



超小型地球局を利用した衛星通信実験システムの構築

メタデータ	言語: jpn 出版者: 室蘭工業大学 公開日: 2007-06-15 キーワード (Ja): キーワード (En): VSAT, telecommunication satellite, rainfall attenuation measurement, network 作成者: 畑中, 雅彦, 鈴木, 真也, 岡, 和喜男, 杉岡, 一郎 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/173

超小型地球局を利用した衛星通信実験システムの構築

その他（別言語等）のタイトル	A System Design of Satellite telecommunication Experiments Based on Very Small Aperture Terminal
著者	畑中 雅彦, 鈴木 真也, 岡 和喜男, 杉岡 一郎
雑誌名	室蘭工業大学紀要
巻	48
ページ	67-73
発行年	1998-11-13
URL	http://hdl.handle.net/10258/173

超小型地球局を利用した衛星通信実験システムの構築

畑中 雅彦*¹, 鈴木 真也*¹, 岡 和喜男*¹, 杉岡 一郎*¹

A System Design of Satellite Telecommunication Experiments Based on Very Small Aperture Terminal

Masahiko HATANAKA, Shinya SUZUKI, Wakio OKA and Ichiro SUGIOKA

(原稿受付日 平成10年 5月 8日 論文受理日 平成10年 8月31日)

Abstract

We have been constructing a satellite telecommunication experiment system using by one channel of 64 Kbps satellite communication link and a very small aperture terminal (VSAT). This experiment system is divided into three sub-systems: i). VSAT remote monitor and control sub-system, ii). automatic rainfall attenuation measurement sub-system, and iii). telecommunication and network routing sub-system. Large part of the remote access and control software for these sub-systems was designed and coded by ourselves. In this paper, we report an all-inclusive result of our constructed experimental system and related studies.

Key words : VSAT, Telecommunication Satellite, Rainfall Attenuation Measurement, Network

1. はじめに

衛星通信は、広域性・同報性・回線設定の柔軟性・対災害性などの特徴を有し、日本においても既に種々の利用形態で実用化されている^[1]。また、インターネット(The Internet)の通信インフラの一つとして、衛星通信回線を利用する試みも始まっている^[2,3]。衛星通信の耐災害性を利用したユニークな試みとして、WIDEプロジェクトを主体とする研究グループにより、災害によって損壊した地上通信設備に変えて衛星回線を用いてネットワークを迅速に再構成するための実験「インターネット防災訓練」が行われている^[4]。

これら衛星通信の普及において、極めて小型で安価な超小型地球局(Very Small Aperture Terminal; VSAT)^[5,6]の実用化が大きな役割を果たしてきている。

我々は、学内に超小型地球局(VSAT)を設置して、1993年1月に郵政省より実験用無線局開設の免許を取得した(局名: Unsat協議会 JCS 北海道可搬3)。また、「デジタル衛星通信の大学間高度共同利用研究(UnSAT)協議会」に参画し、(株)日本サテライトシステムズから提供されている64 Kbpsの衛星通信回線を用いて共同研究を行ってきている^[7,8]。

今回、この衛星回線と本学に設置された超小型地球局を利用した衛星通信実験用のシステムの基本部分の構築をほぼ終えたので(図1のシステム概観図を参照)、構築した実験システムに関する総合報告を行う。

*1 情報工学科

2. 衛星通信システム概要

2.1 通信衛星について

通信衛星として、1997年3月までは東経 150° の静止軌道ににあった JCSAT-1 号衛星を、1997年10月以降は同じ軌道位置に置き変わった JCSAT-1A 号衛星を利用している (図2)。両通信衛星は Ku バンド^{*1} の中継器を有しており、衛星への送信 (Up Link) 周波数は 14 GHz 帯、衛星からの受信 (Down Link) 周波数は 12 GHz 帯である。本学から見た衛星の方位角および仰角はそれぞれ 166.78° と 40.31° である (図3参照)。

