

AMステレオ受信機 “CE-5031”

AM Stereo Receiver “CE-5031”

勝 丸 桂二郎⁽¹⁾ 奥 田 昌 男⁽²⁾
Keijiro Katsumaru Masao Okuda

西 川 謙 治⁽³⁾ 佐々木 三 利⁽⁴⁾
Kenji Nishikawa Mitoshi Sasaki

要 旨

AMステレオ放送は1982年7月に米国で放送され、既に3年が経過した。この間に、AMステレオ放送局数は400局に達し、米国以外にも、カナダ、オーストラリアと、世界的に広がりを見せている。

この対応のため、当社ではトヨタ自動車㈱と共同で、1985年2月に対米輸出車を対象としたAMステレオ対応機種を開発した。AMステレオ方式はモトローラ方式を採用し、ステレオ性能としては、数度の現地実験を実施し、所望の特性を得た。

本稿では、まずAMステレオ放送の動向、モトローラ方式の説明について述べた後、本機の設計開発の概要、評価結果などについて報告する。

September 7, 1982 marked the start of AM stereo broadcasts in USA. Number of AM stereo broadcasting station is over 400 today. Besides USA, they are apt to start the broadcasting in Canada, Australia and other countries.

In February 1985, FUJITSU TEN LIMITED and TOYOTA MOTOR CORPORATION jointly developed an auto radio with the “AM stereo”. This model “CE-5031” includes AM stereo reception using the Motorola system as well as FM stereo.

The required specifications were realized through repeated experiments in USA.

This paper reports movements of AM stereo broadcast, and characteristics of Motorola AM stereo system, and outlines of this model “CE-5031”, and results of evaluation.

(1)~(3) 第一技術部

(4) 開発技術部

1. はじめに

AMステレオ放送は、米国においてAM放送局がFMに侵食されたシェアを挽回する目的の一つとして提案され、現在技術的にはほぼ完成されている。AMステレオ放送の特長の一つとして、FMに比べてマルチパス障害がなく、ステレオ受信範囲が広い点があげられる。特にこの特性はカーラジオに適しており、当社も数年前より検討を着手し、このたびトヨタ自動車向純正品として、AMステレオ対応機種（モトローラ方式）を開発した。

以下、AMステレオ全般についての説明、本機種の開発内容について紹介する。

2. AMステレオ放送の経過と現状

2.1 米国の状況

米国では3年前の昭和57年7月からAM放送を世界で始めて開始し、全米4500の放送局中既に400局以上の局がAMステレオ放送中である。AMステレオ放送は5方式あるが、米国FCCは、昭和57年3月にこれら5方式を統一せずマーケットの自然淘汰により統一をはかる方法を採用し、AMステレオ放送を認可した。このためAMステレオの方式について、激烈な市場競争が行なわれ、その結果、ベラー、マグナボックスに続いて、1984年にはハリスも脱落した。現在はモトローラとカーンの2方式がしのぎを削っている。米国に於け

表-1 (a) 米国でのAMステレオ放送局数

方 式	調査時期
	1985年2月
モトローラ (ハリス)	約200局 (約100局)
カーン	約100局
マグナボックス	2～3局
ベラー	0

るAMステレオの方式別放送局数、およびAM、FM局数の推移を表-1(a)、(b)に示す。

この表で示す通り、モトローラ方式を採用した局が非常に多くなっている。これはGM、フォード、クライスラーのビッグ3がカーラジオにモトローラ方式を採用したこと、カーオーディオメーカーがほとんどモトローラ方式を採用したことなどが理由としてあげられる。さらにハリス社が、ハリス方式を断念し、モトローラ方式に転換するとすればモトローラ方式はAMステレオ放送局の約70%を占めることになる。一方カーン社は局数は少ないが、大都市の大電力局に採用しているので、リスナー数はモトローラ、ハリスがまとまったとしても、全リスナー数は互角であること等、強気の姿勢を続けているが、方式争いはモトローラ優位のうちに進んでいる。

