

# 業務用無線の技術の変遷

## Evolution of JRC's Land Mobile Radio Technology

土屋 聡                      野田 卓哉                      高橋 修一  
Satoshi Tsuchiya          Takuya Noda                  Shuichi Takahashi

### 要 旨

1950年の警察無線へのFM方式導入をきっかけとして、陸上移動無線にFM無線機が使われ始めた。当社もFM方式導入当初から真空管を使用した業務用無線機を開発してきた。その後、デバイスや回路の進化などに伴い装置の小型化をはかってきた。同時に周波数の有効利用のために、狭帯域化が計られてきた。最近ではデジタル方式も導入されている。この間の当社業務用無線機の技術的な変遷を製品例を取り上げて説明する。

### Abstract

The introduction of FM in the police radio communications system in 1950 led to the start of land mobile communications with FM radio. Just at the start of FM radio communications, JRC developed a radio device using vacuum tubes. Since then, with developments in devices and circuits, the overall sizes have become progressively smaller. At the same time, more efficient use of frequencies have made it possible for communications through narrower bands to be developed. Recently, digital systems have been introduced. This report explains technological evolution in JRC commercial use wireless devices during these years, using representative product models as examples.

### 1. まえがき

1950年の30MHz帯FM無線機を皮切りに、移動通信の手段として超短波無線機が広く使われてきた。その間デバイスは真空管からトランジスタ、LSIへ変わり、変調方式もFMから $\pi/4$ シフトQPSKなどのデジタルに移り変わってきた。当社の無線機の黎明期から現代に至るまでの無線技術の変遷について解説する。

### 2. FM方式の始まりから現代まで

#### 2.1 真空管時代

1946年、内務省は警察通信用への超短波利用を計画しコンクール形式による30MHz帯FM超短波無線機の試作をメーカーに命じた。その結果当社を含む8社が合格し、当社は第1回発注から真空管を用いたPR-1型無線機を納入した。1950年には自治体警察用として150MHz無線通信機器を警視庁などに納入した。1954年には新仕様によるMPR-1型として制定された(図1)<sup>(1)</sup>。

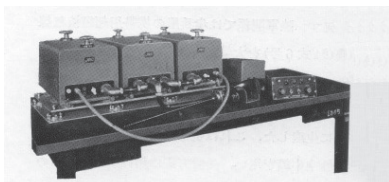


図1 警察無線電話装置移動用 MPR-1型<sup>(1)</sup>  
Fig.1 Mobile police radio MPR-1

そのほか水道局、放送などに150MHz無線通信機器を納入した。

携帯型無線機の開発にも着手し、いくつかの試作を経て1954年には6.3V電池管を使用したNMT-141型150MHz携帯無線機を開発した(図2)。これは総重量5kg、出力0.5W、受信回路はダブルスーパーヘテロダイン方式であった。

これは宮内庁、警察などに納入された<sup>(2)</sup>。

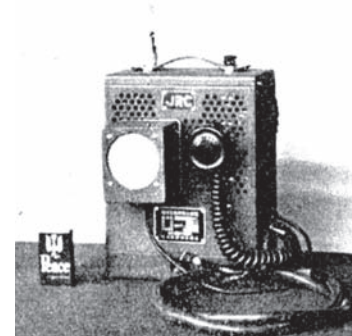


図2 NMT-141 150MHz携帯無線機<sup>(2)</sup>  
Fig.2 NMT-141 150MHz transceiver

#### 2.2 トランジスタ化

1958年に回路の一部にトランジスタやプリント基板を使用して小型化したJAA-111型150MHz1W携帯無線機を開発した。総重量3.5kg、電池は1.5V/6V/67.5Vを使用し、送信1:受信9の割合で連続8時間使用可能な肩から提げるショルダータイプであった(図3)<sup>(2)</sup>。

翌1959年には全トランジスタ化した肩掛け型のNTE-124型150MHz携帯無線機を開発した(図3)<sup>(1)</sup>。



図3 JAA-111型 (左側) とNTE-124型 (右側)  
150MHz超短波無線機

Fig.3 JAA-111 (left) and NTE-124 (right) 150MHz transceiver

1960年、割り当て周波数不足緩和のために、郵政省 (当時) は移動無線業務に400MHzの周波数の割り当て方針を定めた。当初は真空管を用いた製品を開発したが、1966年には送信回路の終段以外を半導体化したJHV-40型400MHz1W車載無線機を開発した。同機は、送信回路の励振段までをトランジスタで増幅し、バラクタダイオードで3通倍して400MHz帯を得る構成である (図4)。

