

次世代地上放送に向けた暫定仕様に基づく伝送方式の マルチパス特性評価

—室内実験による ISDB-T との比較—

佐藤 明彦 蔀 拓也 竹内 知明 岡野 正寛 土田 健一

NHK 放送技術研究所 〒157-8510 東京都世田谷区砧 1-10-11

E-mail: {satou.a-cg, shitomi.t-gy, takeuchi.t-de, okano.m-fk, tsuchida.k-fy}@nhk.or.jp

あらまし 放送サービスの高品質化および高機能化に向けて、次世代地上放送の暫定的な仕様の検討を進めている。暫定仕様は、マルチパス耐性に優れた OFDM 変調方式や部分受信が可能なセグメント構造など、現行の地上デジタル放送の利点を継承しつつ、伝送耐性に優れた方式となるよう誤り訂正符号として LDPC 符号の適用を検討している。これまで、LDPC 符号化 OFDM の伝送特性が地上デジタル放送の畳込み符号化 OFDM と比較して優れていることを計算機シミュレーションにより確認してきた。今回、暫定仕様に基づく変復調装置を試作し、室内実験によりマルチパス環境における伝送特性を検証した。次世代地上放送の暫定仕様は、地上デジタル放送と比較して、マルチパス環境における伝送特性の劣化を抑えられることを確認したので、その結果について報告する。

キーワード 地上放送, OFDM, LDPC 符号

Transmission Performance over Multipath Environment of Proposed Specification for the Next Generation Terrestrial Broadcasting — Comparison with ISDB-T by Indoor Experiment —

Akihiko SATO Takuya SHITOMI Tomoaki TAKEUCHI Masahiro OKANO Kenichi TSUCHIDA

NHK Science & Technology Research Laboratories, 1-10-11 Kinuta, Setagaya-ku, Tokyo, 157-8510 Japan

E-mail: {satou.a-cg, shitomi.t-gy, takeuchi.t-de, okano.m-fk, tsuchida.k-fy}@nhk.or.jp

Abstract We are conducting the proposed specification for terrestrial broadcasting in order to make broadcasting services performance and quality higher. The proposed specification inherits the advantage of the current system. It also incorporates the latest technologies, such as LDPC code. We had confirmed that LDPC coded OFDM is inferior to convolutional coded OFDM over multipath environment. In this report, we evaluate the transmission performance of the proposed specification by indoor experiment using prototype equipment, and compared with current terrestrial broadcasting system. We confirmed that proposed specification can improve the transmission performance over multipath environment.

Keyword Digital Terrestrial Television Broadcasting, OFDM, LDPC codes

1. まえがき

日本の地上デジタル放送方式である ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting - Terrestrial)^[1]は、マルチパス耐性に優れた OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 変調方式や、携帯・移動受信用に部分受信が可能であるセグメント構造を有することを特徴としている。

筆者らは、ISDB-T を高度化し、地上放送で大容量コンテンツを伝送する次世代地上放送の暫定的な仕様 (以下、暫定仕様) を検討している^[2]。暫定仕様は、先述した地上デジタル放送の特徴を継承しつつ、大容量で伝送耐性に優れた伝送方式とするため、誤り訂正

符号に LDPC (Low Density Parity Code) 符号を使用することを検討している。LDPC 符号は、シャノン限界に漸近する性能を有することが広く知られており、外国の第二世代の地上デジタル放送である DVB-T2^[3]や ATSC3.0^[4]、通信の分野では LTE 方式などで、OFDM と LDPC 符号を組み合わせが採用されている。

一方、地上放送の伝搬路は、建造物や地形による反射波が到来しやすいマルチパス環境である。そのため、地上デジタル放送の検討においては、マルチパス環境での受信改善や、伝送特性の評価が盛んに行われてきた^{[5][6]}。次世代の地上放送方式の検討においても、マルチパス環境における伝送特性は、地上デジタル放送

と比較して同等もしくは改善することが望ましい。このため、著者らは、LDPC 符号化 OFDM 伝送と畳込み符号化 OFDM の伝送特性を、屋外で取得した伝送路特性を用いて計算機シミュレーションで評価し、LDPC 符号化 OFDM の伝送特性が優れることを示してきた^[7]。

