

# 8Kスーパーハイビジョンの 伝送技術

齊藤知弘

## 8K Super Hi-Vision Transmission Technology

Tomohiro SAITO

### ABSTRACT

Distribution links, transmitting broadcasting signals from broadcast stations to television viewers, and contribution links, transmitting program production signals from remotely located sites to broadcast stations, are both essential to realize 8K Super Hi-Vision (8K) broadcasting services. We have been developing the links utilizing wireless and wired transmission. Concerning the distribution links, development and standardization of 8K satellite broadcasting were completed towards the test broadcasting in 2016. Cable broadcasting standards of 8K are currently under discussion. Fundamental R&Ds

of 8K terrestrial broadcasting are being conducted with the aim to realize practical use after 2020. Concerning the contribution links, 8K uncompressed signal links of optical transmission and 120GHz wireless transmission have been used in public viewing events and will be improved so that they can transmit full spec 144Gbps 8K signals. Compressed signal links of IP transmission have been utilized in many public viewing events and microwave band system are currently being developed for implementation by 2020.

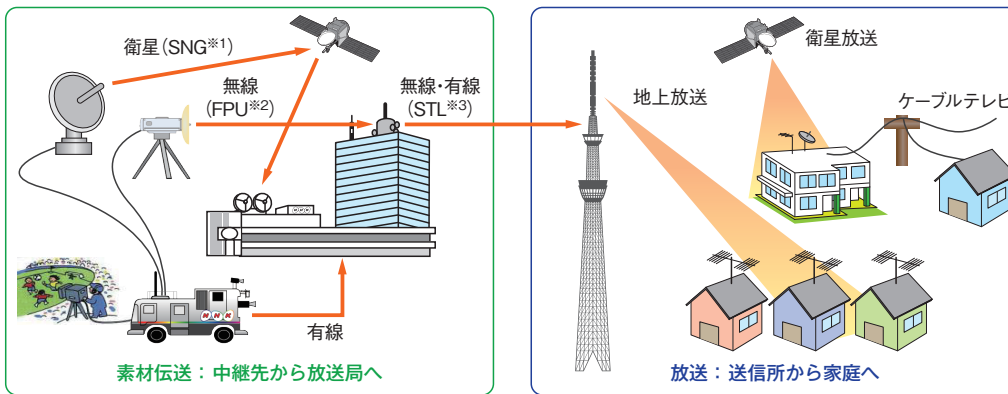
## 1. はじめに

8Kスーパーハイビジョン（以下、8K）放送を実現するためには、番組を放送局（送信所）からご家庭にお届けする「放送」と、映像・音声素材を局外の番組制作現場から放送局に送る「素材伝送」のシステムが不可欠である（1図）。本研究発表では、この「放送」と「素材伝送」の無線・有線の伝送システムについて、当所が研究開発を進めてきた技術を紹介する。

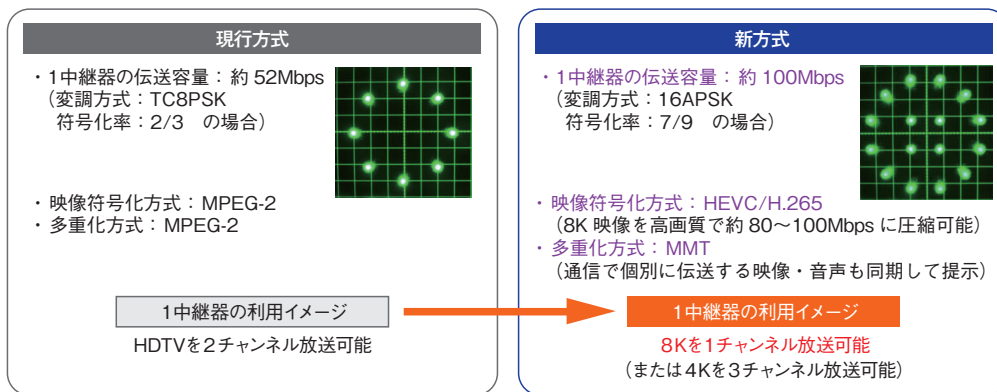
## 2. 8K放送の伝送技術

### 2.1 衛星放送の伝送技術

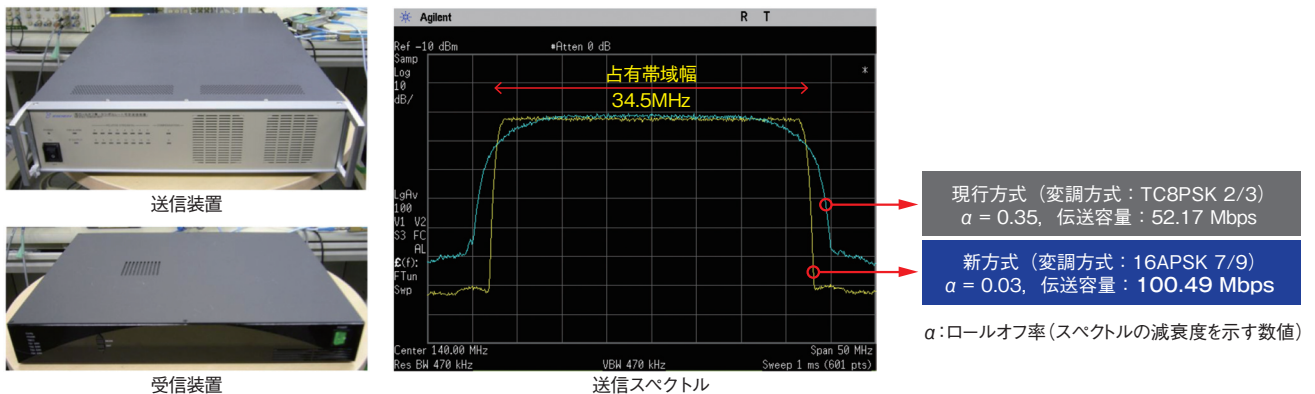
当所では、2016年の8K試験放送の開始、2018年までの実用放送の開始に向けて、新たな衛星放送の伝送方式を開発し、2014年に電波産業会（ARIB：Association of Radio Industries and Businesses）において国内標準化を完了した<sup>1)</sup>。2図に8K衛星放送の伝送方式の特徴を、3図に当所が開発した8K衛星放送の送受信装置と送信スペクトルを示す。



