

# 北米地上デジタル音声放送受信機の開発

Development of North America Terrestrial Digital Audio Broadcasting Receiver (HD Radio)

|   |   |   |                   |
|---|---|---|-------------------|
| 三 | 野 | 修 | Osamu Mino        |
| 藤 | 原 | 孝 | Takanori Fujiwara |
| 西 | 澤 | 秀 | Hideshi Nishizawa |
| 高 | 山 | 一 | Kazuo Takayama    |



## 要 旨

ラジオ放送は、世界的にデジタル放送が開始され、創始期から普及期へと進み始めている。北米における地上波ラジオ放送もIBOC (In-Band On-Channel) といわれる方式を採用し、'02年10月より放送開始されている。北米地上デジタル音声放送は、AM/FM放送と同じ周波数帯で放送を行っているがAM/FMの放送波と比べて帯域幅が広い。このため、既存の放送局との混信、妨害を受けることが懸念されている。また、受信品質に応じてデジタル音声とアナログ音声を切替えて出力できるが、この切替え時に受信品質の違和感がある。

当社は、デジタル放送、アナログ放送に対応して受信帯域フィルタ切替えを行い混信、妨害特性に優れ、デジタル音声とアナログ音声の切替えを音声処理の最適化により違和感なく、安定して受信できる受信機を開発した。

本稿では、世界のデジタル放送の概要と上記問題点に対応した当社の北米地上デジタル音声放送受信機について紹介する。

## Abstract

Digital radio broadcasts have begun worldwide and are beginning to progress from initiation to widespread acceptance. Terrestrial digital radio broadcasts in North America have been in service since October 2002 applying IBOC (In-Band On-Channel) technology. Terrestrial digital audio broadcasts in North America are conducted using the same frequency band as AM/FM broadcasts, and the bandwidth of digital audio broadcasts is wider than that of AM/FM broadcast waves. This has led to concerns that these broadcasts will interfere with those of existing stations. Additionally, although broadcasts can be switched between digital and analog output in accordance with reception quality, doing so causes poor reception during the switchover itself.

FUJITSU TEN developed a receiver that uses a reception bandwidth filter to switch over between digital/analog broadcasts, effectively preventing interference, and optimally processing the analog/digital switchover for clear, stable reception.

This report provides an overview of digital broadcasting worldwide and explains the North American terrestrial digital audio broadcast receiver developed at FUJITSU TEN to address the aforementioned issues.

## 1

## はじめに

1996年ヨーロッパのDAB(Digital Audio Broadcasting)から世界のデジタルラジオ放送が始まった。

その後、2001年の北米の衛星デジタルラジオ放送、2002年の北米地上デジタル音声放送、さらには2003年10月から日本でも地上波デジタル音声放送が試験放送されている。また、2004年10月から衛星を使ったモバイル放送も放送開始してきている。

ラジオの世界においてもデジタル化の流れが、着々と進んできている。

## 2

## 世界のデジタルラジオ放送



図-1 世界のデジタルラジオ放送国

Fig.1 Countries broadcasting digital radio in the world

現在、世界のデジタルラジオ放送では、大きく分けて以下の放送方式がある。

- ・ヨーロッパを中心としたDAB (Eureka147) 方式
- ・北米のIBOC(In-Band On-Channel)方式
- ・日本のISDB-T方式
- ・衛星デジタル方式

## 2.1 DAB方式

ヨーロッパでのDAB(Digital Audio Broadcasting)は1996年より、主にドイツ・イギリス・フランスで放送が開始された。移動体向けにVHF帯と1.5GHz帯の周波数で帯域幅1.5MHzで複数アンサンブルのデジタル・オーディオ及びデータを提供するデジタルラジオである。(無料放送)

表-1 DABの放送開始状況

Table 1 Start status of DAB broadcasting

| 国      | 放送開始時期   | 現在の人口カバー率 |
|--------|----------|-----------|
| イギリス   | 1996年    | 86%       |
| ドイツ    | 1996年    |           |
| フランス   | 1996年    |           |
| イスラエル  | 1996年    | 85%       |
| シンガポール | 1999年11月 | 100%      |
| カナダ    | 1999年11月 | 35%       |
| 台湾     | 2000年 3月 | 40%       |
| トルコ    | 2002年 3月 | 17%       |

## 2.2 IBOC方式

北米での地上波デジタル音声放送では、ラジオ局が使用している既成のAM/FM周波数を使用する。アナログ放送波と同時にデジタル信号も流すことができる。これはiBiquity Digital社が開発したIBOC (In-Band On-Channel) 技術の名称で「HD Radio」として2002年10月より放送開始されている。FCCでは2002年4月に「HD Radio」をフルタイムでのFM放送に認可し、AM局については夜間放送を更にテストする条件で昼間の放送に関して認可した。また、2004年4月に暫定法案に関する追加事項を発表。AMの夜間放送を認可に関する上程、SAC (Supplemental Audio Channels) とデータサービスの認可に関する上程、業界からのコメント収集は8月に完了している。今後、FCCからの最終的な細目制定は2005年2Q期頃に出るものと見られる。

現在、ライセンス局は700局以上、ON AIR局300局以上、市場カバー率85%となってきた。

今年の北米最大のエレクトロニクスショー'05CESで、放送局グループが、数年以内に2000局をこえる予定でHD Radioの放送を開始するとアナウンスしている。(無料放送)

## 2.3 ISDB-T方式

日本の地上波では、ISDB-T方式の地上デジタル音声放送の実用化試験放送として2003年10月より放送開始されている。

本格放送は2011年のアナログTV放送の停波後の予定となっている。(無料放送)

## 2.4 衛星デジタル方式

北米での衛星デジタルでは、CD並みの音質で音楽をSバンド2.4GHz帯の衛星経由で提供している。家でも車でも何処でも月額\$9.95で受信できるデジタル・ラジオのサービスである。このサービスは、XM Radioが2001年9月に、また、Sirius Satellite Radioが2002年2月から放送開始した。現在、XMは約300万人加入、SIRIUSは約100万人加入となってきた。(共に有料放送)

日本の衛星デジタル放送では、モバイル放送がSバンド2.6GHz帯で2004年10月より放送開始されている。(有料放送)

## 2.5 その他の方式

中国では2005年から衛星を使用したデジタルテレビ放送を開始、2008年に地上波デジタル放送を開始、2015年にアナログ放送を終了する計画である。

世界では日米欧3種の基準があるが、中国は独自開発した基準が採用される可能性が高い。

以上の放送をまとめると、次の表-1、2のようになる。

表-2 世界のデジタルラジオ放送（動き）

Table 2 Digital radio broadcasting in the world (trends)

| 分類  | 地域 | サービス | 2000          | 2001            | 2002                                      | 2003 | 2004                 | 2005 | ～2010 |
|-----|----|------|---------------|-----------------|-------------------------------------------|------|----------------------|------|-------|
| ラジオ | 地上 | 日本   | ISDB-T        |                 |                                           |      | ●03秋 試験放送開始(東京・大阪地域) |      |       |
|     |    | 米国   | IBOC-DAB      |                 |                                           |      | ●放送開始(CES)           |      |       |
|     |    | 欧州   | Eureka147-DAB | 96 年放送開始普及はゆっくり |                                           |      |                      |      |       |
|     | 衛星 | 日本   | ISDB-S        |                 |                                           |      | ●04 放送開始             |      |       |
|     |    | 米国   | XM/Sirius     |                 | ●01/9 放送開始(受信機価格\$200～300,月額\$9.95/12.95) |      |                      |      |       |
|     |    | 欧州   | DAB-S         |                 |                                           |      | 放送開始未定               |      |       |

