

大学間教育交流ネットワーク SCS の開発

近藤喜美夫

従来の教育発信機関を中心とした遠隔教育とは異なるコンセプトとして、すべての大学が対等な教育交流のための衛星システムを検討した。国際衛星ワークショップ実験、看護学教育実験、連合獣医学大学間交流実験を行い、衛星通信実験システム、講師卓の試作を行うと共に、これらの検討確認結果を元に HUB-VSAT 構成の大学間教育交流ネットワークを提案した、これは 1995 年、文部省により予算化され SCS (Space Collaboration System) としてメディア教育開発センターで開発を行い、1996 年に運用を開始した。SCS は現在 123 機関 150 局 (2001 年) を収容しメディア教育開発センターの重要な事業として運営され、年間 3000 時間様々なコラボレーション活動に利用されている。利用状況、アンケート結果から SCS に実現した多くの新しい考え方は有効に機能しており、SCS は教育改善に貢献しているといえる。本稿では、SCS の発想から開発運用にいたる過程で行った実験・試作・検討結果を報告する。

キーワード

SCS、衛星通信、遠隔教育、教育交流ネットワーク、コラボレーション

1. はじめに

コンピュータ、ネットワーク技術の進歩と地上系インフラの整備の進展により IT ブームが世界を覆っている。しかし地上系インフラはトラヒックの高い地域を中心として整備され、原理的に地域格差を伴わざるを得ない。また海等で隔たれてこのような恩恵に浴せない地域も残りがちとなる。これに対し、衛星システムは地上局の設置により、広域に分散する地点を容易に対等なネットワークに組み込むことができる点で有利であり、しかも広帯域信号を離れた地点に伝送できることから、長く教育への衛星通信の利用は注目されてきた[1]。

しかしこのような衛星利用の多くは一般的な教

育放送や、米国 NTU[2] また 1998 年からの放送大学に見られるように、一つあるいは少数の送信局から多数の受講者に講義を放送あるいは同報するようなシステム構成を前提としてきた。実際、教育、訓練等を目的とした衛星通信のほとんどは送信局を中心とした放送システムあるいは双方向性があってもスター型で非対称の構成が支配的である。

一方、教育、学習において一ヶ所からの講義がすべてでないこと討議・相互授業等さまざまなコラボレーションが重要であることを考えれば、複数局が自由な構成で、容易に交流できるシステムが必要である。

このような構成とするためには、各局の対等性と、参加局間でのセッションの共有、議長局機能の実現が必要である。即ち、従来広く行われていた 1 点から他の 1 ないし複数の点に対してどのように臨場感を伝えるか、あるいはどのような内容

が多数の参加者を集められるかを問題とする議論とは異なり、利用形態とこれを可能とする技術の両方を考慮した検討がなされなければならない。システムは利用を反映して変化すべきであり、利用はシステムを反映して変化すべきである。

教育を目的としたこのような完全メッシュでフラットな衛星ネットワーク構成の検討はほとんどなされていなかった。筆者は1992年国際衛星ワークショップ実験[3]を提案、主催し、VSAT (Very Small Aperture Terminal) による教育交流ネットワークの重要性を確認、その結果から1994年HUB-VSAT構成による大学間衛星ネットワークの提案[4]を行うとともにHUB-VSAT構成、講師卓の試作、1.5Mbpsによる複数局交流実験を行った。

このアイデアは文部省に理解されSCS (Space Collaboration System) として予算化、放送教育開発センターにより開発が行われて、1996年には同センターを中心とした51局で運用が開始された[5]。SCSはその後も文部省の積極的な推進策により2001年には123機関150局が参加する衛星ネットワークとなり、参加高等教育機関の協力により年間3000時間利用されるまでになった。

本稿では、第2章で衛星通信の利用状況を概観しその構成は現在でもほとんどスター型であることを見る。第3章で遠隔教育と教育交流の考え方の違いを示し、全局が対等で容易な操作性の重要性を論じ、第4章で複数局交流システムのための実験的検討を述べる。第5章でシステム構成の基礎的な検討を行う。第6章で試作による確認結果を延べ、第7章でこのような考え方に基づくSCS構成を述べ、第8章でSCSの特性を論ずる。第9章で拡張技術に触れ、最後に第10章でこのシステムの課題を考える。

2. 衛星通信の利用と教育[6]

教室内で対面で行われる教育を遠隔の学習者に学習の機会を提供する方法として通信教育が始ま

り、さらに情報と臨場感を強化するラジオ、テレビによる放送教育が行われてきた。衛星通信はその広域性広帯域性と地上の通信インフラに依存しない点で、古くから遠隔教育を改善する重要な技術として強く結び付けられて考えられてきた[1]。

実際、米国ではNTUが複数の大学からの講義をマスターコースとして提供し、メキシコMonterrey技術大学が自国及びラテンアメリカ諸国に学部、大学院教育を流している。わが国では放送大学が衛星を用いて国内全域への放送を1998年に開始した。これらは放送型のサービスであるが、イスラエル公開大学がINTELSATを用いてマルチメディア型の講義をおこなっているように世界的に衛星によるマルチメディア利用、インターネット利用等も例が見られるようになってきている。

ここでは特に、様々な利用形態が見られるヨーロッパでの衛星利用の動向[6]を述べる。

衛星放送形式では長くアナログ方式であったが、最近マルチメディアに対応できるデジタル放送用としてヨーロッパにおいて標準化されたDVBの利用が進んできている。DVBでは映像伝送にMPEG-2を用い、変調方式として、伝送路に対応してOFDM、64QAM、QPSKが選択される。FECでは、PN符号によるデータを帯域内に拡散、外側にReed Solomon符号を用い、インターリーブも行う。伝送路としては地上放送、ケーブル、衛星伝送に対応し、変復調方式とFECを伝送路の誤り特性を考慮して最適なものに変更することができる。またMPEG2信号の多重化、蓄積メディア制御、アクセス制御もできる。DVBに関しては標準化が既に完了し、これを用いたサービスがEutelsatにより行われており、スター型のサービス形態をとるMultiMap、Trapeze、Espressoなどの研究開発プロジェクトが実施されている。図1にEspressoのシステム概念図を示す。

一方、通信システムでは、カナダの救急医療支援システムでのH320、H323方式があり、更に移動局をもターゲットとし、より機動性を高めるS-

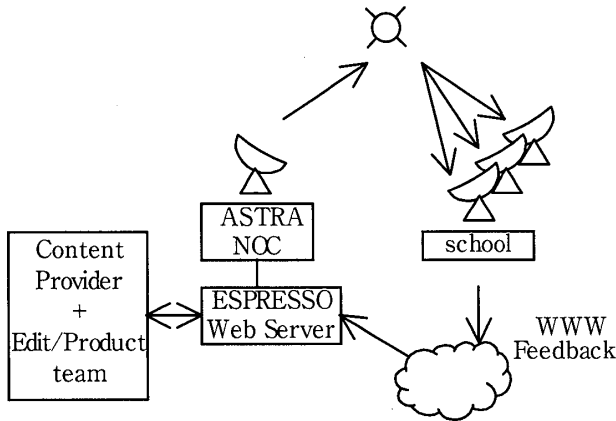


図1 ESPRESSO 構成図

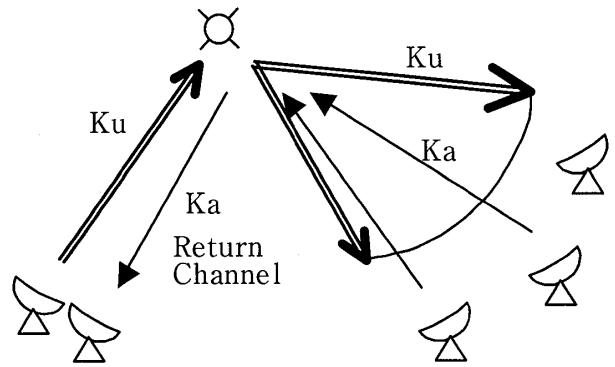


図2 IMMIS 構成図

UMTSでのH32M、画像符号化でMPEG4の利用例が見られる。しかし、これらは基本的に1対1通信である。また、Plymouth大学でのSWAN (South West Area Network) による外科医教育ネットワークでのH261方式の利用例も見られるがこれは同報的な利用である。通信システムにおける通信方式はそれぞれの理由で独自の方式がとられる。

衛星へのマルチアクセス方式はほとんどがFDMA方式であるが、わずかな例として送信局の対等性を確保するための工夫からTDMAを用いたシステムが、LISSYおよびSkyPlex-netに見られる。但しLISSYは既に終了した実験システムである。SkyPlex-netは、AleniaSpazio社の開発する軌道上再生中継器SkyPlexを利用し、DownLinkをDVBとして、放送局の対等性を確保する。

信号速度に関しては、送信点が1つまたは少数である放送的な利用ではDVBで24Mbpsあるいは35Mbps等の多重化されたダウンリンク構成がある。通信利用では中心となる送信点から受信点までのForwardリンクについて、DESNETで384Kbpsから2.048Mbps、MultiMapで2Mbps、IEMNで512Kbpsの例があり、DVBではWeb-Satで4Mbpsを送信単位とするVSATシステムの商品例がある。しかし、Backwardリンクでは各ユーザー局からの送信が必要となりWeb-Satで16kbps、MultiMapで64kbps、TRAPEZEで

76.8kbpsのように低速度となり、非対称のシステムとなる。主となる通信信号に対して戻り回線も同じ速度を用いる対称通信システムもあるがほとんど音声等低速のものである。これらのスター型システムはいずれも行きはpoint-to-multipoint、戻りはpoint-to-pointとなる。ほとんどがKu-bandであるのに対して、地球局の小型化と帯域余裕の点で図2に示すようにKaバンドを戻り回線に設定する方式がIMMIS等の実験で評価されている。

以上の例から見るように最近のマルチメディア利用も含め、衛星システムはほとんどスター型であり放送、同報的な利用が多い。複数の対等な送信点を可能とするものは電話サービス用の他は実用システムとしてはSkyPlexのように新しい衛星を必要とするものしかない。

3. 大学間教育交流システムの考え方

3.1 遠隔教育と教育交流

教育の情報が1箇所に集中し、他はこの情報を受け取れることを目的としたシステムは、その機関、送信設備を頂点として裾野に多数の受信局を従えたスター型構成となる。送信点へのBackward回線はないか、質問、情報受信の確認、あるいは受講者の表情の概要をとらえるための補助的な回線となり、一般にForward回線に比べて狭帯域となる非対称なネットワーク構成がとられる。Forward, Backward回線の呼称がまさにこ

のようなスター型のネットワークの概念から生じている。

このような放送型、スター型の衛星システムの利用では、高度で複雑な教育中心となる送信局を1つ作り安価な受信機をばらまけば安上がりで規模の大きい「遠隔教育」システムができあがる。このようなシステムのもとでは1つの教育機関が権威をもつ発信局となり、他はこれを受信、受講するシステムとして、国内に支配的に実現されるか、競争的な複数但し少数の機関がそれぞれ独自のスター型システムを構築し、必ずしも多くない受講者また講演者を取り合う形で実現され、敵対的にあるいは互いに無視して関連をもたないよう運営されていく可能性が大きい。しかもこのような発信局は常に多くの受講者が興味を持つコンテンツを探し、提供しつづけることができなければならず、そのコンテンツ収集メカニズムが適正に計画されていない限り運営上の問題に突き当たるであろう。また必然的に「需要」即ち受講者の少ない専門的コンテンツはサービスが困難となる可能性が高い。

教育、学習が、講師からの講義、あるいは上質のプログラム配信で達成されると考えるこのようなシステムは、①需要が高い講義内容、②講義あるいはプログラムの上質化と③高画質化が議論の中心となり、このため話の仕方、カメラに対する視線、照明等が専門技術化され送信プログラムの高コスト化が生じやすい。教育、学習にとり、画質は単なる1要素に過ぎないのに、これまで高画質化が他の要素に比べ過度に重視され、このため回線コストを気にしないシステムの実験が繰り返されてきた。確かに高画質は自然さを高め、さまざまな高価な機器と回線コストを必要とし経済の活性化には有効であっても、定常的な経費の問題が解決できなければ一時的な利用に限られざるを得ない。

