

# 高速 AGC 機能付，及びアナログ伝送用小型光増幅器

## Compact Optical Fiber Amplifiers with Fast AGC or for Analog Signal Transmission

鈴木幹哉\*  
Mikiya Suzuki

泉川寿治\*  
Toshiharu Izumikawa

岩下傑彦\*2  
Katsuhiko Iwashita

下大迫和隆\*2  
Kazutaka Shimoosako

高島伸一\*3  
Shinichi Takashima

吉川 徹\*4  
Toru Yoshikawa

青柳 靖\*4  
Yasushi Aoyagi

福島 大\*4  
Masaru Fukushima

**概要** 光ネットワークの導入と普及に合わせて，古河電工では各種光増幅器の開発を行っている。近年，波長多重システムではダイナミックに波長数が増減される add/drop 機能が要求されている。add/drop により頻繁に行われる波長の増減にともない，光増幅器の入力レベルが急激に変化する。その入力レベルの急変に追従する高速 AGC 制御が可能な光増幅器が必要とされている。また，FTTC または FTTH システムにおいては，通信だけでなく映像伝送サービスも要求されている。映像伝送は一般的にアナログ信号なので，アナログ伝送用光増幅器の仕様としては，小さい信号ひずみ特性が必要とされている。そこで今回，高速な過渡応答制御ができる AGC 機能付小型光増幅器，及びアナログ伝送用の小型光増幅器を開発したので報告する。

### 1. はじめに

近年，ユーザー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，ユーザー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いる。したがって，波長多重システム (WDM system: wavelength division multiplexing system) は，ダイナミックな波長数変更を利用した新たな光ネットワーク構成技術への適用が期待されている。波長多重された信号から任意の波長を add/drop するデバイスである OADM (optical add/drop multiplexer) などがネットワーク上に導入され，それら光部品の損失を補償するための Er ドープ光増幅器 (EDFA: Er doped fiber amplifier) が必要となる。OADM により任意の波長が頻繁に add/drop されるために，光増幅器への入力レベルが急激に変化する。光増幅器の利得制御 (AGC: automatic gain control) の応答時間が遅いと，入力レベルの急変に追従できず，出力レベルが過渡的に変化する。出力レベルの変動は伝送品質の劣化を引き起こすので，出力変動を抑圧するために高速な AGC が必要とされている。

また FTTC システム (FTTC system: fiber to the curb system) または FTTH システム (FTTH system: fiber to the home system) においては，通信だけではなく映像伝送システムも提供されることが期待されている。これらの映像伝送シ

テムにおいても，分配系光部品の損失を補償するために光増幅器が必要とされている。映像伝送信号は一般的にアナログ信号であるので，光増幅器の仕様として特に小さな信号ひずみ特性が要求されている。信号ひずみが大きいと受信機の画質が劣化するためである。また，使用環境として屋外設置対応 ( $-20 \sim +75^{\circ}\text{C}$ ) も要求される。

今回，高速な過渡応答制御が可能な AGC 機能付小型光増幅器及びアナログ伝送用の小型光増幅器の2種類を開発したので報告する。

### 2. 高速 AGC 機能付小型光増幅器

#### 2.1 構成

高速な過渡応答制御ができる AGC 機能付小型光増幅器の光学最大構成を図1及び表1に示す。外形寸法は， $150 \times 125 \times 20$  mm (ヒートシンク除く) でデファクトスタンダードを採用した。図2に外観を示す。このような小型パッケージに，LD (laser diode)，PD (photo diode)，カプラ，VOA (variable optical attenuator)，EDF (Er doped fiber) 及び EDF の温度依存性を低減するための EDF ヒータ，制御用電気基板などが収容されている。段間ロス (MSA loss: mid stage access loss) となる光部品挿入用の入出力光ポートを有し，電気コネクタはデファクトスタンダードである D サブ (25 ピン) を採用している。

LD の TEC (thermoelectric cooler) 及び EDF ヒータの制御方式は PWM (pulse width modulation) を採用し，消費電力の低減を図っている。電源電圧は  $+5$  V 単一電源で，光増幅器外部との通信方式はシリアル通信 (RS232: TTL level) を採用して

