

海外向PLL方式車載用無線装置

—150 MHz, 400 MHz帯—

PLL Synthesized Mobile Radio for Overseas Market

—150 MHz, 400 MHz Band—

田 中 国 次⁽¹⁾ 立 田 次 郎⁽²⁾
Kunitsugu Tanaka Jiro Tatta

喜 多 靖 文⁽³⁾ 増 田 一 郎⁽⁴⁾
Yasufumi Kita Ichiro Masuda

要 旨

近年、米国市場における業務用無線装置は、水晶制御で倍式無線装置から、水晶制御式PLLシンセサイザ無線装置に、かわりつつある。

これは、ユーザニーズの“納期短縮”と、販売店ニーズの“水晶在庫不要”とが一致し、更に、高周波用プリスケラICの急速な発達に伴った結果と考えられる。

今回、開発を行った92型車載用無線装置は、150 MHz/400 MHz帯直接分周式PLLシンセサイザ、および8ビットマイクロコンピュータを採用することにより、多機能、高性能を実現している。

また、きょう体構造は、きょう体とシールド壁を一体成形のアルミダイキャスト製にすることにより、送信部のシールド効果を高め、性能の安定化に重点を置いて設計したものである。

In U.S.A., crystal system are going to be taken over by crystal controlled PLL synthesized system in the field of the business radio.

This is supported by the rapid development of high frequency prescaler ICs, meets customers' demand of quick delivery and solves the dealers' crystal lag problem.

Employing a direct dividing PLL synthesizer and 8-bit microcomputer allows the new 92 series to pursue multiple functions and high performance.

The uni-cast structure of chassis and shield wall using an alminum di-cast gives better shield effect and stability.

(1), (2), (4) 無線技術部

(3) FTCA

1. ま え が き

米国における移動無線装置の利用形態は、わが国のそれとは大きく異なる。

まず第1に、わが国では地理的な狭さ、また都市の過密から、狭域無線ゾーンに適したSimplex方式（単一波によるPress-to-talk方式）が、多く利用されるのに対し、日本国土の約25倍という広大な国土を有する米国では、広域無線ゾーンに適した、Semi-Duplex方式（二波によるPress-to-talk方式）と、近距離通信用に、Simplex方式の併用が多く利用される。

第2に、米国では、中継局により、フォーンパッチ（中継局による電話回線への接続）が可能であるため、複数（通常7波）チャンネルの使用が、認められている。このように、日本国内の単一波

型無線装置に比べ、米国では、2波以上の複数波が利用出来る無線装置の市場ニーズが大半を占める。

今回開発を行った92型車載用無線装置は、以上の米国市場ニーズを背景に、マイクロコンピュータ（以下CPU）の持つメモリ機能、演算機能を最大限に活かし、多チャンネル、多機能、高性能を実現している。

