

衛星通信システムの最近の動向

Recent Trends on Satellite Communication Systems

昭和58年に実用通信衛星CS-2が打ち上げられ、我が国でも衛星通信時代の幕が上がりつつある。本稿では、衛星通信の特徴(地上災害との独立性、長距離・大容量経済性、移動性、同報性、広域性など)や、日本電信電話株式会社の衛星通信サービス計画、郵政省の衛星利用パイロット計画など、衛星通信の利用動向について記述する。続いて、上記パイロット計画の一環として日立製作所を中心とする実験グループで実施している衛星利用コンピュータネットワーク実験について報告する。

本実験では、衛星通信の種々の状況下での符号誤り率、降雨減衰特性、スループット及びメッセージ伝送遅延時間特性を測定した。この結果、目標とする基本特性を満足する見通しと、今後の利用形態に関する示唆を得た。

中村 勤* *Tsutomu Nakamura*
佐々木良一** *Ryôichi Sasaki*
森山孝男*** *Takao Moriyama*
児玉光宏**** *Mitsuhiro Kodama*

1 緒言

高度情報化社会の進展に伴い、情報ネットワークの機能障害は社会の多方面に深刻な影響を及ぼすようになってきた。情報ネットワークを高信頼化するため、地上回線に対するバックアップ回線として衛星通信を利用しようという動きが高まっている。衛星通信は地上災害との独立性以外に、長距離・大容量伝送経済性、移動性、広域性、同報性、マルチアクセス性などの特長をもつので、今後バックアップ回線としてだけでなく、広範囲な利用が予想される。

本稿では、2章で衛星通信の特徴を記述した後、3章では衛星通信の利用動向について述べる。4章では郵政省の「衛星利用パイロット計画」の一環として、日立製作所で実施している衛星利用コンピュータネットワーク実験について報告する。最後に、5章では衛星通信システムの今後について言及する。

2 衛星通信の特徴

衛星通信は、従来の地上回線に比べて次のような長所がある¹⁾。

(1) 地上災害との独立性

衛星通信で利用する中継局は衛星だけであり、地上災害の影響を受けにくい。

(2) 長距離伝送経済性

広域をカバーでき、また伝送コストが地上での距離にほとんど影響されない²⁾ので、長距離ほど経済的となる。

(3) 大容量伝送経済性

広帯域の電波を利用できるので、ファイルやイメージ情報などの大量データを経済的に送れる。

(4) 同報性

一つの地球局から送出した信号を、同時に多数の地球局で受信できる。

(5) 移動性

端末が移動しても通信が可能であるので、災害時の臨時回線の設定や移動店舗に利用が可能である。

一方、衛星通信には、伝搬遅延時間が大であるという問題がある。地上回線では数ミリ秒から数十ミリ秒であるのに対し、静止衛星の場合、赤道上空約3万6,000kmのところにある

ので、地表と衛星の間を1往復するのに約250msかかる。また、周波数が10GHzを超えた搬送波では、雨や雪などの影響によりビット誤り率が増加する傾向が見られる。更に、衛星通信の同報性は、信号の傍受や改ざんを容易にするという弱点につながり、データの暗号化などが必要となる。

衛星通信システムの構築に当たっては、これらの長所を生かすとともに、弱点の影響を小さくする方式にしなければならない。

3 衛星通信の利用動向

世界最初の商業衛星「インテルサット-I」が大西洋上に打ち上げられたのは1965年のことであり、以降国際通信需要は年率15%程度の伸びで発展を遂げている³⁾。最近では、企業内通信を目的とした国内あるいは地域衛星も増加してきている。以下、本章では紙数の都合から我が国の衛星通信の利用動向に限って記述する。海外の動向については文献⁵⁾などを参照されたい。

3.1 通信衛星の打上げ状況

昭和58年2月に、我が国最初の実用通信衛星CS-2aが、8月には予備機としてCS-2bが打ち上げられた。そして5月からは日本電信電話株式会社、警察庁、建設庁、消防庁、日本国有鉄道、郵政省、及び電力各社によって、離島通信、災害対策用通信、臨時通信の運用が開始されている。

昭和63年にはCS-2の後継機としてのCS-3が打ち上げられることになっている。また、民間で通信衛星を輸入しようという動きもある。

3.2 日本電信電話株式会社の衛星通信サービス計画

日本電信電話株式会社は、衛星通信をINS (Information Network System) でデジタル通信網を形成する基幹技術の一つとして位置づけている³⁾。衛星通信の利用形態を公衆通信の既存サービスとの関係で整理すると、次の二つに大別される。

(1) 地上網埋込み形態

地上網により実現されているサービス、例えば電話、特定通信回線、テレビジョン伝送などを対象に、伝送路として衛星回線の特徴を生かした領域に適用する。既に、(a) 総括局間

