新 4K 8K 衛星放送の放送技術について

NHK 放送技術局制作技術センター　柏木 美菜
NHK 技術局開発センター　花田 彰
NHK 放送技術研究所　大久保 洋幸

1. はじめに

2018 年 12 月 1 日に「新 4K8K 衛星放送」が開局し、BS で 8 つの 4K サービスと 1 つの 8K サービス、CS で 8 つの 4K サービスが開始された。NHK は新たに「BS8K」と「BS4K」2 つのサービスを開始した。4K 映像は横 3840×縦 2160、8K 映像は横 7680×縦 4320 の画素を持ち、広色域、ハイダイナミックレンジ（HDR）といった特徴も持つ。音声について、BS4K の番組はステレオや 5.1 チャンネルサラウンド（5.1ch サラウンド）で、ほとんどの BS8K の番組は 22.2 マルチチャンネル音響（22.2ch 音響）で制作される。本稿では、新 4K8K 衛星放送に関わる制作、伝送、受信等の放送技術について、音声を中心に紹介する。

2. 22.2ch 音響の概要

NHK では、8K 映像と組み合わせる音響システムとして従来の 5.1ch サラウンドを超える 22.2ch 音響システムを開発し、標準化を進めてきた。22.2ch 音響は、24 個のチャンネルを上下 3 層構造に配置した方式で、画面上の自由な音像定位に加え、聴取位置を取り囲む全方向からの音再生が可能であり、高品質な三次元音場による高い臨場感を提供できる音響システムである。図 1 にチャンネル配置とチャンネルラベルを示すとおり、上層に 9 チャンネル、中層に 10 チャンネル、下層に 3 チャンネルと、2 つの低域効果用（LFE）チャンネルから構成される。この方式のチャンネル配置等は ITU-R BS.2051[1]、ARIB STD-B59[2] で規定されている。

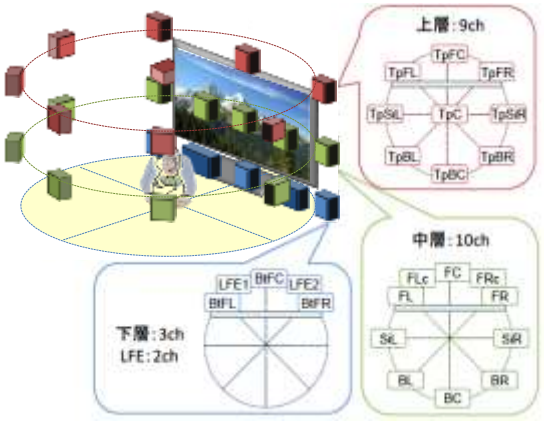

図 1 22.2ch 音響のチャンネル配置とチャンネルラベル

3. BS4K/BS8K 番組の音声制作について

BS4K コンテンツの一部は、ドラマ、クラシック音楽番組を中心に、5.1ch サラウンドで制作されている。一方、BS8K のコンテンツは、多く 22.2ch 音響で制作されてきた。ここではクラシック音楽における 22.2ch 音響のライブコンテンツ制作について紹介する。

NHK では一昨年よりヨーロッパ各地のコンサートホール、歌劇場において 8K 22.2ch 音響収録を行っている。ウィーン・フィルハーモニー管弦楽団のコンサート収録を皮切りに、ベルリン・フィルハーモニー管弦楽団、ロイヤル・コンセルトヘボウ管弦楽団、ミラノスカラ座のオペラ公演などの世界一流と言われるオーケストラや、歌手による演奏会やオペラを歴

史あるホールで収録し、BS8K で放送している。また、今年 1 月にはウィーンフィルのニューイヤーコンサートを収録し、2 月にはパリオペラ座でバレエの収録が予定されている。

