

## 解説

## 通信網の変革と情報処理

## 衛星通信†

望月純夫\*\* 飯田登††



## 1. はじめに

我が国における本格的な衛星通信時代の幕開けを告げる実用静止通信衛星 CS-2a (「さくら2号a」) が本年2月4日種子島宇宙センターから打上げられたのは未だ記憶に新しいところである。「さくら2号a」は、我が国初の実用を目的とした通信衛星であり、離島と本土を結ぶ離島通信回線、災害時における地上回線のバックアップをはじめとして、データ伝送等への利用も大いに期待されている<sup>1),2)</sup>。

衛星通信は、国際通信分野において、海底ケーブルによる従来の通信方式よりも経済性に優れ、すでにインテルサット\*システムが活躍している。1980年12月に打上げられた同システムのV号系衛星は、電話回線に換算して12,000~13,000回線に達する国際通信回線を提供し、国際電話、TV中継等のサービスを中心に活躍している<sup>3)</sup>。

また、衛星通信は、地域、国内通信の分野でも脚光を浴びつつある。例えば、IBM社、コムサット・ゼネラル社、エトナ損害保険会社の3社が設立したSBS (Satellite Business Systems) は、ハワイおよびアラスカを除く米国全土をカバーするシステムであり、オーストラリア国営のAUSSATもオーストラリア全土をサービスの対象としている<sup>4)-6)</sup>。

衛星通信は、利用形態の面からみると、従来のアナログ伝送からデジタル伝送に移行するに伴い、伝送情報も電話からデータや画像を含むデジタル統合情報へと拡大・移行し、コンピュータをはじめとする情報処理機器との結び付きを強めており、近年広く議論されはじめたコンピュータとコミュニケーションの融

合したコミュニケーションの重要な柱の1つとなると予想される。

本稿では、データ通信の立場から見た、衛星通信の多重化方式とアクセス方式、さらに通信衛星の特長を生かしたネットワークについて実例を用いて解説する。

## 2. 衛星通信の特徴

衛星通信は、赤道上空約36,000kmの静止軌道に打上げられた人工衛星を利用して、長距離を隔てた地球局間の通信を可能とし、地上回線とは異なる通信形態を提供するものである。ここで両者を比較して、その特徴を挙げる。

## (1) 広域通信

静止軌道から視野に入る地表面積は非常に広大であり、地表全体のほぼ3分の1を占める。このため、1つの通信衛星を利用して通信できる領域(カバレッジ)を非常に広くとることが可能である。

## (2) 完全メッシュ型ネットワーク

通信衛星のカバレッジ内には、一般に多数の地球局が含まれている。その中の任意の2つの地球局が衛星を仲介として通信可能となるため、いわゆる完全メッシュ型のネットワークを構成し、マルチプルアクセス(多元接続)を実現し得る。

また、システム全体のトラヒック量に対応してネットワークを構成することができる柔軟性を有する。すなわち、地上網では個々のシステムを結ぶパスのトラヒック量、システム間の回線の取り方、回線を通ずるトラヒック量等を考慮してネットワークを構成することになるが、衛星通信では、個々のシステムを結ぶパスのトラヒック量の総和に基づきネットワークを構成することが可能となる。また、ネットワークの変更も、比較的容易にできる。

## (3) 同報通信

1つの地球局から発信されたデータは、衛星が中継

† Satellite Communications by Sumio MOCHIZUKI and Noboru IIDA (Systems Engineering Department, Mitsubishi Electric Co., Ltd.).

†† 三菱電機(株)電子システム部

\* 国際電気通信衛星機構

し地表に向けて送り返される。このデータを、衛星のカパレツ内にある多数の地球局は、同時に受信することができる。このような放送性を利用して、同報通信を効率的に行うことができる。反面、データが機密を要する場合には、宛先の局以外の傍受を防ぐため、機密保護機構が必要となる。

#### (4) 広帯域伝送

衛星通信は、広い周波数帯域を伝送に使用しており、インテルサット V 号系衛星で 241 MHz 「さくら 2 号」で 130 MHz の帯域帯を 1 つの中継器でもつ等、一般に広帯域伝送が可能である。これにより、衛星通信は、光ファイバ通信と共に、今後の高速データ伝送回線として大いに期待されている<sup>11,12)</sup>。