* 日立製作所システム開発研究所 ** 日立製作所システム開発研究所 工学博士 *** 日立製作所宇宙開発推進本部

**** 日立製作所コンピュータ事業部

の中継回線、(b) 本土-小笠原間の中継回線、(c) 臨時回線、臨時電話などの加入者直接収容回線、に衛星通信が用いられている。

(2) 衛星独立網形態

地上網で実現されてないか、あるいは実現されにくい新しいサービスの形態に、衛星通信を最大限に生かした適用を行なう。このサービスは、新しい通信形態により高速デジタル回線を提供するSDCS(Satellite Digital Communication Service)現在は「マルチアクセス閉域網」と呼称)と映像回線を提供するSVCS(Satellite Video Communication Service)の2種類がある。日本電信電話株式会社では、昭和59年11月からマルチアクセス閉域網のサービスを提供している。

3.3 郵政省「衛星利用パイロット計画」

CS-3以降の通信衛星の利用促進を目的とする衛星利用パイロット計画が郵政省を中心に昭和58年から5年計画で進められている⁴⁾。本計画は、郵政省電波研究所の指導の下に、実験参加機関が行なう運用実験計画で、CS-2を利用する。

昭和59年度の実験は、(1) コンピュータネットワーク実験、(2) 新聞紙面など伝送実験、に大別される。(1)の実験の参加機関は、銀行、情報(通信)産業会社、メーカー、商社など37機関、13グループで、(2)の実験の参加機関は新聞社、通信社など8機関、5グループである。

日立製作所は、コンピュータネットワーク実験に13の実験実施責任機関の一つとして参加している。日立製作所の実験グループに入っている実験参加機関は、株式会社三和銀行、株式会社東海銀行、株式会社東洋情報システム、株式会社日本興業銀行、日立電子サービス株式会社、株式会社富士銀行、丸紅株式会社、山一証券株式会社の八つである。本実験グループでは、昭和59年から60年にかけて、衛星通信の(1) 符号誤り率特性、(2) スループット特性、(3) メッセージの伝送遅延特性、(4) ファイル伝送(コードデータ、イメージデータ)、(5) 会話形データ伝送、(6) 移動通信、(7) セキュリティ、などに関する実験を進めている。

