5章 Channel 4Kの放送システム，受信システム

仙澤 隆[†]，田島慶一^{††}

キーワード：4K，CS放送，スカパー

1. まえがき

本稿では，2014年6月2日から開始した4K試験放送Channel 4Kについて，放送システム，受信システム，コンテンツについて解説する。

Channel 4Kは，2013年5月に総務省の放送サービスの高度化に関する検討会から公表された「スーパーハイビジョン（4K・8K）のロードマップ」で「2014年度中に希望する視聴者が4Kを体験できる環境を実現」と提起されたことを踏まえ，一般社団法人次世代放送推進フォーラム（以下NexTV-F）が実施主体となって開始された日本で最初の4K放送サービスである。「試験放送」と表現されているものの，限定された期間または限定された受信者を対象とした実験的なものではなく，多様な放送番組が編成され，希望する視聴者は全国どこでも受信可能という点では，世界に先駆けてスタートした4K放送サービスとも言える。ロードマップ公表から実現までわずか1年で，NexTV-Fでのオールジャパン体制での実用化検証，放送規格策定を経て，放送開始を実現した。

2. 東経124/128度CS伝送路

4K放送の最初の伝送路となった東経124/128度CSは，国内のデジタルテレビ放送が1996年に128度CSで開始されたPerfecTV![†]が歴史上の起源であるように，これまでも他の衛星メディアに先駆けて先進的なサービスに対応してきた実績がある。また，2軌道2衛星を活用した伝送路は，周波数の活用，すなわち他の放送メディアに比べ帯域確保の自由度がある。また，一般家庭における受信環境（東経124/128度CSが受信可能なアンテナ）も幅広く普及している状況にある。これらの点が評価され，わが国最初の4K放送伝送路として活用されることになった。

[†]スカパーJSAT株式会社 プラットフォームシステム部

^{††}スカパーJSAT株式会社 システム技術部

"4K UHD TV Satellite Broadcast System in Japan" by Takashi Senzawa (Platform Systems Division Broadcasting Engineering Group SKY Perfect JSAT Corporation, Tokyo) and Keiichi Tajima (System Engineering Division Broadcasting Engineering Group SKY Perfect JSAT Corporation, Tokyo)

スカパーJSATは，放送関連では東経124/128度通信衛星による伝送路の提供，CS放送の普及促進，顧客管理，放送設備の提供といった放送プラットフォームの運営，グループ会社による基幹放送および一般放送のチャンネル運営とコンテンツ制作を行っている。4Kに関しては，その高精細，高臨場感を活かしたコンテンツ制作と，衛星通信回線を用いた映像伝送の可能性に強く関心を持ち，2012年から2013年にかけコンテンツの試験的な制作，衛星伝送によるパブリックビューイングの実施などの実績を積み，NexTV-Fの設立当初から参画し，4K放送の早期実現に役割を果たしている。東経124/128度CSを利用した放送サービスは，2008年に放送を開始した高度狭帯域伝送方式による「スカパー！プレミアムサービス」が主流となっている。高度狭帯域伝送方式は，情報源符号化方式H.264/MPEG-4 AVC，伝送路符号化方式DVB-S2を採用することにより，HDTVの多チャンネルサービスを実現している。なお2014年10月時点のHDTVのチャンネル数は約160である。

東経124/128度CSは，制度上は衛星一般放送に分類され，ソフト事業者である衛星一般放送事業者と，ハード事業者である電気通信事業者によって放送を実現することになっている。Channel 4Kは，NexTV-Fが一般放送事業者として，コンテンツの調達，編成，送出を担当し，スカパーJSATの通信衛星を伝送路として利用している。送出（ブレイアウト）についてはNexTV-Fは放送設備を持たず，スカパーJSATに委託する形態となっている（図1）。

3. 標準化，運用規定の概要

東経124/128度CSで4K放送は，情報通信技術審議会答申「超高精細度テレビジョン放送システムに関する技術的条件」のうち「衛星基幹放送および衛星一般放送に関する技術的条件」に基づき，新たな「高度狭帯域伝送方式」を採用することとされた（表1）。また，124/128度CSの運用規定は，省令告示，ARIB標準規格に準拠した事業者規定となっており，その事業者規定の策定は，放送プラットフォーム事業者スカパーJSATが行っている。そこでNexTV-Fでは，東経124/128度CSで4K放送を実現するための運用規程案を整備し，それを元に事業者運用規定を策