#### (5) 災害時通信

衛星通信は、地上回線と比較して災害の影響が少ないという利点もある。地上回線では、送受信局だけでなく、中継局、および、これらの局を結ぶ回線のどの 1 つが災害を受けても、通信網に大きな影響を与えるのに対し、衛星通信では、送受信局が災害を受けない限り通信可能であり、また災害を受けてもその他の通信に影響を与えることはない。さらに、地球局を搭載した車載局により、迅速に回線のバックアップを行うことも可能である。

#### (6) 大きな伝搬遅延時間

衛星の静止軌道は、地上約 36,000 km と高々度であり、電波が地表と衛星との間を 1 往復するのに要する伝搬遅延時間は、約 0.3 秒と非常に長い。通信プロトコル、応用システム等を検討する場合には、この大きな伝搬遅延時間に留意する必要がある。

#### (7) 降雨減衰

降雨の中を伝搬する電波の減衰、いわゆる降雨減衰が、伝搬損失のなかで一番大きな問題となる。我が国の衛星回線は、世界の主流であるマイクロ波帯 (6/4 GHz) と準ミリ波帯 (30/20 GHz) を併用している。準ミリ波帯は、主としてマイクロ波帯を使用している地上無線網との干渉が少なく、広帯域を容易にとれる長所がある。降雨減衰が大きい欠点はあるが、SBS が 14/12 GHz 帯を使用する等、世界的にも将来は高周波数帯を使用する必要が生じてくるものと思われる、その成果が注目されている。

### 3. 通信衛星と地球局

衛星通信システムは、通信衛星と地球局で構成される。ここでは、その概要を記述する<sup>13)</sup>。

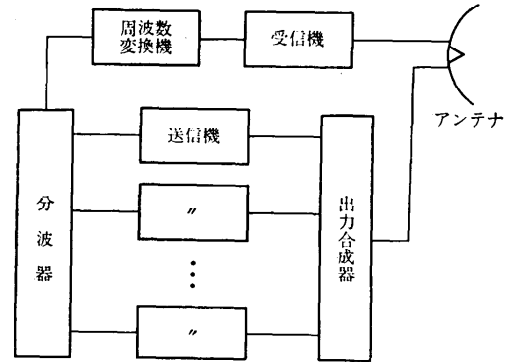


図-1 通信衛星の概念図

#### 3.1 通信衛星

通信衛星の概念図を 図-1 に示す。通信系は、アンテナと中継器 (トランスポンダ) 群から構成され、基本的には地球局から送信された電波を受信し、周波数変換・増幅した後、再び地球局へ向けて送信する機能をもつ。

通信衛星は、徐々に大型化の傾向にあるが、大型化により通信コストが低下している。また、赤道面上の静止軌道には、すでに多数の衛星が打ち上げられており、お互いの電波干渉等の問題から、その個数も制限されつつある。これも衛星の大型化をうながす要因となっている。

#### 3.2 地球局

図-2 に地球局の基本構成を示す。送信局では、計算機・端末等の情報処理システムから入力されたデータを符号化し、さらに、変調・周波数変換・増幅後アンテナより衛星に向けて送信する。受信局では逆に、衛星で中継された電波をアンテナにて受信し、増幅・周波数変換・復調し、データに復号化を行い情報処理システムへ渡す。

地球局は、通信衛星の大型化とは反対に、小型化する傾向にある。しかし、静止衛星の高度は約 36,000 km もあるので、電波の伝搬遅延時間に加え、伝搬損失も大きい。この伝搬損失を補う新技術として、マルチスポットビームを用いる方式があり、大型の衛星搭載アンテナを使用することによりビーム幅を狭めてスポットビームとし、地球局の受信電力を強めるという大きな特長をもっている。この方式では、スポットビーム間の接続を衛星上でスイッチングすることによりフレキシブルな通信系を構成することができる。

