U.D.C. 654. 172: [621. 375. 826. 038. 825. 5:621. 382. 23]:681. 7. 068. 2

# マルチモード光ファイバを用いたVHFテレビジョン 7チャネル多重伝送システムの開発

Development of VHF Multichannel Television Transmission System Using Multimode Optical Fibers

日立BH(Buried Heterostructure)レーザと日立広帯域光ファイバを組み合わせ たVHF帯放送波多重伝送システムを開発した。従来,これらを組み合わせた伝送 システムではファイバ伝送による特性劣化があり、ニーズはあったものの実用化に は至らなかった。実験的,理論的な検討の結果、その原因は第一に反射波によるレ ーザ発光特性劣化,第二にレーザのチップ温度変動による波長変動,第三に多モー ド伝搬の結果生ずるひずみと判明した。これらの問題点はファイバ端面の加工、レ ーザ温度コントローラの使用、及び太径低屈折率差ファイバの使用により解決され た。その結果、VHF帯の放送波7チャネルを2kmまで伝送できるようになった。 本システムは、近い将来CATVやテレビジョン共聴システムなどへの適用が検討さ れている。

滝沢 武 <sup>*</sup>	Takeshi Takizawa
平野 広*	Hiroshi Hirano
淺井孝弘*	* Takahiro Asai
小山行雄*	* Yukio Koyama
梶岡 博*	* Hiroshi Kajioka

## 日 緒 言

光ファイバ(以下,ファイバと略称する。)を用いた画像伝送 なうと、(1)時間的に特性が変動する、(2)伝送ファイバ長さが

システムとしては,既にベースバンドテレビジョン信号用の ものが開発され,道路,鉄道などを中心とする広い分野で実 用化されている。

光伝送コンポーネントの特性改善により、テレビジョン放送分野への適用も可能となっており、IF(中間周波数)帯での伝送の試みも行なわれている<sup>1)</sup>。以上のシステムは、光源として発光ダイオードを用いたものであり、帯域や出力の点でVHF帯の多重伝送への適用は不可能であった。しかし、直線性の良好な半導体レーザの出現によって、テレビジョン共聴やCATV(Cable Television)への適用の可能性も出てきた<sup>2),3)</sup>。実際にレーザとファイバを組み合わせて伝送実験を行



注:略語説明

LD(Laser Diode) APD(Avalanche Photo Diode) GI形(Graded Index形) 長くなるほど特性が劣化する、という欠陥が現われ、技術的 な実現は容易でないことが分かった<sup>4)</sup>。

その原因の第一は、伝送路中の反射波によってレーザ発光 特性が劣化すること、第二はチップ温度変動によってレーザ 波長が変動してしまうこと、第三は伝送路中で多モード伝搬 ひずみが生ずること、の3点であった。

これらに対して,実験的,理論的検討を進めた結果,第一 の原因に対しては、ファイバの端面を加工することにより, 第二の原因に対してはベルチェ素子を用いたチップ温度コン トローラを使用することにより,また第三の原因に対しては 太コア径,低屈折率差のファイバの採用により,いずれも問 題点は解決された。

その結果,伝送距離2kmまでVHF帯テレビジョン放送波 7チャネルの多重伝送が可能となった。

本論文では、VHFテレビジョン多重伝送上の技術的問題 点とその対策,及び伝送実験結果を中心に述べる。

# 2 VHFテレビジョン多重光伝送系の概要

## 2.1 光伝送系の構成

図1にVHFテレビジョン多重光伝送系の構成を示す。ア ンテナなどで受信されたVHF帯テレビジョン放送波各チャ ネルの信号レベルをそろえた後,光送信器で半導体レーザを 直接強度変調している。半導体レーザの出力光は広帯域GI (Graded Index)形ファイバで伝送され,光受信器のAPD (Avalanche Photo Diode)で電気信号に変換され,所定の信 号レベルに増幅される。本伝送系ではアナログ光伝送方式を 採用し、かつファイバとして一般的なマルチモードファイバ を用いているため、光送受信器の回路構成が比較的簡単であ

図 | VHFテレビジョン多重光伝送系の構成 本伝送系では, | 個の光源と | 本の光ファイバを用いてVHF帯テレビジョン放送波をそのまま光信号に変えて, 多重アナログ伝送する。

