

## ■5 群 (通信・放送) - 8 編 (放送・CATV)

---

### 2 章 変調方式と伝送

## ■5 群 - 8 編 - 2 章

### 2-1 アナログ放送

#### 2-1-1 ラジオ放送

(執筆者：矢田秀夫) [2009年1月受領]

##### (1) 中波放送

周波数 526.5~1606.5 kHz の間の幅 1080 kHz を 9 kHz ごとに区分した 120 チャンネルを使用し、各チャンネルの中心周波数をもって各放送局への割当チャンネルとしている。LPC (Low Power Channel) として 801, 1026, 1062, 1161, 1341, 1359, 1485, 1539, 1584, 1557, 1602 kHz があり、送信出力 1 kW 以下の小電力中継局に割当てられている。

我が国の放送局の送信出力はサービスエリアの広さにより 50 W から 500 kW までが割当てられている。表 2・1 に電波の質、表 2・2 に放送区域の電界強度を示す。

表 2・1 中波放送の電波の質 (無線設備規則)

区 分	許容偏差, 許容値
周波数	10 Hz
占有周波数帯幅	15 kHz
アンテナ電力	上限:+5 %, 下限-10 %
スプリアス (帯域外領域) (スプリアス領域)	50 mW 以下かつ-40 dBc 50 mW 以下かつ-50 dBc

表 2・2 中波放送の放送区域 (放送局根本基準第二条)

区 分	放送区域 [mV/m]
	(以下の電界強度の範囲で総務大臣告示の都市ごとの値以上の区域)
高雑音区域	10 以上 50 以下
中雑音区域	2 以上 10 未満
低雑音区域	0.25 以上 2 未満

また、送信周波数もサービスエリアの広さに関係する。中波は平面大地を地表波で伝搬する。大地導電率が高く、送信周波数が低いほど伝搬ロスが少なく伝搬距離が大きくなる。伝搬ロスは数値距離とも呼ばれ、簡略式は次式で示される。

$$f(\rho) = \frac{2 + 0.3\rho}{2 + \rho + 0.6\rho^2} \quad \rho = \frac{\pi d}{60\sigma\lambda^2}$$

ここで、 $d$ : 距離,  $\sigma$ : 大地導電率,  $\lambda$ : 波長。

また、中波放送は波長が長く山間部でも比較的良く届くので、放送メディアの中でも伝搬特性が良いという特徴がある。もう一つの特徴として夜間に第二次サービスエリアが存在することである。電離層に向けて発射された空間波は昼間電離層 D 層によって減衰するが、夜間は D 層が消滅し E 層で反射することで、短波と同様に遠距離に伝搬する。このため夜間は例えば東京の放送局が北海道や九州で聴取可能となる。また、夜間は諸外国からの妨害電波が到来し、国内波に混信を与えることになる。このことから中波放送局の諸元の変更や新しく置局する場合は国際会議での調整が必要になる。

変調方式は両側波帯振幅変調方式 (DSB-AM : Double Side Band - Amplitude Modulation) が用いられている。受信品質改善のため、送信側で受信機の IF BPF の逆補正としてプリエンファシス、平均変調度を上げ SN 比を改善するためコンプレッサを用いることが多い。我が国の放送局はモノラル放送しか実施していない局が多いが、一部の放送局ではステレオ放送が実施されている。我が国のステレオ放送標準方式は電気通信技術審議会の答申 (平成 3 年 4 月) に基づき、C-QUAM (Compatible Quadrature Amplitude Modulation) 方式 (モトローラ方式) を採用している。この方式は、L+R 信号を振幅変調、振幅変調の搬送波として L-R 信号と 25 Hz パイロット信号の混合信号を直交変調で多重したものを使用し、L-R 信号を伝送することにより、モノラル放送への両立性を確保している。

## (2) 短波放送

周波数は 6, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 18, 21, 25 MHz 帯の計 3920 kHz 幅を 5 kHz ごとに区分した計 774 チャンネルが、世界各地の短波放送局で国際協定による手続きを経て使用される (表 2・3)。

表 2・3 短波放送への割り当て周波数

周波数帯 [MHz]	周波数 [kHz]	帯域幅 [kHz]	チャンネル数 (5 kHz 間隔)
6	5900~6200	300	59
7	7200~7450	250	49
9	9400~9900	500	99
11	11600~12100	500	99
13	13570~13870	300	59
15	15100~15800	700	139
17	17480~17900	420	83
18	18900~19020	120	23
21	21450~21850	400	79
25	25670~26100	430	85
計		3920	774

このほか、我が国では、第 3 地域で固定業務と放送業務の共用として分配されている 3 MHz 帯の一部周波数が、国内放送用に割り当てられている。また、国外では 2 MHz, 3 MHz, 4 MHz, 5 MHz の一部周波数が熱帯地域の国内放送用に割り当てられており、トロピカルバンドと呼ばれている。短波放送の電波の質を表 2・4 に示す。

表 2・4 短波放送の電波の質

区 分		許容偏差, 許容値
周波数		10 Hz
占有周波数帯幅		9 kHz
アンテナ電力		上限 : +5%, 下限 -10 %
スプリアス発射の強度	スプリアス領域	50 mW 以下かつ -40 dBc
	帯域外領域	50 mW 以下かつ -50 dBc

(無線設備規則)

我が国の短波放送局はNHK 国際放送のラジオ日本と国内向け放送局の日経ラジオがあり、変調方式は両側波帯振幅変調方式（DSB-AM：Double Side band - Amplitude Modulation）が用いられている。一方、ヨーロッパを中心としてDRM（Digital Radio Mondiale）放送が実施されている。DRM 放送は30 MHz 以下でのデジタル放送の世界標準方式である。2003 年7月に開かれた世界無線通信主管庁会議（WRC-03）でDRM 短波放送の推奨を決議している。DRM 放送のエンコーダは電波伝搬状況に応じて、MPEG-4 のAAC、CELP、HVXC の3方式を選択使用できる。また、SBR（Spectral Band Replication）を使用し、6 k~15.2 kHz の信号については復元に必要な情報のみを伝送して信号圧縮している。変調にはOFDM 変調を採用している。

### (3) FM 放送

周波数76~90 MHz 間の幅14 MHz を使用し、76.1 MHz から89.9 MHz ままで100 kHz ごとに区分した計139 チャンネルが割り当てられる。表2・5に電波の質、表2・6に放送区域の電界強度を示す。

表2・5 FM（超短波）放送の電波の質（無線設備規則）

区 分		許容偏差, 許容値	
周波数		100 万分の20	
占有周波数帯幅		200 kHz	
アンテナ電力		上限：+10%，下限 -20%	
スプリアス発射の強度	帯域外領域	250 W 超	1 mW 以下かつ -60 dBc
		1 W~250 W 以下	
		1 W 以下	100 $\mu$ W 以下
	スプリアス領域	250 W 超	-70 dBc
		1 W~250 W 以下	25 $\mu$ W 以下
		1 W 以下	

表2・6 FM（超短波）放送の放送区域（放送局根本基準第二条）

区 分	許容偏差, 許容値
	(以下の電界強度の範囲で総務大臣告示の都市ごとの値以上の区域)
高雑音区域	3 以上 10 以下
中雑音区域	1 以上 3 未満
低雑音区域	0.25 以上 1 未満

変調方式はFM（Frequency Modulation）変調方式が用いられている。モノラル放送では変調信号の最高周波数は15 kHz で最大周波数偏移は $\pm 75$  kHz である。FM 復調時の三角ノイズを低減するため音声信号は50  $\mu$  sec の時定数でプリアンファシスされた後FM 変調される。FM 放送ではステレオ放送と文字多重放送が行われている。我が国のステレオ放送方式はAM-FM 方式（パイロットトーン方式）が用いられている。L・R 信号はモノラル放送と同様に15 kHz で帯域制限され50  $\mu$  sec の時定数でプリアンファシスされる。その後マトリクス回路でL+R 信号とL-R 信号を作る。L+R 信号（主チャンネル）と19 kHz のパイロット信号と38 kHz の副搬送波でL-R 信号を平衡変調した信号（副チャンネル）の3種類を混合し

た信号を FM 変調して伝送する。また、文字多重信号の伝送方式は DARC (Data Radio Channel) 方式を採用している。変調方式は LMSK (Level Controlled Minimum Shift Keying) 変調で 76 kHz の副搬送波で文字多重信号を変調する。副チャンネルの信号の大きさに応じて変調度 4%~10%の間でレベル変化させ、副チャンネルと文字多重信号間のクロストークを改善させている。これらの信号を混合した信号を複合信号と呼ぶ。FM 放送の複合信号と変調度の関係を図 2・1 に示す。

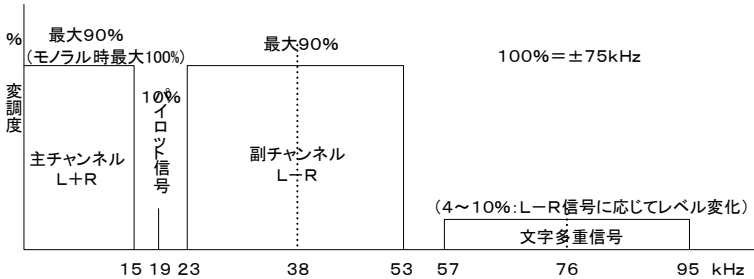


図 2・1 FM 放送の複合信号

## 2-1-2 テレビジョン放送

### (1) 地上放送

(執筆者：柿沼久雄) [2009 年 1 月受領]

#### (a) 送信・変調方式

テレビジョン放送機は、図 2・2 に示すように映像及び音声送信機とその出力合成器で構成されている。

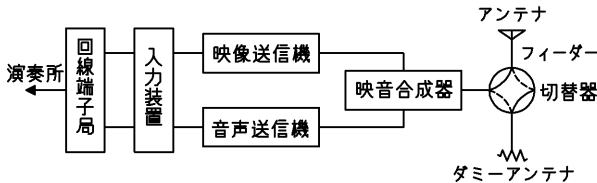


図 2・2 テレビジョン放送機の基本構成 (中継放送機を除く)