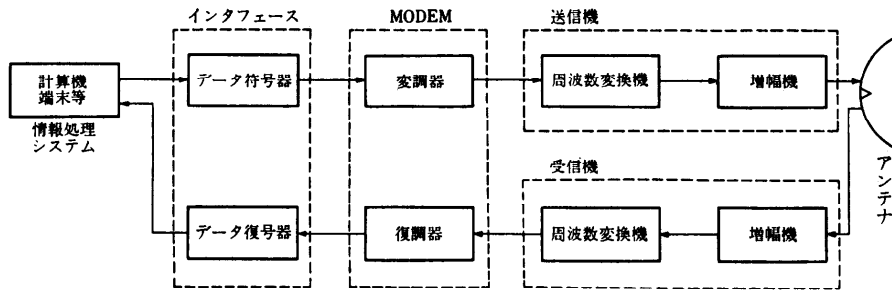


図-2 地球局の概念図

#### 4. データ通信方式

衛星通信システムは、完全メッシュ型ネットワーク、広帯域伝送、大きな伝搬遅延時間等、地上回線と異なる様々な特徴があり、これらを配慮した通信方式を確立する必要がある。例えば、データリンクレベルプロトコルに HDLC 手順を用いる場合には、maximum outstanding I フレーム数を大きくとる拡張モード、SREJ 併用方式等が試みられ、さらに、重複受信を許す複数送出可能 SREJ プロトコルも、提案されている<sup>9)</sup>。

本稿では、通信方式のうち衛星通信システムに最も影響を与えると考えられる多重化方式とアクセス方式について解説する。

##### 4.1 多重化方式

通信衛星は、利用する立場からみると、広帯域の中継機とみなすことができる。この帯域を多重化する方式としては、FDM (周波数分割多重) 方式と TDM (時分割多重) 方式がよく用いられる。

FDM 方式は、地球局間に衛星回線の周波数を固定的に割当て、周波数分割により多重化されたベースバンド信号を1つの搬送波で送る方式である。この方式は、インテルサット・システムの電話回線を始め世界で最も使用されている方式である。データ伝送にも用いられる方式として、1音声回線で1搬送波を占有し、64 kbps のデジタル音声信号を例えば4相 PSK 変調で送信する SCPC (Single Channel Per Carrier) 方式がある。SCPC 方式は、地球局の送信出力が小さく比較的小容量のデータを扱う、小・中規模システムに適している反面、衛星の電力増幅機が非直線性を持っているため、他の搬送波との干渉があり、帯域を効率的に利用することができず、通信コストが割高となる。

TDM 方式は、逆に、衛星の送信出力を最大限に利用でき、また、隣接バーストとのガードタイムのバースト伝送時間に対する割合は、非常に小さくでき、衛星回線の利用効率が良いが、地球局送信機の出力が大きい。本方式は、大容量データ伝送に適し、大規模システム向きといえる。

さらに、FDM 方式と TDM 方式を組合せた方式も実験されている。この方式は、SCPC 方式にて周波数分割された1チャンネルを時分割多重する方式で、バンキングシステムや各種の予約システム等、多数の低トラヒック小規模ユーザが衛星回線を完全メッシュ型通信網、あるいは、同報通信網として利用する場合に適している。

以上の3つの多重化方式の概念図を 図-3 に示す。

##### 4.2 アクセス方式

衛星通信で用いられるアクセス方式は、図-4 に示す通り、3方式に分けられる。以下、実際に使用される多重化方式と組合せてアクセス方式を示す。

PA-FDMA 方式は、各地球局があらかじめ定められた周波数帯を用いてデータを送信する。PA-TDMA 方式は、基準バーストから定められた時間位置のバーストを使用してデータを送信するアクセス方式である。

DA-FDMA 方式としては、インテルサット・システムで使用されている SPADE\* 方式がある。この方式は、周波数分割された回線の1つを制御回線とし、各地球局が PA-TDMA 方式にて制御回線をアクセスすることにより回線割当て処理を行う<sup>9)</sup>。

