

リンク系システム特集

新マイクロ波中継方式の実用化

DoCoMoの伝送路網構築には、主としてマイクロ波方式が適用されてきた。今後も増大するトラフィックに対処するため中継伝送容量の増加および経済的ネットワークの構築が課題である。

本稿では、これらに対応していくために新たに実用化された中継系マイクロ波方式について紹介する。

に っ た ま さ お み つ い ち か ら
新田 正雄 三井 力

まえがき

DoCoMoグループの伝送路網における中継マイクロ波（無線）方式の適用領域と適用方式は図1に示すように、長距離系は4・5・6G-150M方式、短距離系は11/15G-150M方式・11/15G-50M方式が多く導入されてきた。

これらのマイクロ波方式を取り巻く情勢としては、移動体通信事業全体の発展による需要増に加え、2001年よりサービス開始が予定されている次世代移動通信（IMT-2000：International Mobile Telecommunications-2000）方式に対応する伝送容量の確保と競争力強化（伝送コスト低下）が望まれる状況が一段と強まった。また、従来方式

はNNI（Network Node Interface）対応を目的として平成元年当時にNTT本体において開発実用化された継承仕様方式であり、装置設計自体が約10年前のものである。この点に対しても、装置仕様の自立化と最新設計技術の適用による保守機能の向上・効率化が求められた。

本稿では、これらの要望に呼応し、

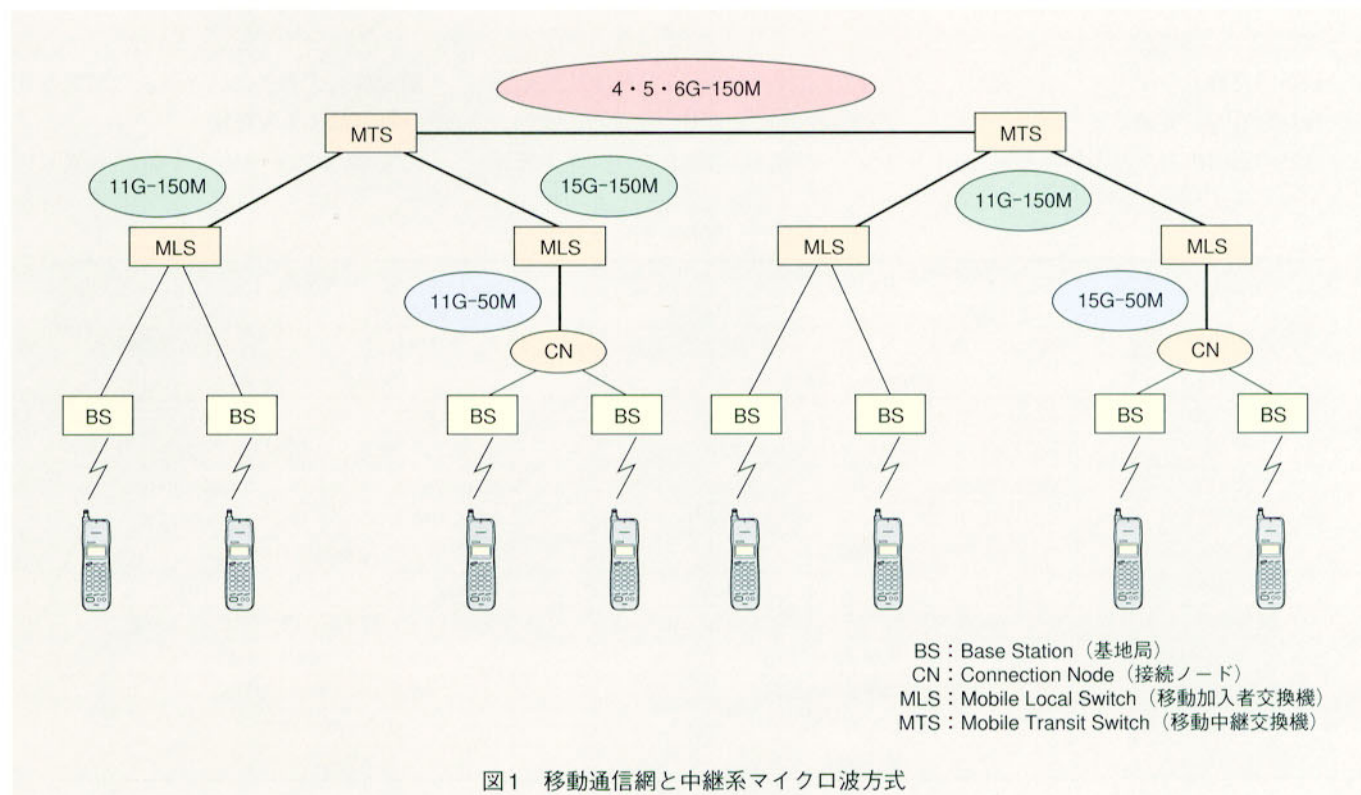


図1 移動通信網と中継系マイクロ波方式

伝送容量増／経済化／保守性向上を実現するため新たにDoCoMoにて開発実用化されたマイクロ波方式について概説する。

開発方針

新たな中継系マイクロ波方式の開発キーワードは、「容量増」・「経済化」・「保守性向上」である。これらの主たる実現方策は次のとおりである。

まず150M方式としては、従来方式である11/15G-150M (8PSK^{*1})、4・5・6G-150M方式 (16QAM^{*2}) の変調方式多値化と周波数配置の見直しにより「伝送容量増」を図る。特に4/5/6GHz帯方式では3マルチキャリア伝送をシングルキャリア伝送とし、変復調部の削減を含めた「大幅な経済化」を図る。さらに、11/15GHz帯方式の監視・テレメータ機能を従来長距離系方式レベルへ高めるとともに、4/5/6 GHz帯方式においても同じく監視テレメータの最適見直しを図る。