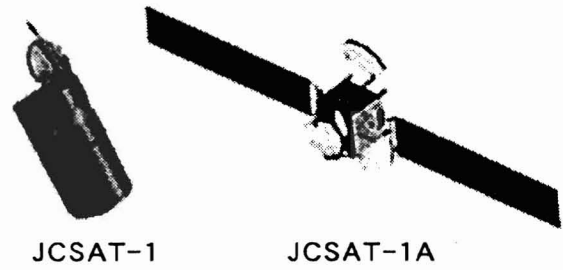


図2 JCSAT 通信衛星の外観図^{*2}

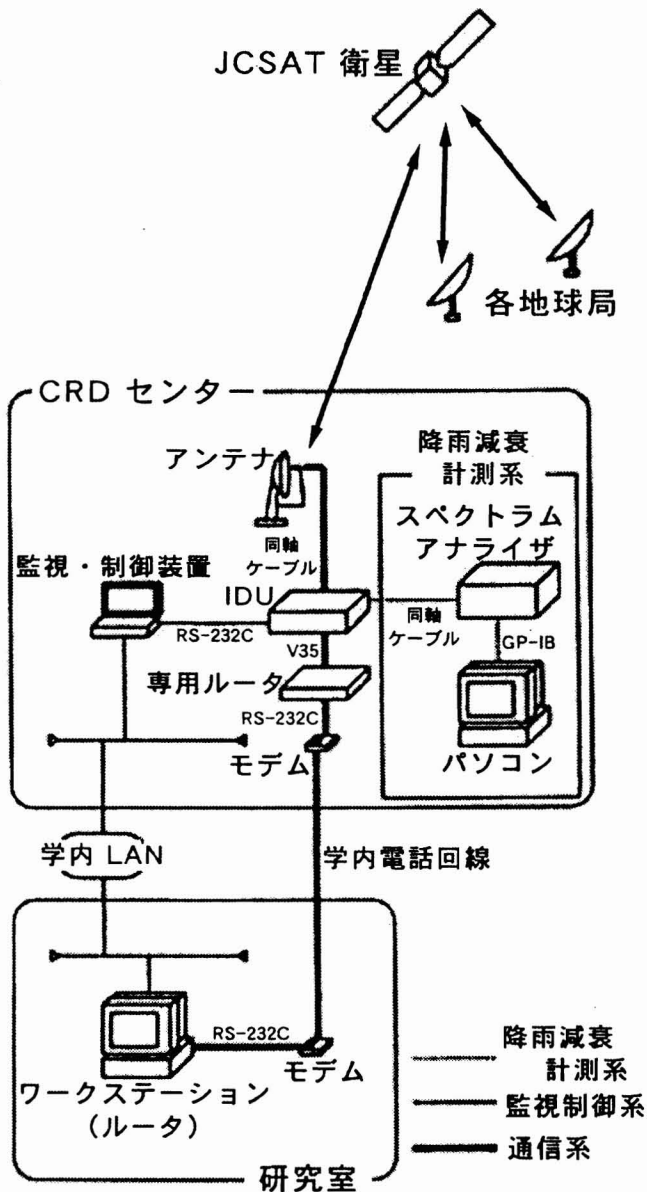


図1 構築した衛星通信実験システムの概観図

*1 K バンド (12~30 GHz 帯) の下側 (K under) の帯域で、12.0~18.0 GHz 帯を意味する。



図3 本学地球局からの JCSAT-1/-1A 衛星の方向

*2 (株) 日本サテライトシステムズのホームページ (<http://www.ijnet.or.jp/JSAT/index.html>) からの引用

2.2 超小型地球局について

本学キャンパス南端に位置する地域共同研究開発センター (CRD センター) に設置されている超小型地球局は NEC 製 VSAT システム NEXTAR で (図 4 参照), 有効径 1.8 mφ のオフセット・パラボラ・アンテナと室外装置 (Out Door Unit; ODU) および室内装置 (In Door Unit; IDU) から成る^[9].