出力4Wの場合は同じ構成の送信系の終段に双5極真空管6939を使用して電力増幅を行いJHV-41型4W無線機として使用した (図4)。自動車の12V電源から終段のプレート電圧230Vを発生させる昇圧回路を内蔵していた。

当時の高周波回路のトランジスタにはPNP型も使われており、無線機内部はプラス接地であった。

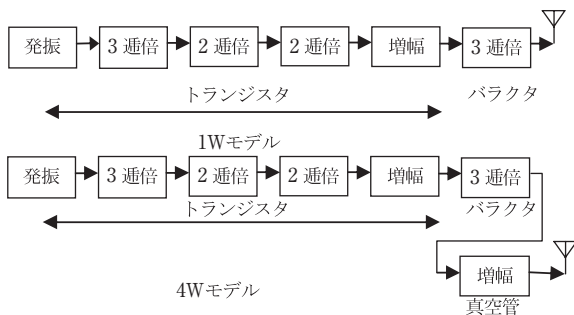


図4 JHV-40/JHV-41 ブロック図  
Fig.4 Block diagram of JHV-40/41

150MHz帯用としてはJHV-23型車載無線機がある。これは全トランジスタ化された5Wあるいは10W無線機であった。

終段はNPNトランジスタであるが-28Vを必要としたため、車載用にトランジスタとトランスによる発振回路を用いた昇圧回路を内蔵していた。

1966年には半導体を用いて軽量化したJHV-1型150MHz1W本体重量700gの携帯無線機を開発した。これは後述のハイブリッドICの他に、アンテナを引き出すと同時に電源が入る機構を入れるなど、当時としては斬新な機能がかった。

このころになると高周波回路にはNPN型トランジスタが

使用されるようになった。

1972年には、車載や携帯の他に、オートバイ用として150MHz帯の10W無線機JHV-248を開発した。無線機を取り付ける荷台では、エンジン回転数1000rpm時に約30Gの加速度が加わる。このような通常の自動車よりも過酷な振動に耐えるため、無線機収容箱に防振ゴムを取り付けるなどの対策が施されていた<sup>(1)</sup>。

1975年にJHV-621型150MHz携帯無線機を開発した。従来はアンテナへの送信出力と受信入力切替にリレーを使っていたが、半導体回路に置きかえたこと、PCBを1枚にしたことなどの特長がある。本機はヒマラヤK2登山隊にも使用された。

### 2.3 狭帯域化

1960年代、150MHz帯のFM最大周波数偏移は12kHz、チャンネル間隔40kHzであった。のちに周波数有効利用のために最大周波数偏移5kHz、チャンネル間隔20kHzにナロー化された。同様に400MHz帯は当初のFM最大周波数偏移12kHzから5kHzにナロー化され、1982年にFM最大周波数偏移2.5kHz、チャンネル間隔12.5kHzに再ナロー化された。

## 3. 回路の変化

### 3.1 発振回路

1970年代までは送受信周波数を決める発振回路には水晶発振回路が使用された。このため1チャンネルに送信/受信それぞれ1個の水晶振動子を必要とした。

当時の簡易無線や一般業務用無線は、一部の用途を除いて1チャンネルあるいは2チャンネル程度の周波数割り当てが一般的であったので、水晶方式でも十分だったのである。

FM方式では、水晶振動子回路の静電容量を直接変化させる方法や、送信段間でリアクタンス変調をかける方法が一般的であった。水晶は発振周波数が低く直接150MHzや400MHzを発振させることができないこと、FM周波数偏移を大きくすることが困難であることから、所要の送信周波数やFM周波数偏移を得るために送信回路には周波数通倍回路を併用していた。前述のJHV-40型400MHz帯無線機では原振周波数13MHz帯を36通倍して最大周波数偏移12kHzを得ていた。後年のJHM-41型400MHz帯無線機ではオーバートーン発振子の採用で原振50MHz帯を発振させて8通倍していた。周波数通倍で発生するスプリアス除去のために、送信回路にバンドパス特性を持たせる必要があった。

1970年代に入り、1台の無線機が複数の通話チャンネルを持ち、その時々空いているチャンネルを使用するマルチチャンネルアクセス (MCA) 方式の導入が検討され、無線機の多チャンネル化が必要となった。このために、1個の温度補償型水晶発振回路を基準周波数として、多チャンネルを得ることが出来るPLLシンセサイザの開発が行われた。

