

第 II 部

超小型地球局を用いた衛星通信システム のインターネット上での利用

第 2 部

超小型地球局を用いた衛星通信システムのインターネット上での利用

第 1 章 はじめに

近年実用化モデルが普及し始めた DVB-RCS は、新しい VSAT 形態の衛星通信方式として普及し始めており、IP パケットを伝送することがその用途の主眼として期待されている。しかし、現在入手できる製品の一部には、インターネット上での利用に際しての問題や、IPv6 への対応が標準化されていないなどの問題がある。そこで、DVB-RCS WG では、そのシステムを実運用することでその問題点を明らかにし、必要な標準化活動への協力を目的とし活動を 2002 年より開始した。本報告書は、DVB-RCS WG としての最初の報告書となる。

第 2 章 DVB-RCS 概要

DVB-RCS は、ETSI (European Telecommunications Standard Institute)[77] が定義した、家庭やオフィスなどで広く用いられている放送用の衛星機材に送信機能を付加し、フィードバック用戻り通信回線を提供する通信規格である。DVB-RCS は、一つの親局と複数の子局により構成される VSAT の通信形態で構成される。HUB は、衛星の専門知識を有する無線従事者が運用する。Terminal は、特に専門知識を有しないユーザが利用するため、日本では無線従事者の資格を必要としない。HUB から Terminal への回線を Forward Link と呼び、Terminal から HUB への回線を Return Link と呼ぶ。

2.1 DVB-RCS の特徴

DVB-RCS はブロードキャスト型ネットワークの衛星回線 (1 対多) と同じネットワークトポロジを持ち、HUB から全 Terminal へ同時にデータを送信

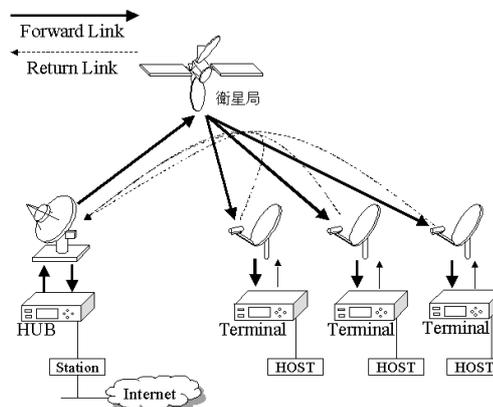


図 2.1. HUB と Terminal の構成

できる片方向のブロードキャストリンク、Terminal から HUB への Return Link を片方向の 1 対 1 の衛星回線経由で提供する。HUB と Terminal の構成を図 2.1 に示す。

このトポロジには、以下のような特徴がある。

- (1) Forward Link では同報型通信が可能
 - 同一の情報を、広範囲に同時に送信できる、同報性に優れたトポロジである。
- (2) 地上回線に依存しないネットワークを構築可能
 - Return Link を衛星経由で行うため、地上回線に依存せずにネットワークを構築することができる。
- (3) HUB が Terminal を制御可能
 - Return Link の使用状況に応じて Terminal の使用帯域を動的に変更したり、Terminal の設定を HUB 側でコントロールできる。

2.2 通信方式

Forward Link は TDMA (Time Division Multiple Access)、Return Link は MF-TDMA (Multi Frequency Time Division Multiple Access) を用いてデータを送信する。mboxMF-TDMA は、一本の回線を時間と周波数によって分割し多重通信を行う技術である。HUB は各 Terminal に周波数帯域と時間を割り当て、Terminal はこの割り当てに従い HUB に向けて電波を送信する。複数の Terminal から送られる信号はすべて同期され時分割された通信

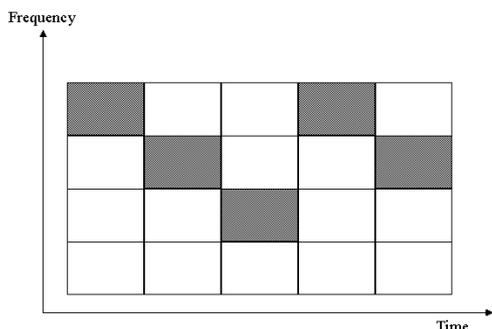


図 2.2. MF-TDMA 通信方式

路を多重化して利用する。HUB はその信号を復調し、全 Terminal からのデータを受信する。図 2.2 に MF-TDMA の概念図を示す。図の斜線部分は、ある一つの Terminal の信号の位置である。縦軸に周波数、横軸に時間を示す。