2.2 オーストラリアの状況

日本と電波割当が同等であり第3地域に属しているオーストラリアの現状について述べる。オーストラリアでは1984年、10月モトローラ方式を統一方式とすることに決定した。現在民放局の約30%、33局のモトローラAMステレオ局がある。なお、オーストラリアが一方式に決定したのは①送信システムに各方式の優劣はない。②受信機は4

表-1 (b) 米国でのAM、FM局数の推移

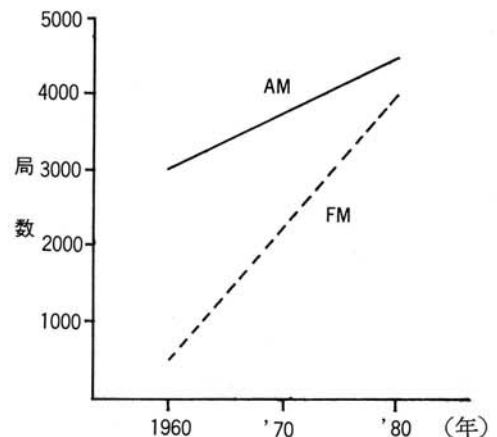


表-2 AMステレオ放送の方式比較

項 目 \ 方 式	マグナボックス (AM-PM)	カ ー ン (I S B)	モトローラ (C-QUAM)	ハ リ ス (QUAM)	ベ ラ ー (AM-FM)
モノラル放送との両立性	○	○	○	△	○
占有帯域の広がり	△	△	△	○	△
セパレーション	△	○	△	△	△
デコーダ部の規模	中	大	小	小	小
回路調整の有無	有	有	無	無	有
デコーダICの有無	有	無	有	無	無

○ よい △ 普通

方式対応より単一方式の方が、特性面でも、価格の面でも優れている。③受信機業界も単一方式の標準化を望んでいる。④モトローラ方式に市場優位性があるなどの理由をあげている。

2. 3 その他の国の状況

アメリカ、オーストラリア以外では、カナダで約30局、メキシコ、ニュージーランド、ベネズエラ、南ア連邦で数局のAMステレオの放送局がある。

2. 4 日本の状況

日本でのAMステレオ放送の動きは、中波放送関係者によって技術面、営業面での検討が行なわれている。一方行政面からの検討も始められ、これまでの公式見界では「昭和53年に協定されたジュネーブ協定により、AMステレオ放送は当面考えられない」としていたが、民放連の早期実現のアピール、また我が国と同じ第3地域のオーストラリア、ニュージーランドのAM放送開始のインパクトもあり、最近変ってきた。具体的には、郵政省放送行政局が技術課長の諮問機関として「中波放送技術懇談会」を昨年12月に発足させ、その中の検討項目の一つとして、AMステレオがあがっている。日本は夜間混信ノイズ等、第2地域（アメリカ）より厳しい条件下にあり、AMステレオ放送実験までには多くの問題をかかえている

が、その解決に今一步踏みだしたところである。

3. AMステレオ放送の方式

モトローラ方式については後で詳述するが、現在認可されている各方式について当社で検討した結果を表-2に示す。

AMステレオの評価として送信側での重要性はモノラル放送との両立性と占有帯域巾がある。方式を分類すると、直交変調を用いているハリス方式と、振幅/角度変調を用いているマグナボックス・カーン・ベラー方式、両者をミックスしたモトローラ方式になる。その特質は、直交変調では占有帯域帯は従来と変わらないが、モノラル放送との両立性に劣る。一方、振幅/角度変調は逆の特性を持つ。この中でモトローラ方式は両方の特長を兼ねそなえており、大きな欠点を持たない。

受信側特性としては、性能面でセパレーション、生産面ではデコーダ部回路の規模及びデバイスの有無が重要となる。セパレーションについては受信機の総合特性として各方式に大きな差はない。又、デバイスでは、モトローラ社は早期に1チップデコーダICを開発しており、無調整化と回路規模で他の方式をリードしている。

4. モトローラ方式

モトローラ方式は、従来、考えられているQUAM方式 (Quadrature Amplitude Modulation) を改良したC-QUAM方式 (Compatible-QUAM: 両立式直角変調方式) で、送信機側がステレオ信号 $\sqrt{(I+L+R)^2 + (L-R)^2}$ を送った場合、図-1のように、 $L=R$ では歪を生じないが、 $L \neq R$ 時に歪を生じるといった欠点をなくしている。