一方、大学等高等教育機関を対象としたネットワークを考えると、教育に有効な情報は1箇所に集中していると考えるのは明らかに困難であり、むしろ多様な需要に対して共同で分散している情

報を利用しあうほうがよい。従って大学間教育交流ネットワークとしてはすべての局が対等に送信を行えることが重要である。

このような多数の送信点を有するネットワークは、その送信を

- ① どのように経済的に実現するか
- ② どのように制御するか
- ③ どのように受信させるか

について技術的な検討が必要となる。

4. 複数局交流システムのための実験的検討

4.1 SAWS実験[10]

1987年打ち上げられた移動体通信実験用のETS-V衛星[7]を用いて、通信総合研究所、ハワイ大学間で「汎太平洋情報ネットワーク」実験が行われていた[8]が、1992年、郵政省を中心としてこの活動は「パートナーズ計画」[9]として拡大された。

パートナーズ実験システムはETS-V搭載中継器と複数の小型衛星地球局により構成される。国内の小型衛星地球局は、1.2mアンテナを用いてH.261 CODECにより64kbpsのビデオ信号の伝送が可能である。これらの実験用の地球局は、パートナーズ推進協議会、郵政省、宇宙開発事業団のもとで、放送教育開発センター(1997年、メディア教育開発センターと改名：以下、メディア教育開発センターと記す)をはじめ、タイ・キングモンクト工科大学、インドネシア・バンドン工科大学、フィジー・南太平洋大学、パプアニューギニア・工科大学に設置された。また、これとは別に、通信総合研究所、ハワイ大学、電気通信大学、東北大学、北海道東海大学にも同様な実験用地球局が設置されていた。実験項目として参加機関の提案により電波伝播実験、マルチメディア通信実験等が行われることとなったが、メディア教育開発センターでは遠隔教育実験と国際衛星ワークショップ実験の2種の教育関連実験を行った。

まず地球局を2局整備し、一局を可搬局として20回以上にわたり大学や県庁に運搬して国内、国外との2局間で遠隔教育実験を行った。

複数局が対等に衛星を介して互いに双方向で教育交流するための衛星システムは遠隔教育システムとは機能構成が異なるため、まずシステムの課題を正確に理解し対応法を具体化する必要がある。このため通信総合研究所本所及び鹿島支所、タイ・キングモンクト工科大学、インドネシア・バンドン工科大学、フィジー・南太平洋大学、パプアニューギニア・工科大学、米国ハワイ大学・PEACESATまた電気通信大学、宇宙開発事業団(NASDA)に呼びかけ、6カ国10局の間で共同した複数局交流実験を国際衛星ワークショップ実験(SAWS: Satellite Workshop Experiments)として、1993年1月開始、2年間で31回継続した[3]。図3にSAWSの実験概念図を、写真1に用いた実験装置の一部を示す。

ワークショップ実験は、各局が対等に画像を用いて参加するN:Nネットワークとしての利用法を衛星上で試みるものであった。実際、多いときには9局が同時に参加、それぞれの局が画面に次々と現れる形で、センターと参加局間の交流ばかりでなく参加局相互の交流を行った。各ワークショップは約90分で、研究者、招待した専門家、学生等の参加により、講義と質疑応答を行うのが典型的な進め方で、参加人数は各局とも数人~10人程度と比較的少人数であった。メディア教育開発センターは1~2名で衛星通信装置、映像音響機器運用、議事、連絡、不具合対応を行うと共に、討議参加者の協力を得ながら活動を主催した。内容に応じて、参加局以外に東北大学、KDD、GCTエンジニアリング、神田外国語大学等からの研究者、学生の参加協力もあり、少人数であることから国際的でありながら自由でフランクな討議が行われた。このような多数局の参加による衛星利用の交流は、従来例が見られないものであった。

討議内容は、地球局が技術系の研究者により運

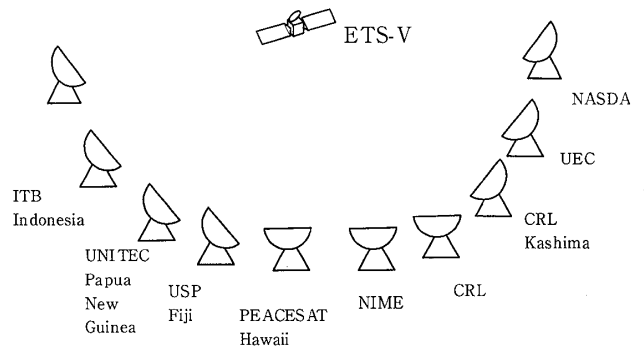


図3 SAWS実験概念図

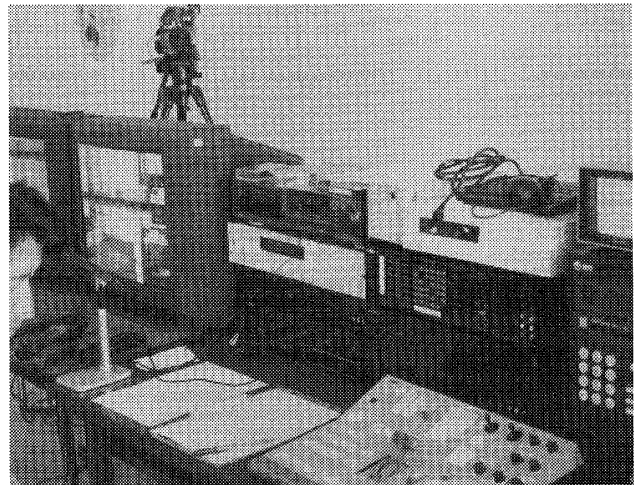


写真1 SAWS/PARTNERS 実験装置

用されていることから、運用者が興味のある技術系の内容を選択した他、適宜各国文化、風俗の紹介といった文化的な交流も行った。

簡易なシステムであり各局が1チャンネルの受信チャンネルを固定した状況で複数局運用を可能とするため、CRL鹿島局が中継局となり、図4に示す以下の2種類の方法を試した。

- (1) 中継局でミックス、再送信するためのチャンネルとしてあらかじめ設定した2チャンネルに発言局が送信を行う
- (2) 複数局がすべてそれぞれあらかじめ割り当てられた固有のチャンネルに送信を行い、中継局が内容に応じて必要な局のチャンネルを選択、ミックスして再送信を行う

手動で行う本実験では後者のほうが運用は円滑であったが、ダブルホップのこのシステムでは送信局に絶対的なエコーを生じると共に再符号化に

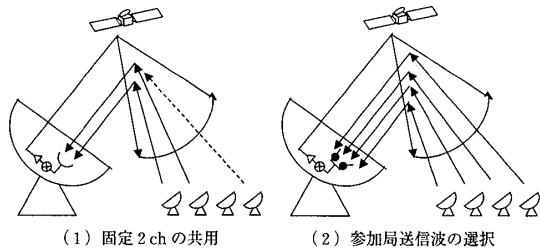


図4 SAWSでの複数局交流方式

伴う画像の劣化の問題を生じる。前者についてはマイク、スピーカのon/offで、後者については中継局にデジタルのバッファを設けることにより対応した。

これらの活動を通じて、

- ・複数局間の交流の有効性
- ・画質にあまり依存せず十分有効な交流活動ができること
- ・書画カメラの有効性
- ・実質的な議論の効率化に対する事前資料の重要性

が認められた。2年間31回の長期的な活動は将来のSCSにつながる以下のような特徴をもっている。

- ① 各局は少人数であるが複数局で交流
- ② 利用者自身が装置を操作
- ③ 2年間31回にわたる定常的な利用
- ④ 組織、国境を越えた教育・研究交流
- ⑤ 1：Nでなくマルチラテラルな交流

各局とも研究者自身が無線機、映像音響機器を設定、操作、また議事に参加しながら、時にトラブルや来客に対応する。参加局の経験した主要なトラブルは以下のようなものである。

(システムに関するもの)

- ・スピーカラインからマイクラインへの回り込み
- ・複数局運用のため中継局から再送信される信号に自局の受信信号も含まれる回線上のエコー
- ・シングルホップとダブルホップの画質、音質の差

(運用に関するもの)

- ・議事参加中の映像信号切り替え操作等における心理的混乱状況
- ・複数局間切り替えのための国際電話による連絡業務
- ・映像・音響機器、通信機器の設定/接続間違い
- ・カメラを急速に動かすことによる圧縮画像画質の劣化
- ・共に外国語である英語を共通言語として用いての議論でのすれ違い

このように、システムでの改良、工夫と共に、運用に関わるトラブルを防ぐ事も十分考えねばならない。

また、このような共同活動は教育的な観点では以下のヒントを与えた。

- ・当初は衛星通信、ビデオ会議の経験のほとんどなかった参加局がトラブルを共有し、体験学習的にその対策について検討することによるトレーニング効果、マルチメディアリテラシー効果がある
- ・64kbpsという圧縮度が高い画像を通じて、良質な画像を得るための撮影法や提示画像の作成法が体得される
- ・生じたトラブルに関して実際の測定機での観測波形、機器の問題部分を画像で送り、参加局相互で共同で相談する等、技術分野における画像通信の効果的な使い方の体験がなされる

(2) 課題

多数の局が、国際ビデオ会議として、同時に、しかも定例的に参加する衛星利用の中で特に運用上のトラブルを避けるための技術課題として以下が抽出された。

- ① 複数局間での効率的な回線切替制御システムの開発が必要である、また容易な運用のため機器制御システム、自動立上機能が必要である
- ② 中継局での合成、再送信のため生じる、回

線側でのエコー対策と、中継での再符号化に伴う画質劣化対策の検討が必要

また複数ビームにまたがる運用に関しては、

- ③ 衛星の異なるカバレッジに属する局間で信号を共有する必要がある

4.2 画像符号化速度の影響

(1) 看護教育実験での画質評価[10]

遠隔地を結ぶ教育において画像は多くの情報を運ぶとともに親近感を与える点で重要であるが、高品質の画像は広帯域の回線を必要とし、回線、装置のコストが増加する。特に回線コストは定常的な経費として長期運用時問題となるため画質の効果を理解する必要がある。

1993年衛星を用いた看護教育実験のなかで、圧縮画像と高品質画像を同様な条件で示し、そのアンケート結果を用いて各種要素の影響を比較検討した。

実験では鹿児島大学附属病院より医療情報システムに関する講義を看護教育として行い、これを通信衛星により国立中部病院看護学校と他の1局に伝送する。この画像は中継器の帯域30 MHzを用いたアナログ動画（以下高品質画像という）で伝送し、音声は地上の専用回線を用いた32kbpsのPCM音声である。同時にこの信号はメディア教育開発センターでも受信した後ETS-Vの圧縮画像を用いた通信回線でやはり国立中部病院看護学校に伝送される。図5に機能的な構成図を示す。

圧縮画像はITU-T H.261に従う46kbpsの画像で16kbpsのAPC-AB音声とあわせ64kbpsのデジタル信号として伝送される。衛星で接続されている会場からの質問はそれぞれの回線を用いて、また双方向の衛星回線で接続されていない会場からの質問は地上のISDN（64kbpsの圧縮画像）で講師の元に送られ、これらの画像は各受講会場に再変調されそれぞれの品質で提示される。表1に実験主要諸元を示す。

受講者は通常の講義と同様、手元に関連する資

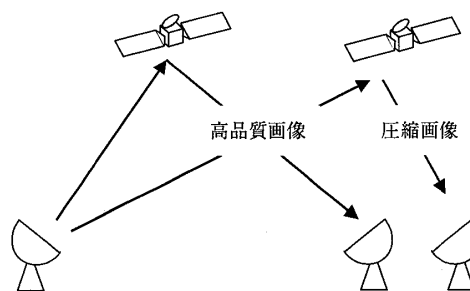


図5 看護教育実験での画質比較

表1 看護教育実験主要諸元[10]