表-3 世界のデジタルラジオ放送（方式）

Table 3 Digital radio broadcasting in the world (format)

| ITEM                | DAB              | IBOC                                          | ISDB-T                                       | XM              | SIRIUS          |
|---------------------|------------------|-----------------------------------------------|----------------------------------------------|-----------------|-----------------|
| Mod                 | DQPSK            | QPSK<br>16QAM<br>64QAM                        | DQPSK<br>QPSK<br>16QAM<br>64QAM<br>/BST-OFDM | QPSK            | QPSK            |
|                     | /COFDM           | /COFDM                                        |                                              | TDM<br>/COFDM   | TDM<br>/COFDM   |
| Error correction    | Convolution      | Convolution                                   | RS+Convolution                               | RS+ Convolution | RS+ Convolution |
| Audio Encoding      | MPEG-1<br>Layer2 | HDC                                           | MPEG-2<br>AAC                                | PAC             | PAC             |
| Freq. Band          | VHF,UHF          | AM,FM                                         | VHF,UHF                                      | 2328.5-2332.5M  | 2332.5-2345M    |
| Bandwidth           | 1.536MHz         | 400kHz<br>(FM-Hybrid)<br>35kHz<br>(AM-Hybrid) | 430kHz<br>(1Segment)                         | 12.5MHz         | 12.5MHz         |
| Effective Data rate | 800～1700k        | 128k<br>(hybrid)                              | 280～1787k<br>(1Segment)                      | 4.4M            | 4.0M            |
| Standardization     | 1995             | 2001                                          | 1999                                         |                 |                 |
| On Air              | 1997             | 2003                                          | 2003                                         | 2000            | 2001            |

この各国のデジタル放送は、それぞれ方式が異なっており共通性がない。



図-2 HD Radioの今後数年後の開局予想（iBiquity資料）

Fig.2 Service-in Forecast of HD radio station in the next few years (iBiquity materials)

### 3 IBOC (In-Band On-Channel) 放送方式概要

IBOC方式には、AM / FM放送がアナログ放送からデジタル放送への移行過渡期段階のハイブリット方式とすべての放送局が完全にデジタル放送に移行した段階でのオールデジタル方式の2つがある。

現状では、AM / FM放送のアナログ波とIBOC方式のデジタル波と混在した移行過渡期であり、以下にハイブリッド方式の特徴を示す。

#### 3.1 IBOC放送方式の特徴

北米地上波デジタル音声放送IBOC方式「HD Radio」は、従来のアナログAM,FMと互換性をもっており、周波数、アンテナ、カバーエリア、無料放送等従来のラジオそのまままで高品位な放送デジタル化が可能になる方式である。放送局側にとっても、受信ユーザ側にとっても双方にメリットがあり、これからインフラの整備とともに、急速に普及して行く予想される。

IBOC方式「HD Radio」の特徴を以下に述べる。

- ・世界で唯一の既存のAM / FMと互換性のあるハイブリッドなデジタル放送である。放送自体は従来のAM / FMと同じでアナログと同じ内容がデジタル音声で無料で楽しめる。
- ・車載でのマルチパスノイズ、フェージングノイズに強い安定した受信ができる。
- ・従来のラジオのANT等設備がそのまま利用できる。
- ・強・中電界地域ではデジタル、弱電界地域ではアナログへとスムーズに切り替わり、放送カバーエリアは、アナログ放送と同じで変わらない。

#### 3.2 IBOC-FM方式

IBOC-FMの方式は、アナログ放送波の両側に約70kHz幅のOFDM波を追加した形となっている。サブキャリア（副搬送波）数は片側190本x2で合計380本、キャリア間隔363.4Hzとなっている。

OFDMとは、「Orthogonal Frequency Division Multiplexing」の略で、直訳すると「直交周波数分割多重」。変調方式やシンボルレート（変調速度）を変えずにデータ通信の速度を上げることのできる伝送技術である。

OFDMは、中心周波数が異なる複数のサブキャリアを利用することで、高い周波数効率を実現している。送信するデータを細かく分割し、複数の副搬送波に乗せて並列に伝送する多元通信の特殊な方法である。データを分割することで、1つの搬送波あたりのシンボル伝送速度をシリアル転送する場合よりも遅くすることができ、補完信号を挿入することもできる。このため、全体としてフェージング（無線通信において信号の強度等が時間的・空間的に大きく変化する現象）の影響を小さくすることができる。また、隣り合うサブキャリアの帯域が重なり合うほど近接させても干渉することがないように、互いに「直交」させて送信が行われる。

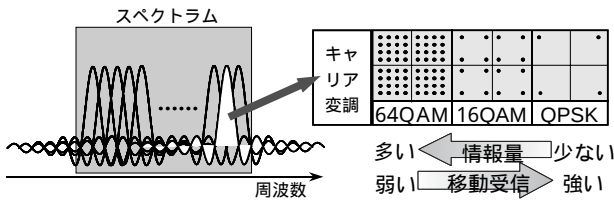


図-3 OFDMとキャリア変調  
Fig.3 OFDM and carrier modulation

表-4 IBOC-FMパラメータ

Table 4 IBOC-FM parameters

| Parameter Name          | Symbol     | Units | Fixed Value                                | Computed Value (to 4 significant figures) |
|-------------------------|------------|-------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|
| OFDM Subcarrier Spacing | $\Delta f$ | Hz    | 1485375/4096                               | 363.4                                     |
| Cyclic Prefix Width     | $\alpha$   | none  | 7/128                                      | $5.469 \times 10^{-3}$                    |
| OFDM Symbol Duration    | $T_s$      | Sec   | $(1+\alpha)/\Delta f = (125/128)(1485375)$ | $5.805 \times 10^{-4}$                    |
| OFDM Symbol Rate        | $R_s$      | Hz    | $= 1/T_s$                                  | 172.3                                     |
| LT Frame Duration       | $T_f$      | Sec   | $65536/44100 = 512 T_s$                    | 1.489                                     |
| LT Frame Rate           | $F_f$      | Hz    | $= 1/T_f$                                  | $6.729 \times 10^{-1}$                    |
| LT Block Duration       | $T_b$      | Sec   | $= 32 T_s$                                 | $9.258 \times 10^{-5}$                    |
| LT Block Rate           | $F_b$      | Hz    | $= 1/T_b$                                  | 10.77                                     |
| LT Block Pair Duration  | $T_{bp}$   | Sec   | $= 64 T_s$                                 | $1.858 \times 10^{-4}$                    |
| LT Block Pair Rate      | $F_{bp}$   | Hz    | $= 1/T_{bp}$                               | 5.383                                     |
| Diversity Delay Frames  | $N_{dd}$   | none  | 3 = number of LT frames of diversity delay | 3                                         |