映像は振幅変調 (AM)、音声は周波数変調 (FM) 方式である。映像信号の帯域幅は 4.5 MHz もあるため、AM 変調すれば両側帯幅は 9 MHz にもなり、周波数利用率が悪くなるので数十 Hz の信号伝送を可能とするため、残留側波帯通信方式を用いている。残留側波帯通信方式は図 2・3 のように 0.75 MHz までは両側帯幅とし、1.25 MHz 以下の下側帯幅は VSBF (Vestigial Side Band Filter) で 20 dB 以上切り取り、全体で 5.75 MHz 幅としている。これを直線検波すると 0.75 MHz 以下の低い周波数成分が強調されるため、受信機特性を図のような特性として、復調後の映像周波数特性は平坦になるようにしている。この送信方式は原理的にある程度の位相ひずみ、振幅ひずみが避けられないため前置補償装置を設けるとともに、送信機、フィルタなどの設計、調整に特段の注意が払われている。

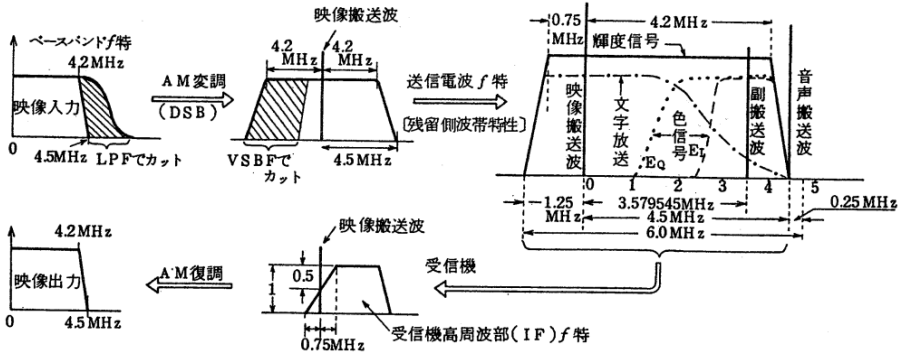


図 2・3 残留測波帯通信方式

映像信号による搬送波の変調は正変調と負変調の二通りがあるが、我が国では負変調が採られている。被変調波は非対称で直流分を含んでおり、映像の明度で電力が変化する。このため、負変調ではベダスタルレベルを映像信号の黒側として送信機出力を一定にして、白側で搬送波が小さくなるようにしている。受信機では、音声搬送波はインターキャリア方式で分離復調しているため、映像搬送波は白側で 10～15%残すように規定している (図 2・4 参照)。

音声搬送波は、映像搬送波に比べ 4.5 MHz 高い周波数を使っている。周波数偏差は±25 kHz、エンファシスの時定数は 75 μS である。映像出力は、同期尖頭電力で規定され、その値は図 2・4 のようにベダスタルレベルを同期の 75%で規定変調したときの平均電力を 1.68 倍して算出する。音声は平均電力で表示され、映：音の電力比は 4：1 に規定している。

(b) 音声多重放送

テレビ音声多重方式は 2 音声放送を主眼にした FM-FM 方式が用いられている。複合信号は、音声周波数帯域の主チャンネル信号と映像水平同期周波数の 2 倍の副搬送波を多重信号で FM 変調した副チャンネル信号、水平同期周波数の 3.5 倍の副搬送波を制御信号で AM 変調した制御チャンネル信号で構成されている (図 2・5 参照)。多重信号はステレオと 2 音声の二つのモードがあり、モノラルは主チャンネル信号による主搬送波の周波数偏差は±25 kHz、副チャンネル副搬送波による周波数偏差はステレオ時±20 kHz、2 音声時は漏話を低く抑えるため±15 kHz とし、主搬送に対するエンファシスはしていない。モードの切替えはモード識別用の制御信号 (2 音声：922.5 Hz, ステレオ：982.5 Hz) で行っている。FM-FM 方式は FM 放送の

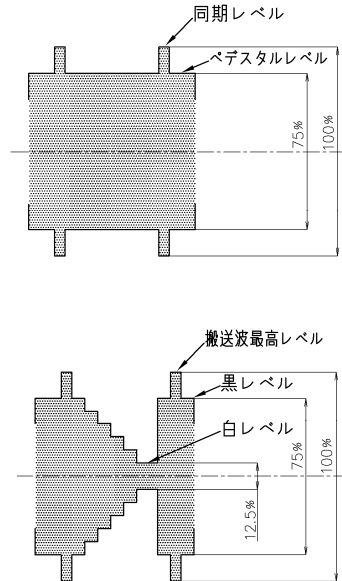


図 2・4 映像変調波形

AM-FM 方式に比べ分離度特性は優れているが、音質面では FM 変調された副チャンネル信号が帯域制限を受けることと、受信機がほとんどインターキャリア方式の復調器のため、映像信号の影響で音質劣化を生じやすい。



図 2・5 テレビ音声複合信号

(c) 文字・データ多重放送

文字放送は、映像信号の垂直帰線消去期間の 14, 15, 16, 21H (偶数フィールド 277, 278, 279, 284H) にデジタル信号を重畳して行われている。また、10~13H (偶数フィールド 273~276H) はデータ多重放送に使用されている (図 2・6 参照)。使用される文字などはコード化したコード方式、図などはパターン方式を併用したハイブリッド方式が用いられている。

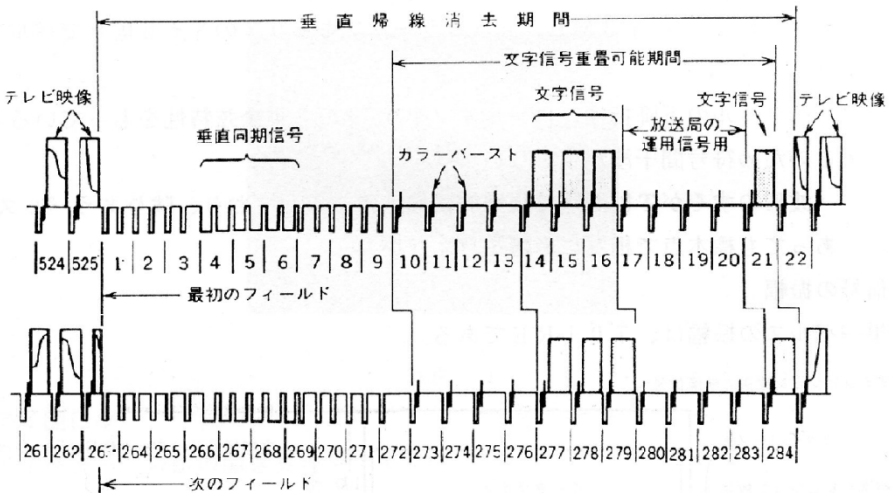


図 2・6 文字・データ信号の重畳位置

(d) 使用周波数帯

VHF から SHF の周波数帯に 6 MHz 幅間隔で 80 チャンネル割り当てられている。SHF 帯の 18 チャンネルは、都市の高層ビルによる受信障害対策用である (表 2・7 参照)。

表 2・7 テレビ放送使用周波数帯とチャンネル番号

周波数帯	VHF(Lo-ch)	VHF(Hi-ch)	UHF	SHF
チャンネル番号(数)	1~3 (3)	4~12 (9)	13~62 (50)	63~80 (18)
周波数範囲 [MHz]	90~108	170~222	470~770	12092~12200

VHF 帯 7 チャンネル上側 2 MHz と 8 チャンネル下側 2 MHz は共有している。

(e) 放送区域と所要電界強度

受信高 4 m のアンテナと標準的な受信機を用いて受信画質を 5 段階に分けた評価で 3~4 の中間 (SN 比 30 dB) 以上確保するのに必要な電界強度を所要電界強度という。VHF 帯で 54 dBf, UHF 帯で 70 dBf としている。実際には、受信アンテナの利得、受信機の内部雑音のほかに、自動車点火雑音などの外部雑音、市街地の建造物などによる減衰を加味して決められている。この値は、放送区域内において場所的にも時間的にも 50% の確率で確保できる電界強度が指定されていて、VHF 帯では外部雑音の影響が大きく都市の規模で雑音レベルが異なるため、区域別にその値が指定されている。UHF 帯は VHF 帯に比べ所要電界強度が高いことに加え、影響を受ける雑音レベルが 5 dB 程度低いことと、アンテナ性能により外部雑音の妨害が回避できるため、全国一律の値としている (表 2・8 に区域ごとの指定電界強度を示す)。

表 2・8 区域別指定電界強度

周波数帯	指定区域別	指定電界強度
VHF	高雑音区域 : 大都市	80~88 dBf (10~25 mV/m)
	中雑音区域 : 中都市	70~80 dBf (3~10 mV/m)
	低雑音区域 : その他	54~70 dBf (0.5~3 mV/m)
UHF	全国一律	70 dBf (3 mV/m)

dBf: テレビ被変調波映像信号の同期尖頭値における電界強度 (0 dBf = 1  $\mu$ V/m)

(f) チャンネルプラン (テレビジョン放送用周波数割り当て計画)

我が国のテレビジョン放送は、昭和 25 年 (1950 年) 11 月から定期的な実験放送が開始され同 27 年「白黒式テレビジョン放送に関する標準方式」が制定された。そして昭和 28 年 (1953 年) 2 月、NHK 東京テレビに同年 8 月日本テレビ放送網に本免許が与えられ、本放送が開始された。

その後、表 2・9 に示す経緯で順次放送区域の全国拡大が図られていった。NHK における計画的な難視解消は昭和 58 年 (1983 年) 度に終え、その時点で全国に残存していた 42 万の散在した難視世帯は、放送衛星により解消が図られることになった。こうして 2 局で始まったテレビ放送は、約 30 年の歳月をかけて建設され、平成 12 年 (2000 年) には最多の 15198 局 (UHF 局 13869 局, SHF 局除く) となり、平成 20 年 4 月現在では 14721 局である。