2.3 データリンクフレームのフォーマット

DBV-RCS は、CS 放送などで用いられる MPEG-2 TS ベースの DVB-S 方式の仕様を Forward Link に利用し、Return Link には DVB-RCS で独自に規定される ATM セルを利用したデータリンクを用いる。Return Link に ATM Cell を利用する理由は、小さな Cell により無線回線での同期のとりやすさから採用されたものと想像される。しかし、Cell Tax など ATM Cell を通信路に利用する場合には無駄が多いため、今後の課題のひとつである。

第3章 DVB-RCS をインターネットで用いる際の問題点

DVB-RCS 規格では、Forward Link と Return Link が物理的に独立したデータリンクであり、使用するデータリンクプロトコルも異なる。また、DVB-RCS の規格として低階層の標準化は決まっているが 2 層から 3 層までの相互の接続関係についての規定がなされていない。他方、既存のインターネット技術の多くは送受信に別々のデータリンクプロトコルを用いるネットワークを考慮していない。このため、以下のような問題が起こる。

3.1 データリンクアドレス解決の問題

データリンクアドレス解決では動的なアドレス解決プロトコルを用いるか、固定で設定する手法がある。DVB-RCS 上では、以下の理由により動的なアドレス解決が困難である。

Ethernet では、IP アドレスと物理アドレスの対応を動的にアドレス解決する手法である ARP プロトコルが利用されている。一方、DVB-RCS では特殊なデータリンク層を持つため、ARP などの汎用的なアドレス解決手法を用いることができず、透過的にインターネットと接続をして運用する場合にはまだ課題が多い。

DVB-RCS 上で固定的にアドレス解決を行う場合、Terminal に繋がるノードが増えるに従ってアドレス解決の負担が増える。また、ネットワークの障害や構成が変わった場合に設定し直す必要があり、拡張性に欠ける点も普及においての大きな課題となる。

3.2 経路制御の問題

インターネットの全てのネットワークに対する経路情報を静的に設定することは非効率的であり、経路情報に変化が生じた場合、即座に新たな適応をする必要がある。DVB-RCS を用いてネットワークを提供する場合や、マルチキャストによる転送において動的な経路制御を行う場合には、DVB-RCS 上で経路制御プロトコルが正常に動作する必要がある。

現在インターネットで利用されている経路制御プロトコルは、隣接するルータ同士にて双方向でメッセージを交換し、経路情報を交換する。このため、隣接するルータ同士はそれぞれのネットワークインターフェースの一つずつを用いて双方向に通信可能であることが前提となっている¹。このため、DVB-RCS のように、片方向インターフェースで双方向に繋がるリンク上では、既存の経路制御プロトコルが正常に動作しない。また、DVB-RCS のネットワークポロジでは、HUB は全ての Terminal に隣接するが、Terminal 同士が隣接しないため、Terminal のノード同士で経路情報が交換できず、経路制御プロトコルが動作しない。このため、DVB-RCS 上では、Terminal 間における経路交換を行えない。図 3.1 に DVB-RCS のデータリンク、図 3.2 に既存の経路制御プロトコルが想定するデータリンクを示す。

