



図-1 デジタル放送のイメージ  
Fig.1 Concept of digital broadcasting

報をチェックしたり、天気予報・ニュースなどの情報取得。また、データ放送と双方向機能により、番組中にチケットの購入やアンケートへの回答

### 3 世界のデジタル放送の動向

【欧州】

欧州では、地上系のデジタル音声放送がいち早く実用化され、1996年には地上波のデジタル音声放送であるDAB（Digital Audio Broadcasting）が放送開始された。DABによってユーザーは以下のようなサービスを楽しむことができる。

- ・マルチパス（山やビルなどによる反射波等）が発生する状況においても、CD相当の高品質な音声
- ・車のような移動体においても、高品質な放送

さらに翌年に衛星デジタルテレビDVB-S，地上波デジタルテレビDVB-Tが開始された。

表-1 世界のデジタル放送  
Table 1 Digital broadcasting in the world

	名称	放送		放送開始	移動受信
欧州	DVB-T	テレビ	地上波	1998年	
	DVB-S	テレビ	衛星	1998年	×
	DAB	音声	地上/衛星	1996年	
米国	IBOC	音声	地上波	2003年	
	Sirius	音声	衛星	2001年	
	XM	音声	衛星	2001年	
日本	ISDB-S	テレビ	衛星	2000年	×
	ISDB-T	テレビ/音声	地上波	2003年	
	MSB	音声	衛星	2003年	

将来の放送開始次期は未定

- |        |   |
|--------|---|
| DVB    | : Digital Video Broadcasting              |
| DAB    | : Digital Audio Broadcasting              |
| IBOC   | : In-Band On Channel                      |
| Sirius | : Sirius Satellite Radio                  |
| XM     | : XM Satellite Radio                      |
| ISDB   | : Integrated Service Digital Broadcasting |
| ISDB-T | : ISDB-Terrestrial                        |
| ISDB-S | : ISDB-Satellite                          |
| MSB    | : Mobile Satellite Broadcasting           |

## 【米国】

米国は道路網が整備されており、日本では考えられないほど長距離を車で移動する。このためサービスエリアを超えて継続して同じ番組を視聴できない問題がある。そこで米国全土で受信可能となる衛星を使ったデジタルラジオ放送が脚光を浴びている。この衛星デジタルラジオの特徴を以下に示す。

- ・新規の周波数帯である2320MHz～2345MHz帯を用い2基もしくは3基の放送衛星を使用して放送。
- ・不感地域にはリピータと呼ばれる地上からの再送設備を用いて、米国全土での放送が可能。

現在、衛星デジタルラジオはXM ( XM Satellite Radio社 ) , Sirius ( Sirius Satellite Radio社 ) の2社が参入しておりXMは2001年、Siriusは2002年にそれぞれ放送を開始した。

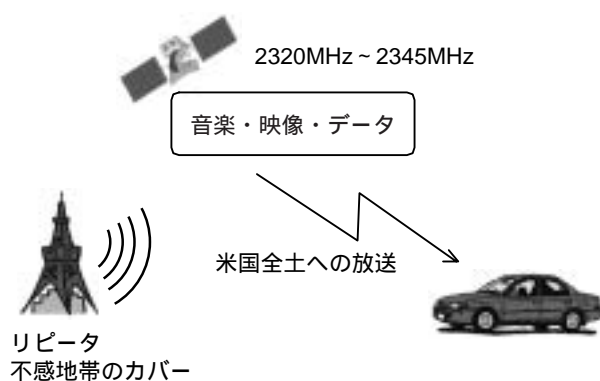


図-2 北米衛星デジタルラジオのイメージ

Fig.2 Concept of North American satellite digital radio

表-2 XM社とSirius社の比較

Table 2 Comparison of XM and Sirius companies

放送事業者	XM	Sirius
放送衛星	出力15kw, 2基 静止軌道	出力8kw, 3基 楕円軌道
地上リピータ	1700個	100～200個
放送コンテンツ	音楽+音声( 100ch )	音楽50ch+音声50ch
受信料	\$10前後/月	\$10前後/月

一方米国の地上波は、FMなどのラジオ局の数が多く、その経営規模も小さいという事情がある。そのためアナログ放送に割り当てられた周波数帯域の中でデジタル化が可能な方式（IBOC：In-Band On Channel）を開発し実用化を目指している。この方式はアナログ放送帯域内にデジタル信号を付加したHYBRID方式を採用し、全帯域をデジタル化するALL Digital方式へ移行する計画であり、AM/FMとも1ランク上の音質の提供を目指している。

