9. テレビジョン音声多重放送

——テレビジョン音声のステレオ化——

NHK 総合技術研究所

沼 口 安 隆・藤 田 尚

1. ま え が き

テレビ音声の多重放送は2つ以上の国語をもつ国々で役立ただけでなく、外国番組の吹替えと原語の同時放送、オペラなどの同時解説、あるいは教育放送への利用などいろいろな用途が考えられる。さらに音声ステレオ化できるので音楽番組などに使えば臨場感を高めることができ、きわめて効果的である。このため、古くから世界各国で研究が行なわれ、CCIR でも研究課題のひとつとしてとり上げられている。

わが国での研究は、昭和 37 年ごろからはじめられたが、現在では周知のように定時的な実験放送の段階にあり、この面の研究では世界でも最も進んだ国のひとつになっている。

そこで本文では、わが国の多重放送方式の概要と音声のステレオ化の問題点について解説する。

2. 多 重 方 式

テレビの音声多重放送するためにはいろいろな方式が考えられるが、わが国では主として音声に副搬送波を重畳するサブキャリア方式の研究を進め、副搬送波の変調方式について多くの実験を重ねてきた。そして、昭和 43 年に NHK 総合技研で行なった室内試験の結果、副搬送波を周波数変調する FM-FM 方式が最もすぐれているとの結論を得た。そこで、昭和 44 年 8 月から約 3 カ月間、NHK 東京教育テレビジョン局を使って実験放送を行ない、現行のテレビ方式との両立性など技術的な問題を検討した。その結果、本質的な問題はないことが明らかになったので、昭和 45 年 1 月からは NHK 東京および大阪総合テレビジョン局で定時的な番組の実験放送を実施している。

わが国で実験放送の方式として採用した多重方式は、

“Simultaneous Transmission of two Sound Channels in Television. (Stereophonic Transmission of Television Sound)” by Yasutaka Numaguchi and Takashi Fujita (NHK Broadcasting Technical Research Laboratories, Tokyo)

FM-FM 方式であるが、この方式の特長はつぎのとおりである。

- (1) 両立性が良い。すなわち既存テレビ受信機の映像や音声への妨害がほとんどなく、サービス区域にも影響がない。
- (2) 副チャンネルの音質が比較的良く、ステレオ化が容易である。
- (3) 副チャンネルのサービス区域は映像のサービス区域と同等である。
- (4) 多重アダプターはテレビ受信機に簡単に接続でき、受信機自体の回路はほとんど変更する必要がない。
- (5) 多重アダプターの動作は安定で取扱いが容易である。また、回路が簡単で調整もきわめて容易であり、低価格で製作できる。
- (6) 音声送信機は多重変調器を付加するだけで、送信機自体はほとんど改修する必要がない。

わが国の実験放送は、吹替えや解説など 2 つの異なった音声と、ステレオ音声との両方を放送できるようにになっている。このため、異種音声かステレオかを受信側で判別して自動的に回路を切替えることができるように、制御信号も同時に送出している。この信号を利用すれば異種音声の場合にはいずれか一方の音だけ、ステレオの場合には左右の音を 2 つのスピーカから出すというように、アダプターの回路を自動的に切替えることができる。

実験放送の方式の規格を表 1 に、その周波数スペクトラムを図 1 に示す。

() 内はステレオ放送時の値
図 1 実験方式の周波数スペクトラム

表 1 実験放送の方式規格

主チャネル	主搬送波の最大周波数偏移 変調周波数帯域 プリエンフェサス	$\pm 25\text{ kHz}$ $50\sim 15000\text{ kHz}$ $75\mu\text{s}$
副チャネル	多重方式 副搬送波中心周波数 副搬送波の最大周波数偏移 副搬送波による主搬送波の最大周波数偏移 吹替, 解説 ステレオ 変調周波数帯域 プリエンフェサス	F M-F M 水平同期周波数の 2 倍 (約 31.5 kHz) $\pm 10\text{ kHz}$ $\pm 15\text{ kHz}$ $\pm 20\text{ kHz}$ $50\sim 12000\text{ Hz}$ $75\mu\text{s}$
ステレオ	方式 変調の極性 主チャネルによる副チャネルの受信遅延時間補償	和 差 方式 主・副搬送波の周波数偏移は左側信号で変調したとき同一極性となる $20\mu\text{s}$
コンプレッサー*	圧 縮 比 時 定 数	動 作 復 帰 $5:4$ 1 ms 150 ms
制御信号	副搬送波周波数 変 調 方 式 変 調 周 波 数 変 調 波 副搬送による搬送波の最大周波数偏移 吹替, 解説 ステレオ	55.125 kHz 振 幅 変 調 922.5 Hz 982.5 Hz $50\sim 70\%$ $\pm 1.5\text{ kHz}$

