

周回軌道通信衛星システムの世界的動向

坂齊 誠*¹ 浜本 直和*²

(1998年1月20日受理)

THE WORLDWIDE CURRENT OF THE LEO/MEO COMMUNICATION SATELLITE CONSTELLATION SYSTEMS

By

Makoto SAKASAI, and Naokazu HAMAMOTO

Recently, the information network keeps developing remarkably and the expansion of the communication equipment is sped up further more in advanced nations. Moreover, the concern for the information network keeps increasing also in the developing country. However, it is too costly to supply only with the equipment of the terrestrial communication systems. If we use the communication via the geostationary satellite, the individual burdens of the subscribers must increase. Then, the necessity of the communication means that it is possible to supplement with a current public communication network by a realistic cost has risen.

If we can establish a global communication infrastructure using the LEO (low-Earth-orbit) communication satellite system, we are able to get the convenient telecommunication line economically. Also, the research and development of such systems advances and the system construction has become technically possible.

This report took up the outline and the progress situation of the main system proposed as LEO/MEO (medium-Earth-orbit) communication satellite system. These systems are to be going to show the appearance actually in the near future.

[キーワード] 衛星通信、低軌道衛星群、世界規模のシステム、携帯電話端末、ハンドヘルド、データ伝送
Satellite communication, LEO satellite constellation, Global system, Portable telephone terminal, Hand-held, Data transmission

1. はじめに

近年、先進諸国において、情報ネットワークは目覚しく発展し続けており、通信設備の拡充がな

お一層急がれている。また、通信設備の普及の遅れている途上国でも情報ネットワークへの関心は増加の一途をたどっている。ところが、地上系の通信システムだけで通信設備を整えて行くには経済的、時間的負担が大き過ぎ、また、静止衛星通信システムを用いても利用者個人の負担が大きくなってしまふ。そこで、既存の公衆通信網を現実

*1 企画部 技術管理課

*2 宇宙開発事業団

的なコストで補完できる通信手段実現の必要性が高まってきた。

LEO 通信衛星システムを用いたグローバルな通信インフラストラクチャが確立すればは、サービスエリアを限定することなく通信回線を利用できる環境が整うことから、都市部に居住しなくとも容易にサービスを受けることが可能となる。その上、経済的な側面を考へても、個々の地域社会における経済環境の変化の影響を受け難いことがシステムを運営していく上でリスクを軽減することとなり、負担が少なく済む。また、このようなシステムの研究開発が進み、システム構築は技術的にも可能となってきた。

この報告は、LEO/MEO 通信衛星システムとして提案されている主なシステムについて、宇宙部分の構成を中心に概要と進捗状況を述べたものである。それらシステムは、近い将来現実に我々の前に姿を現わすことであろう。

2. 周回軌道通信衛星計画⁽¹⁾⁻⁽¹⁶⁾

ITU (国際電気通信連合) によると、公衆電話サービスを待ち望んではいないが未だ整備途上で手にすることのできない人々は、世界中で 40 億人にも達しているということである。この中には、都市部周辺で整備が遅れている国々の人々ばかりではなく、コスト的に陸上のネットワークを用意できない人口過疎地域などに住む人々も含まれている。

一方、コーリングコミュニケーションズ社 (Calling Communications Corp.) の調査を参考にすると、例えば、経済成長の著しい ASEAN (東南アジア諸国連合) に属するインドネシアでは約 2 億人の国民のうち 10% に当たる裕福な家庭が潜在的な電話加入希望者となっているのであるが、人口 100 人当たりの電話加入回線数は 1991 年時点 (以下、同じ) で僅かに 0.7 回線に過ぎない状況である。他の ASEAN 諸国 (1995 年 7 月末時点) でも、シンガポールの 40.2 回線は別格としても、ブルネイ、マレーシア、タイ、フィリピン、ベトナムで各 14.8, 9.9, 2.8, 1.0, 0.1 回線と、米国、香港 (現中国領)、日本の各 55.3, 45.9, 45.4 回線と比較するまでもなく、中国 (香港を除く) の 0.7 回線などとともに、その

整備の遅れは明白なものとなっている。

また、通信インフラストラクチャの整備拡張は、自国経済を発展させる上での最重要課題の一つでもあり、電話回線の新規増設数の伸びを増加率 (1992 年末時点) で見ても、近年経済成長の著しいインドネシア、マレーシア、タイ、中国で 25.0%、15.1%、15.3%、35.7% という高い数字を示しているように、その需要が急激に増加していることが明らかである。

こういった状況の中、グローバルなサービスを展開できる LEO 衛星通信システムを用いた既存の公衆網を補完する意味でのインフラストラクチャの整備拡張は世界的に注目を集めるようになってきた。当初懸念されていたシステムの構築、運用面での財政的基盤についても、国際的な合同資本として満足でき得る形に整備されつつある。このような世界的なシステムが、今、将に実現されようとしているのである。

さて、ここで現在計画中の LEO 衛星通信システムについてその概観を述べることにする。LEO 衛星通信システムは米国の FCC (連邦通信委員会) の分類によると、1 GHz 以上の周波数帯を使用し、全世界的地域に対し携帯端末による音声サービスが可能なビッグ LEO システム、1 GHz 以下の周波数帯 (VHF, UHF) を使用し、データサービスを提供するリトル LEO システムに大別されている。また、その他にマルチメディア広帯域衛星通信システムを構築するメガ LEO システムがある。

ビッグ LEO は、音声やデータ、ページング、メッセージ、ファクシミリ、測位といったパーソナルな高速データ通信用に、1992 年 2 月 3 日から 3 月 3 日にかけてスペインで開催された WARC '92 (スペクトラムの特定部分の周波数分配を扱う世界無線通信主管庁会議) で分配されたスペクトラムを運用するシステムである。1994 年 1 月には、低軌道衛星用ハンドヘルド型電話システムをリンクするグローバル移動体衛星通信システム運用に対して FCC によりスペクトラム割り当てが提案されている。このとき対象となったのは、イリジウム (Iridium)、グローバルスター (Globalstar)、オデッセイ (Odyssey)、エリプソ (Ellipso) とコンステレーション

