デジタル光 FPU 装置の開発

Development of a Digital Optical FPU

正会員 若森和彦^{†1}, 林 武史^{†1}, 北村国広^{†1}
神田賢一^{†2}, 正会員 真島恵吾^{†3}, 正会員 星野良春^{†4}
Kazuhiko Wakamori^{†1}, Takeshi Hayashi^{†1}, Kunihiro Kitamura^{†1}
Kenichi Kanda^{†2}, Keigo Majima^{†3} and Yoshiharu Hoshino^{†4}

Abstract We first examined the applicability of optical wireless transmission systems to a Field Pick-up Unit (FPU) for TV relay. Assuming that the transmission was digital, the characteristics of light wave transmission through the atmosphere under various weather conditions and then investigated the code error characteristics of the transmission path. Using the results of these investigations, we developed an optical FPU and confirmed its suitability for practical use by testing it on a variety of programs. We also made an experimental optical FPU for high-definition television and demonstrated the possibility.

キーワード: 空間光伝送, FPU(Field Pick-up Unit), デジタル伝送システム, デジタル信号処理

1. ま え が き

現在、テレビ中継現場における信号伝送には、ケーブルまたはマイクロ波が使われている。そして、最近のデジタル化、ハイビジョン化による伝送容量の増大を受け、ケーブルの光化が進展している。しかし、ケーブルの敷設には多大の労力と時間を必要とし機動性に欠けるという問題があり、ワイヤレス化が望まれている。しかし、マイクロ波を用いた FPU(Field Pick-up Unit)装置は、電波法上の制約や混信・マルチパスなどの問題があり、一度に運用できる数に制約がある。さらには電波資源の逼迫のため大容量伝送を行える帯域を確保することは困難であり、未開領域(ミリ波帯)での開発が必要となってくる。

それに対して、「ケーブル不要-----優れた機動性」、「混信・マルチパスフリー」、「広帯域(大容量)性」といった特徴を有する『空間光伝送』は、近年屋内における無線

LAN システムや AV 機器の信号伝送に利用が広がってきている¹⁾²⁾。また、屋外システムにおいても監視映像の伝送や放送素材の伝送用システムが開発されてきている^{3)~5)}。しかし、それら従来システムはアナログ伝送が主体であるため、屋外の大気中における空間光伝送のような散乱・吸収・揺らぎといった大気の影響を受け易く、そのようなシステムは、高品質と信頼性を要求される放送分野への適用は難しいとされてきた。

しかし我々は、デジタル空間光伝送における誤り発生 の性質を評価し、近年発展が目覚ましいデジタル信号処理技術を効果的に適用することで、空間光伝送に伴う課題を克服し、放送分野への適用の可能な実用的光 FPU 装置を開発することができると考え、その実用化に向けて要求される機能を満たすべき技術の評価を行い、光 FPU 装置の開発を進めてきた⁶⁾⁷⁾。

本論文では、空間光伝送における誤り発生 の性質について論じ、次にその結果を踏まえた実用レベルのデジタル光 FPU の開発とその評価について述べる。

2. 空間光伝送における誤り発生とその評価

光 FPU の設計においては、まず大気中の光伝搬特性を評価する必要がある。屋外での空間光伝送では、気象条件等、大気の影響を非常に受け易く、そのため伝送品質が劣化し、デジタル伝送では伝送符号の誤りが発生する原因となる。

大気中には、大気構成気体分子や霧滴や雨滴といったエアロゾル等、様々な大きさの粒子が存在する。そのため、この中を伝搬する信号光は、これらの粒子によって散乱・

1998 年 4 月 23 日受付, 1998 年 10 月 2 日最終受付, 1998 年 10 月 13 日採録

†1 浜松ホトニクス株式会社 中央研究所

(〒434-8601 浜北市平口 5000, TEL 053-586-7111)

†2 NHK 名古屋放送局

(〒461-0005 名古屋市中区東横 1-13-3, TEL 052-952-7251)

†3 NHK 放送技術研究所

(〒157-8510 東京都世田谷区砧 1-10-11, TEL 03-5494-2229)

†4 NHK 技術局技術開発センター

(〒150-0041 東京都渋谷区神南 2-2-1, TEL 03-5478-5339)

†† Central Research Lab., Hamamatsu Photonics K. K.

