

## 大学間衛星ネットワークにおけるデータ共有

浅井 紀久夫<sup>†</sup> 大澤 範 高<sup>†</sup> 近藤 喜美夫<sup>†</sup>  
結城 皖 曠<sup>†</sup> 吉田 勝 昭<sup>††</sup>

大学間教育交流ネットワーク「スペース・コラボレーション・システム」(SCS)の機能拡張としてデータ共有サービスを検討し、マルチキャスト・ファイル転送システムを開発した。データ共有サービスでは、VSAT(小型地球局)間のデータ共有を図ることにより、コンピュータ・ネットワークを用いた効果的な遠隔教育を目指している。SCSの特徴を十分に活かすため、特に映像音声を交換しているセッション中の資料伝送に焦点を絞り、回線制御装置との親和性を重視してシステムを設計した。これを各VSATに導入するには、既存の資源を有効活用しシステムの柔軟性を備えることが重要である。そこで、既存画像符号化装置の信号多重化機能を利用し、データ伝送の回線速度帯域を選択できるようにした。実際に、VSATにファイル転送システムを実装し、ファイル転送実験を行うことによりファイル転送とこれにともなう各種機能の動作を確認した。実効伝送速度はオーバーヘッドを考慮して実回線速度1.5Mbpsのうち1.3Mbpsのスループットを得、回線速度帯域を有効に利用していることを確認した。

### Data-sharing on Inter-university Satellite Network

KIKUO ASAI,<sup>†</sup> NORITAKA OSAWA,<sup>†</sup> KIMIO KONDO,<sup>†</sup> KIYOHRO YUKI<sup>†</sup>  
and KATSUAKI YOSHIDA<sup>††</sup>

We developed a multicast file transfer system which is used for data-sharing services as extension of the inter-university satellite network (Space Collaboration System: SCS). With data-sharing among VSATs (Very Small Aperture Terminals), the service can provide an opportunity of effective distance education to SCS users in computer network. To make good use of SCS sufficiently, we focus on material transmissions during a session exchanging audiovisual signals, and develop the file transfer system connected to the link control system. It is important to reuse present resources and to have systematic flexibility in installing the system to each VSAT. Then, signal multiplex function of a CODEC makes it possible to select a link-speed bandwidth. The developed system is actually implemented to the VSATs, and an experiment is made to evaluate its performance. The results show the smooth file transfers and works of each function. The transmission rate is obtained up to 1.3Mbps including headers in the link-speed of 1.5Mbps, which indicates efficient use of the link-speed bandwidth.

#### 1. はじめに

近年のマルチメディア通信技術の発展により、教育分野でもインターネットや衛星ネットワークを用いたプレゼンテーションや学習支援が普及してきた<sup>1)~4)</sup>。大学などを衛星ネットワークで結ぶスペース・コラボレーション・システム(SCS)は、VSAT(小型地球局)間で映像音声を交換することにより、遠隔で授業、研究会、講演会などを行うことができる<sup>5)</sup>。現在、設

置局数は140を数え、高等教育における遠隔交流システムの重要な基盤として認識されるようになった。SCSでは、VSAT間で一対多トポロジーを複数組み合わせ合わせた準メッシュ型ネットワークを構成し、要求に応じて送信局を入れ替えることができる。一方向の同報通信だけでなく、複数波切替共用による双方向性通信が可能であることが大きな特徴である<sup>6)</sup>。メディア教育開発センターでは、SCSの利用を促進するため、映像音声信号の交換に加えデータ伝送を含めたサービスの導入を検討してきた。

SCSへの参加機関に個別訪問調査を行った結果、セッション中における高精細画像交換の必要性が指摘された<sup>7)</sup>。特に、医療教育ではX線レントゲン写真などを

<sup>†</sup> メディア教育開発センター

National Institute of Multimedia Education

<sup>††</sup> 日本電気株式会社

NEC Co., Ltd.

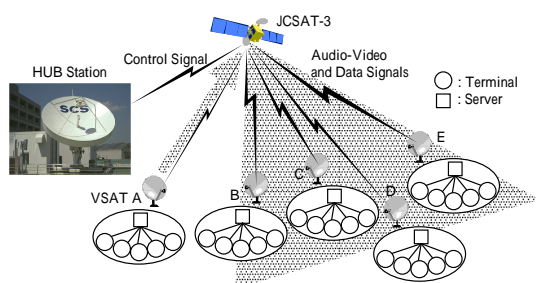


図1 SCSにおけるデータ伝送ネットワーク

Fig. 1 Data transmission network on SCS.

用いた診断に HDTV 程度の解像度が要求され、現状の H.261 符号化方式による映像伝送では対応できない。また、コンピュータによる資料提示において、品質を劣化させることなく表示する要望が出された。現状では、コンピュータの RGB 信号を NTSC 信号に変換して対応しているため、提示資料の解像度が低下してしまう。そこで、セッションに参加する各 VSAT で発表資料が作成された状態と同じ解像度で閲覧できるように、その資料を VSAT 間でファイルとして共有するための機構が必要とされた。これらの要求や要望を満たすため、VSAT 間でデータ共有を行うためのマルチキャスト・ファイル転送システムを開発した(図1)。

確実なファイル転送には一般に信頼性が要求され、データ誤りや欠損を回復する仕組みが必要である。小売り流通業界や金融業界などで実用化されてきた衛星データ配信には、HUB 局を中心にした複数の VSAT と通信を行うスター型ネットワークを用いることが多く<sup>8)</sup>、情報の誤り回復制御としてデータに冗長性を持たせる方法と自動再送要求を行う方法が存在する<sup>9)</sup>。前者は、オリジナル・データに対して FEC (Forward Error Correction) 冗長データを付加したり複数回同一データを連送したりして受信側でオリジナル・データを復元できるようにするので、ネットワークの構成として必ずしもフィードバック経路を必要としない。後者は、受信者から送信者に誤りデータに対する再送を要求するので、フィードバック経路として HUB-VSAT 間衛星回線を時分割多元接続などで利用している。このような一対多の利用形態では、受信者から送信者への往路トラフィックは情報の要求や応答が主で量的に少なく、送信者から受信者への復路トラフィックは大量のマルチメディア・データである場合が多い。そこで、往路に地上系低速回線を利用し復路に衛星系高速回線を用いる非対称なネットワークが注目されるようになった<sup>10),11)</sup>。商用衛星サービスとして、映像