上記のIBOC HYBRID方式とはアナログ、デジタル同一のコンテンツ配信が基本で、アナログ放送は従来のチューナーで受信することができるが、HYBRID方式はAMとFMで若干違いがある。（図3参照）

## AMバンド

現行のアナログ信号帯域内及び両サイドバンドに低レベルデジタル信号を付加する方式で、デジタルオーディオの品質は現行のFM相当となりまた、簡易なデータ配信も計画されている。

## FMバンド

現行のアナログ信号の両サイドバンドに低レベルデジタル信号を付加する方式で、デジタルオーディオの品質はCD相当となり、HYBRID AMと同様簡易なデータ配信も可能となる。

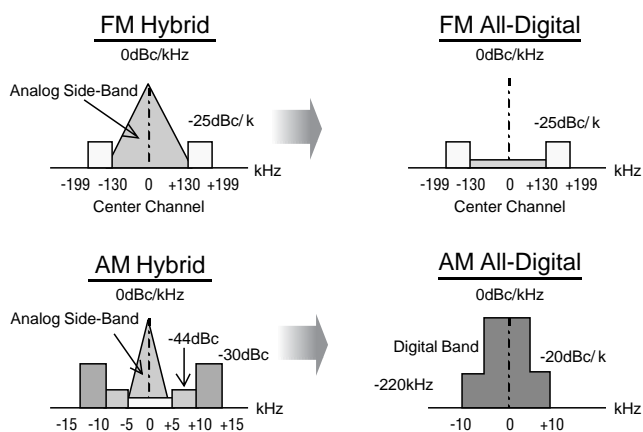


図-3 IBOCのイメージ

Fig.3 Image of IBOC

## 【日本】

日本においては衛星を使った放送として、1997年のCSデジタル放送、2001年のBSデジタル放送に続いて、モバイル放送（衛星デジタルラジオ）が2003年度中の放送開始を目指して準備をすすめている。放送サービスは、既存のCS・BS放送と異なり、全国どこでも高速で移動しながら受信できる全く新しい放送サービスでありSバンド（2.6GHz帯）を使用する。また不感地帯にはギャップファイラーと呼ばれる地上での再送設備を使用し、自動車を中心とした移動体を対象に、高音質の音楽、画像、データを組み合わせたマルチメディア放送を提供することが予定されている。

一方、日本の地上波デジタル放送は、2003年に東名阪の主要都市圏で地上波デジタルテレビジョン放送ISDB-Tが開始され、2006年から全国放送される見通しとなっている。ISDB-TはUHF（470～770MHz）の電波を使用し従来のアナログ放送波と同じ帯域幅（約6MHz）を13のセグ

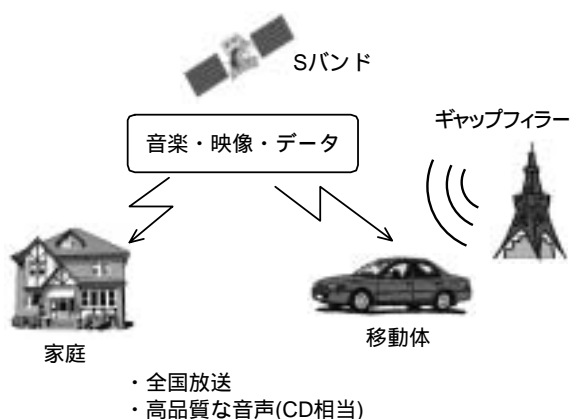


図-4 モバイル放送(有料)のイメージ

Fig.4 Concept of mobile (pay) broadcasting

メントに分割して放送を行う。この13セグメントのうち13もしくは12セグメントを用いてハイビジョン放送(HD: High Definition Television)を行い、高品質な放送を楽しむことができる。また13のセグメントを最大3つの階層に分割することで複数の標準TV(SDTV: Standard Definition Television),もしくは移動体向けに1つの部分受信<sup>i</sup>(MPEG4<sup>ii</sup>でのサイマルキャスト<sup>iii</sup>)放送が可能となる。この地上波デジタルテレビジョン放送開始をうけて、従来の地上波アナログテレビジョン放送は2011年7月に停波する予定となっている。

