5章 次世代地上放送に向けた研究開発動向

5-1 地上波で4K・8K放送を実現する技術手法の検討

土田 健一[†] (正会員)

キーワード：地上放送，4K・8K，階層伝送，ISDB-T，高度化，次世代

1. まえがき

衛星放送による4K・8Kの本放送開始が間近に迫っている。次は地上放送による4K・8Kの実現と考えており、現在、研究開発が進められている¹⁾。地上4K・8K放送については、地上テレビジョン放送用の周波数帯域内で新たにチャンネルを確保して4K・8K放送を実現する方法と、既存の地上デジタル放送チャンネルで現行地上デジタル放送に新たに信号を多重して地上4K放送を実現する方法が検討されている。本特集の5章では、これらの研究開発の動向を紹介する。まず5-1章で、地上テレビジョン放送用の周波数帯域内で新たにチャンネルを確保して4K・8K放送を実現する方法について述べる。

2. 地上テレビジョン放送の高度化技術に関する研究開発

NHKでは2007年以降、地上4K・8K放送の実現に向けて、

伝送方式の検討を進めている²⁾。特に、2016年度からは、NHK、ソニー、パナソニック、東京理科大学、NHKアイテックが、総務省の電波資源拡大のための研究開発「地上テレビジョン放送の高度化技術に関する研究開発」³⁾を受託し、連携して地上放送高度化方式（以下、高度化方式）の検討を進めている。

「地上テレビジョン放送の高度化技術に関する研究開発」の研究目標と研究項目を図1に示す⁴⁾。この研究開発の目標は、現行の地上テレビジョン放送ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting - Terrestrial)⁵⁾の階層伝送等の特長を継承しながら、伝送効率向上を可能とすることで、いっそうの電波の有効利用を進め、超高精細度地上放送（4K・8K放送）等のサービスが可能となる技術を確認することである。課題ア「地上放送高度化技術」、課題イ「移動体向けサービス高度化技術」、課題ウ「大規模局向け送信技術」、課題エ「地上放送高度化方式に対応したSFN (Single Frequency Network) 方式による中継技術」の4つ

[†] NHK 放送技術研究所

"Research and Development for a Next Generation Digital Terrestrial Broadcasting System; A Study on Technical Method to Realize 4K・8K Terrestrial Broadcasting" by Kenichi Tuchida (NHK Science and Technology Research Laboratories, Tokyo)

図1 地上テレビジョン放送の高度化技術に関する研究開発

の研究項目を進めている。

課題ア「地上放送高度化技術」では、4K・8Kと移動体向けサービスを1つのチャンネルで同時に提供できる伝送方式および符号化効率の良い映像符号化方式を開発し、装置を試作している。伝送効率を高めるために、超多値変調技術の利用、信号帯域幅やFFT (Fast Fourier Transform) サイズの拡大、新しい誤り訂正符号の導入などを行っている⁶⁾。また、FDM (Frequency Division Multiplexing) に限らずTDM (Time Division Multiplexing)、LDM (Layered Division Multiplexing) も含め、階層伝送フレーム構造を検討している^{7) 8)}。さらに、衛星放送と比較して伝送容量が小さい次世代地上放送において重要となる映像の符号化効率を向上させるための符号化雑音除去や映像帯域制限技術についても検討している⁹⁾。

課題イ「移動体向けサービス高度化技術」では、高度化方式の移動受信特性を評価し、受信改善技術を開発している。ISDB-Tのワンセグに相当する高度化方式の部分受信機能に関する設計・試作・評価や、キャリアや間干渉の改善など移動体向け受信改善技術を検討している^{10) ~ 12)}。

課題ウ「大規模局向け送信技術」では、大規模実験試験局の送信諸元を検討し¹³⁾、設備整備を行っている。さらに、信号帯域幅を拡大することに伴い、ISDB-Tとの共用条件も検討している¹⁴⁾。2018年秋には、この大規模実験試験局を利用して高度化方式の実証実験を予定している。

課題エ「地上放送高度化方式に対応したSFN方式による中継技術」では、複数の送信局から同一周波数で放送波を発射するSFN方式による中継技術を開発している。IP信号においてもSFNを実現できるよう、複数の送信局からの送信波形を同期させる技術を開発する。SFN実験試験局を整備し、2018年秋から野外実験で伝送特性を評価する予定である。

