

8K 超高精細映像の非圧縮 IP 伝送における信頼性の確保

油谷 暁^{†1,a)} 小林 和真^{1,†1,†2} 丸山 充^{1,†3} 山本 成一^{†4,†2} 徳永 正巳^{†5,†2} 早川 浩平^{†2}
西形 渉^{†6,†2} 寺田 直美^{1,†2} 新井 イスマイル^{1,†1} 藤川 和利^{1,†1}

概要：8K 超高精細映像の遠隔地への伝送方法として IP ネットワークを媒体とする手法を採用し、さらに、8K 映像本来の超高精細映像品質の確保と伝送遅延を最小限に抑えるために、伝送時に一般的に行われる映像圧縮を行わない非圧縮伝送を行う手法が注目されている。ただし、この非圧縮 8K 映像の伝送には膨大な伝送帯域が必要となり、8K (7,680×4,320 pixels) / 30p 映像で約 25 Gbps の帯域が必要になる。これまでに、8K 映像の伝送として、世界初の非圧縮 8K IP 伝送チャレンジ、IP マルチキャスト 技術を使用した映像切替、SDN 技術を使用した伝送経路制御、映像コンテンツの漏洩/改竄を防ぐための暗号化、高臨場感を再現するための立体音響技術を使用した実証実験を行ってきた。最新の試験では、伝送経路の冗長化（マルチパス）を行うことで、一切の映像の乱れを発生させない映像伝送の信頼性を確保するための実証実験を行った。本稿では、これまでの 8K 映像を IP 伝送させる実験の概要と、今回のマルチパスの実験内容についての報告を行う。

Ensure reliability in IP transmission method of uncompressed 8K ultra-high definition video

AKIRA YUTANI^{†1,a)} KAZUMASA KOBAYASHI^{1,†1,†2} MITSURU MARUYAMA^{1,†3} SEIICHI YAMAMOTO^{†4,†2}
MASAMI TOKUNAGA^{†5,†2} KOUHEI HAYAKAWA^{†2} WATARU NISHIGATA^{†6,†2} NAOMI TERADA^{1,†2}
ISMAIL ARAI^{1,†1} KAZUTOSHI FUJIKAWA^{1,†1}

1. はじめに

1.1 背景

2020 年に開催される東京オリンピックに向けて、一般家庭に現在普及しているテレビの画質が HD (1,920×1080

pixels)) 解像度から 4K (3,840×2,160 pixels) 解像度に移行しようとしている。4K 解像度の高精細映像に移行することによって、映像の緻密さを感じることができ、映像情報に含まれる臨場感を体感することも可能になる。さらに、一般家庭に普及するには若干の時間を要すると想像されるが、8K (7,680×4,320 pixels) 解像度の超高精細映像を扱える機器（テレビ、カメラ、プロジェクタ、レコーダ等）の開発も進んできており、これらのデバイスの低価格が進めば家庭への進出も可能になると思われる。8K 解像度の超高精細映像は、同じ被写体を 4K 映像の 4 倍、HD 映像の 16 倍のピクセル数で表現する映像で、映像の緻密さが格段に向上し、これまでの映像全体を視聴する見方から映像の中の見たい部分に注視して視聴する事が可能になる。特に顕著に体験できることとして、映像の緻密さから被写体の輪郭部分のボケ具合から奥行きを十分に感じ取れ、8K の平面映像を見ることで立体的に感じ取れることにある。現在、

