4　高度番組制作・伝送技術

高品質で魅力的なコンテンツの効率的な制作、新しい映像表現の実現、安全・安心を確保する緊急報道の支援、またISDB－T（Integrated Services Digital Broadcasting － Terrestrial）の高度化に向けて、高度番組制作・伝送技術の研究を進めている。

現場や放送局をIP（Internet Protocol）網で接続して素材伝送や制作の運用を改善するために、柔軟な帯域割り当て、帯域や伝送遅延などネットワークQoS（Quality of Service）の改善およびQoS変化に適応した映像伝送を実現する取材網フルIP化の研究を進めた。

また、大量の放送コンテンツを活用する新たなサービスに向けた研究として、分散配置した多数のサーバーにより、永続的な蓄積や検索、高速かつ安定な加工処理、輻輳（ふくそう）を起こしにくい配信を実現する分散サーバー放送システムの開発を進めた。

高品質音声合成技術の研究では、気象通報自動読み上げ装置の実用化を推進するとともに、既存話者の音声データベースの情報に基づき新規話者音声データから合成音を作成する方式を開発した。

音響デバイスの研究では、軽量スピーカーの材料として用いる高分子膜の比誘電率と放射音圧の関係を解析し、誘電体の添加率を適切な値にすることで、音圧レベルが適正となり、発音効率が向上することを確認した。また、電荷蓄積型シリコンマイクの放送現場での運用を想定し、マイクロホンの耐環境性を検証し、高温・高湿度の厳しい環境でも安定して運用可能であることを確認した。

無線による素材伝送技術の研究では、非圧縮スーパーハイビジョン信号の無線伝送を目指して、偏波多重を用いる120GHz帯FPU（Field Pickup Unit）試作機の特性評価を進め、実験局免許を初めて取得した。1.2/2.3GHz帯への周波数移行が検討されている800MHz帯FPUに関しては、総務省の調査検討会に参加し、周波数移行先での伝搬実験を行った。「1.2/2.3GHz帯を使用するFPUの技術的条件」のうち、SISO（Single Input Single Output）方式の技術基準が情報通信審議会で一部答申された。また、マイクロ波帯FPUの研究も進め、マクロダイバーシティ受信アダプターを改良しロードレース中継やゴルフ中継に使用するとともに、双方向FPUの方式検討、電磁界解析を用いた電磁波曝露の検討、周波数領域でのチャンネル等化技術の研究を進めた。

ハイビジョンカメラの撮影映像を、低遅延・高画質のまま無線伝送可能なミリ波モバイルカメラについては、実用化に向けて性能を改善し、第63回NHK紅白歌合戦をはじめ多くの番組で使用された。また、800MHz帯特定ラジオマイクの周波数移行に向けて、遅延が1m秒以下の低遅延デジタル方式の実験装置を試作した。

エリア放送に関連する研究として、信号電力が雑音レベル以下の低レベルISDB−T信号検出機能の市販アナライザーへの実装、エリア放送から地デジへの干渉検討シミュレーションソフトウェアの開発、被災地情報収集送出システムの試作を行った。また、ISDB−Tの高度化に向けた移動受信向けの伝送技術に関しては、時空間MIMO（Multiple−Input Multiple−Output）と空間多重MIMOの比較検討を進め、時空間MIMOに関しては野外伝送実験により特性調査を行った。

4.1　ネットワークを活用した番組制作・送出システム

ネットワークを活用するシステムの基盤技術として、現場からスタジオまでIP（Internet Protocol）ネットワークで結ぶ取材網フルIP化の研究および、永続的に蓄積した放送コンテンツを活用した新しいサービスを提供するため、分散サーバー放送システムの研究を進めた。

■ 取材網フルIP化の研究

取材網のフルIP化に向けて、素材伝送の各通信帯域の管理・制御、伝送遅延などネットワークQoS※（Quality of Service）の改善およびQoS変化に対応する伝送制御技術開発に取り組み[1]、複数回線の集約装置と無線IP回線を用いたライブ伝送装置を開発した。また、双方向FPU（Field Pickup Unit）の検討を進めた。

複数回線集約装置は、複数回線を同時に利用して通信を行うことでQoS改善を図る。2011年度開発のデータ振り分けによる複数回線同時利用技術に、通信の種類に応じた帯域の割り当て機能を加えることで、ライブ伝送の帯域を確保しながら、ファイル伝送を行う手法を開発し、試作装置により帯域確保および遅延改善能力を検証した。

無線IP回線は設営が簡易である一方で、移動などにより無線回線の帯域変動やパケットロスが発生するという欠点がある。レート制御とデータ回復制御に無線回線状態を反映させる改良を行うことで、無線IP回線を用いてハンディーカメラなどからのライブ映像をより安定に伝送できる装置を実用化した[2]。さらに、この技術をカメラに取り付け機動的に利用できる小型映像伝送装置に導入し、安定性を高めた装置を開発した。この研究の一部は（株）NHKアイテックと共同で実施した。

また、双方向FPUは、IP化による双方向化とともに選択的再送による高速化の検討を進めた。選択的再送に伴い大きな遅延が発生する場合があるが、到着順序回復処理の改良により遅延増加を軽減する手法を開発した。

