

# マイクロ波通信無線機 より高速に Evolution of the Microwave Radios “To be High Speed”

谷澤正彦 高見澤 岳 永安正俊  
Masahiko Tanizawa Gaku Takamizawa Masatoshi Nagayasu  
渡来祐一 山本尚宏  
Yuichi Torai Takahiro Yamamoto

## 要 旨

今日、電気通信業務、公共業務、放送業務用として様々な通信分野で使われているマイクロ波通信への当社の取り組みは古く、戦後間もない昭和20年代初めのことである。その後、マイクロ波多重無線通信の信頼性が認知されると官公庁はじめ様々な分野の通信手段として急速に普及した。近年ではブロードバンド通信用途として、IPインタフェースを実装したマイクロ波無線機を市場に投入している。ここでは約60年にわたる当社のマイクロ波通信技術の歩みについて紹介する。

## Abstract

The beginnings of JRC's work in microwave communications, used today in many areas as means of electric communication, for public use and in broadcasting, date far back to the years just after the end of World War II in 1945. Since then, the reliability of microwave multiple channel communication became widely recognized and as a result, it rapidly became widely adopted as means of communication in government agencies and a variety of other areas. Recently, microwave radios equipped with IP interfaces for broadband communication applications have entered the market. This report introduces the progress of JRC's microwave communications technology over these 60 years.

## 1. まえがき

今日、電気通信業務、公共業務、放送業務用として様々な通信分野で使われているマイクロ波通信であるが、当社がマイクロ波通信への取り組みを始めたのは戦後間もない昭和20年代初頭のことである。当時はGHQの占領下であり、当社が戦前、戦中に培ったマイクロ波技術の域であるレーダー関連の研究製造は一切禁止されていた。この様な状況から、国内に於いて殆ど当社のみが有する独自のマイクロ波技術を産業機器へ応用すべく、マイクロ波多重無線装置の開発が始まった。当時は十分な回線設計技術が確立できていない時代でもあり、回線構築には伝搬実験の積み重ねなど苦労が多かったものと推察される。

その後、マイクロ波多重無線通信の信頼性が確認されると官公庁はじめ様々な分野の通信手段として急速に普及が進み、現在まで高信頼、高品質の通信路として人々の生活を支える重要なインフラ手段として広く使用されることになる。近年ではブロードバンド通信の主流として光ファイバが普及しているが、災害発生時の信頼性、回線構築の利便性などの導入、運用面の理由により依然としてマイクロ波通信の重要性は失われていない。

ここでは約60年にわたる当社のマイクロ波通信技術の歩みについて紹介する。

## 2. マイクロ波無線機開発の歴史

### 2.1 マイクロ波通信の黎明期

当社第1号となるマイクロ波多重無線装置は、戦時中、開発を進めてきたマイクロ波用パルスマグネトロン(図1)を用いたPPM-AM方式の時分割多重無線装置である。この装置を使用して、1949年に東京都北多摩郡神代村(現・調布市)の通信省電気通信研究所と箱根双子山との間で我国初めてのマイクロ波による多重無線通信の実験が行なわれた。この実験を経て、我国のマイクロ波による多重無線通信は本格的な段階を迎えることになる。

