

## 経済化と柔軟なネットワーク構築を実現する IP-based RAN 特集

## IP化対応無線基地局装置の開発

伝送路コストの経済化に向け、エントランス回線のIP化に対応した屋内小型無線基地局装置のIP-BTSおよび高密度マルチバンド無線基地局装置を開発した。IP-BTSにおける柔軟な屋内エリア構築に向けた小型・軽量化技術および高密度マルチバンドBTSにおける基地局設置スペースの削減に向けた高密度化技術などについて解説する。

## 1. まえがき

FOMAサービスにおいては音楽配信サービスなど、さらなる大容量・高速通信へのニーズが高まる中、定額制の導入など通信料金の低廉化が求められている。一方、通信分野においては、インターネットの普及に伴い、汎用性の高いIP技術を用いたネットワークの低コスト化が急速に進んでいる。無線基地局装置（BTS：Base Transceiver Station）と無線ネットワーク制御装置（RNC：Radio Network Controller）\*1間のエントランス回線については従来ATM（Asynchronous Transfer Mode）\*2伝送路が用いられていたが、IP化に対応することが、伝送路のランニングコストの経済化に有効である。

本稿では、エントランス回線のIP化に対応したBTSとして、柔軟かつ経済的なFOMA屋内エリアの拡張を可能とするIP-BTS、および複数周波数帯（2GHz帯、1.7GHz帯、800MHz帯）に対応した屋外エリア向け高密度マルチバ

ンドBTSの2つの装置について解説する。

## 2. IP-BTS

IP-BTSは、FOMAサービスにおいて屋外基地局からの電波が届きにくいビル内や地下などのエリア品質を向上させるため、柔軟かつ経済的なエリア構築を行うことを目的に開発したFOMA用屋内小型BTSである（写真1）。また、エントランス回線のIP化に対応し、企業向け構内通話サービス「OFFICEED」\*3にも利用でき、新規法人市場の開拓が可能である。

## 2.1 装置概要

IP-BTSの基本仕様を表1に示す。本装置は屋内専用のBTSであり、2GHz帯に対応した1キャリア装置である。屋内環境では屋外環境と違い、2本のアンテナ間距離が短くても十分にスペースダイバーシチ\*4効果が得られること



写真1 IP-BTSの一例

表1 IP-BTSの基本仕様

装置名	IP-BTS	（参考）従来の屋内用小型BTS
対応周波数帯	2GHz帯	
チャンネル数（音声換算）	48ch	40ch（80chまで拡張可能）
サイズ	W320 × D45 × H240mm	W317 × D220 × H400mm
消費電力	100W以下	400W以下
重量	約3kg	約15kg

\*1 無線ネットワーク制御装置：FOMAネットワークにおいて3GPP上規定されている無線回線制御や移動制御を行う装置。

\*2 ATM：セルと呼ばれる固定長のフレームを逐次転送する通信方式。

\*3 OFFICEED：IMCS（\*9参照）導入ビル内のエリア限定で提供されるグループ内定額通話サービス。FOMA端末による構内通信を可能にする。

\*4 スペースダイバーシチ：複数のアンテナにより異なる伝送経路の信号を受信することで受信品質を向上させる技術。

から、受信ダイバーシチ対応とした[1][2]。また屋内環境では、遅延時間が大きい有効な到来波が受信されないことからRake受信<sup>\*5</sup>合成数の削減を、またトラフィックが少ないことからランダムアクセスチャネル（RACH：Random Access Channel）<sup>\*6</sup>におけるSignature<sup>\*7</sup>数や同時複号数<sup>\*8</sup>など、パラメータの最適化を行った。また対象エリア半径が300m程度と短いことから送信出力を低く抑えた。これらの装置仕様を屋内環境に最適化することで、従来装置と比較し装置の小型化（約1/6）と軽量化（約1/5）を実現し、また低消費電力化（約1/4）も行った。天井裏など重量制限で設置できなかった場所でも設置可能となるため、よりきめ細やかなFOMA屋内エリアの拡張も可能となっている。

