

## 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

居相直彦<sup>†1</sup>, 村田英一<sup>†2</sup>, 石田秀徳<sup>†3</sup>, 岩本正伸<sup>†4</sup>, 森住俊美<sup>†5</sup>, 大西正芳<sup>†1</sup>,  
石田利博<sup>†6</sup>, 齊藤一幸<sup>†7</sup>, 太田順一<sup>†8</sup>, 服部昌憲<sup>†9</sup>, 岡田実<sup>†10</sup>, 武居裕之<sup>†11</sup>,  
柳澤 齊<sup>†12</sup>, 西澤伸一<sup>†13</sup>, 深澤知巳<sup>†14</sup>, 小池幸宏<sup>†15</sup>, 甲斐 創<sup>†16</sup>

### 1. まえがき

テレビ放送の完全デジタル化から3年が経ち、放送業界を取り巻く環境は、大きな転換の時期を迎えている。4K・8Kといった超高精細度テレビジョン(Ultra High Definition Television: UHD TV)や、ネットワークとの融合やセカンドスクリーン連携などにより、新しいテレビ視聴スタイルを実現する放送通信連携サービスが実用段階を迎えようとしている。

地上デジタル・衛星デジタル放送、エリア放送、V-Low/V-High帯マルチメディア放送などに関する各種伝送技術、映像符号化ならびに画像処理に関連する技術、放送・通信連携関連技術と音響方式を取り扱う放送方式分野では、現行デジタル放送の高信頼化や高度化に向けた研究開発、放送・通信連携技術、UHD TVに向けた映像符号化技術や伝送方式について、活発に研究が進められている。

画像・音声などの情報の伝送技術と関連するデバイス・回路・機器・設備およびその周辺技術を取り扱う無線・光伝送技術分野では、UHD TVに求められる大容量伝送を実現するための無線伝送・光伝送技術、高機能・大容量伝送を可能とする回路技術やアンテナ技術についての研究開発、電波伝搬や電磁界解析の研究開発が精力的に進められている。

放送現業の分野においては、超高精細度テレビジョン放送や放送通信連携サービスが、官民一体となった検討によりいよいよ実用段階となる中、放送番組制作現場では、番組素材伝送設備の周波数再編への対応やIT(Information Technology)などのさまざまな技術を利用した、より視聴者の心に響く番組制作技法の工夫が行われている。

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、放送現業分野の研究開発動向を報告する。

(居相, 村田, 石田(秀))

### 2. 放送方式

#### 2.1 地上デジタル・衛星デジタル放送方式

##### 2.1.1 地上デジタル放送

2012年3月に地上放送の完全デジタル化が完了して以降も、当研究会においては、さらなる視聴エリアの拡大や、送信電力の低減を可能とすることを目的とした誤り訂正能力を向上させる方法の提案<sup>1)</sup>や、マルチパスによる受信障害の原因が日射による鉄塔の湾曲にあったことを追及し対策検討をした報告<sup>2)</sup>があった。また、放送の信頼性向上を目的として、中継局への放送信号伝送に使用しているSHF(Super High Frequency)帯のバックアップにIP(Internet Protocol)網で放送TS(Transport Stream)、および、クロックを伝送する装置の開発が行われた<sup>3)</sup>。さらに、ISDB-T

†1 NHK 放送技術研究所

†2 京都大学 大学院情報学研究所

†3 株式会社テレビ東京 技術局

†4 株式会社TBSテレビ メディア戦略室

†5 NTT サービスエボリューション研究所

†6 株式会社東芝 府中コミュニティ・ソリューション工場 放送・ネットワークシステム部

†7 千葉大学 フロンティア医工学センター

†8 住友電気工業株式会社 光機器事業部

†9 古河電気工業株式会社 情報通信ソリューション統括部門 ブロードバンド事業部門 技術部

†10 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科

†11 株式会社日立国際電気 映像・通信事業部 通信装置設計本部 放送設備設計部

†12 NHK 放送技術局

†13 株式会社フジテレビジョン 総合技術局

†14 株式会社TBSテレビ 技術局

†15 株式会社テレビ朝日 技術局

†16 日本テレビ放送網株式会社 技術統括局

"ITE Review 2015 Series (5); Research Trend on Broadcasting Systems, Radio and Optical Fiber Transmission Systems and Broadcasting Facilities and Operations" by Naohiko Iai and Masayoshi Onishi (Science and Technology Research Laboratories, NHK, Tokyo), Hidekazu Murata (Graduate School of Informatics, Kyoto University, Kyoto), Hidenori Ishida (TV TOKYO Corp., Tokyo), Masanobu Iwamoto (Media Strategy Office, Tokyo Broadcasting System Television, Inc., Tokyo), Toshiharu Morizumi (NTT Service Evolution Laboratories, Yokosuka), Toshihiro Ishida (Toshiba Corp., Fuchu), Kazuyuki Saito (Center for Frontier Medical Engineering, Chiba University, Chiba), Junichi Oota (Sumitomo Electric Industries, LTD., Yokohama), Masanori Hattori (Furukawa Electric Co., Ltd., Hiratsuka), Minoru Okada (Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, Ikoma), Hiroyuki Takesue (Hitachi Kokusai Electric Inc., Kodaira), Hitoshi Yanagisawa (Broadcast Engineering Department, NHK, Tokyo), Shinichi Nishizawa (Fuji television Network, Inc. Tokyo), Tomomi Fukazawa (Tokyo Broadcasting System Television, Inc., Tokyo), Yukihiro Koike (TV Asahi Corp., Tokyo) and Tsukuru Kai (Nippon Television Network Corp., Tokyo)

(Integrated Services Digital Broadcasting for Terrestrial) の国際普及活動において、注目されている緊急警報放送に関するチュートリアル的な説明を加えつつ、現状の問題提起を含めた講演も行われた<sup>4)</sup>。

### 2.1.2 エリア放送(ワンセグ)

ホワイトスペース(当該地域で使用されていないチャンネル)によるエリア放送については、それを利活用して提供する情報の内容や方法が示された。例えば、地域観光の振興と花火大会といった大規模イベントにおける防災を目的としたエリアワンセグ情報配信システムの構築とその効果の検討が行われた<sup>5)</sup>。また、大学構内におけるエリアワンセグ放送により、オープンキャンパスへの来場者向けの番組放送を行ったり、放送局設置そのものを教育の対象としたり、学生が運用できるシステムの構築が試みられた<sup>6)7)</sup>。

### 2.1.3 衛星デジタル放送方式

4K・8K ロードマップに関するフォローアップ会合<sup>8)</sup>での検討が進められている中、超高精細度テレビジョン放送サービスを提供するメディアとして12GHz帯の左旋円偏波による衛星放送が注目されている。12GHz帯右・左旋円偏波衛星放送の宅内配信方式検討を目的に実施した宅内配信機器のシールド特性と通過特性についての報告があった<sup>9)</sup>。

### 2.1.4 V-Low帯マルチメディア放送

アナログテレビ放送終了後のVHF(Very High Frequency)-Low帯(1ch~3ch)を利用した移動体・携帯端末向けマルチメディア放送のサービスエリアを推定する際に重要な移動受信環境での電界強度変動特性を把握することを目的として、中規模送信局による野外実験の報告<sup>10)</sup>や、蓄積型放送で提供される緊急情報の配信を実現する送出サーバを開発し、その性能検証の実施結果の報告があった<sup>11)</sup>。

### 2.1.5 V-High帯マルチメディア放送

ISDB-Tmm(ISDB-T. Mobile Multi-Media Broadcasting)方式を採用しているV-Highマルチメディア放送については、2012年4月1日より商用サービス(NOTTV)を開始している。

NOTTVにおいては、アナログ放送終了後のVHF-High帯(207.5MHzから222MHz)の一部が用いられる。携帯電話等で用いられる800MHz以上の周波数帯での電波伝搬特性についてはさまざまな検討がされているが、マルチメディア放送で用いられる200MHz帯では十分な検討がなされていないため、屋内電波伝搬特性についての実験が行われた<sup>12)</sup>。また、屋内での受信改善のために、送信所からの電波を受信し、増幅して再放射する小型の屋内ブースタを試作し、この測定結果と回線設計による送信出力レベルとの比較が行われた<sup>13)</sup>。

NOTTVにおいては移動体受信機による受信を想定しているため、建物内でも受信・視聴が可能なことを一般的には求められるが、販売店の立地条件によっては、十分な電界強度が得られず、映像を受像することによる加入確認や、

店頭での取扱説明に支障をきたす場合があり、この店頭における難視聴対策のために、PCベースの信号発生器を構築し、NOTTVサービスの試用を可能とした<sup>14)</sup>。

V-Highマルチメディア放送における蓄積型放送サービスは、放送波を使ってマルチメディアデータを送り届けるが、電波を有効活用するために、無駄のない効率的な伝送を行うべきであり、ソースシンボルサイズとIP送出レートの検討や実機を用いた実験による有効性の検証が行われた<sup>15)</sup>。また、蓄積型放送サービスで提供されるコンテンツの受信率を向上させるために、送出スケジューリングや通信回線による欠損コンテンツの補完など、さまざまな送出パラメータの検討が行われた<sup>16)</sup>。

受信機が通信機能を持つことが前提となっているV-Highマルチメディア放送においては、アクセス制御方式においても、通信によるライセンス更新を採用しているという特徴がある。その具体的なCA(Conditional Access)インタフェースについては、これを定めず、受信機の多様化に期待しているが、結果として受信機メーカーの開発難易度を上げている側面もあるため、ハードウェア方式(NOTTV ICカード)が開発された<sup>17)</sup>。

NOTTVは、放送・通信それぞれの機能を有する受信機による双方向型のサービスであり、受信機の開発においては、放送と通信に跨がった複雑で総合的な検証をする必要があるため、テストベッドと呼ばれる検証環境を構築し、受信機開発者に対して利用提供したことが報告された<sup>18)</sup>。

### 2.1.6 マルチメディア(多重化方式)

次世代のデジタル放送においては、コンテンツの伝送路や利用されるクライアント端末の多様化を前提として検討が進められるべきである。

2018年の実用放送を目指している超高精細度テレビジョン衛星放送の多重化方式としては、放送と通信が連携したサービスを容易とするMMT(MPEG Media Transport)を用いることが想定されており、このMMTと、現在のデジタル放送システムで採用されているメディアトランスポートの方式であるMPEG-2 TSおよびRTP(Real-time Transport Protocol)との比較検討により、有効性の評価が行われた<sup>19)~21)</sup>。(岩本)

## 2.2 映像符号化・画像処理

### 2.2.1 映像符号化分野

高精細なカメラや表示装置を具備するスマートフォンの急速な普及は、われわれの生活に高精細な映像を非常に身近なものとした。ソフトウェア実装によるH.264/AVC(Advanced Video Coding)の高速復号アルゴリズムに関する報告<sup>22)</sup>や、クラウド上でのライブビデオエンコーディング方式に関する報告<sup>23)</sup>は、スマートフォン上での高精細な映像の取り扱いに関する利便性向上に期待できる。また、HDR(High Dynamic Range)画像の高効率符号化に関する報告<sup>24)</sup>は、放送用機器に留まらずスマートフォン等のコン

シューマ用機器に応用することにより、よりリッチな映像をより簡易に利用可能となることが期待できる。

超高精細映像に関するものとして2件の報告があった。1件は高臨場感通信に関する特別招待講演<sup>25)</sup>で、高臨場感通信を実現するための技術について網羅的な内容のご講演をいただいた。もう1件は符号化制御技術に特化した報告である。こちらは、超高精細映像を符号化するにあたり、臨場感を低下させることなくビットレートを低減させる試みが報告されている<sup>26)</sup>。いずれの報告も超高精細映像により高い臨場感を提供するためには不可欠な技術の報告であり、さらなる技術の深掘りにより実用化が待たれる。

実用化という観点において、超高精細度テレビジョン放送に関連する興味深い3件の報告があった。そのうち2件は所要ビットレートに関する報告で主観評価の結果が報告<sup>27)</sup><sup>28)</sup>された。また、4K・8Kの超高精細度映像を低いビットレートで合理的に伝送するための符号化方式に関する報告<sup>29)</sup>も行われた。これらの発表からも、8K映像の取り扱い実用化間近の技術という印象が強く感じられる。

これらの他にも、映像符号化に関する分野においては、3DTV (Three-Dimensional Television) 方式に関する報告と、新たな符号化手法に関する報告があった。3DTV方式に関する報告は、方式選定に係わる報告<sup>30)</sup>と、主観評価に関する報告<sup>31)</sup>であった。新たな符号化手法に関する報告は2件で、超解像技術とJPEG (Joint Photographic Experts Group) 方式を組合せることによる符号化技術の改善に関する報告<sup>32)</sup>で、従来のJPEGと同等以上の性能の確認がなされている。もう1件は、シーケンシャルカラー方式を用いる動画フォーマットの改善に関する報告<sup>33)</sup>で、同方式を用いる従来の手法より動き推定の性能向上が報告されている。今後の主観評価によりその有用性の報告が待たれる。

### 2.2.2 画像処理分野

画像処理分野においては、基礎的な技術に関する報告と、特定のアプリケーションに向けた応用技術に関する報告に大別できる。

基礎的な技術報告のうち3件は、画像認識に関するもので、動オブジェクトの分割精度改善に関する報告<sup>34)</sup>、点群マーカを用いた3次元モデリングシステムに関する報告<sup>35)</sup>、符号化情報を用いたシーン判定手法に関する報告<sup>36)</sup>であった。いずれの報告においても、それぞれの手法の有効性が報告されており、それぞれの分野においてさらに手法がブラッシュアップされるとともに応用分野への適用を期待したい。また、基礎的な分野としては、画像の拡大処理時の高画質化に関する2件の報告<sup>37)</sup><sup>38)</sup>があった。それぞれ異なった手法での画像の劣化を防ぐ効果が報告されており、今後の応用や主観評価の結果に関する報告が待たれる。

画像処理の応用分野では、学生発表を中心として多数の興味深い報告があった。そのうちの 하나가、色情報を用いた野菜の識別手法に関する報告<sup>39)</sup>である。本手法によると

野菜の大まかな色と形状により野菜の種類が報告されており、今後の実用的な分野への適用が楽しみである。また、人の顔の精緻な認識を応用分野に適応した3件の興味深い報告もあった。深度カメラを用いた顔特徴点検出を漫然運転防止システムに応用した報告<sup>40)</sup>は、実用度の高い技術で実用化も期待できる。瞳の解析を基礎的な技術とし、授業評価に応用する報告<sup>41)</sup>や、コミック誌の閲覧との関連に関する報告<sup>42)</sup>は、いずれも学生らしい報告であり、興味深い結果が報告されている。また、コミックという観点においてはコミックのコマの自動分割に関する報告<sup>43)</sup>もあった。本報告同様に区域分割を基本的な技術とするものとして、天気予報図の作成に応用する報告<sup>44)</sup>や、テレビ番組から図表画像を検出する手法の報告<sup>45)</sup>があった。いずれの報告も有用性が報告されており、実用分野への応用が期待できる。