QUAM方式の信号は下記の(1)、(2)式のよう表される。

$$e_c = \sqrt{(I+L+R)^2 + (L-R)^2} \times \cos(\omega_{ct} + \phi) \quad (1)$$

$$\phi = \tan^{-1}[(L-R)/(I+L+R)] \quad (2)$$

ただし e_c : 電圧、 ω_{ct} : 角周波数、 ϕ : キャリアの位相角、 R : 右信号、 L : 左信号

図-2(a)は、QUAM方式の信号ベクトル図であ

り、 $I+L+R$ と $L-R$ の合成ベクトルの和は、 $\sqrt{(I+L+R)^2 + (L-R)^2}$ で表される。

C-QUAM方式は、QUAM方式の信号である(1)式に $\cos\phi$ をかけたものである。

$$e_c = [\sqrt{(I+L+R)^2 + (L-R)^2} \times \cos(\omega_{ct} + \phi)] \cos\phi \quad (3)$$

$$\cos\phi = (I+L+R) / \sqrt{(I+L+R)^2 + (L-R)^2} \quad (4)$$

(3)式に(4)式を代入すると

$$e_c = (I+L+R) \cos(\omega_{ct} + \phi) \quad (5)$$

(5)式がC-QUAMの信号となる。そのベクトル図を図-2(b)に示す。

$(I+L+R)\cos\phi$ と、 $(L-R)\cos\phi$ の合成ベクトル和は $I+L+R$ となり、ステレオ放送でモノラル受信しても歪を生じない。

次に、モトローラ方式の送信機のブロックダイヤグラムを図-3、図-4に示す。

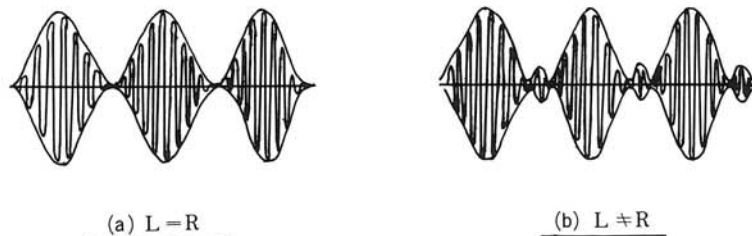


図-1 AMステレオ信号
Fig. 1 AM stereo signal.

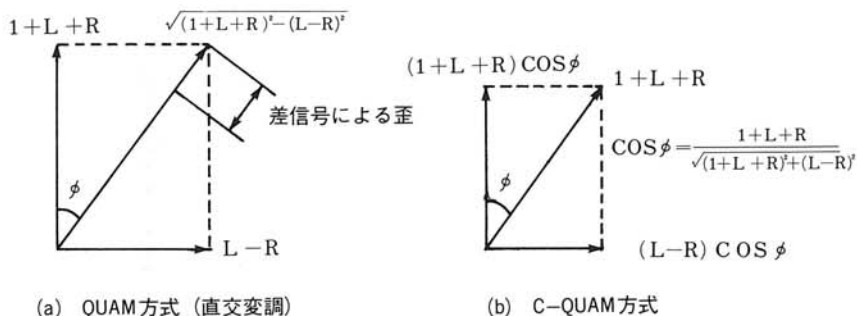


図-2 信号ベクトル図
Fig. 2 Vector of AM stereo.