\* ファイテル製品部 光コンポーネント部

\*2 ネットワーク事業部 トランスポートプロダクツ部

\*3 ネットワーク事業部 技術部

\*4 研究開発本部 ファイテルネットワーク研究所

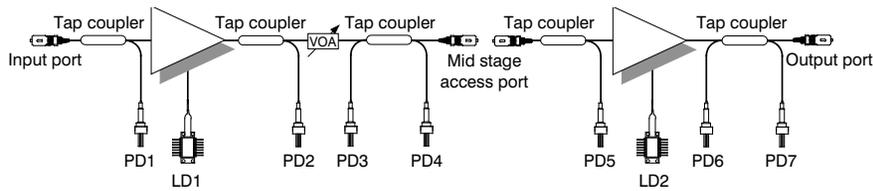


図1 高速AGC機能付小型光増幅器の光学最大構成  
Full-featured optical configuration of compact optical fiber amplifier with fast AGC

表1 高速AGC機能付小型光増幅器の構成  
Full-featured optical configuration of compact optical fiber amplifier with fast AGC

Item	Specification
Number of LD	2
Number of PD	7
Number of VOA	1
EDF heater	yes
Mid stage access	yes
Output power	up to +23 dBm
Dimension	150×125×20 mm (without heatsink)

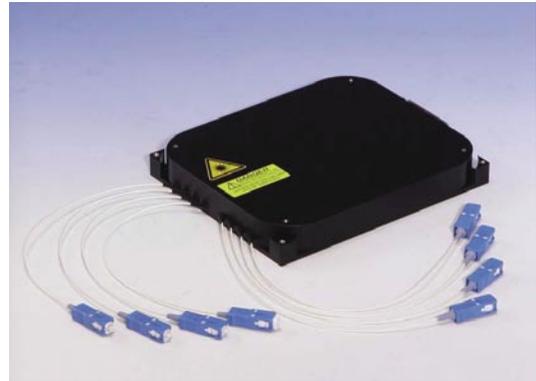


図2 小型光増幅器の外観図  
Appearance of compact optical fiber amplifier

いる。アラーム機能は筐体温度アラーム、光出力劣化アラーム、LD電流アラーム、光入力断アラームなどがある。また光入力レベルなどのモニタも可能である。光増幅器外部からの制御機能もあり、光出力強制遮断機能 (shutdown) 及び出力レベルをある値に低下させるAPR機能 (automatic power reduction) を有する。シリアル通信RS232を使用しての外部制御も可能である。

LDなどの制御方式はデジタル制御方式を採用し、ファームウェアなどを変更することにより要求仕様の変更に柔軟に対応できるようにしている。特にEDFの伝達関数は動作条件によって大きく異なり、AGCなどの制御パラメータをダイナミックに変化させることができる。また、ホットスワップ機能を有しているため、光増幅器がネットワーク上で運用中でもファームウェアのアップデートが可能である。光増幅器の光学構成は最終ユーザーごとに様々に異なるが、これに対して電気ハードウェアの変更を行う必要がなく、ファームウェア上の設定のみで対応できるようにした。今回、高速なデジタル回路及び独自の制御アルゴリズムを開発して、高速AGC制御を達成し、優れた過渡応答特性を実現した。

## 2.2 過渡応答特性

波長多重された信号の中で任意の波長がOADMによりadd/dropされると光増幅器の入力レベルが急変する。光増幅器のAGC制御の応答時間が遅いと、出力レベルが過渡的に変動する。その変動量が大きいと伝送品質に大きく影響し、符号誤り率が劣化する要因となる。過渡応答特性を表す指数として利得変動 (gain excursion), 収束時間 (settling time) 及び利得エラー (gain error) がある。利得変動は入力レベル急変時における光増幅器の利得変化量の最大値である。オーバーシュート (overshoot) またはアンダーシュート (undershoot) とも言われる。収束時間は利得が安定するまでの時間で、transient suppression timeである。利得エラーは入力レベルが急変する

