# 地上デジタル放送実証実験用長距離光中継回線

## Long Distance Optical Transmission System for Field Experiment of Digital Terrestrial Television Broadcasting

石井 幸生 [*] Kosei Ishi
元吉 智宏 [*] Tomohiro Motoyoshi
篠田 誠也 [*2] Nobuya Shinoda
江頭 幸宏 [*2] Yukihiro Egashira
加藤 祐司 [*3] Yuji Kato

**概　要**　**東京通信ネットワーク（株）と古河電工は，社団法人電波産業会（ARIB）で実施している「地上デジタルテレビジョン放送暫定方式」に基づく実証実験の同時送信（SFN: Single Frequency Network）実験用として，東京・芝局から千葉・佐原局まで光回線を構築した。**

**光伝送システムは，芝局の1.55 μm帯外部変調型光送信機，中継局舎の光ファイバ増幅器，佐原局のAGC機能付き光受信機から構成されており，UHF帯（中心周波数485.15 MHz）のOFDM（Orthogonal Frequency Division Multiplexing）信号をそのまま光信号に変換し，光強度変調して伝送する方式を採用している。170 kmの長距離伝送は，光ファイバ増幅器5段の縦属接続により実現している。**

**OFDM信号の光伝送後のビット誤り率評価では，OFDM変復調器のBack to back接続と比較してビット誤り率の劣化はなく，良好な特性が維持されている。今回の実験評価にて，170 kmに及ぶOFDM信号用長距離光伝送回線が構築できることを実証した。**

### 1. はじめに

現在，社団法人電波産業会（ARIB）では，「地上デジタルテレビジョン放送暫定方式」に基づく実用規模の実証実験を行っている[1)]。この中で行われている東京・芝局と千葉・佐原局の同時送信（SFN: Single Frequency Network）実験では，芝局から放射されるデジタル放送波を佐原局まで中継伝送し，同時放射する必要がある。

このような地上デジタルテレビジョン放送における各送信局までの信号伝送網構築のために，地上放送波周波数帯のままのOFDM（Orthogonal Frequency Division Multiplexing）信号を光伝送する方式，いわゆる光SCM（Sub Carrier Multiplexing）伝送方式の活用が考えられる[2)]。

今回，東京通信ネットワーク（株）と古河電工は，このSFN実験用として芝局-佐原局間に光回線を構築し，OFDM信号を良好に伝送できることを確認したので報告する。

### 2. 光伝送方式の概要

光強度変調によるSCM伝送方式は，VHF帯，UHF帯のテレビジョン信号を再変調，周波数変換せずに伝送できる方式として，CATV分野を中心に活用されている。しかも，1.55 μm帯を利用すれば，エルビウムドープ光ファイバ増幅器（Erbium Doped Fiber Amplifier: EDFA）との組合せにより，電気信号に変換することなくファイバ線路損失を補うことができ，長距離中継伝送が可能となる。

この方式を地上デジタルテレビジョン放送で使用されるUHF帯のOFDM信号の長距離伝送に適用することで，高品質なSFN用光回線を構成することができる。

今回のSFN実験では，芝局から佐原局まで直線距離で約70 km（光ファイバ線路亘長では約170 kmとなる），中心周波数485.15 MHzのOFDM信号伝送が必要であった。そこで，波長帯1.55 μmの光送信機を用いた光強度変調によるSCM伝送方式を採用し，この光信号をEDFAにて多段中継増幅することで，佐原局まで全光の中継回線を構成した。

