

BSデジタル放送用スタジオシステム機器

Studio Equipment for Digital Satellite Broadcasting System

佐々木 信之
SASAKI Nobuyuki

篠原 延孝
SHINOHARA Nobutaka

山口 晋
YAMAGUCHI Susumu

2000年12月に開始されるBS(放送衛星)デジタル放送は、デジタルの特長を生かした機能、サービスの拡張がなされており、従来のアナログ放送に比べ格段の可能性を秘めている。このデジタル放送の実現のため、局内設備をBSデジタル放送事業者数局から受注し、レートフリーマトリクス™やMPEG 2(Moving Picture Experts Group 2)エンコーダ、多重化装置など、従来にはなかった装置を開発した。

これらの装置により、コンテンツの映像音声信号の切替え、符号化、多重化などを行い、デジタル化されたビットストリーム信号が生成され、変調器を通して放送信号として出力される。

Digital satellite broadcasting, which begins in December 2000, offers several new functions and services that take full advantage of the features of digital broadcasting and has much greater possibilities compared to the current analog broadcasting system.

We received several orders for digital studio equipment from customers in order to realize such a digital broadcasting system, and developed original equipment including Rate Free Matrix™, an MPEG 2 encoder, and a multiplexer. Using this equipment, switching, encoding, and multiplexing of the video and audio signals of contents are performed, and digitized bit stream signals are generated and output as broadcast signals via a modulator, thus realizing a total digital broadcasting system.

1 まえがき

2000年12月に開始されるBSデジタル放送では、今までの地上アナログ放送と異なり、従来のシステムにはなかった、エンコーダ、多重化装置、レートフリーマトリクス™、など10種以上に及ぶ装置が必要である。

ここでは、デジタル放送に特有のこれら開発機器の技術内容と特長について述べる。

2 デジタル放送の仕組みと開発機器

デジタル放送システムは、ベースバンド伝送系、符号化多重処理系、変調送信系の主要な構成に分けられる。このうちベースバンド伝送系は、従来も同期結合器のフレームシンクロナイザに端を発し、SMPTE(Society of Motion Picture & Television Engineers)259M規格などによるシリアルデジタル伝送システムやデジタルVTRなどでデジタル化が進んできたが、今回は放送方式自体がデジタル化されるため、図1に示す網掛け部分の追加が新たに必要になった。

一方、ベースバンド系は、放送方式のデジタル化による大きい影響はないものの、放送番組の多様化への柔軟な対応が必要になった。すなわち、デジタル放送では、HDTV(High Definition(HD)TeleVision)番組1サービスとSDTV(Standard Definition(SD)TeleVision)番組複数サービスなどを切り替えて運用する、いわゆる“まだら編成”が行われることになった。これに有効な機器として、HDTV、

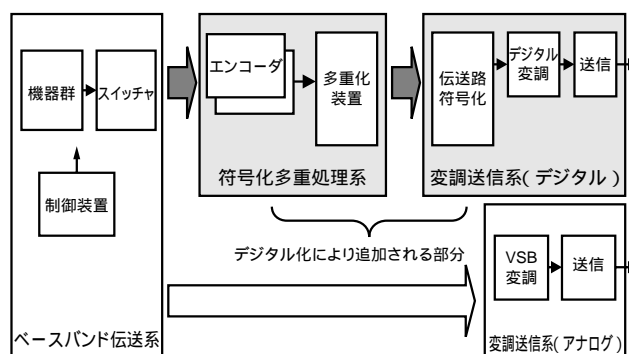


図1. アナログ放送システムとデジタル放送システム 符号化、多重化、及びデジタル変調送信の系統が、アナログシステムに追加される。
Analog and digital broadcasting systems

SDTVだけでなくMPEG2-TS(Transport Stream)信号も区別せずに通せるマトリクスを開発した。

符号化多重処理系は、アナログ放送にはなかったまったく新規なもので、各装置はもとより、制御、同期関連をベースバンド系と独立に持ったサブシステムとして開発した。

変調系は今回の受注範囲にはなく、ここでは詳細を報告しないが、従来のアナログ方式での映像変調方式(VSB(Vestigial Side Band)-AM(Amplitude Modulation))、音声変調方式(FM(Frequency Modulation))と異なり、映像、音声、データ、伝送制御情報などすべて同じ扱いで、BPSK(Binary Phase Shift Keying)/QPSK(Quadrature PSK)/8PSKを組み合わせた階層変調方式である。この