(Constellation) の5システムであった。FCCでは各システムに対し審査を行い、1995年1月、財政面での強化を要するという理由で認可が見送られた2つのシステムを除き、イリジウム、グローバルスター、オデッセイの各システムがFCCからスペクトラムの運用を初めて認可された。ほかの2システムは、遅れて1997年6月30日、免許条件が整ったことから承認を得ている。これら5システム以外のシステムとしては、非米国資本のアイコ (ICO) やエコ-8 (Eco-8)、シグナル (Signal) などがある。

一方、リトルLEOは、ボランティア活動を支援するための非営利団体所有のシステムであるヴィタサット (Vitasat-1R) 以外は何れも世界規模の双方向データ通信、測位などのサービスを提供する商用移動体衛星通信システムである。その市場には、貨物船の速やかな管理、追跡や電子メール、英数字が扱えるページング、遠方資産監視、緊急通信、遭難呼出しサービスなどが含まれる。FCCのリトルLEO申請認可状況では、第一ラウンドとしてオーブコム (Orbcomm)、ヴィタサット、スターシス (Starsys) の3社が認められ、また、第二ラウンドとしてGEアメリカム (GE Americom)、レオワンUSA (Leo One USA)、フェイサット (Faisat)、ジェムネット (GEMnet)、イーサット (E-Sat)、レオサット (Leosat) などが事業計画申請を行い、レオサットを除く上記5社が受理されている。その他、非米国資本ではロシアのゴネッツ (Gonets-D) やセクステット (Sextet)、フランスのタオス (Taos)、オーストラリアのキットコム (Kitcomm) などがある。

また、Kバンド以上の周波数で広帯域通信サービスを行うメガLEOシステムとしてテレデシク (Teledesic) や、静止衛星を組み込んだセレストリ (Celestri)、Kuバンドを利用するスカイブリッジ (Skybridge) などがある。

3. 世界の周回軌道通信衛星システムの概要

ここで、各システムごとにその概要を述べることにする。

代表的なシステムについては、別表に諸元を示す。**イリジウム** ^{(3),(7),(11),(17)-(28)}

1987年、米国モトローラ社 (Motorola Inc.) の技術者からその構想が提案されたLEOシステムで、1995年1月31日、米国FCCより事業承認されたビッグLEO3システムに属する。当初、77機の衛星を用いてサービスを行う計画であったため、77番目の元素名にちなんでイリジウム計画と名付けられた。いつでも何処へでも接続可能な公衆網として、音声、データ、ファクシミリ、ページングといったあらゆる種類の電話に対応したパーソナル通信ネットワークを提供する。また、衛星系に限らず地上またはセルラーシステムと接続して通信サービスを行える。システムコストは50億米ドル、通話料金は当初1分当たり3米ドルと予定されていたが、現在では地上系移動体通信システムの使用料金に25~35%割り増しすることによりその割り増し分を充当することを予定している。標準的なハンドセットホーンの価格は2,500米ドルであり、この価格は衛星電話市場が限りあることでコストダウンが見込めないことから、将来的にもほとんど下がらないものと予想される。また、端末は、衛星システムと地上セルラーシステムとの併用型 (デュアルモード) と衛星システムのみに対応する型 (シングルモード) の2種類あり、容積が小さく耐熱、耐湿、防水型の仕様のもので、船舶、航空機など移動体に対応した端末も用意される。ハンドセットホーンは、フェージングマージンが16dBあることから、例えば自動車内で利用することが可能であり、標準的な加入者が高品質の音声、データサービスを受けることを想定してシステム設計されている。通話時の平均システム遅延時間は衛星当たり18ミリ秒、最大でも約250ミリ秒である。システム全体のネットワーク監視制御を行う目的でバージニア州リーズバーグにはマスターコントロール設備が設置されており、ハワイ州オアフなど四箇所の追跡局から商用静止衛星回線経由で取得されたテレメトリデータを基に衛星群を監視することになる。また、加入者端末からの呼の接続は、世界中で十五から二十箇所に設置され、その地域を管理するゲートウェイ局ですべて管理される。ゲートウェイ局が設置されていない地域では衛星に直接アクセスすることによって通信が可能である。初号機打ち上げスケジュールは打ち上げロケットの相次ぐトラ

第1-1表 LEOシステムの比較一覧(1/2)

衛星システム名	IRIDIUM	Globalstar	Odyssey	ICO
オペレーター	Iridium L.L.C.	Globalstar L.P.	Odyssey Telecommunications International Inc.	ICO Global Communications Ltd., England
衛星数	66 (6極軌道×11機) (軌道上予備: 6機)	48 (8傾斜軌道×6機) (軌道上予備: 8機)	12 (3傾斜軌道×4機) (軌道上予備: 3機)	10 (2軌道面×5機) (軌道上予備: 2機)
衛星高度	780km	1,414km	10,354km	10,355km
軌道傾斜角	86.4°	52°	50°	45°
衛星重量	689kg	約450kg	2,207kg (ドライ)	2,750kg (MAX)
姿勢制御方式	三軸	三軸	三軸	三軸
衛星寿命	5~8年	7.5年	15年	12年
中継器の構成	オンボード交換機	スルー・レピータ	スルー・レピータ	
使用周波数	<ul style="list-style-type: none"> サービスリンク アップリンク、ダウンリンク共: 1616~1626.5MHz フィードリンク アップリンク: 29.1~29.3GHz ダウンリンク: 19.4~19.6GHz 衛星間リンク 23.18~23.38GHz 	<ul style="list-style-type: none"> サービスリンク アップリンク: 1610~1626.5MHz ダウンリンク: 2483.5~2500MHz フィードリンク アップリンク: 5091~5250MHz ダウンリンク: 6875~7055MHz 	<ul style="list-style-type: none"> サービスリンク アップリンク: 1610~1626.5MHz ただし、米国内は1610~1621.35MHzのみ認可 ダウンリンク: 2483.5~2500MHz フィードリンク アップリンク: 29.1~29.4GHz ダウンリンク: 19.3~19.6GHz 	<ul style="list-style-type: none"> サービスリンク アップリンク: 1980~2010MHz ダウンリンク: 2170~2200MHz フィードリンク アップリンク: 5GHz帯 ダウンリンク: 7GHz帯
通信方式	FDMA/TDMA	CDMA	CDMA	TDMA
通信容量	48スポットビーム/衛星 音声1,100CH/衛星	16ビーム/衛星、2,418回線/衛星 65,000回線	61×2ビーム/衛星 音声4,600CH/地域(2衛星)	163スポットビーム/衛星 4,500回線/衛星
データレート	音声: 4.8kbps データ: 2.4kbps (2,400baud)	音声: 4.8kbps データ: 9.6kbps	音声: 4.8kbps データ: 2.4/4.8/9.6/64kbps (MAX)	2.4kbps (V.22規格全二重)
サービス内容	音声、データ、ファクシミリ、ページング	デジタル音声、データ、ファクシミリ、ページング、メッセージ、測位	音声、データ、ファクシミリ、ショートメッセージ、測位	デジタル音声、データ、ファクシミリ、ページング
コスト	50億米 ^{ドル}	25億米 ^{ドル}	32億米 ^{ドル}	46億米 ^{ドル}