¹ 情報処理学会

IPSSJ, Chiyoda, Tokyo 101-0062, Japan

^{†1} 現在、奈良先端科学技術大学院大学

Presently with Nara Institute of Science and Technology

^{†2} 現在、情報通信研究機構

Presently with National Institute of Information and Communications Technology

^{†3} 現在、神奈川工科大学

Presently with Kanagawa Institute of Technology

^{†4} 現在、東京大学

Presently with The University of Tokyo

^{†5} 現在、西日本電信電話株式会社

Presently with Nippon Telegraph and Telephone West Corporation

^{†6} 現在、キーサイト・テクノロジー合同会社

Presently with Keysight Technologies

a) yuta@itc.naist.jp

8K 映像を容易に視聴する方法は、NHK が不定期に行っているパブリックビューイングへの参加や NHK の各放送局に直接行くことで視聴することができる [1]。また、東京オリンピックを前に、2018 年 12 月 1 日に NHK が 8K 超高精細映像を 8K スーパーハイビジョンと命名し、BS の放送電波を使用した本放送を開始する予定である [2]。

1.2 目的

8K 映像の放送が NHK より BS 放送電波を使用して始まるが、放送は基本的に不特定多数に対して一方向で行われる。また、衛星を使用するの放送のため、衛星までの距離を往復するための時間が約 0.24 sec が常に掛かってしまう。かつ、放送で使用できる電波の周波数帯域を複数のチャンネルで使用するため、一つのチャンネルが映像伝送に使用可能な帯域が制限され、8K 放送においては 80–100 Mbps の帯域に制限される。この制限のため、8K 映像をデータ圧縮する必要があり、H.265/HEVC 形式で数 100 分の 1 のデータサイズまで圧縮される [3]。これらの BS 放送電波を用いる時の制限事項をまとめると、以下の通りになる。

- 不特定多数の視聴者に一方向の伝送
- 1 衛星がカバーできる範囲は日本国内のみ
- 衛星往復の遅延が 0.24 sec
- 使用可能な伝送帯域が 80–100 Mbps
- 圧縮/展開の処理に遅延が発生する
- 圧縮工程で映像にノイズが生じる

そこで、映像の伝送媒体として IP ネットワークを使用し、非圧縮のまま伝送を行うことで上記の制限事項を解決することが可能であると考えられ、それらを以下に示す。

- 特定の視聴者と双方向の伝送
- インターネットが繋がれば世界中に伝送可能
- 国内の遅延ならば 0.1 sec 以内
- 圧縮/展開の処理に必要な遅延が発生しない
- 映像に圧縮時のノイズが生じない

ただし、映像の非圧縮 IP 伝送時に膨大なネットワーク帯域が必要になるという問題が発生する。必要な帯域は、解像度以外にもフレームレート (fps) や色深度等に左右されるが、フレームレートが 30 fps の場合で、HD 解像度 1.6 Gbps、4K 解像度 6.4 Gbps、8K 解像度では 25.6 Gbps の膨大な伝送帯域が必要になる。

伝送に必要なネットワーク帯域確保の問題は存在するが、可能であれば、8K 映像は非圧縮 IP 伝送を行うことを推奨し、実証実験を行って伝送の可能性を探りたいと考える。

2. 過去の 8K 映像実証実験

2.1 過去の実験内容

8K 超高精細映像を扱えるカメラやディスプレイは、2013 年に NHK で試験的に開発された。そこで、それらの機器や 4K 解像度対応の機器を駆使して、8K 映像を IP ネットワークを使用して非圧縮のまま伝送する実験を行ってきた。これまで行ってきた実証実験について表 1 に示す。

表 1 8K 映像 非圧縮 IP 伝送 実証実験

	日付	実証実験内容
(1)	2014/2	VLAN 設定 を行っ ての伝送 (世界初)
(2)	2015/2	IP マルチキャスト を使用しての映像切替伝送
(3)	2016/2	SDN での経路変更と暗号化 の伝送
(4)	2017/2	100 Gbps 超え + 立体音響 での伝送

実証実験は、国立研究開発法人 情報通信研究機構 (以下: NICT) が主催する「さっぽろ雪まつり」開催時の実証実験において、複数の参加組織とともに実施してきた実験で、様々な内容の「非圧縮 8K 映像 IP 伝送実験」を実施した。実証実験の詳細を以下に示す。