次に50M方式としては、従来方式である11/15G-50M方式の「装置省スペース化」と「保守性向上」を主とし、最新回路設計の採用やパネル機能の統合は行うが、変調方式・無線クロック速度や送信出力などの無線方式と

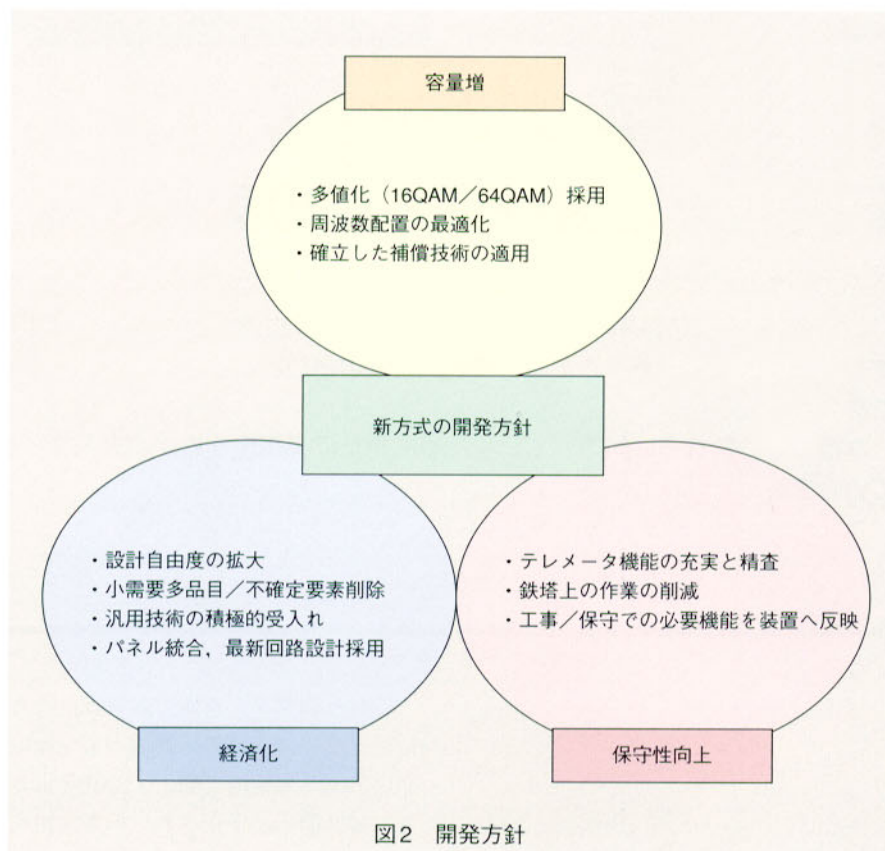


図2 開発方針

しての主要パラメータは変更しない。

以上を、基本的な開発方針とした。これを図2に示す。

11/15G-150MD方式

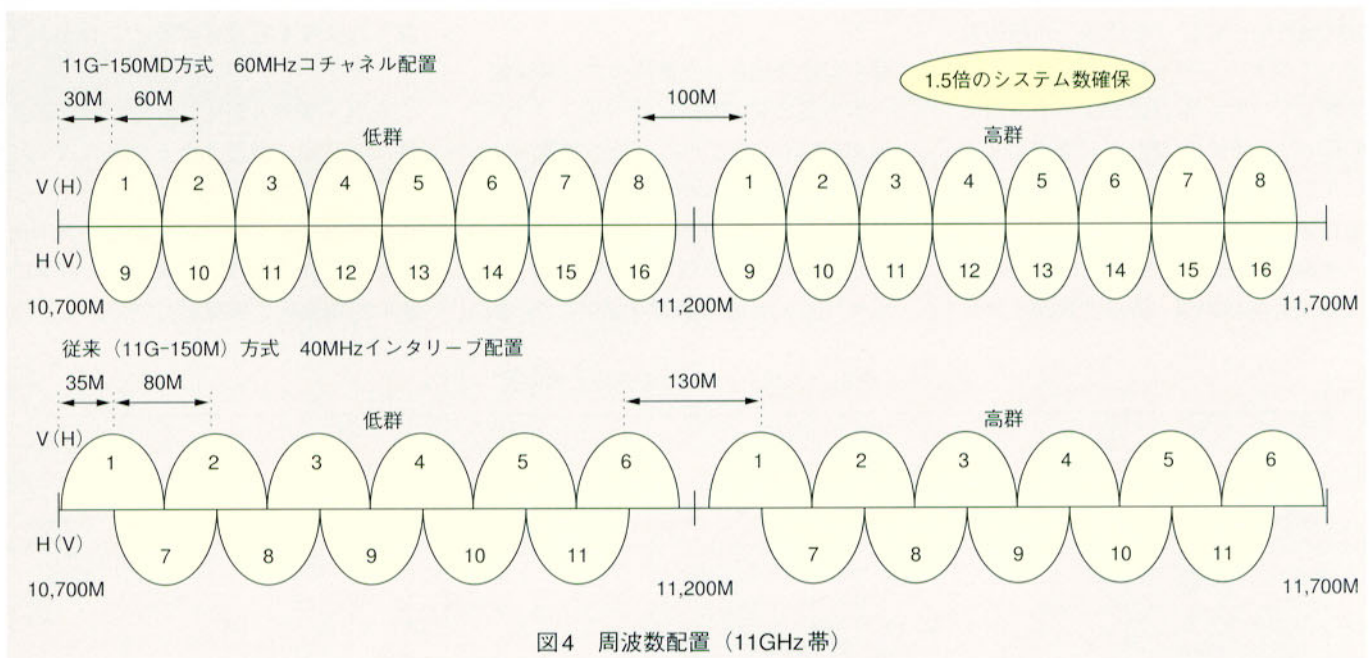
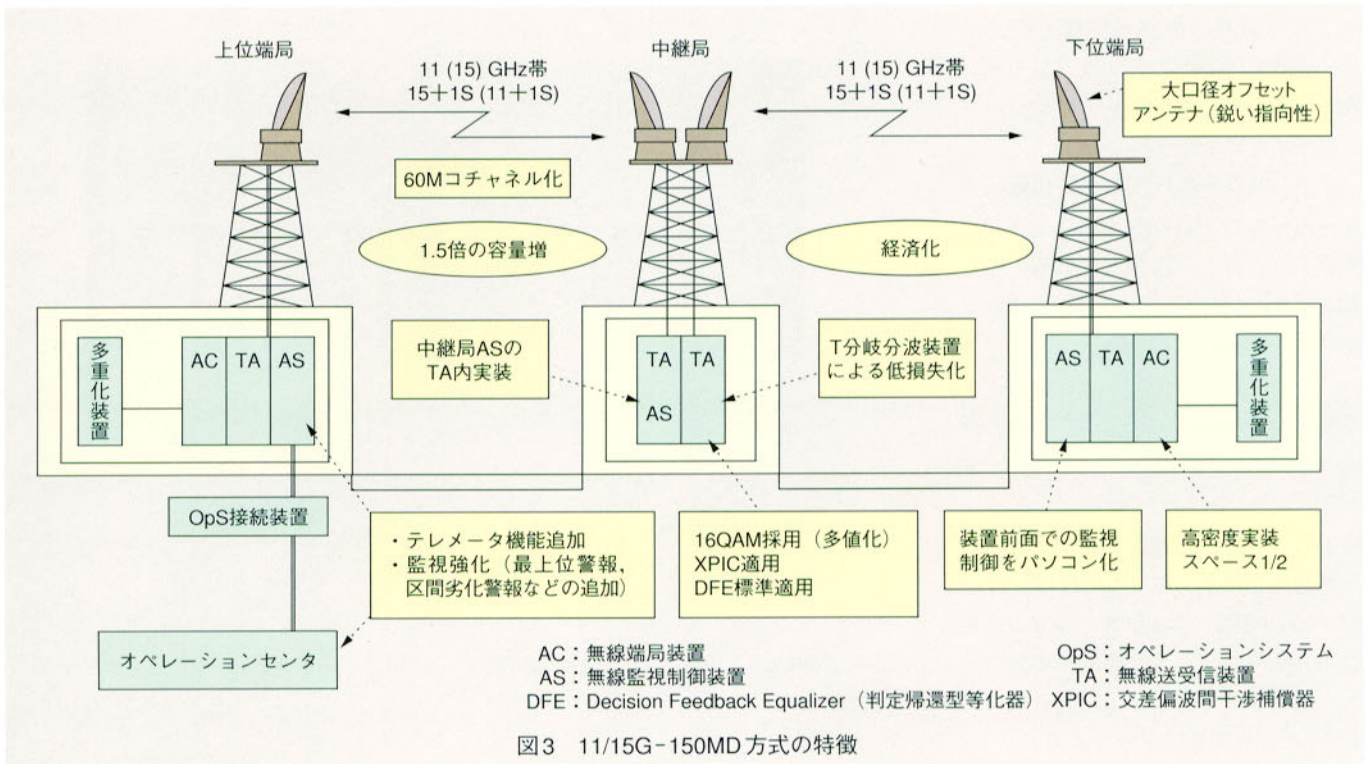
本方式は、従来の11/15G-150M方式の後継方式として、容量増・監視テレメータ機能の強化およびコスト低減

を目的に新たに開発実用化されたマイクロ波方式である。表1に本方式の主要諸元を従来方式との対比として示す。以下に本方式の特徴などについて述べる。また、特徴を図3に示す。

■変調方式の多値化と周波数配置の見直しによる容量増
変調方式は16値直交振幅変調 (16

表1 11/15G-150MD方式の主要諸元

	11/15G-150MD無線方式		従来方式	
	11G-150MD	15G-150MD	11G-150M	15G-150M
周波数帯	10.7~11.7GHz	14.4~15.23GHz	10.7~11.7GHz	14.4~15.23GHz
伝送容量	156Mbit/s/システム		156Mbit/s/システム	
システム数	15+1S	11+1S	10+1S	7+1S
変調方式	16値直交振幅変調 (無線クロック≒41.8329MHz)		8相位相変調 (無線クロック≒55.7772MHz)	
送信出力	33dBm/35dBm	30dBm	33dBm/37dBm	24dBm/30dBm
雑音指数	4.0dB以下	5.0dB以下	4.0dB以下	5.0dB以下
固定劣化	2.5dB以下		3.0dB以下	
中継距離	25km	10km	30km	10km
補償機能	トランスバーサル等化器, 交差偏波間干渉補償器, 誤り訂正 (BCH ^{*3} 2重)		トランスバーサル等化器, 誤り訂正 (BCH2重)	
インタフェース種別	150M, 50M/局内・局間		150M, 50M/局内・局間	
周波数配置	60MHzコチャネル配置		40MHzインタリーブ配置	
電源種別	DC-48V		DC-48V, -21V	
設備形態	屋内設置		屋内設置	