本学地球局の送信 (Up Link) および受信 (Down Link) 周波数は, 14,003.75 MHz および 12,255.75 MHz である. アンテナの先端にある ODU は, 主に信号の増幅および中間周波 IF (送信 1.25 GHz 帯, 受信 0.50 GHz 帯) への周波数変換を行っている.

図 5 下段に外形を示した IDU は, 信号の変調/復調および暗号化 (スクランブル) /復号化 (デスクランブル) 等の処理を行うとともに, VSAT システムに関する各種の自動監視・制御を行っている. 自動監視・制御に関する主な項目は,

- 受信信号強度を監視し, 信号強度が一定になるように VSAT システム内の各種増幅器の増幅率 (ゲイン) を自動調整する AGC (Auto Gain Control).
- 受信信号周波数を監視し, 受信中心周波数からのオフセット (RX Frequency Offset) を自動的に補正する AFC (Auto Frequency Control).
- 1 bit 当たりの信号に対する雑音の程度を評価する, 1 ビット当たりのエネルギー対雑音電力密度比 E_b/N_0 ^[10] の自動計測.
- 受信した総ビット数に対する誤って受信されたビット数の比である符号誤り率 (Bit Error Rate) BER^[11] の自動計測.

である. 受信周波数の変更により実現できる通信相手 (受信チャンネル) の選択も, IDU で行う.

3. 超小型地球局の遠隔監視・制御について

2.2 節で概説した衛星回線の監視および制御は, CRD センター内の実験室に設置されている IDU 前面の制御パネル (図 5 参照) により手動でも行えるが, 計算機を IDU の Monitor & Control 端子にシリアル (RS-232C) 接続することによっても行える.

今回構築したシステムでは, 旧式のノート型パソコン (東芝製 DynaBook V386/25, 6 MB RAM, 200 MB HDD) にフリーの PC-UNIX (FreeBSD 2.2^[12]) をインストールし, 自作の遠隔監視・制御ソフトウェア^[13] を稼働させている. 本パソコンは Ethernet アダプタにより学内 LAN に接続されているので, 遠隔端末 (telnet) コマンド等を使うことにより, 通信相手の変更や装置/回線の状況 (送信電力や受信周波数など/AGC, E_b/N_0 , RX Frequency Offset, BER の値など) の確認を学内 LAN に接

続している計算機から行うことができる. また, 回線状態の長期変動を保存するために, $AGC \cdot E_b/N_0 \cdot RX$ Frequency Offset $\cdot BER$ の 180 秒毎の測定結果 3 回分を加算平均して, 値をログとしてハードディスクに保存するようになっている (図 6 参照).

