# 3章 移動通信システム

(執筆者:上林真司) [2010年5月 受領]

#### ■概要■

携帯電話が爆発的に普及し、先進国だけでなく全世界で一人に1台の携帯電話という移動無線局をもつ時代が間近に来ている。本章では、まず、この最も身近な携帯電話システムを紹介する。携帯電話がまだ自動車電話と呼ばれていた時代から、これまでの30年間の歩みを概観し、現在の第3世代移動通信システムの概要(システムの種類とそれぞれの特徴、主な技術、諸元など)を紹介する。

また,携帯電話に先行して普及した無線呼出しシステム,携帯電話を補完するようにして現れた我が国のPHSシステム,欧州のディジタルコードレス電話システム,山間部など広いエリアをくまなくカバーする衛星移動通信システムについて,それぞれの特徴,概要を紹介する.

これらの公衆移動通信システムに対して、専用・業務用の移動通信システムとして、従来から警察、消防の移動通信システム、防災行政無線システム、MCA 陸上移動通信システムなどがある。また、海上をカバーする海上移動通信システム、航空機のための航空移動通信システムがある。

本章は、これらの移動通信システムを網羅し、その概要を把握することを目的とする. なお、無線 LAN システムについては 4 群 4 編に記載する.

#### 【本章の構成】

本章の構成は以下のとおりである.

- 3-1 セルラーシステム
  - 3-1-1 第1世代セルラーシステム: NTT 方式, AMPS, TACS 方式, NMT 方式
  - 3-1-2 第2世代セルラーシステム: PDC, IS-54/IS136, GSM, cdmaOne
  - 3-1-3 第3世代セルラーシステム

WCDMA (Release 99, HSDPA, HSUPA, LTE)

CDMA2000 (EV-DO (Rev.0), EV-DO (Rev.A), BMCS, EV-DO (Rev.B), UMB)

#### 3-2 PHS

- 3-3 無線呼出しシステム: ERMES, FLEX™, FLEX-TD
- 3-4 ディジタルコードレス電話システム: DECT, その他
- 3-5 その他の陸上移動通信システム:警察,消防,業務用無線,公共ディジタル移動通信システム,ディジタル MCA 陸上移動通信システム
- 3-6 衛星移動通信システム: N-STAR, インマルサット, イリジウムシステム, その他
- 3-7 海上・航空移動通信: 航空移動通信 (ATSC, AOC, AAC, APC), 海上移動通信 (GMDSS, 外航船・内航船の通信, 遠洋漁船の通信, 沿岸小型船舶の通信)

# 3-1 セルラーシステム

#### 3-1-1 第1世代セルラーシステム

(執筆者: 坂本正行) [2008年6月受領]

高アンテナ高,大送信電力で,できるだけ電波を遠くまで届かせることを基本とする従来の移動無線方式に対して、セル (cell) と呼ばれる比較的狭いエリアをカバーする複数の基地局をサービスエリア内に規則的に配置するいわゆるセルラーシステムが 1970 年台の終わりから 1980 年代のはじめにかけて各国で相次いで開発・導入された.後にディジタル方式へと大きく発展していくことになるが、最初に導入されたこれらアナログ方式を第1世代セルラーシステムと呼んでいる.

セルラーシステムの最大の特徴は、セル半径比で一定距離以上離れた基地局どうしで同じ 周波数を繰り返して使用することである。セル半径比で一定距離であるから、セル半径を小 さく(すなわち基地局間距離を小さく)するほど、より近い距離で繰り返し使用が可能にな り、周波数利用率を向上させることができる。しかしセル半径が小さいために通話中にセル (基地局)を移行してしまうことになり、いわゆるハンドオーバなど、複数基地局を連携さ せる複雑な制御が必要であった。また、業務用途ではなく一般ユーザの「電話」としての使 用を想定しており、ダイヤルによる自動接続、できるだけ固定電話に近い良好な通話品質、 など当時としては高度な要求条件を満たしたものであった。

第2世代以降のシステムが、ISOレイヤーモデルに準拠した制御プロトコルで、かつ最初から携帯電話サービスを対象としていたのに対して、移動に特化した専用プロトコルであったこと、移動機の大きさの制約から車載の自動車電話として出発したことが第1世代システムの特徴である。しかし、モトローラ社のマイクロタックやNTTのムーバに代表される携帯電話が出現しており、また移動通信事業者間の競争体制が実現するなど、今日の発展への原動力となった条件が整えられた時期でもあった。

#### (1) NTT 方式 1)

NTT (当時は電電公社) は 1979 年に世界で初めてセルラーシステムの商用サービスを開始した. セル半径は都市部で 5 km, 郊外地で 10 km 前後を標準とし,移動機(車載機) は 6600 cc, 7 kg, 5 W 送信であった. 東京を皮切りに数年を掛けて全国主要都市にサービスが拡張され, 1987 年 3 月末には全国のユーザ数が 10 万弱に達するなど緩やかではあるが着実に発展していった. しかし,当時のシステム容量は1地域(例えば関東圏)当たり10 万ユーザ程度とされており,容量増大の必要性に迫られることになった. 前述のように基地局を増設してセル半径を縮小すれば容量は増加するが,当時のユーザ数では投資に見合う収入を見込むのは困難な状況であった. そこで,基地局数を増やすことなくシステム容量を増大させた大容量方式 2)が 1988 年に導入された. 新移動機は旧方式と大容量方式の両方にアクセスできるコンパチビリティをもたせたため,容量増が必要なエリアにだけ追加で設備することにより対応可能であった.

容量増大技術として、(a)チャネル間隔を 1/2 の 12.5 kHz に狭小化、(b)狭小化したチャネルを更に 1/2 の 6.25 kHz 間隔で使用するいわゆるインタリーブチャネル配置、(c)ダイバーシチ受信(基地局・移動機とも)及び移動機の送信電力制御による干渉軽減、(d)同一チャネル干

渉増大時にこれを検出して干渉の少ないチャネルに切り替える干渉回避,などの新技術が採用された.ダイバーシチ受信は最大周波数偏移低下に伴う通話品質劣化への対策としても有効であり、一定の品質を確保しつつ、高い周波数利用効率を達成したシステムであった.

#### (2) AMPS, TACS 方式

AMPS (Advanced Mobile Phone Service) <sup>3)</sup> は米国で開発されたシステムで、1980 年にサービスが開始された。チャネル間隔を狭小化することによって周波数軸上の利用率を向上させる NTT 方式と異なって、FM の広帯域利得により干渉耐力を向上させて地理的繰り返し使用効率を重視するシステムであった。しかし、その後の需要増への対処のため、チャネル間隔を 1/3 の 10 kHz(20 kHz 幅チャネルをインタリーブにより 10 kHz 間隔で使用)に狭小化した N-AMPS(Narrowband-AMPS)も実用化されている。

AMPS を英国の周波数事情に合うよう修正した TACS (Total Access Communication System) が 1985 年に商用されている. 更に日本向けに若干改良した J-TACS が 1989 年にサービス 開始された.

#### (3) NMT 方式 4)

1981年には、北欧 4 か国を対象とする NMT(Nordic Mobile Telephone)方式がサービスされた. NTT 方式, AMPS などが基本的には国内での利用を想定したものであったのに対して、北欧 4 か国間で移動機を互いに自由に使えるいわゆる国際ローミングを実現した点で画期的なシステムであった。

項目	NTT 大容量方式	AMPS (N-AMPS)	NMT
周波数帯 800 MHz		900 MHz	450/900 MHz
チャネル間隔	6.25 kHz	30 kHz (19 kHz)	25 kHz/12.5 kHz
変調方式	PM	PM	PM
最大周波数偏移	2.5 kHz	12 kHz (5 kHz)	5 kHz

表3・1 第1世代セルラーシステムの無線諸元

#### ■参考文献

- 泉一雄,吉川憲昭,浜田泰昭,大井哲雄,武内正史,菊池敬昭,"総合報告 自動車電話方式,"信学 誌,vol.64,no.1,pp.7-29,Jan. 1981.
- 2) 倉本実,渡辺邦夫,江口真人,結城主央巳,小川圭祐,"総合報告 大容量自動車電話方式,"信学誌,vol.71,no.10,pp.1011-1022,Oct. 1988.
- W.R. Young, "Advanced Mobile Phone Service: Introduction, Background, and Objectives," Bell System Tech. Journal, vol.58, no.1, pp.1-14, Jan. 1979.
- T. Haug, "The NORDIC mobile telephone system, an extension of the telephone network," IEEE Globecom '83, pp.1405-1409, Nov/Dec. 1983.

## 3-1-2 第2世代セルラーシステム1)

(執筆者:中嶋信生) [2009年1月 受領]

移動通信では大きな技術的転換が各世代で行われてきたが、なかでも第2世代ではアナログからディジタルに切り替わる最も大きな転換が行われた.標準化の世界でも第2世代では世界統一方式の実現という目標が立てられた.携帯電話の爆発的普及やiモードがきっかけで本格化したディジタルサービスは、すべて第2世代のなかで起きた出来事である.第1世

代時代にこれらの発展を期待してディジタル方式の研究実用化が世界中で始まったが、しかし現在のような繁栄までは想像できていなかった。第2世代開発、言いかえるとディジタル化の直接の動機は自動車電話の周波数不足と産業競争上の問題であった。我が国ではNTTが800 MHz 帯で15 MHz×2 の帯域を使用して、世界で最も周波数効率の高いアナログ大容量方式を提供していたが、それでも本格的な自動車電話の普及には周波数が不足であった。自動車普及国の米国も同様であった。一方、ヨーロッパでは各国が陸続きであるにもかかわらずそれぞれ異なる方式を使用していて不便であることと産業保護の観点から、ヨーロッパ独自の統一方式を作ることを目指していた。その手段がディジタル化であった。しかしながら、技術的必然性からディジタル化に進んだとは必ずしも言い切れない。というのは、回路の複雑さ、音声のディジタル化、消費電力のどれをとっても当時の技術ではディジタル方式の方がアナログ方式より劣っていた。周波数利用効率も格段に優れていたわけではなかった。それにもかかわらずディジタル化が検討されたのは国間の開発競争で遅れをとってはならないという考えが底にあったのではないかと思われる。

ディジタル方式の開発と標準化は、日米欧の3極構造の下で進められた。我が国では、当時のアナログ方式に置き換わるだけの性能が必須であることが、開発の重要な条件であった。特に携帯電話端末が大きさや消費電力の点でアナログ方式よりも劣ることは認められなかった。したがってアナログディジタルのデュアルモード端末はあり得なかった。ディジタル方式はアナログ方式と全く独立で、端末はシングルモードであった。一方、米国では新しい移動通信インフラを即座に全国展開することが必須のシングルモード端末は、膨大な初期投資が必要なため、デュアルモード端末を選択した。この判断が米国ではその後のディジタル方式普及を遅らせる一つの原因となった。

日米は当初アクセス方式として SCPC (Single Channel Per Carrier) という最もシンプルで実現性の高い FDMA (Frequency Division Multiple Carrier) 方式の適用を検討していた。その後、米国の標準化会議でスウェーデンのエリクソン社が TDMA (Time Division Multiple Access) 方式を提案し、モトローラやルーセントテクノロジーの推奨する FDMA と競ったが、投票の結果 TDMA 方式に軍配が上がった。 我が国でも同時期に TDMA 方式の適用性を独自に検討し、その結果周波数利用効率や回路構成などの面で TDMA の有用性が明らかになったため、課された条件 (周波数効率、アナログ方式に対する優位性) を考慮して最適な TDMA 方式を設計した。

国内における標準規格の検討は RCR(Research & Development Center for Radio System: 電波システム開発センター)で行われた. 基本設計が完了した NTT の提案をベースに国内統一規格が策定され, 規格書が 1991 年 4 月に刊行された. 当初は JDC(Japan Digital Cellular Telecommunication System)と呼ばれたが, その後世界への普及を願って PDC(Personal Digital Cellular Telecommunication System)へと改名された.

ョーロッパでは、GSM (Group Special Mobile: フランス語、現在は Global System for Mobile communications に変更された) の名称で統一移動通信方式の標準化が進められ、各国から様々な方式が提案された。ドイツでは CDMA が検討され提案されていた。各国の利害が絡むなかの投票で、ヨーロッパでもやはりエリクソン提案の TDMA 方式が第 1 位となった。この TDMA 方式は、日米の方式とはかなり異なっていた。

ITU 傘下の無線通信に関する国際標準化機関 CCIR では、既に述べたように第2世代方式

で世界統一を図ろうとしたが、どの方式にも合意を得ることができず、三つの方式がすべて世界標準となった。それらの主な仕様を**表 3・2** に示す。

	PDC (日本)	IS-54/IS136(米国)	GSM (欧州)	cdmaOne (米国)
周波数帯	800 MHz / 1.5 GHz	800 MHz	800 MHz	800MHz
キャリア間隔	25 kHzインタリーブ	30 kHzインタリーブ	200 kHzインタリー ブ	1.25 MHz
変調	π/4シフトQPSK	π/4シフトQPSK	GMSK	BPSK
マルチブルアクセ ス	3/6 ch TDMA	3ch TDMA	8ch TDMA	CDMA
信号速度	42 kbps	48.6 kbps	270 kbps	1.2233 Mbps
音声符号化	VSELP: 11.2 kbps PSI-CELP: 5.6 kbps	VSELP: 13 kbps 改良形:同上	RPE-LTP : 22.8 kbps	Q-CELP/EVRC: 8 / 13 kbps
データ速度	MODEM: 9.6 kbps PACKET: 22.8 kbps	MODEM : 9.6 kbps	MODEM: 9.6 kbps	MODEM: 9.6 kbps
アンテナ ダイバーシチ	基地局と移動局	基地局	基地局	基地局

表3・2 第2世代セルラー方式一覧

日米の方式は実用化の課題が近いこともあって類似性が高い. TDMA の多重数が 3 チャネルと少ないのは、マルチパスの遅延による符号誤りを避けるために通信速度をできるだけ下げる必要があること、後述する MAHO を実現するためには最低 3 チャネル必要なことから決まった。音声符号化方式の決定は両国共コンペティションで行われ、日米共にモトローラ提案の VSELP 方式が採用された. 日米方式の主な違いは、無線チャネル間隔と波形等化器にある. 波形等化器はマルチパス間の遅延が問題になるとき必要とされる. 当時波形等化のための信号処理はかなりの回路的負荷であった. そこで我が国ではいろいろなマルチパス環境下で実験を行い、40 kbps 程度の信号速度ならばダイバーシチ受信で改善できると判断し等化器は使用しなかった. 一方、米国ではある環境下における実験で非常に大きな遅延が観測されたため、等化器を必須とした. この等化器とデュアルモード化が携帯電話端末の小型化において以後大きな重荷となった.

GSM 方式の標準化では、他国からの容易な市場参入を防ぐために高い技術目標が設定された。その結果は TDMA の多重数などに表れている。日米の 3 チャネル多重に対し 8 チャネル多重と倍以上であり、更に音声符号化速度も高い。高速伝送のため波形等化器は必須でかつ高い性能が要求された。加えて TDMA 方式では、送信時には多重数に比例した高いピーク電力が要求され大きな容量の電力増幅器が要求される。日米方式の多重数が少ないのはこれも理由の一つであった。 GSM ではこのように回路技術面で高度な課題が多かったため、実用化当初には通信品質や電池の持ちが悪かった。しかし半導体技術の進歩に伴い、今では日米方式に対する性能面での劣勢はほとんどなくなった。また、ショートメッセージや SIM カードなど、現在当たり前になっている諸機能も GSM だけが当初から採用していた。

第2世代方式で携帯電話が爆発的に普及したのは、無線伝送のディジタル化だけでなく、 そのほかの技術に負うところも大きい、それらを列挙すると、

- ① MAHO (Mobile Assisted Hand Over:移動機補助ハンドオーバ)
- ② 基地局共通電力増幅器

#### ③ 線形変調

#### ④ 線形高能率増幅器

第1世代のアナログ方式では、基地局側が移動機の位置を検出し、タイミングを見計らってハンドオーバを行っていた。図3・1に示すように、位置を検出するために各基地局には専用の受信機が備えられ、受信した情報は制御局に集約されて、受信レベルの比較によりおよその位置を推定していた。一方、第2世代では移動機が自分の位置を検出した。具体的には、図3・1に示すように移動機はTDMA通信の空き時間に受信機の周波数を周辺の基地局の送信周波数に合わせてその受信レベルを観測し、その情報を制御回線で基地局に伝送する。その後の処理は第1世代と同じであるが、基地局の設備や伝送路は大幅に軽減されたことが特徴である。一方、移動機では位置検出専用の回路をほとんど必要としていない。このように移動機がハンドオーバ制御の一部を担っていることから MAHO と呼ばれる。

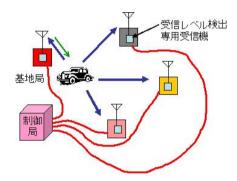


図3・1 TDMA 方式における周辺基地局からの電波受信

基地局は複数の無線チャネルを送受信するが、それぞれにアンテナを備えるのは経済的でないので、第1世代では、1本のアンテナを複数の送信機で共用するアンテナ共用装置が使用されていた。この共用装置はフィルタの塊であり大きなスペースとコストを要していた。また挿入損失も数 dB と少なくなかった。複数の無線チャネル出力を合成後に電力増幅する共通電力増幅器があれば、このような問題は生じなかったが、増幅器で IM3 (3 次歪)を発生させないために極めて線形性の高い性能が要求され、第1世代では実現できなかった。第2世代で実現した共通電力増幅器はアンテナ共用装置より小型な特徴も備えていたため、基地局装置の小型化に大きく貢献し、その結果従来は電話局の機械室のような特殊な場所にしか設置できなかった基地局装置が、ビルの屋上やマンションの一室に設置できるようになり、基地局設置の自由度が大幅に向上した。

日米の方式では $\pi/4$ シフト QPSK 変調を適用した. 周波数効率に優れているが線形変調のため電力増幅器の効率が低下し、移動機では消費電力が増加する難点があった. しかし効率の高い線形電力増幅器が開発され、その問題も解決した.