1図 8K放送の実現に向けたさまざまな伝送システム



2図 8K衛星放送の伝送方式の特徴



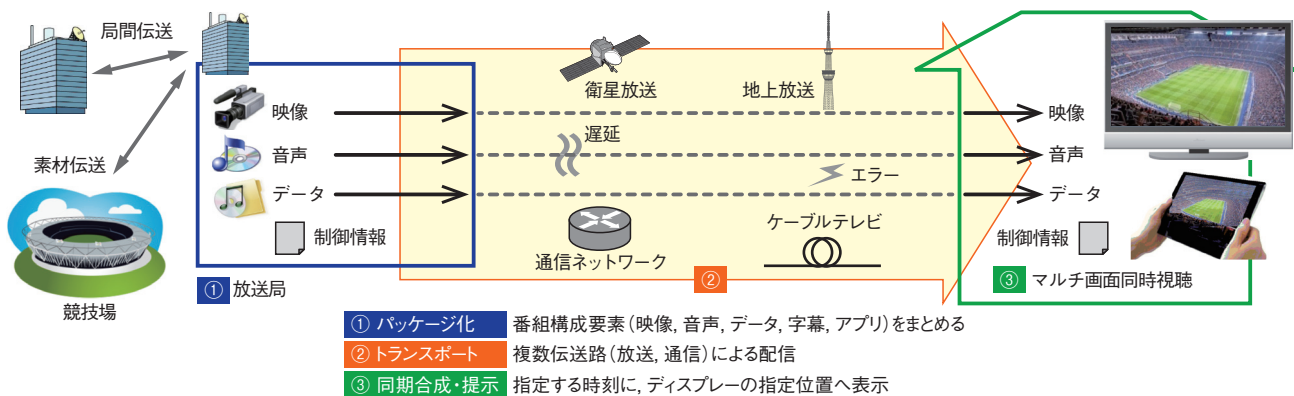
3図 開発した8K衛星放送の送受信装置と送信スペクトル

現行方式の伝送容量は1つの衛星中継器で約52Mbpsであるのに対して、開発した新方式では約2倍の約100Mbpsの伝送が可能となり、8Kの1番組を1つの中継器で伝送することができる。変調方式として、現行のTC8PSK (Trellis Coded 8 Phase Shift Keying) に対して、新方式では16APSK (16 Amplitude and Phase Shift Keying) を用いること、急峻なスペクトル特性とすることにより、伝送容量を増大させた。映像符号化方式と多重化方式については、現行のMPEG-2 (Moving Picture Experts Group-2) に対して、新方式では、それ

ぞれ最新技術のH.265 / HEVC (High Efficiency Video Coding)<sup>2)</sup>と後述するMMT (MPEG Media Transport) を用いた。

## 2.2 多重化技術

8K衛星放送の多重化方式としては、MPEGで標準化が完了したMMTをベースとし、当所の提案内容を含む方式が採用された<sup>3)</sup>。従来のデジタル放送の多重化方式であるMPEG-2 Systemsが、衛星放送などの単一伝送路で映像や音声等を伝送するために用いられてきたのに対し、4図に示すMMTは、衛星放送、地上放送、あるい



4図 MMTの概要



5図 MMTの特徴と今後の展開

は通信伝送路など, さまざまな伝送路で伝送された映像や音声等を束ね, テレビやタブレットなど複数の端末で楽しむことができる方式となっている<sup>4)</sup>。伝送路や端末の多様化が進展する時代に即した方式として, MMTを活用した多彩な放送サービスの創出が期待されている。

MMTの技術的な特徴と今後の展開を5図に示す。映像, 音声, データなどの番組の情報(コンポーネント)を, 通信路を含め, さまざまな伝送路で伝送した場合においても, 各コンポーネントが絶対時刻情報を持っているため, 受信側で高精度な同期合成を実現できる。更に, 受信側で必要なバッファ量が小さい方式であるため, チャンネルを切り替えたときの待ち時間が短いという特徴がある。これまで, 主に衛星放送での実用化に向けてMMTの研究開発を推進してきたが, 今後は, 衛星以外の伝送路で利用する場合の要件を整理し, 各伝送路に適した方式として展開させていくとともに, 多重

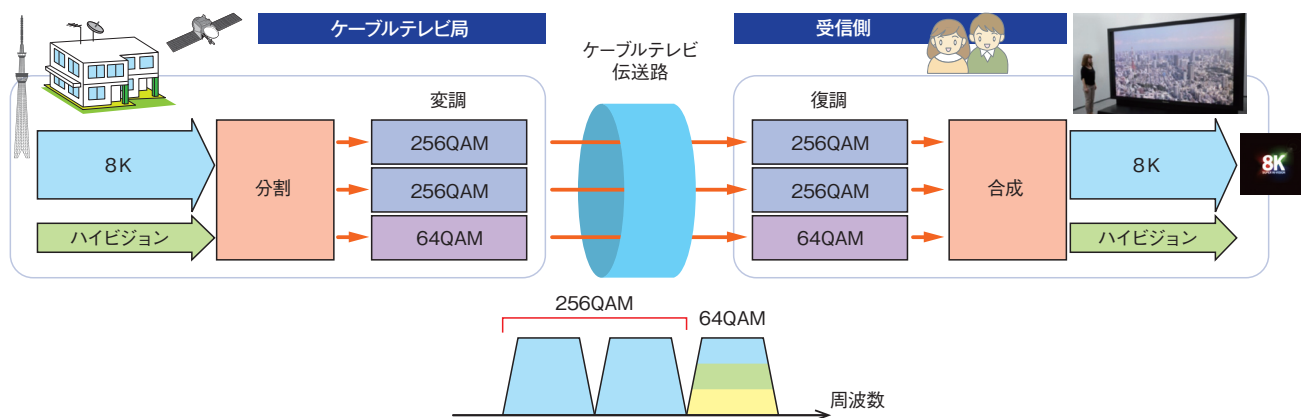
効率の更なる改善と国内・国際標準化を推進していく計画である。既に, 米国の次世代地上放送方式であるATSC (Advanced Television Systems Committee) 3.0にMMTを提案し, 要素技術の1つとして採用されるなど, 着実な展開が進んでいる。