上記以外の画像処理分野の報告も興味深く、全方位カメラによる自己位置推定のための特徴点追跡に関する報告<sup>46)</sup>は、ロボットや自律走行の分野にむけて実用的な報告であった。複数映像品質に対応したキャッシュ管理方法に関する報告<sup>47)</sup>は、今後さらなる普及が想定されるスマートフォンをはじめとするさまざまなサイズの表示装置において、動画コンテンツをストレスなく扱うにあたって有用な技術であると言える。また、画像処理分野においては、国際会議の動向に関する招待講演<sup>48)</sup>も行われ、全体として非常に幅広い報告がなされたと言える。

(森住)

### 2.3 放送・通信連携

放送通信連携の分野では、ハイブリッドキャスト関連の報告が多数寄せられた。2013年3月にIPTVフォーラムからハイブリッドキャスト技術仕様第1版<sup>49)</sup>が公開され、各放送事業者による実機を使った機能検証の報告があった。VOD (Video on Demand) サービスや端末連携を含むハイブリッドキャストの実サービスへの導入<sup>50)</sup>、カラオケ採点アプリを作成し、音声と採点タイミングを合わせるための同期検証<sup>51)</sup>、テレビ上で放送連動の自動キーワード検索を行うアプリの試作<sup>52)</sup>、競馬中継を想定したアプリの試作<sup>53)</sup>、サッカーにおけるリアルタイムでデータ配信を行うアプリの検証実験<sup>54)</sup>などが報告された。

2014年7月にはハイブリッドキャスト技術仕様第2版<sup>55)</sup>が公開された。この仕様に関連する要素技術の研究や検証についても報告があった。放送事業者以外のサードパーティーの参入を可能にする仕組みである放送外マネージドアプリケーションの動作モデルの検討が行われ、実機を使った動作検証結果が示された<sup>56)</sup>。また、同仕様には放送と通信の同期モデルについても示されている。このモデルと端末連携の仕組みを組合せたマルチデバイス間での放送とインターネットストリーミングの同期の取組みについて報告があり、試作の検証により有効性が示された<sup>57)</sup>。

放送通信連携でのセキュリティに関しては2件の報告があった。アプリに署名を施して、認証により信頼性を確認

するシステムを試作し、ID失効リストによるアプリの緊急停止などの機能などが検証された<sup>58)</sup>。また、放送サービスにおけるネット活用を想定し、CAS (Conditional Access System) における通信伝送路でのライセンス配信スキームの提案がなされた<sup>59)</sup>。

多重技術関連では、8Kスーパーハイビジョン (Super Hi-Vision: SHV) 放送に向けた新たな字幕・文字スーパーの規格についての報告があり、仕様の概要とそれにしたがって試作されたシステムの検証結果が報告された<sup>60)</sup>。また、異なるISDB-T伝送モード下でのTMCCパリティを用いた緊急警報放送信号の検出方法について検討がなされ、提案法は従来法よりも数桁の誤警報確率の低減が見込まれ、特に低速移動する受信機に対して高い効果が示された<sup>61)</sup>。

IPパケットを放送に多重するIPDC (IP Data Cast) 関連で2件の報告があった。IPDCを用いた放送通信連携システムの報告では、放送波に多重したIPパケットをLAN (Local Area Network) 内でマルチキャスト配信することで外部端末にアプリを配信できることが実証された<sup>62)</sup>。IPDCによるリアルタイムでのMPEG-DASH (MPEG Dynamic Adaptive Streaming over HTTP) ライブストリーミングに向けた検証では、FEC (Forward Error Correction) を組合せたMPEG-DASHコンテンツでも遅延が蓄積されずに再生できることが示された。MPEG-DASHはファイルベースでHTTP (Hypertext Transfer Protocol) を前提とした配信方式であるが、この検証で放送にも適用可能であることが示された<sup>63)</sup>。

そのほか、SNS (Social Networking Service) のようなリアルタイムの多次元データについて、圧縮されたデータをさらに再圧縮する方式を導入することで、変化検知時に影響を与えない形で効率的なデータ復元処理が可能となる方式が提案され、実データを使った評価実験によりその有効性が示された<sup>64)</sup>。

技術報告以外にも、放送と通信に関するアンケート調査の報告がなされている。地域観光に関する情報提供について、エリアワンセグによる情報配信とインターネット上で公開されている情報とを対比し、欲しい情報にたどり着いたとの評価がエリアワンセグの方が高かったことが示された<sup>65)</sup>。ネットリサーチを使った視聴推薦に関するアンケート調査の報告もされた<sup>66)</sup>。

(大西)

## 2.4 音響方式

音響関連では4件の報告があった。

圧縮符号化した22.2ch音声信号の基本音声品質を主観評価し、実験の結果から、放送品質を満たすビットレートがおおよそ1.2Mbpsであることが明らかにされた<sup>67)</sup>。また、22.2ch音響によるコンテンツ制作の高度化と簡易化を目指して開発を進めているワンポイント球形マイクロホン、ミキシングシステム、3次元残響付加装置と、NHK放送センターに整備された世界初の22.2ch音響制作専用ダビングス

タジオについて報告があった<sup>68)</sup>。

EV/HEV (Electric Vehicle: 電気自動車/Hybrid Electric Vehicle: ハイブリッドカー) サイン音の認知性の評価方法の一つとして提唱されている漸増刺激法について、指向性の異なるスピーカ2種で比較実験を行い、スピーカの違いで結果に大きな差がでなかったことが確認された<sup>69)</sup>。

楽器音の多重音信号解析において、事前に学習し、ガウス過程回帰でモデル化する手法について提案され、検証により、提案方式の有効性が示された<sup>70)</sup>。

(大西)

## 2.5 超高精細度テレビジョン・次世代放送

放送方式の分野では、超高精細度テレビジョンに関連した技術についての研究開発が活発に行われており、特にNHK放送技術研究所を中心として、衛星放送ならびに将来の地上放送を視野にさまざまな技術が研究されている。超高精細度画像と22.2マルチチャンネル音響からなる放送システムが姿を現しつつある。

超高精細度テレビジョン衛星放送では、2016年の試験放送、2018年までの実用放送を目標に活発に研究開発が進められており<sup>71)</sup>、8K映像、22.2ch音声に加えてMMTによる新たなメディアトランスポート方式の検討が行われている<sup>72)~75)</sup>。さらに「超高精細度テレビジョン放送衛星デジタル放送の伝送方式」の方式検討として0.03までのロールオフ率低減と16APSK (Amplitude Phase Shift Keying)、新しいLDPC (Low Density Parity Check) 符号を組合せた方式の試作装置を用いた衛星伝送実験が実施されている<sup>76)</sup>。また、衛星放送を対象とした伝送方式として、SC-OFDM (Single Carrier-Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 方式の提案も行われている<sup>77)</sup>。

地上放送では、8Kスーパーハイビジョンが必要とする伝送レートを確保することが最大の課題であり、次世代地上放送にむけて4096QAM (Quadrature Amplitude Modulation) までの超多値QAM-OFDM技術と偏波MIMO (Multiple Input Multiple Output) 伝送技術の組合せが検討されている。このように究極と思われる多値化を行うと、同一帯域幅を維持して伝送レートを高速化することが可能となるものの、装置の歪み特性や位相雑音の影響を強く受けるようになる。今後、装置コストの低減が大きなテーマとなっていくものと考えられる。

伝送特性のさらなる改善のため、興味深い技術的チャレンジが行われている。特に最近では空間結合LDPC符号の適用<sup>78)</sup>やLDPC符号復号回路の回路規模の検討<sup>79)</sup>が行われている。偏波MIMOとの組合せでは、偏波間拡散を用いて特性劣化を改善する試みも行われている<sup>80)</sup>。また、ビットインタリーブ符号化変調BICM (Bit-Interleaved Coded Modulation) との組合せでは、信号点配置の最適化により伝送特性が向上することが知られており、その検討も行われている<sup>81)</sup>。これら検討に加えて、時空間MIMOと空間多重MIMOの比較検討も行われている<sup>82)</sup>。このように、

多方面から各種技術の検討が積み重ねられている。

偏波MIMOと超多値QAM-OFDM技術による8Kスーパーハイビジョン放送技術については、すでに地上波伝送実験が行われており、UHF(Ultra High Frequency)帯において帯域幅6MHzを利用した伝送により、91Mbpsの8Kスーパーハイビジョン信号の伝送実験が行われ、約27kmの伝送に成功したことが報告されている<sup>83)</sup>。

さらに、次世代地上波放送についてはダイバーシチ効果が得られる時空符号化STC(Space-Time Coding)による空間多重伝送について、SFN(Single Frequency Network)環境における特性評価が報告されている<sup>84)85)</sup>。また、同一チャネル干渉対策についても検討が進められている<sup>86)</sup>。これら実運用において重要な課題についても着々と検討が重ねられている。

一方、OFDMではガードインターバル比を低減すれば周波数利用効率が改善されるため、ガードインターバル比低減の検討が行われている。ガードインターバルの時間長を一定に保つ場合、FFT(Fast Fourier Transform)サイズ(OFDMシンボル長)を拡大することになるが、この際に課題となる移動時のキャリヤ間干渉対策についても検討が行われている<sup>87)88)</sup>。

これら活発な次世代地上波放送の伝送方式の研究に加えて、ケーブルテレビでの伝送実験<sup>89)</sup>やフルスペック8Kスーパーハイビジョンリファレンスカメラの開発<sup>90)</sup>、リアルタイムコーデックなどの送出システムの開発<sup>91)</sup>など、幅広い研究開発活動が行われている。これらにより、8Kスーパーハイビジョン地上波放送の技術的基盤が確立されつつある。(村田)

### 3. 無線・光伝送技術

#### 3.1 地上デジタル放送

受信障害の解析手法に関する提案やホワイトスペースを活用した地域限定ワンセグ型のエリア放送に関する報告、地上波テレビ放送受信用アンテナに関する報告等がなされている。

受信障害に関しては、特に九州地方や中国地方にて韓国からのデジタル放送波のオーバーリーチ伝搬に起因する同一周波数干渉(デジタル混信)が以前より報告されている。このデジタル混信の評価を目的として、デジタル放送波の受信信号強度(Received Signal Strength Indicator; RSSI)および信号対雑音電力比(Carrier to Noise Ratio; CNR)の測定に加え、FM(Frequency Modulation)放送波のRSSIも同時に測定する手法の提案がなされている。その手法を用いた実測データとシミュレーション結果により、本手法の有効性の確認も合わせて報告されている。具体的には、送信源となる都市の特定が可能であること、デジタル混信が生じた場合にはCNRが低下すること、レイトレースのシミュレーションにより、デジタル混信が生じている

場合には大気ダクトによるオーバーリーチ伝搬が生じていることが報告されている<sup>92)</sup>。

受信障害に関する調査報告として、東京スカイツリー電波障害の実例に関する報告がなされている。これは、受信レベルの計測結果を、受信環境状況、特定チャネルにおけるレベル低下の原因の推定ともに報告されたものであり、その原因については受信ポイント近辺の川面反射に起因したものであると推定されている<sup>93)</sup>。

受信障害の解消にあたっては伝搬路の特性を正確に把握することが必要となる。空間伝搬路中の静的な環境下において、周波数や位相の微小変動等を観測する場合は熱雑音以外に送信系、測定系の周波数基準に含まれる位相雑音の影響等が無視できない。そこで、伝搬路の特性解析の阻害要因の一つである位相雑音等の挙動の報告とその抑圧手法に関する提案がなされている<sup>94)</sup>。また、位相雑音を抑圧する別の手法としてCATVの再送信信号(パススルー信号)を基準信号に用いた手法の提案がなされ、シミュレーション上での有効性が確認されている<sup>95)</sup>。

マルチパス解析時の遅延プロファイルの時間分解能を向上させるためには、複数のチャンネルを連結して周波数帯域を広げることが有効である。しかし、各チャンネル間にはガードバンドが存在しているためその間の伝達特性が欠落している。また、各チャンネルは独立に放送されているため、シンボルタイミングが異なる。従来の複数チャンネルの連結による解析では、これらの問題点が挙げられていた。そこで、新たな複数チャンネルの連結手法として、信号帯域外の伝達特性について線形予測フィルタを外挿し、外挿された伝達特性の重なりを利用する手法の提案がなされ、この手法を用いることによる時間分解能の向上について報告がなされている<sup>96)</sup>。

タクシー無線の周波数帯は地上デジタル放送の帯域と下隣接の関係にある。そのため、タクシー無線の使用が地上デジタル放送に受信障害を与える場合がある。そこで、タクシー無線の周波数帯域を減衰させる対策フィルタと市販受信機を組合せた実機評価が行われ、その改善効果と市販受信機間の受信性能の差異について報告がなされている<sup>97)</sup>。

ホワイトスペース活用の事例として、ワンセグ技術を活用したエリア放送の導入が多く取組まれている。大学構内にエリア放送局を設置するにあたり実施された、チャンネル選定に必要な潜在電界強度の測定結果、エリア放送波の受信電界強度と信号空間ダイアグラムの測定結果、信号レベルおよび複数のワンセグ受信機の測定結果から作成した受信エリアマップに関する報告がなされている<sup>98)99)</sup>。

地上波テレビ放送受信用アンテナの小型化・広帯域化を目指した、長方形導体板上にコプレーナ線路(Coplanar Waveguide; CPW)で構成した逆Lアンテナを配置した構造のアンテナに関する研究も行われている<sup>100)</sup>。(石田(利))

### 3.2 衛星放送ならびに搭載機器

次世代の8Kスーパーハイビジョン放送伝送用として、21 GHz帯を用いた衛星放送に関連する検討が数多く行われている。まず、放送衛星に搭載する送信用アレー給電反射鏡アンテナに関する励振電力均一化や降雨補償のための増力ビームの生成に関して検証されている<sup>101)</sup>。また、これらのアンテナに給電を行うビームフォーミングネットワークについても、現実的なパラメータを設定し、検討がなされている<sup>102)</sup>。その中でも、特に重要な要素の一つである衛星搭載用増幅器が発生させる帯域外不要波を急峻に減衰させる出力フィルタが設計されている<sup>103)</sup>。さらに、送信用反射鏡アンテナの給電用ホーンアンテナアレーについて、部分モデルの試作が行われ、電気特性が測定されている<sup>104)</sup>。

さらに、家庭における21 GHz帯衛星放送信号受信用のアンテナについても検討がなされている。文献<sup>105)</sup>では、受信用パラボラアンテナが試作され、利得や交差偏波識別度等が検討されている。なお、この内容も含め、文献<sup>106)</sup>では、12 GHz帯右左旋共用衛星放送受信用アンテナや21 GHz帯の衛星放送受信用アンテナに関する各種検討結果がまとめられている。(齊藤)

### 3.3 放送素材伝送技術

放送素材伝送のためのFPU (Field Pick-up Unit) に関して、伝送容量拡大、安定運用性の向上、ファイルベースでの伝送実現のための報告が多くなされている。