22.2ch 音響の制作は、音楽レコーディングという意味では、ステレオや 5.1ch サラウンド制作の延長線上にある。スタジオとライブ録音とで多少の違いはあるが、ステージ上やオーケストラピットのマイクロホン配置のプランに加えて 22.2ch 音響に独自のアンビエンスマイク（音の広がりを収録するマイクロホン）を 22.2ch 音響のスピーカー配置に合わせて設営する。例えばオーケストラ収録では、ステージ上にはデッカツリー方式などオーケストラ全体を捉えるメインのマイクロホンを中心に、楽器毎のパートマイクロホンをセッティングする。これらのマイクロホンは、22.2ch 音響の中層の前面を中心に配置する。更に 22.2ch 音響ならではの「ホールの空間、音場の再現性」を高めるため、上層の全周囲と、中層の側方、後方にあたる位置にアンビエンス用のマイクロホンをセットする。これらはホールの天井から吊ることが多いが、天井裏が作業部屋のようになっていたり、天井面にワカサギ釣りをするような穴が数多く空いていたり、照明器具の隙間からケーブルを降ろせるようになっていたりと、ホールにより構造が異なるため、それぞれに応じたセッティングが必要となる。また、適切な位置に降ろすことができない場合は、ワイヤーや釣糸で引っ張って希望の位置にセッティングする場合もある。各アンビエンスマイクロホンを距離、高さ方向ともに適切な間隔（4~5 メートル）でセッティングできる場合は、全指向性のマイクロホンを使うとホール全体の響きを捉えやすい。しかしスタジオやライブハウスなど狭い空間で、マイクロホン同士の間隔が狭くなってしまう場合は、マイクを定位させるチャンネル毎に音色や位相の差が明確に出るよう、単一指向性や双指向性マイクロホンを用いることもある。中層の平面内での距離は取れるが上層と中層の高さ間隔があまり取れない場合は、上下のレイヤーで全指向性、単一指向性と使い分けたりすることもある。

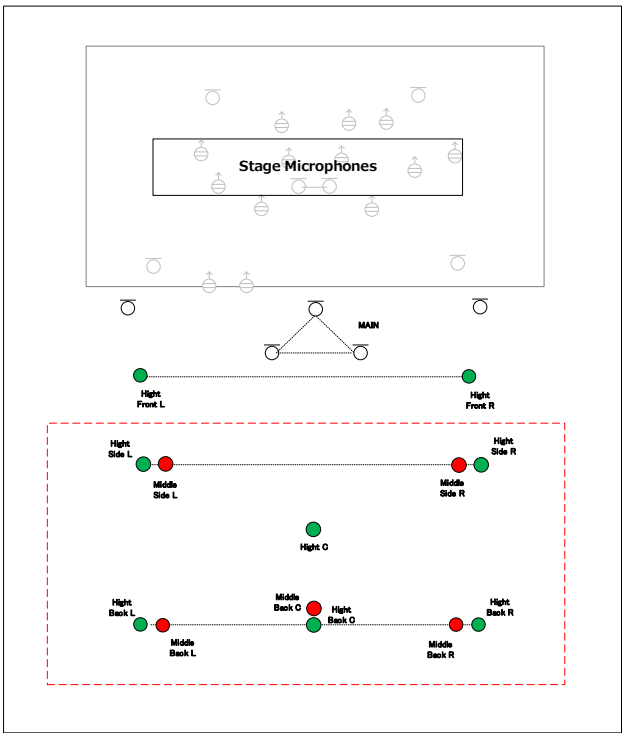

図 2 マイクロホン配置の例

8K 画面の下方に位置する下層 3 チャンネルには、画面下半分の音像を安定させる効果がある。更に低域効果用の LFE　2 チャンネルは、80~120Hz までの低い周波数帯のみを再生し、音楽全体に重厚感や迫力を加えることがある。スタジオ収録では下層や LFE 用として、楽器の低めの位置にマイクロホンを設置する場合や、バウンダリーマイクロホンを置くこともある。また、中層を中心に定位させる楽器のパートマイクロホンの一部を、下層に音量的に少し振り分けることでも、音像を下方向に下げる効果を得ることができる。上層についても、アンビエ

ンスマイクロホンだけではなく、楽器マイクロホンの一部を中層から上層に“こぼす”（振り分ける）ことで、前方の上層と中層がより自然なつながりを持った音場の再現が可能となる。

