

# 1 8Kスーパーハイビジョン

2018年12月1日の新4K8K衛星放送の開始と、今後の8Kスーパーハイビジョン (SHV) のフルスペック化、地上放送への展開などに向け、映像、音響、伝送関連の分野において多岐にわたる研究を進めている。

映像の方式に関しては、HDR (High Dynamic Range) 番組制作に関してテスト信号の標準化および眩しさに関する検討を進めるとともに、8K 120Hz HDRライブ制作機器の開発と実証実験を行った。カメラ・記録関連では、光学サイズ1.25インチ、3,300万画素、フレーム周波数240Hz (最大480Hz) の高速度撮像にも対応した8Kイメージセンサーを開発した。また、単板カラー方式による8K 240Hz撮像装置、および240Hzで記録し60Hzで同時再生可能なスロー再生装置を試作した。さらに、圧縮記録装置の動画圧縮 (ProRes) への対応、小型メモリパックの高速度化、8K ProResファイルのPCでのリアルタイムプレビュー装置の開発を行った。ディスプレイの開発としては、薄板ガラスを用いた4K有機ELパネルを4枚組み合わせた8Kシート型ディスプレイを高輝度化し120Hzフレーム表示に対応させた。また、高輝度HDR対応8K液晶ディスプレイを開発し、ピーク輝度を従来の3倍以上である3,500 cd/m<sup>2</sup>に高めた。プロジェクターは、色むら補正回路による高画質化と信号処理装置の小型化による運用性改善を進めた。映像の符号化に関しては、HEVC方式による8K 120Hzコーデックの開発を進め、試作機のリアルタイム動作を実現した。併せて、より高効率な次世代の映像符号化技術の開発を進め、一部を国際標準化会議に提案した。さらに、機械学習や超解像技術の映像符号化への応用の研究を進めた。

音響関連では、番組音声の一体化制作を目的に、22.2ch音声信号から2ch音声信号、5.1ch音声信号を高品質に生成する、適応ダウンミックス手法の性能向上を進めた。また、次世代の地上放送での音声符号化方式検討を目的に、MPEG-H 3D Audio LCプロファイルを用いた22.2ch音響リアルタイム符号化・復号装置を開発した。再生技術では、トランスオーラル再生法のロバスト性を高める研究を進めるとともに、圧電性の電気音響変換フィルムを用いた薄型スピーカーを開発した。

伝送技術については、メディアトランスポート技術であるMMT (MPEG Media Transport) 技術を次世代地上放送の多重伝送方式として適用するための検討や、4K・8KコンテンツのIP配信技術の実証、複数端末における同期提示技術の開発など、MMTによるIPマルチキャスト配信技術の研究を進めた。衛星によるSHV放送の本格普及に向けては、12GHz帯での伝送性能向上や受信環境整備に取り組んだ。また、さらなる大容量伝送のために21GHz帯などの次世代衛星放送の検討を行い、新たな伝送方式や12/21GHz帯偏波共用アンテナ、衛星システムなどの研究を進めた。地上波によるSHV放送の実現に向けて、次世代地上放送の暫定的な仕様の詳細設計や性能改善を進め、暫定仕様を検証する大規模実験に向け、東京および名古屋地区で親局規模の実験試験局の環境を整備した。さらに、SFN (Single Frequency Network) を構成するエリアにおいて複数の送信局から電波が到来することに起因する伝送特性の劣化を低減する目的で、時空間符号化技術を適用したSFN技術の研究を進めた。番組素材伝送技術については、SHVによる緊急報道やスポーツ中継などのライブ放送を目指し、マイクロ波帯FPU (Field Pick-Up Unit) の研究開発と標準化活動を行った。加えて、ロードレース中継などのSHV移動中継の実現に向け、1.2/2.3GHz帯FPUでは、伝送路応答の変動に応じて誤り訂正符号の符号化率を適応的に制御するレートマッチング方式の研究を進め、8K映像の移動伝送を野外実験で確認した。有線伝送技術については、IP技術を用いた番組制作・素材伝送に必要な8K IP伝送装置の開発や、異なる伝送フォーマット・制御方式のIP機器間における相互接続のための技術を検討した。また、ケーブルテレビでの4K・8K再放送方式の実用化対応とともに、将来の大容量伝送技術であるベースバンド伝送方式の開発に向けた棟内伝送方式の検討も進めた。

## 1.1 映像システム

### ■ハイダイナミックレンジテレビ

ハイダイナミックレンジテレビ (HDR-TV : High Dynamic Range Television) 番組制作の運用方法の検討を番組制作技術者と連携して進めた。HLG (Hybrid Log-Gamma) 方式における基準レベルとして、反射率100%の被写体や文字・図形の白をHLG信号レベル75%で表現することが適当と判断した。この基準レベルに基づき、HDR番組の中でSDR (Standard Dynamic Range) 素材を扱うために、0~100%のSDR信号を0~75%のHLG信号に割り当てる方法を提案した。また、

HDR-TV番組を快適に視聴できる輝度レベルを検討し、映像の平均輝度レベルがディスプレイの最大輝度の25%を超えると眩しく感じ始めることを主観評価実験結果から導いた。これらの内容を、国際電気通信連合無線通信部門 (ITU-R) のレポートBT. 2390<sup>(1)</sup>およびBT. 2408<sup>(2)</sup>に反映させるとともに、(一社)電波産業会 (ARIB) 技術資料TR-B43にまとめた<sup>(3)</sup>。さらに、HDR-TV番組制作用に提案したカラーバーがITU-R勧告BT. 2110<sup>(4)</sup>およびARIB標準規格STD-B72<sup>(5)</sup>に規定された。ディスプレイの黒レベル調整用のテスト信号 (PLUGE信号) について、HDR-TV用ディスプレイの調整に適した信号レベルを検討

した結果がITU-R勧告BT. 814改訂版<sup>(6)</sup>に反映された。

HDR／広色域ディスプレイの色体積 (Color volume) の計算基準の検討を進めた。複雑な3次元の色体積計算を色空間で行う必要はなく、従来の測色法に基づくxy色度図上での色域 (面積) とディスプレイのピーク輝度の組み合わせで色体積を予測できることを示した<sup>(7)</sup>。

## ■フルスペック8K制作システム

フルスペック8K映像制作を実現するために、フレーム周波数120Hzに対応する制作機器および制作システムの研究開発を進めている。技研公開2017で、これまでに開発したカメラ、プロダクションスイッチャ、記録装置、ディスプレイ、タイムコード装置、文字スーパー装置等を接続して制作実験を実施し、フルスペック8Kによるライブ制作が可能であることを実証した (図1-1)<sup>(8)</sup>。

フルスペック8K制作機器として、新たに非圧縮映像と汎用IPデータを伝送可能な波長多重伝送装置を開発するとともに、8K 120Hz映像・音声のリアルタイム出力が可能な編集装置の開発を進めた。

[参考文献]

- (1) Report ITU-R BT. 2390-3, "High dynamic range television for production and international programme exchange," (2017)
- (2) Report ITU-R BT. 2408-0, "Operational practices in HDR television production" (2017)



図1-1 ライブ制作実験と制作システム

- (3) (一社) 電波産業会：“高ダイナミックレンジ映像を用いた番組制作の運用ガイドライン (1.0版),” ARIB TR-B43 (2018)
- (4) Rec. ITU-R BT. 2110-0, "Specification of colour bar test pattern for high dynamic television system," (2017)
- (5) (一社) 電波産業会：“Colour Bar Test pattern for the Hybrid Log-Gamma (HLG) High Dynamic Range Television (HDR-TV) System (1.0版),” ARIB STD-B72 (2018)
- (6) Rec. ITU-R BT. 814-3, "Specifications of PLUGE test signals and alignment procedures for setting of brightness and contrast of displays," (2017)
- (7) K. Masaoka：“Rec. 2020 System Colorimetry and Display Gamut Metrology,” Proc. IDW/AD' 17 (2017)
- (8) 小出, 米内, 原, 荒井, 松原, 中村, 富岡, 林田, 瀧口, 島本：“フルスペック8K制作システム—ライブ制作実証実験—,” 映情学技報, Vol. 41, No. 23, BCT2017-68 (2017)

## 1.2 カメラ

### ■8K 4倍速高速度カメラとスロー再生装置

スポーツ番組での8Kスローモーションシステムの実現に向けて、高速度カメラ装置、スロー再生装置の開発を進めている。

高速度カメラについては、フレーム周波数240Hzに対応した撮像素子および撮像装置の開発を進めた。撮像素子は、光学サイズが1.25インチで画素数が3,300万のCMOS撮像素子を新たに試作した<sup>(1)</sup> (図1-2)。撮像素子の内部には、3段パイプライン方式による積算型アナログデジタル変換器 (ADC) を備え、さらにADC回路のばらつきを抑えるデジタルCDS (相関2重サンプル) 回路を備えた。これにより、フレーム周波数120Hzでの高画質撮影と、フレーム周波数240Hzを超える (最大480Hz) 高速度撮影の両方に対応した。試作した撮像素子を用いて単板カラー方式による8K 240Hzカラー撮像装置を試作した。さらに、色分解光学プリズムを用いた3板式8K高速度カメラの開発にも着手した。