ブルで大幅に遅れていたのであるが、1997年5月5日に米国マクダニエルダグラス社 (McDonnell Douglas Corp.) 製デルタ2 (Delta 2) ロケットにより5機まとめた初打ち上げに成功している。1998年6月までにデルタ2のほか、ロシアのプロトン (Proton)、中国の長征2C (Long March 2C) をランチャとして、66機すべての衛星が打ち上げられる予定である。また、商用サービスの開始は1998年9月に予定されている。

さらに、本システムを拡充し96機の衛星群を用いるマクロセル (Macrocell) 計画もある。

グローバルスター^{(3),(7),(17),(19),(22),(23),(29)-(34)}

1991年6月3日、米国ローラル社 (Loral Corp.) とクウォルコム社 (Qualcomm, Inc.) の出資により設立された米国LQSS社 (Loral Qualcomm Satellite Services Inc.) により米国FCCに申請されたLEOシステムで、1995年1月31日、FCCより事業承認されたビッグLEO3システムに属する。デジタル音声、データ、ファクシミリ、ページング、メッセージのほか精度約300mの測位、あるいはゲートウェイ局経由でコンピューターネットワークへの接続サービスなどを提供する。システムコストは25億米ドルであ

る。ユーザー端末コストは、シングルモード型で700米ドル、デュアルモード型で750米ドルであり、その他2種類の地上系セルラー規格に対応したトリモード型がある。また、通話料金は1分当たり約50~60米ドルに設定されている。サービスエリアは緯度70度以下の地域で、温帯での可視衛星数は常時2機以上となる。初号機は米国マクダニエルダグラス社製デルタ2ロケットにより打ち上げられる予定で、1998年末には限定的な商用サービスを開始し、完全運用は1999年に実施される見通しである。また、同システムでは、衛星によるグローバル移動体パーソナル通信市場規模を全世界で3千万人と概算し、そのうちの10%獲得を目標に計画を進めている。

さらに、本システムを拡張し、80機の衛星群により音声、データ、ページング、ファクシミリを提供するQ/VバンドシステムGS-40も提案されている。

オデッセイ^{(3),(7),(11),(17),(35)}

1990年、米国TRW社 (TRW Inc.) から提案された中高度軌道システムで、1991年5月、米国FCCに申請され、1995年1月31日、FCCより事業承認されたビッグLEO3システムに属する。音声、ファクシミリ、PCデータ、ショー

トメッセージや精度約 400 m の測位などを提供する。また、固定局では 64 kbps までの高速データを扱うことができ、テレビ会議の接続も可能である。システムコストは 32 億米ドル、ハンドセットはハンドヘルド型と車載型があり、4.8 kbps の音声と 2.4 kbps のデータ、ファクシミリに対応したデュアルモード端末が大半であるが、シングルモード端末も用意されていて、価格はおおよそ 500~700 米ドルである。また、シングルモードに限定されるが固定型端末もある。1999 年に初号機を打ち上げ、2000 年には 6 衛星による地域限定の商用サービスを開始し、2001 年には 12 衛星を用いた完全運用を行う予定である。

アイコ^{(3),(11),(17),(22),(25),(26),(28),(32),(36)-(40)}

1991 年 9 月、インマルサットから「プロジェクト-21」という名称で構想が発表されたパーソナル移動体衛星通信システム（インマルサット-P）である。当初、静止軌道（GEO）、中高度軌道（ICO）、低軌道（LEO）の何れを選択するか理事会で盛んに議論された。最終的には中高度軌道に決定され、1995 年 1 月、事業主体となる民間会社 ICO グローバルコミュニケーションズ社（ICO Global Communications Ltd.）を設立した。デジタル音声、ファクシミリ、ページング、双方向データ、メッセージや位置情報サービスを提供するほか、パーソナルコンピュータにも接続可能である。システムコストは 46 億米ドルで、端末にはハンドヘルド型や自動車、航空機、船舶等移動体向けのほか可搬型がある。移動体向け電話の初期コストは約 1,500 米ドルで、通話料金は 1 分当たり平均で約 2 米ドルである。地上系電話システムと衛星群とをリンクする目的で、インドネシア、ドイツ、アラブ首長国連邦、南アフリカなど世界で十二箇所に SAN（Satellite Access Node）が設置される。1998 年末には米国ロッキードマーチン社（Lockheed Martin Corp.）製アトラス 2 AS（Atlas 2 AS）ブースタにより初号機が打ち上げられ、その後、米国マクダニエルダグラス社製デルタ 3（Delta 3）ロケットにより 5 機、ロシアのプロトンブースタにより 3 機、ウクライナのゼニット（Zenit）ロケットにより 3 機打ち上げられる予定となっている。1999 年半ばには 6 衛星による初期商用サービスを開始し、

2000 年半ばには完全運用を行う予定である。

その他のビッグ LEO システム^{(3),(4),(7),(9)-(11),(25),(27),(29),(32),(41),(42),(43)}

エリプソは、米国 MCHI 社（Mobile Communications Holdings Inc.）が計画する予備を含め 17 機の衛星群からなるシステムである。軌道傾斜角 116.5 度、遠地点高度 7,846 km、近地点高度 520 km の長楕円軌道 2 面に各 5 機の衛星を配置し、その他、赤道上空 8,040 km に 6 機の衛星を配置する計画である。4.8 kbps の音声やデータ、ページング、精度約 100 m の測位をサービスする。本システムは CDMA 方式を採用し、サービスは既存の電話網や地上セルラーの補完と位置づけられている。1990 年 11 月 5 日に米国 FCC に最初の申請がなされ、その後、システムの改良が繰り返された。1997 年 6 月 30 日には FCC より承認を得ることができた。システムコストは 9 億 1 千万米ドルと見積もられている。2003 年までにサービスを開始する意向である。