地上波デジタルテレビ放送の開始によって、以下のようなサービスが実現できる。

- ・雑音の影響を受けにくく、ゴーストに強い方式の採用により、高品質な映像・音声放送

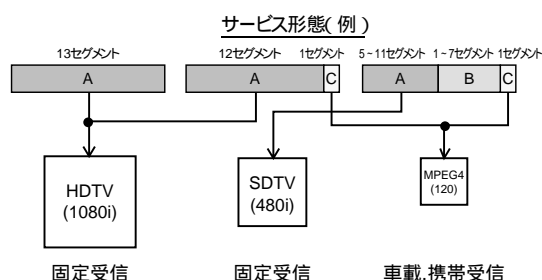
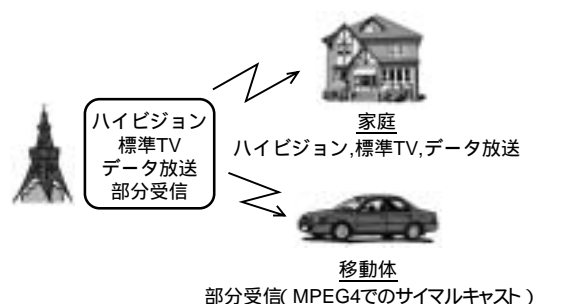


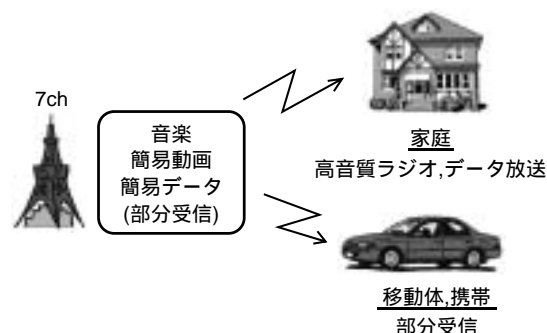
図-5 地上波デジタルテレビ放送のイメージ

Fig.5 Concept of digitalized terrestrial TV broadcasting

- ・マルチパスやフェージングに強い方式の採用によって、移動体での受信
- ・従来のアナログ放送1チャンネル分と同じ帯域幅で、2～3の放送
- ・画面上での情報検索や見たいチャンネルを簡単に見つけることができるようになる。文字・静止画の情報を受信機に蓄積する事で、ニュースや生活情報をいつでも視聴可能

また地上波の音声放送として、狭帯域の地上波デジタル音声放送も放送開始に向け準備が進められている。この地上波デジタル音声放送は原則としてVHF帯での放送となるが、現状アナログテレビのチャンネル配置のため7ch(188MHz～192MHz)での放送が計画されている。

放送形態は1セグメントもしくは3セグメントを使用し、CD並みの高品質な音声と簡易な映像を楽しむことができるようになる。また3セグメント放送には部分受信セグメントを設けることが義務付けられるため、1セグメント専用受信機でも3セグメント放送の一部を楽しむことができる。



サービス形態(例)

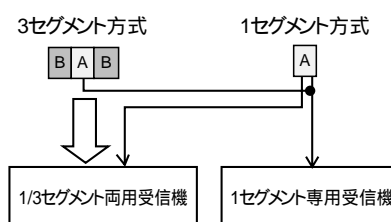


図-6 地上波デジタル音声放送のイメージ

Fig.6 Concept of digitalized terrestrial audio broadcasting

次章では日本の地上波デジタル放送の技術についてご紹介する。

- 帯域中央のセグメントのみを受信すること。すべてのセグメントを受信しなくても放送の一部を楽しむことができる。
- 低ビットレートでの高画質の達成を目標に標準化された方式。
- 同一の番組を同時に複数のチャンネルやメディアで放送すること(simulcast)

