

総 説

# パーソナル衛星通信システムの開発動向

Recent Developments in  
Personal Satellite Communications Systems

小林 英雄

Hideo KOBAYASHI

(電気電子工学科 Department of Electrical and Electronic Engineering)

(Received September 16, 1998)

## Abstract

In this paper, the present status of mobile satellite communications is first reviewed focussing on Inmarsat standard systems currently operating and under development for providing various mobile satellite communications services to maritime, aeronautical and land users. Second, the roll of personal mobile satellite communications is presented in comparing with that for the terrestrial based mobile communications. Third, this paper reviews various kinds of personal satellite communications systems proposed to date, which allow the user to use a handheld terminal. Finally, this paper describes the recent developments in those global personal satellite communications systems which are targeting the service implementation by around 2000 years.

Key words : Inmarsat, Personal Satellite Communications, Non-GSO Satellites

## 1. はじめに

人口衛星を用いた通信は、1965年にインテルサット(国際衛星通信機構)のもとで商用サービスが開始されて以来、衛星通信は目覚ましい発展をとげた。これは衛星通信が、その特長でもあるサービスエリアの広域性を利用し国際間の公衆用基幹通信回線あるいはテレビジョン映像回線を安定にしかも高品質で提供可能なためであった[1][2]。しかしながら、近年光ファイバ・ケーブルの技術開発によって大容量で安価な伝送路が提供されるようになってきたため、これら衛星による基幹通信回線は徐々に光ファイバ・ケーブルによって置き換えられつつある。これに対し、衛星通信技術の新たな適用分野として移動体通信サービスが近年脚光を浴びてきた。これは、衛星通信の特長であるサービスエリアの広域性が利用でき、共通の仕様端末でグローバルな移動体通信サービスが提供可能であり、しかも将来的に光ファイバ・ケーブルでは決して置き換えることができない分野であるためである[3]。

現在、船舶、航空機、自動車、列車などの移動体に対する通信手段としては無線通信が利用されているが、これらは地上に設置された基地局を介して移動体と陸上公衆通信網との間が接続される陸上系移動体通信システムによって主に提供されている[4]。これに対し衛星を用いた移動体通信は、1976年に米国コムサット社が自社の衛星であるマリサット衛星を用いて太平洋上

を航行する船舶を対象に始められたのが最初である。その後、国際機関であるインマルサット(国際海事衛星通信機構)がそれを引き継ぐ形で本格的なグローバル海事衛星通信サービスを開始した。現在インマルサットが提供するサービスは、船舶を対象とした海事通信の他に、陸上、航空へとそのサービス適用領域を広めつつある[5]。

現在運用中の従来システムでは、固定衛星通信の分野でこれまで広く利用されてきた静止衛星の利用を前提としており、陸上、海上、航空での地域的あるいは全世界規模で移動体通信サービスを提供しようとするものである。この中には、全世界規模を対象としたインマルサットシステムを始め、地域移動体衛星通信サービスを提供することを目的とした、米国、カナダで運用されている AMSC(American Mobile Satellite Consortium)システム、オーストラリアで運用されている OPTUS システム、日本で運用されている N-STAR システム等がある。これらシステムで利用される衛星通信技術は、これまでに実用化されたシステムで実績のある成熟した技術を前提としている。また、これらシステムで想定されている移動地球局としては、衛星送信電力の制限から比較的大きなものが要求され、一般に自動車、船舶、飛行機等に半固定的に設置されて利用される形態をとっている。従って、移動地球局は、現在陸上系システムで利用されている携帯電話やコードレス電話での携帯端末と比べるとかなり大きなものでありパーソナル通信とは言いがたいものである。

一方、移動体通信への需要の増加に伴い、世界各国、各機関でも衛星を利用した移動体通信システムの検討・開発が積極的に進められている。これら移動体衛星通信システムの特徴は、従来のシステムとは異なり一般利用者を対象とし携帯端末の利用を可能とするパーソナル衛星通信サービスの実現を目指している点である。これらシステムでは、現在の自動車電話やコードレス電話の携帯端末と同程度のサイズのハンドヘルドの端末を用い世界中のどこへでも、またどこにいても通信を行なうことが可能なグローバルパーソナル通信を目指したものである。これらシステムでは、低軌道周回衛星、マルチスポットビーム、衛星間中継、オンボードプロセッシング技術等未だ商用システムでの経験が少ない技術の採用が数多く想定されているが、これらシステムによる本格的なサービスは今まさに始まろうとしている。

本稿では、先ず 2 節で従来の移動体通信システムの技術的特徴をインマルサットシステムを例に取り説明する。次に 3 節ではパーソナル衛星通信システムの役割について述べ、4 節ではこれまでに提案されているパーソナル衛星通信システムの分類と、これらシステムの今後の発展動向について説明する。5 節では、これらパーソナル衛星通信システムで想定されている新しい衛星通信技術について説明し、6 節では現在開発が進められている主なパーソナル衛星通信システムについて紹介する。

## 2. インマルサットシステムの現状[5]

航行中の船舶への安定した通信サービスの提供を目的に 1979 年に開始されたインマルサットサービスは順調な発展を遂げ、1998 年 3 月現在で加盟国は 72 ケ国、船舶ターミナルを中心とする移動地球局数は約 100,000 台に達している。世界有数の海運国である我が国は、インマルサット加盟国の中で米国、英国に次いで第 3 番目の出資率を維持しており現在、約 2,000 隻の日本船籍がインマルサット標準-A システムと呼ばれる船舶地球局を搭載して音声、テレックス、ファックス等の高品質な通信サービスを利用している。当初、遭難安全通信を含めたグローバルな海事衛星通信サービスの提供を目的に開発された、アナログ方式をベースとしたインマルサット第 1 世代のシステムでは、近年の多様化した移動通信市場の要求に対応しきれなくなってきた。また、移動体衛星通信サービスの需要が航空機、自動車等の海事通信以外へと広がってきたことを背景に、インマルサットでは海事、陸上、航空衛星通信をカバーする総合的な移動体衛星通信サービスを提供するためにデジタル方式を採用した第 2 世代の標準システムの導入並びに開発を積極的に進めている。

本節では、先ずインマルサットシステムが採用している移動体衛星通信システムの構成と各要素の働きについて述べ、次にインマルサットが既にサービスを提供しているインマルサット第 2 世代のデジタル標準システムの技術的特徴を中心に紹介する。

### 2.1 システムの構成

インマルサットは現在、太平洋、インド洋、大西洋東及び西海域上にサービスエリアを持つ 4 機の静止衛星を利用し、グローバルな移動体衛星通信サービスを提供している。現在インマルサットシステムが海事、航空、陸上移動体衛星通信用として利用できる周波数は、図 1 のよう

に配分されている。

現在インマルサットが提供しているサービスとしては、標準-A システムを用いた船舶通信サービス、標準-Aero システムを用いた航空通信サービス、標準-C システムを用いた海事及び陸上を対象とした低速度データ通信サービスと、標準-A の後継システムである標準-B と海事及び陸上を対象とした標準-M システム、並びに標準-M の後継システムである標準 Mini-M システムと衛星ページャサービスを目的とした標準-D システムの7種類である。ここで、標準-A システムは、インマルサット設立当初から運用されているアナログシステムでありインマルサット第1世代システムと位置付けられる。また、標準-Aero、標準-C、標準-B、標準-M、標準 Mini-M 及び標準-D システムは、全てデジタル方式を採用したシステムでありインマルサット第2世代システムと位置付けられる。以下、これらデジタル標準システムの持つ技術的特徴を中心にインマルサットシステムの現状について紹介する。

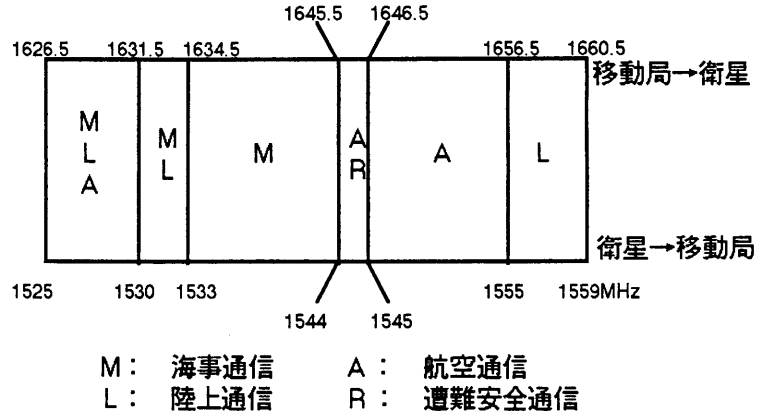


図1 インマルサットシステムの周波数

2.2 各構成要素の働き

インマルサットシステムでは、第1及び第2世代システムとも基本的には、図2に示すようなシステム構成により運用されている。使用周波数帯は、移動地球局の上り／下り回線用として1.6/1.5GHz帯のLバンドを、移動地球局と陸上公衆通信網を接続する陸上地球局上り／下り回線のフィーダーリンクとして6/4GHz帯のCバンドをそれぞれ利用している。

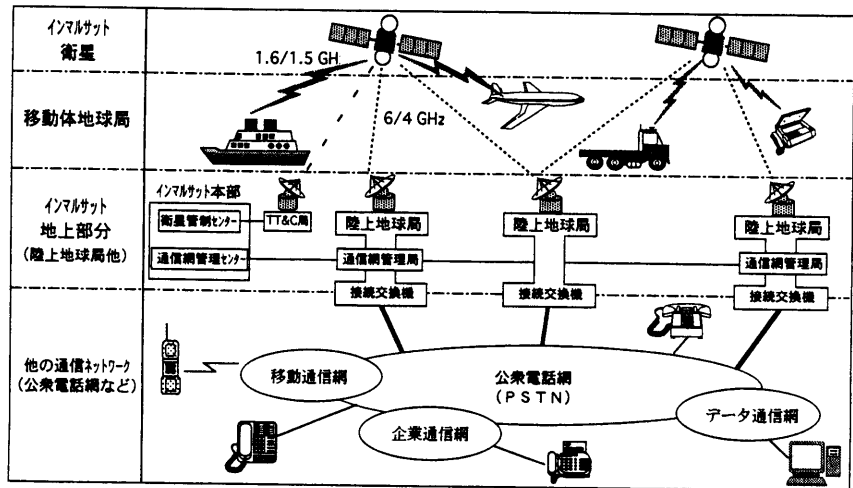


図2 インマルサットシステムの構成

インマルサットシステムの構成要素としては、図2に示したように大きく分けて(1)衛星、(2)移動地球局、(3)陸上地球局、(4)通信網管理局、(5)運用管理センター、(6)衛星管制センターの6つの要素からなる。以下、各構成要素の働きについて順次説明する。

