

# IPv6 インターネット基盤を利用した遠隔教育環境の実現

三川 莊子<sup>†</sup>

大江将史<sup>‡</sup>

加藤朗<sup>§</sup>

慶應義塾大学院  
政策・メディア研究科

奈良先端科学技術大学院大学

東京大学  
情報基盤センター

大川恵子<sup>\*\*</sup>

村井純<sup>††</sup>

慶應義塾大学院  
政策・メディア研究科

慶應義塾大学  
環境情報学部

情報技術の発展に伴い、大学や研究機関など様々な教育リソースがインターネットを通してオンデマンド・リアルタイムを問わず世界中で共有できる仕組みが整いつつある。このような教育リソースの共有を通して、各地の教育格差を小さくすることが可能となる。本研究は、次世代インターネット技術におけるリアルタイム遠隔講義システムの提案を行い、その実装、実証実験と評価を行った。実証実験では、日本とアメリカ国内2カ所において本システムを構築し、遠隔講義実験を実施し、評価を行った。この実証実験により、本システムの改善点が明らかになった。

## 1. はじめに

ネットワーク技術の発展に従い、家庭・学校・職場等様々な場所でインターネットへの接続性が確保されるようになった。また、インターネットの普及に伴い、インターネット基盤を利用した遠隔教育も活発に行われるようになった。アメリカでは、ハーバード大学やマサチューセッツ工科大学等の有名大学がインターネット上でアーカイブされた講義を公開しており、リアルタイムでの講義配信も行っている。日本でも2000年11月大学審議会[1]による「グローバル化時代に求められる高等教育の在り方について」の答申の中で、学生と先生が何らかの形で双方向のコミュニケーションが取れることを前提に、卒業に必要な単位(124単位)を全て遠隔授業で習得することが可能になった。これを受けて信州大学がSUGSI (Shinshu University, Graduate School of Science and Technology on the Internet)[2]を開校している他、様々な大学がインターネットを利用した講義配信の試みを始めている。このように、情報化が進むに従い教育リソースもインターネット上で共有されるようになってきた。

このように、現在ではインターネット基盤を利用した講義中継や講義アーカイブの実験が行われており、学生は地理的な制約に縛られることなく学べる環境が整ってきた。しかし、先生がどこにいても講義が行える環境はまだ整っていない。このためS0I (School of Internet)[3]では、講師に対する地理的な制約がない「S0I Global Studio」システムの構築を目的とした[4]。本研究を通して世界中における学習意欲のある学生や教えたいと願う先生が授業を共有できる世界規模の標準的なシステム構築を目指す。以後、2章では本実験で用いたシステムについての説明を行い、3章では実験環境と行った実験について述べる。4章では、実験結果と考察を述べ、5章においてその解決策の提案を行う。最後に、6章でまとめる。

## 2. 利用する遠隔授業システムについて

本章では、本実験で使用したS0I Global Studioについての説明を行う。

### 2.1. 本システムへの要件

文献[4]において、提案されているS0I Global Studioシステムにおいて、定められている要件は次の3点である。

- ・ 講師と学生が円滑にコミュニケーションできる品質を伴った映像・音声を利用して、遠隔地と双方向のやり取りが可能であること
  - ・ 冗長性を確保でき、安定して講義の配信ができること
  - ・ マニュアル化を行うことで、専門技術がなくても容易なスタジオ運用が可能であること
- 以上を考慮して、本システムの設計が行われた。

「Distance Learning Environment using Ipv6 Internet Infrastructure」

<sup>†</sup> Shoko Mikawa, Keio University, Graduate School of Media and Governance

<sup>‡</sup> Masafumi Oe, NARA Institute of Science and Technology

<sup>§</sup> Akira Kato, University of Tokyo, Information Technology Center

<sup>\*\*</sup> Keiko Okawa, Keio University, Graduate School of Media and Governance