## 4 日本のデジタル放送の技術

デジタル放送には、さまざまな技術が用いられており、大きく分けて 情報源符号化技術、多重化技術、伝送路符号化技術（変調、誤り訂正）の3つに大別される。

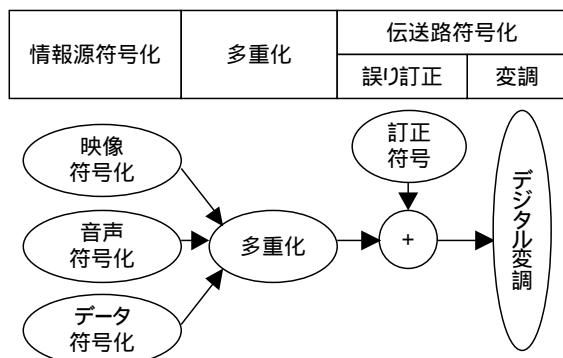


図-7 デジタル放送に用いられる技術  
Fig.7 Technology used in digital broadcasting

### 4.1 情報源符号化技術

情報源符号化とは音声や映像などを符号化（デジタル化）する技術で、MPEG（Moving Picture Expert Group）と呼ばれるマルチメディア符号化技術が主に用いられる。日本の地上波デジタルテレビは表3のような方式を採用している。

表-3 地上波デジタルテレビ放送に用いられる符号化方式  
Table 3 Encoding methods used in digitalized terrestrial TV broadcasting

映像	MPEG2-VIDEO
音声	MPEG2-AAC (Advanced Audio Coding)

#### MPEG2-VIDEO

放送、通信、蓄積メディアなどの領域の幅広いアプリケーションに適用されることを前提としている

#### MPEG2-AAC

高音質・高圧縮率を達成したマルチチャンネル対応のオーディオ符号化方式

### 4.2 多重化技術

多重化とは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で、日本の地上波デジタルテレビの場合、MPEG2-SYSTEMSと呼ばれる方式を採用している。このMPEG2-SYSTEMSは符号化された映像や音声、付加データなど個別のストリームを多重化し、それぞれの同期をとりながら再生する方式である。MPEG2-SYSTEMSにはPS（Program Stream）とTS（Transport Stream）の2種のストリームが規定されており、前者はDVDビデオに代表される蓄積メディア、後者は放送・通信分野などに適用される。両ストリームを構成する基本構造はPES（Packetized Elementary Stream）

Packetと呼ばれ、両ストリームの相互変換を可能としている。PES Packetは単一のメディア情報のある単位でPacket化したものであり、1枚の画像フレームのデータで1つのPES Packetとすることが多い。

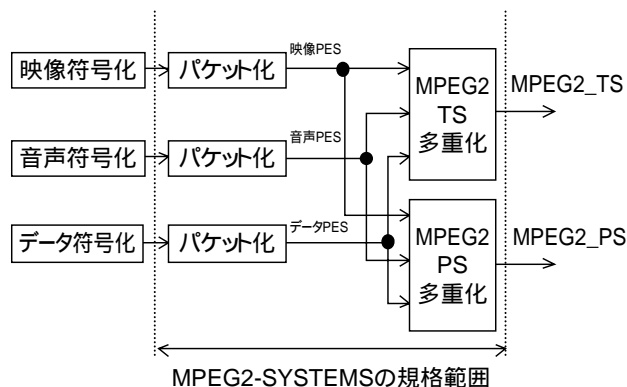


図-8 MPEG2-SYSTEMSの規格概要  
Fig.8 Outline of MPEG2 systems specification

### 4.3 伝送路符号化技術（誤り訂正・変調）

#### 4.3.1 誤り訂正技術

誤り訂正とは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技術で、日本の地上波デジタル放送の場合、ビタビ（Viterbi）復号とリード・ソロモン符号（Reed-Solomon）とを用いている。

##### ビタビ復号

符号系列に誤りがある場合でも正しく復号でき、ランダム誤りに対する訂正能力が高いことが特徴。

##### リード・ソロモン符号

元のデータに複数のチェックビットを付加したデータブロックを訂正単位としたブロック符号で、バースト誤り（ビット誤りが集中的に発生すること）の検出と訂正を行うことが可能。

#### 4.3.2 デジタル変調技術

デジタル変調は、搬送波の振幅、周波数、位相のいずれか（あるいはいくつかのくみあわせ）を0と1のデジタル信号の情報内容によって変化させる。振幅に対応させた方式がASK（Amplitude Shift Keying）、周波数に対応させた方式がFSK（Frequency Shift Keying）、位相に対応させた方式がPSK（Phase Shift Keying）であり、それぞれ1シンボルで1bitの情報を伝送することができる。また一度に多くの情報を伝送する方式としてQPSK（Quadrature Phase Shift Keying: 4相位相変調）、DQPSK（Differential QPSK: 差動4相位相変調）、QAM（Quadrature Amplitude Modulation: 直交振幅変調）、16QAM（16値直交振幅変調）などがある。QPSKはデジタル信号の情報内容に対応して搬送波の位相を90度おき