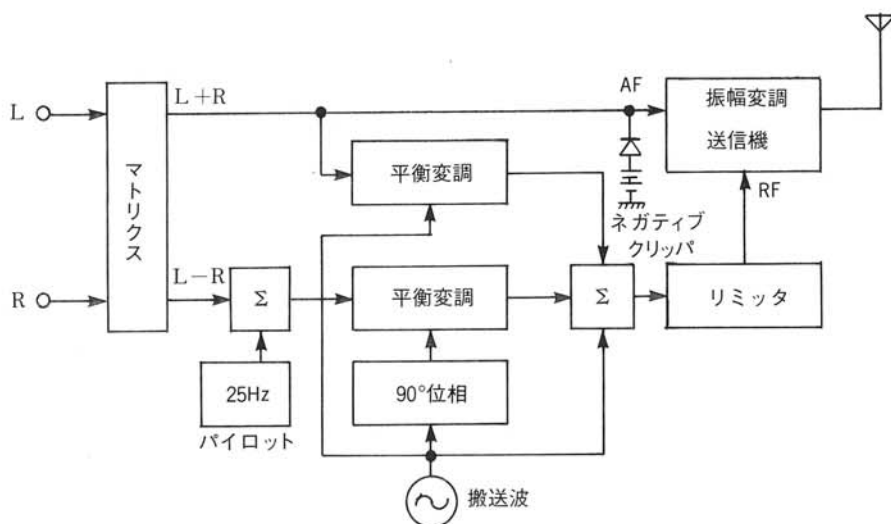


図-3 送信機のブロックダイアグラム
Fig. 3 Block diagram of transmitter.

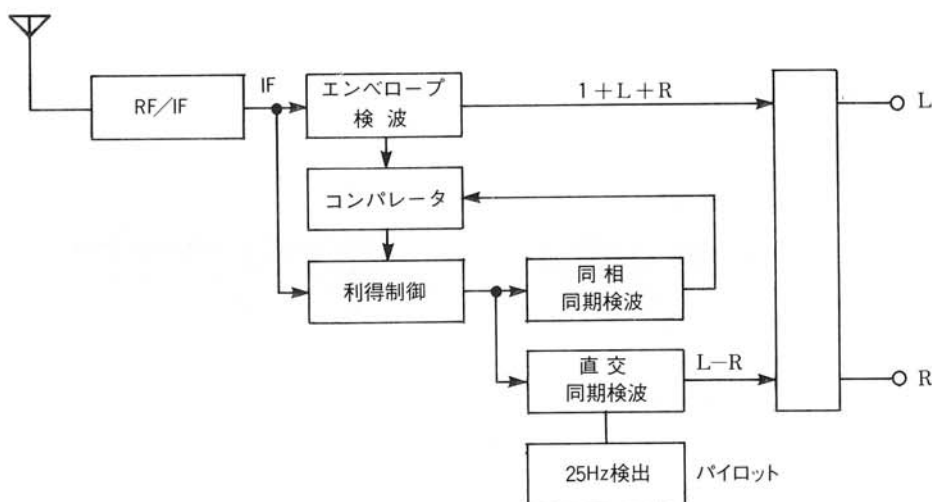


図-4 受信機のブロックダイアグラム
Fig. 4 Block diagram of receiver.

以下、当社が開発したAMステレオ受信回路について述べることにする。

5. CE-5031の開発

5.1 CE-5031システムについて

本機は、旧モデルCE-5030を母体とし、AM回路部を全面修正し、AMステレオ化をはかった

ものである。修正内容として、AMステレオデコードをIFとパワー間に挿入するとともに、AMステレオの特性を発揮するため、チューナ部及びIF回路を大幅に改良している。以下その要点について述べる。

5.2 チューナ部

1) トラッキング回路

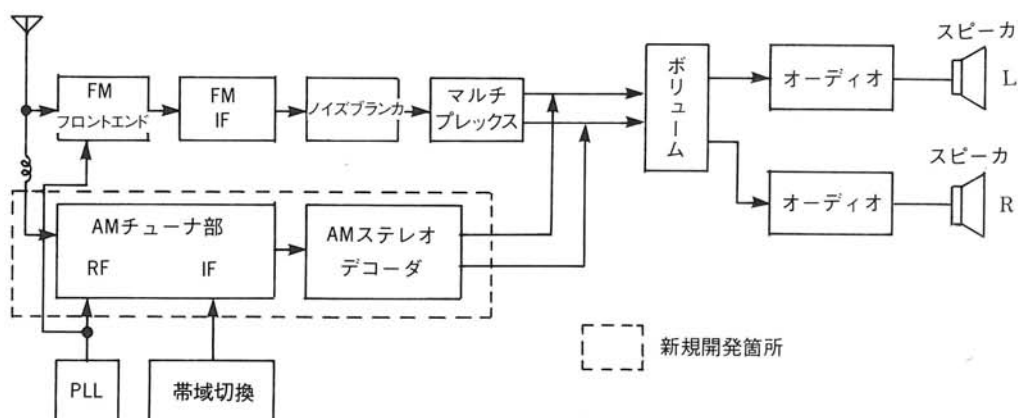


図-5 CE-5031システム

Fig. 5 CE-5031 system.