- (1) 8K 超高精細映像を非圧縮のまま IP ネットワークを使用して遠隔地にまで伝送する実験を行った。この実験は、世界初の試みとなり、無事に成功させることができた。
- (2) 8K 超高精細映像を非圧縮のまま IP ネットワークを使用して伝送し、希望の発信元の映像を容易に変更する手法として、IP マルチキャスト 技術の応用実験を行った。8K 映像を構成する 4K 映像 4 本のレーンを、TV のチャンネルを切替えるように一気に変更することが可能であることを確認した。
- (3) 8K 超高精細映像を非圧縮のまま IP ネットワークを使用して伝送するにあたり、障害発生時等にネットワークポロジを SDN (Software Defined Network) を利用して意図的に変更できるか、また、映像データの漏洩や改竄対策のための暗号化通信を 25 Gbps の膨大な帯域に対して実施可能かの実験を行ない、有効性を確認した。
- (4) 8K 超高精細映像 (4 本分) を非圧縮のまま IP ネットワークを使用して 100 Gbps を超えるネットワーク帯域を使用した実験を行ない、特に問題が発生しないことを確認した。また、遠隔地の雰囲気映像と共に伝送する手法として立体音響を同時に伝送し、遠隔地の雰囲気を高臨場感とともに伝送可能であることを確認した。

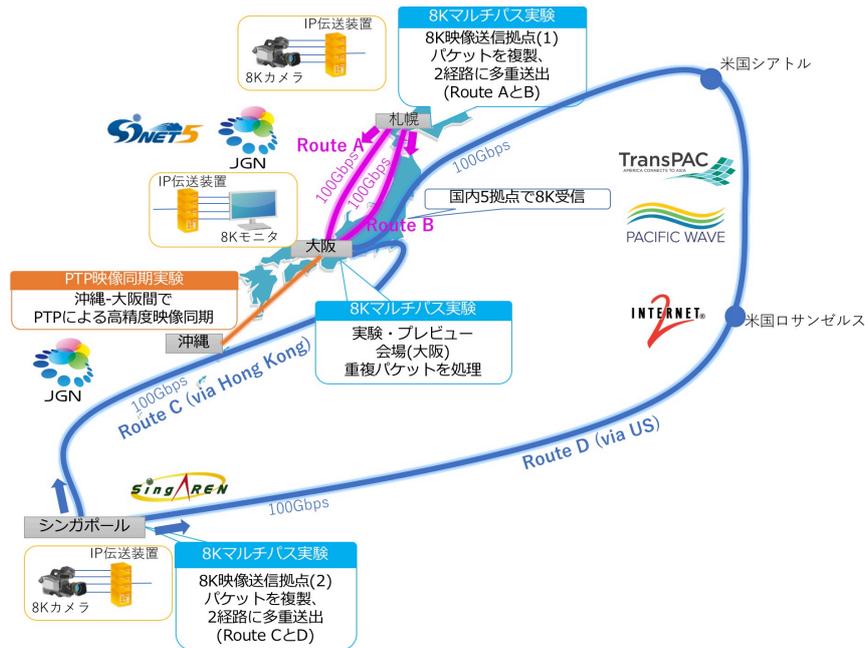


図 1 実験全体図

2.2 成果

実証実験を行ってきたことで、8K 映像を非圧縮のまま IP ネットワークを使用して伝送することが有意義であることが確認できた。また、様々な内容の実験を通して、容易に送信元の切替えを行ない、伝送効率の良いネットワーク帯域使用が実現でき、コンテンツを保護しながらの伝送も実現し、遠隔地の雰囲気を高臨場感とともに伝送可能なことがわかった。

3. 信頼性確保への提案

これまで様々な非圧縮 8K 映像の IP 伝送を行ってきたが、ネットワーク障害からの回避という視点での実験は行ってきていない。これまでの実験で使用した、IP マルチキャスト技術や SDN 技術を利用することで、若干の障害回避を行うことは可能であるが、一切映像が途切れないというリアルタイムな信頼性を確保するにはにまだまだ問題がある。