り,光源や受光素子とファイバの結合法,及びファイバの接 続法(融着接続,光コネクタなど)に従来技術が容易に応用で きるという利点がある。

\* 日本放送協会営業総局 \*\* 日立電線株式会社電線研究所

65

508 日立評論 VOL. 63 No. 7 (1981-7)

#### 2.2 システム目標性能

**表1**にVHFテレビジョン多重光伝送システムの目標性能 を示す。現在のテレビジョン共聴施設やCATVなど<sup>5)</sup>の同軸 ケーブル伝送系の一部(幹線系など)への適用を考慮して目標 性能を決めた。

これらの性能を達成する上で,特に光伝送系での信号の質 の劣化が問題となった。すなわち,半導体レーザ,ファイバ, APDなどはそれぞれ所要の性能をもっているにもかかわら ず,これらを組み合わせた光伝送系で,信号の質が劣化する という現象が生じたためである。以下,この問題点とその対 策について述べる。

表 | VHFテレビジョン多重光伝送システムの目標性能 特に光 伝送系では,信号の質に関する特性劣化が問題であり,伝送チャネル数が多い ほど目標性能は高度になる。

	項目	目標性能
	伝送周波数帯域	90~222MHz
般	伝送チャネル数	非隣接7チャネル
特	光送信器入力インピーダンス	75 Ω
性	光受信器出力インピーダンス	75 Ω
信	光送信器入力レベル	80dBµV
号	光受信器出力レベル	80dBµV
レベ	チャネル間レベル差	3dB以内
ル	チャネル内振幅周波数特性	±1.5dB以内
信	C N Ht*	42dB以上
号 の	相互変調**	-50dB以下
質	混 変 調**	-46dB以下

## 8 光伝送系の技術的問題点と対策

特に問題となる光伝送系の特性は, 雑音特性と非直線ひず み特性の二つである。従来の光伝送系では, これらの特性を 決める要因は, 光源及び受信系(受光素子, 受信増幅器)の雑 音特性や非直線ひずみ特性が主であると考えられていた。し かし, 半導体レーザとマルチモードファイバを組み合わせた アナログ光伝送系では, 上記以外の要因で雑音や非直線ひず み特性が劣化することが分かってきた。表2に, 特性劣化要 因及び対策を示す。これらの対策のうち, 今回は特に実現性 を重視して, 反射防止とレーザ発光特性の温度安定化, 及び ファイバ構造の最適化について検討を行なった。

#### 3.1 半導体レーザ発光特性の安定化

半導体レーザの諸特性が反射光や温度変動によって影響を 受けることは既に知られている<sup>6),7)</sup>が、VHF帯テレビジョン 多重光伝送などのアナログ光伝送でのひずみ特性や雑音特性 に及ぼす影響については明確にされていなかった。しかし、 今回の諸実験により、反射や温度変動を少なくすることが、 ひずみ特性や雑音特性の劣化を少なくするための必須条件で あることが明確になった。

#### 3.1.1 ファイバ端面及びコネクタの反射防止

半導体レーザへの反射光としては、ファイバ入射端面、光 コネクタ、ファイバ出射端面などからの反射が考えられる。

注:\* 信号レベルと雑音レベル(帯域幅 4 MHz)の比

- \*\* 希望搬送波と妨害波(他チャネル)又は妨害波相互の作用に基づくビート波による妨害で、画面上にしま模様が現われる。
- \*\*\* 希望搬送波が妨害波によって変調される妨害で, 画面上にウインドワ イパが現われる。

表2 VHFテレビジョン多重光伝送系の特性劣化要因と対策 伝送系としての特性劣化は、半導体レーザと光ファイバを組み合わせた場合に 生ずるものであるが、劣化要因を明確に分離することは非常に困難であった。

伝	送特性劣化要因	対 策	
反射	光再入射によるレーザ特性の変動	○光伝送路構成デバイスの 反射防止	
		●光アイソレータの使用	
	2. 温度変動によるレーザ発光	○レーザチップ温度の安定化	
多モード	波長の変動	●レーザ発光波長の多スペ クトル化	
の変動	3. レーザ強度変調によるファ	●シングルモードファイバの使用	
	イバ励振モードの変動	○マルチモードファイバ構 造の最適化	