ため、後述するように、伝送路符号化の変調方式 / 畳込み率の差の影響が、スタジオ 送信所間のストリーム受渡しに影響が出ないように、ダミーパケット挿入など一部の伝送路符号化は多重化部で処理している。

3 レートフリーマトリクス™

まず、ベースバンド系の主要開発機器として、レートフリーマトリクス™について述べる。一口に“ベ - スバンド信号”と言っても、その種類は表1に示すように多岐に及ぶ。また、将来的には、MPEG2-TSのままの蓄積・再生や、局内・局間伝送も考えられ、ベースバンド信号と同様の伝送形態が望まれる。MPEG2-TS信号については表1に示すように、SDI(Serial Digital Interface)規格の270 Mbpsの物理レイヤに乗せる伝送形式が、2種提案されており、伝送路やルータの共通化が可能である。

表1. レートフリーマトリクス™対応信号フォーマット
Corresponding signal formats for Rate Free Matrix™

項目	入出力信号
HD/EDフォーマット	1080i / 59.94
	1080i / 60
	1035i / 59.94
	1035i / 60
	720p
SDフォーマット	480i(D-1 : 59.94)
	480i(D-2 : 59.94)
	480p
圧縮フォーマット	MPEG(ASI/SDTI規格 : 270Mbps)
	SX(SDTI)形式
	DVCPRO(SDTI)形式
AUDIOフォーマット	AES3-1992/ITU-R BS.647-2/EIAJ CP-1201規格

ED : Enhanced Definition

このような複数のフォーマットに対応して、それぞれ別々に伝送系を構成するのは煩雑であり、また、将来の改修やHDTV化に伴う変更、拡張の柔軟性がない。そこで、複数フォーマットの信号を単一素材・単一伝送路で伝送し、接続切替を可能にしたのが“レートフリーマトリクス™”である。

レートフリーマトリクス™では、伝送路としては光ケーブルと同軸ケーブルの両方を用途に応じて使い分けができる。また、単一伝送路では単一素材だけに限定することで、光波長多重伝送のような複雑な回路が不要になり、SDTVからHDTVに変更する場合も容易にできる。図2に示すように、各フォーマットに応じて自由に構成することができ、入出力ユニット及びマトリクス本体の変更は不要である。

マトリクス自体は集中型の電子式空間スイッチであり、入力部で波形等化(ケーブルの周波数特性の補償)してマト

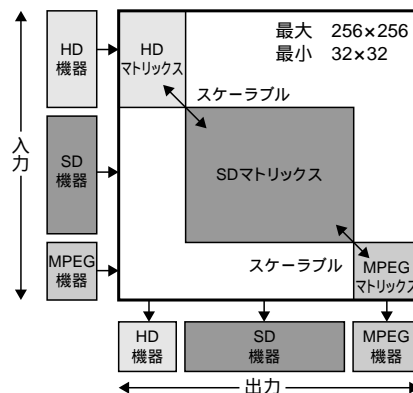


図2. レートフリーマトリクス™の概念 入・出力部を変更するだけで、信号形式変更に対してフレキシブル(スケラブル)に対応できる。
Concept of Rate Free Matrix™

リクスに入り、出力部では波形整形(リクロック)されていく。また、入出力部では、必要に応じて光・電気変換が行われる。通常、SDTV信号の同軸ケーブル伝送については300mが限界とされていて、局内は例外を除けば大体同軸ケーブルだけで布線可能である。一方、HDTV信号では150mが限界とされているため、最初から光ケーブルを使っておいたほうが無難である。現在は、光と同軸の価格差はほぼ同等で、発光素子や工事費などでは光方式のほうが高価になるが、大きな差はなくなってきている。