<sup>††</sup> Jun Murai, Keio University, Faculty of Environmental Information

## 2.2. 本システムの構成

高品質の映像・音声を利用した講義が可能となるよう、DV over IP 技術[5]を利用した DVTS が利用された。DVTS は、Digital Video 品質の映像・音声の送受信をインターネット上で可能にする技術である。

また、DVTS のフェールオーバーシステムとして、Polycom[6]を利用した。ポリコムは、1Mbps 程度までの帯域で動作するテレビ会議システムである。DVTS は次世代インターネットプロトコルである IPv6 技術に対応済みであるため、本システムにおいても IPv6 を利用した講義配信を可能となっている。

講義資料は RPT[7]を利用し、PowerPoint のスライドが変更したタイミングを講師サイトから学生サイトに伝えることによって、学生サイトの PowerPoint 資料が自動で変更される。スタッフ間コミュニケーションは IRC(Internet Relay Chat)を利用して行う。

講義用の機材設置の際には、学生と講師の視線が合うようにカメラの位置を調節し、講師が遠隔からでも学生の目を見ているように工夫することで臨場感を出すよう考慮されている。

## 2.3. ネットワークへの要求

ここでは、提案システムが必要とするネットワークへの要件を述べる。まず、必要な帯域は、DVTS において、片方向 30Mbps、Polycom において、256kbps 以上が必要である。したがって、学生・講師サイト間での必要な双方向のネットワーク帯域は、約 60Mbps となる。併せて、IRC や、PRT のようなコントロールトラフィックがあるため、本システムの円滑な利用には、サイト間で 100Mbps 以上の帯域が必要である。

## 2.4. スタジオ構築

以上の要件に従い、アメリカメリーランド州カレッジパーク内の富士通研究所アメリカに「メリーランドスタジオ」、同カリフォルニア州 NTT Multimedia Communication Laboratory に「パロアルトスタジオ」がそれぞれ構築された。両スタジオから学生サイトとなる日本の数大学までは 100Mbps の帯域が確保され、DVTS、Polycom を利用した講義が円滑に行われるよう、講義用機器の設置も行われた。

## 3. 実証実験

### 3.1. 講義内容

2002 年 3 月 22 日に行われた S01 Global Studio Panel Discussion in front of Press では、「大学のグローバル化における可能性と課題」と題して、慶應義塾大学 村井純教授、メリーランド大学 Don Reilly 副学長、アメリカ富士通研究所所長 松尾知洋氏がアメリカメリーランドスタジオから講演を行った。本講義では、東京大学、倉敷芸術科学大学、慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス(SFC)、奈良先端科学技術大学院大学の 4 地点が学生サイトとなり、講義に参加した。

### 3.2. 実験システムの構成

本講義では、DVTS は片方向送信だけでも 30Mbps の帯域を利用すること、4 箇所という複数地点に向けて講義を行うことを考慮し、図 1 に示すように DVTS と Polycom を組み合わせて利用した。

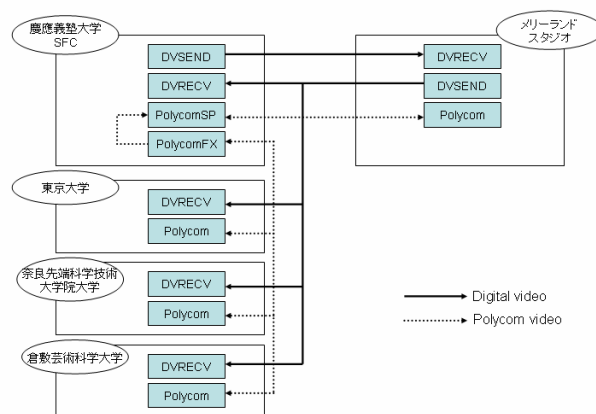


図 1. アプリケーション構成図

メリーランドスタジオからは、各個所に向けて DVTS を利用してマルチキャストで映像・音声を配信した。また、各地点からの映像・音声は、SFC にある 4 地点対話が可能な Polycom に集約され、その後 4 分割された各地点の映像・音声がメリーランドスタジオに配信される。ただし、SFC はメインの受信会場であったため、SFC からは DVTS を利用したユニキャストの映像をメリーランドスタジオに送信した。