設置方法としては、エントランス回線をIP化することにより、図1のようにEther（LANケーブル）接続によるLAN環境にてIMCS（Inbuilding Mobile Communication System）<sup>\*9</sup>を構築することが可能となっている。既存の光ファイバによる敷設工事の場合、光ファイバの特性として曲げや引っ張りに弱いことから設置時の扱いに注意する必要があったが、LANケーブルでの敷設が可能となることで設置性の向上が図られている。ユーザ数が少ない小オフィスなどで複数階をエリア化するには、アンテナ端子から同軸ケーブルにて分配して構築することも可能としている。また、従来装置と同様にRF光伝送装置（MOF：Multi-drop Optical Feeder）<sup>\*10</sup>との接続によるエリア構築も可能であり、既設のBTSを交換することで既設設備を流用

したOFFICEEDサービスへの対応も可能となっている。

## 2.2 IP-BTSのIP化技術

エントランス回線の経済化を実現するため、既存のATM伝送路に対応したBTSとは異なる、新しいIP化技術を実装した。IP化対応無線ネットワーク制御装置（IP-RNC：IP-Radio Network Controller）やOPS（Operation System）<sup>\*11</sup>間の各種プロトコルスタックの変更、セキュリティ対策、優先制

御機能などの実装を行っている。

局間制御信号のプロトコルとしてSCTP（Stream Control Transmission Protocol）を、ユーザデータにはUDP（User Datagram Protocol）を採用した。局間制御信号では信号の信頼性を重視し、耐故障性に優れた通信路を提供するトランスポート層のプロトコルの一種であるSCTPを採用し、一方ユーザデータについては、信号の信頼性よりもリアルタイム性を重視しUDPを採用した（図2）。保守監視信号につい