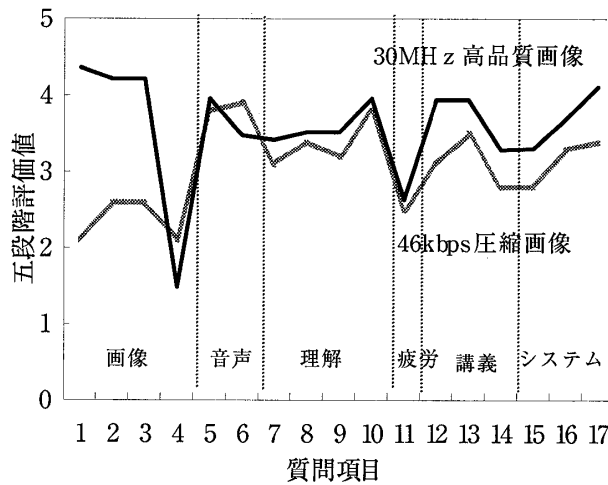
	高品質画像	圧縮画像
画像	30MHzアナログ NTSC	46kbpsデジタル ITU-T H.261
音声	32kbps PCM	16kbps APC- AB
質問	ISDN64での映像	ETS-Vでの映像
衛星	SuperBird	ETS-V
周波数	Ku	L
送信局	車載局 1.8m φ 200W 2.7m φ 100W	可搬局 1.2m φ 10W

料が与えられており、多数の学習者が同一の教室内で資料を用いながら講義を受けるという一般的な遠隔教育の環境となっている。

国立中部病院では2つのクラスが設けられ、直接通信衛星により伝送された画像（以下「高品質画像」という）と、ETS-V経由で圧縮画像として伝送された画像をそれぞれ評価する。このような構成により、異なる画質で、同じ内容を同時に、同じ分野かつほぼ同年代の受講者（看護学校の学生）に提示する事ができた。

(2) 画質差の影響

アンケートの項目は、大きく(1)画像、(2)音声に関するもの、(3)理解、(4)疲労に関するもの、(5)講義、講師による印象、(6)違和感、満足感等システムの印象(7)その他に分けられる。回答者からみた画面の最小画角が同じ条件となる五段階評価の回答を処理すると図6のようになった。アンケート回答数は高品質画像会場では52、圧縮画像会場では19であった。なお、46kbpsの圧縮画像で誤読率の増加が顕著となるのは画面の横幅に対しては



主要アンケート項目

1. 講師画像
2. 説明図表
3. VTR画像
4. 質問者の画像
5. 講師音声
6. 質問者音声
7. 講師説明理解
8. 説明図表理解
9. VTR説明理解
10. システム理解
11. 疲れなかった
12. 講師に親近感
13. 話内容に興味
14. 話内容に感動
15. 違和感なかった
16. 本システムは適する
17. また受けたい

図6 アンケート結果[10]

ば1/30の大きさの文字より小さくなったときで、高品質画像では1/37でも誤読率の増加はなかった。

t検定により有意水準0.05で46kbps圧縮画像と高品質画像それぞれの回答平均値の間に有意差が認められるのは、

- ①画質
- ②親近感
- ③興味
- ④感動
- ⑤再受講希望
- ⑥違和感

に対する5段階評価であった。

当然高品質画像に対して良い評価が得られる。高品質画像は特に、親近感を与え、違和感がなく、興味を感じさせ、感動を与え易い点で圧縮画像に比べ評価が高い。これらはt検定でも有意である。

一方、理解、疲労に関する評価は圧縮画像との差が小さく、t検定によっても有意差がない。これは理解、疲労に関して、画質は多くのパラメータのうちの一つとなっているためと考えられる。

なお、実験で用いた音声の聞き易さについては有為な差は認められない。

高品質画像では、画像等関連項目相互間の0.6～

0.7の相関係数を除くと、他はほとんど相関係数が0.5以下と小さかった。特に興味、関心を持っているかどうかと理解、疲労との相関係数は小さく(0.22以下)、t検定でも有意な差とは認められない。しかし圧縮画像では、興味、関心を持っているかどうか、理解できた、疲労がない、違和感がない、また再受講希望するという反応との間で相関係数が大きく有意であった。また、興味と関心、興味と重要性認識、興味と有効性認識等それぞれ互いに0.8以上の高い相関係数となり、高品質画像の場合と異なっている。

これらのことから、高品質画像は理解、関心の有無によらず受講者に情報を容易に伝達できるが、圧縮画像を用いるときは、技術的興味、内容に対する関心の有無が理解のしやすさ、疲労のなさに影響するばかりでなく、システム意義の理解にも影響を与えると言える。

高品質画像は違和感が小さく親近感を与え、再受講希望の大きさに見られるように満足感が大きい。また精細な画像により興味を刺激できる。このようなことから、学習者に未知である事物についての正確なイメージを与える事を目的とした導入的、紹介的な利用については、クリアな画像を提示できる点で圧縮画像に比べ優れている。

一方、圧縮画像では、高品質画像に対し画質の

差を無視することができないが、画像の見えかたに対する評価差に比べ、理解、疲労等に関する評価差が小さい。また、圧縮画像に対する「慣れ」による画質の許容度の上昇が期待できるから、専門的な討議、少人数でのゼミ等、参加者が既に興味を持っている内容に関する教育交流分野での利用に、経済的、効率的な手段を提供できると言える。

4.3 1.5Mbps画像の評価[11][12]

(1) 獣医系連合大学院実験

SAWS実験、ISDN64による実験等から64,128kbpsの利用性を評価していたが、定常的な回線費用がある程度許されるなら技術的に興味のない人に対してもあまり違和感のない画質を提供できるほうが良く、英国での2Mbpsネットワーク、ISDN1500等を考慮して、1.5Mbpsを基本とするネットワークがより発展性があると考えた。1.5Mbpsを複数の大学間で衛星を介して用いる状態を模擬的に作り、獣医学系連合大学院（岐阜大学、帯広畜産大学、岩手大学、東京農工大学）の活動への1.5Mbps画像の利用性について実験を行った。

実験は、1995年12月、獣医学系連合大学院の活動の中で、筆者が既に提案してきた方式である複数波による複数局交流ネットワークを、利用可能な装置を用いて模擬的に実現し、その有効性を確認することを目標とした。

1.5Mbpsにより複数の大学を結ぶネットワークを模擬するため、以下の構成とした。

- ① 1.5Mbpsを送受できる複数の衛星地球局を以下の参加機関に設置する
 - ・メディア教育開発センター（千葉市）
 - ・岐阜大学（岐阜市）
 - ・帯広畜産大学（帯広市）
 - ・岩手大学（盛岡市）
 - ・東京農工大学（東京府中市）
- ② 回線制御を行うシステムが存在しないため、各大学間を地上系（ISDN）TV会議シス

テムで結合し、衛星回線切り換えを口頭での連絡に従い人手により行う。

- ③ 5ヶ所の局に対して送信用各1回線を割当て、岐阜大に設けた臨時の議長局で受信周波数を切り換え、自局の信号と組み合わせて再送信することにより複数局の参加を実現した。切り換えに要する時間は約3秒であった。
- ④ 6.1に示す講師卓の試作は終えていたが、装置の操作に慣れた状態を作り出す事、自動的に回線切り換えを行う事は不可能であるため、映像制作、音響機器の切り換えは従来広く行われてきた実験と同様、契約業者による人手によった。

図7に本実験のシステム構成を示す。衛星はJCSAT1号を利用した。各地球局は1.8mのアンテナを有する可搬型地球局であり、1.5Mbps画像符合化装置を接続して、その送受信が可能である。

この実験では、学位論文の中間発表会、パネル

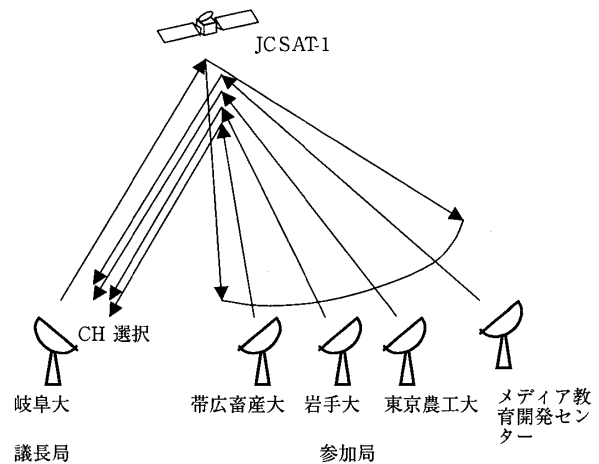


図7 連合獣医実験構成図

ディスカッション、研究討論会と異なる用途で遠隔地を結んでいる。いずれも連合大学院としての活動に欠かせない教育、研究活動である。

(2) アンケート結果

(a)画質

画質、利用性に関して評価するため、参加者に対してアンケート調査を行った。図8にアンケー

ト項目に対する五段階評価平均値を示す。

まず、相関係数行列を求め、固有値分析を行ったところ、1以上の固有値は3つであった。そこで因子数を3として、SMC (Squared Multiple Correlation) を共通性の初期値として主因子分析を行った。第1因子は衛星通信を用いた本実験の総合的な満足感と解釈できる。第2因子は伝送画像の見やすさ、第3因子は伝送音声の聞き取りやすさと解釈できる。各因子により説明される分散は各々6.45、1.94、1.04であった。総合的な評価に対して画質の影響が大きくないという点が確認されたと言える。

獣医学系という高品質画像への要求の強い分野で、実際に利用される可能性のあるいくつかの種類の画像が利用された。この画像に関するアンケート結果は図9のようになった。

表情等に関する評価に比べ、医学系で微妙な表現を重視する映像に対して評価値は低くなってお

り、1.5Mbpsの特性とみるのが自然と思われる。

(b) 自由記述でのコメント

5段階評価での選択によるアンケート以外に、自由記述でコメントを求めた。自由な意見として167のコメントが得られた。なおここでは、得られた一文の記述が、内容的に分離できる意見の集合と考えられる場合は、異なるコメントとして計数している。そのコメントの主要な内容は図10のようであった。

本実験では、画像符合化装置での設定ミスがあったため、映像信号の断続が多数発生したため、この点に関するコメントが多く、23件となった。また、画像符合化装置で映像、音声のリップシンクを、遅延最小による応答性を重視して行わないこととしたため、その不自然さを指摘するコメントが13件あった。

本実験では、カメラ操作、映像切り換え、進行

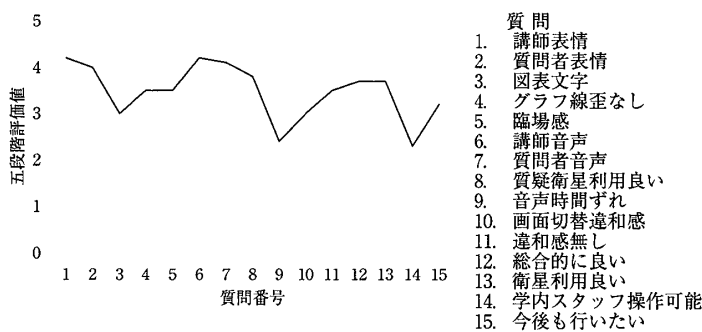


図8 アンケート5段階評価

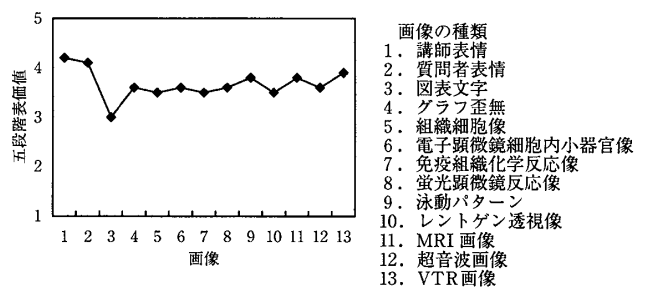


図9 医療画像5段階評価

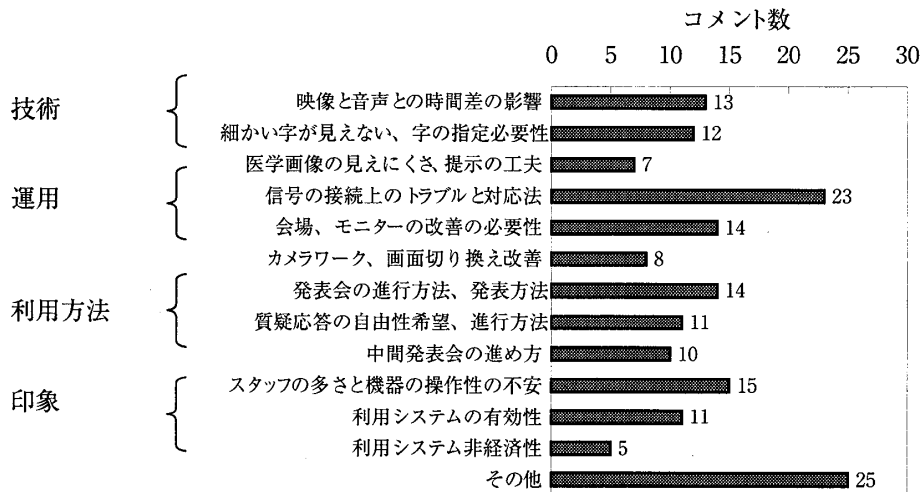


図10 連合獣医実験での自由記述コメント

について専門業者に頼んだため、このようなシステムの導入の不安が、スタッフの多さ（十数人）、操作性の不安に関するコメントとして15件出された。また、費用対効果即ち非経済性に関するコメントが5件あった。

