

博士論文

超高精細映像の伝送手法に関する研究

油谷 暁

2011年6月24日

奈良先端科学技術大学院大学
情報科学研究科 情報処理学専攻

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に
博士(工学) 授与の要件として提出した博士論文である。

油谷 曉

審査委員：

千原 國宏 教授	(主指導教員)
横矢 直和 教授	(副指導教員)
砂原 秀樹 教授	(副指導教員)
山口 英 教授	(副指導教員)
藤川 和利 准教授	(副指導教員)

超高精細映像の伝送手法に関する研究*

油谷 暁

内容梗概

本論文では、IP ネットワークを伝送媒体として 4K 超高精細映像 (以下、4K 映像) を遠隔地に伝送する手法として、VLAN 設定を施さない Layer 3 環境での手法を提案し、検証と考察を行う。4K 映像とは、ハイビジョン映像より画素数比で 4 倍以上の 4096×2160 pixels で構成されており、緻密で繊細な映像表現が可能であり、この 4K 映像はデジタルシネマとして既に利用されているが、この他にも、医療、防災、文化、芸術、学術、広告、スポーツ、アミューズメントなど、幅広い分野での利用が期待されている。このための重要な要件の一つとして、遠隔地への伝送手法の確立が挙げられる。4K 映像の伝送は、放送網を利用することができず、伝送媒体として IP ネットワークを利用することが唯一の方法であるが、画質が劣化しないように非圧縮状態で伝送を行うには、6.4 Gbps という膨大なネットワーク帯域を必要とする。過去に行われた伝送実験では、TCP/IP Layer 2 の技術である VLAN 設定を IP ネットワーク上に施し、明示的に伝送路を確立させる方法が採用されてきた。ただし、この VLAN 設定を想定伝送路上の全てに施すには、膨大な手間とコストが発生し、容易に伝送環境を構築することができなかった。本論文では、より容易に構築することが可能である Layer 3 環境での伝送の可能性について提案を行い、想定される動的な経路変更が「接続性を維持する上で問題にならないか」、ネットワーク機器への負担が「伝送遅延の問題にならないか」を、実際に非圧縮 4K 映像を伝送することで検証を行った。結論として、Layer 3 環境を用いて非圧縮 4K 映像の伝送が行える可能性を示すことができた。

*奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 情報処理学専攻 博士論文, NAIST-IS-DD0761211, 2011 年 6 月 24 日.

キーワード

4K 超高精細映像, 非圧縮映像, 遠隔伝送, IP ネットワーク, TCP/IP Layer 3

Research on Transmission Technique of Super-High-Definition Image*

Akira Yutani

Abstract

In this doctor thesis, 4K super-high-definition image (4K image) to the IP network as a method of transmission medium of remote locations, verification and to investigate the proposed method is Layer 3 environment without VLAN setting. 4K image is four times more than the number of pixels compared to HD image and consists of 4096×2160 pixels, it is possible to express very precise and delicate image. Currently, this 4K image has been already used as digital cinema, and also other medical, emergency, culture, art, science, advertising, watching sports, and amusement, which are expected to be adapted to a wide range . One of the key requirements to adapt, include establishment of the method of transmission to remote locations. In 4K image transmission, IP network is the only way that can be used for medium to transmit uncompressed state to do considering the quality loss, 6.4 Gbps network bandwidth require vast. Transmission experimental were made in the past, TCP/IP Layer 2 VLAN setting of IP network has adopted a method to explicitly establish the transmission path. However, applying this to all the VLAN setting of the transmission path is assumed to cause a huge effort and cost, transmission environment may not be easy. Therefore, I propose the possibility of transmission in a Layer 3 environment where you can more

*Doctoral Dissertation, Department of Information Processing, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, NAIST-IS-DD0761211, June 24, 2011.

easily build, and investigate using the actual uncompressed 4K image transmission to verify "Whether or not a problem in maintaining connectivity with assumed dynamic route changes?" and "Whether or not a transmission delay caused by a burden to network devices?". In conclusion, using the uncompressed 4K image Layer 3 environment can indicate the possibility to perform image transmission.

Keywords:

4K Super-High-Definition Image, Uncompress Image, Transmission Image, IP network, TCP/IP Layer 3

目次

第1章 序論	1
1.1. 標準画質映像からハイビジョン映像	1
1.2. 超高精細映像の現状と必要性	2
1.3. 映像の伝送手法	5
1.4. 本研究の取り組みと位置付け	6
1.5. 本論文の構成	7
第2章 超高精細映像の伝送手法の提案	9
2.1. データ圧縮の必要性	9
2.2. 非圧縮 4K 映像の伝送環境	10
2.2.1 従来の伝送手法	11
2.2.2 Layer 3 伝送での実証実験の必要性	13
2.2.3 分割配信	15
2.3. 超高精細映像の現状	16
2.3.1 4K 映像伝送技術	16
2.3.2 NAIST 4K 映像伝送環境	18
2.4. まとめ	21
第3章 超高精細映像の伝送実験	23
3.1. Layer 3 検証	26
3.1.1 Layer 3・非圧縮 (皆既日食ライブ中継)	26
3.1.2 Layer 3・非圧縮・優先破棄 (皆既日食ライブ中継)	36
3.1.3 Layer 3・非圧縮・長距離	40
3.2. VLAN 比較実験	43

3.2.1	VLAN・非圧縮 (NAIST サイエンスフェスティバル)	43
3.2.2	VLAN・圧縮 (第 22 回 東京国際映画祭 ライブ中継)	46
3.3.	分割伝送実験	48
3.3.1	VLAN・非圧縮 (4K “田の字” 分割伝送実験)	48
3.4.	まとめ	50
第 4 章	考察と今後の課題	52
4.1.	Layer 3 経路制御での伝送の意義と可能性	52
4.2.	パケット優先破棄処理の必要性	54
4.3.	ネットワーク遅延	54
4.4.	NAIST での実験の意義	55
4.5.	今後の課題	56
4.5.1	Layer 3 での伝送可能性の見極め	56
4.5.2	分割伝送環境	56
第 5 章	結論	57
	謝辞	58
	参考文献	60
	付録	66
A.	標準画質映像の配信	67
A.1	環境構築	67
A.2	ウェアラブル超音波診断装置・実証実験	73
B.	ハイビジョン映像配信への移行	76
B.1	環境構築	76
C.	まとめ	84

目次

1.1	4K 超高精細映像の構成画素比	3
2.1	4K 映像の分割配信 概念図	15
2.2	非圧縮 HDTV 伝送装置 概念図	17
2.3	NAIST 4K 環境構築	18
2.4	NAIST 4K 機器調整室	19
3.1	VLAN 環境と Layer 3 環境の比較	23
3.2	4K 映像の非圧縮と圧縮の比較	24
3.3	Layer 3・非圧縮 実験 の伝送トポロジー	27
3.4	Layer 3・非圧縮 実験 のトラフィック量	28
3.5	皆既日食時 全体ネットワークトポロジー	32
3.6	皆既日食時 映像伝送機器 (ABC)	32
3.7	全天 4K 映像 (実験前日の準備時)	33
3.8	皆既日食ライブ中継実験の様子	35
3.9	優先破棄 実験 のトポロジー	37
3.10	Layer 3・非圧縮・長距離 実験 の伝送トポロジー	41
3.11	Layer 3・非圧縮・長距離 実験 のトラフィック量	42
3.12	VLAN・非圧縮 実験 の伝送トポロジー	44
3.13	VLAN・非圧縮 実験 のトラフィック量	45
3.14	第 22 回 東京国際映画祭 の様子	47
3.15	分割伝送実験の結果	49
1	システム系統図 (アカデミックチャンネル)	72
2	Blonder Tongue 社製 UHF 変調器	72

3	エコー映像の配信実験 (Bed Side)	75
4	エコー映像の配信実験 (Doctor (another room)))	75
5	システム系統図 1 (新アカデミックチャンネル)	80
6	システム系統図 2 (新アカデミックチャンネル)	81
7	講義室内設置のハイビジョンカメラ	82
8	地上デジタル変調装置	82
9	EPG 再多重化 概念図	83

表 目 次

1.1	画素数比較	2
2.1	4K 映像の非圧縮と圧縮の差異	10
3.1	NAIST での 4K 映像伝送実験 (Layer 3 検証)	25
3.2	NAIST での 4K 映像伝送実験 (VLAN 比較)	25
3.3	NAIST での 4K 映像伝送実験 (分割伝送)	25
3.4	撮影ポイント (皆既日食)	30
3.5	再伝送会場 (皆既日食)	31
3.6	実験時間 (東京国際映画祭)	46
4.1	往復遅延時間 (Layer 3・非圧縮)	55
1	一般放送のチャンネル再配置	70
2	配信元のチャンネルの配置	71
3	一般地上デジタル放送のチャンネル配置 (奈良)	78
4	新アカデミックチャンネルのチャンネル配置	78

第1章 序論

2011年7月に実施される地上アナログ放送の停波に伴い、地上デジタル放送対応テレビへの移行が急ピッチで行われている。この一般家庭への地上デジタル放送対応テレビの普及により、今まで放送されていた標準画質映像 (SDTV : Standard Definition Television) から、ハイビジョン映像 (HDTV : High Definition Television) と呼ばれる高精細画質映像へのシフトも同時に行われていることになる。この圧倒的に美しいハイビジョン映像を見てしまうことで、標準画質映像には戻れないのが実情である。また、ハイビジョン映像よりも高画質の映像である4K 超高精細映像 (以下、4K 映像) が実用段階を迎えようとしている。ただし、この4K 映像を扱う上で制限事項やコスト的に導入しにくい部分も多く、本格的な実用化には様々な課題を克服する必要があると考えられる。

この章では、標準画質映像からハイビジョン映像への推移、超高精細映像の応用事例、各映像の遠隔地への伝送手法について述べた後、本研究の取り組みについて述べる。

1.1. 標準画質映像からハイビジョン映像

ハイビジョン映像が美しく見える要因としては、まず、標準画質映像に比べて一枚の映像を構成する画素の数が多いことが挙げられる。標準画質映像を構成している横と縦の画素数は 640×480 pixels 程度、ハイビジョン映像では $1,920 \times 1,080$ pixels の画素数であり、総画素数で比較すると $307,200$ pixels と $2,073,600$ pixels となり圧倒的に多いことがわかる。上記の標準画質映像の画素数は、日本のアナログテレビで採用されている NTSC 方式での規格上の理論値で、実際にテレビで使用されている画素数は 480×360 pixels 程度にすぎず、この場合の総画素数

は 172,800 pixels であり、ハイビジョン映像と比較すると 12 倍もの差になり、映像の緻密さにおいてさらに差が開くことになる。映像の種類による画素数の比較について表 1.1 に示す。

表 1.1 画素数比較

	標準画質映像 (放送)	標準画質映像 (NTSC)	ハイビジョン映像
画素数	480×360 pixels	640×480 pixels	1920×1080 pixels
総画素数	172,800 pixels	307,200 pixels	2,073,600pixels
画素比率	1 (base)	1.8	12.0

次に、ハイビジョン映像が美しく見える要因としては、画面の横と縦の画素数の比を表すアスペクト比が異なり、ハイビジョン映像の方がよりワイドになっていることが挙げられる。標準画質映像のアスペクト比は 4:3 であり、ハイビジョン映像の場合は 16:9 が採用されている。よりワイドなアスペクト比を用いることで、人間の本来の視野角に近づけることが可能になり、臨場感をはじめとする人間の心理的要求をより満足することができるとされている。また、同様の理由で、最近のデジタルカメラにおいても、この 16:9 のアスペクト比を採用している機種が増え始めている。

最後に、ハイビジョン映像が標準画質映像より美しく見える要因として、やはり、放送方式としてアナログ放送とデジタル放送の違いを挙げることができる。アナログで放送した場合、電波が伝わる過程でノイズが乗ったり、様々な経路を電波が通過することで反射波が混じり合い、色の滲みやゴーストが発生することが多い。デジタルで放送した場合には、デジタル補正処理を施すことで、映像信号自身にノイズなどが乗ることはほとんど無く、常にクリアな映像を映し出すことが可能になり、色の滲みやゴーストは発生しない。

1.2. 超高精細映像の現状と必要性

ハイビジョン映像を超える、4K 映像がにわかに脚光を浴び始めている。4K 映像とは画素数 4096×2160 pixels で構成される映像で、ハイビジョン映像の画素

超高精細映像



図 1.1 4K 超高精細映像の構成画素比

数 1920×1080 pixels の縦横各 2 倍以上、面積比にして 4 倍以上の画素数を持つ映像である [1]。また、一般的には QHD (Quadruple HD) (3840×2160 pixels) も広義で 4K 映像に含まれるとされている。図 1.1 に、この 4K 映像とハイビジョン映像、標準画質映像の画素数の違いを示す。

この 4K 映像は、既に映画業界にデジタルシネマとしての必要性が存在しており、従来のアナログフィルム文化からデジタルデータ文化にシフトする上でとても重要な映像技術として捉えられている [2]。一般的に、映画館で映画を見て期待することは、超高精細な映像とサラウンド音声などの力を借りて映画の世界観に没入し、主人公になりきるという体験が可能になることが楽しみの一つとしてあげられる。この没入感を得るための映像的な条件等の一つとして、映像のより高精細化が必要だと考えられる。一般的に、没入感を得るときのスクリーンの見方

は従来のように映像全体を眺めるのではなく、映像中の注視しているポイントを中心に映像を切り取って見ていると考えられ、その切り取られた部分に対しても高精細な映像を提供する必要性が生じる。したがって、全体としてより高精細な超高精細映像を提供する必要があると考えられる。2006年より「4K Pure Cinema」と題して、4K映像を使用した映画上演がトライアルとして行われ始めた。映画コンテンツは、ハリウッドから東京の配信センターを経由して各映画館にまでオリジナルデータのまま届けられ上映される。今までのように、オリジナルフィルムをアナログ的に複製したコピーフィルムを使用することはないので、オリジナルのままのクオリティで上映することが可能となり、映像の輪郭線などに効果が現れていると言われている。映画界はデータが違法コピーされることに敏感になっているが、デジタルデータの場合は暗号化した状態でオリジナルデータを映画館に配っておき、暗号化解読キーを別途配布することで復号化し上映を行うことで対応している。また、この暗号解読キーにより、実際の上映可能回数の制限も同時に行っている。現在では、万が一の違法コピーデータの流出に備え、どのルートを辿ってきたデータなのか、どの時点で流出したかデータなのかを突き止める方法として、電子透かしの技術が導入されている。エコの概念からも、デジタルデータを使用することで複製フィルム作成やフィルム輸送のコスト、各映画館からのフィルムの違法流出も無くなり、映画業界全体として4K映像を使用した映画コンテンツのデジタル化を進めていくと考えられる。

その他、これから4K映像の活用が期待される分野としては、医療、防災、文化、芸術、学術、広告、スポーツ鑑賞、アミューズメントなどが挙げられる。例えば、医療分野での活用としては、遠隔地より超高精細の手術映像を見ながらより正確な手術の補助や助言を行ったり、複数の遠隔地が接続されている場合は複数の関係者との情報交換の場も提供することが可能になり、効果的な遠隔医療の実施をもたらすことになる[3]。また、広告の分野での活用としては、ビルの壁面や駅、病院、空港などに設置されているデジタルサイネージ(電子看板)に普及していくことが考えられ、超高精細映像を採用することで視聴者の注目度が高まる事になる。

4K映像の次の技術として、日本放送協会(NHK)放送技術研究所では8K超

高精細映像という 4K 映像の画素数比 4 倍となる映像の実験が既に行われている。映像を構成する画素数は 7680×4320 pixels にもなり、ハイビジョン映像との比では 16 倍もの画素数の映像ということになる。8K 超高精細映像については、2025 年を目処に本放送を始めると発表されている。

1.3. 映像の伝送手法

映像を遠隔地に伝送するための伝送媒体としては、一般的に使用されてきた放送電波を使ったものと、最近使用されるようになった IP ネットワークを使用したものの二種類がある。放送電波を使ったものは、一般のテレビ放送で行われている通り、不特定多数の視聴者に一齐に配信する方法をとっており、ブロードキャスト配信と呼ばれる。現在、使用されている伝送媒体としては、地上波を使用するものと衛星 (BS および CS) を使用するものに分けられ、標準画質映像とハイビジョン映像の放送が行われている。

ハイビジョン映像までは電波を媒体に使用することで配信を行うことが可能であるが、4K 映像に関しては電波での配信は規格的に行うことができない。現在、4K 映像を遠隔地まで伝送を行うことのできる唯一の方法は、IP ネットワークを利用した方法である [4]。ただし、現状では伝送のための実験を行っているところで、実用段階には至っていない。この場合の伝送形態は、ユニキャスト伝送と呼ばれる 1 対 1 での通信を想定しており、オンデマンド放送に例えることができる。YouTube や ニコニコ動画のような投稿型動画視聴サイトも、ユニキャスト伝送を行っていることになる。最近では、映画やビデオの有料配信の運営を行っているインターネット放送局サービスも増えており、ハイビジョン映像に対応し始めているところである。また、IP ネットワークを伝送媒体に使用することで、理論的には世界のどこへでも伝送することが可能なるという大きな利点もあげられる。

1.4. 本研究の取り組みと位置付け

本研究では、4K 映像を伝送するための手法について、提案と実証実験を行なった。4K 映像の伝送手法としては、IP ネットワークを媒体として使用することが唯一の有効な手段となる。しかし、4K 映像の場合、映像データを IP ネットワークを使用して伝送するために必要なネットワーク帯域は、非圧縮で 6.4 Gbps (bits per second) という膨大な帯域が必要となり、容易に伝送することができない。そこで、一般的に行われる手法として、映像データを圧縮し伝送するデータ量を少なくする方法が考えられる。この 4K 映像に対して圧縮と展開を行う時間は合計で 100 ms 程度掛かるとされており、この処理時間が 4K 映像伝送システムを構築する上で支障になることが考えられる。将来、放送のように映像の片方向の伝送のみが使用される形態ではなく、双方向伝送を行う会議システムやライブ中継での伝送を考慮した場合、遅延を発生させる大きな要因となりうる圧縮と展開という工程は可能な限り避けるべきだと考える。また、医療分野で遠隔医療としての利用を考慮した場合でも、圧縮によるノイズが少しでも映像に入力される可能性のある手法は採用するべきではなく、非圧縮の状態での伝送する手法を選択すべき状況が多数存在すると考えられる。