音声のリアルタイム配信やファイル配信が提供されている<sup>13),14)</sup>。

一方、SCS では回線制御機能を有する準メッシュ型ネットワークを利用し、単方向の動的一対多ポロジにおいて送信者の要求に応じて会議内容に即したファイル転送を行う。SCS では、回線設計条件が最悪と考えられる沖縄と北海道の回線設計値<sup>5)</sup>に基づき、不稼働時間は年間 17.5 時間と見積もられた。したがって、年間のほとんどの利用においてエラーフリーで運用でき、衛星回線上で誤りが生じる頻度は低いと予想された。そこで、端末間での自動再送制御のためのフィードバック回線を用意せずに、システム全体の単純化に設計の重点を置くことにした。受信側でファイルをうまく受け取れなかったときには、送信側に再送要求を出して誤りを回復する仕組みを備えた。

SCS で円滑なコミュニケーションを支援するには、回線切替操作とファイル転送操作を行うシステムの間での相互連携が不可欠である。また、ファイル・サイズや会議進行状況に応じてフレキシブルに占有回線帯域を制御できるようにするため、CODEC (画像符号化装置)の信号多重化機能を利用した。ファイル転送システムの開発目標は、オペレーティング・システム (OS) への組み込みではなく SCS でのデータ共有とその有効性を検討することであるので、アプリケーション・レベルでの開発を行った。また、利用者の使い勝手を直接左右するユーザ・インタフェースについても検討を行った。これまで、非対称ネットワークでの経路制御<sup>15)</sup>や IP パケット伝送<sup>11),16)</sup>、対称型 VSAT ネットワークでの TCP<sup>17),18)</sup>および FTP<sup>19)</sup>の実験評価など衛星通信を利用したネットワークに関する基礎的な研究はあるが、準メッシュ型ネットワークで一対多を対象にした送信者主導型システムに対して実際のサービスやアプリケーションに即した検討はない。本論文では、SCS の特徴を活かしたデータ共有のためのマルチキャスト・ファイル転送システムを検討し、効果的な遠隔教育を行うマルチメディア・ネットワークについて議論する。

2 章において、SCS におけるデータ共有方式の概要を説明する。3 章で、ファイル転送システムの設計において現有システムに対する制約と要求を示し、満たすべき機能について言及する。4 章でユーザ・インタフェースを含めたシステム構成およびファイル転送の動作を示し、5 章で 2 局間伝送実験の結果と開発したファイル転送システムの性能を示す。最後に、6 章でまとめと今後の課題を述べる。

## 2. データ共有方式

SCSのデータ共有方式について課題を明確化し、既存の静的一対多および多対多トポロジーの問題点を抽出する。そして、本データ共有方式の特徴と既存方式との比較を示す。

### 2.1 課題

SCSでは映像音声の交換に加えてデータ共有サービスを提供することで、利用効率や教育効果を向上させることを目指す。SCSで有効なサービスとして、セッション中の資料伝送が考えられる。セッション中の資料伝送では、発表資料の最新版を送付したり議論中に資料要求が生じたりした場合、品質を劣化させることなく即時的に伝送することができる。これにより、高精細画像や詳細設計図、独自開発ソフトウェアなどを題材にした遠隔授業や研究会を行うことが可能になる。回線制御機能を有する準メッシュ型ネットワークでの一対多トポロジーにおいて、これを実現するための課題を以下に示す。

- 映像音声信号と並行したファイル転送
- 操作性と柔軟性を有するシステムの設計
- 既存システムとの親和性の確保

### 2.2 静的トポロジーの問題点

衛星ネットワークにおける単一方向の一対多トポロジーは主に、ニュースや金融情報の配信、小売店への販売戦略の通達、テレビ番組の放送など様々に利用されてきた<sup>8),12)</sup>。これらは、衛星通信が持つ広域性や同報性といった特徴を活かしたサービスで、複数のユーザに同時にデータを配信する場合に有効である。しかし、静的一対多トポロジーでは、送信局が同時には1つであり、複数の送信者には対応できない。そのため、セッション中の資料伝送のように対話性と即応性を必要とするサービスには不向きである。一方、すべてのVSATが情報発信源として同時送信する多対多トポロジーは、衛星回線費用の負担が大きい。そこで、SCSの複数局間回線切替共用という特徴を活かし、送信局を動的に切り替えることにより柔軟性に富むシステムを構築する。

### 2.3 提案方式の特徴

通信を活用することによって距離と時間の制約が緩和される遠隔教育では、教師と学生が対面していないことから、教える側と学ぶ側とのコミュニケーションの双方向性を高める仕組みが必要である。SCSでは、各VSATが情報発信源になることができる動的一対多トポロジーを構成して、映像音声信号と並行したファイル転送を会議の進行状況に即して行えるようにシス

表1 静的および動的 one-to-many トポロジーの比較  
Table 1 Comparison of the fixed and dynamic one-to-many topology.

Topology	Sender	Link Control	Feature
Static	Fixed	No Need	Simple
Dynamic	Any	Necessary	Flexible

テムを設計した。表1に、静的一対多トポロジーと動的一対多トポロジーとの比較を示す。円滑で柔軟なファイル転送およびシステム導入のしやすさを考慮し、データ伝送システムは以下の特徴を持つものとした。

- 送信局切替を行う回線制御機能および VSAT 内信号経路設定を行う映像音声制御機能との連動
- 既存システムを最大限有効利用した経済的な構成
- 適切なユーザ・インタフェース

セッション中の資料伝送を実現するためには、映像音声信号を交換するための回線に加え、データ伝送を行う回線が必要である。教材や資料のデータ容量が比較的大きい場合、映像音声とは別にデータ伝送専用の回線(占有モード)を用意したい。1局から2波送信したり3つのVSAT間で映像音声の双方向交換とデータ伝送を同時に行ったりするには、各VSATは少なくとも2波送信・4波受信に対応する必要がある。一方、小容量データの交換が主体となる場合には、CODECのデータ・ポートを利用した映像音声信号との多重化伝送(多重モード)が効率的である。このような柔軟な運用を可能にするため、VSATには以下の選択機能を具備することとした。

#### (1) 回線モード

映像音声回線とデータ回線の数を選択する。選択範囲は、映像音声2波運用、映像音声3波運用、映像音声1波とデータ専用波運用、映像音声2波とデータ専用波運用、映像音声3波とデータ専用波運用である。

