3. 欧州における技術動向

正会員 上 瀬 千 春[†]

1. ま え が き

欧州では5年ほど前からデジタルテレビ放送の研究が始まり、各国の研究機関が独立して研究を行ってきた。衛星デジタル放送ではイタリアのRAI研究所が、地上放送では1991年、1992年にそれぞれ英国のNTL社、北欧のHD-DIVINE社がCOFDM変調方式のシステムを実験、研究成果を発表し注目された。また、フランスのCCETT、トムソン社などがこれに続くなど、デジタル放送技術開発の気運が高まってきた。1993年に、これらの研究をまとめる欧州の組織EP-DVB(European Project on Digital Video Broadcasting)が設立された。DVBはこれまでMAC方式の開発のような技術先行型のEUのプロジェクトへの反省から、事業化と技術の両面から検討を行う組織となった。DAB(Digital Audio Broadcasting)放送はすでに1995年からスウェーデン、英国で本放送が開始されたが、同じ変調方式であるCOFDMを地上デジタルテレビに応用する研究が行われている。

ここでは欧州の動向として、DVBの活動とシステム標準、IBC'95で発表された審議中のシステムの概要について述べる。

2. DVBプロジェクトの活動

欧州ではDVBがデジタル放送の標準化作業を行っているが、作業は衛星、地上、CATV、SMATV(Satellite Master Antenna Television System)およびMMDS(Multi point Microwave Distribution System)など幅広い分野に及んでいる。すでに1994年に衛星、CATVの標準化を終えて、1995年9月現在、地上放送の標準のテストに入り、ドラフト作成の最終段階に来ている。

DVBはELG(European Launching Group)が前身であり、ヨーロッパにおけるデジタル放送の促進と標準を作ることを目的としたボランティアな団体である。1995年5月現在、21カ国から170を超える組織が参加している。

メンバーは、製造業、放送事業者、番組提供者、ネットワークおよび衛星の運用業者等である。図1にその組織を示す。ユーザ要求条件をまとめる3つのコマーシャルモジュール(衛星とケーブル、地上放送およびインタラクティブサービス)、技術開発と仕様をまとめる技術モジュールと、それらのモジュールを統括するステアリングボード、およびコンディショナルアクセスとスクランブルに関する政策をまとめるアドホックから構成されている。

このDVBプロジェクトは、これまで独自に研究を行ってきたSpectre, Diamond, SterneおよびEUのRace, dTTb, Digis MATVなど、さらにHD-Divine, [†]DTV_Tの各プロジェクトと協力関係を結んでいる。これらのプロジェクトは定期的に技術モジュールで研究報告を行っている。

3. DVB標準化ファミリー

DVBにおける標準化の対象は次のようになっている。

[DVB-S] 11, 12 GHz 帯で使用される衛星システムで、広範囲の送信電力、帯域幅に合わせることができる。

[DVB-C] DVB-Sにコンパチブルな8 MHz 帯域幅のCATVのための標準。

[DVB-CS] SMATVシステムでDVB-CとDVB-Sをサービスするためのコミュニティサービス標準。

[DVB-T] 7, 8 MHz 帯域幅の地上放送のための標準。

[DVB-SI] DVBデコーダで使用するサービスインフォメーションで、視聴者のプロ

[†] 株式会社フジテレビジョン 技術局

“Progress of Technical Development on Digital Television Broadcasting in Europe” by Chiharu Kamise (Fuji Television Network Inc., Tokyo)

図 1 DVB 組織

グラムの選択を容易にするためのナビゲーションシステム標準。

[DVB-TXT] DVB の固定フォーマットのテレテキストシステム標準。

[DVB-CI] コンディショナルアクセスのための共通インタフェース標準。

4. DVB のコアシステムの考え方

できるだけ伝送メディア横断的に技術的な共通部分があることが望ましいことから、前述の DVB ファミリーの共通となる技術を決めている。

- MPEG-2 ビデオ、オーディオ、データの柔軟な組合せ。
- MPEG-2 のトランスポートストリームを多重方式とする。
- サービスインフォメーションの共通化。
- FEC としてリードソロモンを使用。
- スクランブルシステム。
- コンディショナルアクセスのインタフェース。
- 異なる伝送システムで共通の要求条件があれば、変調とそれに付随するチャンネルコーディングを共通とする。