**図1**に芝局から佐原局までの光回線構成図を示す。

**表1**に今回用いた光送受信機及びEDFAの諸元を示す。

[*] 東京通信ネットワーク株式会社 技術部
[*2] ネットワーク事業部 光システム部
[*3] 研究開発本部 情報・電子研究所

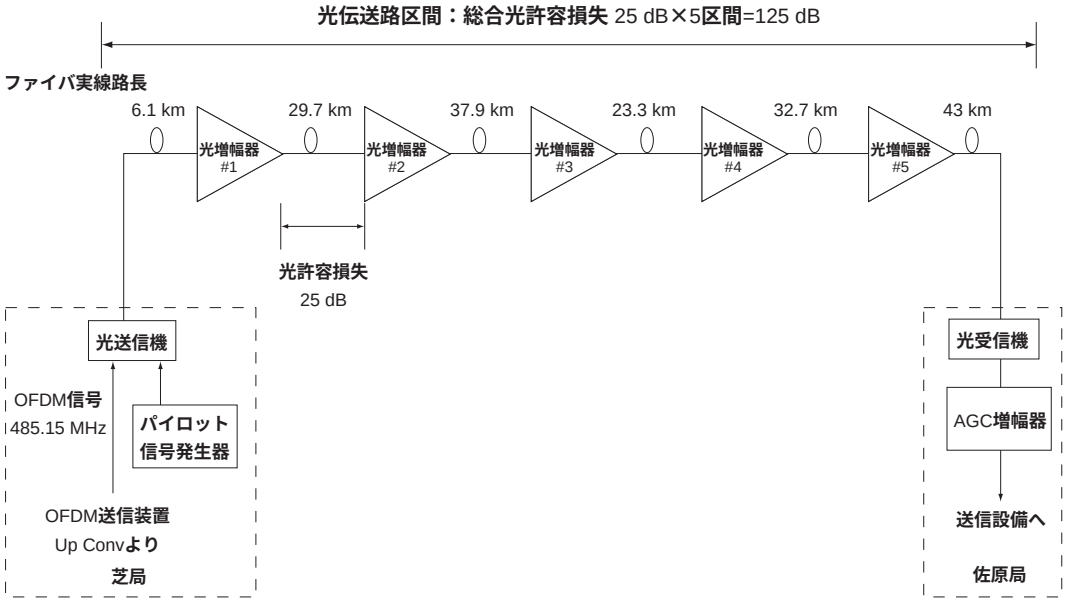



**図1**　芝局から佐原局までの光回線構成図
Configuration of optical transmission system from Shiba-office to Sawara-office

**表1**　光送受信機及びEDFAの諸元
Specifications of optical transmitter/receiver and EDFA

| 装　置 | 項　目 | 定格・性能 |
|---|---|---|
| 光送信機 | 伝送帯域幅 | 70～750 MHz |
| | 発光中心波長 | 1.55 μm帯 |
| | 光出力レベル | ＋7 dBm |
| | 相対強度雑音 | －160 dB/Hz |
| | 光変調方式 | 外部変調型 |
| 光増幅器（EDFA） | 光出力レベル | ＋13 dBm |
| | 雑音指数 | 5.5 dB |
| 光受信機 | 伝送帯域幅 | 70～750 MHz |
| | 入力換算雑音密度 | 7 pA/√Hz |

芝局の光送信機出力を6.1 km伝送して初段のEDFAにて光増幅後は，中継間隔を光許容損失最大25 dB（光増幅器出力＋13 dBm，次段の光増幅器入力－12 dBm以上）とし，これを5段中継して佐原局まで伝送している。総合の光許容損失は125 dBあり，ファイバ損失0.4 dB/km（@1.55 μm帯）で換算すると，伝送距離300 km余を確保できる回線となっている。

また，光送受信機はVHF帯からUHF帯全域をカバーできる広帯域なものであり，伝送帯域内であれば任意の周波数のチャンネルに対応でき，かつ，複数のチャンネルを周波数多重伝送も可能である。

なお，芝局では73 MHzのパイロット信号を周波数多重し，佐原局光受信機でAGC増幅することにより，佐原局送信設備への入力レベルを安定化している。

**写真1**に芝局に設置した外部変調型光送信機の外観を示す。

**写真2**に佐原局光受信装置の外観を示す。

## 3. 光伝送特性

回線設計は，光区間のCNR 40 dB以上（雑音帯域幅5.6 MHz）を目標性能として行った。暫定方式において最も高い情報レート（23.23 Mbps）となる伝送パラメータ（モード3，64QAM（Quadrature Amplitude Modulation），符号化率7/8）での所要CNR（Carrier to Noise Ratio）22 dB [1)] に対して，光区間で加算される雑音量の影響はほとんど無視できるレベルである。

**図2**に光回線のCNR設計結果と佐原局における実回線特性測定結果を示す。回線設計は，芝局の光送信機出力より，光増幅器入力－12 dBm，光増幅器出力＋13 dBm，中継段数5段後に，佐原局光受信機の光入力レベルを変化させたときの計算結果を示している。