#### (2) 運用モード

データ伝送回線を議長局が割り当てる「議長局主体」と参加局がデータ送信を適宜行う「参加局主体」を選択する。

#### (3) データ回線速度帯域

データ回線速度帯域を64~1536 kbpsの範囲で選択する。

「議長局主体」は、議長局がデータ送信局を指定し、許可を与える形で運用する形態である。参加局は、映像音声信号の場合と同じように「送信要求」を出して許可を得てデータの送信を行う。一方、「参加局主体」は、参加局がデータを送信したいとき即座に送ることができる形態である。参加局は、データ伝送制御装置

を操作することによりどの局でも適宜送信権を有することができる。

一般に、衛星通信システムは降雨減衰などの回線品質の劣化に対応するため、回線設計段階でマージンを見込んである。そのため、晴天時においてはほぼエラーフリーで運用している。ただし、衛星通信システムでは降雨や太陽雑音などによって維持すべき回線品質を下回ることがあり、情報の伝送中に誤りが発生する。衛星回線品質を劣化させる要因として支配的な降雨減衰を考慮して、SCSでは回線設計条件が最悪と考えられる沖縄と北海道の回線設計値に基づきマージンを6.54 dBに設定している<sup>5)</sup>。Ku帯の降雨減衰を生じる降雨の年間時間率は知られており<sup>20),21)</sup>、ビット誤り率が $10^{-8}$ を維持する時間率、すなわち、稼働率は制御回線で99.92%および通信回線で99.80%になっている。

VSAT数 $Y$ のセッションにおいてサイズ $S_t$ のデータを送る際に失敗する確率 $P$ は、

$$P = Y \cdot S_t \cdot P_e \quad (1)$$

と表される。 $P_e$ は発生頻度を含めた誤り率で、次式で表されるものとする。

$$P_e = \int qdC \quad (2)$$

ここで、 $q$ は時間率が $dC$ となるビット誤り率で、累積時間に対応する降雨減衰、MODEM(変復調装置)の不完全性による劣化や符号化利得を考慮した回線品質として求められる<sup>22)</sup>。ただし、ビット誤り率が $10^{-8}$ を超えるときはシステム不稼働として除外し、累積時間が1%以上のときは1%のビット誤り率を適用する。10局が参加するセッション中にサイズが40Mバイトのファイルを転送した場合、転送が失敗する確率は $7 \times 10^{-3}$ と計算され実用上問題ない程度に低い。そこで、端末間どうしの再送制御を省き、ファイル転送プログラムの簡易化とシステム全体の単純化を図ることにした。サイズが大きなファイルを転送したとき、ルータでのバッファ・オーバフローが懸念されるが、データ送出速度を衛星回線速度以下に設定しておけばこの問題を回避できると考えられる。そして、データ誤りや欠損が生じて受信に失敗したときには、受信局が送信局に対してデータの再送要求を逐次出すことによりファイルが確実に転送されるようにした。

### 3. 制約と要求

実際にデータ共有サービスを導入する場合、既存の資源を最大限有効利用しなければならない。そのため、以下のようなシステム上の制約と機能拡張にとも

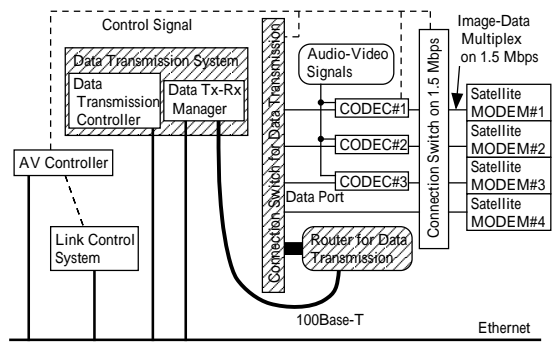


図2 VSAT局内構成

Fig. 2 Configuration of the VSAT station.

表2 SCSにおけるデータ共有

Table 2 Data-sharing in SCS.

Channel	Two, Three, Four
Rate	1536, 768, 512, 384, 256, 128, 64 kbps

なう要求が課せられる。図2に、VSAT局内構成を示す。斜線をかけた部分が、ファイル転送システムを導入するうえで新たに必要とされる主要装置である。このうち、データ伝送システム(Data Transmission System)は、データ伝送制御装置(Data Transmission Controller)とデータ送受信装置(Data Tx-Rx Manager)から構成される。

#### 3.1 システム上の制約

SCSの回線帯域は、衛星MODEMで1536 kbpsに設定されている。回線帯域に適したアプリケーションを用意する必要がある。また、現有衛星MODEM、CODECの数的状況から、データ伝送系を含めて1局あたり2波送信・4波受信に制限される。また、CODECを用いた映像音声信号の多重化伝送では、データに割り当てられる回線速度帯域は、768, 512, 384, 256, 128, 64 kbpsに制限される。表2に、選択可能な回線数および速度帯域を示す。

データの送信は各局の端末から可能であるが、受信側では端末までの制御は行わずデータ伝送システム内にファイルを蓄積する。各端末の利用者はデータ送受信装置からの通知を受け、必要に応じてデータを取得する。これは、利用者端末とSCS装置とを切り分けるという運用上の便宜を図るためである。

#### 3.2 システムへの要求

SCSにおけるデータ共有サービスの場合、セッション中の資料伝送をターゲットにしており、基本的には複数波切替共用による双方向映像音声交換といったSCSの特徴的な機能を確保しながらデータ伝送を行う。そのため、転送したいファイルのサイズや会議の

進行状況により要求されるファイル転送品質要求が異なり、フレキシブルに送信権や回線帯域を割り当てられるようにする必要がある。

そのため、データ伝送システムには、利用者が 1536 kbps の占有モードかそれ以外の多重モードかを考慮することなくデータ伝送回線速度帯域の選択を行うことができるように、ハードウェアの自動切替制御機能が必要である。送信状態に応じた制御を行うためには、回線制御装置との情報共有は必須である。また、映像音声制御装置との情報共有を行い、衛星折返しデータが自局ルータに戻らないように経路制御する機能が必要である。したがって、ハードウェアとして以下の機器を増設した。

- (1) 接続切替スイッチ (Connection Switch for Data Transmission)
- (2) ルータ (Router for Data Transmission)
- (3) データ伝送システム

局切替や発言要求は回線制御装置で、映像音声信号は映像音声制御装置で従来どおり制御し、新たにデータを扱うデータ伝送システムが追加される。データ伝送システムは機能的に 1 台のハードウェアとして構築せず、データの送受信処理を行うデータ送受信装置と利用者とのインタフェースを提供するデータ伝送制御装置に分割される。データ送受信装置は開発要素を含むパケット処理の設計を行うため UNIX を、データ伝送制御装置はよく使われる市販アプリケーションに対応するため Windows NT を OS として採用する。

