

放送技術(放送方式/無線・光伝送技術/放送現業) の研究開発動向

齋藤恭一^{†1}, 神原浩平^{†1}, 岡田実^{†2}, 榎芳栄^{†3}, 小野木晋^{†4}, 斉藤一^{†5},
佐藤誠二^{†5}, 鈴木高幸^{†6}, 當山俊一郎^{†7}, 橋本靖^{†8}, 三橋政次^{†9}

1. まえがき

放送通信連携や4Kサービスの実現など地上デジタル放送の高度化に向けて、次世代の地上放送システムの研究開発が活発に行われた。また、無線やIP(Internet Protocol)技術を活用した番組制作、新たな視聴体験を提供するサービスを実現するための研究開発など、今後の放送サービスの発展が期待されるような発表が多かった。

放送方式の分野では、地上放送高度化方式の野外実験などによる伝送特性評価やSTL/TTL(Studio to Transmitter Link/Transmitter to Transmitter Link)の検討など、放送システムの性能評価や実現性について、実際の環境を使って実証を行う報告が数多くあった。

無線・光伝送技術の分野では、小型かつ広帯域なアンテナ、海中での映像通信用光変調システム、さらに移動中継用FPU(Field Pick-up Unit)、8Kのワイヤレスカメラや光信号インタフェースなど、空間から水中、そして光ファイバ内という多様な伝送路を対象とした発表があった。

放送現業の分野では、AR/VR(Augmented Reality/Virtual Reality)での臨場感のある放送体験の提供と放送通信連携機能を生かした番組参加、IPネットワークを活用したリモート制作や制作システムのソフトウェア化など、多

種多様な研究発表が行われた。

本稿では、放送技術研究会における研究発表を振り返りながら、放送方式、無線・光伝送技術、放送現業の各分野の研究開発動向を新たな取り組みも含めて報告する。

2. 放送方式

放送方式に関しては、地上放送の高度化に関連するものが多く報告された。中でも物理層に関するものが多い。さらに物理層では、新たなチャネルで高度化放送を実施する地上放送高度化方式についての報告と、既存の2K放送と同一チャネルで高度化放送を実施する高度化放送導入方式の2種類に大別される。また、放送高度化に関連する多重化技術に関する報告、STL/TTLに関する報告などがあった。さらには、放送通信連携や動画配信技術に関する報告、映像分野として符号化技術VVC(Versatile Video Coding/H.266)や画像処理に関する報告などがあった。

放送方式関連の報告については、2021年2月から2023年1月までの2年間で計38件の報告があったが、その内、地上デジタル放送の高度化に関するもの27件(71%)、放送通信連携、多重化技術、配信に関するものが4件(10%)、映像符号化、画像処理に関するものが4件(10%)、その他技術に関するものが3件(9%)である。以下では、これらの報告の概要を紹介する。

2.1 地上デジタル放送の高度化

2.1.1 地上放送高度化方式

固定受信向けの4K・8K放送と移動受信向けの2K放送を地上波の1チャネルで実現することを目指した地上放送高度化方式についての多くの報告があった。基本的な特性として、FFTサイズやSP(Scattered Pilot)配置、時間インターリーブの違いによる伝送特性について、シミュレーションや室内実験、また実験試験局を用いた野外実験により検証した報告がなされた^{1)~3)}。

また、移動受信特性について、FFTサイズの違いによる移動受信特性を計算機シミュレーションと野外実験により評価し、アンテナ4本での受信を想定して、移動受信向けの階層と固定受信向けの階層に関する移動受信特性を評価した結果が報告されている⁴⁾。

^{†1} NHK 放送技術研究所

^{†2} 奈良先端科学技術大学院大学情報科学領域

^{†3} 株式会社TBSテレビメディアテクノロジー局

^{†4} 讀賣テレビ放送株式会社技術局

^{†5} 株式会社テレビ東京技術局

^{†6} 株式会社テレビ朝日技術局

^{†7} 日本テレビ放送網株式会社技術統括局

^{†8} 株式会社フジテレビジョン技術局

^{†9} NHK 放送技術局

"ITE Review 2023-24 Series (4): Research Trend on Broadcasting Systems, Radio and Optical Fiber Transmission Systems and Broadcasting Facilities and Operations" by Kyoichi Saito, Kohei Kambara (Japan Broadcasting Corporation, Tokyo), Minoru Okada (Nara Institute of Science and Technology, Nara), Yoshie Enoki (TBS Television, Inc., Tokyo), Susumu Onogi (Yomiuri Telecasting Corporation, Osaka), Hajime Saito, Seiji Sato (TV TOKYO Corp., Tokyo), Takayuki Suzumura (TV Asahi Corp., Tokyo), Shunichiro Toyama (Nippon Television Network Corp., Tokyo), Yasushi Hashimoto (Fuji Television Network, Inc., Tokyo), Seiji Mitsuhashi (Japan Broadcasting Corporation, Tokyo)

さらに、回線設計に資する実験を行ったものとして、同一チャンネル干渉環境下における地上放送高度化方式の伝送特性評価を実施した報告や⁵⁾、野外実験で取得したチャンネル応答を室内実験で再現し、高度化方式のFFTサイズの違いによる固定受信階層のマルチパス耐性やマージンを評価した報告があり、100地点以上の野外測定結果や各種のパラメータによる所要C/N劣化量、技術基準や運用ガイドライン等の策定に向けて、幅広い伝送パラメータについて回線設計に資するデータが報告された^{6)~9)}。

MIMO (Multi-Input Multi-Output) 伝送に関する報告も2件あり、偏波MIMO伝送路推定において、FFTを用いた内挿を行う過程での抽出する時間サンプル数および外挿方式による特性比較をコンピュータシミュレーションで行い、その結果、抽出する時間サンプル数を増やすことで、FFTを用いた内挿による雑音軽減の効果は小さくなるが、遅延時間が長いマルチパス環境における所要CNR (Carrier to Noise Ratio) の向上が確認されたほか、RLS (Recursive Least Squares) アルゴリズムによる外挿を適用することで、一定の値での外挿と比較して所要CNRの向上を確認した報告¹⁰⁾、実環境で取得した101地点のチャンネル応答を用いた計算機シミュレーションにより、SISO (Single-Input Single-Output) と同等耐性、または同等容量となるMIMOパラメータの特性を評価し、MIMOの導入による伝送容量、伝送耐性の改善量を検証した報告があった¹¹⁾。

二つ以上のチャンネルを用いて伝送容量を増大させるチャンネルボンディング技術についても報告があり、データ系列(映像音声など)をトランスポート層で分割するモード、物理層で分割するモードの2種類の手法についての検討結果や、試作装置を用いた実験結果が示されたほか、二つの物理チャンネルの受信信号電力が異なる環境を想定して伝送特性を評価し、一方のチャンネルの受信信号電力が低い場合に他方の受信信号電力が充分高ければ、チャンネル間のインターリーブ効果によりデータ伝送可能であることを確認するなどの報告があった^{12)~14)}。

移動受信でも途切れにくい伝送を目的とした機能として、従来の映像・音声を伝送する移動受信向けサービスに加えて、より高耐性な伝送パラメータを用いて補完用の音声データを伝送する手法についての検討も行われ、音声データを効率よく伝送するために、階層よりも小さい単位で伝送帯域の指定が可能なサブ階層について提案がなされた。この提案方式による効果を計算機シミュレーションと野外実験にて評価した報告がなされた¹⁵⁾¹⁶⁾。

地上放送高度化方式の放送波中継の実現を目的とした補償器に関する報告として、伝送特性を保ちつつ実機実装を単純化する手法を提案するとともに、提案手法を実装した試作器による室内実験結果と¹⁷⁾、上位局と中継局の関係にある2局の実験試験局を用いて、電波伝搬環境における高度化方式用等化判定器の有効性を検証するとともに、中継

局の受信C/N劣化を模擬した実験により、等化判定器の補償性能を確認した結果¹⁸⁾が報告されたほか、階層伝送にLDM (Layered Division Multiplexing) を用いた場合の再生中継に関する報告があった¹⁹⁾。

そのほか地上放送高度化方式に関連する報告として、さまざまな伝搬環境でのショートLDPC符号の特性の評価²⁰⁾、信号品質の評価指標となるMER (Modulation Error Ratio) 測定に関して高い変調多値数でMERが信号品質を適切に評価しにくいという課題の解決手法に関する報告²¹⁾があったほか、演奏所から送信所までの固定無線回線であるSTL/TTLにおいて、緊急地震速報などの即時性の高い情報を低遅延で伝送し、かつSFN (Single Frequency Network) を可能とする多重伝送方式の開発に関する報告²²⁾²³⁾があった。STL/TTLの遅延時間に関する課題解決のためにLDPC符号長を短縮しFFTサイズにマルチパス耐性や時変動耐性と伝送容量のバランスが取れる4Kポイントを採用してシンボル時間を短縮する手法も報告されている²⁴⁾。