今回、次世代地上放送に向けて検討している暫定仕様に基づく変復調装置を試作し、伝送路特性を変調波に付与できる装置を用いて、伝送特性を評価した。マルチパス環境における暫定仕様の伝送特性が地上デジタル放送と比較して改善することを確認したので、その結果について報告する。

2. 次世代地上放送の暫定仕様

暫定仕様は、現行の地上デジタル放送方式である 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となるよう留意している。

信号構造については、部分受信が可能なセグメント構造を維持しつつ、1 つのチャンネルの帯域幅 6MHz を複数のセグメントに分割する際の分割数を 14 から 36 に増やし、そのうち最大 35 セグメントを信号伝送に用いることとした。セグメント数を増やし、1 セグメントの帯域幅を狭めることで、固定受信と移動受信への帯域割り当てをより柔軟に行うことができる。

また、FFT サイズは、現行放送では 8192 ポイント（以下、8k ポイント）で運用されているが、暫定仕様では、最大で 32768 ポイント（以下、32k ポイント）まで拡大した。これにより、ガードインターバル長を物理長一定としたときのオーバーヘッドを削減し、伝送容量を拡大することができる。

また、誤り訂正符号に LDPC 符号と BCH 符号を採用し、雑音耐性を大幅に向上させることができる。なお、LDPC 符号には高度衛星デジタル放送に用いられる符号長 44880 の検査行列を用いている。文献[2]において、本稿と同一の変復調装置を用いた室内実験により、ガウス雑音環境における伝送容量が、地上デジタル放送と比較して大幅に改善することが示されている。

3. 伝送特性の評価

3.1. 評価方法

図 1 に、伝送特性の評価手法を示す。マルチパス環境における伝送特性を室内実験で評価するため、野外実験により、屋外の伝送路特性を取得した。取得した伝送路特性を遅延プロファイルモード付きフェージングシミュレータ（以下、フェージングシミュレータ）に入力することで、変調信号に対して、伝送路特性に基づいた電波伝搬環境を再現することができる。フェージングシミュレータから出力される信号を、暫定仕様は試作の復調器に、地上デジタル放送は受信機に入

力し、伝送特性を評価する。

伝送特性として、暫定仕様は BER 特性を、地上デジタル放送は受信機の映像を用いて評価した。暫定仕様は、外符号として BCH 符号を用いるため、内符号である LDPC 符号の復号後の BER が 1.0×10^{-7} 以下となることを擬似エラーフリーの条件とした^[8]。

地上デジタル放送は、受信機における映像を 30 秒間観察し、ブロックノイズが出ないことをエラーフリーの条件とした。

3.1.1. 伝送路特性の取得

世田谷区砧にある NHK 放送技術研究所に設置した実験試験局から 5.57MHz 帯域幅の OFDM 信号を送信し、送受信点間距離 0.5km~6km の範囲にある 19 地点にて、伝送路特性を取得した。伝送路特性は、変調信号に含まれる SP (Scattered Pilot) 信号から推定した。また、実験試験局は、水平偏波と垂直偏波を同一の空中線から発射することが可能であるため、各地点での測定時には、送信する偏波面を切替えて電波を発射し、両方の偏波の周波数特性を取得した。

様々な周波数特性を用いて伝送特性を評価するため、戸建の住宅で屋根上に受信アンテナを設置することが想定される地点に加え、建造物の真裏など到来方向が遮蔽されており、受信アンテナの設置が想定されない地点も含めて測定した。

3.1.2. 室内実験

室内実験の系統を図 2 に示す。

次世代地上放送の暫定仕様と地上デジタル放送の変調装置から発生させた変調信号に対して、フェージングシミュレータを用いて伝送路特性を付与する。伝送路特性が付与された変調信号を、暫定仕様は試作した復調装置へ、地上デジタル放送は 8 種類の受信機へ入力し、38 サンプル（19 地点×2 偏波）の伝送路特性を用いて伝送特性を評価した。