(1) 衛星

インマルサット衛星は、船舶、飛行機等広範囲の移動性を有する移動地球局に対して、安定した移動体通信サービスを提供することが要求されている。そのためサービスエリアは全世界にわたる広い地域をカバーする必要があり、また大西洋海域の大きな通信需要に対処するために、現在インマルサットシステムでは、図3に示すように太平洋、インド洋、大西洋東と西の海域をカバーする4海域衛星運用が行なわれている。これにより、南北の極地方の一部を除き世界のほとんど全ての海域、空域、陸上

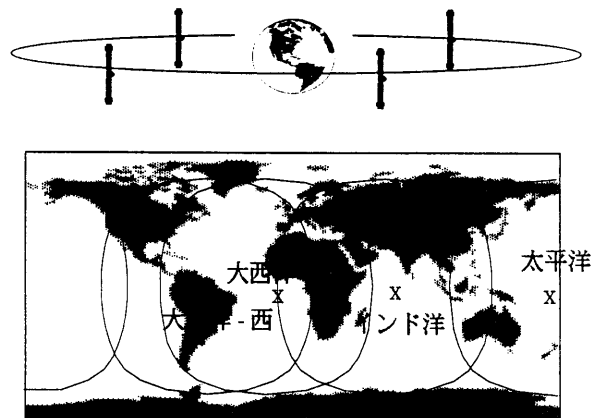


図3 4海域衛星運用による衛星カバレッジ

域においてインマルサットサービスを楽しむことができるような構成になっている。インマルサットサービスは、初期においてはインマルサット独自の衛星を持たず外部より衛星をリースして運用されてきた。マレックス衛星を欧州宇宙機関から、インテルサットV号衛星に搭載されているMCS(Maritime Communications Subsystems)をインテルサットから、マリサット衛星を米国コムサット社からそれぞれリースしてきた。これに対し1990年に始めて、インマルサットが独自に所有する第2世代衛星を打ち上げた。その後、移動通信への需要の増加並びに端末の小型化の要望に応えるために、これまでのグローバルビームの他にスポットビームを有する第3世代衛星を1996年より順次打ち上げ、現在4海域上でそれぞれ現用衛星として運用されている。第2世代衛星は、第1世代衛星と比べ3~4倍のチャンネル容量を達成することが可能な衛星電力を持つ。現在運用中の第3世代衛星は、衛星ビームとしてグローバルビームの他に、特に通信需要の大きい地域をサポートするために、図4に示すようなスポットビーム機能を持つことを特徴としている。スポットビームの衛星電力は、これまでのグローバルビームと比べ非常に大きく、チャンネル容量の増加並びに海事、航空、陸上衛星通信用移動地球局の低価格化、軽量化、小型化を可能とするものである。表1にインマルサットの各世代の衛星の性能比較を示す。

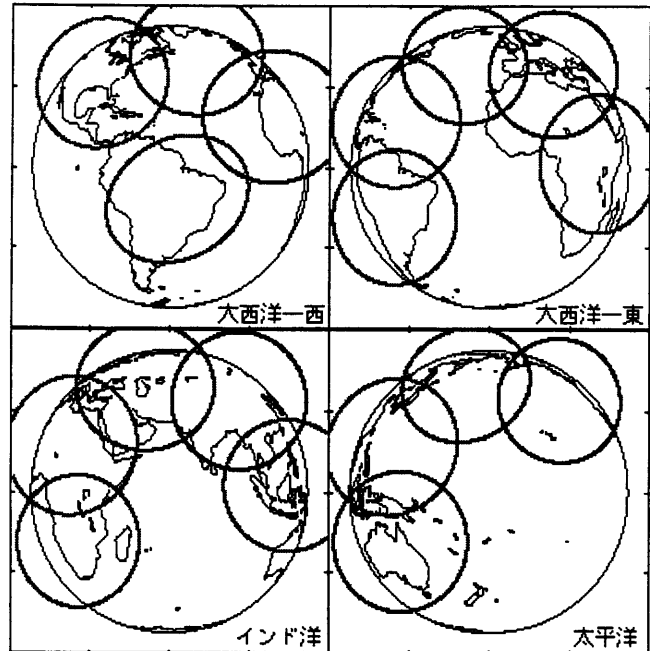


図4 インマルサット第3世代衛星のスポットビーム構成

表1 インマルサット衛星の比較

世代	第1世代衛星			第2世代衛星	第3世代衛星
衛星名	MARISAT	MCS	MARECS	INMARSAT - 2	INMARSAT - 3
打上げ時期	1976	1982 - 1984	1982 - 1984	1990 - 1992	1996 -
所有者	Comsat	INTELSAT	ESA	INMARSAT	INMARSAT
製造業者	Hughes Aircraft	Ford Aerospace	British Aerospace	British Aerospace	Lockheed Martin
姿勢制御	スピン	3軸	3軸	3軸	3軸
衛星ビーム	グローバル	グローバル	グローバル	グローバル (成形)	グローバル /スポット
衛星EIRP	24.5 dBW	31.8 dBW	33.5 dBW	39 dBW	39 / 48 dBW
周波数帯域幅 (上り/下り)	4 / 4 MHz	7.5 / 7.5 MHz	5.5 / 5 MHz	23 / 18 MHz	34 / 34 MHz
回線容量 (標準A換算)	12回線	30回線	40回線	125回線	1000回線
設計寿命	5年	7年	7年	10年	13年

## (2) 移動地球局

移動地球局(MES: Mobile Earth Station)は、原則として船舶、航空機、自動車等に搭載される地球局であり、衛星及び海岸地球局を介して陸上の加入者との間で電話、データ、FAX等の通信を行なうことができる。ここでMESは、通常自動車、船舶、航空機等に設置される比較的大きな移動端末を意味し、3節で述べるパーソナル衛星通信システムで想定されているようなハンドヘルドの移動体端末(PES: Personal Earth Station)とは区別されている。MESは、通常の利用法である移動体に設置される地球局として、あるいは可搬型地球局として利用されている。各標準システムにおける移動地球局の詳細な仕様については、2.4節で述べる。

## (3) 陸上地球局

陸上地球局(LES : Land Earth Station)は、陸上にあつて衛星を介して移動地球局と対向し、既存の公衆通信網と移動地球局との接続を行なう機能を有する。図 2 に示すように、移動局と陸上公衆通信網間の通信は、全て LES を介して行なわれる。LES の建設、管理は一般にインマルサット署名当事者にまかされている。現在、全世界で 30 局以上の LES が運用されている。ここで LES は、陸上系移動体通信システムの基地局(BS : Base Station)に相当する。

## (4) 通信網管理局

インマルサットシステムでは、上で述べたように 1 海域で複数の LES が運用されるため、限られた周波数を効率的に利用することが可能なデマンドアサイメント方式による回線割当制御を集中的に実行する特別な局が特定の LES に併設されている。本地球局は、通信網管理局(NCS : Network Coordination Station)と呼ばれ各海域に 1 局ずつ設置されている。

## (5) 運用管理センター

運用管理センター(OCC : Operation Control Center)は、インマルサットシステムの全体の運用を統括するもので、現在英国ロンドンのインマルサット本部内に設置されている。運用管理センターと 4 海域それぞれに 1 局ずつ設置されている NCS との間は専用線で接続され、24 時間体制で常時システムの集中管理統制を行なっている。

## (6) 衛星管制センター

衛星管制センターは、衛星の運用管理を目的として、インマルサット第 2 世代衛星の運用開始に伴い 1990 年にインマルサット本部内に設置された。衛星管制センターと各海域の衛星を実際に監視、制御する TT&C(Tracking, Telemetry and Command)局との間は専用線で結ばれ 24 時間体制で全海域上の衛星の集中管理を行なっている。

## 2.3 回線制御

インマルサットシステムでは、図 1 に示したように移動体衛星通信用として使用できる周波数帯域が少ないことから、限られた周波数を効率的に利用するために、呼ごとに一括管理されているチャンネルの中から割り当てるデマンドアサイメント方式を採用している。また、インマルサットシステムで利用されている多元接続方式としては、衛星電力及び移動地球局の送信電力に制限があり、通信量の小さい多数の移動地球局 MES から構成されるシステムに適した SCPC(Single Channel Per Carrier)方式が主に利用されている。移動地球局から陸上公衆通信網への電話、FAX 通信等の回線設定手続きを図 5 を用いて以下に説明する。

[ステップ 1] : 移動地球局 MES からリクエスト信号により回線設定要求が陸上地球局 LES に送信される。[ステップ 2] : LES では、回線割当要求を通信網管理局 NCS にし、[ステップ 3] : NCS では呼毎に回線の割当を行ない、SCPC チャネル周波数等の回線割当情報を LES 及び MES に知らせる。[ステップ 4] : これにより、LES と MES との間で通信が開始される。[ステップ 5] : 通信が終了すると LES から NCS に通信が終了したことを連絡し、使用されていた SCPC チャネルが開放される。

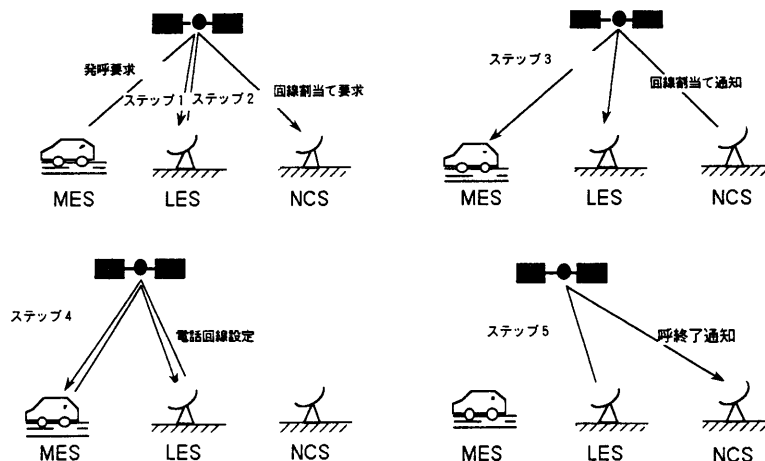


図 5 電話回線設定シーケンス

## 2.4 インマルサット標準システム

インマルサットが提供しているサービスとしては、現在海事、航空、陸上移動体衛星通信サービスがあり、それぞれ以下に示す標準システムが現在運用中である。表 2 にこれら標準システムの主要緒言を示す。また、以下にこれら標準システムの持つ技術的特徴を中心に説明する。

- (a) 海事通信サービス：標準-A, B, C, M, Mini - M, D
- (b) 航空通信サービス：標準-Aero, 標準 - C
- (c) 陸上通信：標準-C, M, Mini - M, D