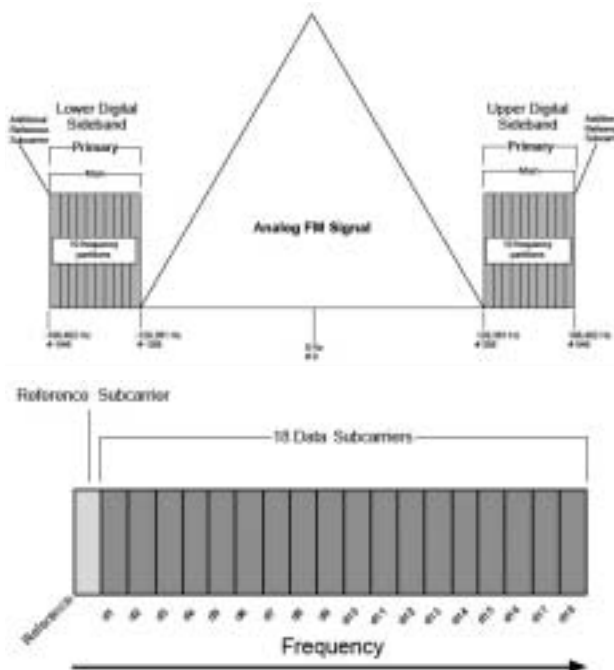


図-4 IBOC-FMスペクトラム  
Fig.4 IBOC-FM spectrum

リファレンスサブキャリアは、18データサブキャリア毎にサブキャリアが配置されている。  
この場合の伝送ビットレート（MP1モードの場合）はデジタル音声用に98.4kbps（内デジタル音声96kbps）  
その他データ用に0.9kbpsとなる。

### 3.3 IBOC-AM方式

IBOC-AMの方式は、アナログ放送波の両側に約5kHz幅のOFDM波を3波追加した形となっている。キャリア総数は片側80本×2で合計160本、キャリア間隔は181.7Hzとなっている。

表-5 IBOC-AMパラメータ

Table 5 IBOC-AM parameters

| Parameter Name          | Symbol     | Units | Fixed Value                                | Computed Value (to 4 significant figures) |
|-------------------------|------------|-------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|
| OFDM Subcarrier Spacing | $\Delta f$ | Hz    | 1485375/6144                               | 181.7                                     |
| Cyclic Prefix Width     | $\alpha$   | none  | 7/128                                      | $5.469 \times 10^{-3}$                    |
| OFDM Symbol Duration    | $T_s$      | Sec   | $(1+\alpha)/\Delta f = (125/128)(1485375)$ | $5.805 \times 10^{-4}$                    |
| OFDM Symbol Rate        | $R_s$      | Hz    | $= 1/T_s$                                  | 172.3                                     |
| LT Frame Duration       | $T_f$      | Sec   | $65536/44100 = 512 T_s$                    | 1.489                                     |
| LT Frame Rate           | $F_f$      | Hz    | $= 1/T_f$                                  | $6.729 \times 10^{-1}$                    |
| LT Block Duration       | $T_b$      | Sec   | $= 32 T_s$                                 | $9.258 \times 10^{-5}$                    |
| LT Block Rate           | $F_b$      | Hz    | $= 1/T_b$                                  | 10.77                                     |
| Diversity Delay Frames  | $N_{dd}$   | none  | 3                                          | 3                                         |
| Diversity Delay Time    | $T_{dd}$   | Sec   | $= N_{dd} T_f$                             | 4.458                                     |

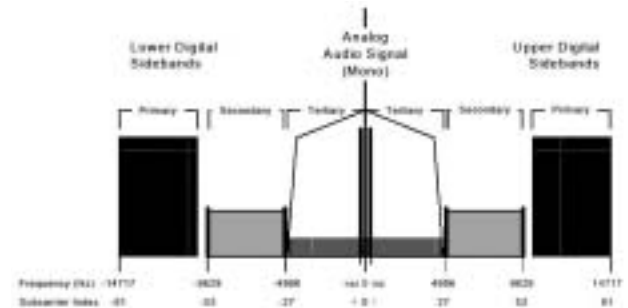


図-5 IBOC-AMのスペクトラム  
Fig.5 IBOC-AM spectrum

両側より64QAM、16QAM、QPSKのデジタル変調で変調されている。リファレンス・キャリアはBPSK変調で容易に周波数同期がとれるように配慮されている。

この場合の伝送ビットレート（MA1モードの場合）はデジタル音声用に36.4kbps（内デジタル音声36kbps）  
その他データ用に0.4kbpsとなる。

### 3.4 IBOC受信機の構成

以下に受信機の一般的構成を示す。

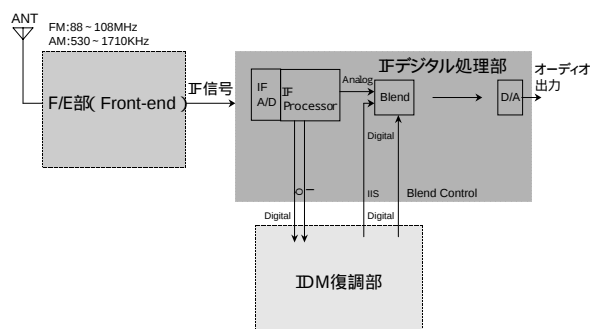


図-6 受信機構成  
Fig.6 Receiver configuration

回路は大きく分けてフロントエンド(F/E)部、IFデジタル処理部、IDM ( IBOC Digital Module ) 復調部の3つに分かれる。

アンテナから入った受信信号は、F/E部で高周波増幅と周波数変換が行われ中間周波数 (IF) に変換される。

ここで妨害波等除去のためフィルタを通り、自動利得制御 (AGC) 増幅回路を通り、IFデジタル処理部へ入る。

IFデジタル処理部で初めて受信信号がデジタル処理(IF A/D)されデジタル信号に変換される。また、ここでアナログ波の復調処理とデジタル波のデコード処理をするIDM復調部へと振り分けられる。

IDM復調部でデジタル波の復調、デコード処理が行われ、デジタル音声信号、ブレンド信号が再びIFデジタル処理部へと返される。

IFデジタル処理部では、アナログ波を復調したデジタル音声信号とIDM復調部からのデジタル音声信号をブレンド信号に基づいて合成と切替え処理 (ブレンド操作) を行う。

そして、そのデジタル出力をDA変換(D/A)し、オーディオ出力として出力する。

#### IBOC方式概要:ブレンド操作

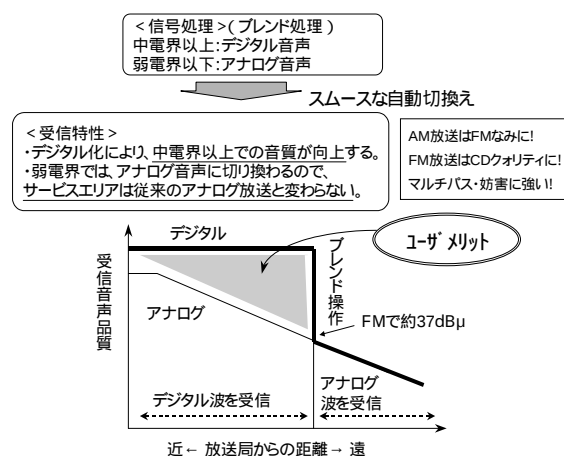


図-7 ブレンド操作

Fig.7 Blending operation

放送局から近く（強，中電界）ではデジタル波を受信し，遠く（弱電界）ではアナログ波を受信して受信機側で音声のスムーズな自動切替えを行い音声のときれがないようにするのがブレンド操作である。