■ 分散サーバー放送システムの研究

分散サーバー放送システムは、放送コンテンツの蓄積、加工、配信などを行う多数のサーバーで構成される分散型の放送システムである。

永続的な放送コンテンツの蓄積と検索機能を持つ分散ファイルシステムの開発を進めた。映像、音声、字幕などのファイルに、放送時刻をIDとしたフレーム単位のインデックスを付与することで、分散ファイルシステムに保管された長期間にわたる大量のファイルをまとめて、仮想的なファイルとしてアクセスできるようになった。この仮想的なファイルで放送番組を閲覧できる再生プレーヤーを開発した（図1）。

また、放送コンテンツの並列分散処理システムの開発を進めた。これまでの並列化の数と、処理サーバーへのデータ転送量を制御し、処理速度のボトルネックを解消する方式に加え、処理フローごとのデータ転送経路を制御し、輻輳（ふくそう）のボトルネックを解消する方式を提案した。この方式を実装し、処理サーバーやネットワークに負荷変動が生じても、高速かつ安定した速度で放送コンテンツを処理できることを確認した。

時刻方向に過去の放送番組をザッピングできるタイムザッピングサービスの検討を進めた。多数の視聴者が時刻方向のザッピングをしても輻輳（ふくそう）が生じないように、複数の配信サーバーが互いに異なる時刻のキャッシュを保管する方式と、要求された時刻近傍の検索を行うことで長期間のザッピングに対応できる方式を提案し、シミュレーション実験を行った[3]。また、視聴システムの実装を進め、サービス評価実験を実施した。

図1　番組閲覧用再生プレーヤー

※ネットワークQoS：スループットや遅延、パケットロス率などのネットワークのサービス品質

〔参考文献〕
(1) S. Oda, K. Aoki and Y. Endo：“Dynamic Rate Control Technologies enabling Priority Based Bandwidth Allocation for IP News Gathering Network,” SMPTE 2012 : Annual Technical Conference & Exhibition (2012)
(2) 黒住，小田，青木，安食：“リンク情報を用いた無線LAN映像伝送のためのレート制御手法の検討，”信学技報，vol.112, no.218, CQ 2012-49, pp.43-46 (2012)
(3) 竹内，黄，金子，和泉：“タイムシフトザッピング視聴サービスのためのキャッシング制御手法の検討，”信学総大，B-6-9 (2012)

4.2　高品質音声合成

放送用の原稿を自動的に音声に変換する自動音声放送や、目の不自由な方のためにデータ放送などの文字を読み上げるサービスを実現するために、高品質な音声合成の研究を進めている。

2011年度までにニュース番組のアナウンサーの大量の録音音声データを用いて、高品質に任意の文章を音声合成する方式を開発した。また、ラジオ第2放送の「株式市況」の自動読み上げ装置を開発し、実際に放送に使用した。さらに、「気象通報」の自動読み上げ装置[1]の実用化を推進した。2012年度は、気象通報自動読み上げ装置の運用面における課題を解決するための対策を進めた。気象通報自動読み上げ装置では、文構造の型の分類結果に基づく音声合成方式を採用しており、文構造が複雑な場合には音声データベースに追加する収録用読み上げ文章の作成が困難である。そこで、データベース内の文構造の表現を簡略化し、不足する音声を追加収録して、音声データベースへ組み込んだ。また、実際の放送での運用を想定して、装置への入力文の構造が、事前に気象通報電文を分類して作成した文構造の型に一致しない場合においても、入力文に含まれる単語がデータベースに存在する場合には、それらを組み合わせて音声を合成できるようにした。さらに、6年分の気象通報電文データを用いて装置の正常動作を確認した。

柔軟で多様な表現が可能な音声合成を実現するために、既存の話者の大規模な音声データベースの情報に基づいて、新規の話者の少量の音声データから既存の話者と同程度の音質の合成音を作成する方式の開発を進めた。2012年度は開発済みの技術を統合し、方式全体の調整を行った。まず、大規模な音声データベースの音響的・言語的な特徴を機械学習することによって統計モデルを構築し、これを用いて合成した音声の音質を確認した。次に、合成音声の肉声感の自然性を改善するために、統計モデルではなく、音響的・言語的な特徴を直接利用して音声を合成する方式を開発した[2]。さらに、既存話者の大規模音声データベースの情報を利用して、新規話者の少量の音声データ

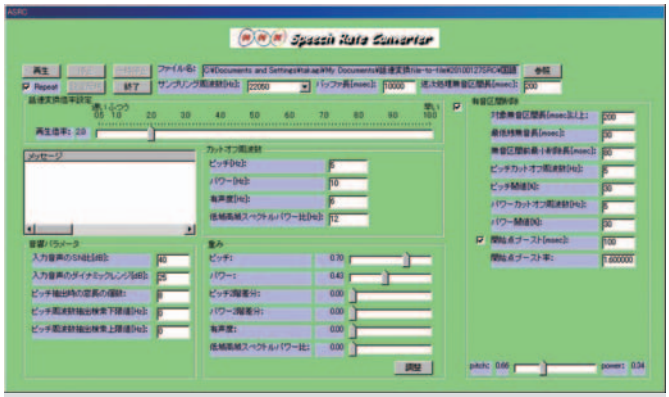

図1　オンライン話速変換
パラメーター調整プログラムの画面

から統計モデルを作成し、既存話者と同程度の音質の合成音声が得られることを確認した。

情報番組や朗読などの録音コンテンツを高速再生する技術に関しては、話速変換した音声を聞きながら、複数の音響的特徴の寄与率を手動で調整できるプログラムを開発した(図1)。また、聞き取りやすさに大きく貢献する部分を決定して、その伸縮倍率を制御する方式を開発した。さらに、話速変換を利用してネットラジオを聴取できる機能や、抑揚変換技術を用いた語学学習用ソフトウェアのスマートフォン用のアプリケーションの開発を推進した。