このようなシステムが大学等に導入されるためには、如何にして教官自身が容易に操作できるシステムを構築できるかが重要であることが分かる。

画像は概ね良かったとするコメントもあったが、細かい字が見えない点、利用する場合の画面上での字の大きさ等に関するコメントが12件、医療画像での利用上の制約を指摘するコメントが7件あった。精緻な映像を、1.5MbpsH.261方式そのままで伝送する事は、画面の構成画素数から原理的に困難であり、制限的な特性を理解して使用する必要がある。あるいは補助的なシステムの併用が必要である。なお、この要求にこたえるために定常的な画像を高画質化を行うと、機器コスト特に回線費の上昇を招き定常的な運用の困難度が高まるのはいうまでもなく、むしろ必要に応じてデータ回線を併用の方がコストパフォーマンスが良い。SCSでは後述するように現在では複数局間で自由に1.5Mbpsデータ共有を可能とする技術を確立した。

ひとつの画面を多数の参加者が見るような使い方では、細かい文字が見えにくくなるのは当然であり、提示資料の作成法についてガイドラインは必要であろう。

利用システムが有効であったとするコメントは11件あった。

以上のように、画質要求の特に厳しい分野と考えられる獣医学系連合大学院でのこの実験は、画質については、講師画像に関しては五段階評価値で4.2と高品質映像時に得られた評価と有意な差が認められないほどであり、1.5Mbpsの画像は、講義を中心とした利用には十分な評価を与えると判断できる結果となった。

5. システム構成の検討

5.1 複数局交流方法[13]

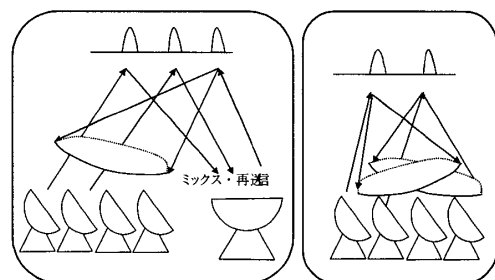
テレビ会議形式で複数局が参加しているときそのディスカッションを参加局間で共有するためには対話中の局からの映像音声に参加局で視聴できる必要があり、SAWS実験での経験から図11に示すように以下の(1)、(2)の2つの方法のいずれかによる必要がある。

(1) 各局が1局からの合成波を受信する方法

これはこれまでのほとんど全ての放送型のシステムがとる方式である。この方式では、図11(1)のようにある1局が他局の送信信号を全て受信し、必要な信号を合成波として再送信する。参加局はその合成波の受信機を設けるだけで討議等が視聴でき、また受信信号が1つであるため、その配信、録画等の処理が容易になる点で便利である。

合成機能はネットワークの中央局（HUB局）か、セッションの運営を行う議長局に持たせる必要があるが、いずれの場合もその局に参加局の信号に対する受信機を必要とし、以下の欠点がある。

- ① SCSのように複数のセッションを並列して運用できるようにするためには、このような設備が並列セッション分必要となる。
- ② もともとの複数の映像を1映像にすることからピクチャー-inピクチャー機能のように画面の一部を削ったり小画面を用いる事になる。



(1) 一波受信方式 (2) 複数波受信方式

図11 複数局運用方法

- ③ 大学間交流のように複数の局が対等に参加する事を目標とすると、内容によりいずれの映像も主映像となり得ることから、討議経過に従って主映像選択を行わねばならず、このための要員が必要となる。

対等性の点から議長をどの局でも良いとすると、議長局で合成するのは結局全ての参加局に複数の受信機と合成信号送信機能を持たせる必要がある事になり複雑性が増す。

(2) 各局が送信チャンネルを全て受信する方法

この方式では、図11(2)のように全ての局が、送信信号として送られる波の数 (m波とする) だけの受信機、モニター等を備えると共に、音声の合成、映像信号の局内での切り替えを行う。映像音響系 (AV系) が複雑となることから、設備増となり、経済的な観点では必ずしも常に有利とは限らない。

しかし、この方式では映像が削られることはなく、主映像がどれか意識せず複数局交流ができる事、(1) で合成信号に含まれる発言局の音声信号によるエコーを次節に述べるように容易に抑圧できる事、またセッションの並列がチャンネル割り当てだけで自由にできる点で自由度が高い。SCSではこの方式をとることとした。

通常の会議からの類推から、同時に発言を行なうのは議長局のほか1~2局となるのがほとんどと言えることから、SCSでは全ての局が画像に関して3波まで同時に受信できるようにした。参加局は発言時にこれらの複数波を時分割で共用することとで3局を超える複数局運用を行なう。

5.2 エコー[13]

衛星回線でのテレビ会議的な応用では2種類のエコーを考える必要がある。

- ① 相手側教室内で、スピーカの音声が入るエコー
- ② 複数の音声信号を合成して送り返す事により生じるエコー

このうち①については通常のエコーキャンセラーが利用できる。しかし、複数局同時参加による衛星利用では、発言局の音声の合成がどこかで必要となり、特に5.1 (1) で述べたような合成信号が発言局に戻される方式では②のタイプのエコーが生じる。この場合衛星回線2往復分以上 (約0.5秒以上) の大きな遅延がありエコーキャンセラーでの対応は難しい。

送信点に対して送信信号以外のm-1地点の音声信号を合成して、他の地点に対してはm地点の音声信号全てを合成して戻す方式が地上系ではしばしば用いられる。しかしこの方法は地上系のようにそれぞれの地点に戻る独立の回線があるとき可能となるものであるから、これを衛星で実現するためにはm局からの送信用のm波以外に戻り回線用のm波の音声回線が更に必要となり、また音声信号を全て受信しこれをm-1回路を通して送り返す機能を例えばHUB局に置く必要があり、複雑な構成の点で実用的ではない。

しかし、m波の中で発言中であることはそれぞれの局でわかり、5.1 (2) の方式では各局が個々の信号を独立して受信できるから、図12のように発言中には自局の受信信号を自局内スピーカに含ませない制御をすることによりエコーを容易に抑圧できる。SCSではこの方法を採用し、自局の信号を受けていてもエコーを生じない。

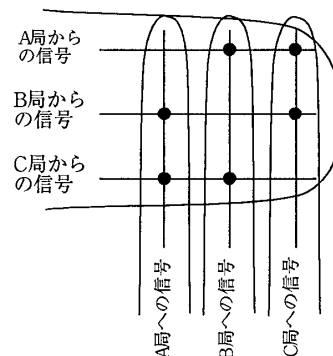


図12 エコーの抑圧[13]

5.3 切替制御[14]

複数局による衛星利用では少数の衛星回線を局間で切替える必要があり、集中制御、分散制御の2つの方式がある。

集中制御方式では、切り替え制御が特定の一つの制御局（HUB局）と多数の被制御局（VSAT局）との間で行われ、通信方式、VSAT局側の制御設備が比較的単純化できる点で優れている。但し、HUB局の信頼性が重要となる。

分散制御方式では、制御システムがVSAT側でも複雑となること、またネットワーク全体としては局の切替のほか、セッションの予約管理、またこれに基づく自動運用のため各局の関連設備コストが増す他、全体ネットワークの監視を行うための設備が別途必要になる。

切替制御を行う方法は衛星系による以外では、地上系に依存する方法がある。特に組織的に無線従事者が確保できるとは限らない大学等に衛星システムを導入するとき、無線従事者の確保は衛星システム導入のための障壁となりがちである。衛星系では、HUB局から送信を制御でき、アンテナ利得を50dB以下に抑える等の法的条件を満たすことにより無線従事者をVSAT側即ち大学側で省略できる。一方、映像等を送る衛星システムでありながら地上系で制御する場合、この条件を満たさなくなるため無線従事者を各局におく事が義務づけられる。以上の点から衛星系による集中制御方式が優れている。

5.4 複数波運用[13]

(1) 複数波利用

複数局が参加する時、複数の発言局の映像が見えることにより情報量あるいは臨場感が増す。しかし学習者が与えられる情報全てを常に受け入れられるわけではない。このためのコストの上昇に対してコストパフォーマンスを考えることができる。情報を読みとる場合、ある処理時間がかかり、その処理時間内に他の情報が入っても処理できない状況は電話トラヒック理論とのアナロジー

で考える事ができる。例えばある情報の時間当たり平均生起率を ν 、これを読みとるための平均処理時間を h とし、並列処理ができないと仮定すると、異なる m 映像を同時に学習者に提示するとき、 m 倍の情報量となるから、単位時間当たり処理される情報の平均 I_m は以下で表される。

$$I_m = m\nu / (1 + m\nu h)$$

h は情報内容と学習者の能力により異なり、例えば、ある時間間隔で複数のランダムなアルファベット文字をコンピュータ1画面上に同じ大きさで提示しこれを画面からなるべく目を離さず筆記する方法で筆記文字数を求めると、平均として1秒あたり1.8文字が読み取れ、 $h = 0.55$ 秒が平均値となった。

HUB局及びVSAT局の設備を A 、 V とし、運用年数 Y 年分の回線コストを CY 、 m 波分のCODEC、MODEM等を含む受信機コストを両者の場合とも1局あたり同じく mr とすると I_m を総コスト S で割ったコストパフォーマンス I_m/S は $\{m\nu / (1 + m\nu h)\} / \{(A + nV) + m(CY + nr)\}$ で表され、 $m = [(A + nV) / \{\nu h(CY + nr)\}]^{1/2}$ において極大値を示す。MODEM、回線コスト等が地球局コスト固定分に比べ大きい場合は複数波を用いることはコストパフォーマンスを下げる。圧縮度の比較的高い画像方式では複数波を用いることにより効果的なシステムを構成することが可能であるが、広帯域な画像を用いるシステムの運用はコストパフォーマンス上不利となる。SCSでは1.5MbpsCODECによる2波及び3波運用を行っている。

SCSで実現した複数波(チャンネル)を参加局間で共有するシステムの従来の1波を受信する遠隔教育システムとの違いは以下の点である。

- ① 討議において全ての画面が主画面となる。
このような方式とすることにより、従来の遠隔教育システムのすべてで必要となっていたピクチャinピクチャーのような主画面選択操作が不要で、内容に無関係に人手を要せず複数局運用ができる。

- ② このため、参加局では対等な2～3式のモニターが必要となる

(2) 複数画面利用

前項は複数局からそれぞれ異なる画面として送信されることによる複数画面の利用について述べた。複数画面として講師カメラ以外に、学生カメラ、書画カメラ、板書等の画像の中から送信画像を選択切替するのではなく1局から複数画面同時に伝送できればより実際の講義環境に近づけることができる。SCSでは各局は最大2波まで同時に送信でき、映像音響機器制御装置でこれを容易に操作できるよう構成し、1.5Mbpsの画像を2つ同時に利用できるようにしただけでなく、更に1.5Mbpsを分割して2画面伝送できる機能と組み合わせることにより1局から最大4画面を伝送できるようにして、セッション内の複数画面共有を可能とした。複数画面の利用は臨場感を高める技術として重要である。

