

# 地上デジタルテレビ放送受信機の開発

Development of Terrestrial Digital TV Broadcast Receiver

|    |    |                   |
|----|----|-------------------|
| 高山 | 一男 | Kazuo Takayama    |
| 近石 | 幸一 | Kohichi Chikaishi |
| 田中 | 寿夫 | Toshio Tanaka     |
| 合原 | 秀法 | Hidenori Gohhara  |



## 要 旨

日本の地上デジタルテレビジョン放送は2003年12月より東京、大阪、名古屋で放送が開始された。2006年末には放送エリアが拡大され、全国の50%の世帯で視聴可能となり、車でもデジタルテレビのニーズが高まりつつある。当社は2000年より開発に着手し、2005年12月に市販品を発売し、2006年1月にはトヨタ自動車向けラインオプションに採用された。移動体でハイビジョン放送を安定に受信するには、多くの技術が必要である。特に高速走行時のドップラーシフトに対し安定に受信できる技術に注力し、カスタムLSI、アンテナシステムを開発した。他にもデジタル放送は、映像・音声に加え、データ放送も送られてくる。これを操作表示するBMLブラウザの開発とタッチスイッチでの操作を可能とするための、描画用LSI/ソフトを開発した。製品化した車載デジタルテレビでは家庭で見るような安定した映像・音声とデータ放送の情報提供を実現した。

## Abstract

Japan's digital terrestrial TV broadcasting began in December 2003 in Tokyo, Osaka and Nagoya. At the end of 2006 the service area will be expanded, enabling 50% of the nation's households to view the broadcasts and generating a growing need for digital TV in vehicles also. Fujitsu Ten embarked on development in 2000; by December 2005 we had created commercial products, and these were adopted as factory options for the Toyota Motor Corporation in January 2006. Receiving Hi-Vision transmissions stably in under mobile conditions requires a lot of technology. We devoted particular effort to technology for stable reception in the face of Doppler shifts during high speed travel, and developed custom LSI and an antenna system. Digital broadcast come with data as well as pictures and audio. We developed a BML browser to display the data, and graphics LSI / software to enable its manipulation via touch-keys. The in-vehicle digital TV developed provides stable pictures and audio like those of home systems, and also provides broadcast data.

## 1

## はじめに

地上デジタルテレビ放送（ISDB-T：Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial）は2003年12月より三大都市圏（東京・名古屋・大阪）において開始され、2006年末には日本全体の50%の世帯で受信可能となる。更に2010年末には世帯受信率93%となり、2011年にはアナログ放送が停波する予定である。

地上デジタルテレビ放送は、高画質・高音質の映像・音声に加え、データ放送、電子プログラムガイド（EPG：Electronic Program Guide）等多機能な放送を実現できる。ホーム用エンタテインメントでテレビが重要であるように車でもテレビを見るニーズは高い。

車におけるアナログテレビ受信では、マルチパスの影響で放送局に近い場所においても受信画質は悪かったがデジタル放送で高画質が期待できる。車載テレビ受信機市場は300万台／年であり、放送のデジタル化によりさらに車載でのテレビ搭載率は高まると考えられる。当社は2000年より車載用デジタルテレビ受信機の開発に着手しており、2005年12月より、デジタルテレビの市販製品の発売を行った。本稿では、車載特有の課題を解決した当社製品の特徴とそれを実現した技術について述べる。

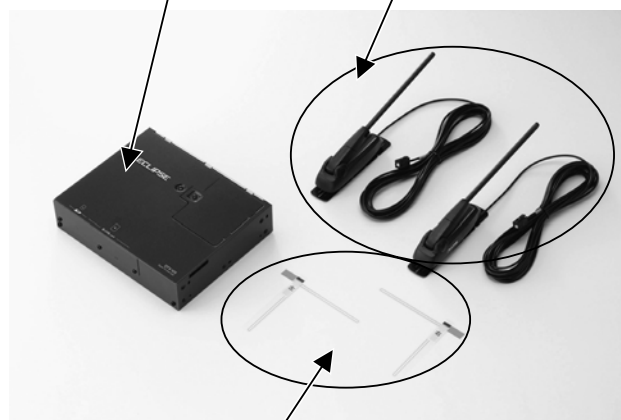
## 2

## 当社デジタルテレビ製品概要と特徴

図1に2005年発売の当社地上デジタルテレビ放送受信機とアンテナの外形を示す。受信機は1DINサイズのハイダウエイタイプとなっており、当社の2005年発売の各種ヘッドユニットに接続し、デジタルテレビ放送が視聴可能となる。アンテナはフロントにフィルムアンテナを2個、リアにショートポールアンテナを2個配置する。画面表示、操作はヘッドユニットのディスプレイで行い、番組選択・データ放送の操作表示はタッチパネル操作で行うようにしている。図2にチャンネル選択画面を表示したヘッドユニットを示す。