この信頼性確保の提案として、映像の伝送ルートマルチパス化して複数用意し、その伝送ルートのどこかで障害が発生した場合でも映像が途切れないことを実証する。マルチパス化を行うには、マルチパスの送信側の分岐点と受信側の合流点で、映像データの複製および冗長化されたデータの重複排除処理を行う必要がある。また、マルチパスと同時にこれまでの IP マルチキャスト技術も併用し、同時に複数拠点にデータ伝送する場合のネットワーク帯域の輻輳回避と負荷低減、および、映像切替の容易さについての検証も行う。

マルチパス化と IP マルチキャストについては、次章に

おいて実際の手法について述べる。

4. 実証実験

4.1 ネットワーク環境構築

今回の実験も、前述の NICT が主催する「さっぽろ雪まつり」開催時の実証実験において、複数の参加組織とともに、2018 年 2 月 5 日から 7 日にかけて札幌・大阪・香港・シンガポールなどの複数拠点を結んで行った。

さっぽろ雪まつり会場の 8K ライブ映像とシンガポールの 8K 蓄積映像データを、公開実験のデモ会場である大阪駅に隣接する「グランフロント大阪『The Lab.』内 アクティブラボ」への伝送実験を行った。

まず、札幌から大阪への映像は、NICT の研究開発用テストベッドネットワークである JGN、および、国立情報学研究所 (NII) の学術情報ネットワーク SINET5 も利用し、日本海周りの Route A、太平洋周りの Route B を構築した。また、シンガポールから大阪への映像は、JGN 回線で香港経由の Route C、US (ロサンゼルス、シアトル) 経由の Route D を構築した。実験の全体図を図 1 に示す。

国内の Route A、Route B の具体的なネットワークトポロジーを図 2 に示す。図の右上が札幌、左下が大阪(堂島)、右下が東京(大手町)になり、札幌と大阪間、札幌と東京間は SINET5 を使用し、東京と大阪間は JGN を使用している。