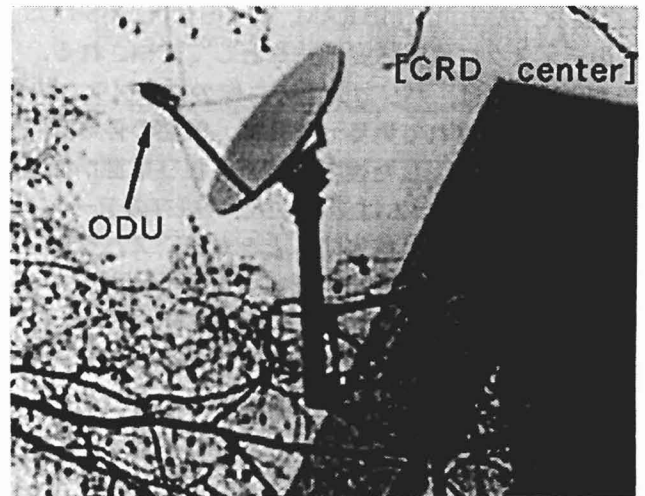


図 4 アンテナおよび ODU の設置状態

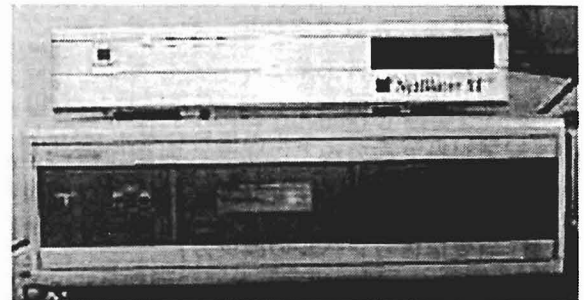


図 5 専用ルータ (上) と IDU (下) の外形図

kterm				
time	AGC level	Eb/No	RX Frq ofs	bit er rate
1998 Feb 4				
0:11:32	3.9000000	10.0000000	1.4000000	0.0000000
0:21:27	3.8666667	10.0000000	1.4000000	0.0000000
0:31:22	3.9000000	10.0000000	1.4000000	0.0000000
0:41:18	4.0333333	10.0000000	1.4000000	0.0000000
0:51:13	4.1000000	10.0000000	1.3333333	0.0000000
1: 1: 8	4.0666667	10.0000000	1.3000000	0.0000000
1:11: 3	4.0333333	10.0000000	1.3000000	0.0000000
1:20:58	4.0666667	10.0000000	1.3000000	0.0000000
1:30:53	4.0000000	10.0000000	1.3000000	0.0000000
1:40:49	4.0000000	10.0000000	1.2000000	0.0000000
1:50:44	4.1000000	10.0000000	1.2000000	0.0000000
2: 0:39	4.0666667	10.0000000	1.2000000	0.0000000
2:10:34	4.1666667	10.0000000	1.2000000	0.0000000
2:20:30	4.2000000	10.0000000	1.2000000	0.0000000
2:30:25	4.2666667	10.0000000	1.1000000	0.0000000
2:40:20	4.2000000	10.0000000	1.1000000	0.0000000
2:50:15	4.3000000	10.0000000	1.1000000	0.0000000
3: 0:10	4.3666667	10.0000000	1.0666667	0.0000000
3:10: 6	4.3333333	10.0000000	1.0000000	0.0000000
3:20: 1	4.3000000	10.0000000	1.0000000	0.0000000
3:29:56	4.3333333	10.0000000	1.0000000	0.0000000
3:39:51	4.4333333	10.0000000	1.0000000	0.0000000

図 6 回線状況のログの例

4. 降雨減衰計測系について

受信信号強度を調べるため、IF 受信信号を IDU の AUX-OUT 端子から取り出して計測する(図 1 の降雨減衰計測系の部分を参照)。IF 信号は、ADVANTEST 社製のスペクトラム・アナライザ R4136 にて周波数分析および加算平均処理されて、GP-IB を介してパソコン(NEC 製 PC-98XL, 1.6 MB RAM, 1.0 GB HDD, MS-DOS 6.2)のディスクに電波強度データとして格納される。本計測系の制御は、パソコン上の自作のプログラム^[14]によって自動化されている。例えば、突然の停電等によりシステムダウンした後で計測系に再び電源が投入された時、本プログラムはディスク上の既存のデータ・ファイルを可能な限り修復するとともに、スペクトラム・アナライザの各種設定を行って自動的に計測を再開する。現在5分間隔でデータを収集している。

受信信号の変動は、ドリフト等による静止衛星の位置移動や VSAT システムの性能変動によっても生ずるが、伝搬路上の雲や降雨・降雪による電波減衰に強く依存する。本計測系はこの信号減衰の観測を目的としているが、通信システムである VSAT は、通信状態を一定に保つ目的で系のゲインを変化させる AGC (Auto Gain Control) 機構が常に動作し、受信信号レベルのみから減衰量を得ることはできない。そこで、系のゲイン変化が受信雑音レベルも変えることに着目して、本学の受信チャンネルの信号レベル(受信信号レベル)と使われていない近傍チャンネルの信号レベル(受信雑音レベル)を調べて、次式から減衰量を算出する。

$$\text{(減衰量)} = \text{(受信信号レベルの減少分)} + \text{(受信雑音レベルの増加分)} \quad \text{--- (1)}$$