アナログテレビを移動体で受信すると、マルチパス等の影響で画面乱れを生ずる。それに対しデジタル放送では、受信機側で移動体受信向けのさまざまな工夫を行うことにより、必要な電界強度があれば乱れの無い映像を提供することができる。

受信機  
ハイダウエイユニット      リア設置アンテナ



フロント設置アンテナ

図-1 デジタルテレビ受信機，アンテナ  
Fig.1 Digital TV receiver and antennas



図-2 ヘッドユニット，チャンネル選択画面  
Fig.2 Head unit, with channel selection screen

当社製品はこのデジタル放送の高画質を車載で実現するため、ハイビジョン放送の安定受信と供に、車載における操作性の向上を図っている。当社製品の特長は以下となる。

## ①高速移動時の受信特性が良い

高速移動時に発生するドップラーシフトの課題の克服により、図3に示すように高速道路でのハイビジョン受信が時速100km走行において、車載受信機の改善前受信率が60%に対し、開発品は99%を実現した。

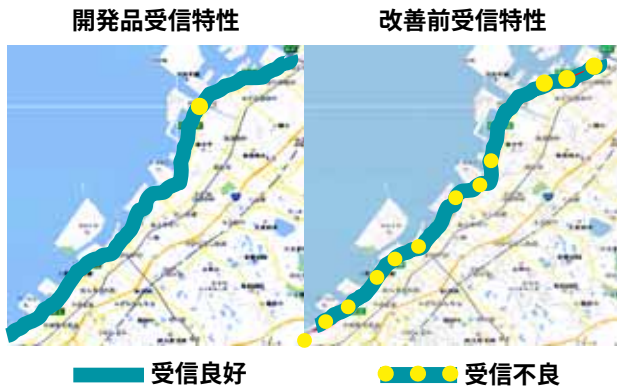


図-3 従来構成と開発品の受信特性比較

Fig.3 Reception characteristics compared: Conventional configuration vs. newly developed product

## ②タッチパネルにより全ての操作が可能

車の前席での操作は、リモコンよりタッチパネル操作が便利であり電子プログラムガイドによる番組選択、データ放送の操作表示もタッチパネルでの操作を実現している。図4にデータ放送の操作表示画面を示す。データ放送の操作は、家庭用を主体としたリモコン操作を前提としているため、タッチスイッチ操作のためのリモコンキーを画面上に配置する方式とした。



図-4 データ放送操作表示画面（実放送受信）

Fig.4 Data transmission control display screen (Actual received broadcast)

## 3 地上デジタルテレビ放送の概要

地上デジタルテレビ放送は下記の技術が用いられている。

- ①オーディオ・ビジュアル信号を圧縮して、データレートを低減する技術（情報源符号化技術）
- ②符号化された複数の情報源を一つのデータとし、情報源を相互に連携可能とする技術。
- ③伝送路で生じる誤りを予め付加したコードにより誤りを訂正可能とする誤り訂正技術。
- ④データを電波に重畳させる為の変調技術、伝送路符号化技術。

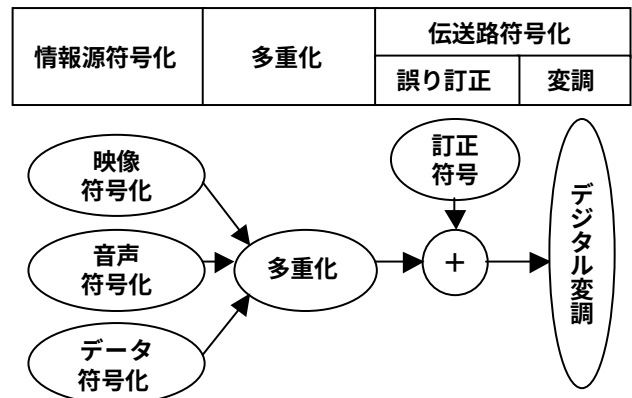


図-5 デジタル放送に用いられる技術概要

Fig.5 Schematic of technology used for digital broadcasting

日本の地上デジタルテレビ放送は、階層伝送と称され、複数の特長を持つ変調方式を組み合わせることで伝送が可能であり、同じ周波数帯域を使用し広帯域伝送と、狭帯域伝送が可能となっている。

