テレビ音声多重データ放送の開発経緯

TV Audio Subcarrier Channel Data Broadcasting and Its Development

正会員 笹野 耕治†

Koji Sasano†

キーワード：音声多重データ放送, FAX, ASC, 縦パリティ, GPS位置補正データ, 正フレーム受信率

1. ま え が き

アナログ放送電波を利用した移体向けデータ放送には、FM文字多重放送とテレビ音声多重データ放送の二つがある。

テレビ音声多重データ放送 (ASC: Audio Subcarrier Channel) は、テレビ音声帯域にデータを多重した方式である。この方式は諮問53号として答申され、1997年に郵政省令化¹⁾、さらにARIB規格化された。その開発経緯、技術基準と規格化のための実験結果²⁾を述べる。ASCは固定受信向けに開発された、FAX放送方式³⁾を移動受信に応用した方式である。FAX放送は、1990年省令化されたが、本放送を開始する放送局はなく、FAX放送の副搬送波は使用されず放置された。著者はFAX放送のデータ放送への応用を考案し、FAX放送の実験電波による、データ放送向け受信実験を実施した⁴⁾。

この結果をもとに著者の提案により、テレビ朝日がFAX方式を改修したASCの実験局を1995年に開局し、予備実験を行った。その結果により、郵政省とARIBに規格化のための作業班設置を求めた。筆者は、ARIB作業班の主任として審議実験を進めた。FAX放送の副搬送波の信号レベルでは移動受信性能が低かった。筆者は性能を向上するために、FAXの信号レベル向上と、FAX放送では使用できないとされた、副搬送波7.5fHの提案を行った⁵⁾。実験の結果、二つの副搬送波が多重できることがわかった。その結果、性能が向上し実用レベルになり、郵政省令化された。テレビ朝日は1997年本放送を開始した。放送内容は、ニュースとGPS位置補正データである。

2. ASCの技術基準

2.1 技術基準

図1にASCの音声帯域スペクトラムと信号のフレームを示す。

図1 ASC方式技術基準
Technical standard of ASC.

す。主音声と副音声の上側に2波の副搬送波を多重している。主な技術仕様は以下の通りである。主音声と副音声の上側に2波のDQPSK変調された副搬送波を多重している。

副搬送波	4.5fH	7.5fH
① 副搬送波周波数	70.804kHz	118.007kHz
② 伝送速度	16.000kbps	16.000kbps
③ 実効伝送速度	9600bps	9600bps
④ 主搬送波最大周波数偏移	±3kHz	±6kHz

fH：テレビ画像同期信号周波数

図2にASCの技術規格表を示す。1フレームは32パケットで構成されている。1パケットは288ビットである。誤り訂正符号は、最初のMC部16ビットがBCH方式、データ部190ビットの誤り訂正部82ビットがBEST符号である。最初、16ビットのフレーミング符号が送出される。その後フレームは、縦方向にインターリーブして送出される。1フレームの伝送時間は0.577秒である。テレビ音声に多重するために、

2002年10月28日受付、2003年1月10日採録

†全国朝日放送株式会社 技術局 技術開発センター

(〒105-0001 東京都港区虎ノ門3-4-7, TEL 03-5400-9333)

†Asahi National Broadcasting Co., Ltd.

(3-4-7 Toranomon Minatoku, Tokyo, 105-0001, Japan)

図3 送信装置ブロック図
Transmitter system.

データ信号副搬送波	4.5 fH	7.5 fH
副搬送波周波数	70.804 kHz	118.007 kHz
主搬送波最大周波数偏移	± 3 kHz	± 6 kHz
副搬送波の変調方式	DQPSK	
伝送速度	16.000 kbps	
実効伝送速度	9600 bps	
ロールオフ特性	60 %レイズドコサインロールオフ	
データパケットの誤り訂正符号	(272,190)短縮化差集合 巡回符号方式(略称 BEST 方式)	
1 フレームの伝送時間	0.577 秒	
fH : テレビ画像同期信号周波数		

信号のフレーム構成	
1 フレーム	32 PACKET
1 PACKET	288 BIT
288 BIT	MC モードコントロール部 16 BIT
内 訳	PF プリフィックス部 14 BIT DAT データ部 176 BIT CHC 誤り訂正部 82 BIT
フレーミング符号	FC 16 BIT がフレームに先立ち送出される
インターリーブ長	32 BIT

図2 技術規格表
Technical specification table.