1 メッセージを送信するネットワークインターフェースと受信するインターフェースは同一である前提がある。

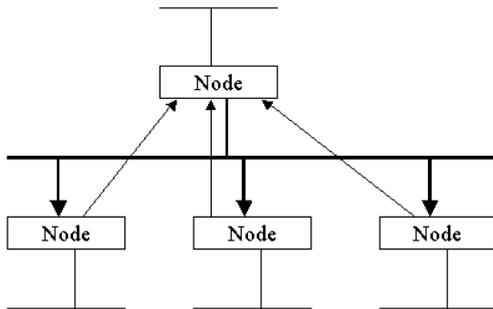


図 3.1. DVB-RCS のデータリンク

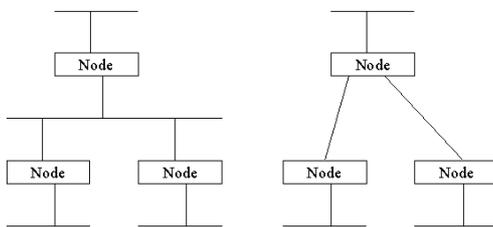


図 3.2. 経路制御プロトコルが意図するデータリンク

3.3 既存の DVB-RCS の実装

本節では、EMS Satellite Network 社による既存の DVB-RCS の実装を示す。

HUB から Terminal への送信の場合、Terminal に向けられたデータは HUB に入る。HUB はパケットを OPAL (データリンクフレームを MPEG2-TS にカプセル化するルータ) に向けて送信する。OPAL は HUB から受け取ったパケットを MPEG2-TS に変換し、宛先 Terminal の MAC アドレスに向けてデータリンクフレームを送信する (図 3.3)。また、HOST から Router への送信の場合、Terminal が HOST から受け取ったパケットは ATM のインターフェースから直接 HUB に送信される。

EMS による DVB-RCS の実装は、Terminal にホストとしての機能を与えることを目的に設計されている。このため、Terminal は、IP アドレスを有し、レイヤー 3 の機能を持ちながら経路情報を持たないという実装になっており、Terminal のホスト以下にセグメントを作ることができない。このため、IP トンネリングなどの手法を用いない限り、Terminal 以下のノードをインターネットの通信に組み込むことができない。また、HUB と Terminal の間で、データリンクの異なる片方向インターフェースや、ブロードキャストと Point-to-Point の混在するネットワー

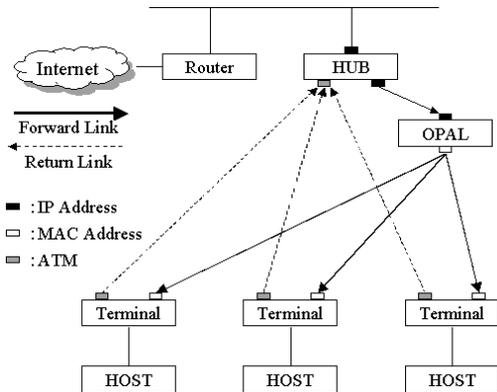


図 3.3. EMS による IP over DVB-RCS の実装

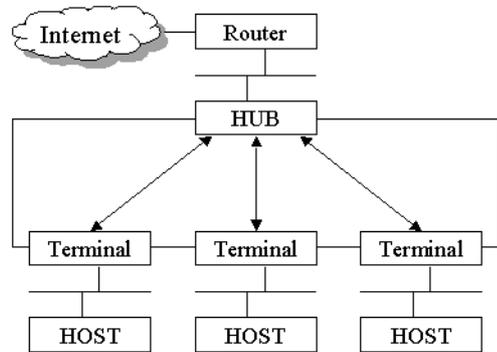


図 3.4. インターネットから見た EMS の実装

クトポロジ上で IP の伝送を行っているため、前に述べたように、ARP 等のデータリンクアドレス解決プロトコルが正常に動作せず、HUB の管理者が手動でデータリンクアドレス解決を行っている。この実装を含むネットワーク上では、RIP や OSPF などの経路制御プロトコルが正常に動作しない。

この実装をインターネットから見た場合、HUB インターフェースと Terminal インターフェースの間でしか通信できない一つの大きなルータのようになる。また、このルータは経路情報を持つことができない。これを図 3.4 に示す。

3.4 解決へのアプローチ

DVB-RCS のもつ特殊なトポロジ上で、データリンクアドレス解決プロトコルと経路制御プロトコルを正常に動作させる為のアプローチとして、以下があげられる。

- 既存のインターネット技術を改変する手法
- 複数の論理的な Point-to-Point リンクに抽象化する手法

- ネットワークを一つのブロードキャストリンクに抽象化する手法

3.4.1 既存のインターネット技術を改変する手法

これは、既存のデータリンクアドレス解決プロトコルや経路制御プロトコルを直接改変し、DVB-RCS のネットワークポロジに適応させる手法である。このため、プロトコルごとに DVB-RCS のネットワークポロジに適応するように設計をし直さなければならない。また、前提とする既存のインターネット機構に改変を加えるため、新たな技術に対応できなったり、既に運用されている他のネットワークとの間で競合が起こる可能性がある。したがって、この手法を用いてインターネット上に早期に DVB-RCS を利用することは難しい。

