3. 最近のテレビジョンの音響技術

若 栗 尚[†], 小宮山 摂[†]

1. ま え が き

テレビの放送の初期には、音声は1チャンネル(モノホニック)であった。1969年に音声多重放送が開始され、2チャンネルの音声を送られるようになり、2ヵ国語音声放送、ステレオ音声放送が行われるようになった。現在では、直接衛星からの電波を受信する衛星放送が行われるようになり、音声もデジタル信号を利用するようになって、その質は大幅に向上した。

最近、ハイビジョンの開発と共に、画面の高精細化、広画角化によって、映像の臨場感が増加した。このため、これに付加する音声も従来のステレオ方式よりも映像とのバランスを考えた新しい方式とする必要があり、3-1方式4チャンネル音声が開発された。

2. ハイビジョン用ステレオ音声方式

以下に、ハイビジョン用3-1方式4チャンネルステレオ音声を中心にその概略を解説する。

2.1 3-1方式4チャンネル音声再生

ハイビジョンの優れた映像に対する音声としては、下記の点を中心に開発が行われた。

- (a) 従来よりも高い臨場感の得られる方式として、独立音声のチャンネル(CH)数を4とする。
- (b) 家庭内での複数の人や、ビデオシアタでの多数の視聴のために、できる限り広い視聴位置で映像と音像の方向のずれを少なくするように、前方中央に独立した音声再生のスピーカを置く、前方3CH方式を採用する。
- (c) 音に包まれる、サラウンド効果と後方の音源の再生のために、後方に独立した1CHを用いる。ただし、再生スピーカは複数個を割当てる。

- (d) 映画の音声、特にドルビー方式などとの互換性、2CHステレオ音声への変換の容易さを考慮する。

これらは図1に示すような2CH、3CHと4CHによる5種類の計7種のスピーカ配置で行った再生音に対する空間的印象、ステレオ効果の総合的判断、映像との融合感等についての心理的評価実験にもとづいて決められた¹⁾²⁾。

一般に複数個のスピーカによるステレオ音声の再生は、システムに特有の最適聴取位置があり、これより外れた場所では劣化が起こる。2CHステレオでは、左右両スピーカの中心軸上から外れた位置では虚音像が側方のスピーカから聞こえるようになり、多人数での視聴では、この劣化が問題となる。2CHステレオと、3-1方式4CHステレオとについて、図2に示すような50インチ背面投射型ハイビジョンディスプレイを併用した実験で、それぞれの再生方式について、中央位置(最適聴取位置)に対して、前後1座席、左右1、2座席(1座席分75cmの移動)ずれた位置での映像、音像の相乗的な効果も含めた総合的な品質の評価を行った。

結果は、図2の中に、2CHの場合の中央での評価値を100として相対的な値で示した。それぞれの配置、再生方式で、左右対称の値となるため、それぞれ片側のみについて表示してある。3-1方式4CHステレオの評価値も2CHの中央の値の100を基準として表してある。これから、3-1方式4CHステレオの多人数聴取の場合の優れた点が明らかに読み取れる¹⁾²⁾。

また、3-1方式4CHステレオで制作したプログラムを(1)式により2CHステレオ信号に変換したものと、もともと2CHステレオ用に制作したものと品質の比較を心理実験で行った結果は、前者が後者に比べて7段階評価で0~0.5ランクの劣化しか生じないことが明らかになった¹⁾³⁾。

[†] NHK 放送技術研究所

"Recent Audio Engineering for Television System" by Takashi Wakuri and Setsu Komiya (NHK Science and Technical Research Laboratories, Tokyo)

図 1 心理的評価実験に用いた 2 CH, 3 CH, 4 CH ステレオのスピーカ配置

図 2 2CH ステレオと 3-1 方式 4CH ステレオのスピーカ配置と、映像との組み合わせも含めた総合品質評価の比較(2CH ステレオを中央の位置で聴取した時の評価値を 100 として横方向に 75 cm, 150 cm, 前後に 75 cm ずれた位置での評価値 (比例尺度))

$$\left. \begin{aligned} L' &= L + 0.7C + 0.7S \\ R' &= R + 0.7C + 0.7S \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ただし、 L ：左チャンネル信号

