

# 地上デジタル放送におけるデジタル受信技術と フロントエンド評価技術

Reception Technology and Front-End Evaluation Systems for Digital Terrestrial TV Broadcasting

川辺 武司\*1  
Takeshi Kawabe

内田 美紀\*2  
Miki Uchida

## 要 旨

地上デジタル放送用受信機のフロントエンド部を開発した。シングルコンバージョンチューナとOFDM復調制御技術により受信感度-82.0dBm(変調方式:64QAM,符号化率:3/4)を達成した。受信性能向上の必要条件を分析し、隣接妨害特性においてはアナログ隣接妨害特性-38dB,デジタル隣接妨害特性-31dBを達成した。フロントエンド部の開発にあたり、地上デジタル用フロントエンド評価システムを構築した。

今回開発したフロントエンド部は当社が業界に先駆け発売した、地上デジタルハイビジョン液晶テレビ AQUOS (アクオス) に搭載されている。この論文では地上デジタル放送の受信技術とその評価技術について述べる。

We have developed high performance front-end systems for digital terrestrial TV. The receiving sensitivity of -82.0dBm (where modulation is 64QAM and code rate is 3/4) has been achieved by using the new single conversion tuner and the OFDM demodulation control technology. Analyzing the requirement to improve receiving performance, we have achieved D/U (Desired / Undesired ratio) of -38dB for NTSC adjacent channel interference and -31dB for Digital adjacent channel interference. We have built a front-end evaluation system for development of the receiver for digital terrestrial TV. This front-end system is equipped in the high definition LCD television AQUOS for digital terrestrial broadcasting, which Sharp released in advance to other companies. This paper describes the reception technology and front-end evaluation systems for digital terrestrial TV broadcasting.

## まえがき

2003年12月より地上デジタル放送が基幹メディアとしてスタートした。今後放送のデジタル化の普及が急速に進み、デジタル家電の中核をなすことが期待されている。また、2011年7月には現行のアナログ放送が停止される予定である。地上デジタル放送受信機のキー技術である伝送方式はマルチパスに強く、SFNの構築が可能なOFDM方式が採用され、周波数利用効率の向上が期待される<sup>1)</sup>。

BS デジタル放送と異なり、地上デジタル放送では電波伝搬が複雑でマルチパス妨害や雑音妨害、現行アナログ放送からの干渉妨害を受けるため、高感度高性

能なフロントエンド部が要求される。デジタル放送では雑音による受信 C/N の低下や干渉妨害による所要 C/N の上昇により正常な受信ができなくなると急激に映像・音声が乱れ受像できない状態に陥る。これは一般にクリフ効果と呼ばれておりデジタル放送特有の現象である。このような弊害を除去するためにもフロントエンドの性能を極限まで向上する必要がある。

今回我々は高感度高性能なフロントエンドを実現するために実際のフィールド受信環境と同等の試験を可能とするテストベッドを構築し、感度と干渉妨害による影響を低減する最適制御したフロントエンド部を実現したので報告する。

\*1 A1239 プロジェクトチーム

\*2 AV システム事業本部 液晶デジタルシステム事業部 第6技術部

## 1. 地上デジタル放送受信技術

### 1.1 地上デジタル放送の伝送方式

日本では、米国、欧州に続き地上デジタルテレビジョン放送を開始するにあたり、マルチパスに強く周波数利用効率の良い日本独自のBST-OFDM（Band Segmented Transmission - Orthogonal Frequency Division Multiplexing）方式を開発した。

BST-OFDM方式では4つのパイロット信号（SP：Scattered Pilot, CP：Continual Pilot, TMCC：Transmission and Multiplexing Configuration Control, AC：Auxiliary Channel）を用いて受信機の同期及び制御を行っている。伝送パラメータは、3つのモード（Mode1, Mode2, Mode3）、4つのガードインターバル長（有効シンボル長に対して1/4, 1/8, 1/16, 1/32）、4つの変調方式（DQPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM）、5つの畳み込み符号化率（1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8）から選択することができる。最大情報レートは23.2Mbpsとなり、HDTVで1チャンネル、SDTVで3チャンネルの伝送が可能である。しかし、これら全てのモード、ガード

表1 BST-OFDM方式の運用パラメータ

Table 1 Transmission parameters of BST-OFDM.