周波数分割された1回線に対する DA-TDMA 方式の場合も、広帯域伝送を可能とする通常の DA-TDMA 方式と同様、制御用バーストを用いて通信用

\* Single channel per carrier PCM multi Access Demand assignment Equipment

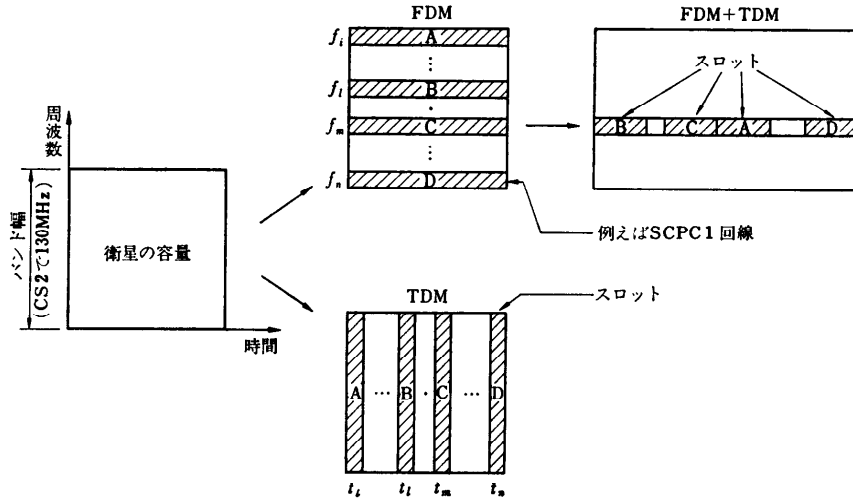


図-3 多重化方式概念図

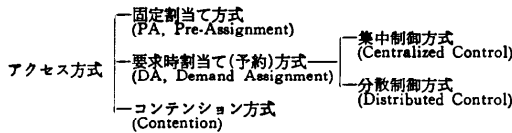


図-4 衛星回線アクセス方式

バーストの割付けを行うが、制御用バーストへは、コンテンション方式にてアクセスする。これは、通常のDA-TDMA方式が比較的小数の大規模地球局のネットワークに用いられるのに対し、本方式は多数の低トラフィック小型地球局のネットワークを想定しているため、各地球局に制御用バーストを固定割付けすると回線性能が著しく低下するからである。

これらの要求時刻割当て処理には、センタ局を設け、センタ局にて割当てを行う集中制御方式と、各地球局が自局を含むすべての割当て要求バーストを受信し、共通のアルゴリズムに従い自局の通信用バースト位置あるいは回線を算出する分散制御方式がある。情報が相手局に届くまでにバーストが地球局・通信衛星間を最低3往復する集中制御方式と比較し、分散制御方式は、割当てアルゴリズムが多少複雑になるが、最低2往復で済むというメリットがある。

コンテンション方式では、ハワイ大学で地上無線通信用に開発されたスロット付アロハ方式が良く知られている。本方式は、地球局・衛星間1往復で情報が届き、伝搬遅延時間は短い、回線の負荷が高くなると、バーストの衝突が増加し回線効率が悪くなる欠点がある<sup>10),16)</sup>。

以上述べてきた衛星回線へのアクセス制御は、LAN（ローカル・エリア・ネットワーク）のプロトコルで議論されている媒体アクセス制御サブレイヤに位置付けることもできる。

### 5. ネットワーク

現在、世界で広く利用されている衛星通信システムは、静止衛星の広いカバレッジを生かした国際電話回線分野である。しかし、通信衛星、地球局等のハードウェアの進歩による通信コストの低減と計算機を始めとする情報処理産業の発展により、データ通信を中心とした地域・国内ネットワーク・システムにも、衛星通信を利用したいという要望が強まっている。

その新しい分野を切開いたシステムとして、米国では、SBSシステムが1981年からサービスを開始している。SBSシステムは、

- DA-TDMA方式の採用
- 客先構内に小型地球局を設置することによるEnd-to-Endのネットワークサービスの提供
- 高周波帯Kuバンド(14/12GHz)を使用した高速伝送

という大きな特徴を持っている国内衛星通信システムである。

我が国でも、電電公社が提唱しているINS（高度情報通信システム）の基幹回線として、光通信と共に衛星通信が期待されている。このため、電電公社では、様々な衛星通信方式の研究を行っている<sup>11)</sup>。図-5に