3 波運用やデータ伝送にともない、衛星ネットワーク全体を制御管理する HUB 局としての機能拡張も必要になる。特に、各 VSAT の衛星回線に関するシステムを制御するシステム制御装置では、データ伝送に際して MODEM 間の交差接続や同期モードの設定変更が必要になる。また、利用予約や利用管理を行う運用管理装置では、回線モードの多様化にともなう運用管理機能の拡張が必要である。

## 4. 実 装

### 4.1 構 成

図 3 に、データ伝送制御装置 (Data Transmission Controller) とデータ送受信装置 (Data Tx-Rx Manager) のソフトウェア構成および既存システムとの関係を示す。太枠で囲った部分が開発したデータ伝送制御装置とデータ送受信装置である。データ伝送制御装置は、データ伝送制御アプリケーション (Data Transmission Control APP) と FTP サーバ (FTP Server) から成る。データ伝送制御アプリケーション

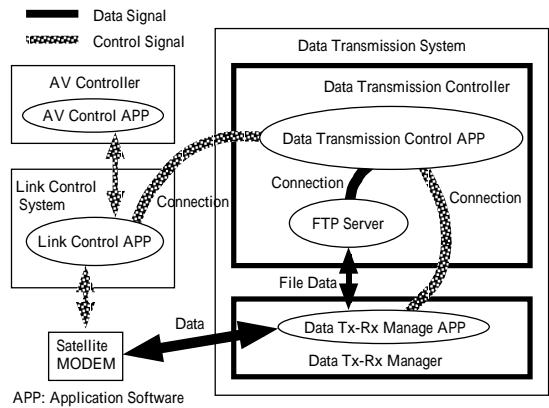


図 3 システム構成

Fig. 3 System architecture.

は回線制御装置 (Link Control System)、データ送受信装置との通信制御を行い、ユーザ・インタフェースを提供する。FTP サーバは、送信ファイル選択により転送を行うファイルをいったん格納し、データ送受信装置に送る役割を担う。図 2 に示すように、データ伝送速度を 1536 kbps に割り当てる場合は CODEC を通さずに直接衛星 MODEM へ接続され、768 kbps 以下に割り当てる場合は CODEC のデータ・ポートを通して衛星 MODEM に接続される。経路設定および CODEC のデータ速度設定は、映像音声制御装置 (AV Controller) を経由して行う。

ここで、回線制御装置は以下の役割を果たす。従来どおり議長局による送信局切替および参加局の発言要求の操作を行うとともに、データ伝送回線の割当てと「議長局主体」あるいは「参加局主体」の運用モードの設定を行う。データ伝送専用回線の割当てあるいはデータ送信権の設定は、議長局による送信局切替操作時に行うことになる。そのうえで、運用モードの設定操作を行う。図 4 に、回線制御装置のユーザ・インタフェースを示す。「議長局主体」でデータを送信するには、議長局による自局へのデータ送信回線の割当てが行われなければならない。そのため、送信回線を有していない場合には、データ伝送制御装置あるいは回線制御装置から送信要求あるいは発言要求を議長局に対して出してデータ送信を行いたい旨伝える。議長局の裁量で、会議を進行させることが可能である。一方、「参加局主体」でデータを送信するには、データ送信要求時に映像音声回線が割り当てられているか、そのセッションにデータ専用回線が登録されている必要がある。映像音声回線が割り当てられている場合、CODEC を介した多重化伝送のための速度設定および経路設定処理を行って送信可能となる。データ専用

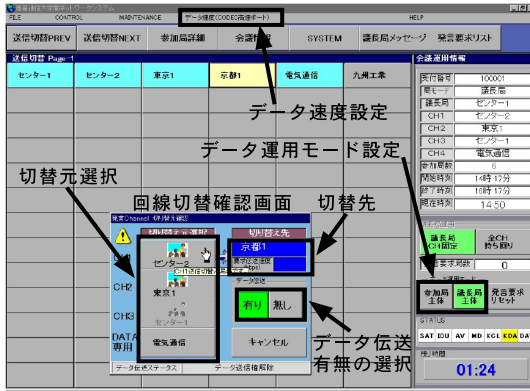


図 4 回線制御装置のユーザ・インタフェース  
Fig. 4 User interface of link control system.

回線が登録してあれば、送信回線が割り当てられていなくても HUB 局を経由した回線切替により自動的にデータ専用回線を割り当てる仕組みが働く。この場合、利用者は特に送信回線の割当状況を気にする必要がないという利点がある。

4.2 ユーザ・インタフェース

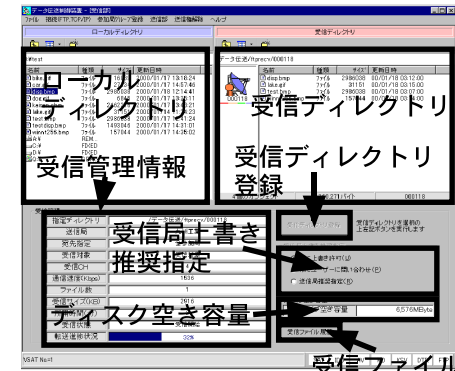
データ伝送制御装置の実装では、ファイル転送の一連の操作を円滑に行うため、図 5 のようなユーザ・インタフェースを準備した。(a) 送信側と (b) 受信側を用意し、3.2 節で述べた要求機能を操作することができる。送信側、受信側とも、ローカル・ディレクトリと送受信ディレクトリとの間のファイル選択は、ドラッグ・アンド・ドロップで行う。また、送信側では、複数のファイルを送信ファイルとして指定でき、一度に複数のファイルをまとめて送信することができる。受信側では、ファイルが正常に受信できたか否かを知らせるポップアップ画面が現れる。データ誤りや欠損などの異常が検出された場合は、衛星電話や映像音声回線を通して送信局に対して再送を要求することになる。アプリケーションが起動されてからのファイル受信履歴については、サイズと状態を参照できる。書き込みディスクの空き容量の表示も行っている。以下に、データ伝送制御装置のユーザ・インタフェース機能を示す。

(1) 送信部

- 参加局登録
  - セッションに参加する局が、回線制御装置からの情報により自動的に登録される。
- グループ登録
  - セッション中、頻繁にファイル転送するグループを設定する。



(a) 送信側



(b) 受信側

図 5 データ伝送制御装置のユーザ・インタフェース  
Fig. 5 User interface of data transmission control system.