PDC 方式は、1993 年に導入したあとも改良が施され、1.5 GHz 帯の周波数追加、ハーフレート音声符号化方式の採用 (TDMA の多重数は倍増)、パケット通信機能の追加などである。ハーフレート音声符号化アルゴリズムはコンテストの結果、NTT ドコモの PSI-CELP 方式が

採用され、PDC の周波数効率は2倍となった.

電話のようなストリーム形の通信とパケット通信は全く別のアクセス方式であるが、なるべく既存のインフラを活かし、必要最低限の機能を追加することで、経済的にパケット機能を付加することに成功した。すなわち、無線の仕様はほとんど変えずに、それまで無線回線制御で使用していたパケット方式を通信チャネルにも適用した。コアネットワークは**図 3・2** に示すようにオーバーレイ構造とした。

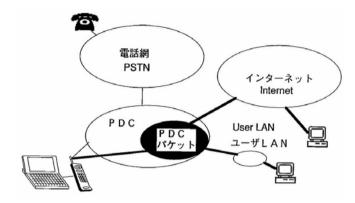


図3・2 PDC 方式にオーバーレイされたパケットネットワーク

短期間に爆発的な普及を遂げたiモードは,このパケット機能とインターネットを組み合わせたものであり、パケット機能が前もって備えられていなければ実現しなかった.

第2世代は日米欧共に TDMA 方式でスタートしたが、途中から米国の Qualcomm 社が表 3·2 に示す CDMA 方式を新たに開発し、国際標準規格に加えられた。そして CDMA が中心となる第3世代方式の引き継がれていくことになる。

#### ■参考文献

1) 桑原守二監修, "ディジタル移動通信,"科学新聞社, 1992.

#### 3-1-3 第3世代セルラーシステム(3.9Gを含む)

#### (1) WCDMA

(執筆者:中村武宏) [2008年12月受領]

W-CDMA は, 第 3 世代移動通信システムとして国際電気通信連合 無線通信部門 (ITU: International Telecommunication Union Radiocommunications sector) にて, IMT-2000 (International Mobile Telecommunications-2000) と称して 1999 年に承認された五つの方式のうち, CDMA Direct Spread に該当するものである. UMTS (Universal Telecommunication System) とも呼ばれる.

W-CDMA の標準仕様作成作業を効率良く進めるために、世界各国の標準化団体が協力して、1998年12月に3GPP(3rd Generation Partnership Project)を発足した。3GPPでは1999年末に最初の標準仕様(Release 99と呼ばれる)をリリースし、その後もシステムの更なる高機能化を目的とし、標準化仕様作成作業が続けられている。その主なものに、パケット伝送の高

速化, 高効率化を図った HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) と HSUPA (High Speed Uplink Packet Access. 3GPP 内での正式名称は EUL: Enhanced Uplink) があり, それぞれ 2002 年, 2004 年に Release 5 及び Release 6 として仕様がリリースされた. 更に, 将来的なデータ 通信需要のよりいっそうの高まりを考慮し, 3GPP では HSDPA/HSUPA からの更なる飛躍的 なシステムの性能向上を図るため, LTE (Long Term Evolution. 3GPP 内での正式名称は, Evolved UTRA and UTRAN) の仕様検討を進め, 2007 年末に主要仕様がすべて Release 8 として承認された. 以下に, Release 99, HSDPA, HSUPA, LTE の概要を述べる.

#### (a) Release 99 仕様

W-CDMA Release 99 仕様には、デュープレックス方式として FDD (Frequency Division Duplex) と TDD (Time Division Duplex) が存在する. FDD の主要諸元を表 **3・3** に示す.

アクセス方式	Direct Sequence CDMA
デュープレックス方式	FDD
帯域幅	5 MHz
チップレート	3.84 Mcps
データ速度	∼2 Mbps
フレーム長	10 msec
誤り訂正符号	ターボ符号,畳み込み符号
誤り訂正インタリーブ長	10, 20, 40, 80 ms
データ変調	下り QPSK,上り BPSK
拡散変調	下り QPSK,上り HPSK
拡散率	4~512
基地局間同期	非同期(同期運用も可)

表 3 · 3 W-CDMA FDD 主要諸元

Release 99 で用いている無線アクセス方式は W-CDMA(Wide-band CDMA)方式である. W-CDMA ではスペクトラム拡散通信技術を用いた多元接続方式である. スペクトラム拡散通信とは、情報信号のスペクトラムを最低限必要な帯域より広い帯域に拡散して伝送する通信方式である. スペクトラム拡散通信は、耐干渉性に優れ、また無線伝送路でのマルチパスや歪みに強いといった特徴をもつ. W-CDMA では、複数存在する拡散方式のうち、直接拡散方式が採用されている.

W-CDMAでは、各ユーザに特定の拡散コード(拡散符号)が割り当てられ、自己の拡散コードと照合することによってユーザごとのチャネルを識別する. W-CDMAでは複数のユーザは同一の周波数帯域と時間を共有することができるため、周波数の繰り返し配置を考慮する必要がなく、ネットワーク運用の負荷を軽減することができる.

スペクトラム拡散通信特有の遠近問題を避けるため、所要品質を維持できる最低限の送受信電力となるように、ユーザごとの個別の物理チャネルを設定し、0.67 msec 周期で高速に送信電力制御を行っている。更に、複数の基地局と同時接続し、最大比合成もしくは選択合成することでダイバーシチ効果を得つつ遠近問題も解消できるソフトハンドオーバが適用されている。

W-CDMA は従来の CDMA 方式に対し、より広い帯域に拡散した CDMA 方式である. 広帯域化を図ることにより、マルチパスの分解能力が向上し、RAKE 合成における受信特性の改善を図ることができる. 更に、統計多重効果の向上による容量の拡大を図ることができる.

フレーム長は 15 slot からなる 10 msec を基本とし、誤り訂正符復号処理単位であるインタリーブサイズは表にあるように、フレーム長の 1, 2, 4, 8 倍の値が設定できるようになっている.

データ変調方式は、下りは QPSK、上りは BPSK である. 拡散変調の上りは瞬時送信電力を低減して移動局送信アンプの要求性能を軽減できる HPSK (Hybrid-Phase Shift Keying) が採用されている. 検波方式は、無変調のパイロットシンボルを利用して無線伝搬路での位相回転を推定し、復調に用いるパイロット同期検波である.

様々な伝送速度(マルチレート)を実現しつつ、コード間の直交性を確保して干渉電力を 低減し、容量増大を図ることができる拡散コードとして、OVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor) コードを用いている.

チャネル符号化は畳み込み符号及びターボ符号をチャネルの所要 QoS に応じて使い分けている。特に高速データ伝送に対しては、より特性の良いターボ符号が適用される。

基地局間同期については、基地局の展開の自由度を確保するため、厳密な同期が不要な局間非同期を前提とした方式となっている。

#### (b) HSDPA

インターネットアクセスなどの IP テクノロジーの急激な普及に伴うパケット伝送需要の 急増,及び通信料金の低廉化の期待と必要性の高まりを背景に,下り(基地局から移動局) 方向のパケット伝送に関する更なる高速化,高効率化を図った HSDPA の標準仕様が Release 5 として作成された. HSDPA の主要緒元を表 3・4 に示す.

HSDPA では現行の W-CDMA 方式に、共有チャネル、適応変調符号化、適応スケジューリングなどの以下に示す技術を採用することによって、データ通信の高速化、高効率化を図っている.

物理チャネルデータ速度	∼14.4 Mbps
誤り訂正符号	ターボ符号
誤り訂正インタリーブ長	2 ms
データ変調	QPSK, 16QAM(Release 7 で 64QAM 追加)
Hybrid-ARQ	N-channel stop and wait
	合成方法は Chase combining もしくは
	Incremental redundancy
拡散率	16

表 3·4 HSDPA 主要諸元

#### 共有チャネル (Shared Channel)

W-CDMA 方式における複数の下り物理チャネルをセル内の一つの共有チャネルとし、この 共有チャネルを動的に 2 ms 単位で複数の移動機に高速割り当て制御することで高効率化を 可能としている.

#### ② 適応変調符号化

Release 99 では音声のような回線交換サービスを考慮し、ユーザ(移動機)ごとに個別に物理チャネルを設定し、送信電力制御で所要の品質を維持することを主眼としていた. HSDPA では、基本的にベストエフォートに基づくパケットデータ伝送に特化している.送信電力は固定とし、データレートや伝送遅延の変動をある程度許容して、電波の伝搬状況に応じて最適な変調方式及び符号化率を動的に選択してデータ伝送の高速化及び高効率化を図る伝送方式がとられている. 具体的には、移動局が基地局からの電波の無線状況を測定し、移動局から基地局にその測定結果を送信する. 基地局は送られてきた測定結果に従って、QPSKまたは 16QAM の変調方式から最適な変調方式と、最適な符号化率(R=1/3~1)を動的に選択する.この結果、良好な無線状況では 16QAM 及び高符号化率を用いて高速伝送を行い、無線状況が比較的悪い場合には QPSK 及び低符号化率を用いて伝送誤りの増加を防ぐように機能する. HSDPA では、2 ms の短い周期で変調方式及び符号化率を選択することによって、変動の激しい無線環境においても高効率なデータ通信を可能としている.

#### ③ 適応スケジューリング

複数の移動局から送られてくる無線状況を示す制御情報をもとに、無線状況が比較的良好な移動局に対するデータ送信を優先して取り扱うように基地局にてスケジューリングを行う.この制御は2msごとに高速に行われる.これにより、個々の移動局の伝送効率だけでなく、システム全体の伝送効率の向上を図ることができる.

#### 4 Hvbrid-ARQ

Release 99 のデータ伝送における再送制御では、誤りを検出した受信データは破棄していたのに対し、HSDPAでは、再送されたデータと過去受信されたデータを移動局にて電力的または符号処理的に合成したあとに復号化することによって、受信特性の向上及び高効率伝送を可能としている。Hybrid-ARQの再送アルゴリズムはシンプルな stop-and-wait であるが、効率向上のため、複数のプロセスを平行して処理する N-channel stop-and-wait が用いられている。プロセスの最大数は 8 である。再送信号の合成方法としては、同一ビット系列を再送して電力的に合成する chase combining と、送信ごとに異なる冗長ビットを送信して符号処理的に合成する incremental redundancy が選択可能である。

上記の技術を用い、HSDPA の初期仕様 (Release 5) では無線伝送方式上の最大性能は約14 Mbps となっている。ただし、移動機の能力については、端末の目的やコストによって能力を選択できるようにカテゴリー分けされている。カテゴリーは約0.9 Mbps から約14 Mbps の範囲で12 段階規定されている。

また、HSDPAでは、Release 99 に準拠したシステムからの円滑なシステム更改を可能とするため、Release 99 に定める機能との上位互換性(バックワードコンパチビリティ)を確保している。具体的には、チャネル構成として、同一キャリア内及び同一移動局内で Release 99 などのチャネルと HSDPA 関係チャネルとの共存を可能となるよう HSDPA 関係チャネルを新規に追加し、送信電力及び拡散コードを適切に共有できる方式としている。

HSDPA に関してはその後も機能改善提案が出され、最新標準仕様では、変調方式として 64QAM が盛り込まれ、また受信ダイバーシチ、更には MIMO の適用まで考慮されている.

#### (c) HSUPA

近年の画像伝送やファイル共有などの需要の高まりに応じて、上り(移動局から基地局)

方向についても無線伝送能力の向上の要求が高まり、それに対応するために、HSDPA 同様に上りの高速化、高効率化を図ったものが HSUPA である。

基本的には HSDPA で導入された技術が HSUPA にも適用されている一方で、HSUPA のユーザデータ伝送用の物理チャネルは、基本的に Release 99 同様にユーザ (移動機) ごとの個別チャネルであり、Release 99 で適用されている送信電力制御やソフトハンドオーバ機能は HSUPA でも適用されている、HSUPA の主要緒元を表 3.5 に示す。

物理チャネルデータ速度	~5.76 Mbps
誤り訂正符号	ターボ符号
誤り訂正インタリーブ長	2, 10 ms
データ変調	BPSK(Release 7 で 16QAM 追加)
Hybrid-ARQ	N-channel stop and wait
	合成方法は Chase combining もしくは
	Incremental redundancy
拡散率	2~256

表 3 · 5 HSUPA 主要諸元

以下に、HSUPA で適用されている主要機能について述べる.

#### ① 適応変調符号化

HSUPA の初期リリースである Release 6 仕様では、データ変調方式は Release 99 同様 BPSK のみであり、適応変調は用いられていない。しかし、HSUPA の更なる改善として次期リリースである Release 7 仕様にて、HSUPA にも 16QAM が適用され、動的に変調方式を制御可能となっている。符号化については HSDPA 同様、ターボ符号の符号化率を動的に制御可能である。適応変調符号化の制御周期としては、 $2 \text{ ms} \ge 10 \text{ ms}$  の 2 種から選択可能となっている.

## ② 適応スケジューリング

HSDPA 同様に、基地局にて高速(2 ms もしくは 10 ms 周期)に、無線環境に適応したスケジューリングを行うが、本質的に HSDPA のスケジューリングとは異なる. HSDPA では1基地局から複数の移動局へのデータ伝送であり、基地局の全無線リソース(送信電力)を短時間(2 ms)の間 1 移動機のみに割り当て、時分割で複数ユーザにデータ伝送するスケジューリングを基本としていた. これに対し、HSUPA では複数の移動機から一つの基地局へのデータ伝送であり、無線リソース(基地局総受信電力)を複数の移動機間で共有して使用できるようにスケジューリングする. 具体的には、移動機の送信電力の余裕分を顧慮しつつ、複数の移動機からの信号の総受信電力が所定値となるように、各移動機に送信電力を割り当てることでスケジューリングを行っている.

#### ③ Hvbrid-ARQ

HSDPA 同様の Hybrid-ARQ が適用されている. ただし, N-channel stop and wait のプロセス数は,インタリーブ長 2 ms, 及び 10 ms それぞれで 8 及び 4 プロセスの固定値となっている.

HSDPA 同様、移動機の用途やコストに応じて移動機能力を選択できるように、カテゴリー分けされている。 HSUPA では最大スループット能力として、0.72 Mbps から 5.76 Mbps の範囲で6段階のカテゴリーが規定されている。

また、HSUPA でも HSDPA 同様、Release 99 などに定める機能との上位互換性(バックワードコンパチビリティ)を確保しており、チャネル構成として、同一キャリア内及び同一移動局内で Release 99 などのチャネルと HSUPA 関係チャネルとの共存を可能となるよう HSUPA 関係チャネルを新規に追加し、送信電力及び拡散コードを適切に共有できる方式としている。もちろん、HSDPA との共存も可能である。

#### (d) LTE (Long Term Evolution)

HSDPA, HSUPA 規定後も、将来的な更なるデータ通信需要の増加を見越し、また 3G システム自体を将来的にも競争力を有するシステムとするために、飛躍的な性能向上を目指してLTE (Long Term Evolution) と称して 2004 年末に標準化作業が開始された。その後、要求条件の検討を経て精力的に検討が行われ、2007 年末に主要仕様がすべて承認されるに至っている。

LTE の主要な要求条件としては、ユーザスループット、周波数利用効率の向上はもちろん、制御遅延、伝送遅延の短縮化も含まれる. 合意された具体的な要求条件を表 3・6 に示す.

ピークスループット	下り 100 Mbps 以上,上り 50 Mbps 以上		
ユーザスループット	Release 6 仕様の HSDPA/HSUPA に対し		
	セル内平均 下り 3~4 倍, 上り 2~3 倍		
	セル端 下り 2~3 倍,上り 2~3 倍		
周波数利用効率	Release 6 仕様の HSDPA/HSUPA に対し		
	下り 3~4 倍,上り 2~3 倍		
制御遅延	Idle 状態から active 状態まで 100 ms 以内		
伝送遅延	RAN 内片道遅延 5 ms 以内		

表 3・6 主な LTE 要求条件

上記要求条件のほか、システムのシンプル化についても主要な要求条件の一つとして合意された。また、LTE はパケット伝送に特化して最適化が図られる一方で、音声のような回線交換サービスもサポート可能とするように検討された。

これら要求条件を踏まえて検討した結果、以下の主要機能が合意され、標準仕様に反映されている. LTE の主要緒元を表 3・7 に示す. なお、HSDPA/HSUPA で適用された主要技術である適応変調符号化や Hybrid-ARQ は LTE でも同様に適用されている.