また、MCHI 社には、本システムを拡張し少なくとも 2 倍の容量を持つエリプソ 2 G システム計画がある。同システムは 26 機の衛星群で構成され、2 GHz 帯の周波数を用いて伝送速度 64 kbps でデジタル音声、ファクシミリ、ページングやデータをサービスする。拡張のための衛星は 2003 年には打ち上げ可能である。

コンステレーションは、米国コンステレーションコミュニケーションズ社（Constellation Communications, Inc.）により提案された予備を含め 54 機の衛星からなるシステムで、当初、アリエス（Aries）という名称で免許申請されたものである。初期のシステムは、高度 1,000 km の 4 極軌道面に 12 機ずつ計 48 機の小型衛星を配置し、音声、テレックス、ファクシミリ、データをゲートウェイ局経由で公衆回線と接続するサービスなどを提供するシステムであった。その後更に検討が加えられ、現在に至っている。端末については移動体型と携帯型の 2 種類が用意される予定である。1991 年 6 月にアリエスシステムとして FCC に対し事業免許の申請を行い、財政面での強化の必要性を理由に事業の認可は難航したが、1997 年 6 月 30 日、ついに FCC より承認を得た。システムコストは 14 億米ドルである。サービス

第1-2表 LEOシステムの比較一覧(2/2)

衛星システム名	Teledesic	ORBCOMM	GE Starsys
オペレーター	Teledesic Corp.	Orbcomm Global L.P.	GE Capital
衛星数	840 (21軌道×40機) (軌道上予備: 84機)	36 (極軌道×2機+3傾斜軌道×8機+10機)	24 (24軌道面)
衛星高度	700km	775km	1,300km
軌道傾斜角	98.2°	90°、45°	60°
衛星重量	750kg	40.4kg	約150kg
姿勢制御方式	三軸	重力傾斜	三軸
衛星寿命	10年	4年	5年
中継器の構成	高速パケット交換	蓄積転送	複合多重レピータ
使用周波数	<ul style="list-style-type: none"> ・サービスリンク アップリンク: 28.6~29.1GHz ダウンリンク: 18.8~19.3GHz ・フィーダリンク アップリンク: 30GHz帯 ダウンリンク: 20GHz帯 ・衛星間リンク 60GHz帯 	<ul style="list-style-type: none"> ・サービスリンク アップリンク: 148~150.05MHz ダウンリンク: 137~138MHz 400.1MHz ・フィーダリンク アップリンク: 148MHz ダウンリンク: 137MHz 	<ul style="list-style-type: none"> ・サービスリンク アップリンク: 148~149.9MHz ダウンリンク: 400.05~401MHz ・フィーダリンク アップリンク: 149.9~150.05MHz ダウンリンク: 137~138MHz
通信方式	(上り) FDMA (下り) ATDM	サービスリンク: FDMA フィーダリンク: TDMA	フォワードリンク: FDMA リターンリンク: SSMA
通信容量		820CH/衛星	
データレート	音 声: 16kbps データ: 16kbps~1.2Gbps	<ul style="list-style-type: none"> ・サービスリンク アップリンク: 2,400bps ダウンリンク: 4,800bps ・フィーダリンク 56kbps 	フォワードリンク: 9.6kbps リターンリンク: 4.8kbps
サービス内容	音声、データ、ファクシミリ、ビデオ	メッセージ、データ、トラッキング、緊急、測位	メッセージ、測位
コスト	90億米ドル	3億3千万米ドル	1億7千万米ドル(初期システムコスト)

に付いては2003年までの開始を目指している。

エコー8は、ブラジルの宇宙開発庁(INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais)が企画し、テレbras社(Telebras)がオペレーターを務める傾斜角0度の軌道を利用するLEO衛星通信システムである。当初、赤道上空2,000kmに8機の小型衛星を配置し、南北緯度30度をサービスエリアとした電話サービスを提供する計画であったが、衛星総数は12機に変更されている。設計寿命5年の衛星1機当たりの収容ビーム数は最大24ビームで、セルラーホーンをはじめ、ファックス、ページング、データ、その他の通信、測位サービスの提供が可能である。1999年よりブラジルの国産衛星での打ち上げを予定している。総経費は、1994年時点で2億6,500万米ドルと見積られている。

ロシアでは、国営機関のエネルギア科学生産公団(NPO Energiya)が、48機の衛星群で構成されるシグナル商用移動体衛星通信システムを発表している。高度1,500kmから1,700kmに重

量310kg、設計寿命5、6年の衛星を配置し、Lバンドでユーザーにサービスを提供する。重さ2kgから2.5kgの携帯型移動体電話端末に対し、伝送速度4.8/9.6kbpsで電話、データ、テレックス、ファクシミリ、ページャ、コンピュータ接続の各通信サービスを提供する。

オーブコム^{(3),(12),(25),(26),(44)-(46)}

米国FCCへのリトルLEO申請受理第一ラウンドでの3社に属する。米国オーブコム社(Orbital Communications corp.)により提案されたシステムで、1990年2月、FCCに免許申請を行った。1992年9月にはFCCより実験免許を取得し、基本データ取得後、1994年10月20日、FCCからリトルLEOとしては初めて事業免許の承認を得た。端末は、緊急通報、位置情報、データ通信、メッセージ通信の4つの形態に分類されており、価格は100米ドルから400米ドル程度である。また、これら端末を使用し、異常値発生センサや事故、犯罪発生の緊急通報、流量計からの容易なデータ収集、移動設備の廉価なトラッキン

グや双方向メッセージ交換サービスなど、広域通信需要に対し低コストなサービスを提供する。初号機は、1995年4月3日、ペガサスロケットにより2機同時に打ち上げられ、1996年2月1日にはこの2機の小型衛星を用いて米国市場で商用サービスを開始した。現計画では最終的には36衛星群に拡張し全地球規模の商用サービスが実施できるよう、残り34衛星を1998年半ばまでに打ち上げる予定である。また、将来的には48衛星に拡張することも検討されている。

