

**新連載****日本ケーブルラボが拓くケーブル4Kの未来****第2回 4K テレビ**

日本ケーブルラボ 実用化開発部 主任研究員  
曾我部 秀幸



先月からスタートした日本ケーブルラボによる4K推進連載。今回は、より具体的に4K放送がテレビに及ぼす影響を分析・解説してもらおう。4Kコンテンツをテレビで放送するとき、ハードウェアに求められる機能や、ソフトウェアがデータ処理を行う方法などを、簡単にまとめてもらった。将来的にこういった技術が使用され、4K放送がこういった方向に進むのか、近未来の予測もしつつ詳しい図解付きで解き明かしてもらおう。

(図版提供:日本ケーブルラボ)

## 第1章 はじめに

2011年7月のアナログ停波に伴って日本のテレビ放送はすべてデジタル化され、現在家庭にあるテレビのほとんどは、これに対応したハイビジョン(HD)テレビとなっている。

こうした中で、放送のさらなる高画質化、サービスの高度化を目指し、総務省で4K・8K放送に関するロードマップが検討され、2014年6月に衛星、ケーブルによる4K試験放送が開始された。

ロードマップによれば、2015年にはケーブルおよびCSによる4K実用放送、2016年にはBS 4K・8K試験放送、2018年にはBS 4K・8K実用放送が開始され、2020年の東京オリンピック開催時には多くの視聴者が4K・8K放送を楽しめる環境の構築が計画されている。この計画に基づき、ケーブル業界も2014

年の4K試験放送に続き、現在、4K実用放送の準備を進めている。

4K放送では動画像符号化規格としてH.265/HEVCを採用している。このH.265/HEVCは、従来のH.264/MPEG-4 AVCのハイブリッド符号化方式を踏襲しつつ、予測技術の高精度化、柔軟なブロック分割構造などの新しい技術を導入し、H.264/MPEG-4の約2倍の圧縮効率を実現している。

本号では、主に4K放送の視聴用端末として位置づけられる4K（対応）テレビ<sup>※</sup>の基本的な技術要素について解説する。

※ 一般に4K放送対応チューナーを内蔵したテレビを4Kテレビ、4K放送対応チューナーを内蔵しない4Kディスプレイ搭載テレビを4K対応テレビと呼んでいる。本稿では、これらを4K(対応)テレビと総称することになっている。

## 第2章 超高精細度テレビ

現在のデジタルテレビ放送は、ほとんどの形態が高精細度テレビ放送、いわゆるデジタルハイビジョン放送であり、周知のようにこれを一般的にHDTVと呼んでいる。HDTVには、フルHDと呼ばれるBSデジタル放送の画素数1,920×1,080と、HDと呼ばれる地上デジタル放送の画素数1,440×1,080のテレビ放送方式がある。また、HDTVの映像は、一般的にフルHDの画面規格の水平方向の画素数が約2,000であることから2Kと呼ばれている。

一方、超高精細度テレビ放送(UHDTV: Ultra High Definition Television)には、4K、8Kといわれる2種類の規格がある。4Kは水平方向の画素数が約4,000、画素数が水平・垂直方向とも2Kの倍に当たる3,840×2,160で2Kの4倍の画素数を有する規格になっている。8Kは水平方向の画素数が約

8,000、画素数が水平・垂直方向とも4Kの倍に当たる7,680×4,320で、4Kの4倍、2Kの16倍の画素数を有する規格となっている。

HDTVとUHDTVの画素数の比較を(図1)に示す。

なお、4Kにはテレビ放送やテレビ受像機向けのUHD規格(Ultra High Definition、横3,840×縦2,160)と、デジタルシネマカメラや映画上映向けのデジタル映画規格DCI 4K(Digital Cinema Initiative、横4,096×縦2,160)の規格がある。2つの規格の違いを(表1)に示す。

デジタルカラー画像は、RGB信号を一度コンポーネント信号に変換し、視覚特性を利用したサンプリングを行ってから、圧縮符号化をして蓄積や伝送を行うのが一般的である。

ここでは4K放送に係わる基本的な技術要

## 図1 HDTV、UHDTVの画素数

### ●テレビの高画質化：HD ⇒ 4K ⇒ 8K



## 表1 4K映像フォーマット

名称	画素数 (横×縦)	アスペクト比 (横×縦)	総画素数	フレームレート	主な用途
4Kテレビ	3,840×2,160	16:9	8,294,400	50p/60p	テレビ放送 テレビ受像機他
DCI 4K	4,096×2,160	17.1:9	8,847,360	24p	映画、カメラ

※DCI:Digital Cinema Initiatives (映画制作会社の加盟団体)

素であるサンプリング、ビット深度、フレームレート、および色域について解説する。また、映像の高品質化の観点から最近とみに注目され

ているHDR (High Dynamic Range) についても併せて解説する。

## 第3章 4K フォーマット

### (1) サンプリング

デジタルカラー画像は、RGB信号の代わりに輝度成分Yと2つの色差成分Cb、Crという3つの信号成分に変換し、Y:Cb:Crという比率で色情報を表現している。人間の視覚特性は明るさに対しては敏感であるが、色の変化に対しては鈍感であるという性質を利用して、明るさに関する情報は変えずに色差成分を間引くことにより、人間の視覚に影響を与えずに情報量を削減することが可能になる。この間引き処理をサンプリングまたはサブサンプリングといっている。