(5000, Hirakuchi, Hamakita-shi, Sizuoka 434-8601, Japan)

†2 NHK Nagoya Broadcasting Station

(1-13-3, Higashisakura, Higashi-ku, Nagoya 461-0005, Japan)

†3 NHK Science and Technical Research Laboratories

(1-10-11, Kinuta, Setagaya-ku, Tokyo 157-8510, Japan)

†4 NHK Engineering Administration Dept.

(2-2-1, Jinnan, Shibuya-ku, Tokyo 150-0041, Japan)

(a) Change of beam pattern by scintillation

(b) Change of the detection power

図 1 到来した光ビームパターンと受光強度の変動
Change of the beam pattern and the detection power.

(a) Bit Error Rate

(b) % Error Free Seconds

(c) Change of the detection power

図 2 空間伝搬特性
Characteristics of atmospheric transmission.

吸収を受け、受信機に到達する光強度が減衰する。このような受光強度の低下は信号対雑音比(S/N)を低下させランダム誤りを発生させる。

さらに、気温等の変動による大気屈折率変動の影響も受ける。この変動には、周期が非常に長く、大きな変動を見せるものと、非常に周期が速く、細かな変動を見せるものがある。前者はビームベンディングと呼ばれ、主に大気屈折率傾度の変化によるもので、光ビームの曲がり具合が変化するため、受信点における光の到来位置や到来角度を変化させる⁸⁾⁹⁾。後者は大気中の微視的温度の揺らぎが主な原因であり、伝搬光のビーム径が大気屈折率揺らぎの平均的なサイズに比べて小さい場合は、スポットダンシングと呼ばれる細かな到来位置変動を引き起こし、伝搬光のビーム径が大気屈折率揺らぎの平均的なサイズに比べて大きい場合は、ビーム内の光強度密度を不均一にし、なおかつ、それが時間的に変動するシンチレーションと呼ばれる現象を生じさせる⁸⁾⁹⁾。そのため、シンチレーションが生じた場合、到来した光ビームの一部のみ受光する系では受光強度が変動する。そして、受信強度が符号識別レベル以下に瞬間的に低下するとバースト誤りが生じる。図 1(a)に、シンチレーションによる光ビームパターン($\lambda=780\text{ nm}$ /距離 1 km : 光の減衰や散乱により観測するビームパターン

が散漫にならない程度の距離)の変動の観測例を示す。図中の明るい部分ほど光強度の強い場所である。そして、左図から右図へは $1/30$ 秒での遷移を示している。また、図 1(b)にこの時の受光(口径 100 mm のレンズ使用)強度の短時間変動の測定結果を示すが、非常に大きな受光強度変動が実際の大气中の光伝送では生じ得ることがわかる。

また図 2 に、空間光伝送における符号誤り特性と受光強度の変動の測定例を示す。なお、ここでの実験は、空間光

伝送時の符号誤り特性が明瞭に現れるように長距離(6 km)で実験を行った。実験には、符号誤り率測定器を使い、100 Mb/s の M 系列(2^7-1)信号を直接強度変調で送信し($\lambda=810$ nm), 1 分間単位で計測した受信信号の Bit Error Rate(BER)と %Error Free Sec.(%EFS)を示している(図 2(a)および(b))。 (a)において「エラーなし」とは、1 分間の観測時間内において 1 ビットも符号誤りを観測しなかったことを表している。また、%EFS とは、観測時間内(1 分間)の中で各 1 秒の時間中に 1 ビットも伝送誤りが生じなかった割合(トータル 60 回中にエラービットが生じなかった率)を示す。相対的受光強度は、1 分毎に受信信号光強度(2 値化前に分岐)を時定数=0.2 ms の積分回路を通し 16 回のサンプリングを行い、その平均値を計測したものである(図 2(c))。なお、図では測定装置の分解能が充分でない点と、背景光雑音を差し引くためフロアと若干の負のオフセットが生じている。図 2 において、降雨や霧による減衰で受光強度が低下した場合(図中の 3:00~8:00 の時間帯)には、BER の悪化と共に %EFS が低下していることがわかる。この場合はランダム誤りが生じている。また、日中には受光強度が充分でも時々 BER の悪化が生じている。しかし、このときの %EFS の低下は軽微である。このような場合は、バースト的な誤りが生じていると推定される。