2.1.2 高度化放送導入方式

既存の2K放送と同一チャンネルで高度化放送を実施する高度化放送導入方式に関しては、以下のような報告があった。

地上波において既存の2K放送と同一チャンネルを用いて4K放送を実現するLDM方式は、高度化放送導入方式として検討されている方式の一つである。LDM方式において逐次復調法を用いると、LL (Lower Layer) 復調精度はUL (Upper Layer) の復調精度に大きく依存する。しかし、ULで用いられる畳み込み符号-ビタビ復号はLLで用いられるLDPC符号と比較してマルチパス耐性が低い。ビタビ復号にCSI (Channel State Information) を用いるとマルチパス環境下における復号性能の向上が可能であるが、LDM方式では特性が劣化してしまう場合がある。CSIに加えてLL信号を干渉電力として考慮したビタビ復号法を提案し、計算機シミュレーションによって提案方式を評価した結果、特性劣化に改善が可能であることを明らかにしたことが報告された²⁵⁾。

2Kと4Kを同時に水平偏波で伝送する技術手法である3層分割SISO方式について、中京圏の試験局でSFNフィールド実験を行い、SFN特性を評価したことが報告された²⁶⁾。

2.2 放送通信連携、多重化技術、配信

放送通信連携および多重化技術に関して、以下の報告があった。

高度で多様なサービスの実現を目指し、地上放送高度化方式の研究開発が進められている中で、地上波による超高精度テレビジョン放送だけではなく、放送経由のコンテンツと通信経由のコンテンツを自在に組み合わせることで、これまでになかったサービス・UX (User eXperience) を可能とする放送・通信融合の伝送システムの実現を目指している。インターネット上の動画配信サービスでは、CMAF (Common Media Application Format) によるメ

ディアセグメント形式への統一が進んでいることを踏まえ、MMT (MPEG Media Transport) ベースの放送伝送路におけるCMAF適用の検討についての報告があった²⁷⁾。

放送と通信のコンテンツのシームレスな遷移や多様な端末での視聴を可能とする放送通信融合アーキテクチャとして、コンテンツのメディア形式を放送、通信ともにCMAFに統一し、視聴端末への配信方式を一般的な通信の動画配信と同じユニキャストにすることが提案された。放送と通信のコンテンツを一元的に受信処理し、放送波の受信機能を持たない多様な視聴端末にも放送コンテンツをユニキャストで伝送するホームゲートウェイについての報告がされた²⁸⁾。

現在のテレビ向け動画視聴アプリケーションでは、番組コンテンツ視聴中に放送とネットを互いに行き来することができないという課題がある。課題に対して、放送の受信状態に依らず起動と動作が可能なテレビ向け動画視聴に適したアプリ方式の拡張機能を放送通信連携システム仕様に基づき考案し、考案方式に基づく対応受信機を試作、サービスアプリケーションによる動作検証を行うことで考案方式の機能要件とアプリ動作モデルを満たすサービスが実現可能であることを確認した。考案方式の活用で、アプリの開発コストとサービスの運用コストを低減できるとともに、放送とネットの伝送路を意識しない動画視聴サービスの実現が可能となるとの報告がなされた²⁹⁾。

放送事業者においても動画配信事業が活発になっている中で、さまざまなデバイスに向けて、通信を利用した動画コンテンツ配信を行うケースが増加することが考えられる。それらのサービスにおいて、放送と同等の品質・機能が提供されることは視聴者にとって望ましいと考えられ、特に、人命にかかわる災害情報のような即時性が求められる情報を迅速かつ正確に伝達することは放送事業者にとっては重要な役割である。W3Cで規格検討されているMedia Timed Events (MTE) を用いて、即時性が求められる情報を通知する手法を検証したことが報告された³⁰⁾。

2.3 映像符号化, 画像処理

Versatile Video Coding (VVC) / H.266符号化方式の画面内・画面間予測は、被予測Coding Unit (CU) とその参照CUとの間でばやけ度合いが異なる際に有効なツールを備えていないため符号化効率が低下する場合がある。このような場合の符号化効率を改善するための技術として、画面内・画面間予測を提案する報告があった³¹⁾。

LPWA (Low Power Wide Area) や通信混雑時などの特定の状況下において、遠隔地における害獣確保や河川の危険水位の判断はセンサによる数値情報より状況を示す画像が効果的な場合がある。その映像データ圧縮技術において、減色処理法を用いて画像に対する理解度が保たれていることを主観評価アンケートとその相関係数により確認したことが報告された³²⁾。

同一ピクチャ内やピクチャ間でばやけ量が異なる動画像

を符号化する場合は、画面内・画面間予測の確度が低下するため、符号化効率が低下する可能性が高くなる。このような場合の符号化効率を改善するための手法について報告された³³⁾。

8K解像度の原画像を4Kなどに縮小して高圧縮符号化するシステムにおいて、符号化難度が高い画素位置で発生しやすいブロック歪などの符号化アーティファクトを抑制する方法について報告された³⁴⁾。

2.4 その他技術

その他技術として、IPネットワークを用いた番組制作システムにおいて、ネットワークリンク上の信号を解析する装置とネットワークスイッチの設定情報から、任意の信号について伝送ルートとスループットやパケットロスなどの伝送状態を可視化する監視ツールの試作に関する報告³⁵⁾、望遠レンズを用いて遠方から撮影した映像を利用して事故や災害の発生原因を究明する場合、物体情報の認識が困難になるような陽炎による揺らぎを除去する超解像処理に関する報告³⁶⁾、ブラジルの次世代地上放送の技術提案募集に関して解説を行った報告などがあった³⁷⁾。

3. 無線・光伝送技術

無線・光伝送技術の研究は、通信・放送サービスの基盤となるものである。通信容量の大容量化や通信環境の拡大、新しいサービスの提供に向けてさまざまな研究・開発が活発に進められている。無線・光伝送技術に関して2021年2月から2023年1月までの2年間で62件の報告があり、内、高周波回路・アンテナ技術に関する報告26件、通信方式に関する報告が36件である。以下、詳細な報告内容の概要を紹介する。

3.1 高周波回路・アンテナ技術

3.1.1 マイクロ波アンテナ

無線端末の小型化や多機能化が進められている。また、電波応用分野が、従来の通信応用に加えて、ワイヤレス給電や医療応用などに広がっている。電波利用のこのような広範な要求に応えるため、伝送線路やアンテナについて、単に高利得、高能率だけではなく、広帯域、多周波共用、小型化、平面化といったさまざまな研究が活発に行われている。

まず、マイクロ波アンテナとして、方向性結合器を組み合わせることで偏波切り替えや指向性制御が可能なアンテナの設計例が報告されている³⁸⁾。マイクロ波における電力分配器の一種であるマジックT回路は、移相器と組み合わせることで電氣的に指向性を変化させるアンテナを構成する有効な技術である。このマジックT回路の低損失化、広帯域化手法が検討されている³⁹⁾。また、マジックT回路を用いたビームフォーミング制御のための給電マトリクス回路や車載FMCWレーダ向けの送受兼用円偏波アンテナへの応用が報告されている^{40) 41)}。

アンテナ素子近傍に無給電素子を配置することで効率改善や特性の制御を行う手法が提案されている。無給電素子配置時のアンテナQ値の変化を指標にした設計を行うことで利得が3 dB改善することが示された⁴²⁾。ドローンに搭載して映像中継伝送を行う場合、ドローン飛行時の姿勢の揺らぎに応じてアンテナビーム幅を制御する必要がある。この対策として無給電素子配置によりビーム幅を制御可能なアンテナが提案されている⁴³⁾。

3.1.2 広帯域アンテナ

地中レーダやUWB (Ultra Wideband) などの用途では、比帯域の大きい広帯域アンテナが要求される。コンクリート内部探査に用いる3.7~7.9 GHzでリターンロスが10 dB以下の条件を満たすビバルディアンテナの試作実験結果が報告されている⁴⁴⁾。また、ねじりを加えた平板素子により4.6~10 GHzの範囲で円偏波の放射が可能なアンテナの設計と試作結果が示された⁴⁵⁾。さらに、7~10 GHzのUWBハイバンド帯で動作するレーダ用アンテナとして、送受アンテナのアイソレーションが広帯域に確保でき、かつ、リターンロス10 dB以下となる平面アンテナの試作結果が報告された⁴⁶⁾。

3.1.3 アレイアンテナ

複数素子を組み合わせる指向性制御や到来方向推定を行うアレイアンテナの検討が行われている。二次監視レーダ用として用いられるWullenweberアレイアンテナの設計手法が報告されている⁴⁷⁾。また、発振器とリングスロットアンテナを一体化することで放射電力を大きくするアクティブアレイアンテナが提案されている⁴⁸⁾。

3.1.4 アクティブアンテナ

アンテナや伝送線路と半導体素子を一体化設計し、高機能化を実現する研究が行われている。マイクロストリップリング共振回路と負性抵抗を組み合わせるQ値の高い共振回路を構成し、発振器の位相雑音特性を改善する手法が提案され、試作実験により有効性が示されている⁴⁹⁾。送受アンテナとダイオードを組み合わせた無線タグの提案が行われている。ここでは、ダイオードの非線形歪みを検出することで無線タグの存在を識別できることが示されている⁵⁰⁾。さらに、送信アンテナと受信アンテナを直径10mmの基板上に配置し、脂肪組織内の血管を検出する電波型内視鏡の実験結果が報告され、検出が可能であることが示された⁵¹⁾。