- 宛先指定
  - 送り先を全参加局、グループ、個別に設定する。全参加局は、回線制御装置からの情報により設定される。
- 受信局上書き推奨指定
  - 同じ名前の受信ファイルの扱いを、「問い合わせる」、「新しければ上書き」、「つねに上書き」、「上書きしない」から指定する。
- 送信ファイル選択
  - ローカル・ディレクトリから送信ファイルを選択し、送信ディレクトリに複製する。
- 送信登録ファイル
  - 送信ファイル選択情報を表示する。
- 送信管理
  - 送信管理情報として、送信速度、宛先、送信チャンネル、送信ファイル数、送信サイズ、所要時間、送信状態、転送進捗状況を表示する。また、運用モードと送信権を

持つ局が表示される。

- 送信実行/キャンセル  
送信実行およびキャンセル処理を行う。「参加局主体」では、ファイル転送が終了すると送信権が自動的に解除される。送信権を手動設定した場合、送信権解除実行により他局が送信可能になる。
- データ送信要求/取消し  
運用モードが「議長局主体」の場合、データ送信要求および取消しを議長局に対して行う。
- 送信チャンネルおよび速度の指定  
データ送信チャンネルおよびデータ速度を指定する。

(2) 受信部

- 受信ディレクトリの指定  
受信したファイルを格納するディレクトリを指定する。
- 受信ファイル選択  
受信ディレクトリから受信ファイルを選択し、ローカル・ディレクトリに複製する。
- 受信管理  
受信管理情報として、受信ディレクトリ、送信局、宛先、受信チャンネル、通信速度、ファイル数、受信サイズ、所要時間、受信状態、転送進捗状況を表示する。
- 受信局上書き推奨指定  
受信ファイルの書き込みについて、「つねに上書き許可」、「つねにユーザに問い合わせ」、「送信局推奨」のいずれかを指定する。
- 受信レポート通知  
転送されたファイルが正常に受信できたか確認する。
- ディスク空き容量  
書き込みディスクの空き容量を確認する。

同一構内での遠隔教室化に対応するため、データ伝送制御機能の一部は遠隔で制御できるようにした。データ伝送制御アプリケーションにFTPサーバ、データ送受信装置および回線制御装置との通信が行える機能を持たせ、VSAT 機器設置教室以外の場所からネットワーク経由でファイル転送を行うこととした。衛星系と構内 LAN との通信路の切り分けは図 2 に示したようにデータ送受信装置で行っており、両者の経路接続は設定されていない。データ送受信装置は、次節に示す手順でファイル情報の送信、送信ファイルのブ

ロック単位への分割、受信ファイルの再構築などファイル転送に必要な一連の処理を行う。

4.3 動作

4.3.1 基本処理

データ伝送制御装置およびデータ送受信装置の動作を示す。データ伝送制御装置が立ち上がると、回線制御装置、FTP サーバ、データ送受信装置にそれぞれ接続確立を行う。その後、データ送受信のための経路設定を映像音声制御装置を介して行う。データ送受信装置におけるファイル転送手順は、伝送準備、送信手順、受信手順、上書き確認処理に分けられる。図 6 に、ファイル転送の動作例を示す。

伝送準備

まず、データ伝送制御装置とデータ送受信装置との間で TCP 接続を確立する。そのうえで、データ送受信装置に VSAT 番号(各 VSAT を識別するための番号)が通知される。受信側では、データ送受信装置に受信データをいったん格納するディレクトリが指定される。

送信手順

送信側では、データ伝送制御装置からデータ送受信装置に送信ファイル情報が送られ、ファイル転送手順を開始する。送信ファイル情報には、ファイル名、送信先リスト、上書き推奨指定、回線速度が含まれる。送信ファイルは、データ送受信装置に FTP で複製さ

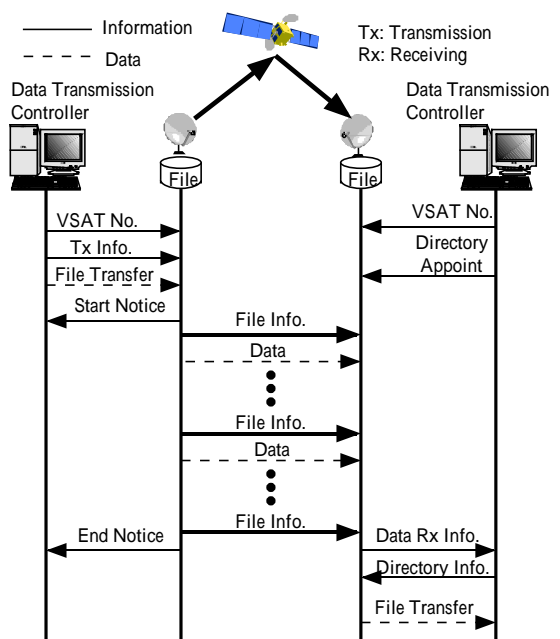


図 6 ファイル転送の動作例

Fig. 6 Illustrative example of file transfer.

れる．その後、送信ファイルのチェックサムを計算し、シーケンス番号を持つ複数のブロックに分割される．そして、データ送受信装置はデータ伝送制御装置に送信開始を通知するとともに、ファイル送信処理を実行する．

送信データには、ファイル・データとファイル情報がある．ファイル・データは送信ファイルを RTP<sup>23)</sup> フォーマットを基に、ファイル情報は送信ファイル情報を RTCP<sup>23)</sup> フォーマットを基にそれぞれファイル伝送用に再定義して使用している．両パケットとも UDP データグラムで送信される．最初にファイル情報が送信され、次にファイル・データが分割ブロックごとに FIFO (先入れ先出し方式) バッファを経由して送出される．ファイル情報は定期的に送信され、全ブロックデータの送信終了時にはファイル送信終了情報として送信される．

#### 受信手順

受信側では、データ送受信装置は回線制御装置からデータ伝送制御装置経由で VSAT 番号および受信ディレクトリの通知を受け、待機する．送信側からファイル情報を受信し自局宛データであることを確認した後、ファイル・データの受信処理を行う．全ブロックデータの受信終了後、ファイルを再構築する．最初のファイル情報受信に失敗した場合は、定期的に送られるファイル情報を使用する．そして、次に示す上書き確認処理によりデータ書き込みが承認された場合に、データ伝送制御装置上の指定ディレクトリに FTP で受信ファイルを複製する．なお、データ送受信装置の受信処理では、高速化を図るため、共有メモリを使用して異なるプロセスが同時に動作可能にしている．これにより、送信側からのデータ受信処理とブロックデータのファイルへの再構築処理を同時に行うことができる．