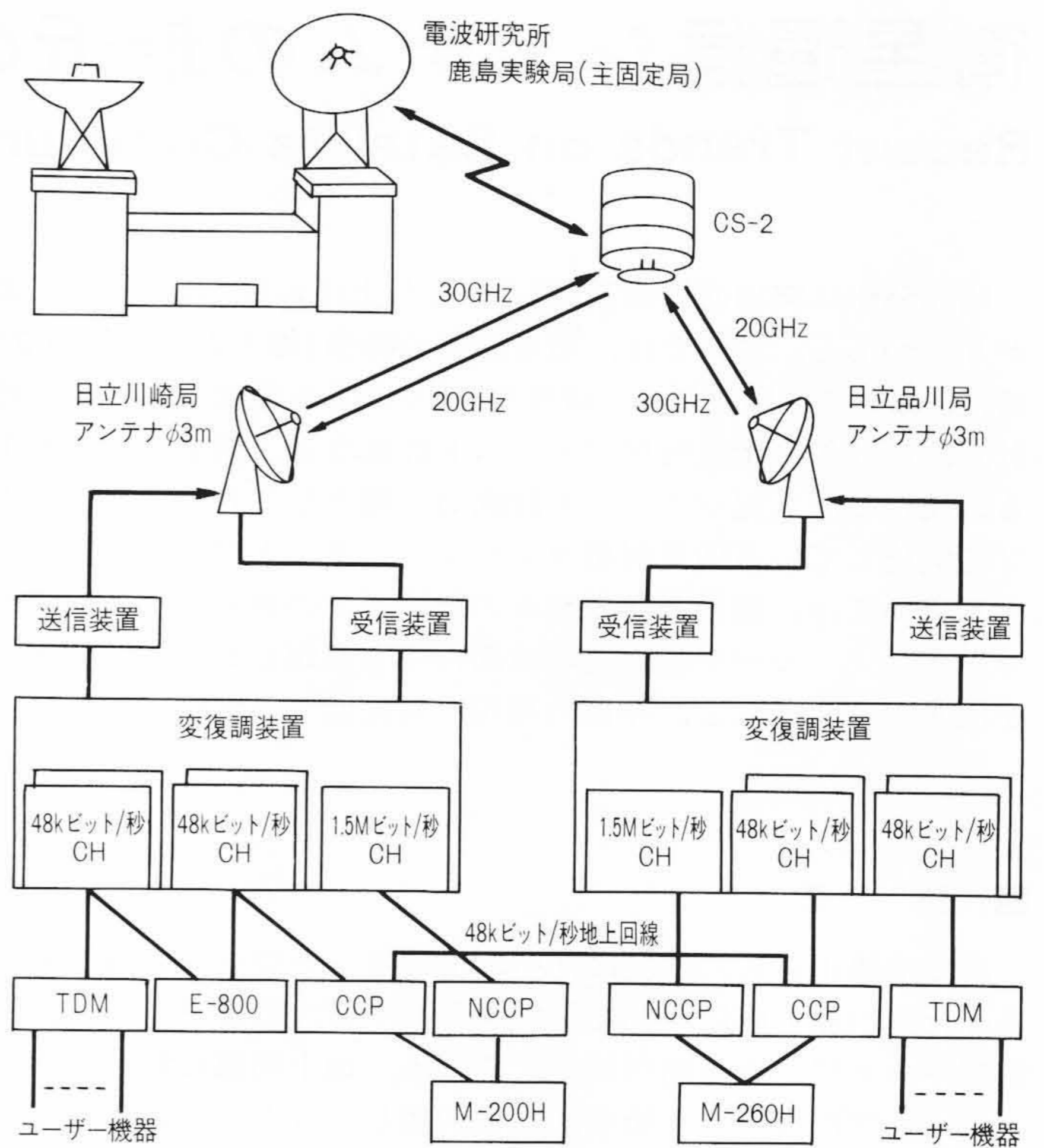
4 日立グループの衛星利用コンピュータネットワーク実験

本章では、衛星利用パイロット計画の一環として日立グループで実施している実験の設備と、昭和59年度の実験結果の一部について報告する。

4.1 実験全体システム構成

実験全体システム構成を図1に示す。地球局は3局から成り、郵政省電波研究所鹿島実験局は、初期回線設定時及び実験参加機関との共同実験時に参加している。ここで日立川崎局は昭和59年3月日立製作所システム開発研究所に、日立品川局は昭和60年3月日立大森第二別館にそれぞれ設置を完了した。日立川崎局、日立品川局ともにアンテナは直径3mのパラボラアンテナで、変調方式は4相位相変調である。通信方式は、一つの搬送波を用いて1衛星回線を構成するSCPC(Single Channel Per Carrier)方式を採用しており、伝送速度が64kbpsの回線であれば4回線、3.088kbpsの回線であれば1回線設定可能である。64kbps 4回線のうち1回線はデータ、音声切換えが可能である。また、48kbpsの地上回線も布設されている。

転送データの発生・消滅など主要なデータ処理を行なうホストコンピュータとしては、日立川崎局、日立品川局ともに日立製作所のHITAC Mシリーズ汎用計算機を用いている。なお、日立川崎局については高性能ミニコンピュータE-800をネットワーク制御プロセッサとして用いての折返しデータ転送も可能としている。



注：略語説明

CH(Channel Unit), TDM(Time Division Multiplexer), CCP(Communication Control Processor), NCCP(New Communication Control Processor)

図1 実験全体システム図 日立製作所の実験全体システム構成を示す。日立川崎局は昭和59年3月、日立品川局は昭和60年3月それぞれ設置を完了した。48kビット/秒CH(チャンネルユニット)は川崎局、品川局ともに4チャンネル実装されている。

4.2 実験結果

昭和59年度の実験項目のうち、日立川崎局だけを使用して行なった実験結果の概要について述べる。

(1) 実験システム

1局構成時の日立川崎局のシステム構成を図2に示す。同図で、アンテナと送受信装置は建屋の屋上に、変復調装置とE-800は同じ建屋内の計算センタに設置されている。E-800と変復調装置は48kbpsの全二重回線2本で接続されており、衛星を介して折返しループを形成し、折返しデータ転送を可能にしている。なお、変復調装置で転送データに誤り訂正用の冗長ビットの付加と削除が行なわれるため、アンテナでの伝送速度は64kbpsとなる。

衛星通信の基本特性を把握するための測定器として、BER(Bit Error Rate: 符号誤り率)測定器、電圧計、スペクトラムアナライザ、雨量計(水滴計数形降雨計)を設置した。BER測定器は、衛星回線の符号誤り率を測定するもので、電圧計は信号を送信する電波の実質的な強さを表わすC/N(搬送波対雑音電力比)を測定する。C/N対BER特性は使用している衛星回線の伝送品質の評価尺度になるもので、C/Nが大きいとBERは小さくなる(伝送品質が良くなる)。また、同じBERの値を与えるC/Nの値が小さいほど地球局の特性が良いことになる。スペクトラムアナライザは、送受信周波数やC/Nをモニタするのに用いる。これらの測定器(電圧計は除く)は、C/N、BER、雨量の自動測定を1分間隔で行なえるように、GP-IBバスでデスクトップコンピュータに接続されており、測定データはすべてフロッピーディスクに書き込まれる。

