4. 伝 送 機 器

正会員 二 宮 佑 一[†]

1. ま え が き

高品位テレビ（ハイビジョン）の信号を伝送するための機器の開発は、スタジオ内、スタジオ間、放送局間、放送とそれぞれ目的別に進められている。現行放送においては、これらすべてに関して同一の信号フォーマット（NTSC）で統一されているが、このためにスタジオ画質が NTSC 方式の限界を越えることができない。

高品位テレビの場合は、単に放送に用いるだけでなく、例えば映画への応用等を考えることもあるので、伝送路の帯域幅に制限されないスタジオ内伝送においては、放送に用いられる規格より高度の規格を採用することも考えられる。

したがって、高品位テレビの伝送を考えた時には、スタジオ、局間の伝送と、放送に用いられる伝送方式を別々に考える必要がある。ただし、放送の場合でも将来 22 GHz の衛星が用いられるようになった場合は、局間伝送に用いられていた信号を直接使用することができるようになる可能性がある。

本稿では、高品位テレビ伝送について、ベースバンド機器および伝送媒体について、装置化を中心に述べたい。

2. 高品位テレビ伝送機器開発の概要

表 1 に伝送機器として開発され、装置化されたものを主に示す。このうち広帯域 TCI 方式のみは開発中であるにもかかわらず本表中に示してあるが、この方式は高品位テレビのカメラ出力の画質をほとんど変えることがなく伝送できるもので、しかも広帯域性以外に関して技術的な不確定要因がないものであるので、あえて記載した。

当然これ以外にも研究例はいくつかあるが、多くはシステマ的な装置化以前の段階であり、本稿の主旨からは外れるので割愛させていただいた。また、もっぱらディジタル伝送を目的とした方式の研究例があり、ほぼストレート PCM (約 700 Mb/s) から 100 Mb/s までいくつか報告があるが、技術的には現行方式テレビで用いられている手法の高速化である。高品位テレビのディジタル符号化は今後重要となる技術分野であ

表 1 高品位テレビ伝送用として開発された各種方式

信号方式	ベースバンド帯域幅	所要伝送帯域幅	備 考
HLO-PAL	Y: 20 MHz C _w : 7 MHz C _N : 5.5 MHz	31 MHz	アナログデコーダを使用できる（開発済み）
M-TCI	Y: 20 MHz C _w : 7 MHz C _N : 5.5 MHz	20 MHz	13 MHz 以上の Y の成分および色信号は線順次デコーダはディジタル方式（開発済み）
広帯域 TCI	Y: 30 MHz C _w , C _N : 15 MHz	60 MHz	スタジオ画質を保持する目的の広帯域な伝送方式（開発中）
TCM	Y: 20 MHz C _w , C _N : 5 MHz	20 MHz（アナログ） 400 Mb/s（ディジタル）	光ファイバ伝送に用いるために開発された方式（開発済み）
MUSE	Y: 22 MHz C _w : C _N : 7 MHz （静止画像部分）	8.1 MHz	衛星 1 チャンネル放送を行うために開発された方式（開発済み）

[†] NHK 放送技術研究所

“4. Transmission Equipment” by Yuichi Ninomiya
(NHK Science and Technical Research Laboratories, Tokyo)

り、機会を見て別途取り扱いたいと考えている。

表1に示す諸方式のうち広帯域 TCI はもっぱらスタジオ内、スタジオ間あるいは局間の伝送を目的とするものである。一方、12 GHz の衛星を考えた場合は MUSE のみが放送に用いることのできる帯域幅であり、他の方式は主に局間伝送に用いることになるであろう。

3. 局内・局間伝送ベースバンド方式

3.1 HLO-PAL¹⁾

高品位テレビ伝送方式としては最も古く開発されたもので、図1に示すスペクトラム構造を持つ PAL 方式である。通常の PAL と違う点は C_w 信号がライン毎に 180° 反転している点と、ほとんど色信号と輝度信号が重なっていないことである。

本方式はエンコーダ、デコーダがアナログ回路で構成でき従来技術の延長上で製作できる特長があり、EXPO' 85 でも高品位テレビ伝送用として用いられている。しかし、副搬送波を持つ方式であるので、FM 伝送系にはマッチングが良くない欠点がある。

一方、以下に述べる TCI 系の伝送方式では、デコーダにデジタル技術を用いる必要があるものの、この欠点がない。デジタル技術は今後ますます急速に発展して行くので、TCI 系の方式が主流となって行くと考えられる。

3.2 広帯域 TCI

色信号と輝度信号を時分割多重する方式を一般に TCI (Time Compressed Integration) と呼ぶことにする。ヨーロッパの放送衛星で使用するようになった MAC 方式、あるいは、TMC 方式も、後に述べる TCM 方式も、すべてこの範ちゅうに入る。