### 2.3 ケーブルテレビの伝送技術

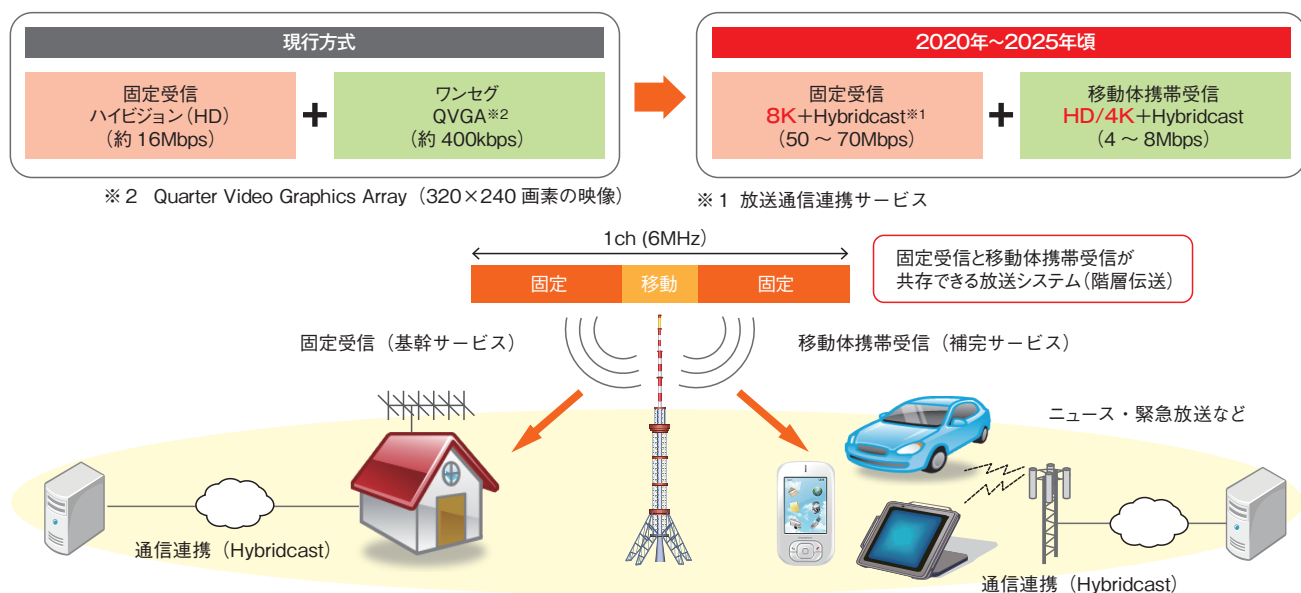
国のロードマップでは, 2016年に, ケーブルテレビで8K伝送の実験的な取り組みを開始することが示されている。

当所では, 幹線を光ファイバーとし, 受信者近傍区間を同軸ケーブルで伝送するHFC (Hybrid Fiber and Coaxial) 方式の施設でも8K信号を伝送できるように, トランスモジュレーション<sup>\*1</sup>を行った上で複数のチャンネルで伝送する複数搬送波伝送方式を開発した<sup>5)</sup>

\*1 衛星放送信号を復調した後, ケーブルテレビに適合した変調方式に変換する技術。



6図 8Kのケーブルテレビ複数搬送波伝送方式



7図 次世代の地上放送システムのサービスイメージ

(6図)。8Kの約100Mbpsの信号は、ケーブルテレビの1チャンネル(6MHz)では伝送できないため、6図の例では、3チャンネルに分割して伝送している。各搬送波の変調方式としては、256QAM(Quadrature Amplitude Modulation)と64QAMを組み合わせて用いることができる。また、伝送帯域に余りが生じる場合には、その帯域にハイビジョン(High Definition Television: HDTV)の番組等を多重して伝送することができる。

この方式は、既存のインフラをそのまま利用できる利点があり、既に実際のケーブルテレビ施設での伝送実験に成功している。現在、国内および国際標準化を進めている。

将来、8Kの多チャンネル化が進展すると、ケーブルテレビのチャンネル不足が大きな課題になると考えられるため、当所では、すべての放送番組をベースバン

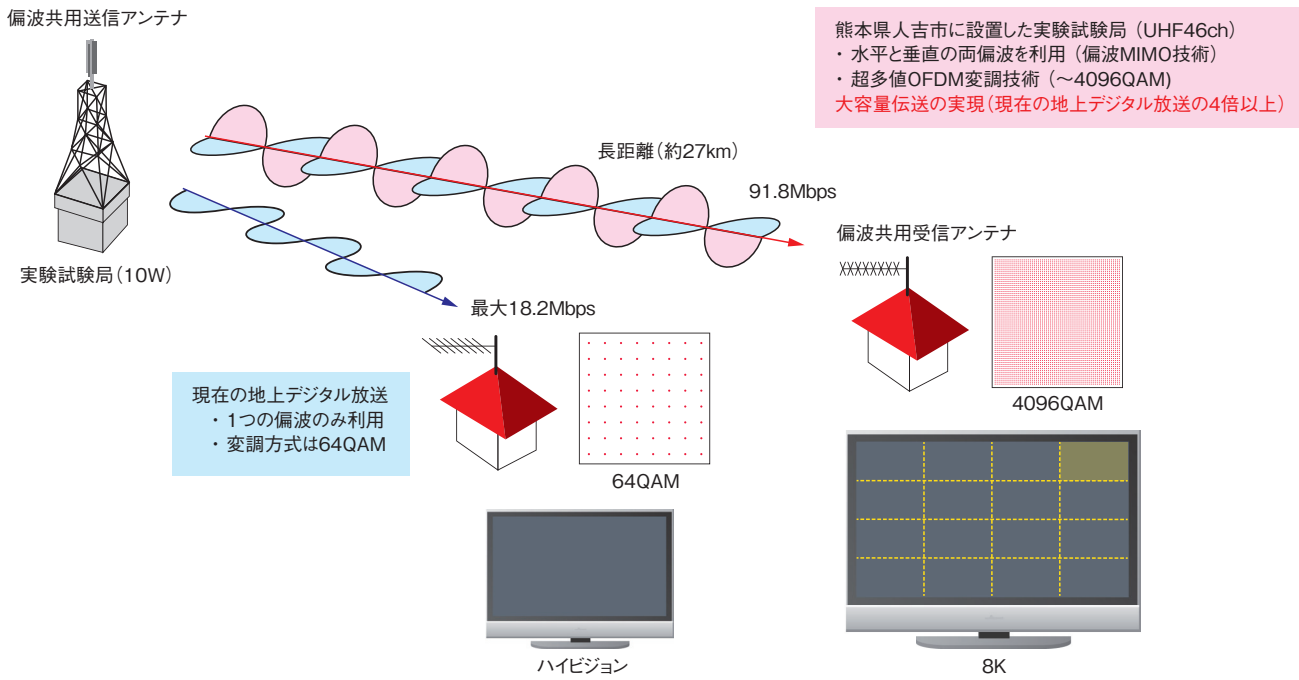
ド信号(1と0の2値デジタル信号)のまま時分割多重(TDM: Time Division Multiplexing)で伝送する、10Gbpsのベースバンド伝送方式の開発を進めている。