スロー再生装置については、高速度モノクロ撮像装置とカラーサンプリング4:2:0圧縮記録装置を用いた8K 240Hzスロー撮像実験を行った<sup>(2)</sup>。また、2016年度に試作した60Hz記録60Hz同時再生装置を改修し、240Hz記録60Hz同時再生に対応した。この装置では、入力インターフェースはU-SDI入力2系統を用いてカラーサンプリング4:4:4に対応し、圧縮回路は60Hzが処理できる信号処理基板を4系統実装し、記録ユニットはSATA SSDの記録ユニットを4系統実装し、それぞれ240Hzに対応した。また外部から汎用のコントローラで制御可能とした。

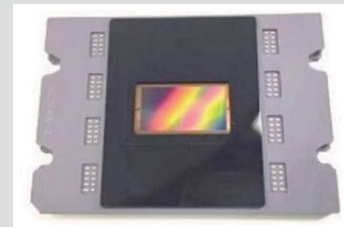


図1-2 試作した1.25インチ高速度撮像素子

一方、既開発のフルスペック8Kスーパーハイビジョン機材 (120Hz超小型単板カメラおよび圧縮記録装置) を用いて、2倍速8Kスローモーションシステムを構築し、NHK杯フィギュアなどのスポーツ番組で使用した。

### ■フルスペック8K小型カメラ

小型で実用的なフルスペック8Kスーパーハイビジョンカメラの実現を目指して、1.25インチ光学系による3板式プロトタイプ8Kカメラの開発を進めた。センサー駆動基板、信号処理基板などを4倍速高速度カメラと共用することにより、効率的な開発を図った。

既開発のフレーム周波数60Hz画素数1億3,300万フル解像度単板カメラについて、インターライン走査 (飛び越し走査) により120Hz撮影に対応した。スキップされたラインを動きの有無に応じて適応的に補間することにより、静止部分における解像度特性維持と、動解像度改善の両立を図った<sup>(3)</sup>。

また、既開発のフルスペック8Kカメラや単板カメラを用いて、屋外でのフルスペック映像収録や技研公開2017でのライ

ブ制作、NHKスペシャルなどの番組協力を行った。

## ■ その他のカメラ周辺技術

将来の普及型8Kカムコーダーの実現に向け、8K映像をAVC/H. 264エンコーダーで1/80に圧縮し、SDカード4枚で1時間以上収録可能な原理検証試作機を開発した。圧縮映像は48dB以上のPSNRが得られた<sup>(4)</sup>。

オートフォーカス(AF)の実現に向け、像面位相差方式とコントラスト方式を組み合わせたハイブリットAF方式撮像実験装置を開発し<sup>(5)</sup>、技研公開2017で展示した。

入射光量を電子的に連続可変できる電子式可変NDフィルターについて、金属塩析成型材料を用いた調光素子を試作した。材料の見直し、駆動回路の工夫により、応答時間(光透過率が初期から1/8に減衰する時間)を3秒まで高速化した<sup>(6)</sup>。

高彩度の被写体を撮影した際に階調が失われる問題について、その原理を解明し、カメラ内部の信号処理におけるリニアマトリックスとニー・クリップの処理の順序を入れ替えることで階調再現を改善できることを示した<sup>(7)</sup>。

テレビカメラの2次元的な空間解像度特性をリアルタイムで正確に測定可能なシステムを開発し、NAB Showで展示した<sup>(8)</sup>。

撮像素子の研究は、静岡大学と共同で実施した。電子可変NDの研究は、(株)村上開明堂と共同で実施した。

[参考文献]

(1) T. Yasue, K. Tomioka, R. Funatsu, T. Nakamura, T. Yamasaki,

H. Shimamoto, T. Kosugi, S. Jun, T. Watanabe, M. Nagase, T. Kitajima, S. Aoyama and S. Kawahito: "A 2.1 $\mu$ m 33Mpixel CMOS Imager with Multi-Functional 3-Stage Pipeline ADC for 480fps High-Speed Mode and 120fps Low-Noise Mode," 2018 IEEE International Solid-State Circuits Conference (2018)

(2) 梶山, 船津, 山崎, 安江, 菊地, 小倉, 宮下, 島本: "高速度モノクロ撮像装置および圧縮記録技術を用いた8K/240fpsスローモーションシステム," 高速度イメージングとフォトンクスに関する総合シンポジウム2017, 8-2 (2017)

(3) T. Nakamura, T. Yamasaki, R. Funatsu and H. Shimamoto: "An 8K full-resolution 60-Hz/120-Hz multi-format portable camera system," SMPTE 2017 Annual Technical Conference (2017)

(4) R. Funatsu, T. Kajiyama, T. Matsubara and H. Shimamoto: "Experimental Prototype of SD Memory Card Recordable 8K/60P Camcorder," IEEE ICCE 2018 (2018)

(5) T. Yamasaki, R. Funatsu, T. Nakamura and H. Shimamoto: "Hybrid Autofocus System by Using a Combination of the Sensor-Based Phase-Difference Detection and Focus-Aid Signal," IEEE ICCE 2018 (2018)

(6) 菊地, 宮川, 安江, 島本, 持塚, 牧田: "金属塩析成型調光素子の制御技術の開発," 映情学冬大, 12C-1 (2017)

(7) 野村, 安江, 正岡, 日下部: "HDR/SDR一体化制作カメラにおける色再現改善," 映情学年次大, 34E-2 (2017)

(8) K. Masaoka, K. Arai, K. Nomura, T. Nakamura, Y. Takiguchi: "Real-Time Measurement of Ultra-High Definition Camera Modulation Transfer Function," SMPTE 2017 Annual Technical Conference & Exhibition (2017)

## 1.3 ディスプレー

8Kスーパーハイビジョン(SHV)映像を表示可能な各種ディスプレイの開発や、大画面シート型ディスプレイの研究を進めている。

### ■ SHVシート型ディスプレイの研究

将来の家庭用大画面SHVディスプレイの実現を目指し、軽く薄く、持ち運びに便利なシート型有機ELディスプレイの



図1-3 高輝度、フレームレート120Hzの表示に対応したシート型有機ELディスプレイ

開発を進めている。2017年度は、薄板ガラスを用いた画面サイズ65インチの4K有機ELパネルを4枚組み合わせた、シート型ディスプレイの高輝度化を図りつつ、120Hzフレーム表示にも対応し、高画質な8K映像表示を実現した(図1-3)。本ディスプレイは、LG Displayとアストロデザイン(株)の協力により試作した。今後は、1枚のパネルで8K映像を表示可能なディスプレイの開発を進めるとともに、より軽量かつ柔軟なプラスチック基板を用いたフレキシブルディスプレイの実現に向けた



図1-4 高輝度HDR対応8K液晶ディスプレイ

研究を進めていく。

## ■HDR対応8K液晶ディスプレイ

従来の3倍以上の高輝度表示を可能とするHDR対応8K液晶ディスプレイ(図1-4)をシャープ(株)と共同で開発した。バックライトの高輝度化技術によって、 $3,500\text{cd}/\text{m}^2$ のピーク輝度とダイナミックレンジ40万:1(いずれも実測値)を実現した。

# 1.4 記録システム

フルスペック8Kスーパーハイビジョン記録機器の実現を目指して、圧縮記録装置および周辺機器の開発を進めている。2017年度は、圧縮記録装置への動画圧縮(ProRes)機能の追加および小型メモリーパックの記録再生速度の改善、記録されたコンテンツのPCでのリアルタイムプレビュー装置の開発を進めた<sup>(1)</sup>。

圧縮記録装置に関しては、収録コンテンツを汎用の編集ソフトにファイルで入出力し直接編集ができるよう、試作した圧縮記録装置<sup>(1)</sup>に動画を圧縮できる機能を実装した。8K解像度で15Hzの処理が可能なProRes圧縮IPコアを1つのFPGAに3個実装してパイプライン処理することで、40Hz以上のリアルタイム圧縮処理を可能にした。これを圧縮信号処理基板の3個のFPGAに実装し、120Hzでの圧縮を実現した。また、2Kのプロキシ映像も同時に処理できるように、IP内部で2K画像と8K画像を高速で切り替える回路を内蔵した。2016年度に実装した復号IPコアと新規に開発した圧縮IPコアにより、120Hzでの8Kと2Kプロキシの同時収録と8K再生を実現した。さらに、中継車等でのオペレーションを可能とするため、汎用のリモートコントローラでの制御に対応した(図1-5)。

小型メモリーパックに関しては、2016年度に開発したNVMeインターフェースの高速化と2スロット化への対応を行った。NVMeインターフェースを持つ小型メモリーパックでデバイス性能を最大限引き出すには、ホストインターフェースの複数コマンドの同時発行と転送データブロックサイズの拡大が必要であることが分かった。そこで、これらに対応できるようホストインターフェースを改修し、圧縮記録装置において20Gbps以上の記録速度を達成した。また、小型メモリーパックの2スロット化を行い、2016年度に試作した記録装置の2倍の長時間記録に対応した。小型メモリーパック対応のバックアップソフトも開発し、RAWデータ形式や、動画形式でのバックアップを可能にした。