	<b>X</b> 5 7 E1E <b>X X 11</b> E1E <b>X X 11</b> E1E <b>X X 11</b> E1E <b>X X 11</b> E1E <b>X X X 11</b> E1E <b>X X X X X X X X X X</b>
アクセス方式	下り OFDMA,上り Single-carrier FDMA
周波数帯域幅	1.4, 3.0, 5, 10, 15, 20 MHz
サブキャリア間隔	15 kHz
Cyclic Prefix (CP) 長	Short: $4.7 \mu$ sec, Long: $16.7 \mu$ sec
フレーム長	1 ms
変調方式	QPSK, 16QAM, 64QAM (上りの 64QAM は option)
誤り訂正符号	ターボ符号
マルチアンテナ技術	1x2, 2x2 MIMO, 4x2 MIMO, 4x4 MIMO

表 3 • 7 LTE 主要緒元

## ① アクセス方式

耐マルチパス干渉能力や、周波数スケジューリング、MIMO などの先進無線伝送技術との 親和性を考慮し、OFDM 系のアクセス方式が採用されている。特に上りについては、PAPR (Peak-to-Average-Power-Ratio) の低減による移動機の送信アンプ効率の向上を図るため、 single carrier FDMA が採用されている。

#### ② スケーラブルな周波数帯域幅

従来の 3G システムでは周波数帯域幅は 5 MHz のみであったが、LTE ではシステム性能の向上を図る一方で、利用可能な最大周波数帯域幅が、地域や通信事業者、周波数帯ごとに異なることを考慮し、1.4,3.0,5.0,10,15,20 MHz の 6 種の周波数帯域幅を選択可能となっている。

## ③ マルチアンテナ技術

最大 4x4 のアンテナ構成を考慮した MIMO が適用されている. また, 無線環境 (受信 SINR やアンテナ間相関特性) に応じて適応的に送信ストリーム数を制御する rank adaptation 技術が適用されている.

#### ④ 無線アクセスネットワーク (RAN) アーキテクチャ

RAN アーキテクチャは、従来は無線制御局及び基地局の2ノード構成であったが、制御・ 伝送遅延の短縮化、システムのシンプル化を図るため、基地局(eNode Bと称する)のみの 構成となっている。

LTE の詳細仕様が 2007 年末に合意されるに至る一方で, IMT-Advanced (4G) の検討が ITU-R を中心に進められており, それに対する 3GPP としての対応について, 2007 年後半より 3GPP にて検討が開始された. その結果として, IMT-Advanced として 3GPP から提案すべき無線システムとしては、LTE をベースとすることが 3GPP にて合意されている.

#### (2) CDMA2000

(執筆者:鈴木利則)[2008年12月受領]

CDMA2000 は、W-CDMA と並ぶ第3世代セルラーシステムの世界標準規格であり、1999年に発足した3GPP2 (3<sup>rd</sup> Generation Partnership Project 2)で仕様が策定され、日本においてはARIB STD-T64として2000年3月に承認され、2002年4月にCDMA20001X(後述)が商用化された、W-CDMAに対するCDMA2000の大きな特徴として、次の3点があげられる。

- バックワードコンパチビリティ: CDMA2000 は,第2世代セルラーシステムであるIS-95<sup>1</sup> とのバックワードコンパチビリティを保っている.すなわち, IS-95 端末がCDMA2000 システムのなかで第2世代端末として機能し,また, CDMA2000 の端末はIS-95 システムのなかでは第2世代端末として使用できる.これにより, CDMA2000 は第3世代へのスムーズな移行を実現した.
- 基地局間同期:基地局から送出される信号は高い精度で同期している必要がある.これは IS-95 から引き継ぐ特徴であり、一般に GPS などを用いて基地局間同期を確保している. CDMA2000 の端末は、一度システムに同期してしまえば、アクセスする基地局が変わってもタイミングを再検出する必要がなく、また、下りソフトハンドオフ時の信号合成が容易となるなど、種々のメリットがある.

<sup>「</sup>第2世代セルラーシステムの範ちゅうではあるが、高速データ通信をサポートする IS-95 (cdmaOne) を 2.5 世代として区別することがある.

帯域幅 1.25 MHz を基本とする CDMA:W-CDMA は帯域幅 5 MHz を基本とする CDMA 方式であるのに対し、CDMA2000 は IS-95 と同じ帯域幅 (1.25 MHz) が基本であり、また、マルチキャリア CDMA 方式を指向していた。CDMA2000 には、占有帯域幅 1.25 MHz の CDMA2000 1X と 3.75 MHz 幅の CDMA2000 3X があり、3X の下り信号は、帯域幅 1.25 MHz の信号を三つ束ねて用いるものであった。しかしながら、商用化されたのは CDMA2000 1X のみである。

#### (a) CDMA2000 とその発展

図 3・3 は、CDMA2000 系規格の主な拡張の系譜を示したものである. CDMA2000 を 3.0 世代と位置づけ、EV-DO (Evolution Data Only) を 3.5 世代、UMB (Ultra Mobile Broadband) を 3.9 世代と分類することもある. EV-DO は、本格的なデータ通信をサポートすべく Revision 0 から段階的に発展し、また、その過程で、効率の良い配信型サービスのための BCMCS (Broadcast Multicast Services) が導入されている.



- 上段は3GPP2での規格発行年月※ IS-95は3GPP2発足前に発行、UMBはドキュメントが完成した年月。
- 下段はARIBでの承認年月

図3・3 主な CDMA2000 系規格の発展

CDMA2000 1X から UMB までの主要諸元を表 3・8 に示す. CDMA2000 1X では, IS-95 になかった, ターボ符号や上り同期検波, あるいは下り高速電力制御などを新たに適用することで,最大伝送速度を実効的にも向上させ,高速データ通信を強化した点に特徴がある.

#### (b) CDMA2000 1XEV-D0 (Rev. 0)の特徴

EV-DOは、データ通信に特化したシステムであり、CDMA2000に比べて、Rev. 0 では特に下りスループットを大きく向上させている。これは、瞬時の無線チャネル状態を考慮して無線リソースを割り当てるスケジューラと、これを有効に働かせる様々な技術が導入された点に負うところが大きい。以下に、主要な技術項目を列挙する。

主要項目	ステム	CDMA 2000 1X	EV-DO Rev. 0 EV-DO Rev. A		IA 2000 1X EV-DO Rev. 0 EV-DO Rev. A EV-		EV-DO Rev. B	UMB
アクセス	下り	CDMA		TDM / CDMA		OFDMA		
方式	上り		CD	MA		OFDMA/CDMA		
複信方式	t			FDD				
占有帯域	幅		1.25 MHz		1.25 × N MHz	1.25~20 MHz		
チップレー	- ト		1.2288 Mcps		1.2288 × N Mcps	2.4576~19.6608 Mcps		
基地局間同	司期		必	須		非同期サポート		
トラヒック	下り	20			約1ms			
フレーム長	上り	20 ms	26.67 ms	6.6	7 ms	#JI ms		
変調方式	下り	BPSK / QPSK	QPSK / 8PS	K / 16QAM	QPSK / 8PSK / 16QAM / 64QAM	QPSK / 8PSK /		
200773-4	上り	BP	SK	BPSK / QPSK / 8PSK		16QAM / 64QAM		
データチャ	下り	畳込み符号(K=9)/				畳込み符号(K=9)/		
ネル符号化	上り	ターボ符号(K=4)		ターボ符号( <i>K</i> =4)		ターボ符号(K=4)		
最大	下り	153 kbps (Rel.0)	2.4 Mbps	3.1 Mbps	4.9 × N Mbps	288 Mbps		
伝送速度	上り	153	kbps	1.8 Mbps	1.8 × N Mbps	75 Mbps		
備考		IS-95(Rev. B)の最 大伝送レートは下 り64 kbps, 上り 14.4 kbpsであった.			N=3, 15	フレーム長はCP等 のフォーマットに 依存する. チャネル符号化に LDPCがオプショ ン採用されている.		

- 無線チャネル/フレーム構成:瞬時に変動する無線チャネル状態に応じた無線リソース 割当てを可能とするため,下り無線チャネルのフォーマットに長さ1.67 ms のスロットが 導入され,この単位でのパケット割当て (データチャネルの割当て) が可能となってい る.移動局は,瞬時の下り無線チャネル状態を反映した無線リソースの割当て要求を基 地局に対して行う.これを行うための DRC (データ レート コントロール) チャネルが 上りチャネルに用意されている. (本章 3-1-3(2)(3)も参照のこと)
- **多値変調の導入**: 下りデータチャネルには, ビットレート (38.4 kbps~2.4 Mbps) やペイロードサイズ (1024, 2048, 3072, 4096 ビット) の異なる 12 種類のフォーマットが用意され, 様々な無線チャネル状態に適応した効率の良い伝送を可能としている. そのうち 4 種類のフォーマットには, CDMA2000 にはない多値変調 (8PSK, 16QAM) が用いられており, ピークレート 2.4 Mbps を実現している.
- パケットスケジューラ:基地局は、移動局宛パケットの送出順序を決定するスケジューリングアルゴリズムに従い無線リソースを割り当てる。スケジューリングアルゴリズム自体は標準規格で定められるものではないが、プロポーショナル・フェアネスが広く知られている。これは、無線リソースを割り当てたときに期待される瞬時スループットが、それまでの平均スループットと比較して大きくなる移動局に無線リソースを割り当てるものである。これによって、瞬時の無線チャネル状態が(相対的に)良い移動局への無線リソース割当てが優先される。また、平均スループットは、それまでに無線リソースが割り当てられた機会が多ければ大きくなるため、次回に割り当てられる機会は減ることとなる。逆もまた同様である。このようなパケットスケジューラによって、移動局間の公平性を保ちつつ高スループットを実現している。

• 下りソフトハンドオフ方式の変更: IS-95 及び CDMA 2000 の下りソフトハンドオフでは、 複数のセクタ (もしくは基地局) が、異なる下りチャネルを同一の移動局宛に同時に使 用し、下りチャネル品質を向上させている. EV-DO では、同時に複数のセクタ (もしく は基地局) から送信するのではなく、瞬時の無線チャネル状態が最も良いセクタ (もし くは基地局) の無線チャネルを瞬時に切り替えて使用する. これにより、選択合成型サ イトダイバシチの効果を得つつ、無線リソースの利用効率を向上させている.

#### (c) CDMA2000 1XEV-DO (Rev. A) の特徴

EV-DO Rev. Aは、CDMA 2000 をベースとしたEV-DO Rev. 0 の上りチャネル仕様に大きな変更を加えたものである。図3・4 にEV-DOのフレーム構成を示す。下りチャネルのスロット構成はRev. 0 と同じであり、データチャネル、パイロットチャネル及びMACチャネルが時分割多重される。なお、MACチャネル自体はWalsh符号により複数の制御情報が拡散多重されている。上りデータチャネルは、パイロットチャネルやDRCチャネルなどの制御系チャネルと符号分割により多重化(CDM)され、最短で 1 サブフレームの伝送が可能となっている。これは、上りリンクの低遅延伝送にも寄与している。

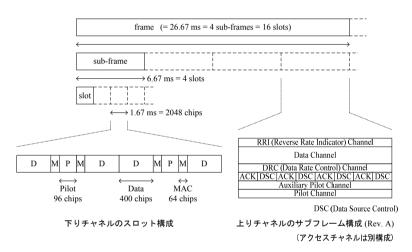


図3・4 EV-DO のタイムフレーム構成

上りデータチャネルには、ペイロードサイズ (128, 256, 512, 768, 1024, 1536, 2048, 3072, 4096, 6144, 8192, 12288 ビット) の異なる 12 種類のフォーマットと、データ変調方式に QPSK と 8PSK が導入されている。ピークレート 1.8 Mbps である。下りデータチャネルのフォーマットは 36 種類あり、様々なペイロードサイズ (128, 256, 512, 1024, 2048, 3072, 4096, 5120) と ビットレート (4.8kbps~3.1Mbps) の組み合せが用意されている。また、1 スロットに最大

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> 上り制御系チャネルとして、DRC チャネルやパイロットチャネルのほかに、上りデータチャネルのペイロードサイズなどを示す RRI チャネル、下りデータチャネルに対して受信応答する ACK チャネル、下りチャネルをその移動局宛に送信するセクタ(または基地局)を選択する DSC チャネルなどがある. (図 3・4)

4 移動局宛のパケットを割り当てることができ (マルチユーザパケット), VoIP のような小容量パケットを効率よく収容することができる.

#### (d) BCMCS (Broadcast Multicast Services) C. S0054-0 V2

BCMCS は同報・配信型サービスを効率よく行うための機能であり、当初は Rev. 0 に追加され、その後 Rev. A と同時期に拡張された。

初期の BCMCS では、EV-DO Rev. 0 の物理チャネルをそのまま利用し、MAC レイヤで BCMCS チャネルを定義する。MAC レイヤで異なる符号化率をもつ7種類のリードソロモン 符号を外符号として用い、物理レイヤで適用されるターボ符号との連接符号により誤り訂正能力を向上させ、再送制御の行えない同報通信の信頼性を向上させている。伝送レートは適用する符号化率や物理チャネルフォーマットにより異なるが、平均スループットは数百 kbps 程度とされる。

その後追加された Enhanced BCMCS では、物理レイヤに手が加えられ、新たに定義された Enhanced Broadcast チャネルに OFDM が採用されている。OFDM 信号は、サンプル数 400 の OFDM ブロックを単位として、下りデータチャネルと同じ領域(図 3・4 に示している、下り チャネルのスロット構成における Data 400 chips の領域)にマッピングされる。Enhanced Broadcast チャネルを構成する OFDM ブロック数はそのフォーマットに依存する。OFDM ブロックの構成として CP 長やデータ長が異なる 3 種類のパラメータセットが用意されている。EV-DO は基地局間同期が前提であり、隣接セクタ(または基地局)で同一の OFDM ブロックを用いることで SFN(Single Frequency Network)が容易に実現される。このような変更により、初期の BCMCS に比べて高い平均スループットを実現している。

#### (e) CDMA2000 1XEV-DO (Rev. B)の特徴 C. S0024-B

Rev. B は帯域幅 1.25 MHz のキャリアを複数束ねて利用し、より高速なスループットを実現するマルチキャリアシステムである。3 キャリアを束ねてシステム帯域幅を 5 MHz とする仕様と、15 キャリアを束ねて 20 MHz とする仕様が策定されている。キャリアごとの物理レイヤ規格に関しては、Rev. A とほぼ同等であるが、下りデータチャネルに 64QAM を追加するなどの改良が施されている。

#### (f) UMB の特徴 C. S0084

UMB は OFDMA と MIMO 技術を積極的に取り入れ、更に高速で遅延の小さい通信を狙ったセルラーシステムである.システム帯域幅として 1.25, 2.5, 5, 10 及び 20 MHz が用意されている. 3GPP の LTE (Evolved UTRA) に比べて、基地局間同期の条件で最適化されており(ただし非同期も許容)、また、上りデータチャネルに OFDMA、上り制御チャネルに CDMA が用いられていることが特徴である(上りデータチャネルに CDMA もオプションで採用されている). 従来の EV-DO との互換性は緩やかであり、上位レイヤでのインタワークを前提としている.

## 3-2 PHS

(執筆者:鈴木和幸) [2008年8月受領]

PHS (Personal Handy-phone System) とは、「いつでも、どこでも、誰とでも」という通信のパーソナル化のニーズに対応して、家庭など室内で使用していたディジタル・コードレス電話を、屋外でも使用できるように、通信事業者が提供するネットワークやユーザの端末を高度化したものである。

#### 3-2-1 PHS システムの特徴

#### (1) 端末の利用形態

PHS 端末は、家庭ではディジタルコードレス端末として、事業所では事業所用コードレス端末として、公共空間では携帯端末として利用できる。更に、基地局を介さず端末どうしで直接通信する子機間通信も可能である。

#### (2) ディジタルシステム

無線区間がディジタル化されていることにより,通話の盗聴,妨害に対する高度なセキュリティが確保できている.

## (3) マイクロセルシステム

一つの無線基地局がカバーするエリア「セル」の半径を数十m程度まで縮小できるマイクロセル方式を採用している. そのため、従来の携帯電話システムと比較し、単位面積当たりの周波数利用効率が高い.

#### (4) システム制御

ユーザへのチャネル割当てにおいて、DCA (Dynamic Channel Assign, 動的チャネル割当て) 方式を採用している。DCA 方式とは、ほかのユーザが使用する電波(キャリア)を検知する「キャリア・センス」を実施し、ほかのユーザへの干渉を回避しながら空チャネルを割り当てる。これにより、無線基地局の集中制御装置が不要となる自律分散制御が可能となり、複数事業者の周波数共用やマイクロセルが容易に実現でき、周波数の利用効率を向上させている。

#### 3-2-2 PHS システム構成

#### (1) 網(ネットワーク)構成

PHS のネットワークは「NTT 網依存型」と呼ばれ、独自の網を新規に構築せず、既に全国 に構築されている NTT のディジタル網を効率的に利用することを目的としていた。これは PHS 網を構築するに当たり、サービス開始当初においては経済的な面や期間的な面において 優れていた.

現在,固定系通信ではネットワークの IP 化の流れが加速しており, PHS システムにおいても IP 化が開始されている.

サービス開始当初の「NTT網依存型」では、利用量に応じたコストが発生するが、IP化による定額バックボーンネットワークとすることで、コストダウンが可能となった。これは、音声/データ通信の定額サービスを提供するに当たって、大きな支えとなっている。

#### (2) 番号方式

"070"で始まる 11 桁の番号が採用され、サービス提供されている. これは、

- 1. 十分な番号容量
- 2. 国際接続が可能
- 3. サービスの識別が容易
- 4. 交換機や端末の種類によらず利用可能

という条件を満たす番号として採用されている.