3.1 節で述べたように、伝送特性の評価は、暫定仕様は BER 特性を、地上デジタル放送は受信映像を用いて評価する。具体的には、図 2 に示す可変 ATT（減衰

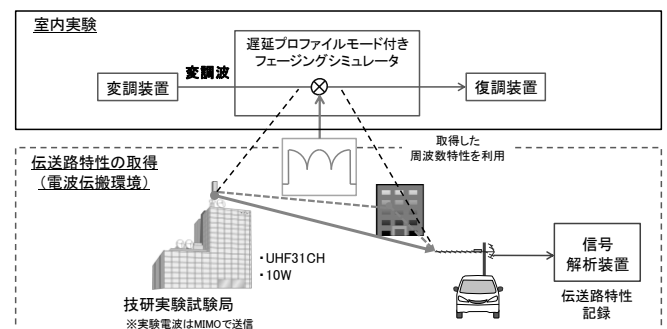


図 1 伝送特性の評価手法

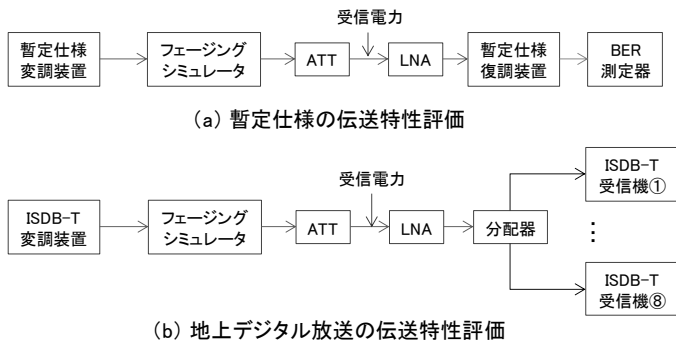


図 2 室内実験の系統

表 1 室内実験における変調パラメータ

システム	暫定仕様	地上デジタル放送
帯域幅	33 セグメント(5.5MHz)	13 セグメント(5.57MHz)
FFT サイズ	32k	8k
キャリア間隔	125/162 KHz	125/126 KHz
キャリア本数	28512 本	5617 本
GI 長	162 μ 秒	126 μ 秒
GI 比	1/32	1/8
SP 比率	1/24 (Dx=12, Dy=2)	1/12 (Dx=3, Dy=4)
キャリア変調	256QAM	64QAM
誤り訂正符号	LDPC 符号 符号長 44880(R=10/15)	畳込み符号 (R=3/4)
エラーフリー	LDPC 復号後の BER が 1.0 \times 10 ⁻⁷ 以下	30 秒間映像を観察し ブロックノイズが発生しない

器：Attenuator) を用いて LNA (Low Noise Amp) へ入力する電力 (以下, 受信電力) を減衰させ, BER 特性および受信映像を観測し, エラーフリーとなる最小の受信電力 (以下, 所要受信電力) を測定した。

3.1.3. 実験パラメータ

室内実験における変調パラメータを表 1 に示す。暫定仕様の信号構造は, FFT サイズを 32k ポイントとし, 地上デジタル放送の帯域幅 5.57MHz に最も近い 33 セグメント (帯域幅 5.5MHz) とした。地上デジタル放送の信号構造は現在の運用パラメータと同様, 8k ポイントの FFT サイズ, 13 セグメント構造とした。

地上デジタル放送の所要 C/N は約 20dB である。これと所要 C/N が同等である暫定仕様の変調パラメータは, 計算機シミュレーションにより評価した結果, キャリア変調が 256QAM, 符号化率 10/15 となり, その所要 C/N は 19.3dB であった。本稿では, この変調パラメータを用いた暫定仕様と地上デジタル放送を比較する。

3.2. 室内実験結果

3.2.1. 所要受信電力劣化量の定義

図 3 に, 実験で用いた伝送路特性と, 受信電力対 BER 特性の一例を示す。図 3 に示すように, マルチパスの厳しい伝送路特性を付与した場合, BER 特性が受信電力の大きい方向へシフトする。この際, ガウス雑音環

境における所要受信電力と, マルチパス環境における所要受信電力を測定し, この差分を”所要受信電力劣化量”と定義し, 本報告における伝送特性の評価指標とする。図 3 の例では, ガウス雑音環境における所要受信電力が -80.9dBm, マルチパス環境における所要受信電力が -79.2dBm であるため, 所要受信電力劣化量は 1.7dB となる。