圧縮記録装置での収録素材をPCで簡単にプレビューできるように、8K ProResリアルタイムプレビューボードを開発した。圧縮記録装置に実装した復号IPコアは、メモリーバンド幅を確保すれば8K60Hzで動作可能なため、FPGA評価ボードへ復号IPコアを実装するとともに、PC用のドライバーを開発した。これらをPCにインストールして収録映像のリアルタイムプレビューを実現した(図1-6)。

## ■フルスペックSHVプロジェクター

赤・緑・青の半導体レーザーを光源とし、広色域・フレーム周波数120Hzに対応するフルスペックSHVプロジェクターの画質改善を進めた。シェーディング補正回路における明るさ方向の補正点を増やすことで、レーザー光の干渉により生じる表示映像の輝度や色のむらを低減した。また、プロジェクターの液晶素子を駆動する信号処理装置を小型化してプロジェクターヘッド内に実装し、運用性を改善した。



図1-5 圧縮記録装置と小型メモリーパック



図1-6 PCプレビュー装置

[参考文献]

- (1) 梶山, 菊地, 小倉, 宮下, 鉄地川原, 渡瀬, 長井, 高島: “フルスペック8Kスーパーハイビジョン圧縮記録装置の開発,” 映像学誌, Vol. 72, No. 1, pp. J41-J46 (2018)

## 1.5 高臨場感音響

SHVの22.2マルチチャンネル音響(22.2ch音響)の研究開発ならびに標準化を進めている。

### ■ SHV音響一体化放送システム

22.2ch音響の番組を、2chや5.1chの番組と同時にかつ効率的に制作するための研究を進めている。

2016年度より研究を進めている、22.2ch音声信号間のコヒーレンスに着目したダウンミックス音のエネルギースペクトル補正手法について、2017年度は性能向上を図り、番組制作を行う音声技術者を対象として主観評価実験を実施した<sup>(1)</sup>。表1-1に示すように、最も適切なダウンミックス音と評価されたのは抑圧処理・増幅処理ともに補正量が最大値の場合であり、提案手法による音質改善効果を実証した。

また、2chステレオで収録された音声素材を22.2ch音響制作に活用するためのアップミックス技術について、適応フィルターを用いて2chステレオ信号の相互相関に応じて構成成分を分離し、22.2ch素材を生成する手法を開発した<sup>(2)</sup>。

### ■ SHV音響変換再生技術

22.2ch音響を家庭で楽しむための再生技術の研究を進めている。2017年度はラインアレースピーカーを用いたトランスオーラル再生法について、系の摂動や外乱に対するロバスト性能を高める再生制御器の設計法を考案し<sup>(3)</sup>、シャープ(株)と共同で開発を進める信号処理装置に実装した。

また、想定する再生環境の特性を含む頭部伝達関数を低次で精度よくモデリング可能な手法を提案し、本手法を用いて22.2ch音響をヘッドホンで再生するための信号処理装置を開発した。

### ■ 三次元マルチチャンネル音響 標準音源

2017年度に(一社)映像情報メディア学会より発刊された三次元マルチチャンネル音響標準音源Aシリーズについて、ARIBが実施した音源制作に寄与するとともに、評価項目や収録条件などをまとめた解説書を作成した。

### ■ 音響デバイス

2016年度に開発した22.2ch音響のワンポイントマイクロホンを技研公開2017で展示した。さらに、チャンネル間の分離性能を向上させる信号処理の検討を進めた。また、三次元マルチチャンネル音響標準音源の制作に寄与し、本マイクロホンを用いて管楽器・弦楽器による八重奏の演奏や遊園地の風景音などを収録した。

表1-1 抑圧および増幅処理における補正量の評価結果

選択順位	1	2	3	4
抑圧量	最大	中	小	無し
増幅量	最大	中	小	無し

(選択順位が高いほど良い評価を表す)

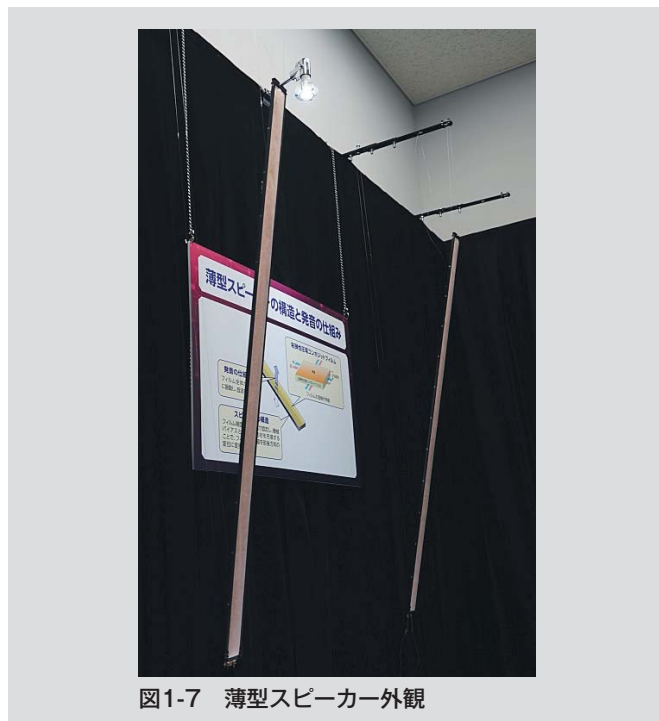


図1-7 薄型スピーカー外観

薄型テレビ用のスピーカーや家庭用の22.2ch音響スピーカーへの応用を目的に、圧電性の電気音響変換フィルムを用いた薄型スピーカーを開発し、技研公開2017で展示した。なおこの研究は、富士フィルム(株)と協力して実施した。

### ■ 次世代地上放送に向けた音声サービス

次世代地上放送用の音声符号化方式を検討するため、MPEG-H 3D Audio LCプロファイル<sup>(4)</sup>を用いた22.2ch音響対応リアルタイム符号化・復号装置を開発した。この研究は、フラウンホーファー集積回路研究所と協力して実施した。

また、オブジェクトベース音響で使用するメタデータである音響定義モデル(ADM)をシリアル形式に変換する手法を考案し、シリアルADMへの変換装置と、音声信号インターフェースを用いたシリアルADMの伝送装置を試作した。

### ■ 標準化

ITU-Rでは、日米英共同提案に基づき、シリアルADMの新勧告草案を作成した。SMPTE(Society of Motion Picture and Television Engineers)では、AES3音声信号によるシリアルADM伝送方式の標準規格草案を作成した。また、ARIBでは次世代音声サービスの要求条件を検討するグループを設置して、作業を開始した。

(一社)電子情報技術産業協会(JEITA)および国際電気標準会議(IEC)では、家庭内で22.2ch音響を再生するために、MPEG-4 AACの22.2ch音響信号を光インターフェースで伝送する規格の委員会投票原案を作成した。同様にCTA(Consumer Technology Association)によるHDMIでMPEG-4 AACの22.2ch音響信号を伝送するための規格改訂作業に参加した。

JEITA、IECでは、マルチチャンネル音響システムの一般的

なチャンネル割り当ての規格について、22.2ch音響に加え、さまざまなシステムのラベルを追記する改訂案の作成を継続した。

AESでは、インターネットでストリーム配信されるテレビ番組のラウドネスの目標値について、各国の放送ルール(日本は-24LKFS)に従うことを原則とする技術ガイドラインの発行に寄与した<sup>(5)</sup>。

[参考文献]

(1) 杉本, 小森: “22.2ch音響のダウンミックスにおける音質補正手法

の検討,” 映情学冬大, 12C-5 (2017)

(2) 佐々木, 小野, 西口: “ステレオから22.2ch音響へのアップミックスアルゴリズムの検討,” 映情学冬大, 31B-3 (2017)

(3) 松井, 伊藤, 森, 井上, 足立: “出力追従制御を応用したトランスオーラル再生制御器の緩和処理法,” 音響学会秋季講演論文集, 1-P-31 (2017)

(4) ISO/IEC 23008-3 : 2015/AMD3 : 2017 (2017)

(5) “Loudness Guidelines for OTT and OVD Content,” Technical Document AESTD1006.1.17-10 (2017)

## 1.6 符号化

8Kスーパーハイビジョンのフルスペック化、地上波放送実現などを目指し、映像符号化の研究を行っている。

### ■ 8K 120Hz HEVCエンコーダーの開発

8K 120Hz映像に対応したエンコーダー(図1-8)の開発を進めている。エンコーダーは、12台の4K 60Hzエンコードユニットにより構成され、入力した8K 120Hz映像の並列処理によるリアルタイム符号化が可能である。本装置はHEVC/H. 265方式のMain10プロファイルに準拠しており、8K 120Hz映像の4:2:0 10bit符号化に対応している。