にとり、1シンボルで2bitの情報を伝送することができる。DQPSKはQPSKが情報を直接搬送波の位相に対応させるのに対し、搬送波の位相差に情報を乗せる差動位相変調方式であり受信機側で復調用の同期搬送波を必要としない方式である。またQAMは位相差90度（直交関係）にある2つの搬送波により振幅の変化を与えて加え合わせることで、高能率の伝送を行う方式で、1シンボルで2bitの情報を伝送することができる。16QAMでは1シンボルあたり4bit、さらに64QAMでは6bitの情報を伝送することができる。

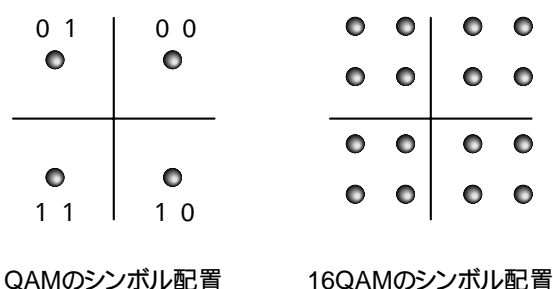


図-9 デジタル変調方式  
Fig.9 Digital modulation methods

日本のデジタル放送の場合、変調方式としてDQPSK、16QAM、64QAMのいずれかの方式で変調を行う計画であるが、このとき複数の搬送波を用いるマルチキャリア方式を採用している。この方式はOFDM（Orthogonal Frequency Division Multiplexing：直交周波数分割多重）と呼ばれる方式が一般的で、欧州のDABでも採用されている。この方式を用いることによってマルチパスやフェージングに強く移動体でも良好な受信が可能となる。その他のマルチキャリア方式には日本のS帯衛星デジタル音声放送に用いられるCDM（Code Division Multiplexing：符号分割多重）などがある。

次に重要な技術であるマルチキャリア変調方式の中からOFDMについて簡単に解説する。OFDMのスペクトルは図10のような台形に近い形になっており、その一部を拡大すると複数のキャリアが重なり合ったスペクトルになっている。これはデジタル変調を施されたシンボル区間TSのキャリアに逆フーリエ変換を施したものを、キャリア間隔 $f_c = 1/TS$ で複数並べたものになる（各キャリアは互いに直交関係にある）。このことから任意のキャリアはそのシンボル区間で積分することで、他のキャリアの影響を受けずに取り出すことができる。また、OFDMはシンボル区間TSを長くする、すなわちキャリア間隔 $f_c$ を狭くすることで、マルチパスや周波数選択性フェージングへの耐性を高めている。

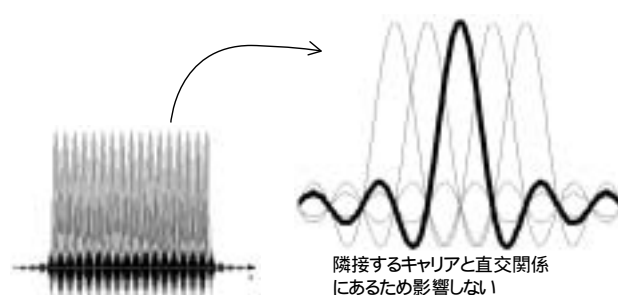


図-10 OFDMのスペクトル  
Fig.10 Spectrum of OFDM

しかしマルチパスによる遅延が大きくなると各キャリア間の直交性が保たれなくなり、誤りを回避できなくなる。そこでガードインターバルと呼ばれる冗長区間が考慮された。これは各キャリアの周波数間隔を変えずに、シンボル長を想定されるマルチパス波の遅延時間（ガードインターバル区間）分だけ長くする方法である。受信部では、マルチパスによるシンボル間干渉が想定されるガードインターバル部のデータを無視し、残りのデータをOFDM復調することで正常に受信することが可能となる。