図1 Channel 4K放送システム概念図

表1 超高精細度テレビジョン放送システムの技術的条のうちの狭帯域伝送方式の概要

使用周波数帯	12.2～12.75 GHz
伝送帯域幅	27 MHz
変調方式	8 PSK
情報レート	最大約 45 Mbps
誤り訂正方式	内符号：LDPC（符号化率3/5, 2/3）、外符号：BCH
多重化方式	MPEG-2 TS
映像符号化方式	H.265 HEVC
音声符号化方式	MPEG-2 AAC, MPEG-4 AAC, MPEG-4 ALS
映像入力フォーマット	1080/I 1080/P [HD], 2160/P [UHD]
色域	ITU-R BT.709, IEC 61966-2-4, ITU-R BT.2020 (2160/Pの場合)
スクランブル方式	MULTI2

定できる環境を整えた。答申における放送方式の概要と、NexTV-Fで策定した運用規定案に基づく、Channel 4Kの現時点の運用値の概要を表2に示す。

東経124/128度CS channel 4Kで特徴的なのは、最新の映像符号化方式H.265 | HEVCが新たに採用された一方、現在の衛星放送で実績のある最新方式のDVB-S2が採用されたこと、既存のスカパー！プレミアムサービスで運用している0x000aネットワークに収容されていることが挙げられる。H.265 | HEVCの実用化と、最新かつ実績のある伝送路の組合せで短期間での4K放送の実用化を達成している。

4. Channel 4Kの放送システム

Channel 4Kの放送システム（図2）は、新たに制作される4Kコンテンツの放送送出業務を、現行のHDTVのワークフローにいかに近づけるかに主眼において設計した。現在、

表2 NexTV-F Channel4Kの運用（2014年10月現在）

衛星軌道位置	東経128°
偏波	垂直
周波数	12.268 GHz
誤り符号化率	3/5
情報レート	40.538 Mbps
システム管理識別	broadcasting_flag 00 broadcasting_identifier:000111 additional_broadcasting_identification 0x01
ストリーム形式識別	0x24
コンポーネント記述	stream_content 0x01 component_type 0x93
ネットワークID	0x000a
チャンネル番号	502 ch
限定受信方式	スカパー限定受信方式CA_system_id 0x0001
映像符号化	H.265 HEVC Main10 profile Level 5.1, Main tier 最大約：35 Mbps 空間解像度：3840×2160 フレーム周波数：60/1.001 走査線方式：順次 表色系：ITU-R BT.2020
音声符号化	MPEG-2 AAC ADTS 5.1 chにおいて約500 Kbps

放送送出業務のワークフローはファイルベースへの移行が進んでいるが、4Kはもともと映像信号の情報量が大きく、デジタル信号処理に限定されるため、必然的にコンテンツの記録や受け渡しはファイルベースとなる。一方、映像・音声信号のリアルタイム伝送は、すべてIP伝送とするには十分な環境が整っておらず、SDIをベースとした伝送が現実となる。設備検討に着手した2013年夏時点ではこうした環境を踏まえ、4Kが扱うことができるファイル

図2 Channel 4K 放送システム構成

図3 3G-SDIによるベースバンド伝送

フォーマットとしてソニーが提唱する XAVCを採用した。

また、映像・音声のベースバンド信号のリアルタイム伝送のためのインタフェースとしては、Square Division方式で分割した信号を Quad Link 3G-SDI (Level-B) で伝送する方式を採用した (図3)。

3G-SDIによる伝送上考慮したのは、エンコーダにおける音声ストリームのモード切替、および映像ストリーム上で色域を示すヘッダ情報の切替のため、放送局間制御信号の既存標準規格を3G-SDIに暫定的に追加し制御を可能とした。多重位置については、現行のHDでの運用を踏まえたラインおよびサンプル位置としている (表3)。

以上のような検討を踏まえ、4K対応のノンリニア編集シ

表3 局間制御信号伝送パラメータ

伝送方法	Quad Link 3 G-SDIのうち、左上の映像信号を伝送するSDIに重畳
多重ライン	データストリーム1のYデータ系列の20および583ラインに多重
多重位置	サンプル番号0から多重
音声モード指定	ARIB STD-B37と同様
カラリメトリ指定	ARIB STD-B37で規定されるプライベート領域 (160ワード目) で指定

ステム、プレイアウトシステムに放送素材を収容するインジェストアーカイブシステム、放送進行表にしたがって自動的に番組を送出するAPCと送出サーバ(XAVC圧縮方式)