### 3.3 ネットワーク構成

講義におけるネットワークトポロジを図 2 に示す。メリーランド大学からのマルチキャストトラフィックは関東の WIDE ルータで分岐して、各

大学に配信された．各サイトとも 100Mbps 以上のネットワーク帯域で接続されており，片方向 30Mbps の帯域を利用する DVTS のトラフィックは問題なく配信できるネットワークである．

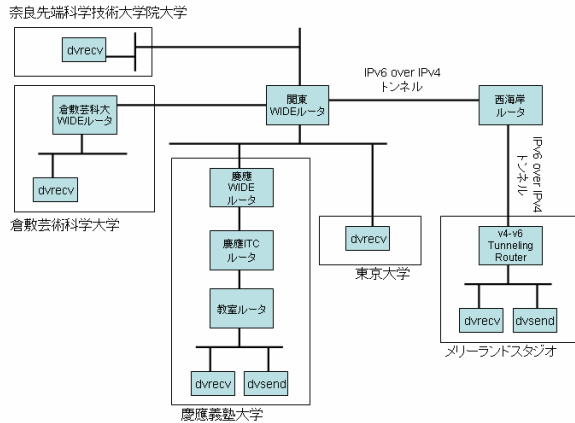


図 2. トポロジ図

### 3.4. マルチキャスト構成

ここでは，本実験において構築したマルチキャストネットワークの構成について述べる．

各ルータとして，IPv6スタックであるKAMEがインストールされたFreeBSD 4.X を利用した．マルチキャストルーティングには，PIMのスパースモードを利用し，そのアプリケーションとして，KAME 付属のPIM6SDを利用した．また，RP (Rendezvous Point) は関東WIDEルータとした．

実験で用いたマルチキャストアドレスは，ff19::5であり，東海岸スタジオからのDVTS出力をIPv6マルチキャストを用いて日本の4地点に送信した．

### 3.5. 当日の様子

図 3 に当日の教室の様子を示す．中央スクリーンがメリーランドスタジオから送られてきた IPv6 マルチキャストを利用した DVTS の映像であり，左側は Polycom が 4 分割された映像である．

各サイトとも同様の構成となっており，講師の映像が中央スクリーンに投影され，各サイトの映像がサイドのスクリーンに投影されていた．当日は SFC に約 30 名，東京大学・倉敷芸術科学大学・奈良先端科学技術大学にそれぞれ約 10 名が集まり，各サイトからの発言があり，活発な質疑応答がなされた．



図 3. 当日の様子(慶應義塾大学)

## 4. 結果

講義の前から数回に渡って準備実験を行ったが，日本におけるこのような大規模な IPv6 マルチキャストを利用した高帯域でのストリーミング実験は初めての試みであり，当日もマルチキャストストリームが一瞬止まってしまうという問題があった．これらの準備実験や実際の講義を通していくつかの問題点が明らかになった．以下に明らかになった問題点を示す．

### 1. ルータのリソース不足の問題

30Mbps のマルチキャストは PC ベースのルータのシステムリソースを大量に消費し，ルーティングデーモンを含めシステムが不安定となった．このため，KAME に付属のマルチキャストデーモンである pim6sd が動作不能になり，パスの設定が行えなくなったという問題があった．

### 2. ハードウェアの IPv6 マルチキャスト未対応問題

準備実験の際に，IPv6 マルチキャストを扱わず，動作不能になってしまうネットワークカードが発見された．

### 3. マルチキャストソフトウェア不安定の問題

実験の最中，マニュアル通りにマルチキャストのデーモンを各ルータで走らせていたが，ルータ間でうまくマルチキャストツリーが形成されない，デーモンが正常に動作しなくなる，強制的に落としてもデーモンが動作をやめない等，問題があった．