QAM) を採用、周波数配置は60MHzコチャネル配置を採用した。これにより、従来方式 (8PSK / 40MHz インタリーブ配置) に比べてルート伝送容量1.5倍を実現した。図4に周波数配置例を示す。

■安定した品質のための補償技術

10GHz以上の周波数帯でV/H両偏波を使用する方式は降雨時に受信電力

の低下と共に交差偏波識別度の劣化による周波数干渉 (交差偏波間干渉) の影響が厳しくなる。本方式ではデジタル型XPIC (交差偏波間干渉補償器)^{*4}を採用して伝送品質の向上を図った。また、変調方式の多値化にともなう符号間干渉による等価C/N劣化量増加に対してはデジタル型のトランスパサル等化器^{*5}を採用し、装置の安定品質を実現した。

■監視・テレメータ機能の強化

無線装置の送信電力・受信電力・区間品質 (BER) や無線ルートでの回線品質は、装置前面でモニタ用品またはパソコンを使用して測定できる。さらに、オペレーションセンタより遠隔で各種 (システム単位/局単位) テレメータを可能とした。

故障発生時は下位に複数の装置警報が発生することがある。それらの警報

を主監視装置に収集し整理・判定させ、故障発生要因の可能性が最も高い故障警報「最上位警報」をオペレータに通知する機能を実現した。

また、常時無線区間の品質自動監視を行っており、誤り訂正前エラーが或閾値を超えると「区間劣化警報」を自動的にオペレーションセンタへ通知・集計する機能も有している。

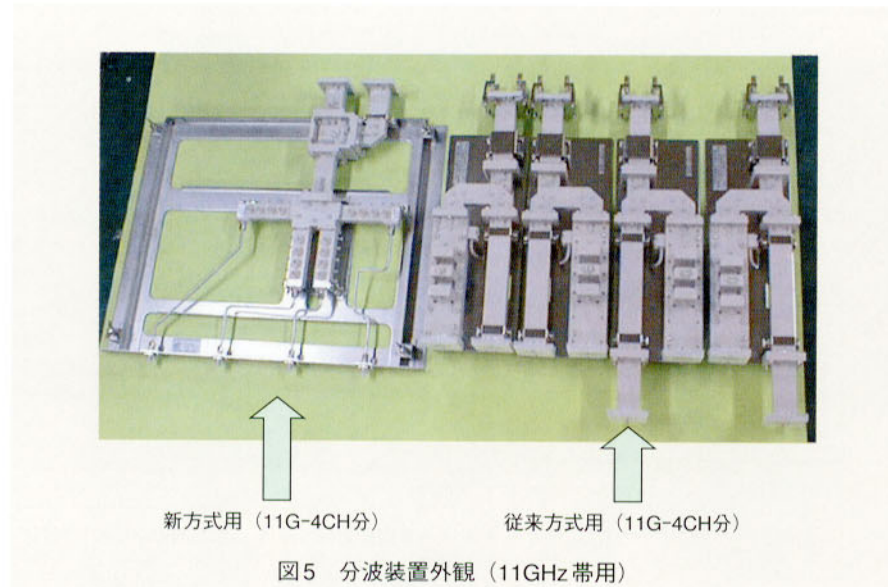
これらの監視・テレメータは後述する4/5/6G-150MD方式でも共通の機能とした。

■省スペース化を実現する装置実装

無線送受信装置は、11GHz帯では1架（600mm幅）に4システム分の送受信部・変復調部・分波装置を実装できる。15GHz帯では1架（800mm幅）に6システム分が実装可能である。

無線端局装置は、従来方式では1架（800mm幅）に符号処理部・回線切替部・インタフェース部を4システム分実装していた。本方式ではパネル機能の統合と最新の回路設計により同1架に8システム分を実装可能とし、大幅な省スペース化を図った。

無線監視制御装置は1架（600mm幅）に回線監視制御部・機器監視部・テレ



メータ機能部を実装する。中継局用監視制御装置は無線送受信装置内に実装し、中継局の省スペース化を実現した。

■小型軽量化された低損失の分波装置

本方式は従来方式に比べてシステム数が1.5倍になるため、分波装置挿入損失にはシステム間差が小さく、かつ低損失が求められる。このため、T分岐型（分岐線路+誘電体帯域通過フィルタ（BPF））分波装置を採用した。同

時に、従来方式でのハイブリット型分波装置に比べて大幅な小型軽量が実現できた（図5）。

■干渉条件を軽減させるオフセットアンテナ

変調方式の多値化にともない干渉条件は必然的に厳しくなる。本方式ではアンテナ指向性が鋭い2.4mφ、3.6mφオフセットアンテナを新たに実用化した。これにより、従来方式と同等の面的適用領域の確保が可能である。