衛星を介して送受信されるデータの基本伝送特性、例えば

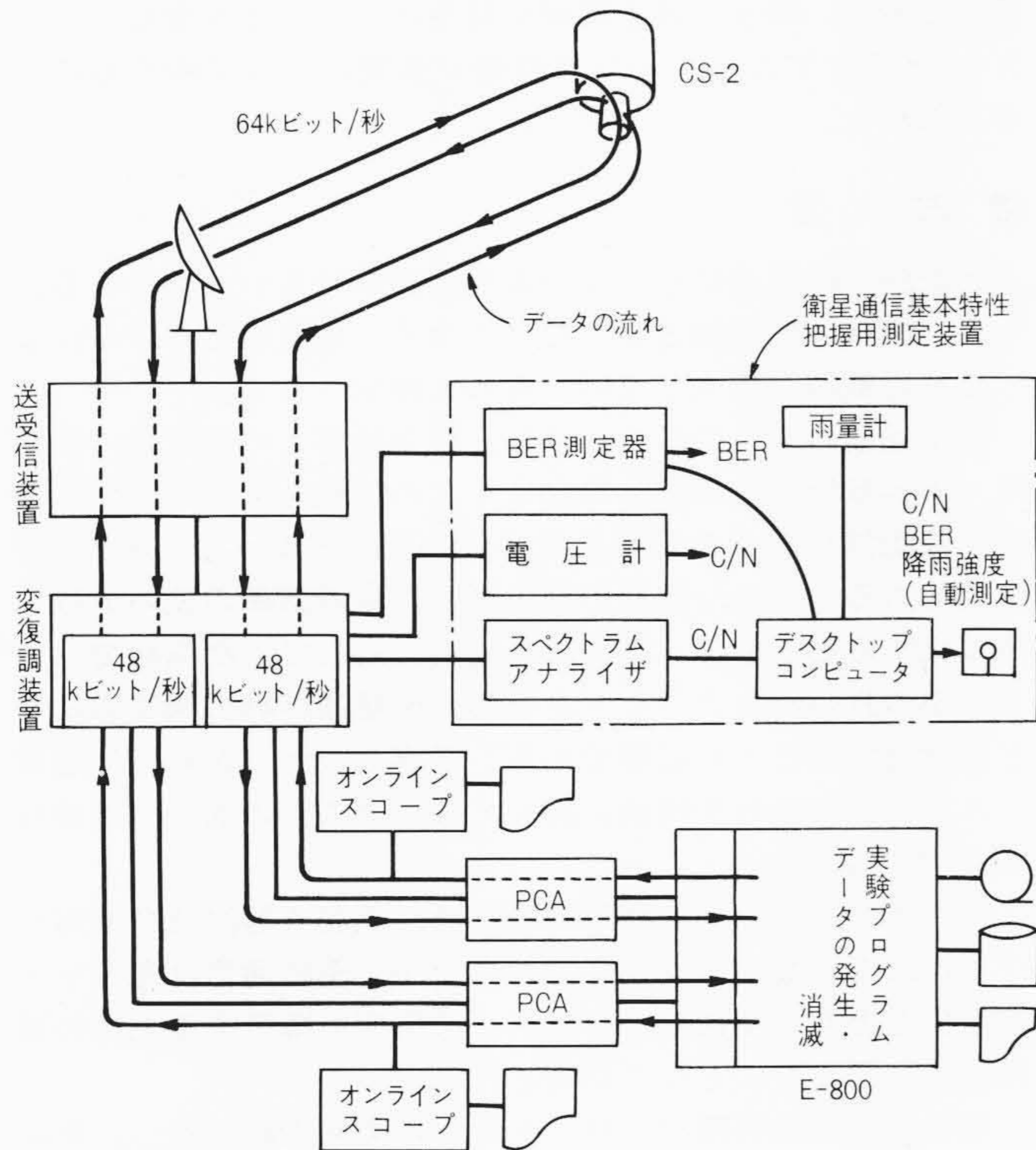
伝搬遅延時間、再送フレーム数などを把握するために、E-800と変復調装置間にオンラインスコープが接続されている。

(2) 実験結果

実験結果の概要を以下に述べる。

(a) C/N対BER特性

可変抵抗減衰器により送信電力を減少させることにより、受信C/Nの値を変化させ、各C/Nに対するBERの値を



注：略語説明 BER(Bit Error Rate), C/N(Carrier/Noise)
PCA(パケット通信制御アダプタ)

