

衛星通信と応用システム

—VSAT企業内衛星通信システム—

Satellite Communication and Application System

—Private VSAT System—

平成元年3月から、衛星通信系第1種通信事業会社が民間通信衛星を打ち上げて、一部の衛星が5月からサービスを開始した。ユーザーと目される一般企業や公共団体などでは、衛星通信の特性を生かした映像伝送やテレビ会議、データ通信など既存の地上系通信と併用したマルチメディアの企業内ネットワークが構築され始めている。このような状況に合わせて、利用形態として問い合わせ応答、映像同報、データ同報、臨時通信システムなどを想定し、地球局などVSAT(Very Small Aperture Terminal)ネットワークシステムを製品化した。

大石芳孝* Yoshitaka Ôishi
原田泰亘* Yoshinobu Harada
中村 勤** Tsutomu Nakamura
小松隆昭*** Takaaki Komatsu

1 緒 言

わが国では、平成元年内に日本通信衛星株式会社のJCSAT-1号、2号および宇宙通信株式会社のスーパーバードA号、B号合計4基の民間通信衛星が打ち上げられる予定になっており、すでに一部の衛星はサービスを開始している。これらの衛星を用いて、

- (1) CATV(Cable Television), ホテルなど向け映像伝送サービス
- (2) 市場・金融など情報提供サービス
などのニュービジネスを興したり、
- (3) 教育、社内広報など企業内および顧客サービス用映像伝送
- (4) 情報検索、データ集配信など企業内データ通信
- (5) 多地点間企業内テレビ会議

など企業内データ通信やOA情報の伝送等での新たな機能の実現や利便性を高めるためのさまざまな利用計画が進められている。

本稿では、2章でVSAT(Very Small Aperture Terminal)ネットワークシステムの概要について述べ、3章では上記VSATネットワークシステムの構成要素として開発した日立衛星通信地球局システムについて詳述し、最後に4章でVSATネットワークシステムの効果的な利用形態例について述べる。

2 VSATネットワークシステムの概要

2.1 背 景

衛星通信は、同報性、可変容量性、多元接続性および臨時性といった点で、地上回線に比べて優れた特長を持っている。しかし、従来企業内利用に当たっては、地球局が大形のために設置面での制約が大きく、しかも対向通信では経済的効果を出しにくいといった難点があった。

本稿で紹介するVSATネットワークシステムは、多くの企業内オンラインシステムが、センタ集中形のネットワークで、しかも通信要求がPOS(Point of Sale), 受発注、金融などのシステムに見られるように小容量、分散、散発的な問い合わせ応答形である点に着目して開発されたシステム方式である。本システムの特長を以下に述べる。

(1) 経済性の実現

センタに大形局を配置し、全国規模で分散設置されるリモート局に、小形局を適用することによって回線設計上のバランスをとり、トータルコストの低減が図られている。

(2) 設置の容易性

リモート側は一般に小規模サイトが多くなるが、小形局を配置することによって、設置工事の容易性が図られている。

(3) 同報通信の活用

センタ局からリモート局への回線(Outbound回線)は、衛星通信の同報性を生かしたパケット多重伝送で、衛星利用コストの低減が図られている。

* 日立製作所宇宙技術推進本部

** 日立製作所システム開発研究所

*** 日立製作所情報システム工場

また、リモート局からセンタ局への回線(Inbound回線)についても、TDMA(Time Division Multiple Access)通信を用いることによって1衛星回線を複数のリモート局で共用することができ、利用コストの低減が図られている。

(4) 回線の信頼性

アンテナサイズや送信電力の選択を行うことによって、システムとしての要求条件に合わせた回線の信頼性が確保される。選択に当たっては、表1に示す指標が用いられる。また、例として東京にφ5.6 mアンテナ、230 Wのセンタ局を、各地方都市にφ1.8 mアンテナ、4 Wのリモート局を配し、64 kビット/秒のデータ通信を行う場合のビット誤り率 10^{-6} での稼働率を表2に示す。

(5) 伝搬遅延時間対応策

衛星回線には約250 msの伝搬遅延時間が存在するが、データの伝送と応答伝送を非同期に進めることのできるハイレベル手順を適用することによって、トータルスループットを確保する。なお、端末機器のプロトコルはそのまま適用できるよう、地球局にプロトコル変換機能を具備する。