3.1.5 新しい伝送モード

電磁波の新しい伝搬モードを用いるアンテナに関する研究成果が報告されている。非回折波と呼ばれる伝搬モードは、理論上距離減衰が生じないことから、ミリ波における長距離伝送を実現する可能性がある。ここでは、導波管、円環スリット電波吸収体と誘電体レンズを組み合わせる非回折波を生成するアンテナの設計例が報告された⁵²⁾。伝搬軸に沿って回転する軌道角運動量(OAM: Orbital Angular Momentum)伝搬は、複数のOAMモードを用いて空間多

重を行うことができ、無線通信容量の向上が可能である。ここでは、OAM+1次モードで動作する導波管アンテナの特性を電磁界シミュレータにより解析した結果が報告されている⁵³⁾。

3.1.6 メタサーフェス

アンテナ素子を平面上に周期的に配置し、その反射方向や周波数特性を制御するメタサーフェスが注目されている。メタサーフェスにインタディジタル構造とマルチビア構造を導入し、反射位相を制御することでさまざまな反射特性を有する反射器を設計した例が報告されている⁵⁴⁾。メタサーフェスの一種である周波数選択性平面(Frequency Selective Surface: FSS)を、インクジェット回路プリンタを用いて低コスト実装する手法が報告された⁵⁵⁾。メタサーフェス反射板により生じる多重反射波を単一のアンテナで受信し、圧縮センシング信号処理を行うことで到来方向推定を行う手法が提案されている⁵⁶⁾⁵⁷⁾。ミリ波通信における不感地対策として、メタサーフェス各素子の反射位相を電子的に制御することができるIntelligent Reflecting Surface (IRS)による特性改善効果が報告された⁵⁸⁾。

3.1.7 ワイヤレスエネルギー伝送

新たな電磁波の利用法として、ワイヤレスエネルギー伝送が注目されている。放送技術研究会においてワイヤレスエネルギー伝送関連の複数の報告があった。宇宙太陽光発電などの長距離エネルギー伝送技術であるマイクロ波ワイヤレス給電を実現するため、八木・宇田アンテナを用いた大規模アレイアンテナのアンテナ配置に関する実験検討結果が報告されている⁵⁹⁾。また、マイクロストリップアンテナから構成される高密度・高出力レクテナアレーの実験評価結果が示されている⁶⁰⁾。一方、医療分野では、生体内にマイクロ波エネルギーを送り、目標とする生体組織に放射することにより、組織の凝固や止血するデバイスが提案されている。このデバイスにおけるエネルギー伝送手法として、誘電体導波路を用いた手法の検討結果が報告されている⁶¹⁾。

ワイヤレスエネルギー伝送では、大電力電磁波が放射されるため、人体への影響が問題となる。伝送経路上の人体を検出し、人体への大電力電磁波の暴露を回避する機構の開発が進められている。ここでは、人体回避技術評価のため、人体を模擬する簡易軽量なファントムの開発成果が報告されている⁶²⁾。これらの成果は、ワイヤレスエネルギー伝送開発の礎になるものと期待される。

3.1.8 電磁環境観測

電波伝搬特性や雑音など電波環境の観測とそのモデル化は、信頼性の高い放送・無線通信を実現する上で重要である。東京スカイツリーに電流センサを設置し、落雷の雷電流波形を長期観測した結果が紹介された。落雷の直接観測例は限られており、落雷対策を検討する上で貴重な成果であると考えられる⁶³⁾。

3.2 通信方式

変復調やアクセス制御、同期といった技術を含む通信方式は、もう一つの重要な研究開発分野であり、活発に研究開発が進められている。

3.2.1 空間光伝送

空間光伝送は、電波免許が不要で高速デジタル伝送が可能であることから、さまざまな検討が行われている。中でも電波減衰が大きい海中における高速無線伝送技術として期待されており、活発に研究発表が行われている。ここでは、液晶光変調器と再帰性反射材を組み合わせてQRコードを表示することで数十m程度のデータ伝送が可能な方式が提案されている。本方式の送受信機の構成や液晶光変調器の駆動方式などの検討が行われており、合わせて試作および伝送実験結果が報告されている^{64)~69)}。

3.2.2 OFDM

直交周波数分割多重(Orthogonal Frequency Division Multiplex: OFDM)は、複数の狭帯域変調信号を直交関係にある複数の周波数を用いて周波数多重することにより、マルチパスフェージング伝搬路において広帯域伝送を可能にする手法であり、地上デジタルテレビ放送をはじめとしてIEEE802.11無線LAN(Local Area Network)や携帯電話などさまざまなシステムの伝送方式として幅広く用いられている。一方、OFDMは帯域外輻射が大きく、ガードバンドを大きくとる必要がある。この対策としてFBMC(Filter Bank Multicarrier)方式が提案されており、ガードバンド削減が可能となる。ここでは、FBMCとOFDMのチャンネル容量を隣接チャンネル干渉の影響を考慮に入れて解析した結果が報告されている⁷⁰⁾。

インパルス雑音は、OFDMの伝送特性を大幅に劣化させる。この問題を解決するため、影響を受けた時間サンプルを再変調信号サンプルと入れ替える方式が提案されている。ここでは、次世代地上デジタル放送の変調方式として検討されているNU-QAM(Non-Uniform constellation QAM)を採用したOFDMにおける時間サンプル入れ替え方式の効果が報告された⁷¹⁾。

地上デジタル放送に用いられているOFDM信号には、伝搬路特性推定用のパイロット信号が挿入されており、伝搬遅延時間の測定が可能である。この特徴を用いて、地上デジタル放送波を用いて移動体検知を行うマルチスタティックレーダシステムが提案され、実験により船舶を検出可能であることが示されている⁷²⁾。

3.2.3 SC-FDE

OFDMの欠点の一つとして、振幅変化が大きく、送信機電力増幅器の非線形歪みの影響を受けやすいという問題がある。この問題の対策として、シングルキャリア変調信号にOFDM同様のCyclic Prefixを挿入し、受信側で周波数等化を行うSC-FDE(Single Carrier - Frequency Division Equalization)が注目されている。研究会では、SC-FDE信

号を同一周波数で再送信したときの回り込み干渉をキャンセルする方式が提案された⁷³⁾。また、SC-FDEの変調方式として4096QAM超多値変調を採用したときの伝送特性の評価結果が示された⁷⁴⁾。さらに、SC-FDEをミリ波8Kワイヤレスカメラ適用した開発事例が報告されている⁷⁵⁾⁷⁶⁾。

3.2.4 MIMO

複数の送信アンテナおよび受信アンテナを用いて空間多重伝送を行うMIMO伝送は、限られた周波数帯域を有効に使って広帯域デジタル伝送を実現する技術であり、IEEE802.11無線LANや移動通信システムの基盤技術として用いられている。また、次世代地上デジタル放送における周波数有効利用技術として検討が行われている。放送技術研究会においてもMIMO技術に関するさまざまな研究成果が報告されている。

ワイヤレスインイヤーモニタシステムの伝送方式として、MIMO伝送にSTBC(Space-Time Block Coding)を適用し、高信頼伝送を実現する方式が提案されている⁷⁷⁾。また、MIMO-OFDM信号を移動受信する場合に問題となるキャリア間干渉(ICI: Inter-Carrier Interference)を除去するICIキャンセラが提案されている⁷⁸⁾。

MIMO伝送における伝搬路行列を特異値分解(SVD: Singular Value Decomposition)し、並列伝送することで通信路容量を最大化することが知られている。このSVD-MIMOにおける並列伝送路の電力配分を最適化し、適応送信制御を行う方式が提案され、FPUへの応用が検討されている。ここでは、SVD-MIMO方式の試作および移動伝送実験結果が報告されている^{79)~82)}。

複数端末をグループ化し、複数端末アンテナを利用してMIMO伝送を実現する端末共同MIMO方式が提案されている。携帯端末は、その大きさが制限されているため、アンテナ数を増やすことが困難であるが、本提案は、端末毎に搭載するアンテナ数を増やすことなく、システム全体としてMIMO伝送が可能であり、移動通信システムの周波数有効利用技術として期待できる⁸³⁾。

3.2.5 AI技術の応用

最近の深層学習やニューラルネットワーク技術など、いわゆる「AI技術」の進展には目覚ましいものがあり、放送技術研究会においてもAI技術の伝送方式への応用例が報告されている。

まず、Massive MIMOの伝搬路推定への応用例が報告されている。数十以上の送受アンテナを用いるMassive MIMOは、周波数のさらなる有効利用を行う技術として有望である。しかし、Massive MIMOでは、伝搬路推定のオーバヘッドが大きいため、測定時刻と実際のデータ伝送時刻の差が拡大し、伝搬路推定誤差が大きくなる。この問題の対策として、深層学習の一種であるCNN(Convolutional Neural Network)を用いた手法が提案されており、伝搬路推定精度が向上できることが示された⁸⁴⁾。