マトリクス本体は、伝送ビットレート最大1.5 Gbps間でのデジタルシリアル信号の接続切替を行い、32x32(入力数32,出力数32を示す。以下、同様。),64x64,128x128,256x256,などのシステムを構築できる。また、機器障害時も考え、システムの迂(う)回路を用意して冗長系を構成している。マトリクスは1:N接続が可能であり、入力リファレンス信号に基づき、規定されたスイッチングポイントで切り替えることで、映像信号有効期間部はもとより、補助データなどを欠損させずに切替えが可能である。

マトリクス構成を図3に示す。また、64x64システムの外

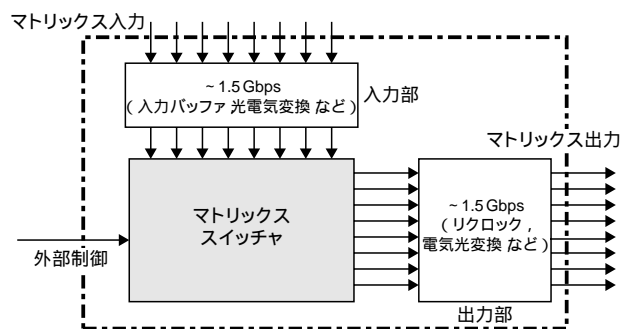


図3. マトリクス構成 入力部で波形等化が、出力部では波形整形が行われる。
Configuration of Rate Free Matrix™

観を図4に示す。一般的に、送出系に使用する場合は64×32程度、回線系では128×128か256×256程度がよく使用される。

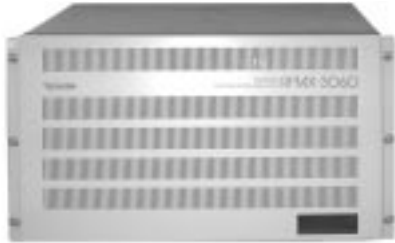


図4. レートフリーマトリクス™ 64入力×64出力マトリクスの本体棚板を示す。
Rate Free Matrix™

4 符号化多重化処理系開発機器

4.1 符号化多重処理サブシステム

BSの送信規定(ARIB((社)電波産業会)STD-B20)では、HDTV番組とSDTV番組のまだら運用時に、シームレスに切り替わるための運用方法が定められている。また、当社は現用予備切替えもシームレスになるように配慮しており、これらのため、システムには次の条件が要求される。

- (1) すべてのエンコーダは、STC(System Time Clock)及びGOP(Group of Picture)が同期している。
- (2) 現用予備で、多重化装置は、クロック及びフレームが同期している。
- (3) 現用予備で、音声フレームが同期している。

このため、図5に示すように、符号化多重処理系では、ベースバンド系とは異なる同期系統を構成した。

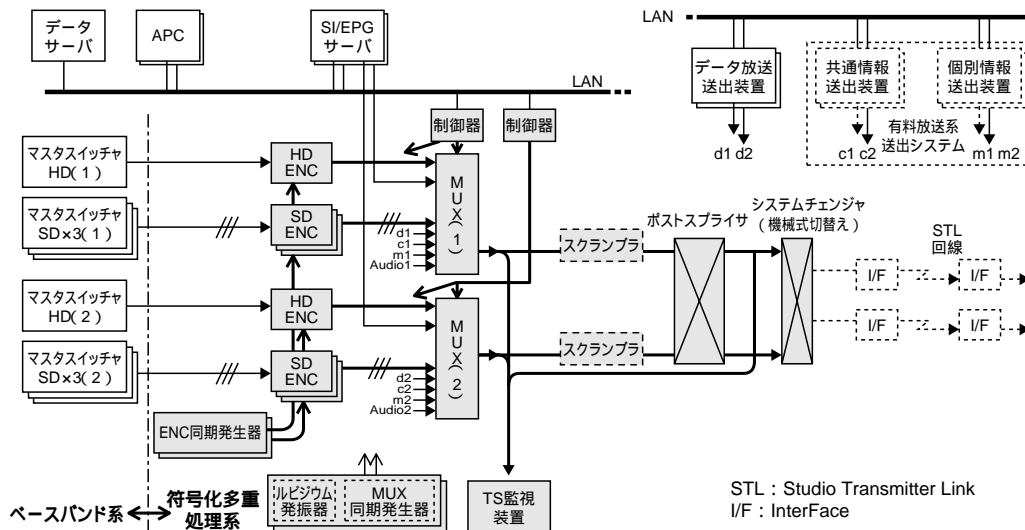


図5. 符号化多重処理系の系統網かけ部が符号化多重処理系で、ENC、MUX、ポストサプライザなどから構成される。
Encoding and multiplexing system