放送では主に(図2)に示す3種類のサンプリングが使用されている。左から「4:4:4」、「4:2:2」、「4:2:0」の各形式を表し、その内容は以下のとおりである。

- 「4:4:4」

もっとも高画質のフォーマットである。カラー

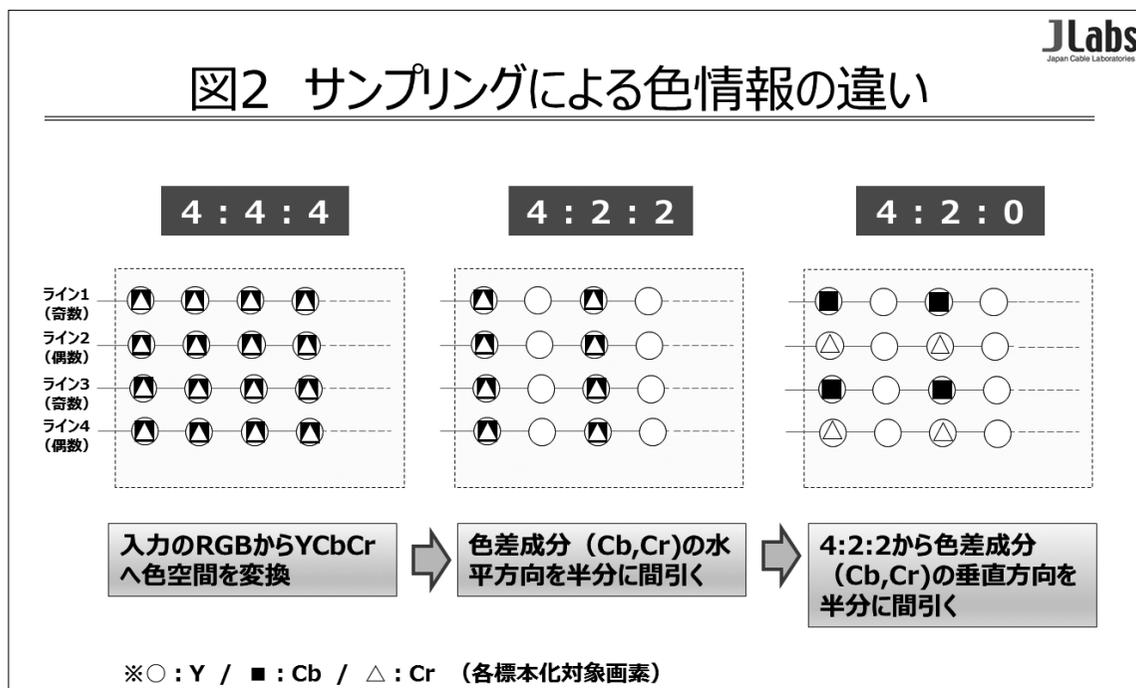
画像を表す3原色信号(R、G、B)を間引かずにそのまま輝度成分と色差成分に置き換えているため、輝度・色差とも各成分のデータ量は同じである。画像の撮像系や表示系の進歩が目覚ましく、特に画像の素材を扱う分野では、正確な色表現がたいへん重要となっており、本フォーマットの需要が高まっている。

- 「4:2:2」

一般的な業務用ビデオに採用されている形式である。「4:4:4」形式の色差成分(Cb、Cr)のデータ量を水平方向にそれぞれ半分に間引いている。図2では、各ラインの偶数番目の色差成分を削減している。

- 「4:2:0」

DVDをはじめとする一般的なMPEG圧縮フォーマットで使用している形式である。「4:2:2」の形式からさらに垂直方向のデータ量を半分に間引いたものである。具体的には



各フレームの奇数番目のラインではCrを、偶数番目のラインではCbをというように順番に色差成分を間引いている。

これにより、例えば「4:4:4」から「4:2:0」に形式を変更することで、色度が輝度比で4分の1となり色情報の50%を削減できる特長がある。

## (2) ビット深度

ビット深度とは、デジタル画像を構成する画素で表示できる階調を表すものである。階調は色の濃淡を表す段階の数のことをいう。

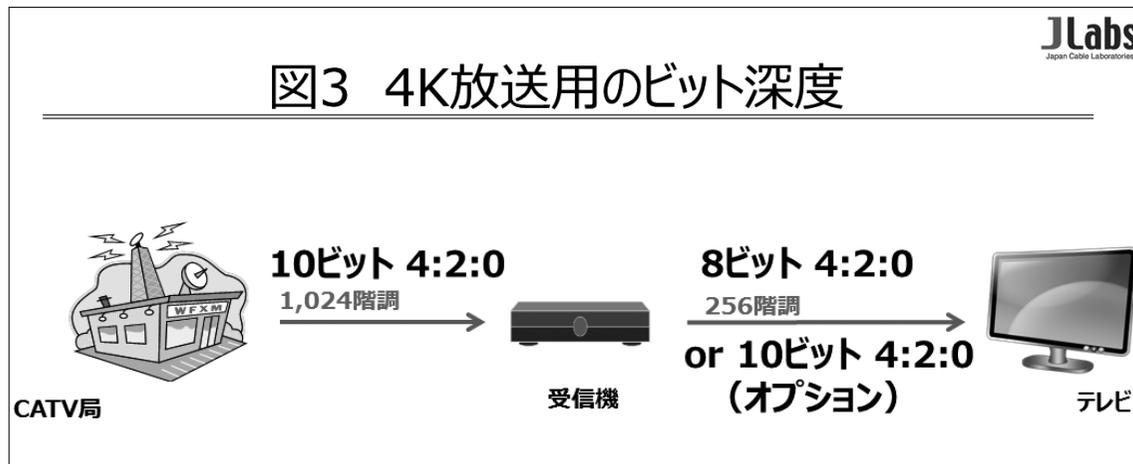
現在の地上デジタル放送やDVDの映像は、1画素を8ビット、256階調で表している。ビット深度が高いほど、より滑らかなグラデーションを表現することができる。