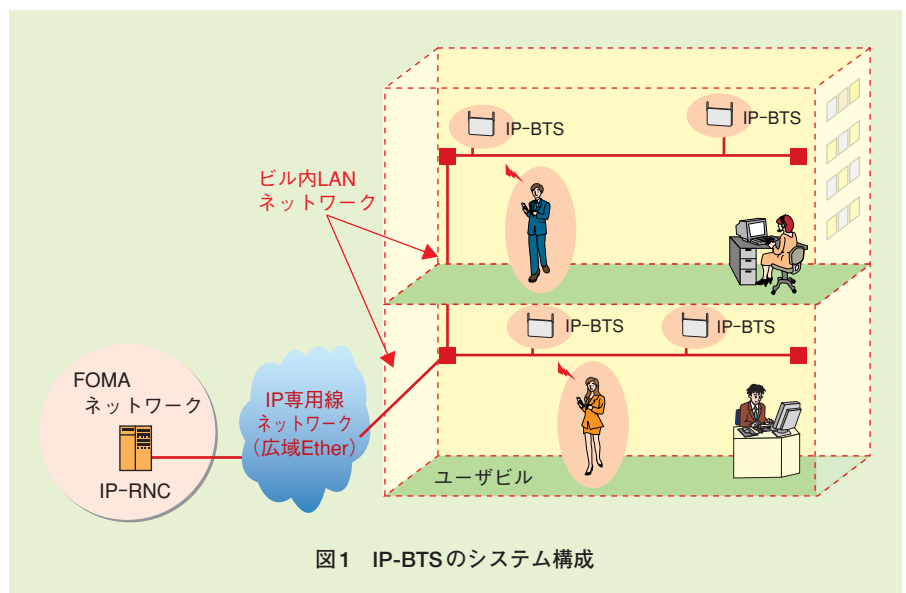


図1 IP-BTSのシステム構成

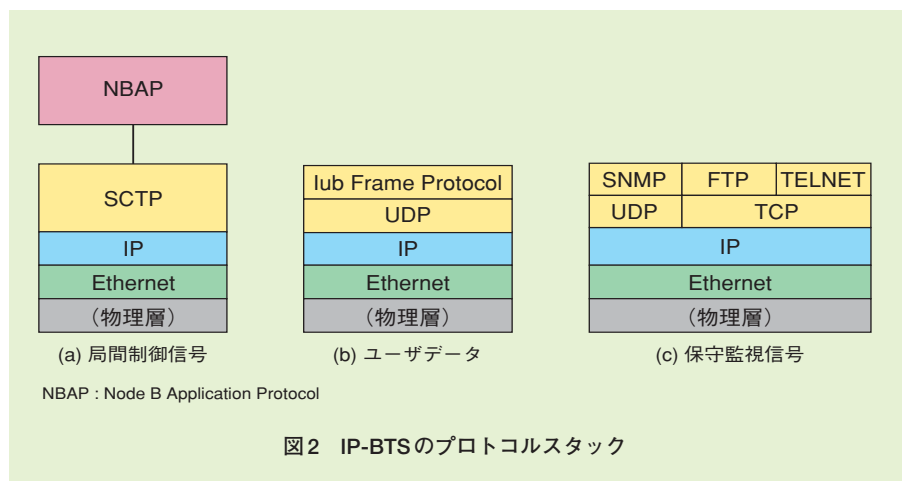


図2 IP-BTSのプロトコルスタック

\*5 Rake受信：伝搬時間が異なる電波を集めて受信することで、これらの信号を重ね合わせることで、これらにより通信品質を向上する技術。  
\*6 ランダムアクセスチャネル：上り方向の共通チャネルで、制御情報およびユーザデータの送信に使用するチャネル。各ユーザが

独立に信号をランダムに送信することにより、1つのチャネルを複数ユーザで共通に使用する。

\*7 Signature：本稿では、ランダムアクセスチャネルにおいて異なるユーザからの信号を識別するためのコード。

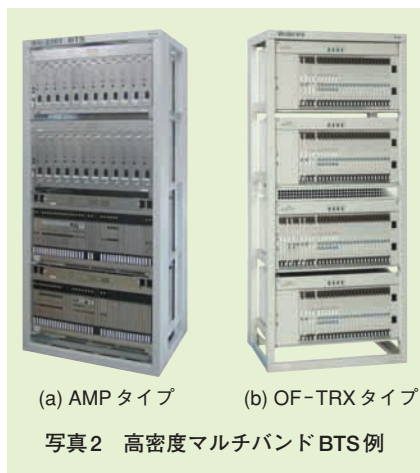
\*8 同時複号数：ランダムアクセスチャネルにおいて複数ユーザからの信号を同時に複号可能な数。

\*9 IMCS：高層ビルや地下街などの携帯電話が繋がりにくい、あるいは繋がらない場所でも通信を可能とするドコモのシステム。

て、BTSからOPSへの装置状態の報告などはUDP上のSNMP (Simple Network Management Protocol)<sup>\*12</sup>を使用し、OPSからの制御はTCP (Transmission Transfer Protocol) 上のTELNET<sup>\*13</sup>、ファイルのダウンロード、アップロードについては、FTP (File Transfer Protocol)<sup>\*14</sup>を採用した。

ユーザに近い場所での設置が想定されるため、セキュリティ対策を実施した。IP伝送路上の通信のセキュリティ対策としてIPSec (IP Security)<sup>\*15</sup>機能を実装したことで、データの盗聴・改ざんを防ぎ、機密性が確保されている。

優先制御機能としてDiffServ (Differentiated Services)<sup>\*16</sup>機能を実装し、局間制御信号、リアルタイム性を要求するトラフィック、高品質を要求するトラフィックといったトラフィック種別を識別し、DSCP (DiffServ Code Point)<sup>\*17</sup>を付与する機能を有している。IPネットワークでは、DSCPにより優先制御機能を実施することでネットワークとしての品質保証を実現している。