5. DVB システム

DVB システムのソースコーディングとマルチプレックスは衛星、地上および CATV で共通となっている。

- ソースコーディング：MPEG-2。
- トランスポートパケット：188 バイト。
- マルチプレックス：MPEG-2 トランスポートマルチプレックス。
- 誤り訂正(外符号)：リードソロモン RS(204, 188)

表 1 DVB-S システム伝送路符号化パラメータ

TS パケット長	188 バイト(同期バイト 1 バイトを含む)
フレーム構造	トランスポートパケットの同期バイトの符号を 8 パケット毎に反転し、フレーム構造とする。
フレーム同期	トランスポートパケットの同期バイトを 8 パケット毎に反転しフレーム同期とする。
エネルギー拡散	生成多項式： $X^{15} + X^{14} + 1$ 、初期値：1001010100000000 による擬似ランダム信号を加算。 擬似ランダム信号発生回路への初期値ロードは、フレームの冒頭で行うものとし、トランスポートパケット同期バイト期間は、加算を停止する。ただし、発生回路は、初期値ロード時を除き連続動作とする。
誤り訂正 外符号	トランスポートパケットを単位とし、RS (204, 188) で符号化
内符号	拘束長 7、符号化率、1/2, 2/3, 3/4, 5/6, 7/8 の畳込み符号化、符号化率 1/2 はダイレクト、これ以外はパンクチャードモードとする。
インタリーブ	バイト単位で周期 12 の畳込みを行う。同期バイトの通過パスは、遅延のないパスに割り当てる
ロールオフ	0.35
変調	絶対位相検出復調を前提にした、単一搬送波のグレイ符号化 QPSK

なお、MPEG-2 のビデオ、オーディオ、マルチプレックスの部分は過去に本誌で紹介しているので割愛する。

5.1 衛星(DVB-S)

DVB-S システムの主要なパラメータを表 1 に示す。伝送路符号化部は日本の電通技審諮問第 74 号答

表 2 衛星帯域幅とビットレートの例

BW (at-3 dB)	BW' (at-1 dB)	R_s (for BW/ $R_s=1.28$) (Mbaud)	R_u (for QPSK + 1/2 convol) (Mb/s)	R_z (for QPSK + 2/3 convol) (Mb/s)	R_u (for QPSK + 3/4 convol) (Mb/s)	R_u (for QPSK + 5/6 convol) (Mb/s)	R_u (for QPSK + 7/8 convol) (Mb/s)
(MHz)	(MHz)						
54	48.6	42.2	38.9	51.8	58.3	64.8	68.0
46	41.4	35.9	33.1	44.2	49.7	55.2	58.0
40	36.0	31.2	28.8	38.4	43.2	48.0	50.4
36	32.4	28.1	25.9	34.6	38.9	43.2	45.4
33	29.7	25.8	23.8	31.7	35.6	39.6	41.6
30	27.0	23.4	21.6	28.8	32.4	36.0	37.8
27	24.3	21.1	19.4	25.9	29.2	32.4	34.0
26	23.4	20.3	18.7	25.0	28.1	31.2	32.8

R_s : -3 dB 帯域幅のシンボルレート

R_u : MPEG-2 多重後の使用可能ビットレート

申の規格と基本的に違いはない。日本の諮問第 74 号答申は 27 MHz 帯域幅の固定衛星業務(FSS)のみの標準となっており、放送衛星業務(BSS)の標準は今後の課題であるが、DVB-S の標準は FSS および BSS バンドにおいて適用される。したがって、使用する衛星トランスポンダの帯域幅によって伝送パラメータが違っている。