この反射対策として次の三つの方法がある。

(1) 端面に無反射コーティングなどの加工を施し反射を少なくする。

(2) 端面形状を斜めにして、反射光が半導体レーザ側へもどらないようにする。

(3) 半導体レーザとファイバの結合部にアイソレータなどを 挿入し、反射光が半導体レーザへもどらないようにする。 このうち、(1)は加工法が難しく、(3)はハードが複雑であり、 かつ価格が高いという欠点がある。(2)の方法は、反射防止効 果も十分あり,更に構造が簡単で製作が容易であるという利 点をもっているため、入射端面(半導体レーザとファイバの結 合部)及び出射端面(ファイバとAPDの結合部)には、この方 法を採用した。一方, 光コネクタ端面に対しても同様の方法 が有効であるが、製作の点ではコネクタ端面は直角のほうが 好ましい。このため、光コネクタに対してはファイバ端面を 直角にし、かつ両側のファイバ端面同士を密着させる方法を 採用した。図2に半導体レーザとファイバを結合させたとき のひずみ特性と雑音特性の劣化例,及びファイバ端面斜めカッ トや高精度密着形コネクタによる反射防止の効果を示す。ま た図3には、ファイバ端面及び密着形コネクタの写真を示す。 以上のような対策により、ひずみ特性や雑音特性を劣化させる ことなく、半導体レーザとファイバを結合させることができた。

# 3.1.2 半導体レーザの温度安定化

レーザの波長が不規則に変動すると伝送モード構成が変化 してしまい,このためファイバの伝達関数が変化し,その結 果,雑音特性が劣化してしまう。この現象はファイバの伝送 距離が長いほど顕著になる。

半導体レーザの波長は一般的には1~2℃ごとに数オング

注:〇印は、実施した対策を示す。

66

ストローム変化(ジャンプ)し、かつジャンプ点には温度ヒステ リシスがあり安定な動作が得られる温度範囲は狭い。実験の 結果、半導体レーザチップの温度は、±0.2℃程度に安定化す る必要があることが分かった。図4にレーザの温度制御の原理 を示す。ここでは、レーザチップを取り付けたステムの温度を サーミスタセンサで検出し、設定値との誤差が小さくなるよう マルチモード光ファイバを用いたVHFテレビジョン7チャネル多重伝送システムの開発 509



図 2 反射による半導体レーザのひずみ, 雑音特性劣化例と反射防止対策による特性改善例 ファイバからの反射によって, レーザのひずみ特 性は劣化し, 時間的変動が大きくなる。一方, 雑音特性ではファイバ長さに対応した周波数に異常雑音が生ずる。



(a) ファイバ端面(斜め)

(b)密着形コネクタ

67

図3 ファイバ端面形状及び光コネクタの外観 ファイバ端面は斜めに研摩している(傾斜角は10~15度が望ましい)。また,光コネクタはプラグとスリ ーブによって,ファイバ端面が精密に密着するようになっている。

に、ペルチェ素子に電流を印加している。なお温度調節器に
 はPID(比例・積分・微分)方式を採用しており、室温で±
 0.1℃以内に温度安定化ができた。図5に温度変動によって波
 長変動が生じた場合、及び温度安定化時の雑音特性の一例を
 示す。以上のような温度安定化により、波長変動による雑音
 特性の劣化をなくすことができた。
 3.2 ファイバ構造の最適化
 上述のような対策により、反射やレーザチップ温度変動に
 よる伝送特性劣化といった問題点は解決されたが、長尺ファイバ伝送によるひずみ特性劣化は解決されなかった。本節で



は、ファイバ伝送によるひずみ特性劣化のモデルと理論的解析,及び確認実験の結果について述べる。

#### 3.2.1 ひずみ発生モデルと理論解析

光ファイバは受動素子であるので,通常ファイバ伝送でひ ずみは発生しないはずである。しかし,変調角周波数ωで強 度変調されているレーザ出力は強度だけでなく励振モード数 も変調されるので,必然的にファイバ伝達関数もやはりωで 変調されてしまい,その結果ひずみが発生する。次に,この 点について簡単な解析結果を示す<sup>8)</sup>。