### 2.4 地上放送の伝送技術

当所では、2020年以降の8K地上放送の実現に向けて、8K地上伝送の基盤技術の研究を進めている。当所で検討を進めている次世代の地上放送システムのサービスイメージを7図に示す。

現在の地上放送では、1チャンネル6MHzの帯域幅で、固定受信向けのハイビジョンサービスと、移動体・携帯端末向けのワンセグサービスの両方を行っている。このように、複数のサービスを同時に行う伝送を階層伝送と呼んでいる。2020年から2025年頃の開始を想定して検討を進めている次世代地上放送では、固定受信向けの8Kサービスと、移動体・携帯端末向けのハイビジョン(もしくは4K)サービスの階層伝送の実現を目指して、研





8図 地上波8K長距離伝送実験の概要

1表 8Kの非圧縮映像信号のビットレート

映像パラメーター		ハイビジョン	デュアルグリーン8K	フル解像度8K	
		4:2:2 (YCbCr) *1	デュアルグリーン (G1, G2, B, R)	4:2:0 (YCbCr) ~ 4:4:4	4:2:0 (YCbCr) ~ 4:4:4
サンプリング構造		4:2:2 (YCbCr) *1	デュアルグリーン (G1, G2, B, R)	4:2:0 (YCbCr) ~ 4:4:4	4:2:0 (YCbCr) ~ 4:4:4
フレーム周波数 (Hz)		60 *2	60	60	120
ビット深度 (bit)		10	10	12	12
映像ビットレート (Gbps)		1.24 *2	20	36 ~ 72	72 ~ 144

\*1 G, B, Rは、それぞれ緑, 青, 赤を表し, Yは輝度信号, Cb, Crは色差信号を表す。色差信号の水平および垂直の画素数が輝度信号と等しいものを4:4:4、水平方向に半分の間引いたものを4:2:2、水平方向と垂直方向ともに半分の間引いたものを4:2:0と呼ぶ。

\*2 ハイビジョンのビットレートは、飛び越し走査方式の数値である。

究開発を進めている。

これまでに開発してきた伝送システムを用いて、2014年に、熊本県人吉市に設置した実験試験局において、27kmの8K長距離地上伝送実験に成功した<sup>6)</sup>。8図に示すように、現在の地上デジタル放送が、1つの偏波のみを用いて64QAMのOFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 変調で伝送しているのに対して、開発方式では、水平と垂直の両偏波を用いる偏波MIMO (Multiple Input Multiple Output)と、4096QAMの超多値OFDM変調の使用等により、6 MHzの1チャンネルで、現在の地上デジタル放送の4倍以上となる91.8Mbpsの伝送レートを達成した。

この実験は、8K地上放送の技術的な可能性の確認を行うものであり、今後は、家庭の受信環境や送信コストなど、さまざまな制約が伴う中での8K地上放送の実現性検討と、抽出された課題の解決に向けた研究開発を推進していく。

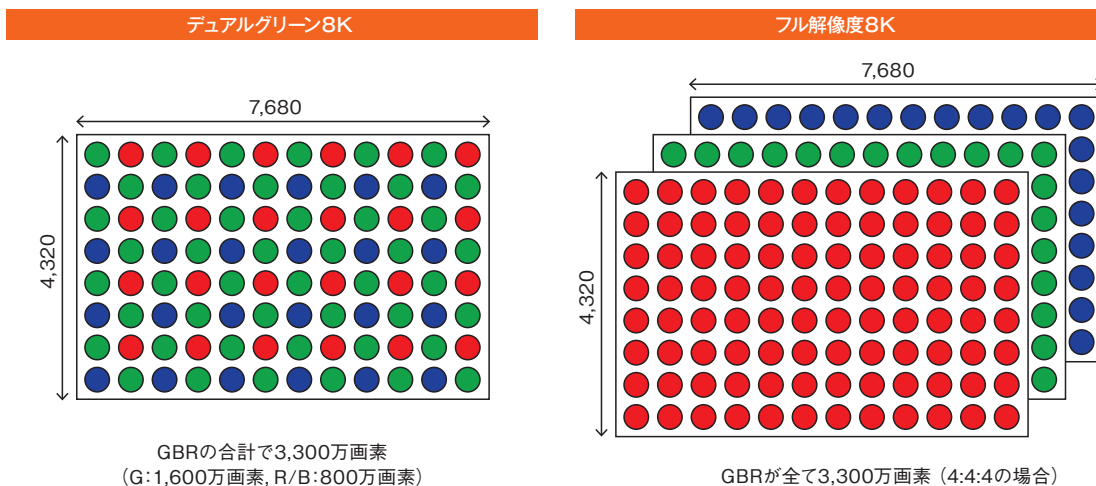
### 3. 8K素材伝送技術

現在、ハイビジョンの素材伝送においては、伝送可能帯域の制約や使用用途に応じて、非圧縮素材信号と、さまざまな圧縮率の圧縮素材信号とを使い分けている。8Kの素材伝送においても、制約や用途等に応じた最適なビットレートでの素材伝送システムが求められており、当所では、さまざまなビットレートに対応した、無線と有線の素材伝送技術の研究開発を進めている。