表 2 インマルサット標準システムの主要諸元

標準システム	標準 - A	標準 - B	標準 - C	標準-Aero	標準 - M	Mini - M	標準 - D
サービス対象	海事	海事	海事/陸上	航空	海事/陸上	海事/陸上	海事/陸上
サービス開始	1976年	1993年	1991年	1990年	1993年	1996年	1996年
主要提供サービス	音声/TELEX/FAX	音声/TELEX/FAX/データ	蓄積型データ	音声/FAX/データ	音声/FAX/データ	音声/FAX/データ	無線呼び出し
音声符号化率	(FM)	16 kbit/s	—	9.6 kbit/s	6.4 kbit/s	4.8 kbit/s	—
端末性能指数 (G/T)	- 4 dBK	- 4 dBK	- 23 dBK	- 13 dBK - 26 dBK	- 10 dBK(M) - 12 dBK(L)	- 15 dBK(M) - 17 dBK(L)	- 25 dBK
端末EIRP	36 dBW	33 dBW	16 dBW	23 dBW 14 dBW	27 dBW(M) 25 dBW(L)	17 dBW	—
アンテナ形式	パラボラ	パラボラ	ヘリカル	フェーズドアレイ	パッチ	パッチ	ホイップ
アンテナ利得	20 - 23 dBi	20 - 23 dBi	0 - 3 dBi	12 dBi 0 dBi	14 dBi (M) 12 dBi (L)	10 dBi (M) 8 dBi (L)	2 dBi
キャリア間隔	25 / 50 kHz	20 kHz	5 kHz	17.5 kHz	10 kHz	5 kHz	5 kHz

### (1) 標準-A システム

標準-A システムでは、シグナリング信号及びテレックス信号の伝送は、デジタル化されているものの、音声信号の伝送はアナログ FM 方式であり、アナログ、デジタル方式混成となっている。標準-A システムは、インマルサット設立当初より船舶への音声、テレックス、FAX 通信用として運用されており、既に 20 年近くを経ている。近年、標準-A システムは、船舶に設置する移動地球局と言う通常の利用法でなく、地球局装置そのものをスーツケース等に収納し、持ち運び現地で組立て利用する図 6 に示すような可搬型地球局としての利用法が、通信インフラの未整備な地域や通信手段の途絶した災害、被災地域等で多く用いられている。

### (2) 標準-C システム

標準-C システムは、小型漁船やレジャーボートなどの小型船舶及び長距離トラック等への搭載を狙って、小型、軽量、低価格化を目指して開発された標準システムである。移動地球局 MES のアンテナは、小型な衛星追尾機能を持たない無指向性アンテナを用いている。提供するサービスとしては、情報伝送速度 600bps 以下の双方向の蓄積型メッセージ通信及び安全情報やニュースなどの情報を陸から MES 方向へ送信する放送型情報伝送サービス(エンハンスグループコール)を主体としており 1991 年から海上、陸上移動体通信用として世界各国で導入が開始された。標準-C ターミナルは、図 6 に示すように持ち運びが便利な可搬型地球局としての利用法も考えられている。また本システムは、1992 年 2 月よりスタートした全世界規模の海上遭難安全通信システム(GMDSS:Global Maritime Distress and Safety System)における義務設備として認められている。

### (3) 標準-Aero システム

航空機と地上間の通信は、従来から HF 帯や VHF 帯により業務用通信(音声、データ)が提供されているほか、近年は UHF 帯による公衆電話サービスも米国、日本において実用化されている。しかしながらこれらシステムでは、地上に設置された基地局と航空機との間を直接無線回線で接続されるためにサービスエリア、通信品質の点で問題があるため、衛星を用いて高品質なグローバル通信を提供するための検討が活発に行なわれてきた。インマルサットでは、これら需要に対処するために標準-B システムの原型となったデジタル伝送システムをベースにして設

計、開発、実用化が進められた。我が国においては1990年末からデータ通信サービスが、また1991年秋から一般旅客を対象とした音声通信サービスが一部の国際線旅客機において提供されている。

#### (4) 標準-Bシステム

インマルサットでは、アナログタイプの標準-Aシステムの後継システムとしてデジタル方式を用いた標準-Bシステムを開発した。本システムは、船舶用アンテナとRF設備はAシステムとほぼ同じものが利用されるが、Aシステムに無い新しい機能を多く持ち、しかも衛星電力及び周波数利用効率の優れた方式である。新しい機能としては、データ通信サービス(9.6kbps)の強化、グループコール機能の強化、ネットワーク構成(シグナリングチャネルの周波数変更)の変更が柔軟かつ何時でも行なえる機能等が上げられる。標準-Bシステムの本格的商用サービスは、1993年より開始されている。一方、標準-Bシステムは高速データ通信サービス(64kbp)を持ち運びが便利な図6に示すように可搬型地球局で提供するサービスとしても利用されている。

#### (5) 標準-Mシステム

標準-Cシステムは、上で述べたようにポータブルで低価格なターミナルを用いた移動体衛星通信サービスを提供することができるが、サービスメニューとしては低速度の(600bps)データ通信に限られている。標準-Cシステムは、ユーザの要求の一部を満足させるシステムと言えるが、ポータブルなターミナルでデータ通信の他に音声通信機能も併せ持つシステムの実現を望むユーザの声も大きかった。標準-Mシステムは、このような要求に答えるために開発されたシステムである。標準-Mシステムは、Cシステムと同様に海事衛星通信に加え、潜在的に大きな通信需要が見込まれる陸上衛星通信への参入を目指したシステムである。標準-Mシステムの構成は、基本的にはBシステムでの伝送速度24kbpsを8kbpsにスケールダウンしたシステムと言える。伝送速度を低くすることにより、移動地球局の小型化及び衛星電力、周波数の有効利用を図っている。音声符号化速度は、Bシステムの16kbpsに対して6.4kbpsであり、FAX及びデータ通信の情報速度は9.6kbpsに対して2.4kbpsとなっている。標準-Mシステムの端末は、図6に示すような可搬型地球局としての利用がほとんどである。標準-Mシステムは、1993年から商用サービスが開始されている。

#### (6) 標準Mini-Mシステム

標準Mini-Mシステムは、標準-Mシステムの後継システムであり、音声と低速のデータ通信が可能であり、端末サイズは図6に示すようなA4ノートブックパソコン程度で実現している。音声符号化速度は4.8kbpsで、FAXの伝送速度は2.4kbpsである。端末の小型化は、伝送速度の低速化と衛星電力の大きなスポットビームの採用により可能としている。即ち、標準Mini-Mシステムの端末は第3世代衛星のスポットビームの利用を前提としており、図4に示した第3世代衛星のスポットビームのサービスエリアから分かるように、大きな通信需要が見込まれている世界の陸上地域と沿岸地域をカバーする目的で開発されたシステムと言える。本システムは、1996年よりサービスを開始しており、全世界で利用されている端末数は現在2万台以上に達している。







標準システム	標準-A	標準-B	標準-C	標準-M	Mini-M	標準-D
						
質量	25 kg	20 kg	4~5 kg	10~12 kg	2.5 kg	300 g
端末サイズ	スーツケース	スーツケース	A4ノート	アタッシュケース	A4ノート	ハンドヘルド
送信機出力	40W	20W	10W	20W	5W	—
サービス開始時期	1982年	1991年	1992年	1993年	1995年	1996年

図6 インマルサット可搬型地球局の主要諸元

### (7) 標準-D システム

標準-D システムは、図6に示すようなハンドヘルドの端末を用いたグローバル衛星ページングサービスの提供を目指して開発されたものである。利用者は、ビジネス海外旅行者あるいは標準-M, Mini-M 可搬型地球局のページャ（呼び出し）機能として利用されている。本システムは、1997年より商用サービスを開始したが、呼び出し成功率は陸上で利用しているポケットベルと比べると格段に落ちることから標準-D<sup>+</sup>（プラス）と呼ばれる受信確認機能を持つ端末も導入されている。

## 3. パーソナル衛星通信システムの役割

これまでの移動体衛星通信システムは、いずれも地上 36,000 キロの上空の静止衛星軌道を用いていたが、静止軌道が混雑してきたこと、伝送遅延が大きいこと（静止衛星軌道の場合 260ms 程度）、限られた衛星電力をより有効に利用したい等の理由により、低高度の周回衛星軌道を用いた衛星通信システムが注目されてきた。周回衛星を用いたシステムは、基本的にはグローバルシステムであり、海上、航空、陸上の世界中のどこにいても共通仕様のハンドヘルドの端末を用いて通信することが可能である。現在、移動体通信サービスの最も大きなマーケットは陸上であり、これら需要を満たすためにセルラーシステムに代表される陸上系移動体通信システムの開発が積極的に進められている。陸上系セルラーシステムでは、移動端末と基地局間の無線回線の距離は長くても数十 km 程度であるのに対し、衛星系のシステムでは低軌道衛星を用いた場合でも 1,000km 程度ある。従って陸上系システムでは、回線設計上での信号電力マージンを衛星系に比べ格段に大きく取ることができる。従って陸上系システムは、信号の透過性及び通信の信頼性の点で衛星系に比べ格段に優れている。しかしながら、陸上系システムでは、一つの基地局でカバーすることができるエリアが衛星通信の場合に比べ非常に狭く、広い地域をカバーするためには非常に多くの基地局を設置する必要がある。従って、陸上系システムは通信需要の大きい都市部あるいは高速道路等の基地局を設置して採算の取れる地域のみを対象としたシステムと言える。図7に

世界における携帯電話のサービスエリアを示す。図7より、携帯電話のサービスエリアは通信需要の大きい先進国に限られていることが分かる。また、携帯電話サービスがカバーされていない地域が開発途上国を始め非常に多く残されていることが分かる。これに対し、衛星を用いた移動体通信システムの役割は、そのサービスエリアの広域性を利用し、通信需要が小さく陸上系システムでは採算の取れないような遠隔・過疎地域に対する移動通信サービスの提供並びに発展途上国のように通信設備の完備していない地域での迅速な通信サービスの提供が期待されている。以上述べたような衛星及び陸上移動体通信システムのサービス適用領域の関係を図8に示す[6][7]。このように移動体衛星通信サービスは、陸上系サービスと競合すると言うよりも、互いに補う形で今後益々発展していくことが予想されている。