既設の無線設備をほとんど流用できるという利点がある。

2.2 ASCの送信システム

送信装置ブロック図を図3に示す。4.5fHと7.5fHのDQPSK変調信号が音声多重信号とミキサで合成され、音声送信機に送られる。合成装置で、映像搬送波と合成され送信アンテナに送られる。

2.3 ASCの開発経緯

(1) FAX放送の規格

FAX放送は、テレビ音声搬送波に多重した方式である。副搬送波は4.5fH、周波数に対する偏移は±2kHzである。放送内容は、ファクシミリ画像信号のみで、画像の1頁の大きさはA4である。FAX受画器をプリンタとして使用するために固定受信として開発された。FAX画像信号はデータ量が大きく、長時間安定に受信する必要がある。そのためにテレビ受信電波には、ゴーストのない安定した品位が求められた。受信アンテナは、固定八木アンテナ受信が必須である。

(2) FAXのホイップアンテナ受信実験

FAX放送実験システムが、①画像データ部の制限を変更

表1 FAX受信結果
Reception results by FAX.

地 名	音声端子 電圧 dB μ	アンテナ 傾き	タワー距離 km	正受信率 %	アイ開口 %
土浦市郊外	48.7	斜め	60	12.5	64
土浦市郊外	38.7	垂直	60	0	0
大島団地	66.8	水平	8	68.7	50
熊谷市郊外	42.7	水平	70	0	11~0
川越市郊外	57.7	水平	35	63.6	81

すればデータ放送に使用できる、②DQPSK変調器、符号化PCなどのほとんどを流用できる、以上の理由により容易にデータ放送が開始できることに着目した。副搬送波は、移動に強いDQPSK変調であり、携帯移動受信の予測ができた。しかし移動受信では、固定八木アンテナは大きすぎて使用できないので、FAX放送の実験電波を、ゴースト妨害の多い手持ちホイップアンテナで受信実験した。地上高1.5m、送信アンテナ高300mにおける、計算値によるサービスエリアは約78kmである。選定したFAX画像1頁の伝送時間は約1分である。1回あたりの測定には15枚のFAXデータを受信実験した。データ量は大きく、約6,239フレームが1分間の伝送時間に相当する。

ここで、

正受信率 = (誤りなく受信した頁数) / 15頁

と定義した。その結果は表1に示すとおりである。送信電波は水平偏波である。ホイップアンテナは利得が低い。そのために偏波損失を少なくする目的で、水平位置受信を基本とした。

川越市郊外では、35kmで音声の受信電圧が57.7dB μ であり、正受信率が63.6%であった。送信点から60kmの土浦では、通常の手持ち受信状態に近づけるために、アンテナを斜めにした。受信結果は48.7dB μ であり、12.5%の正受信率が得られた。同じ地点でアンテナを垂直にすると、偏波損失が大きく38.7dB μ であり、正受信率は0%であった。この結果から、手持ちホイップアンテナでは約60kmが受信限界と推測された。この距離を図4の地図に示す。さらにこの結果から、ホイップアンテナ受信は誤りが多く、

図4 受信エリア図
Service area.

FAX受信には向いていないことがわかった。しかし、正しく受信できる頁に相当するデータを、①繰り返し送受信する、②データのサイズを小さくする、などによりデータ放送へ転用ができることが予測された。DQPSK変調は移動受信可能であることが知られている。

FAX方式では、テレビ音声に多重されたDQPSK信号が、さらに主搬送波でFMされる。さらに、移動受信の場合、テレビの画像、音声からの妨害、ゴースト、マルチパス、などの妨害が予測された。移動受信のデータには例がない。これを実証するためには実験局を開局して、移動実験するのが必須条件であった。

(3) データ放送実験局の開局

ホイップアンテナ受信の結果をもとに、音声多重データ放送の送信システムと受信システムを開発し、実験局を開局した。副搬送波はFAXと同じ4.5fH、主搬送波に対する周波数偏移は±2kHzである。

(4) もう一つの副搬送波の開発

FAX放送の答申では、副搬送波として4.5fH、5.5fH、6.5fHと7.5fHが検討された。しかし、テレビ副音声への妨害がある5.5fH、6.5fHは不採用となった。また、7.5fHは副音声への妨害はないが、テレビ画像に妨害の恐れありと判断された。そして実験による検証を行わずに不採用になった。その結果、4.5fHのみが採用された³⁾。これでFAXは省令化された。7.5fHが実験による検証をせず不採用になった経緯に着目した。トラッキングジェネレータを用いた実

表2 FAX & ASC移動受信結果
Mobile reception results by FAX&ASC.