### 3. 高密度マルチバンド BTS

#### 3.1 装置概要

FOMAサービスの加入者数増加に伴い、4キャリア6セクタBTS[3]の後継機として高密度マルチバンドBTS (写真2)の開発を行った。本装置は、複数周波数帯 (2GHz帯、1.7GHz帯、800MHz帯) に対応するとともに、設置スペースの効率的な利用のためのさらなる高密度化、カード統合・高集積化などによる装置の経済化、IP伝送路への対応を行っている。高密度マルチバンドBTSの基本仕様を表2に示す。

#### 3.2 ラインナップおよび装置構成

本装置では、変復調部 (MDE : Modulation and Demodulation Equipment) と送信電力増幅部 (AMP : AMPLifier)、光張出しTRX装置 (OF-TRX:Optical Feeder Transmitter and Receiver)<sup>\*18</sup>の接続を光インタフェースで実現している。OF-TRXタイプは、主にアンテナ直近に屋外設置スペースがある場合に使用され、AMPタイプは、アンテナ

直近の屋外設置スペースがないときに使用される。従来装置では、MDEとAMP間のインタフェースは無線周波数 (RF : Radio Frequency) のアナログ接続となっていたが、光インタフェースに仕様変更することにより、接続されるAMP、OF-TRXに依存せず共通の信号での処理を可能としている。また、光インタフェースについても標準仕様のCPRI (Common Public Radio Interface)を採用し、共通化を図っている。

装置ラインナップについて図3に示す。MDEは、MDE基本部とMDE増設部から構成され、MDE基本部に対して最大4台のMDE増設部の接続が可能である。MDE基本部は、共通制御部、保守監視制御部、呼処理制御部から構成され、MDE増設部は呼処理制御部から構成される。MDE単位でATM伝送路およびIP伝送路の選択が可能となっており、局構成に応じて自由に選択することが可能である。また、IP伝送路選択時は、OFFICEEDサービスに利用可能で、IP-BTSでは収容できない大規模ビルなどへの設置に

表2 高密度マルチバンドBTSの基本仕様

	高密度マルチバンドBTS		(参考)4キャリア6セクタBTS	
	AMPタイプ	OF-TRXタイプ	AMPタイプ	OF-TRXタイプ
キャリア・セクタ数	8キャリア6セクタ	16キャリア6セクタ	4キャリア6セクタ	
チャンネル数 (音声換算)	~5,760ch	~11,520ch	~2,880ch	
重量	400kg以下	300kg以下	310kg以下	200kg以下
消費電力	12kW以下	10kW以下	10kW以下	5kW以下
サイズ	W795 × D600 × H1,800mm			W795 × D600 × H1,350mm
伝送路種別	<MDE当り> 1.5M, 6.3M: 各最大4回線 (ATM) ATMメガリンク, MDN: 各最大2回線 (ATM) 10Base-T/100Base-TX: 最大2回線 (IP) 1000Base-SX: 最大2回線 (IP)		1.5M, 6.3M: 各最大4回線 (ATM) ATMメガリンク, MDN: 各最大2回線 (ATM)	
1架当りの装置構成	AMP × 2 MDE × 2	MDE × 4 (MDE構成は屋外と屋内で共通仕様)	AMP × 1 MDE × 2	MDE × 2

MDN : Mega Data Netz

\* 10 RF光伝送装置 : 光ファイバを利用してBTSのRF信号を中継する装置であり、親局装置と子局装置から構成される。  
 \* 11 OPS : FOMAネットワークにおいてコアネットワーク装置、無線アクセス装置などのインフラ装置に対する保守監視および制御

を行う装置。  
 \* 12 SNMP : TCP/IPネットワーク上の通信機器 (ルータやコンピュータ、端末など) を監視・制御するプロトコル。  
 \* 13 TELNET : TCP/IPネットワークにおいて、遠隔地にあるサーバを目の前のコンピュー