AMステレオ化は、最も重要なことは分離度の確保であるが、これは、チューナー部のトラッキング特性により大きく影響を受ける。

その影響を受ける理由を、サブ信号からメイン信号への干渉を主要因として、説明する。

サブ信号は、キャリアを位相変調したものであるが、これは、周波数変調としても見る事が出来る。この周波数変移から、同調特性の傾斜によって、振幅成分を発生する。同調がずれると、この漏れ方が顕著になり、分離度を劣化させる。

このようにして起こる同調ずれに対する分離度

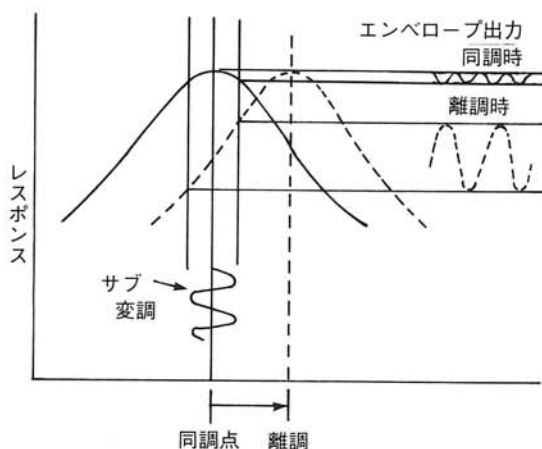


図-6 サブ変調からメイン変調への影響

Fig. 6 Influence from SUB to MAIN signal.

の劣化を計算予測したのが、図-7である。

これは、RF同調回路を2段、選択度のQは各々50、変調周波数を1 kHzとして計算している。

この結果、一般的なステレオ再生に必要とされている分離度20 dB以上を確保するには、同調ずれを、受信周波数 1000 kHzで、 ± 2 kHz以内に押える必要がある。ただし、分離度は、帯域幅で決まるため、同調ずれの許容値は、受信周波数に比例する。

一方、従来のトラッキング回路での同調ずれを計算すると、トラッキングポイント (600, 1000, 1400 kHz) 以外の800 kHz, 1200 kHzでは、 $\pm 3 \sim \pm 4$ kHz有り、改善の必要がある。図-10カー

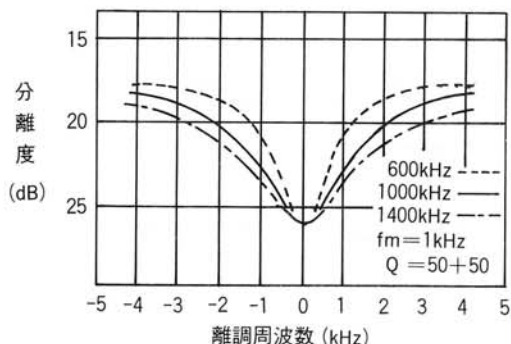


図-7 同調ずれ対分離度

Fig. 7 Detune frequency vs separation.

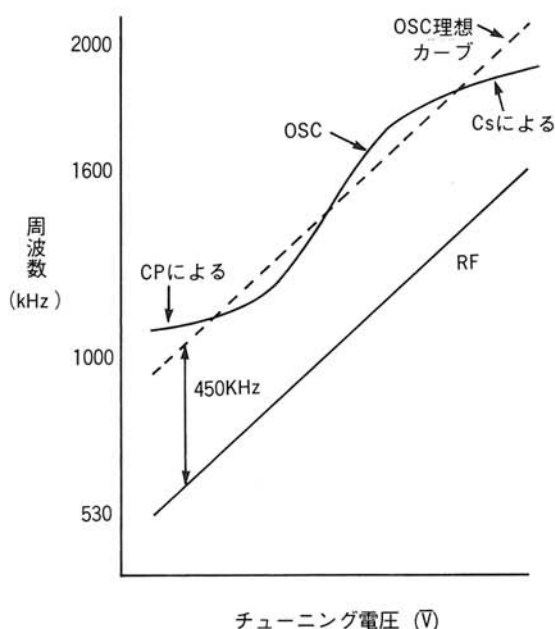


図-8 同調ずれのメカニズム

Fig. 8 Mechanism of tuning error.