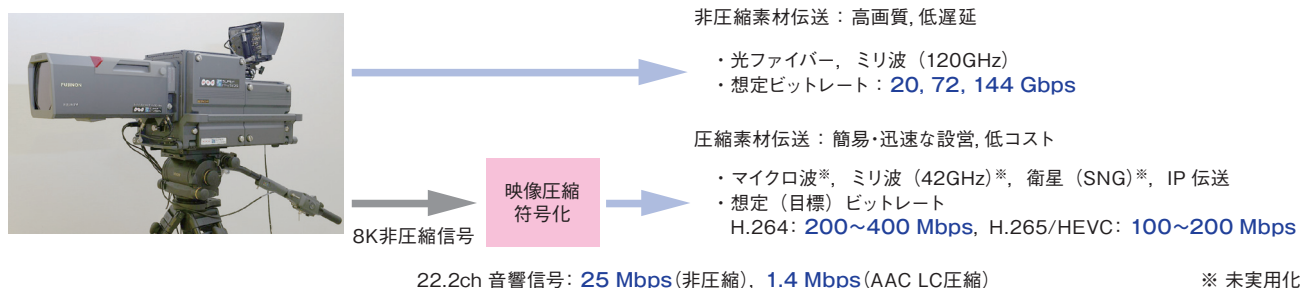
#### 3.1 8K素材伝送の想定ビットレート

1表に8Kの非圧縮映像信号のビットレートを示す。一般に放送局内で用いられるハイビジョンの素材伝送の場合、非圧縮映像信号のビットレートは1.24Gbpsであるが、8Kでは、現在主流のデュアルグリーン<sup>\*2</sup> 8Kで約20Gbps、段階的に移行を進めているフル解像度8Kの

\*2 9図に示すように、緑 (G) の画素数を、青 (B) や赤 (R) の画素数の2倍とする方式。



9図 8Kのサンプリング構造



10図 8K素材伝送の想定ビットレート

場合、フレーム周波数60Hzで最大72Gbps、フルスペックとなるフレーム周波数120Hzで最大144Gbpsにも達する。デュアルグリーン8Kとフル解像度8Kの違いは、9図に示すようにサンプリング構造の違いである<sup>7)</sup>。

当所で開発を進めている素材伝送システムの想定ビットレートを10図に示す。高画質かつ低遅延性が特長の非圧縮素材伝送の場合には、1表の各ビットレートがそのまま想定ビットレートとなる。

一方、緊急報道での迅速な設営や、低コスト性が特長の圧縮伝送の場合には、想定ビットレートは使用する圧縮符号化方式によって異なる。現行の高効率圧縮技術であるH.264方式の場合には200～400Mbps、最新のH.265/HEVCの場合には100～200Mbpsを想定ビットレートとしている。

8Kの音響方式である22.2マルチチャンネル音響(22.2ch音響)信号<sup>8)</sup>のビットレートについては、非圧縮で25Mbps、AAC-LC (Advanced Audio Coding - Low Complexity) 圧縮で1.4Mbpsと想定し、現在のハイビジョン素材伝送と同様に、映像信号に多重して伝送する。

### 3.2 非圧縮信号の光ファイバー伝送

8Kの素材伝送システムとして、当所が最初に開発し

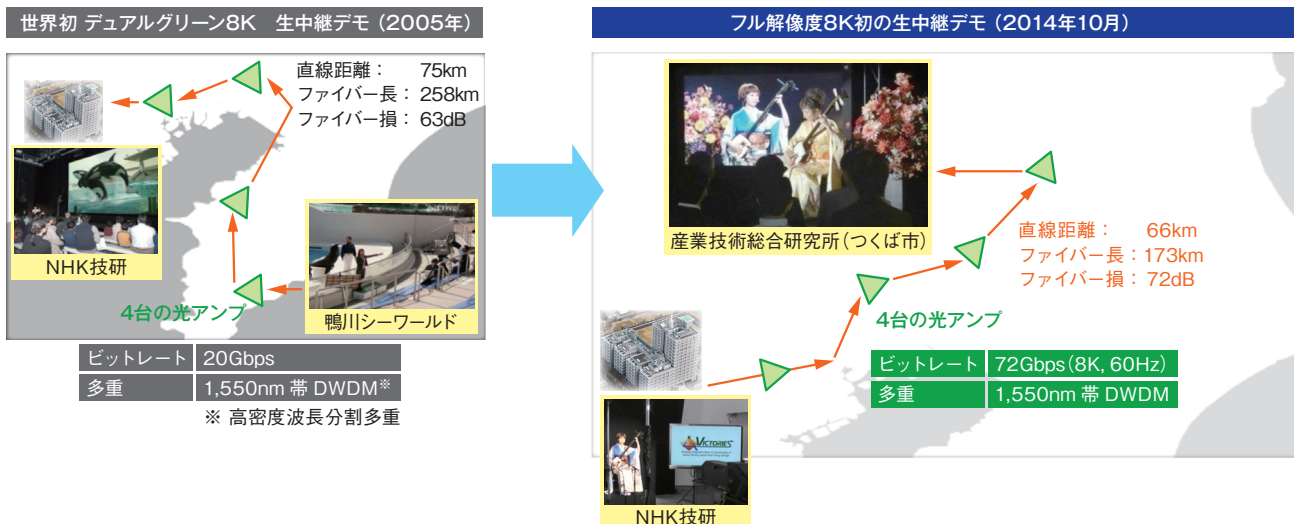
たのは、光ファイバーによる非圧縮信号伝送システムであった。2005年、鴨川シーワールドから当所の間を光ファイバーで接続し、世界初となる8Kの生中継デモに成功した(11図)。映像フォーマットは20Gbpsのデュアルグリーン8Kで、DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing: 高密度波長分割多重) と4台の光アンプを用いて、258kmの伝送を達成した<sup>9)</sup>。