R ：右チャンネル信号

C ：中央チャンネル信号

S ：後方チャンネル信号

表 1 スタジオ内音声信号基本伝送規格

項 目	規 格
音声信号帯域	20 kHz
標準化周波数	48 kHz
量子化ビット数	16
標準化時刻	ステレオ時間同一
チャンネル数	1~4
符号化形式	2 の補数

2.2 ハイビジョン音声信号の符号化と伝送方式⁹⁾

ハイビジョン用音声のスタジオ内基本伝送規格は、表 1 に示すものが提案されている。

ハイビジョンの映像信号の帯域幅は 20 MHz を超えるが、衛星等での伝送のため、MUSE 方式と呼ばれる帯域圧縮方式で約 8 MHz に圧縮している。しかし、音声信号のために、現行の衛星テレビ放送のような副搬送波を用いることはできないので、垂直帰線期間内にデジタル音声信号をベースバンドで時分割多重する方式を採用している。

(1) 音声信号のビットレートと圧縮

音声信号のビットレートは、

(a) 低 C/N 時でも誤り率の少ないこと

(b) MUSE のマスタークロック 16.2 MHz と簡単な関係になること

(c) 国際的に用いられる 32 kHz, 48 kHz のサンプリング周波数と簡単な関係になること

などを考慮して、1.35 Mb/s が選ばれたが、これは現

図 3 準瞬時圧伸差分 PCM の構成

行衛星テレビ放送の伝送ビットレート 2.048 Mb/s の約 65 % であり、帯域幅の圧縮が必要になる。さらに、4 CH の伝送を考えると 1 サンプル当たりは 8 ビット程度の圧縮になる。このため、音声信号のサンプル間の相関を考慮に入れて、連続するサンプル間の差分を伝送する差分 PCM⁴⁾と、この差分に準瞬時圧伸を適用する方法を組み合わせた準瞬時圧伸差分 PCM (DPCM Audio Near-instantaneous Compressing and Expanding: DANCE)を開発した⁴⁾⁵⁾。この方式により、32 kHz サンプリグ、15 ビット直線量子化信号を 8 ビットに圧縮し、4 CH 多重伝送する A モードと、48 kHz 16 ビット直線量子化信号を 11 ビットに圧縮、2 CH 伝送する B モードの 2 種の伝送モードを実現した。

(2) 準瞬時圧伸差分 PCM (DANCE)⁴⁾⁵⁾

図 3 に準瞬時圧伸差分 PCM の構成を示す。一般に差分信号は、周波数の高い信号の場合ほど、同一振幅入力信号に対しての値が大きくなる。このため、差分が 8 ビットを超える場合には、入力信号を 1 ms 毎の区間に分け、最大差分を検出し、圧縮して伝送する。

この構成は、受信機側デコーダと同一構成の回路をエンコーダ側の一部に使用しており、受信側でのデコードされた値を基に差分を作ることに対応し、誤差の補正が常に行われることになる。

(3) リーク係数

差分 PCM は、受信側では送られた差分値の累積加

算でデコードする方式であり、伝送路に生じた誤りは訂正不能の時には、誤差となり、以後、加算器内に残ることになる。これを除くには、デコーダ側の加算出力に $1-2^{-n}$ の係数を掛けて出力を減少させるリーキングと呼ばれる動作で誤差の収束を図る方法がある。この係数をリーク係数といい、ハイパスフィルタの遮断特性を決めることになる。したがって、送り側ではこの逆補正を行う。係数は、聴感試験の結果とプログラム入力時の最多使用レンジとから $1-2^{-4}$ と決めた⁶⁾。