この研究の一部は、実用化研究として(財)NHKエンジニアリングサービスと共同で実施した。

〔参考文献〕
(1)H. Segi, R. Tako, N. Seiyama and T. Takagi：“Template-Based Methods For Sentence Generation and Speech Synthesis”, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing 2011(ICASSP 2011), ITT-L1.6, pp.1757-1760 (2011)
(2)世木：“パラメータ音声合成方式の高品質化に関する検討,” 音講論(春), 3-P-18(2013)

4.3　音響デバイス

次世代放送メディアの家庭導入を目指して、新しい発音原理に基づく軽量で設置の自由度の高いスピーカーの研究や、新しい機能を持つマイクロホンの研究を進めている。

■ 高分子膜を用いた軽量スピーカー

誘電体エラストマー(電場応答性を持たせたゴム状の高分子素材)を用いた発音体は、エラストマーの比誘電率を高くすることで、放射音圧を大きくできることを解析的に見いだした。そこで、高い比誘電率を有する誘電体4種(二酸化チタン、チタン酸バリウム、チタン酸ストロンチウム、酒石酸カリウムナトリウム)をそれぞれ粉末状に加工してポリウレタンエラストマーに添加し、それを定電圧駆動して誘電体の添加率と音圧レベルの関係を測定した。その結果、二酸化チタンとチタン酸ストロンチウムでは、添加率5%以下の範囲で、音圧レベルを最大約5dB大きくできることを確認した(図1)[(1)(2)]。この研究は、フォスター電機(株)と共同で実施した。

■ 電荷蓄積型シリコンマイク

2012年度は、電荷蓄積型シリコンマイクの放送現場での運用を想定して、マイクロホンの耐環境性を検証した。具体的には、電荷を蓄積したマイクロホンの背面電極を高温・高湿度の環境に放置して電荷の減衰を調べた。その結果、温度60℃、湿度95%の環境で1000時間放置後の電荷量の低下はマイクロホンの感度に換算して1dB未満であり、実用上問題のない範囲に収まることが分かった。これにより、電荷蓄積型シリコンマイクが屋外の厳しい環境でも安定して運用可能であることが確認できた。

〔参考文献〕
(1)T. Sugimoto, K. Ono, A. Ando, H. Okubo and K. Nakamura：“Flexible Acoustic Transducer from Dielectric-Compound Elastomer Film,” AES 133rd Convention, Convention Paper 8725(2012)
(2)杉本, 小野, 安藤, 大久保, 中村：“誘電体添加エラストマーを用いた発音体,” 2012年秋季日本音響学会研究発表会講演論文集, 1-P-11(2012)

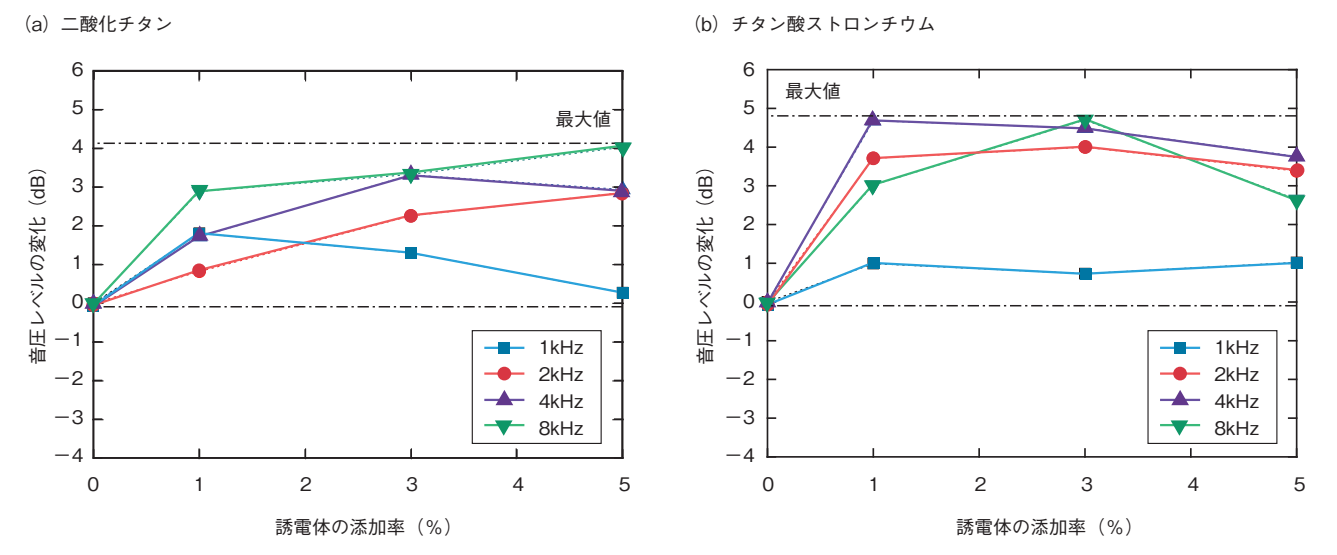

図1　誘電体の添加率と音圧変化の関係

4.4　素材伝送技術

4.4.1　非圧縮スーパーハイビジョン用120GHz帯FPU

非圧縮スーパーハイビジョン(SHV)信号の無線伝送を目指して、偏波多重を用いる120GHz帯FPU(Field Pickup Unit)の研究を継続し、2012年度は、高信頼化のための性能改善の研究を進めた[1]。