最新の進捗としては、2014年に国立研究開発法人産業技術総合研究所と共同で、非圧縮フル解像度8K信号(フレーム周波数60Hz)の生中継デモに初めて成功した(11図)。DWDMと4台の光アンプによって、72Gbpsのフル解像度8K信号を173km伝送した<sup>10)</sup>。

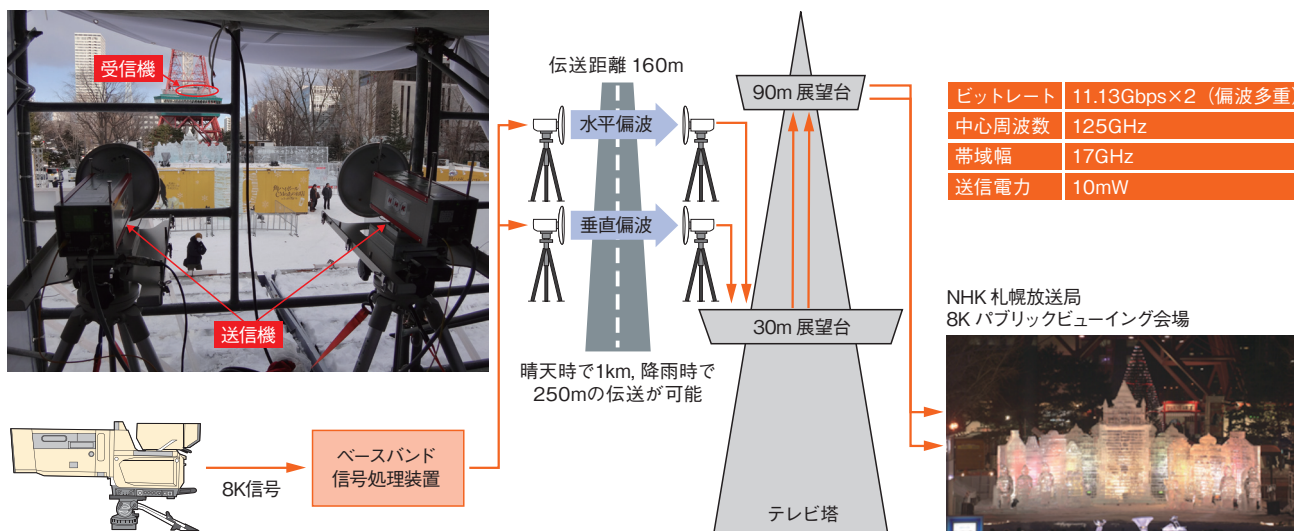
今後は、フルスペックとなるフレーム周波数120Hzのフル解像度8K信号(最大144Gbps)の伝送システムの実現に向けて、更なる開発を進めていく。

### 3.3 非圧縮信号の120GHz無線伝送

素材伝送の際、道路や河川の横断、陸上競技場内など、ケーブル敷設が困難な場合に対応するために、無線による素材伝送手段が不可欠である。当所では、17GHzという広い帯域幅を利用可能な120GHz帯に着目して、デュアルグリーン8K信号の短距離用無線素材伝送システム



11図 非圧縮信号の光ファイバー伝送システム



12図 非圧縮8K信号の120GHz無線伝送システム (「2015さっぽろ雪まつり」における8K生中継伝送)

の開発を進めてきた<sup>11)</sup>。

開発した伝送装置は、デュアルグリーン8K信号を、誤り訂正符号を含めて11.13Gbpsの信号2本に変換した後、水平と垂直の偏波多重によって無線伝送を行うものである。この装置を用いて、2015年2月、さっぽろ雪祭りの会場から札幌テレビ塔への8K伝送を行い、NHK札幌放送局での8Kの生中継デモに成功した(12図)。

### 3.4 圧縮信号のIP伝送

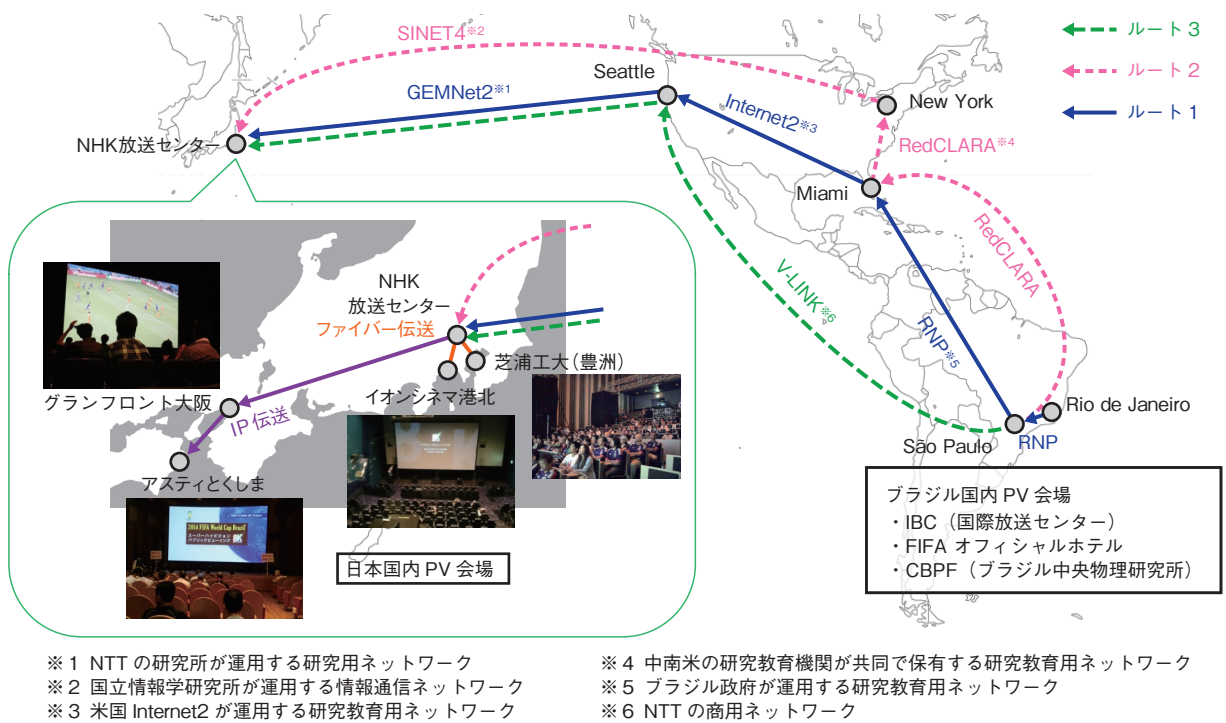
8K圧縮信号の素材伝送システムとして早期に開発され、さまざまなパブリックビューイングイベントで長距離伝送を実現してきたのがIP (Internet Protocol) 伝送システムである。2014 FIFA ワールドカップ ブラジルの8Kパブリックビューイングにおいても、ブラジルから日本への長距離8K伝送システムとして、当所が開発したIP伝送システムが用いられた<sup>12)</sup>。13図に示すように、