図1 HLO-PAL のスペクトラム

図2 基本的な TCI 信号波形

図2に TCI の基本的な波形を示す。この例は Y (輝度信号) を $1/2$ に、C (色信号) を $1/4$ に圧縮して時分割多重したもので、高品位テレビのカメラ出力信号の 30 MHz の帯域幅を失なわぬようにすると、TCI 信号の帯域幅は 60 MHz となる。これは若干広いように感じられるが、現在の技術レベルで考えても特に取り扱いに困るほどではなく、現に使用している VDA (映像分配増幅器) で、この位の帯域幅を持つものは普通である。Y に比して C の帯域が $1/2$ になってしまっているが、これは標準方式における CCIR 勧告 601 の 4:2:2 方式と比較しても妥当な線である。

以下に述べるすべての信号方式は、この方式より狭帯域化したものといえる。

3.3 TCM 方式²⁾

色信号を線順次とし、 $1/4$ に時間圧縮し、Y 信号の水平ブランキングに時間多重した方式で、TCI 信号の帯域幅を 20 MHz としており、Y の帯域幅 20 MHz、 C_w 、 C_n とも 5 MHz となる。

この方式は、光ファイバを用いた伝送系を想定して、非線形ひずみに対して強いという利点に着目したものであるが、EXPO' 85 において、高品位テレビの信号を会場から東京、大阪等に伝送するのに用いられている。なお、光ファイバをデジタル伝送路として用いる場合は、TCI の信号をデジタル信号として伝送するが、この時のビットレートは 400 Mb/s であ

表2 TCM 方式の諸元

項 目		内 容	
入出力信号		信号振幅	信号帯域
	Y	0.7 Vp-p	20 MHz
	C_w	0.7 Vp-p	5 MHz
	C_n	0.7 Vp-p	5 MHz
	SYNC	0.3 Vp-p	—
	HD	4.0 Vp-p	—
	VD	4.0 Vp-p	—
音 声	R	2.2 Vp-p	12 kHz
	L	2.2 Vp-p	12 kHz
	TCM	1.0 Vp-p	20 MHz
入出力インピーダンス		75 Ω (不平衡)	
マスタクロック		121.5 MHz (33.75 kHz $\times$ 3600)	
標準化周波数	高速	60.75 MHz	
	低速	15.1875 MHz (ライン毎リセット)	
時間軸基準		水平同期信号の立上り	
色信号圧縮率		4:1	
色信号補間法		前ライン置換	
Y, C_w , C_n 相対遅延誤差		± 20 ns 以内 (受信側出力にて)	

る。TCM の諸元を表 2 に示す。

3.4 MTCI 方式³⁾

若干高級な信号処理を行った TCI 伝送方式として、図 3 に示すように、Y の高域成分を線順次にして伝送する代りに C_N 、 C_W をそれぞれ 5 MHz、7 MHz の帯域幅を持たせた方式が開発されている。これを仮りに MTCI (M : modified) と呼ぶことにする。この方式は 60 MHz の RF 帯域幅を持つ FM 伝送路を通して高品位テレビの信号を伝送することを目的に開発し

図 3 MTCI の信号波形

写真 1 MTCI 伝送装置 (左から、信号分配器、MTCI エンコーダ、MTCI デコーダ)

表 3 MTCI の伝送パラメータ

	Y	C_W	C_N
所要 S/N	56 dB	56	56
評価値	16.2 dB	16.7	19.6
無評価 S/N	39.8 dB	39.3	36.4
エンファシス改善	8.5 dB	8.0	5.1
FM 改善		13.1 dB	
ΔF_{W-B}		30 MHz	
受信 C/N		18.2 dB	
伝送路帯域		60 MHz	

たものである。試作した伝送装置は写真 1 に示すように若干大型ではあるが、線順次になっている Y の高域成分および C 信号の内挿等を完全に行っており、良好な画質を得ている。MTCI を用いるとアンテナは若干大型になるが、30 W 程度の送信出力の 60 MHz 帯域幅のトランスポンダを持つ衛星を通して信号伝送を行うことができる。この時の伝送パラメータを表 3 に示す。30 W のトランスポンダに対して C/N 18.2 dB を得るのには約 4mφ のアンテナを必要とする。

4. 衛星放送方式

現在、実用可能な放送衛星は 12 GHz 帯のもので、1 チャンネルの帯域幅は 27 MHz である。複数のチャンネルを使用して高品位テレビ 1 番組を放送することは少なくとも日本、ヨーロッパ等では使用できるチャンネル数が少ないことを考えると現実的ではない。以上の諸点を考えて開発されたものが、以下に述べる MUSE (Multiple Sub-Nyquist Sampling Encoding) 方式である⁴⁾。