非圧縮の 4K 映像を IP ネットワークを使用して伝送する実証実験は、これまでも何度か行われているが、これらの実験で共通していることは、データ伝送のインフラであるネットワーク環境構築の部分で、TCP/IP Layer 2 の技術のひとつである VLAN (Virtual LAN) を使用してデータ伝送を行う手法が採用されてきた。この VLAN 技術を使用する手法が一般化している理由として、「データ伝送の経路固定化」、「ネットワーク機器の処理が軽減」、「VLAN 内の機器の設定が容易」などの理由が挙げられる。しかし、実際に VLAN 技術を利用するには環境構築の部分で、「ネットワーク機器の設定が煩雑で膨大な手間とコストがかかる」、「想定経路の ISP (Internet Service Provider) との接続交渉が困難」、「設定ミス時の影響が甚大でリスクが大きい」などの問題点が存在する。そこで、本研究では、非圧縮 4K 映像を容易に遠隔地に伝送する手法を確立することを目標とし、VLAN 環境を使用せず、より容易に構築することが可能である Layer 3 環境での伝送の可能性についての提案を行い、検証実験を通して考察を与える。Layer

3 環境で想定される懸念点としては、「動的な経路変化」,「ネットワーク機器への負担」が挙げられるが, 実験において各々「接続性を維持する上で問題にならないか」,「伝送遅延の問題にならないか」の検証を行う。この Layer 3 環境での検証実験を成功させることで, 非圧縮 4K 映像の伝送環境を容易に構築する可能性を示すことができ, 将来の活用が期待されている医療や防災, 文化, 芸術, 学術, 広告などの分野において, 大いに普及する足掛かりになると考えられる。加えて, この非圧縮 4K 映像を, 実際に遠隔地間で Layer 3 環境を用いて行われた伝送実験はこれまでに例がなく, 非常に価値のある実験であると言える。

1.5. 本論文の構成

本章に続き, 第 2 章では IP ネットワークを使用しての映像伝送手法とその映像の圧縮と非圧縮のそれぞれの利点を考察した後, 本研究の本題でもある VLAN 環境の利点と問題点, Layer 3 環境における問題点について考察し, Layer 3 での実証実験の必要性について述べる。また, 実際の映像パケットに廃棄優先度フラグを付加し, 伝送路の帯域が輻輳した時の素行についての実験について考察する。加えて, 4K 映像の現状について, IP ネットワークを使用して伝送する技術, 実際の実験環境の構築について述べる。

第 3 章では, 実際に行なってきた 4K 映像の伝送実験について述べる。検証の目的別に「Layer 3 検証」「VLAN 比較実験」「分割伝送実験」の 3 つに分類し, それぞれの実験について述べる。「Layer 3 検証」では, Layer 3 環境に非圧縮 4K 映像を伝送する実験で, 一般的な実験とパケット優先破棄の実験, そして, より長距離からの実験について述べる。「VLAN 比較実験」では, Layer 3 との比較として VLAN 環境を構築した上で実験を行なった。伝送した映像は, 現状との比較として非圧縮 4K 映像と JPEG 2000 圧縮を行なった 4K 映像の二種類を使用して実験を行なった。「分割伝送実験」では, 現在のクラウド環境を想定した実験として, 4K 映像をハイビジョン映像 4 枚と見立て, 別々の場所から入手する手法を実現させることを考慮し, 実際に 2 ヲ所から 4 枚のハイビジョン映像を伝送して 4K 映像として合成し表示させる実験を行い, 正常に 4K 映像を表示でき

るかの実験について述べる。

第4章では、実験で得られた結果を踏まえて、Layer 3 経路制御の可能性、パケット優先破棄の必要性、ネットワーク遅延についての考察を行い、最後に今後の課題について述べる。

第5章では、結論について述べる。

第2章 超高精細映像の伝送手法の 提案

この章では、4K 映像を IP ネットワークを使用して遠隔地に伝送するにあたり、データ圧縮の必要性、伝送手法の提案と実証実験の必要性、4K 映像の現状について述べる。

2.1. データ圧縮の必要性

4K 映像の伝送手法として、IP ネットワークを媒体として使用することが唯一の有効な手段であるが、伝送するために必要なネットワーク帯域は、非圧縮では HD-SDI 信号規格 (SMPTE 292M) 4 本分のビットレートに相当する約 6.4 Gbps (bits per second) という膨大な帯域が必要となり、容易に伝送することができない。そこで、一般的に映像データを圧縮し、伝送するデータ量を少なくする方法が考えられる。現在、4K 映像の圧縮形式として普及している JPEG 2000 形式を使用し、視覚的に劣化のない (Visually Lossless) 映像品質を考慮すると約 1/20 倍にまで圧縮でき、伝送に必要な帯域は約 300 Mbps となり、伝送に必要な帯域を大幅に節約することが可能である。JPEG 2000 形式が他の圧縮方式よりも普及している背景としては、フレーム単位での圧縮処理を行うため (1) 処理時間が比較的短い (2) 映像の編集が行ないやすい、などの理由があり、他の圧縮方式である MPEG2 形式や H.264 形式よりも優れている点だと言える。

ただし、圧縮を行うことで問題になるのが、圧縮や展開に必要な時間と圧縮に伴うノイズの発生である。まず、圧縮にかかる時間としては、圧縮の処理時間が比較的短い JPEG 2000 形式を使用しても、圧縮と展開に必要な処理時間は合計で 100 ms 程度必要になってしまい、遅延するフレーム数は 3 枚強となる [5]。将来、

この 4K 映像を使用した双方向伝送を行う会議システムやライブ中継での伝送を考えた場合、遅延を発生させる大きな要因となりうる圧縮と展開という工程は可能な限り避けるべきであると考え、表 2.1 に 4K 映像の非圧縮と圧縮における処理時間について示す。示された非圧縮と圧縮の処理時間は、後述する NTT 未来ねっと研究所が開発した 4K 映像の伝送装置の値である。非圧縮での処理時間に示されている値は、実際の膨大なデータを装置のネットワークインターフェースに送出するまでの時間を示している。これらの装置は、4K 映像伝送において実績のある唯一のシステムで、今まで行われてきた実験において使用されてきており、実質、4K 映像伝送の標準器として取り扱われている。

表 2.1 4K 映像の非圧縮と圧縮の差異

	非圧縮	圧縮
ビットレート	6.4Gbps	80-500Mbps
処理時間	15ms	50ms
両端遅延	30ms	100ms
遅延フレーム数	1 枚弱	3 枚強

次に、圧縮ノイズの問題としては、例えば医療分野で遠隔医療としての利用を考慮した場合、ノイズが少しでも映像に入力される可能性のある手法は採用すべきではないと判断され、非圧縮での伝送が必要であると考えられる。

以上により、非圧縮の状態で伝送する手法を選択すべき状況が多数存在すると考えられ、本研究では、非圧縮での 4K 映像の伝送について考えていくこととする。

2.2. 非圧縮 4K 映像の伝送環境

非圧縮 4K 映像を IP ネットワークを使用して伝送するにあたり、従来の伝送方法である VLAN 環境の利点と問題点について述べ、これまで行われてこなかった TCP/IP Layer 3 環境を使用した伝送方法の可能性と実証の必要性について述べる。

2.2.1 従来の伝送手法

非圧縮の 4K 映像を IP ネットワークを使用して伝送する実験は、これまでも何度か行われており、NTT 未来ねっと研究所が OXC (Optical cross(X) Connect) を用いた伝送実験 [6]、Thomson が行った大陸横断の伝送実験 [7]、慶應義塾大学と NTT 未来ねっと研究所による 2 大洋横断の伝送実験などがある [8][9][10]。これまでの非圧縮 4K 映像の伝送実験では、データ伝送のインフラであるネットワーク環境構築の部分で、TCP/IP Layer 2 の技術のひとつである VLAN (Virtual LAN) を用いてデータ伝送を行う手法を採用してきた。以下に、VLAN 技術を利用した時の利点と問題点について述べる。

VLAN 技術利用の利点

この VLAN 技術を使用しデータ伝送する手法が行われてきた理由として、以下の利点が挙げられる。

- データ伝送の経路固定化
- ネットワーク機器の処理を軽減
- VLAN 内の機器設定が容易

一点目のデータ伝送経路の固定化は、どの組織のネットワークを使用するか、そして、どの回線を使用するかを必要なネットワーク帯域を考慮しながら計画的に選定することが可能になり、伝送可能な範囲を拡大させることが可能になる。また、伝送帯域を確保し続ける点においても、他のネットワークとの影響度を考慮してトポロジー設計を行うことで、影響を少なく抑えることが可能になる。

二点目のネットワーク機器の処理軽減化については、Layer 2 の技術を用いて通信が行われているため、途中のネットワーク機器において IP アドレスの解釈無しにデータの伝送を行うことが可能となり、ネットワーク機器内の処理が軽減化され比較的高速に処理される可能性がある。

三点目の VLAN 内の機器設定については、関係するネットワーク機器が単一の VLAN 内の同一セグメント上に存在することになり、たとえ遠隔地間の通信においてもネットワーク設計と設定が容易に行えることになる。

VLAN 技術利用の問題点

上記の利点により、VLAN 技術を使用して伝送する実験が行われてきているが、実際には以下に示す問題点も存在する。

- 想定経路の ISP (Internet Service Provider) との接続交渉
- 設定時の影響が甚大でリスクが大きい

一点目の想定経路の ISP との接続交渉は、VLAN 接続での使用、使用する日時および想定されるネットワーク帯域の打診を行い、接続の可否と実際の工数について検討する必要がある。また、この交渉は想定される経路にあたる全ての ISP に対して行う必要がある。VLAN 接続を複数の ISP 間で行うための技術的な要件の一つに、VLAN を識別するための VLAN ID を全経路に渡って統一させる必要がある。今までは使用されていない VLAN ID を各 ISP 間で調整し統一化を行ってきたが、最近では ISP 内で IEEE 802.1ad (Provider Bridges) または IEEE 802.1ah (Provider Backbone Bridges) 技術を使用することで VLAN を再度仮想化することが可能になっている。ただし、これらの設定を行うにあたっては、想定経路上の全てのネットワーク機器に設定を行う必要があり、結果的には膨大な工数が必要となることに変わりはない。また、各 ISP では接続ポリシーを策定しており、全ての ISP において上記の技術的要件が満たされているわけではなく、想定していた ISP に接続できない場合は全体トポロジーの再構築が必要になる。当然ながら、伝送先が遠隔地であればあるほど想定経路にある ISP の数やネットワーク機器の数も増大することになり、工数が膨らむことが容易に想像される。

二点目の設定時の影響については、各 ISP は様々な ISP と相互接続しあって全体としてインターネットを構成しており、実際に運用中のネットワーク機器の

設定がその ISP 全体、および、隣の ISP に影響を与えることも考えられ、結果的にはインターネット全体にまで影響を与えるという大きなリスクが常に存在し、慎重に設定を行う必要がある。

2.2.2 Layer 3 伝送での実証実験の必要性

これまで行われた非圧縮 4K 映像の伝送実験では、VLAN 技術を使用するにあたり、事前準備として前述のような膨大な工数の作業を行う必要があった。一方、昨今のネットワークは拡大成長を続けており、使用可能な帯域も順次広くなることで、近い将来には VLAN 設定を行わずとも非圧縮 4K 映像の伝送がより広範囲で行える状況になっている可能性がある。ここでは、現在の Layer 3 での問題点を挙げ、実証実験の必要性とその課題について述べる。

Layer 3 伝送の問題点

主に VLAN 技術を使用して伝送する実験が行われてきた理由として、以下に示す Layer 3 伝送時の問題点が挙げられる。

- 伝送経路が動的に変化する
- ルーティング時のネットワーク機器への負荷が比較的大きい

一点目の問題点として、伝送経路が動的に変化することが挙げられ、意図的に変更したり固定することができない。実際に伝送実験を行うにあたり、想定される伝送経路上の公表されているネットワーク帯域と実際のネットワーク機器の調査により伝送の可能性を判断することが可能であるが、経路変更に伴う極短期的な映像伝送停止が頻発したり、伝送経路の帯域不足に伴う恒久的な映像伝送停止が発生する可能性がある。

二点目の問題点として、Layer 3 の経路制御は IP アドレスを解釈し経路制御表とのマッチングを行うという経路検索処理の関係上、VLAN 設定時の MAC アドレス解釈の処理に比べてネットワーク機器への負荷が比較的大きいと考えられ

る。従って、経路上の各ルータでの経路検索処理に遅延を生じ、経路全体としてデータ転送遅延などの影響を引き起こす可能性がある。

データの優先破棄

伝送経路が動的に変化することは、最初に想定していた経路以外に影響を及ぼす可能性を秘めていることになる。このため、新しい伝送経路に非圧縮 4K 映像データが流入することにより、ネットワークを輻輳させてしまうことが考えられる。輻輳を起こさせた場合、映像データを優先的に破棄し、他のデータに影響を与えないような方策を講じる必要がある。これを実現させる方法として、映像データに対して破棄する優先度を高く指定しておき、経路上のルータで必要に応じて優先的にパケットを破棄するという手法が考えられる。この手法を実現するために、DiffServ (Differentiated Services) の技術を利用することにする。DiffServ は、トラフィックをクラスに分け、分けられたクラスごとにサービスの質を可変させるという QoS 保証法である。

ただし、実際にこの手法を適応するにあたり、非圧縮 4K 映像のデータが原因で輻輳を発生させた場合、優先破棄の処理がルータの他の処理に負担をかけ過ぎないか、そして、実際の非圧縮 4K 映像データ以外の必要なデータが欠落しないかを検証する必要があると考える。

実証実験の必要性と課題

VLAN 設定時の利点を踏まえた上で事前準備作業の工数等の問題点について考慮した結果、VLAN 設定を施さない Layer 3 の経路制御に従った IP ネットワークを使用して、非圧縮 4K 映像の伝送がどのような条件下で可能であるかについての実証実験を行い、検証の必要性を得るに至った。

実証実験での課題は、前述の Layer 3 での問題点である伝送経路の動的変化がどの程度発生し接続性に支障をきたすか、また、経路変化に伴う他のネットワークへの輻輳の方策として、映像データの優先破棄で期待した効果が得られるかを

検証することである。加えて、経路上の各ルータの処理能力が影響を与える映像データの遅延についても、実験を通して検証することが課題であると考える。

2.2.3 分割配信

4K 映像をハイビジョン映像 4 枚と見立て、各々、別々の場所から映像を入手する方法を提案し検証実験を行う。この分割配信の提案は、クラウド環境を考慮し、4K 映像のデータをネットワーク上に分散させてアーカイブさせ、ネットワークの混雑状況に応じて分散した別の場所からのデータ供給を受けることを想定している。図 2.1 に、この分割配信の概念図を示す。この分割配信を行うことで、4K

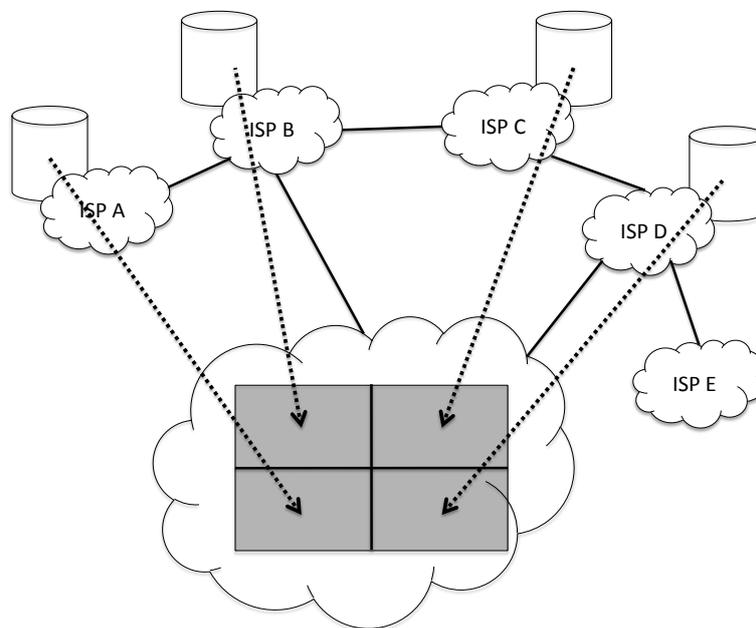


図 2.1 4K 映像の分割配信 概念図

映像のトラフィックが 1 ヶ所に集中するのを防ぐことが可能になると考える。検証の内容として、実際に 4 枚の映像を別の場所から入手し同期させて表示するこ

とが可能か，そして，それぞれどの程度の遅延が発生したときに表示することが困難になるのかを明らかにする必要がある．実際の検証実験では，別の 2 ヶ所からハイビジョン映像を伝送し，4K 映像として表示させる実験を行う．

2.3. 超高精細映像の現状

2.3.1 4K 映像伝送技術

4K 映像データを IP ネットワークを使用して遠隔地に伝送するためには，NTT 未来ねっと研究所が開発した機器を利用する．このシステムは，4K 映像伝送において唯一実績のある機器で，映像伝送時にデータ圧縮を行うか否かによって 2 種類の機器が存在する．

非圧縮

4K 映像データの圧縮を行わずに伝送するためには「HDTV 伝送装置 i-Visto Gateway」システム (以下，非圧縮 HDTV 伝送装置) を使用する．このシステムは，HDTV 映像を圧縮せずに IP ネットワークを使用して伝送を行うシステムであり，4K 解像度の映像を伝送するためには HDTV 映像 4 本分の機器が必要になる．この非圧縮 HDTV 伝送装置 1 台で対応できる HDTV 映像の本数は 2 本で，4K 解像度に対応させるためには 2 台の非圧縮 HDTV 伝送装置が必要になる．この HDTV 映像 4 本分の同期処理については非圧縮 HDTV 伝送装置間で考慮されており，4 枚の HDTV 映像が乱れることはない．HDTV 映像の伝送に必要なビットレートは，(HD-SDI 規格 + TCP/IP ヘッダ分) の約 1.6 Gbps 程度になり，4K 映像を伝送する場合には 4 倍の 6.4 Gbps が必要となる．HD-SDI により入力されたデータは，15ms 以内という非常に短い時間で IP パケットに変換されネットワークに送出される [11][12][13][14][15][16]．図 2.2 に，この非圧縮 HDTV 伝送装置を用いて 4K 映像を伝送するときの概念図を示す．この概念図は，後述する「NAIST サイエンスフェスティバル」時に朝日放送株式会社 (ABC¹) から