120 GHz帯では、HD-SDI (High-Definition Serial Digital Interface) 信号16本からなるDG (Dual Green) 方式の非圧縮8Kスーパーハイビジョン信号によるFPUの伝送容量拡大検討が行われている。ベースバンドでの信号処理方法を検討することで、8本のHD-SDI信号を、1本の10 Gbpsレベルの信号に束ねることにより、市販レベルの部材を用いた、同一周波数の交差偏波構成とした機器開発<sup>107) 108)</sup>、伝送特性<sup>109) 110)</sup>が報告されている。本方式に関しては、2015年3月に、ARIB STD-B65 1版として規格化された。

42 GHz帯ではミリ波モバイルカメラの開発を目的とした検討がなされている。低圧縮、低遅延を実現するため、MIMO伝送を行うが、伝搬環境によっては発生する、乱れや跡切れ防止のため、伝搬特性をリアルタイムに解析するシステムが検討されている<sup>111)</sup>。また、安定した伝送のために、伝送路に適した送受信アンテナの選定も検討されている<sup>112) 113)</sup>。MIMO復調におけるMLD (Maximum Likelihood Detection) の演算量を減らす検討<sup>114) 115)</sup>なども報告されている。

42 GHz帯を使ってSHV信号を伝送するFPUについても報告されている。伝送方式として周波数利用率の高いOFDMが検討されているが、その際の課題となる、PAPR (Peak to Average Power Ratio) の低減について検討されている<sup>116)</sup>。

また、ファイルベース化された映像をファイル形式のま

ま効率よく伝送できる双方向伝送における時分割複信方式におけるARQ (Automatic Repeat reQuest) 方式にFEC (Forward Error Correction) を加えたハイブリッドARQ方式による高効率伝送の検討<sup>117)</sup>、再送パケットサイズの検討<sup>118)</sup>、高速適応変調方式の評価<sup>119)</sup>、機器試作結果<sup>120)</sup>などが報告されている。(太田)

### 3.4 光伝送技術

2020年は東京オリンピック・パラリンピックの開催年である。総務省の4K・8Kロードマップに関するフォローアップ会合<sup>8)</sup>では、2020年の目指す姿を以下のように示している。

- (1) 東京オリンピック・パラリンピックの数多くの中継が4K・8Kで放送されている。また、全国各地におけるパブリックビューイングにより、東京オリンピック・パラリンピックの感動が会場のみでなく全国で共有されている。
- (2) 4K・8K放送が普及し、多くの視聴者が市販のテレビで4K・8K番組を楽しんでいる。

放送局内・局間や中継先から放送局へなどの8Kスーパーハイビジョン番組素材伝送において、映像の圧縮による遅延や画質劣化を避けるため、非圧縮信号による光ファイバ伝送システムの研究が進められている<sup>121)</sup>。

長距離化により生じる波長分散が波形劣化をおこし、データ誤りを生じさせるため伝送距離に制限がある。そのため波長分散を補償することが必要になる。分散補償としては、分散補償ファイバ (Dispersion Compensation Fiber: DCF) や電気的な方法として前方誤り訂正 (FEC) がある。大きな波長分散に対して安定した分散補償効果がある一方、DCF長に比例したファイバロスもあり、FECは光学的な付加装置を必要としないが保証できる波長分散が小さいという特性を持っている。これらを組合せることで、DCFを短くしてファイバロスを少なくし、FECがデータ誤りを訂正できることで伝送可能距離を延伸することを検討し、最適化された伝送システムで長距離化を実現し、計算と実伝送路の結果がおおむね一致し、実環境でも適用できたことが報告されている<sup>122)</sup>。(服部)

### 3.5 新しい伝送技術

MIMO技術に関する研究が数多く報告されている。MIMO技術は、複数の送信アンテナから同一周波数で複数のデータストリーム送信し、送信側と同様に複数のアンテナを有する受信機で複数のデータストリームを復調することで、周波数利用率の大幅な改善を可能にする技術である。特に、1対多の通信システムにおける通信容量を増大させる技術であるMU-MIMO (Multiuser MIMO) システムに関する研究が活発に行われている。簡易なソフトウェア無線インタフェースとして広く使われているUSRP (Universal Software Radio Peripheral) を用いてMU-MIMO実験システムの実装および伝送評価が検討されている<sup>123) 124)</sup>。本MU-MIMOシステムを分散アンテナシステム

に応用したときの演算量の削減を行うため、端末のグループ化が提案されている<sup>125)</sup>。

MU-MIMOシステムでは、伝搬路推定誤差による基地局プリコーディング精度の低下によって移動局間干渉が生じるため、伝搬路推定精度の向上が重要である。線形予測による高速フェージング環境下での伝搬路推定精度向上が検討されている<sup>126)</sup>。また、送信側から送信したパイロット信号を受信側で非再生中継し、送り返すことで送受信伝搬路特性を高精度に推定するecho-MIMO推定の検討が行われている<sup>127)</sup>。さらに、MU-MIMOでは、ユーザ間の干渉キャンセルを高精度に行うため、基地局端末間の高精度シンボル同期および周波数同期手法が提案されている<sup>128)</sup>。

バス、電車など複数の移動局が同時に移動する環境で、移動局間で無線LANなど別の通信チャネルを用いて近距離通信を行い、連携して受信信号を共有することで、等価的なアンテナ数を増やし、干渉抑圧を行う共同干渉キャンセルの検討が行われている<sup>129)</sup>。この検討結果に基づき、実験による特性評価結果が示されている<sup>130)</sup>。また、伝搬路時変動を補償することで、高速フェージング環境において特性を改善する手法が提案されている<sup>131)</sup>。

MIMO技術は、地上デジタル放送の伝送容量向上手法としても検討されている。放送向けMIMO技術と関連して、偏波を用いてMIMOシステムを用いてライスフェージング通信路により伝送を行った時の伝送特性の解析が行われ、偏波MIMOシステムの有効性が示されている<sup>132)</sup>。

地下街やトンネルなど不感地帯におけるMIMO伝送を実現する手法として、漏洩同軸ケーブル(LCX: Leaky Coaxial Cable)を用いたMIMO伝送が提案されている。ここでは、LCXを伝搬する進行波と後退波を用いてMIMO伝送を実現している。また、MIMO伝搬路の周波数特性を解析することで端末位置を同時に推定する方法が提案されている<sup>133)</sup>。

MIMO以外の周波数効率向上方式として、複数信号の伝送帯域を重畳して伝送するマルチキャリア重畳伝送が提案されている。復調時の特性改善のためLLR(Log-Likelihood Ratio)を正確に求めることがビット誤り率特性を改善するために必須である。パイロットを用いて不要信号電力を正確に推定することで、正確にLLRを設定する方法が提案されている<sup>134) 135)</sup>。

OFDMの伝搬路特性の推定手法として、圧縮センシングを用いた手法が提案されている<sup>136)</sup>。圧縮センシングは、伝搬路のインパルス応答がほとんど0であるときに効果的な推定手法である。日本の地上デジタルテレビ放送規格であるISDB-Tに応用し、特性改善が可能であることが示された<sup>137)</sup>。演算量の問題があるが、インパルス応答の遅延時間の変化が振幅・位相変化に比べて小さいことを利用し、演算量を削減する手法が提案されている<sup>138) 139)</sup>。

OFDMシステムを車載受信機として用いる場合、イグニ

ションノイズやパワーウィンドウ等のモータからの雑音などインパルス性の雑音の影響が問題となる。1OFDMシンボルをパイロットに割当てることで、インパルス雑音波形を推定し、インパルス雑音干渉を除去する手法が有効であることが示された<sup>140)</sup>。

セルラー移動通信システムに関してもいくつかの研究結果が報告されている。同一の周波数帯域を複数のシステムで共用するコグニティブ無線に関し、プライマリ通信に干渉を与えないように直交ビームフォーミングを用いて協調通信を行う手法が提案されている<sup>141)</sup>。また、フェムトセルのセル選択を行う手法が検討されている<sup>142)</sup>。

放送受信機の実装について、興味のある報告が行われている。複数の希望信号を、近接する中間周波数に周波数変換し、単一チャネル信号として扱う複数チャネル同時受信システムが提案されている。アナログおよびADC(Analog to Digital Converter)点数を削減可能なことから、産業上も優れた提案である<sup>143)</sup>。

水中でTV中継を行うための光伝送システムが提案されている。本システムは水中における減衰の小さい青色の可視光を用いて、動画伝送を行うものである。ここでは、球体状の受光部に反射材を配置し、送信機から光ビームを追尾するためのトラッキング信号を送信し、受光部で反射して戻ってきたトラッキング信号を用いて光ビーム方向のズレを検出する手法が検討されている<sup>144) 145)</sup>。

(岡田)

### 3.6 回路技術

放送、通信、さまざまな分野で求められる電気・電子機器には小型化、高効率化、高機能化に対応すべく回路技術も着実に進展している。

数100 GHzから1.5 THzにおいて電波天文用アンテナの帯域通過型フィルタとして使用されているダイクロミックフィルタは、円形導波管が規則的に配置された構造であり、そのフィルタは急峻な周波数特性を有している。このフィルタの自動最適化設計として遺伝的アルゴリズムとして実数を遺伝子とするPfGA(Parameter free Generic Algorithm)および $\mu$ GA(Micro-Generative Algorithm)が検討され、自動最適化においては、フィルタ構造を近似するセル寸法を段階的に変化させ自動最適化する方法が報告されている<sup>146)</sup>。

無線通信分野や放送サービスにおいてさまざまな材料の誘電率や透磁率といった媒質定数を正確に評価することが重要とされている。自由空間法では測定する材料が平板でその加工精度が要求されない利点はあるが、使用する周波数に応じて広い測定環境が必要で初期値を正確に知る必要がある。これらを解決する方法として電波暗箱内に測定試料を設置し、ホーンアンテナをベクトルネットワークアナライザに接続し反射量を測定する方法が評価されている。ベクトルネットワークアナライザによって得られた周波数応答を時間領域に変換し、資料の表面、裏面からの反射波

のみを抽出しその時間差から比誘電率を求め、同軸プローブ法やカタログ値と比較し概ね妥当な結果が得られたことが報告されている<sup>147)</sup>。

スマートフォン、タブレットなどが急速に普及している。これらの機器は第3世代(3G)移動通信システム、LTE (Long Term Evolution)回線でインターネット接続したり、無線LAN (Local Area Network)、Bluetoothなどで周辺機器と接続したり、現在の生活に欠かせない機器の一つとなっている。これらはさまざまな無線方式を搭載しているため、多くの周波数帯域をカバーする必要がある。従来の機器では各周波数帯用のRF回路を用意していたが、回路の小型化やコスト面で問題があった。これを解決するために、可変長スタブを用い、一つの回路で0.8GHzと2.0GHzに状況に応じて切替えることができる、マルチバンドRF回路が報告されている<sup>148)</sup>。

無線機器の小型化・高性能化にはRF回路の小型化・高性能化を行わなければならない。そのための新技術として右手/左手系複合:CRLH (Composite Right/Left Handed)メタマテリアルが注目されている。左手系伝送線路の主な特徴は負の位相定数を持つものであり、この負の位相定数を利用すると位相回りが $270^\circ$ の伝送線路を $-90^\circ$ の伝送線路で置き換えることができ、回路の小型化が可能となるが、純粋な左手系伝送線路を実現することは困難なため、右手系伝送線路と複合したCRLH伝送線路となる。このCRLHメタマテリアル技術と平面回路技術を融合したスロット型CRLH伝送線路の基本特性を検討した結果が報告されている<sup>149)</sup>。また、複数の無線システムに対応するためには抑圧する帯域も任意に変更できる機能が求められる。このためにバラクタダイオードと可変スタブを用いてバンドギャップ切替え機能を持つCRLH伝送線路の検討が報告されている<sup>150)</sup>。

2011年3月の東日本大震災以降、自然エネルギーの活用に注目が集まっている。その中で太陽光発電は、大規模なメガソーラーから、自宅屋根設置の小規模なものまで大きな広がりを見せている。

化合物系のIII-IV族単結晶系多接合太陽発電素子が現在実用化されている太陽光発電素子の中で最も高い変換効率を示す。しかし高コストであるため、宇宙用やソーラーカー用としてのみ使われている。

理論的に予測できる単接合太陽電池の最大の変換効率(25°C)をバンドギャップ $E_g$ の関数として表した曲線は「理論限界変換効率曲線」と呼ばれる。理論限界変換効率は $E_g=1.4\text{eV}$ 付近で最大値30%をとり、このピークに最も近いのはGaAsである<sup>151)</sup>。

太陽光発電素子の高効率化の研究は盛んに行われている。その中で最も高効率であるGaAs半導体基板表面に波長オーダーの適切な形状の周期構造を形成することで、太陽光が含む全スペクトルにわたって透過電力が増加すること

が判明し、入射角が $0^\circ \sim 60^\circ$ の場合15.7%増加することが報告されている<sup>152)</sup>。

(原部)

### 3.7 アンテナ

放送用途に限らず、さまざまなアンテナの研究開発が継続行われている。例えば、小型・低姿勢アンテナや次世代放送衛星用送信アンテナ、また、新しい応用としてRFID用アンテナや無線電力伝送等が研究されている。これらについて、数値計算や実測により、アンテナ特性のさまざまな検討が行われている。

移動体への搭載および携帯して利用する機器のアンテナは、特に高性能であり、かつ、小型軽量化が求められている。そのため、広帯域化や多周波共用化をめざした検討がなされた。

地上デジタル放送受信アンテナとしては、小型、広帯域化するため、地上波テレビ放送受信印刷アンテナの基礎検討<sup>153)</sup>が行われ報告されている。

高度道路交通システム (Intelligent Transport Systems: ITS) 向けのアンテナにおいても同様に検討されており、高度道路交通システムにおいてはETC (Electronic Toll Collection System)、GPS (Global Positioning System)、VICS (Vehicle Information and Communications System) など複数のシステムを利用できるようにすることが利便性の向上に繋がる。

しかし、システムごとに使用周波数が異なるため小型の多周波共用アンテナが機器の小型化に有効である。GPS用のL1band, L2bandでの利得について円偏波用2周波共用マイクロストリップアンテナ<sup>154)</sup>で検討結果が報告された。また、アンテナ自体の小型化も検討された。モノポールアンテナに関しては、円偏波用プリント基板型方形モノポールアンテナの小型化に関する検討の報告<sup>155)</sup>が行われた。逆Lアンテナに関しては、不平衡給電超低姿勢逆Lアンテナを用いたRFID端末用円偏波アンテナの特性改善が報告<sup>156)</sup>された。