MPEG2の本来の考え方では、エンコーダは互いに同期している必要はない。しかし、上記のシームレス切替えを実現するため、すべてのエンコーダを同一クロックで動作させるとともに、同一STC、同一GOP位相で同期させている。また、多重化装置では伝送フレームとの同期動作、音声エンコーダでは音声フレームとの同期動作をそれぞれ行わせている。

4.2 映像エンコーダ

映像エンコーダ(ENC)は、MPEG2の規格に基づき映像信号を符号化するものであり、HDTV用とSDTV用の2種類を開発した。それぞれの仕様を表2に示す。なお、HDTVエンコーダは、日本ビクター(株)との共同開発製品である。

通常のMPEG2エンコーダと異なるのは、4.1項で述べたようなシームレス切替えができるように、各種の同期が掛かるようになっていること、ビットレートやアスペクトなどのパラメー

表2. MPEGエンコーダ仕様
Main specifications of MPEG encoder

項目	SDTVエンコーダ	HDTVエンコーダ	
入力	480i映像	SMPTE259M規格(D1シリアル)	-
	1080i映像	-	BTA S-001B規格
	720p映像	-	SMPTE 296M規格
	480p映像	-	SMPTE 293M規格
	デジタル音声	ITU-R BS.646-1(AES/EBU規格)	
	データ	RS422規格	
ENC同期	STC/GOP同期信号		
出力	TS	DVB-ASI規格(3系統)	DVB-ASI規格(2系統)
	ビットレート	20 Mbps max.	24 Mbps max.
映像符号化方式	MPEG2 MP@ML	MPEG2 MP@HL MPEG2 MP@14L	
音声符号化形式 (サンプリング周波数)	MPEG2 ACC 最大5.1chステレオ (48kHz)		
本体寸法(mm)	480(幅)×150(高さ)×550(厚み)	480(幅)×88(高さ)×565(厚み)	

MP@HL: Main Profile at High Level
MP@ML: Main Profile at Main Level
MP@14L: Main Profile at 1440 Level

タがシームレスで切り替わること, などである。制御は, Ethernet^(注1)でSNMP(Simple Network Management Protocol)を使用してパラメータを各機器に与え, 正確なタイミングは自動番組送出制御装置(APC)から直接与えている。

音声符号化部は, AAC(Advanced Audio Coding)対応であり, HDTV用エンコーダでは別棚, SDTV用エンコーダは同一棚に入れており, 最大5.1チャンネル(ch)で複数ES(Elementary Stream)対応可能である。音声も同様に, 音声モード, ビットレートをシームレスに変更できるが, ARIB-STD-B20の規定に従い, パラメータ変更時は, デコーダのバッファをアンダーフローさせるように制御している。

HDTV用及び, SDTV用エンコーダの外観を図6に示す。



図6.映像エンコーダ 上から, HDTVエンコーダ本体, HDTV用音声エンコーダ(2台), SDTV用エンコーダの順に実装されている。
Video encoder

4.3 音声エンコーダ

BSデジタル放送では, テレビ事業者のほかに, 音声放送だけを専門に行う事業者もあり, そのような独立音声事業者向けの音声エンコーダも開発した。音声エンコーダの仕様を表3に示す。

一つの棚板にはエンコーダユニットが2枚入り, 各ユニッ

表3. 音声エンコーダ仕様
Main specifications of independent audio encoder

項目		仕様
入力	デジタル音声	ITU-R BS.646-1(AES/EBU)規格(6系統)
	番組数	最大4番組
	データ	RS422規格(2系統)
	同期	48kHz, ENC同期信号
出力	TS信号	DVB-ASI規格(3系統)
		DVB-SPI規格(1系統)
音声符号化方式(サンプリング周波数)		MPEG 2 ACC 最大5.1chステレオ(48kHz)
本体寸法(mm)		480(幅)×150(高さ)×550(厚み)