本計測系の性能評価は、以下のように行った^[15]。晴天時(1994年10月24日0時00分)の受信信号スペクトラム例を図7に示す。中央の505.75 MHz が本学の受信チャンネルであり、他に信号が観測されている505.45, 505.55 MHz が東北学院大学および電気通信大学のチャンネルである。降雨・降雪時の信号レベル変動例として、1995年1月7日の結果を図8に示す。午前11時頃に、本学の自局折り返し信号(受信信号レベル)が最大で3.5 dB程度低下し、受信雑音レベル(信号が観測されなかった505.65 MHz のチャンネルの値)が7.7 dB程上昇した。この結果を(1)式に代入して減衰量を求めると、11.18 dBの最大減衰量を示す図9の結果となった。また、この日の AGC の値の変化をプロットすると図10となり、最大減衰量は11.59 dBであった。積雪によるアンテナ表面の変化や外気温変化に伴う ODU の性能変動等に起因する信号減衰についての詳細な検討も必要であるが、上記の結果から本計測系は1 dBを十分越える降雨減衰の観測は可能であると判断した。

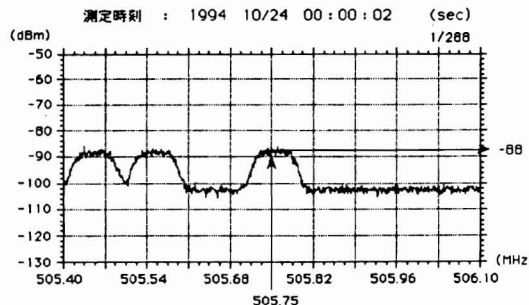


図7 晴天時の受信信号の周波数スペクトル例

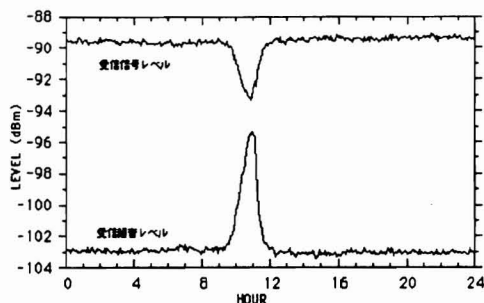


図8 降雨・降雪時のレベル変動例

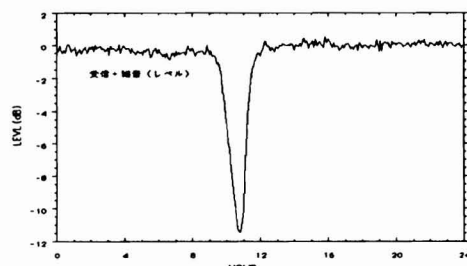


図9 図8から求めた減衰量の変化例

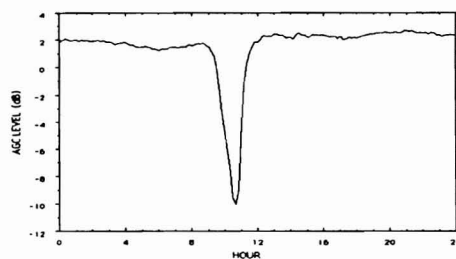


図10 AGC レベルの変化の例

この検証例では自局折り返し信号を観測していたので、本計測値と AGC の値は原理的に同じ結果を示す。しかし、通常の通信時において、AGC の値は本学 - 衛星間の降雨・降雪等による減衰のほか相手局 - 衛星間の減衰に依存して変化する。本計測系は本学 - 衛星間の減衰のみを計測することができるので、相手局と

の使用周波数の差および衛星 - 地球局間の伝搬路長の差が減衰量に及ぼす効果を無視すれば^{*1}, 相手局 - 衛星間の減衰量も推定できる。

本計測系を用いた降雨減衰の観測は, 学内に設置されている雨量計が休止状態になる冬季間を除いて現在も継続して実施しており, 雨量計から得られる降水強度との比較・検討も可能となっている^[16, 17].