¹Asahi Broadcasting Corporation

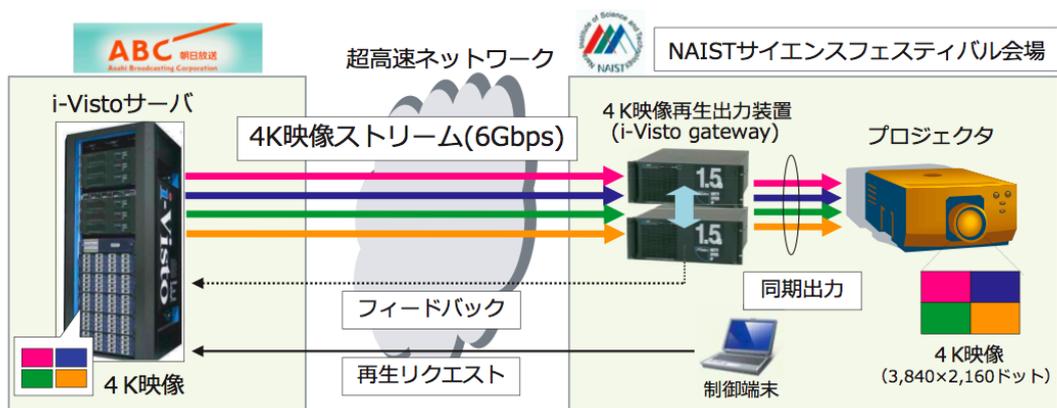


図 2.2 非圧縮 HDTV 伝送装置 概念図

奈良先端科学技術大学院大学 (NAIST²) への非圧縮 4K 映像の伝送実験を例に示す。

圧縮

データの圧縮を行ってから伝送をするためには「JPEG 2000 リアルタイムコーデック」システムを使用する。このシステムは、4K 映像を JPEG 2000 形式で圧縮を行い IP ネットワークを使用して伝送を行うシステムで、ビットレートを約 80–500 Mbps の間で可変して圧縮することが可能になる [17]。JPEG 2000 形式で圧縮を行うことで、伝送に必要なビットレートを約 12–80 倍にも圧縮することが可能になり、IP ネットワークのトポロジーをより容易に設計することが可能になる。

²Nara Institute of Science and Technology

2.3.2 NAIST 4K 映像伝送環境

4K 映像投影環境

NAIST では情報科学研究科棟 1 階ロビーの壁面に、200 インチの埋め込み平面スクリーンがあり、4K 映像を映し出すことが可能になっている。システム系統図は、図 2.3 のとおりである。

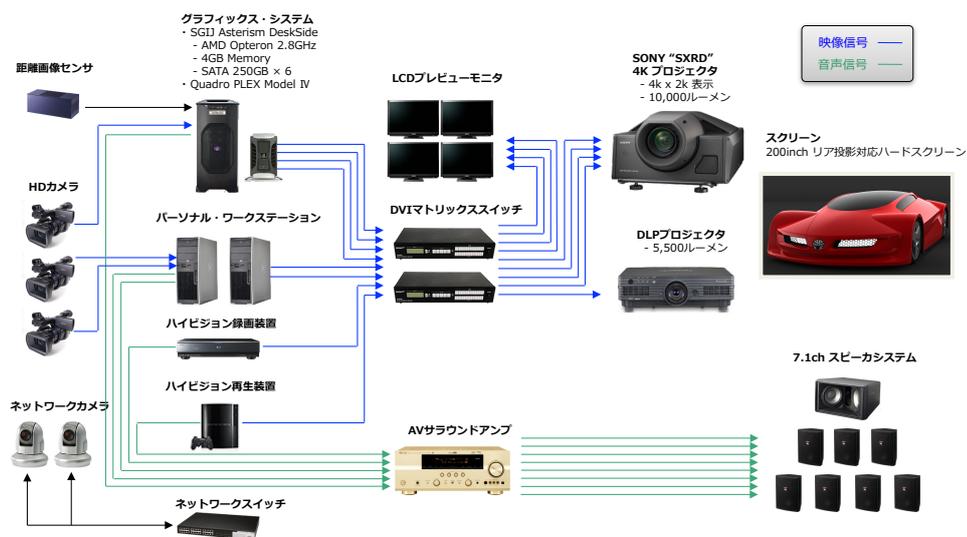


図 2.3 NAIST 4K 環境構築

採用した 4K プロジェクタは SONY SRX-T110 で、4 系統の DVI-D を入力に持つ。その他、4K を扱う部分は全て DVI-D または HDMI のケーブルを 4 系統使用し接続されている。これらの機器の調整を行う部屋として、4K プロジェクタの設置場所から 20m 程度離れた場所に別の部屋を設け、4K プロジェクタへの映像を選択・調整し投影を行っている。4K 機器調整室には、図 2.4 に示すとおり

り、4K プロジェクタをモニタする目的でハイビジョン解像度のモニタを 4 台、“田”の字に配置して使用している。



図 2.4 NAIST 4K 機器調整室

4K 関連以外の部分としては、インタラクティブな研究に使用できるように、スクリーン前にハイビジョンカメラ 3 台と赤外線距離センサーを設置している。これらの機器は、専用の PC に接続され画像認識や人物等の物体までの距離解析に使用される。

ネットワーク環境

NAIST のネットワーク環境として、対外接続が 10 Gbps であることが非圧縮 4K 映像の伝送実験を可能にしている。この 10 Gbps は、その他の組織と比べても突出して太い伝送帯域であると考えられる。NAIST がネットワーク的に所属している組織が WIDE Project であり、NAIST 内の WIDE メンバーが NAIST

外の近隣のネットワーク機器の設定変更を行うことが可能であり、実験にはとても好都合である。

トラブル対応

4つの映像の同期 4K映像は4枚のハイビジョン映像で構成されているわけであるが、この4枚の映像を正確に同期させることができないと、4K映像として成立しない。同期がずれていると、時間的にバラバラの映像を表示することになり、スクリーン上に“田”の字の線が見えるようになる。例えば、PCのデスクトップを4K解像度にまで上げて出力する場合は、グラフィックカードのドライバで同期処理を行っているので同期が乱れることはない。しかし、今回の4K映像伝送実験時では、伝送時のネットワーク遅延が表示するまでに加算されることになるので、同期を調整することが非常に困難であった。4K映像伝送実験時の同期の調整は、サーバからの映像伝送のタイミングが4枚同時になるように、伝送スタートのタイミングを何度となくやり直すことで行なった。また、非圧縮4K伝送装置自身に、クライアント側からサーバ側に対してフィードバックをかける機構が用意されているため数100ms程度の同期のずれについては自動で修復を行う。しかし、実際の4K映像の出力には、本番の前に相当の時間を費やして調整を行う必要があったのが実情である。

プロジェクタとの相性 採用した4Kプロジェクタは、前述のとおり、SONY SRX-T110で4系統のDVI-Dを入力端子として持つ。このDVI-Dのプリセット信号が、ハイビジョン映像入力時にインターレース映像をサポートしておらず、プログレッシブ映像で入力させる必要がある。NAISTが共同研究を行っているABCでは、当然ではあるが、放送局標準の映像しか持ちあわせておらず、伝送される映像は全て29.97iでの映像となる。この映像をプロジェクタに出力させるためには、映像のIP変換(interlace/progressive変換)を行い、60pに変換する必要がある。最初に映像IP変換として用いた装置は、内部回路がアナログのスケーラであったが、変換後の映像の位置が若干シフトしているようで、4枚の映像を1枚に合成した場合、数pixels分の“田”の字がはっきりと現れた。プロ

ジェクタの機能を使って、この数 pixels の位置合わせを行なったが、完全には修正することができなかった。解決策として、次に映像 IP 変換として用いた装置は、内部回路がデジタルのコンバータで、結果的には問題なく 4K 映像を表示することができた。ただし、4K 映像を想定した映像の IP 変換を行うには非常に緻密な作業が必要となり、前述の同期作業と同様に、多くの時間を費やして調整を行う必要があった。

2.4. まとめ

4K 映像の伝送は、IP ネットワークを用いることが唯一の伝送方法とされる。非圧縮の 4K 映像の場合、6.4 Gbps のネットワーク帯域を消費することになり、一般的には圧縮を行なって伝送する方法を考えるが、本研究では遅延の発生と映像にノイズが入力される危険性を考え、非圧縮での 4K 伝送について考えるものとする。非圧縮 4K 映像の伝送環境として、今までは、より確実なデータ伝送のために VLAN 設定を用いて実験を行ってきた。VLAN 設定には利点もあるが、環境構築において問題点も多い。そこで、VLAN 設定を施さず、比較的容易に構築が可能な Layer 3 環境を使用して、非圧縮 4K 映像の伝送が実際に可能なのか、動的な経路変化やネットワーク機器への負担が伝送の問題とならないかについて検証実験を行う必要性を得るに至った。

また、Layer 3 環境で膨大なデータの伝送を行うため、映像伝送の途中で想定していた経路が動的に変わり、別の経路の通信に悪影響を及ぼす可能性がある。その状況を回避する一つの方法として、4K 映像データを優先的に破棄する機構についても正常に動作するかの検証を行う必要がある。

次に、4K 映像のトラフィックが 1 ヶ所に集中するのを防ぐという発想で、4K 映像をハイビジョン映像 4 枚と見立て、別々の場所から映像データを入手する手法を提案した。この提案手法が、実際に実現可能かどうかの検証を行う必要がある。

最後に、4K 映像の伝送を行うための機器の紹介と NAIST での 4K 映像伝送環境について述べた。特に、NAIST のネットワーク環境は秀でているところが

あり，非圧縮 4K 映像の伝送実験において，実験内容に合わせて環境構築が比較的自由に行うことができる。

第3章 超高精細映像の伝送実験

VLAN 環境と Layer 3 環境

前章でも述べたが、ここで VLAN 環境と Layer 3 環境の長所と短所について再度まとめる。

	長所	短所
VLAN 環境	<ul style="list-style-type: none">●伝送経路を固定可能●ネットワーク機器の処理が比較的軽い●VLAN 内の機器の設定が容易	<ul style="list-style-type: none">●経路全ての ISP への接続交渉が必要●経路全てのルータに VLAN 設定が必要●設定時のミスに対するリスクが大きい
Layer 3 環境	<ul style="list-style-type: none">●容易に Layer 3 環境を構築可能●動的な経路変化による障害回避●動的な経路変化による帯域拡充	<ul style="list-style-type: none">●伝送経路が固定できない●ネットワーク機器の処理が比較的重い

図 3.1 VLAN 環境と Layer 3 環境の比較

図 3.1 に示されるとおり、VLAN 環境は伝送経路の固定化を行えることが採用される最大の理由であるが、ISP への接続交渉や全てのルータへの設定など、環境構築のためのコストは非常に大きい。また、Layer 3 環境が比較的採用されづらい理由は伝送経路が固定できないことであるが、動的経路変化による障害回避や帯域拡充などの長所があり、環境構築が容易に行える長所と加えて、採用される価値が十分あると考えられる。

本研究では、実際に 4K 映像を伝送し、Layer 3 環境での伝送の可否と短所とされる項目についての検証実験を行う。

4K 映像での非圧縮と圧縮

前章でも述べたが、ここで 4K 映像の非圧縮と圧縮の長所と短所、適応分野について再度まとめる。

	長所	短所	適応分野
非圧縮	<ul style="list-style-type: none">●処理が高速●映像にノイズが発生しない	<ul style="list-style-type: none">●データ量が膨大	<ul style="list-style-type: none">●医療●防災●文化●芸術
圧縮	<ul style="list-style-type: none">●データ量を減らせる	<ul style="list-style-type: none">●処理に時間がかかる●映像にノイズが発生する可能性	<ul style="list-style-type: none">●映画●広告●スポーツ鑑賞●アミューズメント

図 3.2 4K 映像の非圧縮と圧縮の比較

図 3.2 に示されるとおり、圧縮における長所はデータ量を減らせることにあるが、圧縮を行うための処理に時間がかかったり映像にノイズが発生する可能性がある。また、非圧縮の場合は、膨大なデータ量を扱う必要があるが、高速に処理され映像にノイズが発生する可能性がない。適応分野として、医療や防災、文化、芸術分野においては、映像にノイズが発生することは許されず、非圧縮の 4K 映像を採用すると考えられる。

本研究では、非圧縮での 4K 映像の伝送実験を行い、前述の Layer 3 環境の検証を行う。

実験内容

前章の提案を検証するため、4K 映像の伝送実験を行なった。各伝送実験を目的に応じて「Layer 3 伝送実験」「VLAN 比較実験」「分割伝送実験」の 3 つに分類を行い、それぞれの伝送実験について述べる。各実験の目的と使用した経路制御、圧縮方式について、表 3.1–表 3.3 に整理した。

まず、表 3.1 に示されるとおり、Layer 3 環境の検証として 3 つの実験を行なった。一番目の実験では、Layer 3 環境で非圧縮 4K 映像の伝送実験を行い、この

表 3.1 NAIST での 4K 映像伝送実験 (Layer 3 検証)

目的	経路制御	圧縮	伝送場所	イベント名
L3 検証	L3	非圧縮	ABC→NAIST	皆既日食ライブ中継
優先廃棄	L3	非圧縮	ABC→NAIST	〃 (優先廃棄)
L3 長距離	VLAN+L3	非圧縮	ABC→東京 →NAIST	長距離実験

環境下での伝送の可能性について検証を行なった。二番目の実験では、一番目と同じ実験を行いながら、意図的にネットワークに輻輳を発生させ、優先廃棄の動作についての検証を行なった。三番目の実験では、一番目の実験をより長距離から実施し、伝送の可能性について検証を行なった。

表 3.2 NAIST での 4K 映像伝送実験 (VLAN 比較)

目的	経路制御	圧縮	伝送場所	イベント名
事前準備	VLAN	非圧縮	ABC→NAIST	NAIST サイエンスフェスティバル
圧縮映像	VLAN	JPEG 2000	東京 →NAIST	第 22 回 東京国際映画祭 (TIFF)

次に、表 3.2 に示されるとおり、VLAN 環境を構築し、Layer 3 環境との比較として 2 つの実験を行なった。一番目の実験では、VLAN 環境で非圧縮 4K 映像の伝送を行い、伝送映像の確認を行なった。二番目の実験では、VLAN 環境で JPEG 2000 圧縮された 4K 映像の伝送を行い、伝送映像の確認を行なった。

表 3.3 NAIST での 4K 映像伝送実験 (分割伝送)

目的	経路制御	圧縮	伝送場所	イベント名
分割配信	VLAN	非圧縮	ABC→NAIST, NTT→NAIST	分割伝送実験

最後に、表 3.3 に示されるとおり、VLAN 環境を構築し、非圧縮 4K 映像の伝送を行った。分割伝送の実験として、2 ヲ所からハイビジョン映像を同時に伝送

し、4K 映像が正常に生成されるかの確認を行なった。表中の「NTT」は、NTT 未来ねっと研究所 がある東京都武蔵野市の NTT 武蔵野研究開発センタ を表す。

3.1. Layer 3 検証

3.1.1 Layer 3・非圧縮 (皆既日食ライブ中継)

Layer 3 の経路制御が行われている IP ネットワーク上で、非圧縮 4K 映像を送る検証実験を行った。実際には、皆既日食時に ABC と行ったイベントの一部として「NAIST 皆既日食ライブ中継」というイベントを開催し、公開実験で行った。ABC より NAIST まで Layer 3 環境で非圧縮 4K 映像を送るといふ検証実験で、事前調査のとおり伝送が可能かどうか、そして、実験中の動的な経路変化、4K 映像の様子などのモニタリングを行い、実用性の判断を行うのが本実験の目的である。映像は、非圧縮 4K 映像、非圧縮ハイビジョン映像、テレビ会議システムの 3 種類で、計 8.0 Gbps のデータが流れることになる。また、この実験は本研究での本題と言える実験である。

NAIST での伝送実験

皆既日食イベント時に NAIST で行われた伝送実験は、ABC から NAIST への伝送を Layer 3 環境で行い、動的な経路制御に従った伝送を試みた。この試みは、ネットワーク伝送経路の全てのネットワーク機器に煩雑な VLAN 設定を施す必要がなくなることを意味しており、遠距離への伝送を考慮した場合にとっても有効な伝送手法になると考えられる。

ABC から NAIST への映像データの伝送トポロジーを図 3.3 に示す。ABC から NAIST への通信は、まず“JGN2plus Dojima”，“WIDE Dojima”，“WIDE Nara”を経由して NAIST に到達している。この伝送経路は、経路を調査するための traceroute コマンド (UNIX) で確認したもので、各ネットワーク機器の経路制御表のエントリに一致しており、かつ、想定される最短経路とも一致してい

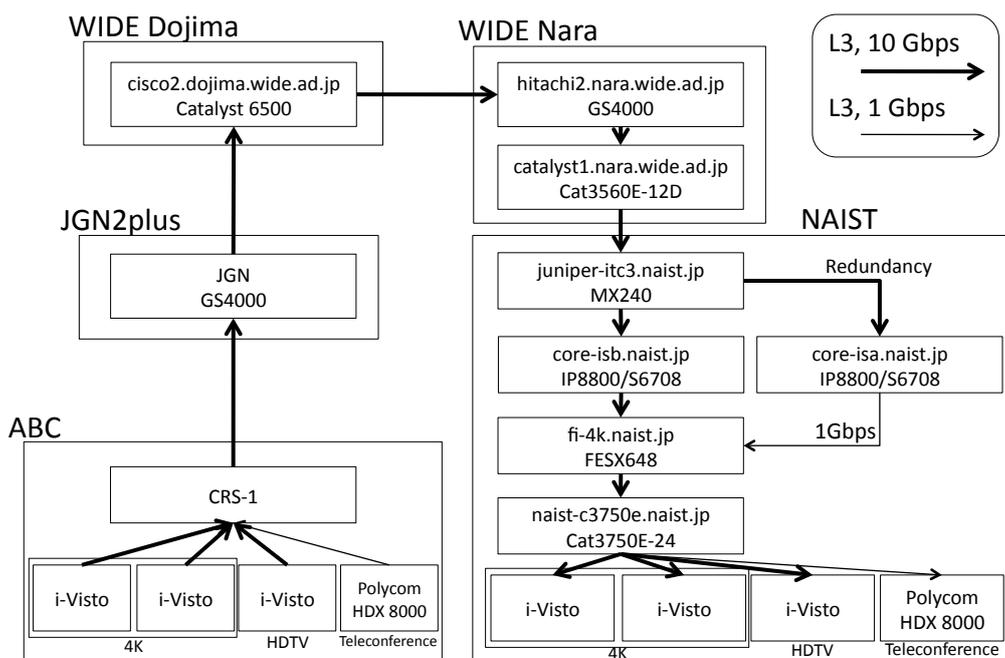


図 3.3 Layer 3・非圧縮 実験 の伝送トポロジー

る。実際の経路制御には、WIDE Project ネットワーク内、および、NAIST 内で OSPF プロトコルを使用している。

NAIST で行った設定は、Layer 3 での環境構築を行なったためほとんど無かった。NAIST 内のルータとして示される“core-isa.naist.jp”は、輻輳時の優先破棄の実験に使う経路で、皆既日食イベント本番にはデータは流れない。この経路は、学内のコア部分を冗長化するために設置されているもので、新規に設置したものではない。“naist-c3750e.naist.jp”は、この実験で使用する機器を接続する末端のスイッチで、非圧縮 HDTV 伝送装置 (i-Visto) 3 台の接続も行うもので、上流の経路分と合わせて 10 Gbps が 4 ポート存在する。