#### 上書き確認処理

ファイル情報に基づき、受信局上書きモード、送信局上書き推奨モード、同名ファイルの有無を確認する．利用者への上書き可否の問合せが必要な場合、データ伝送制御装置に確認依頼を通知する．データ伝送制御装置からその結果を受け取った後、ファイルの書込可否を決定する．

#### 4.3.2 参加局主体における伝送要求の競合

「参加局主体」の場合、基本的にデータ送信実行要求を先に出した VSAT が優先的に送信権を獲得する．このとき、すでに自局がデータ伝送回線を割り当てられているならば即座に送信できるが、そうでないとまず回線を割り当ててもらわなければならない．回線割当要求は回線制御装置から制御回線を通していったん HUB

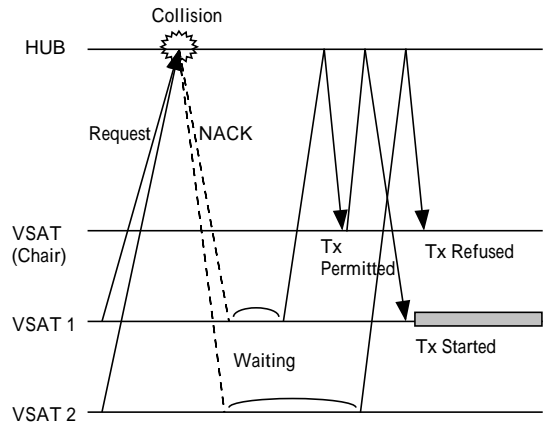


図7 伝送要求の競合制御

Fig. 7 Control on collision of transmission requests.

局に送られ、その後議長局 VSAT に送信される．議長局 VSAT の回線制御装置がその回線割当要求を受け取ると、「参加局主体」ではこれを自動承認する．この動作により、HUB 局制御の下でデータ送信局の切替が行われる．

データ送信実行要求の一連の動作において他の VSAT と競合が生じた場合は、図 7 に示す制御機構が働く．各 VSAT から HUB 局への通信にはランダムアクセス時分割多元接続方式が利用されているため、複数の VSAT が同時にデータ送信のための回線割当要求を行った場合、制御回線上で HUB 局への信号どうしが衝突を起こす．衝突が起きると、各 VSAT は再衝突を避けるためにランダムな時間だけ待ってデータ送信実行要求を再送する．このとき、先に要求を出した VSAT が送信権を獲得する．

#### 4.3.3 データ受信に失敗したときの再送要求手順

本データ伝送システムでは、自動誤り制御を行っていない．そのため、特に衛星回線品質が劣化すると、データに誤りが発生することがある．この場合は、以下の手順で受信側から送信側に対して再送要求を出すことにより対処する．受信側でファイルの受信に失敗すると、データ送受信装置がデータ伝送制御装置に通知し、ポップアップ画面として表示される．送信側に再送を要求するには、衛星電話で通知するか、映像音声送信局ならばその旨音声で伝えることができる．送信局でない場合は、議長局に送信要求を出して回線割当を受けた後、データ送信局に対してファイル受信に失敗したことを告げ再送してもらう．映像音声送信局がデータを送信する場合には、あらかじめ受信エラーがあれば発言要求を出すよう伝えておけば、送信側でもどの局が受信に失敗したかが分かる．



## 5. 伝送実験

設計したファイル転送システムが実際に SCS に適応できるか調べるため、セッション中のファイル転送を行いその性能を評価する。また、データ伝送システムが適切に動作し、回線制御装置、映像音声制御装置との通信制御により 3.2 節で述べた要求機能を満たすことを確認する。

### 5.1 性能評価

伝送実験は、センター 1 局とセンター 2 局との間で衛星回線を接続して、映像音声交換および異なる速度でのデータ伝送を行った。実験ネットワークの接続構成は、図 2 に示したシステム 2 対を衛星接続したものである。衛星 3 回線を用意し、2 回線を映像音声交換用に、交差接続 1 回線をデータ伝送用に割り当てた。衛星 MODEM は、ルータとハブを介してデータ送受信装置用コンピュータ (CPU: 400 MHz, OS: Linux 2.1.3 搭載) に、データ伝送制御装置用コンピュータ (CPU: 400 MHz, OS: Windows NT4.0) にそれぞれ接続された。地上系 LAN は 100 Mbps の Ethernet で構築し、データ送受信装置とデータ伝送用ルータとの間には実験に関係ない通信を発生させる機器の接続は行わなかった。

伝送性能を評価するため、サイズが 1406 k バイトのファイル (バイナリ・データ) に対してデータ回線速度を変えてスループットを測定した。各ブロックデータのサイズは、1 k バイトに設定した。図 8 に、データ回線速度に対するスループット特性を示した。黒丸は測定により得られた実測値で、実線は理論上得られる最大スループット、破線はデータ送出速度から計算されるスループットである。いずれの場合も回線速度が増加するに従い、スループットが増加していることが分かる。実測では回線速度に対して 65% 程度のスループット効率しか得られていないのは、正味のデータに付加されるオーバーヘッドの影響とデータ送出速度制限のためである。

スループット  $Q$  は、送信ファイルのサイズを  $s$ 、オーバーヘッドを含む全データの送信時間を  $t$  とすると

$$Q = s/t$$

$$= \frac{B}{\frac{s_b + d_r + d_u + d_h + b_i}{s_b} + \frac{h_i + d_c + d_u + d_h}{s_d}} \quad (3)$$

と表される。ここで、 $B$  はデータ送出速度、 $s_b$  はブロック・サイズ、 $s_d$  は分割データ・サイズ、 $d_r$  は RTP ヘッダ、 $d_c$  は RTCP ヘッダ、 $h_i$  はファイル情報、 $d_u$  は UDP/IP ヘッダ、 $d_h$  は HDLC フレーム・ヘッダ、 $b_i$  は挿入ビットである。挿入ビットは、HDLC のス

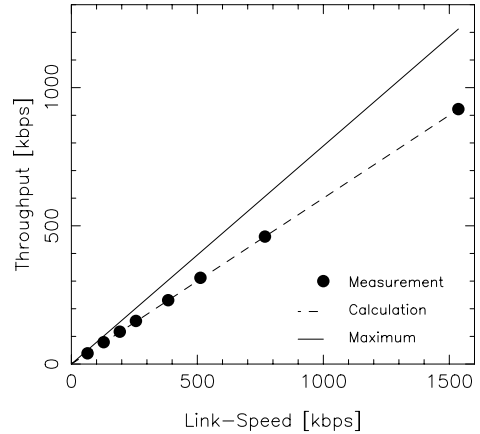


図 8 スループット特性

Fig. 8 Throughput characteristics.