CNNを用いて、無線信号の変調方式を推定する試みが提案されている。他システムが無線帯域を使用していない空き時間を使って周波数を有効利用するコグニティブ無線における電波環境のセンシングに有用な技術として注目される⁸⁵⁾。

深層学習の一種であるCAE (Concrete Autoencoder) を用いて、移動通信システムの伝搬路推定用パイロット信号を配置設計する手法が提案されている。5G移動通信システム規格で規定されているCDL (Clustered Delay Line) 通信路モデルを想定して、パイロット配置設計を行い、提案方式により設計されたパイロット配置による伝搬路推定精度の改善が可能であることが示された⁸⁶⁾。

同様の取り組みとして、組み合わせ最適化問題のメタヒューリスティック解法の一つである遺伝的アルゴリズム (GA: Genetic Algorithm) を用いて、Polar符号を効率的に探索する手法が提案され、その有効性が示されている⁸⁷⁾。

3.2.6 IP映像伝送

従来は専用線を用いて行っていた映像データ伝送が、インターネットの普及と性能向上に伴い、IP伝送への移行が進められている。この中で、無線マルチホップネットワークにおいて動的に複数のコンテンツプロバイダを選択し、これらのプロバイダからコンテンツを分割して受け取ることで、プロバイダ負荷を軽減し、効率的なコンテンツ配信を行う手法が提案された⁸⁸⁾。

従来の放送とインターネットとの放送通信融合に向けて、コンテンツのメディア形式をCMAFに統一し、ホームゲートウェイを介して、放送・通信を意識せずに宅内の端末に提供する仕組みが提案され、ホームゲートウェイの試作結果が報告されている⁸⁹⁾。

映像データを放送局に伝送し、番組を制作するIPリモート制作が行われている。IP伝送は、遅延変動が生じるため、機器間の高精度時刻同期手法が新たに必要となる。そこで、既存のFPUを通じて時刻同期用PTP (Precision Time Protocol) を伝送する手法が提案されており、実験検証と実際の運用例が紹介されている^{90)~92)}。

IP化は放送局と送信所間の映像データ伝送においても進められており、IP化伝送による高度化STL/TTLの開発が進められている。伝送パラメータを最適化した試験装置の試作が行われており、性能評価を行った結果、遅延時間6ms以内の仕様を満足できることが明らかになっている⁹³⁾。

3.2.7 U-SDI

8Kスーパーハイビジョンの最上位の映像パラメータをすべて満たし、HDR (High Dynamic Range) に対応した「フルスペック8K」の映像情報を1本のケーブルで伝送する機器間伝送インタフェースU-SDI (Ultra-high Serial Data Interface) が標準化されている。しかし、超高速伝送を行うため、符号間干渉や電源リップルによるジッタが実装上の問題となる。ここでは、U-SDIのジッタの影響を評価するためのジッタ発生装置の開発結果と伝送特性、相互接続

性に関する評価結果が報告されている^{94)~96)}。

3.2.8 4K・8K無線映像伝送システム

4K・8K映像伝送システムの実証実験に関する報告が行われている。UAV (Unmanned Aerial Vehicle) による4K映像伝送システムとして、無人移動体画像伝送システムに割り当てられている5.7GHz帯を用いたシステムの開発と実証実験の結果が報告されている⁹⁷⁾。また、腹腔鏡手術遠隔支援システムに必要な8K映像伝送について、5G移動通信システムを通じて行う実証実験が報告されており、遠隔手術支援が充分に行えることが示された⁹⁸⁾。

4. 放送現業

放送現業分野における最新動向として、ストーリーミングサービスやソーシャルメディアの台頭により、コンテンツのデジタル化と配信形態の多様化が進んでいる。VR技術やAI技術を用いた放送体験の開発、放送制作の効率化、オンライン配信における広告収益の増加も注目されている。放送方式が高度化へと進化していく中、リモート制作やリモート配信の技術の進歩も顕著であり、次世代へ向けて放送業界のあり方にも影響を与えると考えられる。

そのような放送現場における研究開発や創意工夫の報告が多数行われており、2021年2月から2023年1月までの2年間で計12件の報告があった。その内訳は、VR/AR技術3件 (25%)、IPリモート技術4件 (33%)、放送通信連携1件 (8%)、コーデック技術2件 (17%)、多分野での活用事例2件 (17%) である。以下では、これらの報告の概要を紹介する。

4.1 バーチャルへの挑戦

視聴者に情報や娯楽を提供するために、現代のテレビ、ラジオ、ストーリーミングなどのメディアは、多くの高度な放送技術に基づいて構築されている。最近では、バーチャルや拡張現実技術の進歩に伴い、より臨場感あふれる放送体験を提供するために、VR技術や360度カメラ、立体音響などの技術が注目されている。これらの技術を駆使して、新たな放送体験の可能性を探求することが、放送業界における重要な挑戦となっている。

4.1.1 高精細VR映像の生成

高精細VR映像による放送サービスを想定し、複数の高精細カメラで撮影した映像から実時間で高精細なVR映像を生成する装置の開発に向けた要素技術の基礎検討として、魚眼レンズにより放射状に撮影した複数映像からVR映像を生成する際に近傍画素から補間する方法 (双一次補間法) を導入しシャギーノイズの削減を図った。また、正距円筒図法 (ERP: Equirectangular Projection) 形式変換時の画素情報取得に必要な元の画素位置のRGB情報を4画素1組単位でメモリー上に配置し順次読み出して、一定のフレーム周波数での更新を可能とする高速処理方法をFPGAに実装することで、4K解像度のカメラ3台から実時間で高画質に合成映像を出力させる装置を試作した。さらに、出

力されたVR映像を実時間で汎用ヘッドマウントディスプレイ(HMD)に提示する装置を構築し、8K撮影からHMDへの表示までの高画質なライブ動作を確認した。将来の放送メディアでのサービス実現に向けて、放送機器との親和性がより図られたVR映像と機器の開発が期待される⁹⁸⁾。

4.1.2 VRメディアに求められる要件

VRの利用が広がり、先進的没入・体感メディアシステムとして研究が進んでいる。技術的な標準化の観点からも、放送業務において、VRに期待できることが多く、リアルでは難しい時空間への未知なる挑戦や、新たな視聴体験等、放送コンテンツと連携した身近なVRの研究に積極的に取り組んでいる。明治時代に撮影された360度パノラマ展望写真を主題として、約120年前の街を再現するVRシステムの制作が試みられ、体験者は当時のその場所にタイムトリップしたかのような臨場感を体感した。スキャンしてデジタル化した写真を4K以上の高解像度、広視野角のHMDで表示し、90Hzのリフレッシュレートで違和感のないバーチャルを検証することができた。また、ノイズキャンセリング機能による音響再生の試み、機器性能で十分に表現できるデータサイズや処理方法等、VRコンテンツ制作に必要な技術的条件について考察された。結果、紙の写真や、従来のディスプレイ映像とは異なる臨場感を得られること、映像音響表現の可能性を広げることだけでなく、今後の文化財研究にも効用をなすことが示唆された¹⁰⁰⁾。

4.1.3 自由視点への広がり

仮想空間で、あたかもその場のいるかのような体験を提供するイマーシブメディアの研究が進められており、AR/VR技術を活用して映像メディアを3次元に拡張する視聴体験の実現が期待されている。

ARを用いた視聴ではWi-Fiや4G/5Gなど無線通信が主体となっており、高ビットレートの3次元コンテンツを安定して伝送するためにはデータ伝送の帯域抑制が必要不可欠となっている。

複数オブジェクトで構成される3次元コンテンツにおいてオブジェクト単位に独立して符号化した3次元データを多重化してストリーミング伝送するオブジェクトベース伝送を採用し、解像度パターン選択と視錐台カリングをベースとした可視オブジェクトフィルタを活用した自由視点ARの伝送システムが提案されている¹⁰¹⁾。

その動作検証では、可視オブジェクトフィルタによる効果が判定状況や視野の方向など視覚的にわかりやすく表現され、また視野の状況に応じたフィルタにより伝送帯域が効率よく削減されていることが示されており、その効果と実用性の高さがうかがえる。

今後は、より具体的に実践に近い環境で検証を行うとともにクラウドレンダリングを併用したハイブリッド型の検討が予定されている。近い将来、活用されることを期待したい。

4.2 近年のIPリモートと運用

番組制作機能のソフトウェア化により、IPネットワークでの8K映像の送受信がソフトウェアでも実現できるようになり、運用方法の改善も提案されている。IP・クラウドを活用した柔軟な放送設備の実装運用が可能になってきている。

4.2.1 デジタル技術の進歩とIP化

近年IP化により汎用サーバおよびクラウドの活用が可能となり、番組制作機能のソフトウェア化が進んでいる。4K・8Kの非圧縮信号をIPネットワークで実現するにはパケット送受信を高速化する技術XDP(eXpress Data Path)の利用検討があり、今回XDP送受信ライブラリーを試作して番組制作用アプリケーションでの性能に関する報告があった。ST2110-20形式の8K 59.94pでは送信パケット生成に処理時間を要し性能を活かせていないことが判明、パケット生成と送信処理を別スレッドで行う変更により性能改善してXDP方式で8K映像の送受信をソフトウェアでも実現できることの可能性を確認した。今後更なる改善により、IP・クラウドを活用した柔軟な放送設備の実装運用が期待される¹⁰²⁾。