この方式を利用し2006年4月からは、携帯・移動体向け狭帯域放送“ワンセグ”も開始されている。

ワンセグ放送の画質はハイビジョン放送と比較して荒いが、放送サービスエリアが広いといったメリットがある。

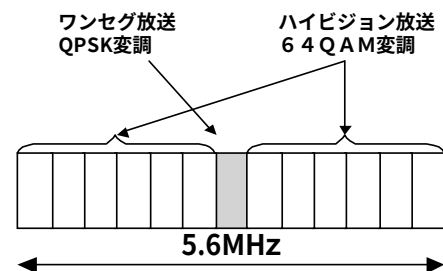


図-6 階層伝送

Fig.6 Hierarchical transmission

## 4 地上デジタルテレビ車載化の課題

デジタルテレビ受信機を車に適合させるには、以下の課題がある。

- ①移動受信性能の改善
- ②車に適した操作表示の実現

### 4.1 移動受信性能の改善

移動体受信において、車両に取り付けたアンテナで受信される信号は直接波に加え、ビル等で反射し、直接波よりも時間的に遅く到来する遅延波が存在する。この遅延波に対しては、ガードインターバルと呼ばれる有効シンボルの先頭に付加した信号を切り捨てることで防ぐ仕組みとなっている。低速移動を仮定すると、移動によるドップラーシ

フトはOFDM（Orthogonal Frequency Division Multiplexing）信号内のパイロット信号によって伝送路が推定され問題なく補正可能となるが、高速移動体受信では、前述のマルチパスに加え、ドップラシフトにより発生するシンボル内干渉（ICI：Inter-Carrier Interference）が重大な問題となる。高速移動の場合は前述のパイロット信号による伝送路補正が不可能となり正常に受信できなくなる。一般に受信可能なドップラシフト周波数はキャリア間隔の2.5%と言われており、62chの64QAM受信では時速35km/hが限界となる。

また、OFDM復調部にて正しく復号されなかった場合、受信映像にはブロック単位で映像歪が発生してしまう。したがって車載受信機では、正しく復号できなかった場合でも、ブロック歪を発生させない技術も必要となる。

## 4.2 車に適した操作表示の実現

車載表示器は、総じて家庭用表示器よりも小さいため、データ放送表示の際には、文字を視認性良く表示する必要がある。また、車の中ではナビゲーション画面、操作メニュー等他の画面との重ね合わせ表示にも対応する必要がある。さらに放送は家庭受信機用にリモコン操作を前提としているが、車の中では、リモコン操作が行いにくいいためタッチスイッチ操作に置き換える必要がある。

# 5 移動受信性能の改善技術

## 5.1 受信性能向上アルゴリズム

64QAM変調で送信されるハイビジョン放送を移動速度100km/hで受信することを目指し下記3項のアルゴリズム開発を行った。

- (1) 周波数分割合成ダイバーシティ
- (2) パイロット信号による伝送路歪高精度補間
- (3) 指向性アンテナ切り替え受信

### (1) 周波数分割合成ダイバーシティ

デジタルテレビ送信スペクトラムはマルチキャリア方式であり、周波数領域でフラットに送出されるが、マルチパスによりスペクトラム上のディップを生じ、ディップの周波数領域が受信不可となる。そこで2系統のアンテナからの信号を周波数軸上で分割した各サブキャリア毎に合成すると、ディップ部分が補間され受信状態が改善される。図7に周波数分割合成ダイバーシティの動作原理の図を示す。図8に低速走行時(30km/h)のダイバーシティ効果を実験したデータを示す。横軸がダイバーシティ無しの場合で縦軸がダイバーシティありの場合の受信率となっている。ダイバーシティなしの場合に30%だった受信率が、周波数分割