* 吹替, 解説のときは副チャネル信号のみ, ステレオのときは左右信号に使用する。

副搬送波の中心周波数は, 水平同期周波数の 2 倍 (約 31.5 kHz) で, これに副チャネルの音声で最大 $\pm 10\text{ kHz}$ の周波数変調をかけて主チャネルの音声信号に重畳している。

副搬送波周波数をこのように選んだのは, テレビ受信機で発生するバズの妨害を最小にするためである。周知のように, 現在生産されているテレビ受信機はすべてインターキャリヤ音声受信方式であるから, 音声検波出力には映像信号によるバズ成分が必ず存在するが, サブキャリヤ方式ではこの妨害が最も大きな問題となる。このバズは図 2 に示すように水平同期周波数 f_h の倍数付近に強い成分がある。しかし, FM-FM 方式では副搬送波の中心周波数を f_h の倍数と一致させ, また変調波の帯域を $\pm f_h$ の範囲内におさえれば, この妨害は充分少なくすることが可能である。

ステレオの場合には, FM ステレオ放送と同じ和差方式で, 主チャネルを和信号で, 副チャネルを差信号で変調する。

制御信号は $3.5 f_h$ (約 55.125 kHz) の副搬送波をシングルトーンで振幅変調したもので, 番組が異種音声かステレオかによってトーンの周波数を切換えている。この

図 2 バズ成分と信号帯域との関係

信号は音声チャネルに妨害しないよう低レベルで送出する。受信側でこの信号を検出するには, $3.5 f_h$ の副搬送波を検波したのち, リードフィルターを通してトーン周波数のちがいを判別する。

この方式の特長は以上述べた諸点のほか, つぎのような点にある。

- (1) 主チャネルの周波数偏移は現行方式と同じである。したがって既存テレビ受信機の音質は変わらない。
- (2) 副チャネルにコンパンダー方式 (コンプレッサー/エキスパンダー方式) を採用して SN 比およびバズ妨害の改善をはかり, また変調器の過変調によるひずみも防止している。しかも, コンプレッサーの圧縮比をエキスパンダーを省略しても音に不自然さがないように選んであるので, エキスパンダーのない簡易な多重アダプターでも使用できる。
- (3) ステレオの際は副搬送波の振幅を上げて SN 比やバズ妨害を改善している (副搬送波の振幅を上げると主チャネルへのクロストークは増加するが, ステレオの際は許容できる)。
- (4) 前述のように制御信号を挿入しているので, 多重アダプターで自動的にステレオのマトリックス回路を切換えることができる。
- (5) アダプターのバンドパスフィルターで生ずる副チャネルの遅延を送信側で補償し, ステレオ分離度をとりやすくしている。
- (6) 副搬送波の中心周波数を $2 f_h$ に同期させ, 残

図3 送信装置の系統図

留ビートの発生を防止している。

3. 送信装置

実験局で使用している送信装置の系統図を図3に示す。主チャンネルは現行の方式と大差はないが、遅延回路が付加されている。副チャンネルは過変調を防止するため制限増幅器ではおさえることのできない時間的なピークを抑圧する IDC（瞬間偏移制御）回路も付加されている。

副搬送波 FM 変調器はリアクタンス変調またはマルチバイブレーター変調回路を使用し、中心周波数を AFPC 回路で水平同期周波数の 2 倍に同期させている。

また、映像送信機で変調の発生する位相変調成分はバ

ズの大きな原因になるので、これを減少させるためバズ補償回路を映像送信機に付加している。これは一種の位相変調回路で、これを変調器の高周波励振回路の前に挿入して逆極性の位相変調をかけることにより、変調器の位相変調成分を除去するようになっている。