図2 実験システム(1局構成) 日立川崎局1局による折返しデータ転送実験時のシステム構成で、C/N、雨量、BERの自動測定が可能である。

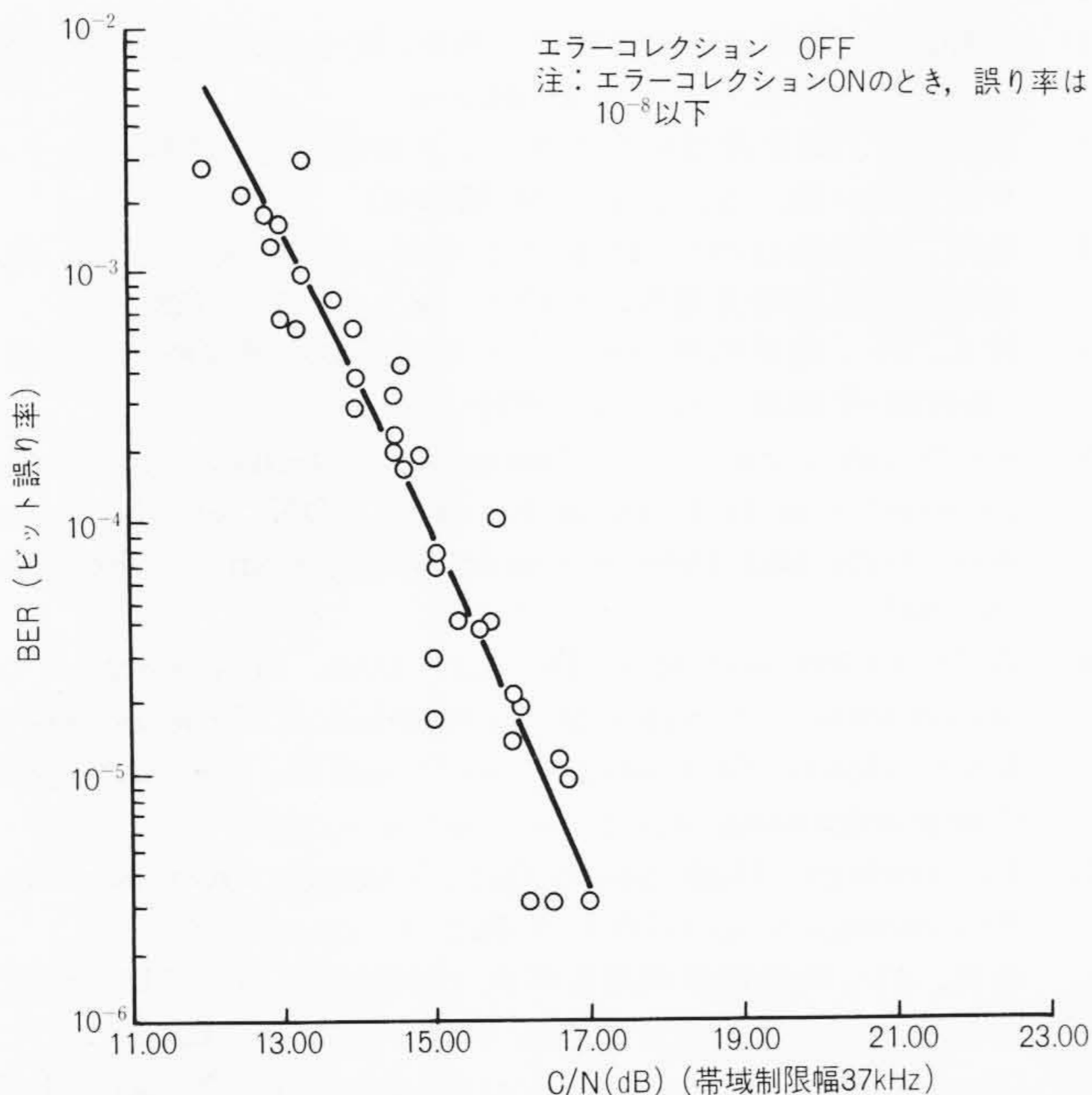


図3 C/N対BER特性(7月, 8月, 9月分) C/N(搬送波対雑音電力比)とBER(ビット誤り率)との相関関係を示すもので、衛星回線の伝送品質を評価する尺度となる。同じBERの値に対してC/Nが小さいほど特性が良いことになる。