まず、2011年度に試作した120GHz帯高周波部(評価機)(図1)の性能評価を行い、120GHz帯ミリ波における温度特性などの課題を明らかにした。FPUの使用条件を考慮して、恒温槽を用いた広い温度範囲における評価実験を行った。また、120GHz帯のRFコンポーネントの高周波特性によるBER特性への影響について、導波管接続実験により詳細に評価した。さらに、この高周波特性によるBER特性の劣化については、ベースバンド信号処理によって改善できることを確認した。

次に、ベースバンド信号処理部について、非圧縮SHV信号(Dual Green方式、HD-SDI信号16本)の半分に相当するHD-SDI信号を8本多重できる評価用の基板を試作し、前記の評価機と接続した室内実験を実施して誤りなしで伝送できることを確認した。

以上の性能評価の結果をもとに、偏波多重を用いて非圧縮SHV信号を伝送する120GHz帯FPUの要求仕様をまとめるとともに、その要求仕様を満足し、かつ小型化も考慮した高周波部およびベースバンド信号処理部の試作を進めた。

さらに、120GHz帯FPUの回線設計に必要な降雨の影響を調査するため、強雨期における偏波多重の野外伝送実験を3か月間にわたって行った[2]。

図1　性能評価を行った120GHz帯高周波部

〔参考文献〕
(1)岡部，津持，杉之下："SHV伝送用120GHz帯FPUの検討，"映情学年次大，20-2(2012)
(2)津持，岡部，杉之下，竹内，高橋，枚田："降雨時における120GHz帯無線伝送装置の伝送特性，"映情学冬大，5-10(2012)

4.4.2　双方向FPU伝送技術

ファイルベースの映像素材を映像信号に変換せずに無線伝送するための、時分割複信(TDD：Time Division Duplex)方式の双方向FPUの研究を進めている。

■ 双方向FPU実験装置の試作

送受信の切り替えタイミングや伝搬路の状況に応じて変化させる伝送レートを、遅延時間をパラメーターとして評価するための双方向FPU実験装置を試作した。また、無線周波数帯における時分割複信方式の動作を評価するため、送受信高周波部およびアンテナ部を試作した。

■ 時分割複信方式の検討

双方向FPU実験装置を用いた基礎実験により、TDD方式の送受信時間の比率が大きく偏る場合、自動再送要求(ARQ：Automatic Repeat reQuest)情報の伝送に滞りが生じて、全体の伝送レートが大きく低下することを確認した。双方向FPUにおいては、上り回線と下り回線にさまざまな情報を乗せることを想定しており、送受信の伝送レートを柔軟に変更できることが要求される。そこで、TDDフレームとARQ情報を同期させ、TDDフレーム内で確実にARQ情報を伝送できるようなフレーム構成とすることにより、送受信時間の比率が大きく偏る場合でも伝送レートの低下が生じにくい送受信方法を考案した[1]。

前方誤り訂正(FEC：Forward Error Correction)とARQを組み合わせたHARQ(Hybrid ARQ)方式は、伝送効率を高められる方式として知られている。このため、本研究においてもHARQ方式を適用するためのパケット構成を検討した(図1)[2]。2012年度は同一パケットを再送するCC(Chase Combining)と、パリティー部分を再送するIR(Incremental Redundancy)合成について、スループットと遅延時間をシミュレーションにより評価し

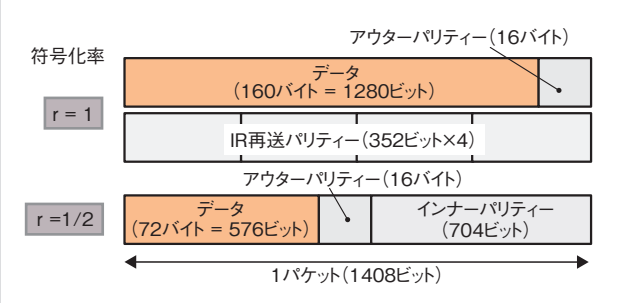

図1　HARQ方式のパケット構成例

た。その結果、同じ符号化率 r のFECを使用した場合、IR合成はCCよりも高スループットと低遅延時間を得られることを確認した。

■ 外部状況

電波産業会（ARIB）にて次世代デジタルFPU検討TGが設置され、双方向FPUの実現に向けた議論が開始された。

〔参考文献〕
(1)鵜澤，光山，池田："双方向FPUに向けたハイブリッドARQ方式の検討，"映情学技報，vol.36, no.10, pp.61−64, BCT2012−46（2012）
(2)鵜澤，光山，池田，平栗："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，vol.36, no.53, pp.7−10, BCT2012−103（2012）