非圧縮での 4K 映像の伝送には、前述の非圧縮 HDTV 伝送装置を用いた。皆既日食時の実験では、非圧縮 4K 映像の伝送以外に非圧縮 HDTV 映像とテレビ会議システム (Polycom 社製 HDX 8000 : 720p, H.264, 2 Mbps) での伝送も同時に行い、使用したネットワーク帯域は約 8.0 Gbps (6.4+1.6+0.002 Gbps) に達した。IP パケットの送出には UDP を用い、伝送効率を高めるために MTU をジャンボフレーム 9000 Byte として実験を行った。

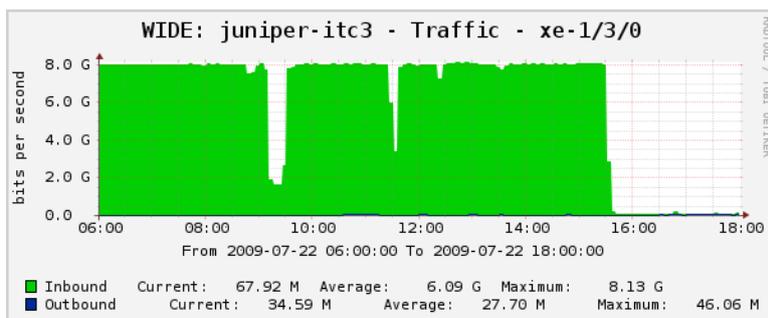


図 3.4 Layer 3・非圧縮 実験 のトラフィック量

実験中に、大学の対外接続用ネットワーク機器でトラフィックの計測を行った。図 3.4 に、横軸に時間、縦軸にトラフィック量を表すグラフを示す。ABC での皆既日食イベントは 10:00–15:00 の間で開催され、皆既日食の 4K ライブ映像を 10:00–11:20 の間伝送を行った、また、ABC で録画した皆既日食 4K 映像を 13:00–15:00 の間、繰り返し再伝送を行った。前日から 9:00 まで、および、12:00–13:00

の間はカラーバー映像を流し、映像機器のテストを行っていたためトラフィックが観測されている。その他、実験の都合で伝送を一時停止していたとき以外は、途切れることもなく 8.0 Gbps のトラフィックが正常に流れ続けていたことが示されている。

NAIST の対外接続用ネットワーク帯域は 10 Gbps で、イベントや実験を行っていない定常時のトラフィックは 300 Mbps 程度である。実験時には帯域全体の 8 割に相当するトラフィックを使用することになったが、伝送された映像は体感される途切れや乱れが一切無かった。非圧縮 HDTV 伝送装置のステータスやログの確認も行ったが、4 枚の映像の乱れやパケットロスについて一切確認することなく、実験は成功した [18][19][20]。

皆既日食ライブ中継の全体像

2009 年 7 月 22 日に起こった今回の皆既日食は、日本の陸地で起こる皆既日食としては実に 46 年ぶりで、今後 26 年間は日本において皆既日食は観測できない。加えて特徴的であったのは、皆既の時間が 6 分 25 秒と今世紀最大の長さであり、多くの組織がこの皆既日食の映像を様々な形で伝送する試みを行った。

4K 映像の伝送方法について共同研究を行っている ABC にて大規模な IP ネットワークを使用した全天 4K 映像の伝送実験が企画され、NAIST も参加協力を行った [21]。この伝送実験では、世界初の試みとして、今までの皆既日食時の撮影手法である太陽全景や太陽拡大景の映像を撮影するのではなく、皆既日食が起こっている場所での臨場感を伝えるべく、全天 4K 映像を使用してその場の雰囲気全てを伝送するという実験を実施し、目的を達成することができた。独立行政法人 情報通信研究機構 (NICT¹) と超臨場感コミュニケーション産学官フォーラム (URCF²) は、ABC と協力し「7.22 皆既日食超高精細全天映像ライブ伝送上映一般公開実験【神秘の皆既日食 from 奄美】」イベントを、大阪・ABC ホールで行った [22][23][24]。この実験では、奄美大島から魚眼レンズ付きの 4K カメラによって撮影された全天映像を、IP ネットワーク網を使用して ABC まで伝送

¹National Institute of Information and Communications Technology

²Ultra-Realistic Communications Forum

し、ABC ホールに設置されたデジタルプラネタリウムで上映するというものであり、世界初の試みである。

実際にこの公開実験で使用された映像は、URCF が主体となって撮影した奄美大島の全天 4K 映像および HDTV 映像だけではなく、慶應義塾大学の協力による中国 2 ヶ所 (武漢, 上海) の HDTV 映像, 国立天文台 (NAOJ³), 日本放送協会 (NHK), NICT, 宇宙航空研究開発機構 (JAXA⁴) の協力による硫黄島の HDTV 映像であり, 計 4 映像になる。これらの撮影ポイントから ABC まで映像を伝送するにあたり, 実際に使用できるネットワーク帯域の都合上, 4K 映像は JPEG 2000 形式で, HDTV 映像は H.264 形式で圧縮した上で伝送を行なった。撮影ポイントと映像の種類, 圧縮形式, 撮影組織について表 3.4 に示す。

表 3.4 撮影ポイント (皆既日食)

撮影ポイント	映像 (圧縮形式)	撮影組織
中国 (武漢, 上海)	HDTV (H.264)	慶應義塾大学
奄美大島	4K (JPEG 2000) & HDTV (H.264)	URCF, NICT
硫黄島	HDTV (H.264)	NAOJ, NHK, NICT, JAXA

一旦 ABC に集約された映像は, 様々なイベント会場にリアルタイムで再伝送され, 皆既日食映像の上映を行った。再伝送された会場は, NAIST, けいはんなプラザ, つくばエキスポセンター, 慶應義塾大学, 大阪市立科学館である。ABC から各会場に映像を伝送するにあたり, NAIST への 4K 映像と HDTV 映像, 慶應義塾大学への HDTV 映像の 2 会場への伝送を非圧縮で行なったのを除き, その他の会場への伝送は, 実際に使用できるネットワーク帯域の都合上, 4K 映像は JPEG 2000 形式で, HDTV 映像は H.264 形式での圧縮した上で伝送を行なった。ただし, ABC と川を挟んで対岸に位置する大阪市立科学館への伝送は, NTT が現在開発中である「120 GHz 帯ミリ波無線伝送システム」を使用し非圧縮で行なった。この伝送技術は, 商用で未利用な 120GHz 帯を用いた最大 10Gbps のデータ伝送が可能な無線伝送技術である。再伝送会場と映像の種類, 圧縮形式について表 3.5 に示す。

³National Astronomical Observatory of Japan

⁴Japan Aerospace Exploration Agency

表 3.5 再伝送会場 (皆既日食)

再伝送会場	映像 (伝送形式)
NAIST	4K (非圧縮) & HDTV (非圧縮)
けいはんなプラザ	4K (JPEG 2000) & HDTV (H.264)
つくばエキスポセンター	4K (JPEG 2000) & HDTV (H.264)
慶應義塾大学	HDTV (非圧縮)
大阪市立科学館	4K (非圧縮) & HDTV (非圧縮)

大阪市立科学館へは、NTT「120 GHz 帯ミリ波無線伝送システム」を使用

ABC から再伝送される 4K 映像は、URCF より提供される奄美大島からの全天 4K 映像 1 系統のみである。中国 (武漢, 上海) 2 ヶ所と硫黄島からの HDTV 映像は慶應義塾大学で映像の選択を行なった後、ABC に伝送された。URCF より提供された奄美大島の HDTV 映像は、直接 ABC に伝送された。これら 2 系統の HDTV 映像は、ABC で映像の選択を行った。映像の選択は、皆既日食が地球上を西から東に移動する状況と現地の天候を考慮しながら行われた。

映像データを伝送するにあたり、伝送に必要な帯域を各組織ごとに把握し、実際に使用されるネットワーク帯域を超えることがないように厳密にネットワーク利用率の計画を行う必要がある。皆既日食時には、筆者らの ABC を中心としたプロジェクト以外にも様々な組織がネットワークを使用すると考えられ、全ての組織が使用する帯域を把握し利用率の管理を行う必要がある。従来から行われていた管理方法では、トポロジーの変更などの経路変更が発生すると、関係するネットワークについて再度帯域の計算を行う必要があり、非常に煩雑な作業になっていた。しかし、今回行った管理方法では、“帯域計算シート”と題して表計算ソフトを使用して管理を行い、簡単な入力で自動的に帯域の利用率の再計算を行うことが可能になった [25]。

各撮影ポイントから ABC への映像伝送経路、ABC から再伝送ポイントへの映像伝送経路のネットワークトポロジーを、使用したネットワーク帯域と共に 図 3.5 に示す。また、ABC 内に設置された映像伝送機器を 図 3.6 に示す。

NAIST では ABC との共同研究の一環として、今まで非圧縮 4K 映像の伝送

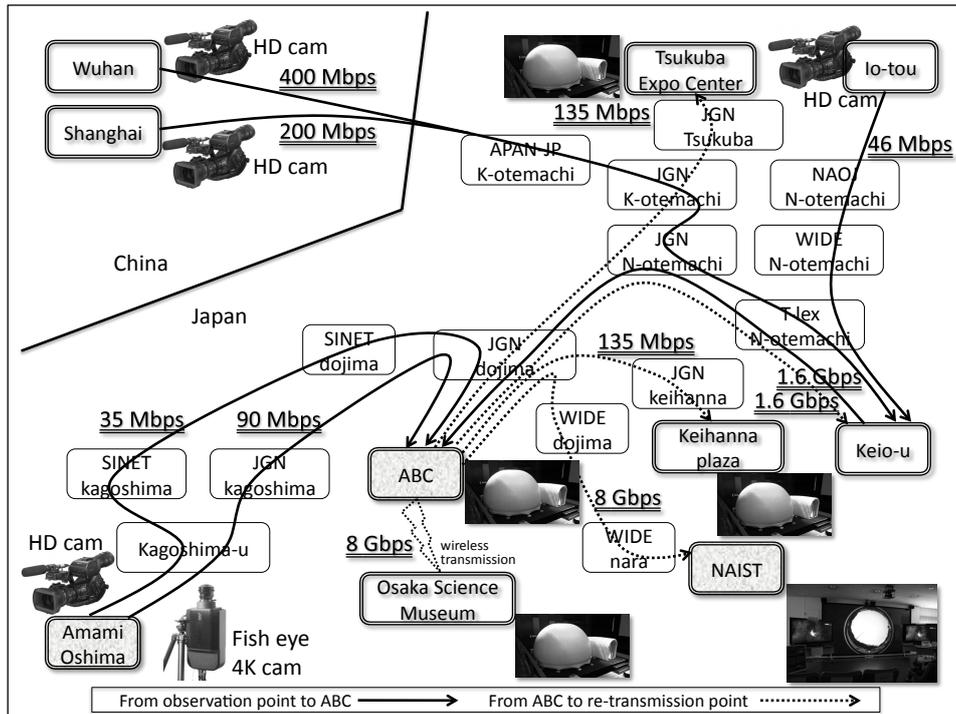


図 3.5 皆既日食時 全体ネットワークトポロジー



図 3.6 皆既日食時 映像伝送機器 (ABC)

実験を行ってきており、この皆既日食イベントにおいても参加協力を行いながら、独自の VLAN 技術を利用しないインターネットを使用した伝送実験を行った。加えて、前述の ABC ホールでの「7.22 皆既日食超高精細全天映像ライブ伝送上映一般公開実験【神秘の皆既日食 from 奄美】」イベント時において、この公開実験全体の技術解説も行った [26][27][28]。

全天 4K 映像の撮影

HDTV 映像で使用した皆既日食の映像は、これまでの一般的な撮影方法である太陽全体を撮影する全景映像や、太陽の一部を拡大して撮影する拡大景映像を使用した。4K 映像では太陽の全景や拡大景の映像を用いるのではなく、没入感を得るための撮影方法として、全天を撮影した映像を使用した。この全天映像とは、魚眼レンズを用いて空の部分の半球全てを一つの映像で撮影することを指し、この映像を用いることでより一層の没入感が得られることが期待されると考えられる。



図 3.7 全天 4K 映像 (実験前日の準備時)

図 3.7 に示すように、魚眼レンズを用いた全天の映像は円で表されることになり、有効画素数は画像の短辺の画素数に依存する。例えば、HDTV 映像で撮影した場合、直径が 1080 pixels の円で表されることになり、太陽の見かけの角度が 0.5 度であることを考慮すると、太陽の直径は 3 pixels で表現され十分な解像度が得られるとは言いがたい。HDTV 映像より高精細な 4K 解像度の場合、直径が 2160 pixels の円で表すことができるようになり、太陽の直径は 6 pixels で表現され最低限の解像度が確保できると考えられる [29][30]。

実際の撮影には、日本ビクターが和歌山大学と共同で新開発した 190 度魚眼レンズと、日本ビクター社製の 4K カメラ「4K2K 60P 単板カメラ」を使用し、奄美大島の北部にある屋仁小学校に撮影場所の提供と映像機器設置の協力をいただき、撮影が行われた [31]。なお、最近ではデジタルプラネタリウムにおいても 4K 解像度の映像を使用しており、大阪・ABC ホールで使用した機器はコニカミノルタプラネタリウム社製の「Super Media Globe II」で、構造的には日本ビクター社製の 4K プロジェクタに魚眼レンズを装着するという手法が取られている [32]。

皆既日食時の NAIST 4K 環境

前述のとおり、NAIST では情報科学研究科棟 1 階のロビーの壁面に、対角 200 インチの埋め込みスクリーンがあり、4K 映像を映し出すことが可能になっている。残念ながらドーム型のスクリーンは所有しておらず、今回の皆既日食の映像は平面スクリーンに映し出すことになった。

図 3.8 に NAIST での皆既日食ライブ中継実験の様子を示す。中央のスクリーンに全天 4K 映像を表示し、左側の 65 インチ液晶ディスプレイに HDTV 映像を表示した。右側の 65 インチ液晶ディスプレイには、伝送経路変更実験での疑似実験を行うため、テレビ会議システムを使用して HDTV 映像と同一の映像の伝送を行なった。左右の映像比較としては、皆既日食の映像が動きの少ないものだったため、テレビ会議システムでも比較的安定して映像の視聴ができたが、太陽の前を雲が流れるような動きのある映像の場合には圧縮時のノイズが目立ち、HDTV 映像と対照的な映像を表示する結果になった。



図 3.8 皆既日食ライブ中継実験の様子

皆既日食イベントとしては、視聴者として学内構成員である学生と教職員参加の下で行われ、ピーク時で約 250 人の参加があり、全体では約 400 人以上の人が参加し映像を視聴した。

考察

この実証実験では、あえて VLAN の設定を施さず通常の Layer 3 の経路制御に従ったインターネットを使用するという方針で非圧縮 4K 映像の伝送実験を行った。この実験を成功させるためには、まず、実際に使用する伝送経路に対して、公表されている帯域と実際のネットワーク機器への調査を行い、映像データの伝送が可能であるという調査結果を得た上で行う必要があった。事前調査のもとでの実験ではあったが、皆既日食実験時と長距離実験時の双方で、伝送された非圧縮 4K 映像が少しの途切れや乱れも確認すること無しに実験を終えることができ、この伝送方法での有効性を示すことができた。

また、伝送経路の動的な変更は、一度も起こらず、常に安定した映像伝送を行うことができた。実際の伝送経路の動的な変更は、経路障害等の事故が発生しない限り短期間で起こることはないと考えられる。

結果として VLAN 設定を施さずに非圧縮 4K 映像伝送の実証実験を成功させることができ、提案手法の有効性を実験で裏付けることができた。

3.1.2 Layer 3・非圧縮・優先破棄 (皆既日食ライブ中継)

「3.1.1 Layer 3・非圧縮」の「NAIST 皆既日食ライブ中継」イベント開催中に輻輳時の映像データ優先破棄の実験を行なった。この実験は、意図的に経路変化を起こし、非圧縮 4K 映像データが通過するには狭すぎる帯域を通るようにした。映像データが原因でネットワークに輻輳を発生させたとき、優先破棄の設定を施した映像データが必要に応じて効率よく破棄され、一般データに影響を及ぼさないかの検証実験ある。

実験内容

Layer 3 のネットワークを使用するにあたり、動的に経路が変化することを考慮しておく必要がある。一般的に経路変更が起こるのは、ネットワーク障害時に迂回ルートが設定されるか、ネットワークが拡充され経路改善のために変更が起こると考えられる。

NAIST 内の冗長化されたネットワークの一部分を意図的に切断し、伝送経路の変更実験を行なった。この実験の伝送トポロジーを図 3.9 に示す。本実験の目的は、Layer 3 での経路制御を用いた場合に発生する経路変更の擬似実験を行い、映像データの伝送に十分な帯域を確保できないときに、他の通信データに悪影響を及ぼさないかを検証することにある。

NAIST のイングレスルータ (図中記号 A) で、非圧縮 4K 映像データと HDTV 映像データの IP パケットヘッダの ToS (Type of Service) フィールドに優先破棄を設定することでトラフィックのクラス分けを行い、以降のルータで必要に応じてパケットの優先破棄処理が行われることを期待する。