5.5 セッション機能

議事を効率的に進行するためには、セッション内での局の切替と発言要求処理が必要である。このようなセッション内での局の切替権限については、

- ① セッション内で一つの局を議長局としてこれに持たせる
- ② HUB局に持たせる
- ③ セッション内のVSAT局全てに持たせる

の3種類が考えられる。しかし、②はセッション内容に全てHUB局が関与する必要が生じ、マンパワー、コストの制約を受け、特に並列セッションを可能とする時には現実的でない。③では各局がチャンネル譲渡の、また議長局が強制的チャンネル確保の権限を持たせることにより運営は不可能ではないが、議事運営が効率的とはいえない。しかし①ではシステムを複雑化することを避けることができ議事の効率化が可能である。

セッションを主催し、各局の発言要求に応じて

切替の権限を持つ議長局機能をセッション内の1つのVSAT局に与えるとき、複数局間での切替に必要な機能として少なくとも以下を可能とする必要がある。

- ① 各局キャリアの指定チャンネルへの送信のon/off (議長局)
- ② 発信要求の送出 (議長局でない局) とその受信 (議長局)

全ての局が対等に議長局としての機能を持つことができるようにするため、SCSでは参加局リスト、予定スケジュールを含む情報をセッション情報として、セッション開始時点で参加局にHUB局から衛星回線により送る方法を開発した。切替制御に関しては議長局等の切替要求信号をHUB局で受け、HUB局はこれに基づき必要な制御信号を関連のVSAT局に送る。

このため、制御系信号は2ホップの衛星回線をとる。SCSでは、画像符号化装置による遅延、処理時間も含め、制御操作を開始してから、新たな映像に切り替わるまでに約6.5秒の遅延時間となったが、議長局が切替権限をもち、この議長局を自由に設定できるという高い自由度を得た。これは各局の対等性を実現するための重要な機能である。

6. 試作による確認

6.1 講師卓の試作

1995年時点では、通信装置、映像音響機器は、専門家あるいは技術者が操作するもので教員はこれらに触れることはないと考えられる傾向が強かった。しかし、多くの人が気軽にこのようなシステムを使って交流できるようにするためには、操作のたびに専門家を要せず、全て一人でできるようにする必要があり、操作インタフェース部分の開発がハードウェア構成と並び重視されねばならない。とくに衛星通信システムではこれまでこの観点が軽視されてきた。

操作の容易性を実現するため1対の講師卓を試

作した。全参加局が対話中の2チャンネルを受信できれば複数局運用ができることを回路的にも実証するため2式のCODECも含み、衛星系、地上系いずれにも使える形で構成した。図13に講師卓の構成を、写真2に講師卓の操作状況を示す。この講師卓の特徴は以下である。

- ① 送信画像3種（講師カメラ、学生カメラ、書画カメラ）を扱う
- ② 教室モニターは2式
- ③ プレビューモニターは2式
- ④ 映像音響機器の切り替え機械的ボタンを操作し、マトリックススイッチを駆動する

この講師卓はISDN、パートナーズ実験で映像音響機器制御卓として使われ、学生等でもその場で使えるようになる容易さをもっている点が評価された。機械的キー操作は、機能が限定されている分機能提示のキーと操作キーが一致し慣れやすい。

なお、次項で述べる「衛星通信実験システム」で用いたファンクションキーの場合、機能の提示のキーと操作キーが異なることから、誤操作、疲労の可能性があるが、機能の拡張が可能である。更に、タッチパネルは機械的キーの操作に近い

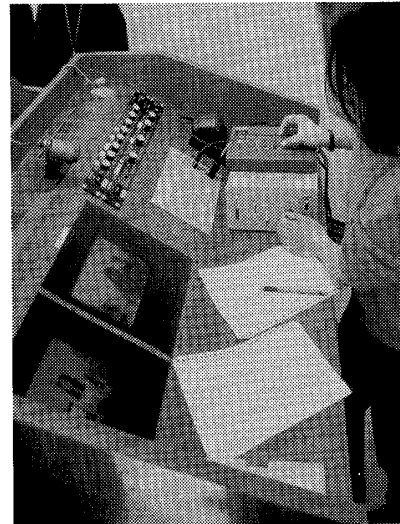


写真2 試作講師卓の操作

が、操作画面は階層化し一時的に現れる画面を単純化したり、またHUB局から送られるセッション情報をもとに不要部分をdisableする等で操作画面を見やすくすることができる点、また参加局数の増加にも比較的容易に対応できる点で優れている。SCSでは局の切換、映像音響機器の操作のためタッチパネルを採用している。

6.2 HUB-VSAT構成の試作

電波法により、衛星通信地球局の運用には一般に無線従事者が要求される。しかしその地球局がKuバンドを用いアンテナ利得50dB以下（実効的に直径2.4m以下のアンテナとなる）で、信号の送信に関して他の無線従事者のいる地球局（HUB局）から衛星回線により制御され、かつ制御不能となった場合送信が停止される等の条件を満たす場合、その地球局は法的な意味での「VSAT」局として無線従事者を不要とすることができる[4]。定常的な利用のためには初期投資の経費より日常的な経費を削減することが、操作、運用を容易にすることと並んで重要であり、無線従事者を各大学で不要とすることは重要な要件である。

衛星システムの中で複数の大学間で画像を用いて自由に交流するためには、

- ① 複数局間の切換作業
- ② 地球局設備の立ち上げ作業

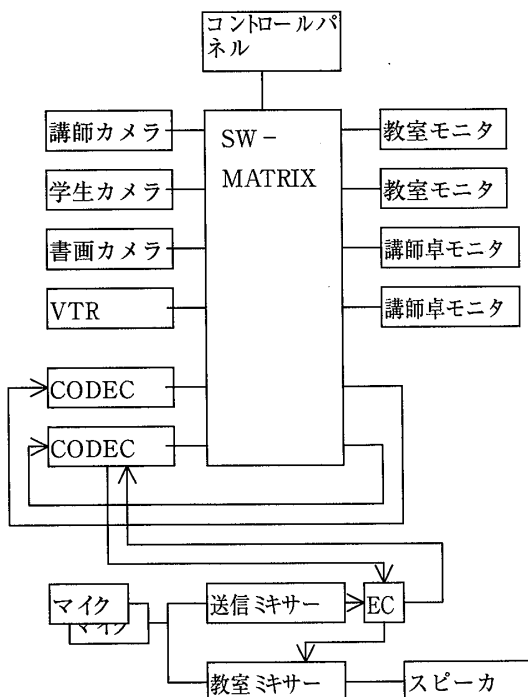


図13 講師卓の試作

③ 映像音響信号の切操作

における操作を容易にすることが重要であるが、このうち①、②はHUB局の集中制御により容易にすることができる。用いるチャンネルを固定して複数局間で送信局を切り替えるとき、周波数の指定、停波、送信開始指令を従来の電話連絡によっていたのでは固定的にマンパワーを要する。また地球局の立ち上げ作業として、周波数、送信電力、送信開始時点を相互に調整する必要があるが、これも電話連絡では煩雑でミス、調整不備が生じる可能性があるだけでなく、多数の局が参加する運用は、場合によってはセッションよりその前の調整時間、準備作業の方がむしろ大変な作業となるかもしれない。即ち、多数の局が参加する大学間ネットワークでは回線切替操作、立ち上げ操作を自動化する事は重要な設計要件である。

このようなHUB-VSAT構成の確認のため、筆者は「衛星通信実験システム」を1995年開発した。このシステムでは衛星2チャンネルを共有することとして1.5Mbps映像信号の送受信、切り替え制御を回線制御装置であるコンピュータ上のボタンひとつで行えることとしHUB-VSAT構成の基本技術を確認した。この実験システムでは1.5Mbpsの複数波（2波）運用を行い、衛星回線による切り替え制御を実現した。図14に「衛星通信実験システム」の構成図を、写真3、写真4に「衛星通信実験システム」屋内装置、操作画面を示す。なおこの実験システムのSCSとの主な相違点は以下である。

- ① 2波運用である
- ② CODECまでで映像音響機器制御系は含まない
- ③ 回線制御はパソコンのファンクションキーに機能を割り当てて行う(写真4参照)
- ④ 切替可能局数は30までの設計とした

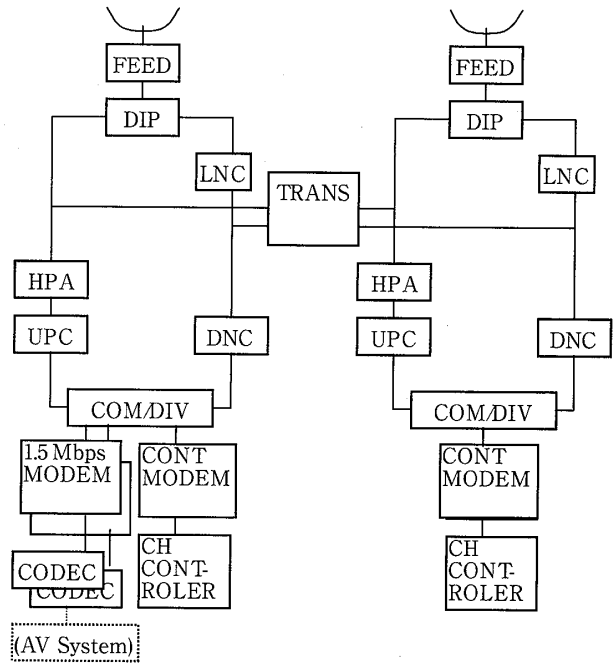


図14 HUB-VSAT構成の試作 (衛星通信実験システム)

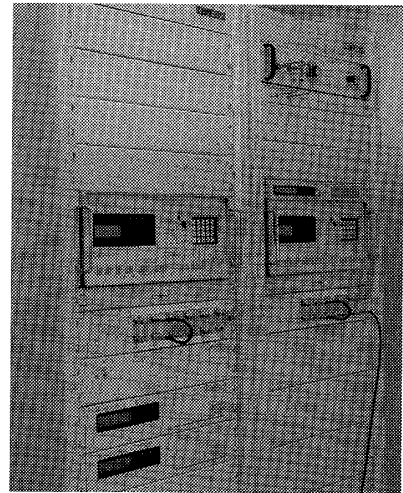


写真3 衛星通信実験システム屋内部分

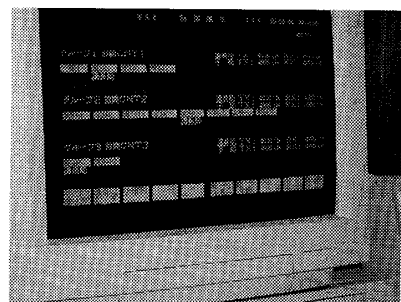


写真4 衛星通信実験システム操作画面

7. SCSの構成

SCSシステム設計では以下を目標とした。()内にその理由を示す。

- ① 国内で全ての局が対等の機能を持ち同等の信号を交換できる(どの大学からも独自のプログラムを発信できること、大学間で階層構造を生じないこと、システムのシンプル化が重要であるため)
- ② 地球局立ち上げ、切り替え操作を自動化する。(複数局交流に不可欠な技術であるため)
- ③ 無線従事者を大学側で不要とする(維持経費の削減が定常的な運用に不可欠であるため)
- ④ 回線コストを抑圧する。(定常的な経費を抑制するため)
- ⑤ 複数局交流ができる(組織の壁をこえ何局でもが衛星上で容易に討議できることで容易な大学間共同が可能となるため)
- ⑥ 地上系に依存しない(地上系サービスの地域格差、トラブルの影響を受けないようにするため、また、可搬局を含め、対等な地球局をどこにでも設置できるようにするため)
- ⑦ 国際も含む他の衛星ネットワークとの接続性を確保する(大学等の国際交流希望に対応できるようにするため)
- ⑧ 将来の拡張性を考慮する(設備の有効利用を図るため)

7.1 HUB局制御のVSAT構成

メディア教育開発センターに資格者を有するHUB局を置き、これからの制御を行うことにより大学側での資格者を不要とすることを目標の1つとした。同時に、HUB局からの制御により煩雑でトラブルを起こしやすい地球局立ち上げ、切り替えを容易に行うことができる。図15にSCSの構成概念図を示す。