(4) ハイビジョン音声伝送方式の基本諸元

前述のように、音声の伝送には A、B の 2 つのモードが選択できるようになっている。

表 2 にハイビジョン音声伝送方式の基本諸元を示す。また、A、B 両モードのフレーム構成を図 4 に示す。1 フレームは 1350 ビットで構成され、伝送ビットレートは 1.35 Mb/s となる。インタリーブは、単純な 16 サンプルのワードインタリーブの次に、ビットインタリーブを行う。誤り訂正符号 BCH(82,74) は 84 ビット中の 1 ビットの誤り訂正と 2 ビットの誤り検出を行うもので、バースト誤りに対応するため 16 個から成る BCH(82, 74) のブロックをメモリーの行方向に書き込み、16 行×32 列のマトリックスとし、これを左側の列から順に読み出し送出する。受信側では、メモリー上に左側の列方向から書き込み、行方向に読み出ししながら誤り訂正を行う。これで最大 16 ビット

表 2 ハイビジョン音声伝送方式の基本諸元

符号化方式	伝送モード		A	B
	音声信号帯域幅		15 kHz	20 kHz
	標準化周波数		32 kHz	48 kHz
	標準化時刻		ステレオの場合同一	
	音声量子化・圧伸		15/8 ビット 準瞬時圧伸 (8 レンジ)* ¹	16/11 ビット 準瞬時圧伸 (6 レンジ)* ²
信号多重方式	リーク係数		1-2 ⁻⁴	
	符号伝送速度		1350 kb/s	
	音声チャンネル数		4 チャンネル	2 チャンネル
	独立データ伝送容量		128 kb/s	112 kb/s
	フレームビット数		1350 ビット	
	フレーム同期パターン		16 ビット/フレーム (0001001101011110)	
	制御符号		22 ビット/フレーム	
	ビットインタリーブ		16 ビット	
	誤り制御	音声・データ	BCH・SEC・DED (82,74)	
		レンジビット	上記に加えて BCH・SEC・DED (7,3)	
		制御符号	繰り返し送出による多数決判定	
時分割方式	伝送区間		垂直帰線区間	
	変調符号方式		3 値信号	
	符号伝送速度		12.15 Mbaud	

*1 15 ビット/サンプリング様量子化の差分を 8 ビット/サンプルに圧縮して 32 サンプル毎に 8 レンジの圧伸制御情報を送る圧伸差分方式。

*2 16 ビット/サンプリング様量子化の差分を 11 ビット/サンプルに圧縮して 48 サンプル毎に 6 レンジの圧伸制御情報を送る圧伸差分方式。

図 4 音声フレーム構成

までのバースト誤りに対して訂正が有効になる。

(5) 誤り制御方式

レンジビットに対して BCH・SEC・DED(7, 3)の 1 誤り訂正, 2 誤り検出を行っている。さらに, この訂正符号付きレンジビットに音声データ, 独立データといっしょに BCH・SEC・DED(82, 74)の訂正符号をつけている。ブロック長 82, 情報ビット長 74, 検査ビット 8 の符号で, 82 ビット中 1 ビット誤り訂正, 2 ビット誤り検出ができる。この符号の生成多項式は $x^8 + x^7 + x^4 + x^3 + x + 1$ で, レンジビットの方の生成多項式は $x^4 + x^3 + x^2 + 1$ が用いられる。

(6) 品質評価

伝送された A モード(8 ビット)の音質は 14.5 ビット一様量子化と同等で, B モードは現行衛星テレビ放送 B モードと等価であった⁷⁾。

3. 映像と音声の関係

テレビの映像と音声の相互関係には 2 つの要素がある。ひとつは両者の時間的な同期の問題であり, もうひとつは映像とステレオ音響の相乗効果の問題である。これらの問題はテレビ番組制作の高度化や音声の多チャンネル化に伴い, 近年クローズアップされてきた問題である。

3.1 映像と音声の時間的な同期

10 年ほど前からテレビの音声の制作にポストプロダクションの手法が用いられるケースが増えてきている。これは映像を先に編集し, 音声はあとで映像に合わせてミキシングし, 映像と同期をとりながらダビングする手法である。これによって, 映像に合わせた緻密なミキシングが可能になる。そこで, ここでは, このポストプロダクションシステムで重要な働きをする VTR とテープレコーダのシンクロナイザの技術を紹介する。