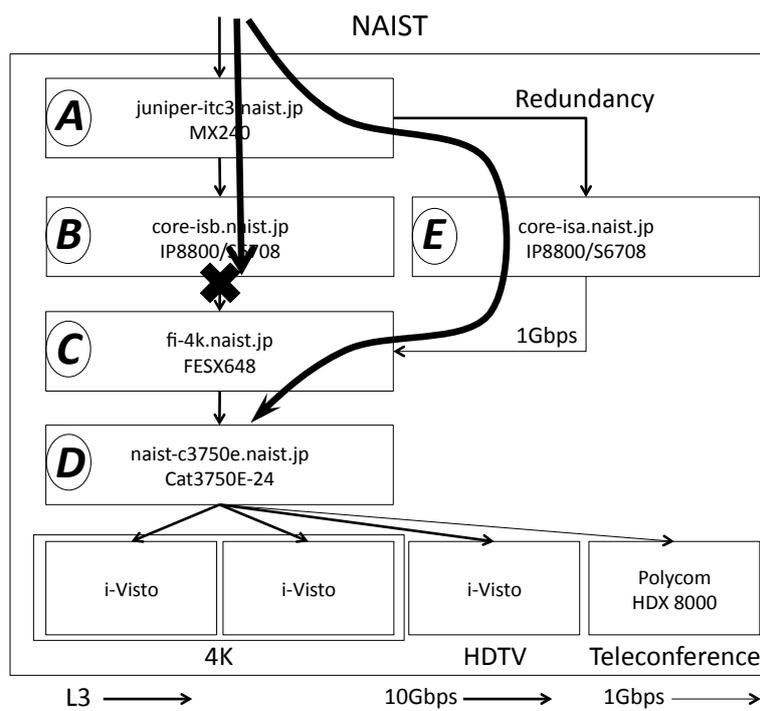


図 3.9 優先破棄 実験 のトポロジー

優先破棄の設定内容

インGRESSルータ NAIST のインGRESSルータ (図中記号 A) において以下の設定を施し、ToS フィールドへの優先破棄の設定を行なった。

図中記号 A (juniper-itc3 (Juniper MX240))

```
term accept-4k-ivisto-stream {
  from {
    source-address {
      xxx.xxx.xxx.xxx/27;           ABC の i-Visto 群
    }
    destination-address {
      yyy.yyy.yyy.yyy/24;         NAIST の i-Visto 群
    }
    protocol udp;                 UDP の場合
  }
  then {
    count accept-4k-ivisto-stream;
    loss-priority high;           廃棄の優先度を上げる
    forwarding-class assured-forwarding;
    accept;
  }
}
rewrite-rules {
  dscp dscp-best-effort {
    forwarding-class assured-forwarding
    loss-priority low code-point be;
    loss-priority high code-point be;
  }
}
}
```

送信した IP アドレスと受信する IP アドレス、かつ、UDP を使用している場合には、廃棄の優先度を上げる意味で `loss-priority high;` の設定を行なっている。この設定を行うことで、i-Visto からの映像データパケットの ToS フィールドに優先的に破棄するための QoS 制御の設定を施したことになる。

輻輳想定ルータ 輻輳が起これると想定されるルータ (図中記号 E) において以下の設定を施し、ToS フィールドを用いた QoS 制御を有効にするための設定を行なった。

```

ip qos-flow-list mandara-qos
 20 qos ip host xxx.xxx.xxx.aaa any action dscp-map      ABC の i-Visto No.1
 30 qos ip host xxx.xxx.xxx.bbb any action dscp-map      ABC の i-Visto No.2
 40 qos ip host xxx.xxx.xxx.ccc any action dscp-map      ABC の i-Visto No.3
 50 qos ip host xxx.xxx.xxx.ddd any action dscp-map      ABC の i-Visto No.4
 60 qos ip host xxx.xxx.xxx.ddd any action dscp-map      ABC の i-Visto (HDTV 用)

!

interface vlan zzz
 ip address yyy.yyy.yyy.aaa 255.255.255.252
 ip mtu 9000
 ip qos-flow-group mandara-qos in layer3-forwarding      上で定義した action を設定
 ip ospf cost 10
!

```

送信した IP アドレスが ABC の i-Visto とマッチした場合に dscp-map 動作を行うことを定義し、そのリストを入力インターフェースに対して有効になるように設定を施したことになる。dscp-map 動作の定義は、QoS 制御を行うための明示的な宣言をしたことになる。

結果

変更実験は、午前中に行われた皆既日食のライブ映像の伝送が終了し、ABC からの録画映像の伝送を行っていた時の 14:30-15:00 の間に実施した。皆既日食時の通常経路は図中記号の $A \Rightarrow B \Rightarrow C \Rightarrow D$ を通る経路で、10 Gbps の帯域での伝送が可能であった。伝送経路の変更のため、図中記号 B の図中記号 C 向きインターフェースのシャットダウンを行い、 $B \Rightarrow C$ 間の経路を遮断した。トポロジーの変更に伴い OSPF コスト値の再計算が行われた後、新しく決定された経路は $A \Rightarrow E \Rightarrow C \Rightarrow D$ を通ることになった。この場合、 $E \Rightarrow C$ 間においてネットワーク帯域が 1 Gbps に制限されるため、4K 映像および HDTV 映像のデータは正常に伝送することができなくなった。実際の映像では、 $B \Rightarrow C$ 間の経路を遮断した時点ですべての映像が途切れたが、新しい経路の決定後、テレビ会議システムの映像のみが無事に映しだされ、それ以降も安定して正常に映り続けた。

図中記号 E を確認したところ、帯域の最大量である 1 Gbps のトラフィックが流れていたこと、および、パケット破棄数がカウントアップしていることが確認

でき、この状況下でもテレビ会議システムの映像データが正常に流れ続けていたことになる。また、前述の図3.4に示されるとおり、本実験中においても NAIST には 8 Gbps のトラフィックが流れ続けていたことが分かる。

通信断が発生した時間を測定するため図中記号 D への疎通を測定した結果、通信断は 2.6 秒間であったことが分かり、新しい経路の決定が短時間で行われたことが確認できた。また、経路遮断を解除することで、46 秒間の OSPF コスト値の再計算後に通常経路に復帰することが分かり、10 Gbps の帯域での伝送が可能になったことも確認できた。この経路復帰に伴うパケットの欠落は発生していない。

考察

Layer 3 での動的な経路変更が起こり、映像データの伝送に十分な帯域を確保できないときを想定し、他の通信データに対して悪影響を及ぼさないようにするという目的で、映像データの packets を必要に応じて優先的に破棄するという実験を行なった。実験では、輻輳状態になったにもかかわらず、一般データに見立てたテレビ会議システムのデータには影響が及ばず、安定して正常に映し出していたことを確認した。このことにより、8 Gbps の大量のトラフィックが 1 Gbps の帯域に流入したとしても、無事に一般データが守られたことが検証実験の結果より得られた。ToS フィールドを用いた QoS 制御を行うことで、L3 環境での動的な経路変化による輻輳に対して有効な手法であることを証明することができた。

また、この実験を通して、経路障害発生時の迂回や経路増強時の経路改善変更などの動的な経路制御の動作を確認することができ、Layer 3 の経路制御が有効に働くことを期待する結果も得ることができた。

3.1.3 Layer 3・非圧縮・長距離

「3.1.1 Layer 3・非圧縮」の実験で、Layer 3 環境での非圧縮 4K 映像伝送の有効性を示すことができたが、大阪から奈良という物理的に近距離の実験であったため、より遠距離から検証と言う意味で追加の伝送実験を行なった。ABC からの映像データを VLAN によって東京まで一旦持って行き、そこから Layer 3 の経

路制御に従って奈良まで伝送するという実験を行なった。伝送の距離以外、「3.1.1 Layer 3・非圧縮」で行った条件に変更はない。

実験内容

本実験では、東京まで強制的に映像データを持っていくために、ABC から VLAN 設定を “JGN2plus Dojima”, “WIDE Dojima” を経由して “WIDE Otemachi” まで延長し、この “WIDE Otemachi” から NAIST までを通常の経路制御に従ったインターネット伝送として実験を行った。

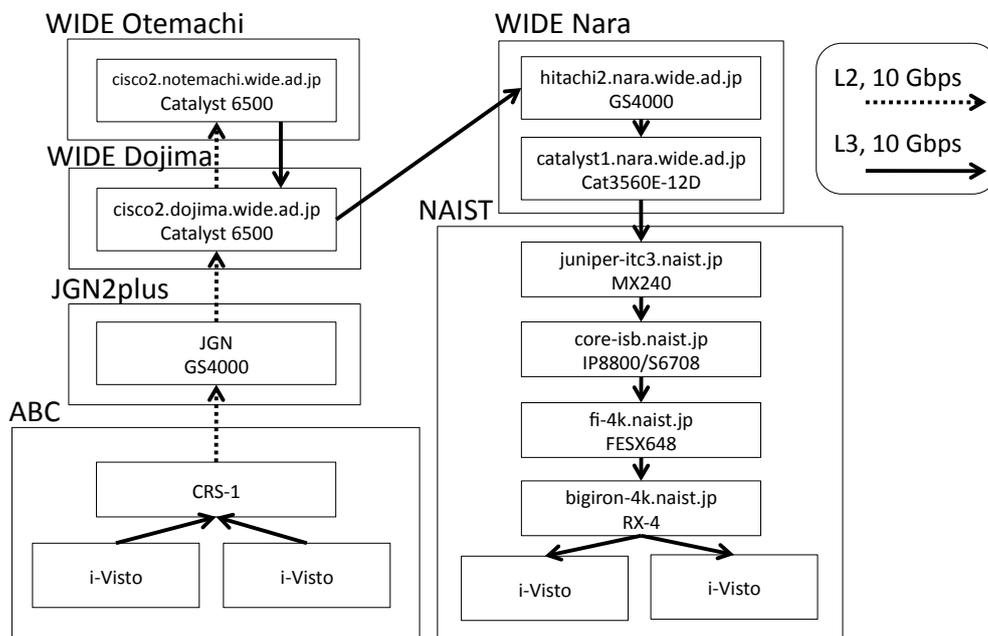


図 3.10 Layer 3・非圧縮・長距離 実験 の伝送トポロジー

ABC から NAIST への映像データ伝送トポロジーを図 3.10 に示す。この図に示されるとおり、東京から NAIST への通信は、まず “WIDE Otemachi”, “WIDE Dojima”, “WIDE Nara” を経由して NAIST に到達している。

結果

実験中に、大学の対外接続用ネットワーク機器でネットワークトラフィックの計測を行った。図 3.11 に、横軸に時間、縦軸にトラフィック量を表すグラフを示す。

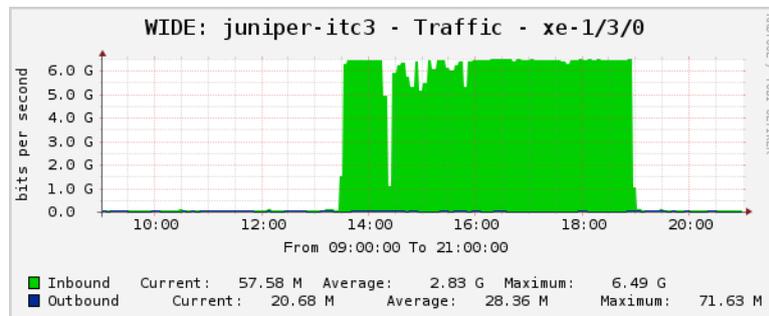


図 3.11 Layer 3・非圧縮・長距離 実験 のトラフィック量

実験は、16:30–18:30 の間に行われた。実験の前後にもトラフィックが観測されるが、映像機器のテストを行っていたもので、実験は行われていない。実験中、途切れることもなく 6.4 Gbps のトラフィックが正常に流れ続けていたことが示されている。また、伝送された映像も体感される途切れや乱れが一切なく正常に表示することができた。非圧縮 HDTV 伝送装置のステータスやログの確認も行ったが、4 枚の映像の乱れやパケットロスについて一切確認することなく実験は成功した。

考察

「3.1.1 Layer 3・非圧縮」の実験で、VLAN 設定を施さずに非圧縮 4K 映像伝送の実証実験を成功させ、提案手法の有効性を裏付けることができたが、今回の実験で、より長距離からの実証実験を成功させることができ、提案手法の有効性をより確実に裏付けることができた。

また、本実験においても Layer 3 の経路制御を使用して映像伝送を行なったが、Layer 3 の問題点の一つである伝送経路の変更については、実験中に一度も起こ

らなかった。

3.2. VLAN 比較実験

3.2.1 VLAN・非圧縮 (NAIST サイエンスフェスティバル)

VLAN 設定を施し非圧縮 4K 映像を伝送する実験として、「NAIST サイエンスフェスティバル 超高精細映像伝送実験」イベント開催時に公開実験として行った。この実験は、NAIST で行う初めての 4K 映像伝送実験という位置付けで、「3.1.1 Layer 3・非圧縮」で行われる重要な実験の事前実験となる。

実験内容

NAIST において、大学生、社会人、高校生、一般市民を対象とする「NAIST サイエンスフェスティバル」が催され、そこで 4K 映像の公開伝送実験を行なった。伝送したデータは非圧縮の 4K 映像を使用し、VLAN の設定を施された ABC と NAIST の間で伝送実験を行った。

ABC から NAIST への映像データ伝送トポロジーを図 3.12 に示す。ABC から NAIST への通信は、まず “JGN2plus Dojima”, “WIDE Dojima”, “WIDE Nara” を経由して NAIST に到達しており、「3.1.1 Layer 3・非圧縮」の経路と同様の経路を使用していたことが分かる。

ABC から NAIST までの全てのルータに統一した VLAN ID の設定を施し、ABC と NAIST 共に同じネットワークセグメントとして設定を行うことができた。実験のための全ての機器の IP アドレスが、同一セグメントとして運用することが可能であった。設定を施したルータは、図 3.12 から分かるとおり、6 台であった。設定に関連した組織は、ABC と JGN2plus と WIDE Project の 3 つの組織で連携して行なった。

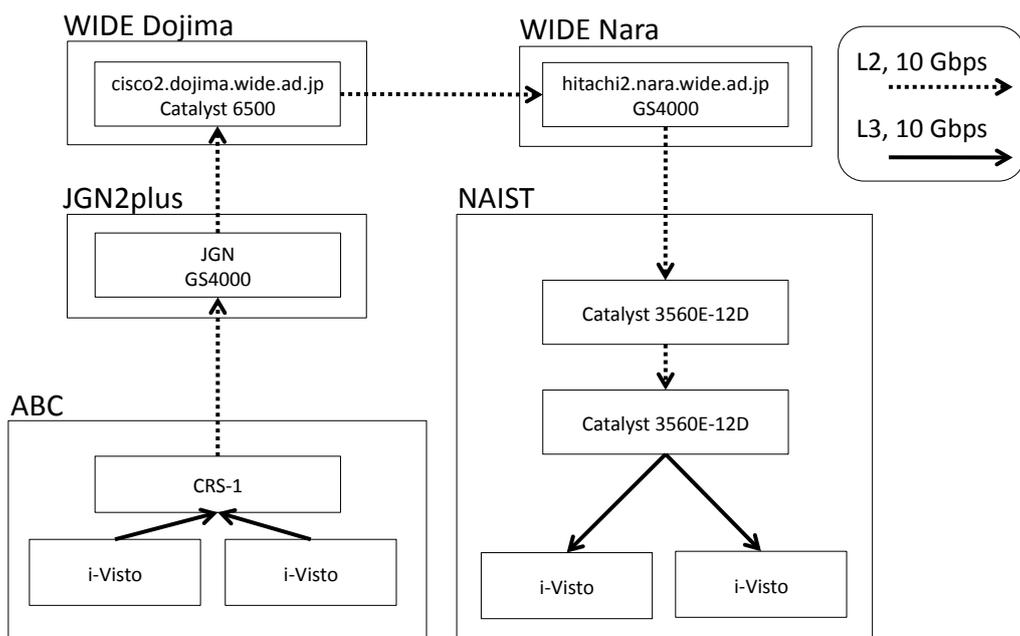


図 3.12 VLAN・非圧縮実験の伝送トポロジー

結果

実験中に、大学の対外接続ネットワーク機器でトラフィックの計測を行った。図 3.13 に、横軸に時間、縦軸にトラフィック量を表すグラフを示す。この実験では、

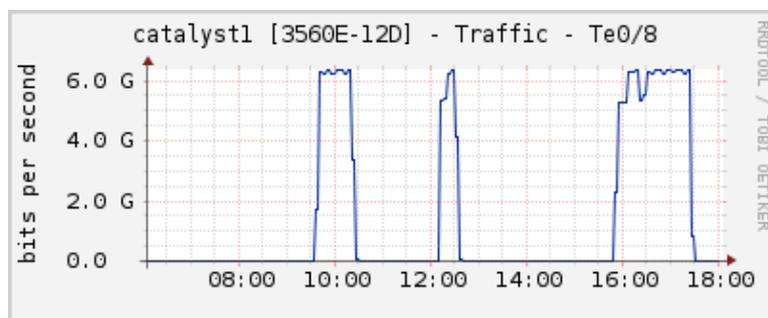


図 3.13 VLAN・非圧縮 実験 のトラフィック量

10:00 と 16:30 から各 10 分間ずつ行われた。12:30 付近と 16:15 付近にもトラフィックが観測されるが、映像機器のテストを行っていたもので、実験は行われていない。実験中、途切れることもなく 6.4 Gbps のトラフィックが正常に流れ続けていたことが示されている。また、伝送された映像も体感される途切れや乱れが一切なく正常に表示することができた。非圧縮 HDTV 伝送装置のステータスやログの確認も行なったが、4 枚の映像の乱れやパケットロスについて一切確認することなく、実験は成功した。

伝送されたコンテンツは、ABC が作成した「ABC ボストン中継 メイキング」(ハイビジョン映像)と「さっぽろ雪まつり」(4K 映像)で、NAIST の 4K スクリーンに映像の乱れもなく映すことができた。

考察

VLAN 設定を使用することで、非圧縮 4K 映像を問題なく伝送することができた。ただし、VLAN 環境を構築ために、6 台のルータの設定と 3 つの組織の連携が行われた。伝送を行う距離が長距離になれば、設定するルータ数と連携する組織が増えていくとみられる。VLAN 設定は比較的確実な伝送方法であると考え

ことができるが、実験を行なった 2009 年 3 月時点での非圧縮 4K 映像の伝送は画期的なことであったと考えられる。また、NAIST としての初めて 4K 映像伝送の実験を成功させることになった。

3.2.2 VLAN・圧縮 (第 22 回 東京国際映画祭 ライブ中継)

東京 六本木ヒルズ周辺で行われた「第 22 回 東京国際映画祭 (TIFF)」のライブ中継を公開実験として行った。このライブ中継で用いた伝送方法は、4K 映像の伝送を行う上で最も確実な方法である、VLAN 設定を施したネットワーク上に JPEG 2000 圧縮を行なった 4K 映像データを伝送する実験である。実際には、VLAN 設定を行う必要はあったが、あとは機器を設置するだけの作業で実験の準備を行うことができた。圧縮した 4K 映像を用いたので実験に必要なネットワーク帯域は 400 Mbps 程度で済み、1 Gbps の帯域があれば問題なく伝送を行えることができる。実際に流した映像データは 300–500 Mbps の範囲であり、かつ、VLAN 設定を使用することで、比較的、確実に伝送できる実験であったと考えられる。実際に多方面で行われている 4K 映像の伝送は、この方法での実験である。

実験内容

第 22 回 東京国際映画祭 は、2009 年 10 月 17 日から 25 日までの 9 日間、東京・六本木ヒルズ周辺で、アジア最大の映画の祭典として開催された。実際に実験を行なったのは、映画祭初日 (10/17) の表 3.6 に示した時間帯である。

表 3.6 実験時間 (東京国際映画祭)