1998 年までは"050"及び"060"の 10 桁で提供されていたが、1999 年 1 月 1 日に自動車・携 帯電話・PHS サービスの 11 桁化に伴い次のように変更された。

070 + 5xxx + xxxx

070 + 6xxx + xxxx

## (3) 無線方式

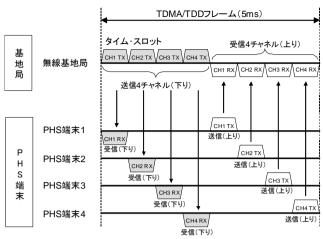
無線アクセス方式として 4 チャネル多重の TDMA/TDD 方式 (Time Division Multiple Access/Time Division Duplex, 時分割多元接続/時分割複信方式)を採用している. TDMA/TDD 方式は,一つの電波キャリア上のディジタル信号を 5 ms ごとのフレームに分割し, 更にそのフレームを 8 スロットに分割 (1 スロット; 625  $\mu$ s) し,送信情報と受信情報に 4 スロット ずつ割り当て,交互に通信を行うとともに多重伝送する方式である. (図 3・5 PHS の無線周波数帯,図 3・6 TDMA/TDD 方式)

キャリア番号	周波数(MHz)	用途	キャリア番号	周波数(MHz)	用途	キャリア番号	周波数(MHz)	用途
221	1884.650		5	350		43	750	
222	950		6	650	自営用、子機間直接	44	1908.050	
223	1885.250		7	950	通話用(注2)、	45	350	
224	550		8	1897.250	屋外公衆用共用	46	650	
225	850		9	550	通信用(注1)	47	950	
226	1886.150		10	850		48	1909.250	
227	450		11	1898.150	自営用、屋外公衆用	49	550	
228	750			1030.100	共用通信用(注1)	50	850	
229	1887.050		12	450	自営用制御用	51	1910.150	
230	350		13	750		52	450	
231	650		14	1899.050	自営用、	53	750	
232	950		15	350	屋外公衆用	54	1911.050	
233	1888.250		16	650	共用通信用(注1)	55	350	
234	550		17	950		56	650	
235	850	屋外公衆用通信用	18	1900.250	自営用制御用	57	950	
236	1889.150	(注1)	19	550		58	1912.250	
237	450		20	850		59	550	
238	750		21	1901.150		60	850	
239	18 90.050		22	450		61	1913.150	屋外公衆用通信用
240	350		23	750		62	450	(注1)
241	650		24	1902.050		63	750	
242	950		25	350		64	1914.050	
243	1891.250		26	650		65	350	
244	550		27	950	自営用、	66	650	
245	850		28	1903.250	屋外公衆用	67	950	
246	1892.150		29	550	共用通信用(注1)	68	1915.250	
247	450		30	850	-	69	550	
248	750		31	1904.150		70	850	
249	1893.050		32	450		71	1916.150	
250	350		33	750		72	450	
251	650		34	1905.050		73	750	
252	950	自営用、	35	350		74		
253	18 94.250	屋外公衆共用	36	650		75	350	
254	550	通信用(注1)	37	950		76	650	
255	850		38	1906.250		77	950	
1	1895.150	自営用、子機間直接	39	550	屋外公衆用	78	1918.250	
2		通話用(注2)、	40	850	通信用	79	550	
3		屋外公衆用共用	41	1907.150	(注1)	80	850	
4	1896.050	通信用(注1)	42	450		81	1919.150	
( <del>; † 1</del> ) ·	1油川上の屋	从小衆田制御土み口	マた合む。坦	△-Kt= Z		82	450	

(注1):1波以上の屋外公衆用制御キャリアを含む場合がある。

(注2): 特定グループ内子機間直接通話用キャリア3波(4,7,9)を含む。

図3.5 PHSの無線周波数帯



CH TDMA/TDD :Channel、チャネル。通話路

:Time Division Multiplex Access/Time Division Duplex、時分割多元接続/時分割複信。 ここでは、分割されたタイム・スロットを上り用(送信用)に4つ、下り用(受信用)に4つずつ

割り当てて交互に通信を行いながら多重伝送する方式。 :Transmitter、無線基地局の送信機

ΤX RX

: Receiver、無線基地局の受信機

図 3·6 TDMA/TDD 方式

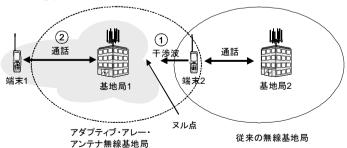
#### 3-2-3 PHS 無線方式の動向

### (1) アダプティブ・アレー・アンテナ

アダプティブ・アレー・アンテナとは、送受信ともにほかの無線局への干渉を抑制(ヌル 点形成) し、目的とする PHS 端末への実効放射電力を増加させることにより、周波数の再利 用できる距離の短縮を可能とする方式である。PHS ではこの技術の導入により、周波数有効 利用を向上させ、システム容量の増大を実現している。(図3.7 アダプティブ・アレー・ア ンテナ)

アダプティブ・アレー・アンテナ無線基地局では、

- ①他の無線基地局2で同一チャネルを利用しているPHS端末2への干渉を抑圧すること ができる
- ②目的とする端末1方向への受信利得を増加させたり、送信実効輻射電力を増加させる ことができる



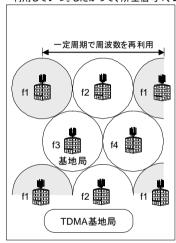
ヌル点: ある方向から到達する信号が受信しにくくなる点

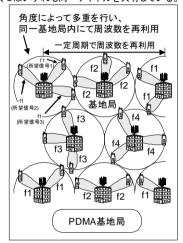
図3.7 アダプティブ・アレー・アンテナ

## (2) PDMA (Path Division Multiple Access. 通信路分割多元接続)

アダプティブ・アレー・アンテナでは、ヌル点形成によって同一周波数を再利用できる距離を縮めたが、PDMA 技術ではヌル点形成能力を更に向上させ、同一基地局においても一定の角度が保てる別の方向にある端末どうしであれば、同一周波数及び同一のスロットを利用できるようにしたものである。(図 3・8 PDMA)

TDMA基地局では、一定距離をおくことにより周波数を再利用している。しかし、 PDMA(通信路分割多元接続)では、一定距離による再利用のほか、1つの基地局で、 1つのチャネル(同一周波数、同一スロット)を一定の角度をとることにより、周波数を再利用していつ。したがって、所望信号1、2、3はいずれも同一チャネルを共有している。





**₹ 3.8** PDMA

### 3-2-4 PHS の技術的条件

現在の PHS の技術的条件を図に示す. (図 3·9 PHS の技術的条件の概要)

#### PHSの技術的条件の概要

項目	内 容
変調方式	BPSK, π/4シフトQPSK,QPSK, 8PSK
<b>炎</b> 調/7式	12QAM, 16QAM, 24QAM, 32QAM
周波数帯域幅	288kHz, 884kHz
ロールオフ率の改善	0.38, 0.5
	基地局:500mW(制御チャネル:2W)
	リピータ:
空中線電力	基地局向け: 10mW
	端末向け:20mW
	端末: 10mW
	基地局:10dBi, 21dBi
	リピータ:
空中線利得	基地局向け: 4dBi
	端末向け:10dBi, 21dBi
	端末: 4dBi
	PHS帯域内:-31dBm/MHz
	PHS帯域外:
スプリアス発射	IMT-2000帯域外:-31dBm/MHz
	IMT-2000帯域内:-36dBm/MHz
→ HK 98° X /=	制限時間:30分
子機間通信	スロット数:4
外部アンテナ	導入(端末)
周波数帯	1884.5 ~1919.6MHz
制御チャネルの	1915.7~1918.4MHz
周波数帯	1906.1 ~1908.2MHz

BPSK : Binary Phase Shift Keying, 2相位相変調

QPSK : Quadrature Phase Shift Keying 4相位相変調

ボ/4シフトQPSK : ボ/4シフトQuadrature Phase Shift Keying ボ/4シフト4相位相変調

8PSK : 8 Phase Shift Keying, 8相位相変調

: 12Quadrature Amplitude Modulation, 12惟直交摄幅変調 : 16Quadrature Amplitude Modulation, 16惟直交摄幅変調 : 24Quadrature Amplitude Modulation, 24惟直交摄幅変調

: 32Quadrature Amplitude Modulation, 32値 直交振幅変調

図 3·9 PHS の技術的条件の概要

120 AM

16QAM

24QAM

32 QAM

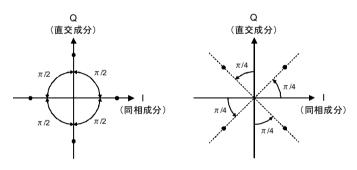
PHS の変調方式は, $\pi/4$  シフト QPSK( $\pi/4$  シフト Quadrature Phase Shift Keying, $\pi/4$  シフト 4 位相変調)と呼ばれる,1 シンボル当たり四つの値をもつ変調方式を採用していた.これは四つの位相点をとるディジタル変調方式である「QPSK」に対して,1 シンボルごとに $\pi/4$ (45°)ずつずらすことによって,振幅変動を小さくし回路構成を簡単にする変調方式である.

2001年6月に答申された「IMT-2000との共存下における PHS の高度化に必要となる無線 設備の技術的条件」にて、 $\pi/4$ シフト QPSK 以外の変調方式が追加となっている (BPSK, QPSK, 8PSK, 12OAM, 16OAM, 24OAM, 32OAM).

また,追加となった変調方式を組み合わせた適応変調方式も導入され,電波環境に応じた 変調方式を用いることで、サービス性を向上している.

例えば BPSK (2 相位相変調) では干渉や雑音に強く、フレーム誤りも減少するため、劣悪な電波環境下においても、実効的なデータ伝送量を高く維持できる。逆に電波環境が良好なエリアにおいては 16QAM などの高能率変調方式を用いて高速なデータ通信を提供することができる。(図  $3\cdot10$   $\pi/4$  シフト OPSK の信号点配置)

(1)から(2)へと周波数の位相を $\pi/4(45^\circ)$ ずらすことによって、振幅変化が少なくなるうえに、線形電力増幅器の効率が向上する。



(1) あるサンプリング 周波数

(2)次のサンプリング周波数

I: In-phase、同相成分 Q: Quadrature-phase、直交成分 サンプリング周波数: デジタル信号にアナログ波を乗せる場合の標本化周波数 (標本化とは、連続する信号をある周期間隔で数値化すること)

図 3·10 π/4 シフト QPSK の信号点配置

#### 3-2-5 PHS パケット通信

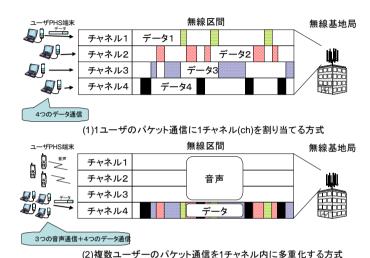
### (1) PHS パケット通信の特徴

PHS パケット通信では、データを流していない時間は無駄な電波や回線を使用しないという特徴がある。更に同一無線基地局、同一チャネル上においても複数の利用者が通信可能とすることで、周波数の有効利用、回線の利用率が向上する.

#### (2) 無線チャネルの多重化

複数の利用者が同一無線基地局,同一スロット内で更に同じタイミングでデータのダウンロードを行った場合,複数の利用者に対して,ある間隔で利用者が通信する時間を振り分ける.現在行われているほかの通信の終了を待つことなく,新たな通信が開始できる.

## (図 3・11 無線チャネルの多重化)



### (3) マルチリンクパケット通信

PHS のパケット通信では、複数のチャネルを束ねることによる速度向上が可能となっている。例えば、32 kbps のパケット通信を八つ束ねることで 256 kbps(32 kbps×8)のパケット通信を行うことができる。

図 3・11 無線チャネルの多重化

屋内や郊外などで八つのチャネルが確保できない場合,256 kbps のパケット通信はできないが,確保できるチャネルに応じた速度が提供でき,6 チャネルであれば192 kbps,4 チャネルであれば128 kbps,2 チャネルであれば64 kbpsとなる.PHSではDCA (Dynamic Channel Assign,動的チャネル割当て)方式を採用していることから,セルを更に重ね9箇所以上の無線基地局と同時に通信させることで速度を向上させることができる.

## 3-3 無線呼出しシステム

(執筆者:山尾 泰) [2009年2月受領]

無線呼出し(ポケットベル)は最も手軽でコンパクトな単方向携帯メッセージ通信であるが、携帯電話におけるメッセージ通信機能の普及とともに、その役割は限定されたものとなりつつある。無線呼出しシステムの特徴は、端末に送信機能をもたず、広いサービスエリアを複数の基地局でカバーし、各基地局から同一無線周波数で呼出し信号を同時に送信(複局同時送信)することである。システム構成図を図3・12に示す。これにより、通常、受信点では複数の基地局からの波が同時に到来し、受信信頼度が大きく向上するとともに、受信機に共通の情報を放送配信するためのアドレスを複数設定できるので、複数受信機に対する情報提供サービスが容易に実現できる<sup>1)</sup>。このような複局同時送信システムでは基地局間の送信シンボル位相同期が必須である。

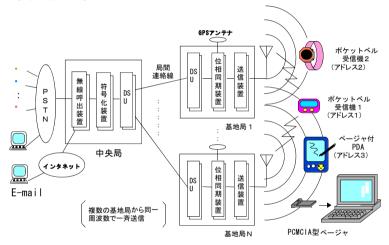


図 3・12 無線呼出しシステムの構成

無線呼出しシステムの伝送速度は、基地局間の位相同期技術の進歩とともに高速化されてきた。最近の方式である ERMES、FLEX<sup>TM</sup>、FLEX-TD 方式では、GPS を用いた高精度時刻同期技術により、最大 6400 bps までの高速化が実現されている。これらの方式の諸元を表  $3\cdot$  9 に示すとともに、以下で特徴を述べる。

#### 3-3-1 ERMES (European Radio MEssage System)

ERMES は EC 統合を契機に 1992 年に欧州で標準化された方式であり、6250 bps という当時としては本格的な高速方式として注目された.通常の無線呼出し方式と異なり、各基地局から異なる周波数で順次送信を行う.エアインタフェース、ネットワークインタフェースなどすべてのインタフェースを標準化(統一)することにより、国際的なローミングを可能とした点に特徴がある。なお ERMES は欧州を中心にサービスが提供されている.

## 3-3-2 FLEX™

FLEX™ は米国モトローラ社が開発した方式であり、各基地局から同一周波数で同時送信すること、伝送速度可変機能を有する点が ERMES との大きな違いである. これによって、地方のようにトラヒックの少ない地域では低速度での運用が可能となり、サービスエリアをカバーする基地局数が少なく、初期投資を少なくできる. FLEX™ は米国、アジア諸国などでサービスが提供されている.

#### 3-3-3 FLEX-TD

日本で標準化された高度無線呼出しシステム (FLEX-TD)  $^{20}$ は、FLEX<sup>TM</sup> の信号速度、信号方式に NTT ドコモで開発した複数回送信/時間ダイバーシチ受信技術  $^{30}$ を融合した方式である。FLEX<sup>TM</sup> のもつ長所に加えて、送信回数の可変及び時間ダイバーシチ受信により、高速度においても必要な基地局数の増加を最小限に抑えることができるとともに、長文伝送時の信頼度を向上している。また FLEX<sup>TM</sup> とは互換性がある。

表 ラー 無味が 田 じ ノハ ノ 二の 品 ル						
	ERMES	FLEX	高度無線呼出しシステム			
	(欧州)	(米国)	(FLEX-TD) (日本)			
無線周波数帯	160 MHz 帯	930 MHz 帯ほか	280 MHz 帯			
チャネル間隔		25 kHz				
伝送速度(bps)	6250	6400 3200 (可変) 1600				
変調方式	NRZ-4 値 FSK	NRZ-2 値 FSK/4 値 FSK				
周波数偏位	±4.6875 kHz	±4.8 kHz				
誤り訂正符号	短縮巡回符号 (31,18)	BCH (31,21) +パリティ				
送信回数		1 1~4 (可変)				
加入者容量 (数字 15 桁 送信時)	32 万	13.3 万~53 万 6.7 万~53 万				
長文伝送能力	540 字*1/秒	135~540 字*1/秒 29~235 字*2/秒				
特徴	●国際ローミング	●速度可変	●速度及び送信回数可変 ●複数回送信/ 時間ダイバーシチ受信			

表3・9 無線呼出しシステムの諸元

#### ■参考文献

- 1) 水沢純一, 関口英生, 佐藤英昭, 吉本晃, 中嶋昭久, 山尾泰, 舘田良文, 加井謙二郎, "パーソナル マルチメディア通信絵解き読本," オーム社, 1995.
- 2) ARIB 標準規格, "高度無線呼出システム (RCR-STD43A)"
- S. Ito, S. Ohkubo, T. Sakai and Y. Yamao, "Time Diversity Improvements in FLEX-TD New Generation Paging System," IEEE VTC '96 Conference Record, pp. 443-447, 1996.

<sup>\*1</sup> lbyte 文字の場合 \*2 2byte 文字の場合

# 3-4 ディジタルコードレス電話システム

(執筆者:廣野正彦) [2008年8月受領]

#### 3-4-1 概 要

コードレス電話におけるディジタル化は、イギリスの CT2 と呼ばれるディジタルコードレス電話の開発にさかのぼる。イギリスでは、この CT2 を用いてテレポイントと称する屋外公衆サービスが 1989 年から開始された。家庭のコードレス電話機を屋外でも公衆電話的に利用できるサービスだが、屋外公衆モードでは着信ができないこと、基地局のごく近傍でしか使えない、などの理由で発展しなかった。一方、ヨーロッパ全体でのディジタルコードレス電話の規格統一を目指し、ETSI が DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) 標準規格を 1990 年から 1991 年にかけて策定した。DECT はディジタルコードレス電話方式では最も成功した方式とされ、いまや世界各国での累積販売台数が 1億2 千万台以上に達する状況にある。一方、我が国においては PHS (Personal Handyphone System) あるいは「第2世代コードレス電話システム」として検討が進められ、RCR(現:ARIB(電波産業会))標準規格が 1993 年に策定された。PHS は屋外公衆サービスとして普及・定着したが、家庭用コードレス電話としては現在普及していない。

本節では DECT と, DECT 方式を 2.4 GHz などの ISM バンド用に変更された方式について 概説する. PHS については本章 3-2 節を参照されたい.