表 2 は、DVB システムの BW/ R_s を 1.28 とした時の衛星帯域幅とビットレートとの関係のコンピュータシミュレーションの例を示す。

帯域幅が 27 MHz、レート 7/8 で最高ビットレート 34 Mb/s までの伝送が可能であるが、受信アンテナ、降雨減衰などを考慮すると実用的にはもう少し低いビットレートとなろう。

5.2 地上(DVB-T)

このシステムは基本的に LDTV, SDTV, EDTV, HDTV のデジタル地上放送の標準となる。地上放送の標準は 9 月現在ドラフトの段階で、審議は 11 月に完了することになっている。

他のシステムと同じように、ソースコーディング部分は共通仕様となっている。変調方式は、米国の 8 レベル VSB 方式と違い COFDM 方式を採用しているのが特徴である。欧州は隣接する国が多く、周波数事情が厳しいことから、COFDM 変調の特徴を生かした SFN(Single Frequency Network)を目標としている。

〔OFDM キャリヤとガードインターバル〕

SFN を構成するにはガードインターバルを大きく取らなければならないため、キャリヤ数は約 2000(2 K)あるいは 8 K が検討されている。8 K の FFT チップのコストが課題となっており、メーカーの製造コスト

表 3 8K FFT 使用時のガイドインターバル

Guard interval Δ/T_u	1/4	1/8	1/32
Duration of symbol part T_u	8192*T 896 μ s		
Duration of guard interval Δ	2048*T 224 μ s	1024*T 112 μ s	256*T 28 μ s
Symbol duration $T_s=\Delta+T_u$	10240*T 1120 μ s	9216*T 1008 μ s	8448*T 924 μ s

のアンケートでは 8 K を搭載した IRD は 2 K のものに比べ約 2 割くらいのコストアップになる。しかし、ガードインターバルを大きくできればサービスエリアを広くとれることから、最初どちらにするかは重要な課題となっている。

さらに最近、HD-DIVINE 社が 16 KFFT を使用した UHF の 67 チャンネルのフィールドテストを行った。さらに大きなサービスエリアを考慮したもので、8 KFFT の場合よりさらに 2 倍のガードインターバルを採ることができる。このテストでデータレートは 18.3 Mb/s が得られたといっている。

8 K のシステムを例とすると、OFDM 信号は 8192 ポイントの FFT を使用して、6785 のキャリヤで構成される。

キャリヤ間隔は 1.12 kHz で、使用できるシンボル期間は約 896 μ s となる。

ガードインターバルは表 3 に示すように、224 μ s, 112 μ s, 28 μ s が使用される。

DVB システムはサービスエリアの状況、周波数使用効率の最大限確保の目的から、さまざまなネットワークに応用できるようにパラメータのセットの組合せ

図 2 DVB-T システムブロック図

図 3 DVB-T の階層化変調コンステレーション

ができるように考えられている。

すなわち、違うレベルの QAM 変調、違うレベルの畳込み符号化レートで周波数事情に合わせることができる。

図 2 にシステムのブロックダイアグラムを示す。図に示すように、単一レベルか 2 レベルの階層の伝送に対応できる 2 層の階層化変調を用意している。スプリッタは、トランスポートストリームから悪条件の受信状態、例えば、移動受信またはポータブル受信に対応するデータを伝送するハイプライオリティと、固定受信のデータのようなロープライオリティに分離する。別々に符号化された 2 つのビットストリームは、変調時にそれぞれ決められたコンステレーションにマッピングされる。

現在、基本的には各キャリアの変調方式は QPSK, 16 QAM, 64 QAM で検討されているが、移動受信に強い、復調器が簡単などの理由から、ドイツ、英国が推薦する DQPSK, 16 DAPSK, 64 DAPSK も検討されている。これらはキャリア数とも関連し、2 K のキャリアと DAPSK 変調か 8 K のキャリアと QAM 変調の組合せで審議中であるが、以後説明は QAM を例として行う。