タから遠隔操作できるようにする仮想端末ソフトウェア、またはそれを可能にするプロトコル。  
 \* 14 FTP : インターネットやイントラネットなどのTCP/IPネットワーク上でファイル転送の際に一般的に用いられるプロトコル。

適している。

AMPは、2GHz帯と1.7GHz帯について開発を行った。MDEとAMP間の接続に光インタフェースを採用したことにより、従来装置では実現できなかったMDEとAMP間の距離を最大約20kmまで離すことが可能となった。これにより、MDEを基点とするビルに集約設置して、AMPだけをアンテナ直下に設置することも可能となり、設置スペースがない場合でも効率的に局設置することが可能となった。

OF-TRXは、屋外設置タイプと屋内設置タイプの2種類がある。屋外タイプは、2GHz帯、1.7GHz帯および800MHz帯の3種類の装置開発を行った。屋内タイプについてはMOF接続用として開発した。

### 3.3 高密度化／経済化の実現

従来の4キャリア6セクタBTSは、1架当たり音声チャンネル換算で最大2,880チャンネル収容可能であったが、高密度

マルチバンドBTSでは、AMPタイプの場合で2倍となる5,760チャンネル、OF-TRXタイプの場合で4倍となる11,520チャンネル収容可能である。大容量化に伴い、1カ所の呼処理制御部では処理負荷の増大により呼処理制御不可能となったため、本装置ではMDE単位に呼処理制御を分散する構造とした。呼処理制御監視機能部（CP-CNT：Call Processing-CoNTroller）、伝送路インタフェース機能部（HWY-INT：HighWaY INTerface）、ベースバンド信号処理機能部（BB：Base Band signal processor）などをMDE単位に配置している。一方、保守監視制御部と共通制御部は、カード実装枚数の削減を目的にMDE単位とはせず、MDE基本部に集約して接続されている複数MDE増設部を一括制御する構造としている。また、従来装置では複数のカードで実現していた機能を1枚のカードに統合し、またBBカード当りの処理能力を向上させることによりカー

ド枚数を低減することで、1つのMDE（既存装置の1/2の設置スペース）で4キャリア6セクタ、2,880チャンネル収容を実現している。BBについては、DSP（Digital Signal Processor）<sup>\*19</sup>、大規模集積回路（LSI：Large Scale Integration circuit）などの最新かつ最適なデバイスを使用することにより、BBカード当り約2倍の収容を可能とした。消費電力についても、AMPの高効率化、BBカードの低消費電力化、共通カードの統合により、従来の4キャリア6セクタBTSと比較して、チャンネル当り約40%の低消費電力化を実現した。