ブ a にその特性を示す。

この同調ずれが発生する原因は、RF の変化比 (530~1620 kHz) 約 3 倍を、OSC に必要な変化比 (RF + IF : 980~2070 kHz) 約 2 倍へ圧縮するため、パッシングコンデンサ Cp により低域変化比を押え、ストレコンデンサ Cs により高域変化比を押え、全体として、3 次カーブによる近似を行なっているためである。(図-8)

従来の回路を改善するには、Cp や Cs によって圧縮され過ぎた変化比を可変容量素子を追加し

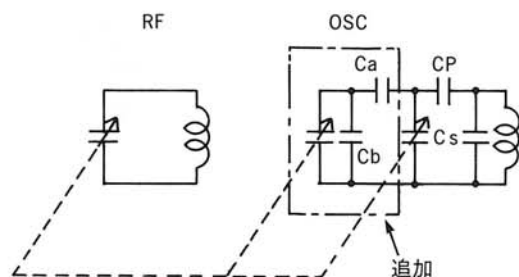


図-9 トラッキング回路

Fig. 9 Tracking circuit.

て、逆に変化比を伸長させる。この時、伸長量を Ca、Cb により、適的な値に選んでいる。(図-9)

この回路は、結果的に 4 次カーブによる近似を行なっており、同調ずれは、600~1400 kHz の間で、 ± 1 kHz 以内に押えられ、分離度の確保が可能となった。図-10 カーブ b にこの特性を示す。

2) I F 回路

AM ステレオ化で分離度の確保に次いで重要なことは再生帯域の広帯域化である。従来のモノラル受信機では、車両雑音や、電界変動による弱入力受信での雑音の低減、また夜間での隣接局による妨害排除を考慮して IF 通過帯域を狭帯域に (4 kHz) にしていた。このため、雑音は少なくなるが、音質的には FM 受信機に比べ、大きく劣る結果となっており、このままの帯域では、ステレオ化による音質の向上が望めない状態で、広帯域化が不可決であった。

そこで広帯域化は、雑音の問題を解決するため従来の狭帯域との切換えによる併用とし、受信状態に合せて、再生出来るようにした。

切換回路は、回路の簡素化と、切換時のショック音を押える必要から、切換による利得差を少なくするように、広帯域と狭帯域のセラミックフィルターを、ダイオードスイッチにより選択する方法とした。

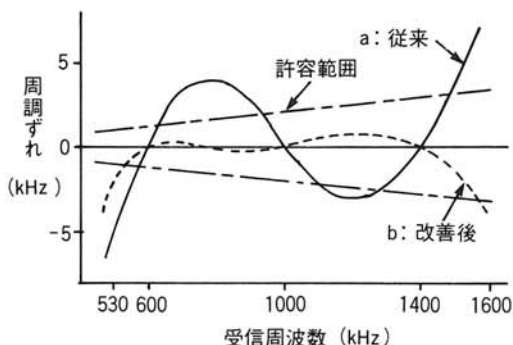


図-10 同調ずれの比較

Fig. 10 Tracking error vs frequency of receiver.

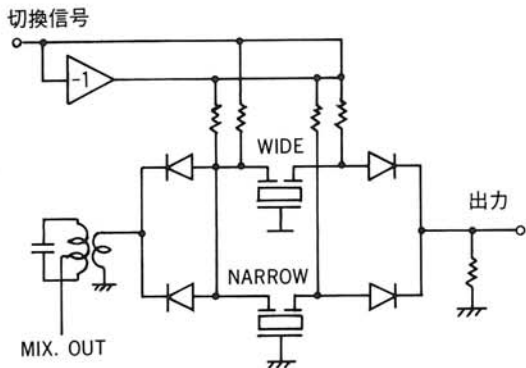


図-11 I F帯域切換回路

Fig. 11 Switching circuit of IF bandwidth.