3.4.2 複数の論理的な Point-to-Point リンクに抽象化する手法

HUB は全 Terminal に接続性があるが、Terminal は HUB にしか接続性を持たない。このため、HUB と各 Terminal に個別の Point-to-Point リンクが存在すると仮定する手法が考えられる。このネットワークモデルを図 3.5 に示す。

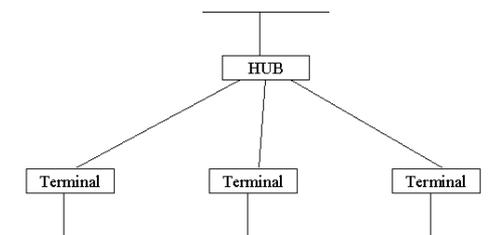


図 3.5. Point-to-Point リンク

このモデルでは、論理的に HUB から各 Terminal への接続性が複数に分割される。このため、HUB から複数の Terminal にマルチキャストやブロードキャストによってデータを配信する場合、論理的に定義された複数の Point-to-Point リンクに重複してデータが流れる問題が生じる。また、Point-to-Point リンクでは、HUB から Terminal の接続性が論理的に分断されるため、衛星のもつ同報性を活かしにくくなるという問題がある。

3.4.3 単一の論理的なブロードキャストリンクに抽象化する手法

HUB の全 Terminal への接続性を活かし、HUB

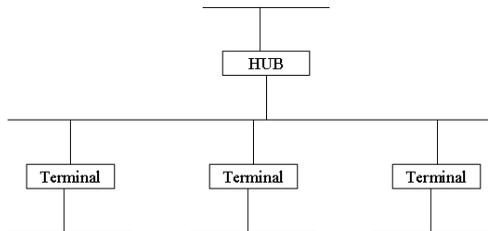


図 3.6. ブロードキャストリンク

と各 Terminal に単一のブロードキャストリンクが存在すると仮定する手法が考えられる。このネットワークモデルを図 3.6 に示す。

ブロードキャストリンクでは、HUB からの同報型トラフィックの特性が活かせる。また、ブロードキャストリンクは Ethernet などの既存のインターネット通信との親和性が高い。

ブロードキャストリンクとして用いる場合、DVB-RCS の構造上ターミナル同士の通信は HUB を介さない限り行えない。このため、ブロードキャストリンクとして利用する場合、Terminal 間のユニキャスト、Terminal からのマルチキャスト、ブロードキャストが動作しない。HUB、Terminal 間を一つのブロードキャストリンクとして定義するには、Terminal 間の双方向通信を仮想的に実現する必要がある。

第 4 章 本 WG のアプローチ

本年の DVB-RCS WG では前述の問題点をふまえ、DVB-RCS のネットワークを単一のブロードキャストリンクに抽象化することで、インターネットとの親和性を改善するための検討を行った。その理由として以下が挙げられる。

- (1) ブロードキャストリンクに抽象化させることで、HUB からの同報性を活かせる。
- (2) DVB-RCS の特殊なトポロジが通常のリンク機能を持つため、ARP や RIP、OSPF などの既存のインターネットプロトコルに改変を加えることなく正常に動作する。
- (3) HUB から各 Terminal に流れるデータは実際には同一のリンクを通るため、帯域の面では、リンクを分けるメリットがない。

第5章 想定する接続形態

本検討で対象とするネットワーク接続形態は、本ネットワークに接続されるノードに対して何らインターネットサービスの利用に際し制限を課さないことを条件とし、どのようなサービスも基本的に利用可能なネットワーク接続サービスを提供するものとする。