図 3 に、例として 16 QAM, 64 QAM 変調のコンステレーションを示すように、符号間位置が普通の配置と違っている。例えば 16 QAM を例にとると、上位 2 ビットが QPSK の配置で上位ビットと下位 2 ビットを合わせて 16 QAM を構成し、受信 C/N の悪化した場合、他の象限から符号間距離の遠い上位 2 ビット

ト QPSK の部分のデータが正常に復調できるように優先度をつけている。

表 4 に階層化変調時、表 5 に非階層化変調時の所要 C/N をそれぞれ示す。表 4 の“ α ”は 1 つの QPSK のかたまりと、1 つのコンステレーションの距離との比を表す。

所要 C/N はリードソロモン後でエラーフリーとなるビタビデコード出力、 $BER=2 \times 10^{-4}$ の値を示す。

表 3 および表 4 はテスト前のシミュレーションであるが、ライスチャンネルは固定受信、レイリーチャンネルはポータブル受信を想定している。

一例として、ライスチャンネルにおいて、ガードインターバルを $28 \mu s$ とした場合、受信条件の悪い時には例えば 6.1 Mb/s 程度の信号が $C/N=7.1 \text{ dB}$ で受信でき、条件の良い場合には 16.79 Mb/s 程度の信号が $C/N=21.6 \text{ dB}$ で受信可能であると想定している。

これは DVB のシナリオでは 5.5 Mb/s 程度の画像を固定受信向きに 3 チャンネルを伝送し、ポータブル受信の 6 Mb/s 程度の信号を 1 チャンネル伝送できるとしている。

また別のシナリオでは、 4.5 Mb/s 程度の画像で 4 チャンネルの SDTV を固定受信向きとし、同時に 1.4 Mb/s 程度の画像をポータブル受信用に LDTV (VHS, MPEG-1 程度) としてサービスできるといっている。

6. IBC における進展

1995 年 9 月にオランダ・アムステルダムで行われた IBC(International Broadcasting Convention)において、英国の NTL 社が DVB で検討されているひとつのパラメータである 2048 キャリヤ、64 QAM の SPECTRE-2 のデモを行った。ブースにおいて微弱電波を発射し、アンテナを振り回しても受信状態が良

表 4 階層化変調の所要 C/N

			Required C/N for BER= 2×10^{-4} after Viterbi QEF after Reed-Salomon			Bit rate (Mb/s)		
Modulation	Code Rate	α	Gaussian Channel	Ricean Channel	Rayleigh Channel	$\Delta/T_u=1/4$ 224 μs	$\Delta/T_u=1/8$ 112 μs	$\Delta/T_u=1/32$ 28 μs
QPSK in	1/2	2	6.5	7.1	8.7	4.70	5.60	6.10
MR-64-OAM	3/4		21.0	21.6	24.5	14.10	16.79	18.31

表 5 非階層化変調の所要 C/N

			Required C/N for BER= 2×10^{-4} after Viterbi QEF after Reed-Salomon			Bit rate (Mb/s)		
Modulation	Code Rate		Gaussian Channel	Ricean Channel	Rayleigh Channel	$\Delta/T_u=1/4$ 224 μs	$\Delta/T_u=1/8$ 112 μs	$\Delta/T_u=1/32$ 28 μs
QPSK	1/2		3.1	3.6	5.4	4.70	5.60	6.10
QPSK	2/3		4.9	5.7	8.4	6.27	7.46	8.14
QPSK	3/4		5.9	6.8	10.7	7.05	8.39	9.16
QPSK	5/6		6.9	8.0	13.1	7.83	9.33	10.17
QPSK	7/8		7.7	8.7	16.3	8.23	9.79	10.68
16-QAM	1/2		8.8	9.6	11.2	9.40	11.19	12.21
16-QAM	2/3		11.1	11.6	14.2	12.53	14.92	16.28
16-QAM	3/4		12.5	13.0	16.7	14.10	16.79	18.31
16-QAM	5/6		13.5	14.4	19.3	15.67	18.65	20.35
16-QAM	7/8		13.9	15.0	22.8	16.45	19.58	21.36
64-QAM	1/2		14.4	14.7	16.0	14.10	16.79	18.31
64-QAM	2/3		16.5	17.1	19.3	18.80	22.38	24.42
64-QAM	3/4		18.0	18.6	21.7	21.15	25.18	27.47
64-QAM	5/6		19.3	20.0	25.3	23.50	27.98	30.52
64-QAM	7/8		20.1	21.0	27.9	24.68	29.38	32.05