### 3.4 CPRI技術の実現

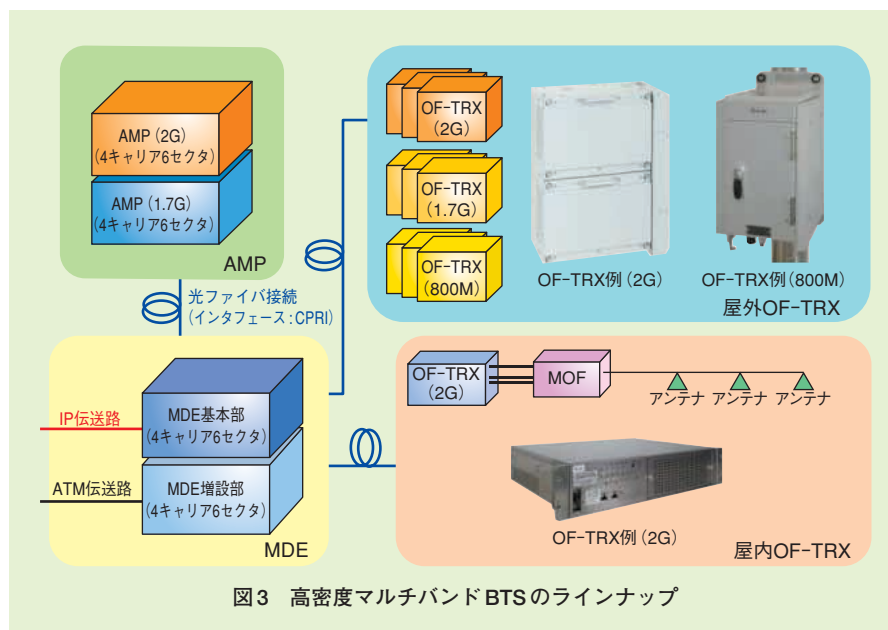
#### (1) CPRI概要

高密度マルチバンドBTSにおいて採用したCPRIは、3.2節にて記述したMDEとAMP間またはOF-TRX間とのインタフェース規格であり、AMP、OF-TRXのいずれもCPRIを採用している。インタフェース規格で定義されていない上位レイヤについては、上位装置との保守監視制御などの仕様を追加して、高密度マルチバンドBTSの共通インタフェースを実現している。

CPRIでは、MDEをREC（Radio Equipment Control）と、AMPまたはOF-TRXをRE（Radio Equipment）と定義していることから、以降の説明ではREC、REと表記する。

#### (2) 装置構成

CPRIの概念を図4に示す。RECはREと光ファイバ（CPRIリンク）を介して接続され、AMPまたはOF-TRXどちらのタイプとも接続可能であり、これらの混在も可能としている。また、マルチベンダ間での相互接続も可能と



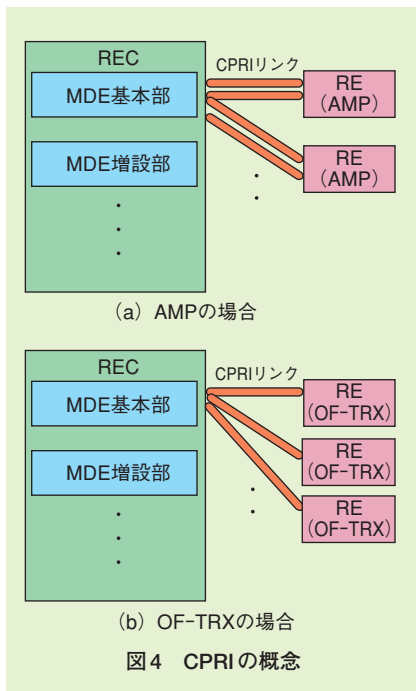
\* 15 IPsec：IPパケットそのものを暗号化したり、認証することでセキュリティの高い通信を行うプロトコル。

\* 16 DiffServ：IPパケットに優先順位を割り当て、中継処理の順番を制御する技術。

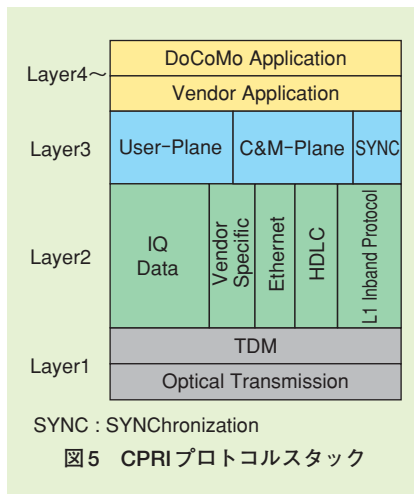
\* 17 DSCP：リアルタイム性や高品質性を要求する通信パケットの種類を識別して、サービスに合った転送処理を行うために、ルータなどの動作を決めるコード。

\* 18 光張出しTRX装置：MDEと光ファイバで接続される装置であり、MDEから最大約20kmまで張り出して使用可能。

\* 19 DSP：デジタル信号処理に特化したプロセッサ。



している。この理由として、高密度マルチバンドBTSでは、無線機能のみならず保守監視制御機能についてもCPRIリンク単位での実装としている。



ため、容易に実現が可能である。

(3) CPRIプロトコルスタック

CPRIプロトコルスタックを図5に示す。

Layer1におけるCPRIの定義は、電気信号または光信号のいずれも適用可能であるが、高密度マルチバンドBTSではREの長距離接続が可能のように光信号を採用した。