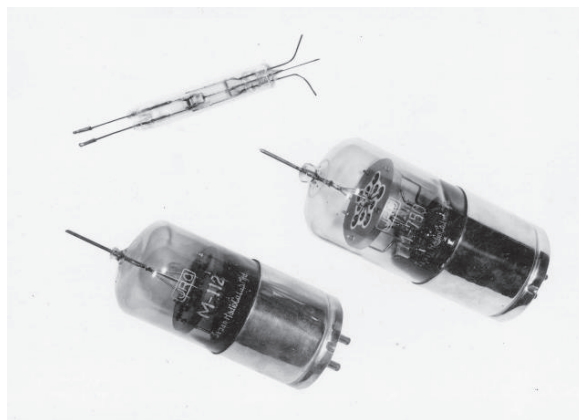


図1 パルスマグネトロン

Fig.1 Pulse magnetron for Microwave Radio

1960年頃より通話チャンネルあたりの周波数帯域が小さく

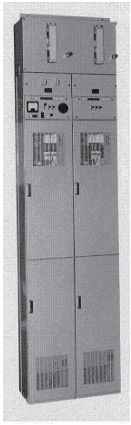


図2 6/7GHz帯全固体化マイクロ波多重無線装置  
Fig.2 6/7GHz All-solid-state Microwave Radio

## 2.2 周波数の有効利用 (デジタル化)

1970年代後半に入り、マイクロ波通信回線の需要の拡大により割当て周波数が逼迫し、周波数の有効利用の観点からPCM-4PSK方式が郵政省(現総務省)にて採用された。

これに対応した当社最初のデジタル多重無線装置として2GHz帯PCM-PSK多重無線装置(JUK-104シリーズ)を開発した。本装置は1.544Mbps×1chを伝送する小容量伝送装置であったが、無線帯域制限など現在のデジタル多重無線技術の基礎を築いた装置である。開発当時に入手できるデバイスに限りがあり、周波数の安定化にはエージングによるデバイス選別などの手法が用いられていた。この装置より、当社はデジタル多重無線装置の時代へと進んでゆくことになる。

多重無線システムは高品質、高信頼の回線が構成できることから需要の増加は著しく、伝送する情報も電話のみならずデータ、画像と多種にわたり伝送容量の増大の一途であった。そのような背景から7.5GHz帯PCM-PSK中容量多重無線装置(JUK-210シリーズ)を開発し、伝送容量増大の要求に応えた。

本装置は、マイクロ波回路部にGaAs FETを採用することで立体回路の使用を最小限にとどめるなど、現在のマイクロ波無線機の回路構成と殆ど差異のない方式とした。また、IF帯回路においてはHICを自社開発することにより、回路の簡素化、高信頼化を図り、無線装置において多重化処理を行なうことで、主信号以外に打合せ信号や監視制御信号等の補助信号伝送を可能とした。

その後、多重無線回線への更なる大容量化要求が高まり、周波数の有効利用の観点からそれまでの4PSK変調方式ではない新たな変調方式として16QAM方式が採用された。この16QAM方式では4PSK方式時に殆ど問題とならなかった波形歪の影響が大きな技術課題となったが、高周波増幅器などで発生する非線形歪および伝搬路で発生する波形歪に対する技術的課題を克服し、6.5GHz/7.5GHz/12GHz帯PCM-16QAM大容量多重無線装置を開発した。

本装置の特長は、周波数選択性フェージングで発生する

波形歪に対して可変共振型自動等化器を標準装備し、海上伝搬等の厳しいフェージングに対してはトランスバーサル形等化器を装備するなど、優れた回線品質を提供することを可能にした。また、4PSK方式では切替スペースダイバーシティ方式が当時の標準であったが、本装置では同相合成形スペースダイバーシティ方式を採用し、回線瞬断率の大幅な改善が図られている。さらに多重化信号処理部をゲートアレイ化し、消費電力の削減、装置の小型化を実現した。これにより、当社は4PSK/16QAM方式の公共業務用マイクロ波多重無線装置のラインナップを1980年台後半に完了することになった。

### ・JUK-3000シリーズ (6/7/12GHz, PCM-4PSK/16QAM)

1995年頃から通信分野ではマルチメディア化の時代となった。この時代の流れは、マイクロ波多重無線装置にも高度で多様な機能性を要求することとなり、当社では次世代の多重無線装置としてJUK-3000シリーズを完成させた。

本装置の特長は、高周波回路部のMMIC化、信号処理部および変復調部のLSI化を行ない、装置の高信頼化を実現すると共に大幅な小型化、軽量化を実現した。さらに、監視制御系の高機能化を図り、高度な保守を可能とした。