高品位テレビの放送を実現するためには、単に条件の良い時に衛星伝送ができるだけでは具合が悪く、受信条件が悪化した場合でも一応信号が通するという条件、VTR、ビデオディスク、ケーブルメディア等に応用できること、デコーダの開発が容易であること等々を総合的に考慮する必要がある。MUSE 方式は以上の諸点を充分考えたうえ開発したもので、伝送信号型式は線順次 TCI を採用し、極めて簡単で、かつ高品位テレビの放送に実用的に十分な画質を得ることができるものである。

MUSE 方式は、基本的にはドットインタレース伝送であり、図 4 に示すようなサンプリングパターンを持っている。このようにサンプル値伝送を採用しているが、一見困難に見えたアナログ信号のサンプル値伝

図 4 MUSE 方式のサンプリングパターン

送を実現できたことが MUSE 方式開発の重要な 1 ステップであった。サンプル値伝送の可能性が明らかになった現在では同様の伝送方式の提案がなされつつあるが、この点がすべての同様な方式の基本である。

信号処理方式に関しては極めてストレートフォワードで、次の通りである。従来のドットインタレース方式においては、図 4 に示すサンプリング点をそのままディスプレイに表示するが、これではドットクロリング妨害が発生する。これを防ぐために、通常の MUSE デコードではフレームメモリを設けており、順次伝送されてきた過去 3 フィールド分のサンプルと、現フィールドで伝送されてきたサンプルを合成して画像再生を行う。この方法によって図 4 に示すすべてのサンプルを用いることができ、十分な解像度を得ることができる。

一方、動画像の場合は、この方法を採用すると多線ぼけとなる。したがって、現フィールドで伝送されて来た情報のみで画像再生を行わざるを得ず、この結果若干画像が甘くなる。ただし、動・静の処理の切替えは画素毎に行っており、ぼけるのは動いている部分のみであり、視覚特性は動物体のぼけに関しては鈍感であるから、大きな妨害とはならない。

しかし、カメラがパニングしている場合は画面全体が滑らかに動き、眼が容易にフォローするだけではなく、観る方の意識として止まっているという感覚があるためにぼけが目立つ。この対策として、動き補正を導入している⁵⁾。画像の動きベクトルを検出して、伝送し、フレームメモリの内容を動きに応じて位置補正し、パニングの場合でも静止画と同様に取り扱うことができ、ぼけを防ぐことができる。この場合、動きベクトルをコントロール信号として伝送する必要があるが、これは 1 フィールドで 1 ベクトル (8 ビット) であり、情報量としては大きなものではない。

表 4 に MUSE 方式の諸元を、図 5 に同期信号の形式を示す。MUSE 方式に本質的に必要なコントロール信号は前記の動きベクトルのみであるが、これを含めて 32 ビット/フィールドのコントロール信号を十分なエラーコレクションを施して垂直ブランキングに多重してあり、静止画対応その他のコントロール信号として使用できる。

MUSE 方式を用いて衛星放送を行う時の音声の伝送は、垂直ブランキングに 4 相 PSK で BS-II と全く同等の音声/付加情報信号を多重することを検討している。

MUSE 方式は比較的簡単であり、実際のエンコーダと受像機の開発が順調に行われており、今のところは SSI, MSI を用いて製作したものであるが、写真 2 に示すような家庭用としての受像機タイプのもも開発されており、実際に家庭用として使用できる受像機において必要となる LSI の開発も始まっている。

MUSE 方式は比較的簡単であり、実際のエンコーダと受像機の開発が順調に行われており、今のところは SSI, MSI を用いて製作したものであるが、写真 2 に示すような家庭用としての受像機タイプのもも開発されており、実際に家庭用として使用できる受像機において必要となる LSI の開発も始まっている。

図 5 MUSE 方式の同期信号波形

表 4 MUSE 方式の基本パラメータ

方 式	動き補正多重サブサンプリング方式 C 信号の圧縮比 4 の TCI ^{*)} 信号形式 (線順次)
走査方式	1125 本/60 フィールド, 2:1 インタレース
伝送ベースバンド幅 リサンプリングクロック レート	8.1 MHz (-6 dB) 16.2 MHz (480 点/ライン)
Y 信号水平帯域幅	20~22 MHz (静止領域) 12.5 MHz ^{*)} (動領域)
C 信号水平帯域幅	7.0 MHz (静止領域) 3.1 MHz ^{*)} (動領域)
同期形式	正極デジタル同期
音声・付加情報多重	垂直ブランキング期間に多重, PCM 4 相 DPSK (2048 kb/s), あるいは 2 値ベースバンド (1024 kb/s)