4Kのような超高精細度の映像を配信する

には、圧縮効率の高い最新の動画圧縮規格の一つであるH.265/HEVCを用いる。4K放送に用いられるH.265/HEVCのビデオコーデックでは、8ビット、4:2:0に対応する“Main profile”といわれる仕様と10ビット、4:2:0に対応した“Main 10 profile”といわれる仕様が規格化されている。

今年から始まった4Kの実用放送では、スタジオ規格は12ビットの「4:4:4」、放送波は10ビットの「4:2:0」に対応した“Main10 Profile”で運用している。日本ケーブルラボで規格化した4K用第3世代STBでは、デコーダー対応として出力は8ビット「4:2:0」に対応した“Main Profile”を必須、“Main10 Profile”をオプションとしている。

4K放送で用いられているビット深度の関係を(図3)に示す。



## (3) フレームレート

1枚の画像（映像画面）をフレームといい、1秒間に表示するフレームの枚数をフレームレートといっている。

画像には、インターレース方式（飛越走査方式）により構成されるものと、プログレッシブ方式（順次走査方式）により構成されるもの

がある。走査とは、1枚の画像を左から右へ、上から下に向かって順番にスキャンすることをいい、走査によって描かれた横1行分の軌跡を走査線という。

インターレース方式は、1枚の画像を奇数番目と偶数番目のラインの2回に分けて走査する方式である。奇数番目の走査線群をトップフィールド（奇数フィールド）、偶数番目の走

査線群をボトムフィールド（偶数フィールド）と呼んでいる。トップフィールドとボトムフィールドを合わせてフレームと呼び、両者は縦方向のラインが交互にずれているため、2回の走査で初めて1枚の画像を構成する。

プログレッシブ方式は、1枚の画像を上から下に順次走査して1枚の画像を構成するもので、この走査線群をフレームと呼んでいる。

HD放送と4K放送では、走査方式に違いがあり、HD放送はインターレース方式を用いるが、4K放送ではプログレッシブ方式を用いる。

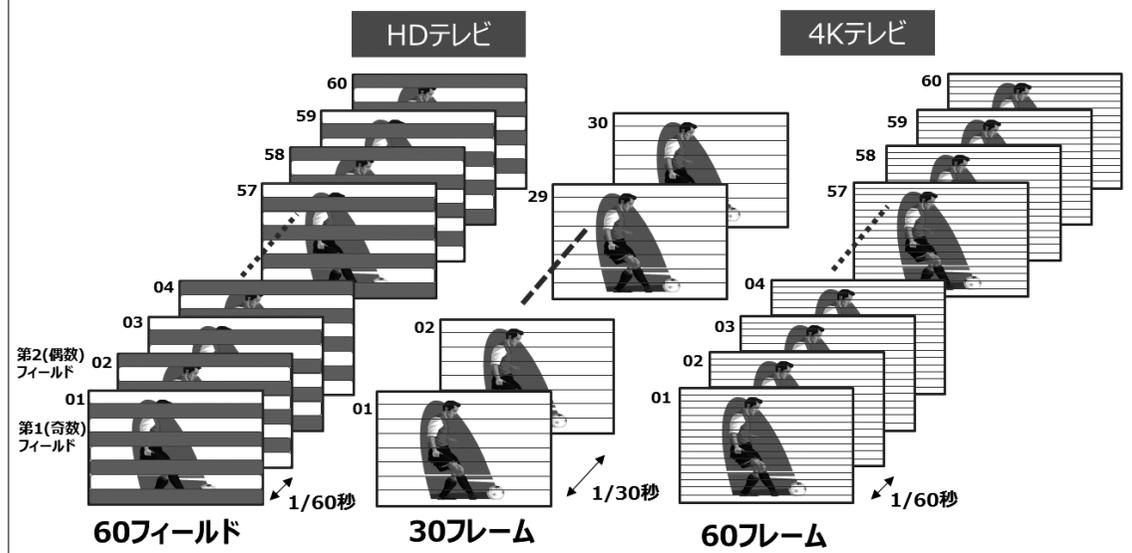
走査方式の違いを（図4）に示す。HD放送は、インターレース方式により1枚の画像を2回に分けて1秒間に60フィールド送るが、これ

はプログレッシブ方式に置き換えると1秒間に30フレーム送ることに相当する。4K放送では、プログレッシブ方式により1秒間に60フレーム送るため、インターレース方式に比べるとデータ量が2倍になる。これにより、プログレッシブ方式では、動きの激しい被写体や細かい映像に対してちらつきを少なくすることができるわけである。

また、走査方式を表記するときには、インターレースなら「i」を、プログレッシブなら「p」を付加して、例えば1,080iあるいは2,160pと表記して区別する。なお、表1に示すようにフレームレートに着目して、24p、60pなどと表現する場合もある。