4.2 マルチパス環境構築

マルチパス技術を使用した映像配信について、シンガポールからの配信を例に図 3 に示す。まず、配信拠点で

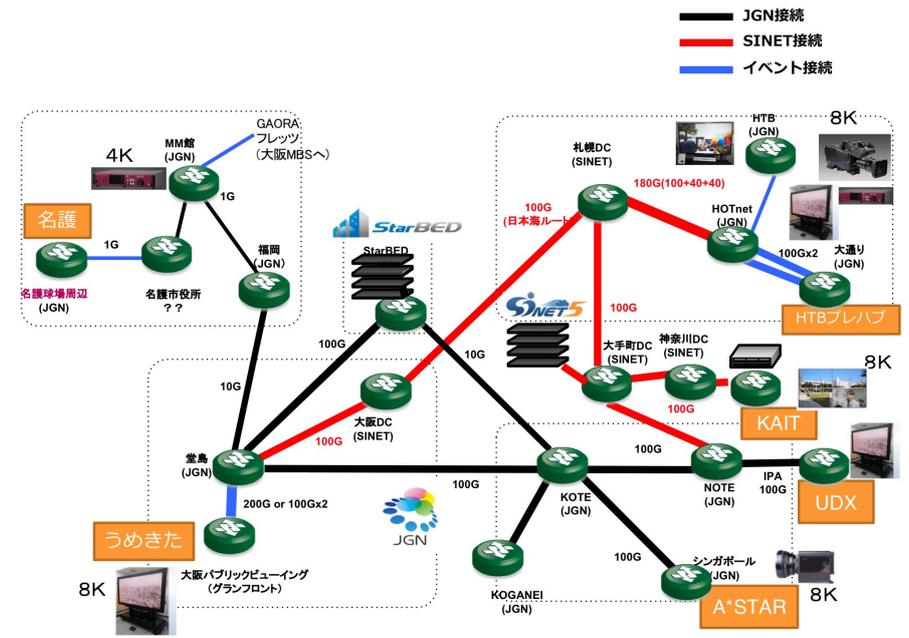


図 2 国内ネットワークポロジ



図 3 マルチパスと受信拠点

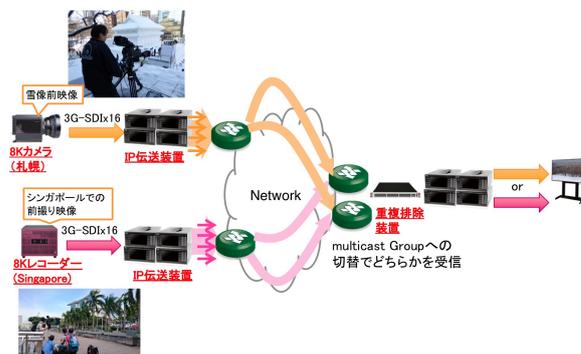


図 4 マルチパスと IP マルチキャスト構成

データパケットの複製を行ない、香港経由の Route C と US 経由の Route D に流す。大阪の受信側では、Route C と Route D から到着したパケットを映像データに再構築する。ただし、その再構築の過程で、2 ルートから来る重複したパケットを排除する必要があり、今回はキーサイト・テクノロジー合同会社の IXIA Vision ONE を使用し、パケットの重複排除機能を使用した [4]。重複排除の手法は、基本的な動作は FIFO (First In First Out) に準じ、パケット重複の判断のために各パケット到着時にパケット識別に利用するハッシュを計算し 500ms 間保持、その後到着したパケットは既着のパケットかどうかを判断して既着の場合は排除するという動作を行う。

4.3 マルチパス, IP マルチキャスト環境構築

マルチパス環境を使用した上での IP マルチキャスト技術を使用した映像配信について 図 4 に示す。札幌とシンガポールの 2 拠点、計 4 つのパスに対して別々のマルチ



図 5 回線切断デモの様子

キャストを設定し、受信側でどのマルチキャストを受信するかを設定することで映像の選択を行った。今回はマルチパスの実験を行うため、図 4 に示す通り、受信側の 2 台のルータで各々 Route A と Route B のマルチキャストを指定して札幌の映像、または、Route C と Route D のマルチキャストを選択してシンガポールの映像を受信するよう