^{*)} Time-Compressed Integration; 時間軸圧縮多重

^{**)} 実現値: フィルタの設計が完全であれば、それぞれ 16 MHz, 4 MHz まで伸びる。

写真 2 高品位テレビ受像機の例

MUSE方式で放送をするのに必要なエンコーダも、現業使用レベルに耐える装置が開発されている。エンコーダに関しては、専用LSIを開発することは若干困難であるので、大幅に装置規模を小さくすることは望めない。しかし、エンコーダは放送局側の装置であり、また現在2架ある装置規模も回路設計技術の改善で半分以下にはなると予想されるので、実用的には問題がない。

MUSE方式は前述したように種々の媒体に適用できる。実際にVCR、ビデオディスク等の開発がなされており、VCRではUマチックカセットで3時間の録画、ディスクでも両面で1時間の再生が行えるものが開発されている⁶⁾。さらに525受像機への簡単なアダプターも開発されている⁷⁾。

5. 伝 送 媒 体

紙面の余裕もないが、伝送媒体について若干述べたい。

放送に関しては現時点では12GHz放送衛星が唯一全国放送を行い得る媒体である。一方、それ以外の伝送に関しては、同軸ケーブル、光ファイバ、無線、とバラエティーがある。これらについて簡単に述べる。

(1) 同 軸

ごく近距離(例えば100m程度)の時に便利である。太い低損失同軸(例えば10C-BE)を使用すれば、近距離であれば等価器なしで伝送できる。しかし、一般的に取り扱いの便利な同軸(例えば7C-2V)を用いた場合は等価増幅器が必要で、この目的のICも開発されている⁸⁾。

(2) 光ファイバ

周波数特性が良く、等価が不要である点で同軸より優れているが、O-E(光-電気)、E-Oの変換を必要とする。光ファイバ伝送の場合は、光源にLEDを用いた場合とLDを用いた時で用途、特性に大幅な差があり、要約すると表5に示すようになる⁹⁾。

(3) 無 線

現在開発されているものは38/37GHz帯のFPU(中継用可搬型小型マイクロ波無線リンク装置)タイプの無線装置¹⁰⁾、22GHzのFPUタイプのもので、いずれもMTCIあるいはそれ以上の帯域幅を持つ信号を伝送することができる。

表5 発光ダイオード(LED)と半導体レーザ(LD)の特性比較

	LED	LD
変調可能帯域幅	50 MHz	1 GHz
スペクトル幅	40 μ m	2 μ m
ファイバ1kmの伝送帯域幅*	100 MHz	2 GHz
光結合効率	5%	50%
安 定 度	大	小
寿 命	10 ⁵ 時間	10 ⁵ 時間
用 途	短距離小容量伝送	長距離大容量伝送

* 0.85 μ m 波長帯における材料分散によるもの

また、例えば6/7GHz帯の現行放送用FPUでもMUSE信号を用いれば、技術的には信号を通すことができる。

6. む す び

高品位テレビの実用期が近づいてきて、現実に放送システムを設計する段階に達している。システム構成上、放送の方式が重要であるが、それ以外に各要素間の伝送は極めて大切である。

信号の伝送技術の開発は、地味な分野ではあるが今後ますます重要になると考えられる。高品位テレビ全システムとの十分な整合を考へて、実用性の高い伝送方式を開発して行く必要がある。

(昭和60年4月4日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) T. Fujio: "A Study of High-definition TV System in the Future", IEEE Trans., BC-24, 4, p. 92 (1978)
- 2) 横, 桜井: "高品位テレビ信号のTCM伝送方式", テレビ学技報, TCS 56-2 (1982)
- 3) 久保田, 石田: "高品位テレビTCI衛星伝送システム", テレビ学技報, TCS 56-4 (1982)
- 4) 二宮: "高品位テレビの新しい伝送方式—MUSE—", NHK技研月報, 27, 7, p. 19 (1984)
- 5) Y. Ninomiya, Y. Ohtsuka: "A Motion-Compensated Interframe Coding Scheme for Television Pictures", IEEE Trans., COM-30, 1, p. 201 (1982)
- 6) 二宮ほか: "MUSE方式によるホームビデオディスク", テレビ学技報, TEBS 99-4 (1984)
- 7) 和泉ほか: "MUSE方式受信用標準方式アダプター", テレビ学技報, TEBS 99-5 (1984)
- 8) 長谷川ほか: "高品位テレビ用広帯域ビデオ分配IC", テレビ学技報, TEBS (1984)
- 9) 石田: "光ファイバーによる伝送実験", NHK技研月報, 24, 11/12, p. 64 (1981)
- 10) 今野: "高品位テレビの無線伝送", テレビ学技報, ICS 56-1 (1982)