4.2.2 番組制作システムの制御方式

IP化した番組制作システムの制御方式としてAMWA(Advanced Media Workflow Association) NMOS(Networked Media Open Specifications)が広く知られている。NMOSでは、機器の管理・制御に加えて、制御APIを保護するための認可運用方法もOAuth2.0に基づいて規定されている。この方法では機器の所有者が、機器の制御を行うアプリケーションの認可取得の操作と認可発行の許可を行うが、番組制作の現場ではアプリケーションの運用者と機器の所有者は異なることが多いため、運用者によるアプリケーションの認可取得ができることが望ましい。この課題に対して、番組毎に利用する機器や運用者の情報を用いて認可発行判断を行うことができる番組制作システムの構成方法の提案があった。この提案により、機器の所有者が番組毎に機器と運用者を割り当てるワークフローに対応した機器のアクセス制御が可能となり、また既存のNMOS準拠のシステムにスケジュール管理サーバと管理アプリケーションを追加する構成となっているため、すでに運用されているシステムにスケジュール機能を後から追加できる点も報告されている¹⁰³⁾。

4.3 未来へつながるリモート制作

次世代の移動中継用FPUにIP伝送機能を追加し、リモートプロダクションへの応用を可能にした。一方、IP回線を使った8Kフルリモート制作の検証実験において、マルチフォーマット軽圧縮IP伝送装置を使うことで、フルリモート制作に有用であることがわかった。

4.3.1 次世代移動中継の試み

ARIB-STD B75に策定された、次世代の1.2GHz/2.3GHz

帯移動中継用FPU (Field Pick-up Unit) は、4送信4受信の適応送信制御MIMO方式を採用することで、従来のFPUと同じ17.5 MHzの占有帯域幅で最大180 Mbpsの伝送レートが確保できる一方、従来とは異なり、動的なパラメータ制御を行うためにTDD (Time Division Duplex) による双方向伝送を導入している。これを拡張することで双方向のIP伝送を実現し、移動中継のリモートプロダクションへの応用を目指した報告がなされた。

映像等の番組素材のTS信号に機器制御のためのIP信号を多重して伝送する機能を追加するため「FPU制御部のデータ処理単位に合わせてEthernetフレームを分割・結合する機能」、「アップリンク(UL)においてTS信号とIP信号を多重して伝送する機能」、「ダウンリンクにおいてUL適応制御情報とIP信号を多重して伝送する機能」の3項目について設計を行った。

設計をしたIP伝送機能の性能を確認するため室内実験を行い、十分なスループットが確保できていること、伝送遅延は往復で1フレーム(33ms)を下回ることが確認できた。

試作システムを用いてカメラのアイリス等を制御する実験を行い、スムーズに遠隔制御できることを確認した。

これにより、次世代方式の移動中継用FPUにIP伝送機能を追加することで、移動中継におけるリモートプロダクションに応用できる見込みが得られた¹⁰⁴⁾。

4.3.2 8Kフルリモート制作の検証

中継現場からすべての番組素材を放送局へIP回線を用いて伝送し、放送局で番組制作を効率的に行うフルリモート制作について、これまでに開発をした2K/4K・8Kマルチフォーマット軽圧縮IP伝送装置を用いて8Kフルリモート制作を模擬した検証実験を行った結果の報告がなされた。

フルリモート制作は機材輸送が長距離になる都道府県をまたぐ運用ほど有用なシステムであるため、ネットワーク事業者が提供する商用回線を借用し、利用することが想定される。このような回線では遅延量が変動し、パケットジッタが発生、IPパケットの到着順が前後する可能性すらある。

マルチフォーマット軽圧縮IP伝送装置がこのような回線でもフルリモート制作の要件を満たすのかを検証するため、回線距離約700 kmの10 GbE商用通信回線を2系統用意し、2式のマルチフォーマット軽圧縮IP伝送装置を用いて実験を行った。

実験の結果、回線で生じるジッタの影響は受信バッファを適切に設定することで回避することが可能で、複数回線で伝送された8K素材をスイッチャで切替えても瞬断はなかった。また、遅延時間は映像分割方式LLD (Linear Line Division) と2SI (2 Sample Interleave Division) において、60p映像では1フレーム(16.7ms)以下となることが確認された。

LLDが画質要件を満足するため、これらの結果からLLD

を用いたマルチフォーマット伝送および、マルチフォーマット軽圧縮IP伝送装置がフルリモート制作に有用であることが示された¹⁰⁵⁾。

4.4 放送/通信の連携とビジネスモデルへの展開

「放送と通信の連携」を軸に視聴者参加型番組がスタートした。番組内で参加時に利用するスマートフォン向けアプリの開発と展開、リアルタイムに更新するDB(データベース)構築および集計の自動化処理、番組内でのCG送出の連携に至るまで、自社開発を試みたプロセスと現状が報告された。そのため、業務面では、現場間のコミュニケーション時間が短縮され、スピーディーな対応が可能になり、技術面では、汎用的な技術を使い、属人化しないシステム作りに心がけ、DBの設計も複雑なリレーションを組まずにシンプルに作成することができた。コスト面では、DBとしてfirebaseを採用することで従量制となり、サービス利用料が少なく、コストパフォーマンスに優れた構成になっている。自動ランキングによるクイズ問題の評価と、出力システムの2重化に加えて、予備システムの自動化も行っている。スコアリング処理によって、履歴や結果の参照、リピーター率、ユーザのモチベーションなどをスコアリングデータから分析し、番組送出だけでなく、放送による収益化を実現するための取り組みも行う、技術を活用した新しいビジネスモデルを開発した¹⁰⁶⁾。

4.5 進化するコーデック技術

圧縮技術の重要性と番組制作システムのソフトウェア化に関する最新の取り組みについて述べる。

4.5.1 8K圧縮伸張処理の分散化検証

高精細化した映像音声信号の情報は膨大であり、そのままでは放送できないため圧縮技術は非常に重要である。現在検討されている地上放送高度化方式では、映像信号の圧縮方式としてVVC符号化方式が、音声信号の圧縮方式としてMPEG-H 3DAおよびAC4の動作検証が行われている。

また近年、番組制作システムのIP化、ソフトウェア化に関する取り組みが活発化している。ソフトウェア化した番組制作システムでは、スイッチングやCG作画などの複数の番組制作機能が、異なるオンプレミスおよびクラウドのサーバ間にあるアプリケーション上で運用されるが、その通信経路の帯域には制限があるため、特に大容量の8K映像を扱う場合には、圧縮して伝送することが望ましい。さらに実際の番組制作では圧縮伸長処理が繰り返されることになるが、これに伴う遅延量はできるだけ低減することが望まれる。IPを用いたメディア伝送技術として国際標準規格である映像圧縮技術JPEG XSを用いた上で、8K映像を2K映像に分割して処理することで処理遅延性能の低減効果を確認した手法も報告されている¹⁰⁷⁾。

4.5.2 情報カメラ収録システムとBCP対応

日本全国に設置されている情報カメラは、各地の様子やお天気を伝える以外にも、大雨・台風などの気象状況お

び地震の揺れや被災状況をいち早く報道するための重要な取材手段となっている。

近年の情報カメラ収録システムの構築事例では、全国にある多拠点のカメラ映像を効率よく伝送・ループ収録する仕組み、地震発生時にいかに早く正確に揺れ映像を切り出し放送に備えるかの工夫、クラウドサービスを利用し設備投資から費用化を図る考え方、オンプレミス設備がある地域の被災も想定したBCP (Business Continuity Plan) 対応、に重点が置かれている。

「TOREZO」は全国200台以上の情報カメラを他システムとの連携やBCP対応を総合的に考慮したオンプレミスとプライベートクラウドのハイブリッド型システム構成である。小型・低コストのH.264/IPエンコーダをメーカーと共同で開発。SRT (Secure Reliable Transport) プロトコルを採用し低遅延・高信頼な伝送を可能とした。また、地震揺れ映像の切り出しでは、従来の気象庁からの地震速報に加えて、「リアルタイム震度情報」と「走時表」(震源の深さと震央(震源の地表面の地点)の距離から、地震波が伝わるのにかかる時間を求める表)を採用した自動切り出し機能を実装している。震源地に近い6拠点の情報カメラを割り出し揺れ始めまで3秒以内という精度高い切り出し処理を約2分で実現している。報道の迅速化に大きく貢献した取り組みである¹⁰⁸⁾。

4.6 多分野における新技術の取り組み

番組制作や放送システムに関する研究は、最先端の技術を活用した制作に取り組んでおり、視点を広げ、通信技術と融合したサービスの活用が多分野でさらなる発展をもたらすと期待される。

4.6.1 放送制作事例

放送分野ではIP技術の運用が広がりを見せており、番組制作にも広く活用されている。また、NHK放送技術研究所を中心に放送に関する技術研究や開発を長年続けており、その成果を番組制作に生かして質の高い放送につなげている。