副搬送波	道路名	偏 移 (±kHz)	総送出 file 数	file 受信率 (%)	パケット 誤り率 (%)	走行時間 (分)
4.5 fH	東北	3	639	59	12	90
	環七一周	3	1063	65	13	149
	環七一周	2	1110	41	23	156
7.5 fH	東北	6	589	79	7	82
	環七一周	6	861	86	11	121

図5 縦パリティ方式受信結果
Vertical correction reception result.

験では、偏移が±3kHz位までならまったく画像に妨害を与えない。さらに、4.5fHと7.5fHの2波が同時に多重できることがわかった⁵⁾。これにより、7.5fHの変調器と受信機を開発し、実験局の変更申請を行った。また主搬送波に対する偏移は、実験で求めることとした。

2.4 ASCの規格化に至る実験結果

(1) 4.5fHが±2kHzの移動受信結果

FAX放送の4.5fH、±2kHzによる移動受信結果は表2に示すとおり⁷⁾である。環状7号線一周の移動実験では、file受信率が41%と低かった。信号のフレームは図1と同じ大きさである。そこで、File受信率向上のために縦パリティ方式の検討と、信号レベルの向上を計った。

(2) FM文字多重方式で採用している縦パリティ方式の検討

(a) 縦方向パリティ方式

パケットの誤り回復ができなかったデータの誤り訂正のために、縦方向パリティ方式の検討を行った。縦方向にデータパケットを190パケット、縦方向の誤り訂正用パケットを82パケット並べて272ビットとした。訂正はBEST (272,190) 方式である。1フレームは図1のフレームの8.5倍となる。1フレームの伝送時間は4.9秒である。

(b) 結 果

常磐自動車道路、東北自動車道路、関越自動道路で移動受信実験を行った。その結果を図5に示す。

ここで、

$\text{file受信率} = (\text{受信したfile数}) / (\text{総送出file数})$

と定義した。常磐自動車道路が85%、東北自動車道路が33%、関越自動車道路が22%であった。常磐自動車道路では非常に良い受信結果であった。関越自動車道路は受信率が低く、東北自動車道路が中間的な値であった。

(3) 縦パリティ方式の検討結果

縦パリティ方式は採用しないこととした。その理由は、① 8.5フレームより小さいサイズのファイルを受信しないため、伝送効率が悪い、② 1フレームが4.9秒と伝送時間が長く、リアルタイム性が悪い、である。

以上の理由から、1フレームのサイズはFAX放送と同じ32パケットとした。データの大きさを32パケットとした結果、信号の遅延時間が0.577秒となり、リアルタイム性が上がった。この値がGPS位置補正放送による、高精度測位RTKを可能とした。

縦パリティ方式の代わりに受信性能の向上対策は、① 副搬送波4.5fHの偏移を上げる、② もう一つの副搬送波7.5fHの採用を検討する、こととした。また、三つの高速自動車道路の結果から、中間的な値であった東北自動車道を長距離移動受信の主な評価道路に選んだ。

2.5 二つの副搬送波による室内と屋外実験結果

室内と屋外の実験をした結果、4.5fHが $\pm 3\text{kHz}$ まで増加でき、7.5fHは $\pm 6\text{kHz}$ の偏移まで、テレビ画像と音声への妨害、画像と音声からの妨害がないこと、また他のチャンネルへの妨害もなく、同時に多重できることがわかった。

以下に実験結果の概要を述べる。

(1) 基準誤り率

BEST方式の誤り率は、ビット誤り率が 5×10^{-3} の時 1×10^{-5} 以下に改善されることがFAX放送の実験でわかっている。ASC方式もFAXとデータの信号規格が同じであり、同じBEST方式を採用しているために、この値を評価基準とした³⁾。

(2) ファイル受信率と正フレーム受信率

省令化以前の実験では評価値として、ファイル受信率とパケット誤り率を採用した。理由は、技術基準策定には室内、野外、固定と移動実験による基礎性能評価が求められるからである。省令化後は、実用化のために機器の正受信率の性能が求められるため、正フレーム受信率を採用した。

(3) 室内音声主観評価実験

音声への妨害調査のため、室内主観評価実験を実施した。実験参加者は合計22名の専門家と非専門家である。評価したテレビジョン受像器は、各メーカーの代表的受像器20台、評価方法はITU-R Rec.BT.500による。結果、4.5fHは $\pm 3\text{kHz}$ で問題がなかった。

また、4.5fHを $\pm 3\text{kHz}$ 一定とした条件で、7.5fHによる音声搬送波の周波数偏移を $\pm 3\text{kHz}$ から徐々に上げ、 $\pm 6\text{kHz}$ までは主観評価値M-3の評価者比率が0%であり、 ± 7 と $\pm 8\text{kHz}$ のM-3の比率は4.5%であった。この値から、7.5fHの