こうして前方にはオーケストラサウンドの肝となるステージ上の各マイクロホンを配置し、客席に吊ったアンビエンスマイクロホンを各チャンネルに配置するわけだが、22.2ch 音響の音楽コンテンツの制作もまたステレオや 5.1ch サラウンドのレコーディングと同じように、音楽のミキシングバランスが取れていることが前提となる。リバーブやイコライジングには Pro Tools のプラグインを使うことが多いが、クラシック音楽の制作では NHK 放送技術研究所で開発した三次元残響付加装置（以下 3D リバーブ）も併用している。3D リバーブは 22.2ch 出力を持つサンプリングリバーブであり、収録した音源信号と実測した 22 方向（LFE チャンネルを除く）のインパルス応答を畳み込むことによって残響を付加し、その場の空間を再現する。測定では、ステージ上に設置したスピーカーから、TSP（Time Stretched Pulse）と呼ばれる低域から高域まで連続的に変化する音を再生し、客席に 22.2ch のスピーカー配置に近い形に設置したマイクロホンで音声を収録する。上述したヨーロッパ各地の収録でもインパルス応答の測定を行い、後日 NHK のスタジオでミキシングする際には、必要に応じて 3D リバーブにより生成した残響を付加した。ホールの響きを忠実に再現するとともに、録音した音とも自然に馴染むため、まるでホールの S 席で聴いているかのような臨場感や包まれ感の表現が可能になる。

4. BS4K/BS8K の音声スタジオ設備について

4-1. 22.2ch 音響のポスプロスタジオの概要

現在 NHK には 22.2ch 制作対応のポストプロダクション（ポスプロ）スタジオが 2 室ある[3]。スタジオや NHK ホール、各地のホールで収録した 22.2ch コンテンツの音楽トラックダウン（マルチレコーディングした音楽を 22.2ch 音声にミックスする）、紀行番組やドキュメンタリー番組の音声制作をしている。

図 3 22.2ch 音声のポスプロスタジオ

2 室のうち 1 室は、ポスプロだけでなく生放送もできるように、22.2ch 出力を持つ放送用音声コンソール、タムラ社製の NT-900 を導入している。昨年 12 月の BS4K 8K の「紅白歌合戦」では、このスタジオで 22.2ch の音声を制作し、4 時間半にわたって生放送を実施した。

4-2. 22.2ch 音響のポスプロスタジオの室内音響、設備について

2 室のポスプロスタジオに施された音響処理で目を引くのが、天井と壁一面の柱状拡散体である。22.2ch では、スピーカー同士の干渉や、前面に設置された 230 インチの 8K スクリーンからの反射が避けられず、通常のポストプロダクションスタジオのような吸音をベースとした音響設計が困難である。そのため室内の反射と吸音をバランスよく整え、より望ましいモニター環境を作るのがこの拡散体である。

スタジオスピーカーは ARIB STD-B59 の規格に準拠した配置され、前面の 230 インチスクリーンは音響透過型、スクリーン裏にはハードパンニング用の FC、FLc、FRc スピーカーを設置している。このほかパブリックビューイングなどでスクリーン裏にスピーカーを設置できない場合のモニター環境を想定して、ファンタム方式（スピーカーを上下層に設置して疑似的に中層から聞こえる配置）のスピーカーも整備し、制作するコンテンツに応じてハード/ファンタムスピーカーの切り替えが可能となっている。

出力メーターや波形モニター、ラウドネスメーターなどは NHK の開発した 22.2ch 対応の機器を導入している。先に述べた 3D リバーブも、2 室のスタジオで運用している。制作のメインシステムは AVID 社製の Pro Tools を、音楽、同録（映像と同時に収録してきた現場音、環境音）、SE（サウンドエフェクト）、ファイナルミックス用など番組に応じてカテゴリー別に運用している。音素材それぞれを 22.2ch 音響で扱うため、作業中の音声トラック数は多いときで 1000 を超え、通常 4 台の Pro Tools を使って制作する。作業時に 8K 映像を再生するシステムとして 8K 対応の SSD 録再機、メモリーカード録再機を整備し、それぞれを RS422 の 9Pin でコントロールしている。完成した音声は局内ネットワーク経由で 8K 映像編集室へ送り、映像音声一体化した後、8K 専用の試写室で技術試写、完成プログラムとして登録し、放送している。