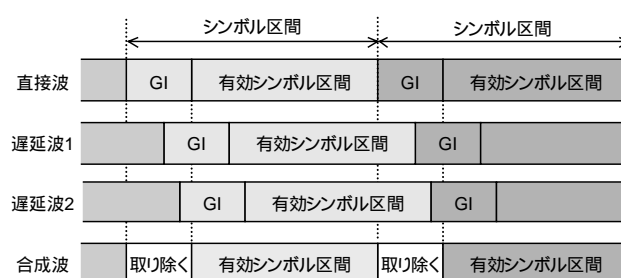
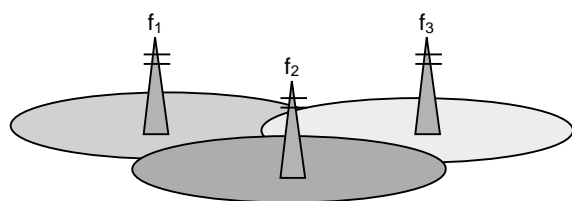


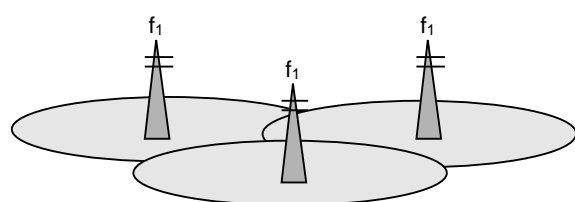
図-11 ガードインターバルのイメージ  
Fig.11 Image of guard interval

このガードインターバルを設ける事によって、地上波デジタル放送はSFN（Single Frequency Network）と呼ばれる同一の周波数での中継が実現できる。従来のアナログ放送は、隣接する中継局同士で混信が起るため同一の周波数を用いることは困難であった。しかしOFDMを用いることによってガードインターバル区間内の遅延であれば干渉は発生しないため、放送エリアごとに周波数を変えることなく放送波の中継を行うことができる。

アナログ放送



デジタル放送

図-12 SFNのイメージ  
Fig.12 Concept of SFN

この様にデジタル放送にはさまざまな技術が用いられ、これらの技術を用いる事によって、移動体でも高品質・多チャンネル・マルチメディアサービスの受信が可能となることが期待されているが、移動体とくに車で受信する場合にはさまざまな問題点が発生する。次節では地上波デジタル放送を移動体で受信する場合の問題点を考察する。

表-4 地上波デジタルテレビ放送の伝送パラメータ

Table 4 Transmission parameters for digitalized terrestrial TV broadcasting

伝送パラメータ	MODE1	MODE2	MODE3
OFDMセグメント数	13		
帯域幅	5.575MHz	5.573MHz	5.572MHz
キャリア間隔	3.968kHz	1.984kHz	0.992kHz
キャリア数	1405	2809	5617
変調方式	DQPSK, 16QAM, 64QAM		
有効シンボル長	0.252ms	0.504ms	1.008ms
ガードインターバル長	有効シンボル長の 1/4, 1/8, 1/16, 1/32		
内符号	畳み込み符号 ( 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8 )		
外符号	Reed-Solomon( 204, 188 )		
情報ビットレート	3.65Mbps ~ 23.23Mbps		

## 5

## 移動体受信での課題

## 5.1 アンテナの問題点

アナログテレビ放送は電界強度が下がっても、画質は緩やかに劣化し画面の判別は可能である。しかしデジタル放送の場合、電界強度がある値を下回ると急激に受信不良となり画面の判別はできず、また音声も停止してしまう。このようなことから、アンテナ部で少しでも利得を上げることが必要となる。実用されているアンテナは固定（ホーム）受信の場合は八木アンテナ、車載用は一般的にポールアンテナであることが多い。八木アンテナとポールアンテナを比較すると、利得差が大きく車載受信は固定受信と比べて不利となる。回線設計上は固定受信のアンテナ利得は8dBi（14素子の八木アンテナ）で設計されており一方、車載テレビアンテナの利得は-7dBi（ポールアンテナ）で約15dB利得が不足している。また固定受信用の八木アンテナは約10mの高さに取り付けられ、車載用のアンテナは約1.2mの高さに限り取り付けられることが多い。一般的にアンテナの取り付け位置は高い方が有利であるため、固定受信用と車載用のアンテナではさらに-13dB差が加算され、合計28dB利得差が生じる。

実際の地上波デジタルテレビを放送は、放送局、ユーザーともにハイビジョン（HDTV:High Definition Television）放送を望む事が想定される。HDTVで放送するためには20Mbps（1080p）以上の情報レートを必要とする。表5に受信方式、情報レート、所要C/Nの関係を示した。20Mbps以上の情報レートを確保するためには64QAMでの放送となる。その反面、64QAMを受信するためには所要CNが22.0dB必要となる。車載用のアンテナで22dB以上のC/Nを確保することは非常に困難であり、