周波数偏移は $\pm 6\text{kHz}$ が良いと推測される。

(4) 放送波による両立性実験

テレビ10チャンネルの放送波を用いて、二つの副搬送波から音声信号への妨害状況を調査した。その方法と結果を以下に述べる。各家庭での試聴条件は通常の試聴条件とした。

(a) 放送波を用いた深夜複数の専門家による各家庭での妨害確認の実施をしたが問題がなかった。

(b) そのあと昼間の放送波を用いて、視聴者の反応の調査確認を実験した。4.5fHを $\pm 3\text{kHz}$ として、のべ10日間電波を発射し、7.5fHを $\pm 2\text{kHz} \sim \pm 6\text{kHz}$ まで段階的にあげた。

以上の結果、視聴者からのクレームなどはまったくなく、4.5fHは $\pm 3\text{kHz}$ 、7.5fHは $\pm 6\text{kHz}$ で同時に多重ができることがわかった。

(5) 画像との両立性

放送波を用いた副搬送波多重による、テレビジョン画像への妨害に対する視聴者からのクレームはまったくなかった。室内におけるテレビジョン画像による主観評価実験を実施した結果、4.5fHが $\pm 3\text{kHz}$ 、7.5fHは $\pm 12\text{kHz}$ でも、まったく妨害が検知されなかった。

(6) マルチゴースト妨害

固定受信によるマルチパス妨害下での受信実験を実施した結果、送信タワーから約2kmの六本木では、入力レベル $61\text{dB}\mu$ 、ゴースト評価値M-2地点で4.5fH、7.5fHともビット誤り率が 1×10^{-6} 以下であった。サービスエリアの限界地点であり、送信タワーから約110kmの栃木県氏家では、入力レベル $44\text{dB}\mu$ 、ゴースト評価値M-3地点で4.5fHのビット誤り率が 4.2×10^{-4} 、7.5fHのビット誤り率が 1×10^{-6} 以下であった。したがって、マルチゴースト妨害のある地点であっても、二つの副搬送波は十分な誤り特性を有することがわかった。また、テレビのサービスエリア内であれば、十分なビット誤り率が得られることがわかった。

(7) 受信機の感度と音声からの妨害

受信機の感度と音声多重による影響を調査した。図6に移動実験に使用した受信機の感度と音声からの妨害特性を示す。図は室内測定による音声を多重(on/off)した時の入力レベル対ビット誤り率である。

誤り回復可能な入力レベルは、4.5fHが音声offの条件では $\pm 2\text{kHz}$ の時 $41\text{dB}\mu$ である。また、 $\pm 3\text{kHz}$ では音声offの条件では $36\text{dB}\mu$ 、音声onの条件では $40\text{dB}\mu$ であり、 $\pm 3\text{kHz}$ の(on/off)平均は $38\text{dB}\mu$ である。また、7.5fHは(on/off)の影響を受けず $38\text{dB}\mu$ 一定である。図5から、7.5fHが4.5fHよりも音声妨害に強いことがわかる。

(8) 多段中継に対する影響

2段目の秩父はえの局ではまったく誤りがなく、テレビ朝日の実験局の最多段中継点である4段リレーサテライト局三田川において、端子電圧 $65\text{dB}\mu$ でのビット誤り率は、4.5fHが 4.2×10^{-4} 、7.5fHが 1×10^{-6} 以下であって、2段増えた4段中継でも誤り回復可能な値となっている。ファクシ

図7 高速自動車道路受信結果
Mobile reception results at high way.

受信ブロック図

図6 データCHの入力レベル対ビット誤り率 (音声on/off)
Input level vs bit error characteristics.

ミリ放送の答申では、4.5fHが6段中継においても問題がないことがわかっており、7.5fHでも6段中継では問題がないと推測される。

(9) 実験結果の考察

以上の室内と屋外での2波の副搬送波の性能から、4.5fHは ± 3 kHz、7.5fHは ± 6 kHzの条件があれば、既存の映像音声に妨害を与えず、サービスエリアはテレビ放送とほとんど同じである。また、音声から副搬送波への妨害も問題がなく、ゴースト妨害、パルス妨害、隣接チャネル妨害も問題がないことがわかった²⁾。

7.5fHが4.5fHより特性が良い理由は、①周波数偏移が大きい、②4.5fHが副音声に近い場所に位置していて妨害を受ける、ことがあげられる。

2.6 移動受信実験

図8 再送による正フレーム受信率
Correct frame reception rate at moving car.