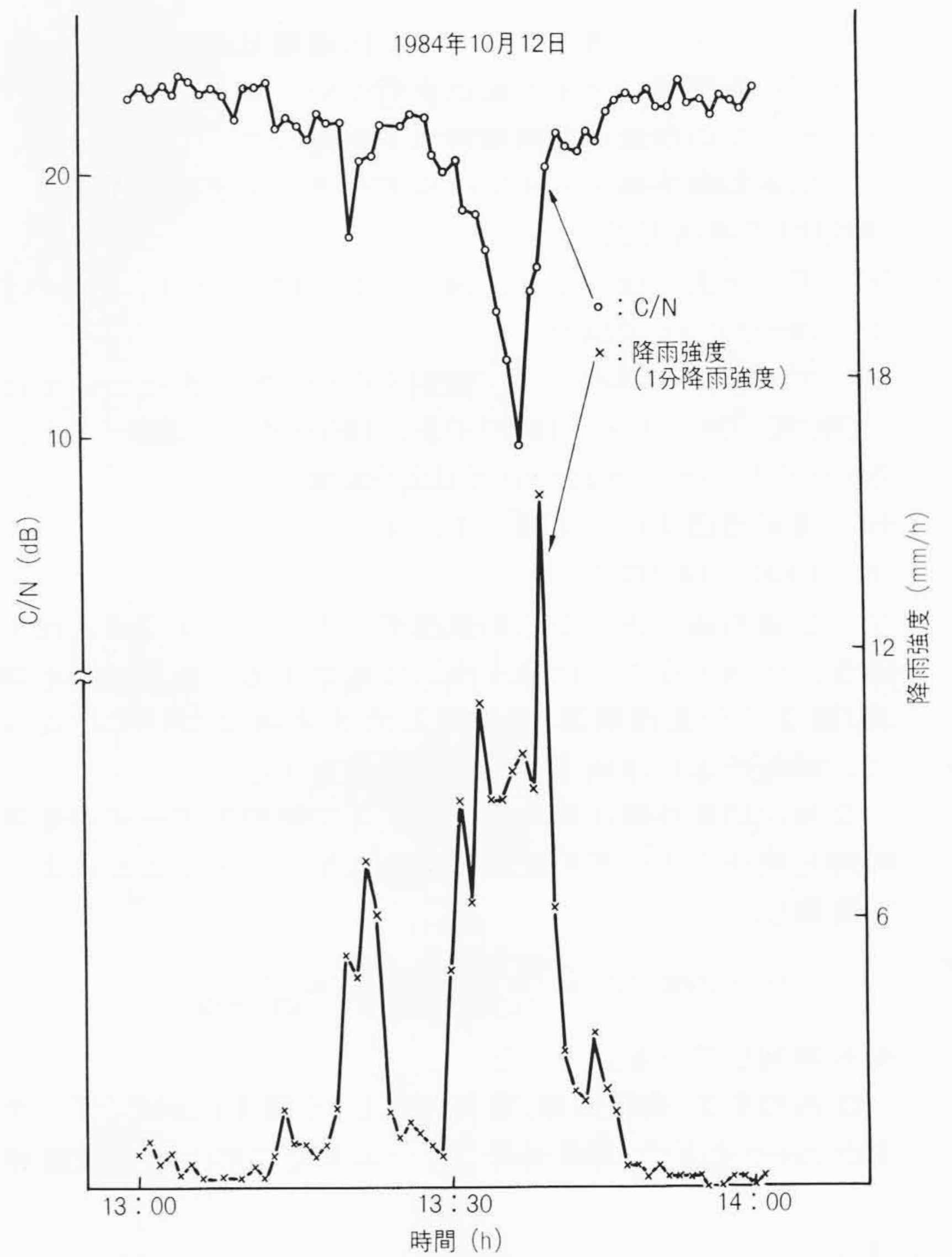


図4 C/N及び降雨強度の変化 降雨強度の最も強かった時間帯(13時~14時)の1分間隔の測定データをプロットしたものである。1分間の降雨強度の最大瞬時値は0.28mm/minであった。

測定した。測定は、変復調装置内の誤り訂正回路をONにした場合とOFFにした場合について行なった。

7, 8, 9, 3箇月分の測定結果を一例として図3に示す。通常運用時のC/N=約23dB付近では、誤り訂正回路がONでもOFFでもBERは 10^{-6} 以下となり実用上問題のないことが分かる。

(b) 降雨減衰特性

昭和59年10月12日に、1分間隔で降雨減衰特性の連続測定を行なった(9時半~16時半)。C/N、降雨強度の測定結果のうち、降雨強度の最も強かった時間帯(13時~14時)の1分間隔のデータを図4に示す。この図から1分間の瞬時値の最大は0.28mm/1min(1時間換算で約16mm/h)で、C/Nが約10dB減衰しているのが観測されている。C/Nが通常運用時のレベルより10dB減衰したときでも、BERは誤り訂正回路がONの場合、 10^{-8} 以下になることは実測済みであり、また、この測定中も1時間間隔で誤り訂正回路をONにしてBERを測定したが、すべて 10^{-8} 以下であった。これらの結果、実験した範囲内では実用上問題のないことが分かった。

(c) C/Nの変動特性

昭和59年9月28日から9月30日にわたって郵政省電波研究所を中心に、パイロット計画の他の参加機関も加わって、C/Nの自動測定を1分間隔で行なった。1時間ごとの平均値をプロットした結果を図5に示す。1日の周期でC/Nの値が変動しているのが観測される。この現象は、郵政省電波研究所で検討の結果、衛星の姿勢の日周変動によるものであるとの結論を得ている。

- (d) スループット及びメッセージ伝送遅延時間特性
 下記の条件でファイル転送を行ない、スループット及びメッセージの伝送遅延時間特性を測定した。
- (i) 伝送制御手順・ハイレベルデータリンク制御手順 (REJECT再送方式)
 - (ii) データ長：18バイト，50バイト，100バイト，150バイト，209バイト，254バイト
 - (iii) データ数：18バイト，120バイトのデータについては1,000個，50バイト，100バイト，150バイト，209バイト，254バイトのデータについては2,500個
 - (iv) 連続送信フレーム数：1，4，7
 - (v) BER： 10^{-8} 以下
 - (vi) 伝送方法：あらかじめ伝送データをディスクに入れておき，伝送するごとに読み出して送信する。衛星回線と端局(図2での変復調装置)折返しの2系統について行なった。端局折返しは地上回線使用に相当する。

なお，伝送時間は実験プログラムで最初のデータの送信時刻と最後のデータの受信時刻をロギングすることによって実測し，

$$\text{伝送効率(\%)} = \frac{\text{伝送データ量}}{\text{伝送時間(s)}} \times \frac{100}{48,000}$$

から算出している。

伝送効率比(衛星回線/端局折返し)を図6に示す。データ長が254バイトで，連続送信フレーム数が7のとき衛星回線

は地上回線と比較して伝送効率は本実験の環境下では劣らないことが分かる。

以上，実験結果の一部について報告した。これらの実験により，衛星通信は通常の利用形態では目的とする基本特性を満足する見通しを得るとともに，今後の利用形態に関する示唆を得た。

今後，情報ネットワークは衛星通信を含むもの(ミックストメディアネットワークと呼ばれる⁹⁾)になってゆくことは必然であり，衛星・地上回線切替制御方式などを含むミックストメディアルーティング技術が重要になってゆくものと考えられる。

5 結 言

我が国の衛星通信もいよいよ実用段階に入りつつある。今後，衛星通信単独としてだけでなく，地上網との併用によって利用範囲が拡大していくものと推定される。

衛星通信の導入に当たっては，地上災害との独立性，長距離・大容量伝送経済性，移動性などの特長を生かし，伝搬遅延，降雨減衰などの短所を最小限に留めるような工夫が⁶⁾~⁸⁾必要である。また，既存の地上網と衛星通信網の使い分けを明確化するとともに，地上網の災害に対して，高信頼でしかも効率の良いバックアップを行なう衛星通信網の構築方法などを検討することも必要である。既存システムから衛星通信システムへの移行や接続に関しては，コストの面からの検討も大切であろう。