前提として、(1)ファイバ内でモード変換はない。(2)レーザ、 APDは完全な線形素子である。と仮定する。

レーザを $\cos \omega t$ に比例する電流で強度変調したときのファ イバ出力波形f(t)は次式で与えられる。

 $f(t) = \sum_{m=1}^{Mex} P(m) \cos \omega [t - \tau(m)] \cdots (1)$ ここに、Mexは励振モード数、P(m)はmモードの励振電力、 \tau(m)は群遅延時間差で次の(2)式で表わされる。

ただし、L: ファイバ長さ、C: 光速、m: コア中心の屈折 $率、<math>\alpha: グレーディング指数、\delta\alpha: 最適なグレーディング指数か$  $らのずれ、<math>\Delta: コアとクラッドの比屈折率差、M: 全伝搬モ$ ード数である。

ここで、(1)式のMexを次のように仮定する。

同一パッケージに収容し、パッケージ全体をベルチェ素子で冷却している。



68

 $Mex = Mav + \delta M \sin \omega t \cdots (3)$ (1)~(3)式から,基本波 $(\omega)$ 成分と二次高調波 $(2\omega)$ 成分との振 幅比を求めると、二次ひずみとして次の(4)式が得られる。

> $\eta_{2nd} = 20 \log \left[ \frac{\sqrt{2\lambda}}{16C} \cdot \frac{L \cdot \sqrt{\Delta} \cdot \delta \alpha \cdot \delta M \cdot f}{a} \right]$  $(dB)\cdots(4)$

ここに、a:コア半径、 $\lambda$ :レーザ波長、f:変調周波数 (4) 式はファイバ伝送に基づく二次高調波ひずみの伝送パラメ ータ及びファイバ構造パラメータ依存性を示す式である。こ れからファイバ構造としては、コア半径 a が大きく、比屈折 率差Δが小さく,最適グレーディング次数からのずれδαが小 さい(モード分散の少ない)ほどひずみの劣化が少ないことが 分かる。またファイバ長さが長くなると20log L(dB)でひず みは劣化する。

### 3.2.2 実験検討結果

図6に二次ひずみの長さ特性に関する計算値と実験結果を 示す。同図の計算値は、 $\delta M = 1$ としているが、これは例えば レーザとファイバのギャップを100µmとした場合に、レーザ の指向性の変化で $0.1 \sim 0.2$ 度の変化に対応する。また、 $\delta \alpha$ は ファイバの帯域特性実測値から逆算し、 $\delta \alpha = 0.05$ とした。こ の結果から、 $\delta M = 1$ で、ガウス形励振( $\sigma = 6$ )\*1)条件の計算 結果は実験値とほぼ一致しており,上述のひずみ発生モデル がファイバ伝送によるひずみ発生機構をよく説明していると 考えられる。



また,ファイバ試作を行ない伝送実験を行なった結果,コ ア径120µm, 比屈折率差0.6のファイバを用いて, ひずみ特性 をかなり改善できることが確認できた。

#### 4 伝送実験結果

#### 実験システム構成と装置の概要 4.1

図7に実験システムの構成とVHF帯テレビジョン放送波 の周波数配置を示す。また、図8に光送・受信器のブロック 図,及びファイバの構造を示す。アンテナで受信されたテレ ビジョン放送波(1, 3, 4, 6, 8, 10, 12チャネル)は、レベル コントローラで信号レベルをそろえられた後, 光送信器で各 ● は、ファイバⅡの測定値

図6 二次ひずみのファイバ長さ特性 ガウス形励振( $\sigma = 6$ )条件の 計算値と実験値はかなりよく一致している。

チャネルの光変調度が10%となるようなレベルに増幅され、 半導体レーザの出力光を直接強度変調する。2kmのファイバ を伝送された光信号は光受信器のAPDで電気信号に変換さ れた後、プリアンプ、メインアンプで所定のレベルまで増幅 され、VHF帯テレビジョン信号として出力される。

69



VHF帯テレビジョン放送波チャネル配置

VHF帯テレビジョン放送波7チャネル伝送実験システムの構成 図 7 本システムでは、VHF帯テレビジョン7チャネル(1, 3, 4, 6, 8, 10, 12チ ャネル)を1本の光ファイバで伝送している。