表2 4/5/6G-150MD方式の主要諸元

	4/5/6G-150MD無線方式	従来方式
周波数帯	3.4~4.0GHz (4G-150MD) 4.4~5.0GHz (5G-150MD) 5.925~6.425GHz (6G-150M)	3.4~4.0GHz (4G-150M) 4.4~5.0GHz (5G-150M) 5.925~6.425GHz (6G-150M)
伝送容量	156Mbit/s/システム	156Mbit/s/システム, 52Mbit/s×2/システム
システム数	13+1S (4G, 5G) 11+1S (6G)	9+1S (4G, 5G) 7+1S (6G)
ルート容量 (52Mbit/s換算)	52Mbit/s×39 (4G, 5G) 52Mbit/s×33 (6G)	52Mbit/s×25 (4G, 5G) 52Mbit/s×21 (6G)
変調方式	64値直交振幅変調 [®] (無線クロック≒27.8886MHz)	16値直交振幅変調 (無線クロック≒13.9443MHz)
送信出力	26dBm/32dBm	19dBm/25dBm/31dBm (3マルチプライマリキャリア)
雑音指数	5.0dB以下	5.0dB以下
中継距離	50km (標準モデル)	50km (標準モデル)
補償機能	トランスパサル等化器 (DFE), 交差偏波間干渉補償器, 誤り訂正 (BCH2重), ビットインタリーブ	トランスパサル等化器 (LE, DFE), 交差偏波間干渉補償器, 誤り訂正 (BCH2重), ビットインタリーブ
インタフェース種別	150M, 50M/局内・局間	150M, 50M/局内・局間
周波数配置	40MHzコチャネル配置 [®]	20MHzコチャネル配置
電源種別	DC-48V	DC-48V, -21V
設備形態	屋内設置	屋内設置

※：海上区間などには2マルチキャリア方式を適用するメニューもある

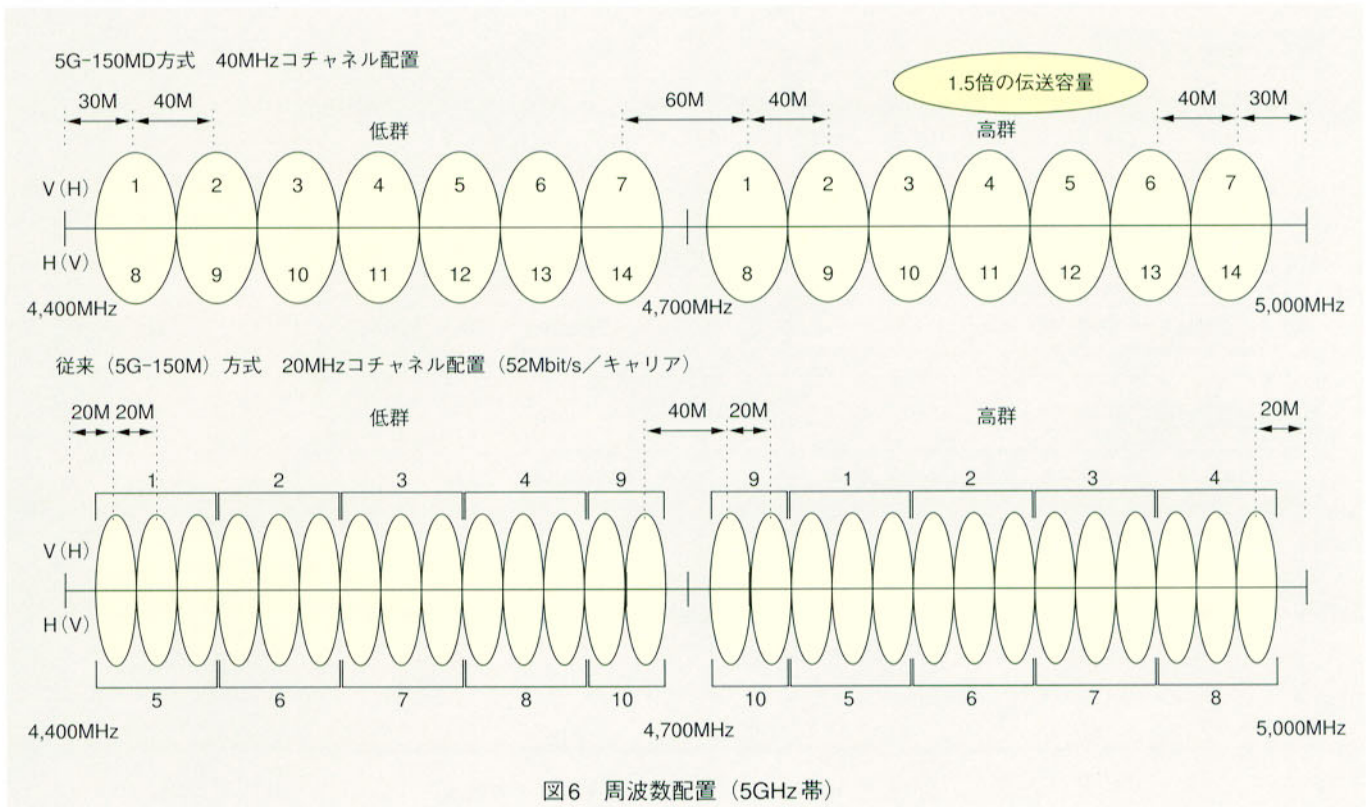


図6 周波数配置 (5GHz帯)

4/5/6G-150MD方式

本方式は、従来の4・5・6G-150M方式に対して、容量増・経済化および監視テレメータ機能の強化を目的に新たに開発実用化されたマイクロ波方式である。表2に本方式の主要諸元を従来方式との対比として示す。以下に本方式の特徴などについて述べる。

■変調方式の多値化と周波数配置の見直しによる容量増

変調方式は64値直交振幅変調(64QAM) / シングルキャリアを採用、周波数配置は40MHzコチャネル配置を採用した。これにより、従来方式(16QAM-52M / 20MHzコチャネル配置)に比べてルート伝送容量1.5倍を実現した。図6に周波数配置例を示す。