現在、8Kスーパーハイビジョン放送の伝送メディアとして、12GHz帯および21GHz帯を用いた次世代の衛星放送の研究開発が進められている。それに伴うアンテナの検討も進んできた。衛星に搭載されるアンテナは、宇宙空間での大きな温度変化においても放射パターンが良好に保てることを求められる。そのため、21GHz帯衛星搭載反射鏡アンテナの軌道上熱変形が放射パターンに与える影響についての結果が報告<sup>157)</sup>された。また、12GHz帯衛星放送については、現在の右旋円偏波に加えて左旋円偏波の利用が検討されており、受信アンテナの交差偏波による干渉を偏波共用給電アンテナで検討した結果が報告<sup>158)</sup>された。

また、災害時における伝送の確保という観点からの報告もあった。2011年3月11日の東日本大震災以来、地震をはじめとしたあらゆる災害リスクに対してどのように対応するのか、放送事業者には改めて早急な検討および対策が求められている。対策の一つとして災害発生時の救難活動や避

難活動において、2次災害を防ぐために不可欠である防災用ヘルメットアンテナに関する基礎検討が報告<sup>159)</sup>された。

現在のユビキタスネット社会にとって、無線LANは必要不可欠なものとなってきているが、通信の更なる高速化や安定化のため、WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) とLTEを発展させた第4世代(4G)移動通信システムの開発が急速に進んでいる。無線LANでは、2.4GHz帯、5.2GHz帯および5.6GHz帯が利用されており、4G移動通信システムでは、世界的に3.5GHz帯が検討されている。このようないくつかの周波数を利用するアプリケーションでは、多周波共用アンテナが有効であり、その検討として、リング状放射素子を組合せたLプローブ給電による4周波共用マイクロストリップアンテナの報告<sup>160)</sup>が行われた。

(武居)

### 3.8 電波伝搬・電磁界解析

放送・通信分野では、信号伝送媒体である電波伝搬路の解析が重要である。このため、計算機シミュレーションや電磁界の実測により、さまざまな検討が行われている。また、電磁界解析技術も近年の計算機性能向上とともに発展している。

#### 3.8.1 電波伝搬

携帯電話機やスマートフォン、タブレットコンピュータに代表されるような通信機能を内蔵した小型コンピュータ端末の増加や通信データの大容量化に伴い、通信トラフィックの増大が顕著であり、回線の混雑が問題になっている。これを解決するためには、基地局の増設が効果的であり、その際には、電波伝搬シミュレーションが有効である。文献161)、文献162)では、これまで広く用いられている奥村・秦モデルが適用できないような市街地における電波伝搬特性について、市街地の建蔽率と容積率に着目して検討するための手法が導入されている。また、これらでは、福岡市の実データを用いて検討を行っており興味深い。さらに文献163)では、都市や山林、砂漠などにおける電波伝搬特性を近似的に表現する式を示し、これを用いて基地局の最適配置方法を議論している。

一方、建物近傍、もしくは、屋内での電波伝搬に関しても検討がなされている。文献164)では、コンクリート壁表面に施された円形の突起が電波伝搬にどのような影響を与えるのか、FDTD (Finite Difference Time Domain) 法を用いた計算機シミュレーションにより詳細に検討されている。この検討では、円形突起のサイズ、間隔、および入射波の周波数の関係が考察されており、興味深い。

建物の窓に着目した電波伝搬の解析も行われている。文献165)では、通常の単層ガラスと省エネルギー性能に優れた複層ガラスの二つを取り上げ、それらのガラスが設置された部屋の内外での電界強度分布がFVTD (Finite Volume Time Domain) 法を用いた電磁界解析と、スケールモデルを用いた電界の実測によって検討されている。こういった

検討では、計算機シミュレーションは広く行われているものの、スケールモデルによる実測を行っている点が特徴的である。

さらに、最近の計算機性能の向上により、部屋の内部に設置されている什器までも含めた屋内電波伝搬特性の解析も行われている<sup>166)</sup>。この解析はFDTD法プログラムをスーパーコンピュータで実行することで行われており、有用ないくつかの結果が得られている。また、文献167)では、通勤電車内での電波伝搬や建物に侵入してくるワンセグ放送波の伝搬の様子など興味深い結果が紹介されている。このような、ある限定された領域内での電波伝搬解析においては、FDTD法が有効であり、計算機性能の向上により、今後も発展が期待できると考えられる。

これら以外にも、興味深い発表がいくつかあった。文献168)では、名古屋市内において長波帯標準電波JJYを受信し、各種考察を行っている。名古屋市は、福島、佐賀の両標準電波送信所からの距離が長く、電界が弱い場合、こういった検討は重要であろう。

文献169)では、東京スカイツリーからの地上デジタル放送波を羽田空港付近にて受信することで、このエリアの航空機の位置を特定しようとする研究がされている。この手法を用いれば、専用の設備を利用することなく航空機の位置が推定でき有用であろう。今後の推定精度向上に期待したい。

#### 3.8.2 電磁界解析

近年の計算機性能向上に伴い、FDTD法による電磁界解析が発展し、前述のような大規模な解析が行われ、数々の成果が発表されている。また、FDTD法以外にも、いくつかの手法によりさまざまな問題が解析されている。

文献170)～174)では、エッジによる電磁波の回折現象について、さまざまなケースに分類して解析的な解が求められている。この“エッジ”は、建造物の角(かど)に相当すると考えられるので、都市内での電波伝搬を解析する上で参考になるであろう。また、文献175)、176)では、ランダム粗面における電波伝搬について、解析的な考察が行われている。ランダム粗面に関する研究は、リモートセンシングにおける地表面での電磁波の振る舞いや、地表面近くに設置されたセンサネットワーク機器間の無線通信を把握する上で重要である。また、上述のエッジによる電磁波の回折現象やランダム粗面の問題など、各種現象の物理像の把握には、数値解析ではなく、こういった解析的な考察が重要であることは言うまでもない。

上記以外では、遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm: GA) を電磁界解析に導入し、さらに、この計算を並列処理で行ったもの<sup>177)</sup>や、近年、電磁界解析に用いられるようになってきたCIP (Constrained Interpolation Profile) 法を用いた電波伝搬解析<sup>178) 179)</sup>などが発表されている。このような比較的新しい技術については、今後も着目していきたい。(齊藤)

## 4. 放送現業

### 4.1 放送システム

#### 4.1.1 送出システム

本線系設備を3重化構成とすることで、放送休止にしろなくとも設備の保守、改修作業が行えるマスター設備が開発され運用を開始した<sup>180)</sup>。マスター設備は本線系設備とサーバ設備で構成されているが、このうち本線系設備は現用系、予備系、フリー系の3重化構成としている。またサーバ設備は番組サーバ設備、CMサーバ設備がそれぞれA系、B系を持ち、共通のバックアップサーバを持つ簡易3重化構成となっている。本線系設備とサーバ設備をリアルタイム制御する制御系装置は、制御LANで制御機器と接続されているが、従来の制御LANは保守等で電源OFF/ONしたときにネットワークの再構築が走ってしまい他の機器に影響を与える可能性があるため、電源をOFF/ONしてもネットワークの再構築が走らないEthernetベースのプロトコルのものを新たに採用した。保守、改修を行った後の機能検証はフリー系をテストモードとして検証を行い、これにより運用系とは独立して行うことが可能である。

#### 4.1.2 回線システム

SNG (Satellite News Gathering) 中継やFPU中継の現場で、目標とする通信衛星やFPU受信基地の方向を携帯端末で地図や航空写真上に表示するアンドロイドアプリが開発された<sup>181) 182)</sup>。中継起点の設定には地図上だけでなく住所や建物の名称で行うことが可能である。また現在地の表示はGPSや携帯電話網/無線LANなどから取得した情報と、端末が向いている方向も表示することができる。これらに加えてAR (Augmented Reality : 拡張現実) 技術を用いて、携帯端末で撮影したカメラ画像上に通信衛星やFPU受信基地の方向をリアルタイムでオーバーレイ表示させる機能も有している。これらの機能により中継現場での迅速な回線確保に有効なツールとなっている。

#### 4.1.3 新たな取り組み

デジタル放送の受信端末の中には、タッチパネルによるタッチ操作の可能な製品があるが、データ放送コンテンツの操作は直接タッチ操作ができず、リモコンによる操作が必要になる。このデータ放送コンテンツの操作をタッチパネルで可能にする手法について報告があった<sup>183)</sup>。この手法のアルゴリズムとしては、データ放送ブラウザがリモコン操作に対応する動作の解析を行ってデータベースに蓄積し、タッチ操作が行われた時にこのデータベースをもとにコンテンツを表示するというものである。これにより7割弱のデータ放送コンテンツで直接タッチ操作が可能となると報告されている。

データ放送を利用した視聴者の反応を分析するシステムが開発された<sup>184)</sup>。これはあらかじめ限定した視聴者がデータ放送画面で登録し、放送局側から送る感想をリモコン

ボタンで選択するというものである。またチャンネル変更に関する情報も取得可能となっている。これらの情報は局内のネットワークにPCを接続することで、リアルタイムで分析することが可能で、性別や年代ごとの集計や、時間軸でのチャンネル変更情報の確認などを、多様な集計グラフとして確認、分析することが可能である。

放送事業のサービス品質の向上を目的に、クラウドサービスを活用したサポート手法についての報告があった<sup>185)</sup>。放送と通信の連携が進む中、リアルタイム型放送や蓄積型放送など提供するサービスが多様化し、放送局の内外を問わずさまざまな組織がシステムの維持やサービスを支えている。コールセンターに寄せられる不具合申告やシステム障害に関する情報など各組織の情報をクラウドサービスを利用したサポートシステムで一元的に管理することにより、ノウハウの蓄積が進むとともに障害発生から復旧までの時間短縮が図られた。

(柳澤)

### 4.2 番組制作システム

#### 4.2.1 番組制作

放送の完全デジタル化後、ハイビジョン放送が成熟期を迎えつつある中、放送画面に付加価値をつけ視聴者の興味をいかに引き付けるかは、演出面において重要である。

スポーツ中継においては、カメラで撮影された実写映像の上にオーバーレイ表示させる情報（文字情報やCG (Computer Graphics) で作成された映像情報）が必須であり、さまざまな情報をわかりやすく視聴者に提供することに対して番組制作者がしのぎを削っている。下記に2例の開発を紹介する。

野球中継において、実写映像に本来ならば見えないストライクゾーンを3次元オーバーレイ表示し、さらに投球ボールの軌跡も表示する仕組みの開発は、投球の組み立てや変化球の変化そのものを視覚化でき、ストライクゾーンと投球の関係をわかりやすく表現できることになる。さらにCG映像でさまざまな角度からの映像を表示することで、ゲーム映像的な表示も可能にしている<sup>186)</sup>。

一般的に映像情報をオーバーレイするCGシステムは、複数のコンピュータを組合せたものが多く、中継現場ですべてを組むとなるとコストや労力の増大につながるものである。もう1例の開発は、中継先から本社に送られてくる映像に、表示CG用のカメラデータ（カメラの動きの情報）等をHD-SDI信号のアンシラリー領域に重畳し、それを元に本社側の表示システムをリアルタイム連動させる「VANC (Vertical ANcillary inserter) システム」である。このシステムにより、中継先の負担も減り、大幅な制作費削減に貢献が可能であり、同様の仕組みを応用した開発に期待ができる<sup>187)</sup>。

照明の分野においては、LED (Light Emitting Diode) 素子およびLED照明器具の性能が年々進化しており、テレビ業界においても開発の対象になることが多くなっている。

ここでは3例の開発を紹介する。

テレビ照明において、キャスターライトは、補助光として表情を豊かに見せる、瞳に輝きを与えるなどの役割を持つ。電球色・白色・アンバー色の3種類の素子を搭載することにより、肌色の表現力に優れ、キャスターの目にも優しくかつ、セットの一部として見せるキャスターライトの開発は、肌色の表現力の点で特に女性キャスターにとっては大変ありがたいものであり、現在主流の蛍光灯タイプのものに対する優位性は高い<sup>188)</sup>。

東日本大震災以降、放送業界においても、BCP(Business Continuity Plan)対応と省電力化は大きな命題となっているが、環境への配慮という観点からはフルLED化した照明設備による省電力化の取組みも見られ、保守運用費の大幅なコスト削減を実現している。LED照明器具の光量は年々アップしており、大型スタジオへの導入も含め、一層LED化が進むと思われる<sup>189)</sup>。

照明のLED化とともに、照明システムのネットワーク化も進んでいる。以前であれば多くの機械式フェーダやハードスイッチ、出力状態を表示するディスプレイで構成されていた調光卓、負荷回路制御卓、照明ボタン制御卓等を一つのタッチパネル・ディスプレイに集約し、可搬型とすることで汎用性および複数スタジオのバックアップシステムを兼ねる仕組みは、非常に有用かつ効率的であり、今後主流になるであろうフルLEDスタジオを視野に入れたものである<sup>190)</sup>。(西澤)

#### 4.2.2 中継制作

##### (1) FPU

中継番組制作に欠かせないFPUであるが、その用途は帯域によって分かれている。7GHz帯以上の比較的高い周波数のものは主に素材伝送用として用いられ、700MHz帯の低い周波数のFPUはロードレース等の移動中継用として用いられてきた<sup>191)</sup>。近年のスマートフォンの急速な普及により、そのデータ量が急激に増大し、今後もデータ通信量の増加が想定されるため、700MHz帯を再編し、携帯電話用の周波数として利用されることが、国の施策として決まった(図1)。

新規に700MHz帯を使用する携帯電話事業者からの周波数移行の要望は2014年度末であり、FPUの移行先の新周波数に対応するFPU装置の開発、電波特性などの調査、実験に関する報告が数多くなされた。

基本的にロードレースは移動する中継車にFPUを載せ、高いビルの屋上や山の上に受信点を設け、伝搬路が途切れないよう信号をつないでいく<sup>192)</sup>。同じロードレース中継ではあるが、その手法は放送各社によって異なる、伝送容量の確保のための手法としてMIMO方式によるテストも行われ、今回規格として追加された<sup>193)</sup>。

移行先の周波数は700MHz帯より高くなり、その伝搬特性の把握が必要なため、2012年～2013年に総務省の技術

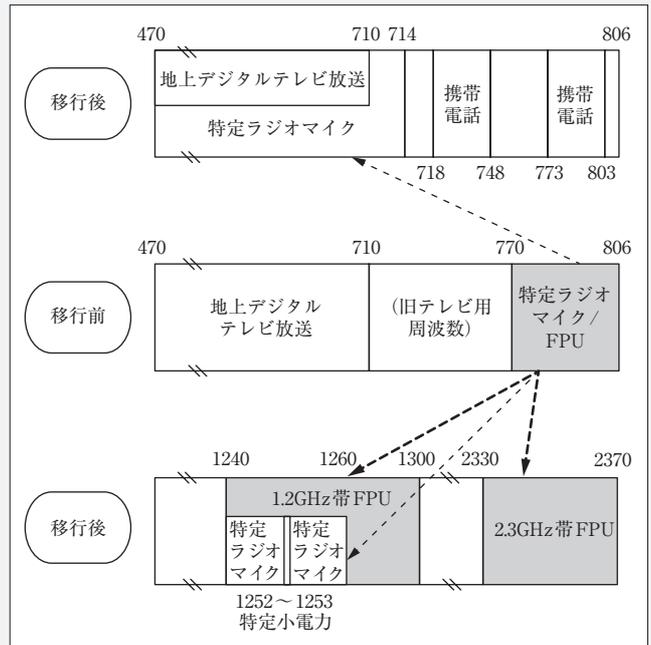


図1 700 MHz帯の周波数移行

表1 新周波数対応FPU緒元 (ARIB STD-B57)