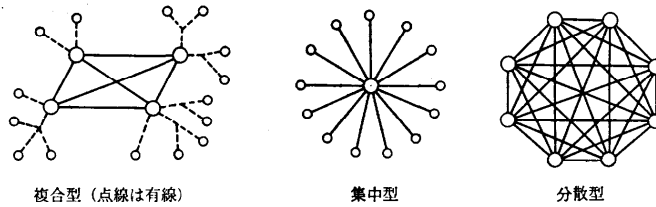


図-5 ネットワークモデル

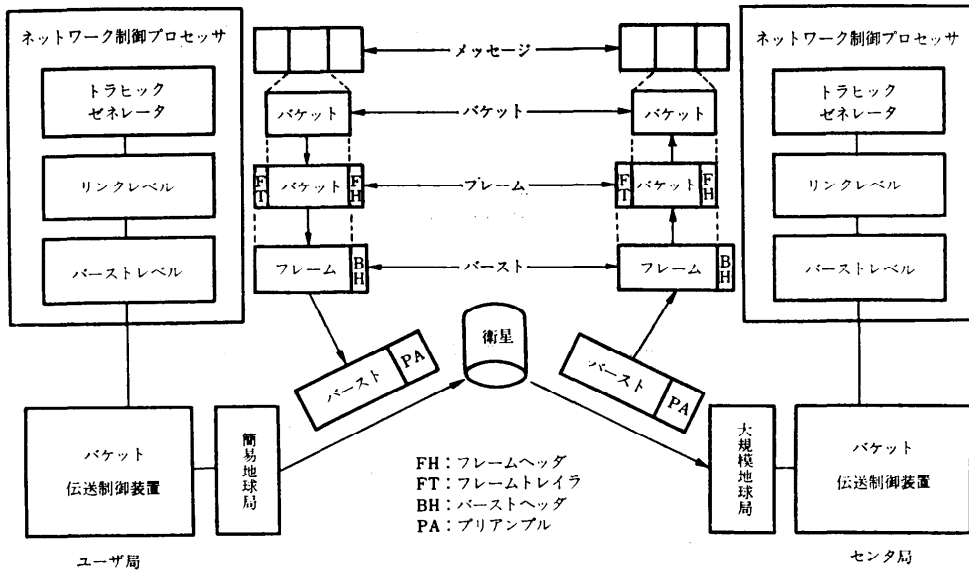
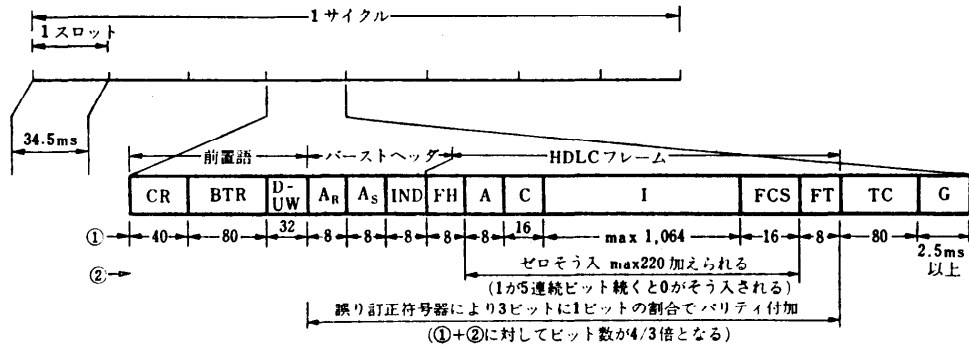


図-6 「CS 利用コンピュータネットワーク実験システム」におけるデータの流れ



- 注 1ビット=1/64 kHz
- CR : キャリア再生用シーケンス
  - BTR : ビットタイミング再生用シーケンス
  - D-UW : データユニークワード
  - A<sub>R</sub> : 宛先局アドレス
  - A<sub>S</sub> : 発信局アドレス
  - IND : レベル表示
  - FH : HDLC フレームヘッダ
  - A : HDLC アドレスフィールド
  - C : HDLC コントロールフィールド
  - I : HDLC 情報フィールド
  - FCS : フレームチェックシーケンス
  - FT : HDLC フレームテラ
  - TC : トレーニングキャリア
  - G : ガードタイム