4.4.3　800MHz帯周波数移行関連

総務省の周波数再編アクションプランに基づきFPUと800MHz帯特定ラジオマイクの周波数移行が検討されている。FPUは1.2GHz帯および2.3GHz帯への移行を、ラジオマイクはUHF帯（470〜714MHz）および1.2GHz帯への移行を検討している。技研では円滑な周波数移行に貢献するための研究を実施した。

■ FPU伝送技術

移動中継用のFPUとして、現行方式よりも伝送容量を拡大できる時空間符号化方式によるMIMO（Multiple−Input Multiple−Output）伝送の研究を進めている。MIMO伝送では、送信と受信が見通しとなる伝搬路において、多重する信号の相関が大きくなり、伝送特性が劣化することが知られている。そこで、送信信号の信号点配置を見直して、送信信号間の相関を小さくする手法を考案した[1]。この提案手法に基づいて、2送信2受信の2×2 STTC（Space−Time Trellis Code）−MIMO伝送装置を試作し、1.2GHz帯を使って技研周辺のコースで検証実験を行った。

1.2/2.3GHz帯実験試験局と2×2 STTC−MIMO伝送装置を用いて、京都、広島、びわ湖のロードレースコースで伝搬実験を行った。2012年度は、アンテナ間隔や直交偏波一体型アンテナの使用など送受信アンテナ条件と伝送特性の関係を調査し、SISO（Single−Input Single−Output）伝送に対するMIMO伝送の優位性を確認するとともに、情報通信審議会の技術的条件の検討に寄与した。

放射パターンを整形し、水平面において狭ビーム化することで高利得化した1.2GHz帯、2.3GHz帯の送信アンテナを設計、試作した。コース形状によって水平面内における放射パターンの半値角を適切に選ぶことで受信可能エリアが改善できるため、コーリニアアンテナ2素子を同相給電して素子間の距離を調整することにより水平面内の半値角を50度と70度に設定した。試作アンテナは、所望の放射パターンを得られることを測定により確認した。また、京都市内のコースにおける伝搬実験により、試作アンテナの狭ビーム化の効果が確認できた[2]。

■ ラジオマイク伝送技術

移行先周波数でも低遅延で高品質な音声を安定に伝送できるデジタルラジオマイクの研究を進めている。2012年度は、ユーザー要求条件に基づいて遅延時間が1m秒以下かつ帯域幅が600kHz以下でリニアPCMの音声が伝送可能な暫定方式を検討した。低遅延で安定な伝送を実現するため、OFDM信号のサブキャリアごとに4本の受信アンテナからの信号を最大比合成するダイバーシティ受信機能も実装し、マルチパスやフェージング環境での伝送特性を大幅に改善した[3]。イヤーモニター用としてステレオ伝送方式を検討、実験装置の試作と検証を行ない伝送可能であることを確認した。遅延時間に関しては回路構成を再検討し、リニアPCM音声を伝送するモードで、0.8m秒で伝送できることを確認した。

図1　低遅延型デジタルラジオマイク・イヤーモニター伝送実験装置（左：送信機、右：受信機）

ラジオマイク用として新たに割り当てられた1.2GHz帯では人体などの遮蔽による電波の減衰が懸念されることから、ラジオマイクを人体近傍に設置した際の放射特性を検討した。マイクと送信機が一体になった「ハンド型」と、マイクと送信機が分離した「2ピース型」を対象とし、数値人体モデルを用いて1.2GHz帯を評価した結果、ハンド型マイクではアンテナ利得損が14.5dB、2ピース型マイクでは18.5dBとなり、800MHz帯に比べて人体による放射パターンへの影響が2〜3dB程度大きくなることを確認した。また、この利得損を考慮して1.2GHz帯における回線設計を行なった結果、利用条件に応じて複数の受信アンテナを用いる空間ダイバーシティ法を適用することで、ユーザー要求条件の伝送距離100mが実現可能であることを確認した。

低遅延型ラジオマイクに関する各種の検討結果を情報通信審議会における技術的条件の検討に対して寄与した。

〔参考文献〕
(1)中川，池田："高相関MIMO伝搬路におけるSTTC−MIMO方式の特性改善，"映情学技報，vol.36, no.42, BCT2012−95, pp.41−44（2012）
(2)小郷，矢田貝，村上，池田："びわ湖毎日マラソンの移動中継における伝搬特性の改善，"映情学技報，vol.36, no.30, BCT2012−70, pp.41−44（2012）
(3)田口，中村，居相，岡野，濱住："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，vol.36, no.51, BCT2012−101, pp.39−42（2012）

4.4.4　ワイヤレス素材伝送技術

高品質で効率的な番組制作に貢献する技術が求められている。技研では、ミリ波を使った機動性の高いカメラの研究や、将来のギガビット級のワイヤレス素材伝送に向けた要素技術の研究を実施した。