4. 受信装置

多重アダプターとテレビ受信機との接続にはいろいろな方式があるが、最も標準的な方法はテレビ受信機の音声検波器出力（デエンファシス回路の前）に接続するものである。これはテレビ受信機の回路構成を変える必要がなく、接続端子を備えるだけでよいから、最も簡単な方法である。

(a) ステレオ用復調回路

(b) 簡易復調回路

図4 多重信号復調回路の系統図

アダプターの構成にも、復調回路だけで音声増幅器やスピーカはテレビ受信機自体のものを使用する組込形式と、増幅器やスピーカも別に備えたものがある。

多重信号の復調回路には、図4に示すように異種音声とステレオ音声との両方が受信可能なものと、異種音声受信専用のものがあるが、副チャンネルの復調回路は同一である。

副チャンネルの復調回路は、音声FM検波出力の多重信号からバンドパスフィルターで副搬送波信号を分離し、これをリミッターで一定振幅にしたのち、FM検波するようにになっている。FM検波回路はカウンター形で、リミッター出力波形を微分して整流することによりFM検波を行なう。ローパスフィルターは副搬送波成分と帯域外の雑音成分を除去するため挿入した。

ステレオ受信の際は、マトリックス回路で主チャンネルの信号と副チャンネルの信号とを合成して左右の信号を再生するが、この回路は制御信号を利用すれば、ステレオのときだけ自動的に挿入することができる。

制御信号の検出には、まず 55.125kHz (3.5 f_h) の副搬送波信号を分離して検波し、リードフィルターでトン周波数を検出する。そして、922.5Hz, 982.5Hz のいずれかの成分がある場合にはスケルチを解除して副チャンネル回路を動作させ、982.5Hz の場合にはさらにマトリックス回路も挿入する。

エキスパンダーは省略しても実用上さしつかえない。

アダプターを接続するテレビ受信機はバズができるだけ少なく、また音声受信回路の帯域が広いものが必要である。副チャンネルは主チャンネルよりバズの影響を受けやすく、バズが多いと音質が著しく劣化するからである。音声受信回路の帯域幅は、主チャンネルから副チャンネルへのクロストークに関係があり、帯域幅が狭いとクロストークが目立つ。

これらの点について既存のテレビ受信機は十分な特性をもっていないものが多く、またアダプターの接続端子も備えていないので、これを多重受信用に利用することは推奨できない。現在、アダプターの接続端子を備え、バズやクロストークの特性にも充分留意した多重受信用テレビ受信機がすでに市販されており、これを使用すれば満足な音質を得ることが可能である。

表2 代表的な送受信機総合特性 (コンパンダーなし)

	周波数帯域 (Hz)	ひずみ率 (%)		SN比(評価値)(dB)		S/バズ(評価値)(dB)	*1 S/バズビート (dB)	*2 クロストーク (dB)		ステレオ分離度
		1kHz	7kHz	受信機入力 70dB μ	受信機入力 60dB μ			主→副	副→主	
主チャンネル	50~15000	0.4	0.4	60	58	56	—	-58		100Hz~1kHz } 5~10kHz } >20dB 1~5kHz } >30dB
副チャンネル	50~12000	1.6	4.5	56	52	53	42		-51	

特記しない限り、変調率は100%、基準周波数は1kHz *1: 200Hz 30% 変調基準 *2: カラードノイズ法による

5. 実験放送による試験結果

現在まで約1年半の実験放送によって得られた主な結果はつぎのとおりで、この方式が実用可能なことがほぼ明らかになった。すなわち、

(1) 既存テレビ受信機の映像および音声に対する妨害はほとんど認められず、一般受信者からのクレームもほとんどない。また、映像と主チャンネル音声については、サービス区域、放送波中継、チャンネル割当などに対してもまったく影響がない。

(2) 副チャンネルの音質は表2に示すように主チャンネルの音質よりはやや劣るが、充分実用になり、またSN比、バズ、クロストークはコンパンダー方式で聴感的に改善可能である。

また、映像のサービス区域内においてはSN比、自動車雑音妨害に対する評価は映像より良く、他のテレビチャンネルからの混信妨害も、映像よりは少ない。したがって、サービス区域は映像と同等と考えられる。

ただし、バズ発生量の大きい送信機、テレビ受信機を使用すると音質が著しく劣化するおそれがありまた主チャンネルからのクロストークも、送信機や受信機のあるいは受信条件によって劣化する場合がある。