平成 14 年 (2002 年) 9 月「地上デジタルテレビジョン放送の免許方針」が決定されて、関東、中京、近畿広域圏からデジタル局の建設が始り、アナログからデジタル化への道筋が示された。平成 23 年 (2011 年) 7 月 24 日にはアナログ局すべてが役目を終え、電波を停止してデジタルテレビ放送に引き継がれる。(東北地方は平成 22 年 (2011 年) 3 月 11 日の東日本大震災のため平成 24 年 3 月 31 日まで延伸した。)



表 2・9 チャンネルプランと実施内容

計画決定年月	チャンネルプラン名	計画・実施内容
昭和 27 年 (1952 年) 2 月	三大地区割り当て	京浜・名古屋・京阪神の 3 地区に 1~6 チャンネル割当て (ただし, 1, 2 チャンネルは米軍使用中で使用不可)
昭和 31 年 (1956 年) 2 月	全国割当て基本方針	6 チャンネル制決定 NHK 福岡・仙台・広島に割当て
昭和 31 年 (1956 年) 11 月	割当て地区拡大	三大地区に札幌・福岡・仙台・広島を加え「7 基幹地区」として割当て
昭和 32 年 (1956 年) 6 月	第一次チャンネルプラン	11 チャンネル制 49 地区 108 局決定 (うち教育専門局 3 局)
昭和 32 年 (1956 年) 10 月	第一次チャンネルプラン修正	12 チャンネル制 (大阪のみ) 大量 (43 局) 免許交付
昭和 36 年 (1961 年) 4 月	第二次チャンネルプラン	新たに全国に VHF 帯で 74 地区 230 局, UHF 帯で 37 地区に割当て計画 全国 8 地区 12 チャンネル制
昭和 37 年 (1962 年) 7 月	同上一部修正	京浜地区 12 チャンネル追加
昭和 38 年 (1963 年) 5 月	第二次チャンネルプラン大幅修正 (UHF 帯割当て)	全国主要町村を含むに 229 地区 783 チャンネル追加割当て, うち UHF 帯 (45~62 ch) に 96 地区 433 チャンネル
昭和 39 年 (1964 年) 4 月	微小電力局免許方針決定	二次プランの割当てが区域外及び難視聴地域 (3000 世帯以下) 救済
昭和 42 年 (1967 年) 10 月	割当て基本方針修正	UHF 帯 (33~44 ch) 追加 UHF 親局割当て UV 混在体制
昭和 45 年 (1970 年) 7 月	割当て基本方針修正	UHF 帯 (13~32 ch) 追加
昭和 47 年 (1972 年) 3 月	UHF 極微小電力実験局免許	都市・辺地難視聴対策 (0.1 mW ミニサテ方式)
昭和 51 年 (1976 年) 3 月	UHF 極微小電力局本免許	43 局 (新設 21, 実験局からの移行 22 局)
昭和 52 年 (1977 年) 6 月	割当て基本方針一部修正	高層建築物等による受信障害対策のため SHF 12 GHz 帯に 18 チャンネル (63~80 ch) 割当て

(2) 衛星放送

(執筆者: 松村 肇) [2008 年 10 月受領]

(a) 衛星放送周波数の国際取り決め

(i) 衛星放送周波数帯の分配

衛星放送業務 (BSS) 用周波数の取り扱いは ITU (International Telecommunication Union) 内に設置される世界無線通信会議 (World Radiocommunication Conference) の議論と決定を受

表 2・10 放送衛星用業務用周波数の割り当て

2535~2655 MHz	日本を含む一部アジア地域を中心とした 13 か国で衛星放送用及び補完のための地上音声放送用
11.7~12.2 GHz <sup>*1</sup>	放送衛星 (BS) によるアナログ及びデジタル衛星放送
21.4~22.0 GHz <sup>*2</sup>	2007 年 4 月 1 日より放送業務として割当てが有効

\*1: 日本では 12.2~12.75 GHz 帯で通信衛星 (CS) によるデジタル衛星放送も行われている。

\*2: 21 GHz 帯周波数の暫定取り決めは勧告 525 (WRC-07) に記載されている。

けて無線通信規則 (Radio Regulation) で定められている。我が国で利用可能な主な衛星放送用ダウンリンク波の周波数は表 2・10 のように分配されている。

(ii) 12GHz 帯衛星放送 (BSS) の周波数割り当て

12 GHz 帯衛星放送では、各国の衛星の軌道位置や使用周波数及び衛星中継器出力などの衛星伝送基準は、ITU の場で国際的に取り決められたチャンネルプランにより混信妨害などを生じないように、他のサービスから保護されている。

1977年にITUで定められたチャンネルプランと技術基準により日本には8chが分配された。その後、デジタル伝送技術、衛星の大型化や受信技術の進歩などを考慮した技術基準の改定が1997年に行われるとともに、2000年にはデジタル放送を前提とした大幅なプラン改定が行われて、日本にはすでにある8chに加え追加の4chが利用可能となった。すでに実施されているアナログ衛星放送については、従来の技術基準で伝送が可能となっている。表 2・11 に、ITU で定められた地域分類の第3地域 (アジア・オセアニア) のダウンリンク技術基準の概要を示す。同表の [ ] 内の数値は1997年10月以前に実施済みのシステムに適用可能なパラメータであり、日本ではアナログ衛星放送に適用されている。

表 2・11 衛星放送に関するダウンリンク技術基準 (第3地域)

周波数帯 (帯域)	11.7~12.2 GHz (500 MHz)
帯域の下端, 上端のガードバンド	14 MHz, 11 MHz
チャンネル帯域幅 *1	27 MHz
チャンネル間隔	19.18 MHz
チャンネル数	24
各チャンネル偏波	右旋または左旋円偏波
衛星軌道位置間隔	6度を基本
衛星送信アンテナビーム形状	楕円ビーム
アンテナ送信ビーム最小幅	0.6度
アンテナ送信ビーム指向精度	±0.1度
アンテナ送信ビーム回転誤差	±1度 [±2度]
衛星保持軌道 (東西)	±0.1度
衛星保持軌道 (南北)	±0.1度を推奨
混信保護比 (同一チャンネル)	21 dB [30 dB]
混信保護比 (隣接チャンネル)	16 dB [14 dB]
最小受信 C/N (最悪月の 99%時間率)	14 dB
エリアの端 99%受信率の受信電力束密度 (個別受信)	-108 dBW/m <sup>2</sup> [-103 dBW/m <sup>2</sup> ]
同 (共同受信)	-111 dBW/m <sup>2</sup>
地上受信機性能指数 G/T (個別)	11 dB/K [6 dB/K]
地上受信アンテナ参照パターン	RR 中の Fig.7 bis [Fig7]

\*1: 日本のデジタル放送についてはチャンネル帯域 34.5MHz が使用可能

放送衛星からの電波は円偏波を用い、各国で割り当てられた利用可能なチャンネルについては地上受信アンテナの交差偏波特性 (右旋と左旋の識別能力) を考慮して、隣接するサービスエリアでは互いに右旋と左旋を分けることを原則としている。日本は右旋円偏波で1~23の奇数番号チャンネル、及び衛星の静止軌道は東経110度が割り当てられている。

第3地域 (アジア・オセアニア) のダウンリンクチャンネル割り当てを図 2・7 に示す。第3地域では24チャンネルが割り当てられている。第nチャンネルの中心周波数  $F_n$  は以下の式

で表される。

$$F_n = 11727.48 + (n - 1) \times 19.18 \text{ [MHz]} \quad (1)$$

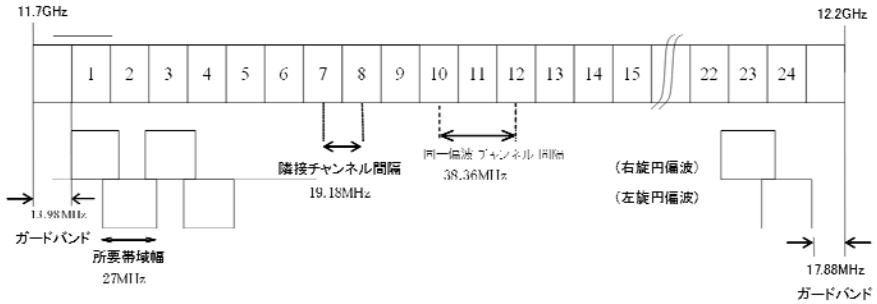


図 2・7 第 3 地域の 12 GHz 帯放送衛星用チャンネル配列

(b) アナログ衛星放送

(i) アナログ衛星放送の伝送規格

1980 年代から日本で開始されたアナログ衛星放送は、低コストで全国を一律にカバーし、いままで電波の届かなかった離島や難視聴地域へのサービスが容易である特徴がある。また、ゴーストなどの受信障害の解消が行えるとともにテレビとして初のデジタル音声サービスやクリアな NTSC 映像を提供できる高品質サービスとして、新しい特徴をもった新放送サービスとなった。

衛星放送では各家庭で受信するアンテナは 45～60 cm などの小口径が多く使用され、また衛星側の送信電力も太陽電池による発生電力の限界のため、チャンネル当たりの出力は高々 100 W 超程度である。したがって、小口径の受信アンテナで受信可能な伝送方式として、地上放送で行われている AM 変調方式でなく FM アナログ変調を採用している。日本で実施された標準テレビジョン衛星放送の映像変調諸元を表 2・12 に示す。

表 2・12 衛星放送の変調諸元 (映像の方式)

項 目	諸 元
映像信号方式	走査線数 525 本 (M/NTSC 方式)
映像信号最高周波数	4.5 MHz
主搬送波変調方式	周波数変調
主搬送波周波数偏移	17 MHz(p-p) (同期信号を含む)
エンファシス	信号の周波数成分のうち低域 -10 dB、高域 +3 dB のエンファシスカープで強調して送信し、受信側で逆補正
変調極性	正極性
エネルギー拡散信号	15 Hz 3 角波 (主搬送波周波数変移 600 kHz 相当)
主搬送波帯域幅	27 MHz