■ ミリ波モバイルカメラの実用化

画質劣化の少ないハイビジョン映像を低遅延でワイヤレス伝送できるミリ波モバイルカメラの実用化を目指して、2012年度は運用性の改善を行った。OFDM復調部分のFFT窓位置制御の性能改善に加えて、MIMOの伝搬状況をリアルタイム表示するプログラムの作成を行った[1]。また、ハイビジョンカメラから出力される映像信号の同期が無線で安定して行えるように同期信号送り返し伝送機能の改善を行った。撮影範囲の拡大を目的として送受信アンテナの放射パターンの再検討も行った[2]。改善されたミリ波モバイルカメラは、NHK杯体操選手権、日本ゴルフツアー選手権、日本女子オープンおよび日本オープンゴルフ選手権、NHK紅白歌合戦の番組で使用された。

市販モデルの開発に向けては、MIMOに対応した変復調器の仕様検討と変調器の試作を行った。IF帯から42GHz帯への周波数変換部については、小型・低コスト・高信頼を目指した検討を開始し、フィルターなどのデバイスの評価を行って、安定した性能を実現できる見通しを得た。

■ 将来のワイヤレス素材伝送に向けた技術

大容量伝送を可能とする次世代のFPUやワイヤレスカメラの実現を目指して、周波数領域等化を行うシングルキャリア（SC−FDE）方式の検討を行った。SC−FDE方式の試験信号を発生し、ミリ波帯のフェージング環境を模擬した伝送路を通過させ、計算機で復調することによって誤り率特性の評価を行った。

また、伝送容量拡大に向けた基礎検討として、従来の2送信のMIMO伝送を発展させ、4以上の多送信実現の可能性を検討した。屋内外の撮影環境における2送信・4受信の電波伝搬のデータから4送信・4受信のMIMO伝搬路を推定、伝送容量の算出を行った。その結果、屋内環境では1740Mbps、屋外環境では870 Mbpsの伝送が理論的に可能（ARIB STD B−43規格のフルモードの帯域幅の場合）であることがわかった[3]。さらに、装置化が可能なMIMO復調方式の実現を目指した研究に取り組んだ。MLD（Maximum Likelihood Detection）方式に準じた復調性能を維持しつつ復調処理の演算量を削減するため、伝搬路行列を小さな伝搬路行列に分離して復調処理を行うブロックQRM−MLD（complexity−reduced MLD with QR decomposition and M−algorithm）方式を検討した。その結果、MLD方式の約10％の演算量で所要CNRの劣化が1dB以内に抑制可能であることを計算機シミュレーションにより明らかにした。

〔参考文献〕
(1) 鈴木，小郷，濱住：“42GHz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，vol.37, no.9, BCT2013−47, pp.37−40（2013）
(2) 小郷，鈴木，濱住：“42GHz帯ミリ波モバイルカメラの受信アンテナの検討とその伝搬実験，”映情学技報，vol.37, no.9, BCT2013−48, pp.41−44（2013）
(3) 鈴木，中川，池田：“屋内および屋外撮影環境におけるMIMO伝搬路応答特性の評価，”映情学誌, vol.36, no.30, pp49−52,（2012）

4.4.5　電波防護に向けた電磁界解析技術

近年、放送事業用無線設備の一部において送信電力の高出力化が検討され、それに伴い人体への電磁波曝露（ばく）の影響が懸念される。本研究では、電磁界解析技術を用いて人体への影響を精密に評価する技術を検討している。

■ 移動中継用FPUの周波数移行に向けたSARの解析

移行先の周波数では800MHz帯に比べて自由空間損失や回折損失が大きいため、現行のFPUよりも送信電力を高出力化することを検討している。これに伴い、送信アンテナ近傍での電磁波曝露（ばく）量が大きくなることが想定されることから、1.2GHz帯、2.3GHz帯のFPUの運用における電波防護に向けた比吸収率（SAR）の解析を行った（図1）[1]。その結果、1.2GHz帯は送信出力が25W、2.3GHz帯は40Wと大きいこと、また、人体組織の導電率が800MHz帯に比べて大きいことから、10g平均局所SARおよび全身平均SARが大きくなることがわかった。一方、アンテナからの離れるとSARは小さくなることから、送信アンテナから30cm以上離れることで電波防護指針を満足することが確認できた。

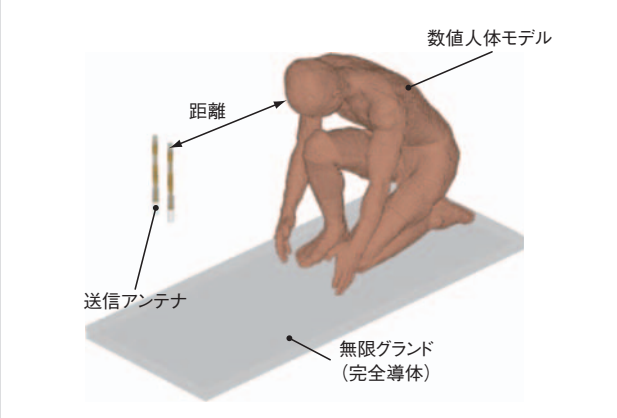

図1　FPUの運用におけるSAR解析モデル

■ ラジオマイクの周波数移行に向けたSARの解析

800MHz帯を利用するラジオマイクについてもUHF帯（470 MHz〜714MHz）および1.2GHz帯へ移行することが検討されて

いる。特に、ハンド型と呼ばれるマイクを手で持つタイプは使用する人によってアンテナの位置がさまざまであることから、人体からの距離、人体に対する高さ、人体に対する角度の三つをパラメーターとしてSARを解析した[2]。その結果、10g平均局所SARが最大でも0.2W/kg程度であり、どの周波数帯においても電波防護指針を大きく下回ることを確認した。