(3) 送信機は多重変調器およびバズ補償回路の付加以外には大幅な改修は不要であり、放送波の多段中継による特性劣化も比較的少ない。

(4) 多重受信用としてバズ、クロストークが充分少なく、多重アダプターの付加が可能なテレビ受信機のコストは一般テレビ受信機と変わらない。多重アダプターの制御信号による自動切換回路は充分安定に動作し、アダプター生産上の問題もない。したがって、アダプターのコスト以外には普及上の問題はほとんどない。(沼口)

6. コンパンダー

4章において述べたように、副チャンネルは音質上SN比とバズ妨害およびクロストークに若干不満がある。とくに音声ステレオ化を中心にして考えると、副チャンネル

の SN 比、バス妨害は、主チャンネルのそれに比して若干劣っている。したがって、約 10dB 程度の改善をはかって主チャンネルと同等の音質を確保できるようにしておく必要がある。

このためには、送信側でダイナミックレンジを圧縮して実効変調度をあげ、受信側でダイナミックレンジを復元すれば目的を達する。しかし、実際の運用においては伝送路の雑音妨害が信号レベルに対して -45dB 以上の場合、妨害音が利得変化にしたがって変調され一種のひずみ感を生ずるから、伝送路の信号音レベル対妨害雑音レベル比が 45dB 以上の系で適用すべきである。

本文に記した副チャンネルの特性は以上の条件を満たしているので、レベル圧伸器を使用できることになる。

またレベル圧伸器を放送方式に適用する際には、一方では両立性を重視する必要がある、ダイナミックレンジ復元の操作を行なわないでも音質上の質の低下をもたらさないように動作を選定しなければならない。このような目的に対しては瞬時形圧伸器は機構上、圧縮器出力におけるひずみ発生は避けられず、両立性の条件に合致しない。したがって、エンベロープ形のレベル圧伸器を用いることになる。

エンベロープ形の圧伸器は図 5 のように入出力特性が折線形になっていて $e_i/e_0 = \gamma$ の値で圧縮伸長度を表わしている。通常のコンプレッサー、エキスパンダーはそれぞれ $\gamma = 0.5, 2$ 程度のものが使用されているが、圧縮器出力の音質上の問題、たとえばレベル変動の異常感、ひずみ感などがあり、両立性の観点から使用できない。実際には γ は可能な限り 1 に近づける必要がある。いま目標とする妨害成分の圧縮量は約 10dB 程度であるから

レベル圧縮のダイナミックレンジを 50dB とし、ピークレベル対妨害音実効値レベルを 50dB とし、圧伸比を 5:4, 4:5 とすると、信号が純音の場合の改善量は 10dB となる。実際の番組音の場合には 3~4dB 効率が低下するが、目標に対してはまず充分である。

一方、両立性については、レベルの圧縮は少量でありピークレベルにおいて最大 10dB 程度である。この量は通常のピーク制限増幅器の軽い動作に近く、かつ各レベルにおいて連続的な動作が行なわれるため、レベルの変動に不自然感はなく、聴感上の障害は認められない。

多数の番組による平均的な妨害音の改善度は、約 7dB 程度であり、また圧縮器出力単独での実効値レベルの向上は約 1.5dB である。したがって、受信側において伸長器を使用しなくても、若干の妨害音対信号比の改善が行なわれ音質上の要因の低下はないから、実用上はさしつかえはない。

なお、圧伸器の動作で、動作時間、復帰時間の選定は音質上大きな影響をもっている。本方式では両立性の面からやや長目の復帰時間を採用しているが、伸長側はやや短か目でもよい。表 3 に実験に使用した圧縮器の主要諸元を示す。圧縮器は左右チャンネルに使用し、制御信号を共用する。使用法は通常のステレオ用リミッターと同様である。

表 3

周波数特性	30~15000Hz ± 1 dB
動作時間	1ms
復帰時間	150ms
SN比(ダイナミックレンジ)	78dB
圧縮比	5:4
ひずみ率	0.3%(基準レベルにおいて)

7. 画像とステレオ音響

テレビ音声多重放送で、番組として最も興味を持たれるものは音声のステレオ化*であらう。音声のステレオ化については、技術と演出の接点ともいふべき問題が 2, 3 あるが、最も重要な画面とスピーカ配置およびステレオ効果との関係について述べる。