より汎用的なシステムを構築するためには、HUB、Terminalのノードとしての機能がいかなる場合であったとしても、それらの機能に依存せずにブロードキャストリンクを構築できる必要がある。また、HUBやTerminalの下にどのような通信機器が接続したとしても、データのループなどによるネットワークの障害が起こらないようにする必要がある。

HUB、Terminalのノードとしての機能例として、以下のような場合が挙げられる。

- (1) ルータとして、ネットワーク層におけるルーティングの機能を持つ場合
- (2) ブリッジとして、データリンク層におけるデータリンクフレームの転送と繋がるノードの学習機能を持つ場合
- (3) リピータとして、データを伝送する機能のみを持つ場合

図5.1に、DVB-RCSのHUBとTerminalがルータ、ブリッジ、リピータであるトポロジを示す。

このようなトポロジで、DVB-RCSをブロードキャストリンクに抽象化する場合、ネットワーク層以上でシステムを解決しようとする、HUBやTerminal

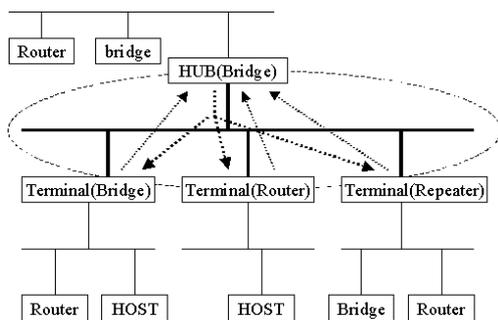


図5.1. DVB-RCSのHUBとTerminalがルータやブリッジ、リピータであるトポロジ

のノードとしての機能にさらにブロードキャストリンクを作成するための機構を導入しなければならない。また、ノードとしての機能を改変すると、インターネットが前提としている通信方法が変わるので、トポロジの構成やHUBやTerminalの下に繋がるノードによっては、データのループや、予期しないデータの流れが発生する可能性がある。

HUBやTerminalのノードとしての機能に依存せず、ブロードキャストリンクを構築するためには、データリンク層がその機能を提供する必要がある。この場合、HUBやTerminal、それらに繋がるノードは、DVB-RCSを通常の広域Ethernet回線として何ら制限を受けることなく利用することができる。

2004年1月現在、本モデルの正当性およびノードに求められる機能確認のための実装を行っている。今後はこの実装の評価を経て、各ノードに求められる必要機能に対する要求条件をまとめていく予定である。

第6章 地球局の設置

今年度はWIDE関係組織に2局のDVB-RCS端末局を設置し、実験を開始した。本章では設置した局についての状況等について説明する。

6.1 SFCにおける端末局設置

SFCでは、同キャンパスC-band地球局敷地内にDVB-RCS端末局を設置した。2003年7月に端末局用アンテナ設置のための基礎工事を行った。また、同年8月20日にアンテナ、端末局ODU、およびIDUを設置し、JCSAT-2号衛星からの電波受信確認とUplink Access Testを行った。図6.1、および図6.2にSFCに設置したアンテナ、および端末局の概観を示す。

SFCに設置した端末局は、JSATが運用するテストベットに参加しインターネットに接続した。現在、JSAT-SFC間の通信にForward Link最大10Mbps、Return Link最大2Mbpsの帯域が割り当てられている。図6.3にSFCに構築した端末局ネットワークの概要を示す。

SFCに設置した端末局ネットワークでは、クライ



図 6.1. アンテナ



図 6.2. 端末局

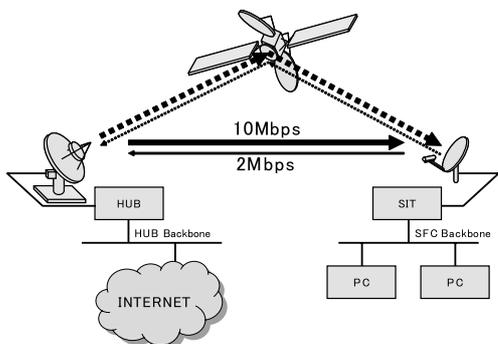


図 6.3. 端末局ネットワークの概要

アント用PCが設置され、DVB-RCS網を経由してインターネットに接続している。本端末局によって運用経験の蓄積、およびDVB-RCSをネットワークで利用する際に発生する問題点の整理、解決を行う。