上記の映像信号の FM 変調パラメータ (映像信号 p-p 値に対する周波数偏移  $\Delta F$ , 映像信号再考周波数  $f_m$ ) と帯域幅  $B$  の関係は

$$B = \Delta F + 2 f_m \quad (2)$$

となる。上式は駒井・カーソン則と呼ばれる。

また、周波数変調による FM 利得  $I_{fm}$  は

$$I_{fm} = 3/2 \cdot (\Delta F / f_m)^2 \cdot B / f_m \quad (3)$$

で計算され、上記パラメータでは  $I_{fm}$  は 21.1 dB となる。すなわち、映像信号の  $S/N$  は受信  $C/N$  に加えて FM 利得  $I_{fm}$  分改善されることになる。

周波数変調の場合、伝送路雑音は復調信号の高域ほど高くなる（三角雑音）特徴がある。これを改善するため、送信側で映像信号の高域利得を相対的に増加した特性（プリアンファシス）とし、復調側で逆特性（ディアンファシス）とすることにより、画像  $S/N$  は更に 3 dB 増加させることが可能である。

一方、放送衛星からの電波については国際取り決めにより、他国の衛星放送との干渉を低減するためチャンネル内で、例えば映像同期成分のように、エネルギーが集中する周波数スペクトル電力成分を拡散させる工夫が定められている。具体的には、ベースバンド信号に 15 Hz（映像のフィールド信号の 1/4）の三角波を重畳し、重畳分により被変調信号に 600 kHz の周波数偏移を与えている。この重畳信号により 4 kHz 当たりの最大スペクトル成分は 22 dB 低減できる。

#### (ii) 音声信号の伝送規格

音声方式の伝送諸元の設定にあたっては、地上 FM 放送の品質と同等以上の品質が得られること、最低 4 ch の音声やデータが送信可能であることに加えて、強い降雨による  $C/N$  低下により映像信号の破綻があっても音声伝送が可能ないように配慮されている。このため、アナログ衛星放送の音声、データはデジタル変調された後、映像に多重され FM 変調される方式として定められ、高品質なサービスが可能となっている。表 2・13 に音声伝送諸元を示す。

表 2・13 アナログ衛星放送の音声伝送諸元

項 目		諸 元	
伝送モード		A モード	B モード
符号化方式	音声信号帯域幅	15 kHz	20 kHz
	標準化周波数	32 kHz	48 kHz
	量子化及び圧伸	14/10 ビット準瞬時圧伸	16 ビット直線
多重方式	符号伝送速度	2.048 Mbps	
	チャンネル数	4 チャンネル	2 チャンネル
	独立データ伝送速度	480 kbps	240 kbps
	フレームビット数	2048 ビット	
	ビットインタリーブ	32 ビット	
	スクランブル	10 次 m 系列 PN 信号	
	誤り訂正（音声・データ）	BCH・SEC・DED (63, 56)	
	誤り訂正（レンジビット）	上記+BCH・SEC・DED (7, 3)	
	誤り制御	繰返し送出による多数決判定	
変調方式	副搬送波周波数	5.727272 MHz	
	副搬送波による主搬送波の周波数偏移	±3.25 MHz	
	副搬送波変調方式	4 相 DPSK	

伝送チャンネル数や品質に応じて二つのモードがある。音質を保ちながら効率良くダイナミックレンジを圧縮した A モード及び 16 ビット直線量子化の高音質モード B であり、放送局が選択して放送する。

二つのモードは 2048 kbps のフレーム構造をもち、各フレームは音声・データ信号ビットのほか、受信側での再生を容易にするための 16 ビットの同期信号や、ステレオ、モノなどのモード制御信号、あるいはデジタル復号時の誤り訂正のためのビットなどが含まれる。実際の伝送では更に、このフレーム構成ビット配列を規則に従いインタリーブしており、連続したビット誤りに対して訂正能力を高める工夫をしている。

これらの工夫により、降雨減衰により受信  $C/N$  が 6 dB 程度の場合であっても受信機で復号が可能であり、A モードで 480 kbps、B モードで 240 kbps の伝送速度が得られている。

このデジタル信号により 5.727272 MHz の音声副搬送波を 4 相 DPSK 変調する。この周波数は、NTSC 映像信号内の色信号搬送波 3.578545 MHz との混信低減を考慮して選択されている。主搬送波における音声信号周波数偏移量は  $\pm 3.25$  MHz である。

### (iii) 受信機の構成

アナログ衛星放送における一般的な受信機構成を図 2・8 に示す。放送衛星からの 12 GHz 電波を小型受信アンテナで受信し、コンバータで 10.678 GHz のローカル発振器により IF 帯 (1~1.5 GHz) に変換して、ケーブルで屋内チューナに接続する。続いて、第 2 コンバータで受信希望チャンネルの選択を行い、FM 復調後、映像音声のデコード処理により信号を取り出すものである。クランプ回路は、エネルギー拡散の 15 Hz 信号を除去するために用いられる。

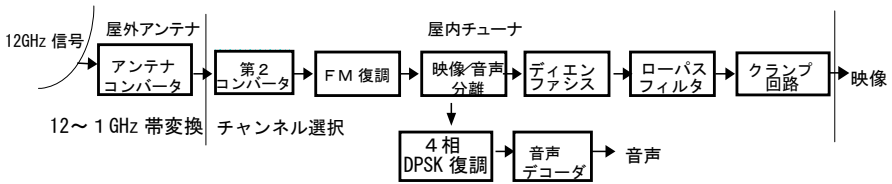


図 2・8 衛星アナログ放送受信機構成

### (iv) アナログ衛星放送の伝送特性

衛星放送で用いられる 12 GHz 帯は降雨減衰による影響が避けられず、降雨減衰を考慮したシステム設計が必要である。1977 年で定められた技術基準では、年間を通じて降雨量が多い季節の降雨最悪月 (7~9 月期) における 99% 以上のサービス時間率を確保するシステム設計が示され、このとき受信  $C/N$  は 14 dB を想定した。この  $C/N$  で受信映像  $S/N$  は 38 dB 以上が可能な変調パラメータの設定が行われている。日本地域 (東京) の 1% 降雨時間率は約 2 dB の降雨減衰を見越すデータが得られており、晴天時の  $C/N$  は約 16 dB 程度となる。

上記の降雨減衰に関する考察を基に、放送衛星から地上受信機までのダウンリンクについての回線設計例を表 2・14 に示す。同表の地上受信機のアンテナは現在普及している 45 cm アンテナ相当の利得を想定しており、38 dB 以上の映像  $S/N$  が得られている特性を示す例である。

なお、まれな豪雨による更に大きな降雨減衰が生じた場合であっても受信  $C/N$  (同表⑬) が 9 dB 程度までは、FM 改善度 (同表⑰) は保持される。この受信  $C/N$  をスレッシュホールドレ

ベルと呼び、映像  $S/N$  が急激に変化するレベルとなる。

表 2・14 衛星放送下り回線設計例

項目		数 値	単 位	備 考
衛 星	①放送衛星電力	20.8	dBW	TWT 出力 120 W の場合
	②フィーダ損失	-2.0	dB	衛星中継器構成に依存する
	③送信アンテナ利得	40.0	dB	地上受信機設置場所に依存する
	④Eirp	58.8	dBW	等価等方放射電力 ① + ② + ③
伝播路	⑤空間損失	-205.6	dB	$-10 \log [(4 \pi d / \lambda)^2]$ $d = 37930 \text{ km}$ (東京), $\lambda = 2.5 \text{ cm}$
	⑥雨・大気減衰	-2.0	dB	最悪月 1%
受信機	⑦ポインティング損失	-0.5	dB	受信アンテナ指向精度の考慮
	⑧受信アンテナ利得	33.5	dB	$10 \log [\eta (\pi D / \lambda)^2]$ $\eta$ (効率) = 0.7, $D = 45 \text{ cm}$ の場合
	⑨受信機入力電力	-115.9	dBW	④ + ⑤ + ⑥ + ⑦ + ⑧
	⑩ボルツマン定数 $k$	-228.6	dB(W/Hz/K)	$10 \log [1.38 \times 10^{-23}]$
	⑪雑音温度	23.6	dB(K)	受信機 NF = 1 dB, 天空雑音 75 K 及び降雨減衰雑音を含む
	⑫受信帯域幅	74.3	dB(Hz)	$10 \log [27 \text{ MHz}]$
	⑬雑音電力	-130.7	dBW	⑩ + ⑪ + ⑫
	⑭上り回線 $C/N$	30.0	dB	アップリンクは高い EIRP が可能な地上送信機を想定する
	⑮下り回線 $C/N$	14.8	dB	⑨ - ⑬
	⑯総合 $C/N$	14.7	dB	⑭と⑮の真値の雑音加算
映像回路	⑰FM 改善度	21.1	dB	$10 \text{ Log } [3/2(ΔF/f_m)^2(B/f_m)]$ $ΔF = 17 \text{ MHz}$ , $f_m = 4.5 \text{ MHz}$ , $B = 27 \text{ MHz}$
	⑱エンファシス効果	3.0	dB	
	⑲SN 比	38.8	dB	⑯ + ⑰ + ⑱

### 2-1-3 緊急警報放送

(執筆者：伊藤泰宏) [2008 年 10 月受領]

緊急警報放送は、これに対応したテレビやラジオを放送波により遠隔起動し、地震や津波などの緊急情報を一刻も早く視聴者に知らせるためのシステムである。東海地震が予知できる可能性が明らかになったのを機に、ラジオ・テレビとも共通に使える音声の中域周波数を使う音声コード信号を用いた方式が 1985 年に実用化された。緊急警報放送は、人命や財産に重大な影響のある「①大規模地震の警戒宣言」「②津波警報」「③都道府県知事からの放送要請」の三つの場合に限って放送される。

緊急警報信号には受信機を遠隔起動するための開始信号(図 2・9)と、受信機を遠隔起動する前の状態に戻すための終了信号(図 2・10)とがある。また、開始信号には「①大規模地震の警戒宣言」と「③都道府県知事からの放送要請」の場合に使用される第一種信号と、「②津波警報」の場合に使用される第二種信号がある。第二種信号については、必要に応じ受信機が遠隔起動しないよう選択できる。