ヴィタサット^{(3),(11)-(13),(34),(47)-(50)}

米国FCCへのリトルLEO申請受理第一ラウンドでの3社に属する。ボランティア活動を支援するための非営利の国際的な組織であるヴィタ(VITA: The Volunteers In Technical Assistance)は、発展途上国の医療、教育用として、サテルライフ(Satel Life)衛星を用いた通信システムを構築し、さらにヴィタサットシステムを計画している。ヴィタサットは1993年1月、FCCからパイオニア優先権が付与され、また、1995年7月21日にはFCCよりLEOデータ通信システム運用のための免許が与えられた。2衛星システムであるが、衛星の調達については、CTA社が商用機会を調査することと引き換えに同社のジェムスター衛星の通信量の50%を提供することで合意したことから無償で手に入れることとなり、同年8月15日、LLV-1ロケットにより打ち上げられたのであるが、第2段モーター点火後、ロケットに制御不能の縦揺れと振動が継続的に生じ、発射3分後、ロケットがコマンドにより破壊され打ち上げは失敗に終わってしまった。現在、設計寿命5年の小型衛星を高度670km、軌道傾斜角88度に配置するヴィタサット1R(Vitasat-1R)システム計画が進行中で、FCCから認可を得ている。また、同衛星が打ち上げられるまでは、ポルトガルのコソールスィオサット(Consortio Sat)所有のポサット1(PoSat-1)衛星およびフェイスアット2V(Faisat-2V)衛星打ち上げ後は同衛星により、途上国の僻地医療施設向けの電子メール接続サービスを提供していく。

スターシス^{(3),(4),(12),(51)-(55)}

米国FCCへのリトルLEO申請受理第一ラウンドでの3社に属する。スターシスグローバルポ

ジショニング社(Starsys Global Positioning Inc.)が提案した小型で低電力の端末を用いた世界規模の測位と双方向移動体メッセージ通信サービスを提供するシステムである。1990年5月にFCCに事業認可を申請し、1992年4月には実験免許を取得している。当初、権利の95%を所有するフランス政府の影響が強く、財政難と自国以外の機関に25%以上の権利を所有させないというFCC規則を理由に事業免許の取得に手間取ったが、1995年8月9日、GEアメリカンコミュニケーションズ社(GE American Communications Inc.)が80%の権利を取って、残り20%を保有するノースアメリカンCLS社(North American Collect Localisation Satellite Inc.)と権利を分け合うことになったことと、1995年6月のFCC規則の改正により先の条件が緩和されたことにより問題は一気に解決され、同年11月、FCCよりスターシス運用の承認が得られた。初期のシステムは6衛星で6年間運用され、衛星の製造、打ち上げと米国内の2地上制御局の設置コストを含め、約1億7千万米ドルの経費が見積もられた。完全運用時には、ほぼ実時間でサービスを提供できるようになり、具体的なサービスとしては、双方向メッセージ、公衆電話網への接続、測位、非常警報、環境監視、自動車盗難防止管理、自動車排気ガスレベル監視、自動車電子ナンバープレート機能、遠隔医療用バイオセンサー監視などが予定されていた。

ところが、1987年8月4日、事業を展開する上で必要な共同出資者の獲得に失敗したことを理由にGE社(General Electric Co.)からFCCへ運用免許が返上された。これで、本システムは事実上撤退することとなった。

GEアメリカム^{(4),(11),(12),(51)}

米国FCCへのリトルLEO申請受理第二ラウンドでの5社に属する。GEアメリカンコミュニケーションズ社が1994年11月に提案した24機の小型衛星群からなるシステムである。高度800km、軌道傾斜角90度の4面に設計寿命5年の衛星群を配置する。衛星の設計は、インターフェロメトリクス社(Interferometrics Inc.)が行う。同社は、同様の衛星として1993年9月にアリアンロケットの補助ペイロードとしてアイサット1

(Eyesat-1) 衛星を打ち上げた実績がある。

レオワン^{(4),(11),(12),(28)}

米国 FCC へのリトル LEO 申請受理第二ラウンドでの 5 社に属する。レオワン USA 社 (Leo One USA Corp.) が計画する 48 機の小型衛星システムである。高度 950 km, 軌道傾斜角 50 度の 8 軌道面に展開された衛星群からメッセージや追跡サービスを行う。具体的なシステム構成についてはセルラーホーンとページングの企業家により起案される予定である。

フェイスット^{(4),(11),(12),(37),(56)-(60)}

米国 FCC へのリトル LEO 申請受理第二ラウンドでの 5 社に属する。2000 年までに 26 機で構成される小型衛星群を展開する計画を持つ。ファイナルアナリシス社 (Final Analysis Inc.) が提案するこのシステムの経費は、4 機の予備衛星と 2 機の実験衛星、それに地上局装置を含めて約 2 億米ドルで、1994 年 11 月 15 日に FCC よりフェイスット 1 (FAIsat-1) 打ち上げに関する実験免許を取得し、翌年 1 月 24 日、ロシアのコスモスロケットにより同衛星の打ち上げに成功した。また、1997 年 9 月 23 日には 2 機目の実験衛星であるフェイスット 2V (Faisat-2V) の打ち上げに成功し、ブラジル、ドイツ、インドネシア、ロシアなど 10 カ国により周波数共用の新技术の実験が実施される予定となっている。システムは高度 1,000 km, 軌道傾斜角 66 度及び 88 度の計 6 面に重量 100 kg, 設計寿命 7 年の蓄積転送型通信衛星を配置し、双方向のメッセージやページング、洋上のブイや交易船の追跡、火山や水質汚濁の監視、公益事業の自動計器読み取り、自動販売機の売り切れ状況監視、氷河の調査など世界規模の追跡とデータ、メッセージングサービス及び測位サービスを提供する。また、21 世紀初頭にはハンドヘルド型のデジタル音声サービスの提供も予定している。商用衛星は 1998 年に初号機が打ち上げられ、6 機の衛星群の運用が整った段階でサービスを開始する運びとなっている。

ジェムネット^{(4),(11),(12)}

米国 FCC へのリトル LEO 申請受理第二ラウンドでの 5 社に属する。CTA 社 (CTA Inc.) の子会社である CTA コマーシャルシステムズ社 (CTA Commercial Systems, Inc.) が提案す