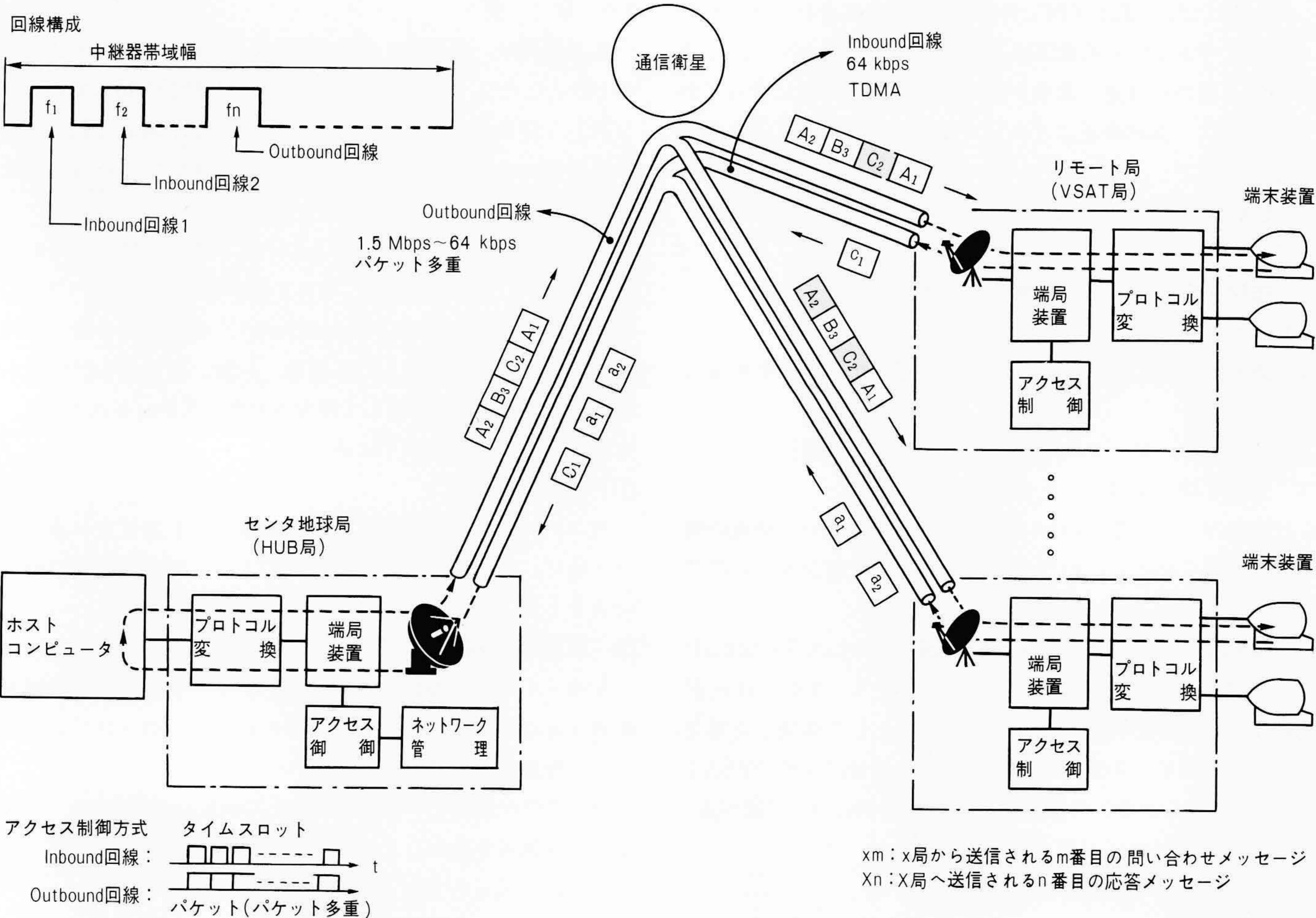
表1 衛星通信での回線品質指標 「平常時の品質」は、各種信号を伝送するうえで望ましい回線品質、「限界品質」は伝送を継続するうえで最低限必要な回線品質の基準値である。

信号の種類	平常時の品質	限界品質
アナログ電話	評価SN比50 dB以上	評価SN比32.5 dB以上
デジタル信号	BER 10^{-6} 以下	BER 10^{-3} 以下
アナログTV	評価SN比53 dB以上	評価SN比45 dB以上

注：1. 電波技術審議会答申による。
2. 評価SN比は、エンファシスなどの改善を含む。
3. BER(Bit Error Rate)には、誤り訂正による改善を含む。

表2 東京～地方都市間回線設計例(稼働率) 地域によって、衛星から受信する電波強度や降雨量が異なるため、同じ衛星回線品質(本例ではビット誤り率 10^{-6})を保持する時間率も地域によって異なる。

地方都市	東京受信	東京送信
札幌	99.995%	99.985%
仙台	99.993%	99.983%
名古屋	99.994%	99.984%
大阪	99.987%	99.967%
広島	99.989%	99.967%
福岡	99.982%	99.946%



注：略語説明 TDMA (Time Division Multiple Access), VSAT (Very Small Aperture Terminal)

図1 VSATネットワークシステムの概要 1本のInbound, Outbound衛星回線を複数のリモート局で共用することにより、利用コストの低減が図られている。

2.2 基本構成

VSATネットワークシステムは、図1に示すように次の地球局で構成される。

(1) リモート局

VSAT局と呼ばれ、φ1～2mクラスのアンテナ、1～4Wの固体化された送信機およびアクセス制御機能を持つ地球局で、地上回線と衛星回線の速度変換やプロトコル変換を行う。

(2) センタ局

HUB局と呼ばれ、φ5～7mクラスのアンテナと数十～数百ワットの送信機、アクセス制御機能およびネットワーク管理機能を持つ地球局で、地上回線と衛星回線の速度変換やプロトコル変換を行う。

2.3 通信形態

VSATネットワークシステムは、基本的にセンタ集中のスター状ネットワークを構成している。本システムでの通信形態を表3に示す。

2.4 米国での利用動向

米国では、CATV向け番組配信や企業内通信に1988年10月現在30基の通信衛星が運用されており¹⁾、衛星通信を利用する企業が急増している²⁾。

企業内通信での適用業務としては、表4に示すとおりデー

表4 米国での企業内衛星通信ネットワークシステムの現状

米国では、衛星通信を企業内通信に利用する企業が増加しており、データ、音声、映像などを複合利用する企業が多い。

区 分	用 途	企 業 数	地 球 局 数
単一利用	データ	60	12,650
	音声	1	150
	映像	19	3,978
複合利用	データ・音声	15	638
	データ・映像	11	3,858
	音声・映像	19	2,403
	データ・音声・映像	16	6,379
合 計		141	30,056

出典：Satellite Communication, July 1988から

タ通信や映像伝送を中心にした複合利用が増加している²⁾。また、利用しているユーザー分野を図2に示す²⁾。

今後はVSATを用いた企業内衛星通信ネットワークシステムの導入がますます盛んになると考えられている。

3 日立衛星通信地球局システム

前章で述べたVSATネットワークシステムを構成する日立製作所が開発したリモート局(VSAT局)、およびセンタ局(HUB局)の主要諸元を表5に示すとともに概要を以下に述べる。