Layer2は、以下のように定義される。

① IQ<sup>\*20</sup>Data：ユーザデータをデジタルIQデータとしてマッピングする。

② L1 Inband Protocol：基本的なCPRI区間のネゴシエーションやLayer1の保守監視制御を行う。

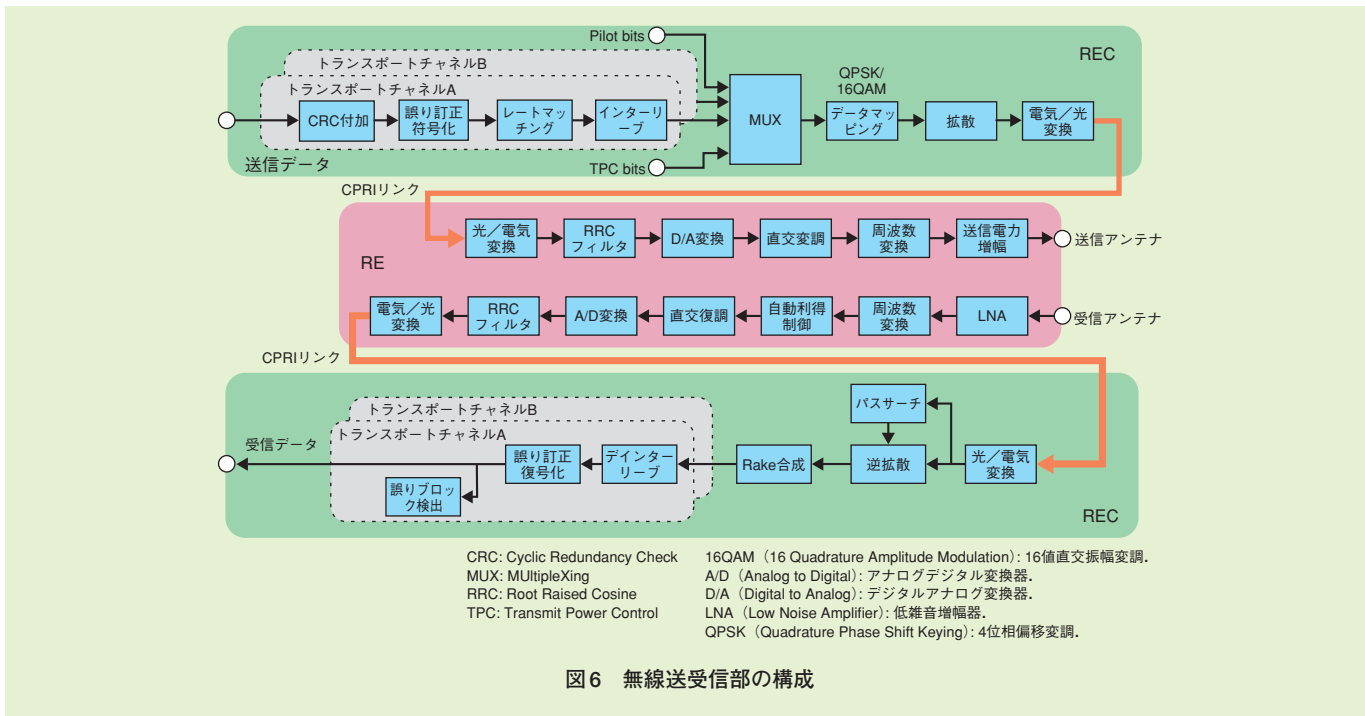
③ Vendor Specific：ユーザが自由に使用可能な領域である。

④ HDLC (High-level Data Link Control procedure)<sup>\*21</sup>：上位レイヤにおけるC&M-Plane (Control & Management-Plane)<sup>\*22</sup>として、保守監視制御信号として使用する。