5. 通信・ネットワーク系について

本通信実験システムにおける通信経路は, 図1に太線で示されている。衛星からの信号は, IDUにおいて復調・デスクランブルなどの処理が行われ, デジタル信号として V35 インターフェイスを介して TELEBIT 社製の専用ルータ NetBlazer ST (図5上段を参照) に到達する。このルータは, シリアル・ラインや電話回線のインターネット・プロトコル (IP)^[18] である PPP (Point to Point Protocol) および SLIP (Serial Line Internet Protocol)^[18] をサポートしているので, シリアル (RS-232C) ケーブルによりコンピュータと接続できる^{*2}。

本学の構成では, この専用ルータを RS-232C ケーブルによりモデム (デジタル電話機) に接続し, 学内電話回線を経由してキャンパス北端の当研究室まで通信路を延長している。研究室側のモデムは, RS-232C ケーブルにより, ワークステーションに接続されている。専用ルータとワークステーションとの間の通信プロトコルは, 実装が簡単な SLIP を用いた。このワークステーションは Ethernet により研究室 LAN (学内 LAN) にも接続されているので, 学内 LAN 上の任意のコンピュータから, 学内 LAN ~ 本ワークステーション ~ 学内電話回線 ~ 本学の専用ルータ ~ 本学 IDU ~ 衛星回線 ~ 共同研究先の IDU ~ 共同研究先の専用ルータを経由して, 共同研究先のコンピュータまたは共同研究先の LAN に接続する事が原理的に可能となった (図1参照)。

*1 UnSAT 協議会の下で研究を行っている共同研究先は, 同じ中継器 (帯域幅 27 MHz) を利用しており, 各局の周波数の差異が降雨減衰等に与える影響は近似的に無視できる。但し, 本衛星には 3 MHz の中継器間隙を設けて同一偏波面用に 16 本の中継器が搭載されており, 異なる中継器を利用した地球局間の通信では最大 500 MHz 程度の周波数の差が生ずる。この場合は, 周波数による減衰量の違いを考慮する必要があると思われる。また, 国内通信に限定すれば, 衛星 - 地球局の距離に比べて地球局間の距離は十分短いので, 伝搬路長の差異も無視できるとと思われる。

*2 共同研究先である北大側の通信経路は, このような構成である。

表1 ルーティング・テーブル

パケットの宛先, 送信先の IP アドレス	選択される経路 (選択される I/F)
ルータ (ワークステーション) 用	
共同研究先 (北大)	学内電話回線 (Serial I/F)
共同研究先以外	研究室・学内 LAN (Ethernet I/F)
専用ルータ用	
本学	学内電話回線 (Serial I/F)
本学以外	衛星回線 (V35 I/F)

インターネットを含めたデジタル通信では, 情報を特定の大きさのパケット (packet, 小包) に分割し, 各パケットに送信先や送信元のアドレス (例えば IP アドレス^[18]) などを附加して通信路に流すパケット通信が主流である^[19]。学内 LAN からのパケットは, (i). 通常インターネットと呼んでいる地上専用回線経由の他に (ii). このワークステーションを介した衛星回線経由でも共同研究先に届けられるので, 何らかのルールに基づいた経路の選択・制御 (routing) が必要になる^{*3}。適切な経路選択機構の設定のためには, 「地上専用回線の混雑時に一部のパケットを衛星回線に流す」とか, 「特定のサービスに関与するパケットを衛星回線に流す」などの経路選択のルールについて, 学内 LAN 関連部局および共同研究先と合意する必要がある。

我々は, 経路制御方式として衛星インターネットで発案されている代理サーバ (proxy server) 利用方式^[3] の採用を計画しているが, 現在, 学内 LAN の経路制御に影響を及ぼさないように, 以下に示す非常に単純な経路制御ルールの下での接続確認実験を行っている。