## 図4 走査方式の比較

- HDテレビ：インターレース方式（飛越走査方式）
- 4Kテレビ：プログレッシブ方式（順次走査方式）



### (4) 色域

色域とは、人間の目が認識可能な色の範

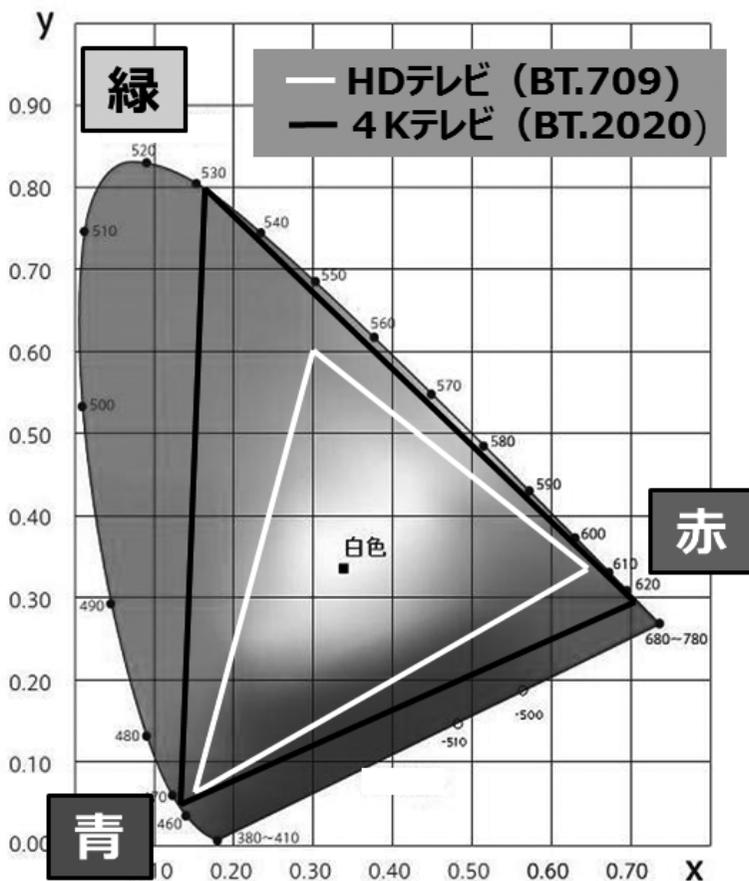
囲の中で、機器や処理で表現または再現できる色空間の範囲を定めたものである。デジタルカメラやテレビなどのさまざまな機器では、

再現できる色の範囲が異なるため、使用する機器間での色の整合をとるために色域が決められている。

国際照明委員会（CIE）が定めるCIE XYZ表色系のxy色度図を（図5）に示す。xy色度図は可視領域の色を数値に置き換えて色座標としてグラフ化している。図5において、馬蹄形で表している部分は人間が視覚的に認識可能な範囲を表し、それぞれの頂点が赤、緑、青を、中央が白色を示している。

テレビなどの機器での色再現範囲は、現行HDTVの規定であるBT.709は白枠で囲った部分に相当し、可視領域の約35%をカバーしている。またUHDTVの規定であるBT.2020は黒枠で囲った部分に相当し、可視領域の約75%をカバーしている。このためUHDTVでは、色空間が拡大されたことで、より現実に近い色再現が可能となるので、質感の向上が期待できるわけである。

図5 BT.709とBT.2020の色域



3原色を2次元で表示 X (R), Y (G), Z (B)の要素  
 $x = X / (X + Y + Z)$ 、 $y = Y / (X + Y + Z)$

## (5) HDR (High Dynamic Range)

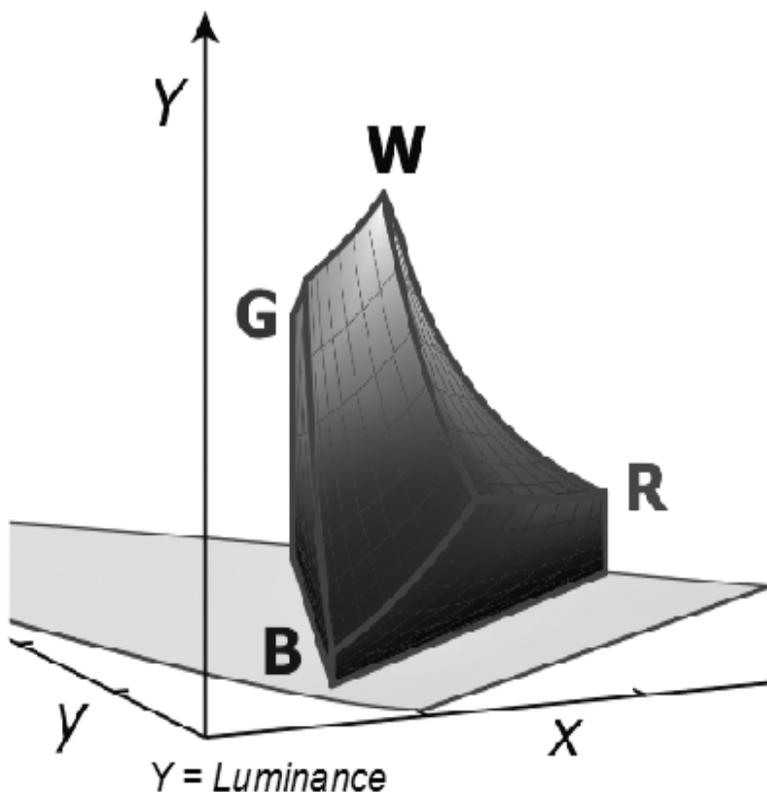
HDRとは、カメラが捉えた広いダイナミックレンジの画像をそのまま記録し、表示の際にディスプレイの性能に合わせて表示する手法である。現在、劇場用映画やBD/DVDあるいは、放送用マスターに使用されているBT.709のSDR(Standard Dynamic Range)では、ディスプレイの輝度は最大100nit (nit:明るさの単位。どれだけ眩しい光を表現できるかを示す尺度ともいえる)と決められているため、それに合わせて映像の輝度が調整されている。一方でHDR映像の記録形式は米国映画テレビ技術協会(SMPTE)で最大