る 38 機の小型衛星群である。設計寿命 5 ~ 7 年の衛星を高度 1,000 km に配置する。資産の追跡監視、公益事業の計器の読み取り、電子メール、ページング、ブイや環境センサーの読み取り、DTH 通信サービスの計 6 つのサービスを提供する。

イーサット^{(4),(11),(36)}

米国 FCC へのリトル LEO 申請受理第二ラウンドでの 5 社に属する。エコスターコミュニケーションズ社 (EchoStar Communications Corp.) がオペレータとなる蓄積転送方式の 6 機の小型衛星群で構成される。衛星の重量は 210 kg, 設計寿命は 10 年で、高度 1,261 km, 軌道傾斜角 100.7 度に配置される。データ、メッセージ、特に電子メールをサービスする。1998 年末には、ロシアのクルニチョフ (Khrunichev) とドイツのダイムラーベンツエアロスペース AG (Daimler-Benz Aerospace AG) との合併会社であるユーロスコット (Eurockot) により、商用衛星初号機が打ち上げられる予定である。

レオサット^{(3),(4)}

レオサット社 (Leosat Corp.) が提案する双方向のデジタルデータ通信システムで、高度 970 km の極軌道 3 面にトランスポンダを搭載した 18 機の小型衛星を展開し、蓄積転送型のデジタル通信又は連続した通信サービスを提供する。別名スマートカー・システム (Smart Car System) とも呼ばれ、トラックなどの運行車両を対象に測位・追跡サービスの提供を目的としており、米国 FCC に計画を申請中であるが、受理されるに至っていない。

その他のリトル LEO システム^{(3),(6),(11),(15),(26),(61),(62)}

ロシアでは国営機関が中心となり、スモールサット (SmolSat) 社をオペレーターとしたゴネッツという 36 機の衛星群から成る商用のシステムを計画している。高度 1,409 km, 軌道傾斜角 82.6 度に配置する衛星群から、蓄積転送方式により 64 kbps の電子メール、ファクシミリ、メッセージやビデオなど高速データをサービスできる。1992 年 7 月に初号機として 2 機打ち上げられている。1997 年には第二世代のゴネッツが予定されており、衛星間のメッセージ通信が可能となり、電話サービスも提供する予定である。また、低周

回軌道に設計寿命2, 3年の100機以上の衛星を配置するセクステットシステムが1985年に初号機を打ち上げている。

フランス国立宇宙研究所 (CNES) では、12機の小型衛星を配置するタオス低軌道衛星データ通信計画を検討していた。オープンコムシステムのフランス版として世界規模のページングやメッセージ伝送、測位サービスなどを行う予定であったが中止された。

また、オーストラリアのケンネットインターナショナルテクノロジー (Kennett International Technology) 社は、低軌道に小型衛星を配置し、自国内及び中南米、アフリカ、また、アジアの大部分の地域に安全監視と財産管理のサービスを行うことを目的としたキットコムシステムを計画している。

テレデシック^{(1),(19),(25),(63)-(65)}

1993年1月、米国コーリングコミュニケーションズ社よりコーリングシステム (Calling system) の名称で発表されたメガLEOシステムである。1994年3月21日には、米国のベンチャー企業であるテレデシック社 (Teledesic Corp.) より米国FCCに申請され、1997年3月14日、Kaバンドシステムとして初めてFCCより事業免許を交付された。軌道上の予備を含め衛星を合計924機配置するという壮大な計画である。本計画は、高品質音声、高速データ、高速ファクシミリ、フルモーション圧縮ビデオ、高解像度グラフィクスといった統合マルチメディアサービスや高速コンピュータ接続、テレビ会議などを提供する宇宙通信によるグローバル広帯域インターネットを築くことを目的としている。また、本システムの通信サービスは非同期転送モード (ATM) に基づいており、16 kbps から 2 Mbps まですべてパケット化されたデータを使用する。システムコストは90億米ドル、そのうち約25億米ドルは衛星打ち上げ費用で、2000年末か2001年初頭には実証衛星が打ち上げられ、2002年にはサービスを提供する予定である。

また、最近、テレデシック社の関係者は衛星数を288機に変更する可能性を示唆している。新たな計画では、衛星はより大型、強化され、重量は1,300 kgとなる。また、衛星数の減少にともない、

軌道高度は約2倍にあたる1,375 kmに設定変更されている。軌道上の予備衛星を含めると衛星は全部で約324機となる。システム的にもより強力なものとなる。

セレストリ^{(16),(34),(66),(67)}

1997年6月13日、モトローラ社から米国FCCに出願されたシステムで、高度約1,400 km、軌道傾斜角48度の7軌道面に63機のLEO衛星群を配置し、加えて9機の静止衛星を用いてインターネット接続を含む高速データ、ビデオ伝送、具体的には遠隔医療やテレビ会議サービスなどを提供するシステムである。プロバイダー向け大規模での受信信号の速度は155 Mbpsに達し、システム全体の通信容量は1秒当たりCD-ROM 20枚分に相当する80 Gbpsである。また、LEO衛星間は、光通信を利用した4.5 Gbpsの伝送速度を持つ6つの回線で接続されている。静止衛星部分は同社が提案していたミレニウム (Millennium) 計画、また、LEO衛星部分はMスター (M-Star) 計画に基づいて両システムを組み合わせ設計されたシステムである。システムコストは147億米ドルで、商用運用はテレデシック同様2002年に開始する予定である。

スカイブリッジ^{(11),(68)-(71)}

フランスのアルカテルエスパス (Alcatel Espace) の子会社が所有するスカイブリッジ L. L.C. が計画する64機の衛星で構成される広帯域通信システムである。1997年2月28日、非静止衛星を用いた世界初のKuバンドシステムとしてFCCに申請が行われた。各衛星は、重量1000 kg、最大ビーム数は45で、高度1,457 km、軌道傾斜角55度に配置される。本システムは、主に世界各地に設置される200のゲートウェイによりサービスが供給され、テレビ会議、遠隔医療や高速コンピュータリンクといった大容量のビデオ、音声、データ伝送が提供される。ユーザー端末での伝送速度は、送信で16 kbpsから2 Mbps、受信では16 kbpsから60 Mbpsに達する。また、全トラフィック量の70%がビジネス、残り30%が一般ユーザー向けと想定されており、一般ユーザー向けの端末コストは約700米ドル、加入料は地域差が生じるものの月約30米ドルと概算されている。本システムのコストは35億米ドルで、初号