招待講演において、こうした最先端の技術を放送に活用した事例が動画とともにわかりやすく解説された。

初めに、IP技術を活用した事例として各放送局で取り組んでいるIPプロダクションによる番組制作が紹介された。既存のベースバンド信号による番組制作と比較したIP技術の利便性や拡張性を紹介するとともに感染予防対策やコスト削減など制作上の利点も併せて紹介しIP技術による効果と可能性がわかりやすく説明された。

そのほか、ニュース原稿を自動で読み上げるシステムやニュースに適した映像を自動判別する技術などAIを生かした技術が放送やSNSに活用されている事例やユニバーサルサービスに貢献しているCGの手話システムなど、新技術が放送の質とサービスの向上に貢献している内容が紹介された。

通信と融合したサービスの活用でさらなる発展が予想される放送の分野で、次世代の技術や斬新なアイデアが番組制作に生かされることを期待したい¹⁰⁹⁾。

4.6.2 宇宙を解放する新しい感動体験

「宇宙の視点」の新たなサービスを創出して、世界の人々の心を動かす宇宙感動体験がもうすぐ現実になろうとしている。特別講演で紹介された「STAR SPHERE」プロジェクトである。「宇宙を解放する」をコンセプトに、これまで宇宙飛行士だけに許された特別な体験を、テクノロジーとエンタテインメントの力で、もっと身近に感じてもらうサービス提供を目指している。

超小型人工衛星にフルサイズカメラを搭載。リモートでカメラ機器を遠隔操作することで、利用者が地球と宇宙の写真や動画を撮影できる。高感度・広ダイナミックレンジのイメージセンサにより暗いシーンでも対応でき、日の出・日没前・夜の地球の景色、台風などの気象、オーロラや天体の観測などが一例として考えられる。衛星が地上局と通信できる位置ではライブ中継が可能であり、通信できない位置では日時と位置を登録した予約撮影が設定できる。

宇宙とエデュケーション、エンタテインメント、アートを掛け合わせることで宇宙の新たな魅力を発見し、サステイナブルな社会の実現に貢献する取り組みである。今後の展開から目が離せない¹¹⁰⁾。

4.7 継続的研究と課題

(1) 高画質化と高音質化

テレビ画面の高解像度化や、音声のクリアな伝達など、映像と音声の質を向上させることが求められる。

4K・8K技術の開発：現在、4K・8Kの放送が普及し始めているが、将来的により高画質な放送技術が必要となる可能性があるため、継続的な改良や開発が必要である。

(2) 番組制作技術の改良

テレビ番組の制作技術にも改良の余地がある。例えば、スタジオセットのデザインや、XR/CG技術の導入など、視聴者にとってより魅力的な番組を制作するための技術の開発が求められる。

(3) 放送局のネットワーク技術の向上

近年、放送局のネットワーク技術がより高速で安定したものに進化しているが、さらなる改良が求められる。特に、オンラインストリーミングサービスなど、インターネットを通じて配信されるコンテンツの需要が増加しているため、放送局のネットワーク技術の向上が重要となっている。

AI技術の活用：AI技術を活用した映像分析や音声処理など、テレビ局の業務においてもAI技術の活用が進んでいる。今後も、AI技術を活用することで、番組制作や映像編集などの作業を効率化することができる。

以上が課題となり、スマートフォンやタブレット、PCなど、さまざまな端末で番組を視聴することができる視聴環境の多様化、進化する視聴者のニーズにも対応した番組制

作や配信技術の開発が継続的に求められる状況である。

5. むすび

放送技術では、地上デジタル放送の高精細度化や放送通信連携サービスの高度化に向けて多様な研究開発が進められている。また、番組制作においても無線やIPネットワークを活用した制作システムなど技術革新が加速している。これらの研究開発は、今後の放送サービスを高度化していく上で必要な技術であり、将来の放送技術の発展につながるものであると確信している。

振り返ると、本期間における研究会は、新型コロナウイルス感染防止のためオンラインでの開催が続いた。今後、現地とオンラインのハイブリッドでの開催により、放送技術研究会での意見交換・交流がますます活発化することを祈念する。

(2023年4月17日受付)

〔文 献〕

- 1) 古屋ほか：“地上テレビジョン放送高度化方式の固定受信におけるFFTサイズおよびSP配置の一検討”，映情学技報，45，10，pp.13-16 (Mar. 2021)
- 2) 古屋ほか：“地上テレビジョン放送高度化方式の伝送特性評価～固定受信におけるFFTサイズおよびSP配置の評価～”，映情学技報，45，15，pp.1-4 (June 2021)
- 3) 蔀ほか：“地上テレビジョン放送高度化方式の伝送特性評価～固定受信における時間インターリーブの評価～”，映情学技報，45，15，pp.9-12 (June 2021)
- 4) 宮坂ほか：“地上テレビジョン放送高度化方式の伝送特性評価～移動受信におけるFFTサイズの評価～”，映情学技報，45，15，pp.5-8 (June 2021)
- 5) 佐藤ほか：“同一チャネル干渉環境下における地上テレビジョン放送高度化方式の伝送特性評価”，映情学技報，45，15，pp.13-15 (June 2021)
- 6) 平林ほか：“地上テレビジョン放送高度化方式の伝送特性評価～FFTサイズによるマルチパス耐性の評価～”，映情学技報，46，11，pp.25-28 (Mar. 2021)
- 7) 佐藤ほか：“地上放送高度化方式の回線設計に向けたマルチパスマージンに関する一検討”，映情学技報，46，1，pp.25-28 (Jan. 2022)
- 8) 古屋ほか：“地上テレビジョン放送高度化方式の伝送特性評価～回線設計に向けた多地点における固定受信特性の評価～”，映情学技報，46，17，pp.1-4 (Jan. 2022)
- 9) 平林ほか：“地上テレビジョン放送高度化方式の伝送特性評価～フィールドで取得したチャネル応答に対する固定受信特性～”，映情学技報，46，17，pp.5-8 (Jan. 2022)
- 10) 宮原ほか：“偏波MIMO-超多値OFDM伝送における伝送路推定方式の一検討”，映情学技報，45，5，pp.21-24 (Feb. 2021)
- 11) 蔀ほか：“地上テレビジョン放送高度化方式の伝送特性評価～実環境のチャネル応答を用いた偏波MIMOの固定受信特性検証～”，映情学技報，46，17，pp.9-12 (June 2022)
- 12) 朝倉ほか：“地上放送高度化方式におけるチャネルボンディングの一検討”，映情学技報，45，24，pp.9-12 (Sep. 2021)
- 13) 佐藤ほか：“地上放送高度化方式におけるトランスポート層でのチャネルボンディング機能の検証”，映情学技報，45，24，pp.13-16 (Sep. 2021)
- 14) 朝倉ほか：“地上放送高度化方式における物理層でのチャネルボンディング伝送の室内実験”，映情学技報，46，21，pp.17-20 (Sep. 2021)
- 15) 宮坂ほか：“地上放送高度化方式におけるサブ階層を用いた高耐性移動受信サービスに関する一検討”，映情学技報，45，24，pp.17-20 (Sep. 2021)
- 16) 宮坂ほか：“地上テレビジョン放送高度化方式における移動体での受信を想定した高耐性な放送サービスの検討～大規模野外実験による評価～”，映情学技報，46，21，pp.13-16 (July, 2022)
- 17) 川島ほか：“地上テレビジョン放送高度化方式用等化判定器の室内実験による伝送特性評価”，映情学技報，45，27，pp.29-32 (Oct. 2021)
- 18) 川島ほか：“電波伝搬環境における地上テレビジョン放送高度化方式用等化判定器の評価”，映情学技報，46，17，pp.29-32 (June 2022)
- 19) 佐藤ほか：“階層伝送にLDMを適用する地上放送高度化方式の放送波中継手法に関する検討”，映情学技報，45，10，pp.21-24 (Mar. 2021)
- 20) 朝倉ほか：“地上テレビジョン放送高度化方式の伝送特性評価～さまざまな伝搬環境でのショートLDPC符号の特性～”，映情学技報，46，17，pp.13-16 (June 2022)
- 21) 平林ほか：“地上テレビジョン放送高度化方式における受信信号品質指標の一検討”，映情学技報，46，1，pp.41-44 (Jan. 2022)
- 22) 永田ほか：“高度化STLの多重伝送方式の一検討”，映情学技報，45，24，pp.21-24 (Sep. 2021)
- 23) 永田ほか：“高度化STL/TTLにおける緊急情報の多重伝送方式の一検討”，映情学技報，46，11，pp.33-36 (Mar. 2022)
- 24) 島崎ほか：“地上放送高度化に対応した高度化STL/TTL伝送方式の検討”，映情学技報，45，33，pp.9-12 (Nov. 2021)
- 25) 関口 ほか：“LDM方式を用いた高度化放送導入方式におけるUL復調法に関する研究”，映情学技報，46，5，pp.9-12 (Feb. 2022)
- 26) 並川ほか：“地上デジタル放送高度化技術の研究-セグメント分割3階SISO方式による2K4K同時伝送SFN野外実験特性評価-”，映情学技報，46，21，pp.21-24 (July 2022)
- 27) 河村ほか：“地上放送高度化に向けたCMAF対応の検討”，映情学技報，45，5，pp.25-28 (Feb. 2021)
- 28) 大西ほか：“地上放送高度化に向けたホームゲートウェイの試作と課題の検討”，映情学技報，45，10，pp.29-32 (Mar. 2022)
- 29) 広中ほか：“伝送路を意識しない動画視聴を実現するテレビ向け動画視聴アプリケーションの試作評価”，映情学技報，45，10，pp.25-28 (Mar. 2022)
- 30) 山野ほか：“Media Timed Eventsを活用した即時性が求められる情報通知の検討と試作”，映情学技報，45，15，pp.21-23 (June 2021)
- 31) 松尾：“ばやけ度合の異なる符号化単位の局部復号画像を用いた画面内・画面間予測符号化”，映情学技報，46，11，pp.1-4 (Mar. 2022)
- 32) 村上ほか：“画像の内容理解度における減色処理などのデータ削減に対する影響評価”，映情学技報，46，17，pp.21-24 (June 2022)
- 33) 松尾：“ばやけ度合が異なる符号化単位の局部復号画像を用いた超高精細動画の予測符号化”，映情学技報，46，35，pp.41-44 (Nov. 2022)
- 34) 松尾：“符号化前処理としての動画像縮小法の一検討”，映情学技報，47，2，pp.59-62 (Jan. 2023)
- 35) 小山ほか：“NMOS制御情報と連携したIP制作システム監視ツールの試作”，映情学技報，45，24，pp.25-28 (Sep. 2022)
- 36) 佐伯ほか：“さまざまな気象条件下における陽炎揺らぎの傾向分析”，映情学技報，46，17，pp.25-28 (June 2022)
- 37) 神原：“[依頼講演] ブラジル次世代地上放送技術提案募集の概要と対応状況の解説”，映像学技報，46，5，pp.29-34 (Feb. 2022)
- 38) 岩本ほか：“スロット結合方向性結合器を給電回路に応用したデュアルビーム円偏波共用マイクロストリップアンテナの設計”，映像学技報，46，1，pp.25-28 (Jan. 2022)
- 39) 中原ほか：“マイクロストリップ線路とコプレーナストリップ線路で構成した平面型Magic-Tの広帯域化”，映像学技報，46，1，pp.33-36 (Jan. 2022)
- 40) 梅田ほか：“平面型マジックTと90°ハイブリッドを複合した4×4給電マトリクス回路の提案”，映像学技報，47，2，pp.15-18 (Jan. 2023)
- 41) 江崎ほか：“マジックTのアイソレーション特性を活用した送受兼用円偏波FMCWレーダ用アンテナとミキサの測定評価”，映像学技報，47，2，pp.43-46 (Jan. 2023)
- 42) 荒木ほか：“Q値解析による無給電素子を装荷した周波数可変マイクロストリップアンテナの特性評価”，映像学技報，47，2，pp.19-22 (Jan. 2023)
- 43) 畑ほか：“ドローンによる映像中継に適した無給電素子付きアンテナの評価”，映像学技報，47，2，pp.3-6 (Jan. 2023)
- 44) 杉本ほか：“コンクリート内部探査用ビバルディアンテナ”，映像学技報，47，2，pp.39-42 (Jan. 2023)
- 45) 松本ほか：“ねじりを加えた平板素子を用いた円偏波ダイポールアンテナ”，映像学技報，47，2，pp.47-50 (Jan. 2023)