SCSではHUB局の運用管理装置とシステム制

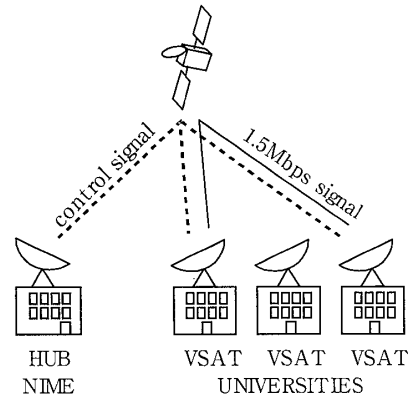


図15 SCS構成

御装置により予約情報に基づく制御信号が送出され自動的に全VSAT局を立ち上げることができるようにしている。複数局に対する煩雑で労力を要した立ち上げ調整を3分以内で終え、利用者は数十、あるいは100を超える局が参加したセッションでも技術的な調整を意識せず容易に開催できるようになった。また、切り替えに必要な制御信号を送受して大学側の地球局操作、特に複数局での衛星回線切り替えも簡単にできる。

SCSにおける発言局の切替では、通常の会議と同様の考えで、議長局が切替をイニシエイトし、その信号を受けたHUB局が自動的に送信中の局には停波の、新たな発言局には送信開始の制御信号を送信する。煩雑であった回線切替作業が回線制御装置のタッチパネルに触れるだけでできるようにした。このような議長局の機能分担を任意の局ができるようセッション情報を送る方法を実現した。各セッション毎に、議長局の識別、使用チャンネル、開始、終了スケジュール、会議モード等をセッション情報としてHUB局より参加局に伝送し、参加局はこれに基づき、セッションの開始と終了を自動的に行なう。このような自動化によりSCS出現以前にはまったく不可能であった100局以上が参加するセッションでさえも今ではどの局でも簡単に議長局として開催できる。またこのような独立したセッションが例えば20以上平行開催されても回線制御システムは対応できる。

操作を行ってから画像が現れるまでの回線切替時間は6.5秒を要する。その中には伝搬時間0.25秒、制御処理時間1.5秒、送信準備0.5秒、MODEM・CODEC同期時間3.6秒が含まれる。なお、送信開始操作は2.5秒、送信停止操作は1秒、送信要求操作は2.5秒である。

7.2 信号速度

システムはどのような機能を目指とするかにより構成が異なる。SCSでは日頃情報通信技術を駆使している教員ばかりでなく、むしろなるべく広い範囲の教員、研究者等が容易に利用して大学間交流できる状態を早急に実現することこれにより自由に大学等が共同して、教育・研究交流活動を行うことが重要と考え、いわゆるビデオ会議機能を交流活動の最も重要な機能として位置付けた。

当然、画質は経済性を無視すれば伝送速度を上げれば上げるほどよくなる。しかし伝送速度の上昇は回線コスト、画像符号化装置コスト、アンテナ、送信用電力増幅器コスト等の上昇を招く。

画質については384kbpsを越えると評価の差が小さくなること、その教育等への影響が限定的であること等が示されている。また4.2、4.3項で述べた実験結果から1.5Mbps H.261画像の五段階評価値は図表に関しては3.1であっても十分なカメラワーク、照明のもとで講師画像に関しては4.2と高品質映像時に得られた評価と有意な差が認められないほどであった。即ち少なくとも講義を中心とした利用には1.5Mbpsが十分な評価を与えると判断できる。

SCSでは以下の点からH.261方式の1.5Mbpsを最適な伝送速度として設定し、これを2チャンネル用いて複数局が交流できるようにした[14]。

- ① 通常の討議的な利用に十分な画質であり、回線費用に対してコストパフォーマンスが高い
- ② 帯域幅が狭いため複数局交流に重要な複数波運用でも経費的負担が小さい
- ③ H.261CODECはリアルタイムのビデオ会議用に開発され遅延が小さい

- ④ CODECの標準化が完了し、送信機能が重要なSCSにおいて送信側コストが抑制できる
- ⑤ 異なるメーカーのCODEC間で相互接続性がある
- ⑥ 電波法上のVSAT条件と技術基準適合条件を満たしたまま国内全域で十分な稼働率で双方向通信が可能な信号速度となる

また電波法の規定では伝送速度3.3Mbps以下とした場合無線局検査等も簡略化される。このような1.5Mbps信号2波をVSAT局としての上限である2.4mのアンテナ、10W以下の送信出力で国内どこでも相互に交換できるようにした[14][15]。

7.3 VSAT局の構成

衛星を用いたビデオ会議形式の教育交流では既に述べたように、

- ① 複数局間の切替作業
- ② 地球局設備の立ち上げ作業
- ③ 映像音響信号の切替作業

における操作を容易にすることが重要である

まずHUB局に対応した回線制御システムにより、①、②の作業を容易にできるようにMODEMの制御を行う。また、これを映像音響システムに接続することにより、エコーの抑圧、回線切り替え時の映像、雑音処理についてもVSAT内で制御している。

映像音響システムは利用者に最も近い部分であるため、その切替の容易性は特に重要である。このため送信画像の選択、モニター画像の選択等機器の切り替え操作は画面によるタッチパネル形式とした。映像信号に関しては、1つのCODECが、2画面伝送と静止画伝送機能を有するため、3つの画像信号ポートを有し、このようなCODECを3式用いる他講師、学生、書画用カメラ、VTR等の信号を扱い、予備入力を考慮すると少なくとも16×16以上のスイッチマトリックスを制御する必要がある。

音声信号に関しては、3チャンネルからの受信音声の他、マイク、送信用VTRの入力を、室内拡声と送信ポートにスイッチングするため少なくとも7×7のスリッチマトリックスを制御し、同時にエコーの抑圧を行なう必要がある。

各チャンネル独立にエコーキャンセラーを用いれば1局からの独立した2音声の利用等が可能であるが、エコーキャンセラー台数とスイッチマトリックスのポート数が必要となり設備規模が大型となる。SCSでは3チャンネルの音声は単順にミックスしている。

VSAT局は2波まで送信ができ画像は3波まで受信が可能とし、独立2画面伝送、3局運用ができる。また4波目を用いてデータ共有の併用可能性を持っている。なおデジタルシステムであるから1対1のLAN接続もルーターを介して技術的には可能である。但し、地上系の混雑の迂回路として使う事はSCSの目的としてはいない。

図16にVSATの構成を示す。

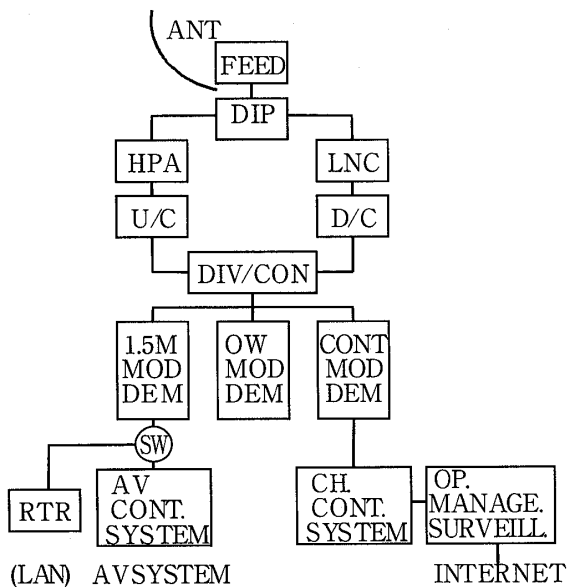


図16 VSAT構成[14]

7.4 HUB局の構成

HUB局はVSAT局の制御を行う他、ネットワーク全体の監視、回線の予約管理の機能を持たせている。なお、メディア教育開発センターにはVSATと同等の機能を2局分有し技術確認を可能

とした。またVSAT用中継器とは異なる国際通信用中継器にもアクセスできるようにし、実際ポストパートナーズ実験に使用した。ネットワークの中心となるため、HUB局のアンテナを除くRF部分は現用予備構成として信頼度を高めた。

表2に、SCSの主要諸元を、写真5、6に

表2 SCS主要諸元[13]

項目	特性	
周波数帯	14/12GHz	
衛星	JCSAT-3	
	HUB局	VSAT局
アンテナ	4.5m	2.4m
最大出力	300W	35W
総合EIRP	69dBw	62dBw
G/T	26.2dB/K	22.2dB/K
チャンネル数	送信 4+2 受信 12+4	送信 2 受信 4
信号速度	通信 : 1536Kbps 回線制御 : 64(out)32(in)Kbps オーダーワイヤ : 16kbps	
CODEC	画像符号化方式 : ITU-T H.261 フレーム方式 : ITU-T H.221 音声モード : ITU-T G.722	

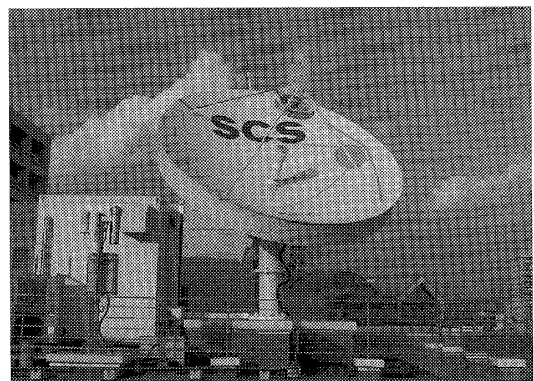


写真5 SCS HUB局アンテナ

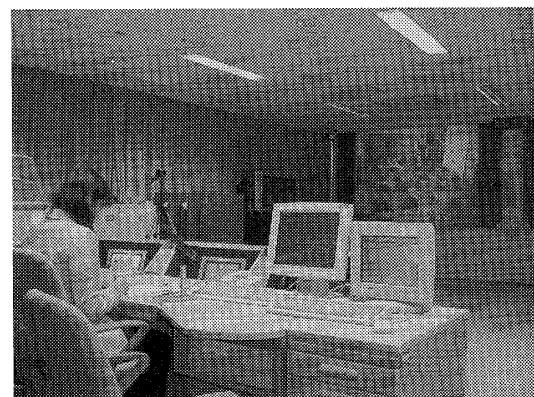


写真6 メディア教育開発センターSCSスタジオ

SCSHUB局アンテナ、メディア教育開発センターSCSスタジオを示す。

7.5 回線制御

VSAT局について必要な以下の操作を、HUB局VSAT局間での制御信号の送受で実現する[4]。

- (1) 準備操作
- (2) 終了操作
- (3) 議長局操作
- (4) 参加局操作

教育交流等のセッションが開始される前に、HUB局は各VSAT局に対して、参加局リスト、議長局名、時刻情報、チャンネル情報等を伝送することとして、設定した時刻に①チャンネル設定、②送信要求を行う。また、終了に際しては、設定した時間に対応して終了予告、また停波要求を行う。

あるセッションに参加する局は、機能的に議長局か参加局のいずれかとしているが、SCSでは前述のセッション情報を用いることによりどのVSAT局も議長局になることができ、全局の対等性を実現した。これによりどの局も任意の数の任意の局とテンポラリーなグループを組み、主体的にセッションを運営することができ、高い自由度を得た。

これらに必要な信号は、図17の発言局切り替え時の例に示すように全て議長局、参加局とHUB局との間で送受される[4]。

なおこのほか、HUB局はセッション中、適宜VSAT局の状態監視のためヘルスチェック信号の送受を行い、異常の検出を行う。

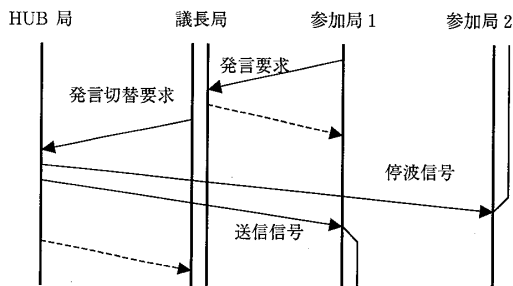


図17 発言局切り替え

7.6 SCS可搬局[16]

SCSは基本機能を衛星系で実現するように設計したので、固定局と同じ機能をもった可搬局の実現が可能となる。SCS可搬局の開発方針は以下とした。

- ① SCS3波運用、議長局機能等固定局と同等の機能を持たせ、国内どこでも交流できる（可搬局参加に対して特殊なセッションを組む必要がないようにするため）
- ② フィールドで電源も含め何ら外部機器を要しない（場所に寄らず自由な交流を可能とするため）
- ③ 全ての機器を1台に収める（利用時機器準備、運転手手配等の負担を軽減するため）