符号化ストリームはARIB標準規格STD-B32 3.9版に準拠しており、8K 120Hzデコーダーだけでなく、8K試験放送対応のデコーダー(ARIB標準規格STD-B32 3.9版に準拠した8K 60Hzデコーダー)でも60Hz階層のみを部分復号可能である。また、同規格に準拠したHDR用のVUI (Video Usability Information) パラメーターにも対応している。

画面を横方向に4分割して並列処理を行うため、特に縦方向の動きがある映像の分割境界部分で画質劣化が発生しやすい。これを抑制するために、8K 120Hz映像を4K 60Hzに縮小変換し、縮小画像を事前解析することにより全体の符号化を制御する設計とした。高画質化を実現する技術として、事前解析により推定した動き量に基づいて境界部分の量子化値を制御する技術等を開発した。これらの効果を検証するため、ソフトウェアシミュレータを用いた主観評価実験を行い、符号化品質を確認した<sup>(1)</sup>。これらの研究は(株)富士通研究所と共同で実施した。

120Hz映像符号化の研究開発の一環として、速い動きでの処理や符号化制御の優劣を判別しやすい評価映像を、NTTと共同で制作した。

### ■ 8K 120Hz HEVCデコーダーの開発

エンコーダーと並行して、デコーダーの開発も進めている。これは、汎用的なワークステーション上で動作するソフトウェアデコーダーとインターフェース変換装置で構成される。ソフトウェアデコーダーは、2016年度に映像復号部を実装し、2017年度は音声復号部とTS入力部を実装した。これにより8K 120Hz映像および22.2ch音声のTS信号をリアルタイムに復号することが可能となった。復号した8K 120Hz映像は時空間に8分割された8つのDisplayPortから出力され、インターフェース変換装置によって1本のU-SDI信号に変換出力される。復号した音声信号は、映像信号に多重化され出力される。



図1-8 8K 120Hz エンコーダーの外観

### ■ 次世代映像符号化技術の開発および標準化

次世代地上放送の実現に向けて、より高効率な次世代の映像符号化技術の開発を行っている。フレーム内予測技術として、イントラ予測における復号済み輝度信号を用いた高精度な色差信号の予測手法や、色差のイントラ予測モードのエントロピー符号化改善手法を開発した<sup>(2)</sup>。また、フレーム間予測技術として、周囲のブロックの動きベクトルとの連続性を考慮した動き予測補償手法や符号化ブロックの分割形状に適応的な動きベクトル予測手法を開発した。さらに、残差信号のエネルギー推定による直交変換係数のエントロピー符号化の改善手法や、HDR方式の映像での顕著な符号化劣化を低減するデブロッキングフィルターの制御手法を開発した。これらの技術による符号化効率改善を確認し、一部を次世代映像符号化方式の国際標準化会議に次世代符号化方式の要素技術候補として提案した。

HDR映像に対して次世代映像符号化方式における性能改善を促進する目的で、国際標準化会議JCT-VCおよびJVETに対し、HLG方式の評価用素材の提供を行うとともに、比較基準としてHEVCを用いた場合の効率的な符号化設定をBBCと共同で提案した。この符号化設定は次世代映像符号化方式の性能比較に用いる基準として採用された。また、この符号化設定は、HDR符号化に関するHEVC符号化ガイドライン (ISO/IEC TR 23008-15 | ITU-T H. Sup.18) に反映された<sup>(3)-(5)</sup>。

映像符号化に適したHDRトーンマッピング非線形関数を、

海外派遣先での研究としてポンペウ・ファブラ大学と共同で開発し、符号化効率の改善を確認した<sup>(6)</sup>。

## ■機械学習の符号化ツールへの応用

機械学習に基づく符号化ツールの映像符号化への導入の可能性について、初期検討としてポストフィルタおよびイントラ予測に対し基礎評価を行った。畳み込みニューラルネットワークによる機械学習手法を用いてポストフィルタを構成し、モスキート雑音の抑制およびPSNR改善の可能性を示した。また、ニューラルネットワークの一種である多層パーセプトロンに基づくイントラ予測器を構成し、学習および評価を行った結果、複数の方向予測および平面予測を包含した挙動を示す予測器が構成可能であり、効率的なイントラ予測器を新たに構築できることを示した。

また、明治大学との研究相互協力において、ネットワーク構造として2つの畳み込み層と2つの全結合層のニューラルネットワークを用いたイントラ予測処理を開発し、予測画素と隣接参照画素を入力とした予測モードの高速化が行えることを確認した<sup>(7)</sup>。

## ■超解像技術の高度化および映像符号化への適用

超解像技術の高度化の研究では、2Kから8Kへの超解像技術として、ウェーブレット多重解像度成分間のレジストレーション処理による周波数帯域を考慮した位置合わせと割り付け手法により、従来法よりも高速で高画質な手法を開発した<sup>(8)(9)</sup>。

映像符号化技術への応用では、フレーム間予測画像として、新たにウェーブレット多重解像度成分間のレジストレーション超解像を用いた「ぼやけ予測画像」と「超解像予測画像」を導入し、改善が得られることを確認した<sup>(10)</sup>。

## ■雑音除去・帯域制限装置の開発

符号化効率向上のための符号化前処理装置として、雑音除

去・帯域制限装置を開発した。各フレームをウェーブレットパケット分解した各要素位置において縮退関数を適用し、帯域制限周波数と画素値レベルに応じて縮退量を制御することで、高精度な雑音除去および帯域制限処理を可能とした<sup>(11)</sup>。この研究は総務省の委託研究「地上テレビジョン放送の高度化技術に関する研究開発」を受託して実施した。

[参考文献]

- (1) 岩崎, 杉藤, 千田, 井口, 神田ほか: “8K120Hzエンコーダシミュレータによる主観評価実験,” 信学総大, D-11-7 (2018)
- (2) 岩村, 根本, 市ヶ谷: “Redundant flag removal on chroma intra mode coding,” JVET-H0071, (2017)
- (3) 岩村, 根本, 市ヶ谷, Naccari: “Analysis of 4k Hybrid Log-Gamma test sequences,” JVET-F0094, (2017)
- (4) 岩村, 根本, 市ヶ谷: “Candidate rate points of HLG material for anchor generation,” JVET-G0103, (2017)
- (5) 岩村, 根本, 市ヶ谷, Naccari: “On the need of luma delta QP for BT. 2100 HLG content,” JVET-G0059, (2017)
- (6) Y. Sugito et al.: “Improved High Dynamic Range Video Coding with a Nonlinearity based on Natural Image Statistics,” International Journal of Signal Processing Systems, Vol. 5, No. 3, pp.100-105 (2017)
- (7) 豊崎, 鹿喰, 岩村: “深層学習を用いたHEVCイントラ予測モード決定手法の検討,” 信学総大, D-11-56 (2017)
- (8) 松尾, 境田: “Super-Resolution for 2K/8K Television by Wavelet-Based Image Registration,” Proceedings of IEEE GlobalSIP, GS IVM-P.1.4, pp.378-382 (2017)
- (9) 松尾, 市ヶ谷, 神田: “ウェーブレット多重解像度成分間のレジストレーションによる2Kから8Kへの画像超解像,” 画像符号化シンポジウム (PCSJ2017), P-2-15, pp.86-87 (2017)
- (10) 松尾, 境田: “Coding Efficiency Improvement by Wavelet Super-Resolution Restoration for 8K UHD TV Broadcasting,” Proceedings of IEEE ISSPIT (2017)
- (11) 松尾, 井口, 神田: “次世代地上放送における符号化効率向上のための帯域制限装置の一検討,” 映情学冬大, 14C-4 (2017)

# 1.7 メディアトランスポート技術

MMT (MPEG Media Transport) 技術を次世代地上放送の多重伝送方式として適用するための研究開発、および4K・8KライブコンテンツのIP配信の実証や端末間同期技術を用いた新たな視聴体験の提示など、MMTによるIPマルチキャスト配信技術についての研究を進めている。

## ■次世代地上放送の多重伝送方式

次世代地上放送の実現に向けて、地上放送の伝送路符号化方式に適合するIPパケット多重化方式と、SFN (Single Frequency Network) を実現するためのSTL (Studio to Transmitter Link) /TTL (Transmitter to Transmitter Link) 区間のIP伝送方式を検討した。検討結果を仕様としてまとめるとともに、再多重化装置を試作し検証を行った<sup>(1)</sup>。具体的には、熊本県の人吉・水上実験局において、再多重化装置の出力信号を商用IP網で複数の変調装置へ伝送し、信号内の制御情報で同期制御を行うことで、IP伝送によるSFNが構築可能なことを確

認した。また、次世代地上放送におけるモバイルサービスの品質向上を目指して、移動中など放送波を受信できなくなったときにモバイル通信での受信へとシームレスに切り替えて番組視聴を継続できる放送信号補完方式を提案し、フィールド実験 (図1-9) により実現の可能性を示した<sup>(2)(3)</sup>。