5. BS4K/BS8K の音声符号化方式

新 4K8K 衛星放送の符号化方式に関する標準規格は ARIB STD-B32[4]に規定された MPEG-4 AAC(Advanced Audio Coding)方式および MPEG-4 ALS(Audio Lossless Coding)方式に準拠しており、放送事業者が運用して受信機で受信するための運用規定として ARIB TR-B39[5]を定めている。表 1 に運用規定で定める符号化方式を記載する。

表 1　新 4K8K 衛星放送の音声フォーマットと符号化方式

符号化方式	MPEG-4 AAC					MPEG-4 ALS	
音声モード	モノ（注）	ステレオ	5.1ch	7.1ch	22.2ch	ステレオ	5.1ch
最大レート	256kbps	256kbps	480kbps	640kbps	1920kbps	2429kbps	7341kbps
ｻﾝﾌﾟﾘﾝｸﾞ	48kHz						
量子化ﾋﾞｯﾄ	24bit						
ｽﾄﾘｰﾑ形式	LATM/LOAS						

（注）CS のみ運用。BS では運用しない。

新 4K8K 衛星放送対応の受信機が必須で音声デコード機能を搭載するのは、この中で、AAC ステレオおよび AAC5.1ch からステレオへのダウンミックス再生である。ただし、AAC ステレオがサイマル送出されている場合は、サイマルステレオを優先して受信機は再生する。また、AAC ステレオと AAC5.1ch 以外の音声モードを運用する際には受信機が必須でデコード可能な音声をサイマル送出する。例えば、NHK では AAC22.2ch の日本語音声を放送しているが、このとき AAC5.1ch と AAC ステレオをサイマルで送出し、受信機側は自身が搭載するデコー

ド能力に応じてデコードする音声を選択する。サイマル送出の送出必須要件を表 2 および表 3 に示す。

表 2　MPEG-4 AAC 音声におけるサイマル送出（5.1ch 超の音声送出時はステレオ送出必須）

最大音声モード	サイマル送出する音声モード		
	7.1ch	5.1ch	ステレオ
22.2ch	送出禁止	送出可	送出必須
7.1ch	―	送出可	送出必須
5.1ch	―	―	送出可

表 3　MPEG-4 ALS 音声におけるサイマル送出（AAC によるステレオ又は 5.1ch 送出必須）

MPEG-4 ALS 送出音声モード	サイマル送出する MPEG-4 AAC の音声モード			
	22.2ch	7.1ch	5.1ch	ステレオ
5.1ch	どちらか一方は送出可		どちらか一方は送出必須	
ステレオ	どちらか一方は送出可		どちらか一方は送出必須	

6. BS4K/BS8K の多重化方式

新 4K8K 衛星放送の多重化方式は、MMT（MPEG Media Transport）による IPv6 マルチキャスト伝送を採用しており、関連する標準規格は ARIB STD-B60[6]、運用規定として ARIB TR-B39[5]を定めている。送信可能な音声のアセット数（音声の MMT ストリーム数）は、多言語放送やマルチチャンネルのサイマル送出を考慮して最大 4 であり、受信機は、最大 4 つの音声 MMT ストリームの中から 1 つを選択しデコードする。送出システムと受信機のクロック同期を実現するために、NTP(Network Time Protocol)形式の IPv6 パケットを送出する。

7. BS4K/BS8K の音声の受信方法

新 4K8K 衛星放送のデコード処理及び出力方式は標準規格 ARIB STD-B63[7]に、運用規定として ARIB TR-B39[5]を定めている。受信機内で音声デコード処理での必須・オプションの区分を表 4 に示す。