実回線性能は回線設計値を上回る性能となっており，実測ではCNR 45 dB以上が確保できている。

**写真1**　芝局外部変調型光送信機外観
Appearance of optical external transmitter at Shiba-office

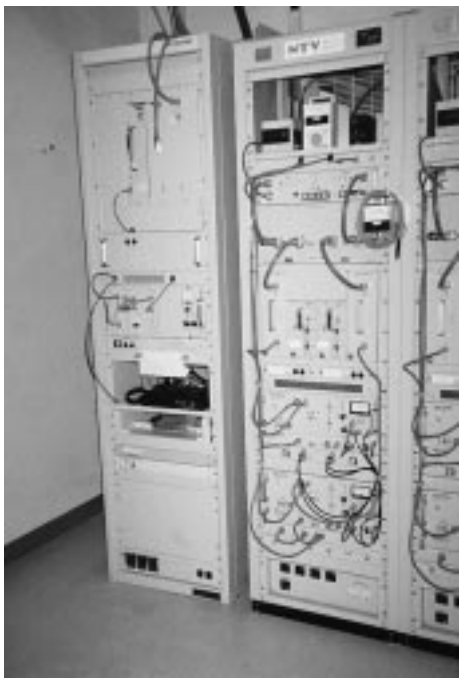


**写真2**　佐原局光受信装置設置状況
Rack mount view of optical receiver at Sawara-office

## 4. 総合特性

**表2**に今回の実験に使用したOFDM信号の伝送パラメータを示す。

**図3**にOFDM信号のビット誤り率の測定結果を示す。

実験は，まずOFDM送信装置とOFDM受信装置をBack to Backで接続してビット誤り率とCNRの関係を測定し，つぎに，実回線で芝局から佐原局へ伝送後に同様の測定を行った。実回線はCNR 45 dB以上の特性が得られているため，Back to Backの測定と同様に，熱雑音発生器からの雑音を重畳し，実験系を構成している。

ビット誤り率は誤り訂正符号を全く付加していないビット列で測定している。Back to Backでの測定，及び，佐原局まで光伝送後の特性共に，十分なビット誤り率特性が得られており，また，両者にはほとんど差異は見られない。芝局から佐原局までの約170 kmの光伝送後も十分良好な特性が得られているといえる。

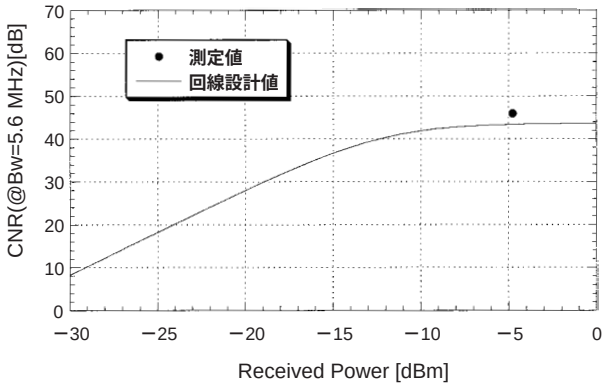



**図2**　佐原局伝送後のCNR特性
CNR characteristics at Sawara-office

**表2**　OFDM信号伝送パラメータ
Transmission parameters of OFDM signal

| 項　目 | 条　件 |
|---|---|
| MODE | 3 |
| ガードインターバル比 | 1/16 |
| 変調方式 | 64QAM |
| 内符合 | なし |
| キャリア数 | 5617本 |
| 使用セグメント数 | 13 |
| 受信帯域幅 | 広帯域（5.6 MHz） |