SISO方式, MIMO方式			
帯域幅 (MHz)		ハーフモード	18
		フルモード	9
送信周波数 (MHz)	1.2 GHz帯	フルモード	1249～1291
		ハーフモード	1244.5～1295.5
	2.3 GHz帯	フルモード	2339～2361
		ハーフモード	2334.5～2365.5
1 MHzステップ可変			
出力 (W)	1.2 GHz帯	フルモード	25
		ハーフモード	12.5
	2.3 GHz帯	フルモード	40
		ハーフモード	20
MIMO方式の最大出力電力はその総和			

試験事務により、最適なパラメータを既存のロードレースコースを用い検討することとなった<sup>194)</sup>。

700MHz帯からの移行先周波数であるが、1.2GHz帯、2.3GHz帯の二つの帯域となっている(表1)。ここで700MHz帯では主に、無指向性アンテナと八木式アンテナを使用しており7GHz帯ではパラボラアンテナ系のアンテナを使用し移動中継を行っているが、その間の周波数帯となるため、その利得を最大限に得ることができるよう、効率的なアンテナの検討の報告が行われている。ロードレースでは、送信側は無指向アンテナで電波を放射的に発波し<sup>195)</sup>、受信ではその波を集めることとなる<sup>196)</sup>。また移行テストとしてはロードレース中心だが、ゴルフ中継等に使用できる小型のFPUの開発も行われるため、ワイヤレスカメラ用

途の小型アンテナの開発も進んでいる<sup>197) 198)</sup>。

次にその送信電力であるが移行のロードレスタテストを通じて、700 MHz帯5 WのFPUと同等のエリアを確保するための出力としては、1.2 GHz帯では25 W、2.3 GHz帯では40 Wの出力を要することが判った。これは周波数が上がり、電波の直接性が増すため、反射波が到達し難くなることに起因しているのだが、かなりの大電力となり、電波防護の観点からも人体への影響が懸念されるため、この検討も報告されている<sup>199) ~ 201)</sup>。

現在放送各社はテストを繰り返し、移行作業を進めている。免許の期限としては2018年度だが、周波数移行に要する費用を新たに電波を使用する者が負担し電波の再編を促進する終了促進措置が設けられており、2016年度末を目指し移行作業を進めている。

(深澤)

## (2) 特定ラジオマイク

特定ラジオマイクは、放送・舞台・コンサートなどで幅広く使用されており、なくてはならない重要な機器となっているが、これまで使用されてきた770 MHzから806 MHzの周波数帯の使用は、周波数割当計画(平成24年総務省告示471号)において「平成31年3月31日までに限る」と規定され、移行先周波数として、470 MHzから710 MHz、710 MHzから714 MHz、1240 MHzから1260 MHz(1252 MHzから1253 MHzを除く)が割当てられた。移行先の新たな周波数帯においても、これまでと同等以上に低遅延で高音質、かつ安定して伝送できるラジオマイク機器の登場を、多くのユーザが望んでいる。

現在実用化されている特定ラジオマイクは周波数変調方式(FM)によるアナログ方式と、主に位相変調方式(QPSK: Quadrature Phase Shift Keying)によるデジタル方式の2種類の方式がある。アナログ方式は音声の遅延がほとんどないが、デジタル方式はデジタル圧縮を行っており1.1 ms~5.0 ms程度の遅延がある。遅延は音楽演奏に影響を与えているため遅延時間はできるだけ短いことが望まれているが、デジタル方式には「音質の良さ」、「混信の少なさ」、「アナログ方式より同時に使用できるマイク本数が多い」などのメリットがある。デジタル方式のそれらメリットを生かしながら、できるだけ遅延が少ない特定ラジオマイクの実現が期待されている<sup>202)</sup>。

移行先の1.2 GHz帯において、ラジオマイク信号を1 ms以下の低遅延で伝送するために、非圧縮音声信号をOFDM方式で伝送する「低遅延デジタルラジオマイク伝送方式」が提案されているが、計算機シミュレーションによりその伝送特性の検証が行われた<sup>203)</sup>。4ブランチのダイバーシチ合成受信をすることで、白色ガウス雑音環境・フェージング環境ともに良好な伝送特性となる見通しが得られたと報告されている。

また、ラジオマイクを運用する際、人体がアンテナ特性へ与える影響を、ハンド型と2ピース型で周波数ごとに計

算機シミュレーションで解析し、その結果に基づいてA型アナログラジオマイクと低遅延ラジオマイクの回線設計を行い、各システムを比較した結果、低遅延デジタルラジオマイク伝送方式を用いた上で4ブランチのダイバーシチを用いることの効果が大きいと報告されている<sup>204)</sup>。

低遅延デジタルラジオマイク伝送方式の実機による検証が待ち望まれていた中、非圧縮音声信号をOFDM方式で伝送する実験装置が試作され伝送実験が行われた<sup>205)</sup>。

実験装置の送信機は1.2 GHz帯、送信出力は50 mWで、入力された音声信号を非圧縮のリニアPCM(Pulse Code Modulation)で、もしくは瞬時圧縮された音声信号をOFDMで伝送することができる。受信機はRF入力部を4系統備え、4ブランチ間でサブキャリア毎の最大比合成を行うダイバーシチ受信機能を持つ。伝送遅延時間は、非圧縮・16QAMモードで0.80 ms、瞬時圧縮・QPSKモードで0.88 msと、伝送遅延時間は1 ms以下となっている。

屋内での伝送実験では350坪級の大きなスタジオでも音声途切れることなく安定した伝送ができ、屋外での伝送実験では伝送距離100 mを歩行速度で途切れずに伝送できたなど、安定した伝送と良好な特性が得られたとのことで、今後の低遅延デジタルラジオマイクの実用化が期待される。

## (3) その他

近年の携帯電話網のハイスピード化、無線LANの高速化、高速インターネット回線の普及により、それらを利用した映像伝送が広く行われるようになってきている。

mmbiでは、2010年12月よりNTTドコモが開始したLTEサービス(Xi)をはじめとするコンシューマ向け各通信キャリアの高速データ通信を用いた中継設備を導入し、スマートフォン端末向けの放送「NOTTV」での中継番組制作で使用している<sup>206)</sup>。コンシューマ向けデータ通信端末を利用した中継は、例えば、移動する自動車・電車・船内からの中継などでは持ち前の機動性が発揮され、また受信点を自前で用意しなくても通信キャリアが使用可能なエリア内ではどこからでも中継できるというようなメリットがある。一方、通信キャリアによる帯域制限の考慮が必要であり、また回線の混雑状況によっては利用可能な帯域が変動することなどを踏まえたうえでの運用が必要になる。

IP伝送装置と長距離無線LANを用いたライブ中継システムを構築し、大学内で放送されているエリアワンセグ放送にて、学園祭の模様をリアルタイムで中継し配信を行うことができたとの実証実験報告があった<sup>207)</sup>。

(小池)

## 4.3 次世代放送

### 4.3.1 超高精細度テレビジョン

BSデジタル・地上デジタル放送開始から10年以上が経過し、新たな放送サービスとして4Kや8K映像コンテンツの流通が検討されている。2013年5月に一般社団法人次世代放送推進フォーラム(NexTVフォーラム)が設立され、翌年6月からはNexTVフォーラムが放送主体となって、東

経124/128度CS (Communication Satellite) デジタル放送、ケーブルテレビ、IPTVを伝送路とした4K試験放送を開始した。2015年3月には東経124/128度CSデジタル放送において4K商用放送が始まっている。総務省の放送サービスの高度化に関する検討会は、超高精細度テレビジョン放送の早期のサービス開始やその後の普及に向けたロードマップの策定後、2015年度内を目標に対象伝送路の技術的・国際的課題の解決、4K・8K対応受信機の開発と市場投入時期、サービス充実のための帯域確保、地上放送の取り扱い等を検討課題として活動し、より具体的な放送主体の選定を目的にフォローアップ会合を実施している<sup>8)</sup>。

このような背景の元、実放送に繋がるトライアルが多く放送局や関連プロダクションにおいて実施されてきた。

2012年のロンドンオリンピックにおいては、スーパーハイビジョン(8K映像と22.2ch音声)によるパブリックビューイングが日本、英国、米国会場で実施された<sup>208)</sup>。

2013年には4K映像3画面分をパノラマ合成し、横9,984画素×縦2,160画素の特殊なアスペクト比を持つ超高精細の実写映像と、5.1chサラウンド音声による没入型のコンテンツを制作し、博物館において巨大スクリーンで上映する技術に関する報告がなされた<sup>209)</sup>。

4K・8K放送という言葉が普及する中、従前からのテレビ放送ワークフローに適合する制作機器の開発は徐々に進んでいる段階であり、多くの放送局が新たな放送サービスに繋げるべく、中継システム、制作環境の構築と運用ノウハウ蓄積に取り組んでいる。

UHDTVの映像パラメータはRec. ITU-R BT-2020において勧告化されており、空間解像度(4K:横3,840×縦2,160画素、8K:横7,680×縦4,320画素)の他に、フレーム周波数、表色系、非線形伝達関数、量子化ビット数等が規定されている。フルスペックの8K映像信号を撮影するための3板撮像方式カメラ開発等が行われてきたが、カメラヘッドの重量とサイズが大きくなるなどが課題であった。番組実運用を考慮すると、カメラヘッドの小型軽量化が望まれる。超小型8Kスーパーハイビジョンカメラの開発と番組撮影<sup>210)</sup>では、単板カラーCMOS(Complementary Metal-Oxide Semiconductor)を用いることで3,300万画素、フレーム周波数120Hz、階調12ビットというスペックを実現し、歌番組やサッカーの収録に使用した実績の報告がなされている。

UHDTV撮影には、相当の画質を得るための光学技術とイメージセンサの感度向上が求められる。レンズ解像度の向上は諸取差の改善、コーティング技術の改善等によってなされてきた。イメージセンサ感度を向上する技術としてセンササイズを従来のHD番組制作用途として標準的に利用してきた2/3インチサイズより大型のスーパー35mmセンサを利用する方法がある。センササイズの違いは被写界深度の差に影響する。センササイズが大きい程浅くなる一方で、演出的観点から2/3インチサイズにおけるより深い

被写界深度が好まれることもあり、最近では2/3インチイメージセンサ搭載のカメラ開発が進んでいる。イメージセンサの小型化は画素ピッチの微細化を伴うため、絞り値を大きくした際の回折限界の影響などが今後の克服課題といえよう。

#### 4.3.2 マルチメディア放送

2013年3月に規格策定された放送通信連携システム「ハイブリッドキャスト」を使ったサービスは、すでにNHK、民放のさまざまなチャンネルで対応番組が放送されており、放送と通信の新しい連携の形を示す一例といえる。ニュースや気象情報といった生活情報の提供のみならず、番組に連動した視聴者参加型のゲームやスポーツ中継の詳細データなど、アプリケーションの種類も多岐にわたっている。

そのなかでも、民放のなかで一番初めにハイブリッドキャストサービスを実施した例をもとにした、アプリケーション制作の要点やUX設計に関する報告<sup>211)</sup>は、HTML5というweb技術をテレビに適用する取組みを通して、開発のしやすさや豊かな表現力を活かしつつ、データ放送コンテンツ制作というこれまでの知見が有効に示された事例といえる。

また、テレビとセカンドスクリーンの連携例として、アプリケーション制作にTVML(TV Program Making Language)を活用し、端末間同期に字幕情報を用いた報告があった<sup>212)</sup>。このようにさまざまなアプローチによって、放送と通信の連携サービスの研究開発が進められており、またその内容についてもアプリケーション制作の汎用性や、豊かな表現力といった点が重視されていることが伺える。放送通信連携サービスの導入という黎明期から一歩進んで、サービスの拡大に向けた研究が具体化しているといえる。(甲斐)

#### 4.4 その他

##### 4.4.1 放送・制作支援

視聴者に届ける番組に求められるものはさまざまあるが、安全な番組の提供もその一つで、決して人体に影響を及ぼすことがあってはならない。

しかしながら、演出表現は技術革新とともにどんどん複雑化しており、そこにはこれまで想像もしなかったような、人体へ影響を及ぼす要因が潜んでいる場合がある。

1997年にアニメ番組を観ていた多くの視聴者が発作を起こした、いわゆるポケモンショックもその一つである。この現象は光の刺激に反応する「光感受性発作」と呼ばれる発作が原因であることがわかった。その光感受性発作を起こす要因の調査、回避するための研究などの詳細な報告があった<sup>213)</sup>。この報告にもある通り、医学的見地を盛り込んで一定ガイドラインが制定され、現在はそれに則って運用されている。検知のためのツールも開発されているが、最後は人間の目による判断で危険因子を取り除くことが不可欠である。

放送局は、報道機関という使命を帯びており、先の東日本大震災をはじめさまざまな大規模災害を経て、さらに迅速かつ正確な報道を実現するためには何をすべきか各社ともに改めて見直すとともに環境整備を行っている。そこで、地震災害用として、安価なIP回線を用いた映像伝送装置の開発がなされた<sup>214)</sup>。

IPネットワークは広帯域化されサービスエリアも拡大しているため、容易に拠点の拡大ができるとともに高精細度映像が伝送でき、よりきめの細かい報道が実現可能となる。

#### 4.4.2 ファイルベース他

放送局において、テープベースワークフローからファイルベースワークフローへの移行は以前から大きなテーマとして挙がっており、ファイルベースのメリットも充分認識の下にあるが、テープベースで確立された業務形態をファイルベースに移行するのは、特に移行期において並行運用の労力、コストの増大などでなかなか進んでいなかった。

しかし、そろそろ従来の設備更新の時期に差し掛かり各社からファイルベースシステムの導入の報告が行われている<sup>215)</sup>。

デファクトスタンダードとなっているHDCAMテープも、デッキの保守期限が2023年3月末で確定して、いよいよ終焉が明確になった。今後は番組搬入、アーカイブ等の見直しが迫られている。

テープの時代は、素材情報のやり取りが紙ベースも多々あった。一方、ファイルベースになると、メタデータの運用が必須となる。メタデータ化することで膨大な素材の管理が可能となるが、管理ツールによって業務効率が著しく異なる。特に重要となるのが検索精度である。その精度向上のための基礎研究が行われている<sup>216)</sup>。

映像技術と医学とは密接にかかわっている部分も多々ある。1990年代後半に実運用が開始されたHDTVは、その高精細度を利用して、いち早く手術の現場に導入された。近年では3D映像による立体的な把握、さらに4K・8Kによる高精細度で医療用途として注目されている。