3.2.2. 暫定仕様の伝送特性

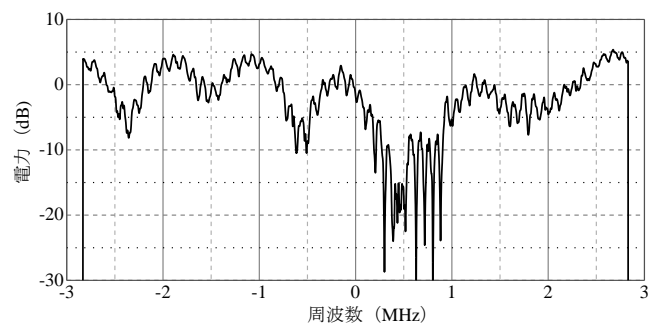
図 4 に, 室内実験で測定した暫定仕様の所要受信電力と, 所要受信電力劣化量を示す。横軸には地点番号および偏波面を, 縦軸には所要受信電力および所要受信電力劣化量を, 昇順に整理して示している。

暫定仕様のガウス雑音環境における所要受信電力は -80.9dBm, マルチパス環境における所要受信電力は -80.9dBm~-78.3dBm, 所要受信電力劣化量は 0dB~2.6dB であった。

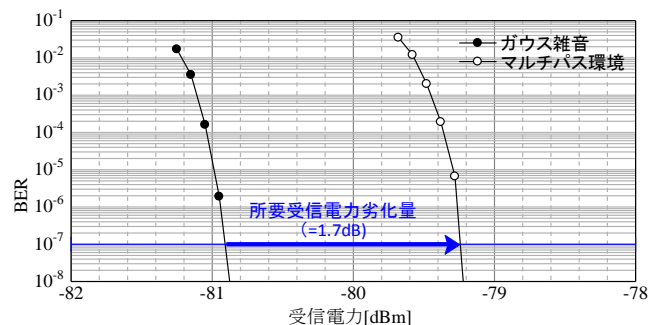
3.2.3. 地上デジタル放送との比較

図 5 に, 室内実験で測定した地上デジタル放送の所要受信電力劣化量を示す。地上デジタル放送は 8 種類の受信機を用いて所要受信電力を測定したため, 図 6 中, 棒グラフとして中央値を, 最大値および最小値を帯状に示し, 中央値の昇順に整理している。地上デジタル放送の所要受信電力劣化量の中央値は, 0.1dB~5.3dB であった。