これらの研究の一部は総務省の委託研究「地上テレビジョン放送の高度化技術に関する研究開発」を受託して実施した。

## ■MMTによるIPマルチキャスト配信技術

8Kスーパーハイビジョン放送の普及促進に向け、ケーブルテレビ局などのクローズドネットワークでのIPによる再放送や、放送と連携した関連コンテンツのIP配信に適用することを目指して、MMTによるIPマルチキャスト配信技術の検証を行った。2017 NHK杯国際フィギュアスケート競技大会のライブコンテンツを用いた配信実験では、4K・8Kコンテンツを複数の配信事業者へ低遅延で同時配信できることを確認した。また、

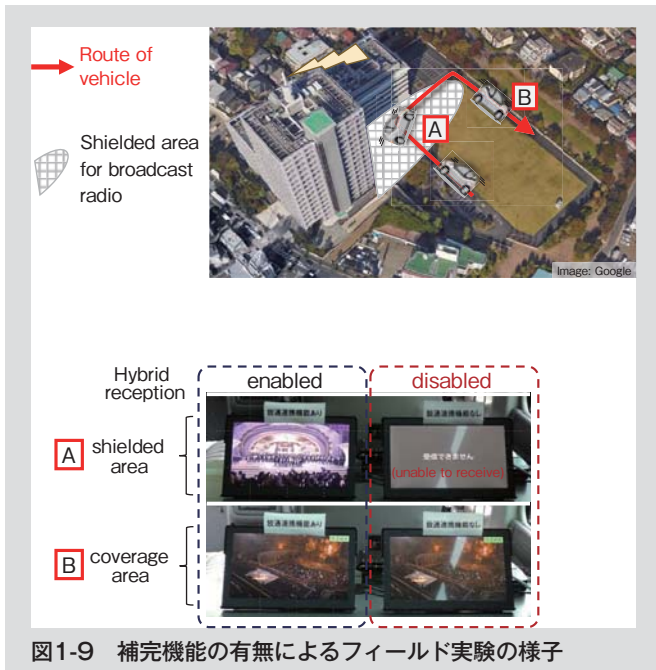


図1-9 補完機能の有無によるフィールド実験の様子

MMTの特徴である絶対時刻のタイムスタンプによる高精度同期方式の応用例として、複数の受信端末間における時刻合わせと同時に映像を表示するタイミングの調整を行って、複数のIPマルチキャスト配信されたコンテンツを時間のずれなく表示する端末間同期技術を開発した。技研公開2017、CEATEC JAPAN 2017およびNHKサイエンススタジアム2017において本技術を応用した体験型コンテンツ「どーもくんのどたばたレース」を展示し、新たな視聴体験の提供が可能であることを示した<sup>(4)</sup>。

[参考文献]

- (1) 青木ほか：“次世代地上放送におけるIP多重化方式の一検討,” 映情学年次大, 14C-1 (2017)
- (2) Y. Kawamura et al. : “Field Experiment of Hybrid Video Delivery Using Next-Generation Terrestrial Broadcasting and a Cellular Network,” IEEE International Conference on Consumer Electronics 2018, pp.173-174 (2018)
- (3) 河村ほか：“次世代地上放送モバイルサービスにおける放送通信連携の検討と試作,” 映情学年次大, 14C-4 (2017)
- (4) 河村：“MMTを用いた端末間同期技術,” ケーブル新時代, Vol. 14, No. 7, p.47 (2017)

## 1.8 衛星放送伝送技術

SHVの本格普及に向けて、12GHz帯衛星放送伝送方式の性能向上に取り組むとともに、21GHz帯衛星放送など次世代衛星放送システムの研究を進めている。

### ■ 高度衛星放送伝送方式

衛星伝送のさらなる大容量化を目的として、集合分割法に基づく64APSK (Amplitude Phase Shift Keying) 符号化変調の研究を進めている。衛星中継器の非線形歪がある伝送路における性能改善手法として、非線形歪の特性と受信側のLMS (Least Mean Squares) アルゴリズムによる適応等化器の性能を考慮した64APSK符号化変調の設計を行った。64APSK変調の円周上の信号点数をパラメータとし、64APSK伝送時の12GHz

帯衛星中継器の最適動作点である出力バックオフ5dBの条件のもと、誤り訂正後の所要C/N (Carrier to Noise Ratio) が最もよくなる信号点数、信号点へのビット割当およびLDPC (Low-Density Parity-Check Code) 符号を設計した。設計した64APSK符号化変調 (提案手法)<sup>(1)</sup>は、白色雑音のみを考慮して最適化した従来手法に対して、出力バックオフ5dB時に約0.4 dB所要C/Nが改善することを計算機シミュレーションにより確認した (図1-10)。

右旋・左旋両偏波の同時受信による伝送性能の劣化を軽減する、逆相合成アルゴリズムを備えた交差偏波干渉除去装置を試作した。交差偏波識別度が25dBの条件において、希望波の変調方式が32APSK (3/4) の場合、本干渉除去機能により所要C/Nが0.2dB改善することを確認した。

### ■ 高度放送衛星システム

12GHz帯衛星放送の変調方式の多値化による大容量化を目的として、衛星送信出力の高出力化を検討している。高出力化した場合は、外国への電波の干渉を国際調整により合意したレベル以下とするために、衛星搭載アンテナのサイドローブを抑圧する必要がある。低サイドローブの衛星搭載用12GHz帯右旋・左旋円偏波共用反射鏡アンテナを実現するために、その給電部としてコルゲートホーンアンテナを選定し試作した。試作した給電部の放射パターンは設計値と一致し、300MHzの帯域幅において30dB以上の交差偏波識別度が得られた。今後、設計した給電部を基に非円形開口反射鏡を用いた2枚反射鏡アンテナを設計し、衛星搭載用アンテナの低サイドローブ化を進める。

12GHz帯と21GHz帯の右旋・左旋円偏波による衛星放送を1つのアンテナで受信可能とする12/21GHz帯偏波共用給電部

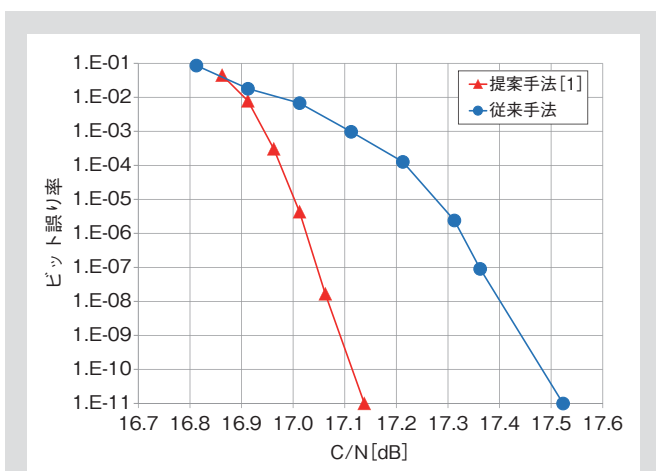


図1-10 64APSK符号化変調の伝送性能



を設計した。給電部を4素子マイクロストリップアレーアンテナの多層構造とすることで、反射鏡の焦点に同時に配置可能とした(図1-11)。電圧定在波比は両周波数帯で1.1以下であり、給電部の設計値を用いて評価した開口径50cmオフセットパラボラアンテナの利得は、12GHz帯が34dBi以上、21GHz帯が38dBi以上であり、交差偏波識別度は25dB以上であった。

12GHz帯4K8K衛星放送の受信システムから漏洩する左旋円偏波用中間周波数帯(2.2GHz～3.2GHz)の微弱な信号を測定するために、漏洩信号と受信信号との相関演算により測定信号(漏洩信号)のC/Nを改善する方法を考案し、高精度に漏洩電力を測定できる測定装置の試作・評価を行った。相関出力信号を狭帯域バンドパスフィルターで帯域制限することにより、C/Nを40dB以上改善できることを試作により確認した。

21GHz帯アレー給電反射鏡アンテナを用いた空間合成による衛星送信電力の高出力化のための給電部として、ホーンアンテナを回転対称に配置するシーケンシャルアレー構造を採用した3素子の部分モデルを試作した。隣接する素子の内部で反射する電波を低減することにより、30dB以上の交差偏波識別度が得られることを確認した。

放送衛星BSAT-4a搭載の21GHz帯実験用中継器を利用した広帯域伝送実験および降雨減衰特性評価のために、開口径1.5mパラボラアンテナ(利得48dBi)と衛星自動追尾装置を組み合わせた21GHz帯受信設備を整備した。

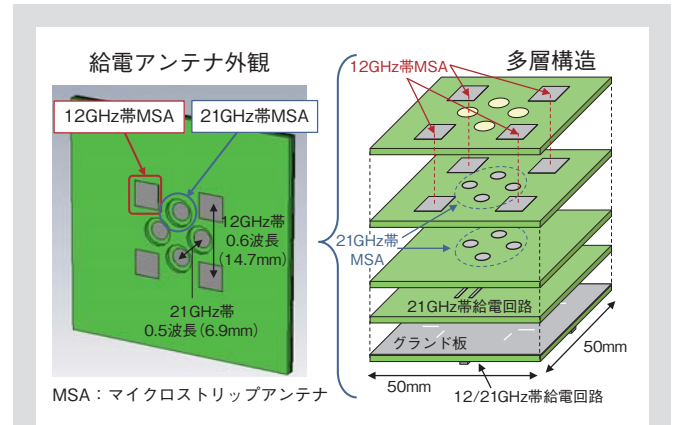


図1-11 12/21GHz帯偏波共用給電アンテナの構造

[参考文献]