東北自動車道路をホイップアンテナで移動受信した。実験は高さ3mの車でいった。3mの高さは普通車の車高1.5mの受信電界と比較して3dB位の差であり、普通車と同程度の値が得られる。表2と図7に移動受信結果を示す。エリアを図4の地図に示す。埼玉県久喜市55km付近が受信限界である。4.5fHは、偏移を ± 2 kHzから ± 3 kHzにした結果、受信状況が向上した。パケット誤り率は10%近くになるが、再送により回復できる。

2.7 正フレーム受信率の再送による受信結果

実用化のために必要な正フレーム受信率を測定した。移動受信では、データを繰り返し送信受信して、受信性能を上げる方式がある。この方式を実験調査した。図8に結果を示す。テキストデータを繰り返し送信し、同じデータを受信側で比較し、正フレーム受信率を測定した。

ここで、

$$\text{正フレーム受信率} = \frac{(\text{誤りなく受信したフレーム数})}{(\text{総送出フレーム数})}$$

と定義した。

実験では、送信点から約1kmの港区六本木を出発し、京葉道路での時速100km走行を経て、送信点から約30kmの一般道路を経由し、湾岸道路から元の出発点に戻った。図

8によると、再送0では4.5fHが40%、7.5fHが53%、再送1回で4.5fHが80%、7.5fHが96%、再送2回で4.5fHが95%、7.5fHが99%となっている。再送2回でFM文字多重で採用された正受信率95%に達している。

FAXの受信では、データサイズが大きく誤り率が高かった。そのために、①データの大きさを小さくする、②繰り返し送信受信する、ことにより誤り訂正のできることを予測した。実験の結果予測通り誤り訂正ができた。これにより、実用化可能な受信性能となった。

2.8 GPS高精度測位への応用

GPSの位置補正データ放送による高精度測位RTKには、2秒以内の伝送遅延時間が必要である。データのフレームを1フレームとし、伝送時間を小さくしたためにRTKが可能になった⁸⁾。

3. 省令化と規格化

以上の結果から省令化に至り、ARIB規格化された。

4. む す び

ASCの開発経緯、技術基準とそれに至った実験の概要を述べた。送信信号の方式と強度、受信機の感度と音声からの妨害、縦バリティ方式、繰り返し誤り訂正方式について検討した。FAX放送の実験電波を手持ちホイップアンテナで受信し、データ放送への見通しをたてた。データ放送への転用と4.5fHと、7.5fHの2波多重の方式を開発した。偏移 ± 2 kHzでは、移動受信には信号レベルが低く、望ましい受信結果ではなかった。信号レベルを上げ、移動受信の性

能を向上し実用化レベルにすることができた。その結果、1997年に省令化された。このような実験例は他に例がない。

最後に、フジテレビの関 祥行氏、エルエスアイジャパンの田中 隆氏、FAX放送委員会の皆氏、ARIB標準テレビジョン・データ多重放送開発部会・音声副搬送波方式作業班の皆様へ感謝申し上げます。

〔文 献〕

- 1) 官報号外第126号：“郵政省令第46号”，1997年6月24日
- 2) 平成8年電気通信技術審議会諮問第83号：“地上データ放送の技術的条件のうち「副搬送波を利用した伝送路による地上データ放送の技術的条件」に対する一部答申
- 3) 電気通信技術審議会：“ファクシミリ放送答申書”（Aug. 1990）
- 4) 笹野：“テレビ音声多重によるデータ放送の為のFAX放送波ロードアンテナ受信測定結果”，テレビ全大（1993）
- 5) 笹野：“テレビ音声に多重する第三副搬送波について”，テレビ全大（1994）
- 6) 笹野：“2波のテレビ音声多重副搬送波による室内測定結果”，テレビ全大（1996）
- 7) 笹野，近藤：“テレビ音声多重データ放送と移動受信測定”，テレビ学技報，19（Aug. 1995）
- 8) K. Sasano：“Method of Using a TV Sound Multiplexed Subcarrier Data Link for a DGPS/RTK Service”，ION GPS-2000 in Salt Lake City（sep. 2000）

まきの こうじ
笹野 耕治 1968年、電気通信大学卒業。1973年、東京電機大学大学院修士課程修了。1968年、テレビ朝日入社。送信所を経てファクシミリ放送、音声多重データ放送、位置補正放送の開発に従事。電波産業会、標準テレビジョン・データ多重放送開発部会音声副搬送波方式作業班主任。正会員。