- 46) 矢野ほか：“UWBハイバンドにおける円偏波用プリント基板型モノポールアンテナに関する研究”，映像学技報，47，2，pp.23-26 (Jan. 2023)
- 47) 田口ほか：“Wullenweber式位相差給電アレイアンテナの検討～第2報～”，映像学技報，47，2，pp.55-58 (Jan. 2023)
- 48) 眞子ほか：“トランジスタ発振器を一体化したリングスロットアクティブアレイアンテナの提案”，映像学技報，47，2，pp.35-38 (Jan. 2023)
- 49) 菊地ほか：“能動リング共振器を用いた帰還型2次高調波出力発振器の位相雑音改善に関する試作評価”，映像学技報，46，1，pp.5-8 (Jan. 2022)
- 50) 小林ほか：“ICを使用しない簡易構造無線タグの開発”，映像学技報，45，5，pp.1-4 (Feb. 2021)
- 51) 上戸ほか：“電波型内視鏡アンテナシステムの実験的検証”，映像学技報，46，1，pp.21-24 (Jan. 2022)
- 52) 後藤ほか：“ミリ波帯における非回折波生成用アンテナシステムに関する一検討”，映像学技報，46，1，pp.29-32 (Jan. 2022)
- 53) 大平ほか：“軌道角運動量を発生させる分岐プローブ構造と一点給電導波管アンテナ”，映像学技報，46，1，pp.17-20 (Jan. 2022)
- 54) 浦上ほか：“インタディジタル構造とマルチビア構造を用いたメタサーフェス反射器-シミュレーションに基づく反射器の設計-”，映像学技報，45，5，pp.5-8 (Feb. 2021)
- 55) 谷口ほか：“インクジェット回路プリンタを用いたFSSの製作”，映像学技報，46，1，pp.37-40 (Jan. 2022)
- 56) 椎葉ほか：“メタ表面反射板を用いたアンテナ1素子での到来方向推定に関する一検討”，映像学技報，46，1，pp.13-16 (Jan. 2022)
- 57) 椎葉ほか：“パッシブなメタ表面反射板と単一のダイポールアンテナを用いた到来方向推定システム”，映像学技報，47，2，pp.51-54 (Jan. 2023)
- 58) C. Liu, et al.: "Semi-passive Reconfigurable Intelligent Surface-Aided System with Reflection Modulation", 映像学技報，46，5，pp.5-8 (Feb. 2022)
- 59) 江頭ほか：“八木・宇田アンテナを用いた大規模レクテナアレーのためのアレー間隔に関する実験的検討”，映像学技報，46，1，pp.9-12 (Jan. 2022)
- 60) 吉地ほか：“高密度アレーアンテナを用いた高出力DCレクテナアレーの実験的評価”，映像学技報，47，2，pp.7-10 (Jan. 2023)
- 61) 西館ほか：“誘電体導波路によるマイクロ波エネルギー伝送に関する基礎検討”，映像学技報，46，30，pp.1-4 (Oct. 2022)
- 62) 佐藤ほか：“無線電力伝送における人体回避技術評価に用いる簡易軽量ファントムの開発”，映像学技報，46，5，pp.17-20 (Feb. 2022)
- 63) 三木：“[特別講演]東京スカイツリーにおける雷観測”，映像学技報，46，17，pp.37-39 (June 2022)
- 64) 粕谷ほか：“スビーチプロンプタを用いた映像信号とQRコードの双方向伝送実験”，映像学技報，45，24，pp.5-8 (Sep. 2021)
- 65) 内山ほか：“拡散性液晶と再帰性反射材を用いた書換え可能なQRコードの光変調器”，映像学技報，45，27，pp.17-22 (Oct. 2021)
- 66) 内山ほか：“QRコード光変調器に用いられるPDLCの静電容量と抵抗の測定”，映像学技報，46，1，pp.1-4 (Jan. 2022)
- 67) 粕谷ほか：“映像伝送用の可視光を利用した動画QRコードによるメッセージの同期伝送”，映像学技報，46，11，pp.9-12 (Mar. 2022)
- 68) 粕谷ほか：“PDLCと再帰性反射材を用いた構造的接続モードのQRコード光変調器の試作”，映像学技報，46，21，pp.1-4 (July 2022)
- 69) 粕谷ほか：“液晶と再帰性反射材を用いたQRコード光変調器の特性改善”，映像学技報，47，2，pp.11-14 (Jan. 2023)
- 70) 山田ほか：“マルチパスフェージング環境において非同期FBMC/OFDMシステムの隣接チャンネル干渉がシステム容量に与える影響”，映像学技報，45，5，pp.9-12 (Feb. 2021)
- 71) 三浦ほか：“NU-QAMを用いたOFDMシステムにおけるインパルス雑音環境下での時間サンプル入れ替え方式の評価”，映像学技報，46，21，pp.5-8 (July 2022)
- 72) 松尾ほか：“福岡地域における地上デジタル放送波による船舶検出の実験結果”，映像学技報，47，2，pp.27-30 (Jan. 2023)
- 73) 多胡ほか：“SC-FDE無線伝送方式における回り込み波キャンセルに関する一検討”，映像学技報，45，5，pp.33-36 (Feb. 2021)
- 74) 小川ほか：“超多値変調を用いたSC-FDE無線伝送方式の検討”，映像学技報，46，5，pp.21-24 (Feb. 2022)
- 75) 山岸ほか：“ミリ波8Kワイヤレスカメラの伝送実験と番組運用”，映像学技報，46，11，pp.13-16 (Mar. 2022)
- 76) 山岸ほか：“[招待講演]ミリ波8Kワイヤレスカメラの研究開発について”，映像学技報，46，30，pp.81-85 (Oct. 2022)
- 77) 飯島ほか：“STBC-MIMO-OFDM方式ワイヤレスイヤーモニタの検討”，映像学技報，45，5，pp.21-24 (Feb. 2021)
- 78) 北岡ほか：“MIMO-OFDM移動受信のためのICIキャンセラに関する検討”，映像学技報，46，5，pp.13-16 (Feb. 2022)
- 79) 佐藤ほか：“次世代移動中継用FPUに向けた適応送信制御MIMO方式の複数基地局の切替実験”，映像学技報，45，10，pp.1-4 (Mar. 2021)
- 80) 佐藤ほか：“[記念講演]次世代移動中継用FPUに向けた適応送信制御MIMO方式の野外伝送実験”，映像学技報，46，11，p.37 (Mar. 2022)
- 81) 牧野ほか：“SVD-MIMOにおける合計変調ビット数自動切替の室内実験”，映像学技報，46，25，pp.5-8 (Sep. 2022)
- 82) 牧野ほか：“SVD-MIMOにおける合計変調ビット数自動切替の移動伝送実験”，映像学技報，47，2，pp.63-66 (Jan. 2023)
- 83) L. Yipeng, et al.: “サブバンド毎に選択を行う端末共同MIMO受信の一検討”，映像学技報，46，5，pp.25-28 (Feb. 2022)
- 84) 廣瀬ほか：“Massive MIMOにおけるパイロット汚染存在時のチャネルエイジングの影響を低減するチャネル推定”，映像学技報，45，5，pp.13-16 (Feb. 2021)
- 85) H. Jia, et al.: "Convolutional Radio Modulation Recognition Networks with Attention Models in Wireless Systems", 映像学技報，45，24，pp.1-4 (Sep. 2021)
- 86) 山田ほか：“CDLチャネルにおけるオートエンコーダを用いたパイロット配置設計”，映像学技報，46，5，pp.1-4 (Feb. 2022)
- 87) 山田ほか：“Tabu SearchとBhattacharyyaパラメータを用いたPolar符号探索法”，映像学技報，45，5，pp.17-20 (Feb. 2021)
- 88) 塩川ほか：“情報指向型無線マルチホップネットワークにおけるコンテンツプロバイダの動的選択”，映像学技報，46，21，pp.25-28 (July 2022)
- 89) 大西ほか：“地上放送高度化に向けたホームゲートウェイの検討”，映像学技報，45，25，pp.29-32 (Mar. 2021)
- 90) 山口ほか：“FPUを用いたPTP伝送における遅延時間変動補正技術の実装”，映像学技報，45，10，pp.5-8 (Mar. 2021)
- 91) 山口ほか：“FPUを用いたPTP無線伝送における時刻同期精度の室内実験結果”，映像学技報，46，11，pp.29-32 (Mar. 2022)
- 92) 山口ほか：“FPUを用いたPTP無線伝送における高精度時刻同期手法の検討と実機検証”，映像学技報，46，25，pp.9-14 (Sep. 2022)
- 93) 島崎ほか：“地上放送高度化方式に対応したSTL/TTL伝送方式の装置実装と性能評価”，映像学技報，46，25，pp.1-4 (Sep. 2022)
- 94) 中村ほか：“U-SDIインタフェースのジッタ解析と相互接続性改善”，映像学技報，45，10，pp.9-12 (Mar. 2021)
- 95) 中村ほか：“U-SDIジッタ発生装置の開発”，映像学技報，45，33，pp.15-18 (Nov. 2021)
- 96) 中村ほか：“フルスベック8K制作システムの相互接続性向上の取り組み”，映像学技報，45，33，pp.19-22 (Nov. 2021)
- 97) 相田ほか：“10MHz/ch帯域幅を使用した4K/UHDリアルタイム映像無線伝送装置の開発”，映像学技報，46，11，pp.21-24 (Mar. 2022)
- 98) 伊藤ほか：“遠隔支援型8K腹腔鏡手術システムの開発と5G網を利用した検証実験”，映像学技報，46，11，pp.5-8 (Mar. 2022)
- 99) 小出ほか：“VR映像における複数撮影の実時間合成に関する基礎検討”，映像学技報，45，10，pp.33-36 (Mar. 2021)
- 100) 飯田：“日本最古の360度パノラマ展望写真を主題としたVRコンテンツの制作”，映像学技報，45，15，pp.25-28 (June 2021)
- 101) 河村ほか：“自由視点ARストーリーミングの効率的配信に向けた可視オブジェクトフィルタゲートウェイの実装”，映像学技報，45，35，pp.35-40 (Nov. 2021)
- 102) 小山ほか：“番組制作機能ソフトウェア化のためのXDPを用いた非圧縮映像送信ライブラリーの試作”，映像学技報，45，10，pp.37-40 (Mar. 2021)
- 103) 小山ほか：“機器管理者の設定に基づいた認可付与が可能なNMOSベース番組制作システムの構築”，映像学技報，46，17，pp.33-36 (June 2022)