生じているバースト長を推定すると、図 2(a)にあるような 1 分間で $BER=10^{-6}$ 程度のものが一度のバースト誤りだけで生じた場合、擬似ランダムパターン“1”がすべて“0”に誤ったと仮定すると、実験での伝送速度が 100 Mb/s であるので、バースト長は 12000 ビット(=0.12 ms)となる。また、希に観測される $BER=10^{-4}$ となるようなバースト誤りが一度だけで生じたとした場合には 0.012 秒となるが、画像伝送の 1 フィールド時間(1/60 秒)よりも短いことがわかった。

3. デジタル光 FPU 装置の開発

放送業務に供される FPU 装置としては、伝送誤りが極力生じないような設計を行うことはもちろんであるが、たとえ伝送誤りが生じた場合でも、放送素材中に伝送誤りの影響が及ばないような工夫が必要となる。そこで、デジタル伝送の特長を活かし、誤り訂正を初めとしたデジタル信号処理技術の適用を検討した。適用する技術には、高い信頼性と内部の処理速度に応じた高速性が必要である。

2 章で述べたように、空間光伝送はランダム誤りとバースト誤りの混在した複合誤りの生じる系である。このような系は、デジタル VTR におけるヘッドアンプノイズや熱雑音、テープノイズによるランダム誤りと磁性層の欠陥や付着した塵等によるバースト誤りとの複合誤りと非常に酷似している¹⁰⁾。

このような統計性を持つ誤りに対処するための誤り訂正方式としては、すでに広範囲に利用されており、他の訂正

方式に比べてバースト誤りにも適応性が良く、入手可能な処理用 LSI の動作速度も速いリードソロモン(RS)符号¹¹⁾を採用することとした。また、訂正能力を超えるバースト誤りも予測されるため、映像・音声データの強い隣接間相関を利用した修正(コンシールメント)技術の適用も必要となる。なお、これらの技術は、放送用デジタル VTR にも適用されている技術¹⁰⁾でもある。

以上の検討をふまえ、上記の方式を空間光伝送に適用した場合、有効に機能するかを検証するため、実際の大气中伝送に対する実験を行い、その効果を評価したところ、非常に良好な結果を得⁷⁾、その結果を基に光 FPU の設計を行った。

3.1 光 FPU の要求仕様

光 FPU 装置開発にあたり、その仕様目標の設定を行った。まず、光 FPU 装置は従来のマイクロ波を用いた FPU と補完関係にあるものと位置付け、光の持つ特徴を活かしつつ、従来の FPU 装置と同程度の使い勝手を得ることを目標とした。

- ・機動性を得るための小型軽量化(1 人で運べる)
- ・柔軟な運用性：光送受信ヘッド(アンテナ)部と信号処理部の分離と光ファイバを使ったインタフェース。ヘッド部のバッテリー運用。双方向伝送の確保。
- ・簡易な方向調整
- ・従来の FPU 以上の伝送品質
- ・使用レンジ：最大 2 km/標準運用 1 km

上記の目標を達成し、なおかつ良好な放送品質を安定的に維持するため、開発する光 FPU は、追尾を行わず、受信点でのビームサイズを大きくすることで運用に伴う機械的振動等に対応し、それにより生じる受光強度の低下やバースト誤りの発生確率の増加には、デジタル信号処理で対応することとした。

3.2 光 FPU のデジタル信号処理

前項の要求仕様に対応するため採用した方式は、D 3-VTR の信号処理¹⁰⁾をベースとしたものである。なかでも誤り訂正、コンシールメント、シャフリングは、受信データ再生の信頼性を高める中核部分である。

誤り訂正符号は、少ない冗長度で誤り訂正能力が高く、シンボル単位での誤り訂正であるため、ランダム誤りとバースト誤りが混在する系に対して適合性が良いリードソロモン(RS)符号を使っている。そして、さらに訂正能力を高めるため積符号化した。また、長いバースト誤りにも適

表 1 誤り訂正符号構成の諸元
Error correction code configuration.