合成ダイバーシティにより受信率90%に改善されている。

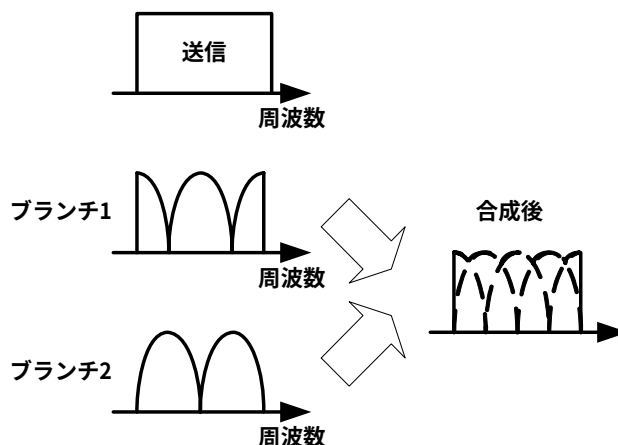


図-7 周波数分割合成ダイバーシティの動作

Fig.7 Operation of frequency division/multiplexing diversity

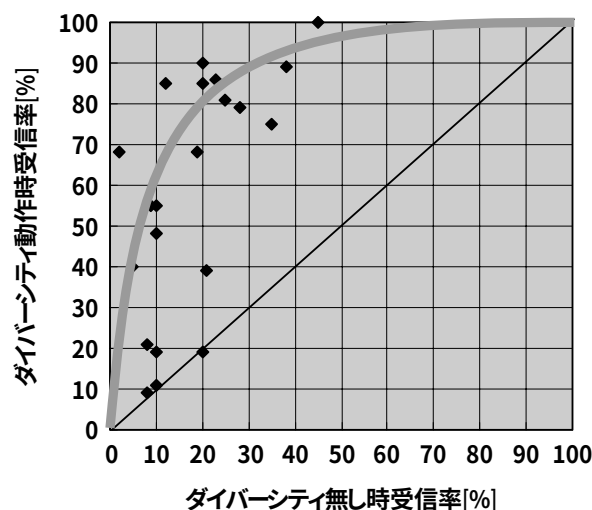


図-8 低速走行時のダイバーシティ効果

Fig.8 Diversity effects during low speed driving

### (2) パイロット信号による伝送路歪高精度補間

デジタルテレビではパイロット信号が重畳されて伝送されており、パイロットシンボル2点間の直線近似により電波の変動を推定する。

この方式の場合は急峻な落ち込みに対して、誤差が生じてしまう。そこで補間にFIR（Finite Impulse Response）フィルタを用いる方法を検討した結果、図9のように急峻な落ち込みに対しても正確に追従することができるようになった。伝送路歪補間の具体的構成は図10のように、パイロットを抽出後FIRフィルタで補正信号を発生させ、複素除算で歪を補正する。このFIRフィルタ補間だけの効果で、図11に示すように速度換算で約20km/hの改善が得られている。

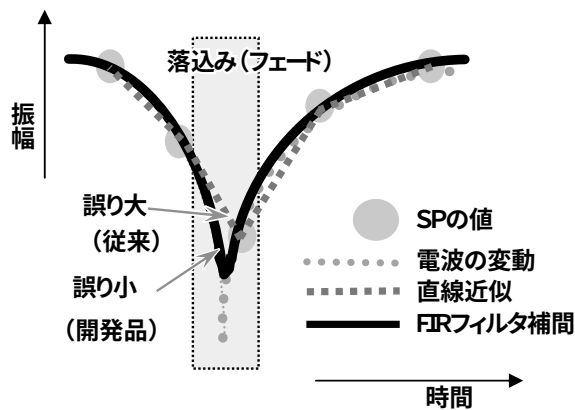


図-9 伝送路歪高精度補間のイメージ

Fig.9 Conceptual representation of high-precision interpolation for transmission path distortion

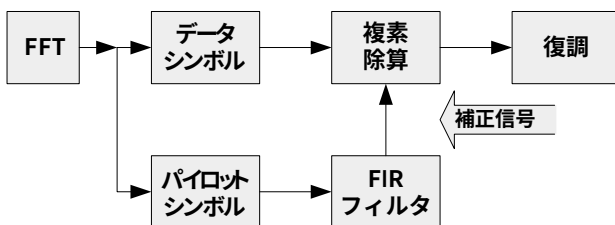


図-10 伝送路歪補間の構成

Fig.10 Composition of transmission path distortion interpolation

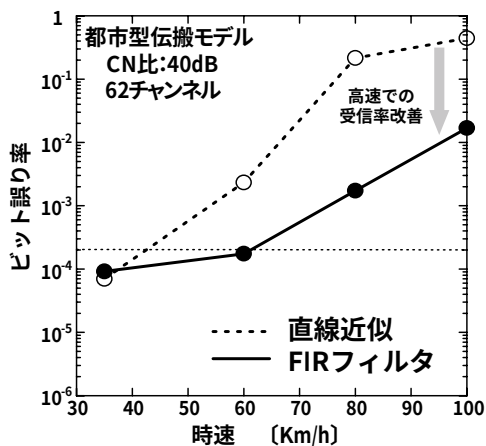


図-11 伝送路歪補間の効果

Fig.11 Effects of transmission path distortion interpolation

### (3) 指向性アンテナ切り替え受信

無指向性アンテナでの受信の場合、あらゆる方向からの電波を受信するため、図12に示すようにマルチパス環境下で高速走行すると、ドップラーシフトは、プラス側のシフト、マイナス側のシフトを生じ、キャリア間干渉 (ICI) を生じてしまう。

アンテナの指向性を前方向、後方向に絞ることにより図13に示すように、ドップラーシフトの方向を一方に片寄せることができる。アンテナの指向性切り替えにより一方

向に片寄せると、ガードインターバルとの相関性を利用した、周波数ズレ補正回路により、キャリア間干渉の低減を図ることが可能となり高速走行時の受信特性が改善される。今回開発した指向性アンテナを使用し指向性切り換え (スイッチドビーム) を行い、周波数分割合成ダイバーシティと組み合わせて実走実験を行った。その結果、無指向性アンテナ (スイッチドビーム無し) の受信率65%に対しスイッチドビームにより受信率90%に改善することができた。上記移動受信性能改善結果まとめを表1に示す。