シンクロナイザは, 録音時に VTR とテープレコーダの双方に録音された SMPTE タイムコードを読み取って, 両者の時間差がゼロになるようにテープレコーダの走行を制御する働きをする装置である。このときテープレコーダがアナログか PCM かで制御方法が違ってくる。図 5 にテープレコーダーがアナログの場合のシステムの系統図を, 図 6 に PCM の場合の系統図を示す。

テープレコーダがアナログの場合にはシンクロナイザはタイムコードを一致させた後も, ビデオの sync 信号とテープレコーダのタイムコードの位相がロックするようにテープレコーダの制御を行うのが普通である。したがって, VTR のタイムコードはビデオ信号

図5 アナログテープレコーダとVTRの同期運転

図6 PCMテープレコーダとVTRの同期運転

と同期をとって記録されていなければならない。タイムコードが正常に記録されていれば $100\mu\text{s}$ 程度の同期精度が得られるのが一般的である。

一方、PCM テープレコーダはアナログ方式と違って、サンプリング周期という絶対的な速度基準を持っているため、走行速度の微調とは本来相いれない装置である。したがって、シンクロナイザはタイムコードを一致させたあとはテープレコーダの制御は行わず、PCM レコーダ自身が持っているビデオ信号との同期走行機能に制御を明け渡すことが多かった。したがって、完全な同期をとるためには録音時に PCM レコーダをビデオ信号にロックさせておく必要があるなど、操作性の面で煩雑であった。しかしながら、最近ではタイムコードの時間差が常にゼロになるように PCM レコーダのワードシンクの周波数そのものを制御する機種も見られるようになってきている。

さて、VTR 側のタイムコードは映像編集時に不連続になるので、多くの場合、後でつけ替えられてしまう。したがって、テープレコーダの同期のためには編集点ごとにテープレコーダ側のタイムコードとのオフセットを見つける必要がある。オフセットを目と耳で探す作業はオペレータの負荷が大きいため、VTR の音声とテープレコーダの音声の相互相関関数から自動的にオフセットを求める装置も実用化されている¹⁰⁾。

映像と音声の同期の問題は今のところ記録系が中心であるが、画像フレームメモリの一般化や、異なるフィールド周波数のテレビの方式変換が増えるにつれ今後重要な技術になってこよう。

3.2 映像と音像の空間的一致¹¹⁾¹²⁾

テレビの大型化やハイビジョンの登場で、ステレオ音響効果も映像とのバランスに注意を払う必要が出てきているが、このうち映像と音像の定位のずれについ

図7 映像を注視することによる音像方向の変化

ては心理学的な研究が進んでいる。

従来のテレビで映像と音像の定位のずれが気にならなかったのは、“ずれがある範囲内ならば音像が映像の方向に引き付けられる”という視聴覚の性質による。その性質を明らかにした実験の一例を図7に示す。これは72インチの投射型スクリーンに人物の映像を映した場合と音だけで聞かせた場合とで、音が聞こえる方向がどの程度違うかを調べたものである。横軸は映像を提示しないときの音像方向の平均値、縦軸は映像を提示したときの音像方向の平均値である。視覚と聴覚が無関係であるとすればグラフは傾き 45° の直線になるはずであるが、実際は映像の方向に引き寄せられているのがわかる。しかし、ずれが大きくなると方向の違いは明らかに知覚できているのがわかる。

このような映像と音声の“空間的なずれ”は時間的なずれと違って、さほど重要視されてこなかったが、テレビの大型化やハイビジョンの出現で重要な問題になりつつある。そのため、映像と音像のずれに対する主観評価も行われている。