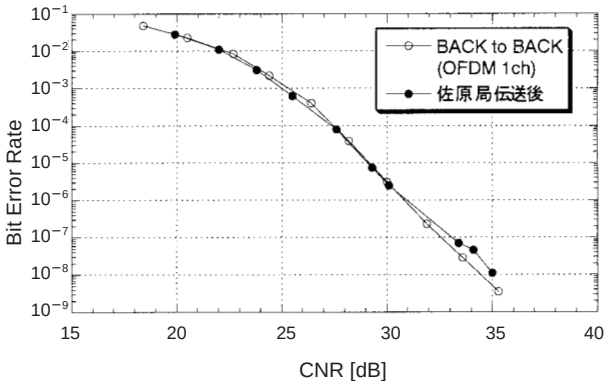
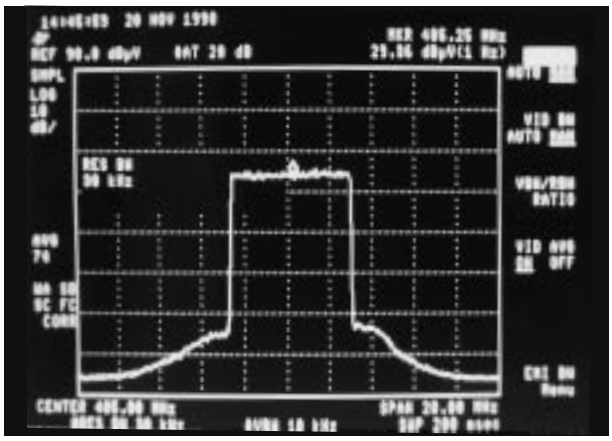


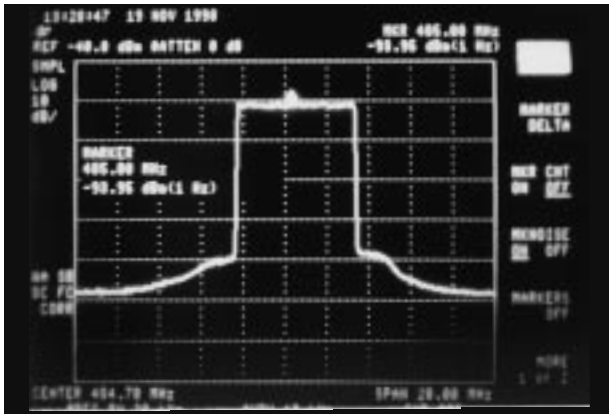

**図3**　OFDM信号1波伝送時のビットエラー特性
CNR vs bit error rate performance

**写真3**にOFDM送信装置出力におけるスペクトラム（写真3-a）と佐原局まで光伝送後のOFDM受信装置入力におけるスペクトラム（写真3-b）を示す。

OFDM信号は多数のキャリアで構成されているため，非直線歪が大きいと3次混変調成分が発生し，伝送特性が劣化する。このような劣化状態をスペクトラムアナライザで観測すると，矩形のOFDM信号スペクトラムの帯域外裾野が高く盛り上がった波形となる。写真3aとbの比較から，佐原局までの光伝送後もOFDM送信装置出力と同等のスペクトラム（OFDM信号の各キャリア実効尖頭値レベルと帯域外歪波で約40 dBのレベル比）が維持されており，このことからも光回線の良好な直線性が確認できる。



a）　芝局OFDM送信装置出力スペクトラム
OFDM transmitter output spectrum at Shiba-office



b）　佐原局伝送後のOFDM受信装置入力スペクトラム
OFDM receiver input spectrum at Sawara-office

**写真3**　OFDM信号スペクトラム
OFDM signal spectrum

## 5. おわりに

地上波デジタル大規模実験の芝局から佐原局までのSFN実験用光中継回線を光増幅器の適用により構成し，OFDM信号を十分良好な特性で伝送できることを確認した。

光強度変調によるSCM伝送方式は，

1）　OFDM再変調，周波数変換を必要としないシンプルな構成である。

2）　光増幅を使用しない短距離構成から，光中継増幅段数を増やした更なる長距離構成まで，自由度のある光中継回線設計が可能である。

3）　光送受信機の帯域幅が広く，直線性も十分に確保されているため，同時に複数のOFDM信号を伝送可能である。

といった特長，可能性を有している。

今後も，放送波中継伝送方式の有力な手段として，SFN用長距離中継回線，ギャップフィラー対策のための送信所間中継回線等，幅広い適用領域での検討を進めていきたい。

### 参考文献

1）三木ほか:“地上デジタルテレビジョン放送実証実験用送信設備”，映情学会誌, Vol.53, No.2, 1999

2）高田ほか:“OFDM野外伝送実験”，映情学会技報, Vol.21, No.52, 1997