### ・JUK-3600シリーズ (6/7/12GHz, PCM-128QAM)

公共業務用マイクロ波回線は1999年頃には全国約6千局が開設され、需要は更に拡大した。画像伝送、LANデータ伝送などの大容量伝送を可能とするマイクロ波回線の要望が高まり、更なる大容量化として占有周波数帯幅のナロー化・大容量化検討が開始され、審査基準の大幅改訂により新たに128QAM方式が追加された。当社でも128QAM方式での多重無線装置としてJUK-3600シリーズを開発した(図3)。

本装置は、128QAM方式の採用により20MHz幅の周波数チャンネルにて16QAM方式の2倍となる104Mbpsの伝送が可能となり、周波数チャンネルのコチャンネル配置により208Mbpsの伝送を可能とした。

128QAM方式では高周波増幅器で発生する非線形歪に対してリニアライザーによる歪補償を行ない、伝搬路で発生する波形歪、振幅遅延歪に対してトランスバーサル形自動等化器など歪補償回路を標準搭載し伝送特性の改善、補償を行なった。また、無線区間で発生する符号誤りに対して誤り訂正回路にて補償し、高品質なマイクロ波多重無線回線の提供を可能とした。

コチャンネル配置においては、偏波間での干渉を自動的にキャンセルする交差偏波間干渉補償器(XPIC)を搭載し偏波間での干渉による劣化を低減している。

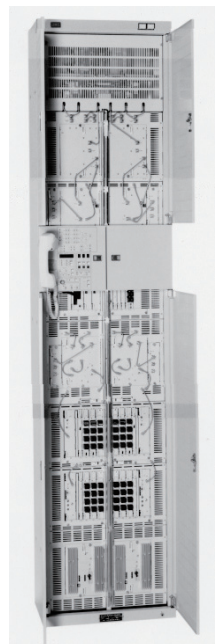


図3 JUK-3600多重無線装置  
Fig.3 JUK-3600 series Microwave Radio

・JUK-6000シリーズ (6/7/12/18GHz, PCM-4PSK/64QAM)  
2003年に公共業務用無線周波数として新たに18GHz帯の使用が許可された。これまでの6.5GHz/7.5GHz/12GHz帯無線周波数に比べ大幅に規制を緩和され自由度の大きな周波数帯となった。

当社では、この特長を活かし、インターネットで通常使用される100BASE-TXと同じ伝送速度である100Mbpsの全二重通信を実現する18GHz帯FWA無線装置を製品化し、地域イントラネット回線として全国で最初の納入を実現した。本装置はこれまでの多重無線装置とは異なり短期間・低費用でマイクロ波回線の構築が可能である。

さらに、6.5GHz/7.5GHz/12GHz帯へのシリーズ化を行ない、市町村防災無線などのアプローチ回線として低価格でマイクロ波多重無線装置の導入を可能とした。

### 3. 近年のマイクロ波無線機

#### 3.1 6/7/12GHz帯公共業務用マイクロ波多重無線装置

近年、通信ネットワークはユーザ毎のネットワークシステムの要求が多様化しており、伝送容量、インタフェースなどの仕様に対して、フレキシブルな対応が必要となってきている。

このような市場要求に応えるものとして開発したのが、JUK-ZEROシリーズ公共業務用マイクロ波多重無線装置である (図4)。



図4 JUK-ZERO公共業務用多重無線装置  
Fig.4 JUK-ZERO series Microwave Radio

本装置では、多値変調での波形歪等化技術である判定帰還型等化器 (DFE) を実装するにあたり、DFE方式に好適な128QAMキャリア位相検出アルゴリズムを考案した。本アルゴリズムにより強い周波数選択性フェージング環境下にあっても、高いキャリア同期性能を維持することを可能とした。また、DFEの演算処理を最適化することで、変復調デジタル部全体での残留C/N特性を従来装置と比較して大幅に改善した。

