割合が信号光に比して増すことから、所要品質を満たすことが不可能となる。つまり、本システムの場合、光増幅器は伝送路の比較的中心部に適用することが望ましいこととなる。これを上り系の光増幅器入力パワーで規定すると、上り/下り系伝送共に所要CNRを満たすのは、-20 ~ -23dBm/total となった。

2.4 双方向光増幅器

図4は今回新規に開発した双方向光増幅器の構成である。また、その外観を写真1に示す。

この双方向光増幅器は、光信号を増幅するEDFA部と1.55 μ m/1.53 μ mを分離する4つのWDMカブラから成る。双方のポートから入力された光信号は、光増幅器内部のWDMカブラによって誘導され、共に同じ方向からEDFA部に入力される。増幅された光信号はWDMカブラによって分離・誘導され、入力されたポートとそれぞれ反対側のポートに出力される。表2は、表1記載の本開発システムを実現すべく考慮して定めた、双方向光増幅器の主要諸元である。



写真1 双方向光増幅器の外観
Appearance of bidirectional amplifier

表2 双方向光増幅器の主要諸元
Specifications of bidirectional EDFA

項 目	仕 様	
	上り系	下り系
信号光波長	1555~1558nm	1537nm
信号光数	1~4	1
利得	(-20dBm/total 入力時) 26dBm/ch 以上	23dB 以上 (-21dBm 入力時) 29dB 以上 (-35dBm 入力時)
	(-23dBm/total 入力時) 28dBm/ch 以上	22dB 以上 (-18dBm 入力時) 28dB 以上 (-31dBm 入力時)
雑音指数	9dB 以下	9dB 以下
フラットネス	1dBp-p 以下	—
電源電圧	AC100/200V 対応	
消費電力	20W 以下	
外形寸法	445mm (W) × 345mm (D) × 90mm (H) (突起物除く)	
質量	10kg 以下	

図5は、今回実際に制作した双方向光増幅器の評価結果である。この結果は、1.55 μ m帯の入力光パワーを-23dBm/Totalに維持し、1537nmのEDFA入力光パワーを変化させた際の、双方向光増幅器の利得と雑音指数 NF を表している。尚、光波長は1555, 1556, 1557, 1558 及び 1537nm である。

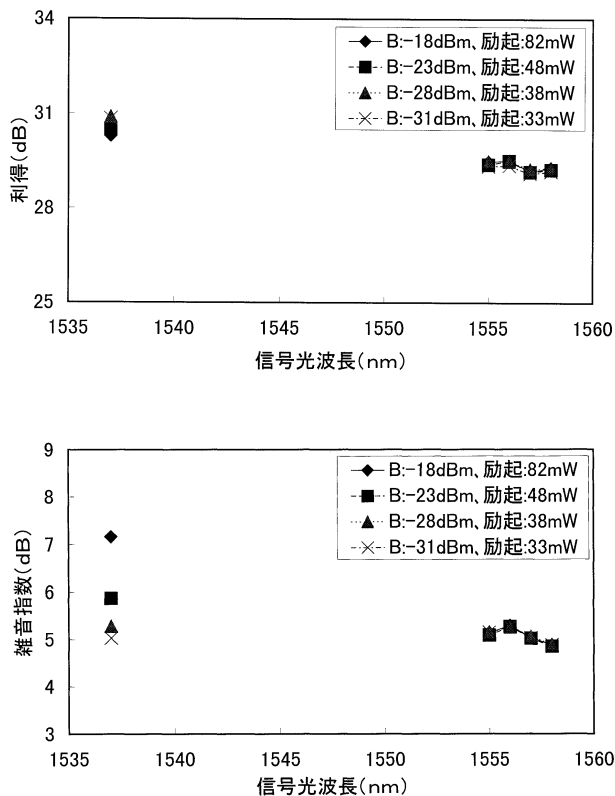


図 5 双方向光増幅器の利得、雑音指数特性
Characteristics of Gain and NF

評価の結果、上り/下り系とも、利得及び雑音指数は仕様を満たしていることが確認できた。また、表2のその他の項目に関しても、全て各仕様を満たしていることを確認した。

すなわち、表1に記載した本開発システムを実現するため必要な、双方向光増幅器を開発することができた。

3. フィールド実証実験

3.1 実験概要

図6に、フィールド実証実験の構成を示す。写真2, 3は端局及び親局の外観である。

実験は、京都地区にある関西電力 株 殿の横大路制御所と下鳥羽変電所間で行い、その間に敷設されている約 10km の光ファイバケーブル、及び計90km巻きの光ファイバポピンを用いて100kmの伝送路を構築している。横大路制御には親局、下鳥羽変電所には2式の端局をそれぞれ配置し、各局には上り/下

り系の光信号を分離するWDMカブラを挿入している。

上り系では、ITV カメラで得られた監視映像を FM 変調し、1.55 μ m 帯(1555.5nm, 1556.4nm)の光信号を送出する。各端局から送出された光信号は光カブラにより合波され、中継増幅された後、親局のO/Eにて受信される。更に、O/Eから出力された電気信号は復調され、映像信号が再生される。