10,000nitとしており、輝度レンジで100倍の差がある。現在の液晶方式ではディスプレイの輝度が上っているため、高輝度化、高ダイナミックレンジにより、映像のリアリティレベルの向上が期待できる。

HDRは、上記(1)～(4)とは性質が異なるが、最近、ハリウッド大手や家電メーカー、映像配信事業者などが参加してUHDアライアンスが結成されるなど、映像の高品質化の手法の一つとして注目されている。

HDRを加味した三次元色空間を(図6)に示す。図6においてz軸(図中ではYと記載)は明度を現している。また、W(白色)に対応するY値が大きいほど、高HDRとなる

図6 HDRを加味した三次元色空間



出展: SMPTE Webcast "Lessons in Light" より

## 第4章 4K放送を支えるハード技術

4K（対応）テレビ、4K放送受信端末（STBや4K放送対応チューナー）と4K（対応）テレビのインターフェース、4Kディスプレイ、撮影のための4Kカメラ、4K編集システムについて紹介する。

### (1) 4K（対応）テレビ

4K（対応）テレビは、日本メーカーのほか、中国、韓国メーカーからも販売され、徐々に市場に浸透している。

国内の4K（対応）テレビの出荷台数と世帯普及率（試算）を（図7）に示す。

4K（対応）テレビは2012年から国内市場で出荷が始まり、2017年に4K（対応）テレビと2K（HD）テレビの出荷台数が逆転、2018年には薄型テレビの出荷に占める4K（対応）テレビの割合が60%を超えると予測されている。また、4K（対応）テレビは、2020年には国内に約2,700万台が普及し、世帯普及率が50%を超えると予測されている。

国内市場は、2014年にはメーカー各社の4K（対応）テレビが出揃って本格的な出荷が始まった。それらのテレビでは、独自の色再現技術による高画質化に加え、インターネット接続機能によるスマート化も進展しているのが特徴である。2014年10月からネットワーク経由による4Kコンテンツの配信が始まっており、2015年には衛星放送事業者によるCS放送（スカパープレミアムサービスなど）、IPTV事業者によるネットワーク配信（ひかりTV4K、4Kアクティブラなど）、ならびにケーブルテレビ事業者による4K自主放送を視聴できることになる。

### (2) インターフェース

外付けの4K放送受信端末（STBや4K放

送対応チューナー）を用いる場合は、4K（対応）テレビとの間をHDMI2.0に対応したケーブルで接続する必要がある。

2013年9月に発表されたHDMI2.0では、帯域幅が10.2Gbpsから18Gbpsに、クロック周波数が150MHzから最大600MHzにそれぞれ拡張され、4K60pの映像信号の伝送が可能になっている。これに著作権保護規格の最新バージョンである HDCP2.2を組み合わせることで4K放送の視聴が可能になる。