■補償技術による高品質化

フェージング発生時は、交差偏波識別度の劣化による周波数干渉(交差偏波間干渉)や波形歪劣化による符号間

干渉の影響が厳しくなる。本方式ではデジタル型の交差偏波間干渉補償器とトランスバーサル等化器を標準実装し、伝送品質の向上を図っている。

また、レーダー干渉に対しても、ビットインタリーブ機能^{*6}をオプションメニューとしている。

■シングルキャリアによる経済化

従来方式は波形歪耐力を主眼にマルチキャリア方式を採用していた。本方式では、多値化による無線クロック周波数上昇抑圧(28MHz以下)と波形歪等化能力が高いDFEの標準採用をもってシングルキャリア方式を採用する。これにより、変復調部が従来の1/3規模となり大幅な経済化につながっている(図7)。

また、伝搬条件の厳しい区間には無線クロック周波数を半減して波形歪の影響を軽減できる区間2マルチキャリア伝送のメニューも適用が可能である。

■省スペース化を実現する装置実装

無線送受信装置は、1架(800mm

幅)に7システム分の送受信部・変復調部・分波装置を実装できる。従来方式では変復調部や3SD^{*7}受信部はそれぞれ別架構成であったが、本方式ではパネル統合と最新回路設計により3SD受信においても1架実装が可能となった(図8)。

無線端局装置および無線監視制御装置は、11/15G-150MD方式と共通仕様であり、従来方式に比べて省スペース(50%化)を達成した。

■監視・テレメータ機能の強化

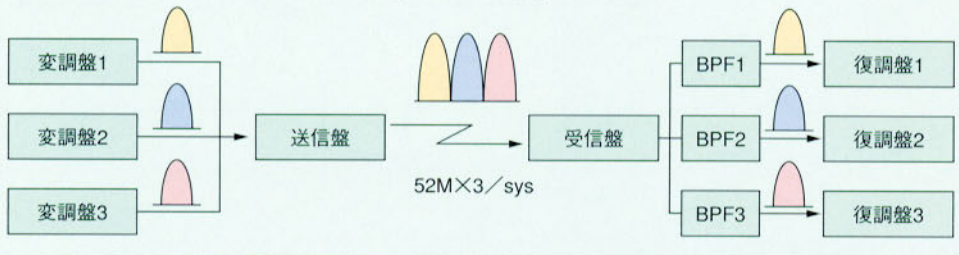
監視・テレメータ機能は11/15G-150MD方式と共通機能となっており、前出の「最上位警報」「区間劣化警報」などをもって機能強化を図るとともに、オペレータ側として150MD方式(4/5/6Gおよび11/15G)として共通運用管理が可能となった。

11/15G-50MD方式

本方式は、従来の11/15G-50M方式の後継方式として、装置省スペース化・保守性機能の向上を目的に新たに開発

マルチキャリア方式

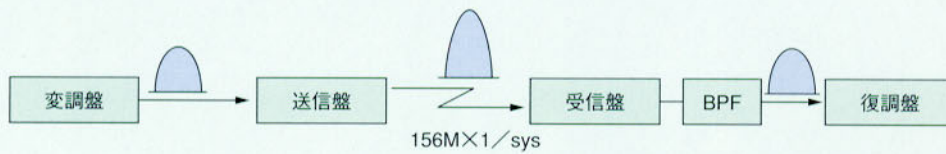
従来方式：3マルチキャリア 変復調部が3組，1システム帯域=60MHz



- ・装置規模が大
- ・海上伝搬などの波形歪が
厳しい区間に有効

シングルキャリア方式

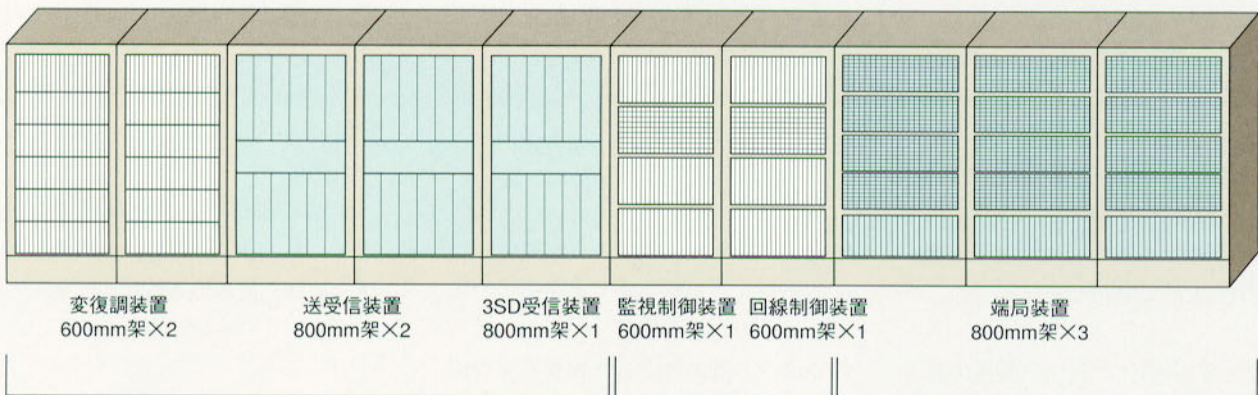
新方式：シングルキャリア 変復調部が1組（装置規模小），1システム帯域=40MHz