このように、高度化方式は、ISDB-Tの利点を継承しつつ、最新の技術を取り入れ、より周波数利用効率が高く、大容量で伝送耐性に優れた方式を開発しようとしている。また、大規模な野外実験試験環境の構築を行い、高度化方式の評価および検証を行う予定である。

以降、地上4K・8K放送を実現するために必要な伝送容量拡大技術を中心に高度化方式の技術内容および2018年秋から実施を予定している高度化方式の実証実験に向けた大規模実験試験局の概要を紹介する。

3. 地上テレビジョン放送の高度化方式の伝送技術

3.1 高度化方式の技術概要

現行地上放送の伝送方式であるISDB-Tは、マルチパス耐性に優れているOFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) を変調方式として用いている。周波数軸方向にセグメント構造を有し、1つのチャンネル (6 MHz) で固

定受信と移動受信の2つの受信環境に向けたサービスを同時に実現する階層伝送の機能を有する。高度化方式は、固定受信向けに4K・8K、移動体向けにハイビジョンを地上テレビジョン放送の1つのチャンネルを用いて同時にサービスできることを目指しており、そのためには伝送容量の拡大が必要となる。伝送容量を拡大する要素技術として、4096QAM等の超多値変調方式、LDPC (Low Density Parity Check) 符号、偏波多重MIMO (Multiple-Input Multiple-Output) などの研究が進められている¹⁵⁾。高度化方式の主な特徴を示す。

(1) ISDB-Tの機能を継承

高度化方式は、ISDB-Tと同様に、マルチパス耐性に優れるOFDMを変調方式とし、部分受信が可能なセグメント構造をとっている。FDMによる階層伝送であり、狭帯域受信機を想定した部分受信が可能な方式となっている。また、LLch (Low Latency channel) と呼ばれる低遅延伝送路も備えており、緊急地震速報などの重要情報を低遅延で伝送できるようにしている。

(2) 新たな信号構造による伝送容量の増加と柔軟性の向上

現在検討中である高度化方式の伝送パラメータを表1に示す。伝送容量の代表値として、伝送モードを4、GI (Guard Interval) 比を800/NFFT、キャリア変調を256QAM、内符号の符号化率を0.75とした場合の35セグメントの例を示している。高度化方式は、OFDM信号の帯域幅をISDB-Tより拡大する、シンボル長を長くしてGI比を小さくするなどフレーム構成の効率化も図ることでISDB-Tと比較して伝送容量が60%以上拡大している。

また高度化方式では、セグメント構造や伝送パラメータの選択肢の幅を広げている。セグメント数を13から最大35に増やし、各階層のビットレートを細かく調整できるようにしている。ISDB-Tでは部分受信用に用意されたセグメントが中央の1セグメント分のみであるのに対して、高度化方式では部分受信部の最強階層のセグメント数を1から9まで調整できる信号構造にしている。さらに、SP (Scattered Pilot) 比率、キャリア変調方式の多値数の選択肢を増やすことで、放送事業者のニーズに合わせて各階層の伝送容量や受信特性を選べるようにしている。

(3) 新たな特性改善技術の導入

高度化方式では、所要CN比 (Carrier to Noise Ratio) を低減するために、誤り訂正符号として、内符号にLDPC符号、外符号にBCH (Bose-Chaudhuri-Hocquenghe) 符号の接続符号を適用している。この接続符号の組み合わせは、欧州の第2世代地上デジタル放送方式DVB-T2¹⁶⁾や、わが国の4K・8K衛星放送の方式ISDB-S3¹⁷⁾にも採用されており、シャノン限界に近い特性を得ることができるとされている。高度化方式では、少しでも強い誤り訂正とするためLDPC符号長をDVB-T2やISDB-S3よりも長い69120ビットとして符号を設計した。