図 6 に, 暫定仕様の所要受信電力劣化量と地上デジタル放送の受信電力劣化量の比較を示す。図 6 から, 全ての伝送路特性について暫定仕様の所要受信電力劣

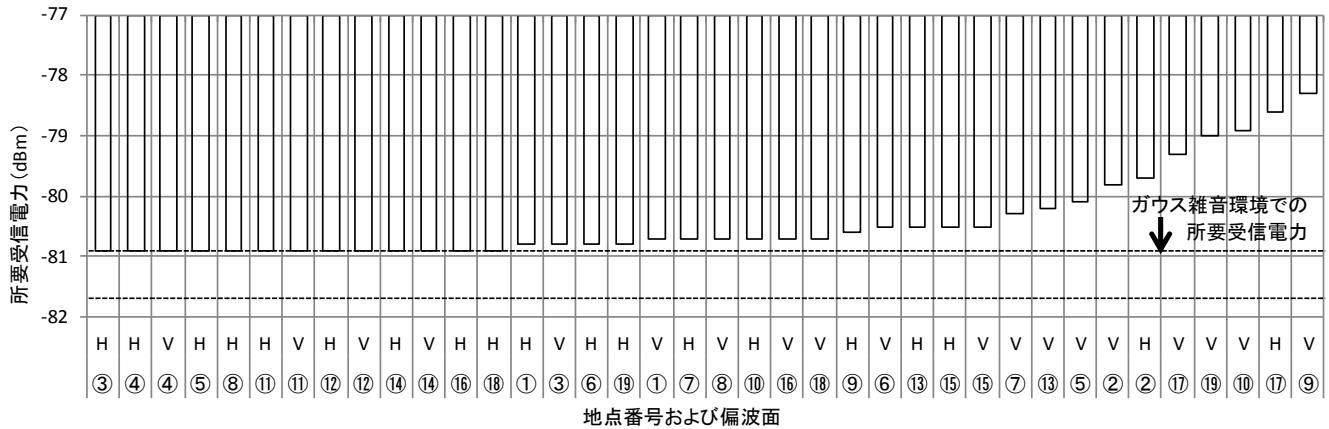


(a) 周波数特性

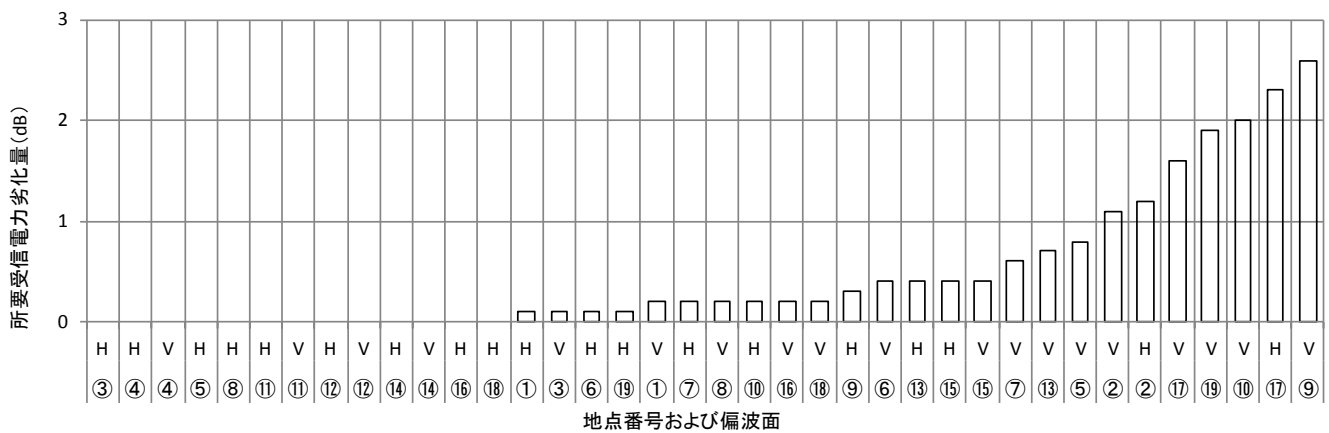


(b) 受信電力対 BER 特性

図 3 伝送路特性と受信電力対 BER 特性の一例



(a) 所要受信電力



(b) 所要受信電力劣化量

図 4 室内実験で取得した暫定仕様のマルチパス環境における伝送特性

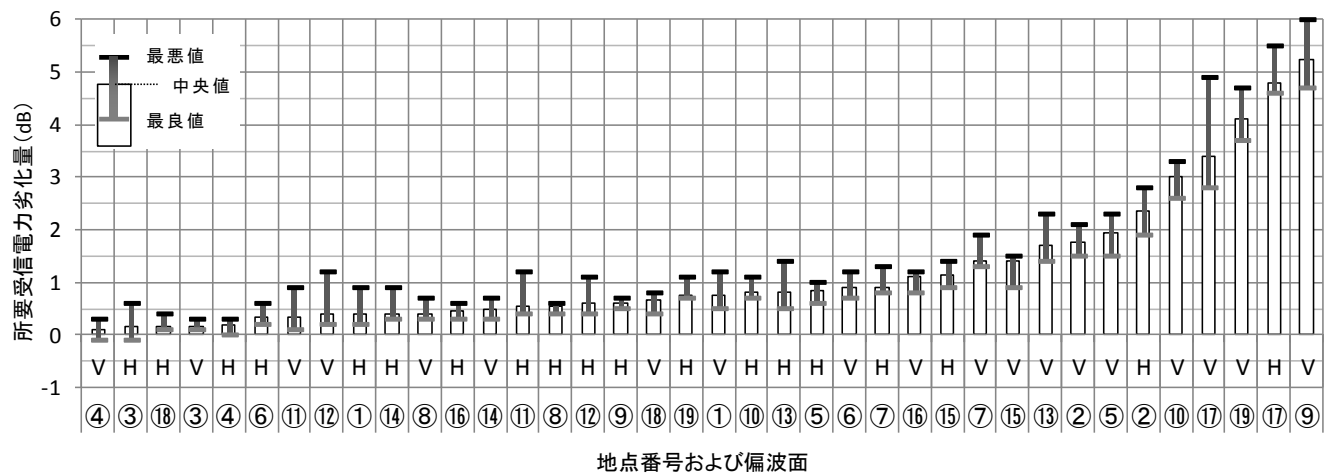


図 5 室内実験で取得した地上デジタル放送のマルチパス環境における伝送特性

化量は地上デジタル放送の所要受信電力劣化量の中央値より小さいことが確認できる。特に所要受信電力劣化量の大きい伝送路特性については、地上デジタル放送からの改善量が大きい傾向があることがわかる。