衛星通信の本格的実利用の前には，上記の解決及び検討しなければならない様々な問題があるが，衛星通信は光ファイバ通信とともに今後のデジタル通信網を構築する上での基幹技術になるものとして期待される。

最後に，衛星利用パイロット計画の実験実施に際し，常に適切な御指導をいただいている郵政省の関係各位に対し，深く謝意を表わす次第である。

参考文献

- 1) 松井，外：衛星通信利用形態の検討，電子通信学会技術研究報告，SAT83-30，pp.7~13(昭58-9)
- 2) 森山，外：衛星通信利用のサービス形態とその実験システム，日立評論，66，5，371~374(昭59-5)
- 3) 田中：衛星通信の利用に関する考察—利用形態の展望，電子通信学会技術研究報告，SAT83-28，47~53(昭58-9)
- 4) 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)
- 5) R.F.Stowe：Satellite Business Systems：Preliminary Experience in the Introduction of an ISDN，Seminar lecture note，Data and Telecommunications Japan '83，February 18，1983
- 6) W.D. Brodd and R.A. Donnan：Data Link Control Improvements for Satellite Transmission，Proceedings of International Symposium on Satellite and Computer Communications，April 1983，pp.201~213
- 7) J.L. Owings：High Speed Data Transfer Over Satellites，Proceedings of COMPCON Fall '83，pp.66~70
- 8) 松尾，外：衛星通信用高能率誤り制御プロトコル(MN-SREJ)の提案，電子通信学会論文誌'8418，Vol. J67-B，No. 8
- 9) Dieu Huynh，et al.：Optimal Design of Mixed-Media Packet-Switching Networks. Routing and Capacity Assignment，IEEE Trans on Communication COM-25，pp.158~169 (Jan. 1977)