図4 4K マスタ 監視卓

の組合せによるプレイアウトシステムをスカパー東京メディアセンター（東京都江東区）に構築し、既存とほぼ同様の放送送出ファイルベースワークフローと、局外からの生中継やスーパー処理、緊急素材の差し替えなど一般的に想定される放送運用に対応したシステムとなった。システムの調達はメーカーとして4K対応されたものを調達したものと、4K未対応の装置を改修することで対応したものがあるが、4K放送のマスタとしてシステムアップした例は日本で最初のケースであり、ユーザとメーカーが一丸になってさまざまな課題を解決しながらの構築となった（図4）。

新規に開発されたもののうち特筆すべき装置の一つとして、4Kマスタの最終段に設置されたH.265 | HEVCによる放送用エンコーダを挙げておく。このエンコーダ（NEC製）は、2014年度に実施された次世代放送テストベッド事業の成果が実際の製品開発に反映されたもので、運用規定に基づき4K/59.94pのリアルタイムエンコードを実現している。Channel 4Kの放送開始までに画質の改善が重ねられ、現状の到達点として好評を得ている。H.265 | HEVC 60pリアルタイムエンコーダの開発は世界各国のメーカーで開発が進められているが、放送方式に適合させるための色域変換、国内標準規格準拠の音声ストリーム（AAC）や放送局間制御信号（VANC）の対応など、現時点では放送用エンコーダとして適用可能な唯一の製品である。またH.265 | HEVCデコーダの開発も並行して進められ、ソフトウェアデコーダをコアに、3G-SDIの出力をもつ装置を新たに開発していただいた。

4Kマスタから出力された4K映像と音声ストリームは、同一局内にあるプラットフォームシステムに受け渡され、標準規格、運用規定に準拠したPSI/SI等を多重化し、スクランブルした後、所定の周波数で衛星に送信される。このシステムは、H.264/DVB-S2によるHDTVを中心としたCS放送プラットフォーム（スカパー！プレミアムサービス）の増設で対応した。

PSI/SIは4K放送対応のためService_type、Component_typeといった識別子が新たに追加されている。これらのパラメータの追加は、プラットフォーム全体のパラメータを集中管理するサーバシステムとSI送出システムに改修を行うことで対応した。

4K放送は1本の映像ストリームとしてはこれまで運用例のない高いビットレートとなるため、多重化装置、スクランブル装置、変調機においては高ビットレートの動作確認を慎重に行った。また、放送波の送出監視など運用面においては、スカパー！プレミアムサービスの1伝送路として統合し、効率的な運用を行っている。

5. Channel 4Kの受信システム

Channel 4Kを衛星受信し視聴するために必要な機器を次に示す。

(1) 東経124/128度CSデジタル放送対応アンテナ

Channel 4KはNexTV-Fが主体となり、東経124/128度CSデジタル放送であるスカパー！プレミアムサービスのプラットフォーム上で放送されている。したがって受信アンテナは東経124/128度CSデジタル放送用の受信アンテナを使用することが可能である。東経124/128度CSデジタル放送用の受信アンテナは、直径45cm相当のパラボラアンテナとして市販され、すでに家庭での直接受信アンテナとして広く実用に供されている。また、スカパー！プレミアムサービス受信とのアンテナ共用も可能である。

(2) Channel 4K対応受信機

Channel 4Kは先に述べた通り、東経124/128度CSデジタル放送プラットフォーム上で放送されていることから、受信機では124/128度の衛星選択および水平/垂直の偏波面選択を行うことが必要である。また高度狭帯域伝送方式により放送されているため、受信機ではそれに対応した伝送路復号が必要となる。

ここで、Channel 4Kは無料放送であるがコンテンツ保護のためスクランブル放送となっており、スクランブル方式はMULTI2そして限定受信方式はスカパー限定受信方式が採用されているため、受信機ではそれに対応したデスクランブル処理およびCAS対応が必要である。

Channel 4K受信機のデコーダは放送で使用されているHEVC方式（ITU-T H.265 | MPEG-H HEVC）による4K映像符号化パラメータ（空間解像度3840×2160、フレーム周波数60/1.001 Hz、Main10 profile、Level 5.1 Main Tier）に対応することが必要である。なお音声の符号化方式についてはHDTV放送と同じAAC方式が採用されている。