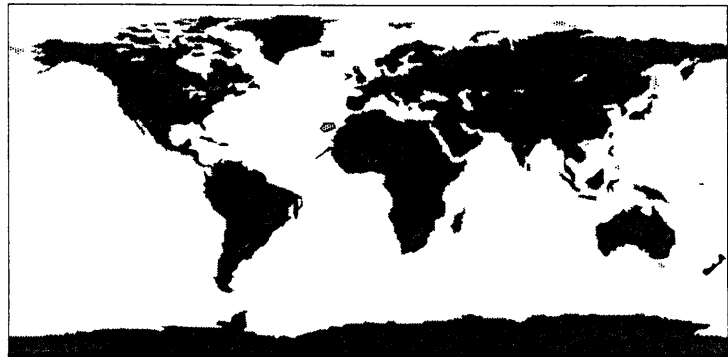


図7 陸上セルラーシステムのサービスエリア

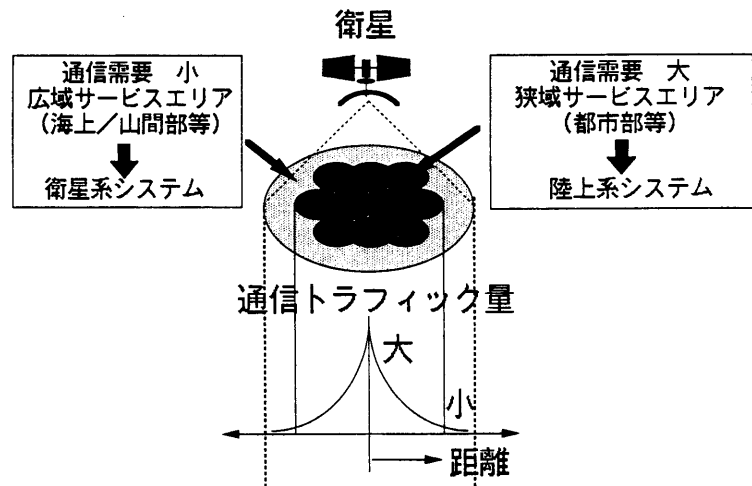


図8 陸上/衛星移動体通信サービスの適用領域



#### 4. パーソナル衛星通信システムの分類と発展動向

パーソナル衛星通信システムとは、携帯端末のような小型端末の利用が可能で、一般利用者を対象としたシステムである。また、これまでの衛星通信が、静止衛星軌道を利用しグローバルビームあるいは数個のスポットビームで提供されていたのに対して、パーソナル衛星通信システムでは、静止軌道の他に低軌道あるいは中軌道の非静止衛星軌道を採用し、衛星当たり数十個以上のマルチスポットビームを採用していることを特徴としている。衛星アンテナにマルチスポットビームを採用することにより、移動端末の小型化を可能としている。現在、開発が進められているパーソナル衛星通信システムを分類すると表3のようになる。また、図9には現在運用中のシステムと開発中のパーソナル衛星通信システムとの関係について示す。図10には、これらシステムで利用される端末の形態（移動性）と利用可能な伝送速度の関係について示す。現在運用中で、音声並びに低速のデータ通信をサービスメニューとした移動体衛星通信システムとしては、図9に示すように全世界規模で提供されているインマルサットシステムと、N-STAR（日本）、AMSC（米国/カナダ）、OPTUS（オーストラリア）等の地域サービスを対象としたものがある。これらシステムの端末サイズは、最小なものでもノートパソコン程度のポータブルタイプであり、端末価格も高価なことから利用者の数は限られているのが現状である。これに対して、図9に示すように今世紀の終わりから21世紀の初頭にかけて順次導入が計画されているBig LEO, Super GEO, Little LEO と呼ばれるシステムでは、携帯端末の利用を可能とし一般利用者を対象としている事から利用者の数は飛躍的に拡大されることが予想されている。

表3 パーソナル衛星通信システムの分類

	LITTLE LEO システム	SUPER GEO システム	BIG LEO システム	マルチメディア 衛星通信システム
サービス メニュー	蓄積型メッセ ージ通信	音声/FAX/ データ	音声/FAX/ データ	高速データ通信 マルチメディア
対象地域	グローバル	地域限定	グローバル	地域/グローバル
衛星軌道	非静止軌道	静止軌道	非静止軌道	静止/非静止軌道
周波数	140/400 MHz	1~3 GHz	1~3 GHz	14/11 GHz 30/20 GHz
開発中の主 なシステム	ORBCOMM LEO ONE FAISAT E-SAT VITA GEMNET	ASC AMPT ACeS EAST THURAYA	ICO IRIDIUM GLOBALSTAR ELLIPSO Constellation	ASTROLINK SKYBRIDGE SPACEWAY TELEDESIC EXPRESSWAY GE*STAR

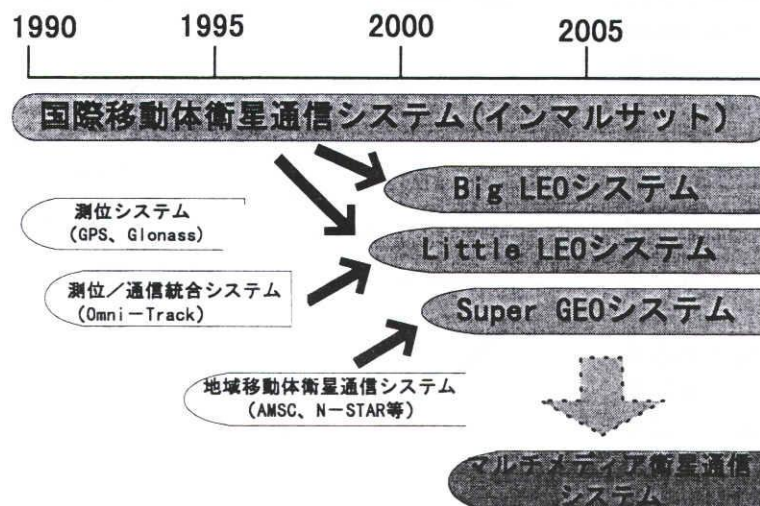


図9 パーソナル衛星通信システムの発展動向

ここで、Big LEO と Super GEO とは、両者とも音声通信を主要な提供サービスとするグローバルシステムと地域限定システムである。これに対して、Little LEO とは低速のデータ通信のみを提供するシステムである。一方、厳密には移動体衛星通信サービスの範疇ではないが、伝送速度 45Mbit/s 程度までのマルチメディアサービスを、一般利用者に小型アンテナを介して提供されるマルチメディア衛星通信システムの開発も米国を中心に積極的に進められている。

これら将来動向に対して、現在グローバルサービスを唯一提供しているインマルサットでは、21 世紀での生き残りをかけて、PMC(Personal Multimedia Communications)システムの検討を進めている。PMC は、図 10 に示すように将来とも他のシステムではカバーされないサービスギャップを狙ったものであり、「何時でも、どこでもオフィス環境の提供」を目指している。端末は、持ち運びが便利なノートパソコン程度を想定し、514kbit/s 程度までの ISDN、インターネットサービスの提供を考えている。

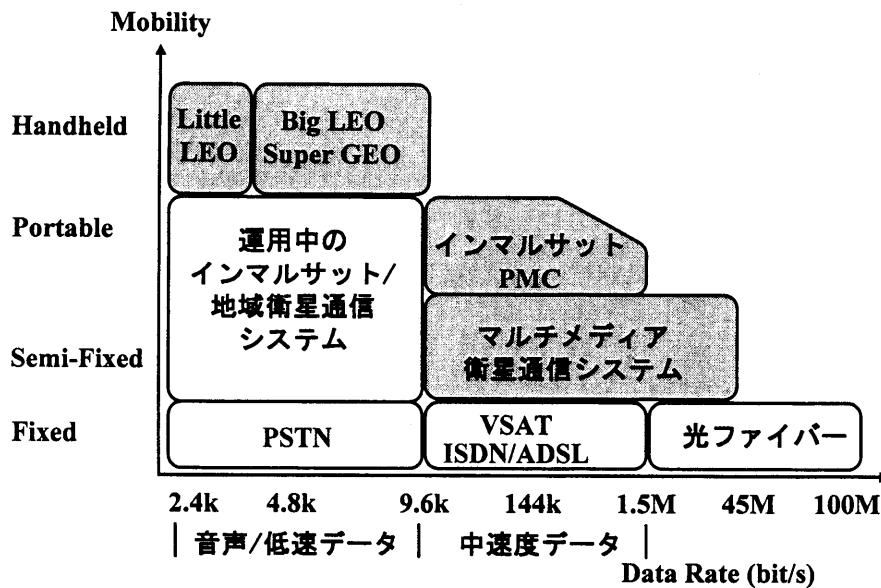


図 10 端末の移動性と伝送速度の関係

5. パーソナル衛星通信システムの技術的特徴[8][9]

本節では、表 3 に示したような種々のパーソナル衛星通信システムで利用されることが想定されている新しい伝送技術、ネットワーク技術等について紹介する。

5.1 パーソナル衛星通信システムの伝送技術

現在の衛星通信サービスは、ごく一部の特殊サービスを除いて主に静止衛星が利用されている。これは、赤道上空 36,000km の静止衛星軌道上から地球を見た時、全地球表面の約 1/3 をカバーでき、基本的には 3 個の衛星で南北の極地域を除く全世界をカバーすることが可能であること、かつ衛星は地球から見た時静止して見えることから、地球局アンテナの衛星追尾機能が容易である点が上げられる。これに対し周回衛星としては、図 11 に示すように楕円軌道あるいは円軌道で地球の赤道に対してある傾斜角を持つ傾斜軌道、傾斜角 90 度の極軌道等が考え

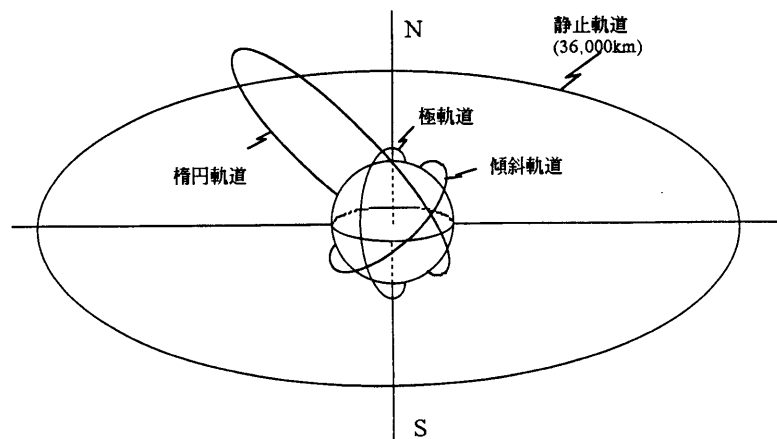


図 11 種々の衛星軌道

られている。周回衛星の高度としては、500～2,000km 及び 10,000km 以上の範囲が通常利用される。これは、衛星高度が 500km 以下だと完全な真空状態でなく衛星搭載機器の酸化による腐食が問題となり、高度 2,000～10,000km の間にはバンアレン帯と呼ばれる強い磁気層が存在し衛星機器に影響があるためである。また、通常高度 500～2,000km の周回衛星は低軌道衛星 (LEO : Low Earth Orbit)、高度 10,000km 以上のものは中高度衛星 (ICO : Intermediate Circular Orbit) と呼ばれている。これら周回衛星軌道と従来の静止衛星軌道の比較を図 12 に示す。周回衛星の高度に対する衛星の公転周期と可視時間の関係を図 13 に示す。衛星の公転周期とは、衛星が地球を一周する時間であり、最大可視時間とは地球のある地点である衛星を見ることが出来る時間である。図 13 より、高度 1,000km の周回衛星の公転周期は約 90 分で有り、最大可視時間は約 15 分であることが分かる。これは、地球から見ると衛星は時速数万 km で移動することになり、地球局アンテナは常時衛星を高速度で追尾することが要求される。また、図 12 から分かるように、一つの周回衛星がカバーする地球上のエリアは狭く、これが時間と共に移動することになる。従って、全世界を隙間なく常時カバーするためには多数の周回衛星が必要となる。また、通信中に移動端末から見える衛星が順次切り替わることから、通信回線を切り替える操作であるハンドオフが必要となる。ハンドオフに際しては、無瞬断で通信回線を切り替えることが望まれるが、そのためには複雑な制御が要求されることになる。周回衛星を用いたシステムの利点としては、衛星高度が低いことから伝搬遅延時間が小さいこと、地球の極上空を衛星が周回することから極地域での通信を可能とすることがあげられる。