機打ち上げは2001年初頭に予定されている。

オーブリンク (Orblink) ^{(28), (41)}

オービタルサイエンス社 (Orbital Sciences Corp.) が提案する7機の衛星を用いた広帯域通信システムである。周波数は最新技術の利用により可能となったKバンドより更に高域のQ/Vバンドを用いる計画である。システムコスト9億米ドルの衛星群は中軌道に配置され、2002年にはサービスが開始される予定である。

4. 周回軌道衛星通信システムへの周波数割り当てと電波干渉 ^{(3), (78) - (81)}

周回軌道衛星通信システムの提案が相次いだことを受け、WARC '92においてビッグLEOおよびリトルLEOに対する周波数の新規分配が行われた。また、続くWARC '95では新たにテレデシク用のKaバンド周波数、WARC '97ではテレデシクのほか、セレストリ、ICOウェストの運用で使用するKaバンド周波数とスカイブリッジ用Kuバンド周波数の使用が認められた。これら各バンド周波数の分配は1992年の会議以来毎回検討が重ねられており、次の協議は1999年に予定されているWARC '99で行われる。

ところで、これら分配された周波数は必ずしもLEOシステム運用のためならば都合よく使用できるものではなく、共用あるいは隣接する周波数を使用する他のシステムに干渉を与えないようシステム間の調整が義務付けられている。そこで、現在既に調整作業が進んでいる課題について以下で少し触れることとする。

はじめにリトルLEOで使用する周波数が航行衛星システムの電波干渉で重大な問題を生じていることを取り上げる。WARC '92では、LEO運用に際し航行衛星システムに対して干渉を与えないことが条件とされていた。ところが、国連の下部組織であるICAO (国際民間航空機関) が米国とロシアのGPS (全地球測位システム) 衛星を利用するGNSS (グローバル・ナビゲーション・サテライト・システム) 構想を打ち出したことにより、ロシアのGPS用通信衛星グローナス (Glonass) が用いている地上照射用信号電波の周波数1600MHzに隣接する周波数帯を使用するグローバルスターやオデッセイなどのシステムが

早急な調整を迫られることになったのである。ICAOとグローバルスター、オデッセイとの間の正式な協議は、1998年3月に予定されているITU-R (国際電気通信連合・無線通信部門) のSG8で行われる見通しで、その後最終的な調整を1999年秋までには取れるよう作業が進められている。

一方、Kバンドの割り当てが実現したメガLEOシステムには、既存の静止衛星との間で電波干渉が起きないように暫定的な周波数共用の技術的条件が規定されている。例えば、Kuバンドを使うスカイブリッジには、既存の放送衛星と同一方向で衛星を運用する場合の電波の強さの上限値が示されている。

5. むすび

周回軌道衛星通信システムの世界的動向について述べた。1987年のイリジウム計画の提案が発端となって、これまでに紹介したような多くの提案が検討されている。これらシステムの利点は、衛星とユーザーとの間の距離が短縮されるため通信の遅延時間が大幅に減少することをはじめ、ユーザー端末が小型軽量化され携帯端末へのサービスも可能となることなどにある。その上、衛星の周回する範囲で地球規模の通信が可能となることから、特に通信インフラストラクチャーの整備が遅れた途上国では、自国内の通信システムを補強する上で非常に好都合な通信システムといえるものである。しかしながら初期のころは、システム構築のための資金を集めることに難航し、また、各国間の周波数調整などの難題もあり、その前途は多難を極めていた。そのような折に開催されたWARC '92では、周回衛星通信システムをはじめとする移動衛星業務用の周波数の新規分配が行われ、これにより国際的な調整が容易になり、また、資金についても各システムが熱心に売り込みを図ったことから時を追うごとに増え続け、十分な資本を調達できる見通しの得られるシステムが多くなってきている。

これらシステムはグローバルなシステムゆえに、4章で述べた電波干渉の解決の課題に加えて、それまで国内法のみで規制してきた各国の地上系通信システムの運用規則も大幅に見直しを迫られる

こととなった。また、電波の使用は通信に限られたことではないことから、世界的なシステム調整はさらに難航することが予想される。関係機関の今後のより一層の精力的な活動に期待したいところである。

最後に、これら LEO 衛星システムの最新情報を得るために参考となる WWW サイトを掲げておくので、御興味のある方は御参照願いたい。上から順番に、イリジウム HP, グローバルスター HP, オデッセイテレコミュニケーションズインターナショナル社, アイコ HP, エリプソ HP, エコ-8 システム HP, オーブコム HP, ヴィタ HP, レオワン HP, CTA ジェムネット, ゴネットモバイルサテライトシステム, テレデシック HP, セレストリスシステム HP, スカイブリッジ HP の各ページにアクセスできる。

<http://www.iridium.com/>
<http://www.globalstar.com/>
<http://www.trw.com/seg/sats/ODY.html>
<http://www.i-co.co.uk/>
<http://www.ellipso.com/index.htm>
<http://www.inpe.br/eco/eco-8.htm>
<http://www.orbcomm.net/>
<http://www.vita.org/>
<http://www.leoone.com/>
<http://www.cta.com/gemnet.htm>
http://www.wp.com/mcintosh__page__o__stuff/gonets.html
<http://www.teledesic.com/>
<http://www.mot.com/GSS/SSTG/projects/celestri/index.html>
<http://www.skybridgesatellite.com/default.htm>