#### 3-4-2 DECT1)

ョーロッパ全体でのディジタルコードレス電話の規格統一を目指して、ETSI が DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications) と呼ぶ標準規格を 1990 年から 1991 年にかけて策定した。このシステムは、主として一般のコードレス電話のディジタル化や事業所内のPBX (構内交換機: Private Branch Exchange) と接続するかたちで普及が進んだ。主な諸元を表 3・10 に示す。無線方式は TDMA-TDD のフレーム構造を基本としたシステムであり、通常の上下対称の通信形態に加え、非対称のデータ通信を規定している点や通信中の高速ハンドオーバなどが特徴的な点とされる。物理フレーム構成を図 3・13 に示す。

主な項目	内 容	
無線チャネル構成	FDMA/TDMA-TDD(12 チャネル TDMA)	
周波数構成	1880~1900 MHz(欧州)/1920~1930 MHz(US)	
送信電力	10 mW (平均) / 250 mW (ピーク)	
変調方式	GFSK	
音声コーデック	G726 (ADPCM)	
基本ビットレート/チャネル	32 kbit/s	

表 3・10 DECT の主な諸元

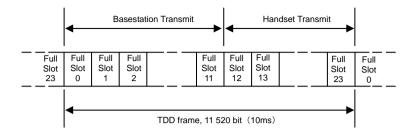


図 3·13 DECT の物理フレーム構成

DECT のシグナルプロトコルのレイヤ構造は OSI モデルに従うもので OSI レイヤ1 に対応する物理レイヤ, OSI レイヤ2 に対応する MAC レイヤと DLC レイヤ及び OSI レイヤ3 に対応したネットワークレイヤ (ただし C プレーンのみ) からなる. 全体のレイヤ構造を図 3・14 に示す. DECT の無線回線制御は, この MAC レイヤ機能によって実現されている. 特徴的な点は, 各セル単位に送信されるビーコンと呼ばれるブロードキャストパケットである. 各端末は, このビーコンを受信することで最寄りの基地局を選択し待ち受ける. この考え方は基本的に PHS においても共通であり, 今日無線 LAN などでも一般化した方式である.

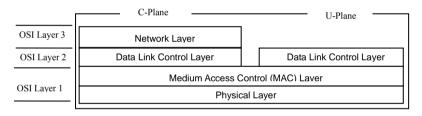


図3・14 DECT シグナリングプロトコルのレイヤモデル

DECTでは更に変調方式の多値化によって最大 6.912Mbit/s までの物理転送速度にまで対応する.このような無線技術の進展に伴い、DECTではコードレス通信技術の延長線上にホームゲートウェイを見据えた将来展望を掲げている. IP 化や VoIP の取り込みによって、その姿が現実化しつつある.

### 3-4-3 DECT 以外のディジタルコードレス電話 (執筆者: 太郎丸真) [2008 年 8 月 受領]

北米においては従来の 46-49 MHz 帯アナログコードレスに代わり,1990 年台から 900 MHz や 2.4 GHz ISM 帯の FCC Part 15 規定適合のアナログ FM 方式が普及した。この規定では数mW 程度の出力電力しか許容されないが,スペクトラム拡散に対しては規制が緩く 100 mW 以上でも適合する <sup>2)</sup>. このため安定した通話範囲が確保できるよう,送信電力 10 mW 超の直接拡散または周波数ホッピングによる電話機が各メーカーにより開発された(例えば文献 3) など). これらはメーカーごとの独自方式によるものであるが,WDCT: Worldwide Digital Cordless Telephone と呼ばれる DECT ベースの低速周波数ホッピング方式が開発され,1998

年に SIEMENS 社から北米で発売されるに至り、同方式が北米コードレス電話のデファクトスタンダードの位置を占めるようになった。WDCT はスロット単位でホッピングを行うが、スロット間のガードタイムを十分にとることで周波数シンセサイザの切換え時間を確保している。このため TDMA 多重数は DECT より少なく、上下各 4 スロットの TDMA-TDD フレームを有する  $^4$ )。変調は 576 kbit/s の GFSK、MAC レイヤなどプロトコルは DECT と共通部分が多く、RF 及びベースバンドの回路は DECT と共通化が容易である。このためチップの低コスト化が進み、現在では北米のみならず日本を含めた世界各地に広く普及している。我が国においても、ARIB STD-T66 $^5$ 1に準拠したかたちでの技術適合証明が得られるようになり、WDCT または WDCT を 6 スロットに拡張した方式  $^6$ 3などが商品化されている。

なお、一般に低速周波数ホッピング方式では、ビットインタリーブと誤り訂正(FEC: Forward Error Correction)符号化を行うことで、耐干渉性と周波数ダイバーシチ効果を確保するが、これら DECT 系の方式では音声データに対して FEC は通常施されない。このため、特定の周波数で干渉を受けた場合には当該周波数をホッピングパターンから外して別の周波数に入れ替える、適応型のホッピング方式が採られている 4.6. しかしながら 2.4GHz 帯では電子レンジのほか、無線 LAN をはじめとする屋内・近距離無線システムが多数運用されているため、電波環境によっては干渉が問題となる場合もある。北米では DECT 用の周波数帯が1.9GHz 帯に設けられ、WDCT に代わり DECT が主流となりつつある。一方、日本におけるディジタルコードレス電話専用の周波数帯は PHS の自営用チャネルのみで、DECT などの他方式が運用できる周波数帯は割り当てられていなかった。この問題に対し、PHS 用 1.9GHz 帯の一部を DECT 準拠方式や新たなディジタルコードレス電話方式に解放することが総務省で審議されている 7.

#### ■参考文献

- European Standard, "Digital Enhanced Cordless Telecommunications (DECT); Common Interface (CI); Part 1, Part 2," ETSI EN 300 175-1 and 2, V2.2.0, European Telecommunications Standards Institute, 2008.
- FCC rules and regulations, "Radio Frequency Devices," Part 15, Sec. 15.247, Federal Communications Commission, 2007.
- 田中喜好, "スペクトル拡散を用いたコードレス電話," 信学論 (B-II), vol. J77-B-II, no.11, pp.703-710, 1994.
- D. Horvat, M. Koprivica, S. Teghararian, and R. Tischler, "Method for avoiding interference in a digital communication system," US Patent, US 7027424 B1, 2006.
- ARIB, "第二世代小電力データ通信システム/ワイヤレス LAN システム標準規格," ARIB STD-T66 3.1 版、電波産業会、2008.
- 6) 福田達朗, 武久吉博, 北野宏一, "ワイヤレスモニター付きテレビドアホン「どこでもドアホン」," 松下テクニカルジャーナル, vol.51, no.5, 2005.
- 7) "情報通信審議会 情報通信分科会 小電力システム分科会報告 (案),"総務省, Feb. 2010.

# 3-5 公共・自営その他の陸上移動通信システム

#### 3-5-1 警察における移動通信

本節は警察庁ホームページ (http://www.npa.go.jp/joutuu/index.htm) をご覧ください.

### 3-5-2 消防における移動通信 1)-4)

(執筆者:太郎丸真) [2008年8月 受領]

消防・救急無線は、従来の 150 MHz 帯を用いた音声主体のアナログ FM 方式から、260 MHz 帯を用いたディジタル方式に移行しつつある。総務省ではアナログ用 150 MHz 帯の使用期限 を 2016 年 5 月としており、それまでに完全移行する計画である。

## (1) アナログ方式

消防無線は単信方式、救急無線は複信方式で、いずれも基地局(中継局)を介した通信を行う大ゾーン方式の移動通信である。周波数は 150 MHz 帯が用いられ、変調は FM でチャネル間隔は 20 MHz である。上りリンクと下りリンクは異なる周波数が用いられ、数 MHz の間隔がおかれている。なお、火災現場活動用の携帯無線機は基地局を介さず、現場指揮本部(指揮車、消防車)と直接通信を行うため、送受周波数が消防車両と逆(基地局と同じ)に設定される場合がある。なお、一部地域では消防と救急が同一波で運用されている場合や、また、一部の大都市では 400 MHz 帯で救急無線やデータ伝送を行っている場合もある。

#### (2) ディジタル方式

原則として SCPC/FDMA 方式 <sup>2)</sup>で整備されることとなっているが、大規模消防本部などにおいて高速データ通信などに活用する場合には、救急業務用に限り TDMA/MCA 方式 <sup>3)</sup>も採用可能とされている。いずれも基地局を有する大ゾーン方式の移動通信システムで、アナログ方式同様上りリンクと下りリンクは異なる周波数が用いられ、約 10 MHz の間隔がおかれている。周波数は 260 MHz 帯である。複信、半複信、単信、同報通信のいずれも可能な方式となっている。なお、無線機器の相互接続性を確保するための詳細仕様が総務省消防庁にてとりまとめられつつあり、その後各消防本部への整備が進められる予定である。

#### ■参考文献

- 1) 260MHz 帯市町村デジタル移動通信システムの構築・普及に関する調査研究会, "260MHz 帯市町村デ ジタル移動通信システムの構築・普及に関する調査研究報告書." 関東総合通信局, 2003.
- 2) 狭帯域デジタル通信方式 (SCPC/FDMA) 標準規格, "ARIB STD-T61," 1.2 版, 電波産業会, 2005.
- 3) 都道府県・市町村デジタル移動通信システム標準規格, "ARIB STD-T79," 2.2 版, 電波産業会, 2006.
- 4) "消防救急無線のデジタル化に係る無線方式等について (通知)", 消防消第35号, 消防情第40号, 総務省消防庁, 2007.

## 3-5-3 そのほかの陸上移動通信システム

(執筆者:山本和幸) [2008年8月 受領]

本項では、そのほかの陸上移動通信システムの位置づけを明確にするとともに、代表的な 移動通信システムの概要について説明する.

### 移動通信システムに使用されている周波数帯及び利用状況

移動通信に使用されている周波数帯及び利用状況を表 3・11 に示す.

本項では、表 3·11 のなかで、電気通信事業、警察通信及び消防通信を除くシステムのうち 移動範囲が陸上に限定されるものをそのほかの陸上移動通信システムとしている.

周波数帯		ᄽᅔᅜᆮᇚᇚᇪᆇᄬᇆᆉᄔᄼᄼᄼᆁᇚ				
略称	区分	移動通信用周波数帯における主な利用				
HF	27 MHz 帯 26.1-28	海上保安、漁業無線プレジャー用、海難救急				
	40 MHz 帯 29-41	ラジコン模型,小型船舶				
VHF	60 MHz 帯 54-68	防災行政,道路管理,水防管理,気象通信,電気事業,ガス事業				
	150 MHz 帯 118-170	警察通信,電気事業,鉄道事業,放送事業,漁業無線,消防通信,防災行政,水道事業,ガス事業,バス事業,運送事業,国際 VHF,新聞取材, 簡易無線,航空管制				
	250 MHz 帯 251-322	無線呼出し、公共ディジタル移動通信				
UHF :	400 MHz 帯 335.4-470	警察通信,電気事業,鉄道事業,放送事業,構内局,防災行政,公害対策,水道事業,ガス事業,バス事業,警備保障,小電力無線,タクシー,新聞取材,簡易無線				
	800 MHz 帯 770-960	携帯電話、ディジタルMCA				
	1~3 GHz 帯 準マイクロ波帯	携帯電話、PHS、構内無線、MCA、ディジタルMCA、小電力無線				

表3・11 主な利用状況

注:下線は電気通信事業

○ 社団法人電波産業会 平成19年電波産業年鑑 から引用した.

#### 代表的な移動通信システムの概要と技術動向

各移動通信システムは、比較的広い通信エリアを確保しやすい VHF 及び UHF の周波数帯を使用しているが、増え続ける周波数の需要に対し、従来の技術では使用できるチャネル数が限界に近づいていた。

これに対処するため、最新のディジタル技術を活用することで周波数利用効率の高い移動 通信システムが登場した。本項では、そのほかの陸上移動通信システムのうち代表的なシス テムの概要を示す。

- (1) 400 MHz 帯及び 150 MHz 帯業務用無線システム
- (a) ディジタル・ナロー化の動向

1992 年 9 月に 400 MHz 帯の「公共業務用ディジタル移動通信システムの技術的条件(諮

問第 62 号)」について検討が行われ、キャリア周波数間隔は 25 kHz、アクセス方式は TDMA/FDD の技術的条件が 1993 年 3 月に答申され制度化された.

1997 年 9 月には、150 MHz 帯及び 400 MHz 帯の需要増大による周波数逼迫状況や公共業務用を含む業務用全般への適用拡大を踏まえ、更なる周波数資源の有効活用と通信の高度化要求に応えるために、「400 MHz 等を使用する業務用の陸上移動局等のディジタル・ナロー通信方式の技術的条件(諮問第 94 号)」について検討が行われ、1998 年 6 月に答申、1999年 3 月に制度化されている。合わせて 6 モデルが制度化され、マルチベンダー化に伴う民間標準規格についても整備されているところである。技術的条件を表 3・12 に、モデルシステムの諸元を表 3・13 に示す。

無線周波数帯	400 MHz 帯(335.4 MHz を超え 470 MHz 以下)	
	150 MHz 帯(142 MHz を超え 170 MHz 以下)	
	狭帯域ディジタル通信方式	
	π/4シフト QPSK,オフセット QPSK,16QAM または	
変調方式	マルチサブキャリア 16QAM	
	実数零点単側波帯変調方式	
	RZSSB 方式	
チャネル間隔	6.25 kHz, 12.5 kHz または 25 kHz	
L+B'####################################	5.8 kHz (チャネル間隔 6.25 kHz), 11.5 kHz (チャネル間隔 12.5 kHz)	
占有周波数帯幅の許容値	24.3 kHz(チャネル間隔 25 kHz)	

表 3・12 ディジタル・ナロー通信方式の技術的条件

<b>-</b>	- * *	マニナナニー・・・	> / o =+ -
- 第 2 。 12	ディジタル・ナロー	- 通信方式のモデル	ジュマテムの寒モ

諸元	モデル 1	モデル 2	モデル3	モデル 4	モデル 5	モデル 6
変調	π/4 シフト	π/4 シフト	オフセット	16QAM	M16QAM	RZ SSB
方式	QPSK	QPSK	QPSK	TOQAM	MIOQAM	KZ SSB
アクセス	FDMA					FDMA
方式	または	TDMA	TDMA	FDMA	TDMA	または
万式	SCPC					SCPC
複信	EDD	FDD	FDD	FDD または	FDD	FDD
方式	FDD 5式	לעם דעט	לענז	TDD	רטט	rdd
多重度	1	4	4	1または2	6	1
チャネル	6.25 kHz	25 kHz	25 kHz	6.25 kHz	25 kHz	6.25 kHz
間隔	0.23 KHZ	23 KHZ	23 KHZ	0.23 KHZ	23 KHZ	0.23 KHZ
伝送	0.6 labora	22 Irhna	22 lehna	16 libra	64 Irhna	10.2 lehna
速度	9.6 kbps	32 kbps	32 kbps	16 kbps	64 kbps	19.2 kbps

<sup>○</sup> 電気通信技術審議会「400 MHz 帯等ディジタル・ナロー化通信方式委員会報告」 から引用した.

#### (2) 公共ディジタル移動通信システム

#### (a) ディジタル化の動向

公共ディジタル移動通信システムは、従来の800 MHz帯地域防災無線システムに、市町村 防災行政無線システムなどの自治体用公共業務用無線を統合した、高度な無線システムを構 築することを目的としたディジタル移動通信システムである。

その技術的条件は、2000 年 5 月に「公共・物流等の分野における自営用移動通信システムの高度利用のための技術的条件(諮問第 117 号)」として電気通信技術審議会に諮問された後、自営用移動通信システム委員会公共用システム高度化分科会においてシステムの検討が行われ、2000 年 11 月に「公共ディジタル移動通信システムの技術的条件」として答申、2001 年7 月に無線設備規則などの改正が行われた。

現在では、主たるユーザが自治体であることから「都道府県・市町村ディジタル移動通信システム」の名称でARIB STD-T79 及びSTD-T80 の2方式が標準規格化されている. STD-T79を採用したシステムは全国の自治体で運用を開始している.

#### (b) システムの特徴

近年の多発する災害に対し、迅速な情報収集や指揮命令など、円滑な通信手段を確保するとともに、データや画像伝送などの多様化する通信ニーズに柔軟に応じ、かつ近隣市町村からの応援隊や、ほかの防災関係機関・生活関連機関などと連携が容易な、高度な移動通信システムを構築することを目的としている。

それに加えて、従来の地域防災無線システムで課題となっていた、「平常時の利用促進」を押し進めるために、移動局の操作イメージを携帯電話に近づけるなど、操作性の改善も図られている。

システムの主な特徴を以下に示す.

#### ● 通信路を多チャネル化

1周波数あたり最大4チャネル(通信路)の多チャネル化を実現した.これにより、1の周波数で最大4対向の連絡通信やデータ伝送などを同時に行うことができる.