表3 VSATネットワークシステムでの通信形態 VSATネットワークシステムでは、問い合わせ応答通信だけでなく、同報通信や端末～端末間通信も実現可能である。

通 信 形 態	データの流れ	概 要
同報通信		センタから1回線で、多数のリモート局へ同一情報を同時伝送する。 伝送方式として無手順方式(放送形)と応答確認方式があり、画像情報やデータの一せいでダウンロードなどに利用される。
センタ～リモート局間 双方向通信		ホストコンピュータ、端末装置の1：1の双方向通信をリモート局ごとに行う。 情報検索などの問い合わせ応答通信、受発注情報などのデータ収集、還元帳票などのデータ配信等に利用される。
リモート局間通信		いったんセンタ局を経由することにより、端末装置～端末装置間の伝送を行う。 メッセージ交換システムなどに利用される。

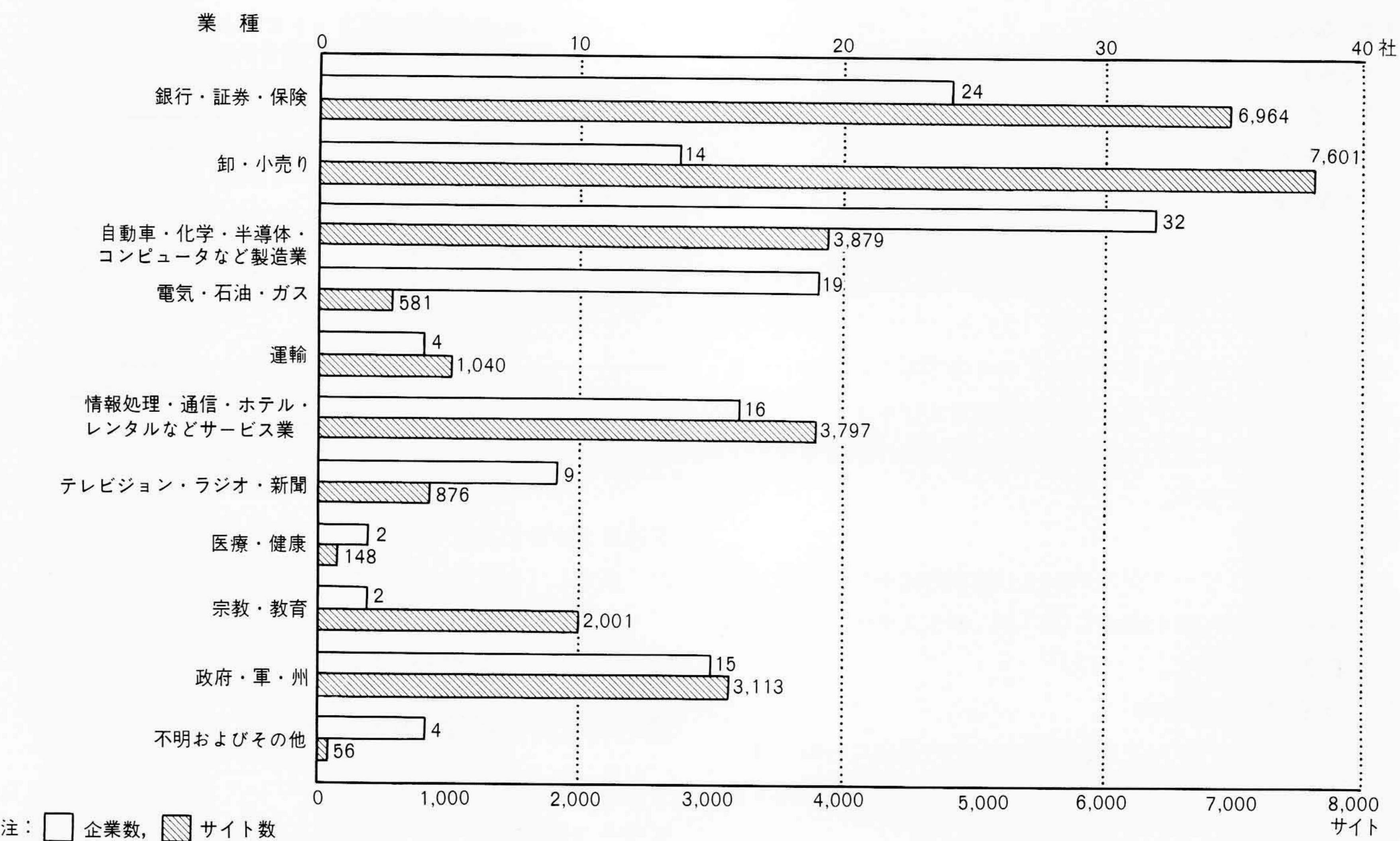


図 2 米国での業種別利用状況 衛星通信を利用する企業は、さまざまな業種にわたっている。

表 5 日立衛星通信地球局システムの主要諸元 各種アプリケーションに対応したインターフェースを用意している。

仕 様	
センタ局	地球局タイプ 固定局
	アンテナサイズ ϕ5.6 m, ϕ4.5 m, ϕ3.3 m
	送信出力 TWT：250 W, 120 W, 120 W×2, 250 W×2 SSPA：4 W, 1 W
	オプション 融雪装置 自動追尾装置
リモート局	地球局タイプ 固定局 車 載 局
	アンテナサイズ ϕ3.3 m, ϕ2.4 m, ϕ1.8 m, ϕ1.2 m ϕ1.8 m
	送信出力 TWT：250 W, 120 W TWT：250 W, 120 W SSPA：4 W, 1 W SSPA：4 W, 1 W
	オプション 融雪装置 融雪装置, 自動追尾装置
共 通	搬 送 周 波 数 送信：14.0～14.5 GHz 受信：12.25～12.75 GHz
	伝 送 方 式 ア ナ ロ グ 伝 送 デ ィ ジ タ ル 伝 送
	変 調 方 式 FM QPSK
	通信速度および帯域幅 ビデオ：30 MHz, 27 MHz, 20 MHz, 17.5 MHz, 15 MHz 音 声：3.4 kHz 1.5 M, 768 k, 384 k, 192 k, 64 k, 48 k, 19.2 k, 9.6 k, 4.8 k, 2.4 kbps
	暗 号 方 式 顧客指定による。 ノンリニア乱数方式
	誤 り 訂 正 方 式 ビタビ復号方式 (R=1/2, K=7)
	端 末 機 器 インタフェース ビデオ：1 V _{P-P} , 75 Ω 音 声：0 dBm, 600 Ω DSU, V.24/V.28, V.35, X.21/V.11
	通 信 方 式 FDMA方式 (固定割り当て方式) FDMA方式, TDMA方式 ランダムアクセス方式 予約割り当て方式 固定割り当て方式