- ・装置規模が小
- ・送信出力大が容易
- ・一般的区間への適用
は十分に可能

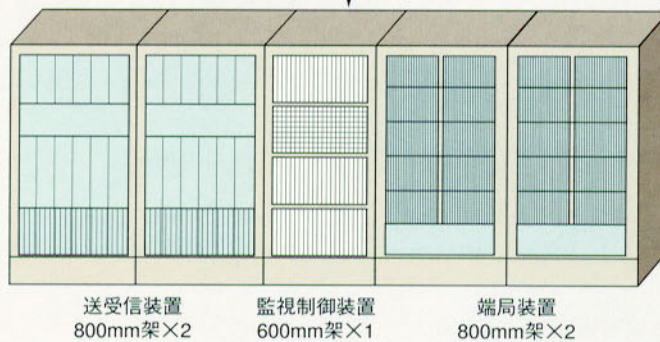
図7 マルチキャリア/シングルキャリアの相違

従来方式：端局構成（9+1S）3SD受信局



新方式：端局構成（13+1S）3SD受信局

伝送容量：1.5倍
装置スペース：約1/2



SD：Space Diversity

図8 装置の省スペース化（5G-150MD）

表3 11/15G-50MD方式の主要諸元

	11/15G-50MD無線方式		従来方式	
	11G-50MD	15G-50MD	11G-50M	15G-50M
周波数帯	10.7~11.7GHz	14.4~15.23GHz	10.7~11.7GHz	14.4~15.23GHz
伝送容量	52Mbit/s/システム		52Mbit/s/システム	
システム数	10+1S	7+1S	10+1S	7+1S
変調方式	4相位相変調 (無線クロック≒27.8886MHz)		4相位相変調 (無線クロック≒27.8886MHz)	
送信出力	28dBm	26dBm	28dBm	26dBm
雑音指数	4.0dB以下	4.5dB以下	4.0dB以下	4.5dB以下
中継距離	15km	7.5km	15km	7.5km
補償機能	トランスバーサル等化器,ビットインタリーブ,誤り訂正 (BCH2重)		トランスバーサル等化器, 誤り訂正 (BCH2重)	
インターフェース種別	50M/局内・局間, 6.3M (電気)		50M/局内・局間, 6.3M (電気)	
周波数配置	40MHzインタリーブ配置		40MHzインタリーブ配置	
中継方式	再生中継/非再生中継		再生中継/非再生中継	
電源種別	DC-48V		DC-48V, -21V	
設備形態	屋外装置+屋内装置		屋外装置+屋内装置	