#### 通信機能が向上

画像情報などのデータ伝送や一斉通信,統制通信,全国の市町村との応援通信が可能になるなど,通信機能が向上した.また,通信の秘話性・秘匿性も格段に向上した.

#### 多様な通信方式を実現

単信方式, 複信方式及び同報通信方式が可能となった.

#### 通信エリアが拡大

移動局どうしの通信も基地局を介して行われるため、基地局の通信エリアのなかであれば、遠く離れた移動局どうしであっても通信を行うことができる.

また、基地局の通信エリア外であっても移動局間直接通信により通信が可能である。

#### ● 情報システムとの連動性が向上

ディジタルネットワークとの親和性が高く,防災情報システムや土砂災害システムなどのほかの情報システムとの接続・連動が容易になった.

図 3・17 に公共ディジタル移動通信システムのイメージ図を示す.

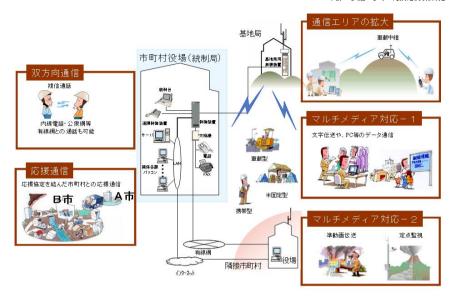


図3・17 公共ディジタル移動通信システムのイメージ図

## (c) 技術的条件

表 3・13 「ディジタル・ナロー通信方式のモデルシステムの諸元」のうち、モデル2に相当する伝送方式が採用されている。

表 3・14 に技術的条件を示す.

表 3 • 14 公共ディジタル移動通信システム (ARIB STD-T79) の技術的条件

項目	諸 元		
無伯田油料井	260 MHz 帯		
無線周波数帯	(上り(移動局間直接通信を含む):260~266 MHz, 下り269~275 MHz)		
送受信周波数間隔	9 MHz(基地局通信時)		
キャリア周波数間隔	25 kHz		
変調方式	π/4 シフト QPSK 方式		
アクセス方式	TDMA(Time Division Multiple Access: 時分割多元接続)方式		
多重数	4 多重		
通信方式	下り TDM 方式/上り TDMA 方式を使用した, 単信, 半複信または複信方式		
複信方式	基地局通信:FDD(Frequency Division Duplexing:周波数分割複信)		
核信力式 	移動局間直接通信:TDD(Time Division Duplexing:時分割複信)		
伝送速度	信号伝送速度: 32 kbps		
音声符号化速度	6.4 kbps (誤り訂正有り)		
データ伝送速度	最大 25.6 kbps (誤り訂正なし)		

### (3) ディジタル MCA 陸上移動通信システム

#### (a) ディジタル化の動向

MCA 制御方式とは Multi-Channel Access の略で、複数の周波数を、多数のユーザが共同利用するための交換制御機能を有する無線方式で、従来の一周波数共用方式に比べ、周波数の効利効率が格段に高いなどの特徴を有している。

自営用無線として最初に MCA 制御方式を採用したシステムは、一般業務用の陸上移動無線システムである MCA システムである. 通信所と多数の陸上移動局の間で行うグループ通信機能や、ワンボタンで即時に音声通信を行うことが可能な利便性などを特徴として、陸上運輸、製造販売、土木建設、サービス分野などを中心に全国で利用されている。

公共分野や物流分野における情報化の進展を受け、ディジタル通信技術を積極的に導入することにより、伝送速度の高速化や多機能化を図り、多様化する情報化ニーズへの柔軟な対応を可能とするとともに、より一層の周波数の有効利用を実現するため、最適なディジタル移動通信システムの実現が求められていた。

このような状況を踏まえ、総務省は情報通信審議会に対し、「公共・物流等の分野における 自営用移動通信システムの高度利用のための技術的条件」について諮問し、2002年6月に同 審議会から「新たなディジタル MCA 陸上移動通信システムの技術的条件」の答申を受けた。 この答申に基づき、2002年12月に800 MHz帯ディジタル MCA 陸上移動通信システムの実 用化に向け必要な規定の整備が行われた。

#### (b) システムの特徴

システムの主な特徴を以下に示す.

- 800 MHz 帯 MCA システムのディジタル化による、よりいっそうの周波数有効利用の実現 現行アナログ方式の MCA システムに比べ 2 倍程度の収容局数を実現した。
- 通信エリアを全国に拡大

複数ゾーンを IP-VPN でネットワーク接続することで、全国にサービスエリアが拡大した.また、ハンドオーバ機能を実現したことで、個別通信中(音声)に他無線ゾーンへ移動しても通信を継続することが可能となった。

#### ● 多様なアプリケーションの実現

音声・データを同時に伝送できる機能などの導入により、多様なアプリケーションが実現できるようになった。

#### ● 周波数需要への柔軟な対応

利用周波数やユーザ情報を無線によるダウンロード機能(ID-ROM レス化)の導入により、周波数需要の変化に柔軟に対応が可能となった。

## ● 災害等に強いディジタル MCA システムの実現

有線ネットワークが切断されても十分な通信エリアを確保することが可能となった.

# (c) 技術的条件

表 3・15 に技術的条件を示す.

表 3・15 ディジタル MCA 陸上移動通信システムの技術的条件

項目	諸 元		
無線周波数帯	800 MHz 帯		
キャリア周波数間隔	25 kHz		
変調方式	π / 4 シフト QPSK 方式		
アクセス方式	TDMA(Time Division Multiple Access: 時分割多元接続)式		
多重数	4 多重		
伝送速度	信号伝送速度:32 kbps 以上		

## 主なディジタル移動通信システムの無線標準規格

社団法人電波産業会により策定された主なディジタル移動通信システムの標準規格の概要を表 3·16 に示す.

表 3・16 主なディジタル移動通信システムの標準規格

<b>夜</b> 3・10 主なテインタル検動通信システムの標準機能					
諸元等	ARIB 標準規格				
<b>油</b> 兀寺	STD-T79	STD-T80	STD-T61	STD-T85	STD-T87
主な適用 ユーザ	防災行政 消防	公共 防災行政	道路・電力	MCA	空港 MCA
適用周波数帯	260 MHz 帯	260 MHz 帯	150 MHz 帯 400 MHz 帯	800 MHz 帯	400 MHz 帯
ネットワーク 形式	スター型	スター型	スター型	スター型	スター型
変調方式	π/4 シフト	π/4 シフト	π/4 シフト	π/4 シフト	π/4 シフト
	QPSK	QPSK	QPSK	QPSK	QPSK
キャリア間隔	25 kHz	25 kHz	6.25 kHz	25 kHz	25 kHz
伝送速度	32 kbps	36 kbps	9.6 kbps	32 kbps	32 kbps
アクセス方式	TDMA	TDMA	SCPC/FDMA	TDMA	TDMA
多重数	4	4	1	4	4
音声コーデック	規定せず (EL-CELP)	規定せず (ACELP)	規定せず (EL-CELP, AMBE)	M-CELP	規定せず
データ伝送速度	最大 25.6 kbps (4 スロット)	最大 28.8 kps (4 ペロスト)	最大 6.4 kbps	最大 25.6 kbps (4 スロット)	最大 25.6 kbps (4 スロット)

#### ■参考文献

- 1) 社団法人電波産業会, "平成19年 電波産業年鑑," 2007.
- 2) 電気通信技術審議会, "400MHz 帯等デジタル・ナロー通信方式委員会報告," 1998.
- 3) 総務省報道資料, "400MHz 帯等業務用無線のデジタル・ナロー通信方式の導入に向けて," 1999 年 1 月 18 日発表.
- 4) 総務省報道資料, "市町村のデジタル移動通信システムの導入に向けて (無線設備規則等の一部改正 案並びに周波数割当計画の一部変更案の電波監理審議会答申及び意見の募集結果)," 2001 年 6 月 6 日発表
- 5) 総務省報道資料, "「800MHz 帯デジタル MCA 陸上移動通信システムの導入及びアナログ携帯電話等 に関する技術的条件の削除」等のための告示案に対する意見募集の結果。" 2002 年 12 月 17 日発表.
- 6) 社団法人電波産業会, "狭帯域デジタル通信方式 (SCPC/FDMA) 標準規格 ARIB STD-T61"
- 7) 社団法人電波産業会, "都道府県・市町村デジタル移動通信システム標準規格 ARIB STD-T79"
- 8) 社団法人電波産業会, "都道府県・市町村デジタル移動通信システム TYPE2 標準規格 ARIB STD-T80"
- 9) 社団法人電波産業会, "800MHz 帯デジタル MCA システム標準規格 ARIB STD-T85"
- 10) 社団法人電波産業会, "空港内デジタル移動通信システム標準規格 ARIB STD-T87"

## 3-6 衛星移動通信システム

#### 3-6-1 衛星移動通信システムの動向

(執筆者:木幡祐一) [2008年12月受領]

サービスエリアが広く、建物、地形による遮へいが少ない衛星からの見通し内であれば、安定した伝送路が比較的容易に確保できるという衛星通信の特長をいかした適用例として移動体衛星通信サービスがあり、ITU上では、移動体衛星業務(MSS: Mobile Satellite Service)に分類される。

衛星移動通信システムには、静止衛星を利用したシステムと非静止衛星を利用したシステムがある.

静止衛星を利用したシステムは、少数衛星でサービスが可能である(3 機の衛星で全世界をカバーできる)ことや、端末のアンテナを衛星に向けるのが容易であるという利点がある反面、電波伝搬による伝送遅延が多いこと、あるいは、伝搬損失が大きいために、端末の小型化が困難であるという欠点をもっている。また、山間部などで衛星方向に障害物がある場所での利用は不可能である。しかしながら、最近においては、衛星搭載アンテナの大型化や、受信性能の向上により、より小型の端末も実現されてきている。

静止衛星を利用した移動通信サービスとしては、1982年よりインマルサット衛星による船舶向けサービスが開始された. インマルサットサービスは、その後 1994年には航空機向け及び陸上向けサービスが開始した. また、2005年には、最高 492 Mbps のパケット通信と音声通話を同時に利用できるインマルサット BGAN (Broadband Global Area Network) サービスを開始した (2008年7月時点で、東日本を含む太平洋地域の大半での利用はできない). インマルサットサービスは、日本においては KDDI ネットワーク&ソリューションズ社により展開されている. 一方、日本国内向けサービスとして、1996年より NTT ドコモにより、N-STARを利用した日本国内及び沿岸 200海里内を対象としたサービスが開始された. また、日本国内での利用はできないが、2000年に開始されたスラーヤ衛星によるサービス(欧州、北アフリカ、中東及びインドなど)、などがある.

非静止衛星を利用したシステムの利点は、低軌道の衛星を利用するため、端末の小型・軽量化が比較的容易であること、伝搬遅延が少ないことであるが、反面、一機の衛星がカバーする領域が狭いことから、多くの衛星を必要とすること及びこれらの衛星どうしでの交換接続が必要であるためシステムが複雑となるという欠点がある。また、衛星の位置が変化するため、障害物の多い場所では通信状態は刻々変動するものの、静止衛星利用システムと異なり、常に使用できないということはない。

非静止衛星を利用したサービスでは、1998年にイリジウムシステムによるサービスが開始した。2000年に一度中断したが、2005年に再開された。本サービスは、66機の衛星(当初計画では77機)により極地方を含む全地球をカバーするものであり、低軌道衛星利用の特長をいかしてハンドヘルド端末での通信が可能である。また、1995年に、オーブコムシステムによるサービスが開始(日本国内では1999年にサービス開始)された。データ通信に特化したサービスであり、遠隔監視あるいは船舶、車両などの動態監視に利用されている。国外でのサービスでは、グローバルスターによるサービスが1999年より開始されている。

現在、我が国で利用可能である衛星移動通信サービスを表 3・17 に示す.

衛星名	インマルサット	N-STAR	オーブコム	イリジウム
事業者名	インマルサット	NTT ドコモ	オーブコム	米イリジウム
	日本: KDDI ネッ		日本:オーブコム	日本:KDDIネ
	トワーク&ソリュ		ジャパン	ットワーク&
	ーションズ			ソリューショ
				ンズ
サービスエリ	全世界(極地除く)	日本全国	全世界(極地除く)	全世界
ア及び対象		日本沿岸 200 海里		
	陸上(車両/可搬)			日本:日本国内
	船舶	陸上(車両/可搬)	陸上車両	陸上及び公海
	航空機	船舶		上の日本船籍
				船舶内
サービス内容	電話	電話	データ通信	音声
	テレックス	ファクシミリ		データ通信
	ファクシミリ	データ通信		ページング
	データ通信			
サービス開始	1982 年	1996 年	1999 年	2005 年再開
衛星高度	36000 km (静止)	36000 km (静止)	825 km	780 km

表 3・17 日本国内で利用可能な衛星移動通信システム

## 3-6-2 N-STAR 衛星移動通信システム

(執筆者: 木幡祐一) [2008年12月 受領]

## (1) 概要

N-STAR 衛星移動通信サービスは、NTT ドコモが提供する衛星移動通信サービスである. 日本全土を含む日本近海(沿岸約200海里)を半径約600kmの四つのビームでカバーし、 陸上及び海上における音声/データ/ファクシミリ通信などの通信サービスを提供している. 本サービスは、1995年度に打ち上げられた N-STARa,b の2機の衛星を利用して、1996年3 月に開始された. 更に、2000年3月より、それまでの、音声、ファクシミリ及び4.8 kbpsのデータ通信に加え、下り最高64 kbpsの衛星パケット通信サービスが開始された.

N-STAR は、3 軸姿勢制御の静止衛星であり、現在は、上記衛星の後継である N-STAR 及び N-STAR はにより運用中である。これら 2 衛星の主要緒元を表  $3\cdot18$  に示す。移動通信用 S 帯送信機には、マルチポート増幅器が採用されており、衛星電力の効率的な利用を図るとともに、ビーム間のトラフィック変動に柔軟に対応できる構成となっている。また、大型のマルチビームアンテナを搭載することにより、端末の小型化を実現している。

衛星名	N-STARc	N-STARd
軌道位置	東経 136 度	東経 132 度
打ち上げ日	2002年7月	2006年4月
搭載通信機器	S 帯移動体通信機器	S 帯移動体通信機器 C 帯固定通信機器 Ku 帯固定通信機器
搭載アンテナ	5.1 m φ アンテナ	5.1 m φ アンテナ
(移動体通信用)		
衛星高度	36000 km (静止)	36000 km (静止)

表 3・18 N-STAR 衛星の主要緒元

## (2) ネットワーク構成

N-STAR 衛星移動通信システムは、音声/データ通信系については、衛星用交換機を介してドコモ PDC 網に、パケット通信系については、S-PPM(衛星パケット加入者系処理装置)を経て、ドコモ PDC-P(PDC 移動パケット通信システム)網に接続されている。

本システムでは、災害などの発生により陸上通信システムの大きな損害が発生したような 状況においても安定したサービスを提供できるよう、2機の衛星に対して2系統の無線基地 局及び制御局を配置し、相互にバックアップ可能な構成とすることで、高い信頼性を確保し ている.

#### (3) システム緒元

N-STAR システムの主要緒元を**表 3・19** に示す. サービスリンクには、衛星移動通信に割り当てられている S 帯の上り、下りそれぞれ 30 MHz の上下半分ずつを 2 機の衛星で使用している. また、フィーダリンクには、S 帯とともに降雨減水の影響が低い周波数帯を使用し、天候による通信への影響を低減している.

変復調方式として $\pi/4$  シフト QPSK, 同期検波方式を採用し、更に符号化利得の大きい畳み込み符合化ビタビ復号方式を採用することなどによって、端末の低 C/N での安定動作を実現することで、小型化を実現している.

後3・12 N-STAR 用生物助返旧ノバノムの工芸帽ル				
	衛星移動通信システム	衛星パケット通信システム		
周波数帯	サービスリンク:2.6/2.5 GHz 帯	同左		
	(上り: 2660~2690 MHz			
	下り: 2505~2535 MHz)			
	フィーダリンク:6/4 GHz 帯			
	(上り: 6345~6425 MHz			
	下り: 4120~4200 MHz)			
キャリア周波数間隔	12.5 kHz	上り: 12.5 kHz		
		下り: 150 kHz		
ビーム半径	約 600 km	同左		
アクセス方式	FDMA/SCPC	上り: FDMA/SCPC (信号		
		伝送:疑似回線交換接続)		
		下り:TDM		
変復調方式	π/4 シフト QPSK/同期検波	同左		
誤り訂正方式	畳み込み符号化ビタビ復号	同左		
提供サービス	音声/ファクシミリ/データ通信	データ通信		
	同報音声/同報ファクシミリ			
音声符号化方式	5,6 kbps PSI-CELP	N/A		
非電話伝送速度	4.8 kbps 相当	上り: 4.8 kbps 相当		
		下り: 64 kbps 相当 (最高)		

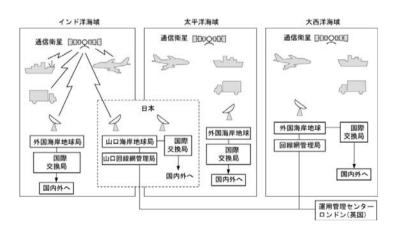
表 3・19 N-STAR 衛星移動通信システムの主要緒元

## 3-6-3 インマルサットシステム

(執筆者:河合宣行) [2008年5月 受領]

インマルサットは、「海上通信を改善するために必要な宇宙部分を提供し、これにより、海上における遭難および人命にかかる通信、船舶の効率および管理、海事公衆通信業務ならびに無線測位能力の改善に貢献すること」(インマルサット条約第3条)を目的に1979年7月に設立された国際機関である。インマルサットは、1976年から運用を開始していた米国の商用海事通信衛星システム(マリサットシステム)を引き継ぐかたちで1982年2月に船舶などを対象とした国際海事通信サービスを開始した。1985年には、航空通信を提供できるように条約と運用協定を改正した。更に、1989年1月に開催された総会において、船舶及び航空機に対する衛星通信サービスの提供に加えて、陸上移動体への衛星通信サービスの提供を加えるべく条約と運用協定の改正を行い採択され、条約は1997年に発効した。また、インマルサットは、1994年に国際海事衛星機構から国際移動通信衛星機構(International Mobile Satellite Organization)に名称変更をし、1999年4月にイギリス会社法に基づく一般商業会社に移行し民営化された。

インマルサットシステムは、第3世代衛星または第4世代衛星を利用する2種類のネットワークに大別できる.インマルサットシステムは基本的に宇宙部分と地上部分から構成され、第3世代衛星を利用するシステム構成は図3・18に示すとおりである.