注：略語説明
TWT(Traveling Wave Tube)
SSPA(Solid State Power Amplifier)
FM(Frequency Modulation)
QPSK(Quadratic Phase Shift Keying)
FDMA(Frequency Division Multiple Access)

3.1 リモート局の構成と機能

リモート局は、屋外に設置されるアンテナ、屋外ユニットおよび屋内ユニットで構成している。

リモート局アンテナ・屋外ユニットの外観を図3に、構成を図4に示す。以下、各構成ユニットの機能概要を述べる。

(1) アンテナ

直径1～2mのオフセットパラボラ形を採用し、小形ながら高効率、低サイドローブ、良好な直線偏波識別度特性を実現している。一次放射器、偏分波器、送受信部がコンパクトに組み込まれた屋外ユニットと一体構造としている。

構造的には、小形・軽量化を図るとともに、現地据え付け、方向調整が簡便な構造となっている。

(2) 屋外ユニット

屋内ユニットからのIF(Intermediate Frequency)信号を14 GHz帯に変換し衛星に向けて送信する機能、および衛星からの12 GHz帯の受信信号をIF信号に変換し、屋内ユニットへ送出する機能を持つ。屋外ユニットの筐(きょう)体は防水形構



図3 リモート局のアンテナと屋外ユニットの外観 屋外ユニットと屋内ユニット間は、1本のケーブルで接続される。

造となっており、GaAsFET(Field Effect Transistor)を用いた4 W(または1 W)電力増幅器、HEMT(High Electron Mobility Transistor)を用いた低雑音増幅器、送受信周波数変換器および中継器シンセサイザとで構成している。

送受信共通の局部発振器には、YTO(Yttrium iron garnet Tuning Oscillator)を用いたPLL(Phase Lock Loop)方式を採用し、送受信周波数変換器などを高密度実装して小形・軽量・高安定動作を実現している。

(3) 屋内ユニット

屋外ユニットと端末装置とを接続する部分で、センタ局から送られる信号を復調し、端末装置に送出する機能、制御信号を読み出して必要な制御を行う機能、端末装置からの信号をセンタ局へ送出する機能およびリモート局内のステータス信号などをセンタ局へ送出する機能を持っている。

主な構成要素は中間周波数送受信器、モデム、アクセス制御、端末インタフェースであり、データレートはInbound回線が64 kビット/秒、Outbound回線は64 kビット/秒、192 kビット/秒、384 kビット/秒、768 kビット/秒のうちのどれか一つをアプリケーションに応じて選択できる。

誤り訂正には、誤り訂正能力の優れた $R = \frac{1}{2}$ 、 $K = 7$ のビタビ復号法を用いることによって高い回線品質を実現している。また、アプリケーションに応じたプロトコル変換機能を組み込むことができ、かつ端末装置の増設にも対応できるよう考慮している。また、リモート局のステータス、障害情報は一定容量保存できる監視・制御部も装備している。

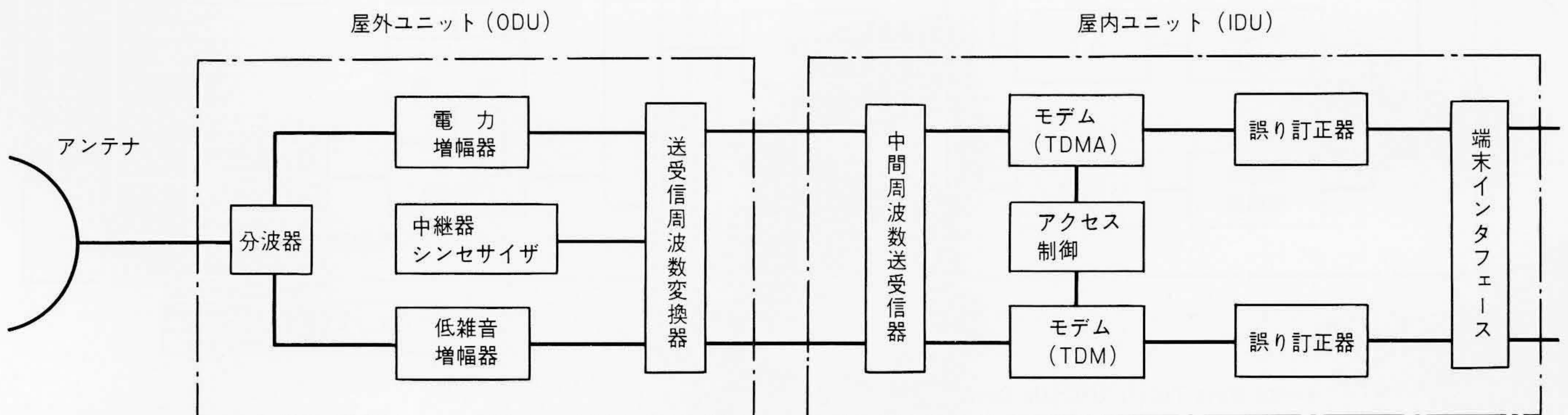
さらにオプションとして、暗号器も装備可能な構成としている。

以上述べた各ユニットの主要諸元を表5に示す。

3.2 センタ局の構成と機能

センタ局は、アンテナ、送受信部およびベースバンド部で構成している。

センタ局アンテナと送受信部の外観を図5に、構成を図6に示す。以下、各構成部の機能概要を述べる。



注：略語説明 ODU (Out Door Unit), IDU (In Door Unit), TDM (Time Division Multiplex)