- 衛星回線へのアクセスは, 図1中に示したワークステーションに限定する。他の計算機から利用したいときには, 遠隔端末 (telnet) コマンド等でこのワークステーションに入って使用する。
- 衛星回線を利用した通信相手は, 共同実験先 (当面は北大) に限定する。
- 衛星回線経由で届いた本学学内 LAN 上の計算機宛のパケットは, 研究室 LAN を経由して学内 LAN に流す。

*3 何もしなければ, 学内 LAN の現状の経路制御ルールにより, 全てのパケットは地上専用回線を経由して学外に送られる。

具体的には、このワークステーション上で経路制御用常駐プログラム(ルーティング・デーモン routed^[20])を稼働させ、経路制御情報(routing table)として表1の「ルータ(ワークステーション)用」のルールを与える。CRD センターにある専用ルータ用の経路制御情報は、表1下段の「専用ルータ用」を使用する。この経路制御により、このワークステーション以外の学内 LAN に接続されている計算機からのパケットは、共同研究先宛のものも含めて全て地上専用回線に流れる。また、このワークステーションから送出されるパケットのうち、共同研究先宛のパケットのみがシリアル・インターフェイス (Serial I/F) から学内電話回線を通り専用ルータを経て衛星回線に流れるが、他の宛先を有するパケットは Ethernet I/F から地上専用回線の方向に流される。逆に、衛星回線経由で届いた本学宛の全パケットは、専用ルータの Serial I/F から学内電話回線・ワークステーションを経由して、研究室 LAN・学内 LAN に流れる。

6. まとめ

これまで構築作業を行ってきた、JCSAT-1A 衛星回線 (64 Kbps) と VSAT を利用した衛星通信実験システムの構成要素 i). 遠隔監視・制御系, ii). 降雨減衰自動計測系, iii). 通信・ネットワーク系の現状の性能と機能について述べてきた。本システムの大きな特徴は、

- (a). 学内 LAN を含めたネットワーク上の計算機から、システムの監視や制御および通信に関する実験が可能であること。
- (b). 通信実験中も、降雨減衰データの収集や BER などの回線状態に関するログの収集ができること。
- (c). システム監視・制御機構は、小さな独立した要素に分けて配置してあるので、ソフトの自作も可能となり、維持・改良は比較的容易になったこと。

である。

衛星通信実験用システムの基本部分の構築作業はこれでほぼ完成したので、今後も室蘭地区における衛星回線特性解明のための基礎データ収集を継続するとともに、「衛星インターネット」のための研究(代理サーバ(proxy server)利用方式を用いた汎用的な経路制御の確立やセキュリティを考慮した1対多通信技術の研究など)を共同研究先とともに進める予定である。

謝 辞

本研究で使用している衛星通信回線に関してご協力いただいている「ディジタル衛星通信の大学間高度共

同利用研究(UnSAT)協議会」および(株)日本サテライトシステムズに深謝致します。共同研究プロジェクト^[21]の一員として、衛星通信システムに関して種々の御教示をたまわるとともに通信実験に協力していただいている、北海道大学工学部電子情報工学専攻の青木由直教授、棚橋真助手、北海道工業大学応用電子工学科の初田健教授に感謝いたします。また、VSATの監視・制御用プログラムについて有益な情報を提供してくださいました群馬大学工学部情報工学科の嶋本薫助教授および衛星回線の運用に関して特に協力いただいている本学 CRD センターの黒島利一技官にお礼申し上げます。

最後に、本システム構築実験に参加してくれた当研究室の卒業生 太田慎也君((株)日立製作所)、小林克也君(北海道開発庁)、最能広人君((株)アルファシステムズ)、秋本大助君((株)シーズ・ラボ)、千葉卓也君((株)横河技術情報)、竹谷弘君(北海道エニコム(株))、寺崎仁司君(NIT)に感謝します。