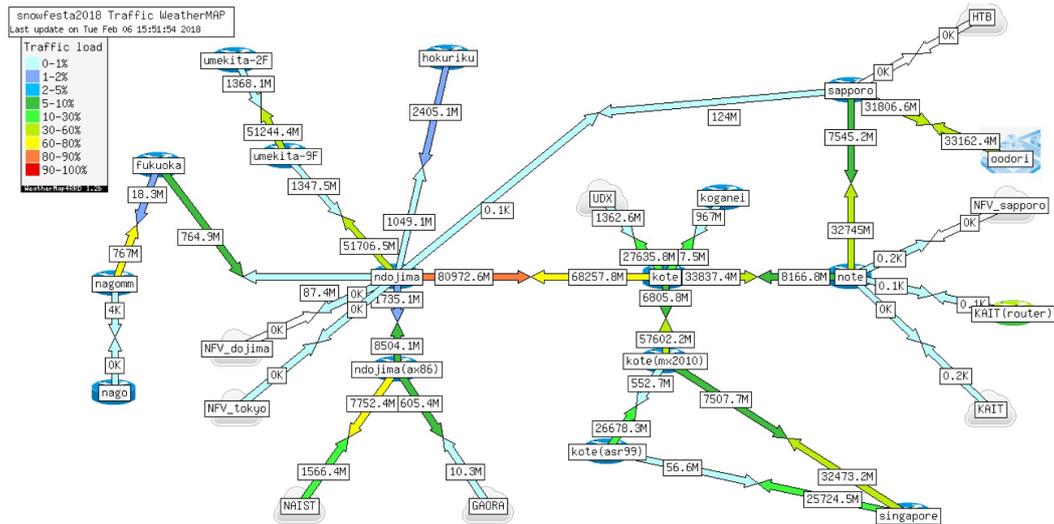


図 6 実証実験時の JGN トラフィック情報

にした．このマルチキャスト指定の結果，送信元のマルチパスの分岐部分にあるルータでデータの複製が行われることになる．

5. 結果と考察

グランフロント大阪の実証実験デモの会場から，受信したい配信拠点に到達するルートのマルチキャストを指定することで，スムーズに映像の切替が行えることを確認した．1 か所に対して複数のルートを指定することで重複したパケットが到着していることになるが，正常に映像が表示できていることから，パケット重複排除装置が適切に動作していることを確認した．

ルートによるパケット遅延の影響を確認するために，2 ルートの RTT の測定を行った．札幌から大阪への Route A と Route B での RTT (Round Trip Time) を測定したところ差異はほとんどなく，2 ルートのパケットは同時にパケット重複排除装置に到達していたと考えられる．また，シンガポールから大阪への Route C と Route D での RTT を測定したところ表 2 の様な結果が得られ，片方向換算で US 側が 111ms の遅延を発生していることになるが，結果として問題なく映像が表示できていた．111ms 程度のパケットの乱れでは，パケット重複排除装置や映像受信装置が破綻しないことがわかった．

表 2 シンガポールから大阪への RTT

ルート	RTT
Route C (台湾経由)	92ms
Route D (US 経由)	314ms

ネットワーク回線に異常が起こるといふシュミレーションとして，各ルートを構成している光ファイバを抜くというデモを行った．デモの様子を図 5 に示す．図 5 の左の

写真の様に，2 つのルートを構成している光ファイバを見学者の前に用意した目でファイバを抜いて見せたが，通信経路 1 のみ，または，通信経路 2 のみを切断させた場合，映像の乱れが一切発生しなかった．また，通信経路 1 と 2 の両方を切断させた場合，当然ではあるが，映像の乱れが発生した．映像の様子を図 5 の右側に示す．

図 6 に実証実験時の JGN が提供している JGN 内のネットワークトラフィック情報 (WeatherMAP) を示す [5]．左側の ndojima が大阪 (堂島)，右側の kote, note が東京 (大手町)，右上に札幌，右下にシンガポールが示されている．当然ながら JGN 内のトラフィックしか計測されていないので，札幌から大阪へのトラフィックは Route B の東京と大阪間のトラフィックのみ，シンガポールから大阪へのトラフィックは Route C, Route D の両方とも計測されている．今回の非圧縮 8K 映像のデータは約 25 Gbps の伝送帯域が必要となるが，実験時は，グランフロント大阪のデモ会場以外にも複数の国内受信拠点があり，それらのマルチキャスト設定によって映像データが流れていたものと思われる．また，同時に実験を行っていた非圧縮 4K 映像のトラフィック (6.4 Gbps) や実験以外のトラフィック量も加算して計測されてマップには表示されている．

図 7 と図 8 に，グランフロント大阪の実証実験デモの会場の様子を示す．図 7 はシンガポールからの映像を表示している 8K ディスプレイと，神奈川工科大学で開発された 100 Gbps に対応したリアルタイム計測のトラフィックメータである．この図のトラフィックメータは 22 Gbps と 25 Gbps を表示しており，Route C を構成するネットワークの一部に障害が発生しても，映像に一切の乱れが生じないという実験結果を示している．