また今後も、多機能形業務用無線装置の開発には、CPUの採用が不可欠になるであろう。

本論文では、92型車載用無線装置の概要、特長、及び設計上の要点について述べる。

2. 装置の概要

装置内部は、大別して送受信部、信号処理部、PLLシンセサイザ部、及び制御部から構成され

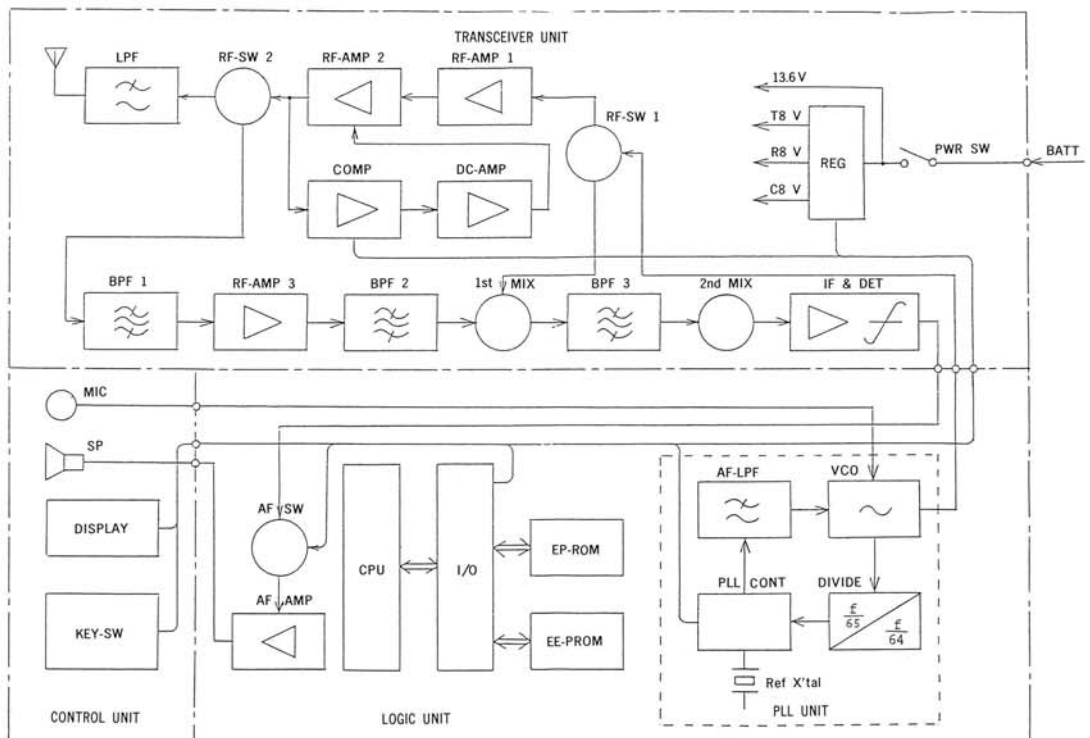


図-1 FTM15-3092/FTM40-3092型無線装置ブロックダイアグラム

Fig. 1 Block diagram of FTM15-3092/FTM40-3092.



図-2 FTM15-3092/FTM40-3092型無線機外觀図
Fig. 2 Exterior view of FTM15-3092/FTM40-3092.

ている。

きょう体は、H形断面を持ち、後部に放熱フィンが一体成形されたアルミダイカスト製である。

本装置のブロックダイアグラムを図-1に、外観を図-2に示す。

2. 1 装置の系統・動作

2. 1. 1 信号処理部

信号処理部は、8ビットCPU、I/Oインターフェイス、64KビットEP-ROM、EE-PROMを主要構成部品とし、装置全体の中枢をなし、装置動作の全てを制御するもので、主要制御は次のとおりである。

- 1) 制御部表示データの送出
- 2) 制御部各スイッチ類のON-OFF検知
- 3) 連続トーンスケルチ(CTCSS)のエンコードおよびデコード
- 4) EE-PROMへのデータ書き込み、および消去
- 5) シンセサイザ部へのデータ送出

6) 送受信部の送受切換え

2. 1. 2 PLLシンセサイザ部

PLLシンセサイザ部は、VCO部、PLL部から成り、送信時は搬送波信号を、受信時は第1局発信号を発生する。

1) VCO部

変形コルピッツ形発振回路を用い、能動素子には、フリッカー雑音の少ない接合形FETを使用し、高C/N、高S/Nを実現している。

2) PLL部

PLL部は、2モジュラスプリスケアラ、PLL制御器、LPF、および基準周波数発振器により構成されている。VCO出力は、プリスケアラ、PLL制御器により、直接分周され、基準周波数と位相比較された後、位相同期がかけられる。

2. 1. 3 送受信部

1) 送信部

送信部は、400 MHz帯無線機を例にとると3段のトランジスタによる励振電力増幅部、3段のト

ランジスタによる最終電力増幅部、アンテナ切換えSW. およびAPC (Automatic Power Control) により構成される。

2) 受信部

受信部は、ヘリカルレゾネータ、高周波増幅部、復調器、アンプ等により構成されている。

2.2 装置の特長

- 1) EE-PROM(Electrically Erasable Programmable ROM)を使用することにより、外部装置なしに周波数設定、変更が容易に行える。
- 2) 8ビットCPUの使用により、チャネルスキャン、プライオリティスキャン(時分割による、2周波走査)に加え、トーンスケルチ(CTCSS)エンコード、およびデコード処理を可能にした。
- 3) 表示部に蛍光表示管を使用したことにより、