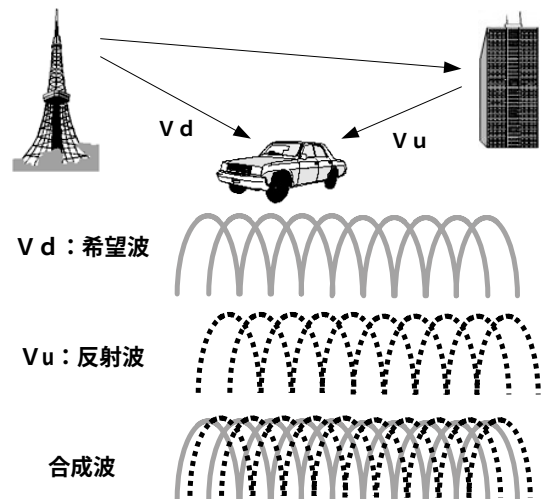


図-12 ドップラーシフト

Fig.12 Doppler shift

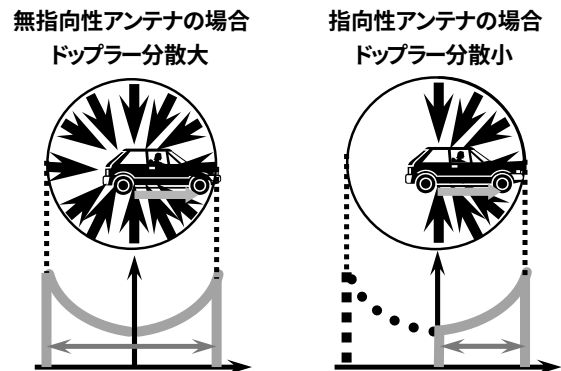


図-13 指向性アンテナによる改善

Fig.13 Improvement due to directional antennas

表-1 移動体受信特性向上策と改善効果 (高速走行時受信率)

Table 1 Moving object reception characteristic enhancement measures and improvement effects (reception rates during fast driving)

| 分類   | A                     | B                     | C                 | D              |
|------|-----------------------|-----------------------|-------------------|----------------|
| 構成内容 | ダイバーシティ無し (ホーム用受信機構成) | A+ 2プランチダイバーシティアンテナ追加 | B+ スイッチドビームアンテナ追加 | C+ 伝送路歪補間の高精度化 |
| 受信率  | 30%                   | 65%                   | 90%               | 99%            |



## 5.2 指向性アンテナの開発

前述の指向性アンテナの実現には、車両のボディでの到来波の反射を積極的に利用して所望の指向性を得る方法を採用した。この方法では、反射素子などアンテナ自体に指向性を持たせる機能が不要となり簡易な構成で指向性アンテナを実現できるメリットがある。

水平偏波である到来波を効率よく反射させて受信するためには、前方指向性アンテナはルーフ前端による反射、後方指向性アンテナはルーフ後端あるいはリアガラスに設置された防曇用熱線（デフォガ）による反射を利用するのが効率的である。

以上より、図14に示すように前方指向性アンテナはフロントガラスに、後方指向性アンテナはリアガラスに設置することとした。

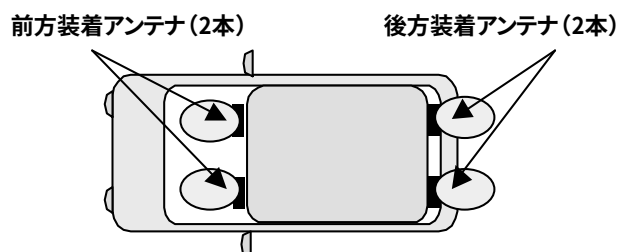


図-14 指向性アンテナ配置図  
Fig.14 Layout of directional antennas

### 5.2.1 前方装着アンテナ

搭載例と指向性例を図15に示す。前方指向性アンテナには折り返しダイポールアンテナ方式を採用し、フィルムアンテナにて実現した。折り返しダイポールアンテナは本用途においては以下のメリットがある。

- ・単体で前後方向に指向性をもつため、ルーフ前端での反射を有効活用でき、前方指向性をより強くすることができる。
- ・アンテナ自身が平衡-不平衡変換機能を有するため、給電部でのアース確保が不要で、かつ給電回路を簡素化できる。

このアンテナはフロントガラスのAピラー近傍に設置させるため前方視認性が損なわれ保安基準に適合しない恐れがある。そこで、折り返しダイポールアンテナをL字状に折り曲げて形成し、ピックアップ端子設置部をAピラー際に設置することによりAピラー近傍でのアンテナ設置と前方指向性の確保の両立を可能とした。ピックアップ端子にはアンプを内蔵しアンテナ直下にて受信信号を増幅することにより給電ケーブルによる受信信号劣化を補償している。