参考文献

- [1]. 野坂邦史, 村谷拓郎: 新版 衛星通信入門, オーム社, (1994) pp.178-227
- [2]. 福田紳二: 岐路に立つ Internet インフラストラクチャ, SUPER ASCII, 9, 3, (株)アスキー, (1998) pp.82-115
- [3]. 舟越弘: インターネットの仕組み (16), 日経コミュニケーション, 258, 日経 BP 社, (1997) pp.166-167
- [4]. 多田信彦, 馬場始三: 「第1回インターネットインターネット防災訓練」報告, UNIX MAGAZINE, 11, 3, (株)アスキー, (1996) pp.121-124
- [5]. VSAT 衛星通信システム普及促進協議会: VSAT'92 -VSAT システムの概要と利用の現状-, 平成3年度普及委員会報告書, (1993) pp.1-19
- [6]. 島田博明, 八木驍, 藤井章: VSAT システムの現状, NEC 技報, 41, 6 (1988) pp.3-8
- [7]. 青木由直, 棚橋真, 初田健, 他: 通信衛星による簡易テレビ会議システムの開発と実験, 情報処理北海道シンポジウム '96, p.71 (1996)
- [8]. 宮田要, 青木由直, 棚橋真, 他: 視覚言語に対する伝送回線容量と遅延の影響, 1996年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, p.238 (1996)
- [9]. 玉川晋, 福田祐郎, 高原穆之, 他: VSAT 端局装置, NEC 技報, 41, 6 (1988) pp.21-27
- [10]. 野坂邦史, 村谷拓郎: 新版 衛星通信入門, オーム社, (1994) pp.107-109
- [11]. U.D.Black (西田竹志, 板坂大作 訳): 情報ネットワークシステムの基礎, (株)トッパン, (1995) pp.162-164
- [12]. あさだたくや, 天川修平, 衛藤敏寿, 他: FreeBSD 徹

底入門, 翔泳社, (1997) pp.1-98

- [13]. 鈴木真也, 竹谷弘, 岡和喜男, 他: JCSAT 衛星地球局の遠隔監視・制御システムの構築について, 平成8年度室工大開発技術研究会, pp.1-2 (1998)
- [14]. 寺崎仁司, 秋本大助, 岡和喜男, 他: 通信衛星用超小型地球局を用いた降雨減衰自動計測系の構築, 信学技報, CS95-56 / OCS95-22, pp.1-8 (1995)
- [15]. 岡和喜男, 畑中雅彦, 秋本大助, 他: JCSAT 通信衛星 - 室工大実験局間の降雨電波減衰測定について (2), 噴火湾研究, 4, pp.33-36 (1995)
- [16]. 千葉卓也, 岡和喜男, 畑中雅彦, 他: JCSAT 通信衛星 - 室工大実験局間の降雨電波減衰測定について (3), 平成7年度電気関係学会北海道支部連合大会, p.255 (1995)
- [17]. 岡和喜男, 畑中雅彦, 杉岡一郎, 吉田豊: JCSAT 通信衛星 - 室工大実験局間の降雨電波減衰測定について (5), 平成8年度室工大開発技術研究会, pp.15-16 (1998)
- [18]. 砂原秀樹, 石井秀治, 植原啓介, 林周志: プロフェッショナル BSD, (株)アスキー, (1994) pp.85-116, pp.425-429
- [19]. 辻井重男, 河西宏之, 宮内充: ネットワークの基礎知識, 昭晃堂, (1997) pp.78-84
- [20]. 砂原秀樹, 石井秀治, 植原啓介, 林周志: プロフェッショナル BSD, (株)アスキー, (1994) pp.158-159, p. 432
- [21]. 青木由直, 棚橋真, 川嶋稔夫, 他: 通信衛星を用いた知的画像通信の共同研究 (1), 平成6年度電気関係学会北海道支部連合大会, p.275 (1994)