表1 ISDB-Tと高度化方式の伝送パラメータ比較

	ISDB-T	高度化方式
チャンネル幅 (MHz)		6
信号帯域幅 (MHz)	5.57	5.57もしくは5.83
セグメント分割数	14	36
セグメント数	13	33+調整帯域*, 35
セグメント帯域幅 (kHz)	429	167
伝送モード	1, 2, 3	3, 4, 5
FFTポイント数:NFFT	1024, 4096, 8192	8192, 16384, 32768
キャリア数	5617	7561, 15121, 30241
SP比率 (%)	8.3	8.3, 4.2, 2.1
伝送階層数		最大3階層
部分受信帯域セグメント数	1	1~9
FFTサンプル周波数 (MHz)	512/63	512/81
ガードインターバル (GI) 比	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	1/4, 1/8, 1/16, 1/32, 1/64, 1/256, 800/NFFT
キャリア変調方式	DQPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM, 1024QAM, 4096QAM (16QAM以上はNUCあり)
誤り訂正符号 (内符号)	畳み込み符号	LDPC符号
誤り訂正符号 (外符号)	リード・ソロモン符号	BCH符号
伝送容量の代表値 (Mbps)	18.2 (伝送モード3, GI比1/8, キャリア変調方式64QAM, 符号化率0.75, 13セグメント)	30.9 (伝送モード4, GI比800/NFFT, キャリア変調方式256QAM, 符号化率0.75, 35セグメント)

*調整帯域と1セグメント未満のキャリア数で構成される帯域。ISDB-T方式と同等の信号帯域幅になるようにキャリアを追加して調整する。

図2 NUCの一例

また、キャリア変調方式に不均一コンスタレーション (NUC: Non Uniform Constellation) を導入している¹⁸⁾。

図2に1024QAMと4096QAMにNUCを導入した場合の信号配置点を示す。各信号点に対するビット割り当ては、グレイコード化した信号点配置を用いる。

3.2 伝送容量と所要CN比

図3に、1チャンネル (6 MHz) 当たりの伝送容量と所要CN比の関係を示す。伝送モードは4, GI比は1/16, セグメント数は35セグメント, SP比率は8.3%として計算機シミュレーションにより算出した。ISDB-Tと比較すると、同じ所要CN比で伝送容量を約10 Mbps増加させ、同じ伝送容量で所要CN比を約7 dB低減できる。

4. 地上テレビジョン放送の高度化方式の実験試験局

高度化方式の実証実験を行う大規模実験試験局の概要を紹介する。高度化方式の実験は、東京地区および名古屋地

図3 伝送容量と所要CN比の関係

区において実施することを予定している。東京地区および名古屋地区の実験試験局の送信諸元を表2に示す。東京地区では親局規模の送信技術の評価および都市部での伝送実験を行う。名古屋地区では親局と中継局を設置して送信ネットワークを構築し、送信局間でIPを用いた同期化技術の検証を行うとともにSFN環境下での伝送実験を行う。

さまざまな受信環境で伝送方式を評価するためには、広い範囲に実験試験局の電波が届くことが必要であり、現行の地上放送の親局と同規模の送信電力を目標として送信諸元を設計した。実験試験局から地上テレビジョン放送波への影響については、実験試験局の送信チャンネルと同一および隣接するチャンネルを使用する近隣の放送エリアにおいて、実験試験局の受信電力に対する地上テレビジョン放送波の受信電力比を計算機シミュレーションで推定し、地上テレ

表2 実験試験局の送信諸元

	東京地区	名古屋地区	
送信場所	芝 (東京タワー)	東山（親局） (中京テレビ鉄塔)	鍋田（中継局） (NHK 鍋田ラジオ送信所)
送信周波数	563.143 MHz, 563.210 MHz (UHF 28ch)	605.143 MHz, 605.210 MHz (UHF 35ch)	
偏波	水平, 垂直（偏波多重MIMO）		
空中線構成	2段3面	1段3面	1段1面（2式, 方向切替）
送信機出力 (水平, 垂直)	1 kW	1 kW	10 W
ERP (水平, 垂直)	2.1 kW	980 W	74 W
送信海拔高	280 m	203 m	42.5 m

図4 実験試験局および実験エリアの目安

ビジョン放送の混信保護基準¹⁹⁾や文献¹⁴⁾に記載されている帯域幅拡大時の評価基準を満足することを確認した。

また文献¹⁴⁾の検討結果より、帯域幅を拡大した送信信号の周波数オフセットについては、現行の+1/7 MHzに加え+0.21 MHzも可能なように設計した。

送信諸元に基づき算出した実験エリアの目安となる電界強度60 dB μ V/mのコンターを図4に示す。現行の地上放送と同程度の所要CN比となる伝送パラメータを選択した場合、都市部や郊外、高速道路を含むさまざまな受信環境で評価することが可能となる。