■ 連絡無線の運用における放射特性とSARの解析

VHF帯、UHF帯の放送事業用連絡無線の携帯型無線機の運用時における放射特性、および電磁波曝露量を明らかにすることを目的に、人体からアンテナの距離、放射パターン、アンテナ利得、SARを比較、評価した[3]。VHF帯、UHF帯ともに腕の影響を考慮することにより、放射方向によってアンテナ利得の差が2〜5dB程度あることを確認した。また、人体とアンテナの距離を10cm程度離すことによってアンテナ利得が約2dB改善できることがわかった。一方、電磁波曝露量については、アンテナと人体の距離を10cm程度離すことで、携帯電話に近い値まで小さくできることがわかった。以上のことから、連絡無線の効果的で安全な運用のためには、距離を10cm程度離すことが有効であることがわかった。

〔参考文献〕
(1)小郷，池田：“移動中継用FPUの周波数移行に向けたSARの解析，”映情学技報，vol.36, no.42, BCT2012−94, pp.37−40(2012)
(2)小郷，池田，濱住：“ハンド型ラジオマイクの運用を考慮したSARの解析，”映情学技報，vol.36, no.23, BCT2012−53, pp.5−8(2012)
(3)N. Kogo, T. Ikeda：“Effect of Human Posture on Antenna Performance of Push−to−Talk Transceiver in VHF and UHF Bands，”32nd Progress In Electromagnetics Research Symposium(PIERS2012)p.468(2012)

4.5　ISDB−Tの高度化

■ エリア放送関連研究

ホワイトスペースを利用するエリア放送が制度化され、一部地域で放送が開始されている。このエリア放送に関しては、既存の地上デジタル放送の受信に影響を与えないよう干渉波電力対雑音電力比(I/N)を−10dB以下とする保護基準が定められている。この基準を満足するか確認するため、低レベルISDB−T信号検出装置の検討を行っている。2012年度は、愛知県の鍋田ラジオ放送所に開設したエリア放送実験試験局で2011年度に試作した低レベルISDB−T信号検出装置を利用して野外実験による検証を行った。また、受信レベルの測定誤差を軽減する周波数誤差の精密推定機能[1]を追加した低レベルISDB−T信号検出アルゴリズムを市販のシグナルアナライザーへ実装した(図1)。

さらに、エリア放送の置局可能性を検討するため、エリア放送から地上デジタル放送への干渉レベルを計算するシミュレーションソフトウェアを開発し、上記保護基準を適用した場合の、出力条件の違いによる利用可能局数の検討を進めた(図2)。本ソフトウェアでは、送信アンテナ指向性を設定し、任意の置局場所による干渉計算が可能である。

また、総務省「新たな電波の活用ビジョンに関する検討チーム」のホワイトスペース特区先行モデルとして選ばれた「被災地におけるエリア限定ワンセグの活用実験」に向け、自治体などがエリア放送を使用して災害関連情報を提供することを想定した被災地情報収集送出システムを試作した(図3)。システムは、情報収集装置とワンセグ送信装置から構成される。情報収集装置は被災者や自治体公共機関から情報を収集することを想定し、安否情報や生活情報で構成されるデータ放送コンテンツを自動作成する。一方、ワンセグ送信装置は、カメラからの映像をエンコードし、データ放送コンテンツと多重して、ワンセグ放送信号を出力する。また、災害関連情報の増加に伴いカルーセル周期が長くなりデータ放送の受信に遅延が発生しないよう、情報内の画像の削減、カテゴリー数の削減、映像や音声の低レート化などの制御を自動で行う送出自動調整機能を開発し、本システムに実装した[2]。

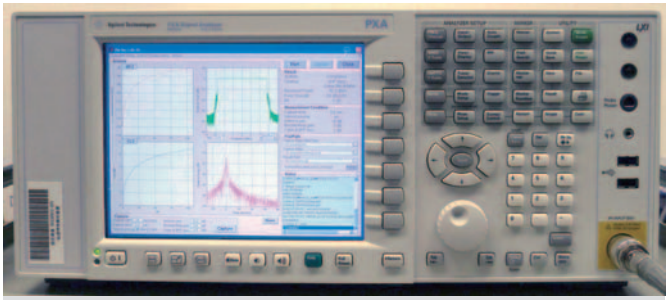

図1　市販シグナルアナライザーへ実装した低レベルISDB−T信号検出画面

■ 移動体向け伝送技術

次世代の地上デジタル放送のモバイル端末向けサービスとして、ハイビジョンクラスの高品質映像を提供できる伝送方式の検討を進めており、その伝送要素技術の一つとして複数の送受信アンテナを用いるMIMO−OFDMの検討を行っている。

2012年度は、複数の送信アンテナから同じデータを符号化して送信する時空間(SFBC：Space Frequency Block code)MIMO伝送方式と、複数の送信アンテナから違うデータを送信す