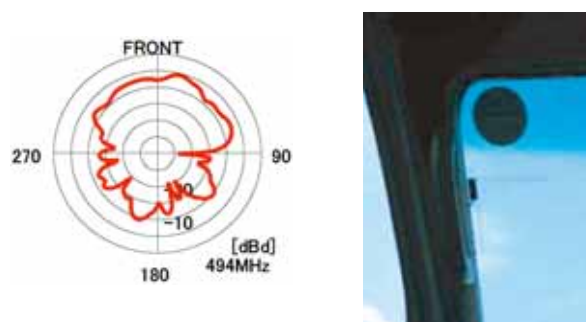


図-15 搭載例と指向性例  
Fig.15 Example of installation and directionality

### 5.2.2 後方装着アンテナ

搭載例と指向性例を図16に示す。後方指向性アンテナは防曇用熱線（デフォガ）が設置されていても十分な後方指向性を実現できるL字型ポールアンテナを採用した。モノポールアンテナの先端をL字状に折り曲げることで、ボディでの反射を有効活用し、後方指向性を得ている。このアンテナもアンテナベース部にアンプを内蔵することにより、給電ケーブルによる受信信号の劣化を補償し受信性能を確保している。

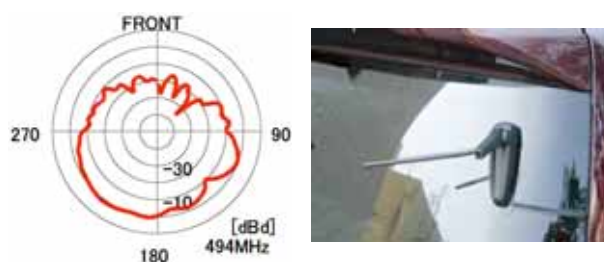


図-16 搭載例と指向性例  
Fig.16 Further example of installation and directionality

### 5.2.3 指向性アンテナ切り替え制御

指向性アンテナ切り替え制御構成を図17に示す。2ブランチ構成になっており、前アンテナ2本または後方アンテナ2本を選択している。チューナとOFDMの情報から受信状態を常時把握しており受信状態が悪くなってくると切り替え制御を行う。前方後方どちらのアンテナを選択するかは、一時的に一方を前方アンテナに、他方を後方アンテナに切り替え、前後アンテナの受信状態の比較をすることにより決定している。受信劣化は単純な電界不足だけでなく周波数選択フェージングやドップラシフトによっても起こる。従って受信状態の比較は、受信レベルに加え、パイロット信号を使った受信CNR（Carrier to Noise Ratio）を使い判定精度の向上を図っている。

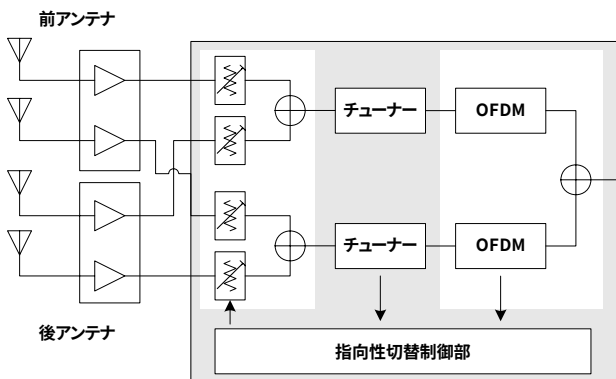


図-17 指向性アンテナ切り替え制御構成

Fig.17 Configuration of directional antenna switching control

以上のように電波環境に合わせ、指向性アンテナの切り替えを制御することにより全方向の指向性を確保するとともにドップラシフトへ影響を回避している。

これまで述べた、周波数分割合成ダイバーシティ、パイロット信号による伝送路歪高精度補間を盛り込んだLSIを開発した。図18に開発したLSIの外観を示す。



図-18 開発したOFDM-LSI

Fig.18 Newly developed OFDM-LSI

## 6

### 車に適した操作表示の実現

受信信号から映像・音声を再生するバックエンド部について述べる。

バックエンド部は、CPU、デコード部、映像処理部から構成される。車載向け映像処理部は、①電波瞬断時のブロックノイズ低減、②車載独自意匠の描画／表示機能、③描画の高速化／高画質化が必要となる。このような車載特有の機能実現のため専用の映像処理LSIを開発した。

#### 6.1 電波瞬断時のブロックノイズ低減

フロントエンド部（復調部）とバックエンド部はTS（Transport Stream）と呼ばれる188Byteに分割された固定長パケットで伝送される。この信号にエラーが発生すると、ブロック単位で映像に歪みが発生する。この時、図19の“フリーズ制御なし”状態になる直前でストップし、受信状態が正常になった時点で解除処理を行うことでブロック歪を抑え、フリーズ状態から素早く再開する。図20で示