(注1) Ethernetは, 富士ゼロックス(株)の商標。

トは二つのES, 棚板としては最大四つのESまで処理できる。PSI(Program Specific Information)はシリアルインタフェース経由で与えられ, 番組ごとにPMT(Program Map Table)を変更できるようになっている。また, ビットレート, 音声モードなどのパラメータが容易に変更できるよう, 音声エンコーダではパラレル制御を用いている。

ここで, BSデジタル放送に用いられているAACという方式について述べる。AACとは, 今ネット配信などで話題の音声信号圧縮方式“ MP3(MPEG audio layer 3)”の流れをくむ新しい圧縮方式であり, BSデジタル放送で, 世界に先駆けて始めて採用された。従来はMUSICAM(Masking pattern adapted Universal Sub-band Integrated Coding And Multiplexing)と呼ばれるサブバンドコーデック方式が, MPEG1として使用されており, これを基に多チャンネル化したのがMPEG2 - BC(Backward Compatible)と呼ばれるものである。サブバンドコーデック方式は, 全体の帯域を32のサブバンドに分け, マスキング効果を利用して各サブバンドの量子化スケールを変えて圧縮していく方式であり, 標準化周波数48kHzでレイヤ1で8ms, レイヤ2で24msの音声フレームごとに発生する符号量は一定である。

これに対し, AACでは, 映像符号化と同様にDCT(Discrete Cosine Transform)を用いて周波数領域処理を行い, ハフマンコーディングによる可変長符号化を行うことにより, 符号化効率を従来2倍くらいに上げている。そのため, 映像符号化と同様な受信バッファ制御が必要になり, Adts_buffer_fullnessと言うパラメータが定義されている。すなわち, 音声フレームごと(AACの場合, 標準化周波数48kHzにて21.3msごと)に発生する符号量が異なり, 無音や単一トーンなどの簡単な音声信号には少量の符号量に抑えて, その分を複雑な音声信号の符号量に回すことができる。BSデジタル放送では, ステレオで144kbps, 5.1chで320kbps程度のビットレートが放送用品質として推奨されている。

4.4 多重化装置

多重化装置(MUX)とは, エンコーダやデータ放送送出装置などから出力される複数のTS信号を束ねて一本のTS信号にする装置であり, 再多重装置とも呼ばれている。

通常エンコーダでは, 一つの番組に対応する映像, 音声, データ(字幕など)の一組を符号化, 多重化してTS信号として出力する。エンコーダでの多重は一次多重と呼ばれ, 映像, 音声, データのESをPES(Packetized Elementary Stream)化し, 188バイトの一定長に区切ってTSパケット化する。この際, 映像, 音声のフレームごとに, タイムスタンプを打ち, また, TSパケットのヘッダ領域を用いてPCR(Program Clock Reference)と呼ばれるクロック情報を送る。受信側では, このPCRを基に, PLL(Phase Locked Loop)によって送信側の27MHzのクロックを再生する。多重の処理過程を図7に示す。

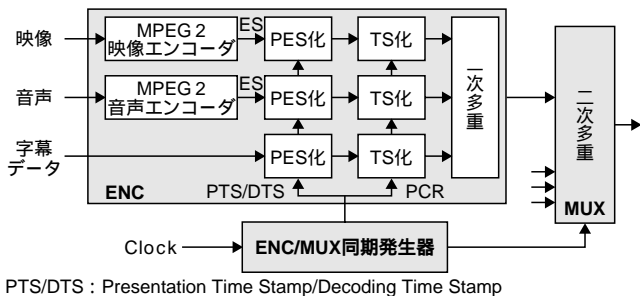


図7. 多重処理内容 二次多重部ではエンコーダ出力TS信号の再多重が行われる。
Configuration of encoder and multiplexer

表4. 多重化装置仕様
Main specifications of TS multiplexer

項目	仕様	
入力	TS信号(一次TS)	DVB-ASI規格(16系統)
	MUX同期	TSビットクロック, フレーム同期, スーパーフレーム同期, ほか
出力	TS信号(二次TS)	DVB-ASI規格(4系統)
	ビットレート	32 Mbps max.
多重化方式	ARIB STD B20, ARIB STD B10, 及び MPEG2システム規格に準拠	
本体寸法 (mm)	480(幅)×300(高さ)×570(厚み) (制御装置は別置き)	