※1) (4)式では全モード均一励振 [P(m) = -定]を仮定しているが、ガウス形励振 [ $P(m) = e^{-\frac{m^2}{2a^2}}$ ]を考えた場合、 $\sigma = 6$  で(4)式よりもひずみが約6 dB 改善される。

512 日立評論 VOL. 63 No. 7 (1981-7)



図8 光送信器,光受信器のブロック図及びファイバの構造 レーザの光出力は温度制御,及びAPCによって安定化されており,受信器出力はAGC (自動利得調整)なしでも安定である。

表3 伝送実験結果(半導体レーザ,光ファイバ及び光受信器出力 信号の特性) 光ファイバ2km伝送後のテレビジョン信号は,いずれも目 標性能を満足しており,良好かつ安定な画質が得られた。

項	目	特性
	波長	826nm
レーザの特性(HLP-3400)	しきい値電流	26.5mA
温度=25℃	直流バイアス電流	37.5mA
	平均光出力	5mW
光ファイバの特性 <i>L</i> =2km	伝送損失	5.5dB
	伝送帯域	800MHz
	融着接続損失	0.2dB/I箇所
	コネクタ接続損失	0.6dB/I箇所
光受信器出力信号の電気的特性	信号レベル	80dBµV
	CN比	43~45dB
	相互変調	-52dB
	混 変 調	-46dB

#### 4.2 伝送実験結果

表3に本実験に使用した半導体レーザの特性,並びにファ イバの特性及び光受信器出力信号の特性を示す。光ファイバ 2km伝送後のテレビジョン信号は,いずれも目標性能を満足 しており,画質の点でも良好で光ファイバ伝送による劣化は みられなかった。特に,従来は時間的に画質が劣化するとい う現象がみられたが,今回の実験では時間的にも安定してい る。また,実際にファイバをケーブル化(スペーサ形ケーブ ル<sup>9)</sup>)して,架設振動実験などを行なったが,画質劣化はみら れを実現するための対策として、反射防止や温度制御による レーザ発光特性の安定化、及びファイバ構造の最適化を行な い、2kmの伝送実験で良好かつ安定な画質を得た。

VHF帯テレビジョン多重光伝送は、ケーブルが軽量であ ること、誘導妨害を受けないことなどの特長を生かして、テ レビジョン共同受信施設などへの適用が可能であり、更に実 用化に向けて検討を読けてゆく予定である。

将来は,更に長波長帯光源とシングルモードファイバを用いた長距離伝送や光デバイスの進歩により,光分配ネットワ ークなどへの適用も期待できる。

本開発を進めるに当たり,種々御指導をいただいた関係各位に対し,深く感謝の意を表わす次第である。

#### 参考文献

- 1) 池内:光ファイバによるテレビ中継放送所の雷害対策, テレビジョン学会技術報告, RE78-18(昭53-7)
- 2) 長野,外:埋め込みヘテロ構造半導体レーザの変調特性,電子通信学会信学技報,OQE77-19(昭52-6)
- 3) 長野,外:半導体レーザを用いたVHF帯光アナログ多重伝送の検討,電子通信学会信学技報,CS78-162(昭53-12) このほかに,昭54電子通信学会全国大会S12-6,7,8などがある。
- 滝沢,外:マルチモードファイバによるVHF-TV多重伝送, 昭55電子通信学会全国大会No.266(昭55-3)
- 5) 郵政省CATV技術研究会編:CATV技術,日本有線テレビジョン技術協会(昭50-4)
- 6) 例えば,昭55電子通信学会全国大会No.791~794など,半導体 レーザ特性への反射光の影響については数多くの研究検討が

## れなかった。

# 5 結 言

 $\mathbf{70}$ 

半導体レーザと広帯域GI形ファイバを用いて,1個の光源と1本のファイバでVHF帯テレビジョン放送波7チャネルを伝送距離2kmまで多重伝送することが可能となった。こ

行なわれている。

- 7) Hitachi Laser Diode Application Manual (昭54-6)
- 8) 梶岡,外:VHF-TV多重伝送用GIファイバの検討,昭55電 子通信学会全国大会,No.327及び昭56電子通信学会全国大会, No.926(昭55-3,昭56-4)
  9) 中居,外:VHF多重伝送用光ファイバケーブルの試作と伝送

実験,昭56電子通信学会全国大会No.1023(昭56-4)