一方静止衛星システムでは、これまでに商用ベースで実用化された実績の少ない以下に述べるような衛星通信技術が、周回衛星を用いたパーソナル衛星通信システムでは積極的に利用されようとしている。

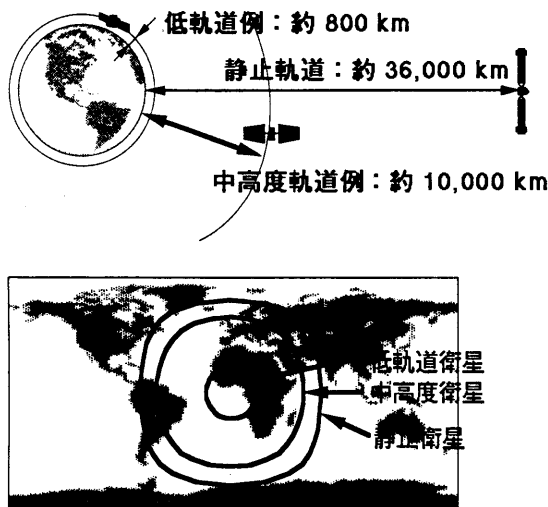


図 12 周回衛星軌道と静止衛星軌道の比較

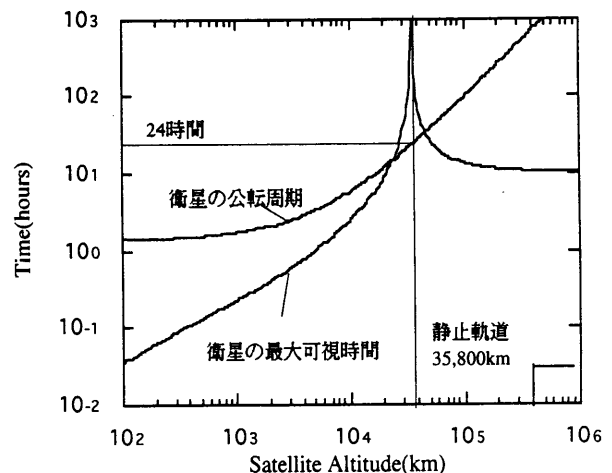


図 13 衛星の公転周期と可視時間

#### (1) マルチビーム衛星

パーソナル衛星通信システムで利用される回線は、一般に衛星送信電力が小さいこと、移動端末のアンテナ利得が小さいことから電力制約的な回線である。これを緩和する一つの手法としてマルチビーム衛星が考えられている。マルチビーム衛星システムでは、大型の衛星アンテナを用いて地上への電波のビーム幅を狭め、地上での受信信号電力を大きくしようとするものである。図 14 に示すように衛星からの送信電力  $P$  を一定にし、衛星アンテナのビーム幅  $\theta$  を狭め地表でのビーム照射面積を  $S_1$  から  $S_2$  にすれば、地表面での電力束密度  $PFD$  ( $=$  送信電力  $P$  / 照射面積  $S$ ) を  $S_1/S_2$  倍にすることができる。このようにサービスエリアを受信信号電力の大きな複数のスポットビームでカバーする衛星をマルチビーム衛星と呼ぶ。マルチビーム衛星による地表での受信信号電力の改善は、移動端末のアンテナ径の小型化につながり陸上系セルラーシステムで利用されている携帯端末と同程度のサイズのパーソナル地球局 (PES : Personal Earth Station) の利用を可能としている。しかしながら、衛星アンテナビーム幅とアンテナ直径とは次式の関係があり、スポットビーム化のためには大型な衛星搭載アンテナが要求される。

$$\text{アンテナビーム幅} \propto 1 / (\text{周波数} \cdot \text{アンテナ直径})$$

ここで、マルチビーム衛星を静止軌道上及び低軌道上で実現する場合を比較してみる。図 15 に示すように、同じ照射面積を実現するためには、静止軌道上の衛星アンテナのビーム幅は、低軌道衛星の場合よりも狭くする必要があり、大きなアンテナ直径が必要なことが分かる。例えば、地表での直径が 400km のスポットビームを高度 36,000km の静止軌道衛星あるいは高度 1,000km の低軌道衛星で実現するためには、衛星アンテナビーム幅はそれぞれ  $0.63^\circ$ 、 $22.6^\circ$  となり、上式の関係よりアンテナ径の比は約 35 倍となることが分かる。これは、地表上で同じ受信信号電力を得るために、衛星高度差による信号電力の自由空間伝搬損失分をアンテナ利得（アンテナ直径）差で補っていることと等価である。このように、静止軌道上でマルチビーム衛星を実現するためには、衛星搭載アンテナを非常に大きくする必要があり、また、一つのスポットビームの照射領域を小さくすると、静止衛星の広いサービスエリアをカバーするために非常に多くのスポットビーム数が必要となり、これに伴い衛星搭載機器の規模が増大し衛星製作・打ち上げが困難となる。これに対し、低軌道衛星の場合には図 15 に示した関係から比較的小さな衛星搭載アンテナで、地表での大きな受信電力を達成できる。また、低軌道であることから、衛星からの可視領域も小さく、1つの衛星で必要となるスポットビームの数も少なく済み、このため衛星の規模も小さく衛星製作・打ち上げが容易と言う利点がある。但し、低軌道衛星の場合には、全世界を隙間なくカバーするためには多くの衛星を必要とし、静止軌道の場合とのシステム全体でのコストトレードオフが重要な問題になっている。

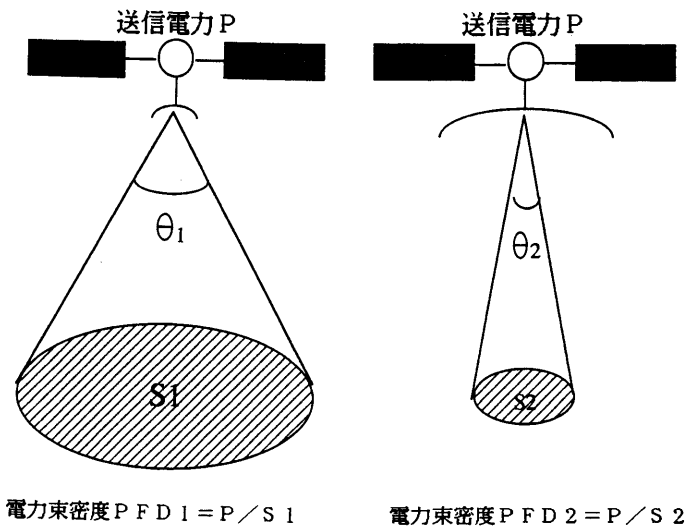


図 14 マルチスポットビーム衛星

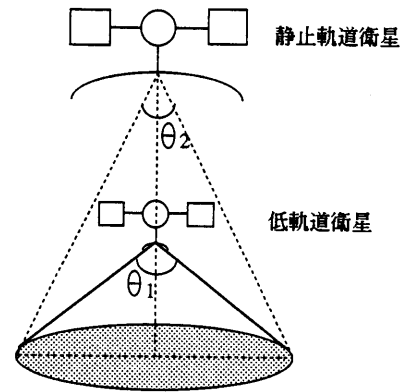


図 15 静止衛星と周回衛星アンテナの比較

(2) 周波数再利用

移動体衛星通信サービスに割り当てられている周波数帯域幅は、陸上系システムの場合と比べると狭く、周波数の有効利用もパーソナル衛星通信システムの実現に対して重要な問題となっている。複数のスポットビームから構成されるマルチビーム衛星は、周波数の繰り返し利用によるチャンネル容量の改善を図ることができる。周波数再利用によるチャンネル容量の改善は、陸上系セルラーシステムで広く利用されている技術であり、衛星スポットビームは陸上系システムのセルに相当する。但し、陸上系システムでは、セルの周波数繰り返し距離が電波伝搬の減衰特性により決定されるのに対し、衛星システムでは衛星アンテナの指向性識別度の大きさにより決定される。衛星システムでは、図 16 に示すように通常 2 ビーム間隔で周波数を再利用可能で有り、これは陸上系システムの 7 セル (A~G) を単位とした周波数繰り返し利用の場合と同じ構成となる。

マルチビーム衛星の周波数再利用によるチャネル容量の改善について述べる。例えば、衛星中継器への全割り当て周波数帯域幅を  $W$ 、多元接続方式として 1 チャネル当りの帯域幅  $B$  の SCPC 方式を想定すると、サービスエリアをグローバルビームの衛星でカバーする場合の 1 衛星当たりのチャネル容量は  $W/B$  チャネルとなる。一方、同じサービスエリアを 7 ビーム単位で周波数を繰り返し再利用する  $N$  個のスポットビームで構成されるマルチビーム衛星でカバーする場合、1 ビーム当りのチャネル容量は  $W/(7B)$  チャネルとなる。結局、 $N$  個のスポットビームから構成される衛星当たりの総チャネル容量は  $NW/(7B)$  チャネルとなる。従って、衛星のスポットビーム数  $N$  が周波数繰り返しビーム数 7 より大きい場合には、グローバルビームの場合と比べ周波数の有効利用が図れることになる。



図 16 マルチスポットビームの周波数再利用

(3) 衛星間中継方式

これまでの静止軌道を用いたシステムでは、一般に陸上地球局→衛星→陸上地球局のシングルホップ回線で構成されている。しかしながら、図 17 の点線で示すような地球の裏側への通信では、衛星を 2 ホップするダブルホップ回線の構成をとらざる得なかった。この場合、衛星回線の伝搬遅延がシングルホップでも 260ms あり、ダブルホップでの伝搬遅延は一般のユーザには許容しがたいものであった。従って、このような場合には衛星回線と陸上回線を併用して回線が接続されるのが通常であった。これに対し、衛星間中継方式 (ISL : Inter-satellite Link) の構想が古くから提案されていた。衛星間中継を用いると、図 17 の実実線で示すように地上→衛星→衛星→地上のルートにより地球の裏側への通信も可能となる。但し、これまでの静止衛星を用いた固定衛星通信サービスでは、ISL 導入に伴う衛星コストの増加、光ファイバケーブルの発展等の理由からこれまで商用システムとしての実現には至っていない。これに対し、低軌道衛星を用いたシステムでは、一つの衛星がカバーできる領域が狭いことから図 18 に示すように、衛星を複数ホップして相手先迄接続するか、シングルホップであれば全て陸線で接続することになる。複数の衛星ホップで接続する場合には、エンドーエンドでの信号品質の劣化や一通話のために多くの衛星回線が必要になると言う問題がある。一方、陸上回線を用いる場合には、全体の回線の中で陸上回線の占め