6.2 JSAT、およびSFCにおける性能測定

DVB-RCSのForward Link、Return Linkにそれぞれ固定的に帯域を割り当て、各回線における性能測定を行った。本測定は、今後の検討におけるベースラインとすべく、衛星回線の特徴に合わせたチュー

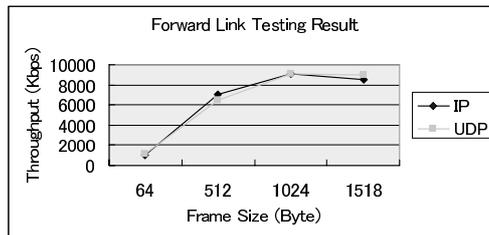


図 6.4. Forward Link の測定結果

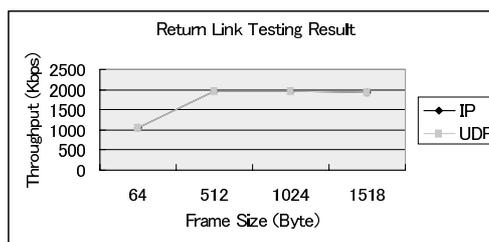


図 6.5. Return Link 測定結果

ニング等を行わずに実施した。

まず、JSATで行ったIP、およびUDPスループットの測定について述べる。測定環境にはJSAT衛星管制センタ内に設置されているDVB-RCS HUB局、および端末局を用いた。衛星回線の設定では、Forward Linkに10Mbps、Return Linkに2Mbpsの帯域をそれぞれ割り当てた。また、測定器にはSmartBits、測定アプリケーションにはSmartApplicationsを用いた。図6.4、6.5にForward Link、およびReturn Linkの測定結果を示す。

本測定では、Ethernetフレーム長を64Byte、512Byte、1024Byte、1518Byteの4種類に設定し、Forward Link、Return Linkでそれぞれ片方向のスループットを測定した。Forward Linkの測定では、Ethernetフレーム長が1024Byteの時にIP、UDP共に約9Mbpsのスループットが得られた。Ethernetフレーム長によってスループットが変化するのは、EthernetフレームをMPEG2-TSフレームにエンキャプレートする際のフレーム割り当て効率が影響していると考えられる。MPEG2-TSフレームのペイロード長は184Byteで固定されているため、Ethernetフレーム長と割り当てられたMPEG2-TSフレームの合計ペイロード長が大きく異なる場合がある。このとき、MPEG2-TSフレームの割り当て効率が低下する。

他方、Return Linkの測定では、Ethernetフレーム長を64Byteに設定した場合を除き、最大約2Mbpsのスループットが得られた。Return Linkのデー

タリンクフォーマットは ATM を用いているため、Ethernet フレーム長の設定によっては Forward Link と同様の原因で性能の変動が想定できる。また、端末局の持つ送信バッファによって、衛星回線の速度から計算される理論値よりも高いスループットが得られる場合があることがわかった。

次に、SFC で行った TCP スループットの測定について述べる。本測定は、IP、UDP スループットの測定環境と同様の回線設定で行った。測定アプリケーションには、UNIX PC 上で動作する iperf を用いた。

本測定では、Forward Link で約 820 Kbps、Return Link で約 400 Kbps のスループットがそれぞれ得られた。各回線で割り当てられた帯域に対して得られたスループットが小さかったのは、衛星回線の伝送遅延に加え、データリンクフレームの処理や TDMA スロットの割り当てによる遅延とジッタが影響しているためと考えられる。

本測定はベースラインとしての測定結果であり、DVB-RCS を既存のインターネットで有効に利用するためには、今後より詳細な測定と DVB-RCS の特性を考慮した設定のチューニングを行っていく必要がある。