表-5 受信方式、情報レート、所要C/Nの関係

Table 5 Relationship between reception method, data rate and required CNR

変調方式	情報レート 13セグメント	所要C/N マルチパス無し 停車時
64QAM	21.0Mbps( 7/8 )	22.0dB
16QAM	10.8Mbps( 2/3 )	13.5dB
DQPSK	5.4Mbps( 2/3 )	7.7dB

括弧内は符号化率

受信可能エリアが固定受信での受信可能エリアよりも狭くなってしまふ。(図13参照)

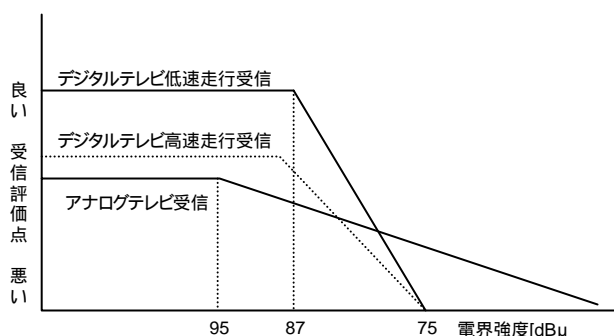


図-13 地上波デジタルテレビ放送の移動受信特性

Fig.13 Mobile reception characteristics for digitalized terrestrial TV broadcasting

さらに車載用のアンテナにはもうひとつ、指向性の問題がある。固定受信用の八木アンテナは指向性を電波の到来方向(直接波)に向けることで、マルチパス(ビルなどによる反射波や回折波)による影響を十分に抑制することができる。しかし車載用のアンテナは基本的に無指向性であるため、直接波とマルチパスなどの遅延波のどちらも受信してしまうことになる。

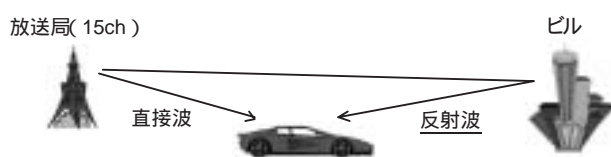


図-14 車載受信で起こる問題

Fig.14 Problems with in-vehicle reception

遅延波などによるマルチパスは、受信したOFDM信号のシンボル間干渉やシンボル内干渉を引き起こす原因となる。シンボル間干渉は、遅延量が先に述べたガードインターバル区内であれば、ガードインターバル区間を切り捨てることで防ぐことができる(図11参照)。一方シンボル内干渉は直接波が遅延波の影響を受けてしまい、OFDMのスペクトルは図15のようにOFDM特有の台形の一部がつぶれたような形になる。そうすると、干渉を受けたキャリアは取り出せなくなってしまい、情報が誤って伝達される。

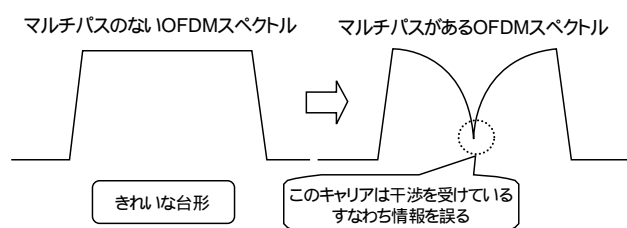


図-15 マルチパスによるOFDMスペクトルへの影響

Fig.15 Influence of multipath interference on OFDM

## 5.2 高速移動によるドップラーシフト

車載受信の場合は常に移動しているため、受信する周波数 $f_c$ はドップラーシフト周波数 $\pm f_d$ 分だけ周波数がシフトしてしまう。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。一般に受信可能なドップラーシフト周波数はキャリア間隔の2.5%と言われており、各モード別での受信限界ドップラーシフト周波数は表6のようなになる。表のMODE3の場合を見ると、受信可能走行速度は理論的に35km/hとなり、高速走行では受信が不可能となる。

表-6 ドップラーシフトによる受信限界

Table 6 Reception limits imposed by Doppler shift

	ドップラーシフト 周波数の限界	受信限界の 走行速度
MODE1	100Hz	140km/h
MODE2	50Hz	70km/h
MODE3	25Hz	35km/h