スムーズな自動切替は，受信機においてデジタル音声とアナログ音声の，時間差，品質差を考慮して補正を行いながら合成しつつ音声の切替えを行う処理を後述のDSPで実行させている。

#### 3.5 IBOC受信機の技術的課題

IF広帯域化と混信妨害排除性能の両立：

IBOC波はデジタル放送であり，AM/FMの放送波と比べて帯域が広い。そのため広い帯域のフィルタが使われている。

この状態で，従来のアナログ波を受信すると帯域内に妨害波が入り隣接チャンネル妨害等を受けて混信妨害を受け易くなる。

・IFフィルタの切替えとそのアルゴリズム最適化がポイントである。

アナログとデジタルのスムーズな切替：

デジタル波の受信限界点になったときに突然デジタルの音が音切れしたり，アナログに切り替わるのではその品質差が大きく違和感も大きい。

・ブレンド処理の最適化が受信のスムーズさを実現する。

#### 4

#### IBOC放送受信技術

当社の開発した北米地上波デジタル音声放送受信機のブロック図を図-8に示す。

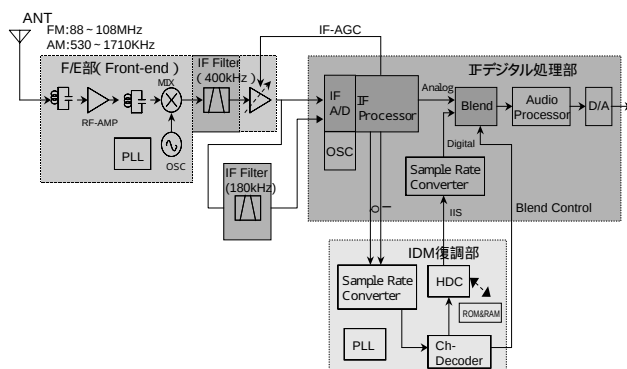


図-8 受信機構成ブロック図

Fig.8 Block diagram of receiver configuration

F/E部では「HD Radio」のデジタル受信用としてデジタルの側波帯を通過できる400kHzの広帯域フィルタを使用した。そして，IBOC方式の変調波をすべてIFデジタル処理部のA/D入力へ出力する。また，F/E部とIFデジタル処理部との間に，IFフィルタ分岐回路を置いて，アナログ信号成分をIFフィルタ(180kHz)を通してもう一方のIFデジタル処理部のA/D入力へ出力する。F/E部はこの2系統のIF出力をIFデジタル処理部へ入力している。

これは，隣接妨害特性の改善のため，IFデジタル処理部で独自のアルゴリズムでデジタル受信時とアナログ受信時のIF入力系統の切替えと内部IFフィルタ帯域幅を切替えている。

IFデジタル処理部はまた，デジタル受信時に外部のデジタル復調回路(IDM復調部)と内部のアナログ復調回路に各

信号出力を分岐している。復調後は外部デジタル復調回路からのデジタル信号と内部のアナログ復調回路からの信号とをブレンド処理（DSP処理によるデジタル音声，アナログ音声の受信状態での品質差，時間差を考慮した信号合成）してスムーズな切替えを実現している。

#### 4.1 IF帯域切替え処理

フィルタを広帯域フィルタとアナログ波用の狭帯域フィルタの2つ用意しフィルタの帯域幅切替えを受信モードによって入力系統を切り替えることで実現させた。

迅速な切り替え，およびAMでの狭帯域フィルタを実現するためDSP内にデジタルフィルタを形成し，帯域幅を受信モードに応じて可変させている。

IF帯域フィルタは

- アナログ用のフィルタは帯域幅180kHz
- デジタル用のフィルタは帯域幅400kHz

DSP内部のデジタルフィルタ設定は

- アナログAM時帯域幅9kHz
- アナログFM時帯域幅180kHz
- デジタルAM時帯域幅35kHz
- デジタルFM時帯域幅400kHz

になるよう設定し，動作させている。

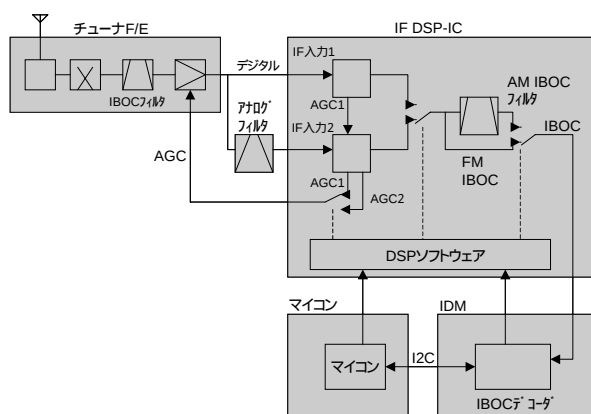


図-9 IF信号処理

Fig.9 IF signal processing

AGCの切替えは

デジタル信号が検出されるとき，マイコンはAGC切替えモード（デジタル：AGC1）を選択する。

デジタル信号が検出されない時，マイコンはAGC切替えモード（アナログ：AGC2）を選択する。

IF入力はデジタルとアナログ用の2入力を基本として，デジタル信号検出によってデジタルモードに切替え，内部AGCモードを切替えるようにした。

これにより，アナログ，デジタル信号がそれぞれに最適な帯域幅のフィルタを通るようにIF信号処理DSP内部で切

換えられるようにしている。また，内部のデジタルフィルタもモードにより自動的に帯域幅を切替え，隣接妨害波を除去するように動作させている。

#### 4.2 ブレンド処理

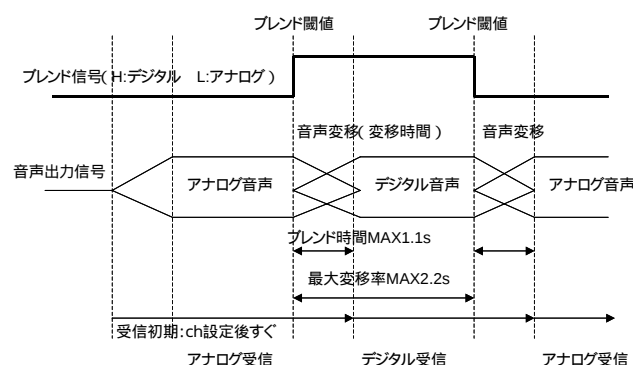


図-10 ブレンド変移処理

Fig.10 Blending transition process

ブレンド処理は，IBOC復調したあとでアナログ音声信号とデジタル音声信号をそれぞれ受信品質に応じて切替え

ている。アナログとデジタルの切り替えの閾値を北米実走評価にて最適値を選び，ブレンド時間の最適値も受信評価にて決定した。

ブレンド処理をするうえで，考慮すべき事項は，次のものがある。

ブレンド閾値

ブレンド閾値は，一方の音源からもう一方へ変移がそれに基づいて行われるものでデジタル経路音声品質をコントロールする手段である。受信機の実走評価は閾値の選択を制御する。ホストコントローラはIBOCプロセッサに，ホストコントローラバス上でのコマンドを通してどの閾値レベルを使うべきか伝える。デジタル信号品質度にもとづいて表-6に6つのブレンドのレベルが示されている。6つの閾値レベルはデジタル信号とアナログ信号の選択とQ1 - Q4で示されている品質によって4つの場合に