表 4　受信機内での音声デコード処理する場合の必須／オプション区分

音声フォーマット	量子化ビット数	音声モード	必須／オプション
MPEG-4 AAC	24bit/16bit 双方のストリームが復号可能な 16bit デコーダは必須、24bit デコーダはオプション	モノラル（注）	必須
		ステレオ	必須
		5.1ch	必須
		7.1ch	オプション
		22.2ch	オプション
MPEG-4 ALS	24bit	ステレオ	オプション
		5.1ch	オプション

（注）CS のみ運用。BS では運用しない。

受信機から出力される音声の外部アンプへの接続は、HDMI ケーブル、MHL/superMHL ケーブル、S/PDIF 光ファイバケーブル、S/PDIF 同軸ケーブルによって行われ、音声ストリーム出力の方式は IEC 60958[8]、及び IEC 61937[9]により規定されている。放送で運用される各音声モードを出力する場合は、表 5 の規定に従い出力される。なお、AAC 22.2ch、及び ALS の音声を出力する場合、信号のビットレートが 48kHz の IEC 60958 フレームレートで伝送可能な範囲を超過するため、フレームレートを倍速以上に拡張する。

表 5 音声モードと音声ストリーム出力の参照規格

符号化方式	音声モード	参照規格	伝送可能な最小の IEC 60958 フレームレート
MPEG-4 AAC	1/2/5.1/7.1ch	IEC 61937-11	48kHz
MPEG-4 AAC	22.2ch	IEC 61937-11	96kHz （注）
MPEG-4 ALS	2ch (24bit)	IEC 61937-10	96kHz
MPEG-4 ALS	5.1ch (24bit)	IEC 61937-10	384kHz

（注） IEC 61937-11 high speed transmission に準拠

8. おわりに

BS4K、BS8K に関わる制作、伝送、受信等の放送技術について、音声を中心に紹介した。4K8K の超高精細映像と 5.1ch サラウンドや 22.2ch 音響の三次元音響により、テレビは「見る・聞く」ものから「体験」するものへと変わりつつある。今後も、音楽、紀行番組をはじめ多くの番組が制作される予定である。放送やパブリックビューイング等の機会を通じて、ぜひ 5.1ch サラウンドや 22.2ch 音響で番組を「体験」して楽しんでいただければと思う。

参考文献：

[1] Recommendation ITU-R BS.2051” Advanced sound system for programme production” (2014)
[2] ARIB 標準規格 ARIB STD-B59「三次元マルチチャンネル音響方式スタジオ規格」
[3] 「【連載:「試聴室探訪記」第 36 回】 ~谷口とものり、魅惑のパノラマ写真の世界~NHK CD606 音響制作ダビングスタジオを訪ねて」、JAS Journal Vol.58 No.3 pp.5-9（2018）
[4] ARIB 標準規格 ARIB STD-B32「デジタル放送における映像符号化、音声符号化及び多重化方式」
[5] ARIB 技術資料 ARIB TR-B39「高度広帯域衛星デジタル放送運用規定」
[6] ARIB 標準規格 ARIB STD-B60「デジタル放送における MMT によるメディアトランスポート方式」
[7] ARIB 標準規格 ARIB STD-B63「高度広帯域衛星デジタル放送用受信装置(望ましい仕様)」
[8] IEC 60958: “International Standard Digital Audio Interface”
[9] IEC 61937: “International Standard Digital audio - Interface for non-linear PCM encoded audio bitstreams applying IEC 60958”

■　執筆者プロフィール

柏木 美菜（かしわぎ みな）
1993 年 NHK 入局。音楽・エンターテインメント番組の音声制作、近年は 4K8K 音声制作に関する運用規定策定に従事。

花田 彰（はなだ あきら）
1994 年 NHK 入局、1999 年より BS デジタル放送送出設備開発、2001 年より地上デジタル送出設備開発、2013 年よりスーパーハイビジョン送出設備の開発、4K8K 運用規定策定に従事。

大久保 洋幸（おおくぼ ひろゆき）
1992 年 NHK 入局。放送技術研究所に勤務し、室内音響計測、音場シミュレーション、スーパーハイビジョン音響に関する研究に従事。日本音響学会、映像情報メディア学会、日本建築学会、日本バーチャルリアリティ学会、米国音響学会、AES 会員、日本オーディオ協会理事。