このため、発電機を搭載するとともに、液晶モニター3台、マイク、カメラ、回線制御装置、映像音声制御装置を収容する。写真7にSCS車載局を示す。



写真7 SCS車載局

SCS車載局の構成は基本的に大学等に設置されたSCS地球局と同じとした。但しLANへの接続は行わないのでこの部分は持たない。

図18に示すように、車外のカメラ、マイクの映像音響機器、回線制御端末（車内端末のクライアント）、映像音響機器制御端末（車内端末と画面共有）との間の中継装置として配電盤、端子盤、ミキサーからなる車外端末を有し、車内とは電源ケーブル1本、信号線7本で接続する。

運用にあたっては、パワメータ構成、衛星向け

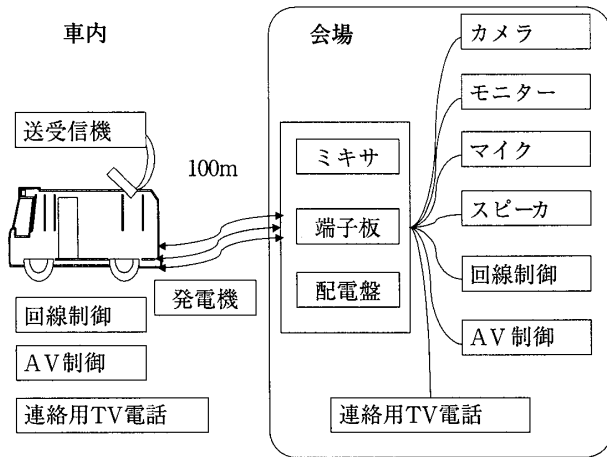


図 18

送信テスト、回線確立の作業とケーブル、機器配線作業以外は手順が単純で機械的に行なえる。平成12年よりさまざまな教育交流活動[18]に利用されており、フィールドを教室と接続する「フィールド教育」のひとつの方法を与えるものとして捉えている。

7.7 ポストパートナーズ実験

SCSは国内システムとして最適化を図ったが、大学等での国際的な教育、研究交流の要望は、言語、工学、異文化コミュニケーション、医学等多方面である。このような国際性に対応するためには、国際的なカバーレッジにより信号を共有する必要がある。一般に国内、国際は同じ衛星であっても異なるビームでカバーされるため、この間で全ての信号を共有できることにより同一の操作性で内外を接続することができるようになる。このようなシステムはリージョナルなコラボレーションシステムとして期待される。

SCSではHUB局に、2つのトランスポンダにアクセスできる機能をもたせ[14]、図19に示すように、郵政省、ポストパートナーズ協議会により設置されたタイKMITL、インドネシアITB等のポストパートナーズ地球局と接続することにより、言語教育実験[18]を行う他、SCS側、ポストパートナーズ側の信号をベースバンドで接続することにより、東海大学、電気通信大学、名古屋商科大

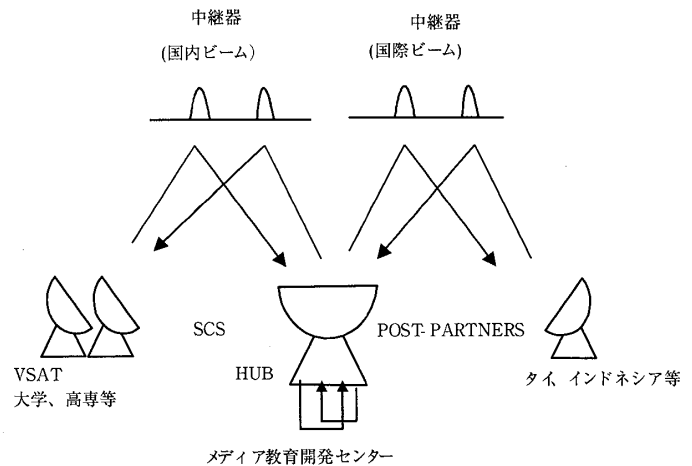


図 19 ネットワーク接続

学等に協力して様々な連携交流実験を行い、SCSの国際化のための課題を検討している。ポストパートナーズネットワーク側ではSCSと異なり各局が1波を受信し、手作業により局の立ち上げ、切替を行う必要があり、回線制御システムの重要性が認められる。

8. SCSの利用性

8.1 SCSの利用性

SCSの用途は少人数での対等な打ち合わせから、放送的な利用まで様々であり、また、モニター等の映像、音響機器、更に、設置教室の状況、操作卓の配置も設置機関毎に異なる。従って、ここではSCSの評価を個々の状況で議論するより、さまざまな環境、内容での評価の平均値としてSCSの特性を推定する。

システムに関するアンケートは1995年度整備の5大学2高専と1996年度の2大学の協力を得て1996年、様々な利用形態の元でのアンケート回答175を回収した[19]。各機関での回収数が異なるため有効回答数が最大となるよう各機関同数の6通づつを無作為に選んで系54通についてその平均を求めた。

五段階評価値の各機関6通づつの平均を更に機関の間で単純平均をとったものは図20のようになった。大学間で評価の差が大きくなるのは音

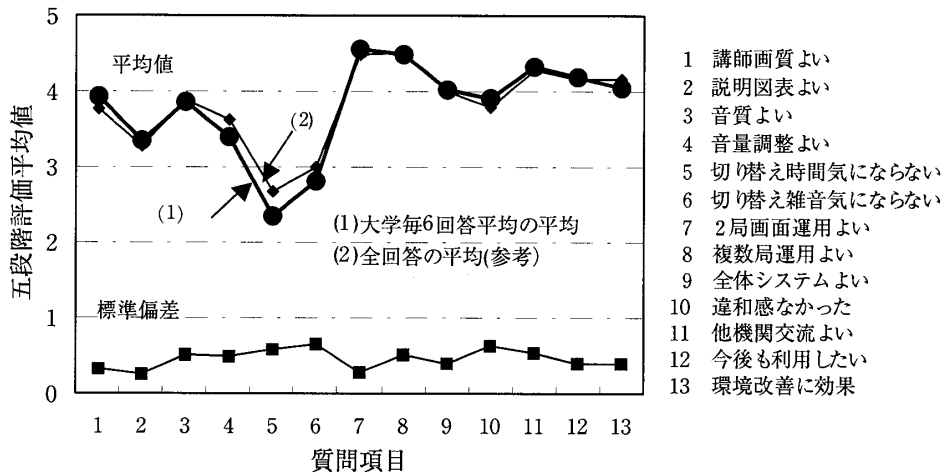


図20 SCS5段階評価

質、音量調整、切り替え時間、ノイズ、違和感に関するものであった。

講師の画質と説明図表の画質についてそれぞれ5段階評価で3.9、3.4となった。連合獣医実験で得られた4.2、3.1とよい一致をしているといえる。

講師画像に対する五段階評価は、30MHzの中継器全体を用いて伝送する高品質アナログ映像の場合で得られた4.2、46kbpsの狭帯域映像で得られた2.6の評価値と比べることにより、画像に対する五段階評価値は信号速度に対し急速に飽和することがわかる。回線コストは帯域にほぼ比例する形で直線的に増加することを考慮すると広帯域の信号は画像の主観評価上からはコストパフォーマンス的には劣る。

講師の映像が素材的にも、撮影技術的にも差を生じにくいのに対して、教員自身が用意し、撮影している説明図表に対する3.3の評価は、1.5Mbpsの精細度の限界からくるものと図表の作成法、撮影技術の影響が混在していると考えられる。

音質については3.9、音量調整については3.4であるが、マイクの利用法、スピーカの配置、特性、使用状況により、事例、大学間で評価の差を生じやすい。特に複数局間でのレベル調整はシステムの課題ともいえる。切り替え時間と切替雑音に関しては2.3、2.8となり、評価は比較的厳しかった。但し切替雑音については、現在は切り替え

信号を用いて事前に音声レベルを抑えることにより改善されている。

2画面を共用し、複数局によるセッションが可能となっている点に関しては4.6、全体としてこのシステムはよいかとの問いに対しては4.0となった。他機関と交流できたこと、今後も利用したいとする4.3、4.2とともに考えると、大学間交流ネットワークとしての有効性は十分高いといえる。

操作者全回答の中から映像制御パネル操作、参加局操作、議長局操作の操作性に関する回答の平均を求めると3.5、3.4、3.1となった。標準偏差が0.9-1.1と分散が大きい。全体としての操作性は3.2で多少の慣れは必要といえる。なお、タッチパネルの操作に関しては、統一して開発された部分で機関間の差が小さいと考え全体の回答のなかから操作者の回答を選んで処理した。その回答数はそれぞれ51、50、53、39である。

8.2 SCSの効果と課題

1995年度、1996年度整備校62局の全局に対して1997年に(1)どのような点でSCSの効果があるか、(2)SCSに関して改善すべき課題は何かの2点について自由記述のアンケートを行った。

効果に関して回答者139人の記述を、独立した要素意見に分けた。要素意見は計192となり図21に示す様な標語的な項目に分類できた。この結

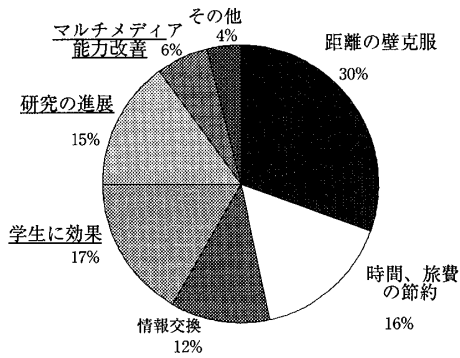


図21 SCS効果の評価意見

果、遠隔地の大学との討議が刺激になったといった距離を克服した点、時間、旅費が節約できる点、情報交換ができるようにネットワークとしての基本的な効果が評価されているほか、

- ① 頻繁な打ち合わせによる研究の進展
- ② 学生、大学院生が容易に外部活動に参加でき、学生への刺激となる点
- ③ SCSでの操作、参加による教職員のメディアリテラシーの改善につながっている点、

が評価されていることがわかる。SCSが大学等における研究、教育の改善に関しても貢献していると考えられる。

改善すべき課題に関しては139人の記述から得られた要素意見数は252となった。これらを分類すると図22のような項目に分類できる。システ

ムに関する課題より、その利用法、環境に関する課題のほうが多かった。

初期の運用では2波運用としていたため、3局以上での運用性改善を課題とする意見がシステムに関する課題として最も大きかった。なおこの点については既に3波運用を開始し運用性は改善されている。複数教室利用、切り替え雑音についても既に対策が完了している。

利用法、周囲環境に関しては、SCSの設置場所、機器配置、モニターを選択等の不適切さを指摘する意見が最多であった。利用者からみたSCSに関するシステム上の課題はもちろんあるが、それにもまして、SCSの周辺条件に関する課題の解決が利用性を高める上で重要であることがわかる。これはSCSに限らずIT技術導入に際して一般的に言えることであろう。

9. SCS機能の拡張

9.1 データ共有

SCSでは、ビデオ会議でさえ経験者が少なかったSCS導入時点での状況も考慮し、最も親しみやすく、応用範囲の広いビデオ会議機能を複数局間で容易に利用できることを重視した。インターネット時代でしばしば議論される個別学習的な傾向