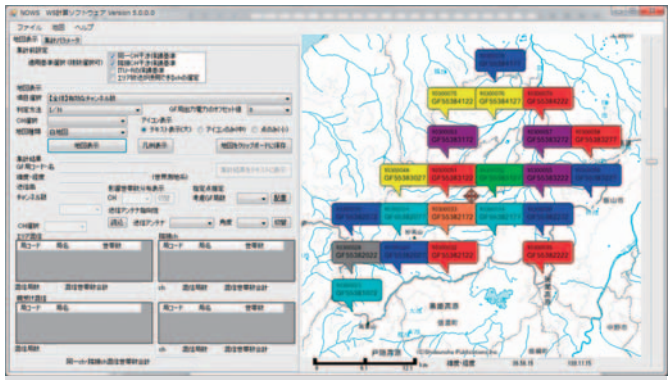

図2　干渉検討シミュレーションソフトウェアの画面例

る空間多重（SDM：Space Division Multiplexing）MIMO伝送方式について、同じ伝送効率における受信特性を計算機シミュレーションにより比較した[3]。移動受信環境下（最大ドップラー周波数10Hz）においては、伝送効率が低い場合は時空間MIMOの方が特性は1.0dB程度よく、高い場合は空間多重MIMOの方が0.4dB程度よくなることが明らかになった（図4）。なお、室内実験、野外実験による検証を行うため、変復調装置の試作も進めた。

また、時空間MIMO伝送方式について、水平（H）・垂直（V）偏波を用いた野外移動受信実験を行った[4]。最初に、2×2MIMOの送信アンテナ（H，V）および受信アンテナ（H，V）が、異なる場所にある場合と同一の場所にある場合の受信特性を比較した。受信電界強度に対する受信率で比較した結果、H·V偏波の二つの送信アンテナ、受信アンテナが同一場所でも特性は劣化しないことを確認した。次に、同じ伝送効率を満たす伝送パラメーター（キャリア変調多値数と誤り訂正符号化率の組み合せ）の受信特性を比較した。同様に、受信電界強度に対する受信率で比較した結果、変調多値数が小さく誤り訂正符号化率が高い場合の方が、その逆の変調多値数が大きく誤り訂正符号化率が低い場合より、全ての伝送効率において、受信率50％で1.0～2.0dB程度良い結果となった。

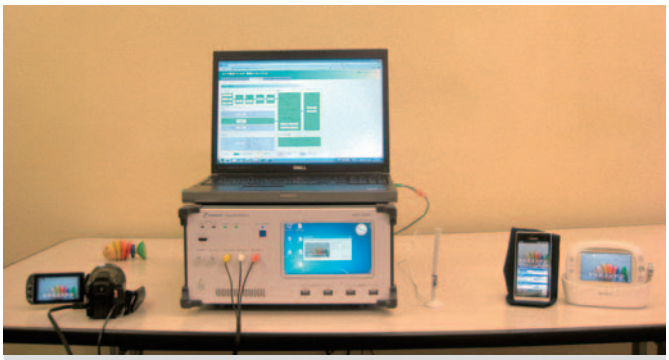

図3　被災地情報収集送出システムとワンセグ受信機での受信

〔参考文献〕
(1) 中村，成清，実井，岡野，高田：“超低レベルISDB-T信号検出装置の周波数誤差推定に関する検討，”信学総大，b-05-154（2013）
(2) 実井，中村，成清，高田：“被災地向けエリア限定ワンセグ放送自動制作・送出システムの試作，”信学総大，b-15-15（2013）
(3) 成清，中村，実井，高田：“直交化スキャッタードパイロットを用いたMIMO-OFDM伝送方式に関する基礎検討～計算機シミュレーションによる移動受信環境下での時空間MIMOと空間多重MIMOの比較～，”映情学誌，vol.37, no.9, BCT2013-51, pp.53-56（2013）
(4) 成清、中村、実井、高田：“水平・垂直偏波を用いたSFBC-MIMOの野外移動受信実験，”信学総大，b-05-174（2013）

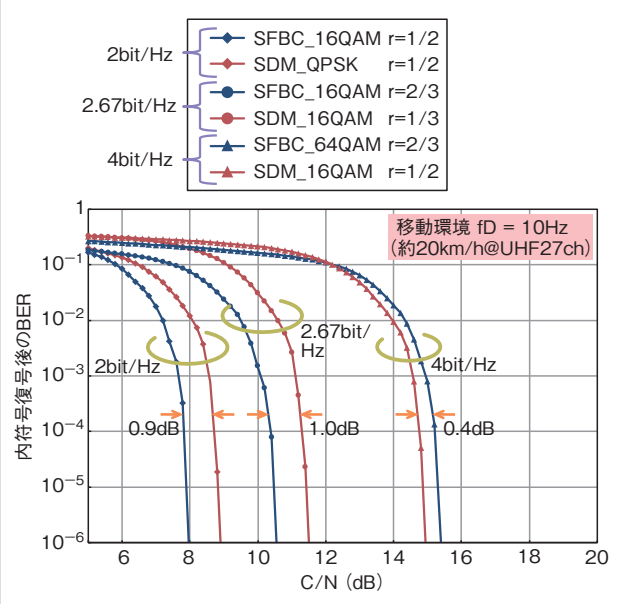

図4　3種類の伝送効率における各伝送方式の受信特性