	符 号 構 成		パリティ 付 加 率
	内符号	外符号	
映 像	RS(95, 87)	RS(136, 128)	16%
音 声	RS(95, 87)	RS(16, 8)	118%

応できるように深いインタリーブを行っている。事前のシミュレーションでは、ランダム誤りに対して図5に示すように、誤り訂正後のシンボルエラーレートが映像や音声データで誤りを検知できる限界といわれる 10^{-7} となる訂正前の BER は約 2×10^{-3} であり、この差を受信パワー換算すると約 3 dB のマージンが得られた。表1に使用した誤り訂正符号の諸元を示す。

コンシールメントは、誤り訂正限界を超えた誤り発生が生じたとき、誤ったサンプル値に最も近いと思われる値を生成して置換することにより、視覚上、聴覚上、誤りを目立たなくさせる手法であり、前節で示したような訂正能力を超える長いバースト誤りが生じる可能性がある空間光伝送で、放送素材伝送を行う場合不可欠な機能といえる。

シャフリングは、隣接するサンプル値どうしを分散させて伝送する処理である。これにより、誤り訂正能力を超えるバースト誤りが発生しても、隣接サンプルが誤っている確率が小さくなるため、精度の高い修正ができる。

また、伝送品質の低下に伴い、伝送データからのクロック抽出や同期信号消失が起こる可能性がある。そこで、同期消失が生じた場合でも、新たに正しい同期検出が行われるまでは消失前のタイミングを維持するようにクロックシステムを動作させ、処理回路の停止を招かないようにした。

3.3 光伝送ヘッド部

信号を送受信するアンテナに相当する光伝送ヘッドは、小型軽量化し、かつ広い実効受光面積を確保するため、投光・受光を同軸とした光学系を採用した。送信光と受信光とは波長を変え、ダイクロイックミラーで分離することで光パワーの有効利用を図っている。送信用発光素子には大きな出力が得やすい近赤外 LD ($\lambda=800$ nm 帯) を用いた。また、データレートが 200 Mb/s 以上となるため、受光素子にはできるだけ大きな受光エリアが得られ、かつ、高速性に優れた低容量の Si-APD を用いた。図3に空間光伝送ヘッドの受信パワーと BER の関係を示す。

伝送のレベルダイアグラム設計に際しては、まず光の大気伝搬による減衰をどの程度見込むかの検討を行った。そして、基準として運用可能確率(平均的な運用距離と思わ

れる 1 km で光 FPU を使用したときの運用が可能となる確率)を定義し、それが 99%以上確保できるようにするため、東京、名古屋、大阪などにおける光波の統計的減衰確率¹²⁾が 1%以下となる値(20 dB)以上のシステムマージンを目標とした装置設計を行った。

その結果、光ヘッドの伝送レベルダイアグラムは、

- 送信出力：11.7 dBm
- 送信ビームと受光視野の重なり：-31.7 dB
(送信器から見た受光レンズの立体角と送信ビームの立体角の比であり、ここでは、受信点のビーム径をこれまでの実験から得られた設置点の揺れや日周的なビームベンディング量等を考慮して 5 m とし、受光レンズ径 130 mm としている)
- 受光器ロス：-1.5 dB
- 最小受信パワー：-40 dBm

よってマージン=18.5 dB となり若干不足であるが、誤り訂正等によるマージンが 3 dB 以上見込めることから、トータルでのシステムマージンは 20 dB 以上を確保できた。すなわち、この 20 dB が伝送路での擾乱に対するマージンとなる。

4. 光 FPU 装置の特性および運用評価

完成した光 FPU の特性評価を行った。まず、デジタル信号処理の効果を確認するため、ランダム誤りやバースト誤りを任意に設定できるような擬似的伝送路を構築し、伝送路の劣化状況に対する誤り訂正能力やコンシールメントの能力を評価する実験を行った。実験構成図を図4に示す。ランダム誤りは、伝送路の状況を符号誤り率測定器でモニタしながら所定の BER になるように光 FPU に入射する信号光パワーを制御して発生させた。バースト誤りは、伝送路上のシリアルデータ列を所定の時間だけすべて“0”にする回路を設け生じさせた。伝送結果は、光 FPU の映像出力をモニタで見ながら評価した。

その結果、ランダム誤りに対しては、伝送路の状態が $BER=10^{-3}$ までは完全に訂正でき、コンシールメントを行った場合には、 $BER=10^{-2}$ 程度まではエラーを知覚で

図3 空間光伝送ヘッドの受信特性
Change of the detection power versus BER.

図4 光 FPU の誤り訂正能力評価実験ブロック図
Error correction ability evaluation experiment block diagram of optical FPU.

図5 光FPUの誤り訂正能力とエラー認識結果
Error correction ability and error recognition result for the optical FPU transmission.