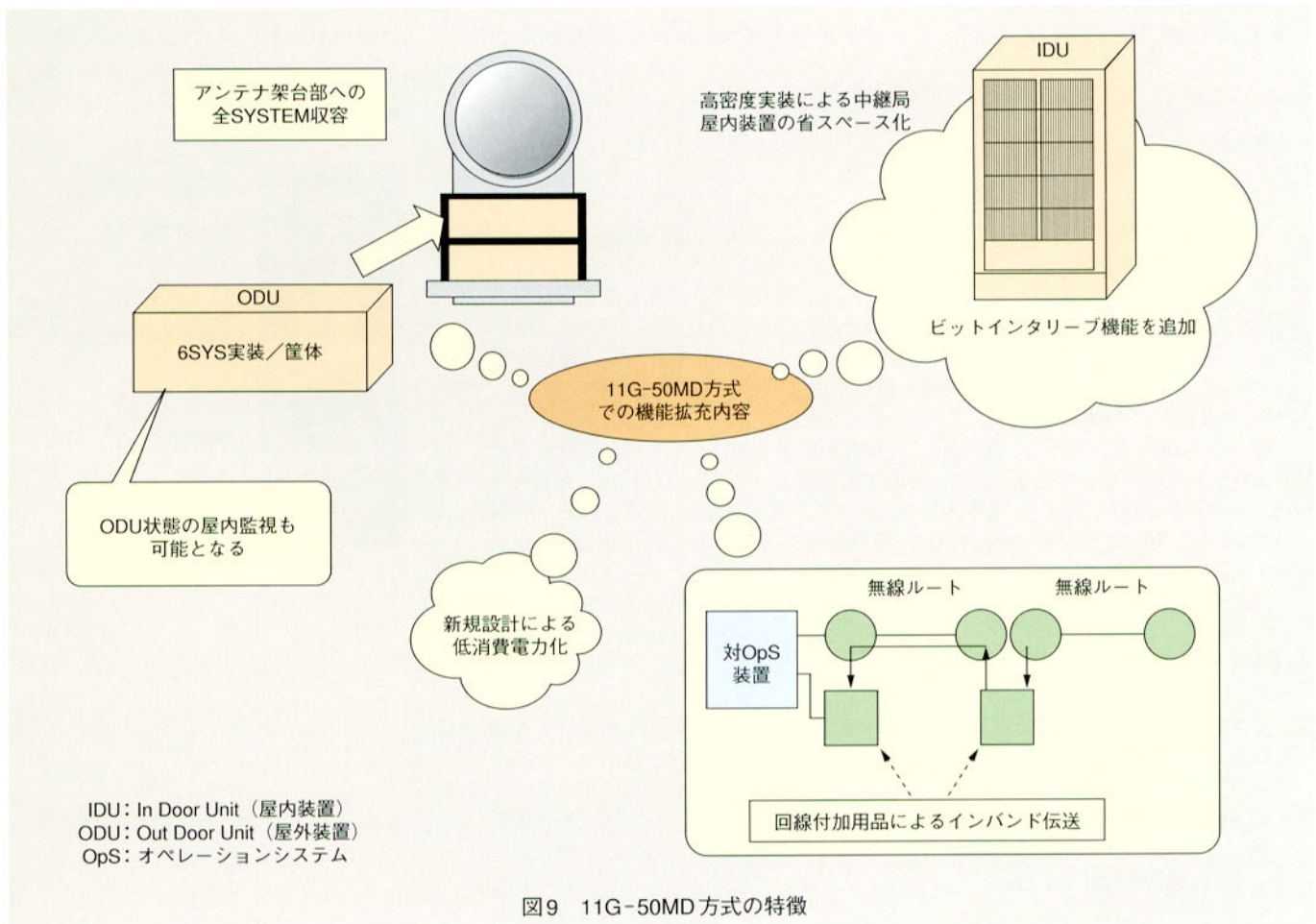


図9 11G-50MD方式の特徴

実用化されたマイクロ波方式である。

表3に本方式の主要諸元を従来方式と対比して示す。

以下に本方式の特徴などについて述べる。また、これらの特徴を図9に示す。

■装置省スペース化の実現

本方式の屋外装置 (ODU: Out Door Unit) は、従来の送信盤・受信盤・電源盤を一体構成盤にし、かつ1筐体に6システム実装 (従来11G-50Mは3システム実装) を実現した。これ

により、従来11GHz帯でのODU4筐体が2筐体となり、鉄塔上装置設置に対して有効な省スペース化を達成した。

屋内装置 (IDU: In Door Unit) は最新の回路設計の採用で、端局IDUは1架 (600mm幅) に6システム分の変

復調部・回線切替部・インタフェース部、共通部（クロック受信・送信）および監視制御部を実装する。また、再生中継局IDUは従来の2架（600mm幅の2架）構成を、1架（800mm幅）構成として省スペース化を図った。

■保守性機能の向上

本方式はIDUとODU構成であり、基本的に屋外保守を伴う。保守性を考慮して、1次的確認としての鉄塔上作業をなくす方向で、ODUの動作状況（送信出力／受信入力／電源供給）を屋内からモニタ可能とした。

■4GHz帯使用を考慮した補償技術

本方式のIDUは4GHz帯を用いる

4G-50M方式としても使用される。このため、4GHz帯で受ける可能性が高いレーダー干渉に対して、ビットインタリーブ機能をオプションメニューとして補償対応を充実させた。

■伝送ルートの有効活用としての回線付加用品

無線ルートの対オペレーション情報伝送は専用線または公衆網回線を問わず業務委託回線を用いてきた。業務委託回線依存を少なくする手段として、無線方式インバンドを有効に利用することが考えられる。これを可能とするために、「回線付加用品」をメニュー化した。これは無線フレーム内、デジタルサービスチャネルの64kbit/sまた

は32kbit/sの空チャネルを利用して9600bit/s・2400bit/s・1200bit/sなどの各種情報を伝達するものである。

あとがき

11/15G-150MD方式は1998年度後半より全国的に導入されている。4/5/6G-150MD方式と11/15G-50MD方式は1999年度前半より全国的導入が開始された。各150MD方式は、伝送容量の増加・経済化および監視・テレメータ機能の強化実現、50MD方式は装置省スペース化と保守性向上を持って、かつ、他の伝送装置および無線エントランス方式との組合せにより、今後のDoCoMo伝送路網の経済的かつ柔軟な構築に貢献できるものと期待される。

用語解説

*1 4PSK, 8PSK

PSKはPhase Shift Keying（位相変調）の略。4PSKは2bit、8PSKは3bitの情報により、それぞれ搬送波を4つの位相、8つの位相に変化させ伝送する変調方式。

*2 16QAM, 64QAM

QAMはQuadrature Amplitude Modulation（直交振幅変調）の略。振幅と位相の双方を変化させる変調方法。2つの振幅変調波を90度の位相差をもって合成するので直交振幅変調という。16QAMは16個の符号点・64QAMは64個の符号点をもち、1つの符号点で各々4bitおよび6bitの情報伝送できる高効率な変調方式。

*3 BCH

Bose-Chaudhuri-Hocquenghem符号。比較的簡単な回路規模で高い誤り訂正能力が得られる巡回符号である。ブロック長Nと情報ビットKおよびブロック当りの訂正可能ビット数tの関係は、 $[N=2^l-1 (l>2), N-k \leq lt]$ で示される。各方式において、N=255、k=239であるので訂正可能なビット数tは2となる。

*4 交差偏波間干渉補償器（XPIC）

垂直偏波と水平偏波相互間の干渉を交差偏波間干渉という。交差偏波間干渉補償器は垂直・水平偏波の信号間にトランスバーサル等化器の技術を応用して、互いの偏波間干渉成分を自動的に打ち消すもの。

*5 トランスバーサル等化器／DFE

マルチパスの影響で生じたビット相互間の干渉を抑圧するもの。干渉補償する前後の信号のレベル差を比較することで隣接ビットからの干渉成分を抽出し、その成分を抑圧する方向に各ビット振幅を制御することで干渉を自動的に抑圧するものがトランスバーサル等化器。DFE（Decision Feedback Equalizer：判定帰還型等化器の略）はトランスバーサル等化器の一種で、理論的に前方ビットからの影響を完全等化できる優れた特性をもつ。

*6 ビットインタリーブ

パースト的干渉の影響を、ビット列をインタレースすることにより、ランダム的干渉影響に変換して、方式がもつ誤り訂正能力を有効に享受する方法。

*7 3SD受信

SDはSpace Diversityの略。アンテナの配置がある程度離れるとフェージングを受ける様子が異なるという事象に基づき、2つ以上の受信アンテナを配置して、一般的に各アンテナの受信電力からより良い状態に合成する。3SDは3つの受信アンテナを用いるもの。