3.2.4. 考察

暫定仕様は誤り訂正符号として LDPC 符号を適用し

ており、今回の評価では符号長 44880 の検査行列を用いている。一方、地上デジタル放送は拘束長 7、符号化率 3/4 の畳込み符号を用いている。畳込み符号の復号には、Viterbi 復号が用いられるが、一般的にメモリ長は 100 程度と想定される。このメモリ長は、一回の誤り訂正復号における符号長と同等であり、LDPC 符号の 44880 に対して小さい。一般的に誤り訂正符号の

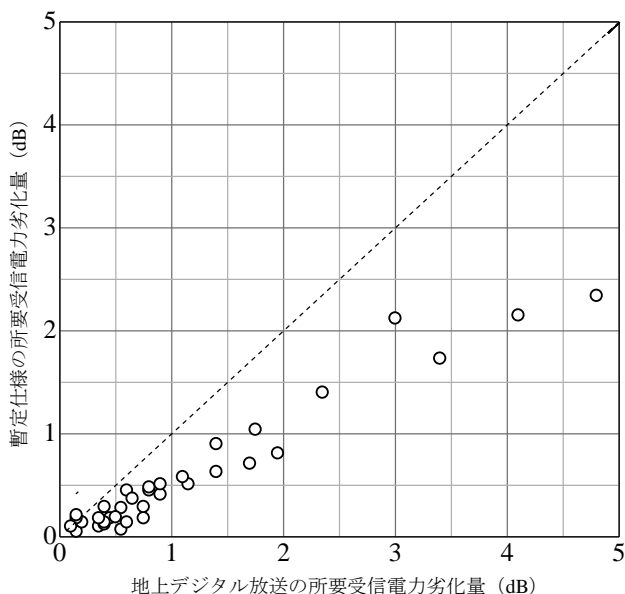


図 6 暫定仕様と地上デジタル放送の比較

誤り訂正能力は、符号長が長いほど高いため、符号長を長くとることのできる LDPC 符号を適用した暫定仕様の方が、伝送特性が良好となる結果になったと考えられる。

また、図 3 (a) に示したように、厳しいマルチパス環境において周波数特性に歪みが生じた場合、電力の落ち込んだ OFDM サブキャリアは C/N が小さくなる。この場合、誤り訂正で復号に用いる尤度もしくは LLR (Log-Likelihood Ratio) は信頼度の低い値となる。Viterbi 復号では、復号過程に信頼度の低い尤度が存在すると、後段の訂正に誤りが伝搬する性質があるが、LDPC の復号は、符号長の中で信頼度の高い LLR が伝搬する性質がある。このため、LDPC 復号における繰り返し回数が十分に大きければ、C/N が大きいサブキャリアの LLR によって誤り訂正され、厳しいマルチパス環境においても伝送特性が劣化しにくい。今回の結果は、これらの性質に起因するものと考えられる。

4. まとめ

次世代地上放送に向けて検討を進めている暫定仕様に基づく変復調装置を試作し、フェージングシミュレータを用いて、マルチパス環境における伝送特性を評価した。

8 種類の受信機を用いて評価した地上デジタル放送の伝送特性と比較して、所要受信電力劣化量を抑えられることを確認した。

今後、試作した変復調装置を用いて屋外における受信実験を行い、暫定仕様の伝送特性の検証を続けていく。

文 献

- [1] (社)電波産業会 (ARIB): "地上デジタルテレビジョン放送の伝送方式", STD-B31
- [2] 竹内 他: "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(Aug.2016)
- [3] DVB: "DVB-T2 Standard", <https://www.dvb.org/standards/dvb-t2>
- [4] ATSC: "A/322: ATSC Candidate Standard – Physical Layer Protocol", <http://atsc.org/wp-content/uploads/2015/10/S32-230r21-PHY-STD-CS.pdf>
- [5] 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)
- [6] 山崎, 久保: "地上デジタル放送におけるマルチパス環境に関する一検討", 映情学年次大, 13-4(Feb.2014)
- [7] 佐藤 他: "地上放送でのマルチパス環境における LDPC 符号化 OFDM の伝送特性", 映情学技法, vol.40, no.23, BCT2016-53, pp.1-4, (July.2016)
- [8] DVB: "DVB-T2 Implementation Guidelines", <https://www.dvb.org/standards/dvb-t2>