きなかった。図5に光FPUの誤り訂正能力のシミュレーションと評価実験の結果を示す。図中の破線は誤り訂正を行わない場合、実線は誤り訂正を行った場合のシミュレーション結果である。なお、RS符号はシンボル単位の誤り訂正であるため、図の横軸も本来はSymbol Error Rateとなるが、計測する伝送路の状態(BER)と対応づけるため、シミュレーションでは、生じるエラーは十分に分散していて、1シンボル(8ビット)中に複数のエラービットは存在しないと仮定し、図の横軸をBERとしてある($BER = \text{Symbol Error Rate}/8$)。また、図中の点1は、光FPUの誤り訂正やコンシールメントをオフした時に映像上でエラーを知覚できた点、点2は伝送路の状態をモニターしているBERテストが同期外れを起こさずに動作している限界点で、ここではエラーを知覚できなかった。点3は、伝送路をさらに劣化させエラーを知覚できた点である。この時のBERは、光FPUが受信する信号光のパワーから推定したものである。この結果を見ると、誤り訂正後のシンボルエラーレートが誤り訂正を行わない場合に比べかなり悪くなっているにもかかわらずエラーを知覚されていないのは、コンシールメントによる効果と考えられる。この誤り訂正およびコンシールメントによる効果を図3の受信特性の結果と対比し、受信信号光のレベルに換算すると約6dB強のマージンに相当する。この結果、光FPUのシステムマージンは光ヘッド部のマージン(18.5dB)と合わせて約25dBとなり、3章で触れたように1kmで運用した場合、不稼働率は0.3%以下となる。図6に伝送路の状態が $BER = 10^{-3}$ 時のデジタル信号処理前後の映像を示す。

各フレーム毎にバースト誤りを与えた場合には、0.3msまでのバースト長は訂正可能であり、コンシールメントをフレーム内だけで行った場合は0.8msまで映像エラーを知覚できなかった。また、ワンショット的にバーストエラーを与えた場合には、10ms程度のバースト長でもエ

(a) Reflection without digital signal processing

(b) Reflection after digital signal processing

図6 光FPUの信号処理能力($BER = 10^{-3}$ の時)
Digital signal processing ability of the optical FPU under $BER = 10^{-3}$.

ラーは知覚できなかった。したがって、2章で推定したバースト誤りの大部分は訂正でき、訂正能力を超えるバースト長の誤りも修正できることを示している。

フィールドテストは100m~4km程度の距離範囲まで実施し、方向調整も1km程度の短距離の場合には短時間で行うことができた。そして、4kmの距離でも受信映像は、放送素材として十分な品質を安定に保つことができた。ロボットカメラを使った長期試験では、光FPUの双方向性を活かし、4つある音声チャンネルのうちの1回線を制御回線として使うことで、従来必要とした制御用無線回線や有線回線が不要となり、カメラ設置の自由度が向上した¹³⁾。また、アトランタ・オリンピックを初めとした海外での使用も、光波領域は日本と同様に各国とも電波法の対象外であり、当然現地のFPU(マイクロ波)と干渉しないため自由に利用でき、取材の自由度の向上に貢献した¹⁴⁾。また、各種の気象条件下での運用実験も行い、伝送先のビル等の大きな物体が確認できる程度の視界があれば、霧や降雪時でも伝送路の状況が良好な場合と遜色ない伝送が可能であった¹⁵⁾。

表2に光FPUの諸元を、図7に外観図を示す。

表 2 光 FPU の諸元
Optical FPU system specifications.

変調方式/伝送速度	PCM-1 M/221.4 Mb/s(NRZ 換算)
伝送距離	空間/標準 2 km 最大 4 km 光ファイバ/30 km(Max.)
伝送容量	映像：1 ch×2(双方向) 音声：4 ch×2(双方向) インカム，制御信号：各 1 ch×2(双方向) 音声チャンネルを使用
映像系仕様	NTSC コンポジット信号 ・入出力信号 ・サンプリング周波数 14.3 MHz ($4f_{sc}$) ・量子化 8 bit ・チャンネルコーディング 新 8-14 変調方式 ・誤り訂正 リードソロモン積符号 ・映像帯域 30 Hz～6.0 MHz ・SN 比 52 dB ・DG/DP 3 %以下/2%以下
音声系仕様	・サンプリング周波数 48 kHz ・量子化 16 bit ・周波数特性 20 Hz～20 kHz ・ダイナミックレンジ 60 dB 以上 ・歪み率 0.5 %以下
光 FPU ヘッド	LD ($\lambda=780$ nm/830 nm)，出力=11.7 dBm Si-APD，最小受信感度=-40 dBm ・受光素子 ・受光レンズ径 130 mm ・電源/消費電力 DC 12 V±10 %/10 W 以下 ・寸法/重量 170(W)×205(H)×531(D)mm/約 8 kg
光 FPU ベースユニット	AC 100 V±10 % (50/60 Hz)/100 VA 以下 ・電源/消費電力 203(W)×240(H)×403(D)mm/約 10 kg ・寸法/重量