- 104) 佐藤ほか：“次世代移動中継用FPUによるリモートプロダクションの検討”，映情学技報，45，27，pp.23-28（Oct. 2021）
- 105) 白戸ほか：“8Kフルリモート制作の検証実験”，映情学技報，46，11，pp.17-20（Mar. 2022）
- 106) 黒河ほか：“超テレビ連動アプリテレビちゃんシステムの開発と実用化～仮販プラットフォームの開発～”，映情学技報，46，25，pp.15-19（Sep. 2022）
- 107) 白戸ほか：“JPEG XSを用いた8K圧縮伸張処理の分散化検証”，映情学技報，46，17，pp.29-32（June 2022）
- 108) 峯ほか：“[記念講演]災害情報カメラ収録システム「TOREZO」の開発～日本全国に広がる情報カメラ映像の自動送出を実現～”，映情学技報，46，30，pp.5-8（Oct. 2022）
- 109) 北島：“[招待講演]NHKの放送における新技術の活用事例”，映情学技報，47，2，pp.1-2（Jan. 2023）
- 110) 本村ほか：“[特別講演]「宇宙感動体験事業」の創出に向けた取り組み～STAR SPHERE「Space Inspiration Project」の紹介～”，映情学技報，46，30，pp.25-31（Oct. 2022）



齋藤 恭一 1989年，慶應義塾大学理工学部電気工学科卒業。同年，NHK入局。甲府放送局，放送技術研究所，技術局などを経て，2015年より，放送技術研究所伝送システム研究部に勤務。4K/8K衛星放送や次世代地上放送の伝送方式の研究開発に従事。正会員。



神原 浩平 2001年，横浜国大大学院工学研究科電子情報工学専攻修了。同年，NHK入局。放送技術研究所，静岡放送局，技術局，大阪放送局を経て，2019年より，放送技術研究所伝送システム研究部にて，次世代地上デジタル放送の伝送技術に関する研究開発に従事。正会員。



岡田 実 1992年，大阪大学大学院工学研究科博士前期課程修了。1993年，同大学工学部電気工学科助手。1999年，Southampton University客員研究員。2000年，奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教授。2006年より，同大学教授。無線通信システムに関する研究に従事。正会員。



榎 芳栄 1992年，千葉大学工学部工業意匠学科卒業。同年，(株)東京放送入社。技術，美術兼任にて，セットデザイン，バーチャルCG制作に従事。New York University大学院留学派遣後，情報・中継番組TMを経て，現在，(株)TBSテレビメディアテクノロジー局技術管理部に所属。正会員。



小野 晋 1991年，大阪府立大学工学部電気工学科卒業，同年，讀賣テレビ放送(株)入社。制作技術部門にて，主に音声担当として番組制作業務，設備設計業務に従事。現在，同社技術局にて，送信業務を担当。正会員。



齋藤 一 1993年，(株)テレビ東京入社。制作技術部門にて，撮影業務に従事。回線および送出運行業務，さらに技術開発部門を経て，現在，技術局所属。正会員。



佐藤 誠二 2002年，(株)テレビ東京入社。制作技術部(現，コンテンツ技術センター)にて，スタジオ・中継番組制作に従事。現在，技術推進部所属。正会員。



鈴木 高幸 1998年，全国朝日放送(株)(現，(株)テレビ朝日)入社。主に親局・中継局送信設備，FPU伝送基地設備などの無線設備保守・構築業務に従事。現在，同社技術局設備センターに所属。正会員。



當山俊一郎 2006年，日本テレビ放送網(株)入社。技術統括局にて，回線，マスター，送信業務に従事。正会員。



橋本 靖 1992年，東京理科大学大学院理工学研究科修士課程修了。同年，(株)フジテレビジョン入社。技術局にて，放送技術，映像技術に従事。中継番組制作，中継車構築，送出マスター業務，BS4K送出マスター構築を担当。現在，同社技術局放送部に所属。正会員。



三橋 政次 1995年，慶應義塾大学大学院計測工学専攻修了。同年，NHK入局。放送技術局，技術局にて，番組制作や撮像設備の開発，整備に従事。観測衛星に搭載するカメラの開発など宇宙関連の業務にも多く携わる。正会員。