モード	Mode2	Mode3
セグメント数	13	
帯域幅	5.573MHz	5.572MHz
キャリア間隔	125/63=1.984kHz	125/126=0.992kHz
キャリア総数	2809	5617
キャリア変調方式	QPSK, 16QAM, 64QAM	
シンボル数	204（シンボル/フレーム）	
有効シンボル長	504 $\mu$ s	1008 $\mu$ s
ガードインターバル長	126 $\mu$ s (1/4), 63 $\mu$ s (1/8)	252 $\mu$ s (1/4), 126 $\mu$ s (1/8), 63 $\mu$ s (1/16)
フレーム長	128.52ms (1/4), 115.668ms (1/8)	257.04ms (1/4), 231.336ms (1/8), 218.484ms (1/16)
内符号	畳み込み符号 (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8)	
外符号	RS (204, 188)	
情報速度	3.651Mbps~23.234Mbps	
FFTサンプル	Fs=8.126984127MHz (=512/63)	
多重フレーム	2304	4608

表2 主流となる運用パラメータ

Table 2 Main transmission parameters.

Mode3, ガードインターバル:1/8 (=126 $\mu$ sec)				
	変調方式	符号化率	情報レート	所要C/N
1セグメント	QPSK	1/2	312.06Kbps	4.9dB
12セグメント	64QAM	3/4	16.848Mbps	20.1dB

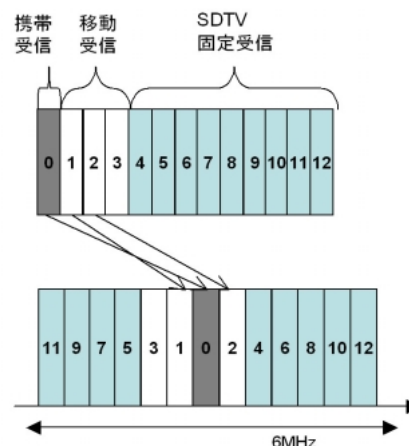


図1 階層伝送及び部分受信

Fig. 1 Hierarchical transmission and narrow band reception.

インターバル、変調方式、符号化率の組み合わせを運用可能とするためのLSIの開発は非現実的であることから、運用パラメータとしては実際に必要と考えられるパラメータのみに制限されている。すなわち、長遅延マルチパスに対応するためガードインターバル長は126 $\mu$ sec以上であることが望ましいとしてMode1は運用外とした。但し、将来的な送信局配置の柔軟性を考慮し、Mode2, Mode3においては63 $\mu$ secのガードインターバルも運用モードに含めることとした。変調方式では、DQPSK, QPSK, 16QAM, 64QAMの内、DQPSKは性能面でQPSKに対する優位性が認められず運用外となった。表1にJEITA・運用規定TR-B14で定められた実際の運用パラメータ、表2に本放送で主流となる運用パラメータを示す。

図1に地上デジタル放送のアプリケーションである階層伝送と部分受信のイメージ図を示す。全13個のOFDMセグメントは帯域幅5.57MHzとなる。最大3階層の階層伝送が可能であり、階層ごとにそれぞれ異なる変調方式を採用することができるため、携帯受信、移動受信も可能となる。これは、欧米にはない日本の地上デジタル放送の特長である。

### 1.2 伝送路の諸問題

地上デジタル放送では、BSデジタル放送と異なり様々な受信障害が予想される。特に考慮すべき受信障害について以下に述べる。

#### (1) 弱電界特性

理論的には、受信信号レベルは距離の2乗に比例して減衰する。送信タワーから遠く離れ、受信信号が受信可能な限界レベル（電界60dB $\mu$ V/m）付近まで減衰するフリンジエリアにおいては、受信可能なエリア内であっても電波伝搬状況によっては所要入力レベルを下回り、ブロックノイズが発生することがある。

(2) 強電界特性

送信タワー近傍では強電界のため受信機のチューナ内部のアンプによりIM (Inter Modulation) などの歪みが発生する。また、使用するブースターによっては、ブースター内部で歪みが発生することがある。強電界で十分なC/Nが得られている場合でも、このような歪みによりデジタル復調時の希望波帯域内にスプリアスが発生し、BER (Bit Error Rate) が劣化することがある。

(3) マルチパス及びマルチパスフェージング<sup>2)</sup>

送信側から送信された信号が受信側に直接届く直接波と、建造物などに反射し数 $\mu$  sec ~ 数十 $\mu$  sec の遅延を伴った遅延波とを同時に受信した場合、干渉妨害が生じる。このような環境では、複数の信号が合成されることにより、受信電力が落ち込む周波数が生じ、所要C/Nが上昇する。また、木々、トラックなどの反射物体のゆれにより電界のゆらぎが生じると、周波数選択性フェージングとなりBERを著しく劣化させる。