一方、電磁波による人体に対する影響が懸念されて、さまざまな検討が行われている。体内に医療用金属を留置した患者がMRI (Magnetic Resonance Imaging) 検査を受けた場合の影響の確認が行われている<sup>217)</sup>。(石田(秀))

## 5. むすび

2003年12月1日に関東、近畿、中京の3大都市圏で地上デジタル放送が開始されて10年以上が過ぎ、ハイビジョン画質が日々の生活において当然のものとなり、巷ではさらなる高画質を提供する4K関連製品が販売されている。さらに、新しい周波数帯を利用したマルチメディア放送や、インターネットを利用した放送・通信連携など新規サービスが次々に現れており、人々はこれまでにない新しく豊かな体験を享受できるようになった。現在の通信衛星やケー

ブルテレビに加えて、放送衛星を利用したスーパーハイビジョン放送の実用化も近づいている。そして、地上波でのスーパーハイビジョン放送にむけた技術開発も着々と進められている。本稿で紹介した研究開発によって、日常的に超高精細の映像と高音質なオーディオを楽しむことができる日が近づいている。

放送局においては、地上デジタル放送開始から10年が経ち、各社ともマスター更新の時期を迎えている。そこではファイルベース化への移行や新たな放送サービスに対してどう対応するかなどが大きな課題としてある。そして、その先には2020年の東京オリンピックが控えており、放送技術に携わる技術者を取り巻く環境も、これからさらに大きく変化し、それとともに技術も進化するであろう。

このような環境の中、これらの技術の進化を最大限に利用して、安全、正確はもとより、心に残るようなより良い番組の一つでも多く視聴者に届けられるような有益な仕組みの開発が必要である。これらを実現するうえで、放送技術分野の研究開発の重要度は増してくるものと思われる。

(居相, 村田, 石田(秀))

(2015年5月29日受付)

## 〔文 献〕

- 1) 横井ほか：“地上デジタル放送受信機の高性能化の検討～市販受信機との性能比較～”，映情学技報，37，9，pp.9-12 (Feb. 2013)
- 2) 小林：“札幌・藻南地区マルチパス障害の分析と対策”，映情学技報，37，34，pp.53-56 (July 2013)
- 3) 光永：“従属同期方式のSFN環境でも使用可能な放送TS over IP伝送装置の開発”，映情学技報，39，13，pp.37-40 (Mar. 2015)
- 4) 高橋：“特別講演：ISDB-T地上デジタルテレビでの緊急警報放送信号の受信および放送方法”，映情学技報，38，44，pp.55-60 (Nov. 2014)
- 5) 三代沢ほか：“地域観光振興と防災に向けた地域情報プラットフォームとエリアワンセグ放送システムの研究開発”，映情学技報，36，53，pp.119-123 (Dec. 2012)
- 6) 松岡ほか：“教育機関を対象としたエリアワンセグ放送の試み”，映情学技報，37，4，pp.119-122 (Jan. 2013)
- 7) 三代沢ほか：“省力化（自動化）と有用性を両立した大学内エリア放送システムの構築”，映情学技報，38，49，pp.61-64 (Dec. 2014)
- 8) 総務省：4K・8Kロードマップに関するフォローアップ会合（第5回会合）配布資料（Mar. 2015），[http://www.soumu.go.jp/main\\_sosiki/kenkyu/4k8kroadmap/02ryutsull\\_03000039.html](http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/kenkyu/4k8kroadmap/02ryutsull_03000039.html)
- 9) 長坂ほか：“衛星放送受信用宅内配信機器の特性評価”，映情学技報，38，44，pp.67-70 (Nov. 2014)
- 10) 中村ほか：“V-Lowマルチメディア放送の移動受信時の電界強度測定”，映情学技報，37，9，pp.49-52 (Feb. 2013)
- 11) 鈴木ほか：“V-Lowマルチメディア放送におけるIPDCを用いた緊急情報送出サーバの性能評価”，映情学技報，37，39，pp.21-24 (Sep. 2013)
- 12) 小田ほか：“200 MHz帯屋内電波伝搬特性”，映情学技報，39，13，pp.1-4 (Mar. 2015)
- 13) 三浦ほか：“屋内ブースタ試作機における動作検証の報告”，映情学技報，39，13，pp.5-8 (Mar. 2015)
- 14) 森住ほか：“モバキャスの受信機販売店における難視聴対策に関する報告”，映情学技報，37，9，pp.45-48 (Feb. 2013)
- 15) 鈴木ほか：“ISDB-Tmmにおける蓄積型放送の伝送制御方式とその評価”，映情学技報，37，23，pp.5-8 (June 2013)
- 16) 近藤ほか：“V-Highマルチメディア放送における蓄積型放送受信率向上の取り組み”，映情学技報，39，13，pp.13-16 (Mar. 2015)

- 17) 関ほか：“V-Highマルチメディア放送対応CASカードの開発”，映情学技報，39，13，pp.9-12 (Mar. 2015)
- 18) 関ほか：“V-Highマルチメディア放送対応受信機開発に向けた検証環境の構築～充分な品質を持つ受信機開発にむけて～”，映情学技報，37，41，pp.5-8 (Oct. 2013)
- 19) 青木ほか：“次世代放送システムのメディアトランスポート方式の検討”，映情学技報，37，9，pp.57-60 (Feb. 2013)
- 20) 大槻ほか：“MMTによるアプリケーション伝送方式の性能評価”，映情学技報，38，35，pp.25-28 (Sep. 2014)
- 21) 大槻：“記念講演：スーパーハイビジョン衛星放送システムのためのMMTによるアプリケーション伝送方式”，映情学技報，39，6，pp.35-40 (Feb. 2015)
- 22) 早川ほか：“H.264/AVC複数符号語同時復号に基づくソフトウェア実装のための高速RunBefore複合アルゴリズム”，映情学技報，37，54，pp.181-186 (Dec. 2013)
- 23) Gaikwadほか：“Scalable and Cost-effective Live Video Encoding in Cloud”，映情学技報，39，6，pp.21-24 (Feb. 2015)
- 24) 高野ほか：“ファイル格納のためのHDR画像高能率符号化”，映情学技報，38，8，pp.13-16 (Feb. 2014)
- 25) 坂東：“特別招待講演：高臨場感通信のための次世代映像符号化”，映情学技報，36，53，pp.37-40 (Dec. 2012)
- 26) 大池ほか：“高臨場表示のための超高精細映像符号化制御”，映情学技報，38，8，pp.9-12 (Feb. 2014)
- 27) 西田：“マルチフォーマットテスト画像を用いた超高精細映像の所要ビットレート評価”，映情学技報，37，14，pp.49-54 (Mar. 2013)
- 28) 市ヶ谷ほか：“HEVCによる8K, 4K, 2K映像符号化の所要ビットレート評価”，映情学技報，38，8，pp.47-52 (Feb. 2014)
- 29) 杉山ほか：“超高精細(4K/8K)映像の合理的な符号化伝送方法”，映情学技報，39，6，pp.25-28 (Feb. 2015)
- 30) 西田：“3DTV放送方式の検討(1)～要求条件に応じた方式選定～”，映情学技報，37，23，pp.9-12 (June 2013)
- 31) 西田：“3DTV放送方式の検討(2)～符号化画質の主観評価実験～”，映情学技報，37，23，pp.13-16 (June 2013)
- 32) 清川ほか：“超解像を用いたJPEGコーデックに関する一検討”，映情学技報，36，53，pp.27-30 (Dec. 2012)
- 33) 岡田ほか：“シーケンシャルカラー画像変換のための異色プレーン間動き推定の改善”，映情学技報，37，9，pp.17-20 (Feb. 2013)
- 34) 今村：“動き情報の時間相関性を考慮したX-meansクラスタリングによる動オブジェクト分割法の精度改善”，映情学技報，36，53，pp.15-20 (Dec. 2012)
- 35) 衣川ほか：“手持ちカメラと点群マーカを用いた3次元モデリングシステム”，映情学技報，36，53，pp.21-26 (Dec. 2012)
- 36) 三反崎ほか：“映像符号化情報を用いたシーン判定手法の一検討”，映情学技報，36，53，pp.133-138 (Dec. 2012)
- 37) 松本ほか：“方向適応補間を用いた任意倍率拡大処理の高速化”，映情学技報，37，9，pp.13-16 (Feb. 2013)
- 38) 草島ほか：“幾何学的画像変換のためのリサンプリング処理の高画質化”，映情学技報，38，8，pp.5-8 (Feb. 2014)
- 39) 山崎ほか：“フーリエ記述子と色情報を用いた野菜識別手法”，映情学技報，36，53，pp.145-148 (Dec. 2012)
- 40) 内田ほか：“漫然運転防止のための深度カメラを用いた顔特徴点の検出”，映情学技報，37，4，pp.9-12 (Jan. 2013)
- 41) 大山ほか：“授業評価における瞳孔径の分析—視線計測装置の利用—”，映情学技報，37，54，pp.187-189 (Dec. 2013)
- 42) Nyほか：“A Consideration on Comic Reader's Behavior using Gaze Path and Pupil Size”，映情学技報，36，53，pp.139-144 (Dec. 2012)
- 43) 石井ほか：“マンガの構成要素に基づく自動シーン分割処理に関する一検討”，映情学技報，38，49，pp.73-76 (Dec. 2014)
- 44) 大西ほか：“天気予報図における区域分割の強度と視認性”，映情学技報，37，4，pp.107-110 (Jan. 2013)
- 45) 梅澤ほか：“動向情報の根拠探索のためのテレビ番組からの図表画像検出手法の検討”，映情学技報，37，54，pp.41-44 (Dec. 2013)
- 46) 猿渡ほか：“全方位カメラによる自己位置推定のための特徴点追跡”，映情学技報，37，4，pp.5-8 (Jan. 2013)
- 47) 児玉：“複数映像品質に対応したキャッシュ管理方式とその一考察”，映情学技報，37，54，pp.167-173 (Dec. 2013)
- 48) 吉野：“招待講演：ICIP国際会議の動向”，映情学技報，36，53，p.131 (Dec. 2012)
- 49) IPTVフォーラム：ハイブリッドキャスト技術仕様ver1.0, IPTVFJ STD-0010/0011 (2013)
- 50) 馬場ほか：“技研公開2013におけるハイブリッドキャストサービスの試作”，映情学技報，37，41，pp.17-20 (Oct. 2013)
- 51) 柿沼ほか：“ハイブリッドキャスト技術仕様Ver1.0におけるセカンドスクリーン同期精度向上の試み～NHK技研公開2013におけるTBSデモ(カラオケ採点番組)展示～”，映情学技報，37，41，pp.21-24 (Oct. 2013)
- 52) 高林ほか：“ハイブリッドキャスト技術仕様Ver.1.0を利用した放送連動検索サービスの試み—CEATEC2013におけるTBSデモ(おまかせ検索)展示—”，映情学技報，37，54，pp.147-152 (Dec. 2013)
- 53) 並川ほか：“Hybridcast方式による競馬中継番組放送通信連携コンテンツの試作”，映情学技報，37，54，pp.153-156 (Dec. 2013)
- 54) 柳内ほか：“ハイブリッドキャストによる新しいスポーツ観戦スタイルの開発”，映情学技報，38，21，pp.13-16 (June 2014)
- 55) IPTVフォーラム：ハイブリッドキャスト技術仕様ver2.0, IPTVFJ STD-0010/0011 (2014)
- 56) 大亦ほか：“ハイブリッドキャストにおける放送外マネージドアプリケーションの提供に向けたシステムアーキテクチャの検討”，映情学技報，38，14，pp.17-20 (Mar. 2014)
- 57) 大西ほか：“MPEG-DASHを用いたマルチスクリーン端末における放送通信同期手法”，映情学技報，39，13，pp.17-20 (Mar. 2015)
- 58) 広中ほか：“放送通信連携サービス用アプリケーション配信管理システムの試作”，映情学技報，37，54，pp.175-180 (Dec. 2013)
- 59) 山村ほか：“CASにおける通信連携ライセンス配信方法の検討”，映情学技報，38，14，pp.21-24 (Mar. 2014)
- 60) 馬場ほか：“SHV放送に向けた字幕送受信システムの試作”，映情学技報，39，13，pp.21-24 (Mar. 2015)
- 61) 高橋ほか：“異なるISDB-T転送モード下でのTMCCパリティを用いた緊急警報放送信号の検出特性”，映情学技報，37，54，pp.141-146 (Dec. 2013)
- 62) 濱口ほか：“IPマルチキャストパケットで制御するアプリケーションとIPDCを用いた放送通信連携システムの開発～ホワイトスペース特区「茶屋町TV」での実証実験報告～”，映情学技報，37，41，pp.13-16 (Oct. 2013)
- 63) 本田ほか：“IPDCによるライブストリーミング配信システムの開発と性能評価”，映情学技報，38，35，pp.1-4 (Sep. 2014)
- 64) 古澤ほか：“再圧縮処理に基づく多次元データの高効率変化検知・復元方式の検討”，映情学技報，37，54，pp.35-40 (Dec. 2013)
- 65) 三代ほか：“地域情報プラットフォームと通信放送連携システムの開発と評価—地域観光振興と防災に向けて—”，映情学技報，37，54，pp.135-140 (Dec. 2013)
- 66) 平岩ほか：“放送通信連携型ハイブリッド放送の展望～視聴者が期待すること～”，映情学技報，38，14，pp.13-16 (Mar. 2014)
- 67) 杉本ほか：“放送品質を満たす22.2ch音声信号のビットレート”，映情学技報，38，35，pp.17-20 (Sep. 2014)
- 68) 西口ほか：“8Kスーパーハイビジョン22.2ch音響制作システムの開発”，映情学技報，38，44，pp.77-82 (Nov. 2014)
- 69) 竹内ほか：“漸増刺激法によるEV/HEVサイン音の音像定位とスピーカの関係”，映情学技報，37，54，pp.25-28 (Dec. 2013)
- 70) 鍵本ほか：“ガウス過程回帰モデルを用いた多重音信号における楽器同定”，映情学技報，37，54，pp.29-34 (Dec. 2013)
- 71) 西田：“特別講演：スーパーハイビジョン放送に向けた研究開発と標準化”，映情学技報，38，8，pp.37-42 (Feb. 2014)
- 72) 大槻ほか：“MMTを用いたスーパーハイビジョン衛星放送システムにおける制御信号の提案”，映情学技報，37，41，pp.1-4 (Oct. 2013)
- 73) 青木：“特別講演：スーパーハイビジョンの放送に向けたメディアトランスポート技術MMT”，映情学技報，37，54，pp.161-166 (Dec. 2013)
- 74) 大槻ほか：“スーパーハイビジョン衛星放送システムにおけるMMTを用いたデータ伝送方式の検討”，映情学技報，38，14，pp.29-32 (Mar. 2014)
- 75) 馬場ほか：“スーパーハイビジョン衛星放送におけるマルチメディアサービスのための方式検討”，映情学技報，38，35，pp.21-24 (Sep.