下り系では、カメラ制御信号を FM 変調し、1537nm の光信号を送出する。光信号は中継増幅後、光カブラにより各端局へ分配され、O/Eにて受信される。更に、O/Eから出力された電気信号は復調され、カメラ制御信号が再生される。

尚、双方向光増幅器への入力パワーは、表2に示した仕様に従い、上り系:-23dBm/total, 下り系:-28dBm に設定した。

実験では、100km伝送後のCNR評価を上り/下り系共に実施すると共に、ITVカメラで得られた監視映像の状態を実際に確認した。

3.2 実験結果

CNR 測定結果を図 7 に示す。

測定の結果、100km 伝送後の映像信号の CNR は、所要値(19dB)を上回っていることが確認された。そこで、光減衰器により更にO/E受光レベルを低下させ、CNR測定を実施した。これより、CNR は、およそ -30dBm/total 時まで所要値を満足することが確認でき、計算値とほぼ一致する値が得られた。

また、100km 伝送後のカメラ制御信号の CNR も、映像信号と同様に所要値(25dB)を上回り、計算値とほぼ一致した。

更に、100km 伝送後、実際に CNR=19dB 時の監視映像の確認を行った結果、鮮明な映像が得られ、監視システムとして問題のない品質レベルであることを確認した。

この結果、本開発システムの有効性を実証することができた。

4. おわりに

複数の地点で得た映像信号、及びカメラ制御信号の100km伝送を光ファイバ1心で実現すべく、双方向光増幅器を活用した一心双方向型のマルチドロップシステムを開発し、その有効性を実フィールドにおいて実証した。

最後に、本システムの開発、フィールド実験実施にご協力頂いた富士通 株 殿、関西電力 株 殿・横大路制御所の関係各位、並びに双方向光増幅器の開発にご協力頂いた光技術研究所・福島大氏、江森芳博氏に深く感謝致します。

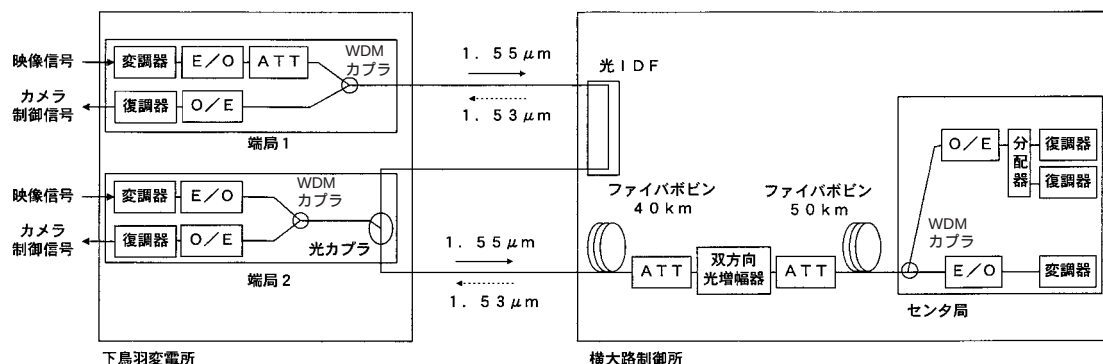


図 6 フィールド実証実験構成
Schematic setup of field test



写真2 端局外観
Appearance of terminal equipment



写真3 親局外観
Appearance of central equipment

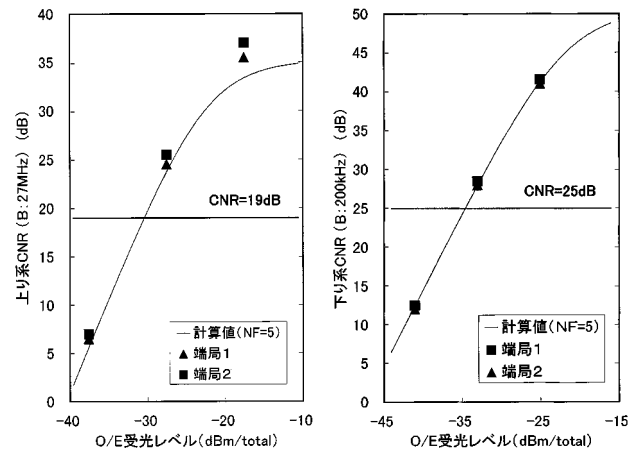


図7 CNR測定結果
Characteristics of CNR

参考文献

- 1) 松本, 他: 双方向光パッシブネットワークの検討 (その2), 信学技報, (1992), OCS92-2
- 2) 篠田, 他: 双方向光パッシブネットワークの検討 (その3), 信学技報, (1993), OCS93-16
- 3) 斉藤, 他: 光マルチドロップ SWFDM 方式による ITV 画像伝送システムの開発, 古河電工時報, No.94, (1994)
- 4) 下門, 他: 高利得化ブリッジ型双方向光増幅器の特性, 93 秋季信学全大, B-884, (1993)
- 5) Yamashita et al.: Field trial of long-haul bidirectional passive optical network employing a novel bidirectional EDFA and FM-SCM technique, 3rdOECC,(1998), 318