(4) 同一チャンネル妨害

実際のチャンネルプランにおいては、視聴中のデジタル放送と同じチャンネル周波数を持つアナログ放送を受信してしまう地域が存在する。この場合、アナログ信号が妨害波となり、デジタル放送波の特定のキャリア信号にダメージを与えBERを劣化させる。

(5) 隣接妨害及びアナログ干渉妨害

1chおきにチャンネル配置されているアナログ放送と異なり、デジタル放送では連続するチャンネルへの配置が許されるため、デジタル隣接妨害干渉が生じる。また、アナログ放送とデジタル放送の送信電力差が大きい場合、強いアナログ波の影響を受けデジタル放送波のBER特性が劣化するチャンネルが発生する。例えば近畿地区では放送開始当初、18chのテレビ大阪(デジタル放送)は10Wで送信され、19chのテレビ大阪(アナログ放送)は10kWで送信されており(D/U=-30dB)、デジタル放送受信においてBERが劣化する(デジタルマスク問題)。

1・3 地上デジタル放送受信技術

前述のような様々な受信障害を克服するために重要となる地上デジタル放送受信技術について述べる。

(1) AGC (Auto Gain Control) 制御

利得制御方式はRF遅延AGC回路により、受信機の入力信号が所定レベル以上になるまではチューナの高周波増幅回路の利得を最大にしておき、それ以上の信号レベルでは高周波増幅回路の利得を低下させる。これにより、弱電力信号の受信においてはフルゲインで動作し、S/Nが向上する。一方、強電力信号の受信や強い隣接チャンネル妨害が発生する場合の受信におい

ては、高周波増幅回路の利得を下げることにより混変調歪みを抑えることができる。今回開発したフロントエンドでは、RF遅延AGC回路の利得制御における切換ポイントを最適化することで弱電界及び隣接妨害に強い特性を実現した。

(2) FFT (Fast Fourier Transform) 窓位置の制御

OFDMでは、マルチパスによる符号間干渉を回避するためにガードインターバルを設定している。ガードインターバルは、IFFT後の出力データのうち時間的に後ろ側から指定された時間長のデータを有効シンボルの前に付加したものであり、受信側ではマルチパスによって符号間干渉が想定されるガードインターバル内のデータを用いず、干渉の生じていないデータを用いて復調(FFT)する。すなわち、マルチパスの遅延時間がガードインターバル内に収まっていれば、受信信号の直交性が確保される。

受信側ではFFT窓位置を適切な位置に制御する必要がある。図2は、表3に示したマルチパス環境においてFFT窓位置の受信特性への影響を示したものである。窓位置A及びBは、図3に示すような最適でない場合の例であり、窓位置Aは有効シンボル長に対して0.3%の符号間干渉を含んだ位置、窓位置Bは有効シンボル長に対して0.5%の符号間干渉を含んだ位置となっている。

図2より、所要C/N (BER=2.0E-4となるC/N)は、最適制御の場合27.5dB、窓位置Aの場合28.1dB、窓位置Bの場合33.0dBとなり、窓位置Bの場合最適制

表3 マルチパス条件  
Table 3 Multipath conditions.

Path	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
遅延時間 [ $\mu$ sec]	0	0.2	0.5	1.6	2.3	5
位相 [度]	0	0	0	0	0	0
D/U [dB]	3	0	2	6	8	10

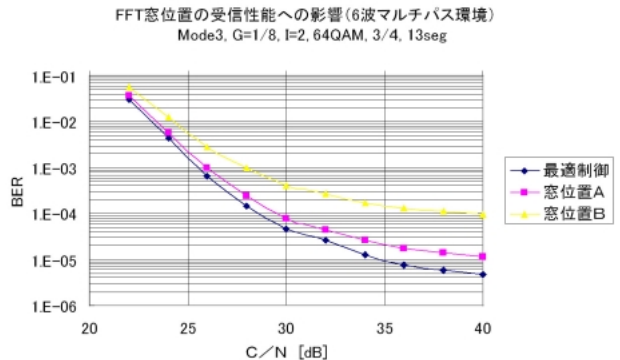


図2 FFT窓位置と受信性能  
Fig. 2 FFT window position and receiver performance.