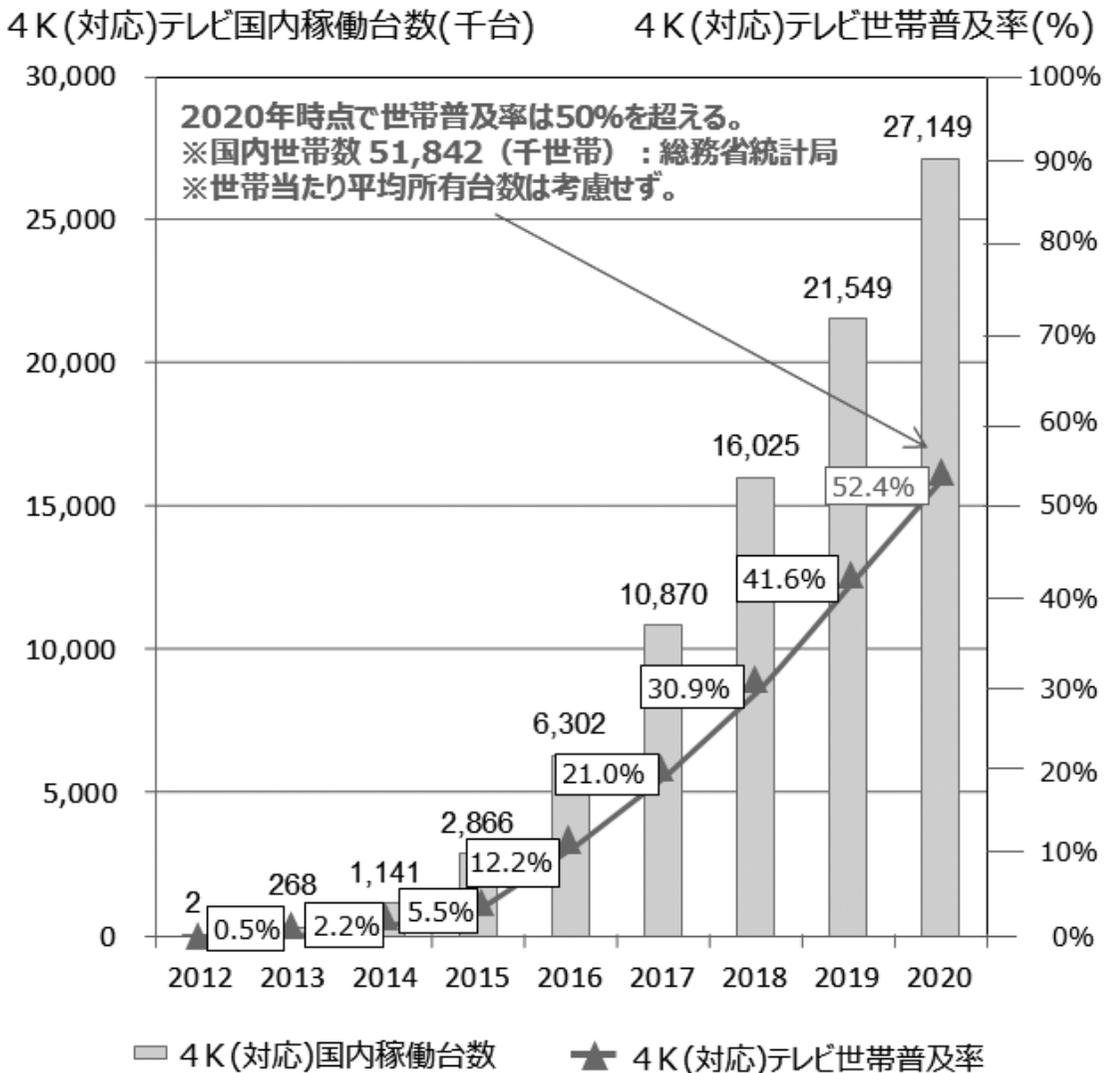
HDCP2.2は4K放送受信端末から4K（対応）テレビにHDMIで映像信号を入力するための規格である。ハリウッドの大手スタジオが共同で設立した研究機関であるMovieLabs（Motion Picture Laboratories）では、4K映像などのプレミアムコンテンツを供給するにあたっての必須要件としている。国内でも次世代放送推進フォーラム（Next-TV-F）は4Kコンテンツをデジタル映像音声出力する場合はHDCP2.2仕様に従って適切に保護することと規定している。

2014年以降に販売されている4K（対応）テレビはHDMI2.0とHDCP2.2の両方に対応しているが、それ以前に販売されたモデルについては、ソフトウェアのバージョンアップあるいはボード交換等の対応が必要であるため、テレビメーカー各社のホームページなどで告知されている。

### (3) ディスプレー

4K（対応）テレビのディスプレイは、液晶方式（液晶テレビ）と有機EL方式（有機ELテレビ）に大別される。さらに液晶方式は、光源（バックライト）を冷陰極蛍光管とするLCD方式と光源をLEDとするLED方式に区分されている。ディスプレイの構造と特徴を（図8）に示す。