すようにフリーズ処理部は、復調部で誤り訂正できない場合に付加されるパケットヘッダのエラービット（Transport error indicator）とデコード処理部のマクロブロックエラーに基づき、映像フリーズ制御を行う。構成は、受信状態をサンプリングするパケット数カウンタとエラー頻度を示すエラー数カウンタをフリーズ突入時と解除時個々にもヒステリシスな制御を行っている。また、エラーカウントはメイン映像用（固定向け放送）とサブ映像用（携帯向け放送）の2回路をもっている。

#### フリーズ制御なし（ブロックノイズが多数発生する）



#### フリーズ制御あり（ブロックノイズになる直前でとまる）



図-19 フリーズ制御あり、なしの比較映像（実放送受信）

Fig.19 Comparison of pictures with and without freeze control (Actual received broadcast)

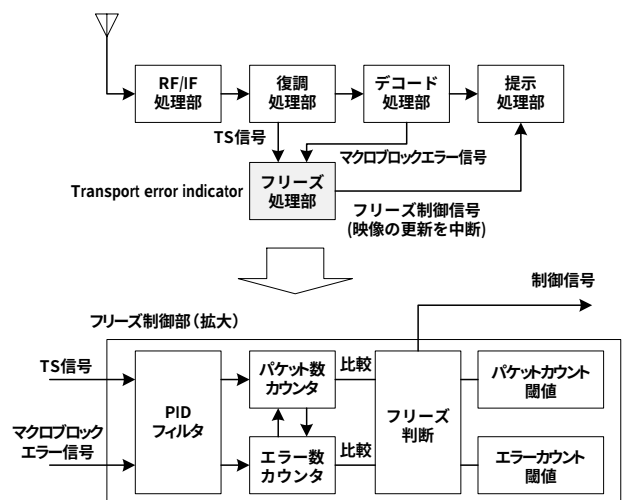


図-20 フリーズ制御部の構成

Fig.20 Composition of freeze control unit

## 6.2 車載独自意匠の描画／表示機能

図23にバックエンド部のハードウェア構成と開発したASICの構成を示す。まずOFDM復調処理部からのTSパケットをデコードする。その後、W-VGA、W-EGAサイズに拡張する構成としており、以下にその特徴を示す。

1) 車載独自意匠仕様が描画できるようにグラフィックス画面6画面と、TV映像2画面、合計8画面を自由に重ね合わせ表示できる。次に、車載における表示例を図21に示す。ここでは、①動画1（固定用）、②壁画、③警告画、④スクロール画、⑤SW枠画、⑥SW文字画の計6画面（6プレーン）オーバーレイ表示している。図22に今回開発したASICのオーバーレイ構成図を示す。上記例の他、さらに、画質調整画、動画2（ワンセグ拡張用）を備えている。また、画像表示の切り換えの際、フェードイン、フェードアウトによる画像エフェクト化をおこなっている。この機能により、表示遷移のスムーズ感を実現している。



図-21 車載における表示例（6プレーン）  
Fig.21 Sample in-vehicle display (6-plane)

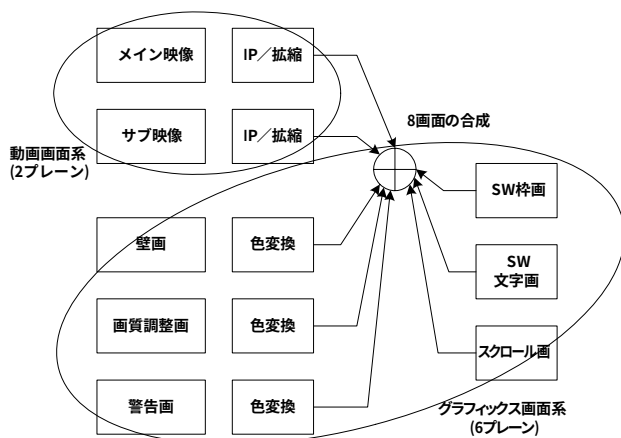


図-22 オーバレイ構成図  
Fig.22 Configuration of overlay

2) SDRAM, FlashなどCPU周辺制御, SDカードIF, AVC-LAN, I2Cなど、各種外部インタフェース機能を備えている。

3) 画像メモリとのインタフェースは、1600万フルカラー表示できる画面3枚のAバス（128Mbit, 64bitバス幅）と、256色（8ビットインデックス方式）表示画面3枚と映像2画面のBバス（64Mbit, 32bitバス幅）で構成している。