**図3・18** インマルサットシステムの構成 (出展:佐藤孝平 著「新版 移動通信ハンドブック」)

宇宙部分は、衛星、衛星の監視制御を行う追跡管制局(TT&C: tracking, telemetry and control station)及び衛星の運用管理を行う衛星管制センタ(SCC: satellite control center)から構成される。また、地上部分は、船舶などに搭載される移動地球局(MES: mobile earth station)、陸上に設置された公衆網と移動地球局との接続を行う陸上地球局(LES: land earth station)、回線の割当て制御を集中的に行う通信網管理局(NCS: network control station)及びシステム全体の運用を統括する通信網運用センタ(NOC: network operation center)から構成される。

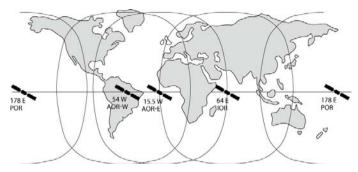


図3・19 インマルサットの衛星カバレッジ

(出展:佐藤孝平 著「新版 移動通信ハンドブック」)

第4世代衛星を利用するシステムでは、SAS(Satellite Access Station)と呼ばれる地球局が上記 LES の代わりに用いられる. 使用周波数帯としては、移動地球局と衛星間のサービスリンクは L バンド (1.6/1.5GHz) を、陸上地球局と衛星間のフィーダリンクは C バンド (6/4GHz 帯)を使用している. 現在のインマルサットシステムは、図  $3\cdot19$  に示すように、太平洋、インド洋、大西洋の東と西の海域をカバーする 4 海域構成となっており、各海域には表  $3\cdot20$  に示すような衛星が配置されている. 現在運用中の衛星は 1996 年から 1997 年にかけて打ち上げられたインマルサットが所有するスポットビームアンテナを搭載した第3世代衛星と2005 年から 2006 年にかけて打ち上げられた第4世代衛星、予備衛星は第2世代衛星及び予備用の第3世代衛星となっている.

第4世代衛星	F1 (64° E)		F2	(54° W)				
第3世代衛星	F1 (64° E)	F2 (1	15.5°W)	F3 (178°	, E)	F4 (54° W)		F5 (25° E)
第2世代衛星	F1 (143.5° E	)	F2 (98	°W)			F4	(109° E)

表 3・20 インマルサットシステムの衛星配置

移動地球局は、船舶、航空機、自動車などに設置される地球局であり、設置形態に応じて船舶地球局(SES:ship earth station),航空機地球局(AES:aeronautical earth station)及び陸上移動地球局(LMES:land mobile earth station)に分類されているが,可搬形地球局としての利用も増加している.提供システムのうち,インマルサット設立当初から船舶への音声,テレックス,ファクシミリ通信として利用されてきたアナログ FM 方式の A システムが 2007年12月に廃止となったが,表  $3\cdot21$ に示すような様々なシステムが運用されている.A システムのディジタル版として開発された B システム,小型船舶や長距離トラックへの搭載を目的に開発された双方向低速データ通信の C システム,航空衛星通信サービスのための Aeroシステム,ポータブルな船舶,陸上用地球局で音声,データ通信のための M システムは 1990

年代初めに打ち上げられた第2世代衛星の時代から運用されている. Mシステムを小型・軽量化したミニ Mシステムは,1990年代半ばに打ち上げられた第3世代衛星に搭載されたスポットビームを利用したシステムである,可搬端末,船舶及び航空機に応用されている.

2000 年初には、ミニ M システムを改良し 64 kbps のデータ伝送速度を可能とする M4(multi media mini M) システムが開発され、電子メールの利用、画像情報の伝送などに利用されている。 M4 システムの応用システムとして、船舶へ搭載するシステム (F77, F55, F33) 及び航空機に搭載するシステム (Swift64) も導入されている。

また、2005 年末には第 4 世代衛星に搭載されたナロースポットビームによる BGAN (Broadband Global Area Network) サービスが可搬端末により開始され、ベストエフォート方式による最大 492 kbps のデータ通信が可能となっている。本システムの応用として、M4 と同様に船舶用(Fleet Broadband)システムと航空機用(Swift Broadband)システムも 2007 年に導入されている。更に、2007 年には、インマルサットは ACeS を買収し、ハンドヘルドタイプの端末である IsatPhone サービスを開始した。

	В	C	M	Aero
開始時期	1993 年	1991 年	1993 年	1990 年
対象移動体	船舶,可搬	小型船舶, 陸上移	小型船舶,陸上移	航空機
		動体,航空機,可	動体,可搬	
		搬		
主要サービス	音声、ファクシ	蓄積転送、メッセ	音声、ファクシミ	音声、ファクシミ
	ミリ、テレック	ージ通信	リ,データ	リ,データ
	ス、データ			
音声通信方式	ディジタル	_	ディジタル	ディジタル
	16 kbps		6.4 kbps	9.6 kbps
アンテナ形式	パラボラ	ヘリカル, クロス	ショートバックフ	フェーズドアレ
	(0.8 mφ程度)	ダイボール	ァイア	イ、ヘリカル
アンテナ利得	20~23	0~3	14 (船舶用)	12(高利得)
[dBi]			12 (陸上用)	0 (低利得)
受信 G/T	-4	-23	-10 (船舶用)	-13(高利得)
[dB/K]			-12 (陸上用)	-26 (低利得)
実効送信放射	33	16	27 (船舶用)	23 (高利得)
電力〔dBW〕			25 (陸上用)	14 (低利得)
キャリア間隔	20	5	10	17.5
(kHz)				

表3・21 インマルサット各システムの主要諸元

	≅ = M	M4	Fleet	BGAN
開始時期	1996 年	1999 年	2002 年	2005 年
対象移動体	小型船舶,陸上	可搬,陸上移動体	船舶	可搬
	移動体, 可搬,			
	航空機			
主要サービス	音声、ファクシ	音声、ファクシミ	音声、ファクシミ	音声, ファクシミ
	ミリ, データ	リ,データ	リ,データ	リ,データ
				(∼492 kbps)
音声通信方式	ディジタル	ディジタル	ディジタル	ディジタル
	4.8 kbps	4.8 kbps	4.8 kbps	4 kbps
アンテナ形式	ショートバッ	パッチ	パラボラ、パッチ	パッチ
	クファイア,フ			
	ェーズドアレ			
	イ、パッチ			
アンテナ利得	10 (船舶用)	18	10~20	10~15
[dBi]	7(陸上用)			
受信 G/T	-17	-7	-12.5 <b>~</b> -4	-18.5 以上
[dB/K]				
実効送信放射	14 (船舶用)	25	25	20
電力〔dBW〕	17(陸上用)			
キャリア間隔	5	~40	~40	~189

表 3・21 インマルサット各システムの主要諸元(つづき)

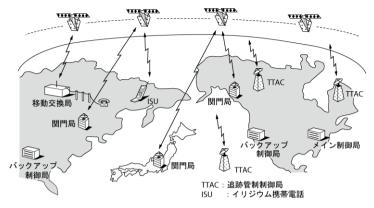
### 3-6-4 イリジウムシステム

[kHz]

(執筆者:河合宣行) [2008年5月 受領]

イリジウムシステムは 1987 年に米国モトローラ社により提唱されたグローバル通信システムである. 米国のイリジウム社(Iridium,Inc.)がイリジウムシステムの開発, 製造を約 34 億ドルでモトローラ社が受託し,地上制御局 3 局,及び,TTAC (telemetry, tracking and control)地球局の建設を行った. 電話サービスが 1998 年 11 月に開始されたが,初期投資が過大であったことや加入者数が当初計画より伸びなかったことなどにより,銀行への返済が滞りほどなく米国イリジウム社は破産状態となり,2000 年 3 月にサービス停止に至った.その後,2001年に Iridium Satellite LLC 社としてサービスを再開した.

図3・20 にイリジウムシステムの構成を示す. イリジウムは約780 km の低軌道上に, 軌道傾斜角86.6 度の円軌道6 面に11 機ずつ, 計66 機の衛星を周回させている. 地上設備は, メイン制御局 (MCF: main control facility), バックアップ制御局, 関門局, 携帯電話及び簡易固定局などの設備から構成される. 更に衛星系は, 66 基の衛星のほかに12 基の予備衛星を含み, 総計78 基で構成される. 衛星は, 携帯端末, 関門局との間で通信を行い, 中継交換機を搭載することによりトラヒック情報, 呼制御情報を伝送する機能をもつ. 更に, 衛星間中継リンクにより, 66 基の衛星はネットワークを構成しており, この衛星ネットワークにより音声信号及び必要なデータが伝送されることとなる.



**図**3・20 イリジウムシステムの構成 (出展:島田良一 著「新版 移動通信ハンドブック」)

メイン制御局は北米に設置され、その機能は衛星姿勢制御などの衛星系の制御及びテレメトリー情報による衛星系の監視制御、衛星ネットワーク系の監視、制御を行う、端末としては、旅行・ビジネスなどで使用する小型携帯端末、自動車・航空機・船舶などに搭載する可搬形端末が利用されている。イリジウムシステムの無線リンクは、フィーダリンク(衛星・関門局)、ユーザリンク(衛星・ユーザ端末)、衛星間リンク(衛星・衛星)からなる。また、各回線における使用周波数帯域は、上りフィーダリンクが29.1~29.3 GHz、下りフィーダリンクが19.4~19.6 GHz、ユーザリンクが上り、下りとも1621.35~1626.5 MHz、衛星間リンクが23.18~23.38 GHz である。ユーザリンクの多元接続方式として、TDMA(time division multiple access)方式が採用されている。イリジウムシステムの特徴の一つはユーザリンクの回線マージンが16 dBと大きくとっていることであり、これにより通話品質の向上を図っている。また、これまで衛星と通信を行うためには、衛星が見通せる場所にいることが絶対条件であったが、回線マージンを16 dBとしたことによりこの条件をある程度緩和し、多少の障害物があっても通信を可能とした。

衛星の物理的イメージを図 3・21 に示す.衛星には、送受信機、中継交換機のほか、ユーザリンク用アンテナとして、1 面で 16 ビームを照射するフェーズドアレーアンテナを 3 面搭載している.フェーズドアレーアンテナにより、ビームの照射位置を機械装置によらず電磁波の位相合成による電気的制御で行うことを可能としている.1 衛星で 48 スポットビームを照射し、1 ビームは直径 400 km の地域をカバーし、1 衛星のカバー範囲は直径約 4500 km の円内にある.衛星には、そのほか、フィーダリンク用アンテナを 4 台,衛星間通信用アンテナを 4 台搭載している.

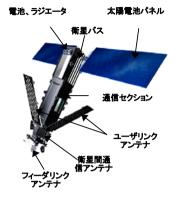


図3・21 衛星の物理的イメージ

図3・22 に関門局の構成を示す. 関門局は、フィーダリンク用のアンテナ及び送受信機を含む地球局3局, 呼制御及び位置登録を行う移動通信交換機 (MSC), 地球局を制御し移動通信交換機とのインタフェースをとる地球局制御装置 (ETC), 関門局装置の管理システム (GMS), ページャ用のメッセージ発信装置 (MOC) 及び移動通信交換機と地上網とのインタフェースをとる中継交換機から構成され、衛星を介して端末を監視し、制御を行うことにより、端末と端末あるいは端末と地上網の電話端末の接続を行う.

小型携帯端末 ISU (iridium subscriber unit) の平均出力は 0.3 W 程度であり、衛星追尾を必要としないよう無指向性のアンテナが用いられている。音声コーデックには、2.4 kbps の AMBE (advanced multi-band excitation) 方式が用いられている.

2001年6月にデータ通信サービスが開始されるとともに,2002年9月には、SBD(Short Burst Data) と呼ばれるパケット型の小容量データ伝送(端末送信:1960バイトまで、端末受信:1890バイトまで)サービスが開始され、モジュール型の端末による航空機などの位置情報の管理などに応用されている。更に、2003年6月にはSMS (Short Message Service) が開始され、応用範囲が広がっている。

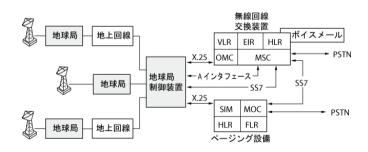


図3・22 関門局の基本構成

(出展:島田良一 著「新版 移動通信ハンドブック」)

# 3-6-5 そのほかの衛星移動通信システム

(執筆者:河合宣行) [2008年5月 受領]

前節までに記した衛星移動通信システム以外にも、様々な衛星移動通信システムが運用されている.ここでは、これらの衛星移動通信システムのうち代表的なものについて述べる. 表 3・22、表 3・23 にシステム諸元を示す.

表3・22 そのほかの衛星移動通信システムの主要諸元 (静止衛星)

	MSAT	OPTUS-B	Thruya	ACes
開始時期	1996 年	1994 年	2001 年	2000年
衛星軌道	GSO	GSO	GSO	GSO
衛星数	2 基	2基	3 基	1基
衛星諸元	打上重量	重量 1650 kg	打上重量 5250 kg	打上重量
	2850 kg	三軸制御	三軸制御(*1)	4500 kg
	三軸制御	発生電力3kW	発生電力 11 kW	三軸制御(*2)
	発生電力 3.3 kW	寿命 13 年	寿命 12 年	発生電力
	寿命 10 年			10.5 kW
				寿命 12 年
周波数〔MHz〕	上り	上り 1646.5-1660.5	上り 1626.5-1660.5	上り
サービスリン	1631.5-1660.5	下り 1545-1559	下り 1525-1559	1626.5-1660.5
ク	下り 1530-1559			下り 1525-1559
アクセス方式	FDMA/SCPC	FDMA/SCPC	TDMA/FDMA	TDMA/FDMA
サービスリン				
ク				
主要サービス	音声、ファクシ	音声、ファクシミ	音声、ファクシミ	音声、ファクシ
	ミリ, データ(~	リ, データ (~4.8	リ, データ (~9.6	ミリ, データ(2.4
	4.8 kbps), ショ	kbps)、ポジション	kbps), ショートメ	kbps, 高速 128
	ートメッセージ	ロケーション	ッセージ	kbps)、ショート
				メッセージ
ユーザ端末	B5~ブリーフケ	B5 サイズ (アンテ	携帯電話型	携帯電話型、ブ
	ースサイズ(ア	ナ利得 2-3dBi)		リーフケース型
	ンテナ利得 8-12			
	dBi)			
備考			(*1)大型反射鏡ア	(*2)大型反射鏡
			ンテナ (12×16m)	アンテナ (12m
			×2 面搭載	φ×2 面搭載)

	Globalstar	Orbcomm
開始時期	2000年	1995 年
衛星軌道	LEO	LEO
衛星数	高度 1414 km	高度 800 km
	軌道傾斜角 52°	軌道傾斜角 45°
	8 面計 48 基	4 面計 28 基(*3)
衛星諸元	重量 450 kg	重量 38.5 kg
	三軸制御	三軸制御
	発生電力 1.1 kW	発生電力 160 W
	寿命 7.5 年	寿命4年
周波数(MHz)	上り 1610-1621.35	上り 148-150.05
サービスリンク	下り 2483.5-2500	下り 137-138
アクセス方式	CDMA/FDMA	FDMA
サービスリンク		
主要サービス	音声、ファクシミ	双方向メッセージ
	リ,データ(~9.6	データ、測位
	kbps)、ショートメ	下り 4.8 kbps
	ッセージ	上り 2.4 kbps
ユーザ端末	携帯電話型	データモジュール
	モジュール型	型が主流
備考		(*3)このほか極軌
		道に1基

表3・23 そのほかの衛星移動通信システムの主要諸元(非静止衛星)

## (1) 静止衛星を使ったシステム

#### (a) MSAT

MSAT は、米国の American Mobile Satellite Corp. (AMSC) とカナダの Telesat Mobile Inc. (TMI) 社により、静止衛星 2 基を使い北米を対象として、音声、ファクシミリ、データ通信(~4.8 kbps)をサービスメニューとして 1996 年に運用が開始された移動衛星通信システムである。現在は、Mobile Satellite Venture(MSV)社がサービスを提供している。周波数帯としては、サービスリンクに L バンド(1631.5~1660.5 MHz/1530~1559 MHz)、フィーダリンクに Ku バンドが使われている。移動端末は B5 ノートサイズからブリーフケース程度の大きさであり、8~12 dBi の利得のアンテナ(機械追尾/電子追尾)をもつ。

## (b) オプタス B (Optus-B)

オプタス B システムは、Optus Communication 社が、静止衛星 2 基を使いオーストラリア及 びニュージランドを対象として音声、ファクシミリ、データ通信(~4.8 kbps)、ポジション ロケーションをサービスメニューとして 1994 年に運用を開始した移動衛星通信システムで ある. 周波数帯としては、サービスリンクにLバンド(1646.5~1660.5 MHz/ 1545~1559 MHz)、フィーダリンクに Ku バンドが使われている. 移動端末は B5 ノートサイズ程度の大きさであり、2~3 dBi の利得のアンテナをもつ.