# 図7 4K(対応)テレビの

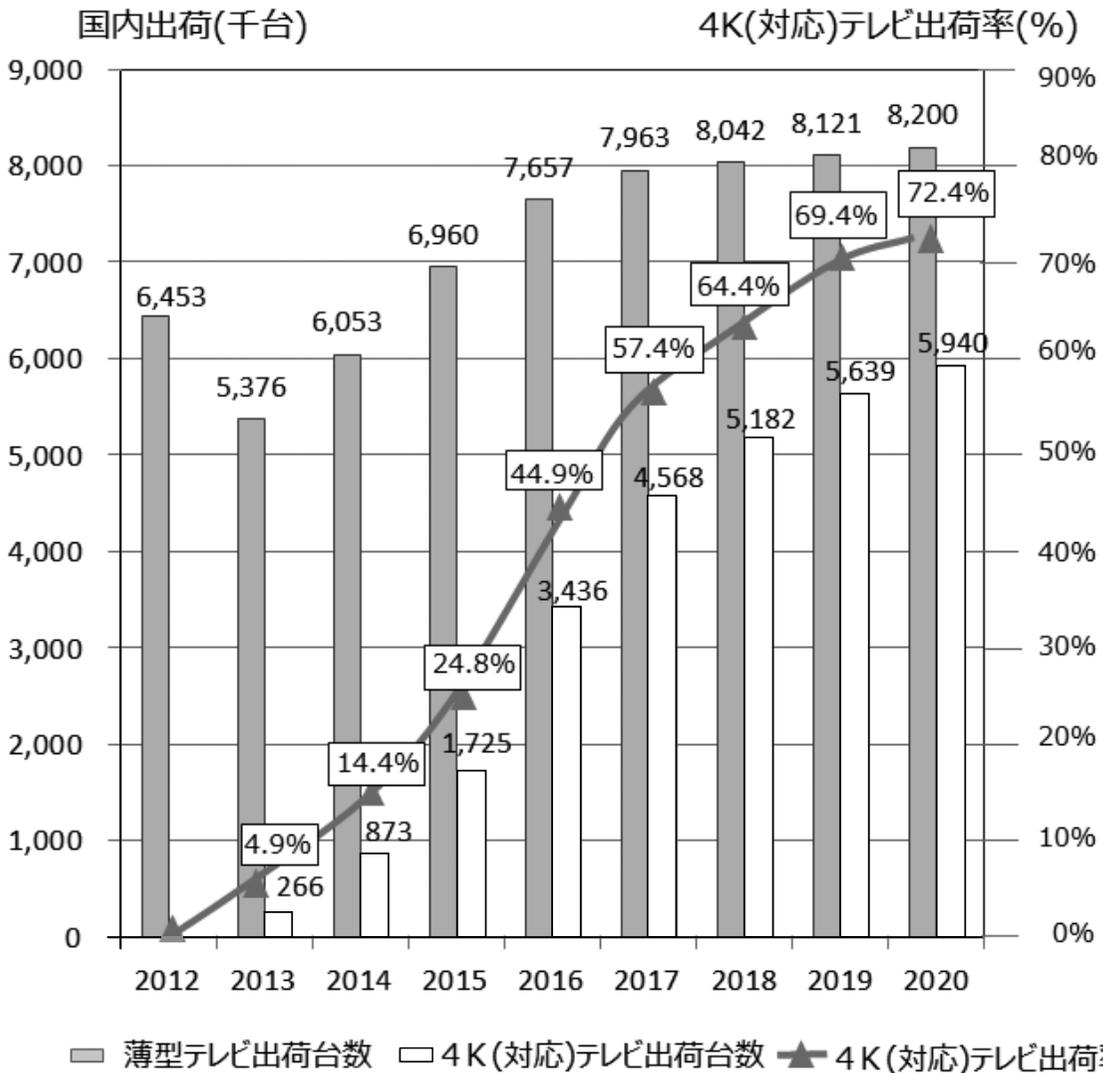


有機ELテレビは、高いコントラスト比、応答速度、広い視野角などに優れ、自発光により明るく鮮明な画質を実現している。ただし大型サイズの量産には生産コスト低減などの課題があるため、市場展開にはまだしばらく時間がかかるとみられている。

一方、液晶テレビは、デジタル放送が開始

される以前から商品化されており、コントラスト、視野角、および応答速度など市場ニーズへの対応・改善がなされているので、技術的には成熟している。

# 世帯普及率 (試算)



出展:三菱総合研究所発表資料より

JETTA「AV&IT 機器世界需要動向～2018年までの展望」を基に2019年～2020年まではMRIが独自に外挿推計。

## (4) 4Kカメラ

4K映像制作の現場をみると、4K業務用カメラは2014年にメーカー各社から製品が出揃ってきた。これらのカメラでは、4K (4,096×2,160/3,840×2,160)、60pの撮影ができるスーパー35mmCMOS (またはMOS) セン

サー搭載、4K RAW記録、XAVCやAVC Intra Class4録画フォーマット対応、3G-SDI/HD-SDI出力などを装備して、繊細かつ高画質の撮影を実現している。また、コンシューマー機でも、4Kの撮影ができる1/2.3型CMOS (またはMOS) センサー搭載、XAVCSやMPEG-4 AVC/H.264録画フォ

図8 ディスプレーの構造と特徴

		液晶テレビ		有機EL (OLED) テレビ
		LCDテレビ	LEDテレビ	
特 徴	構造	<p>カラーフィルター ガラス 液晶 バックライト 電極 [液晶パネル] 偏光フィルター バックライト LCD: 冷陰極蛍光管 LED: 発光ダイオード</p>		<p>電極 有機層 (発光層) 基板 自発光</p>
	利点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・薄型</li> <li>・大型化が容易</li> <li>・寿命が長い (LED化)</li> <li>・消費電力が少ない (LED化)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・コントラスト比が高い</li> <li>・応答速度が速い</li> <li>・視野角が広い</li> <li>・曲げ加工がしやすい</li> <li>・薄型</li> </ul>
	欠点	<ul style="list-style-type: none"> <li>・視野角が狭い (駆動方式/光学フィルムで改善)</li> <li>・コントラストが低い (ローカルデミング制御で改善)</li> <li>・応答速度が遅い (倍速駆動で応答性向上)</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>・寿命が短い</li> <li>・大型化が難しい</li> </ul>

ーマット対応、HDMI出力、SD/XQDカードなどを装備した、本格的な撮影が可能なハンドヘルドカメラが市場に投入されている。

### (5) 4K 編集システム

市販の4K対応編集システムは、膨大な情

報量の処理を必要とするため、1,000万円近い高額なシステムが主流となっている。このため、日本ケーブルラボでは、ソフトウェアベンダーと協力して、価格は100万円以下と安価でありながら、必要な機能を備えた編集システムの開発に取り組んでおり、2015年5月以降市場に導入される見込みである。

## 第5章 4K (対応) テレビによって何がかわるか

4K (対応) テレビの市場導入はさまざまな変化をもたらすと考えられている。代表的な見方を紹介する。

### (1) テレビへの回帰

4K放送では水平方向と垂直方向の画素が、HD放送に比べてそれぞれ2倍になって

おり、同じ視聴距離であれば、画面サイズを2倍にしても画像の粗さは気にならないため、画面を大型化できる。逆に、同じ画面サイズでは半分の距離まで近づいても画像の粗さが気にならないため、画面にもっと近づいて見ることができる。そのため視聴者は、映像に対するより大きな臨場感や没入感を体験できることになるので、この体感がテレビへの回