- (1) 小泉, 鈴木, 小島, 筋誠, 田中: “衛星中継器特性を模擬した非線形伝送路における64APSK符号化変調設計の最適化に関する検討,” 信学総大, B-3-10 (2018)

## 1.9 地上放送伝送技術

地上波によるSHV放送の実現に向け、次世代地上放送方式、大規模実験環境の構築、チャンネルプランおよび次世代のSFN (Single Frequency Network) 技術などに関する研究開発を進めた。これらの研究の一部は、総務省の委託研究「地上テレビジョン放送の高度化技術に関する研究開発」および「高度化方式に対応したSFN方式による中継技術に関する研究開発」として、ソニー(株)、パナソニック(株)、東京理科大学、(株)NHKアイテックとともに受託し、連携して実施した。

### ■次世代地上放送方式

次世代地上放送の暫定的な仕様(暫定仕様)について、詳細設計や性能改善を進めた。2017年度は、LDPC符号の設計、階層伝送方式の検討、TMCC (Transmission and Multiplexing Configuration and Control) 伝送方式の見直し等を行い、計算機シミュレーションにより伝送特性を評価した。

LDPC符号については、暫定仕様のために2016年度に設計した符号長69,120ビット(Long符号)の符号の一部を再設計するとともに、符号長17,280ビット(Short符号)の符号を新規に設計した。符号化率が低い符号にはそれに適した構造(MET: Multi Edge Type)を用いた結果、Long符号・Short符号ともに全ての符号化率(2/16～14/16)の符号についてATSC3.0と同等以上の性能であることを確認した(図1-12)。

階層伝送方式については、伝送耐性の異なる2つの信号をマッピング後に合成して伝送する階層分割多重(LDM: Layered Division Multiplexing)の検討を行い<sup>(1)</sup>、信号の全帯域にLDMを適用する方式と、部分受信帯域のみにLDMを適用する方式を変復調装置に実装した。また、FDM (Frequency Division Multiplexing) 方式の受信機における消費電力を削減

することを目的とし、部分受信帯域(1.5MHz帯域幅)のみを受信し、サンプリングレートを1/4に低減した移動受信復調装置を試作した。さらに、特性改善技術として、DSFBC (Differential Space Frequency Block Code) を適用したTMCC伝送方式と、周波数ダイバーシティ効果を高めるためにOFDMシンボルごとにセグメント単位で巡回シフトを行う周波数インターリーバを実装した。

さらに、2016年度に試作した変復調装置を用いて、室内実験と技研実験試験局での野外実験により、部分受信帯域の受信特性を評価した<sup>(2)</sup>。誤り訂正符号にLDPC符号を用いることに加え、部分受信の帯域幅を地上テレビジョン放送のワンセグの場合と比較して約3.5倍に拡大したことや、より長い時間イ

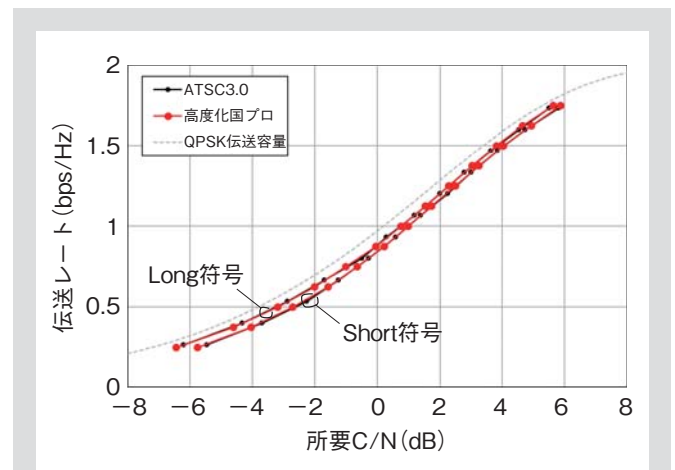
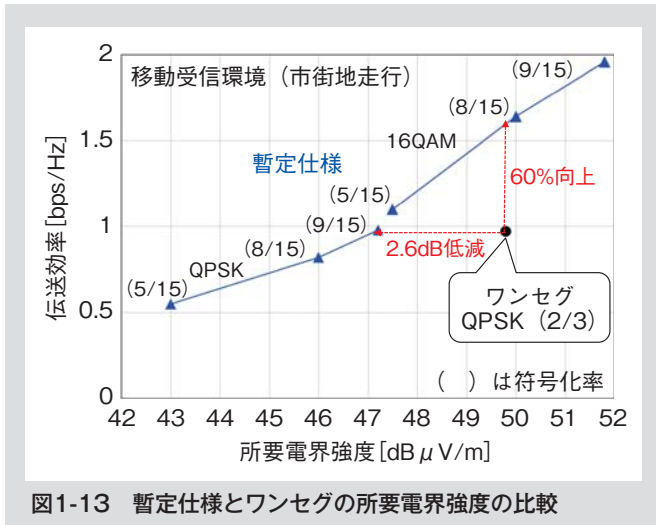


図1-12 所要C/Nと伝送レートの関係



ンターリーブ長を選択できるようにしたことで、ワンセグと比較して所要電界強度で2.6dBの低減、または伝送効率では60%向上した(図1-13)。この暫定仕様の部分受信機能を、委託研究の伝送路符号化方式に反映させた。

## ■ 次世代地上放送に向けた大規模実験環境の構築

委託研究「地上テレビジョン放送の高度化技術に関する研究開発」および「高度化方式に対応したSFN方式による中継技術に関する研究開発」において、東京地区および名古屋地区の親局規模の実験試験局の環境整備を進めた。2017年度は、東京地区では実験試験局で使用する送信装置の設計および送信空中線の製作を、名古屋地区では親局規模の実験試験局と中継局規模の実験試験局の2局の設計および親局の送信空中線と中継局の送信装置の製作を実施した。

両地区での大規模実験では、現行の地上テレビジョン放送より帯域幅を拡張した信号を用いる予定としている。帯域幅を拡張した信号における同一チャンネル混信の許容値と隣接チャンネル混信の許容値を室内実験により確認した。異なる15種類の地上テレビジョン放送受信機に対して、地上テレビジョン放送信号を希望波、帯域幅を拡張した信号を妨害波として入力し、希望波と妨害波の許容できる電力差を確認した<sup>(3)</sup>。

両地区の免許取得に向けた取り組みとして、各地域の地上デジタル放送技術連絡会を通じて、関係する放送事業者に実験試験局の送信諸元と地上テレビジョン放送への影響について事前に説明し、送信諸元の下承を得た(表1-2)。2018年秋の電波発射を目標に、所管する総合通信局へ実験試験局免許を申請した。

表1-2 実験試験局の送信諸元

局規模	東京地区	名古屋地区	
	親局	親局	中継局
送信場所	東京都港区	愛知県名古屋市	愛知県弥富市
送信チャンネル	UHF 28ch	UHF 35ch	UHF 35ch
偏波	水平、垂直(偏波MIMO)		
送信出力	水平 1kW 垂直 1kW	水平 1kW 垂直 1kW	水平 10W 垂直 10W

## ■ チャンネルプラン

現行の地上テレビジョン放送と同じUHF帯を利用した地上SHV放送の実現に向け、2016年度から技術局と共同でチャンネルプランを検討している。2017年度は、地上SHV放送用の新規チャンネルと、新規チャンネルの捻出に伴う地上テレビジョン放送のリパック先チャンネルの検討を進めた。チャンネルの利用可否を判定する選定基準を見直すとともに、計算ポイント数を増やすことで、リパック規模の見積もり精度を向上させた。

## ■ 次世代のSFN技術

2016年度に開発した再多重化装置は、OFDM変調装置の入力信号となるXMI(eXtensible Modulator Interface)形式の信号を出力する機能を有しており、SFNを実現するために、XMIパケットに多重された各送信所の送信タイミング情報に従い、変調装置の信号出力タイミングを制御することができる。

2017年度は、熊本県人吉地区で光IP回線を使ってXMIパケットを送信し、SFNエリアを構成する実験を実施した。人吉実験試験局に設置した再多重化装置から出力されるXMIパケットを光IP回線で水上実験試験局に配信し、人吉局、水上局の変調装置で生成されたOFDM信号を同じ周波数(UHF 46ch)で2局から送信した。2局の電波が到来する地点に受信点を設置し、SFN環境下で誤りなく映像伝送できることを確認するとともに、2局の電波の到来時間差を観測することにより、送信タイミングの制御機能の動作を確認した(図1-14)。

SFNエリアにおいて複数の送信局から電波が到来することにより起因する伝送特性の劣化を低減させる目的で、時空間符号化技術を適用したSFN技術(符号化SFN)の研究を進めた。地上デジタル放送でSFNを構築しているエリアで取得した伝搬路特性を用いて計算機シミュレーションを行い、従来のSFNで伝送特性が劣化する場合でも符号化SFN技術を適用することで、最大で4.8dB程度伝送特性を改善できることが確認できた(図1-15)<sup>(4)</sup>。