表-6 ブレンド閾値レベル

Table 6 Blending threshold levels

| 閾値レベル：Q | 品位レベル          |
|---------|----------------|
| 0       | ブレンド無し：アナログのみ  |
| 1       | 最高デジタルオーディオ品質  |
| 2       | ほとんどまれな障害がある品質 |
| 3       | 気になるが耐えられる品質   |
| 4       | 気になり破綻する品質     |
| 5       | N / A          |
| 6       | N / A          |
| 7       | ブレンド無し：デジタルのみ  |

閾値レベルQが3, 2, 1となるとデジタルオーディオ品質が上がっていくが、その分、音とぎれしやすくなる。また、閾値レベルQが3, 4となるとデジタルオーディオ品質は、低下するが、デジタルの音とぎれが発生しなくなる。音とぎれと品質との間でトレードオフの関係にある。

表-7 ブレンド閾値評価  
Table 7 Blending threshold evaluation

1 - 1 FM評価  
日時: 03 07 10\_17:30~  
場所:BETHANY CIRCLE(送信所より約25KHz程度)  
fd:105 1MHz(誘起電圧:26dBu, 39dBu, 19dBu)

| BLEND TH MODE | 切替頻度 | 受信時間率   |        | DAT録音時間(No.1) |         | comment |
|---------------|------|---------|--------|---------------|---------|---------|
|               |      | DIGITAL | ANALOG | 開始時間          | 終了時間    |         |
| ALL DIGITAL   | 4回   |         |        | 0:00:00       | 0:01:13 | 音消え発生   |
| Q4            | 2回   | 96%     | 4%     | 0:01:18       | 0:02:38 | 音消え無し   |
| Q3            | 6回   | 75%     | 25%    | 0:02:44       | 0:04:05 | ↑       |
| Q2            | 7回   | 52%     | 48%    | 0:04:11       | 0:05:27 | ↑       |
| Q1            | 4回   | 48%     | 52%    | 0:05:31       | 0:06:48 | ↑       |
| ALL ANALOG    |      |         |        | 0:06:53       | 0:08:07 | ↑       |
| ALL DIGITAL   |      |         |        | 0:08:19       | 0:09:38 |         |

考察:  
Q4がベストだが、切り替りの時定数、若しくはヒステリシスによる頻繁な切替抑制は要検討。  
(信号の遅れもあり、違和感。もっと長くすべき)  
アナログの音声はまだしっかりしており、デジタルのカバーエリアの拡大が望まれる。

1 - 2 AM評価  
日時: 03 07 11\_17:00  
場所:ANN ARVOR(HOSPITAL)  
fd:1200KHz(誘起電圧:駐車場30dBu)

| BLEND TH MODE | 切替頻度 | 受信時間率   |        | DAT録音時間(No.5) |         | comment |
|---------------|------|---------|--------|---------------|---------|---------|
|               |      | DIGITAL | ANALOG | 開始時間          | 終了時間    |         |
| ALL DIGITAL   |      |         |        | 0:00:00       | 0:02:05 | 音消え発生   |
| Q4            | 7回   | 82%     | 18%    | 0:01:18       | 0:02:38 | 音消え発生?  |
| Q3            | 8回   | 47%     | 53%    | 0:02:44       | 0:04:05 | 音消え無し   |
| Q2            | 2回   | 5%      | 95%    | 0:04:11       | 0:05:27 | ↑       |
| Q1            | 0回   | 0%      | 100%   | 0:05:31       | 0:06:48 | ↑       |
| ALL ANALOG    |      |         |        | 0:06:53       | 0:08:07 | ↑       |
| ALL DIGITAL   |      |         |        | 0:08:19       | 0:09:38 |         |

考察:  
Q3がベストだが、切り替りの時定数、若しくはヒステリシスによる頻繁な切替抑制は要検討。  
(Q4は音消えがたまに発生あり、デジ・アナ切替時、音質の違いが大きく、違和感。もっと長くす  
アナログの音声はまだしっかりしており、デジタルのカバーエリアの拡大が望まれる。

これらの評価結果より当社の受信機でのブレンド閾値はQ3とした。なお、閾値レベルは、実際の音声のエンコード、デコード体系、受信機構成にも影響がある。

### ブレンド時間

ブレンド時間は一方の音源からもう一方に切り替わる際に必要な時間として定義している。ブレンド機能としての切替えはスムーズなものでなくてはならない。スムーズな変移はアナログとデジタルの音質とレベルの違いによる出力音声信号への本質的な効果を軽減してくれる。ブレンド時間はデジタル音声品質と音声選択指示のlook-ahead的な遅延に関係している。だから1.1sのデジタル音声の遅延は最大1.1sのブレンド時間が可能である。

変移機能は音源と変移率の間での最大許容遅延幅に関係している。当社の受信機でも主観的な評価と実際のフィールドでの評価結果より、システムでの最適な設定値として400msを決定している。時間が長すぎると(例えば1.1s)と聴感上なかなかアナログからデジタルに音声がかわらなく違和感がある。逆に短すぎると、早い切り替えができるが、デジタルからアナログの場合、せっかくデジタル音声を受信できているのにすぐにアナログ音声に切り替わってしま

い、デジタル受信率が低下してしまう。

例：データを貯めておけるデータ容量(最大容量)

1.1s遅延の場合：

$44100 \times 16\text{bit} \times 2 \text{ (for stereo)} = 1.4\text{Mbit}$

変移頻度(最大変移率)：

この項は一つの音源からもう一つへのスイッチングが起こる頻度を示す。それはブレンディング率と呼ばれる。

IBOC受信機の通常の最大変移率は2.2sに設定している。それは一度選択されると少なくとも1.1sはその音源が続くことを意味している。それ以上の速さの変移は非常に目立つだけでなく、全体の音質を落とす可能性がある。この設定は、実用上最大に許されるアナログ-デジタル音源の時間的なずれと同様に、デジタル経路での音質を保つことも必要ということから決定している。それは音声のフォーマットにも関係する。音声フォーマットの中にはより高い頻度の変移が可能なものがあるかもしれないが、この項で示した最大率を超えるのは推奨されていない。実際の頻度は最大頻度以上にはならないが、デジタル経路音質品質により変化する。