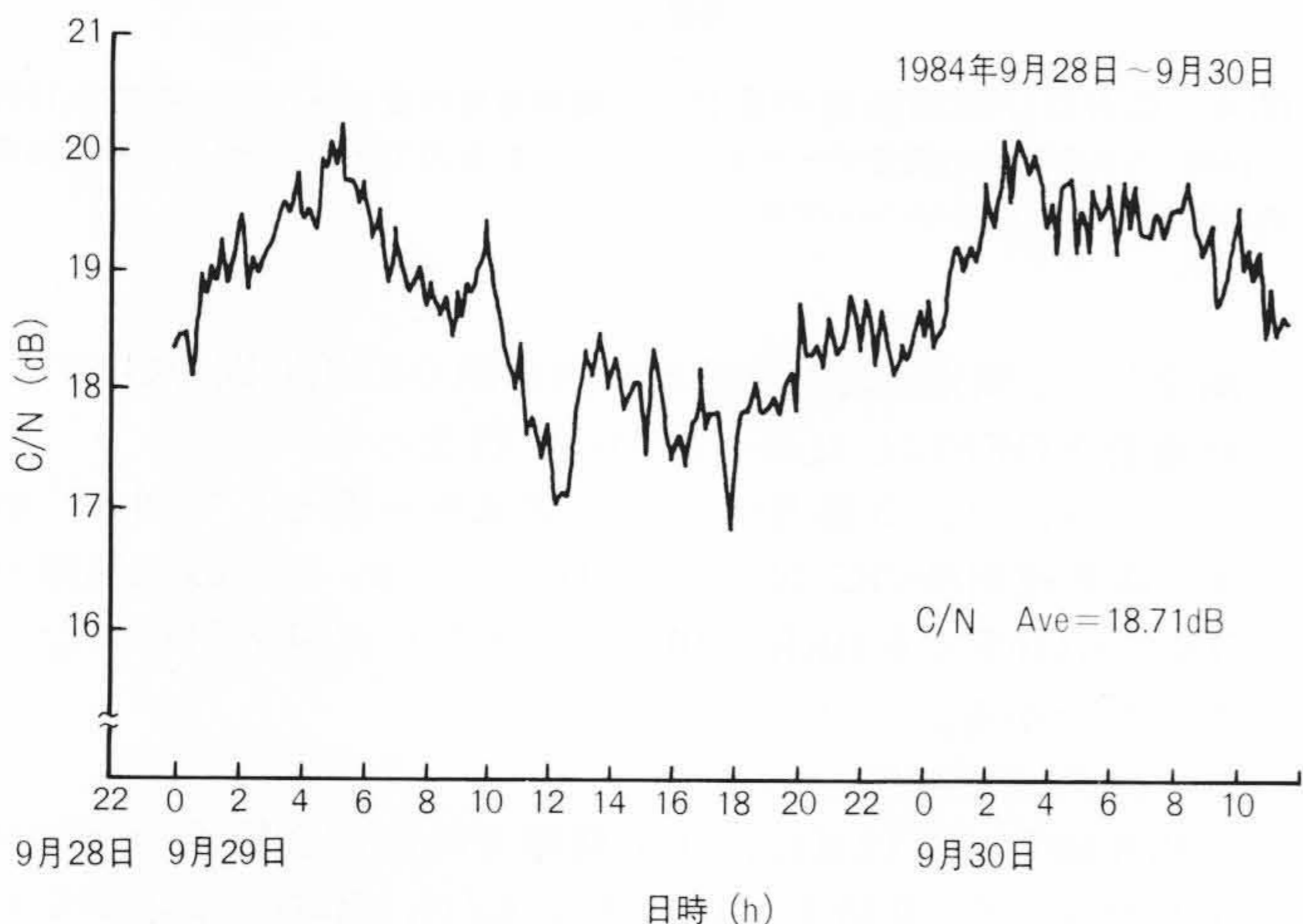


図5 C/Nの変化 C/Nの変動特性を自動測定したもので，1日の周期で変化するのが観測される。この現象は，衛星の姿勢の日周変動によるものであることが確認されている。

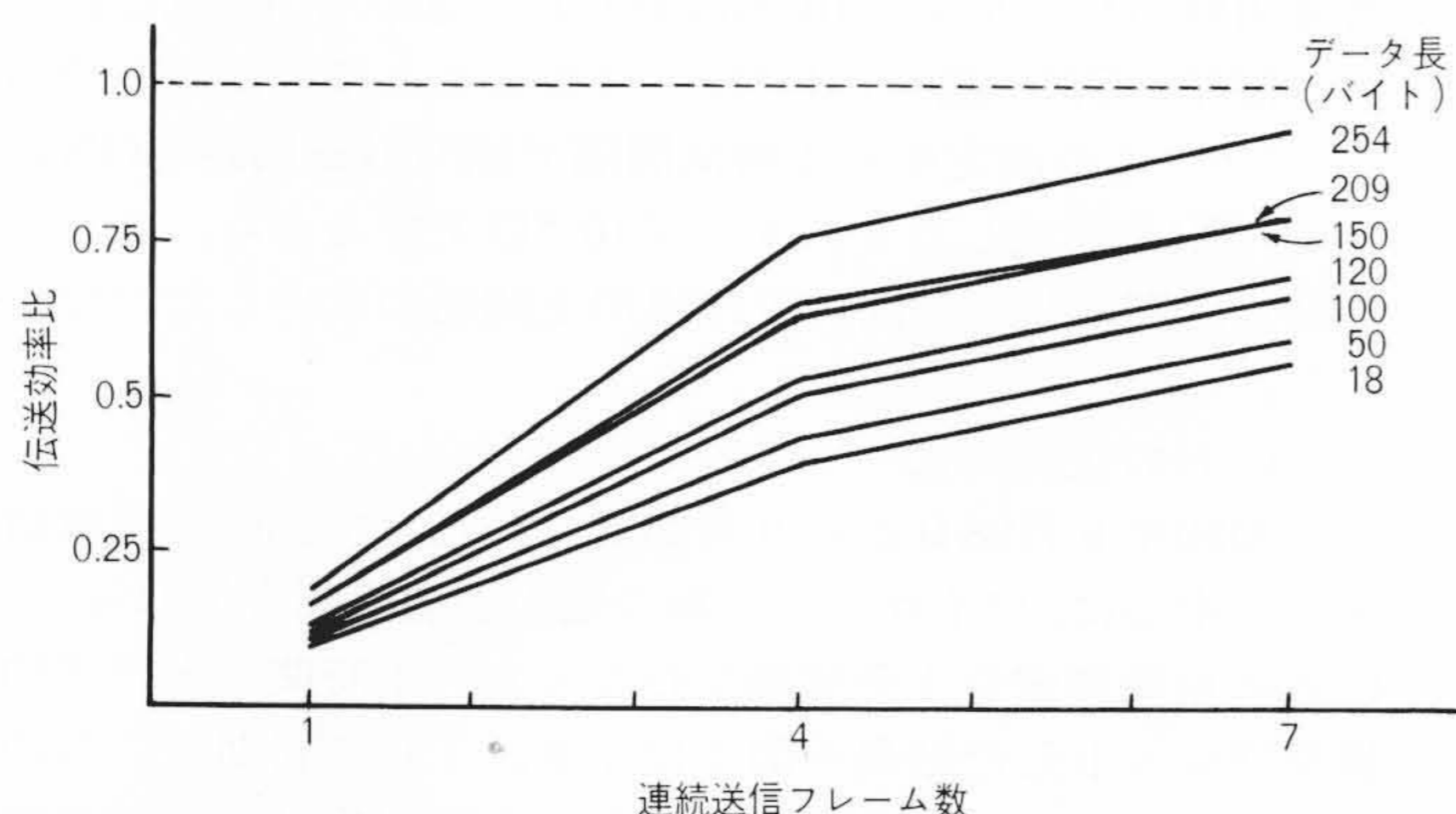


図6 伝送効率比(実測値：衛星回線/端局折返し) 衛星回線と端局折返し(地上回線に相当)使用時の伝送効率を，7種類のデータ長について連続送信フレーム数が1，4，7の場合について実測した。