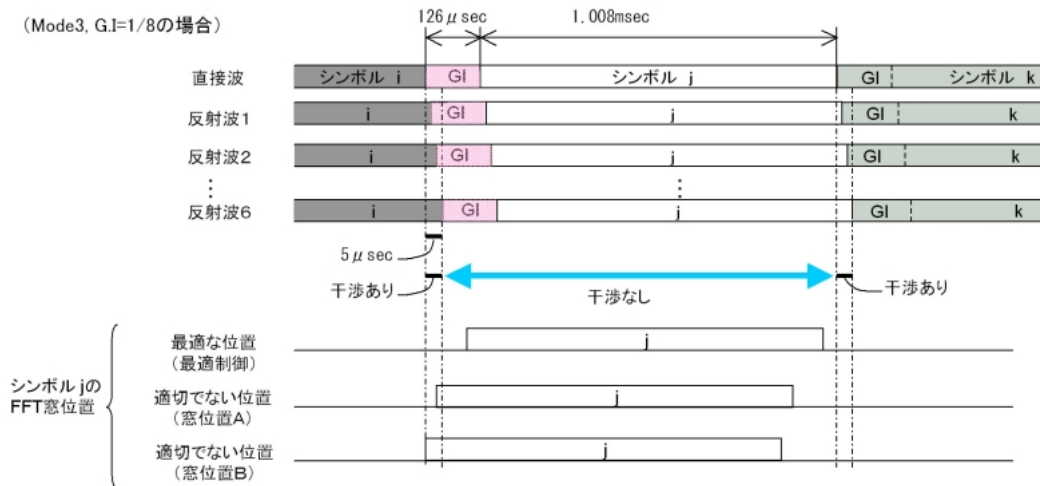


図3 FFT窓位置制御

Fig. 3 FFT window control.

御より 5.5dB 劣化している。従って、FFT 窓位置は符号間干渉の生じない適切な位置に制御する必要がある。

(3) 伝送路推定技術及び誤り訂正技術

受信機における伝送路推定技術として、一般にはSPを用いて伝送路の推定を行い、推定結果に基づいてQAM (Quadrature Amplitude Modulation) の同期復調を行う。マルチパスやアナログ同一チャンネル妨害環境下では特定のキャリアにおいて伝送路推定の精度が低下するため、ピタビ復号後の信号において誤りが増大する場合がある。この問題を解決するため、CSI (Channel State Information), CVI (Carrier Variance Information) を用いて伝送路推定及び誤り訂正能力の改善を行っている。

CSIは伝送路の状態に関する情報であり、これを利用してS/Nの劣化したキャリアを低信頼性キャリア、S/Nの高いキャリアは高信頼性キャリアとし、これらを雑音レベルに応じて重み付けを行うことで誤り訂正能力を高めている。レーリーフェージング環境、変調方式QPSK, 16QAM, 64QAMにおいて、CSIを用いることにより0.15~0.7dB (ビットインターリーブ及びシンボルインターリーブあり), 2.2~2.9dB (シンボルインターリーブのみの場合)受信特性が改善されることが報告されている<sup>3)</sup>。

しかし、受信レベルのみを考えて重み付けを行うと、同一チャンネル妨害を受けるキャリアも受信振幅が増大し、信頼性が低いにも関わらず高信頼性とする誤った重み付けが発生する。この問題に対し、CVIを用いてキャリアごとに妨害を検出し、妨害レベルの大きなキャリアに対して消失訂正を行うことで受信特性が改善されることが報告されている<sup>4) 5)</sup>。

表4 地上デジタル放送の回線設計例

Table 4 A network design for DTTB.

使用周波数	470MHz
変調方式及び符号化率	変調方式=64QAM, 符号化率=7/8
AWGN時の所要C/N	22.0dB
装置化マージン	3.0dB
受信機雑音指数(NF)	7dB
雑音帯域幅	5.6MHz
熱雑音電力	-99.3dBm
外来雑音電力	-102.7dBm
受信機入力終端電圧	36.01dBμV
受信アンテナ利得	8dB
アンテナ実効長	-13.84dB
フィーダ損失	3dB
所要電界強度	50.85dBμV/m
フェージングマージン	9dB
電技審所要電界強度	60dBμV/m