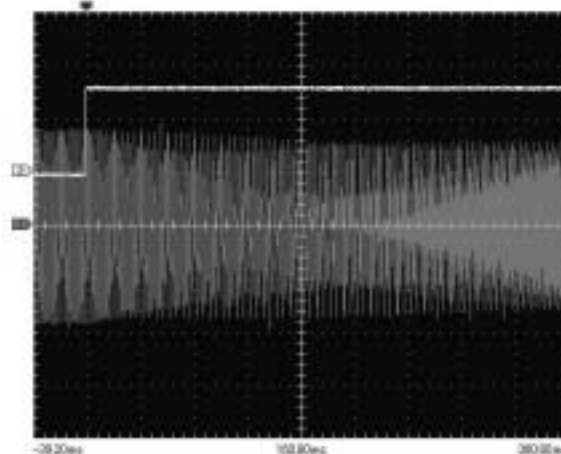


図-11 ブレンド波形例(アナログ→デジタル)  
Fig.11 Blended waveform example (analog to digital)

### アナログとデジタル信号の時間調整

デジタル信号は、送信機側のエンコード時間、受信機側のデコード時間等により遅延がかかっている。また、受信機側アナログ信号もデジタル信号とブレンド処理するために遅延時間をかけている。

それぞれの機能間の信号は正確に働くために必要な情報を互いにやり取りしている。直接そのための信号が変移処理とそれに必要な機能(音源選択)に使われる。デジタル音声とアナログ音声の時間調整は遅延校正調整(初期校正によって受信機の中に保存している)を使うことで保証されるようにしている。

## 5

## 受信特性，評価

デジタル受信性能結果を以下に示す。

AM，FM共にデジタル受信は，S/N約80dB，歪率約0.03%，セパレーション約74dBとHi-Fiオーディオ並の特性である。

表-8 IBOC-FM受信性能

Table 8 IBOC-FM reception performance

## IBOC-FM

| 目標項目       | 目標                  | 結果               |
|------------|---------------------|------------------|
| デジタル受信感度   | 37dBμ以下             | 25.5dBμ          |
| S/N        | 75dB以上              | 79.8dB           |
| 歪率         | 0.1%以下              | 0.032%           |
| ステレオレセプション | 70dB以上 L->R<br>R->L | 74.5dB<br>73.2dB |
| 周波数特性      | 20～20kHz 3dB以内      | 3dB以内            |
| イメージ妨害除去   | 50dB以上              | 50dB以上           |

表-9 IBOC-AM受信性能

Table 9 IBOC-AM reception performance

## IBOC-AM

| 目標項目       | 目標                  | 結果               |
|------------|---------------------|------------------|
| デジタル受信感度   | 37dBμ以下             | 33dBμ            |
| S/N        | 75dB以上              | 81.3dB           |
| 歪率         | 0.1%以下              | 0.031%           |
| ステレオレセプション | 70dB以上 L->R<br>R->L | 74.1dB<br>74.2dB |
| 周波数特性      | 20～20kHz 3dB 以内     | 3dB以内            |
| イメージ妨害除去   | 50dB以上              | 50dB以上           |

アナログ受信性能結果を以下に示す。

通常受信特性と感度，選択度，妨害特性が同等以上となっている。

表-10 試作機アナログ受信性能

Table 10 Analog reception performance of the prototypes

| 目標性能項目    | FM      |       | AM      |       |
|-----------|---------|-------|---------|-------|
|           | 目標値     | 結果    | 目標値     | 結果    |
| 実用感度      | 6dBμ以下  | 5.2   | 29dBμ以下 | 27    |
| リミット感度    | 8±5dB   | 8.2   |         |       |
| AGC       | 65±7dB  |       |         | 65    |
| 大信号S/N    | 55dB以上  | 63.3  | 50dB以上  | 62.2  |
| 小信号S/N    | 45dB以上  | 49.8  | 25dB以上  | 27.5  |
| 残留雑音比     | 18±5dB  | 18.2  | 22±5dB  | 22.5  |
| IF妨害比     | 40dB以上  | 118   | 40dB以上  | 93    |
| イメージ妨害    | 40dB以上  | 54.6  | 40dB以上  | 72.6  |
| ATC       | -4±5dB  | -4.1  |         |       |
| 残留ひずみ     | 0.3%以下  | 0.07  | 0.3%以下  | 0.1   |
| 忠実度100Hz  | 0±3dB   | -0.18 | 0±3dB   | -0.23 |
| 忠実度10KHz  | -18±3dB | -17.2 | 0±3dB   | -16.9 |
| サーチ感度 DX  | 22±6dBμ | 23    | 30±6dBμ | 31.5  |
| サーチ感度 LOC | 47±7dBμ | 47.5  | 50±7dBμ | 51    |

## 5.1 C/Nカーブ

FM，AM共に全帯域で，安定な特性を示している。特に周波数によるレベル差，入力レベルによるノイズレベルのあばれ等なく，アナログ受信機の性能と同等以上の結果が得られている。

IBOC FM 一般特性

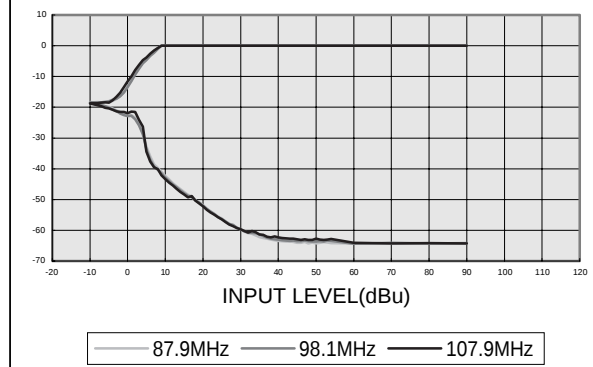


図-12 IBOC-FM一般特性

Fig.12 IBOC-FM general characteristics

IBOC AM 一般特性

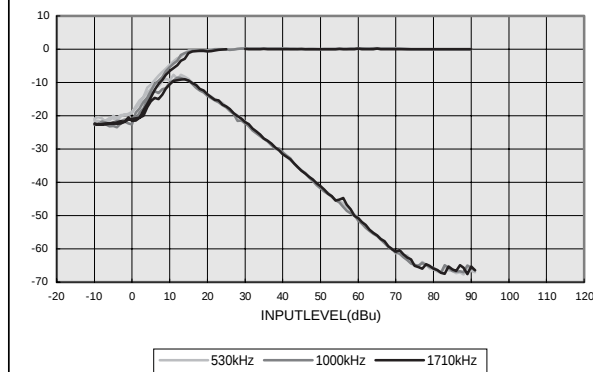


図-13 IBOC-AM一般特性

Fig.13 IBOC-AM general characteristics

## 5.2 周波数特性

IBOC-FMは40Hz～20kHzまでフラットな特性，IBOC-AMは40Hz～15kHzまでフラットな特性となっている。

IBOC-FM 周波数特性

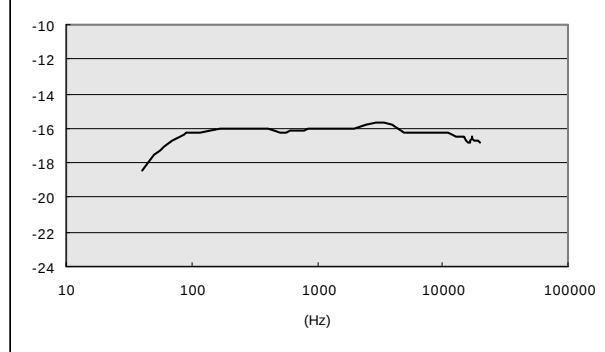


図-14 IBOC-FM (40Hz～20KHz)