昼間でも視認性が優れている。

- 4) サーモスイッチ式水晶温度補償により、超低温(-30°C)での発振周波数の安定化(-5×10^{-6} 以内)を可能にした。
- 5) 400 MHz帯用無線機では受信フロントエンドにガリウムヒ素FETを使用することにより、受信機の感度が向上した。
- 6) VCO発振素子に接合形FETを使用することにより、高C/N、高S/Nを実現した。
- 7) マイクロストリップラインを多用することにより、送信機の広帯域化をはかった。
- 8) フロントパネルを45度傾斜のスラントノーズとすることにより、操作性を向上させると共に、口径65%のスピーカーを取付け可能とし、

表-2 FTM15-3092/FTM40-3092型
無線機主要性能

表-1 FTM15-3092/FTM40-3092型無線機定格

項 目	FTM15-3092	FTM40-3092
周 波 数	148~161 MHz または 161~174 MHz のうち16チャンネル	450~470 MHz のうち 16チャンネル
最大周波数スペース	送信 2 MHz 受信 1 MHz	送信 6 MHz 受信 3 MHz
チャンネルセパレーション	5 kHz	送信 25 kHz 受信 12.5 kHz
電 波 形 式	16K0F3E	
最大周波数偏移	± 5 kHz	
空中線インピーダンス	50 Ω	
通 話 方 式	プレストーク (セミデュプレックス可)	
トーン周波数	EIAトーン 38波	
受 信 方 式	ダブルスーパーヘテロダイン	
電 源	DC13.6V (ー接地)	
温 度 範 囲	$-30 \sim +60^{\circ}\text{C}$	
寸 法	160(W)×60(H)×243(D)	
重 量	2.4 kg	

項 目	FTM15-3092	FTM40-3092
送 信 出 力	30W	
周 波 安 定 度	$\pm 5 \times 10^{-6}$ 以内	
スプリアス輻射	-70 dB以下	
標準変調入力	-50 dBm (600 Ω)	
送 信 歪 率	5%以下(標準変調時)	
送 信 S/N	40 dB以上(標準変調時)	
受 信 感 度	-6 dB/ μV 以下	-5 dB/ μV 以下
受 信 帯 域 幅	12 kHz以上 (-6 dB帯域幅)	
受 信 選 択 度	25 kHz以内 (-70 dB帯域幅)	
スプリアス感度	60 dB以上	
感度抑圧効果	70 dB/ μV 以上	
相 互 変 調	55 dB/ μV 以上	60 dB/ μV 以上
受 信 歪 率	5%以下(標準変調時)	
受 信 S/N	35 dB以上(標準変調時)	
受 信 最 大 出 力	3W以上(内部スピーカ) 5W以上(外部スピーカ)	
消 費 電 流	約6.5A(送信時) 約0.6A(受信時) 約0.4A(待受時)	約7.5A(送信時) 約0.6A(受信時) 約0.4A(待受時)

音量の増大をはかっている。

- 9) 一体成形アルミダイカストシャーシの使用により、放熱の高効率化をはかっている。
- 10) 装置の角度が、3段階に調整できる吊下げ金具を採用することにより、装置の取付け性が向上した。

2.3 本装置の仕様

本装置の定格を表-1に、性能を表-2に示す。

3. 設計の要点

本装置は、当社初の400 MHz/150 MHz帯PLL方式業務用無線装置であり、新たに400 MHz/150 MHz帯PLL回路と、業務用無線装置に適した、ソフトウェアの開発を行った。

3.1 PLL回路

PLL回路は、VCO、2モジュラスプリスケラ、PLL制御器、基準周波数発振子を主な構成部品としている。

無線装置における電波の質の良さ（相手に妨害を与えにくく、相手から妨害を受けにくいこと。）は、すべてこのPLL回路の性能如何にかかわっており、中でもVCOが、最も重要な構成部品である。

3.1.1 発振器における位相雑音

受信機における2信号選択特性で、感度抑圧効果特性や隣接チャネル選択度は、局発信号の側帯波雑音が多く含まれると、特性が悪化し、隣接チャネルの影響を受けやすくなる。

また送信機では、占有帯域幅特性、隣接チャネル漏洩電力特性は、搬送波信号の側帯波雑音の大小に依存する。

この雑音は、残留変調や、熱雑音などにより引き起こされるもので、振幅雑音成分と、位相雑音に区別される。しかし一般に、VHF/UHF帯になると、雑音成分のほとんどが、位相雑音により占められるため、VHF/UHF帯の発振器で