前の利得と収束後の利得の変位量で、gain offsetである。

そこで今回、高速AGC機能付小型光増幅器の入力レベルを急変させ、利得の過渡応答特性を測定した。入力レベルの増加及び減少レベルは、6 dB及び15 dBとした。たとえば、入力レベルの6dB変動は入力波長が1波から4波のadd/dropに相当し、15 dB変動は1波から32波のadd/dropに相当する。図3に6 dB増加の時の過渡応答特性を示す。上の波形はトータル入力レベルで、下の波形は信号光当りの出力レベルを示している。図4～6も同様の波形である。測定条件は、段間ロスが10 dB, 出力レベルが19 dBm, 利得が26 dB, 入力レベルのadd/dropのスルーレートは0.1 μs以下である。利得変動は0.5 dBで、収束時間は20 μs, 収束後の利得エラーは0.2 dBが得られている。図4に6 dB減少の時の過渡応答特性を示す。測定条件は増加時と同じである。利得変動は0.7 dBで、収束時間は30 μs, 収束後の利得エラーは0.2 dBが得られている。図5に15 dB増加

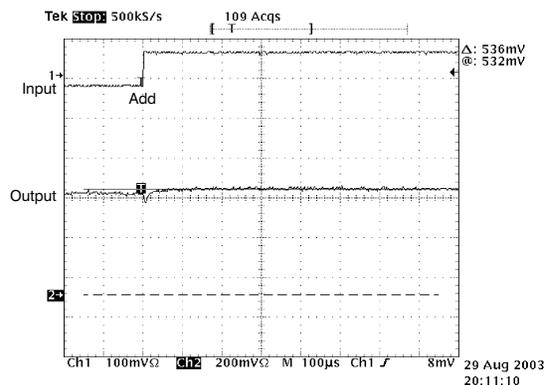


図3 入力6 dB増加した時(上の波形), 出力の過渡応答特性(下の波形)  
Transient response at 6 dB add condition

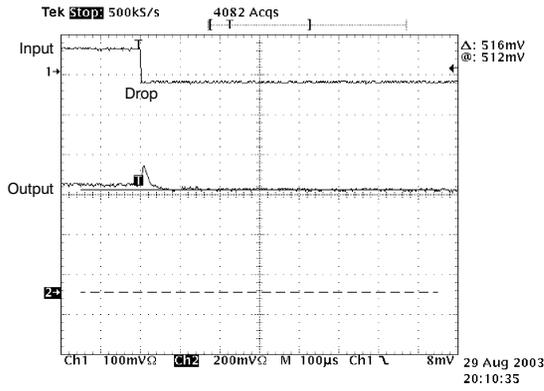


図4 入力レベルが6 dB減少した時(上の波形), 出力の過渡応答特性(下の波形)  
Transient response at 6 dB drop condition

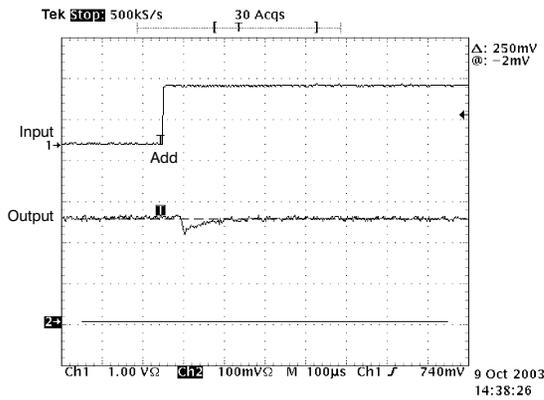


図5 入力レベルが15 dB増加した時(上の波形), 出力の過渡応答特性(下の波形)  
Transient response at 15 dB add condition

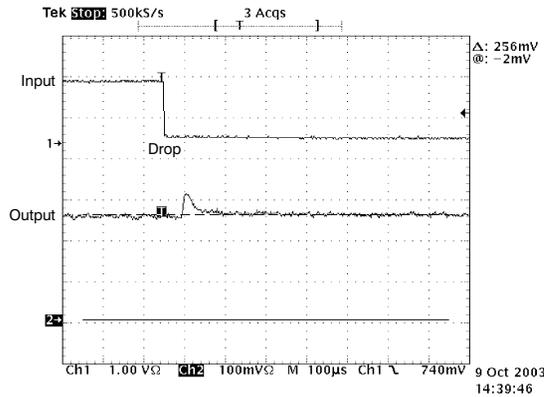


図6 入力レベルが15 dB減少した時(上の波形), 出力の過渡応答特性(下の波形)  
Transient response at 15 dB drop condition