時間	イベント名	場所	映像
16:00 – 17:30	Green Carpet	六本木けやき坂通り	HD
17:30 – 18:30	Opening	六本木ヒルズアリーナ	4K

六本木で撮影された 4K 映像は、一旦、NTT 武蔵野研究センタに JPEG 2000 圧縮 4K 映像として伝送され、NTT が開発した「Flexcast」というストリーム

データをコピーしながら分岐配信する装置を用いて、NAIST、東京都市大学、および、映画館である梅田ブルク7に伝送され視聴された。梅田ブルク7はHDにダウンコンバートされた映像であったが、その他の2大学には4K映像を伝送した。今回の実験では圧縮4K映像を使用する目的のため、NTTが開発した前述の「JPEG 2000 リアルタイムコーデック」を使用した。

考察

JPEG 2000 圧縮 4K 映像を VLAN 設定を施し伝送実験を行った。図 3.14 に実験時の様子を示す。実験中、伝送された映像に体感される途切れや乱れが一切なく正常に表示することができた。JPEG 2000 の映像は非圧縮での映像と比べて遜色なく、圧縮率を考えて使用する限り、実用に耐えうると思われた。



図 3.14 第 22 回 東京国際映画祭 の様子

また、圧縮された 4K 映像であったため、伝送に必要とされるネットワーク帯域は 300–500 Mbps となり、1 Gbps の帯域があれば問題なく伝送可能だと思われる。加えて、VLAN 設定も行っていたので、非常に安定した実験を行うことができた。

3.3. 分割伝送実験

3.3.1 VLAN・非圧縮 (4K “田の字” 分割伝送実験)

非圧縮 4K 映像の伝送を行うには、4 つの HD 映像の伝送を行う必要がある。この 4 つの HD 映像を別々のサーバから入手し、合成して出力することで 4K 映像が映し出されると期待できる。別々のサーバから映像データを入手することで負荷を分散させることが可能になり、個々のサーバの負荷や経路になるネットワーク帯域を軽減できる可能性がある。

実験内容

本実験では 2 地点にサーバを用意し、2 つのサーバからの一斉伝送や、伝送に遅延を発生させて伝送するなどの実験を行なった。実験で使用した伝送元は、ABC と NTT 武蔵野研究センターの 2 地点である。実験の都合上、ABC から NAIST への通信、NTT から NAIST への通信、共に VLAN の設定を施した。

両伝送元にはあらかじめ同じデータを置いておき、4 枚のハイビジョン映像を 2 拠点から様々な組み合わせで伝送させた。

結果

代表的な結果を図 3.15 に示す。配信元への RTT の値は、常に安定した値で、平均して ABC までが 1ms、NTT までが 10 ms であった。このことより、NTT の方が RTT 的には 9ms 遠いことになる。

- 実験番号 1-2 については、ABC から 4 枚、または、NTT から 4 枚の伝送であり、今までの結果通り無事に 4 枚を表示することができた。
- 実験番号 3-5 については、ABC から 2 枚、NTT から 2 枚の伝送であり、9 ms の RTT の差を吸収する形で 4 枚を表示することができた。

Sample	ABC #1-1	ABC #1-2	ABC #2-1	ABC #2-2	NTT #1-1	NTT #1-2	NTT #2-1	NTT #2-2	結果
1	#1	#2	#3	#4					○
2					#1	#2	#3	#4	○
3	#1	#2			#3	#4			○
4	#3	#4					#1	#2	○
5	#1		#2		#3		#4		○
6	#1 +10ms	#2 +10ms					#3	#4	○
7	#1 +100ms	#2 +100ms					#3	#4	○
8	#1 +200ms	#2 +200ms					#3	#4	△ 7sec 要
9	#1 +300ms	#2 +300ms					#3	#4	X 不安定
10	#1	#2					#3 +200ms	#4 +200ms	△ 7sec 要

図 3.15 分割伝送実験の結果

- 実験番号 6 については、基本は実験番号 4 の ABC から 2 枚、NTT から 2 枚の伝送であるが、ABC への伝送要求を 10 ms 遅延させる実験を行なった。ABC 側の伝送を 10 ms 遅らせたことで、擬似的に ABC と NTT の距離が RTT 的に等しくなったと考えられる。結果的には、何も問題なく、4 枚の表示を行うことができた。
- 実験番号 7-9 については、実験番号 6 で行った遅延時間の設定を 100 ms, 200ms, 300ms と増加させて実験を行なった。増加させることで、ABC が擬似的に遠ざかることになる。

結果は、100 ms の遅延では問題なく表示を行ったが、200 ms の遅延を与えると 4 枚の映像の同期が取れないまま表示され、同期処理を完了させるのに 7 秒の時間を要した。その後は問題なく表示し続けることができた。

300 ms の遅延を与えたときは、4 枚の映像の同期が取れないまま表示を続け、同期処理を完了することは無かった。

- 実験番号 10 については、遅延を与える配信先を ABC から NTT に変更し遅延の時間を 200 ms として実験したものである。結果は、実験番号 8 と同じ結果が得られ、同期処理に 7 秒の時間を要することになり、その後は問題なく表示し続けることができた。

200 ms まで遅延の場合、同期処理に 7 秒の時間が必要なものの、それ以降、4 枚の映像が正常に表示することが分かった。また、300 ms の遅延では同期の修正を完了できないことが分かった。

考察

複数の配信元から映像を伝送させても、200 ms の遅延以下なら正常に表示することが可能であることが分かった。この結果、将来的に、ネットワーク的に近い距離から優先的に映像データを入手し、それが遅延時間 200 ms 以内で実行することが可能であれば、分散環境からのデータ収集が可能になると考えられる。これにより、非圧縮 4K 映像のデータアーカイブの方法として、分散蓄積させることが有効な手法であると考えられることができる。

また、この実験での 4 枚の映像の同期は使用していた機器の同期の性能に依存していたが、配信元に適度な遅延を起こさせることで、4 枚の映像の同期を能動的に合わせることができると考えられる。現在の状況をモニタし、遅延の値を自動的に抽出し配信元に伝えることで、より同期が合わせやすくなると考えられる。

3.4. まとめ

Layer 3 環境に非圧縮 4K 映像が伝送可能であるかの可能性を探るため、様々な検証実験を行なった。「3.1.1 Layer 3・非圧縮 (皆既日食ライブ中継)」の実験と「3.1.2 Layer 3・非圧縮・長距離」の実験により、非圧縮 4K 映像を VLAN 設定なしに伝送させるという実験を成功させた。このことは、いままでの VLAN 設定が必ず必要であるという概念を再検討させるものであり、有意義な結果が得られたものと言える。将来の急速なネットワーク帯域拡大により、現在より広範囲にわたり容易で安定した 4K 映像伝送を行うことが期待できる結果となった。

また、「3.1.1 Layer 3・非圧縮 (皆既日食ライブ中継)」実験時に行った、ネットワークに輻輳を起こした場合の映像データの優先破棄の実験も成功させたことにより、動的な経路制御が発生したときに他ネットワークへ影響を及ぼさないという結果を得ることもできた。経路障害発生時の迂回や経路増強時の経路改善変更などの動的な経路制御の動作を確認することができ、Layer 3 の経路制御が有効に働くことを期待する結果も得ることができた。この優先破棄の技術を Layer 3 の使用と併用させることにより、インターネット的により安全な映像データ伝送が行えると期待できる結果となった。

「3.2 VLAN 比較実験」では、VLAN 環境を構築した上での実験で、4K 映像伝送は安定して行うことができた。しかし、「3.2.1 VLAN・非圧縮 (NAIST サイエンスフェスティバル)」での VLAN 環境を構築するために行なった作業として、6 台のルータの設定と 3 つの組織の連携が行われた。同じ伝送経路を使って行われた「3.1.1 Layer 3・非圧縮 (皆既日食ライブ中継)」と比較すると、環境構築のための工数が大きいことが分かった。伝送を行う距離が長距離になれば、設定するルータ数と連携する組織が増えていくとみられ、さらに工数が膨らむことと考えられる。

「3.3 分割伝送実験」においては、200 ms 以下の遅延において 4K 映像が正常に表示することが確認でき、今後の分散環境においてのデータ収集が可能になるという期待を持つ結果を得ることができた。

今回、非圧縮 4K 映像の伝送実験に NTT 社製 i-Visto を使用したが、データ遅延などの部分においては i-Visto の性能で多少の変化があると考えられる。ただし、伝送そのものについては機器の性能に依存するところはなく、実験の成功についての評価が変わることはない。また、i-Visto は非圧縮 4K 映像の伝送においてほとんどの実験で使用されており、現在の標準機として使用されているのが実情である。

第4章 考察と今後の課題

VLAN 設定を施さない通常の TCP/IP Layer 3 の経路制御に従ったインターネットを使用して非圧縮 4K 映像の伝送実験を行い、将来の伝送手法についての可能性を探った。以下に、次の 4 つの指標「4.1 Layer 3 経路制御での伝送の意義と可能性」、「4.2 パケット優先破棄処理の必要性」、「4.3 ネットワーク遅延」、「4.4 NAIST での実験の意義」を掲げ、考察を与える。最後に、今後の課題について述べる。

4.1. Layer 3 経路制御での伝送の意義と可能性

筆者らの実験では、あえて VLAN の設定を施さず通常の Layer 3 の経路制御に従ったインターネットを使用するという方針で非圧縮 4K 映像の伝送実験を行った。Layer 3 で伝送が可能になることで、VLAN 利用時に必要となる膨大な設定や工数が必要なくなることになる。また、Layer 3 での動的な経路制御の恩恵を受けることが可能になり、経路障害発生時の迂回や経路増強時の経路改善変更など、有効に働く経路制御を映像データ伝送に活用することが可能になり、とても意義のあることである。

この Layer 3 での実験を成功させるためには、まず、実際に使用する伝送経路に対して、公表されている帯域と実際のネットワーク機器への調査を行い、映像データの伝送が可能であるという調査結果を得た上で行う必要があった。事前調査のもとでの実験ではあったが、皆既日食実験時と長距離実験時の双方で、伝送された非圧縮 4K 映像が少しの途切れや乱れも確認すること無しに実験を終えることができ、この伝送方法での有効性を示すことができた。

Layer 3 伝送の一点目の問題点として挙げた伝送経路の動的な変更は、皆既日

食時および長距離実験時の二つの実験を通して一度も起こらず、常に安定した映像伝送を行うことができた。実際の伝送経路の動的な変更は、経路障害等の事故が発生しない限り短期間で起こることはないと考えられる。加えて、意図的な経路変更実験時に、経路障害発生時の迂回や経路増強時の経路改善変更などの動的な経路制御の動作を確認することができ、Layer 3 の経路制御が有効に働くことを期待する結果が得られた。

この結果を得て、医療や防災などの新しい分野への適応が期待される。突然発生する遠隔医療や災害発生時には、新たに VLAN 環境を構築する時間が無く、今回検証した Layer 3 環境を使用することで、迅速に非圧縮 4K 映像を伝送できる可能性がある。環境構築のための時間やコストがかからないため、移動しながら伝送を行う必要がある事例に対しては特に適応が期待される。また、災害発生時などでの使用においては、伝送経路に万一障害が発生しても、Layer 3 の機能である障害回避が迅速に適応され、映像をほとんど途切れもなく伝送することが可能である。

現在、行われているデジタルシネマでは、4K の映像データを配信センターから映画館に一旦コピーし、上映を行う方式をとっている。データを一旦コピーすることで、様々な場所に複製データが存在することになり、データの漏洩につながることになる。そこで、デジタルシネマの分野においても、ストリーミングの技術を利用してデータを伝送しながら上映することが可能になるとと思われる。映像データが伝送経路内の何処かで漏洩しないように、暗号化によるセキュリティを考慮する必要があるが、今回の Layer 3 環境での映像データ伝送の方式も実現可能であると考えられる。また、このストリーミング環境を構築することにより、映画館に映像データを保管する必要もなくコストの削減にもつながると考えられる。

これから先の技術にはなるが、4K 映像の先の 8K 映像や 16K 映像においても Layer 3 環境を使用して伝送することは十分可能であると考えられる。映像データの伝送に必要な帯域が増加することにはなるが、実際のネットワーク伝送帯域が確保できるのであれば Layer 3 環境で対応可能であると考えられる。映像伝送時に、伝送のための一つのネットワークパスが自動的に複数のパスに置き換えら

れ、様々な経路を使用してデータを伝送する手法が活用できた場合、実際のネットワーク伝送帯域にこだわらずに伝送が行えるようになると考えられる。

4.2. パケット優先破棄処理の必要性

Layer 3 での動的な経路変更が起こり、映像データの伝送に十分な帯域を確保できないときを想定し、他の通信データに対して悪影響を及ぼさないようにするという目的で、映像データの packets を必要に応じて優先的に破棄するという実験を行なった。非圧縮 4K 映像の膨大なデータが他のネットワークに流入し、伝送可能な帯域すべてを使い果たしたにもかかわらず、該当ルータで安定して優先破棄の処理が行われ、一般データに見立てたテレビ会議システムのデータには影響が及ばず、安定して正常に映し出していたことを確認することができた。

Layer 3 環境での伝送を行うとき、動的な経路変化による輻輳の可能性について考慮し、優先破棄の設定は、映像データの伝送を行うときは必ず必要であると考えられる。また、各パケットの TCP/IP ヘッダ内の ToS フィールドへの優先破棄設定は、本実験で行った NAIST のインGRES ルータなどで行うのではなく、パケット作成時に行うのが効率的で現実的であると考えられる。

4.3. ネットワーク遅延

表 4.1 に、皆既日食実験時の映像データ伝送の有無、長距離実験時の映像データ伝送の有無の 4 つの場合においての、非圧縮 HDTV 伝送装置間の平均した往復遅延時間 (RTT) とその標準偏差について示す。表の数値は、ping コマンドを 0.1 秒間隔で 600 回行ったものを一定間隔で繰り返し、その平均値を求めたものである。

RTT の結果から、皆既日食時のデータ伝送中は伝送を行っていない時に比べ 0.032 ms、長距離実験時には 0.440 ms 遅延が増加したことがわかった。また、標準偏差の結果から、皆既日食時ではデータ伝送の有無でもほとんど変化が無く、長距離実験時でも RTT の値から比較すれば、ほとんど変化が無いと考えられ、

表 4.1 往復遅延時間 (Layer 3・非圧縮)

実験時期	平均 RTT	標準偏差	パケットロス
皆既日食 (4K 伝送中 (8 Gbps))	1.204 ms	0.080 ms	無し
皆既日食 (伝送無し)	1.172 ms	0.082 ms	無し
長距離実験 (4K 伝送中 (6.4 Gbps))	19.118 ms	0.198 ms	無し
長距離実験 (伝送無し)	18.678 ms	0.176 ms	無し

パケットの揺らぎは生じていないと判断できる。これらのことから、平均 RTT が 19.118 ms、標準偏差 0.198 ms のネットワーク環境においても、問題なく非圧縮 4K 映像の伝送を行うことができることが確認できた。

このことにより、Layer 3 伝送の二点目の問題点として挙げた、ルータの経路検索処理が特に問題にはならないことも検証された。

4.4. NAIST での実験の意義

非圧縮 4K 映像の伝送実験を行うにあたり、実験を行う環境が NAIST に存在していたからこそ可能になったと考えられる。この実験に不可欠な条件を以下に示す。

- 4K 映像を映し出すための 4K 対応のプロジェクタ装置を所持
- NAIST の IP ネットワーク対外接続の帯域が 10 Gbps

NAIST が上記の条件を満たしたことで、非圧縮 4K 映像の 6.4 Gbps ものネットワーク帯域を伝送に使用することが可能になり、かつ、伝送されてきた映像を 4K プロジェクタに直接表示することが可能になった。これら二つの条件ともクリアする環境を得ることは、実際には非常に困難なことであると考えられ、この環境から結果を得ること自体に非常に価値があると考えられる。

4.5. 今後の課題

4.5.1 Layer 3 での伝送可能性の見極め

Layer 3 での非圧縮 4K 映像が伝送可能かの判断は、実際に使用する伝送経路に対して、公表されている帯域と実際のネットワーク機器への調査を行い、可能であるという調査結果を得た上で行う必要があった。この調査で得られる結果は、非常に信頼できるもので、実際の検証実験時でも問題なく映像の伝送実験を行うことができた。この調査で実際に行うことは、想定される経路のルータに対して、インターフェースの帯域幅やトラフィックの状況、経路制御の状況についての調査を行うことになり、総合的に伝送可能かの判断を行うことになる。この調査をより簡便に行える方法を確立することにより、Layer 3 での伝送を行うことがより身近になると考えられ、その手法を確立させる必要があると考える。

4.5.2 分割伝送環境

非圧縮 4K 映像の伝送に、4 つのハイビジョン映像を別々のサーバから入手し、同時に出力することで 4K 映像が映し出されることを確認した。この別々のサーバから映像データを入手することは、個々のサーバの負荷や経路になるネットワークでの必要な帯域を軽減させる可能性があると考えられとても有効である。複数の配信元から映像を伝送させても遅延が 200 ms 以下の場合であれば正常に表示することが可能であることが分かり、ネットワーク的に近い距離から優先的に映像データを入手することで、分散環境からの映像データ収集が可能になると考えられる。そこで、この分散環境から映像データを効率的に収集するために、現状のネットワーク帯域を調査しながら最適な映像データを入手するための手法を確立させる必要があると考える。

第5章 結論

VLAN 設定を施していない TCP/IP Layer 3 の経路制御を行っているインターネットを使用し、非圧縮 4K 映像の伝送実証実験を行い成功することができた。この研究結果は、今まで必要とされていた VLAN 設定が必ずしも必要でないことを示し、将来的に通常のインターネットを使用して非圧縮 4K 映像の伝送を行うシステムが簡便に構築できる可能性を示すものである。また、経路障害発生時の迂回や経路増強時の経路改善変更など、Layer 3 での動的な経路制御の機能を映像データ伝送に活用することが可能になることを実証した。加えて、帯域輻輳時の映像データの優先破棄技術を併用させることにより、Layer 3 でも他のネットワークに影響を及ぼさない、健全な映像伝送を行うことが可能であることが確認できた。これらの結果は、医療や防災の分野など、様々な分野への普及の足掛かりになると考えられる。

将来的には世界規模でネットワーク帯域が急速に拡充すると予想され、非圧縮 4K 映像の伝送に必要な 10 Gbps 環境も整備されることになり、現在よりも広範囲にわたり容易に安定して伝送可能になることを期待させる結果を得ることができた。