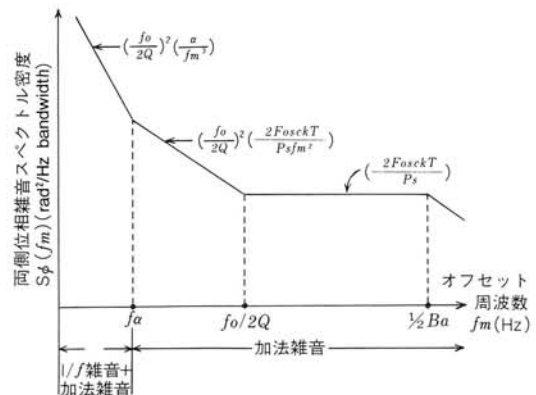


図-3 位相雑音スペクトラムモデル

Fig. 3 Phase noise spectrum model.

は、位相雑音の低減に努めなければならない。

3.1.2 位相雑音の低減

位相雑音は、5 kHz程度以上の周波数では、能動素子の利得低下が生じるまで、ショット雑音、熱雑音が支配的である。しかし、5 kHz以下では、ショット雑音、熱雑音の雑音量を越える周波数に反比例した1/f雑音（フリッカ雑音）と呼ばれる雑音が存在する。

図-3に位相雑音スペクトラムモデルを示す。

図中 $S_\phi(f_m)$ は、両側位相雑音スペクトル密度で、 rad^2/Hz で表示し、 f_m は、搬送波信号からのオフセット周波数(Hz)で表示される。

フリッカ雑音と加法雑音(Additive Noise)が等しい周波数 f_a 以下では、両側位相雑音スペクトル密度 S_ϕ は(1)式により、また f_a 以上の周波数では、(2)式により示される。

$$S_\phi = \left(\frac{f_0}{2Q}\right)^2 \left(\frac{\alpha}{f_m}\right) \quad (1)$$

$$S_\phi = \left(\frac{f_0}{2Q}\right)^2 \left(\frac{2FosckT}{P_s f_m}\right) \quad (2)$$

すなわち、フリッカー雑音は $1/f^3$ 特性を示し、9 dB/octaveで減衰する。また f_a 以上の周波数では加法雑音は、 $1/f^2$ 特性を示し、6 dB/octaveで減衰することがわかる。

しかしフリッカ雑音は、熱雑音、ショット雑音とは異なり究極的雑音源とは考えられず、能動素

子表面の処理、回路方式、及び部品実装状態により、かなり低減されることが考えられる。

VCOの開発では、フリッカ雑音低減のために、能動素子の選択、回路方式の設定、プリントパターンの影響を十分考慮しなければならない。

その結果を以下に示す。

1) 能動素子

発振器に使用する能動素子は、バイポーラ形トランジスタに比べ、接合形FETの方が特性が優れ、能動素子の雑音指数(NF)にはあまり起因しない。

2) 回路方式

共振コイルの負荷Qを低下させないように、リアクタンス制御回路に周波数調整用回路等本来の動作以外の回路を多く接続しない。

3) プリントパターン

リアクタンス制御回路と発振回路(半導体)とのアースパターンに共通インピーダンスを持たないように実装する。

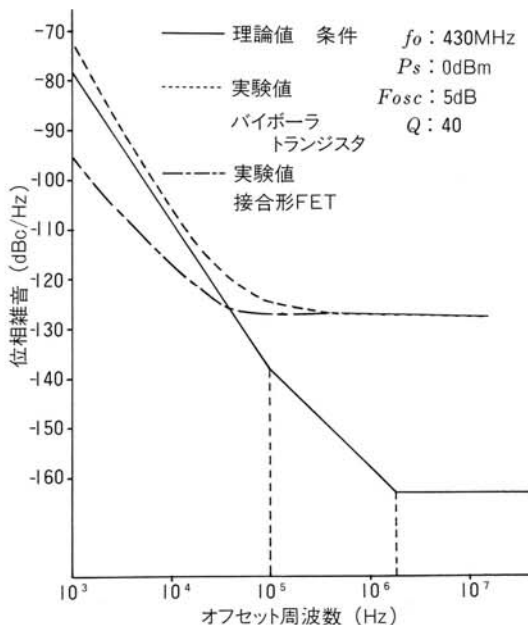


図-4 位相雑音
Fig. 4 Phase noise.