図4 リモート局の構成 リモート局は、屋外に設置されるアンテナ、屋外ユニットおよび室内に設置される屋内ユニットで構成している。



図5 センタ局のアンテナと送受信部の外観 アンテナ直径は5.6 mで、送受信部はアンテナ背面に取り付ける構造になっている。

(1) アンテナ

直径3～5 mのグレゴリアン形を採用している。電氣的には高効率、低サイドローブ、高い偏波識別度などの性能を持ち、風速70 m/sに耐えられる構造になっている。架台はAz-Elマウント形式であり、すべて電動駆動である。通常は、衛星を自

動追尾(ϕ 3 mクラスは固定)して運用する。アンテナの背面に送受信部を取りつけコンパクトな形にして、給電損失の低減および省スペース化を図っている。このほか送受信部をシェルスに設備したタイプも用意してある。オプションとして融雪装置も実装可能である。

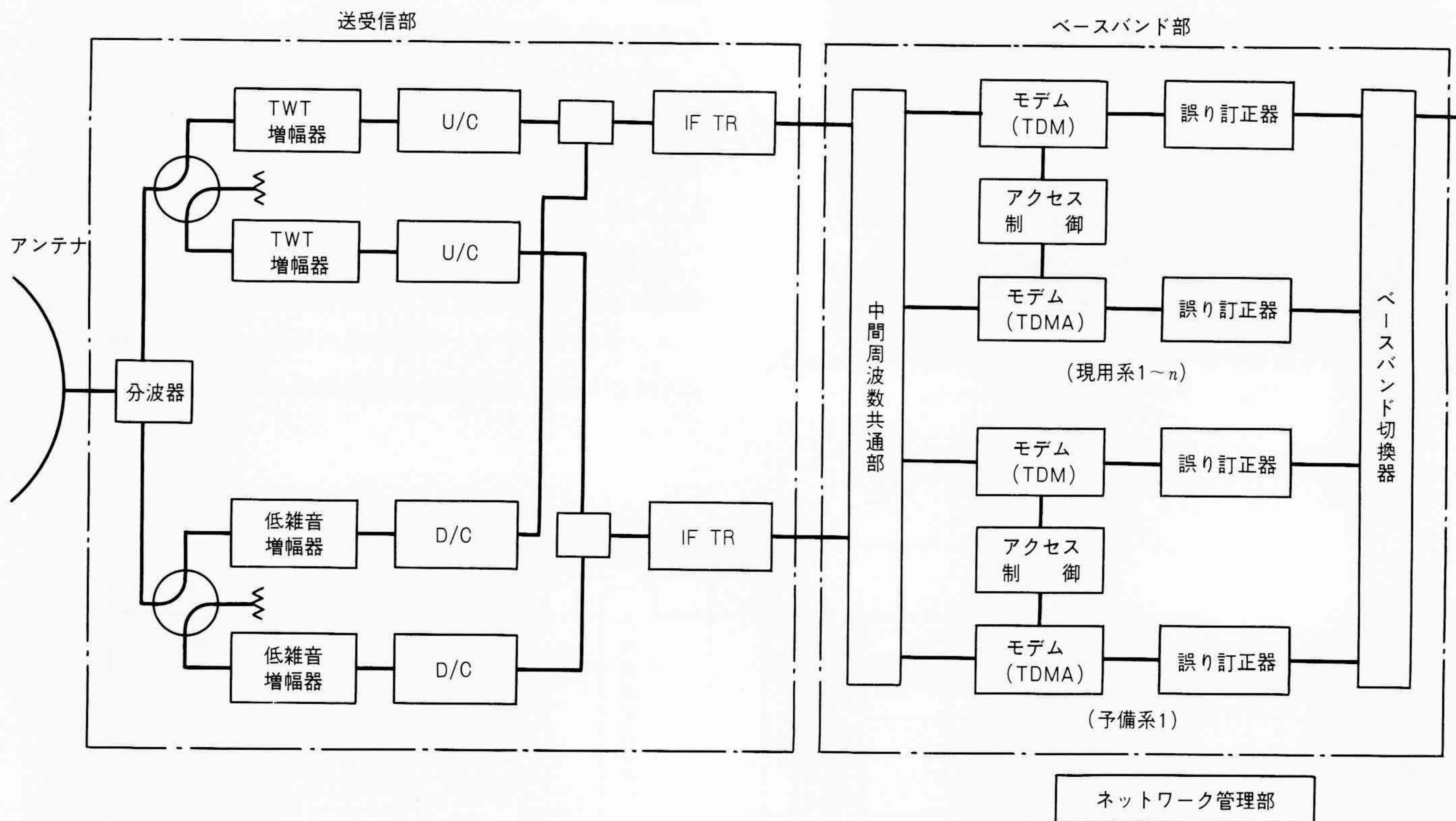
(2) 送受信部

送受信部は基本的にはリモート局の屋外ユニットに相当する部分である。

主な構成は、数百ワットのTWT(Traveling Wave Tube)増幅器、低雑音増幅器および送受信周波数変換器から成る。系は、送受信ともに現用・予備の2系統が装備され、通信断時間の最小化を図っている。

(3) ベースバンド部

送受信部とホストCPUおよびネットワーク管理部を接続する部分である。リモート局から送られるデータを復調してホストCPUに送る機能、リモート局からの制御信号を読み出してネットワーク管理部に送出する機能、ホストCPUからのデータを受けてリモート局に送出する機能、およびネットワーク管理部からの制御信号などをリモート局に送出する機能を持つ。さらにアクセス制御機能を持ち、自局の監視制御機能をも具備している。



注：略語説明 TWT (Traveling Wave Tube), U/C (Up Converter), D/C (Down Converter)
IF TR (Intermediate Frequency Transmitter & Receiver)

図6 センタ局の構成 センタ局は、ホストコンピュータ側に設置される局であり、ベースバンド部は、ネットワークの拡張に対して増設可能な構成になっている。

主な構成要素はモデム、アクセス制御、ベースバンド切換器である。オプションとして暗号器が装備できる構成となっている。

(4) ネットワーク管理部

リモート局の構成管理、障害の検出・診断・回復などの障害管理、応答時間・スループット測定などの性能管理、特定ユーザーからだけアクセス可能とする機密管理、課金に関する会計管理などを行い、ネットワークの運用・保守および課金を効率的に行っている。これらの管理情報はすべてディスクに記録され、必要に応じて検索可能になっている。