緊急警報信号は、640 Hz の正弦波 10 周期分あるいは 1024 Hz の正弦波 16 周期分の 2 種の

トーン信号（長さはどちらも 15.625 ms）の組合せによる FSK（周波数シフトキーイング）信号で構成される．640 Hz が“0”を，1024 Hz が“1”を表す．

1 ブロック (96 bits, 1.5 秒)						
無信号期間	前置符号	固定符号	地域区分符号	固定符号	月日区分符号	年時区分符号
1 秒以上	4 bits	16 bits	16 bits	16 bits	16 bits	16 bits

図 2・9 緊急警報放送の開始信号

1 ブロック (96 bits, 1.5 秒)								
無信号期間	前置符号	固定符号	地域区分符号	固定符号	月日区分符号	固定符号	年時区分符号	無信号期間
1 秒以上	4 bits	16 bits	16 bits	16 bits	16 bits	16 bits	16 bits	92 bits

図 2・10 緊急警報放送の終了信号

信号は前置符号，固定符号，地域区分符号，月日区分符号，年時区分符号の 5 種類（表 2・15）から成る．地域区分符号には，放送区域と対応した県域，広域，地域共通（全国）の 3 種類がある．例えば，館山市に住む受信者の場合，受信機の受信地域を「千葉県」に設定する．この設定においては，「千葉県」符号に加え，「関東広域」符号，「地域共通」符号のいずれかが受信されたとき，受信機が遠隔起動する．月日区分符号，年時区分符号は，電波妨害による不要動作の機会を少なくするために利用される．

表 2・15 緊急警報放送の符号体系

符号の種類	カテゴリー	符号内容
前置符号 (4 bits)	第一種，第二種開始	1100
	第一種，第二種終了	0011
固定符号 (16 bits)	第一種開始／第一種，第二種終了	0000 1110 0110 1101
	第二種開始	1111 0001 1001 0010
地域区分符号 (16 bits)	第一種，第二種開始	10[地域区分符号(12bits)]00
	第一種，第二種終了	01[地域区分符号(12bits)]11
月日区分符号 (16 bits)	第一種，第二種開始	010[日(5bits)]0[月(4bits)]100
	第一種，第二種終了	100[日(5bits)]0[月(4bits)]111
年時区分符号 (16 bits)	第一種，第二種開始	011[時(5bits)]0[年(4bits)]100
	第一種，第二種終了	101[時(5bits)]0[年(4bits)]111

開始信号は1ブロックの長さが1.5秒で、確実に受信できるよう4~10ブロック繰り返して送出される。また、終了信号は1ブロックの長さが3秒で、2~4ブロック繰り返して送出される。これらの詳細な説明については文献1)を参照されたい。

なお、緊急警報放送は、衛星デジタル放送及び地上デジタル放送にも継承され、運用されている。デジタル放送では、TMCC(伝送制御)信号に緊急警報放送用起動フラグが多重されるとともに、MPEG-TS信号中のPMT(番組マップテーブル)に前述の地域区分符号などが記述された緊急情報記述子が多重される。

#### ■参考文献

- 1) ARIB 標準規格, “緊急警報受信機に関する技術基準,” ARIB STD BTA R-001, 電波産業会.



## 2-2 デジタル放送

### 2-2-1 地上デジタル放送

(執筆者：樋口裕二) [2009年1月受領]

日本の採用している地上デジタルテレビジョン放送の伝送方式は ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial) と呼ばれる方式であり、ITU-R 勧告 (BT.1306) となっている 3 方式の一つである。また国内法令は 1999 年に整備された<sup>1),2)</sup>。

以下に ISDB-T 方式の概要を説明する。詳細については文献 3) を参照されたい。

ISDB-T 方式は伝送方式にマルチキャリア方式の一つである OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplex : 直交周波数分割多重) を採用している。OFDM はマルチキャリア方式であるためにシンボル長が長く、ガードインターバルと呼ばれる時間軸方向の冗長部分を付加することが有効であり、ガードインターバルの範囲内のマルチパスの影響を軽減することができる。これにより SFN (Single Frequency Network : 単一周波数ネットワーク) が実現でき、周波数の有効利用が可能になっている。

ISDB-T 方式では、OFDM のキャリアをセグメントと呼ばれるグループに分割しており、図 2・11 に示すとおり、セグメントの数は 13 となっている。このセグメント化により、自由度の高い階層伝送が可能になっている。階層の数は最大 3 階層まで可能としている。一般にワンセグと呼ばれる携帯端末向けの放送は、この階層化により実現されている。ワンセグは図 2・11 に示す中央の 1 セグメント (セグメント番号 0) を使用する放送であり、中央のセグメントのみを部分的に受信することから部分受信と呼ばれる。

ISDB-T 方式の伝送パラメータを表 2・16 に示す。

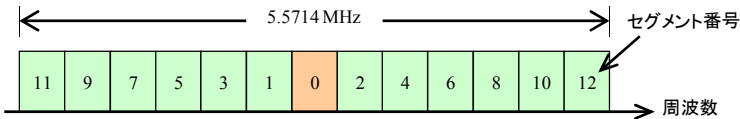


図 2・11 ISDB-T におけるセグメント構成

表 2・16 伝送パラメータ

モード	モード1	モード2	モード3
帯域幅	5.575 MHz	5.573 MHz	5.572 MHz
キャリア総数	1405	2809	5617
キャリア間隔	3.968 kHz	1.984 kHz	0.992 kHz
有効シンボル長	252 μs	504 μs	1.008 ms
キャリア変調形式	QPSK, 16QAM, 64QAM, DQPSK		
ガードインターバル比	1/4, 1/8, 1/16, 1/32		
内符号	畳込み符号 (1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8)		
外符号	短縮化リードソロモン (204, 188) 符号		
情報レート	3.651 ~ 23.234 Mbps		

ISDB-T 方式では、キャリア数が異なる 3 種類のモードが用意されている。キャリア数が多い場合には有効シンボル長が長くなり、同じガードインターバル比（ガードインターバル長/有効シンボル長）であれば、ガードインターバル長は長くなり、長い遅延時間差のマルチパスに対する耐性を持たせることができ、SFN の構築に有利である。

一方、キャリア数が少ない場合にはキャリア間隔が広くなり、移動体受信などの場合に生ずるドプラーシフトによるキャリア間干渉の影響を受けにくい。

誤り訂正には接続符号が採用されており、外符号にはリードソロモン (255, 239) 符号の短縮化リードソロモン (204, 188) 符号、内符号には拘束長 7、符号化率 1/2 をマザーコードとするバンクチャード畳込み符号が採用されている。

キャリアの変調形式、畳込み符号の符号化率、時間インターリーブ長は階層ごとに定めることができる。

また、204 シンボルを 1 フレームとし、1 フレーム内には整数個の TS (Transport Stream) パケットが含まれる。また伝送パラメータの切替えはこのフレームの境界で行われる。

各キャリアには、映像や音声などのデータが伝送されるキャリアのほか、後述する復調の基準となるパイロット信号 (SP, CP, AC1, AC2) が伝送されるキャリアや、キャリアの変調形式や畳込み符号化率などの情報である TMCC (Transmission and Multiplexing Configuration Control) が伝送されるキャリアがある。これらの伝送には、セグメントごとのキャリア数の 1/9 に相当する数のキャリアが使用される。

情報レートは、携帯端末向け放送を変調形式 QPSK、畳込み符号化率 2/3、ガードインターバル比 1/8 で行う場合には約 416 kbps となり、固定受信向け放送を変調形式 64 QAM、畳込み符号化率 3/4、ガードインターバル比 1/8、セグメント数 12 で行う場合には約 16.9M bps となる<sup>3)</sup>。なお、上記の変調形式、畳込み符号化率の場合の所要 CN 比（内符号訂正後のビット誤り率が  $2 \times 10^{-4}$  となる CN 比）は、それぞれ 6.6 dB と 20.1 dB である<sup>4)</sup>。

パイロット信号には、SP (Scattered Pilot)、CP (Continual Pilot)、AC (Auxiliary Channel) 1、AC 2 がある。図 2・12 に同期変調 (QPSK, 16QAM, 64QAM) の場合のパイロット信号などのセグメント内での配置のイメージを示す。SP は同期変調のセグメントに挿入され、キャリア番号 (周波数軸) 方向に 12 キャリアに 1 回、OFDM シンボル番号 (時間軸) 方向には 4 シンボルに 1 回伝送される。SP の振幅、位相は既知であるため、同期復調の基準として使用される。図 2・13 に差動変調 (DQPSK) のパイロット信号などの配置のイメージを示す。CP は差動変調のセグメントの左端に挿入される連続した信号であり、復調に使用される。AC 1、AC 2 は CP に情報を載せたものであり、パイロット信号の役割に加え、放送事業者用の情報の伝送に使用されるが、他の情報の伝送に使用することも技術的には可能である。

TMCC では受信機が復調処理を行うのに必要な情報や、緊急警報放送時に受信機を起動するための起動制御信号が伝送される。TMCC に含まれる情報を表 2・17 に示す。

表 2・17 に示すカレント情報は、現在の伝送パラメータ情報であり、ネクスト情報は伝送パラメータを変更した後の伝送パラメータ情報を予め伝送するものである。伝送パラメータの変更は、伝送パラメータ切替え指標のカウントダウンにより行われる。カウントダウンが採用されている理由は、受信状態が時間と伴に変動する可能性の高い移動体受信に対する配慮である。

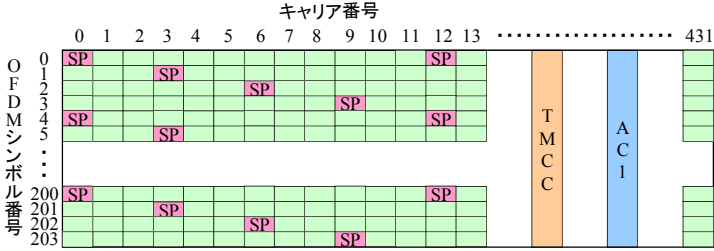


図 2・12 同期変調セグメントのパイロット信号の配置イメージ (モード3の場合)