## ■ 国際連携

ITU-R WP6A(地上放送)会合では、UHDTV野外伝送実験レポートの作成を進めている。2017年度は、不均一コンスタレーションを用いた地上伝送実験およびSFN環境下で8KをHEVC/H. 265で圧縮して伝送した実験について、情報の追加を提案した。

次世代地上放送に向けた研究の一環として、移動通信システムの標準化を行う3GPP(3rd Generation Partnership Project)に登録し、5Gの標準化動向調査を開始したほか、EBU(European Broadcasting Union)と連携して、5Gシステムの放送利用に関する検討を開始した。

韓国KBS、ETRIを訪問し、2017年5月31日に放送を開始し

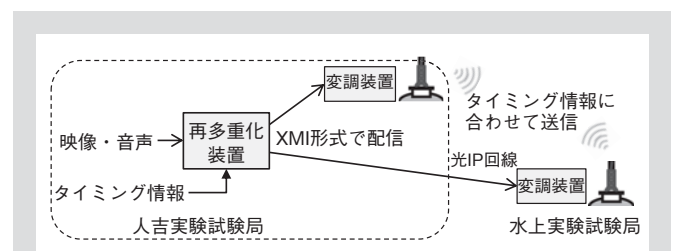


図1-14 SFN伝送実験の系統図

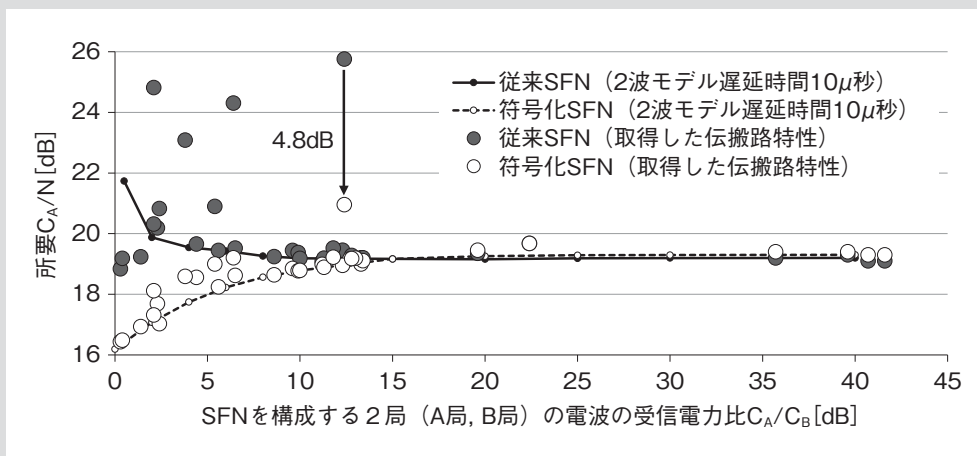


図1-15 符号化SFNと従来SFNの伝送特性の比較

た地上4K放送の状況や将来のモバイルサービスに関する調査を実施した。

世界の放送事業者が集まるFOBTV (Future of Broadcast Television) では緊急警報放送に関するアンケートを実施・集計し、4月のNAB Show、9月のIBC2017で開催された会合で結果を報告した。

DiBEG (Digital Broadcasting Experts Group) 活動の一環として、ブラジルの規格化組織であるSBTVD-Forumと次世代地上放送に向けた意見交換を実施した。

[参考文献]

(1) 佐藤, 宮坂, 朝倉, 薮, 白井, 成清, 竹内, 中村, 村山, 岡野, 土

田, 中原: “次世代地上放送に向けたLDMの適用に関する一検討,” 映像学技報, Vol. 41, No. 6, BCT2017-34, pp.45-48 (2017)

(2) 宮坂, 竹内, 中村, 土田: “次世代地上放送暫定仕様における部分受信の評価,” 映像学冬大, 14C-3 (2017)

(3) 白井, 佐藤, 成清, 岡野, 土田: “次世代地上放送暫定仕様の信号帯域幅拡張に関する検討,” 映像学技報, Vol.42, No.11, BCT 2018-48, pp.43-46 (2018)

(4) 佐藤, 薮, 竹内, 岡野, 土田: “時空間符号化を適用したSFN方式の伝送特性評価,” 映像学技報, Vol. 41, No. 43, BCT2017-93, pp.37-42 (2017)

## 1.10 番組素材伝送技術 (FPU)

SHVによる緊急報道やスポーツ中継などのライブ放送を目指して、マイクロ波帯と1.2/2.3GHz帯を使った映像・音声素材の無線伝送装置 (FPU : Field Pick-up Unit) の研究開発を進めている。

### ■ マイクロ波帯FPU

SHV映像信号を、ハイビジョン用の現行FPUの伝送距離と同じ50km伝送できるマイクロ波帯 (6/6.4/7/10/10.5/13GHz帯) FPUの研究開発と標準化活動を進めた。

伝送容量拡大のために、偏波MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) と超多値OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 技術に加え<sup>(1)</sup>、2017年度は、FFTサイズを2,048ポイントから4倍の8,192ポイントに拡大することにより、ガードインターバルに対する有効シンボル長の割合を高くした。また、所要C/Nを低減するため、誤り訂正のLDPC符号に加え、不均一コンスタレーションの導入やOFDMパイロット信号レベルの最適化<sup>(2)</sup>、ビットインターリーブの改善を行った。これらの改善により、最大伝送容量は現行FPUの55Mbpsと比べて5.7倍の312Mbpsとなり、現行FPUと同一の所要C/Nという条件では3.6倍の200Mbpsの伝送容量を達成した (図1-16)。

ARIBにおいて、上記技術を反映したARIB STD-B71「超高精

細度テレビジョン放送番組素材伝送用可搬形マイクロ波帯OFDM方式デジタル無線伝送システム」の新規策定に貢献した。

### ■ 1.2/2.3GHz帯FPU

1.2/2.3GHz帯を使ってSHV移動中継を実現するため、TDD

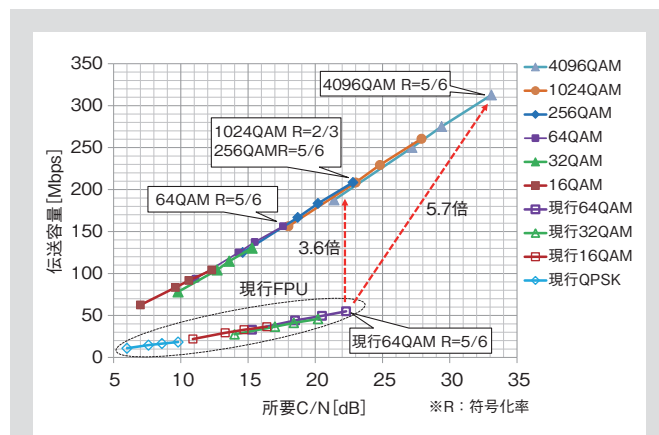


図1-16 マイクロ波帯FPUの伝送容量と所要C/N

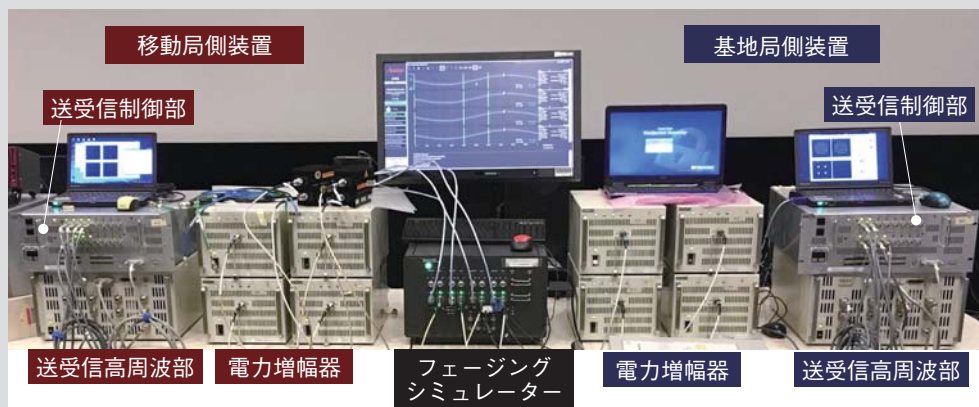


図1-17 適応送信制御MIMOシステムの試作装置

(Time Division Duplex) 方式による適応送信制御MIMOシステムの研究開発を進めている。

2017年度は、伝送レートを拡大する機能改善に取り組んだ。移動局から基地局へSHV映像信号を伝送する上り回線について、OFDMのキャリアシンボルあたりに伝送できる情報量を14ビットから16ビットに拡大するとともに、基地局から制御情報を送る下り回線に対する上り回線の時間比率を高めることにより、最大約140Mbpsの無線伝送を可能にした。さらに、ロードレース中継で伝送エリアを拡大するため、多数のアンテナから受信品質の良い4本のアンテナを選択して復調する複数基地局対応機能の開発を進めた。