謝辞

本研究は朝日放送株式会社との共同研究により各種実験を実施することが可能になり、深く感謝いたします。また、皆既日食時のイベントに於いては、朝日放送株式会社を始め、独立行政法人 情報通信研究機構、和歌山大学、超臨場感コミュニケーション産学官フォーラム、国立天文台、日本放送協会、宇宙航空研究開発機構、慶應義塾大学、WIDE Project、シスコシステムズ合同会社、日本電信電話株式会社、日本ビクター株式会社、コニカミノルタプラネタリウム株式会社の協力を受けて達成できたものであり、関係者の皆様に心より感謝いたします。

本研究は超高精細映像を IP ネットワークを使用して伝送する手法についての研究であり、多くの方から様々な視点で御指摘および御指導を賜りました。関係者の皆様に心より感謝いたします。

本研究の機会を与えていただき、研究の方針や内容について多大なる御指導と御指摘を賜りました、奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 像情報処理学講座 千原國宏 教授に深甚の謝意を表します。

本研究の議論させていただき、研究の方針や内容について御指導を賜りました、奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 像情報処理学講座 眞鍋佳嗣 准教授 に謝意を表します。

本研究の議論させていただき、研究の内容について御指導を賜りました、奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 像情報処理学講座 池田聖 助教、浦西友樹 助教、そして、像情報処理学講座の皆様に謝意を表します。

本研究の議論の機会を与えていただき、研究の方針や内容について御指導を賜りました、奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 横矢直和 教授に謝意を表します。

本研究の議論だけでなく、日々の研究活動に対して有益な御教示を賜りました、

奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 インターネット・アーキテクチャ講座 砂原秀樹 教授に心より厚くお礼申し上げます。

本研究の議論だけでなく、実験時に暖かい励ましの言葉をいただきました、奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 インターネット工学講座 山口英 教授に厚くお礼申し上げます。

本論文の作成におきまして、御厚情に満ちた御指導を賜りました、奈良先端科学技術大学院大学 インターネット・アーキテクチャ講座 藤川和利 准教授 と 猪俣敦夫 准教授 に感謝いたします。

本論文の作成につきまして、共に実験を行い御指導を賜りました、奈良先端科学技術大学院大学 インターネット・アーキテクチャ講座 垣内正年 助教 に感謝いたします。

本実験を行うにあたり、多大なる御指導と実験環境の提供を賜りました、朝日放送株式会社 香取啓志 氏、株式会社ビービーアール 貫定秀典 氏 に心から感謝いたします。

本実験を行うにあたり、実験環境の提供を賜りました、日本電信電話株式会社 丸山充 氏、君山博之 氏、石丸勝洋 氏 に心から感謝いたします。

本実験を行うにあたり、天文学の知識について御指導を賜りました、和歌山大学 観光学部 尾久土正己 教授 に心から感謝いたします。

奈良先端科学技術大学院大学 総合情報基盤センター 辻井 高弘 助手 を始め、同センター 技術職員の皆様には、多くの情報交換や日々の業務において効率良く研究を進めさせていただきました。深く感謝いたします。

最後に、研究活動に理解を示し、生活面および精神面において、継続的に支援および協力をしてくれた家族に何よりも感謝いたします。

参考文献

- [1] Digital Cinema System Specification, Digital Cinema Initiatives LLC, <http://www.dcmovies.com/DCIDigitalCinemaSystemSpecv1.2.pdf>, March 25, 2011.
- [2] 山口高弘, 藤井竜也, 野村充, 白井大介, 白川千洋, 藤井哲郎, “800 万画素 超高精細デジタルシネマ配信・上映システム”, 電子情報通信学会論文誌, D-1 Vol. J88-D-I No.2, pp.361-370, 2005.
- [3] 山口高弘, 坂野寿和, 藤井達也, 古川功: 超高精細画像表示装置を用いた 多地点病院間遠隔医療カンファレンスシステム, NTT R&D, Vol.51 No.1, pp.31-39, 2002.
- [4] 田中健二, 内藤整, 和田正裕, 松本修一, 村上仁己, 中川晋一: 超高精細映像の IP 伝送, 電子情報通信学会技術研究報告, CQ2002-76, pp.65-69, July 2002.
- [5] 低遅延の双方向高臨場感コミュニケーション環境を世界で初めて構築: NTT News Release, <http://www.ntt.co.jp/news/news09/0910/091028a.html>, 2011 年 3 月 25 日.
- [6] Daisuke Shirai, Kenji Shimizu, Yasunori Sameshima, and Hirokazu Takahashi: 6-Gbit/s Uncompressed 4K Video IP Stream Transmission and OXC Stream Switching Trial Using JGN II, NTT Technical Review, Vol. 5 No.1, pp.78-82, Jan 2007.
- [7] Thomson demonstrates 4k real-time data streaming of uncompressed digital content over ip network, <http://www.thomson.net/GlobalEnglish/>

Corporate/News/PressReleases/, March 25, 2011.

- [8] 4K 超高精細映像素材の日米欧2大洋横断リアルタイム編集配信に成功：慶應義塾大学, <http://note.dmc.keio.ac.jp/topics/archives/176>, 2011年3月25日.
- [9] 4K 超高精細映像による多地点テレビ会議の実演に成功：慶應義塾大学, <http://note.dmc.keio.ac.jp/topics/archives/540>, 2011年3月25日.
- [10] Daisuke Shirai, Tetsuo Kawano, Tatsuya Fujii, Kunitake Kaneko, Naohisa Ohta, Sadayasu Ono, Sachine Arai, and Terukazu Ogoshi, “Real time switching and streaming transmission of uncompressed 4K motion picture”, *Future Generation Computer Systems*, 25, pp.192–197, 2009.
- [11] 川野哲生, 清水健司, 小倉毅, 君山博之, 丸山充：非圧縮 HDTV over IP システムの実装と評価, 電子情報通信学会技術研究報告, IN2004–29, pp.13–18, July 2004.
- [12] 持田武明, 川野哲生： “10 ギガビットネットワークにおける非圧縮 HDTV 映像多重化伝送技術「i-Visto ゲートウェイ XG」”, *NTT 技術ジャーナル*, Vol17 no.2, pp.46–49, 2005.
- [13] 持田武明, 原田啓司, 丸山充：非圧縮 HDTV 映像多重伝送システム (i-Visto XG) の実用化, 電子情報通信学会技術研究報告, NS2005–44, pp.25–28, June 2005.
- [14] 赤藤倫久, 本田彰, 川野哲生, 八田誠治, 中山裕, 南陽, 香取啓志：IP 伝送に基づく非圧縮 HDTV 映像の放送利用の実用化, *映像情報メディア学会誌*, Vol 60, No.10, pp.1681–1688, Oct 2006.
- [15] i-Visto : NTT i-Visto, <http://www.i-visto.com/>, March 25, 2011.
- [16] 釘本健司, 小倉毅, 君山博之, 川野哲生, 清水健司, 丸山充：非圧縮 HDTV-IP 伝送におけるフィードバック制御の検討, 電子情報通信学会技術研究報告, CQ2006–37, pp.13–18, September 2006.

- [17] 白井大介, 北村匡彦, 藤井竜也 : JPEG 2000 を用いた 4K 超高精細映像ストリーミングシステム, 電子情報通信学会技術研究報告, CS2007-29, pp.43-48, October 2007.
- [18] Akira Yutani, Masatoshi Kakiuchi, Atsuo Inomata, Kazutoshi Fujikawa, Keishi Kandori, Yoshitsugu Manabe, Kunihiro Chihara : -Total Solar Eclipse- Fish-eye 4K image transmission experimentation on the Internet, ACM SIGGRAPH Asia 2009, Poster, Japan, December 2009.
- [19] Masatoshi Kakiuchi, Akira Yutani, Atsuo Inomata, Kazutoshi Fujikawa, Keishi Kandori : Uncompressed 4K2K and HD Live Transmission on Global Internet, ACM SIGGRAPH Asia 2009, Poster, Japan, December 2009.
- [20] Akira Yutani, Masatoshi Kakiuchi, Atsuo Inomata, Kazutoshi Fujikawa, Keishi Kandori, Yoshitsugu Manabe, Kunihiro Chihara : A Realization of the Total Solar Eclipse Live Transmitting with Liveliness by using 4K, International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT) 2010, No. 183, Malaysia, January 2010.
- [21] 油谷暁, 垣内正年, 藤川和利, 猪俣敦夫, 香取啓志, 眞鍋佳嗣, 千原國宏 : 非圧縮 4K 超高精細映像のためのインターネット伝送実験, 電子情報通信学会技術研究報告, IA2009-42, pp. 55-58, September 2009.
- [22] 7.22 皆既日食を 4K 超高精細全天映像でライブ伝送上映 : NICT Press Release, <http://www2.nict.go.jp/pub/whatsnew/press/h21/090612/090612-3.html>, 2011 年 3 月 25 日.
- [23] 7.22 皆既日食のライブ中継伝送に NTT の伝送技術を集結 : NTT News Release, <http://www.ntt.co.jp/news/news09/0907/090716a.html>, 2011 年 3 月 25 日.
- [24] NICT と URCF 皆既日食 4K 超高精細全天映像の伝送に成功, Cisco Systems, <http://www.cisco.com/web/JP/news/pr/2009/036.html>, 2011 年 3 月 25 日.

- [25] 山本成一, 長谷部克幸, 太田善之, 田中仁, 小林和真, 下條真司: 複数の研究開発ネットワークにて協調した大規模映像配信実験, 電子情報通信学会技術研究報告, IA2009-40, pp.43-48, September 2009.
- [26] 大谷イビサ: 皆既日食超高精細映像ライブ中継を追う!【システム編】, ASCII.jp, <http://ascii.jp/elem/000/000/438/438505/>, 2011年3月25日.
- [27] 大谷イビサ: 皆既日食超高精細映像ライブ中継を追う!【レポート編】, ASCII.jp, <http://ascii.jp/elem/000/000/438/438549/>, 2011年3月25日.
- [28] 大谷イビサ: 皆既日食中継の舞台裏, ASCII .technologies, 14 巻, 10 号, pp.90-97, October 2009.
- [29] 尾久土正己: 4K 映像システムを使った皆既日食の全天投影, 映像情報メディア学会誌, Vol 63, No.10, pp.1385-1398, Oct 2009.
- [30] 尾久土正己: 4K 全天映像を使った皆既日食の超臨場感中継, Internet Conference 2009, pp.91-99, 2009.
- [31] 当社4Kカメラなどが“皆既日食4K超高精細全天映像ライブ伝送上映”に採用, ビクター, <http://www.jvc-victor.co.jp/press/2009/4k2k.html>, 2011年3月25日.
- [32] デジタルドーム映像, コニカミノルタ, http://www.konicaminolta.jp/planetarium/hard/digitaldome_imaging/supermediaglobe2/index.html, 2011年3月25日.

研究業績

学術論文誌

1. 油谷暁, 垣内正年, 香取啓志, 尾久土正己, 猪俣敦夫, 藤川和利, 砂原秀樹, 眞鍋佳嗣, 千原國宏, “4K 超高精細映像のための伝送手法の確立”, 日本ソフトウェア科学会論文誌 (2011 年 8 月 掲載予定)

学術論文誌 (解説)

1. 油谷暁, 猪俣敦夫, “氾濫するディスプレイと高品位伝送方式”, 情報処理学会論文誌「創立 50 周年 情報処理技術の未来地図」, vol.51, no.5, pp527–527, 2010.5

国際会議 (査読あり)

1. Akira Yutani, Masatoshi Kakiuchi, Atsuo Inomata, Kazutoshi Fujikawa, Keishi Kandori, Yoshitsugu Manabe, and Kunihiro Chihara, ”A Realization of the Total Solar Eclipse Live Transmitting with Liveliness by using 4K”, International Workshop on Advanced Image Technology 2010 (IWAIT2010), no.183, 11 Jan. 2010
2. Akira Yutani, Masatoshi Kakiuchi, Atsuo Inomata, Kazutoshi Fujikawa, Yoshitsugu Manabe, Kunihiro Chihara, and Keishi Kandori, ”Total solar eclipse: fish-eye 4K image transmission experimentation on the internet” (Poster), ACM SIGGRAPH Asia 2009, Dec. 2009

3. Masatoshi Kakiuchi, **Akira Yutani**, Atsuo Inomata, Kazutoshi Fujikawa, and Keishi Kandori, "Uncompressed 4K2K and HD Live Transmission on Global Internet" (Poster), SIGGRAPH Asia 2009, Dec. 2009
4. **Akira Yutani**, Yoshitsugu Manabe, Hideki Sunahara, and Kunihiro Chihara, "On-demand learning system using 4K video source", IS&T/SPIE Electronic Imaging, Multimedia on Mobile Devices 2009, vol.7256, 19 Jan. 2009

国内研究会等 (査読なし)

1. **油谷暁**, 垣内正年, 藤川和利, 猪俣敦夫, 香取啓志, 眞鍋佳嗣, 千原國宏, "非圧縮 4K 超高精細映像のためのインターネット伝送実験", 電子情報通信学会技術研究報告, vol.109, no.208, pp55-58, 2009.9.25

受賞

1. **油谷暁**, "学生研究奨励賞", 電子情報通信学会 インターネットアーキテクチャ (IA) 研究会・ネットワーク研究開発テストベッド運用・利用, 一般, 2009.9.25

付録

デジタル基盤による動画像の取り扱いについての経緯を示す。

組織内でのブロードキャスト映像配信

標準画質映像とハイビジョン映像の映像配信として、大学のホールや各講義室での映像を簡単に不特定多数で共有する方法として、組織内でのブロードキャスト配信型の配信方法について提案し環境構築を行ったことについて述べる。

A. 標準画質映像の配信

この節では、標準画質映像の環境構築について述べる。加えて、「ウェアラブル・エコー診断システムの開発」時に行った、画像伝送提示実験についても述べる。

A.1 環境構築

2000年の始めに国立大学法人 奈良先端大学院大学 (当時、国立大学 奈良先端科学技術大学院大学) において、「アカデミックチャンネル」と称して環境の構築を行った。この構築を通して、学内の各種ホールや各研究科の講義室で行われる講演や講義を配信するシステムとして、アナログでのブロードキャスト型情報配信システムとして各研究科間での融合的な研究の推進の役目を負うことが可能になると考えられる。

「アカデミックチャンネル」の実現方法は、当時、前例のない方法を提案し、環境構築を行なった。学内の各種ホールや各研究科の講義室からの映像を、ブロードキャスト型の配信手法として学内テレビアンテナ網に混合させ、学内の何処からでも一般アナログテレビを用いて視聴可能にするシステムである。もちろん、既存放送はそのまま視聴可能であるという前提で構築を行なった。

構築手法

学内のテレビアンテナ網の上流を 1 ヶ所のポイント (情報科学研究科棟 5 階 ATM 実験室 (A508)) に限定し、そこに各配信元からの映像を集め、アンテナからの一般放送と混合して配信を行う手法を取ることにした。各配信元からの映像は UHF 帯を使用することとし、既存の放送は VHF 帯のみを使用することにする。

1. 一般放送の内、UHF 帯で放送されているものは VHF 帯のチャンネルに再配置を行う。
 - (a) 一般放送から UHF 復調装置を用いて目的のチャンネルを映像化した後、再配置させるチャンネルに VHF 変調し、一般放送と混合させる。
 - (b) 全ての UHF 帯のチャンネルに対して、上記の混合作業を行う。
 - (c) VHF 帯のみが通過するローパスフィルタを使用して、UHF 帯の全ての不要な電波を遮断する。
2. 各配信元からの映像は UHF 変調器を用いて所定のチャンネルに変調した後、上流ポイントまで同軸ケーブルを使用して伝送する。
3. 各配信元から伝送されてきた UHF 帯の映像を、再配置された VHF 帯の一般放送と混合する。

配信元の整理

学内の各種ホールや各研究科の講義室、および、それらの場所で使用される映像について以下にまとめる。

1. ミレニアムホール
2. 先端科学技術研究推進センター (当時、先端科学技術研究調査センター)
3. 附属図書館 マルチメディア提示室
4. SCS (Space Collaboration System)

5. 情報科学研究科 L1 大講義室
(後方カメラ No.1, 後方カメラ No.2, 前方カメラ, PC 画面, 書画カメラ)
6. 情報科学研究科 L2 中講義室
7. 情報科学研究科 L3 中講義室
8. バイオサイエンス研究科 大講義室
9. 物質創成科学研究科 大講義室

その他の配信映像

上記の配信元の映像に加えて、各配信元からの映像を加工して再配信するチャンネルを 3 チャンネル設ける。ここで行える加工は、2 または 4 つのチャンネルの映像をマトリックス状に結合させ 1 つの映像に加工することであり、擬似会議システムを構築することが可能になる。加工された映像は再配信チャンネルに変調された後、学内に配信される。当然であるが、配信元より伝送されてきた映像をそのまま別の放送チャンネルとして再配信チャンネルに変調して配信することも可能である。このことにより、再配信チャンネルのみを使用することで学内放送局のような配信も可能になる。

1. 再配信チャンネル (No.1)
2. 再配信チャンネル (No.2)
3. 再配信チャンネル (No.3)

チャンネル配置

表 1 に一般放送のチャンネル再配置について示す。これにより、UHF 帯から VHF 帯に再配置を行ったチャンネルが 2 チャンネル存在したことがわかる。再配置を行なったことで UHF 帯には一般放送が存在しないことになり、全ての UHF 帯のチャンネルに対して配信映像を割り当てることが可能になった。

表2に配信元のチャンネル配置について示す。配信元については、9カ所より13チャンネル、および、再配信用の3チャンネルの計16チャンネル存在し、UHF帯を用いて配信を行う。

表1 一般放送のチャンネル再配置

放送局	放送局 (通称)	使用チャンネル	再配置
NHK-G (大阪放送局)	NHK 総合 (大阪)	2	2
NHK-E (大阪放送局)	NHK 教育 (大阪)	12	12
MBS	毎日放送	4	4
ABC	朝日放送	6	6
KTV	関西テレビ	8	8
YTV	よみうりテレビ	10	10
NHK-G (奈良放送局)	NHK 総合 (奈良)	51	11
TVN	奈良テレビ	26 or 55	9

システム系統図と使用機器

図1に全体のシステム系統図、図2に実際に使用したUHF変調装置を示す。UHF変調装置は、入力されたコンポジット映像信号と音声信号をUHF帯の任意のチャンネルの周波数に変調することができ、各配信元で指定したチャンネルに変調を行なった後に上流ポイントまで同軸ケーブルを使用して伝送を行うことになる。システム系統図中で行っている混合や分配は、一般的な混合器と分配器を用いることで問題なく動作している。