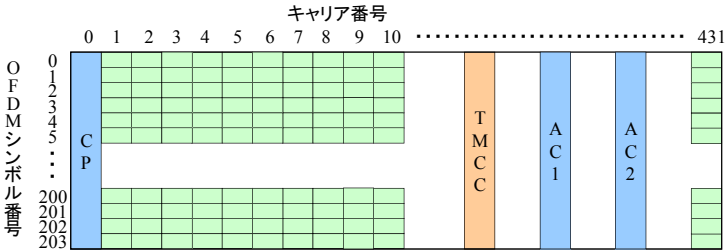


図 2・13 差動変調セグメントのパイロット信号の配置イメージ (モード3の場合)

表 2・17 TMCC により伝送される情報

- (1)システム識別:地上デジタルテレビジョン放送システム
- (2)伝送パラメータ切替え指標:切替え15フレーム前からのカウントダウン
- (3)起動制御信号:緊急警報放送の伝送の有無
- (4)カレント情報 部分受信フラグ
  - A階層伝送パラメータ情報
  - B階層伝送パラメータ情報
  - C階層伝送パラメータ情報
- (5)ネクスト情報 部分受信フラグ
  - A階層伝送パラメータ情報
  - B階層伝送パラメータ情報
  - C階層伝送パラメータ情報

伝送パラメータ情報:キャリア変調形式、畳込み符号化率、時間インターリーブ長、セグメント数

なお、伝送パラメータの内、モードとガードインターバル比は受信機が独自に検出する必要があるので、TMCC では伝送されない。

TMCC の変調形式は DBPSK であり、TMCC の正味の情報 102 ビットに、差動復調基準 1 ビット、同期信号 16 ビット、セグメント形式識別 (差動、同期の別) 3 ビット、パリティ 82

ビットが加えられた 204 ビットが伝送される。この値は 1 フレーム当たりのシンボル数に等しく、TMCC は各フレーム単位で伝送される。

図 2・14 に伝送路符号化部の基本構成を示す。映像、音声、データ放送などが多重された TS 信号が多重化部 (MUX) より入力され、誤り訂正の冗長度が付加されるほか、各種のインタリーブが行われる。その後パイロット信号、TMCC 信号とともに IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) による処理が行われ、ガードインターバルが付加された後に直交変調を経て ISDB-T 方式の OFDM 信号が形成される。

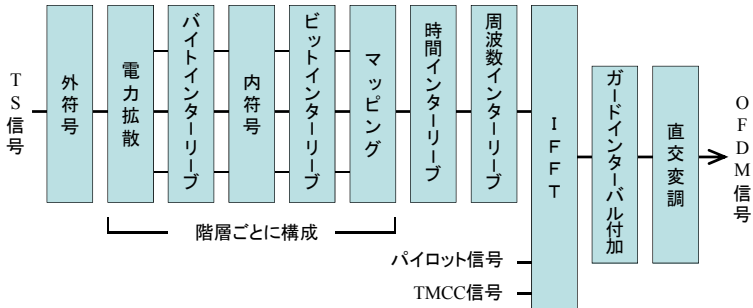


図 2・14 伝送路符号化部の基本構成

図 2・14 中の電力拡散は 0 または 1 が連続し、これにより OFDM 信号のピーク電力が大きくなることを軽減するための処理である。また、電力拡散からマッピングまでは、階層ごとに構成される。なお、マッピングがキャリアの変調に相当する。

また、多重化部より入力される TS 信号は放送 TS と呼ばれ、TMCC の情報やモード、ガードインターバル比の情報が多重されている。

法令上の放送区域 (サービスエリア) は、地上高 10 m における電界強度が 1 mV/m (60 dB  $\mu$ V/m) 以上と規定されており、アナログテレビジョン放送の地上高 4 m における電界強度 3 mV/m (70 dB  $\mu$ V/m) に比べて 10 dB 低くなっている<sup>5)</sup>。

ISDB-T 方式は、階層ごとの伝送パラメータやセグメント数の選択において極めて自由度の高い方式である。このため、実際の運用において使用されるであろう組合せを想定し、社団法人電波産業会 (ARIB) が運用規定を定め、組合せを制限している<sup>6)</sup>。

また、地上デジタル音声放送方式としては ISDB-TSB 方式があり、2000 年に法整備された。

ISDB-TSB 方式は 1 セグメントまたは 3 セグメントを単位として行われる放送方式であり、ISDB-T 方式との共通化が図られている。なお、3 セグメントの場合には、1 セグメントと 2 セグメントの 2 階層とすることが定められている。

1 セグメントまたは 3 セグメントの放送を複数まとめ、法令上最大 14 セグメントまでをまとめて送信することが可能であり、連結送信と呼ばれている。連結送信の場合にはガードバンドが不要であり、周波数が有効に利用できる。

#### ■参考文献

- 1) 標準テレビジョン放送等のうちデジタル放送に関する送信の標準方式 (平成 15 年総務省令第 26 号)

- 2) 総務省告示 (平成 15 年総務省告示第 37 号)
- 3) “地上デジタルテレビジョン放送の伝送方式標準規格,” ARIB STD-B31, 電波産業会
- 4) “デジタル放送用受信装置標準規格 (望ましい仕様),” ARIB STD-B21, 電波産業会
- 5) 放送局の開設の根本的基準 (昭和 25 年電波監理委員会規則第 21 号)
- 6) “地上デジタルテレビジョン放送運用規定技術資料,” ARIB TR-B14, 電波産業会

## 2-2-2 衛星デジタル放送

(執筆者: 長石 敦) [2009 年 1 月受領]

日本の採用している衛星デジタルテレビジョン放送の伝送方式は, ISDB-S (Integrated Services Digital Broadcasting-Satellite) と呼ばれる方式であり, 社団法人電波産業会 (ARIB) が策定した ARIB STD-B20 「衛星デジタル放送の伝送方式」にて規格化されている。

衛星デジタル放送は, BS デジタル放送と CS デジタル放送が運用されているが, 本項では, BS デジタル放送の技術方式を中心に紹介する。

表 2・18 に BS デジタル放送の技術パラメータを記載する。

表 2・18 BS デジタル放送の技術パラメータ

伝送路符号化方式	変調方式 (*1)	TC8PSK, QPSK, BPSK の切り替え/併用
	誤り訂正方式 (*1)	内符号 : トレリス符号化 QPSK : 畳込み (符号化率 $r = 1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8$ ) BPSK : 畳込み (符号化率 $r = 1/2$ )
	フレーム構造	スロット (244バイト)/ フレーム (48スロット)/ スーパーフレーム (8フレーム) で構成
	インターリーブ (*1)	主信号のブロックインターリーブ、スーパーフレーム内の各フレームのスロットごとのバイト単位のインターリーブ
	エネルギー拡散 (*1)	15次M系列擬似ランダム信号を加算 スーパーフレームごとにリセット
	TMCC伝送方式	BPSK変調 内符号: 畳込み ( $r = 1/2$ ), 外符号: リードソロモン (64, 48) エネルギー拡散は主信号と同方法
	TMCC制御項目	スロット単位で伝送方式 (変調方式と誤り訂正方式) を選択 (最大4方式), TSの指定制御 (最大8TS), その他送受信制御信号 (緊急警報など) 等
	位相基準バースト信号	BPSK変調で, 主信号203シンボルごとに4シンボル挿入
RF帯減幅 (99%エネルギー)	34.5MHz	
伝送シンボルレート	28.86Mbaud (*2)	
伝送情報レート	52.17Mbps (TC8PSKの場合)	
映像符号化方式	MPEG-2 Video	
音声符号化方式	MPEG-2 Audio AAC	
映像表示方式	480i, 480p, 720p, 1080i, 1080p	
多重化方式	MPEG-2 Systems	
限定受信方式	MULTI2	

(\*1) 主信号について (主信号; スロットの先頭の1バイトを除いた203バイト)

(\*2) Mbaud : メガボー, baud : 変調速度の単位で1秒間に伝送可能なシンボル数。

誤り訂正のためのビットも含まれるので, 情報の伝送レートはこれに誤り訂正を考慮した符号化率をかける。

BS デジタル放送の送信構成は, 符号化部と多重化部と伝送路符号化部からなる。

符号化部は映像, 音声を符号圧縮し TS (Transport Stream) 化を行い, 多重化部にてデータ

放送、全局分の番組情報などを集結した全局 EPG (Electronic Program Guide : 電子番組ガイド)、CAS (Conditional Access System : 限定受信方式) の TS と多重を行う。伝送路符号化部においては、外符号誤り訂正リードソロモンが付加され、1 トランスポンダ分にあたる 48 スロットのフレーム構造を構成する。これにエネルギー拡散及びインタリーブを施し、内符号誤り訂正を付加して変調処理を行う。それぞれの技術について、もう少し詳細に解説する。

#### (1) 変調方式

トレリス 8 相 PSK (TC 8PSK)、4 相位相変調 (QPSK)、2 相位相変調 (BPSK) の 3 種類の変調方式を切り替え、または併用して使用する。TC 8PSK は 8 位相変調に隣接する信号に対し誤り訂正符号化を行った方式で、QPSK は搬送波の位相を 90 度おきにとり 1 シンボル期間に 2 ビットの情報伝送を行う方式で、BPSK は搬送波の位相を同相 (0 度) と逆相 (180 度) に対応させ 1 シンボル期間に 1 ビットの情報伝送を行う方式である。

これらの変調方式の中では、TC 8PSK が最も周波数利用効率が高いが、降雨減衰などによる雑音の影響を受け易い。これは、誤り訂正用のビット量が少ないことによる。情報量は QPSK の場合は、TC 8PSK の 1/2 になり、BPSK の場合は更に QPSK の 1/2 になるが、受信状況によって変調方式を受信機で自動選択する階層変調により、放送サービスの維持が可能な方式となっている。

#### (2) 誤り訂正方式

外符号は、符号化率が高くバースト誤り訂正能力の高いリードソロモン (204, 188) を用いている。内符号は、TC 8PSK は 1 ビットを誤り訂正に用いており、符号化率は 2/3 である。QPSK、BPSK はランダム誤り訂正能力の高い畳込み符号を用いて、その符号化率は QPSK の場合は 5 種類から選択できる。また、BPSK の符号化率は 1/2 である。