図8(a)と(b)はそれぞれ音響技術者と一般の人の評価結果である。これは映像(人物像)と音像の水平方向のずれを5段階で評価し、その結果を系列範囲法で尺度化して評価の平均値と標準偏差を求めたものである。ここでの評価BとCのまん中をずれの許容限とみなすと、それは音響技術者で約 11° 、非専門家では約 20° となる。これらの実験結果から判断すると、20インチ程度のテレビ受像機(画角約 10°)では、音に特別の注意を払わない限り、通常の2チャンネルステレオでも映像と音像のずれが問題になることはないといえる。しかし、より大きな画面を近接して試聴する場合やハイビジョンでは、ずれが気になるおそれがある。

このような視聴覚の性質を考慮すると、ドルビーサ

(a) 音響技術者の場合

(b) 非専門家の場合

図 8 映像と音像のずれに対する評価の平均と標準偏差

ラウンドやハイビジョンの音声方式として提案されている 3-1 方式 4 チャンネルステレオにおいて、センターチャンネルを設けられるようになっているのは自然な方向といえる。テレビの場合、映画と違ってセンターチャンネルのスピーカを設置しにくいという問題はあるが、聴取範囲の拡大や左右のスピーカ間隔を広げ

られることによる広がり感の向上など、メリットが大きいので、前方の 3 チャンネル化は今後の発展が充分期待できるであろう。

(1989 年 11 月 9 日受付)

【参 考 文 献】

- 1) K. Ohgushi, S. Komiya, K. Kurozumi, A. Morita, J. Ujihara and K. Tsujimoto: "Subjective Evaluation of Multi-Channel Stereophony for HDTV", IEEE Trans., BC-33, 4, pp. 197-202 (Dec. 1987)
- 2) 大串: "ハイビジョン用 3-1 方式 4 チャンネルステレオ", JAS Journal., 27, 11, pp. 5-12 (1987)
- 3) NHK 放送技術研究所編: "ハイビジョン技術", 日本放送出版協会刊, pp. 56-57
- 4) "研究スポット: 音響信号の高効率符号化", NHK 技研月報, 30, 10 (1987)
- 5) 渡辺, 竹ヶ原: "ハイビジョン音声ベースバンド伝送用準瞬時圧伸 DPCM 方式", 信学大全, 1384 (1987)
- 6) 星野・竹ヶ原: "HDTV 音声 DPCM 伝送における最適リーク係数", 信学大全, B460 (1988)
- 7) 田辺, 竹ヶ原: "準瞬時圧伸 DPCM 信号の聴感評価", 音響学会研究発表会講演論文集, 1-6-16 (1987)
- 8) 田辺, 竹ヶ原: "準瞬時圧伸 DPCM 信号の距離尺度による評価", 音響学会研究発表会講演論文集, 1-3-20 (1987)
- 9) T. Takegahara, H. Tanabe, H. Suganami: "Sound Transmission for HDTV Using Baseband Multiplexing into MUSE Video Signal", IEEE Trans., BC-33, 4, pp. 188-196 (Dec. 1987)
- 10) 小宮山: "番組音の相関を用いたテープレコーダーと VTR の同期運転", NHK 技研月報, 27, 3, pp. 80-85 (Mar. 1984)
- 11) 小宮山: "大画面テレビ視聴時における音像定位", 音響誌, 43, 9, pp. 664-669 (1987)
- 12) 小宮山: "大画面 TV における映像と音像定位のずれの許容値について", 信学技報, IE 87-109 (1988)

若栗 尚 (わぐり たかし) 昭和 34 年, 早稲田大学第一理工学部電気通信科卒業。同年, NHK に入局。静岡放送局技術部を経て, 38 年, 放送技術研究所音楽研究部に転移, 建築音響, 音響機器, 音響信号レベル制御, デジタル音響技術の研究に従事。現在, 同放送技術研究所音響聴覚研究部長。

小宮山 摂 (こみやま せつ) 昭和 52 年, 東京大学大学院電気工学専攻修士課程修了。同年, NHK に入局。静岡放送局を経て, 55 年より, 放送技術研究所に勤務し, 現在に至る。映像と音像の相乗効果, 音場の視覚化の研究に従事。