1・4 回線設計について

総務省およびARIBにて審議された回線設計例を表4に示す。これによりデジタル放送における所要電界強度は60dB μV/mと規定された。従来のアナログ放送では70dB μV/mで規定されており、デジタル放送ではアナログ放送と比較して受信電界が10dB低く設定されている<sup>6)</sup>。

回線設計のモデルとしては、周波数はUHF帯を使用し、ブースター増幅器 (NF: 3 dB) 及び14素子の八木アンテナを使用した固定受信のモデルが使われ、受信アンテナ高は10mに設置されることを想定している。このモデルにおいて、受信機における受信可能な受信端電圧または受信機入力電力は下記で計算される。



国内地上デジタル、チューナ評価システム

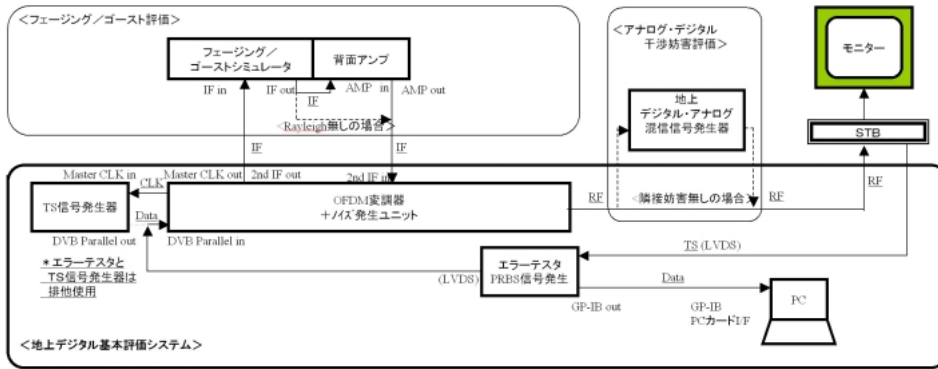


図5 地上デジタルフロントエンド評価システム図

Fig. 5 Evaluation system for digital terrestrial front-end.

## 2・2 フロントエンド評価システム

図5に地上デジタルフロントエンド部の評価システム図を示す。基本構成は、OFDM信号源とフェージングシミュレータ、混信信号発生器、エラーテスタ、制御用PCで構成される。干渉妨害特性の測定では、複数の妨害波の付加が可能な環境を構築した。また、測定機器によるノイズの影響を考慮してNFの優れたシ

ステムを構築すると共に、測定精度の向上を図った。更にPCの自動制御により、C/N値や変調器出力レベルなどのパラメータを自動的に変化させ、所定時間におけるBERの平均値を記録することが可能な自動測定システムを実現し、業務の効率化を図った。

本評価システムでは、PN（擬似ランダム）信号やTS信号を発生させ、ARIB STD-B31の規格に沿ったOFDM変調を行い、ターゲットとなる受信機へ入力する。変調器のRF信号は12波のマルチパス及びマルチパスフェージングを与えることができ、同時にアナログ（2波）、デジタル（4波）の干渉信号を加えることが可能である。マルチパスは遅延時間=-2.6214msec～2.6214msec、D/U=0～59.9dBまで対応可能となっている。受信機出力のTS信号をエラーテスタへ入力し、ビット復号後の誤り率を測定してBER=2.0E-4となるポイントが評価基準を上回っているかどうかを判定する。本評価システムにより得られる測定結果（例）として、C/N対BER特性を図6、入力レベル対BER特性を図7を示す。

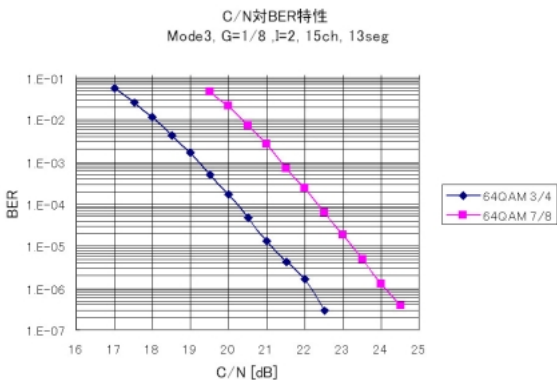


図6 C/N対BER特性

Fig. 6 BER versus carrier to noise ratio.