公共業務用マイクロ波多重無線装置では冗長構成時に、予備系への切替時に発生する瞬断時間に対して厳しい要求仕様があるが、この瞬断でのDFE引き込みシーケンスの高速化を図り、DFEの高い等化性能を維持しつつ、送信切替時瞬断時間の最適化を実現した。

多値変調における高周波増幅部で発生する非線形歪の改善を図るため、最新のデジタル・プリディストーション (DPD) 技術を採用することにより、128QAM方式において

低バックオフで、所望のBER特性を実現することを可能とし、大幅なコスト削減、低消費電力化を実現した。

DPD方式の特長としては、歪逆特性演算を簡素化し、DSPを利用した高度な演算を不要としている点で、これによりデジタル系デバイス・コストの大幅な削減と、歪補償の引き込み速度の高速化を実現している。アナログ部フィードバック系のDCオフセット、IQアンバランス、直交誤差、遅延について自動補正することで、無調整かつ高安定な歪補償性能を得ることを可能にした。また、適応型DPDと合わせて実装することが困難とされるフィードバック系のレベル自動補正回路を実装し、レベル誤差についても自動調整を実現している。

#### 3.2 11/15/18GHz帯156Mbps無線エントランス装置

第3世代携帯電話 (IMT-2000) の普及に伴い、携帯電話ネットワークのトラフィックが飛躍的に増加した。その伝送路の一端を担うマイクロ波無線装置も大容量化が求められ、1回線で156Mbpsの伝送が可能な11/15/18GHz帯無線エントランス装置を開発した (図5)。

11/15/18GHz帯156Mbps無線エントランス装置は、STM-1光インタフェースを備え、64QAMの変調方式により156Mbpsの伝送が可能である。等化性能に優れた判定帰還型等化器 (DFE) を搭載し、選択性フェージングに伴う品質劣化を補償している。



図5 11/15/18GHz帯156Mbps無線エントランス装置  
Fig.5 11/15/18GHz 156Mbps Radio Equipment for Mobile Backhaul

#### 3.3 22GHz帯156Mbps無線エントランス装置

携帯電話におけるデータ通信の増加と共にネットワークのIP化が進み、既存のTDMインタフェースからIPインタフェースへの移行に対応可能な無線エントランス装置が求められてきている。併せて、施工の簡易さや省スペース化は光ファイバに対抗するマイクロ波回線の構築コスト低減に重要なファクタとなってきており、これらニーズに対応したのが22GHz帯156Mbps無線エントランス装置である (図6)。

22GHz帯156Mbps無線エントランス装置は、STM-1もしくはEthernetの光インタフェースを実装することができ、

ネットワークのIP化に容易に対応可能な装置である。インタフェース部は、STM-1では標準的な局内インタフェース(I-1)のほかに、最長40kmの光ファイバを接続できる局間インタフェース(L-1.1)を、Ethernetでは1000BASE-LXと1000BASE-SXを用意し、用途に応じてボード交換にて選択できるようになっている。

また、11/15/18GHz帯無線エントランス装置と同様、無線高周波部から光インタフェース部まで全ての回路を屋外筐体へ実装したオール・アウトドア型であり、小型軽量を図った施工性に優れた装置である。

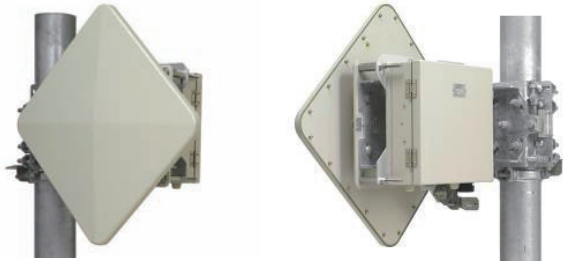


図6 22GHz帯無線エントランス装置  
Fig.6 22GHz Radio Equipment for Mobile Backhaul

### 3.4 FWAシステム<sup>\*1</sup>

海外でのIPネットワークインフラ（インターネット、専用線、モバイルバックホール）の需要増加により、光ネットワークと組み合わせて使用できるIP無線ソリューションの要求が高まり、小型で安価なIPインタフェース無線機を市場へ投入した。本システムは海外の通信事業者に多数納入し稼動中である。