- 2014)
- 76) 鈴木ほか：“「超高精度テレビジョン放送のための衛星デジタル放送の伝送方式」ARIB実証実験”，映情学技報，38，14，pp.33-38 (Mar. 2014)
- 77) 井上ほか：“SC-OFDMを用いた4K/8K衛星放送の伝送特性の評価”，映情学技報，38，30，pp.17-20 (July 2014)
- 78) 朝倉ほか：“次世代地上放送に向けた伝送技術～空間結合LDPC符号の一検討～”，映情学技報，37，39，pp.9-12 (Sep. 2013)
- 79) 朝倉ほか：“回路規模を考慮したLDPC符号復号方法の検討”，映情学技報，37，34，pp.81-84 (July 2013)
- 80) 宮坂ほか：“偏波間拡散を適用したMIMO-OFDM伝送の検討”，映情学技報，38，41，pp.9-12 (Oct. 2014)
- 81) 薮ほか：“次世代地上放送に向けた伝送技術～Non-Uniform Mappingによる超多値信号の伝送特性改善～”，映情学技報，38，5，pp.117-120 (Jan. 2014)
- 82) 成清ほか：“時空間MIMOと空間多重MIMOの移動受信における伝送特性の計算機シミュレーションによる比較”，映情学技報，38，5，pp.113-116 (Jan. 2014)
- 83) 齋藤ほか：“偏波MIMO-超多値OFDM方式を用いた8Kスーパーハイビジョン地上波伝送実験”，映情学技報，38，8，pp.53-56 (Feb. 2014)
- 84) 薮ほか：“次世代地上放送に向けた伝送技術～STC-SDM方式によるSHVの地上波SFN伝送実験～”，映情学技報，37，39，pp.5-8 (Sep. 2013)
- 85) 薮ほか：“次世代地上放送に向けた伝送技術～STC-SDM伝送を応用したSFNに関する検討～”，映情学技報，36，51，pp.21-25 (Nov. 2012)
- 86) 朝倉ほか：“次世代地上放送に向けた伝送技術～同一チャネル干渉対策の一検討～”，映情学技報，36，51，pp.27-32 (Nov. 2012)
- 87) 中村ほか：“OFDM移動受信における繰り返し復調を用いたゼロフーリング型ICIキャンセラに関する検討”，映情学技報，37，34，pp.37-40 (July 2013)
- 88) 中村ほか：“基底展開モデルによる伝搬路推定を用いたOFDMキャリア間干渉補償に関する検討”，映情学技報，38，5，pp.109-112 (Jan. 2014)
- 89) 袴田ほか：“ケーブルテレビ施設でのスーパーハイビジョン伝送実験”，映情学技報，37，34，pp.41-44 (July 2013)
- 90) 北村ほか：“フルスペック8Kスーパーハイビジョンリファレンスカメラの開発”，映情学技報，39，4，pp.97-100 (Jan. 2015)
- 91) 池田ほか：“特別講演：4K/8Kの動向と送出システムへの対応”，映情学技報，38，30，pp.25-27 (July 2014)
- 92) 西ほか：“韓国からのデジタル混信評価を目指したFM放送波およびTV放送波のオーバリーチ伝搬の測定”，映情学技報，38，44，pp.61-66 (Nov. 2014)
- 93) 草間：“東京スカイツリー電波障害の実例－電波伝搬に50年以上興味を持ち続けた市民からの提言”，映情学技報，37，14，pp.43-48 (Mar. 2013)
- 94) 太田：“デジタル放送を利用した伝搬特性計測における位相雑音等の影響に関する検討”，映情学技報，37，34，pp.77-80 (July 2013)
- 95) 太田：“CATVの地デジ再送信信号を利用した地上デジタル放送の伝搬特性の精密計測手法の提案”，映情学技報，38，5，pp.105-108 (Jan. 2014)
- 96) 中村ほか：“地上デジタル放送における遅延プロファイルの時間分解能向上のための複数チャネル連結法”，映情学技報，38，30，pp.37-40 (Aug. 2014)
- 97) 新美ほか：“タクシー無線が地上デジタル放送波に与える影響－タクシー無線対策フィルタの比較－”，映情学技報，37，9，pp.1-4 (Feb. 2013)
- 98) 渡邊ほか：“KSUエリア放送の受信電界強度の測定”，映情学技報，37，4，pp.99-102 (Jan. 2013)
- 99) 濱ほか：“KSUエリア放送の電波伝搬特性に関する検討”，映情学技報，38，5，pp.93-96 (Jan. 2014)
- 100) 田口ほか：“地上波テレビ放送受信用印刷アンテナの基礎検討”，映情学技報，38，5，pp.9-12 (Jan. 2014)
- 101) 中澤ほか：“21 GHz帯アレー給電鏡面修整反射鏡アンテナの励振電力の均一化”，映情学技報，37，6，pp.13-16 (Feb. 2013)
- 102) 中澤ほか：“21 GHz帯放送衛星用ビームフォーミングネットワークの設計”，映情学技報，37，34，pp.5-8 (July 2013)
- 103) 亀井ほか：“21 GHz帯放送衛星用広帯域急峻出力フィルタの設計”，映情学技報，37，34，pp.9-12 (July 2013)
- 104) 長坂ほか：“21 GHz帯イメージングリフレクタアンテナ用ホーンアンテナアレーの部分試作”，映情学技報，37，34，pp.1-4 (July 2013)
- 105) 長坂ほか：“21 GHz帯衛星放送受信アンテナの電気特性”，映情学技報，37，41，pp.29-32 (Oct. 2013)
- 106) 長坂ほか：“次世代衛星放送用受信アンテナの研究開発”，映情学技報，39，6，pp.29-34 (Feb. 2015)
- 107) 杉之下ほか：“SHV伝送用120 GHz帯無線伝送システムの検討”，映情学技報，37，6，pp.17-22 (Feb. 2013)
- 108) 津持ほか：“SHV伝送用120 GHz帯FPUの開発”，映情学技報，37，34，pp.45-48 (July 2013)
- 109) 杉之下ほか：“SHV伝送用120 GHz帯FPUのシステム評価”，映情学技報，38，5，pp.125-128 (Jan. 2014)
- 110) 津持ほか：“120 GHz帯FPUにおける偏波多重伝送の干渉に関する検討”，映情学技報，38，14，pp.9-12 (Mar. 2014)
- 111) 鈴木ほか：“42 GHz帯ミリ波モバイルカメラのリアルタイム解析システムの開発”，映情学技報，37，9，pp.37-40 (Feb. 2013)
- 112) 小郷ほか：“42 GHz帯ミリ波モバイルカメラの送受信アンテナの検討とその伝搬実験”，映情学技報，37，9，pp.41-44 (Feb. 2013)
- 113) 伊藤ほか：“42 GHz帯ワイヤレスカメラ用楕円ホーンアンテナの開発とその伝搬実験”，映情学技報，38，8，pp.43-46 (Feb. 2014)
- 114) 鈴木ほか：“ブロックQR分解を用いた演算量削減型MLD方式の検討”，映情学技報，37，34，pp.85-88 (July 2013)
- 115) 鈴木ほか：“並び替えブロックQR分解を用いた演算量削減型MLDの検討”，映情学技報，37，39，pp.1-4 (Sep. 2013)
- 116) 津持ほか：“OFDM方式42 GHz帯FPUにおけるPAPR低減の検討”，映情学技報，39，13，pp.29-32 (Mar. 2015)
- 117) 鶴澤ほか：“TDD-双方向FPUにおけるType-II HARQ方式の適用に関する検討”，映情学技報，36，53，pp.7-10 (Dec. 2012)
- 118) 鶴澤ほか：“TDD双方向FPUにおける再送パケットサイズの検討”，映情学技報，37，9，pp.61-64 (Feb. 2013)
- 119) 光山ほか：“双方向デジタルFPUシステムに向けた高速適応変調方式の評価”，映情学技報，38，30，pp.29-32 (July 2014)
- 120) 光山ほか：“時分割複信方式に基づく双方向デジタルFPU実験装置の試作と評価”，映情学技報，37，41，pp.25-28 (Oct. 2013)
- 121) NHK放送技術研究所：研究年報2013 (May 2014)，<http://www.nhk.or.jp/str/publica/nenpou-h25/index.html>
- 122) 川本ほか：“波長分散に起因するデータ誤りに対する非圧縮8Kスーパーハイビジョン信号光伝送装置の誤り訂正効果の検証”，映情学技報，39，13，pp.25-28 (Mar. 2015)
- 123) 篠原ほか：“USRPによるマルチユーザMIMO伝送実験用移動端末の試作”，映情学技報，37，9，pp.25-28 (Feb. 2013)
- 124) 西野ほか：“直交度基準ユーザ選択手法を用いるMU-MIMOシステムの屋内伝送実験による特性評価”，映情学技報，38，8，pp.25-28 (Feb. 2014)
- 125) Ou Zhao, et al.: "An Efficient Scheme for Dynamic Clustering in OFDM-Based Multiuser MIMO Distributed Antenna Systems", ITE Technical Journal, 38, 49, pp.1-6 (Dec. 2014)
- 126) 田中ほか：“マルチユーザMIMO実験システムにおける伝搬路変動対策に関する一検討”，映情学技報，37，34，pp.25-28 (July 2013)
- 127) 木村ほか：“echo-MIMO推定を用いたPNC-DF中継のスループット評価”，映情学技報，39，6，pp.1-4 (Feb. 2015)
- 128) 佐藤ほか：“マルチユーザMIMO実験システムにおけるタイミングおよび周波数同期に関する一検討”，映情学技報，37，9，pp.21-24 (Feb. 2013)
- 129) 藤本ほか：“非線形共同干渉キャンセルを行うMU-MIMOシステムの伝送実験”，映情学技報，38，8，pp.29-32 (Feb. 2014)
- 130) 林ほか：“携帯端末間で連携する受信方式の屋外伝送実験”，映情学技報，38，49，pp.65-68 (Dec. 2014)
- 131) 田中ほか：“移動局共同干渉キャンセルの高速フェージング環境における特性改善”，映情学技報，39，6，pp.5-8 (Feb. 2015)
- 132) N. Maitsetseg, et al.: "Performance Analysis of 2x2 Open-Loop Dual-Polarized MIMO System Under Rician Fading Channel", ITE