Layer3およびLayer4では、ベンダまたはドコモのアプリケーションにてCPRIの保守監視機能および呼処理機能を実現する。

(4) 無線送受信部の構成

W-CDMA FDD (Frequency Division Duplex)<sup>\*23</sup>方式におけるRECとREの無線送受信部の構成を図6に示す。



\* 20 IQ：複素デジタル信号の同相(In-phase)および直交(Quadrature)成分。  
 \* 21 HDLC：データ伝送制御手順の1つ。ビット単位でデータの伝送制御を行うので、高速かつ高効率で、信頼性の高いデータ伝送が可能にしている。

CPRI区間を伝送する無線送受信信号は、セクタごとに1本のCPRIリンクによってキャリア・ブランチ<sup>\*24</sup>当り、1/3.84MHz単位の時分割多重(TDM: Time Division Multiplexing)方式のデジタルIQデータとして伝送する。無線部に関する機能[4][5]については従来と大きな変更点はないが、RECおよびREの機能部を図6に示すようにすることで、将来的な拡張性および柔軟性を考慮した設計としている。具体的には以下の特徴を持つ。

伝送速度は、主にREでサポートするキャリア・ブランチ数およびキャリア・ブランチ当りのIQデータのビット数に依存するが、キャリア・ブランチ数が異なるREであってもビット定義を不変とすることで、RE種別に依存なく1,228.4Mbit/sの伝送速度を適用している。また、無線機能はすべてREで集約し、さらに上位レイヤ含めたすべてのCPRI信号を共通化することで、無線周波数、最大送信出力電力、対応キャリ

ア数などの変更が発生した場合においてもREの無線機能部の変更のみで容易に対応可能としている。

## 4. あとがき

伝送路コストの経済化に向けエントランス回線のIP化に対応したBTSとしてIP-BTSおよび高密度マルチバンドBTSの開発を行った。

本稿においては、伝送路のIP化技術に加え、IP-BTSにおける柔軟な屋内エリア構築に向けた小型・軽量化技術および高密度マルチバンドBTSにおける基地局設置スペースの削減に向けた高密度化技術、MDEとAMP間またはOF-TRX間インタフェースに採用したCPRI技術について解説をした。今後もFOMAの柔軟なエリア展開、経済的なシステム容量拡大に向け、最新の技術を用いたBTSのさらなる小型・軽量化および高密度化について検討を進める。

## 文献

- [1] J. F. Lemieux, et. al.: "Experimental Evaluation of Space/Frequency/Polarization Diversity in the Indoor Wireless Channel," IEEE Trans. Vehicular Technology, Vol. 40, No.3, pp. 569-573, Aug. 1991.
- [2] N.Fletcher, M.A.Beach and D.P.McNamara: "Performance Evaluation of MIMO Communication Techniques over Measured Indoor Channels," Proceedings of the ISSSE 2001, pp.85-88, Jul.2001.
- [3] 引馬, ほか: "FOMAエリアの経済的拡大に向けた無線基地局装置の開発," 本誌, Vol.12, No.1, pp.50-56, Apr. 2004.
- [4] 佐和橋, ほか: "W-CDMAにおけるチャネル構成・拡散符号割り当て," 本誌, Vol.8, No.3, pp.56-69, Oct. 2000.
- [5] 佐和橋, ほか: "W-CDMAにおけるコヒーレントRake受信・適応送信電力制御技術," 本誌, Vol.8, No.4, pp.76-85, Jan. 2001.

\* 22 C&M-Plane: RECとRE間における監視制御データ。

\* 23 FDD: 周波数分割複信。無線通信などで同時送受信を実現する方式の1つで、異なる周波数にて送信と受信を同時に行う方式。

\* 24 キャリア・ブランチ: キャリアは周波数を表しFOMAでは5MHz帯域の周波数単位を表す。ブランチはアンテナを指す。