謝 辞

本資料をまとめるにあたり貴重な御助言、御指導を頂いた当所宇宙通信部山本稔主任研究官及び参考文献を御紹介頂いた当所企画部飯田尚志部長に深謝致します。

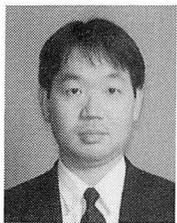
参 考 文 献

- (1) Satellite Communications, November 1993.
- (2) アジア&ワールド・データブック '96, imidas 1996 別冊付録.
- (3) 下世古幸雄, 飯田尚志著: 世界の非静止衛星通信 - パーソナル携帯電話時代に向けて -, 電波新聞社, 1994年5月10日.
- (4) 郵政省通信政策局監修: “衛星通信年報 平成7年版”, (財)国際衛星通信協会.
- (5) Space News, Vol. 5, No. 16, April 18~24, 1994.
- (6) Space Communications, Vol. 12, No. 1, 1994.
- (7) Aviat. Week Space Technol., February 6, 1995.
- (8) Space News, Vol. 5, No. 5, January 31~February 6, 1994.
- (9) Aviat. Week Space Technol., July 7, 1997.
- (10) Aviat. Week Space Technol., February 28, 1994.
- (11) Space News, Vol. 8, No. 19, May 12~18, 1997.
- (12) Space News, Vol. 5, No. 45, November 21~December 4, 1994.
- (13) Space News, Vol. 5, No.35, September 12~18, 1994.
- (14) Space News, Vol. 5, No. 6, February 7~13, 1994.
- (15) Space News, Vol. 4, No. 47, December 6~12, 1993.
- (16) Aviat. Week Space Technol., June 23, 1997.
- (17) グローバルパーソナル衛星通信シンポジウム '96資料, 1996. 2. 2.
- (18) Space Communications, Vol. 14, No. 2, 1996.
- (19) Space News, Vol. 8, No. 12, March 24~30, 1997.
- (20) Aviat. Week Space Technol., July 21, 1997.

- ②1) Space News, Vol. 8, No. 33, September 1~7, 1997.
- ②2) Space News, Vol. 6, No. 42, 1995, November 6~12, 1995.
- ②3) Space News, Vol. 7, No. 10, March 11~17, 1996.
- ②4) Aviat. Week Space Technol., April 3, 1995.
- ②5) 非静止衛星通信システムに関する調査報告書, 財団法人電波システム開発センター, 平成7年5月.
- ②6) 下世古幸雄, 飯田尚志著: 衛星通信 一次世代通信システムのすべて一, 日本経済新聞社, 1996年1月25日.
- ②7) 日経ニューメディア, 1997. 7. 28.
- ②8) Space News, Vol. 8, No. 38, October 6~12, 1997.
- ②9) Aviat. Week Space Technol., May 18, 1992.
- ③0) Space News, Vol. 8, No. 14, April 7~13, 1997.
- ③1) Aviat. Week Space Technol., July 28, 1997.
- ③2) Space News, Vol. 8, No. 29, July 21~27, 1997.
- ③3) Space News, Vol. 8, No. 5, February 3~9, 1997.
- ③4) Space News, Vol. 8, No. 25, June 23~29, 1997.
- ③5) Aviat. Week Space Technol., November 13, 1995.
- ③6) Space News, Vol. 8, No. 24, June 16~22, 1997.
- ③7) Satellite Communications, July 1997.
- ③8) Space News, Vol. 8, No. 27, July 7~13, 1997.
- ③9) Satellite Communications, January 1997.
- ④0) Space & Communications, Vol. 13, No. 3, May~June, 1997.
- ④1) Space News, Vol. 8, No. 37, September 29~October 5, 1997.
- ④2) Satellite Communications, August 1992.
- ④3) Space News, Vol. 5, No. 14, April 4~10, 1994.
- ④4) オープコムに関するプレゼンテーション資料, 平成6年7月8日, 大倉商事株式会社.
- ④5) Space News, Vol. 6, No. 24, June 19~25, 1995.
- ④6) Satellite Communications, November 1997.
- ④7) Space News, Vol. 6, No. 30, July 31~August 6, 1995.
- ④8) Space News, Vol. 5, No. 22, May 30~June 12, 1994.
- ④9) Space News, Vol. 6, No. 33, August 28~September 3, 1995.
- ⑤0) Satellite Communications, May 1997.
- ⑤1) Space News, Vol. 6, No. 32, August 14~27, 1995.
- ⑤2) Aviat. Week Space Technol., June 12, 1995.
- ⑤3) Space News, Vol. 7, No. 29, July 22~28, 1996.
- ⑤4) Space Communications, Vol. 14, No. 3, 1996.
- ⑤5) Space News, Vol. 8, No. 32, August 18~31, 1997.
- ⑤6) Space News, Vol. 8, No. 11, March 17~23, 1997.
- ⑤7) Space News, Vol. 6, No. 4, January 30~February 5, 1995.
- ⑤8) Space News, Vol. 6, No. 45, November 27~December 3, 1995.
- ⑤9) Space News, Vol. 8, No. 36, September 22~28, 1997.
- ⑥0) Space News, Vol. 8, No. 1, January 6~12, 1997.
- ⑥1) Space News, Vol. 5, No. 27, July 18~24, 1994.
- ⑥2) Space News, Vol. 5, No. 7, February 14~20, 1994.
- ⑥3) Space News, Vol. 5, No. 13, March 28~April 3, 1994.
- ⑥4) Space News, Vol. 8, No. 18, May 5~11, 1997.
- ⑥5) Space News, Vol. 8, No. 39, October

- 13~19, 1997.
- (66) Aviat. Week Space Technol., August 4, -1997.
 - (67) Space News, Vol. 8, No. 30, July 28~August 3, 1997.
 - (68) Space News, Vol. 8, No. 9, March 3~9, 1997.
 - (69) Space News, Vol. 8, No. 44, November 17~23, 1997.
 - (70) Space News, Vol. 8, No. 40, October 20 ~26, 1997.
 - (71) 日経ニューメディア, 1997. 12. 15.
 - (72) Iridium Today, Winter, 1996, Vol. 2, No. 2.
 - (73) グローバルスター衛星システム, 1995年4

- 月11日, 伊藤忠商事株式会社, エアタッチ
コミュニケーションズ社.
- (74) Space News, Vol. 8, No. 10, March 10~16, 1997.
- (75) Space News, Vol. 5, No. 20, May 16~22, 1994.
- (76) imidas 1996, 集英社.
- (77) Space News, Vol. 8, No. 3, January 20 ~26, 1997.
- (78) Aviat. Week Space Technol., March 9, 1992.
- (79) 日経ニューメディア, 1997. 11. 24.
- (80) 日経ニューメディア, 1997. 12. 1.
- (81) 日経ニューメディア, 1997. 9. 1.



坂齊 誠
Makoto SAKASAI
企画部技術管理課
衛星通信
E-mail: shige@crl.go.jp



浜本 直和
Naokazu HAMAMOTO
宇宙開発事業団 軌道上技術開発シ
ステム本部
元 宇宙通信部 移動体通信研究室
衛星通信
E-mail: Naokazu,Hamamoto
@nasda.go.jp

.....