当社では、1982年発売のJHM-81型800MHz帯MCA無線機や1983年発売のJHM-83型パーソナル無線機で本格的にPLLシンセサイザを採用した。MCA無線機では399チャンネル、パーソナル無線では80チャンネルを発振可能である。

初期のPLLシンセサイザ無線機は、受信特性を満たすため

に受信局部発振用には水晶発振を使用して、送信だけにシンセサイザを利用するタイプのものもあった。しかし低位相雑音VCOの開発ができたことで受信回路に対しても十分な特性を得る事が可能となり、1980年代以降は送受信共にシンセサイザ方式が一般的になった。

PLLシンセサイザの普及によりVCOに変調信号を加える事で、容易に送信波と同じ周波数でFM変調を掛ける事が可能になった。同時に通倍回路が無くなることで送信スプリアスの改善や送信回路の簡略化が図られ、無線機の小型化が一気に進んだ。

一方で、VCOは外部からのノイズや振動の影響を受けやすい。車載用途の場合は自動車の発電機などから発生して電源に重畳されるノイズや、走行時の振動に対する十分な配慮をした設計をしている。

### 3.2 広帯域化

水晶発振方式の時代には、無調整で使用できるバンド幅は1~2MHz程度が一般的で、たとえば150MHz帯無線機の場合、142~162MHzの内の2MHz幅で使用可能であった。また周波数割り当てが変更になると、RFフィルタ回路などの再調整が必要であった。

放送局など一部の用途ではバンド幅全体に渡るチャンネルが指定されることがあり、このような要求に応えるため、RF回路を広帯域化し142MHzから168MHzの150MHz帯を無調整でカバーするJHV-601型ウォークー無線機を1974年に開発した。

当社では、このようなRF回路の広帯域化設計を行い、現在では標準的な機能となっている。400MHz帯無線機の場合、国内向け機器では450MHzから470MHzまで、海外向け機器では450MHzから512MHzまでを無調整で使用することが可能である。

水晶発振方式の場合、使用する周波数が決まりその周波数の水晶発振子を手入れするまで、最終検査ができないという課題があった。PLLシンセサイザの普及でチャンネルごとに水晶振動子が必要でなくなったこと、RF回路を広帯域化することで無線機の広帯域化が可能になり、生産の効率化、顧客への納期短縮などが可能となった。

## 4. 部品

### 4.1 ハイブリッド回路

前述のJHV-1型など初期の半導体化無線機はラジアル部品を使用していた(図5)。同時に無線機の小型化のために、一部の回路をハイブリッド回路化していた。これは回路ブロックごとのトランジスタやバイアス回路などの周辺回路をひとまとめにして、エポキシ樹脂で一体化したものでハイブリッドIC(HIC)と呼んでいた。

チップ部品を使用するようになって、プリント基板上の空間を有効利用して無線機を小型化するためにハイブリッドICも併用された。ある程度の回路ブロックをまとめたHICで、社内生産した(図5)。



JHV-1内部とHIC



JHM-41内部とHIC

図5 ハイブリッドIC

Fig.5 Hybrid IC

### 4.2 チップ部品

1980年代に入り、トランジスタ、ダイオード、抵抗やコンデンサなどの部品がチップ化された。当社では1980年のJHM-41型車載無線機からチップ部品の採用が始まった。当時のチップ部品は3216(部品外形3.2×1.6mm)や2012(部品外形2.0×1.2mm)サイズであった。それまでプリント基板の設計は手書きで行っていたが、チップ部品の採用と同時にプリント基板の設計にCADを導入した。

近年は1005(部品外形1.0×0.5mm)サイズのチップ部品も使用している。

一方でIC類の小型化や多ピン化で、従来の端子形状と異なるBGAなどのICも使用するようになってきた。

### 4.3 CPU, 半導体

1982年のMCA方式導入に伴い、チャンネル制御などのためにソフトウェア制御が必要となりJHM-81型MCA無線機で業務用無線機としてはじめて8ビットの1チップCPUを使用した。

CPUを使用することで、操作表示を含め従来にない機能を追加することが可能になった。当社は、業界で唯一、音声合成によるユーザインタフェースを採用し、ユーザから高評価を得た。音声合成によるユーザインタフェースは、後のパーソナル無線機にも採用している。