Fig.14 IBOC-FM (40Hz to 20kHz)

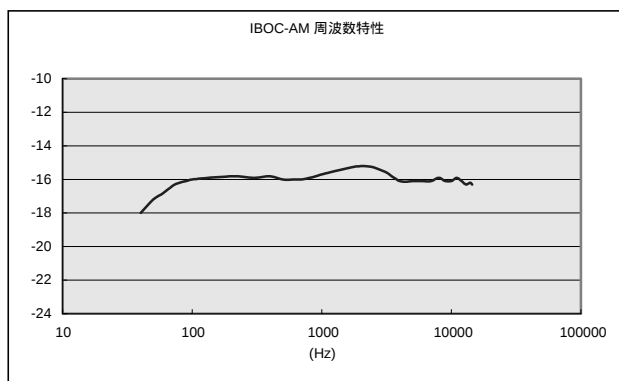


図-15 IBOC-AM (40Hz ~ 15kHz)  
Fig.15 IBOC-AM (40Hz to 15kHz)

多少のレベル変動はあるが、おおむね低域から高域にかけてフラットな特性となっている。

### 5.3 実走評価1：

東海岸 6都市での受信評価（デトロイト，ボストン，ニューヨーク，フィラデルフィア，パルチモア，ワシントンDC）



図-16 東海岸実走  
Fig.16 Field test route on the East Coast

この地域は北米でもっとも多い人口集中地域でIBOCの市場カバー人口も多い地域である。また、高層ビル等が林立し、受信環境等もマルチパスや妨害特性の影響が出やすい場所である。この地域で約2000マイルの実走行評価を行った。6都市で約30局のHD Radio放送局を受信し、デジタルデータ伝送評価、受信性能評価（マルチパス、フェージング、パルス性ノイズ等）を確認した。また、強電界地域での妨害特性等も確認し、フィルタ切り替え設定、ブレンドレベルの閾値設定等のデータを取得した。

以下に代表的なニューヨークのマンハッタンでのマルチパス特性の実走評価結果を示す。

受信評価結果：

- ・ビルの谷間でも快適にマルチパスのない安定な受信ができた。
- ・強電界での妨害や混信等もなくクリアに受信できた。
- ・フィルタ切替え設定、ブレンドレベル閾値設定等のデータ

タが取得できた。

マルチパス評価（例：ニューヨーク：マンハッタン地区）



図-17 マンハッタン実走（マルチパス評価）  
Fig.17 Field test in Manhattan (Multipath evaluation)

表-11 マンハッタンでの評価

Table 11 Evaluation in Manhattan

日時：'04. 08. 24  
場所：NEW YORK D/T（誘起電圧：約 dBu） マンハッタン

|                                 | ECLIPSE                  | IBOC  | A     | B     | C          |
|---------------------------------|--------------------------|-------|-------|-------|------------|
|                                 | IBOC1M                   | 1M-PC |       |       |            |
| fd: 102.7MHz IBOC局(強電界で強いマルチパス) |                          |       |       |       |            |
| S                               | 4                        | 4     | 4     | 4     | 4          |
| N                               | 4                        | 4     | 4     | 4     | 4          |
| ALL                             | 4                        | 4     | 4     | 4     | 4          |
| COMMENT                         | すべてデジタル受信100%            |       |       |       |            |
| fd: 710kHz IBOC局                |                          |       |       |       |            |
| S                               | 4                        | 4     | 4     | 4     | 4          |
| N                               | 4                        | 4     | 4     | 4     | 4          |
| ALL                             | 4                        | 4     | 4     | 4     | 4          |
| COMMENT                         | (60%)                    | (65%) | (75%) | (70%) | (70%)      |
| fd: 88.3MHz アナログ局(強電界で強いマルチパス)  |                          |       |       |       |            |
| S                               | 3                        | 3-    | 3     | 3     | 3          |
| N                               | 3-                       | 2.5+  | 2.5   | 3-    | 3-         |
| ALL                             | 3                        | 2.5+  | 3-    | 3-    | 3-         |
| COMMENT                         | アナログになるところ有り( )内はデジタル受信率 |       |       |       |            |
| fd: 820kHz アナログ局                |                          |       |       |       |            |
| S                               | 3                        | 3-    | 3-    | 3-    | 3-         |
| N                               | 2.5+                     | 3-    | 3-    | 2.5+  | 3-         |
| ALL                             | 3-                       | 3-    | 3-    | 2.5+  | 3-         |
| COMMENT                         | 音がソフト<br>薄い              |       |       |       |            |
|                                 |                          |       |       |       | mono sound |

考察：  
デジタル場合、マルチパスは全く発生せず、効果あり。  
ただ、マンハッタンでは、AM-IBOCでアナログになるところがあった。デジタル受信率約60～75%で、これは、ビルビハインドでの信号レベル減、信号機等都市雑音源によるノイズの影響と考えられる。

### 5.4 実走評価2：

西海岸（ロスアンゼルス地区）

当社ではロスアンゼルス地区でのラジオ評価用標準テストコースを複数用意している。その各コースを実走しHD Radio放送局を受信して評価を行った。

当社標準テストコースの一例として AM隣接妨害、強電界地区（例：コロンビアパーク）を以下に示す。

この場所は目の前に送電線が幾十にも走り、AMアナログ放送局のアンテナ直下で、周波数的にも近傍でIBOC-AM局への感度抑圧や混信妨害等の影響や、送電線ノイズ等の問題が多く発生する。

## 受信条件

アナログAM放送局1070kHzのアンテナ直下でIBOC-AM放送局1020kHzを受信する。

D/U: 40dB以上の妨害波が強力な場所である。



図-18 西海岸実走 (AM強電界地域)

Fig.18 Field test on the West Coast (AM high-field area)

## 受信評価結果:

- ・送電線のノイズ等発生しない
- ・隣接妨害の影響無し
- ・AGCによる感度抑圧等も発生しなかった。

特に周囲環境に影響されず、ノイズ、ビート等が全く発生しない結果が得られた。

## 6

## 受信ソフトウェア処理

## 6.1 ソフトウェア仕様

当社ではFT-IPAS (Fujitsu Ten - Integrate Platform for Automotive Software) と称するソフトウェアプラットフォームを構築しており、本受信機においてもFT-IPASを採用してソフト共通化推進とフェールセーフ強化を行っている。