#### (c) スラヤ (Thruva)

スラヤシステムは、アラブ首長国連邦の Thuraya Satellite Telecommunication 社が、欧州、アフリカ、中近東、南アジアを対象として音声、ファクシミリ、データ通信(~4.8 kbps) のサービスを提供しているもので、2001 年に運用が開始された。周波数帯としては、サービス

リンクに L バンド (1626.5~1660.5 MHz/1525~1559 MHz), フィーダリンクに C バンドが使われている. 衛星は、 $12.25 \text{ m} \times 16 \text{ m}$  の大型展開アンテナ 2 基を搭載した大型静止衛星(打上げ重量 5.25 トン)であり、2003 年以降 2 基体制で運用されてきたが、2008 年 1 月に東アジア地域をカバーする 3 基目の衛星が打ち上げられた。

図 3・23 に Thuraya 携帯端末の例を示す. 図の左側が GSM とのデュアルモードタイプ, 右側が衛星専用モードタイプで各々重量 170 g, 130 g といずれも軽量・小型である.





図 3・23 Thruya 携帯端末の例

(Thuraya Satellite Telecommunication 社 URL より転載)

#### (d) ACes

ACeS は、インドネシアの Asia Cellular Satellite 社が、静止衛星を用い、東アジア、東南アジアなどをサービスエリアとして、音声、ファクシミリ、データ通信(~4.8 kbps)のサービスを提供するもので、2000 年 9 月にサービスが開始された。周波数帯としては、サービスリンクに L バンド(1626.5~1660.5 MHz/1525~1559 MHz)、フィーダリンクに C バンドが使われている。衛星は、直径 12 m の大型展開アンテナ 2 基を搭載した大型静止衛星(打上げ重量 4.5 トン)1 基である。

図  $3\cdot 24$  に ACes 携帯端末の例を示す. GSM とのデュアルモードで重量 230 g である. また、このほかに双方向 192 kbps の高速データ通信サービス (G-Wave) を提供している. また、Asia Cellular Satellite 社は 2006 年 9 月に衛星携帯電話の提供に向けインマルとの提携を発表した.



図3・24 ACes 携帯端末の例
(Asia Cellular Satellite 社 URL より転載)

## (2) 非静止衛星を使ったシステム

### (a) グローバルスター (Globalstar)

グローバルスターシステムは、米国ロラール社、クオルコム社などにより提唱された低軌 道衛星通信システムであり、2000 年から商用サービスを開始した。宇宙セグメントは、高度 1414 km の八つの低軌道上に軌道傾斜角 52 度で各 6 基、合計 48 基の周回衛星群を構成している。図 3・25 にグローバルスターシステムの衛星軌道を示す。サービスエリアは、北緯 74 度~南緯 74 度の範囲で地球表面積の 96%がカバーされる。衛星重量は約 450 kg、寿命は 7.5 年となっている。

本システムはイリジウムのような衛星間通信機能を有しないため、宇宙部分での交換機能はない. したがって、ゲートウェイ局を介した通信が行われることから、ゲートウェイ局が存在しない地域ではサービスカバレッジがない場合もある. 周波数帯としては、サービスリンクに L/S バンド (1610~1626.5 MHz/2438.5~2500 MHz)、フィーダリンクに C バンドが使われている. 各衛星は 16.5 MHz 帯域の 16 ビームをもち、各ビームは 13 のチャネルに分割し、CDMA (IS-95 狭帯域 CDMA 方式)で運用される. 提供サービスは、音声、ファクシミリ、データ通信 (~9.6 kbps) などである. ユーザ端末としては、携帯電話型のものをはじめ、車載、船舶搭載型、データモジュール型が用意されている.



提供: Transfinite System 社

**図**3・25 グローバルスターシステムの衛星軌道 (出展:島田良一 著「新版 移動通信ハンドブック」)

#### (b) オーブコム (Orbcomm)

オーブコムシステムは、米 Orbital Science 社が設立したオーブコム社が 1995 年から運用を開始した低軌道周回衛星システムである。宇宙セグメントは、高度 800 km 軌道傾斜角 45 度の四つの低軌道上に計 28 基、極軌道上に 1 基の合計 29 基の周回衛星群を構成している。重量 38.5 kg、発生電力 160 W と非常に小型の衛星を使い、世界中に 15 局のゲートウェイ局を配置してネットワークを運用している。周波数帯としては、サービスリンク、フィーダリンクとも VHF 帯が使われており、サービスリンクの周波数は 148~150.05 MHz/137~138 MHzである。サービスメニューとしては、双方向メッセージ、データ通信、測位が提供され、データ速度は、上り(移動体→ゲートウェイ局)2.4 kbps、下り(ゲートウェイ局→移動体)4.8 kbps である。移動体端末は、車両、重機、テレメータ機器などに取り付けるデータモジュール型のものが主流となっている。

## ■参考文献 [3-6-5 節関連]

- 1) 衛星通信年報編集委員会,"衛星通信年報 2007 年度版" 2007.
- 2) T. Mizuno, "Present Status and Future Outlook of Mobile Satellite Communications," MJISAT2007, Nov. 2007.
- 3) 下世古,飯田,"世界の非静止衛星通信,"電波新聞社,1994.
- 4) (財) 国際通信経済研究所、"S 帯を利用した移動体衛星通信システム技術の調査検討報告書、"2005.
- 5) MSV, URL: http://www.msvlp.com/
- 6) Optus, URL: http://www.optus.com.au/
- 7) Thuraya Satellite Telecommunications, URL: http://www.thuraya.com/
- 8) Asia Cellular Satellite, URL: http://www.acesinternational.com
- 9) Globalstar, URL: http://www.globalstar.com/
- 10) Orbcomm, URL: http://www.orbcomm.com/

# 3-7 海上・航空移動通信システム

## 3-7-1 航空管制. 運航管理用通信システム

(執筆者:北折潤) [2008年6月受領]

航空移動通信の形態はシステム上,各無線局間で直接通信を行う対空通信と人工衛星を経由する衛星通信とに大別される。また、伝送情報別に見ると音声通信とデータ通信の区別がある。航空移動通信に使われる主なシステムを分類すると以下のようになる。

# 対空通信システム音声通信 無線電話

データ诵信

HFDL (HF Data Link, HF ACARS とも呼ばれる),

VHF ACARS (Aircraft Communications Addressing and Reporting System),

VDL (VHF Digital Link) モード2

## • 衛星通信システム

**音声通信・データ通信** インマルサット [本章 6-3 節 参照]

無線電話の諸元を**表 3・24** に、VHF ACARS などの対空データ通信システムの諸元を**表 3・25** に示す.

バンド	HF	VHF	UHF
周波数範囲	2.85~22 MHz	118~137 MHz	225~400 MHz
チャネル間隔	3 kHz	8.33 kHz, 25 kHz	100 kHz
電波形式	J3E	A3E	
(変調方式)	(SSB-AM)	(DSB-AM)	
通信距離	電波見通し距離外 電波見通し距離内		し距離内
主な用途	ATSC, AO	ATSC	

表 3・24 無線電話システム諸元

表 3・25 対空データ通信システム諸元

通信システム名	HFDL	VHF ACARS	VDL モード 2
バンド	HF	VHF	
周波数範囲	2.85~22 MHz	118~137 MHz	
チャネル間隔	3 kHz	25 kHz	
電波形式	J2D	A2D	G1D
(変調方式)	(M-PSK: M=2, 4, 8)	(AM-MSK)	(D8PSK)
伝送速度	300∼1800 bps	2400 bps	31500 bps
通信距離	電波見通し距離外	電波見通し距離内	
主な用途	AOC, AAC	ATSC, AOC, AAC	

民間航空を対象とした航空移動通信の用途には航空交通業務通信(ATSC: Air Traffic Services Communications),運航管理通信(AOC: Airline Operational Control),航空業務通信(AAC: Aeronautical Administrative Communications),航空旅客公衆通信(APC: Aeronautical Passenger Communications)の 4 種類がある <sup>1,2)</sup>.以下では各用途での使用通信システムについて述べる.

## (1) ATSC

ATSC は航空機の安全な航行のために管制機関と航空機との間で行われる通信である. 航空管制通信(ATC: Air Traffic Control Communications)をはじめ、飛行情報の提供や警報業務などが該当する.

電波見通し距離内では、VHF 無線電話、VHF ACARS または VDL モード 2 を使用している. これらの通信システムのチャネル間隔は 25 kHz であるが、欧州の一部においては8.33 kHz チャネル幅の無線電話も導入されている. 管制機関では VHF 無線電話のほかにUHF 無線電話を用いる場合がある. UHF 無線電話は主に軍用機との通信に使われる.

一方、VHF が届かない洋上などの遠距離通信には HF 無線電話またはインマルサットに よるデータ通信を利用している. インマルサットは極地域を除く地球全域を 4 基の静止衛星 でほぼカバーしている. アジア太平洋地域上空においては、インマルサット互換の運輸多目 的衛星 (MTSAT: Multi-Functional Transport Satellite) も利用できる.

現在のところ ATSC では音声通信が主流であるため VHF 無線電話のチャネル割当てが最も多くなっている.

## (2) AOC 及びAAC

AOC は正常な運航などのために地上の航空会社の運航担当者と航空機との間で行われる通信である. 航空機の離発着時刻や運航状況,運航用マニュアル類,飛行計画などに関する通信が該当する. AAC は航空会社などの業務用の通信のうち AOC 以外の通信である. 乗務員の地上連絡や客室内サービスなどに関する通信が該当する.

ATSC とほぼ同様に、HF $\sim$ VHF 無線電話、VHFACARS、VDL モード 2 及びインマルサットを使用するが、HFDL を利用する航空会社もある。HFDL は信号品質に応じて適切な位相数 M を選択することによって 300 $\sim$ 1800 bps の伝送速度に対応する.

空港面内においては、駐機スポット近傍における短距離通信として IEEE802.11b [3 編 4 章 4-4 節 参照] を利用したゲートリンクシステムが導入され始めている.

#### (3) APC

APC は航空機に搭乗している一般旅客が利用する通信である. 公衆網との音声電話や機内 インターネット接続サービスなどが該当する.

航空会社ではインマルサットやイリジウム [本章 6-4 節 参照] といった通信衛星を介して APC を提供している.

#### ■参考文献

- International Civil Aviation Organization, "Global Air Navigation Plan for CNS/ATM Systems," Doc9750 2nd ed., chapter 5, 2002.
- 2) 航空データリンク/データベース研究会(編), "航空通信ネットワーク-2003-," 航空システムサービス, pp.5-6, 2003.

## 3-7-2 海上移動通信. GMDSS

(執筆者:安藤勝美) [2008年12月受領]

海上を航行する船舶は無線通信が唯一の通信手段であり、沿岸域を航行する小型船舶から 国際航海の外航船まで、船舶の航行の目的及び航行エリアに応じて MF/HF/VHF 帯及び衛星 通信などの無線通信システムが航行安全及び海上における人命と財産の確保のため広く利用 されている。

#### (1) GMDSS (海上における遭難及び安全に関する世界的なシステム)

SOLAS 条約(International Convention for the Safety of Life at Sea)は、航行の安全、特に海上における人命の安全を確保するために船舶の構造、設備、無線通信などの基準を定めた海事関係の基本的条約である。1988年に改正された SOLAS 条約附属書第4章の改正により、従来のモールス電信を主体とした遭難安全システムに代わる「海上における遭難及び安全に関する世界的なシステム」(GMDSS: Global Maritime Distress and Safety System)の導入が決定され、1999年2月1日より実施されている。

GMDSS とは船舶がどんな海域で遭難しても、その発信する遭難警報は陸上の救助機関や船舶に確実に受信され、陸上の救助機関と船舶が一体となった通信網のなかで効果的な捜索 救助活動を可能とする衛星系及び地上系の総合的な無線通信システムである。

GMDSS の主たる構成要素を表 3・26 に示す.

主たる機能	構成要素(無線設備)
海上安全情報の受信	NAVTEX 受信機(518 kHz F1B) インマルサット EGC 受信機(Inmarsat-C に内蔵が主) (NAVTEX エリア外) HF MSI 受信機
無線救命設備	双方向 VHF(遭難現場における双方向無線電話) 衛星 EPIRB(406 MHz,COSPAS/SARSAT 衛星による位置検出) レーダトランスポンダ(SART,9 GHz 帯)
遭難安全通信 及び 一般通信	国際 VHF (無線電話、DSC) MF 送受信機 (無線電話、DSC) HF 送受信機 (無線電話、DSC、NBDP) インマルサット船舶地球局 (Inmarsat-C)
遭難警報の常時聴守	MF, HF, VHF 聴守受信機(MF/HF/VHF などの無線設備に内蔵が主)

表 3 · 26 GMDSS 構成要素

無線通信システムは、衛星系としてインマルサットを利用した電話、テレックス、地上系としては、MF、HF、VHF帯の電話、ディジタル選択呼出し(DSC)及び狭帯域直接印刷電信(NBDP)を利用し、遭難安全通信と一般通信の機能が確保されている.

GMDSSでは、船舶の航行海域を A1 (VHF 海岸局の通達範囲)、A2 (MF 海岸局の通達範囲)、A3 (インマルサット通信衛星の通達範囲)、A4 (A1、A2、A3 以外の海域) の 4 海域に区分し、航行海域及び規模により設置すべき無線設備を規定している。 GMDSS 設備の設置が義務となる対象船舶は、国際航海に従事する客船及び 300 トン以上の貨物船であるが、我が国では電波法及び船舶安全法の関連省令に SOLAS 条約の内容をできるだけ詳細に取り入れ、20 トン以上の船舶は基本的に GMDSS 設備の搭載することが規定されている。

#### (2) 海上移動通信

遭難安全に関する通信以外の港務通信、交通管制通信などの船舶の運航に関する通信及び電気通信業務などの一般通信も GMDSS 設備を利用して行われている。 我が国では HF 帯を利用した遠洋船舶電話の運用廃止、VHF 帯を利用した内航船舶電話は N-Star 衛星を利用した衛星船舶電話に移行したため、地上系通信による電気通信業務は漁業用海岸局が NTT の委託によりサービスを提供している公衆無線電報のみであり、船舶と陸上間の電気通信業務(公衆通信)は衛星移動通信システム(インマルサット、N-Star システム)が利用されている(本章 3-6 節参照).

#### (a) 外航船, 内航船の通信

外航船,内航船の通常の通信業務は、船舶の運行管理と安全管理に関する通信が主で、輻輳 海域における船舶交通管制情報通信,気象・海象に関する通信及び入出港船舶の動静把握,荷 役の手配などの港務通信などがある.また,乗員や乗客が実施する公衆通信及び乗員が行う業 務用の通信が行われている.

国際航海に従事する外航船の標準的な無線通信設備の構成は、表 3・26 に準じたものである。また、AIS の義務設置、海上における保安を目的とした船舶保安警報設備の設置、船舶の航行を世界的に監視する船舶長距離識別追跡システム(LRIT)の導入も IMO(国際海事機関)において決定されている。国際安全管理コード(ISM コード)の導入に伴い、陸上運航会社による船舶管理に必要なデータ交換のため陸上と船舶間の一般通信設備として GMDSS 設備に加え、高速ディジタル通信が可能なインマルサット衛星通信設備を搭載する船舶が多い。

内航船の搭載する無線設備はGMDSSを基本としているが、一般通信設備としては、 27 MHz/40 MHz/150 MHz帯で運用する船舶局の無線設備、携帯電話、N-Star衛星通信設備などの設置も容認されている。

#### (b) 遠洋漁船の通信

漁船が行う通信は、陸船間通信と漁船間で行われる船間通信が主なものである。陸船間通信手段は MF/HF/VHF 帯などのシステムであり、漁業用海岸局と加入船舶間及び加入船舶相互間の自営通信網として利用され、定時連絡通信、気象・海象に関する通信、国や自治体からの指導通信などが行われている。また、船位通報、諸外国の 200 海里水域で操業する漁船の沿岸国への出入国や漁獲量報告も重要な通信である。 船間通信では、沖合各船間において漁児交換通信が行われている。

本船と陸上船主間の通信はインマルサット衛星通信が多く利用されているが、漁業用海岸局との通信及び船舶相互間の通信は無線電話、モールス電信が主に使用されている.

#### (c) 沿岸小型船舶(漁船及びプレジャー船など)の通信

我が国の沿岸のみを航行する小型船舶 (20トン以下の小型漁船, 12 m以下のプレジャーボートなど) は制度的に無線通信設備の搭載を義務化されていないが, 航行の安全を支援するため, 漁業あるいはプレジャーなどの目的ごとに開設された海岸局と加入船舶間の自営通信網として, 27 MHz帯 (DSB, 1W), 40 MHz帯 (DSB, 5W), マリンVHF (F3E, 5W) など, 一周波短信方式の無線電話を主体とした独自のシステムが運用されている.