また、テレビなどへのHDMI出力部では、4K映像の広帯域信号を出力できることと、4K映像に求められるコンテンツ保護方式に対応することが必要となる。具体的には、NexTV-Fの技術仕様TR-0002に準拠した出力フォーマットで出力可能であること、および、コンテンツ保護に関し

表4 HDMIで対応することが望ましい出力フォーマット

映 像	空間解像度	3840×2160
	フレーム周波数	60/1.001 Hz
	走査方式	順次
	信号形式	輝度・色差信号4:2:0
	ビット深度	8
音 声	表色系	ITU-R Rec. BT.709-5
	符号化信号形式	LPCM
	サンプリング周波数	48 KHz
	ビット深度	16
	チャンネル数	2

てはHDCP2.2仕様にしたがって適切に保護技術を施すことである(表4)。

(3) ハイスピードHDMIケーブル(4K対応カテゴリ2ケーブル)

受信機とテレビを接続するHDMIケーブルでは、4K映像の広帯域信号を伝送可能なハイスピードHDMIケーブル(4K対応カテゴリ2ケーブル)を使用する必要がある。

(4) Channel 4K対応受信機の出力に対応したHDMI入力がある4K放送対応テレビ

Channel 4Kを視聴するテレビとしては、上記(2)のHDMI出力信号に対応可能であることが必要である。

6. コンテンツ

Channel 4Kでは次世代放送推進フォーラム会員各社の制作番組、2014 FIFA World Cup Brazil™など各種コンテンツが放送されている。これまでに放送された主な放送番組を表5に示す。

7. 今後の課題

Channel 4Kの放送が開始されたが、今後も多様なコンテンツが制作され放送されていくことが期待され、放送システムの運用面での実績も積み上げていく必要がある。また、ファイルベースワークフローは機器の性能向上による処理時間の短縮、エンコードによる高画質、広色域を活かす番組制作と受信装置の普及といった、スーパーハイビジョン(4K・8K)活用の課題には引き続き取り組んでいく必要がある。

(2014年10月2日受付)

表5 Channel 4K放送番組例

番組名	制作者名
富士山四季水の旅	日本放送協会
観世流薪能(たきぎのう)	NHKエンタープライズ
プロ野球中継巨人×ヤクルト	日本テレビ放送網
ワールドプレミアムスポーツ	テレビ朝日
THE世界遺産4KPremium Edition Detail of the Earth - 地球の素顔 -	TBSテレビ
熊川哲也Kバレエカンパニー 『くるみ割り人形』赤坂sacasバージョン	TBSテレビ
大人の極上ゆるり旅4K版	テレビ東京
フジサンケイクラシック2013	フジテレビジョン
4K「Colors of Hollywood」	WOWOW
城と酒蔵	東北新社
将棋女流棋士スペシャルマッチ2014	東北新社
ラグビー関東大学対抗戦2013 「早稲田大学 vs. 明治大学」	ジュピターテレコム
2013鈴鹿8耐4Kプレミアムダイジェスト	ワールド・ハイビジョン・チャンネル
史上最高画質! ゴジラ4Kプロジェクト	日本映画衛星放送
2014 FIFA World Cup Brazil™ グループC: 日本 vs. コートジボワール	NHK・民放連
2014 FIFA World Cup Brazil™ グループC・1位: コロンビア vs. グループD・2位: ウルグアイ (マッチ50)	NHK・民放連
2014 FIFA World Cup Brazil™ 準々決勝 (マッチ58)	NHK・民放連
2014 FIFA World Cup Brazil™ 決勝 (マッチ64)	NHK・民放連
Venitia'sLIFE〜心の庭にたどり着くまで〜	スカパーJSAT
フィギュアスケート/GPファイナル2013	テレビ朝日
ドラマWチキンレース	WOWOW
アリスコンサートツアー2013 It's a Time ファイナルin武道館	スカパーJSAT
ボール・マッカートニーアウト・ゼアー・ ジャパン・ツアー	スカパーJSAT

せんぞお たかし
仙澤 隆 FMラジオ放送局において、制作、運行、送信技術を担当後、1996年、日本デジタル放送サービス(株)(現スカパーJSAT(株))入社。以後、デジタル多チャンネル放送プラットフォームの運用、構築に従事。

たじま けいいち
田島 慶一 音響映像機器メーカーにおいて、テレビ・衛星放送受信機開発を担当後、1996年、宇宙通信(株)(現スカパーJSAT(株))入社。衛星通信システム設計・構築業務を担当後、デジタル多チャンネル放送受信システム開発、4K放送技術仕様・規格対応に従事。