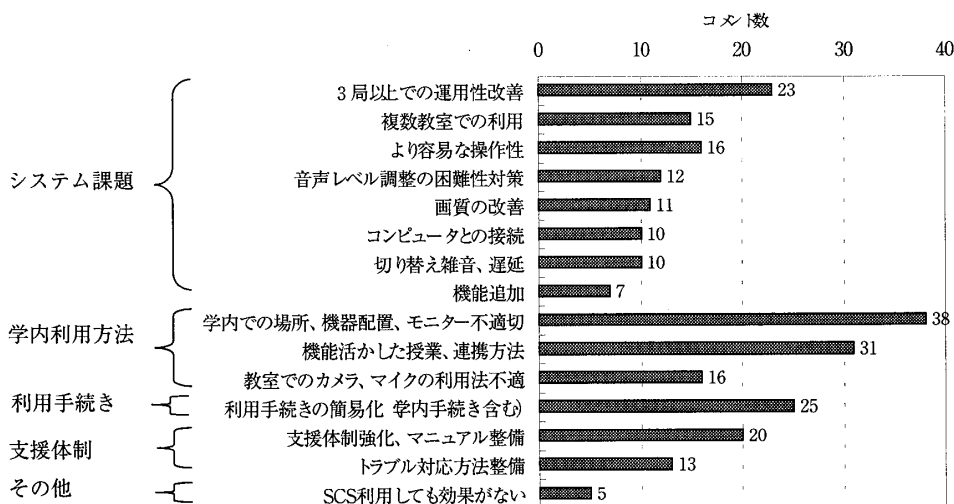


図22 SCS課題の意見

とは異なり、物理的に同じ教室内のグループを単位として参加者の表情を見ながら行う、リアルタイムでの教育、研究交流活動は、臨場感、親近感、自然なコミュニケーション特性の点で、また討議により得られる結果のマイルドさの点で、優れた特性をもった環境であることは現在でも変わらない。

SCSでは、リアルタイム交流時の遅延特性、回線コストの抑制等を考慮した総合的な特性で最適な1.5Mbps、h.261方式を採用している。実際にはズームアップと照明によりこのままでも画質評価が大幅に改善されるカメラワークがあるが、詳細な図表を遠隔の教室間で扱うことができれば、高度な議論にも有効であることは事実である。

このような目的のために単純に伝送速度1.5Mbpsを6Mbps等に高速化することは、これまで述べたように、SCSのような場合以下の点で優れた方法とはいえない。①SCSで特徴的な3~4といった複数波を使用するセッションが並列するときの回線コストが増加し、日常的で自由な利用を抑制する傾向を生じる。②画像符号化速度を増加するとき回線コストは直線的に増加するのに画質評価は飽和特性を示す。

このため、SCS上では同一セッション内で複数の波を共有できることを利用し、映像交換と平行してデータ用の衛星回線をFDMA的に実現する。このようなシステムにより1.5Mbps h.261の映像と平行して1.5Mbpsまでの高速のデータ回線が直接教室間で利用できることになり、大学間ネットワークとしてのSCSの利用性を高めると期待される。

もともとSCS装置として衛星送受信機につながるMODEMにより1.5Mbpsのデジタル信号を送送できる能力を有している。従って、この1.5Mbpsのチャンネルをビデオ会議に併設して用いることができる。また付加的な1.5Mbpsの1波を使わずビデオ用CODECの高速データポートの利用も可能である[20][21]。

SCS上で利用できるよう開発したデータ共用シ

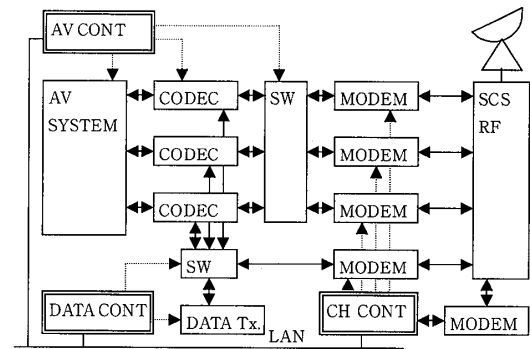


図23 SCSへのデータ共有機能組み込み

システムの構成を図23に示す。利用者はデータ伝送制御装置上のWINDOWSベースの環境で経路を気にせずデータ伝送の操作をできるようにした。参加局はデータ送信の要求をタッチパネル操作により議長局に伝え、議長局がこれを許可する方法によりセッション内でのデータ送信局が自由に切り替わることが可能である。なお、議長局の許可を要しないデータ伝送モードも利用できる。なお、CODECの高速データポートの利用により768、512、384、256、192、128、64Kbpsの速度でのデータがh.261で符号化した映像信号とh.221方式により統合され1.5Mbps信号として伝送できる。このような方式はSCS内6局に整備された。

9.2 複数教室利用

SCSで接続される教室は基本的に1教室となるが、複数の教室でSCSを利用できるような工夫が可能である。

このような拡張は以下の4つのレベルがある。

- ① アナログ信号の配信
- ② 別教室に切り替え
- ③ 別教室複数同時参加
- ④ 個人参加

①はSCSの映像音響信号を学内のLAN、CATV、ATM等のネットワークに注入すれば可能であり、②は映像音響信号のSCS-教室間伝送、回線制御のリモート操作で可能となる。映像音響信号の伝送は①と同様である。回線制御に関してはサーバー・クライアント方式を開発し、これによりリモートでの回線制御を可能とし、1998年度

整備機関から採用している。他の年度についてもリモート制御用ソフトを導入することにより遠隔操作が可能となっている。

③については複数波運用システムの中でリモート教室間での映像共有を行い、同時に3教室まで同じセッションに双方向で参加できるようにした。④の個人参加のためには信号のIP化を行う必要があり、コラボレーションシステムのあり方とともに今後の課題である。

10. おわりに

SCSは文部省の積極的な施策により2001年までに123機関、150局が整備された他SCS車載局も開発され、年間約3000時間様々な教育・研究交流に供されている。その半数以上が3局以上のセッションであり、また1/3が教員の単独操作で運用されていることから、容易な操作で複数局交流に有効に活用されていると言える。

SCSの出現はそれ以前に比べ以下の点で貢献したと考えられる。

- ① 衛星通信、ビデオ会議、遠隔教育経験者の大幅な拡大
- ② 100個所以上の機関が同時に参加できる環境の実現
- ③ 少人数・複数局交流の有効性理解の促進
- ④ 高等教育機関相互のコラボレーション活動の促進
- ⑤ ネットワーク結合後の教育アプリケーション、運用課題の理解
- ⑥ リアルタイム交流の有効性の理解
- ⑦ 複数画面の共有利用手法の確立

ビデオコンフェランス機能はこれを実現するための衛星・光ファイバーといった物理的な媒体、あるいは、アナログ、IP、ATM、H.2101、MPEGといった伝送方式とは無関係にコラボレーションで最も重要な機能である。SCSでの実体験はコラボレーションシステムのあり方、利用方法を広い範囲で考えるために有効といえる。

衛星系へのIP技術の取り込み、展開を今後の課題として現在検討を進めている。またフィールド教育/モバイル教育への展開、国際システムの検討は今後の課題である。より自由なコンセプトでのコラボレーションシステムの検討が必要である。

SCS検討の過程でご支援、ご協力頂いた文部省、郵政省、日本電気、日本サテライトシステムズ、三菱電機また実験等を共に行った関係各位、SCS運用開始前の膨大な作業に力を合わせた元SCS推進室各位に感謝します。特に、衛星関連研究開発に関してフリーハンドを与えて頂いた加藤秀俊元放送教育開発センター所長、研究を支持して頂いた菊川健元研究開発部長に感謝します。

参考文献

- [1] Rao B.S.S. (1996), "Satellites for higher education in a plural society", Education Technology 2000, pp.261-273, Singapore, Aug. 1996
- [2] National Technological University Bulletin, 1992-93
- [3] K.Kondo, R.Suzuki et al. "Satellite Workshop Experiences using ETS-V", IAF-93-P1. 355, IAF '93, Graz 1993.Oct
- [4] 近藤喜美夫、鈴木龍太郎、永岡慶三、菊川健、"映像VSAT教育交流ネットワークの検討"、信学会衛星通信研究会、1994年10月
- [5] 近藤喜美夫、"VSATの大学間教育交流ネットワークへの応用"、信学誌,79,8, pp.777-782,1996.8
- [6] 近藤喜美夫、"コラボレーション応用のための衛星通信システム調査"、研究報告第16号、16-2000-8, 2000.8
- [7] 近藤喜美夫、大森慎吾、星野尾一明、山田重雄、技術試験衛星V型と移動体通信実験、電子情報通信学会誌Vol.71, No.12, pp.1288-1298, 1988年12月
- [8] 飯田尚、近藤喜美夫、福岡徹、D.M.トピング、"ETS-Vを用いた 汎太平洋情報ネットワーク実験—神戸・ホノルル間テレビ会議実験—"、1991信学春季全大、1991.3
- [9] N. Hamamoto, H.Wakana, K.Kondo, T. Uekawa, F.Matsui, "Pan-Pacific Regional Telecommunications Network Experiments using ETS-V", Asia Pacific Conference of the Multilateral Cooperation in Space Technology and Applications, Jan. 1994,

Bangkok

- [10] 近藤喜美夫、鈴木龍太郎、宇都由美子、井形昭弘 (1996)、“教育利用のための圧縮画像/広帯域画像比較実験”、信学論 (D-II), J79-D-II,10, Oct.1996
- [11] 近藤喜美夫、田中健二、大西仁、近藤智嗣、永岡慶三、武脇義、広瀬恒夫、岡田幸助、小久江栄一、“圧縮画像衛星システムによる連合獣医実験”、日本教育工学会JET96-5, 1996.9
- [12] 岐阜大学大学院連合獣医学研究科平成6年度特別講義衛星通信授業システム評価実験 報告書、平成7年3月
- [13] 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D-I, Vol. J82-D-I, No.9, pp.1210-1216, 1999.9
- [14] 近藤喜美夫：“スペースコラボレーションシステムの構成”、信学会教育工学研究会、1996年7月
- [15] 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D-I, Vol. J82-D-I, No.4, pp.581-588, 1999.4
- [16] 近藤喜美夫、結城皖曠、杉本裕二、浅井紀久夫、大澤範高、“SCS車載局の開発とフィールド教育”、教育工学関連学協会連合第6回全国大会講演論文集 I2B14a1, pp.321-322, 2000.10
- [17] 島田一雄、若林良二、鈴木弘、武藤憲司、田中健二、浅井紀久夫、結城皖曠、近藤喜美夫、渡辺正子、美濃導彦、“2衛星通信システム接続によるフォーラム配信実験と画像評価”、電子情報通信学会論文誌、Vol.J81-B-II, pp.486-495 (1998).
- [18] 山田恒夫、近藤喜美夫、田中健二、浅井紀久夫、鮎沢孝子、谷口聡人、高橋守人、“外国語音声教育における衛星系ネットワークシステム利用の可能性と問題点”、日本教育工学会研究報告集, JET98-1, 1998.1
- [19] 近藤喜美夫、田中健二、浅井紀久夫、渡邊光雄、村瀬康一郎、池田克夫、武富喜八郎、“SCSのアンケート調査”、教育工学会、1997.9
- [20] 近藤喜美夫、浅井紀久夫、大澤範高、石橋一雄“SCS複数波運用システムの検討”、日本ディスタンスラーニング学会論文誌、vol.2, 2000.
- [21] 浅井紀久夫、大澤範高、近藤喜美夫、結城皖曠、吉田勝昭、“大学間衛星ネットワークにおけるデータ共有、情報処理学会論文誌”、vol.40, no.10, pp.2782-2793, 2000.

Development of Inter-university Satellite Network SCS

Kimio Kondo

Satellite communication has many advantages when it is used for educational applications. Most applications are on the broadcasting systems. We still want to exchange idea even among a small group. It often happens in universities for example, when specialized or advanced topics are dealt with.

A series of experiments were conducted under the name of SAWS(Satellite workshop experiments) using ETS-V satellite among 10 stations from 6 countries in the Asia-Pacific region. Evaluating these results, the inter-university VSAT network was proposed and it was constructed as SCS after the development of proto-type systems.

Taking HUB-VSAT configuration, fully flat mesh-type network was developed. The number of the sites came to be 150 from 123 institutions in 2001 and it is used for a variety of collaboration activities.

This article deals with the concept of inter-university network through reviewing the experiments and proto-type systems.

Keywords :

SCS, satellite communications, distance education, educational network, collaboration