図 7 光 FPU の概観
Optical field pick-up unit.

5. ハイビジョン用光 FPU

ハイビジョン信号(BTA S-004)の伝送には約 1.5 Gb/s の帯域を要す。これを従来の FPU で伝送することは不可

図 8 ハイビジョン用光 FPU ヘッドによる空間伝送特性
The transmission characteristics with the optical FPU head for high-definition television.

能である。そこで現在，データ量を 1/10 程度に圧縮し，ミリ波帯を使う FPU の開発が進められている¹⁶⁾。

しかし，本来広帯域である光を使えば源データに近いレベルで無線伝送を行える可能性がある。そこで我々は，すでに開発した光 FPU の方式を応用したハイビジョン用光 FPU の試作を行った。

しかし，1.5 Gb/s ものデータ量を扱うことは回路的にも大掛かりになり，空間伝送部も光ファイバの場合とは異なり，帯域を確保するため低容量の受光素子(=受光面積小)へ見込み角を維持しつつ口径の大きな受光レンズから導く光学設計も非常に難しくなり，実用的なものに成り難いため，1/4 のデータ圧縮を行った。ただし，通常の MPEG-2 のように時間軸上の圧縮を行うと，I ピクチャのようなキーフレームに誤りが生じた場合，次のキーフレームが正しく伝送されるまで誤りが伝搬するため，圧縮はフィールド内にとどめることとした。ハイビジョン用光 FPU では，圧縮・伸長を，松下電器産業がハイビジョン VTR 用に開発した HD プロセッサ¹⁷⁾を使って実現した。この圧縮されたデータに誤り訂正符号の付加，伝送路コーディングを行ったところ，空間伝送路上の速度は約 535 Mb/s となり，NTSC 用光 FPU 装置の約 2 倍の伝送帯域が必要となった。帯域増による雑音増加と初段アンプのゲイン抑制により，光信号受信部の最小受信パワーが 3 dB ほど低下し，NTSC 用光 FPU と同じ送信出力と光学系を持つ光伝送ヘッド部のシステムマージンは約 17 dB となったが，信号処理部のマージンとあわせ 20 dB 以上を確保することができた。なお，試作した信号処理部については，装置規模や消費電力など FPU としての運用上の課題も多いが，今後の LSI 化の進展や回路の最適化などにより，実用的レベルの装置の開発も可能となるであろう。

図 8 に，試作した光ヘッドの 2 km 伝送時の符号誤り率を示す。各点は 1 分間の計測結果を示している。図中に数点，バースト誤りによると思われる BER の悪化が見られるが，信号処理により訂正可能な範囲内であった。なお，

図において「エラーなし」とは、1 分間の観測時間内において 1 ビットも符号誤りを観測しなかったことを表している。

6. む す び

空間光伝送方式を、テレビ中継用 FPU 装置に適用する検討を行った。

ディジタル方式による空間光伝送の大気中における伝搬特性を種々の天候下で実測し、そこで生じている誤り発生の性質を評価した。その結果、ディジタル信号処理技術を効果的に適用することにより優れた伝送品質と信頼性が選られる可能性が確認でき、それをもとに光 FPU 装置を開発した。開発された光 FPU 装置は様々な中継現場で運用され、その実用性が確認された。さらに、ハイビジョン用光 FPU 装置の試作を行い、光空間伝送による一層の大容量伝送の可能性を示した。

今後、テレビ中継現場における伝送装置のひとつとして、さらに他の機器との非干渉性や運用の自由度等の特徴を活かし、番組制作技術・番組演出の多様化に多大の貢献を与えることが期待される。