表 3 ファイル転送実験結果

Table 3 Result of file transfer experiment.

Link Speed [kbps]	Size [kByte]	Troughput [kbps]
1536	153	942
1536	1406	922
1536	3292	931
1536	11253	914
1536	28805	910

タート・ビットおよびストップ・ビットを識別するため、データ内で 1 が 6 つ以上連続しないように 1 ビット分 0 が挿入される。実際には、各ブロックデータに RTP ヘッダ 12 バイトが、10 ブロックごとに送られるファイル情報に RTCP ヘッダ 28 バイトが使用される。そして、両者には UDP/IP ヘッダ 28 バイト、HDLC フレーム・ヘッダ 8 バイトがそれぞれ付加される。また、ルータとデータ送受信装置との間の LAN 上で、トラフィック量の揺らぎによる回線速度帯域の超過が生じないようにデータ送出速度に約 10% のマージンを設けてある。これに対して、サイズが 6222 k バイトの ASCII ファイルを転送して挿入ビットの影響を除去しデータ送出速度を限界に設定すると、スループットは 1310 kbps に達した。オーバーヘッドを含めて回線速度帯域の 98% を占め、帯域を有効に利用していることが分かる。

表 3 に、回線速度 1536 kbps 固定でファイル・サイズを変えてファイル転送を行った結果を示す。スループットのファイル・サイズ依存性はほとんどなく、安定してデータ伝送が行われていることが分かる。実験では、データ送出速度が回線速度を超えなければ、セッション中転送ファイルの最大サイズとして想定した 40 M バイトのファイルまで転送してもデータ誤り

や欠損が観測されないことを確認した。ただし、回線速度を超えるようにデータ送出速度を高く設定すると、データ伝送ルータ内部でのバッファ・オーバフローによってファイル転送は失敗した。スループットは、衛星回線速度により制限されているのである。

## 5.2 機能評価

次に、データ伝送制御装置および回線制御装置の操作により、データ伝送経路および接続機器が適切に設定されることを調べるため、センター1局を議長局とし、センター2局、東京大学1局、京都大学1局、電気通信大学局、九州工業大学局を接続して実験を行った。この場合もそれぞれの局に図2に示したシステムを構築し、衛星4回線を用意して、3回線を映像音声交換用に、交差接続1回線をデータ伝送用に割り当てた。つまり、3局の映像音声送信に加え、1局がファイル転送を行った。その結果、議長局による送信局切替およびデータ送信回線割当は、4.1節で述べた回線制御装置を操作して円滑に行えることを確認した。「議長局主体」と「参加局主体」の運用モードが提供されたことにより、会議内容や進行状況に応じた運用ができるといえる。データ伝送にともなう経路設定は映像音声制御装置を介して自動的に行われるため、「参加局主体」では特に利用者が占有モードか多重モードか、あるいは自局が送信権を有しているか否かを気にせずファイル転送できる環境が整えられる。「議長局主体」の場合、議長局が主導的に会議を進められるが、データ送信要求を行った局および回線切替時のデータ伝送割当回線を的確に把握している必要があった。

4.2節で示したデータ伝送システムを中心としたユーザ・インタフェースの各機能についても、動作を調べた。データ伝送制御装置を立ち上げると、回線制御装置からセッション情報を受け取り、データ送受信装置との接続を確立した。指定したグループへのファイル転送を伝送回線速度を変えて実行し、指定されたすべての受信局で適切に受信できることを確認した。これは、データ伝送制御装置の操作により、データ送受信装置との間でのファイル複製、映像音声制御装置を通じたデータ経路設定およびCODECの設定が誤りなく制御されたことを示す。また、転送ファイルの上書き推奨指定により、受信側の指示でファイルの書き込みを指定できることも確認した。送受信局ではファイル転送状況を示す情報が会議を進行するうえで重要であることが指摘され、速度、宛先、チャンネル、ファイル数、ファイル・サイズ、通信状態、転送進捗状況などの表示が有効に機能した。

## 6. おわりに

SCSを利用して効果的に遠隔教育を行うことを目的として、映像音声の交換に加えデータ共有サービスを提供するためのファイル転送システムについて検討した。SCSでの最も効果的なサービスの1つとしてセッション中の資料の伝送を考案し、データ伝送システムに対して効率的に共有データを利用するために要求される機能を実現した。開発したシステムはセッション中の資料伝送により参加局間の情報共有を円滑に促し、効果的な遠隔授業や研究会などを行う支援環境を提供することができると思われる。また、本システムは、基本的に既存の回線制御装置、映像音声制御装置、CODECなどを有効利用しており、現行のVSATに導入しやすい構成になっている。

本伝送実験においてデータ送出速度を回線速度より低く設定しておけば転送ファイルに欠損は観測されず、SCSにおけるマルチキャスト・ファイル転送システムでは受信局が送信局に対してデータの再送要求を逐次出すことによりファイルが確実に転送されるようになる方法は十分実用に耐えうることが分かった。これは、フィードバック回路による自動再送制御を行わないことでシステムの単純化に貢献した。

遠隔講義では、遠隔地にいる学生の反応が把握しにくいことが指摘されており、大きな課題になっている。そのため、講義をする講師が受講する学生の反応によって講義内容を変化させたり学生の質問に適宜対応したりできるような仕組みが不可欠である。その方策の1つとして、開発したシステムを利用して相手局側のカメラや資料提示などの遠隔制御を目論んでいる。システム的な検討および実装は、今後の課題である。

SCSは年々VSAT局数を増やし、遠隔教育基盤として様々な分野で利用されている。SCSでのデータ共有サービスは、その利用の可能性を大きく広げると期待される。データ伝送システムは、SCSの機能拡張として実験的運用システムに組み込むべく構築された。映像音声信号とデータの統合によるネットワーク・システム間のシームレス化が進み、マルチメディア・ネットワーク教育環境が整えられる。

謝辞 日本電気株式会社ほか、本システムの構築に携わった方々に深く感謝いたします。また、伝送実験を実施するにあたり、東京大学、京都大学、電気通信大学、九州工業大学の関係者の方々に多大なご協力をいただきました。本研究の一部は、科学研究費補助金(11680242)の援助を受けて行われました。