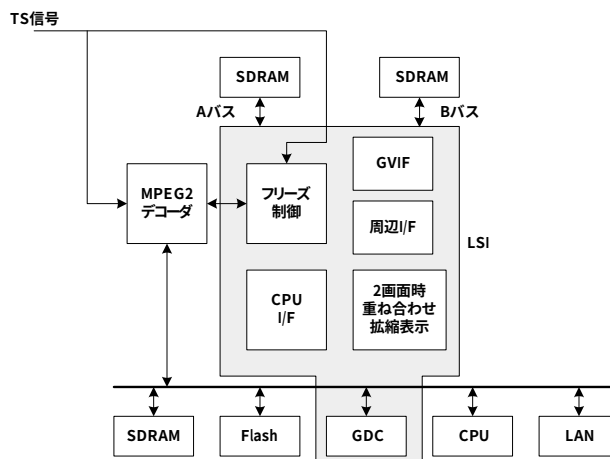


図-23 ハードウェア構成  
Fig.23 Composition of hardware

## 6.3 描画の高速化／高画質化

描画処理をハードでアシストすることによる高速化のため、描画コマンドを装備している。描画コマンドは、Paint / Point / Line / Copyと、CPU側のFlash, SDRAMから、CPUバス権を獲得しCPUを一次停止させ、その間、自動転送できるBMP-Copy / Wrect / Rrectコマンドの合計6種類を備えている。この描画コマンドにより、効率的にメモリ活用（描画用複製をもたない）が図れる。また、開始点、終点座標をCPU側からASICの描画レジスタに設定し、自動的に表示動作のない区間（HSYNC, VSYNCの空いた時間）を利用し描画することで、描画速度がCPU状態に依存せず、ほぼ一定速度で描画することができる。本機能は、BMPデータの転送による描画が多い機器での描画速度向上に有効である。図24に開発した映像処理ASIC、表2に描画コマンドを示す。特徴を以下にまとめる

1) 移動受信時発生する誤りを映像処理部で検出し、視覚的な映像への影響を少なくできるフリーズ制御を開発、映像処理LSIに内蔵した。

2) 受信機の操作に必要なメニュー画面表示を1600万色フルカラー化することで、グラデーション表示が鮮やかにできること、また、自動車メーカー独自の表示部GUI（Graphical User Interface）意匠（画面意匠仕様）を忠実に再現できる。





図-24 映像処理ASIC  
Fig.24 Image processing ASIC

表-2 描画コマンド種類と高速化  
Table 2 Graphics command types and speed-up

| 名称                      | 機能                                      |
|-------------------------|-----------------------------------------|
| PAINT                   | 全画面をクリアする。                              |
| POINT                   | 1ドット描画する。                               |
| LINE                    | 線描画(直線, 斜線)する。                          |
| COPY                    | 任意画面の矩形領域を転送する。                         |
| BMP-COPY                | ビットマップデータを転送する。                         |
| RRECT/WRECT             | 文字, 図形領域を転送する。                          |
| VGA画面クリア<br>処理(800×480) | 158ms(従来)→25.8ms(PAINT)<br>(約6倍の高速化を達成) |

## 7

## 終わりに

OFDM復調ASIC, 映像処理ASIC, 地上デジタルテレビに特化したアンテナの開発を行った。これにより移動時の受信特性が良く, データ放送をタッチスイッチ操作で閲覧できるといった特長を有するデジタルテレビ受信機を製品化した。地上デジタルテレビはアナログテレビに比較して, 移動受信時の画質が圧倒的に良く, ユーザーにも好評である。今後は, ワンセグ放送にも対応した受信機, 更にはAVNへの内蔵化等を行っていく。

## 参考文献

- ・ ARIB STD-B31 「地上デジタルテレビ放送の伝送方式」  
社団法人電波産業会
- ・ ARIB STD-B32 「デジタル放送における映像符号化, 音声符号化, 及び多重化方式」社団法人電波産業会

## 筆者紹介



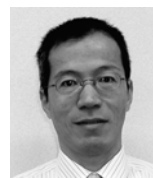
高山 一男  
(たかやま かずお)

1976年入社。以来, 車載放送受信機, アンテナの開発に従事。現在, 開発本部研究開発部担当部長兼CI本部第一事業部アンテナシステム技術部担当部長。



近石 幸一  
(ちかいし こういち)

1977年入社。以来AV機器, アンテナシステムの開発に従事。現在, CI本部一事業部アンテナシステム技術部在籍。



田中 寿夫  
(たなか としお)

1980年入社。以来, 自動車関連通信機器の開発に従事。現在, 開発本部研究開発部に在籍。



合原 秀た  
(ごうはら ひでのり)

1999年入社。以来, 車載用デジタル放送受信機の開発に従事。現在, 開発本部研究開発部に在籍。