図-7 「CS 利用コンピュータネットワーク実験システム」におけるデータバーストフォーマット

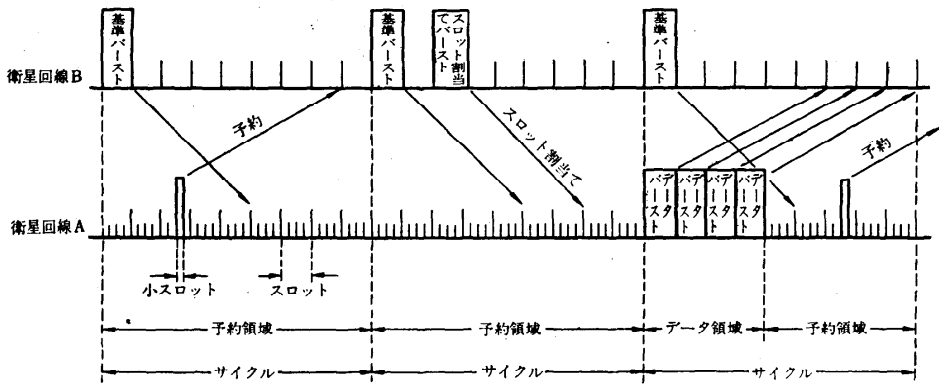


図-8 予約方式の概念図

衛星通信システムのネットワークモデルを示す。

電電公社の衛星通信システムについては、別の文献に譲り、本稿では、郵政省電波研究所で行っている「CS 利用コンピュータネットワーク実験システム」のネットワークについて解説する<sup>12)~14)</sup>。

同システムは多数の低トラヒックユーザが屋上等に小型地球局を設置し、他のネットワークを介さず衛星回線だけでEnd-to-Endのネットワークを実現する集中型ネットワークである。すなわち、日本全国に点在する端末システムがセントラの大型計算機システムと通信するネットワークモデルを想定している。図-6に本システムのデータの流れを、図-7にデータバーストフォーマットを示す。図-6からもわかるように、集中型ネットワークを実現するために、本システムでは、LANの媒体アクセス制御サブレイヤに相当するバーストレベルを導入して、衛星回線の多重アクセスを行っている。このバーストレベルプロトコルとして、スロット付アロハ方式、予約方式等を実現している。

図-8に予約方式の概念を示す。セントラ局は、1つのSCPC回線(衛星回線B)を単独で使用し、ユーザ局へ送信を行う。個々のユーザ局は、別のSCPC回線(衛星回線A)を共用して、予約バーストを送信し割当てられたスロットでセントラ局へデータを送信する。

本システムでは、リンクレベルプロトコルに、HDLC手順を採用している。このHDLC手順での誤り回復を速やかに行うために、バーストレベルにて監視フレームと再送フレームの優先転送を行っている。また、リンクレベルのフレーミング機能およびタイマ機能の一部をバーストレベルでも分担し、スループロット向上を図っている。

## 6. 今後の課題

衛星通信技術は、多方面で研究・開発が進められてきたが、これまでは、衛星通信そのものが研究の対象とされていた。一方、我が国における地上回線網は、すでに全国津々浦々を網羅しており、実用に供されている。今後は、衛星回線と地上回線の総合ネットワークの最適化へと研究の範囲が拡大することになる。

また、地上回線網と同様に、データと音声との統合化の問題も、上記の総合ネットワークの課題として取り上げられるであろう。

我が国の衛星通信においては、主として準ミリ波帯が用いられているが、この周波数帯は電波割当て上余裕があり伝送データ量の急増に対処することができ、また、地上無線網との干渉問題を解決することができる。この準ミリ波帯を使用するためには、サイトダイバーシティ等の降雨減衰対策が必要となる。

さらに、完全メッシュ型ネットワーク、大きな伝搬遅延時間等の衛星通信の特徴を配慮したより効率的な衛星回線への多重アクセスプロトコルを始めとする通信プロトコルの確立も重要な課題である<sup>17)</sup>。

## 7. まとめ

我が国における衛星を利用したデータ通信は、未だ黎明期であり、今後の本格的な実用化に向けて技術開発・研究が重ねられている。

前章までに述べてきたように、静止通信衛星を利用した通信システムは、従来より広く利用されている地上回線と比較して次のような特徴がある。

- (1) 衛星の広大なカバレッジを利用した広域性

- (2) 同報通信 (放送性)
- (3) 距離に無関係な通信コストの実現
- (4) 光ファイバに劣らぬ高速データ伝送機能
- (5) 完全メッシュ型の柔軟なネットワーク構造