このうち保守に関しては、地上回線を用いての遠隔保守可能なインタフェースも装備し、ユーザーの多様な保守要求にこたえられるようになっている。

3.3 ネットワーク機能

(1) アクセス制御

VSATネットワークシステムは、多数のVSAT局が同一の衛星回線を共用してデータ通信を行うネットワークであり、使用目的に応じて短い応答時間または高いスループットなどが要求される。この要求にこたえるため、衛星回線を下記の方法で共用する。

(a) Inbound回線

64 kビット/秒の通信速度のTDMA回線を用い、呼の発生頻度やデータ長などによってランダムアクセスや予約アクセス、固定アクセスなどの制御方式を選択し、複数のリモート局で共用する。また、トラヒック量に応じてTDMA回線数を決定する。

(b) Outbound回線

トラヒック量に応じて、64～768 kビット/秒の通信速度を選択し、パケット多重してセンタ局から送出するとともに、リモート局側では自局あてメッセージだけを抽出する。

(2) プロトコル変換

地球局と端末装置との接続は、CCITT(国際電信電話諮問委員会)のVシリーズやXシリーズなどの既存インタフェースに合わせる一方、高効率化を図るため衛星通信に適したハイレベル手順がとられるので、地球局では衛星回線と地上回線間のプロトコル変換機能を持っている。

(3) 暗号器

第三者によるデータの盗み見などの犯罪から情報を保護するため、暗号器を開発して導入した。暗号方式として、安全性の高い独自方式を採用している。

4 その他の利用形態例

2.1節で述べたように、VSATネットワークシステムは問い合わせ応答を主要な利用形態として開発されたものである。さらに、リモート局に映像受信機能を付加したり、Inbound回線を連続モードにするなどの拡張によって以下に示す種々の

アプリケーションが実現される。また、これらのアプリケーションを並行運用するマルチメディア通信も可能である。

4.1 映像同報システム

出先機関従業員向け社内広報や教育あるいは営業店などでの顧客サービスを目的として、リモート局へテレビジョン映像を同報伝送するプライベートな放送局機能を実現することができる。さらに、地上回線を介してリモート局からセンタ局へ質問音声を送り、これを映像信号に重畳して衛星回線で他のリモート局へ同報伝送する機能を付加することによって、疑似的な双方向多地点間テレビ会議システムを構成することもできる。

一方、テレビジョン映像の代わりにディジタル圧縮映像を利用することによって、トランスポンダ上の帯域に余裕を持たせることができ、リモート局側からも発言者の映像・音声をセンタ局経由(2ホップ)他リモート局へ伝送することができる。すなわち、発言局をセンタ局制御で切り換えることによって議長と発言者の映像、音声を参加各局で受信することのできる多地点間テレビ会議システムを構成することができる(図7参照)。

4.2 データ同報通信システム

金融・証券などのオンラインシステムで、営業店などに設置された端末装置の画面情報やプログラムを衛星通信を用いて同報伝送(ダウンロード)し、いっせいに変更することができる(図8参照)。

ただし、送信した同報データに対する応答確認が必要なシステムで全リモート局からセンタ局へ逐次応答フレームを送信する方式をとると、リモート局数が多くなるに従って次のような問題点が生じる。

(1) リモート局数に比例して応答フレーム数が増大し、センタ局での応答処理負荷が増大するとともに全リモート局からの受信確認までの時間、ひいてはトータルの伝送時間が増大する。

(2) 伝搬遅延時間や降雨減衰の問題があるため、各リンクでの誤りの影響が蓄積され、誤り回復までの時間が極端に大きくなる。

そこで、日立製作所では上記背景の下、高効率・高信頼な衛星同報通信システムの構築を目的として、輪番制応答制御および地域性適応再送制御を特徴とする衛星同報通信制御方式を開発した^{3),4)}。さらに、昭和62年10月～12月に郵政省「衛星利用パイロット計画」^{5),6)}の一環として本方式の機能検証実験を行い、各リモート局ごとに逐次データを伝送する逐次同報通信と比較して約3倍の通信効率を得るとともに、地域対応の適応再送制御機能も正常に動作することを確認した。