帰をもたらすと期待されている。

## (2) マルチウィンドウ化

4K（対応）テレビは、画面が高精細度化されることで、従来のように画面全体を使った表示ではなく、複数の小画面に分けても、それぞれの画像を認識することができる。放送と通信が融合されることで、例えばゴルフの中継番組で、プレイしている選手の映像をメインの画面に表示し、フェアウェイに落ちているボールの状況、大会情報や選手のスコア、天気情報といった関連する画像とデータをサブ画面に配置したり、通信経由で送られてくる情報を画面に重畳したりする画面構成を演出することもできるようになる。

マルチウィンドウ化のイメージを(図9)に示す。

## (3) コンテンツ制作

4Kの高画質コンテンツ制作においては、従来の撮影やコンテンツ制作と異なる以下に示す3つの留意すべきポイントがあると言われている。

### ●撮影技法（カメラ操作）

高解像度の4K映像では、従来のHD映像の半分の距離で見ても粗さが気にならないため、テレビ画面の間近で見ていると、カメラの向きを振るパン(左右)やティルト(上下)によって映像が揺れて船酔いを起こしたような感覚を惹起することがある。そのため撮影時のカメラ操作技術は、4K撮影における重要な要素になる。

### ●カメラフォーカスの難しさ（被写界深度）

4K映像は、解像度が高いため、撮影者がビューファインダーの小さな画面で被写体の焦点が合っているかを確認することが難しいとされている。

また、HDモニターでは焦点が合ったように見えても、4Kのような高解像度になると細かい描写を行えるため、わずかなズレも捉えてしまい実は焦点が合っていなかったという場合がある。

さらに4Kカメラに搭載されるセンサーサイズが大きくなり、それに合わせてレンズの口径

図9 マルチウィンドウ化のイメージ図



も大きくなっているため、従来のHDカメラでの撮影時の感覚で絞りの値を小さくすると焦点の合う範囲が今まで以上に狭くなってしまふ。被写界深度も4Kカメラでの撮影における重要な要素になるわけである。

●膨大なデータ量

前述のように、4K映像は画素数がHDに比べて4倍に、フレームレートも2倍になり、そのため4Kのデータ量はHDの8倍になるため、編集システムや放送機器の大容量化や、機器間のデータ転送速度の高速化が必要である。

また、放送、ネットワークに4K映像を伝送するために、動画圧縮方式は、従来のH.262/MPEG-2の4倍、H.264/MPEG-4 AVC

の2倍の圧縮効率を実現するH.265/HEVCの採用が必須となっている。

(4) 伝送路の確保

現在ケーブルテレビでは、地上波デジタル放送やBS衛星放送の再放送、CS多チャンネルの自主放送、VODとインターネットサービスを提供している。特にHFC伝送においては、伝送帯域にほとんど余裕がないケーブル事業者もあるので、新しい4Kサービスを追加するための帯域確保が急務である。デジアナ変換サービス終了後の帯域は使えるが、4Kコンテンツの増加に伴い、更なる帯域の確保が必要となってくる。

第6章 4K・8K 放送技術の各分野への展開

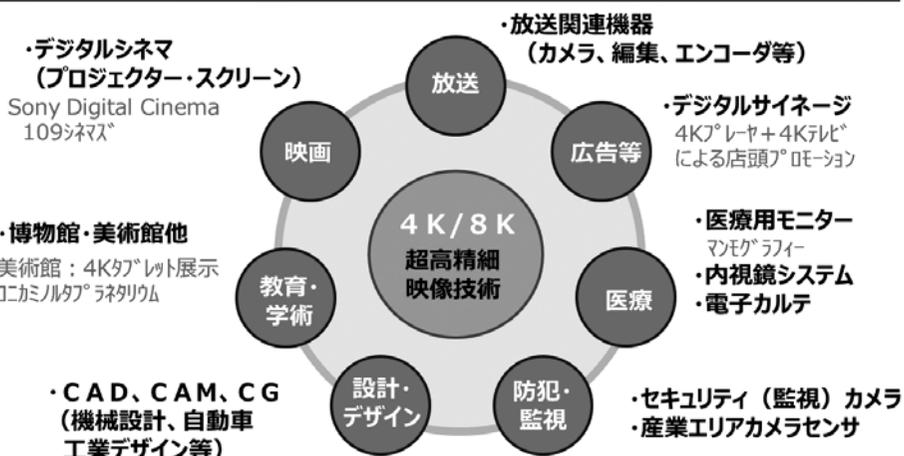
4K・8K放送に用いられる撮影用カメラ、超高精細ディスプレイ等の超高精細映像技術は、4K放送の実用化を皮切りに、(図10)に示すよ

うな広告、医療分野、防犯・監視、設計・デザイン、教育・学術、映画という幅広い分野に急速に拡大していくことが予想されている。



図10 4K/8K技術の各分野への展開

● 超高精細映像技術の応用：民生用途から産業用途へ  
— 高精細ディスプレイや撮像カメラの技術の利用 —



出典：総務省「有料放送の高画質化・高度化等に関する調査研究」より