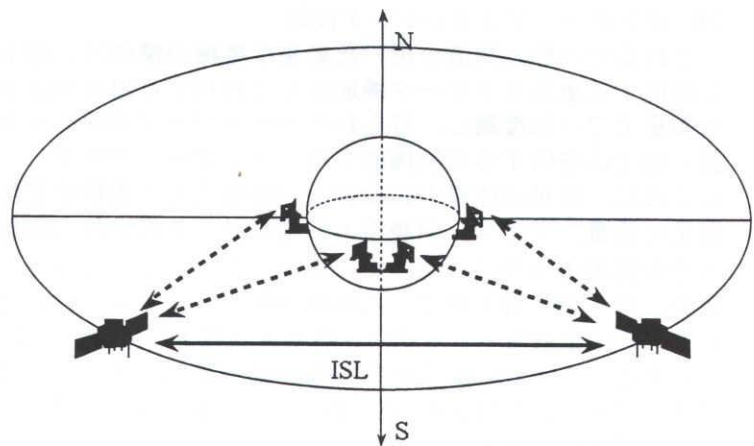


図 17 衛星間中継 (ISL)

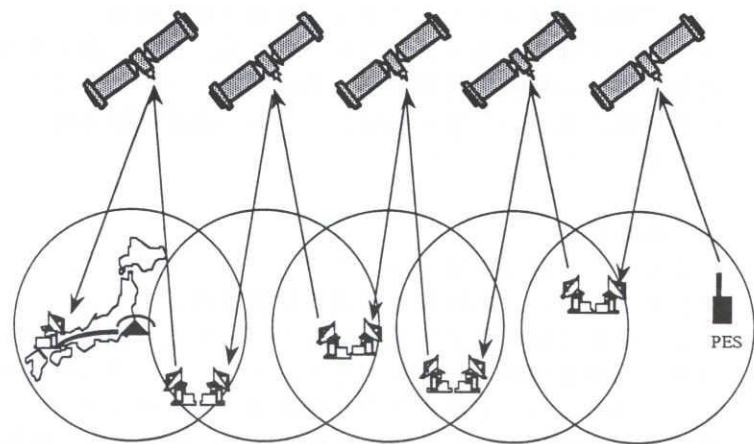


図 18 周回衛星を用いた場合の通信チャネルの構成 (衛星間中継なしの場合)

る割合が大きくなり結果的に通話料金が高くなるという問題がある。これに対し、図 19 に示すようにベースバンド再生中継を用いた ISL 方式を用いることによりこれら問題を解決することができる。また、低軌道衛星システムでグローバルサービスを保証するためには、非常に多くの陸上地球局を設置することが要求される。しかしながら、太平洋上やルーラル地域のような通信需要の少ない場所に陸上地球局を設置することは、物理的及び経済的に問題がある。これに対し、ISL 方式を利用すると 1 つの陸上地球局がカバーできるサービスエリアを大幅に広げることができ、太平洋上やルーラル地域へのサービスも可能となる。

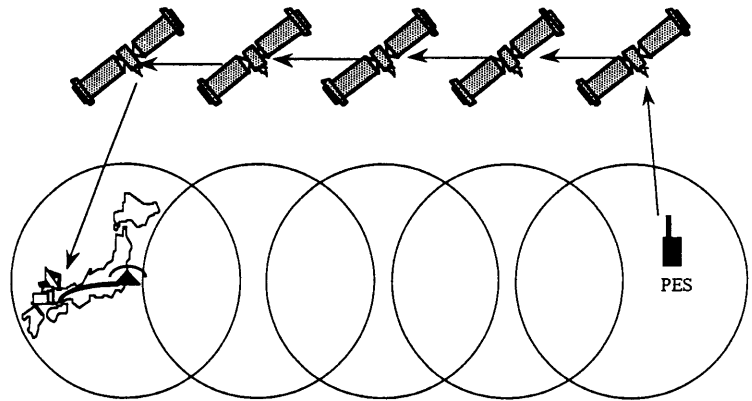


図 19 周回衛星を用いた場合の通信チャンネルの構成  
(衛星間中継ありの場合)

#### (4) オンボードプロセッシング技術

これまでの静止軌道を用いた衛星中継機の構成は、地上からの信号を衛星上で増幅し、地上に送信する単なるリピータ機能として利用する場合がほとんどであった。これに対し、古くから衛星上で一旦復調し、得られたベースバンド情報を行き先に応じてスイッチングし、再度変調し地上に送信する交換機能を持つオンボードプロセッシング方式が考えられていた。本方式によれば、衛星送信電力の改善及び衛星上での柔軟な交換機能が実現できるが、そのためには衛星の重量、サイズ、消費電力の増加と、それに伴う衛星打ち上げコストの増加から商用ベースでの実用化までには至っていなかった。しかしながら、上で述べたようなマルチビーーム衛星や、衛星間中継を想定した低軌道衛星システムでは、交換機能を持つオンボードプロセッシング方式は柔軟なネットワーク構成を実現するに当たり重要な技術となる。

以上述べたように、これまで静止衛星通信システムでは必ずしも必然性のなかったオンボードプロセッシング技術や ISL 技術が、低軌道衛星を用いた移動体衛星通信システムの実現のために注目されてきた。

### 5.2 パーソナル衛星通信システムのネットワーク構成

周回衛星を用いたパーソナル衛星通信システムのネットワーク構成は、移動地球局との通信が全て陸上地球局を介して地上公衆通信網と接続される。これは、静止衛星を用いた場合のネットワーク構成と基本的には同じである。但し、静止衛星システムでは必ずしも必要のなかった移動端末の移動管理機能が、周回衛星システムでは不可欠なものとなる。また、移動端末の位置情報に基づいた周回衛星システムの回線制御手順は、これまでの静止衛星システムの場合とは異なったものとなる。

#### (1) 移動管理

これまでの静止衛星を用いたネットワーク構成では、一つの衛星がカバーするサービスエリアが非常に広いと移動地球局の位置管理は一般には行なわれていなかった。インマルサットでは、現在 4 機の衛星で全世界をカバーする 4 海域運用を行なっている。従って、地上公衆通信網から移動地球局へ通信するためには、発信者は移動地球局の在圏する海域（衛星）をあらかじめ知っておく必要がある。例えば、インマルサットシステムで採用している陸側から移動地球局への通話のための番号計画は以下に示すように移動地球局の存在する海域番号 S を指定することになっている。

[ +AB - S - T - MID - XX · · · X ]

ここで、+はプレフィックスであり国毎に定められている国際回線に接続するために最初に設定する番号であり、例えば日本では 001 等が使用されている。AB はインマルサットサービスに割り当てられた番号であり電話通信の場合 87、テレックス/データ通信の場合 58 が使用される。S は海域番号であり、通話先の移動体地球局の在圏する地域（4 海域）により以下の番号が使用

されている。

- 大西洋西地域 : S=1
- 大西洋東地域 ; S=2
- インド洋地域 : S=3
- 太平洋地域 : S=4

T は、インマルサット標準システムの種類を示し、例えば標準 B システムは 3、標準 M システムは 6 が割り当てられている。MID は移動地球局の国籍を表し、XX・・・・X は移動地球局の識別番号を示す。

このように、これまでの静止衛星を用いたシステムでは、移動地球局の在圏する地域 S を発信者が指定する必要があった。しかしながら、図 3 に示すようにそれぞれの衛星のカバーするサービスエリアは非常に広く、発信者は予め移動地球局の位置する地域を容易に知ることができるためユーザにとって大きな不便はなかった。一方、静止衛星システムで必要な陸上地球局の数は、各海域に 1 局ずつあれば基本的には移動地球局から陸上地球局を介して地上通信網に、及びその逆の通信回線を設定することが可能である。これに対し、周回衛星を用いるシステムでは、世界中どこかの場所の移動端末へも通信サービスを提供するためには、非常に多くの陸上地球局が必要となる。また、ネットワーク側は、ある移動端末への着呼、発呼に際して、どの陸上地球局とどの周回衛星を介して通信すれば良いかを常時知っておく必要がある。これを移動端末の位置管理と呼ぶ。移動端末の位置管理は、陸上系システムでは一般に既に行なわれているものであり、移動端末は電源を入れた直後あるいはこれまでに登録していたエリアの外にでた場合などに、最寄りの基地局に位置登録をする。移動端末の位置管理は、その端末が最初に登録する HLR(Home Location Register)と呼ばれるデータベースで管理される。陸側からの呼は、必ず HLR に相手先の移動端末の現在の位置情報(移動端末の在圏するエリアをカバーする基地局番号等)を問い合わせ、この情報をもとに固定局とその基地局間の陸線が接続され、その後基地局と移動端末間が無線で接続されることになる。一方、移動端末が自分の属するホームエリアから外に移動した場合には、その移動端末に関する情報は他のエリアから移動してきた端末を管理するためのデータベースである VLR(Visitor Location Register)に登録される。これにより、その移動端末の発着呼及び位置登録の際に必要な端末の認証を VLR に登録された情報を用いて行なうことができ、HLR まで問い合わせることが必要なくなり制御信号の通信量を削減することができる。周回衛星システムのネットワーク構成は、上で述べたような陸上系システムの場合と同等の構成が要求されることになる。

## (2) 回線制御手順

図 20 に各陸上地球局に HLR 及び VLR を設置する場合の周回衛星を用いた通信ネットワークの構成例を示す。ここで示したネットワーク構成は、共通線信号網として NO.7 方式を、地上公衆通信網として PSTN, ISDN 等を想定している。また、図 21 には、陸側から移動端末への回線設定手順の例を示す。ここで、移動地球局は自分の属するホームエリアの外に在圏し、現在在圏するエリアの VLR にその移動端末の情報が HLR から転送されているものとする。

- ① 固定網からの発呼は、先ず国際関門局の STP

(Signal Transfer Point)から国際共通線信号方式 No.7 ネットワークを介して、通話先の移動端末 PES が登録されている HLR に PES の現在の位置情報を問い合わせる。

- ② PES の位置情報をもとに、通話先 PES が衛星を介して通信可能な LES を管理している国の国際関門局の STP まで陸線が接続される。

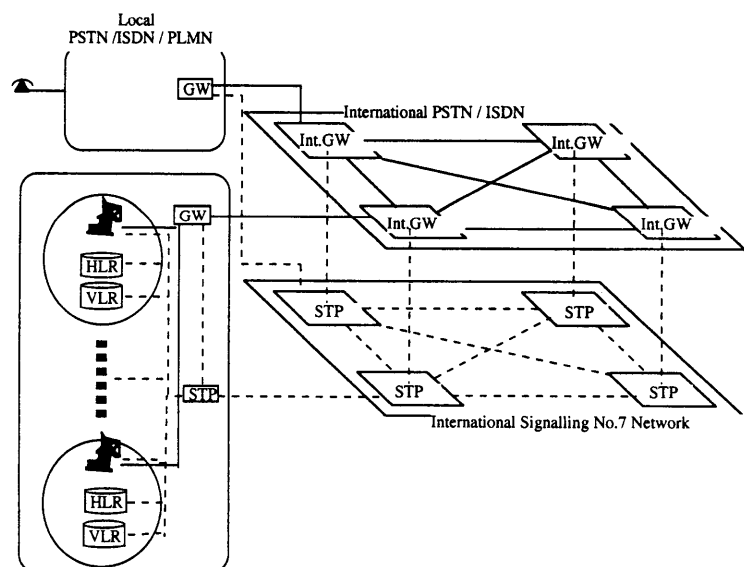


図 20 周回衛星通信システムのネットワーク構成例

- ③ 次に STP から LES までの陸線が設定され、
- ④ LES から PES に呼び出し信号が送信され、
- ⑤ PES から受信応答が LES に送信される。
- ⑥ LES は、NCS に通信チャネルの割当を要求し、
- ⑦ NCS から割り当てられたチャネルをもとに、PES と LES の間に衛星回線が設定される。