の時の過渡応答特性を示す。測定条件は6 dB add/dropの場合と同じである。利得変動は0.7 dBで、収束時間は70  $\mu$ s、収束後の利得エラーは約0 dBが得られている。図6に15 dB減少の時の過渡応答特性を示す。測定条件は増加時と同じである。利得変動は0.8 dBで、収束時間は50  $\mu$ s、収束後の利得エラーは約0 dBが得られている。

これらの特性を表2にまとめてあり、優れた過渡応答特性を示している。

表2 高速AGC機能付小型光増幅器の過渡応答特性  
Transient characteristics of compact optical fiber amplifier with fast AGC

Transient type	Maximum excursion	Settling time	Maximum gain error
6 dB Add	0.5 dB	20 $\mu$ s	0.2 dB
6 dB Drop	0.7 dB	30 $\mu$ s	0.2 dB
15 dB Add	0.7 dB	70 $\mu$ s	0 dB
15 dB Drop	0.8 dB	50 $\mu$ s	0 dB

### 3. アナログ伝送用小型光増幅器

#### 3.1 構成

アナログ伝送用の小型光増幅器の光学最大構成を図7及び表3に示す。外形寸法は、高速AGC機能付小型光増幅器と同一寸法の150×125×20 mm (ヒートシンク除く)である。このような小型パッケージに、LD、PD、カプラ、EDF及び制御用電気基板などが収容されている。電気コネクタも高速AGC機能付小型光増幅器と同様にDサブ(25ピン)を採用している。

LDなどの制御方式は、高速AGC機能付小型光増幅器と同様にデジタル制御方式を採用し、ファームウェアなどの変更により要求仕様の変更に柔軟に対応できるようにしている。以下の機能も高速AGC機能付小型光増幅器と同様で、電源電圧は+5 V単一電源で、外部との通信方式はシリアル通信(RS232: TTL level)を採用している。アラーム機能は筐体温度アラーム、光出力劣化アラーム、LD電流アラーム、光入力断アラームなどがある。また、光入出力レベルなどのモニタも可能である。光増幅器外部からの光出力強制遮断機能及び出力レベルをある値に低下させるAPR機能も有する。シリアル通信RS232を使用して、外部からの制御も可能である。

また、2 W級980 nmマルチモードLDも搭載できるので、クラッドポンプ光増幅器として光出力レベルが最大+31 dBmまで可能である。

光学及び電気仕様を表4にまとめる。

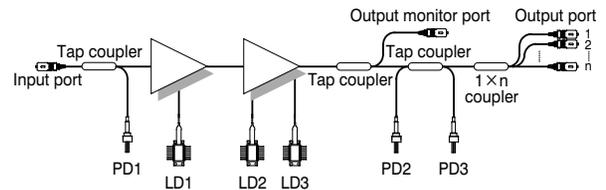


図7 アナログ伝送用小型光増幅器の光学最大構成  
Full-featured optical configuration of compact optical fiber amplifier for analog signal transmission

表3 アナログ伝送用小型光増幅器の構成  
Full-featured optical configuration of compact optical fiber amplifier for analog signal transmission

Item	Specification
Number of LD	3
Number of PD	3
Output power	up to +31 dBm
Dimension	150×125×20 mm (without heatsink)

表4 アナログ伝送用小型光増幅器仕様  
Performance of compact optical fiber amplifier for analog signal transmission

Item	Unit	Symbol	Specification
Wavelength	nm	$\lambda$	1540 ~ 1560
Input signal range	dBm	Pin	-10.0 ~ 0.0
Output signal range	dBm	Pout	+18.0 ~ +31.0
Noise figure	dB	NF	Typ. $\leq 5.0$
CSO distortion	dB	CSO	$< -80$
CTB distortion	dB	CTB	$< -80$
PDG	dB	PDG	$< 0.3$
Power supply voltage	V	—	+5
Communication	—	—	RS232 (TTL level)
Alarm	—	—	TTL level
Electrical connector	—	—	25 pin D-type plug