ソフトウェア構成を図-19に示す。また、ソフトウェア機能を表-12に示す。

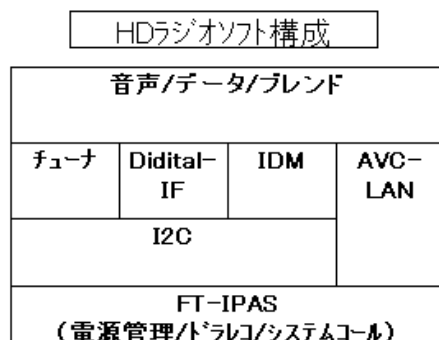


図-19 ソフトウェア構成

Fig.19 Software configuration

表-12 ソフトウェア機能

Table 12 Software functions

| 機能      |                                              |
|---------|----------------------------------------------|
| 大分類     |                                              |
| チューナ部機能 | FM/AM/IBOCモードサイクリック切替機能                      |
|         | TUNE機能                                       |
|         | P. SCAN                                      |
|         | プリセット機能                                      |
|         | Digital/Analog自動受信切替                         |
|         | SEEK-UP機能                                    |
|         | SEEK-DOWN機能                                  |
|         | ASM                                          |
| 表示      | DISP切替(周波数⇒放送局名⇒タイトル<br>アーティスト⇒アルバム⇒ジャンル⇒時計) |
| 工程・検査   | 自動検査                                         |

## 6.2 デジタルデータ処理仕様

SIS (Station Information Service), MPS (Main Program Service) データ取得解析処理は、SIS,MPSデータの取得と解析を実行し、結果をバッファに格納している。

取得データの一部を、表-13に示す。

Short Name: 局コールサイン等

Long Name: 局の愛称等

Title: タイトルデータ

Artist: アーティストデータ

Album: アルバムデータ

Genre: ジャンルデータ

表-13 実際に取得したデータ (一部)

Table 13 A part of actual obtained data

| SIS        |                                                 | MPS PAD                    |                           |
|------------|-------------------------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| Short Name | Long Name                                       | Title                      | Artist                    |
| WPEN       | PEN-HD The Station of the Stars in Philadelphia |                            |                           |
| WXTU       | Philadelphia Country 92.5 XTU                   | Loco                       | DAVID LEE MURPHY          |
| WPOC-FM    | Baltimore                                       | Clear Channel Radio        |                           |
| WWNN-FM    | Magic 95.9                                      | Magic 95.9                 | HD Radio                  |
| WKDL       | BE 95.1 v2.0.2                                  | Radio Capital              | HD Radio                  |
| WAMU       | WAMU 88.5 FM AMERICAN UNIVERSITY RADIO          |                            |                           |
| WETA       | WETA, WASHINGTON, DC Classical Music & NPR      | WETA NPR & Classical Music | Now Broadcasting HD Radio |
| WHUR-FM    | Sound Like Washington                           | Sound Like Washington      | WHUR                      |

## 7

## 製品ラインナップ

北米05ECLIPSEのAVN,CDTuner各機種にハイダウェイ接続でHD Radioが構成できる。



HDR105  
HD Radio Tuner Unit

図-20 HD Radio外觀

Fig.20 Appearance of HD radio

以下はハイダウェイユニットに接続できるメインユニットを示す。(LOエンドモデル以外は、すべて対応)

接続した場合、メインユニットのラジオ部はすべてハイダウェイユニットのラジオ部に切り替わる。

AVN



AVN5435

CD-Tuner



CD8455



CD8445



CD5435



CD5425



CD5415

図-21 '05ECLIPSEメインユニット

Fig.21 Main unit of 2005 ECLIPSE

当社北米市販用のLAN仕様であるEi-LAN接続の為、ユニット間で多様な接続とデジタルデータの表示が可能となっている。

## 8

## 考 察

当社初の北米向けデジタル放送受信機として従来のラジオ性能を落すことなくデジタル化のメリットが出せるよう開発を行ってきた。その結果、都市部でのマルチパス、フェージング、伝送線ノイズ、都市雑音に強く、「AMはFM品質に！、FMはCD品質に！」といったラジオの高音質化、高品位化が実現できた。デジタル放送インフラの成長とともに、確実に従来のラジオから移行していくものと考ええる。

## 9

## 次世代デジタル放送への展望

北米におけるデジタルラジオは、広帯域移動での衛星デジタル放送とローカル地域での地上波デジタル放送とは対になって普及していくと予想される。

特に、地上波デジタル音声放送「HD Radio」は、AM/FM放送と互換性があり、無料放送であり、様々な新しいデータサービスが生まれ、人々の生活を大きく変えることができる。

新しいデータサービスへの検討は、

- ・第二音声サービス

Tomorrow Radio計画：

デジタル音声のデータ帯域を2分割し、主音声を送るNPR(National Public Radio)グループで現在、試験放送を行い検討中。

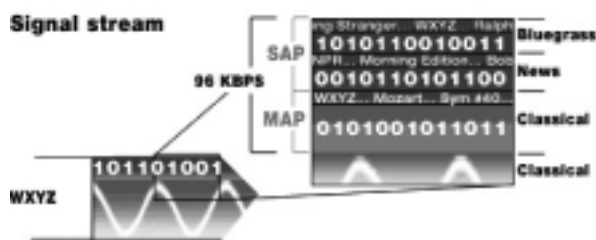


図-22 Tomorrow Radio計画

Fig.22 Tomorrow radio

- ・PADの拡張
  - ・ID3タグの拡張
  - ・交通情報データサービス
- 等が検討されている。

人々が従来から親しんでいる放送インフラを踏襲しつつ、デジタルサービスへ移行するこのシステムは放送局側と受信ユーザ側のどちらにもメリットがある。

その実現のため、受信性能、小型化、安価な受信機の実現に向けさらなる改良を進める。

## 10

## 謝 辞

本北米デジタル音声放送受信機の開発に当たり、多大なご助言、ご協力を賜りました関係各位に感謝致します。

## 参考文献

- 1) FM Transmission Specification  
Doc.No. SY-TN-5009  
2001 iBiquity Digital Corporation
- 2) AM Transmission Specification  
Doc.No. SY-TN-5010  
2001 iBiquity Digital Corporation
- 3) IBOC Commercial Hybrid Receiver Blending  
Functional Description  
Doc. No. RX\_SSFD\_5001  
2002 iBiquity Digital Corporation
- 4) IBOC Commercial Hybrid Receiver Blending  
Functional Description Rev. 01 July 1, 2002  
Doc. No. RX\_SSFD\_5001
- 5) Preliminary Datasheet SAF7730HV/N1nnF  
Dual IF Car Radio and Audio DSP  
Philips Semiconductors
- 6) IBOC Single Tuner Application Application Note  
CRD2003-004 Philips Semiconductors
- 7) 高山一男，合原秀法 富士通テン技報 Jun,2002  
Vol.20 No.1

## 筆者紹介



三野 修  
(みの おさむ)

1981年入社。以来、情報通信機器の開発・設計を経てデジタル放送受信機の開発に従事。現在、開発本部開発部兼先行研究開発部に在籍。



藤原 孝則  
(ふじわら たかのり)

1986年入社。以来、カーオーディオの電気回路の設計開発に従事。現在、事業本部二事業部技術部に在籍。



西澤 秀志  
(にしざわ ひでし)

1993年入社。以来、デジタル放送受信機のソフト開発に従事。現在、事業本部一事業・第二技術部に在籍。



高山 一男  
(たかやま かずお)

1976年入社。以来、車載アナログ放送受信機、デジタル放送受信機、アンテナの開発に従事。現在、開発本部開発部長兼事業本部第三事業・アンテナシステム技術部担当部長。