図9. 多重化装置 本体部棚板(1台分)を示す。システムでは現用系/予備系の2台で構成される。
Transport stream (TS) multiplexer

BSデジタル放送では, 図8に示すようにISDB(Integrated Services Digital Broadcasting)フレームと呼ばれる信号構造をとっている。この方式では, 降雨減衰による受信品質の変化を抑えるための階層伝送が可能であり, TMCC(Transmission and Multiplexing Configuration Control)と呼ばれる伝送制御データで階層ごとの変調方式を指定する。

BSデジタル放送の多重化装置では, 単なるMPEG2多重方式ではなく, このフレーム構造に従って多重を行う。すなわち, 8PSKの場合は, すべてのスロットを情報伝送に使用するが, 他の低階層用の変調方式の場合は, 畳込み符号のオーバーヘッドのための時間的スペースを確保するため, nパケットに1パケットの割合でダミーとしてのヌルパケットを挿入する処理が必要になる。

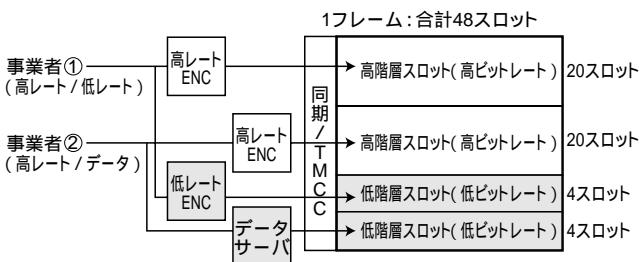


図8. ISDBフレーム構造と階層伝送の例 低階層伝送のために, 合計8スロットを使用しているケースを示す。
ISDB frame structure and example of hierarchical transmission

率を上げるため時間軸方向に映像フレーム間の相関をとっているが, この結果として, 映像ベースバンド信号のように自由自在に任意の映像フレームでつなぎ合わせることは簡単ではない。

手ぎわよくスプライスするためには, 出る方のストリーム(ストリーム1)からは提示順序(presentation order)で, I又はPピクチャで抜け出る必要があり, 入る方のストリーム(ストリーム2)はクローズドGOPに設定し, GOPの先頭であるIピクチャから入るようにしなければならない。この概要を図10に示す。

また, MPEG2映像符号化の規格(ISO/IEC-13818-1)では, 定められたスプライス点においてバッファ占有量をエンコー

多重化装置の仕様を表4に示す。入力は最大16ポートであり, PSIデータはLAN経由で供給され, PAT(Program Association Table)/PMT及びNIT(Network Information Table), 其他などのPSI/SI(Service Information)セクションデータの繰り返し伝送を行う。多重化装置の外観を図9に示す。

4.5 ポストスプライサ

一般的に, MPEG2信号を編集してつなぎ合わせる処理をスプライスと呼ぶ。MPEG2の映像符号化では, 符号化効

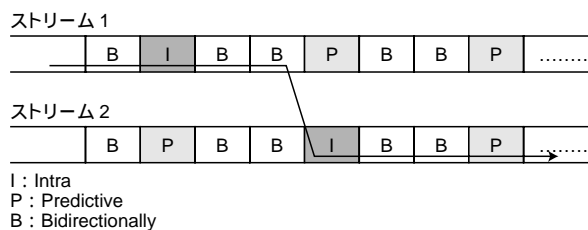


図10. スプライスの条件 ストリーム1のI, 又はPピクチャで抜け出し, ストリーム2のIピクチャへつなぐ。上図は伝送順序で描かれているが, 提示順序で表わすと, BピクチャはI, 又はPピクチャの前になる。
Requirement for seamless splicing