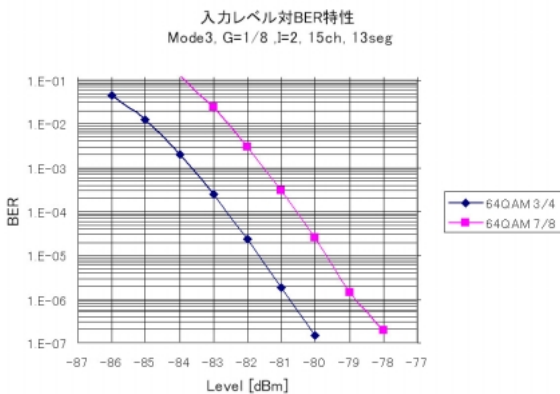


図7 入力レベル対BER特性

Fig. 7 BER versus receiver input power.

次に、フィールド受信環境を想定した受信性能を測定するためのマルチパス設定例を表7に示す。表7は欧州の地上デジタル放送における規格書（EACEM TR-030）に記載されているマルチパス特性のテスト条件であり、D/U=0.1dBの近接マルチパスを含んだ厳しい伝送路条件となっている。この規格書では、表7のマルチパス環境下、64QAM、2/3において等価C/N劣化量が10dB以下であることを要求仕様としている。

表7 静的マルチパス環境パラメータ設定例<sup>8)</sup>

Table 7 An example of multipath parameters.<sup>8)</sup>

Path	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
遅延時間[μsec]	0	0.05	0.4	1.45	2.3	2.8
D/U[dB]	2.8	0	3.8	0.1	2.6	1.3

### 3. 考察

#### (1) 地上フロントエンド開発

2005年末にはデジタルもフルパワーとなるが、それまでは段階的増力のため、アナログとのD/Uの問題、デジタルマスク問題などを考慮し、干渉に強い設計にする必要がある。多数のマルチパスが生じる都市内受信、航空機への反射によるフラッター障害、交通機関からのパルス雑音妨害などを考慮した設計とすることも大切である。今後、消費電力の低減と更なる高感度化及び隣接妨害耐性の向上を目指し、開発に取り組んでいく。また、室内受信や移動受信に向けて受信障害に強いフロントエンドの開発を目指していく。

#### (2) 地上フロントエンド評価技術

要求条件を満たすフロントエンドの開発を行い、性能向上を図るため、様々な伝送路に対応したフロントエンド評価システムを構築した。フロントエンド性能評価にあたり、規格書の分析結果をベースに当社独自の目標値を設定した。フィールド受信と同様の試験を行うことも可能となり、実際の受信環境を想定してマルチパス、デジタル多波妨害、アナログ強電力妨害など複数の条件を組み合わせた評価も実施してきた。このようなテストベッドを構築し様々な条件における受信性能の測定と改善策の検討を繰り返すことで、感度と干渉妨害による影響を低減し、最適に制御することができるフロントエンド部の開発を実現した。

### むすび

地上デジタルテレビジョン放送用受信機のフロントエンド部の開発について、その受信技術と構築したテストベッドについて検討結果を述べた。具体的には受

信感度及び干渉妨害に関する検討を行い、地上デジタル放送の固定受信機用フロントエンド部を開発し、テストベッドにてその性能を測定して要求条件を十分満足することを確認した。

本論文で述べた技術は固定受信機における基本的な要素技術であるが、今後移動体受信や室内受信に向け要求条件を検討し、更に性能向上を図る予定である。

### 謝辞

開発を進めるにあたりご指導頂いた部品事業部及び関係各位に深く感謝致します。

### 参考文献

- 1) John. G. Proakis, "DIGITAL COMMUNICATIONS", Second Edition (1989).
- 2) William C. Jakes, "MICROWAVE MOBILE COMMUNICATIONS" (1974).
- 3) Weon-cheol Lee, Hyung-Mo Park, Jong-Seok Park, "Viterbi Decoding Method Using Channel State Information in COFDM System", IEEE (1999).
- 4) 原田啓介, 相澤雅己, 佐藤誠, 杉本雅彦, "地上伝送路特性を考慮した誤り制御", 映像情報メディア学会年次大会 (1998).
- 5) 相沢雅己, 関隆史, "任意周波数妨害におけるOFDM伝送の復号法の検討" 映像情報メディア学会年次大会 (2000).
- 6) 第117回電気通信技術審議会地上デジタルテレビジョン放送等置局技術委員会報告 (1999).
- 7) デジタル放送用受信装置標準規格(望ましい仕様) ARIB STD-B21
- 8) "A baseline receiver specification produced by the European Electronics Industry", EACEM TR-030 (2000).

(2004年2月9日受理)