ステレオ音響の聴取位置は、スピーカと聴取者が正三角形の頂点、あるいは聴取者が若干後へさがった位置が最も良いとされている。一方、画面の最適観視位置は画面の高さを h とすると $6h \sim 8h$ となっている。これらの条件を満たすように画面とスピーカを配置すると、スピーカを見込む角度と画面の視角とが著しく異なるために、ワイドスクリーンにステレオ音響を組合せた映画などの印象とはだいぶ違ったものになってしまう。一方また、テレビ受信機の形態を考えると、スピーカを

図 5 圧縮伸長器の入出力特性

* 2チャンネルステレオ音響

図 6 左右チャンネル間のレベル差と方向定位

図 7 テレビ受信機とスピーカ組合せ例

画面に近接させる必要がある場合もある。したがって、スピーカー間隔を狭くした際のステレオ音の効果について検討しておく。

スピーカー間隔を狭くした際のステレオ音響の効果は、左右チャンネル間の漏話にはほぼ等価であるが、ステレオ音の効果は漏話量が增大するにつれて減ずる。したがって音響的には、視聴位置は画面に近づくことが望ましい。

以上の理由から視聴位置を画面から $6h$ の位置と定めステレオ音響効果上のスピーカー配置の画面への近接限界を求めてみる。

左右チャンネル間のレベル差と音像の定位角度との関係は、スピーカーと聴取者との関係を正三角形の頂点におくと図 6 のようになる。そこでスピーカー箱の幅を画面の幅と等しくとり、画面とスピーカー箱との間にやや間を置くとほぼ図 7 のようになり、スピーカーを見込む角度は約 30° となる。図 6 において左右のスピーカー出力レベル差 9dB には定位角約 15° が対応するから、この場合の漏話量はほぼ -9dB に相当する。モノホニック(左右の信号の和)音とステレオ音との差の検知率は、漏話量 -6dB においてすでに 95% 以上であり、ステレオ音としての効果は充分認められる。したがって、音声ステレオ化の効果はこのスピーカー配置によっても相当に

期待できるものと考えてよい。

このような画面に近接したスピーカー配置については画面上の音源の配置とサウンドステージ上*のそのの広がり方が近く、標準的なスピーカー配置によるステレオ効果と比較すると、その効果は若干減ずることになるが広くおいたスピーカー配置の場合に現われる画面と音との不適さ、あるいは不自然さについては減少することになる。

一般にテレビの音声をステレオ化すると、平均して番組としての効果は上るが、総合するとスピーカー間隔の狭い場合がより自然であり、画面と音響との競合という面からみて、よりすぐれているといえよう。

演出上の問題としては、画面上の音源の配置とサウンドステージ上での音像の配置が逆になるような場合、あるいは固定したサウンドステージと画面での急速なパン等の組合せの場合、などがあげられる。これらは聴視者に不快感を与えるので注意しなければならない。

なお、音声のステレオ化に際しての諸機器、運用上の問題としては、VTR の音声のステレオ化が最も重要である。現在の VTR の音声トラックをそのまま広帯域化してステレオの左右信号を記録することは困難であるから、別の音声トラックを増設するか、あるいは VTR に同期運転するステレオテープレコーダーを使用することになるが、いずれもまだ実用化の段階ではない。

便法として、音声トラックにステレオ左右信号の和をキュートラックに差の信号を録音する方法がある。この方法はキュートラックの SN 比が若干不足であり、また同期信号漏洩が多少あるために不満があるけれども、これは圧伸形ノイズサプレッサーなどによって改善される可能性があり、期待がもてる。

8. む す び

テレビ音声多重放送は現在ほぼ実用化可能な段階にあり、特に音声のステレオ化については、番組の質的效果の向上と相まって大いに期待できるものである。

ステレオ化されたテレビ番組は実験放送においても好評であり、また番組制作関係者間でもその効果は高く評価されている。テレビ番組制作における音響技術としてステレオ化の問題は今後の重要課題となるであろう。

(藤田)

(昭和 45 年 1 月 9 日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) 沼口, 池田, 秋山: テレビ音声多重放送方式, NHK 技研月報, 12, 9 (1969)
- 2) 沼口, 池田, 秋山: テレビ音声多重方式の実験放送と受信試験, NHK 技研月報, 13, 4 (1970)

* 音像が配置されている範囲