4.3 臨時通信システム

リモートサイトに車載形の地球局を配置することによって、臨時の通信回線を設定することができる。特にテレビジョン

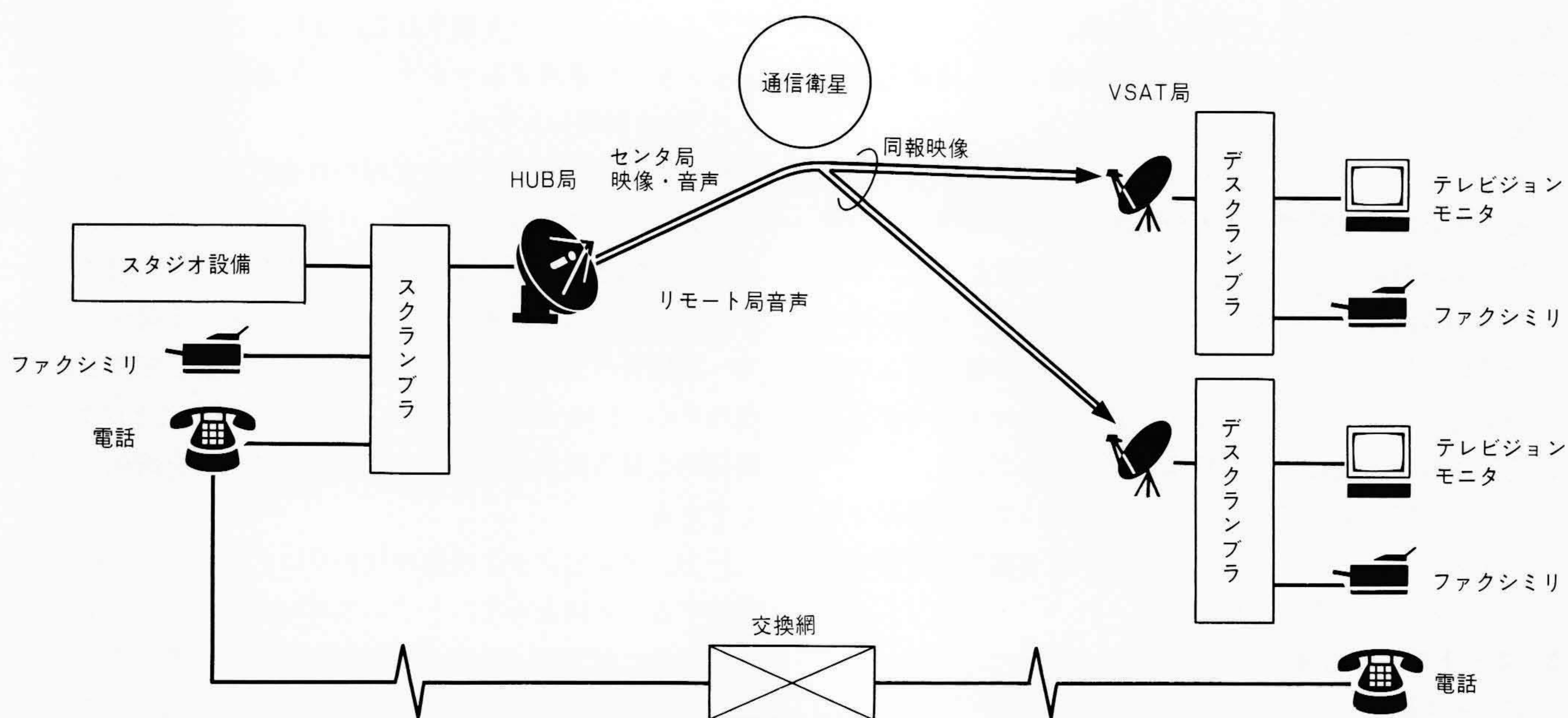


図7 企業内映像伝送システム 全国に配置された出先機関に対して、販売促進や教育など企業内情報映像・音声を同時伝送することができる。

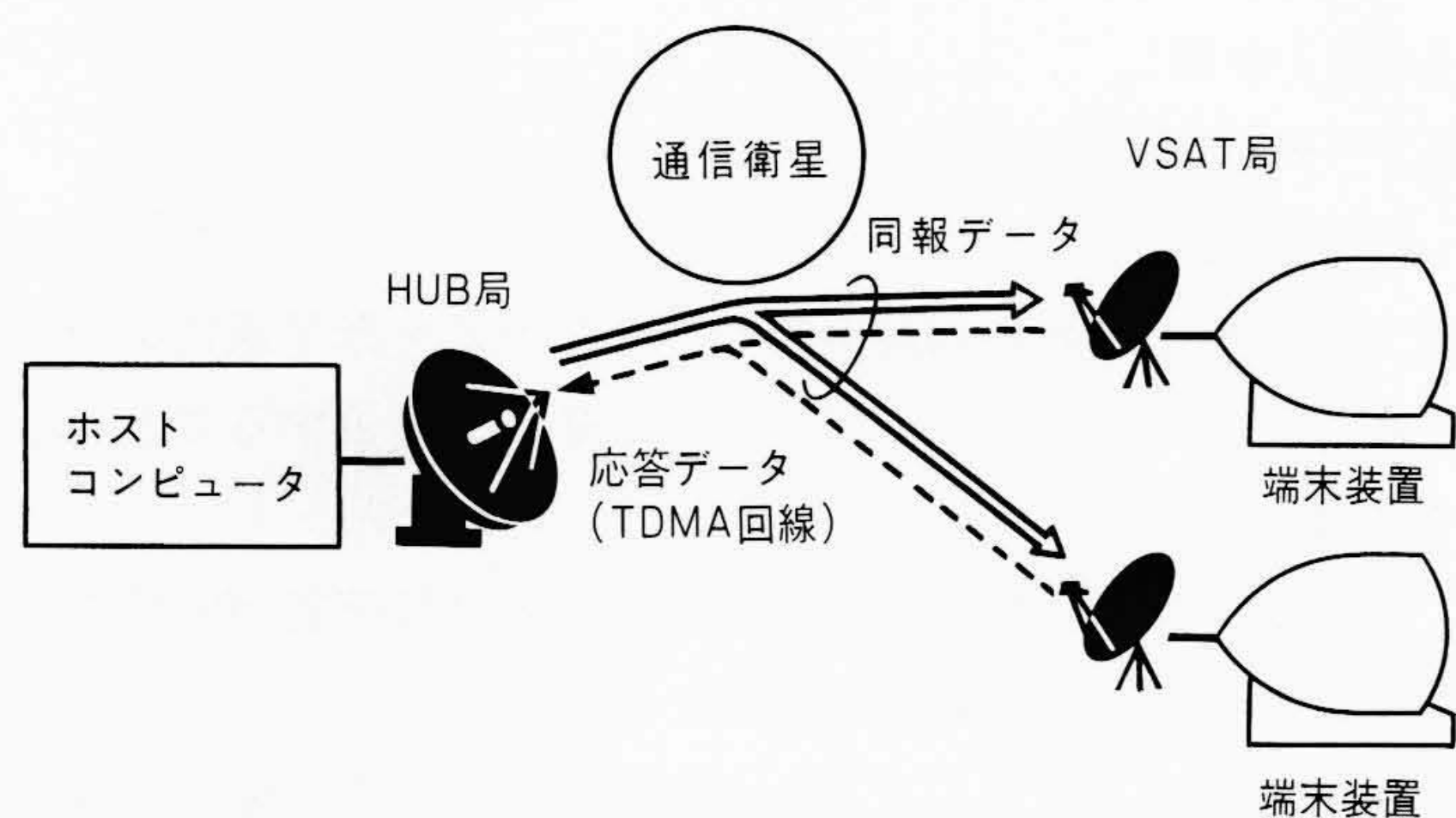


図8 衛星同報通信システムの構成 全国の出先機関に配置された端末装置に対して、センタのホストコンピュータから同一データを同時に伝送することができる。

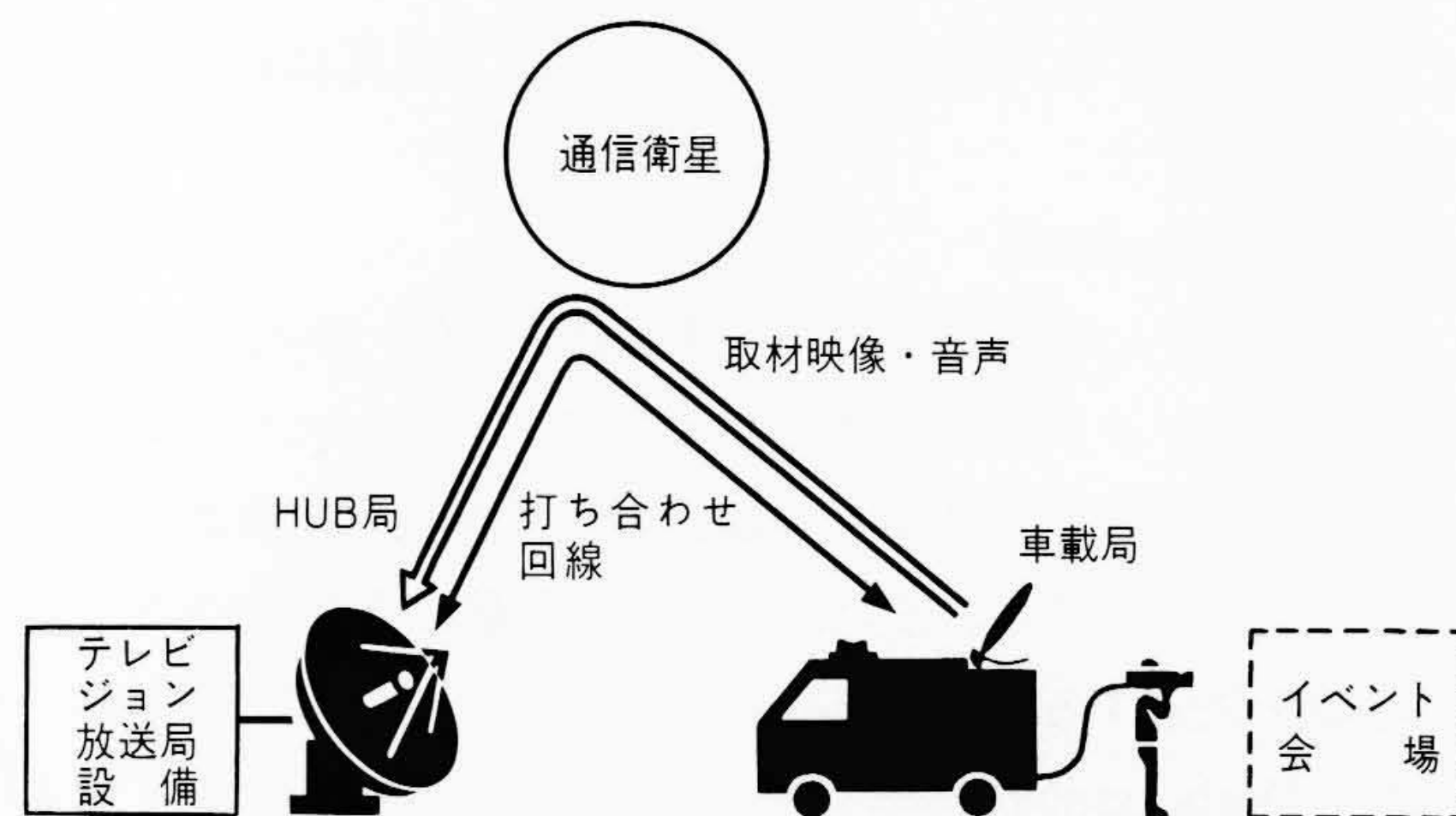


図9 臨時通信(サテライト ニュース ギャザリング)システム イベント会場や事件現場などに臨時に回線を設定することができる。

放送局などでは、イベント会場や事件現場などから取材したテレビジョン映像を生中継するサテライト ニュース ギャザリングシステムの導入が進められている。このほか一般企業などでも移動店舗、イベント会場との通信、災害時通信などへの適用の検討が進められている(図9参照)。

5 結 言

本論文では、VSATネットワークシステムの概要と対応する日立衛星通信地球局システムについて報告するとともに、VSATネットワークシステムの有望な利用形態について述べた。

今後、地球局システムの小形・高性能化を図るとともに、教育システムの構築などVSATネットワークシステムの社内利用によるアプリケーションノウハウを蓄積し、顧客システムに適用していく考えである。

終わりに、本稿で報告した実験は衛星利用パイロット計画の一環として行われたものであり、郵政省電波研究所(現通信総合研究所)のご指導のもとに実施された。ここに郵政省の関係各位に対し、深謝する次第である。

参考文献

- 1) Satellite Communication, October, December 1988
- 2) Satellite Communication, July 1988
- 3) 藤倉, 外: 衛星同報通信制御方式の提案, 電子情報通信学会技術研究報告, SAT87-15(昭62-7)
- 4) 中村, 外: 情報ネットワークにおける衛星通信システム, 日立評論, 69, 9, 825~832(昭62-9)
- 5) 村永, 外: 衛星利用パイロット計画, 電波研究所研究発表会(第67回)予稿集, 81, 113(昭59-11)
- 6) 郵政省: 昭和62年度衛星利用パイロット計画に関する調査研究報告書, 62~63(昭62-3)