## 参考文献

- 1) 前田香織, 相原玲二, 大槻説乎: 遠隔講義のためのマルチメディア教材提示システム, 情報処理学会誌論文誌, Vol.40, No.1, pp.161-167 (1999).
- 2) 太細 孝, 小泉寿男, 横地 清, 守屋誠司, 白鳥則郎: マルチエージェント機能による遠隔協同授業支援, 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.2, pp.199-210 (1998).
- 3) 宗森 純, 吉田 忝, 由井園隆也, 首藤 勝: 遠隔ゼミナール支援システムのインターネットを介した適用と評価, 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.2, pp.447-457 (1998).
- 4) 木村英俊, 進士昌明, 山本公一, 川副 護, 水野秀樹, 大幡浩平, 中島 裕, 山本秀男: 衛星マルチメディア通信を利用した教育応用システムの構成と品質に関する検討, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J80-B-I, pp.244-265 (1997).
- 5) 田中健二, 近藤喜美夫: 大学間衛星ネットワーク(スペース・コラボレーション・システム)の構成, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J82-D-I, pp.581-588 (1999).
- 6) 近藤喜美夫: 大学間衛星ネットワーク SCS の複数局交流方式, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J82-D-I, pp.1210-1216 (1999).
- 7) 浅井紀久夫, 田中健二, 結城皖曠, 近藤喜美夫: スペース・コラボレーション・システムの利用調査, メディア教育研究, No.1, pp.185-193 (1998).
- 8) 郵政省通信政策局: 平成 11 年度衛星通信年報 (1999).
- 9) Lin, S., Costello Jr., D.J. and Miller, M.J.: Automatic-repeat-request error-control schemes, *IEEE Commun. Mag.*, Vol.22, pp.5-16 (1984).
- 10) Arora, V., Sphasindhu, N. and Baras, J.S.: Asymmetric internet access over satellite-terrestrial networks, AIAA-96-1044-CP, pp.476-482 (1996).
- 11) Nakayama, M., Nakagawa, M., Hashimoto, Y., Tanaka, K. and Nakashima, H.: A satellite communication system for interactive multimedia networks, *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E80-B, No.1, pp.103-108 (1997).
- 12) Maral, G.: *VSAT networks*, John Wiley & Sons (1995).
- 13) SkyPerfecPC. <http://www.skyperfecpc.com>
- 14) MegaWave. <http://www.megawave.ne.jp>
- 15) 西田視磨, 楠本博之, 村井 純: 単一方向衛星回線を含むネットワークのためのアドレス変換機構を用いたネットワークアーキテクチャ, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J81-B-II, No.5, pp.458-467 (1998).
- 16) 荒木克彦, 小林 守, 中島 裕, 川添雄彦: マルチメディア衛星通信システムにおける ATM セル/IP パケット伝送特性の評価, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J81-B-II, No.5, pp.439-447 (1998).
- 17) 井上貴則, 石田賢治, 天野橋太郎, 山下 徹, 勝見義之, 山田松一: VSAT を用いたコンピュータ間通信実験, 電子情報通信学会技術報告, SAT99-11, pp.63-70 (1999).
- 18) 小川真大, 井村紀彦, 高畑文雄: 衛星通信回線における TCP の性能評価に関する実験的検討, 電子情報通信学会技術報告, SAT99-77, pp.23-28 (1999).
- 19) 若林良二, 鈴木 弘, 武藤憲司, 島田一雄, 美濃導彦: VSAT 局によるコンピュータネットワークの基礎実験—FTP を用いたファイル転送, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J80-B-II, No.10, pp.928-929 (1997).
- 20) ITU-R: Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems, Recommendations on radiowave propagation, p.618-6 (1999).
- 21) Karasawa, Y. and Matsudo, T.: One-minute rain rate distributions in Japan derived from AMEDAS one-hour rain rate data, *IEEE Trans. Geoscience and Remote Sensing*, Vol.29, No.6, pp.890-898 (1991).
- 22) 飯田尚志: 衛星通信, オーム社 (1997).
- 23) Schulzrinne, H., Casner, S., Frederick, R. and Jacobson, V.: RTP: A transport protocol for real-time applications, Audio-Video Transport Working Group, RFC 1889 (Jan. 1996).

(平成 12 年 3 月 15 日受付)

(平成 12 年 9 月 7 日採録)



浅井紀久夫

平成 3 年名城大学理工学部電気電子工学科卒業。平成 8 年名古屋大学大学院工学研究科博士課程退学。同年文部省放送教育開発センター(平成 9 年メディア教育開発センター)研究開発部助手, 現在に至る。博士(工学)。衛星ネットワーク, 高臨場感通信, マルチメディア・システム等の研究に従事。電子情報通信学会, 日本天文学会, 日本電気学会, 日本バーチャルリアリティ学会各会員。



大澤 範高(正会員)

昭和 58 年東京大学理学部情報科学科卒業。昭和 63 年同大学大学院理学系研究科博士課程修了。ソフトウェア開発会社、電気通信大学大学院情報システム学研究科助手を経て、平成 10 年文部省メディア教育開発センター研究開発部助教授。理学博士。並列分散システムソフトウェア、情報の可視化・仮想現実化に興味を持つ。電子情報通信学会、ACM、IEEE-CS 各会員。



近藤喜美夫

昭和 46 年東京大学工学部電気工学科卒業。同年郵政省電波研究所(現在、通信総合研究所)入所。昭和 58 年宇宙開発事業団、昭和 63~平成 3 年郵政省通信総合研究所宇宙通信部移動体通信研究室長。この間技術試験衛星 V 型の開発、移動体衛星通信等の研究に従事。平成 4 年文部省放送教育開発センター(現在、メディア教育開発センター)教授。大学間衛星ネットワーク SCS の研究開発に従事。工学博士。平成 3 年度電子情報通信学会業績賞受賞。



結城 皖曠

昭和 39 年大阪府立大学工学部電気工学科卒業。同年日本電信電話公社〔現日本電信電話(株)〕入社、電気通信研究所配属。以来、PCM 通信端末装置、ファクシミリ変復調、符号化伝送方式、ファクシミリ通信網の実用化研究に従事。現在、文部省メディア教育開発センター研究開発部教授。工学博士。電子情報通信学会、映像情報メディア学会、画像電子学会、日本ディスタンスラーニング学会各会員。



吉田 勝昭

昭和 39 年宮城県立気仙沼高等学校卒業。昭和 39 年日本電気(株)入社。以来、平成 2 年まで衛星地球局の社内装置検査およびスイス、エジプト、メキシコ、フランスにおいて地球局現地調整業務を行う。現在、マイクロ波衛星通信システム本部第 3SI 部主任、衛星通信システムの設計業務を担当。