いデジタル放送の良さを強調した。

またセッションでは、イタリア・RAI 研究所が CD3 (Coded Decision Directed Demoduration)-OFDM 方式を提案した¹⁾。この方式は従来の COFDM で DVB 方式でも検討されているチャンネル等化のためのパイロットトーンを使用しないで、フィードバックループで等化を行うもので、チャンネル使用効率が 5~15%、C/N が 2~5 dB 向上するというものである。コンピュータシミュレーションだけの結果であるため、DVB 方式の審議に間に合うかどうかかわからない。

7. 英国の地上デジタル放送計画

1995 年 8 月 10 日に英国が地上デジタル放送のための政策に関する政府案を発行した²⁾。この白書によれば、1997 年より地上放送のデジタル化を行う予定となっている。このため 1990 年に作成された放送法をマスメディアの集中排除の緩和を含めて改正する。

デジタル放送方式は DVB 方式で、UHF 帯のタブーチャンネルの 35 チャンネルを使用する。この 35 チャンネルを使用すると、VHS レベルの映像を 12 チャンネル放送できると想定している。移行期間は 15 年程度とし、現行のアナログ放送事業者にはデジタルチャンネルを割り当てるが、デジタル放送の 80% はアナログと同じ番組を放送する義務を負うことになる。

コンディショナルアクセスを認め、また利用可能な伝送容量の 10% は非放送サービスに、また付加的な通信、インタラクティブサービス等も認める内容となっている。

米国のようなスペクトラムの免許ではなく、米国では多重されたプログラムチャンネルでの免許となるため、これまでの放送とは違い、事業者は放送事業者、

多重事業者、送信事業者の 3 つに分類する提案がなされている。

HDTV は将来、拡張することを考え、スタート時点では SDTV での放送となる。BBC では 1996 年の 1 月までに放送規格の標準化、1997 年半ばに試験放送を始め、1997 年末には本放送を開始する予定である。

8. む す び

欧州のデジタルマルチプログラム衛星放送の標準は ITU-R で勧告の付録となり、将来の世界統一規格作成に向けての有力候補のひとつとなった。日本もほぼ同様な標準を採用する。地上デジタル放送の標準については 9 月現在、DVB において審議中であるので、本稿では審議状況を報告した。DVB では現在、実験結果の審議および経済的な面での検討がなされているが、本誌が発行される 1 月には DVB の標準が審議終了となっていると思われる。

今後、日本においては欧州と同じような課題について検討が行われるが、特に各キャリアの変調方式、FFT のサイズ、階層化についての考え方において DVB の検討結果が参考になるかも知れない。

(1995 年 10 月 13 日受付)

〔参 考 文 献〕

- 1) Conference Papers, IBC'95
- 2) Digital Terrestrial Broadcasting, The Government's Proposals, Secretary of State for National Heritage, UK

かみ せ ちはる
上瀬 千春 1968 年、科学技術庁航空宇宙技術研究所退所。同年、東京電機大学電気通信工学科編入。1970 年、同大学卒業後、(株)フジテレビジョンに入社。中継技術、技術開発部、報道技術部、CG センターを経て、技術開発室企画開発部に所属し、デジタル放送、マルチメディアの企画、研究開発に従事。正会員。