これにより、再生帯域は、図-12のように広帯域化が可能となった。ただし、AMは、 $100\mu\text{S}$ のプリエンファシスを考慮した、送受信全体での特性である。

ここでAMステレオの音質についてまとめると再生帯域が4 kHzから7 kHzになった事で音声中心の再生から、音楽再生も可能となり、ステレオ化の意義を向上出来た。またFMと比較すると、高域再生能力を含めた、精細な音質と言う点で劣っているが、従来のAMとは比較にならない音質を得る事が出来た。

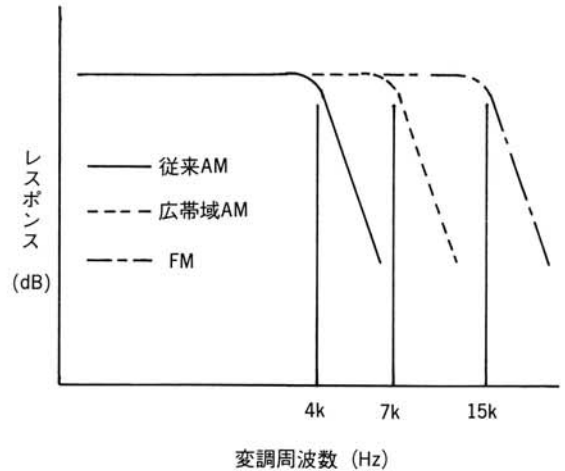


図-12 再生帯域の比較

Fig. 12 Defference of the bandwidth among three types of receiver.

5.3 デコーダー部

1) 動作概要

本受信機のデコーダー回路は、方式開発メーカーであるモトローラ社が、製品化したIC (MC13020P) を採用しており、ここでは、AMステレオの理解のため、このICの概要を紹介する。

回路構成は、①メイン、サブ信号を同期検波する検波部、②同期信号を発生するPLL部、③左

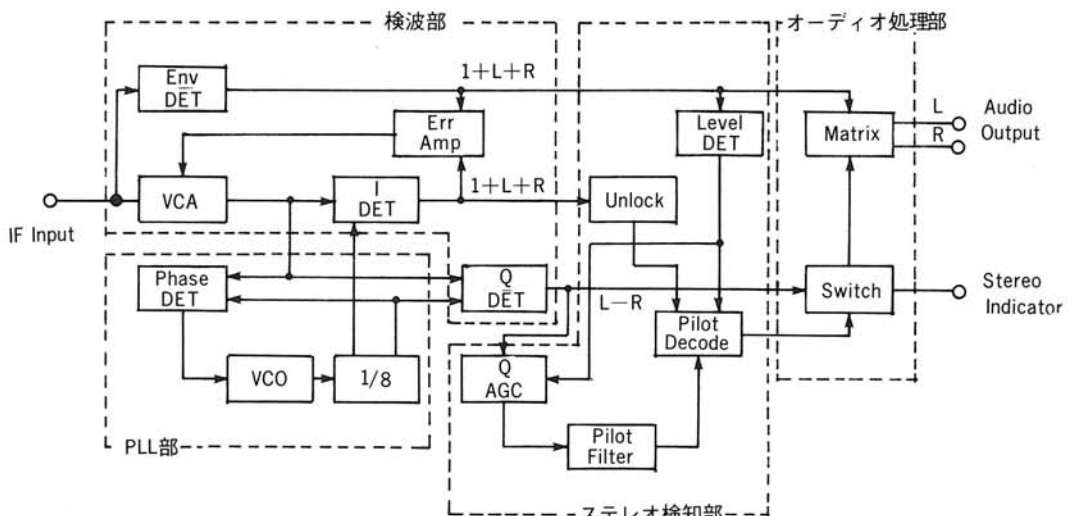


図-13 デコーダ (MC13020P) のブロックダイアグラム

Fig. 13 Block diagram of decoder (MC13020P).