1982年に400MHz帯の周波数利用効率を増やすために狭帯域化が検討され、送信のFM最大周波数偏移がそれまでの5kHzから2.5kHzに変更された。

同時に受信の相互変調歪(IM)や隣接チャンネル選択度特性の測定方法が3信号法に変更になった。これに対応するために受信回路にデュアルゲートFETを使用しIM特性の改善を図った。さらに要求特性が厳しい海外向け無線機には、ダイオードを用いたDBM(ダブルバランスドミキサ)も採用している。

### 4.4 ICの開発

当社では1974年にFMの最大周波数偏移を一定にするIDC回路用IC NJM2002を、その後FM検波IC NJM2202, 800MHz帯プリスケラICなどを新日本無線の協力を得て開発している。NJM2202は局部発振回路, ミキサ, IF増幅, FM検波回路などを含んでいる(図6)。

近年では2005年にDSPやCPUを取り込んだ無線機用チップ(SOC)を開発し、デジタル無線機に使用している。従



来は汎用DSPを2個、CPUを1個使用していたが、SOC1チップで同等の信号処理が可能である。現在は処理速度の向上と、消費電力の改善をした第二世代のSOCの開発も完了し製品に採用している(図6)。

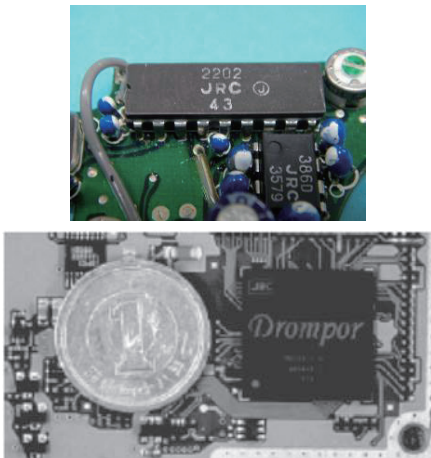


図6 当社製IC(上: NJM2202、下: 初代SOC)  
Fig.6 JRC's IC NJM2202 (upper), SOC (lower)

## 5. デジタル化

### 5.1 変復調

2000年に入り、無線方式がデジタル化されたことで、直交変復調が必要となった。当初はハードウェアでIQベースバンド信号を生成し、それをAD変換してDSPで復調していた。最近では中間周波数をADコンバータで直接サンプリングする方式も用いられている。

変調ではアナログ直交変調ICにベースバンド信号を加えて変調をかけている。IC技術の進歩でDAコンバータから直接変調をかけたRFを発生させる方法もある。

直交変復調回路を用いる事で、ソフトウェアを変更すれば様々な変調方式に対応することが容易になった。当社のタクシー無線機では、アナログからデジタル化への切り替えが容易になるように、1台の無線機のソフトウェアを変える事でFM変調と $\pi/4$ シフトQPSKのデジタルを切り替えることが可能である。

2005年、タクシー無線のデジタル化に伴い、これらの技術を使用したデジタル無線機をJHM-438型400MHzデジタルタクシー無線機として開発した(図7)。

400MHz帯出力5W、伝送速度9600bpsで、周波数間隔6.25kHzに対応している。



図7 デジタルタクシー無線機  
Fig.7 Digital Taxi radio

### 5.2 歪補償

従来のFM方式ではRF信号の振幅は一定であり、送信回路には効率がよいC級アンプが使用可能であった。

デジタル化に伴いRF信号の振幅変化を伴う $\pi/4$ シフトQPSK方式が使用され始めると、隣接チャンネル漏洩電力(ACP)の規格実現が問題となった。C級アンプは歪が大きいためAB級などの低歪なアンプを使用する必要があるが、それだけでは規格を満足出来ず、歪補償回路が必要になった。当社ではカーテシチャンネルループ(図8)や、国内の移動機で最初に実用化し、他社の追従を許していないデジタルプリアディストーションなどの方式で歪の改善を行っている。

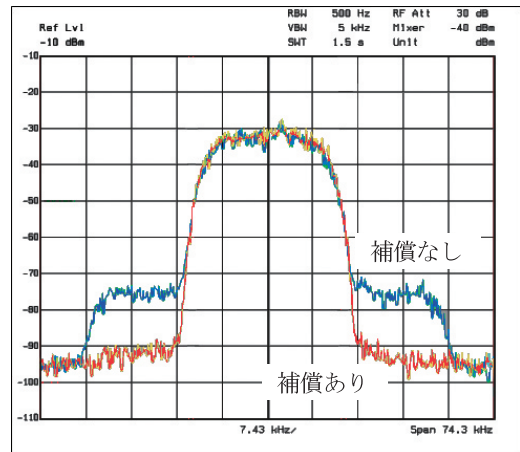


図8 カーテシチャンネルループによる歪み補償の例  
Fig.8 Example of Cartesian loop linearizer

### 5.3 データ通信

1980年に入り、MSK(FSK)などによるデータ通信が始まった。これは1200bpsあるいは2400bpsで、GPSによる位置データをはじめとする各種データの伝送が可能である。デジタル化によりデータ伝送速度が向上し、たとえばデジタルタクシーの場合は $\pi/4$ シフトQPSKで9600bpsである。