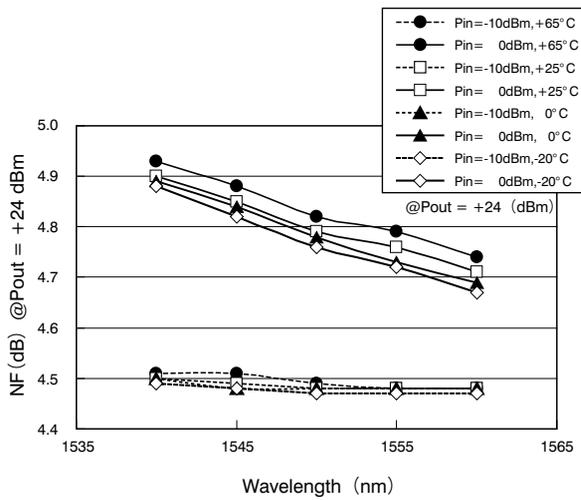


図8 アナログ伝送用小型光増幅器のNF  
NF of compact optical fiber amplifier for analog signal transmission

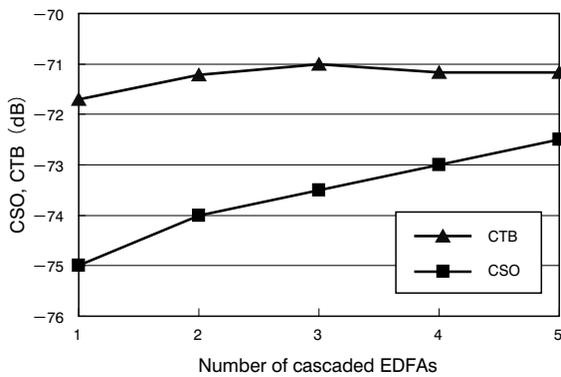


図9 アナログ伝送用小型光増幅器のCSO及びCTB  
CSO and CTB of compact optical fiber amplifier for analog signal transmission

### 3.2 光学特性

映像のアナログ伝送において、画質を劣化させる内部要因は、光増幅器で発生する雑音及び信号ひずみによる妨害などがある。光増幅器の雑音を表す指数の一つに雑音指数(NF: noise figure)がある。映像信号に光増幅器の雑音が重畳されるので、NFが大きいと受信画面上にスノー状のノイズが表れ、ザラザラした感じの画像となる。信号ひずみを表す指数にはCSO (composite second order distortion)及びCTB (composite triple beat distortion)がある。いずれの信号ひずみも画質に大きな影響を及ぼす。

そこで今回、アナログ伝送用小型光増幅器のNF、CSO及びCTBを測定した。図8にアナログ伝送用小型光増幅器のNF特性を示す。入力レベルが0 dBm及び-10 dBmで、出力レベルが+24 dBmのときの、NFの波長特性を示している。環境温度-20 ~ +65°Cにおいて、信号波長1540 ~ 1560 nmの範囲でNFは入力レベルが0 dBmで4.93 dB以下、入力レベルが-10 dBmで4.51 dB以下と良好な特性が得られている。また、信号ひずみCSO及びCTBの特性を図9に示す。アナログ伝送用小型光増幅器を5段カスケードした特性を示している。5段カスケード後のCSOは-72.5 dB、CTBは-71.2 dBを実現している。

さらに、アナログ伝送用小型光増幅器を5段カスケードした伝送路に実際の映像信号を通して、画質の主観評価試験も行った。5段カスケード後の受像機の画質を確認したところ、5段カスケードによる画質劣化は認められず、良好な画質が得られた。

## 4. おわりに

WDM伝送システム及びアナログ伝送用の小型光増幅器プラットフォームとして

- (1) 高速な過渡応答制御ができるAGC機能付小型光増幅器
- (2) アナログ伝送用の小型光増幅器

の開発を行い、それらを用いた光増幅器の光学特性を報告した。

今後これらのプラットフォームを使用し、光学構成及びファームウェアなどを最適化することにより、様々な小型光増幅器の要求に対応できる。

### 参考文献

- 1) 鈴木他: 電子情報通信学会ソサエティ大会, B-10-105(2003), 424.
- 2) 池谷他: 電子情報通信学会総合大会, B-10-142(2003), 572.
- 3) 日本電子機械工業会CATV技術委員会編「ケーブルテレビ技術入門」コロナ社(1994)