NTTの協力のもとで、ブラジルと日本の間を、学術IP網と商用IP網を組み合わせることで接続し、H.264方式で圧縮した280Mbpsのデュアルグリーン8K信号を伝送した。日本までの伝送遅延は約20秒で、そのほとんどはIP伝送のルーティングにおけるバッファリング時間であった。国内は、NHK放送センターから首都圏の2会場に光ファイバーで非圧縮伝送し、大阪会場と徳島会場にはIP伝送を行った。パブリックビューイングは、国内4会場、ブラジル3会場で実施され、大いに成功を収めた。

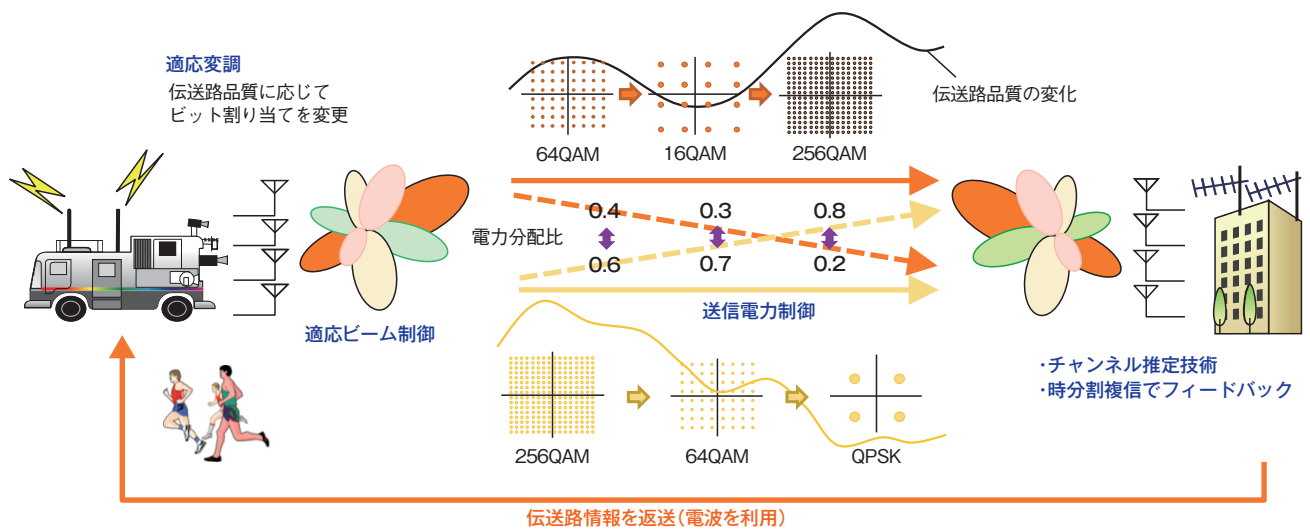
### 3.5 圧縮信号の移動用FPU伝送

ロードレース中継の番組制作では、移動する中継車から映像・音声信号を無線伝送するシステムが不可欠である。当所では、2020年の東京オリンピック・パラリンピックにおける8Kでのロードレース中継の実現を開発ターゲットに設定し、1.2GHz帯もしくは2.3GHz帯の周波数

学術 IP 網と商用 IP 網を組み合わせるとルート 1～3を構成



13図 2014 FIFA ワールドカップ ブラジルの8Kパブリックビューイングの伝送システム



14図 移動用FPU

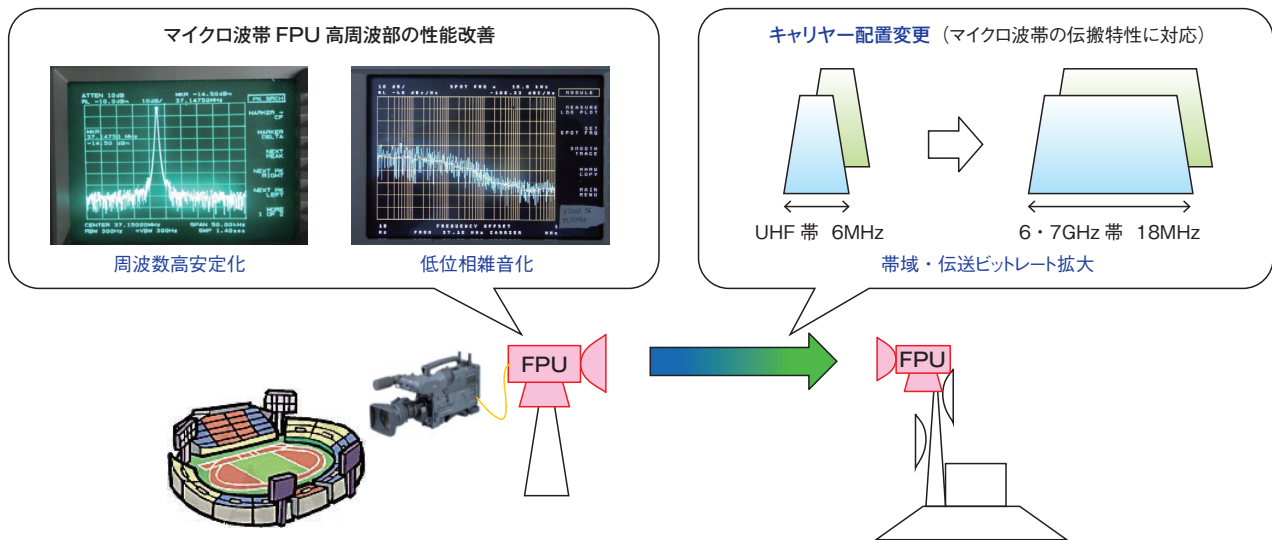
帯を想定して、100～200Mbps級の移動用FPU (Field Pickup Unit) の研究開発に着手した。現在、国の委託研究を受託して研究開発を進めている。