第 7 章 国立天文台乗鞍コロナ観測所-三鷹間のインターネット運用実験

7.1 実験概要

国立天文台乗鞍コロナ観測所(図 7.1)は、北アルプス乗鞍山系魔利支天岳(海拔 2876 m)の頂上に位置し、3 台のコロナグラフによって、太陽活動の観

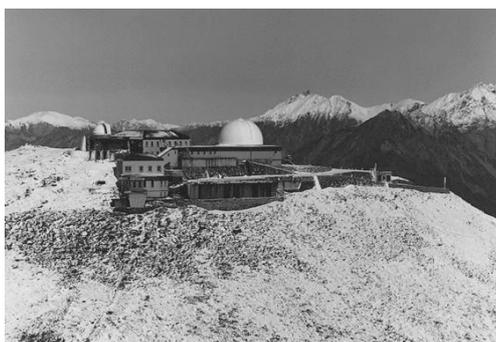


図 7.1. 国立天文台乗鞍コロナ観測所全景

測を行う観測所である。毎年、4月上旬~11月初旬まで観測を行っており、その環境は大変厳しく、通信インフラは携帯電話のみとなっている。このため、観測者の移動や観測データの移送には大きなコストをとまっている。

そこで、標準化が進む DVB-RCS 技術をベースとした衛星インターネットによって、本観測所へネットワークを提供し、遠隔観測や観測データのオンライン化に必要な技術の研究開発をおこなう。

本年度は、山岳地帯などにおける通信インフラの整備と、ネットワークのパフォーマンス検証を行うことを目的とし、乗鞍コロナ観測所と三鷹キャンパス間で、(株)JSAT の所有する衛星回線と通信施設を利用した接続実験を 2003 年 10 月 26 日~11 月 4 日に行った。そして、実験結果を基に、来年度における各種天体観測へのネットワーク技術の応用や、本ネットワークへの技術要件のフィードバックについての検討を行った。

7.2 実験構成

本実験の構成を図 7.2 に示す。乗鞍コロナ観測所内に衛星通信機材(90 cm アンテナ、アンテナ設置台、屋外通信装置、屋内通信装置)とネットワーク通信機材(IPVPN ルータ)を設置する。乗鞍コロナ観測所と三鷹キャンパス間は、JSAT が横浜に設置する衛星送受信設備を経由して接続し、JSAT から IP アドレスが提供される。利用する衛星と周波数帯は、JCSAT2A の ku バンドである。通信帯域(通信速度)は、非対称型のベストエフォートで提供され、最大速度は、三鷹から乗鞍コロナ観測所へは約 20 Mbps、乗鞍コロナ観測所から三鷹キャンパスへ

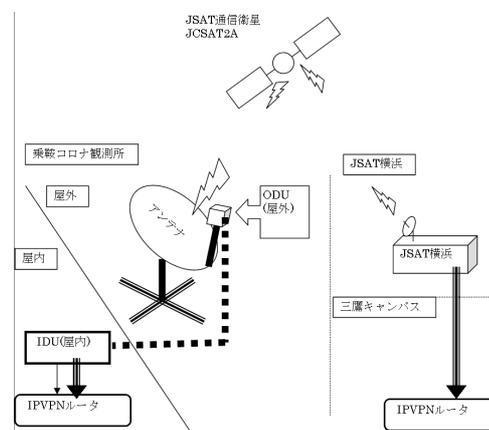


図 7.2. 通信機材構成

は約 2 Mbps である。

そして、乗鞍コロナ観測所内のネットワーク (133.40.51.0/24) と国立天文台ネット (KTnet) 間を安全で利便性の高い接続環境を運用するために、IPsec トンネルベースの VPN ルータを乗鞍コロナ観測所と三鷹キャンパス内に設置し、衛星インターネット上に仮想的な専用線を構築する。

7.3 実験内容

10月26日に乗鞍コロナ観測所において、アンテナ設置と衛星インターネットへの接続を行った。作業内容は、アンテナ台の設置、アンテナの調整、衛星インターネットの開通、三鷹へのVPNの開通となっている。