ダが制御して、スプライス点にマークをつけることになっている。ところが、このような複雑な符号化処理を行えるMPEG2エンコーダは存在しない。

したがって、従来どうしてもMPEG2-TS信号のままですプライスする必要がある場合は、エンコーダではスプライスのための特別な処理を行わず、スプライサが切替え点のバッファ占有量に応じてフリーズのフレームを挿入するなどして、対応・処理をしていた。

今回のBSデジタルシステムでは、多重化装置の前段ではMPEG2-TSのスプライス処理は必要とされないが、多重化の後では、現用系と予備系の間でMPEG2-TS信号を切り替える必要があった。これをシームレスに処理できるように、BSデジタル用として特別に開発をしたものが“ポストスプライサ”である。これによる切替システムを図11に示す。

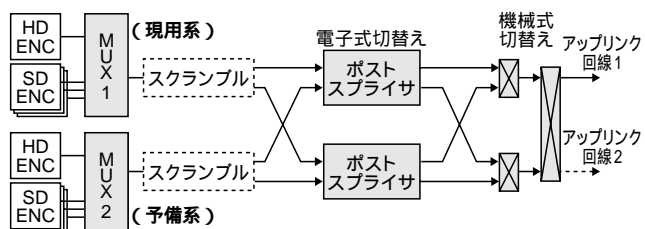


図11. ポストスプライサによる現用/予備系切替システム 現用系と予備系のシームレスな切替えを行う。

Switching between current and backup circuit by post splicer

現用系/予備系切替えにおいては、何らかの機器異常が発生した場合は、即時に予備系へのシステムチェンジが必要であるが、機器障害修復後の現用系への復帰時にはシームレスに切り替わり、放送に支障を与えない必要がある。このためポストスプライサとして、即時切替えを行う“ニアシームレスモード”と、“完全シームレスモード”の2種類のモードを持っており、状況によって使い分ける。

表5. ポストスプライサ仕様
Main specifications of Post Splicer

項目	仕様	
入力	MPEG 2-TS信号	DVB-ASI規格(TS1/TS2各系統)
	MPEG 2-TS信号	DVB-ASI規格
出力	ビットレート	32 Mbps max.
	出力数	4系統
制御入出力	切替制御入力	
	タリー出力	
同期入力	MUX	
	ENC	
本体寸法 (mm)	480(幅)×200(高さ)×445(厚み)	

ニアシームレスモードでは、できるだけ早い切替えを行うため、映像信号のつなぎ目にフリーズフレームを数100ms程度許容している。完全シームレスモードでは、現用と予備を同期動作させ、切替えを容易にする条件を作り出したあとで切り替えるので、やや時間が掛かる。ポストスプライサの仕様と外観を、表5及び図12に示す。



図12. ポストスプライサ 多重化装置(現用/予備)の後段に配置される。

Post splicer

5 あとがき

BSデジタル放送用に新たに開発した、エンコーダ、多重化装置、レートフリーマトリクス™、ポストスプライサについて述べた。これらの装置は客先に納入され、2000年12月に放送開始される。今後は、2003年から開始される地上波デジタル放送に向け、BSデジタル放送での経験を生かし、新たな開発を進めていきたい。

謝辞

これらの装置の開発にあたり、ご指導いただいたBSデジタル放送事業者の関係各位に深く感謝の意を表します。



佐々木 信之 SASAKI Nobuyuki, D. Eng.
情報・社会システム社 小向工場 放送映像機器開発部部長、
工博。放送局向けスタジオ機器の開発・設計に従事。映像
情報メディア学会会員。



篠原 延孝 SHINOHARA Nobutaka
情報・社会システム社 小向工場 放送映像機器開発部参事。
放送局向けスタジオ機器の開発・設計に従事。映像情報メ
ディア学会会員。



山口 晋 YAMAGUCHI Susumu
東芝デジタルメディアエンジニアリング(株) デジタルAVグル
ープ チーフスペシャリスト。放送局向けスタジオ機器の開発
業務に従事。映像情報メディア学会会員。
Toshiba Digital Media Engineering Corp.