## 6. 小型化

これまで述べた回路や部品などの変化により、無線機の形状は小型化されてきた。最初の大きな変化は半導体化で、その後チップ部品、PLLシンセサイザなどが変化点となっている。

代表的な車載無線機と携帯無線機の体積と質量の比較を図9、車載無線機と携帯無線機の外観の変化を図10に示す。

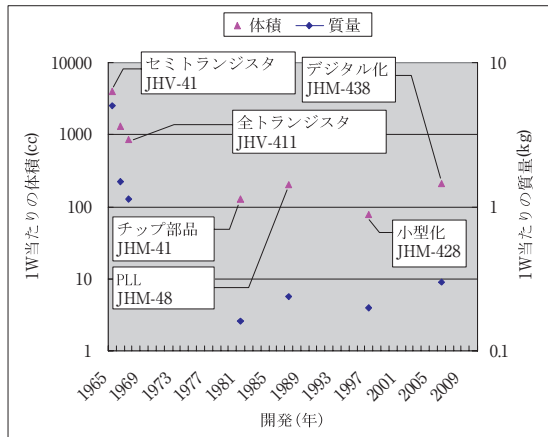


図9 400MHz帯車載無線機の形状比較

Fig.9 Comparison of the 400MHz mobile radio size

### 7. トランクド方式

FM方式導入から1980年代まで、業務用無線はコンベンショナル方式と呼ばれる1対1あるいは1対nの通信が主流であった。1980年代に入り、日本ではMCA無線が、海外ではMPT1327方式などのトランクド方式が採用された。これは基地局が移動局のチャンネル指定などを行うこと、基地局間を接続することで基地局をまたがって広域通信を可能にするなどの特徴がある。当社は前述のMPT1327方式のトランクドシステムを開発し、1994年のインドネシアAPEC警護システムを皮切りに台湾、韓国などアジア諸国に納入した(図11)。



図11 トランクドシステム装置

Fig.11 Equipment of Trunked System

### 8. あとがき

FM黎明期から最近までの業務用無線の変遷を述べた。

近年は携帯電話などの通信手段が登場してきている。無線機の場合は、送信のためにプレストークボタンを押してから通信が確立するまでの時間が短いこと、複数の相手に同時に情報を伝えられることなど、他の手段には無い利点がある。

国内では、タクシー無線は2016年までに、400MHz帯の簡易無線は2022年までにデジタル方式への移行が決まっている。さらに一般業務用無線のデジタル化も検討されており、今後各種用途でデジタル方式への移行が進むと考えられる。

これからもユーザの利便性に応えるため、高性能で使い勝手が良い無線機の開発を目指していく。

#### 参考文献

- (1) 日本無線 55年の歩み
- (2) 日本無線社内報 無線弘報
- (3) 日本無線技報

#### 用語一覧

- ACP : Adjacent Channel Power (隣接チャンネル漏洩電力)
- BGA : Ball Grid Array
- DSP : Digital Signal Processing (デジタル信号処理)
- FM : Frequency Modulation (周波数変調)
- FSK : Frequency Shift Keying
- IDC : Instantaneous Deviation Control
- IM : Inter Modulation
- MCA : Multi Channel Access (マルチチャンネルアクセス)
- MSK : Minimum Shift Keying
- PLL : Phase Locked Loop (位相同期ループ)
- RF : Radio Frequency
- SOC : System On Chip
- VCO : Voltage Controlled Oscillator



- 後ろ列左から JHV-1, JHV-2, JHV-621, JHV-623, JHP-42, JHP-21, JHP-42, JHP-28, JHP-415, JHP-228, JHV-624, JHR-292  
 中列左から JHM-83, JHM-45, JHM-201, JHM-11, JHM-438  
 前列左から JHV-23, JHV-204, JHV-224, JHM-21, JHM-28, JHM-218, JHM-228

図10 業務用無線の形状

Fig.10 Outline of Land mobile radio