また高インピーダンス部分には、必ずアースガードを施す。

以上の考察から得られた実験結果と理論値との比較を図-4に示す。

図-4の実験結果から接合形FETはシリコンバイポーラ形トランジスタに比べ、2 kHz オフセット周波数でのC/Nは約 15 dB 改善されている。この2種類のVCOを第1局発とした受信機に接続し、感度抑圧効果特性の相異を示したのが図-5である。

この結果、25 kHz 離調の妨害波に対し、感度

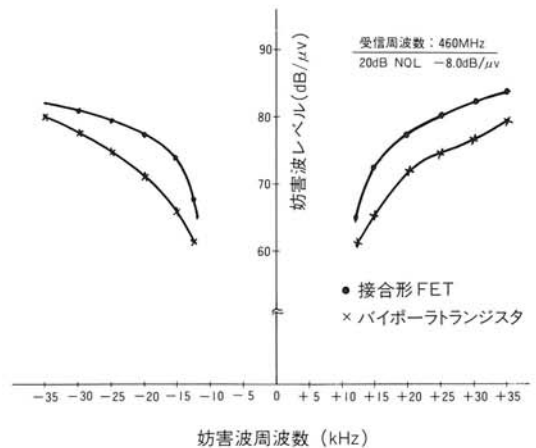


図-5 感度抑圧効果特性
Fig. 5 Blocking effect.

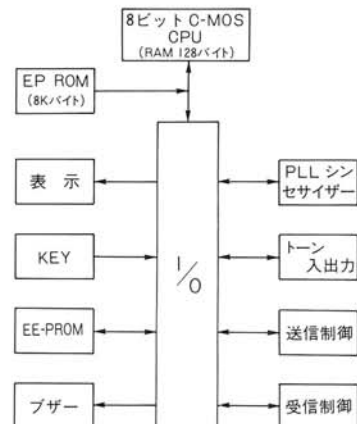


図-6 CPU周辺の構成
Fig. 6 Block diagram for CPU.