走行速度は62ch(770MHz) 64QAMの場合

実際の走行はマルチパスとドップラーシフトが入り混じった環境となり、より一層厳しい条件となる。図16ように低速走行時のマルチパスと高速走行時のマルチパスを考えた場合、低速走行時はパイロット信号をもとに補正可能であるが、高速走行時は、各キャリアが $\pm f_d$ ( $f_d$ :ドップラーシフト周波数)シフトしてしまい、パイロット信号をもとにしても補正不可能となる。

低速走行時のマルチパス  
パイロット信号をもとに補正可能

高速走行時のマルチパス  
対策困難

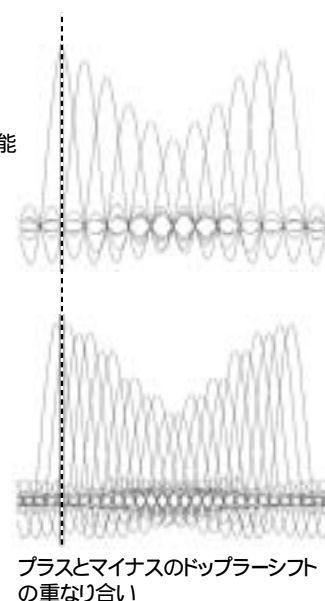


図-16 車載受信でのマルチパス、ドップラーシフトによる影響

Fig.16 Influence of multipath interference and Doppler shift on in-vehicle reception

また先に述べたSFNの観点から考えると、SFNに有利な方式はシンボル区間が長いMODE3であるが、表6に示すようにドップラースhiftによる影響を最も受けやすく、移動体には不利な方式であることがいえる。

これまで述べてきた移動体での問題点をまとめると以下のようなトレードオフの関係がある（表7参照）。

- ・HDTVで放送するためには64QAMでの変調が必要になる一方、移動受信のアンテナには非常に不利な方式である
- ・SFNにはシンボル区間の長いMODE3が有利である一方、ドップラースhiftによる影響を受けやすく、移動体に不利である。

表-7 方式の違いによる移動受信特性

Table 7 Mobile reception characteristics with different methods

	移動体	SFN		移動体	ビットレート
MODE1	有利	不利	DQPSK	有利	不利
MODE2			16QAM		
MODE3	不利	有利	64QAM	不利	有利

このトレードオフの関係から、移動体でHDTVを受信することは非常に困難であるということがわかる。またSDTVも製品としての品質を確保するためには課題が多い。そのため部分受信セグメント（MPEG4でのサイマルキャスト）が想定されており、移動体においても地上波デジタルテレビ放送を楽しむことができる。

## 6

## あとがき

本技術ノートでは急速に加速する放送分野のデジタル化の動向とその技術について紹介した。また移動体での問題点であるアンテナ利得、マルチパスさらにドップラースhiftの問題について概説した。

今後「見る」、「聴く」放送から「使う」放送へと変化し、車でのデジタル放送の受信に対するニーズは今後ますます高まってくることが予想される。

当社では、欧州のDAB受信機開発の経験を生かし、米国のIBOCさらには来る2003年の国内の地上波デジタル放送開始に受信機の市場投入を目指して開発を進めていく。

### 参考文献

- ・日本放送協会 日本放送出版協会「NHKラジオ技術教科書」pp69-97 1993年
- ・ARIB STD-B31「地上デジタルテレビジョン放送の伝送方式」社団法人電波産業会
- ・ARIB STD-B29「地上デジタル音声放送の伝送方式」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
- ・ARIB STD-B24「デジタル放送におけるデータ符号化方式と伝送方式」社団法人電波産業会
- ・電通総研 日刊工業新聞社「デジタル放送の時代」pp47-77 1994年
- ・佐々木満「デジタル放送と当社の取り組み」富士通テン技報Apr.2000 vol.18 No.1 pp41-46 2000年

### 筆者紹介



合原 秀法  
(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、開発統括部技術開発部に在席。



高山 一男  
(たかやま かずお)

1976年入社。以来、電子同調チューナー、ダイバーシティアンテナ、アンテナアンプ、FM多重受信機などの受信技術開発に従事。現在、AVC本部アンテナシステム技術部担当部長（先行開発担当）兼技術開発部担当部長。