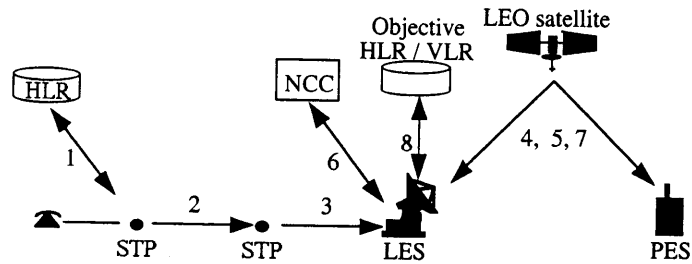


図 21 陸側発呼の場合の呼接続制御手順

- ⑧ 次に設定された衛星回線を利用し、PES の認証を VLR に登録されている通話先の PES 情報をもとに行なう。認証が終了すると陸側固定局と PES との間で通信が開始される。

6. パーソナル衛星通信システム構想[10][11][12]

これまでに述べた種々の衛星通信技術に基づいて、一般利用者を対象とし携帯端末の利用を可能とするパーソナル衛星通信システムの構想が 1990 年代始めから米国を中心に数多く提案された。現在、これら提案システムの多くが 21 世紀の始めからの導入を目指して急ピッチで開発が進められている。本節では、表 3 に示したパーソナル衛星通信システムの分類に従ってそれぞれの代表的なシステムの概要と開発動向について紹介する。

6.1 Little LEO システム

非静止衛星軌道を利用して、メッセージ通信の提供を目指したシステムであり、周波数は 140/400MHz 帯が利用される。表 4 に、現在開発が進められている主なシステムを示す。これらシステムでは、携帯端末を用いて蓄積型のメッセージ通信、リモートセンシング(データ収集)、緊急通信、動物の生態観測、測位と通信を融合した車両運行管理等に利用される予定である。Little LEO システムは、衛星構成、ネットワーク構成が Big LEO の場合と比べて格段に簡易であり、システム開発コストも小さい事から一部システムについては既に試行サービスが開始されている。表 4 の中で、ORBCOMM システムは衛星 8 機が既に打ち上げられており、日本においても本年から商用サービスが開始される予定である。また、将来の更なる需要を見込んで ITU の場で新規周波数割り当てのための議論が進められている。

表 4 世界の主な Little LEO システム

システム名	ORBCOMM	LEO ONE	FAISAT	E-SAT	VITA
事業者名	Orbital Com. Corp.	Leo One USA Corp.	Final Analysis Com.	E-SAT Inc.	Volunteers in Technical Assistance
衛星高度	825 km	950km	1000 km	1260 km	1000 km
衛星数	36	48	26	6	2
開発コスト	\$ 3.5 億	\$ 2.5 億	\$ 2.5 億	\$ 0.5 億	\$ 0.1 億
運用開始日	1998 年	2000 年	2002 年	2000 年	1997 年

6.2 Big LEO システム

Big LEO システムは、陸上セルラーシステムの端末と同程度の携帯端末を用いて音声通信を可能とするシステムである。Big LEO システムの特徴は、非静止衛星軌道を利用し、全世界共通仕様端末でグローバルサービスを提供可能なことである。サービスメニューとしては、音声の他に 2.4kbit/s 程度の FAX、低速データ通信とページングサービスが考えられている。表 5 に現在開発が進められている主なシステムを示す。

(1) イリジウムシステム

米国モトローラ社が提案しているイリジウムシステムは、高度 780km の 6 つの極軌道に等間隔で 11 個の衛星を計 66 個打ち上げ、常時全世界を隙間なくカバーするものである。



表5 世界の主な Big LEO システム

パラメータ	ICO	イリジウム	グローバルスター
軌道高度 (km)	10355	780	1410
衛星数	10 (予備 2)	66 (予備 6)	48 (予備 8)
軌道面数	2	6	8
軌道傾斜角(度)	45	86.4	52
マルチスポット ビーム数	163	48	16
地球局数	12	15-20	100 - 210
多元接続方式	TDMA / FDMA / FDD	TDMA / FDMA / TDD	CDMA / FDMA / FDD
OBP	No	Yes with ISL	No
回線マージン	8 - 12 dB	11 - 16 dB	16 dB
端末コスト	US\$ 700	US\$ 2500 - 3000	US\$ 750
システムコスト	US\$ 26 億	US\$ 44 億	US\$ 29 億
通信料金	US\$ 1 - 1.7 /分	US\$ 3 - 6 /分	1.25 - 1.5 /分
打ち上げ衛星数 (1998.7 現在)	0	72	8
運用開始日	3Q 2000	3Q 1998	1Q 1999

イリジウムの名前は、当初本システムが 77 個の衛星により構成される予定であったため、77 番目の原子であるイリジウムの電子の数と衛星数が同じことから命名された。図 22 にイリジウムシステムの衛星構成と、66 個の衛星が地上から見て仰角 10 度以上になる衛星ビームカバレッジを示す。各衛星のビームカバレッジは、合計 37 個のスポットビームから構成され、地上系セルラーシステムと類似した 7 ビームの周波数繰り返し利用を行ない周波数の有効利用を図っている。本システムの特徴としては、これまでの商用衛星通信システムでは全く実績の無かった、衛星内信号処理と衛星間中継を採用している点である。即ち、地上からの情報は一旦衛星上で復調され、衛星上での交換機能により相手先の移動端末の位置をカバーしている衛星までの間を ISL で接続される。これにより、端末は世界中のどこからでも地上網にアクセスすることが可能となっている。また、衛星軌道が低軌道(高度 780km)にも係わらず、衛星間中継の採用により地上公衆網と接続される陸上地球局の数が少なくすむことも特徴としている。このように ISL を採用することにより地上通信網の利用を最小限にでき通信コストを安くできる利点を有している。また、衛星スポットビーム当りの最大可視時間は約 3 分で有り、移動端末は 3 分毎にビーム切替あるいは衛星切替に伴うハンドオフを行う必要があり、このための制御は非常に複雑になることが予想されている。通信方式としては、変調方式として QPSK 方式、多元接続方式として TDMA 方式を採用している。

イリジウムシステムは、表 5 に示したシステムの中で開発が最も進んでおり、本年 9 月より商用サービスが開始される予定である。イリジウムシステムは、本年 5 月までに 66 機の衛星打ち上げに成功しており、地上公衆網の接点となる陸上地球局も世界 10 ヶ所で完成されている。

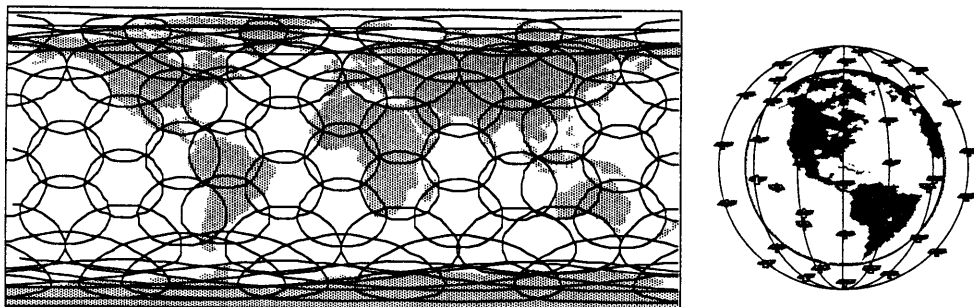


図 22 イリジウムシステムの衛星構成と衛星ビームカバレッジ

## (2) グローバルスターシステム

グローバルスターシステムは、米国 Qualcomm 社と Space System Loral (SSL) 社とが共同出資

して設立された Loral Qualcomm Satellite Service 社によって推進されている低軌道周回衛星を利用したパーソナル衛星通信システムである。本システムは、高度 1,389km, 衛星傾斜角 52 度の 8 つの周回軌道にそれぞれ 6 個の衛星を等間隔に配置し、計 48 個の衛星で全世界を隙間なく常時カバーするものである。図 23 には、48 個の衛星の軌道構成と衛星ビームカバレッジを示す。本システムの特徴は、多元接続方式として CDMA 方式を利用することである。これは現在 Qualcomm 社が米国で提案している CDMA 方式を用いた陸上系セルラーシステムと互換性があり、単に衛星を中継器として利用する以外は、陸上系システムと同一のシステム構成と言える。即ち、陸上系の基地局が衛星系の陸上地球局であり、セルが衛星のスポットビームに相当する。このように陸上系システムと互換性があることから、一つの移動端末を用いて、衛星、陸上系の両システムにアクセス可能となる衛星・陸上統合システムを実現することが可能となっている。また、本システムでは衛星間中継 ISL を想定していないことから、陸側からの呼に対しては、相手先の移動端末をカバーする陸上地球局までは陸上網により接続され、そこから衛星にアクセスされ移動端末と接続されることになる。一方、移動端末からの発呼に対しては、上で述べた陸側からの呼の逆ルートにより接続される。また、衛星間中継を採用していない事から、端末がアクセスできるエリアは陸上地球局の周辺に限られている。従って、陸上地球局は通信需要の大きい場所に多数設置する必要がある。

グローバルスターは、現在までに 8 機の衛星打ち上げに成功しており、残り 40 機の衛星を 1999 年 3 月までに打ち上げ、その後商用サービスの開始を目指している。また、本年 5 月には、既に打ち上げられた衛星を用いた音声導通試験に成功している。