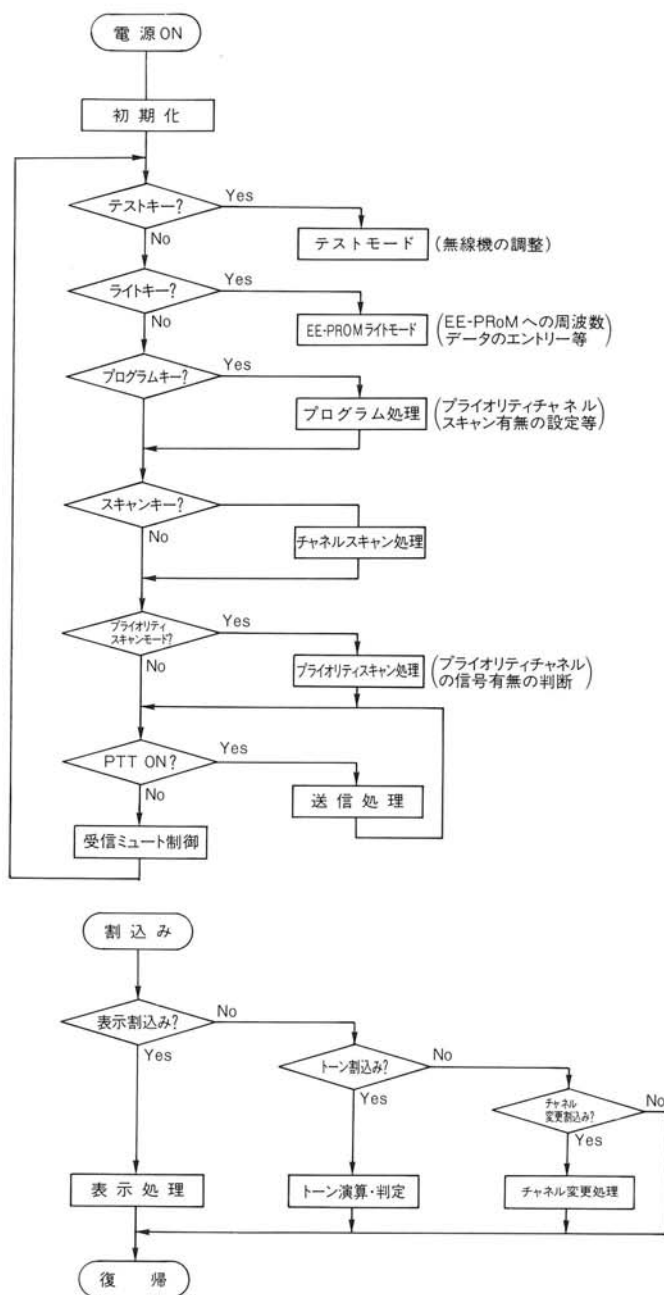


図-7 ゼネラルフローチャート

Fig. 7 General flowchart.

抑圧効果特性は、約 5 dB 改善された。

3. 2 信号処理部

CPU 周辺の構成を図-6に示す。

3. 2. 1 ハードウェア

周辺回路の簡素化、及び高信頼性をはかるため I/O に高集積度の LSI を用いた。また大半の素子に C-MOS 構造のものを使用した結果、低消費電力で発熱を抑えると共に、使用温度範囲が広く、ノイズマージンも大きくとることが可能となった。

3. 2. 2 ソフトウェア

図-7にゼネラルフローチャートを示す。

各処理については、以下のとおりである。

1) 初期化

ハードウェアの初期化を行い、周波数をプライオリティチャンネルに設定する。

2) テストモード

最大16チャンネルの送受信周波数のセンター値を演算、設定し、周波数を表示部に表示する。(無線機調整用)

3) EE-PROMライトモード

送受信の周波数データ、及びトーン周波数データを、EE-PROMに書き込む。

4) プログラム処理

プライオリティチャンネル、チャネルスキャンのチャンネル指定、プライオリティスキャンの有無等を設定すると共に、EE-PROMにデータを書き込む。

5) チャネルスキャン処理

プログラム処理にて指定されたチャンネルをスキャンし、信号が入感した時に停止する。

6) プライオリティスキャン処理

プライオリティチャンネル以外に無線機が設定されている時、一定時間間隔でプライオリティチャンネルをスキャンし、信号が入感した時に、プライオリティチャンネルに移行する。

7) 送信処理

無線機を送信状態にする。

8) 表示処理

蛍光表示管をダイナミック点灯により、表示を行う。(グリッドパルス幅可変による、減光機能を含む)

9) トーン演算判定

トーンの周期を測定し、判定する。

10) チャネル変更処理

チャンネル変更をした時、周波数データ、表示等を設定する。

3. 2. 3 トーンデコード

本装置の特長の一つとしてトーンスケルチのエンコード、デコードを内蔵していることがあげられるが、ここではソフト処理として受信系の重要なポイントとなるデコード処理について述べる。

フローチャートを図-8に示す。まず、トーン割込みの間隔により、トーン信号 4 周期の幅をそれぞれ測定する。これらの周期が、指定された周期に対しそれぞれ誤差が A 以内かどうかを判断す



図-8 トーンデコードのフローチャート

Fig. 8 Flowchart for tone decode.

る。誤差がA以内であれば、次に4周期の平均をとり、指定周期に対し、誤差がB以内かどうかを判断し、B以内であればトーンを検知したとする。デコード処理では、なるべく低い電界でもトーンを検知でき、またノイズ、音声等による誤動作を、極力少なくすることがポイントとなる。これらの点を考慮し、ここではA、Bを実験的に3.2%、0.8%とした。また一回の検知で約2.5秒は、無条件に音声のミュートを解除する手段で、見掛けのトーン検知感度を上げている。さらに、無信号時にトーン割込みがかからないように、トーン信号専用のスケルチ回路を設け、相手局が送信から受信に移った時の耳ざわりな雑音を、最小限に抑えるようにしている。これにより、ほぼ理想的に近いトーンデコード処理となった。

3.3 きょう体構造

3.3.1 シールド方法

米国向無線装置（無線装置に限らず発振器を有する機器）では、アンテナ端における妨害波電力の輻射だけでなく、装置のきょう体から輻射される妨害波電力も電波法（FCC Rule and Regulations）の対象となる。

また送信出力が、30Wであるため、送信機から他の部分に与える高周波妨害を極力おさえるよう、シールド効果が十分得られるきょう体構造とした。きょう体構造を図-9に示す。