#### (3) 伝送フレーム構成

図 2・15 に示すように、MPEG-2 の TS のパッケージ単位である 188 バイトに、リードソロモンのチェックビット 16 バイトを付加した 204 バイトの信号をスロットと呼ぶ。そして、48 スロットでフレームを構成する。フレームは基本伝送単位であり、1 フレーム内では、同時に最大 4 伝送方式、8 TS まで送信可能である。

更に、8 フレームで 1 スーパーフレームを構成する。エネルギー拡散、インタリーブ、及び TMCC 信号処理はスーパーフレーム単位で行う。

インタリーブは、1~48 の各スロットの先頭バイトを除く 203 バイトについて、バイト単位で 8 フレーム (1 スーパーフレーム) 間にわたって同じスロット番号のバイト信号間で処理を行う。フレーム構成によって情報の長さの単位が一定であるため、複数の変調方式を同時に用いることが可能であり、一つの中継器を複数の事業者が独立して運用することができる。

#### (4) 伝送多重制御 (TMCC) 信号

TMCC (Transmission and Multiplexing Configuration Control) 信号は、伝送変調方式、誤り訂正の符号化率、複数 TS を管理するためのスロット番号に関する情報を含んでいる。変調

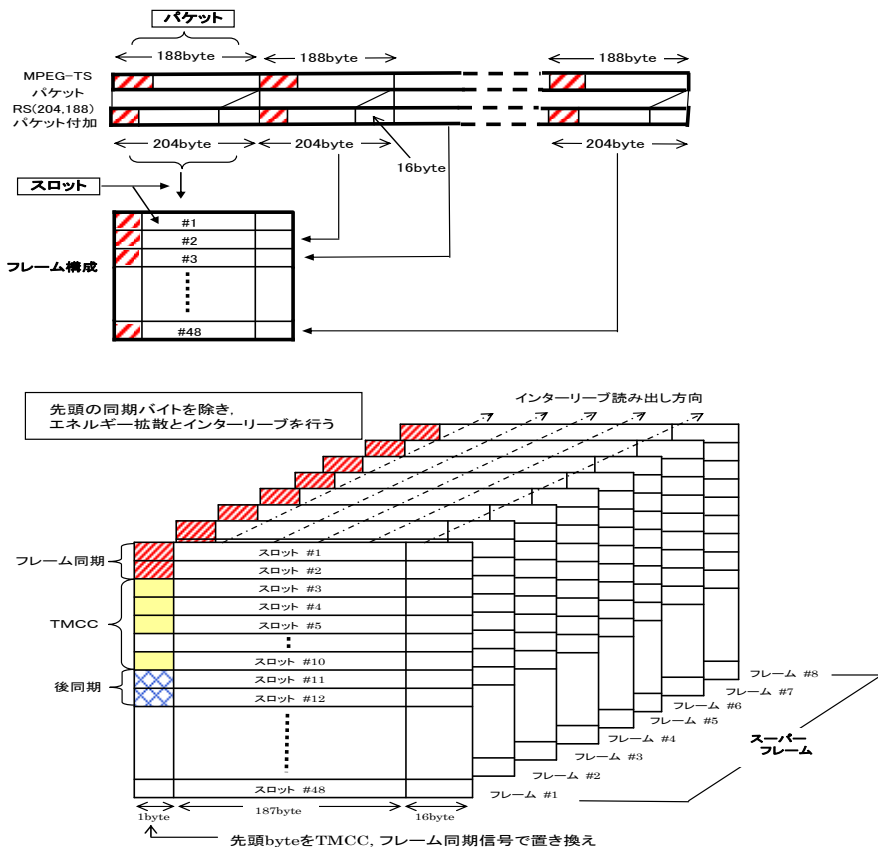


図 2・15 伝送フレーム構成図

方式は最も低い CN 比でも受信可能なように BPSK を用いる。誤り訂正は、短縮化リードソロモン (64, 48) と符号化率 1/2 の畳込み符号を合わせて使用 (連接符号) している。受信機側では、スーパーフレームごとに TMCC 信号を復調し、TS を選択する。

### (5) 位相基準バースト

デジタル信号を復調する場合、同期検波が必要であり、CN 比が低くても安定再生できるように、主信号 203 シンボルごとに 4 シンボルの BPSK 基準バーストを間欠的に時分割多重している。

### (6) エネルギー拡散

受信機では 0 と 1 の交差情報によりクロック再生を行う。よって、0 または 1 のデジタル信号が連続するとクロック再生ができなくなるため、既知のランダム信号を重畳して、同

じ符号ができるだけ連続しないようにしている。スーパーフレームごとにもリセットする方法を採用している。

なお、デジタル放送の映像符号化方式は MPEG-2 が主流であったが、より圧縮効率の高い H.264/MPEG-4 AVC が ARIB STD-B1「CS デジタル放送用受信機標準規格」に付属で追加され、すでに高度狭帯域 CS デジタル放送においては採用されサービスが行われている。BS デジタル放送は、2011 年には BS アナログ放送の停波と新たな衛星によるトランスポンダ増加による再編が行われ、更に事業者が増える予定である。今後も技術革新による、新方式の規格化と採用が進んでいくものと思われる。

#### ■参考文献

- 1) “放送衛星の基礎知識,” 兼六館出版, pp.122-130, Jan. 2001.
- 2) “衛星デジタル放送の伝送方式標準規格,” ARIB STD-B20, 電波産業会.
- 3) “CS デジタル放送用受信装置標準規格 (望ましい仕様),” ARIB STD-B1, 電波産業会.

### 2-2-3 ケーブルテレビジョン放送

(執筆者：倉掛卓也) [2008 年 11 月受領]

ケーブルテレビのデジタル化は、電波による放送のデジタル化に合わせて進展してきた経緯があり、複数のデジタル放送方式が実用化されている。デジタルケーブルテレビ方式を、変調方式や MPEG-2 TS (以下、TS と記述) の扱いに基づいて分類すると、表 2・19 に示す三つに大きく分類できる。以下、歴史的な経緯を含め、トランスモジュレーション方式、リマックス方式、パススルー方式の順で説明する。なお、いずれの規格も既存のアナログ信号と同一の伝送路で共存できるように配慮されているが詳細は 5 章を参照してほしい。

表 2・19 デジタルケーブルテレビ伝送方式の分類

方式	説明	初期コスト	周波数利用効率	適用例
トランスモジュレーション	ケーブル局のヘッドエンドで受信したデジタル放送の変調方式を変換して再送信	中	高	BS 再送信 CS 110 度再送信 地上再送信 HITS <sup>*1</sup>
リマックス	ケーブル局のヘッドエンドで受信したデジタル放送などを素材として、新たに TS を作成して送信	高	高	自主放送 HITS
パススルー	ケーブル局のヘッドエンドで受信したデジタル放送をそのまま、または周波数変換して再送信	低	低 (BS, CS) 高 (地上)	地上再送信 (BS 再送信)

#### (1) トランスモジュレーション方式

国内のケーブルテレビのデジタル伝送方式としては、東経 124/128 度 CS デジタル放送の再送信に利用することを目的に、64 QAM (Quadrature Amplitude Modulation) を用いて、一つの

<sup>\*1</sup> Head-end In The Sky の略。多チャンネル放送サービスの多重化処理を集約して代行し、そこから衛星経由で各ケーブル局に信号を送信するサービス。各ケーブル局には設備軽減のメリットがある。



搬送波で一つの TS を約 29 Mbps で伝送する方式<sup>1)</sup> (単一 TS 伝送方式) が 1996 年に初めて規格化された。その後 2000 年に開始された BS デジタル放送では 1 中継器で複数の TS を合計 52 Mbps (最大) で伝送するため、再送信に向けての新たなデジタル伝送方式 (複数 TS 伝送方式) の開発<sup>2)</sup>・標準化が行われた。引き続き登場した東経 110 度 CS デジタル放送は、規格としては BS デジタル放送と同一であるが、情報速度は約 39 Mbps で、一つの中継器で一つの TS を放送する運用が一般的となり、「TS 分割」の機能が導入された<sup>3)</sup>。

これらの方式は番組を含む TS の再構築や新たな記述はせず (伝送方式などを記述する NIT だけは変更する場合がある)、変調方式のみの変更で再送信を行うため、トランスモジュレーション (変調変換の意) 方式と呼ばれる。これらの方式では同じ伝送路符号化方式を利用することで新たな技術開発を最小限にとどめたため、低コストでの導入が可能となった。以下では、各再送信方式の共通部分である「伝送路符号化方式」と、TS の処理方法として「複数 TS 伝送方式」「TS 分割方式」について説明する。これらの技術が実際にどのように活用されているかは、例えば文献 4) や日本ケーブルラボの運用仕様書を参照してほしい。

(a) 伝送路符号化方式

国内ケーブルテレビの伝送路符号化方式としては、ロールオフ率、レートを除いて欧州方式<sup>5)</sup> と共通化された 64 QAM 及び 256 QAM が規格化<sup>2)</sup>されている<sup>6)</sup>。その諸元を表 2・20 に示す。送信側での処理を順に説明すると、まず TS パケット 8 個ごとに先頭パケットの同期バイトをビット反転し、この 8 パケットを単位として同期バイト以外をエネルギー拡散する。次に TS パケットごとに誤り訂正符号化を行い、バイト単位で深さ 12 の畳込みインタリーブを行う。この際、同期バイトは遅延のないパスに割り当てられる。次に、バイト・シンボル変換し、上位 2 ビットは差動符号化する。差動符号化後のシンボルを QAM 信号点配置にマッピングし、I 成分、Q 成分を求め、ロールオフ波形整形後に直交変調する。この伝送路