FWAシステムはAP（親局装置）（図7）とWT（子局装置）（図8）で構成するPOINT to MULTI POINT構成のマイクロ波無線装置（24GHz～26.5GHz帯）である。TDD/TDMA方式を採用し、面的エリアに置局設計する上で無線リソースを有効活用することができ、且つ施工コストが安価となり、現在のIPネットワークインフラ構築に求められる要件を提供できる無線機となっている。TDD/TDMA方式のマイクロ波無線装置は世界でも例がなく、本無線装置の特長である。またWT同士を対向で使用することでPOINT to POINT構成も可能である。

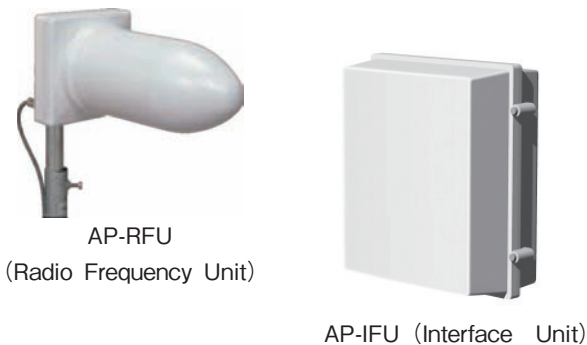


図7 AP（親局装置）  
Fig.7 AP (Access Point)



図8 WT（子局装置）  
Fig.8 WT (Wireless Terminal)

WTを構成するMMIC、変復調用IC、およびベースバンド処理専用ASICを開発し、アンテナ・RF部・ベースバンド処理部を一筐体へ納め、安価で小型な無線装置を実現している。また、IP無線機として最低帯域保証、最大帯域制限をサポートするMAC処理部を搭載している。

## 4. あとがき

マイクロ波通信は、現在の国内における通信路の主流である光通信と比べ、その伝送容量には及ばないところがあるが、あらゆる通信分野において災害に強く、高品質、高信頼の通信路を構築する手段として、これに変わるものはない。また海外においては、光ファイバの敷設および運用コストに比べトータル的に低額であるマイクロ波回線需要は年々増えている方向にある。

世界的なモバイル通信サービスやインターネットサービスの需要拡大や高度化が進んでいく中、マイクロ波通信の位置づけは益々高まるものと考えられる。

当社では、国内・海外の通信インフラ環境を支えるマイクロ波通信の更なる発展と利用に向けて、これまで長年培った経験を活かし、豊かな社会を支える技術としてマイクロ波無線機のさらなる大容量化・高機能化の実現を目指して今後も挑戦してゆく所存である。

\*1：本装置はNTTの開発パートナーとして共同開発により実現した。

### 用語一覧

- 16QAM：16 Quadrature Amplitude Modulation
- AP：Access Point
- DFE：Decision Feedback Equalizer
- DPD：Digital Pre-Distortion
- DSP：Digital Signal Processor
- FWA：Fixed Wireless Access
- HIC：Hybrid IC
- IF：Intermediate Frequency
- IP：Internet Protocol
- IQ：Inphase Quadrature
- LSI：Large Scale Integration
- MMIC：monolithic microwave integrated circuit
- PCM-4PSK：Pulse-code modulation-4Phase-shift keying
- PPM-AM：Pulse Position Modulation-Amplitude Modulation
- QoS：Quality of Service
- SS-FM：Spread Spectrum-Frequency Modulation
- TDD：Time Division Duplex
- TDM：Time-division multiplexing
- TDMA：Time Division Multiple Access
- XPIC：Cross Polarization Interference Canceller
- コチャンネル配置：同一周波数の垂直/水平偏波を使用したチャンネル配置