開発中のシステムは、従来は片方向の送信であったFPUに双方向伝送技術を導入することで、変調方式等の送信パラメーターを動的に制御するとともに、OFDM技術で周波数利用効率を高め、移動体での8K素材伝送を可能とするものである(14図)。

### 3.6 圧縮信号の固定用FPU伝送

当所では、8Kの固定用FPUとして、6～7GHz帯のマイクロ波を用いる伝送システムの研究開発にも着手している。このシステムは、次世代地上放送向けに開発した偏波MIMO・超多値OFDM伝送技術を応用し、素材伝送用周波数帯に適合するように帯域幅やキャリア配置を変更することで、200Mbps程度の伝送を目標としている(15図)。現在、マイクロ波帯の高周波部の性能改





15図 固定用FPU

善が、実現に向けた課題となっており、周波数の高安定化や低位相雑音化を中心に研究開発を進めている。マイクロ波は現行ハイビジョン用FPUの主力周波数帯であり、8Kシステムの早期実現を目指して開発を加速している。

#### 4. むすび

本稿では、8K放送の実現に向けた伝送システムの開発の概要として、番組を放送局からご家庭にお届けする「放送」と、映像・音声素材を局外の番組制作現場から放送局に送る「素材伝送」の技術について紹介した。

衛星放送については、2016年の試験放送に向けて、1つの衛星中継器で8Kの1番組を伝送できる方式と、MMTを用いた新たな多重化技術を開発し、国内標準化が完了した。ケーブルテレビについては、既存インフラ

を最大限利用可能な方式を開発し、実施で実証した。衛星放送、ケーブルテレビともに、将来の更なる高度化に向けた研究開発にも着手している。地上放送については、2020年以降の実現を目指して、サービスイメージの検討を深めるとともに、実現に必要な基盤技術の研究を推進している。

非圧縮信号の素材伝送に関しては、フルスペック8Kの最大144Gbpsの伝送手段の確保に向けて、伝送容量の拡大に取り組んでいる。圧縮素材伝送については、現在のハイビジョン番組制作でも主流となっているマイクロ波帯やミリ波帯のFPU、SNG (Satellite News Gathering) の伝送システムの開発を進めている。「8K素材伝送を日本のどこからでも行えること」を目標に、これらの素材伝送手段の早期実現に向けて、研究開発をより一層推進していく。

## 参考文献

- 1) 電波産業会：“高度広帯域衛星デジタル放送の伝送方式標準規格（2.0版）,” ARIB STD-B44（2014）
- 2) 杉藤：“スーパーハイビジョン対応HEVCリアルタイム符号化装置,” NHK技研R&D, No.140, pp.32-40（2013）
- 3) 電波産業会：“デジタル放送におけるMMTによるメディアトランスポート方式（1.2版）,” ARIB STD-B60（2015）
- 4) 青木：“MMTを用いた8Kスーパーハイビジョン衛星放送のメディアトランスポート方式,” NHK技研R&D, No.150, pp.23-34（2015）
- 5) Y. Hakamada, N. Nakamura, T. Kurakake, T. Kusakabe and K. Oyamada：“UHDTV（8K）Distribution Technology and Field Trial on Cable Television Networks,” ITE Trans. on MTA, Vol.2, No.1, pp.2-7（2014）
- 6) 齋藤, 部, 朝倉, 土田, 斉藤, 瀧口, 三浦, 澁谷：“地上放送における4K/8Kの研究開発,” 映情学誌, Vol.69, No.1, pp.46-51（2015）
- 7) 島本：“多様な番組制作のための8Kスーパーハイビジョンカメラの開発,” NHK技研R&D, No.148, pp.4-11（2014）
- 8) 西口, 小野, 渡辺：“8Kスーパーハイビジョン音響制作システムの開発と標準化動向,” NHK技研R&D, No.148, pp.12-21（2014）
- 9) 中戸川, 前田, 小山田：“非圧縮スーパーハイビジョン信号の16波高密度波長多重方式による長距離伝送,” 映情学誌, Vol.60, No.9, pp.1490-1495（2006）
- 10) 川本, 中戸川, 倉掛, 小山田：“誤り訂正符号を付加した非圧縮フル解像度スーパーハイビジョン信号の長距離光伝送実験,” 映情学冬大, 1-8（2014）
- 11) 津持, 岡部, 杉之下, 竹内, 高橋, 枚田：“SHV信号伝送用120GHz帯FPUの1.25km伝送実験,” 信学総大, C-2-111（2014）
- 12) 日向, 梶田：“FIFAワールドカップブラジル2014 8Kスーパーハイビジョン 日本国内パブリックビューイング報告,” 放送技術, 10月号, pp.87-92（2014）



さいとうともひろ  
斉藤知弘

1987年入局。長野放送局を経て、1990年から放送技術研究所において、FM多重放送方式、衛星放送システム、BSデジタル放送方式などの研究に従事。2001年から技術局において国際標準化活動などに従事。2006年から2009年まで（株）放送衛星システムに出向。現在、放送技術研究所研究主幹。