表 2 配信元のチャンネルの配置

場所	映像詳細	チャンネル
1. ミレニアムホール	後方カメラ	32
2. 先端科学技術研究推進センター 研修ホール	後方カメラ	20
3. 附属図書館 マルチメディア提示室	後方カメラ	16
4. SCS (Space Collaboration System) 再配信		30
5. 情報科学研究科 L1 講義室	後方カメラ No.1	40
情報科学研究科 L1 講義室	後方カメラ No.2	48
情報科学研究科 L1 講義室	前方カメラ	42
情報科学研究科 L1 講義室	PC 画面	44
情報科学研究科 L1 講義室	書画カメラ	46
6. 情報科学研究科 L2 講義室	後方カメラ	34
7. 情報科学研究科 L3 講義室	後方カメラ	36
8. バイオサイエンス研究科 大講義室	後方カメラ	22
9. 物質創成科学研究科 大講義室	後方カメラ	28
1. 再配信チャンネル (No.1)		50
2. 再配信チャンネル (No.2)		52
3. 再配信チャンネル (No.3)		54

A.2 ウェアラブル超音波診断装置・実証実験

2002年度から2004年度に行われた「ウェアラブル・エコー診断システムの開発」(科学研究費補助金(基盤研究(A)(2)))の研究を行うにあたり、画像伝送提示実験として本アカデミックチャンネルシステムを使用し、エコーシステム画像の遠隔映像提示装置としての検証実験を行なった。

ウェアラブル・エコー診断システム

モバイル環境下で「いつでも、どこでも、誰でも」というインターネット利用が可能になってきている。こうしたユビキタスネットワーク社会において、医療サービスへの応用の期待も高まっている。

超音波動画像の取得を実規する「ウェアラブル超音波診断装置」を開発すると共に、「いつでも、どこでも」遠隔超音波診断が可能な枠組みとして、「ユビキタス超音波診断環境」を提案する。また、ネットワークに接続された様々なディスプレイ装置「ユビキタスディスプレイ」への超音波動画像の伝送提示実験を行い、構築したユビキタス超音波診断環境が実際に利用可能であるかどうかを検証を行なった。

実験内容

今回開発を行なった「ウェアラブル超音波診断装置」の映像の使用方法として、病院などの医療施設内において、ベッドサイドでの患者への超音波動画像の即時提示や施設内の離れた場所に居る複数の医師による閲覧などの利用を想定し、施設内に既に多数設置されているテレビをユビキタスディスプレイ装置とみなし、テレビのアンテナラインを利用した超音波動画像の配信・提示が可能かどうかの検証を行なった。

実際の実験では、本アカデミックチャンネルシステムを病院施設のテレビシステムであると仮定し、超音波動画像の配信・提示を行なった。「ウェアラブル超音波診断装置」からの映像を、アカデミックチャンネルシステムの上流ポイントまで同軸ケーブルを使用して伝送し、再配信チャンネルに変調した後、学内に配信

を行なった。学内の複数のテレビシステムに「ウェアラブル超音波診断装置」を表示し、映像の評価を行なった。

実験結果

実験の結果、超音波動画をベッドサイドと見立てた患者の傍にあるテレビや、医師の部屋に見立てた別室の大型テレビパネルなど、複数の箇所へ伝送・提示可能であることが分かった。表示された映像は大きな乱れもなく表示され、複数の医師への閲覧が可能になることを十分に示すことができた。

図3と図4に、実際に「ウェアラブル超音波診断装置」の映像をアカデミックチャンネルに流した時の様子を示す。図3がベッドで患者を診察している様子、図4が医師が遠隔から診断装置の映像をモニターしている様子である。

本実験により、超音波動画をテレビ用の NTSC 信号に変換するだけで、特別なコストを掛けず、既存のテレビ装置をユビキタスディスプレイ装置として利用可能であることが示された。このことにより、遠隔医療への期待も膨らむ結果となった。



図 3 エコー映像の配信実験 (Bed Side)



図 4 エコー映像の配信実験 (Doctor (another room))

B. ハイビジョン映像配信への移行

この節では、2000年から使用していた標準画質映像の配信（アカデミックチャンネル）から、ハイビジョン映像の配信（新アカデミックチャンネル）への移行についての環境構築について述べる。

B.1 環境構築

2008年の始めに国立大学法人奈良先端科学技術大学院大学において、「新アカデミックチャンネル」と称して環境の構築を行った。2000年からの「アカデミックチャンネル」と比較して、映像の質がハイビジョン画質にグレードアップし高精細化することを目標とした。今回のハイビジョン化を行うタイミングは、一般への地デジ対応テレビの普及が原因の一つになったのは言うまでもない。

地上デジタル方式で利用できるハイビジョン機器は、テレビ局が正規に放送を行うための機器以外に存在していないことがわかり、特に地上デジタル方式を用いた放送機器に関しての機器選定に苦労した。機器選定としては、標準画質映像からのハイビジョン化のために、カメラや映像圧縮装置、OFDM符号化装置など、全ての機器の選定を行い構築を行うことになった。

構築手法

一般の地上デジタル放送は地上アナログ放送とは異なり、UHF帯の低い周波数部分に展開しており、アカデミックチャンネル構築時に行なったように一部のUHF帯の局をVHF帯に移動するのみでは到底対応しきれない。かつ、学内のUHF帯は既にアカデミックチャンネルに使用していたため、このままでは地上デジタル放送そのものを視聴することができない状況になっていた。そこで、地上デジタル放送で使用しているUHF帯のチャンネルを回避しながら、地上デジタル放送と同じ規格を使用することでハイビジョン映像を配信し再構築する方法について考えた。

地上デジタル放送視聴への整備

新アカデミックチャンネルを構築する上で、最初に環境構築が必要になった部分は学内の地上デジタルテレビ環境の整備であった。学内には一切の地上デジタル放送の受信設備が導入されていなかったため、各研究科棟と事務局棟の屋上に地上デジタル用の UHF アンテナの設置を行なった。次に、既に設置されている全ての同軸ケーブルと分配器に対してチェックを行なった。地上デジタル対応の機器ではなかったが、これらの減衰分については増幅器（ブースタ）でカバーできると判断し、そのままの形で採用することとした。また、各所に設置されている既存のブースタは、動作周波数帯域についてはカバーしていたものの、アナログ放送よりも高いエネルギーを持つ地上デジタル放送波に対しての容量が不足していたため、全てのブースタの交換を行なった。以上の補強により、学内の地上デジタル受信システムの整備を完了させることができた。

チャンネル配置

まず、地上デジタル放送で使用しているチャンネルについて表3に整理して示す。将来的に使用するチャンネルが移動、または、増加する可能性があるが、現在のところ 32 チャンネル以上の周波数を使用することが可能であることがわかり、配信元のハイビジョン映像を展開することにする。

配信元の整理とチャンネル配置

表4に、配信元としての各種ホールや各研究科の講義室 8 カ所と、そのチャンネル配置について示す。

前述のとおり、一般地上デジタル放送の使用しているチャンネルを回避して新アカデミックチャンネルのチャンネル配置を行なった。表に示したとおり、36 チャンネル以上に 8 カ所の配信元のハイビジョンデータを配置した。

今回の構築にあたっては、以前の構築と比較し、ハイビジョンカメラや映像圧縮装置、OFDM 変調装置が相当高価になるため、全体のチャンネル数を減らさざるを得なかった。また、先端科学技術研究推進センター 研修ホールにおいて

表 3 一般地上デジタル放送のチャンネル配置 (奈良)

放送局	放送局 (通称)	チャンネル	識別	リモコン
NHK-G (大阪放送局)	NHK 総合 (大阪)	24	011-1	3
NHK-E (大阪放送局)	NHK 教育 (大阪)	13	021	2
MBS	毎日放送	16	041	4
ABC	朝日放送	15	061	6
KTV	関西テレビ	17	081	8
YTV	よみうりテレビ	14	101	10
NHK-G (奈良放送局)	NHK 総合 (奈良)	31	011-0	1
TVN	奈良テレビ	29	091	9

表 4 新アカデミックチャンネルのチャンネル配置

場所	チャンネル	識別	リモコン
1. ミレニアムホール	36	111	11
2. 附属図書館 マルチメディア提示室	37	111-2	枝番号
3. 先端科学技術研究推進センター 研修ホール	38	111-3	枝番号
4. 情報科学研究科 L1 大講義室	39	121	12
5. 情報科学研究科 L2 中講義室	40	121-2	枝番号
6. 情報科学研究科 L3 中講義室	41	121-3	枝番号
7. バイオサイエンス研究科 大講義室	42	121-4	枝番号
8. 物質創成科学研究科 大講義室	43	121-5	枝番号

は、以前の標準画質のカメラを引き続き使用している関係上、標準画質映像のまま地上デジタルでの放送を行うこととする。

36 チャンネルから 43 チャンネルの間に詰めてチャンネル配置を行った理由として、高いチャンネルを使用すればするほど周波数が高くなり伝搬中の減衰が極端に多くなることを想定することができる。この減衰はそのまま受信状況を悪くすることが予想され、可能なかぎり低い周波数を使うことが最良であるという方針でチャンネル配置を行なった。

システム系統図と使用機器

ハイビジョン映像データの流れは、以下のとおりである。

1. 各配信場所からのカメラ映像は、HD-SDI 信号としてとり出される。
2. HD-SDI 信号を光変換し、シングルモードの光ファイバーを用いて附属図書館に集める。
3. 光ファイバーからの信号は、附属図書館内で再度 HD-SDI の信号に変換される。
4. HD-SDI 信号を地上デジタル放送で使用されている圧縮方式である MPEG2-TS に圧縮する。
5. MPEG-TS データと番組データを含む EPG (Electronic Program Guide) との多重化を行う。
6. 多重化されたデータを、地上デジタル方式の放送形式である ISDB-T 規格に変換する。
7. 各配信場所からの映像が ISDB-T に変換されたところで、全ての映像を混合する。
8. 混合された映像は、各研究科等や事務局棟のアンテナ部の最上流部にまでシングルモードの光ファイバを用いて伝送され、そこで一般放送と混合する。

図5に各配信元から附属図書館内の映像エンコーダ(HD, SD)までの系統図, 図6に附属図書館内の映像エンコーダとOFDM変調器, および, 各研究科棟や事務局棟のアンテナ最上流部までの系統図を示す。

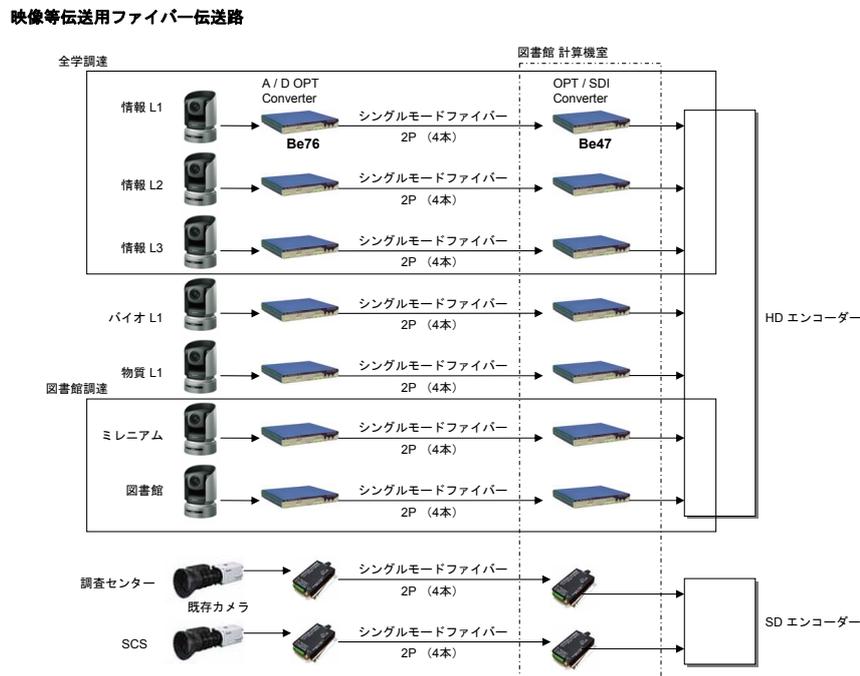


図5 システム系統図1 (新アカデミックチャンネル)

図7に各配信元に設置されたハイビジョンカメラとHD-SDI光変換装置, 図8に図書館内の各種変換装置を示す。

EPGデータの再多重化

地上デジタル放送で行われている新しい機能のひとつとして, 放送波の中に番組情報を載せる機能が加わった。これは, 放送チャンネルごとに現在から一週間分の番組表を保持することができ, 地上デジタル放送対応テレビの機能として, 番組表を表示することが可能になった。実際の全チャンネルの番組情報収集に関

自主放送（アカデミックch）ファイバー伝送路

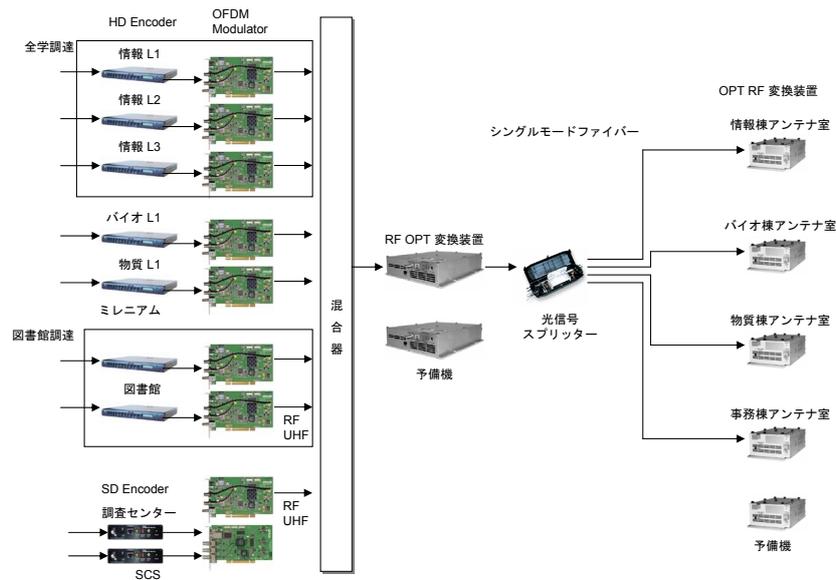


図 6 システム系統図 2 (新アカデミックチャンネル)



図 7 講義室内設置のハイビジョンカメラ



図 8 地上デジタル変調装置

しては、受信部が遊休状態の時に自動的に受信チャンネルを走査しながら情報を集める機能が備わっており、結果として全チャンネルの番組表を表示することが可能になっている。

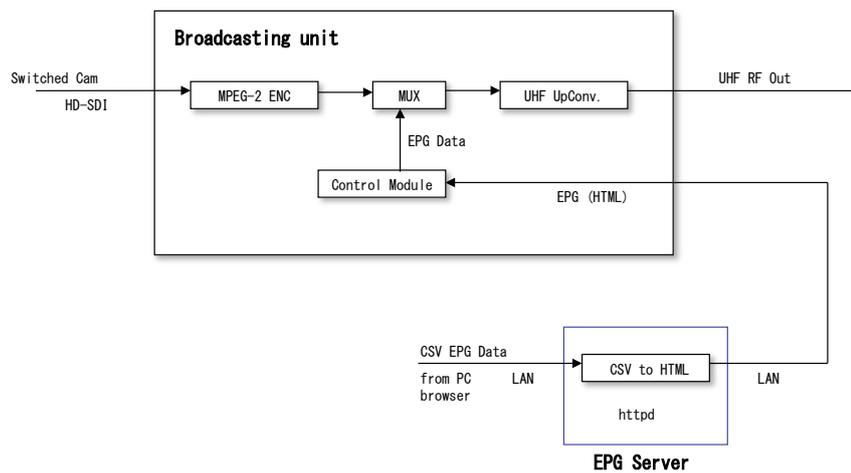


図 9 EPG 再多重化 概念図

新アカデミックチャンネルを構築するにあたり、番組表内のホールや講義室のチャンネルに講演や授業の情報を載せる機能を付加した。図9に EPG 情報に対する再多重化の概念図を示す。図書館に存在するデータベース上にある講演や授業のデータを CSV 形式で取り出し、EPG サーバに一旦蓄積する。また、この EPG サーバ上では、Web インターフェースを使用して蓄積されたデータの変更や追加を行える機能も実装した。変更処理などが行われた蓄積 EPG データを LAN 経由で OFDM 変調を行う機器に送信し、MPEG-2 に圧縮されたハイビジョン映像データと再多重化を行い、地上デジタル放送波に変調することになる。

カラーバーの送出

通常では常に配信元の映像を放送し続ける状態であるが、ある事情で配信元の映像を見せたくない場合が想定される。特に、新アカデミックチャンネルにおいてはハイビジョン映像で配信を行っているため、特許に絡む発表、プライベートでの部屋の使用など、顕著にその事態が現れることが想像できる。この場合の措置としては、該当チャンネルの映像と音声を止める必要が生じる。

このシステムでは、図書館にある各チャンネル映像の MPEG2-TS 圧縮を行うコンピュータに対してネットワーク経由でコマンドを送ることにより、カラーバー映像を送出する機能を持たせた。カラーバーの必要がなくなった時においても、コマンドを送ることにより通常映像に戻すことができる。

C. まとめ

2000年にアカデミックチャンネルの新規構築、8年後の2008年に新アカデミックチャンネルへ再構築を行なった。アカデミックチャンネルの構築においては、当時画期的な提案手法でホールや講義室の様子を不特定多数で共有することが可能になった。新アカデミックチャンネルの構築においては、映像が画期的に精細になったことに加え、番組表のデータである EPG 再多重化の機能も付加し、利便性があがった。当然のことながら、標準画質映像に比べてハイビジョン映像の方が緻密でクリアな映像で視聴することができるようになった。以前のシステムでは、内容を確実に理解するためには、別に資料を用意しそれを閲覧しながら映像を視聴する必要があったが、ハイビジョン映像に移行することによって、講演や講義に使用されている資料の文字なども画面を通して確実に読み取ることができ、システムの再構築が大変有用なことであったと考えられる。また、講演者や講義者の顔の表情までも捉えることができ、内容の重要度などの把握を行う手助けにもなることが確認できた。

また、アカデミックチャンネルを利用して行った「ウェアラブル超音波診断装置」の実証実験において、医師が遠隔から診断装置の映像をモニターしながら診断を行うことが可能であるという結果を得ることができた。この結果により、特

別なコストをかけず、既存のテレビ装置をユビキタスディスプレイ装置として利用することで、遠隔医療への期待も膨らむ結果を得ることができた。

2000年の段階で標準画質映像の組織内配信を行い、また、2008年の段階でハイビジョン映像の組織内配信を行なっている環境は、その当時、画期的であったと考えられる。加えて、2008年の段階で、大学で地上デジタル放送の受信が全学的に可能な環境になっているのも、その当時、画期的であったと考えられる。