5. むすび

「地上テレビジョン放送の高度化技術に関する研究開発」で取り組んでいる高度化方式の概要と2018年秋に電波発射を予定している大規模実験試験局の概要を紹介した。電波発射に向け、放送用周波数帯を使用している他事業者などと調整を図りながら実験の実施に向け準備を進めている。今後、野外実験による高度化方式の評価・検証に取り組み、次世代地上放送の実現を進めていきたい。

謝辞 東京および名古屋地区における実験試験局の整備は日本電波塔、中京テレビ放送の協力を得て進めている。また、本研究は総務省の電波資源拡大のための研究開発「地上テレビジョン放送の高度化技術に関する研究開発」による委託研究として実施したものであり、関係各位に感謝する。
(2018年7月31日受付)

〔文 献〕

- 1) 中村：“次世代地上放送の実現に向けた研究開発”，NHK R&D, 158, pp.28-35 (2016)
- 2) 竹内ほか：“次世代地上放送に向けた暫定仕様の検討”，映情学年次大, 31A-1 (2016)
- 3) 総務省：“平成28年度における電波資源拡大のための研究開発の提案の公募（別紙5）”，http://www.soumu.go.jp/main_content/000404772.pdf
- 4) 総務省：“放送サービスの未来を見据えた周波数有効活用に関する検討分科会 放送の高度化に関する研究開発（資料4-2）”，http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/kenkyu/housou_kadai/02ryutsu07_04000187.html
- 5) 電波産業会：“地上デジタルテレビジョン放送の伝送方式”，ARIB STD-B31 (2014)
- 6) 土田：“地上SHV放送を目指した研究開発－伝送容量拡大技術および周波数有効利用技術－”，映情学技報, 41, 43, BCT2017-95, pp.47-54 (2017)
- 7) L. Michael, et al: "Terrestrial Broadcast System using Preamble and Frequency Division Multiplexing", in Proc. IEEE BMSB (2017)
- 8) 大内ほか：“地上デジタル放送における階層伝送方式の比較～FDM/TDM/LDMの理論解析とシミュレーション評価～”，映情学年次大, 14C-2 (2017)
- 9) 松尾ほか：“次世代地上放送における符号化効率向上のための帯域制限装置の一検討”，映情学冬大, 14C-3 (2017)
- 10) 中村ほか：“次世代地上デジタル放送における移動受信特性の評価”，映情学冬大, 14C-2 (2017)
- 11) 大坪ほか：“次世代地上デジタル放送の部分受信における移動受信特性評価”，映情学技報, 42, 11, BCT2018-47, pp.39-42 (2018)
- 12) 大坪ほか：“移動受信環境下におけるMMSE型偏波MIMO-ICIキャンセラの特性評価”，映情学技報, 42, 5, BCT2018-26, pp.9-12 (2018)
- 13) 岡野ほか：“地上放送高度化技術の研究に用いる大規模実験環境の構築”，映情学技報, 42, 11, BCT2018-49, pp.47-50 (2018)
- 14) 白井ほか：“次世代地上放送暫定仕様の信号帯域幅拡張に関する検討”，映情学技報, 42, 11, BCT2018-48, pp.43-46 (2018)
- 15) S. Saito, et al: "8K Terrestrial Transmission Field Tests Using Dual-Polarized MIMO and Higher-Order Modulation OFDM", IEEE Transactions on Broadcasting, 62, 1, Pt.2, pp.306-315 (2016)
- 16) ETSI EN 302 755 V1.4.1: "Digital Video Broadcasting (DVB) : Frame Structure Channel Coding and Modulation for a Second Generation Digital Terrestrial Television Broadcasting System (DVB-T2)" (2015)
- 17) 電波産業会：“高度広帯域衛星デジタル放送の伝送方式標準規格 (2.0版)”，ARIB STD-B44 (2014)
- 18) 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, BCT2014-30, pp.117-120 (2014)
- 19) 電波産業会：“デジタル放送用受信装置（望ましい仕様）”，ARIB STD-B21 (2016)

つちだ けんいち
土田 健一 1990年、NHK入局。静岡放送局、放送技術研究所、技術局を経て、2011年より放送技術研究所に勤務。地上デジタル放送、高度広帯域衛星放送方式、次世代地上放送方式の研究・開発に従事。正会員。