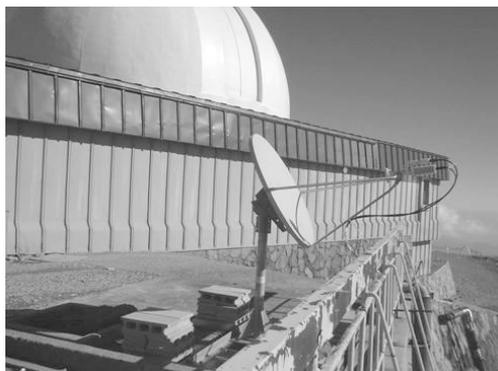


図 7.3. 設置場所



図 7.4. アンテナマスト

アンテナ設置状態を図 7.3 に示す。本アンテナは、図 7.4 に示す簡易アンテナマストをコンクリートブロックにて固定し、90 cm アンテナを設置した。アンテナには、室外通信装置 (ODU) が取り付けられ、室内通信装置 (IDU) は、屋内に設置した。

そして、IPVPN ルータの設置も行い、作業開始から、約 6 時間でインターネットへの接続が完了した。しかしながら、アンテナの固定が十分でなかったため、27日に発生した風雨によって通信不能となった。30日に改めて調整を行い、通信品質の実験をおこなった。通信品質は、Windows Media による山頂からのストリーム送信や、Netperf による帯域計測を行うことによって確認した。

しかしながら、128 Kbps 程度の帯域であるという結果となり、十分な性能を得ることが出来なかった。途中、JSAT 側の機材変更にもともなうサービス停止や、観測所における天候悪化に伴う早期閉所が行われたため、実験は、11月3日に打ち切られた。このため、TCP のパラメータ・チューニングなどによるトラブルシューティングができる時間がなかった。

7.4 考察と今後の課題

当初予定した十分な性能が得られず、また、パラメータ調整、原因調査といった作業も出来なかった。このため、本実験は、衛星インターネットとしてのインフラ整備と最低限の接続環境の提供が可能であるという結果しか得られていない。

また、インターネット上でのサービスを利用するには十分な帯域であっても、撮像当たり数メガバイト単位の画像を扱う各種天体観測においては十分な帯域ではない。従って、この原因調査が非常に重要である。

そこで、同様の通信設備を国立天文台岡山天体物理観測所に設置し、2004年2月下旬から、再度実験を行う予定である。

次実験では、運用稼働率の調査や、性能劣化の原因特定、チューニングを行い、有効な帯域を決定する。そして、遠隔観測や観測データのオンライン化の体制や要件を明確にし、必要な技術開発を行う予定である。

第8章 外部の動き

DVB-RCS はヨーロッパにおいて普及の兆しを見せているが、普及の加速がつく段階には至っていない。しかし、IPv6 に関する検討や、DVB パケットへの IP パケットのカプセリング化等について標準化を進める動きが IETF で出ている。

まず、ESA (European Space Agency) により、IPv6 を衛星で利用する場合の課題技術検討についての研究助成が進められている。その中には、DVB パケットへの IPv6 パケットのカプセリング方法などについての検討が進められており、その次のステップとして DVB-RCS への応用が想定されている。このようにヨーロッパでは官による衛星を利用した後押し姿勢が明確化している。これはアフリカなど通信事情の豊かでない地域に対しての衛星を利用したコネクティビティが重要視されている現れであると考えられる。

一方、インターネット側を見ると、IETF にて衛星インターネットに関する検討をしていたグループの subset が、IP-DVB (IP over DVB) ワーキンググループの設立に向けての準備を進めている。

第9章 まとめ、来年の方針

2003 年度の経過はここまでに示した通り、ネットワークモデルに対する検討を進め、インターネットアーキテクチャの視点より各ノードに求められる要求条件を明らかにすべく検討を行った。また、実際の地球局の運用を通し、実モデルの問題点の把握とその応用についての検討を行った。

DVB-RCS は、衛星通信の世界ではじめて標準化される VSAT 方式の通信媒体となる。この方式への期待は特に途上国において高く、旧宗主国としてヨーロッパ各国がアフリカでの展開を計画していたり、地上線でのインターネット回線の提供が困難な地域への通信手段として注目されている。WIDE プ

ロジェクトでは、年2回の合宿において衛星回線を長年利用してきているが、利用機材の老朽化を鑑み、2004年春より DVB-RCS の機材を合宿で利用することを検討している。このように DVB-RCS については、WIDE としても重要な足回りとなるべく、2004年以降も現在設置した地球局の運用を継続し、実験を進めていく予定である。