- Technical Report, 38, 35, pp.13-16 (Sep. 2014)
- 133)沖ほか：“LCXを用いた4×4 MIMOシステムにおける無線端末の2次元位置検出”，映情学技報，39，4，pp.45-48 (Jan. 2015)
- 134)依田ほか：“ロバストLLRを用いたマルチキャリア重畳伝送方式の特性評価”，映情学技報，37，9，pp.29-32 (Feb. 2013)
- 135)柴田ほか：“マルチキャリア重畳伝送における対数尤度設定に関する一検討”，映情学技報，39，6，pp.17-20 (Feb. 2015)
- 136)馬ほか：“修正Matching Pursuitを用いたOFDMシステムの伝搬路推定”，映情学技報，37，14，pp.55-59 (Mar. 2013)
- 137)古館ほか：“Matching Pursuitを用いた伝搬路推定のOFDMシステムへの応用”，映情学技報，37，14，pp.61-65 (Mar. 2013)
- 138)岡田ほか：“Matching Pursuit法を用いたOFDMの伝搬路推定における演算量削減”，映情学技報，37，39，pp.13-16 (Sep. 2013)
- 139)S. Gyuu, et. al: "Low Complexity Sparse Channel Estimation Based on Compressive Sensing for OFDM System", ITE Technical Report, 38, 5, pp.121-124 (Jan. 2014)
- 140)安井ほか：“インパルス雑音環境下におけるパイロットシンボルを用いた伝送路推定に関する検討”，映情学技報，38，8，pp.17-20 (Feb. 2014)
- 141)遠藤ほか：“プライマリ安全通信のためのスペクトルリーシングにおける複数セカンダリ送信ビームフォーミングの影響”，映情学技報，38，8，pp.21-24 (Feb. 2014)
- 142)C. Dhahri et.al: "User Speed Variation on Learning-based Cell Selection for Femtocell Network: Effect and Countermeasure", ITE Technical Report, 38, 21, pp.9-12 (June 2014)
- 143)今尾ほか：“複数チャネル同時受信システムにおけるチャネル間相互干渉抑圧に関する検討”，映情学技報，38，41，pp.13-16 (Oct. 2014)
- 144)扇田ほか：“可視光を用いた映像信号の水中光伝送のための基礎実験”，映情学技報，38，8，pp.1-4 (Feb. 2014)
- 145)扇田ほか：“球面上に貼った再帰性反射材の観測角に関する検討”，映情学技報，39，6，pp.9-12 (Feb. 2015)
- 146)前田ほか：“遺伝的アルゴリズムに基づくダイクロミックフィルタの自動最適化設計”，映情学技報，37，34，pp.17-20 (July 2013)
- 147)繁竹ほか：“時間領域での反射波を用いた誘電率の簡易測定に関する検討”，映情学技報，39，4，pp.21-24 (Jan. 2015)
- 148)平田ほか：“可変長スタブを用いたマルチバンドRF回路設計法の試作評価”，映情学技報，39，4，pp.65-68 (Jan. 2015)
- 149)手塚ほか：“両平面回路への適用を目指したCRLHスロット線路の基礎検討”，映情学技報，38，5，pp.17-20 (Jan. 2014)
- 150)前田ほか：“バンドギャップ切替機能を持つ新しいCRLH伝送線路構成法の検討”，映情学技報，38，5，pp.21-24 (Jan. 2014)
- 151)佐藤：“化合物系太陽電池のポテンシャルと課題”，応用物理学会結晶工学分科会第136回研究会テキスト (Apr. 2012)
- 152)富田ほか：“周期構造を有する太陽電池素子における電力透過係数の解析”，映情学技報，39，4，pp.85-88 (Jan. 2015)
- 153)山口ほか：“地上波テレビ放送受信用印刷アンテナの基礎検討”，映情学技報，38，5，pp.9-12 (Jan. 2014)
- 154)吉武ほか：“円偏波用2周波共用マイクロストリップアンテナ”，映情学技報，38，5，pp.73-76 (Jan. 2014)
- 155)藤本ほか：“円偏波用プリント基板型方形モノポールアンテナの小型化に関する検討”，映情学技報，38，5，pp.81-84 (Jan. 2014)
- 156)田口ほか：“不平衡給電超低姿勢逆Lアンテナを用いたRFID端末用円偏波アンテナの特性改善”，映情学技報，38，5，pp.85-88 (Jan. 2014)
- 157)中澤ほか：“21 GHz帯放送衛星用反射鏡アンテナの軌道上熱変形が放射パターンに与える影響”，映情学技報，38，30，pp.13-16 (July 2014)
- 158)長坂ほか：“衛星放送受信用偏波共用給電アンテナの検討”，映情学技報，38，44，pp.5-9 (Mar. 2014)
- 159)鍵山ほか：“2共振型防災用ヘルメットアンテナに関する基礎検討”，映情学技報，38，5，pp.45-49 (Jan. 2014)
- 160)藤本ほか：“リング状放射素子を組合せたLプローブ給電による4周波共用マイクロストリップアンテナ”，映情学技報，38，5，pp.1-4 (Jan. 2014)
- 161)重富ほか：“1波および2波モデルを用いた市街地における電界分布推定”，映情学技報，37，4，pp.17-20 (Jan. 2013)
- 162)羽田野ほか：“建蔽率と容積率分布を考慮した市街地伝搬の一推定法”，映情学技報，38，5，pp.25-28 (Jan. 2014)
- 163)李ほか：“不均質伝搬環境での基地局最適配置に関する考察”，映情学技報，37，4，pp.21-24 (Jan. 2013)
- 164)岩井ほか：“コンクリート壁表面に施された円形凸起が電波伝播に与える影響の検討”，映情学技報，38，5，pp.29-32 (Jan. 2014)
- 165)猪俣ほか：“窓ガラス構造の違いによる建造物内および周辺の電波伝搬”，映情学技報，37，4，pp.41-44 (Jan. 2013)
- 166)米澤ほか：“什器を備えたオフィス環境における2.4/5 GHz帯無線LANシステムの屋内伝搬特性”，映情学技報，37，34，pp.21-24 (July 2013)
- 167)大宮：“スーパーコンピュータを利用した大規模電磁界シミュレーション”，映情学技報，37，34，pp.57-64 (July 2013)
- 168)伊藤ほか：“標準電波JJYの伝搬特性に関する研究”，映情学技報，37，9，pp.5-8 (Feb. 2013)
- 169)本田ほか：“地上デジタル放送波による航空機測位の検討”，映情学技報，39，4，pp.89-92 (Jan. 2015)
- 170)永尾ほか：“2つの高さが異なる平行でない水平エッジによる回折とその影境界”，映情学技報，37，4，pp.25-28 (Jan. 2013)
- 171)祝田ほか：“任意角度をなす2つのエッジ上の回折点とその回折電磁界”，映情学技報，37，4，pp.29-32 (Jan. 2013)
- 172)諫山ほか：“くさびの形状や材質，くさびに対する入射角を考慮した回折電磁界”，映情学技報，37，4，pp.33-36 (Jan. 2013)
- 173)亀山ほか：“くさびの表面からの反射界とそのエッジによる回折界”，映情学技報，37，4，pp.37-40 (Jan. 2013)
- 174)祝田ほか：“水平および垂直に傾く2つのエッジによる回折電磁界”，映情学技報，38，5，pp.41-44 (Jan. 2014)
- 175)橋本ほか：“ランダム粗面に対する電波伝搬特性推定法”，映情学技報，38，5，pp.37-40 (Jan. 2014)
- 176)内田ほか：“ランダム粗面生成における離散化設定の基準”，映情学技報，38，5，pp.101-104 (Jan. 2014)
- 177)大谷ほか：“遺伝的アルゴリズムに基づく自動最適設計法の並列処理に関する比較検討”，映情学技報，38，30，pp.1-4 (July 2014)
- 178)辰巳ほか：“円形凸起を有するコンクリート壁周囲のCIP法による電波伝搬解析”，映情学技報，37，4，pp.45-48 (Jan. 2013)
- 179)平梅ほか：“GPUを用いたCIP法による電磁界解析の高速化～ブロック数とスレッド数の検討～”，映情学技報，37，4，pp.103-106 (Jan. 2013)
- 180)中村ほか：“テレビ朝日 地上・BS統合マスター構築 - ノンストップマスターの実現 -”，映情学技報，38，41，pp.1-4 (Oct. 2014)
- 181)加藤：“『Ω FINDER (オメガファインダ)』の開発 - AR技術を採用した中継現場下見支援用アンドロイドアプリケーション -”，映情学技報，36，53，pp.125-130 (Dec. 2012)
- 182)加藤：“特別講演：『Ω FINDER (オメガファインダ)』の開発の裏側 - TBSテレビのFPU中継業務に関する工夫と改善 -”，映情学技報，38，41，pp.17-24 (Oct. 2014)
- 183)勝屋ほか：“データ放送タッチ操作対応”，映情学技報，37，6，pp.29-34 (Feb. 2013)
- 184)中井ほか：“データ放送を活用した視聴反応分析システム『LivePOPS』”，映情学技報，37，23，pp.1-4 (June 2013)
- 185)樽井ほか：“サポートシステムを利用した放送事業のサービス品質向上に関する報告”，映情学技報，37，41，pp.9-12 (Oct. 2013)
- 186)森：“3Dストライクゾーンの開発” (July 2013)
- 187)加藤ほか：“カメラデータの映像重畳伝送による中継バーチャルシステム”，映情学技報，37，23，pp.25-28 (June 2013)
- 188)廣瀬ほか：“LEDキャスターライトの開発～女性がつくる，女性のためのライト～”，映情学技報，37，23，pp.21-24 (June 2013)
- 189)西澤ほか：“フルLED照明設備によるスタジオ運用の有効性について”，映情学技報，37，34，pp.13-16 (July 2013)
- 190)近藤ほか：“多点式タッチパネルを用いた調光卓の開発”，映情学技報，37，23，pp.17-20 (June 2013)
- 191)牧野：“特別講演：番組制作における映像伝送技術”，映情学技報，37，9，pp.33-36 (Feb. 2013)
- 192)小野田：“特別講演：ロードレース中継制作”，映情学技報，38，5，pp.77-80 (Jan. 2014)

- 193) 中川ほか：“STTC-MIMO方式のアンテナ構成と伝送特性”，映情学技報，38，49，pp.7-12（Dec. 2014）
- 194) 宮田ほか：“移動中継用FPUの周波数移行に向けた広島駅伝コース伝搬実験”，映情学技報，37，39，pp.17-20（Sep. 2013）
- 195) 小郷ほか：“移動中継用FPUの周波数移行に向けた送信アンテナの放射特性の比較”，映情学技報，37，4，pp.123-126（Jan. 2013）
- 196) 森本ほか：“1.2 GHz/2.3 GHz帯受信アンテナの開発”，映情学技報，38，41，pp.5-8（Oct. 2014）
- 197) 小郷ほか：“1.2 GHz帯および2.3 GHz帯ワイヤレスカメラの運用を想定した放射特性とSARの解析”，映情学技報，37，23，pp.29-32（June 2013）
- 198) 小郷ほか：“2.3 GHz帯FPUパッチアレーアンテナの設計と伝搬特性”，映情学技報，37，34，pp.73-76（July 2013）
- 199) 小郷ほか：“中継移動用FPUの運用におけるSARの解析”，映情学技報，37，6，pp.57-63（Feb. 2013）
- 200) 小郷ほか：“移動中継用FPUの周波数移行を考慮したSARの低減手法の検討”，映情学技報，37，17，pp.67-72（Mar. 2013）
- 201) 吉田ほか：“1.2 GHz帯ワイヤレスカメラ使用時のSAR評価～生体等価固体ファントムを用いたSAR測定～”，映情学技報，38，8，pp.33-36（Feb. 2014）
- 202) 濱住：“特別講演：低遅延デジタルラジオマイクの開発動向”，映情学技報，36，23，pp.31-36（Dec. 2012）
- 203) 山口ほか：“特定ラジオマイク用低遅延デジタル伝送方式の検討”，映情学技報，36，51，pp.39-42（Nov. 2012）
- 204) 小郷ほか：“特定ラジオマイクの周波数移行に向けた回線設計の検討”，映情学技報，36，53，pp.1-6（Dec. 2012）
- 205) 山口ほか：“低遅延型デジタル特定ラジオマイクの伝送実験”，映情学技報，37，34，pp.69-72（July 2013）
- 206) 林ほか：“モバイルデータ通信によるNOTTV番組内テレビ中継に関する報告”，映情学技報，36，53，pp.11-14（Dec. 2012）
- 207) 片平ほか：“KSUエリア放送における無線LANによる簡易中継システムの実証実験”，映情学技報，38，5，pp.97-100（Jan. 2014）
- 208) 沢田ほか：“特別講演：ロンドン五輪におけるスーパーハイビジョンのパブリックビューイング～コンテンツ制作について～”，映情学技報，37，4，pp.77-82（Jan. 2013）
- 209) 甲斐ほか：“日本テレビ開局60周年特別展「京都－洛中洛外図と障壁画の美」龍安寺石庭4K3面パノラマ映像制作と上映”，映情学技報，38，14，pp.25-28（Mar. 2014）
- 210) 島本ほか：“超小型8Kスーパーハイビジョンカメラの開発と番組撮影”，映情学技報，39，4，pp.93-96（Jan. 2015）
- 211) 杉原ほか：“「MISSION 001」におけるハイブリッドキャストアプリケーション制作”，映情学技報，38，21，pp.17-20（June 2014）
- 212) 土生谷ほか：“TVML（TV-program Marking Language）を用いたTVと情報端末の連携システムの試作”，映情学技報，38，35，pp.9-12（Sep. 2014）
- 213) 香月：“特別講演：番組制作における光感受性発作のリスクと注意すべき映像手法に関する最新動向について”，映情学技報，38，21，pp.21-28（June 2014）
- 214) 日下部ほか：“地震映像の自動取得機能を備えた蓄積型IP伝送システムの性能評価”，映情学技報，38，35，pp.5-8（Sep. 2014）
- 215) 北野ほか：“ファイル管理の精度を飛躍的に高めた収録・インジェストシステム”，映情学技報，38，49，pp.13-18（Dec. 2014）
- 216) 大塚ほか：“メタ特徴と特徴選択を用いた識別器自動選択システム”，映情学技報，38，49，pp.69-72（Dec. 2014）
- 217) 小泉ほか：“医療用金属デバイス留置患者のMR撮影時におけるSARの数値解析”，映情学技報，39，6，pp.13-16（Feb. 2015）



**居相 直彦** 1993年，大阪大学大学院工学研究科博士前期課程修了。同年，NHK入局。放送技術研究所において，地上デジタル放送，番組素材伝送技術などの研究に従事。現在，放送技術研究所伝送システム研究部所属。正会員。



**村田 英一** 1991年，京都大学工学部電子工学科卒業。1993年，同大学大学院修士課程修了。同年，同大学助手。2002年，東京工業大学助教授を経て，現在，京都大学大学院情報学研究科准教授。正会員。



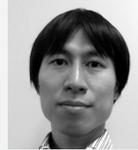
**石田 秀徳** 1992年3月，東海大学大学院工学研究科電子工学専攻修士課程修了。同年，(株)テレビ東京入社。送出技術局にてマスター業務。1996年より，技術局制作技術部にて，番組制作業務。2006年より，システム開発室技術開発部にて，技術開発業務。2012年より，技術局付で，放送設備全般の導入検討に従事。正会員。



**岩本 正伸** 1983年，慶應義塾大学工学部電気工学科卒業。同年，(株)東京放送入社。VTR編集・ニューススタジオの映像担当など，番組制作業務に従事。その後15年間，情報システム部門に所属し，3年間の報道部門を経て，2008年より，研究開発関連。現在，メディア戦略室所属。正会員。



**森住 俊美** 1998年，慶應義塾大学政策メディア研究科修士課程修了。同年，NTT(株)入社。ブロードバンドネットワークを用いたアプリケーション研究実用化およびISDB-Tmm方式の基本技術の実用化に従事。2010年～2015年，(株)mmbi技術統括部。現在，NTT(株)サービスエボリューション研究所主任研究員。正会員。



**大西 正芳** 2005年，同志社大学工学部電気工学専攻修了。同年，NHK入局。長崎局，技術局を経て，2013年より，放送技術研究所に所属。以来，ハイブリッドキャストなど放送通信連携を専門に，次世代放送サービスの研究開発に関わる。現在，放送技術研究所ハイブリッド放送システム研究部所属。正会員。



**石田 利博** 1995年，北海道大学大学院工学研究科応用物理学専攻修士課程修了。同年，(株)東芝入社。現在，同社コミュニティ・ソリューション社府中コミュニティ・ソリューション工場にて，地上波テレビ放送用送信機システムの開発・設計に従事。正会員。



**齊藤 一幸** 2001年，千葉大学大学院自然科学研究科博士後期課程修了。現在，千葉大学フロンティア医工学センター准教授。マイクロ波の医療応用および人体と電磁波との相互作用評価に関する研究に従事。2001年，当学会研究奨励賞など受賞。博士(工学)。正会員。



**太田 順一** おおた じゅんいち 1987年、東京工業大学院工学研究科修士課程修了。同年、住友電気工業(株)入社。現在、同社光機器事業部所属。正会員。



**服部 昌憲** はっとり まさのり 1991年、室蘭工業大学大学院工学研究科応用物性学専攻、課程修了。同年、古河電気工業(株)入社。発泡絶縁材料、光ファイバケーブルの開発に従事。現在、同社情報通信ソリューション統括部門ブロードバンド事業部門。正会員。



**岡田 実** おかだ みつる 1992年、大阪大学大学院工学研究科博士前期課程修了。1993年、大阪大学工学部助手。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。



**武居 裕之** たけい ひろゆき 1989年、大阪工業大学電子工学科卒業。同年、(株)日立国際電気(旧日立電子(株))入社。開発研究所、映像・通信事業部において、ハイビジョンカメラ、無線伝送装置(OFDM, QAM)などの製品開発に従事。現在、同社映像・通信事業部放送設備設計部所属。正会員。



**柳澤 斉** やなぎさわ ひとし 1987年、早稲田大学大学院理工学研究科博士前期課程修了。同年、NHK入局。放送技術研究所、大阪放送局を経て、2011年より、放送技術局制作技術センターにて、番組制作業務に従事。正会員。



**西澤 伸一** にしざわ しんいち 1989年、東京工業大学工学部機械物理工学科卒業。同年、(株)フジテレビジョン入社。技術局にて、送出、回線、番組制作技術を担当後、NY勤務を経て、モバイルマルチメディア放送の立上および(株)mmbiにて、NOTTV開局に携わる。現在、(株)フジテレビジョン総合技術局計画部所属。正会員。



**深澤 知巳** ふかざわ ともみ 1990年、東海大学大学院電気専攻修士課程修了。同年、(株)東京放送入社。技術局に所属し、中継技術部、回線部等にて、主に映像伝送など周波数関連の業務に従事。現在、(株)TBSテレビ技術局JNN技術統括部に所属。正会員。



**小池 幸宏** こいけ ゆきひろ 1993年、横浜国立大学工学部電子情報工学科卒業。同年、(株)テレビ朝日入社。技術局制作技術センターにて、番組制作業務。2014年より、技術局設備センターにて、スタジオや中継車設備のシステム構築などに従事し、現在に至る。正会員。



**甲斐 創** かい つくる 1997年、早稲田大学理工学研究科修了。同年、日本テレビ放送網(株)入社。制作技術センター映像担当として、スタジオ・中継番組制作に従事。送出部運行業務等を経て、現在、技術開発部に所属。正会員。