表 2・20 伝送路符号化方式諸元

変 調	64 QAM	256 QAM
入力信号	TS パケット	
フレーム同期	8 パケットごとに同期バイト反転	
信号拡散	同期バイトを除いて擬似ランダム信号 (15 段 PRBS) と乗算	
誤り訂正	短縮化リードソロモン符号 (204, 188)	
インタリーブ	バイト単位畳込み (深さ 12)	
マッピング	差動符号 (上位 2 ビット) 回転対称配置 (下位 4 ビット)	差動符号 (上位 2 ビット) 回転対称配置 (下位 6 ビット)
ロールオフ率	13 %	
周波数帯域	6 MHz	
シンボルレート	5.274 Mbaud	
伝送レート	31.644 Mbps	42.192 Mbps
情報レート	29.162 Mbps	38.883 Mbps

↓ 伝送路符号化の順 ↓

\*2 欧州の規格を策定する DVB (Digital Video Broadcasting) では更なる大容量化を検討しており<sup>12)</sup>、国内でも大容量化が今後の課題とされている<sup>11)</sup>。

符号化方式は、後述のリマックス方式でも共通に用いる。

### (b) 複数 TS 伝送方式

一つの搬送波で単一の TS を伝送する「単一 TS 伝送方式」と区別して、一つの搬送波で複数の TS を伝送する方式を「複数 TS 伝送方式」と呼ぶ。先に述べたように、複数 TS 伝送方式はもともと 64 QAM で BS デジタル放送を効率良く再送信する方式として開発された。複数 TS 伝送方式では図 2・16(a)に示す構成のフレームを用いる<sup>2), 7)</sup>。複数 TS 多重フレームは 53 スロットで構成される。先頭のスロットにはヘッダを置き、フレーム同期用の信号、以下の 52 スロットのそれぞれにどの TS のパケットが配置されているかを示す情報、緊急警報信号(デジタル放送では TS とは別に TMCC で伝送されている)といった情報を格納している。受信側では、まずフレーム同期を確立し、ヘッダの情報から希望の TS が配置されたスロットを把握し、それ以外のスロット(ヘッダを含む)をヌルパケットに置き換えることで希望の TS を分離する<sup>8)</sup>。

図 2・16(b)に示すように、複数 TS 多重フレームは伝送路符号化部への入力では単一の TS と同じ信号形式(同期バイト 0×47 で始まる 188 バイトのパケット列)となるようにしている。これにより、従来単一 TS 伝送方式用に開発されてきた技術や規格を活用でき、結果として、単一 TS、複数 TS の両伝送方式に対応した STB の開発も容易となっている。ケーブルテレビの 1 チャンネル(1 搬送波)で複数の TS を独立に伝送できるため、デジタル放送の再送信の TS とエンジニアリング TS を 1 チャンネルで伝送するなど柔軟な運用が可能となっている。

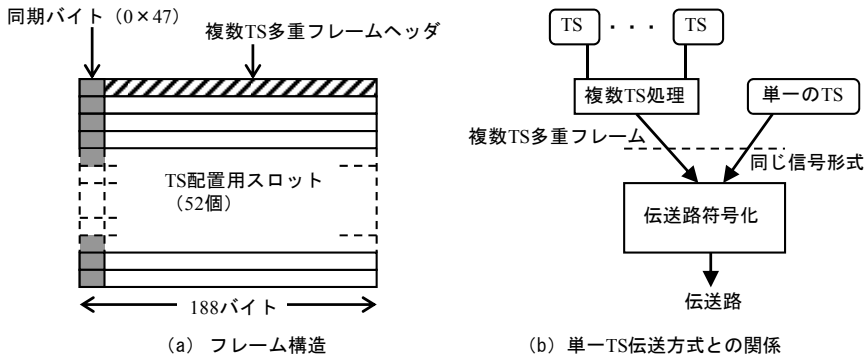


図 2・16 複数 TS 多重フレームの構造と単一 TS 伝送方式との関係

### (c) TS 分割方式

TS 分割方式は、単一 TS をサービス単位で二つのチャンネル(搬送波)に分割して伝送するものである。適用例を図 2・17 に示す。この例では、3 個のサービスを伝送している TS をサービス単位で分割しており、共通情報(NIT を除く PSI/SI/EMM など)はオリジナルのまま両方のチャンネルに送出する。NIT は、分割の情報を含め、ケーブルテレビのネットワーク情報に書き換える。分割された TS は単一 TS 伝送方式あるいは複数 TS 伝送方式を用いて伝送される。

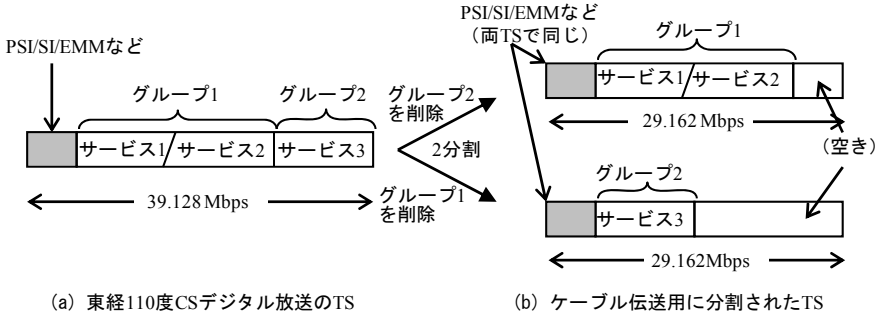


図 2・17 TS 分割方式の東経 110 度 CS デジタル放送への適用例

### (2) リマックス方式

リマックス方式は、ケーブルテレビ事業者が自主的にサービスを編成して運用するデジタル放送（自主放送）向けの方式であり、トランスモジュレーション方式と異なり TS を新たに生成することが特徴である。自主放送では、素材として入手した TS から一部の番組だけを選んで再多重することが多いため、リマックス方式と呼ばれる。TS 多重化システム、PSI/SI 生成システムをケーブルテレビ事業者で用意する必要がある。更に、有料放送などでは、CAS システムも必要になる。導入コストは高くなるが、自主放送として柔軟なサービスが提供可能である。

伝送方式はトランスモジュレーション方式と同じ 64 QAM あるいは 256 QAM を用いて単一 TS 伝送するのが一般的であるが、後述の OFDM や、64 QAM あるいは 256 QAM の複数 TS 伝送方式が用いられる場合もある。

### (3) パススルー方式

パススルー方式は、電波で送られてくるデジタル放送信号を、復調せずそのままケーブル伝送路に再送信する方式である。電波の周波数が、ケーブル伝送路の伝送帯域内にない場合などでは、周波数変換をすることもある。ヘッドエンドでの処理が軽く導入コストが低いという特長がある。地上デジタル放送の再送信などに向け、既存の信号の伝送に支障を与えることなく OFDM 信号を伝送する基準が実験<sup>9)</sup>を通して、省令化されている。BS デジタル放送の再送信向けとしては、同軸ケーブルを利用するケーブルテレビでは BS-IF は周波数が高く伝送できないため、まず BS-IF 信号を低い周波数帯に周波数変換して伝送し、受信側で BS-IF に戻す方式<sup>10)</sup>が規格化されたが、周波数利用効率が低いこともあり、普及は進まなかった。その後、FTTH 型のケーブルテレビでは BS-IF、CS-IF のような高い周波数帯の伝送が可能となり、BS-IF、CS-IF を周波数変換せずにそのまま伝送するための信号品質の基準が省令化された<sup>11)</sup>。FTTH では帯域に余裕があって周波数利用効率の低さが問題にならず、かつ受信側での周波数変換が不要で市販の受信機がそのまま使えるため、普及が進みつつある<sup>11)</sup>。

**■参考文献**

- 1) 野田 勉, 原田守夫, 宮沢 寛, 石黒 公, 西山光生, 清水信作, 伊東 晋, “デジタル有線テレビジョン放送方式の伝送実験と伝送路所要性能の検討,” 映情学誌, vol.51, no.9, pp.1509-1516, Sep. 1997.
- 2) 倉掛卓也, 中村直義, 前田幹夫, 小山田公之, 宮沢 寛, “ケーブルテレビ複数 MPEG - TS 多重方式の一提案,” 映情学技報, vol.23, no.48, pp.7-12, Jul. 1999.
- 3) 田伐 智, 加治 充, 下田平麻志, 石井友規, 山本芳樹, 小倉謙一郎, 吉田達哉, “デジタル CATV トランスモジュレーションシステム,” 松下テクニカルジャーナル, vol.49, no.6, pp.57-61, Dec. 2003.
- 4) 野田 勉, “第7編4章 日本ケーブルラボ仕様,” デジタル放送ハンドブック, 映像情報メディア学会編, pp.275-284, オーム社, Jun. 2003.
- 5) ETSI EN 300 429, “Framing structure, channel coding and modulation for cable systems,” Apr. 1998.
- 6) ITU-T Rec. J.83, “Digital multi-programme systems for television, sound and data services for cable distribution,” Dec. 2007.
- 7) ITU-T Rec. J.183, “Time-division multiplexing of multiple MPEG-2 transport streams over cable television systems,” Mar. 2001.
- 8) 古賀 弘, 田伐 智, 加治 充, 下田平麻志, 中西 徹, “複数 TS 伝送方式に準拠したデジタル CATV 伝送システム,” 松下テクニカルジャーナル, vol.46, no.6, pp.27-36, Dec. 2000.
- 9) 中村直義, 野田 勉, 大須賀英己, 原田守夫, 石黒 公, 武永次男, 都竹愛一郎, 伊東 晋, “地上デジタルテレビジョン放送用信号のケーブルテレビ伝送実験と伝送路所要性能の検討,” 映情学誌, vol.54, no.11, pp.1559-1567, Nov. 2000.
- 10) 柴田泰見, 阿良田洋雄, 嶋田喜一郎, “BS デジタル放送の共同受信施設用周波数変換 PSK 伝送方式,” 映情学技報, vol.23, no.48, pp.19-24, Jul. 1999.
- 11) [http://www.soumu.go.jp/joho\\_tsusin/policyreports/joho\\_tsusin/catv\\_system/pdf/070315\\_1\\_si3.pdf](http://www.soumu.go.jp/joho_tsusin/policyreports/joho_tsusin/catv_system/pdf/070315_1_si3.pdf)
- 12) <http://www.dvb.org/technology/dvbc2/index.xml>

**2-2-4 IP 放送**

執筆中