最後に、本装置の開発を推進された NHK 名古屋放送局技術の関係者の方々、ご協力を頂いた NHK 技術局技術開発センター、NHK 放送技術研究所記録・メカトロニクス研究部、松下電器産業(株)ビデオシステム事業部、浜松ホトニクス(株)の関係各位に感謝いたします。

〔文 献〕

- 1) 例えば、“普及期を迎えるワイヤレス・オフィス”，日経コミュニケーション (1996.2.5)
- 2) 例えば，“広がるワイヤレスの時代—光領域周波数資源の開発の発展”，オプトロニクス，No. 11 (1992)
- 3) 小山ほか：“光による画像空間伝送”，テレビ学技報，RE 79-11 (1979)
- 4) 野村ほか：“光 FPU 装置の開発”，テレビ学技報，IT 49-5 (1981)
- 5) 坂中ほか：“140 Mbps 光ビーム伝送装置の開発”，1989 年信学秋期全大，B-481
- 6) 斎藤，吉見，辻，平野，若森，林：“双方向小型ディジタル光 FPU 装置の開発”，平 5 東海連大，541
- 7) 若森，林，斎藤，植村，真島，星野：“空間光伝送へのディジタル VTR の信号処理技術の応用”，信学技報，OCS 95-75 (1995)
- 8) 柳井久義編集：“光通信ハンドブック”，朝倉書房 (1982)
- 9) Hugo Weichel: “Laser Beam Propagation in the Atmosphere”，SPIE Optical Engineering Press, pp. 45-66 (1990)
- 10) “放送用 1/2 インチディジタル VTR(D 3)の開発研究”，NHK 技研 R &

D, No. 17 (1991.12) 等

- 11) 例えば，今井：“符号理論”，電子情報通信学会 (1990)
- 12) 森田，吉田：“大気中伝搬における光波の減衰特性”，研究実用化報告，18, 5, p. 1165 (1969)
- 13) 上村，斎藤，真島，星野，若森，林：“小型ディジタル光 FPU の開発”，1996 年テレビ年次大，18-4
- 14) 中林，鍋谷，高橋：“アトランタオリンピック小特集 NHK ユニ中継”，テレビ誌，50, 12, pp. 1857-1860 (Dec. 1996)
- 15) 神田，香田：“ディジタル光 FPU 装置の降雪時における空間伝送実験”，第 6 回中部放送技術フォーラム，pp. 24-25 (1997)
- 16) 矢沢：“42 GHz ハイビジョン FPU”，テレビ誌，50, 12, pp. 1882-1889 (Dec. 1996)
- 17) 上原，三上，坂内，千葉：“圧縮型ディジタル VTR”，テレビ誌，50, 2, pp. 201-206 (Feb. 1996)

わかもり かずひこ
若森 和彦 1981 年，静岡大学工学部情報工学科卒業。同年，浜松ホトニクス(株)入社。高速微弱光検出器の研究開発，光通信の研究に従事。現在，同社中央研究所所属，正会員。

はやし たけし
林 武史 1987 年，東京理科大学理学部応用物理学科卒業。同年，浜松ホトニクス(株)入社。光通信の研究に従事。現在，同社中央研究所所属。

きたむら くにひろ
北村 国広 1966 年，県立浜松工業高校電気科卒業。1969 年，浜松ホトニクス(株)入社。計測用テレビカメラシステムの開発，光無線システムの開発に従事。現在，同社開発本部所属。

かん だ けんいち
神田 賢一 1997 年，愛知県立東山工業高校電気科卒業。同年，NHK 名古屋放送局入局。放送技術局運用技術を経て，1996 年より，名古屋放送局にて，技術企画・技術開発・番組設備整備に従事。現在，NHK 企画総務室(技術)に所属。

まじま けいご
真島 恵吾 1984 年，早稲田大学理工学部電子通信学科卒業。同年，NHK に入局。新潟放送局技術部を経て，1988 年より，放送技術研究所に勤務し現在に至る。高密度ディジタル磁気記録と信号処理の研究に従事。正会員。

ほし の よしはる
星野 良春 1979 年，明治大学工学部電気工学科卒業。同年，NHK 入局。放送技術研究所，NHK エンジニアリングサービス等を経て，現在，NHK 技術局開発センター開発企画に所属。BS ディジタル放送に向けての設備整備業務に従事。正会員。