### 4. DVTS 不安定の問題

高品質の映像・音声を配信する手段として DVTS は非常に効果的なソフトウェアであるが，

DV 用ケーブルがシールド付ではないため，DVTS アプリケーションが不安定になり，パケットは出力されているが映像が見えない等の問題があった．

以上が，本研究から判明した問題点である．

## 5. 今後の課題

実証実験の結果を考慮し，今後の解決策の提案を以下に行う．

### 1. ネットワーク機器の冗長性向上

IPv6 マルチキャストを利用することにより，ハードウェアやネットワーク機器が不安定になる問題に関しては，バックアップシステムを構築することによって問題が起きた場合における代替経路への変更を行い，IPv6 マルチキャストに対応したより高速なシステムへの置き換えが必須である．

### 2. 企業側でのハードウェアの開発

今後も IPv6 マルチキャストを利用したイベントや遠隔講義は行われると考える．このため，企業側で IPv6 マルチキャストに対応できるネットワーク機器の開発が必要となる．

### 3. プロトコル対応機器の整理

今後，IPv6 マルチキャストを利用したイベントや遠隔講義を行う際，途中経路に IPv6 マルチキャストに対応していない機器が存在することを毎回実験して調査するのでは効率が悪い．このため，対応している機器と対応していない機器の整理が必要である．

### 4. マルチキャスト関連ソフトウェアの開発

講義実験から，マルチキャストの実装がまだ成熟しておらず，定常運用が行える状態ではないことが分かったため，今後更なる実験と開発が必要になる．

### 5. DVTS アプリケーションの開発

DVTS アプリケーションはまだ不安定さが残っているため，今後安定した運用に向けての更なる開発が必要である．

以上が，本研究で提案する解決案である．

## 6. まとめ

本論文では，SOI Global Studio を利用した IPv6 マルチキャスト技術を使用しての遠隔講義実験を行った．次世代インターネット技術である IPv6 技術は今後全てのアプリケーションに対応される技術であると考えられる．また，講義を高品質に安定してマルチキャストで配信できることは，ネットワーク帯域を効率よく利用する上で欠かせない技術である．

しかし，現在のネットワーク環境における IPv6 マルチキャスト技術の適用は困難であり，今後マルチキャストソフトウェア，ネットワーク機器，遠隔講義システムの各方面において，更なる工夫が必要であることが分かった．

今後 IPv6 マルチキャスト技術を利用した遠隔講義を取り入れ，次世代遠隔講義システムを確立するために，更なる実験を行い，問題点を明らかにすると共にソフトウェア・ハードウェアの開発及び更新を行い，講義システムの工夫を行う．

## 7. 参考文献

- [1] 大学審議会「グローバル化時代に求められる高等教育の在り方について」  
[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/12/daigaku/toushin/001101.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/12/daigaku/toushin/001101.htm), 2000年11月
- [2] 信州大学 Graduate School of Science and Technology on the Internet,  
<http://cai.cs.shinshu-u.ac.jp/sugsi/>, 2003年1月現在
- [3] K. Kawai, K. Okawa, J. Murai “Practical Experiences of Higher Education on the Internet – Cases from the School of Internet -”, Proc. Of ICC’99, Sep. 1999
- [4] 鳥谷部康晴，慶應義塾大学院修士論文「インターネットを用いた遠隔教育スタジオ構築に関する研究」，2002年9月
- [5] K. Kobayashi, A. Ogawa, S. Casner and C. Bormann, “RTP Payload Format for DV (IEC 61834) Video”, RFC 3189, Internet Engineering Task Force, Jan. 2002
- [6] Polycom, <http://www.polycom.co.jp/>, 2003年1月現在
- [7] 小川 浩司，櫻井 智明，大川 恵子，村井 純，「インターネットを利用したリアルタイム中継における資料共有システムの設計と実装」，第61回全国大会 講演論文集，2000年10月