変動する伝送路の品質に対して、伝送誤りが発生しないように誤り訂正符号の符号化率を適応的に制御するレートマッチング技術では、誤り訂正符号化率の変動に応じて8K映像の符号化ビットレートを制御する機能を試作システムに実装した。可変レートのHEVC/H.265コーデックと接続して、50Mbpsから140Mbpsの範囲で変動するレートでSHV映像信号を伝送できることを確認した。

試作システム(図1-17)を用いて、NHK技研周辺と都市部で

のマラソンを想定したコースで野外伝送実験を実施した。伝搬路状況に応じて多重するMIMOストリーム数や変調方式、誤り訂正符号化率を動的に切り替える適応送信制御MIMOシステムの移動伝送特性を評価するとともに、可変レート8Kコーデックと接続して100Mbps以上のSHV映像信号の移動伝送を実証した<sup>(3)</sup>。

この研究の一部は総務省の委託研究「次世代映像素材伝送の実現に向けた高効率周波数利用技術に関する研究開発」を受託して実施した。

[参考文献]

- (1) 村瀬, 鴨田, 澁谷, 居相, 濱住: “マイクロ波帯4K・8K用FPUの開発,” 映像学年次大, 32E-1 (2017)
- (2) 村瀬, 鴨田, 澁谷, 居相, 今村, 濱住: “マイクロ波帯4K・8K用FPU OFDMパイロットレベルの検討,” 映像学技報, Vol.42, No.5, BCT2018-34, pp.41-44 (2018)
- (3) 光山, 鶴澤, 伊藤, 居相: “適応送信制御4×4 TDD-SVD-MIMOシステムの野外伝送実験,” 映像学技報, Vol. 41, No. 35, BCT2017-84, pp.13-16 (2017)

## 1.11 有線伝送技術

8K番組の制作と素材伝送に適用可能な、IP (Internet Protocol) 技術を用いた番組制作・素材伝送システムの研究と、8K番組をケーブルテレビで伝送するための複数搬送波伝送方式およびFTTH (Fiber to the Home) デジタルベースバンド伝送方式の研究を進めている。

### ■ IP技術を用いた番組制作・素材伝送システム

番組制作や番組素材伝送にIP技術を導入することで、映像/音声/同期/制御などさまざまな形式の信号を、時間多重して共通のネットワークで低コストに伝送することができる。2017年度は、以下の3つの研究開発に取り組んだ。

#### ①8K IP伝送による遠隔地での音声ミキシング実験

従来の中継制作では、中継現場からの受信信号を放送局のマスタークロックに同期させる変換処理が必要であったが、IP技術を用いた番組制作システムでは、PTP (Precision Time Protocol) でクロック同期情報を送受信することによって、中

継現場と放送局を同じクロックで運用することができる。2017 NHK杯国際フィギュアスケート競技大会において、大阪



図1-18 軽圧縮8K IP伝送の室内実験

～東京間の商用IP回線に8K映像パケット、128ch音声パケット、PTPパケットを時分割多重して伝送して、同期性能を検証した。その結果、PTPパケットのジッタが1マイクロ秒程度であれば、大阪の中継現場の音声を東京の放送センターでミキシングできることを確認した<sup>(1)</sup>。一方で、正常に時刻同期できない制作機器もあったため、今後は同期アルゴリズムの改善や、ネットワーク構成によって異なるPTPジッタの低減手法を検討する。

#### ②軽圧縮8K信号IP伝送装置の開発

番組制作に用いる8K番組素材は、高画質・低遅延で伝送することが要求される。しかし、大容量の非圧縮信号の伝送は回線コストが増大するため、8K信号を軽圧縮してIP伝送する装置を開発した。本装置は、非圧縮相当の高画質を維持しつつ低遅延で帯域を削減した伝送が可能となる。例えば、8K番組素材信号(4:2:2サンプリング、フレームレート60Hz、映像帯域40 Gb/s)を1/5に軽圧縮(圧縮後の映像帯域8Gb/s)した場合、汎用的な10Gbイーサネットの回線1本で伝送できる。室内実験の結果、軽圧縮した8K信号が高画質・低遅延で安定的に伝送可能なることを確認した(図1-18)。今後は、フィールドでの伝送実験やフレームレート120Hzへの対応、誤り訂正機能の実装<sup>(2)</sup>を行う。

#### ③IP伝送方式変換装置の開発

IP化した番組制作システムにおいて、伝送する信号のフォーマットや機器制御方式が異なる機器間での相互接続を実現するために、フォーマットや制御方式を変換する仕組みを開発し、変換装置を試作した。

NHK内で回線マトリクスとして整備を進めているIPビデオルータ(以下IPVR)とIP番組制作システムの各機器は、伝送フォーマットや制御方式が異なる。今回試作した変換装置を用いて、IPVRと2017年度に技研で試作したIP番組制作システムの接続試験を行った。その結果、IP番組制作システムの制御装置からIPVRを制御できることや、IPVRの映像信号をIP番組制作システムへ伝送できることを確認した。

## ■SHVケーブルテレビ伝送方式

8K信号を分割して複数のチャンネルで伝送することにより、既存のケーブルテレビ施設でも配信できる複数搬送波伝送方式の研究開発を進めている。2017年度は、2016年度に開発し

た複数搬送波伝送方式対応の復調用LSIを搭載した小型受信装置を用いて、ケーブルテレビ商用回線を使った8K衛星放送の再放送実験を行った。その結果、再放送された8K信号を小型受信装置で安定して受信できることを確認した。また、日本ケーブルラボでの新4K・8K衛星放送の再放送運用仕様の実証実験案の要件取りまとめと、実験手順書の作成に寄与し、ケーブルテレビでの4K・8K再放送サービスの実現に向けて取り組んだ。

## ■FTTHに適したデジタルベースバンド伝送方式

FTTHによる放送の家庭への配信手段の1つとして、8Kやハイビジョンなどの多チャンネルのストリームをIPパケット化して時分割多重した10Gbps級のデジタルベースバンド伝送方式の検討を行っている。2017年度は、ベースバンド信号を伝送できない同軸ケーブルのみが敷設されているマンションを想定した、棟内伝送方式の基礎検討を行った。検討した棟内伝送方式は、視聴者からのリクエストに応じてIPパケットを選択してRF(Radio Frequency)信号に変換して伝送することにより、既設の同軸ケーブルで伝送する方式である。ケーブルテレビのインターネット通信で使用されているDOCSIS(Data Over Cable Service Interface Specifications)規格を利用し、周波数利用効率を改善する機能を追加した送受信装置を試作し、検討方式の有効性を確認した。また、既存のRF信号を伝送するFTTH施設において、デジタルベースバンド伝送方式へ段階的に移行するための技術の検討を進めた<sup>(3)</sup>。

#### [参考文献]

- (1) 河原木, 小山, 川本, 北島, 倉掛: “IPリモート制作における遠隔地との同期手法の検証,” 映情学技報, Vol.42, No.11, BCT2018-39, pp.5-8 (2018)
- (2) J. Kawamoto and T. Kurakake: “XOR-based FEC to Improve Burst-Loss Tolerance for 8K Ultra-High Definition TV over IP Transmission,” IEEE GLOBECOM2017, CSSMA, 4-05 (2017)
- (3) 楠, 袴田, 倉掛: “SCM信号と10Gbpsベースバンド信号のFTTH共存条件の検討,” 映情学技報, Vol.41, No.39, BCT2017-90, pp.45-48 (2017)

# 1.12 放送方式の国内標準化

4K・8Kに対応した超高精細度テレビジョン衛星放送方式の国内標準化活動に参加し、技術基準の策定に取り組んできた。

2018年の新4K8K衛星放送開始に向けて、(一社)放送サービス高度化推進協会(A-PAB)で運用規定の整備が進められて

表1-3 超高精細度テレビジョン衛星放送方式ARIB標準規格の主な改定

分野	ARIB標準規格	主な改定
多重化(MMT・TLV)	STD-B60(1.12版)	HDR/広色域に対応するHEVCビデオ記述子の規定変更、MMT規定の明確化
限定受信	STD-B61(1.4版)	受信機が同時に処理可能な映像・音声・データ等の数とスクランブル鍵数の規定
マルチメディア符号化	STD-B62(1.9版)	異体字を扱うための規定追加、受信機レファレンスモデルの明確化、通信機能の明確化
受信装置	STD-B63(1.7版)	HDMI 1.4bおよび2.1に対応するデジタル映像音声出力の規定追加、受信機が同時処理可能な映像・音声・データ等の数やスクランブル鍵数など性能要件の規定

おり<sup>(1)</sup> ARIBは、A-PABと連携して、放送方式の詳細を規定する標準規格の改定作業を進めた(表1-3)。当所は、これら一連の超高精細度テレビジョン放送方式の標準化に、ARIB開発部会委員長、同作業班主任・委員として参加し、方式策定に寄与した。

[参考文献]

- (1) (一社)電波産業会：“高度広帯域衛星デジタル放送運用規定(1.7版),” ARIB TR-B39(2018)