図 8 は，映像受信機器と各種ネットワーク装置である．図では 8 台の映像受信機器が写っているが，この機器 1 台



図 7 8K ディスプレイとトラフィックメータ

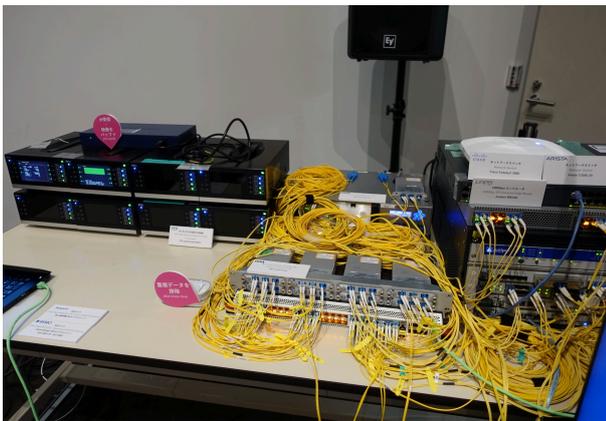


図 8 映像受信機器と各種ネットワーク装置

で非圧縮 4K 映像の IP 変換の処理を行うことが可能で、ネットワークインタフェースは 10 Gbps の光ファイバを持ち、この機器単体で実質 6.4 Gbps のトラフィックが発生している。非圧縮 8K 映像への対応は 4 台の機器を使用することで実現しており、計約 25 Gbps のトラフィックが発生している。ネットワーク装置として複数のルータとパケット重複排除装置が写っており、パケット重複排除装置はネットワーク装置の左下の 1U サイズの機器である。ネットワーク幹線への 100 Gbps インターフェースを持つルータやパケット重複排除装置、前述のトラフィックメータ行きの光ファイバのスプリッタなどが設置されており、光ファイバの本数が相当な数になっているのが分かる。

6. まとめ

これまでの実証実験を通じ、非圧縮 8K 超高精細映像が IP ネットワークを伝送媒体にすることにより、超高精細映像を超高精細のままの形で、容易に世界中の遠隔地にまで低遅延で伝送する環境の構築が可能であることを確認することができた。また、今回の実験により、マルチパス環境での映像伝送が映像の乱れを一切発生させないという、信頼性を確保する上で有効であることを示すことができた。このことは、テレビ業界のライブ放送やコンテンツ作成、

遠隔医療、芸術や美術を扱う分野において、とても有意義な結果を示せたと考えられる。

謝辞 この実証実験を行うにあたって、国立研究開発法人 情報通信研究機構 (NICT)、大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構 国立情報学研究所 (NII) を始めとする様々な組織、企業、大学の産官学が協力して力を出し合った賜物だと思います。

8K 映像機器を提供いただいた、シャープ株式会社、アストロデザイン株式会社、池上通信機株式会社、株式会社 PFU、株式会社朋栄 に感謝いたします。ネットワーク機器を提供いただいた、キーサイト・テクノロジー合同会社 (旧イクシアコミュニケーションズ株式会社)、アリストネットワークスジャパン合同会社、シスコシステムズ合同会社、ジュニパーネットワークス株式会社 に感謝いたします。知恵と人的資源を提供いただいた、神奈川工科大学、サイバー関西プロジェクト (CKP) に感謝いたします。

参考文献

- [1] NHK : 8K スーパーハイビジョン イベント情報
入手先 (<http://www.nhk.or.jp/8k/events/index.html>) (2018.04.10).
- [2] NHK : 「4K・8K スーパーハイビジョン」いよいよ本放送が開始！
入手先 (<https://www.nhk.or.jp/shv/broadcast201812.html>) (2018.04.10).
- [3] 8K 放送に向けた HEVC/H.265 符号化・復号装置の開発と伝送実験, NHK 技研 R&D/No.155/2016.1
- [4] ixia Vision ONE
入手先 (<https://www.ixiacom.com/ja/products/vision-one>) (2018.04.10).
- [5] NICT JGN WeatherMAP
入手先 (<https://www.jgn-x.jp/jp/>) (2018.04.10).