衛星通信技術を支えるものとしては、通信技術、エレクトロニクス技術、さらに人工衛星、ロケットに関する技術だけでなく、それらの運用技術、各要素の材料技術、それらを総合するシステム技術、信頼性管理技術などがあり、衛星通信システムは、これらが有機的に統合されたものであるといえよう。

今後、このような技術の発達に伴い通信コストは大幅に改善されることが予想され、市場も国際間通信から、比較的狭い領域を対象とした地域、国内通信へと拡大することとなる。

狭い国土に高度な地上網が敷設されている我が国においても、衛星通信は、その高速性を生かして INS の基幹回線等の大容量伝送システムに利用される見込みである。また、その広報性、災害を受けにくいという安全性から、国鉄、警察、新聞社等の通信システムとして幅広く利用されるであろう。このような利用形態の実現のためには、通信衛星および地球局のコスト低減に加え、地上回線網との融合を実現するネットワーク技術の開発が必要である。

さらに、近年頃に話題となっている OA (オフィス・オートメーション) システムへの適用も考えられる。OA 機器を LAN で接続し、事業所間を衛星通信ネットワークにより接続する統合ネットワーク・システムは、今後のコンピュータネットワークの典型的な構成の1つとなる<sup>16)</sup>。

### 参考文献

- 1) 林崎, 諸富: CS-2 衛星通信方式〈その1〉—準ミリ波固定局通信方式—, 施設, Vol. 30, No. 1, pp. 78-87 (1983).
- 2) 佐藤, 星: CS-2 衛星通信方式〈その2〉—マイクロ波固定局通信方式—, 施設, Vol. 30, No. 1, pp. 92-99 (1983).
- 3) Quaglione, G.: Evolution of the Intelsat Sys-

tem from Intelsat IV to Intelsat V, Journal of Spacecraft and Rockets, Vol. 17, No. 2, pp. 67-74 (1980).

- 4) Barnla, J.D. and Fitzmann, F.R.: Digital Communication Satellite System of SBS, FASCON 77, 7-2A (1977).
- 5) Kittiver, C. and Zitzmann, F.R.: THE SBS SYSTEM—AN INOVATIVE DOMESTIC SATELLITE SYSTEM FOR PRIVA T E-LINENETWORKS, AIAA/CASI, 76-307 (1976).
- 6) Johnson, R.C.: Case Study—Australian National Satellite Systems, Proc. of PTC'82, pp. 168-197 (1982).
- 7) (財)機械振興協会・経済研究所, (株)三菱総合研究所: コンピューケーション動向調査, (株)三菱総合研究所, pp. 150-159 (1982).
- 8) 松尾, 滝塚, 小野: 衛星回線における各種選択再送方式 (SREJ) の性能評価, 信学技報, CS 81-91, pp. 7-12 (1981).
- 9) Metzger, S. and 関: スペード方式, 電子通信学会誌, Vol. 57, No. 8 (1974).
- 10) Kleinrock, L. and Gerla, M.: On the Measured Performance of Packet Satellite Access Schemes, Proc. of 4th ICC, pp. 535-541 (1978).
- 11) 例えば, 田中, 柴山, 川合: 国内通信用 SS/TDMA の検討, 信学技報, CS 80-224 (1980).
- 12) Takahashi, H. et al.: Experimental System for Satellite Computer Network via CS, Proc. of 5th ICC, pp. 451-456 (1980).
- 13) 高橋他: CS 利用コンピュータ・ネットワーク実験システムについて 8 編, 信学大全, No. 529-536 (1980).
- 14) 松本, 伊藤他: CS 利用コンピュータネットワーク実験結果について 2 編, 信学技報, IN 82-39~40 (1982).
- 15) Russell, D.C.: Architecture of Future Integrated Business Communications Networks, Proc. of 5th ICC, pp. 805-810 (1980).
- 16) 勅使河原: 無線によるパケット通信, 情報処理, Vol. 18, No. 11, pp. 1157-1167 (1977).
- 17) 小野, 平田: 衛星を利用したデータ通信, 情報処理, Vol. 21, No. 8, pp. 880-887 (1980).

(昭和58年6月2日受付)