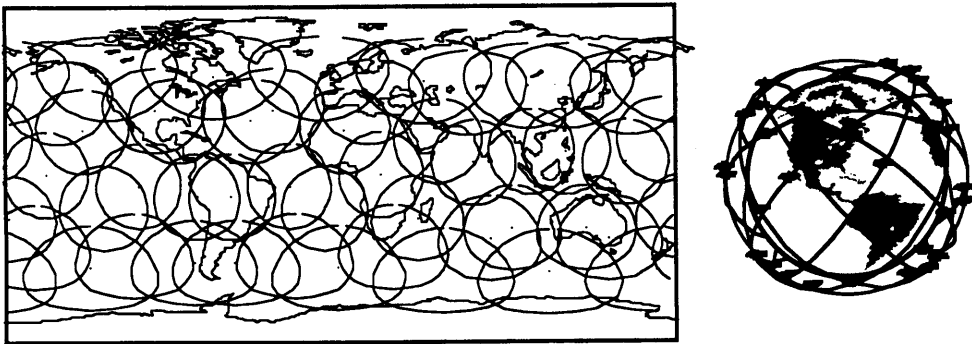


図 23 グローバルスターシステムの衛星構成と衛星ビームカバレッジ

### (3) ICO システム

ICO システムは、上記の 2 システムが米国の民間企業が中心に開発を進めているのに対して、インマルサットとその署名当事者が出資して ICO 社を設立し開発を進めているシステムである。本システムの特徴は、他の 2 システムと異なり中軌道(高度 10355km)を採用していることであり、衛星数 10 機で全世界を隙間なくカバー可能である。図 24 に 10 個の衛星の軌道構成と衛星ビームカバレッジを示す。各衛星は 163 個のスポットビームを有しており、衛星スポットビーム当りの最大可視時間は約 15 分であり、他の 2 システムに比べてビームハンドオーバーの頻度が少ないことも特徴としている。また、ICO 端末はほとんどの地域で衛星を 2 機以上見る事ができ、これにより通信品質と通信稼働率を改善することが可能である。衛星間中継は採用していないが、陸上地球局 12 局で全世界のどこにいる端末もカバーすることができる。

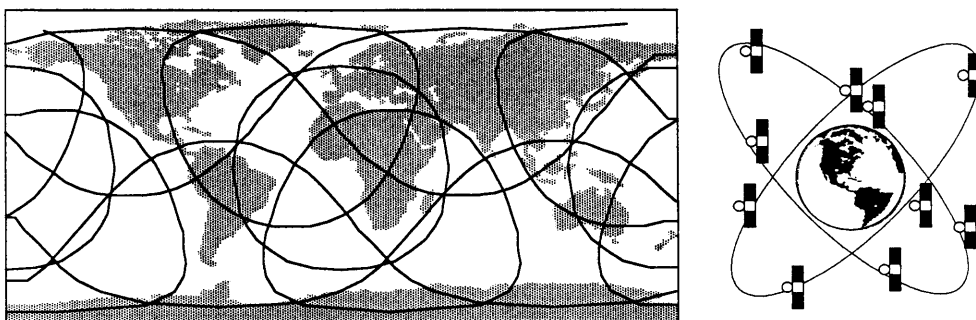


図 24 ICO システムの衛星構成と衛星ビームカバレッジ

また、全世界に配置される 12 局の陸上地球局は専用線で接続されており、エンドーエンド回線の地上公衆網の占める通信料金の低減化を可能としている。また、ネットワーク構成は現在ヨーロッパで運用されている携帯電話システムである GSM に準拠しており、GSM ネットワークへのローミングを可能としている。一方、ICO 端末は GSM 端末の機能を併せ持つデュアルモード構成を取り、一台の端末で陸上、衛星回線を自動的に選択することが可能となっている。図 25 に ICO システムの構成を、図 26 に ICO 端末の主要諸元と外観図を示す。

ICO システムは、2000 年初頭から試行サービス、同年 8 月から商用サービスを開始する計画である。1 機目の衛星は本年末までに打ち上げられる計画である。

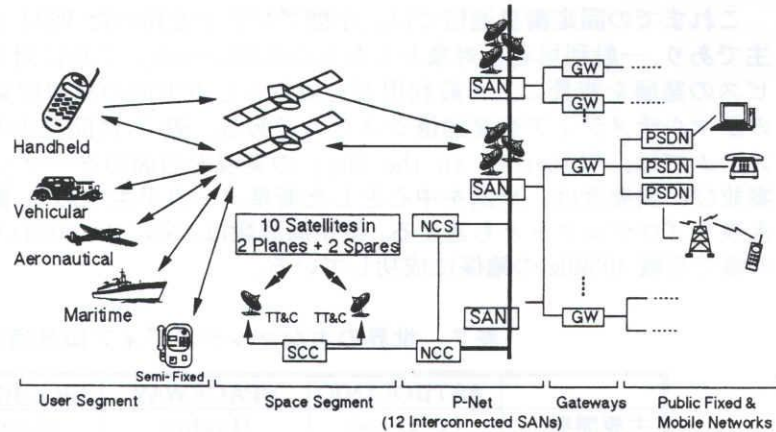


図 25 ICO システムの構成



- 最大送信出力 : 3 W
- 平均送信出力 : 0.25W
- 受信G/T : -23.8 dBW
- アンテナ利得 : 2.5 dBi
- 容積 : 300 cc以下
- 重量 : 300 g以下
- バッテリー寿命
  - 連続待受 : 24時間
  - 連続通話 : 1時間
  - ページング・モード : 160時間

図 26 ICO 端末の主要諸元と外観図

### 6.3 Super GEO システム

Big LEO の目的とするところが、非静止衛星を利用してグローバルサービスを目指しているのに対して、Super GEO システムは静止衛星を用いてアジア、アフリカ地域のような地域限定サービスを目指したシステムである。サービスエリアが地域限定の場合には周回衛星よりも静止衛星軌道が有利となる。表 6 に現在開発が進められている主なシステムを示す。表に示すように、本システムは主に通信インフラが未整備な地域を対象としており、地上通信インフラの補完システムとしても位置付けられている。本システムは、静止衛星の採用によりネットワーク構成が上記の LEO システムと比べ格段に簡易である。また、通信中でのビーム及び衛星切り替えが必要なく、端末の移動管理等も LEO システムに比べて格段に簡易である。ただし、携帯端末の利用を可能とするためには、Big LEO の場合よりも多くのマルチスポットビーム数を必要とする。このため、衛星搭載用アンテナが非常に大きくなり衛星規模が LEO の場合に比べて大規模となっている。一方、表 6 に示したように、アジア、アフリカ地域の同一エリアを対象として複数のシステムが競合しており経済的に採算が取れるか疑問視する声もある。

表 6 世界の主な Super GEO システム

	ASC	THURAYA	ACES	APMT	EAST
主提案国	インド	UAE	インドネシア	中国	キプロス
衛星数	2	2	2	2	1
サービス対象地域	南アジア, 中東, 東欧	中東, 東欧, 中央/南アジア	東南アジア, インド, 中国	アジア, 中国	欧州, 中東, アフリカ
衛星開発社	Lockheed Martin	Hughes Space	Lockheed Martin	Hughes Space	Matra Marconi
開発コスト	\$ 10 億	\$ 8.5 億	\$ 9 億	\$ 9 億	\$ 8 億
運用開始日	1999	3Q 2000	1999	1998	2001

#### 6.4 マルチメディア衛星通信システム

これまでの固定衛星通信では、小型アンテナを用いた VSAT システムにおいても企業用通信が主であり、一般利用者を対象としたものは無かった。これに対して、近年のマルチメディアサービスの発展を背景に、一般利用者を対象とし双方向の高速衛星通信回線の提供を目指したものがマルチメディア衛星通信システムである。表 7 に開発中の主なシステムを示す。これらシステムでは、「Internet in the Sky」の実現を当面のターゲットとしている。本システムの提案並びに開発者は、米国を中心とした衛星メーカーが主であり、衛星メーカーの 21 世紀に向けた生き残りプロジェクトとも言える。使用周波数は、主に 20/30GHz 帯を想定しており、1995 年に ITU の場で帯域 400MHz の確保に成功している。

表 7 世界の主なマルチメディア衛星通信システム

	ASTROLINK	SPACEWAY	SKYBRIDGE	TELEDESIC
主要開発 事業社	Lockheed Martin	Hughes	Alcatel, Loral Space	Teledesic, Motorola, Boeing, Matra Marconi
衛星軌道	静止軌道	静止軌道	非静止軌道	非静止軌道
衛星高度	36000 km	36000 km	1469 km	1375 km
衛星数	9	9	80	288
OBP	Yes with ISL	Yes with ISL	Bent Pipe	Yes with ISL
システムコ スト	\$ 40 億	\$ 32 億	\$ 42 億	\$ 90 億
伝送速度 (Mbit/s)	2.3 - 9.2	下り 92 上り 6	下り 20 x n 上り 2 x n	下り 64 上り 2
アンテナ径	0.9 - 1.8 m	66cm	45cm - 70cm	A4 Size
特徴	NASA ACTS 衛星をベース に設計	別途、非静止シ ステムも提案 中で、将来は 2 システムを統 合される計画	Ku 帯を使用 Loral 提案の Cyberstar と 統合	モトローラ提 案 Celestri 及 び M-Star と 統合 1998 年 2 月実 験衛星打ち上 げに成功
運用開始日	2001	2001	2002	2003

#### 7. むすび

本稿では、現在運用されている移動体衛星通信システムについて紹介すると共に、21 世紀に向けて開発が急ピッチで進められている主要なパーソナル衛星通信システムの技術的特徴とこれらシステムの開発現状について紹介した。パーソナル衛星通信システムの目的とする所は全てのシステムで共通しており、世界共通仕様のハンドヘルドの端末で直接衛星にアクセスし、音声を始めとする多様なグローバル移動体衛星通信サービスを提供することにある。これらシステムの一部については、今世紀中にもサービスが開始される予定であり、21 世紀における移動体衛星通信サービスは確実に大きく様変わりしようとしている。一方、ここで紹介した種々のパーソナル衛星通信サービスは、その需要規模が未だ不明確な所があるにもかかわらず複数のシステムが競合しており、今後の動向が注目されている。

#### 参考文献

- [1] 宮憲一監修「改訂衛星通信技術」社団法人電子通信学会
- [2] 野坂, 村谷共著「衛星通信入門」オーム社
- [3] 佐藤敏雄「海事衛星通信入門」社団法人電子通信学会
- [4] 進士昌明編「移動通信」丸善株式会社
- [5] 小林「インマルサット移動地球局」電子情報通信学会東京支部講習会, 平成 9 年 1 月

- [6] CCIR Working Party 8D, "Integration of Terrestrial and Satellite Land Mobile Systems", Report 1177
- [7] T. Mizuno and H. Kobayashi, "Roll of Satellite Networks in UPT Era" 9th International Conference on Digital Satellite Communications, B12, May 1992
- [8] 中川, 小林他「パーソナル通信とコンシューマ通信」倍風館
- [9] 石川, 篠永, 小林「非静止衛星通信システムにおけるユーザ位置検出の不確定性除去方式」信学論(B-II) Vol. J81 No. 8, 1998
- [10] 小林「21世紀のパーソナル通信システムは非静止衛星」オーム社エレクトロニクス誌, 1995
- [11] N. Araki, H. Ishikawa, H. Shinonaga and H. Kobayashi, "Present Status and Future Trend of Personal Satellite Communications Systems", International Conference ISTS96, 1996
- [12] 小林「パーソナル衛星通信システムの開発動向」信学技報, SST98-6 (1998.6)