3.3.2 基板取付け

送受信部は、装置後部（放熱フィン側）に送信部、また装置前方に受信部、電源部を配置させ、その間は、シールド壁により分離されているが、プリント基板は、1枚により構成されている。基板ときょう体の組立状態を図-10に示す。

基板のシールド壁両側の送受信結合部は、電源ライン、コントロールラインがパターン化され、また信号線は、マイクロストリップラインを用い、50Ω伝送ラインにより接続されている。

このため、送信部、受信部、電源部の接続は、すべてプリントパターン化され、短時間で組立、分解が可能となった他、装置の安定性が向上すると共に、品質の向上もはかることが可能となった。

4. む す び

以上で、今回開発を行った92型車載用無線装置の特長、及び設計の要点を述べた。

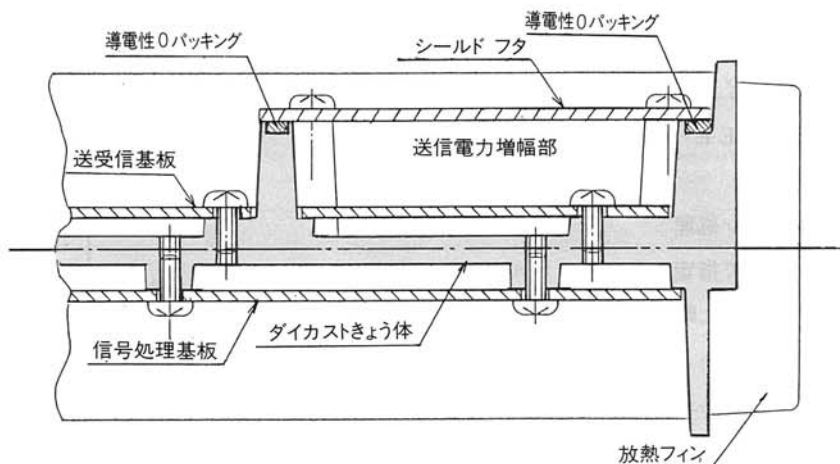


図-9 きょう体の構造
Fig. 9 Structure of chassis.

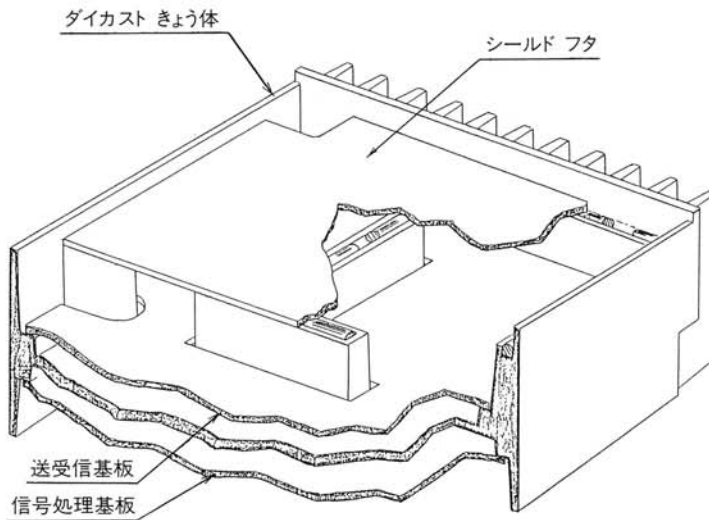


図-10 プリントキバン取付状態
Fig. 10 Installation of pc board.

日本国土の約25倍という広大な土地、典型的な自動車社会を持つ米国において、移動無線機的需求は、年間約250万台といわれている。

今後、この需要に応えるべく、今回開発を行った92型車載用無線装置を1つのステップとし、業務用無線装置によりマッチした取扱い方法（ソフトウェア）、性能、機能を追求しながら、かつコストダウンをはかるよう開発を進めてゆきたい。

参考文献

- 1) V. Manassewitsch 著、永井淳 訳：周波数シンセサイザ設計マニュアル、日本技術経済センタ（1977）
- 2) 森永隆広 監修：移動通信 ー理論と設計ー 日本通信学会（1972）
- 3) 柳沢健 ほか：PLL応用回路、総合電子出版社（1977）