右出力を得るオーディオ処理部、④パイロット信号を検知するステレオ検知部の4つのブロックに大別出来る。以下各々のブロックの動作を説明する。

2) 検波部

C-QUAM信号をQUAM信号に変換するためI-DET出力がエンベロープ出力（メイン信号）と等しくなるよう負帰還をかけ、モトローラ方式の説明で述べたように、 $1/\cos \phi$ を掛けた事と等価な動作を得ている。（次にこの信号をI-DET、Q-DETの同期検波回路でメイン信号、サブ信号を導入している。）

3) PLL部

同期検波用の同期信号を得るPLL部は、位相比較、LPF、VCOより成る。LPFは、サブ信号及びパイロット信号に対し、応答しないよう時定数を大きく設計する。又、出力の同相同期信号はI-DET回路へ与え、 90° 位相同期信号はQ-DET回路へ与え、各々同期検波する。

4) オーディオ処理部

マトリックス回路で、メイン信号とサブ信号からLch, Rch出力を得る。又、ステレオが検知されない状態ではサブ信号をカットしてモノラル化を図っている。

5) ステレオ検知部

サブ信号中のパイロット信号（25 Hz）を、パイロットフィルター（ $Q \approx 8$ ）により取り出しパイロットデコーダーでステレオ検知をしている。このデコーダーは検知の誤動作、不動作を防ぐため、信号の周期性を判別し、動作を安定にしている。

6. 開発の成果

6.1 評価結果

本機を北米で実車走行実験を行った結果について述べる。

1) 音質について：AMステレオ化によりAMの音質は飛躍的に向上した。特に帯域切替をワイドにしてステレオ放送を受信した場合、広がり感と高域の伸びが感じられ、AM波で充分、音楽が楽しめることが可能となった。

2) 耐雑音性について（各切替SWの有意性）：ステレオ化による雑音性能の劣化はなく、モノラル強制スイッチは将来的に削除することが可能であろう。音質を良くし、ステレオ性能を発揮するための広帯域化は特異条件下（高圧線、トンネル等）での、外来ノイズ、あるいは夜間の隣接局の影響を大きく受ける場合がある。帯域スイッチをナローとすることにより、対策が可能であり、帯域スイッチは今後共有効なスイッチである。

3) サービスエリアについて：AMステレオのサービスエリアは、外部ノイズのない所では確かに広がっており良好な受信が可能である。外来ノイズの多い場所、例えば都市部などではそのメリットを発揮出来ない。

4) ハリス方式の互換性：ハリス方式が今後モトローラ方式に統合されるため変調方式のちがいに

表-3 AMステレオ部諸元

項 目	性 能
AM実用感度	34 dB μ V以下
AMステレオ復調感度	30 dB μ V以下
AMセパレーション	25 dB (Typ)
大入力S/N (入力 74 dB)	40 dB以上
ステレオ歪率	1% (Typ)
周波数特性 (WIDE, 7 kHz/400 Hz)	-16 dB (Typ)
周波数特性 (NARROW, 4 kHz/400 Hz)	-13 dB (Typ)
最大出力	10W $\times$ 4 20W $\times$ 1(ウーハ)
消費電流	10A以下
寸 法	180(W) $\times$ 100(H) $\times$ 150(D)
重 量	約2.3kg



図-14 CE-5031の外観図

Fig. 14 Exterior view of CE-5031.

よるステレオ感やひずみについて、実用上の問題を検討した。今回開発したモトローラ方式の受信機でハリス方式の放送波を受信したが、特に不具合はなく、実用化可能である。

6. 2 諸 元

本システムの諸元を表-3に示す。外観図を図-14に示す。

7. お わ り に

以上モトローラ方式AMステレオの概要とセッ

トの実用化について紹介した。

本受信機の開発により、AMステレオの商品性が確認出来たこと。今後のトヨタ向対米機種に本AMステレオの採用が決定されたことなどの成果があった。今後の検討については、さらに操作性、視認性、受信性能、音質性能の向上をはかり、よりユーザーズに適確な対応が出来るよう設計に取りくんで行きたい。最後に、本機の開発にあたり、ご指導を賜ったトヨタ自動車株式会社各位に深く感謝の意を表する。