

究極の二次元テレビへの 挑戦



菅原 正幸

(元NHK放送技術研究所)

- 1 はじめに
- 2 4K8Kの研究開始
- 3 映像フォーマットパラメータの検討
- 4 ITU-Rにおける標準化
- 5 おわりに



1 はじめに

本特集はラジオ放送の開始を起点に「放送100年」としているが、それと同じ時期にBairdや高柳健次郎により、テレビの初期のデモがなされている。その後の技術開発はテレビジョンの「ビジョン」に関わる部分すなわち映像を撮影し、表示する技術（ここではベースバンド技術と呼ぶ）と、「テレ」に関わる部分すなわちその映像を遠隔地に届ける技術（ここでは伝送技術と呼ぶ）、を両輪として進展してきた。それらの技術開発とユーザーニーズ、経済性のバランスが取れて、広く普及したのがStandard Definition Television（SDTV：標準テレビ）と言って良いであろう。SDTVで525または625で安定するまでは、走査線数は技術の進展に伴って増えていて、それらのいくつかは“high definition television”と呼ばれていた¹⁾。

テレビの映像・音声のフォーマット（例えば映像の画素数や音声のチャンネル数）は、サービスの仕様であると同時にシステム内のインターフェースの仕様である。前者は、フォーマットのパラメータ値により、どのような視聴体験を提供できるかが決まる。例えば、高画質映像を大画面で表示し、より高い臨場感の視聴体験を提供するためには、多くの画素数が必要である。後者は、エンジニアリング的な話であり、エコシステム内のインターフェースを標準化することが、テレビのような多数のユーザーを対象とするサービスでは、効率の観点から必要である。また、映像フォーマットは伝送技術の開発上でも前提となる。無線通信を所掌するITU-R（国際電気通信連合の無線通信部門）が、映像フォーマットの国際標準を策定していることもこれを理由とする。

SDTVは、技術、ニーズ、経済性が絶妙にバランスしたシステムであったと述べたが、技術の進歩は継続するので、時代が進むにつれて、より高い性能でバランスすることが可能になっていく。この新たなバランス点を

探求したのが、High Definition Television（HDTV：高精細度テレビ）と言えるだろう。日本のハイビジョン開発がその基になったことは、前項で述べられているとおりであるが、その特徴は、例えば「臨場感」という切り口で人間科学的な面からニーズを研究し、それを基に仕様を策定したことである²⁾。

4K8Kの研究開発も同様のアプローチをとっている。検討対象のパラメータは、ハイビジョンの大きな変更が画素数（走査線数）とアスペクト比だったのに対して、フレーム周波数、表色系など、全種類に及んだ。その背景としては、究極の「二次元テレビ」としての仕様を策定するという研究目標があったことと、技術面では、アナログからデジタルへの技術転換、ディスプレイのCathode Ray Tube（CRT：ブラウン管）からFlat Panel Display（FPD：フラットパネルディスプレイ）への移行がある。

本稿では、以上の観点から4K8Kフォーマットの開発と国際標準化の経緯について概観してみたい。

2 4K8Kの研究開始

テレビジョンの「ビジョン」の部分の技術開発が目指す到達点の考え方の一つは、人間の視覚特性から見て、それ以上に性能を向上させても効果がなくなることと言える。その観点から言うと、HDTVは進歩の余地のあるシステムである。例えば、標準視距離における視角は水平方向で約30度であり、視角180度以上の人間の視野をカバーする範囲は限られている。畑田らは、視角と臨場感の関係の実験結果から、ハイビジョンの設計値である30度を臨場感が増加しはじめる点としており、より広視野映像での臨場感の向上を示唆している³⁾。

そのような漠とした将来像を念頭に超高精細映像の研究がNHK技研において始まったのが1995年である。

ハイビジョンの本格サービスの開始は、2000年にBS放送、2003年に地上放送がそれぞれデジタル化されることを待つ必要があったが、1990年代の半ばには多くのベースバンド技術が開発され、BSのチャンネルを用いてMUSE方式⁴⁾による実用化試験放送が行われていた。そのような状況で、ハイビジョンの次の放送サービスを目的とした研究がNHK技研で始まった。新たなテレビジョンサービスの映像フォーマットは、1節に述べたように、どのような視覚体験を目標としているかにより導かれるものであるが、この段階では、ハイビジョンの4倍の画素数の画像を実際に撮影、提示（デモ）することが先行して研究された。そして、その結果、実現された装置により、詳細な視覚体験と画素数の関係の研究がなされることになる。これについては、3節で説明する。

テレビシステムのデモには、最低限、カメラとディスプレイが必要である。実用化試験放送が始まったとは言え、最先端の技術により実現していたカメラやディスプレイのハイビジョンデバイスをさらに2倍、4倍の性能（画素数）にすることは短期間でできるものではなかった。その課題を解決するために、複数のデバイスを用いた並列化の手法がとられた。デジタル領域における並列化は、並列間の不ぞろいが生じないことから容易であるが、カメラとディスプレイは、アナログ部を持っているので、並列間の不ぞろいが不可避である。そして、それが人間の視覚に検知されるような分割は好ましくない。そのような観点から、2並列のいわゆる空間画素ずらし方式が用いられた。この方式は、アナログ的な不ぞろいに起因する影響がナイキスト周波数（システムが表現できる最も細かな模様）に現れるので視覚に検知されにくい。カラーテレビにおいて解像度に最も影響の大きい撮像、表示システムに緑用の素子を2枚用いるこの方式を適用した。2つの素子間の空間的なアライメントは光学プリズムにより正確に行うことができる。これに、赤用、青用の素子各1を加えたシステムを、デュアルグリーン、あるいは4板方式と呼んだ⁵⁾。



NHK 技研新館披露式典でのデモに用いられたカメラとディスプレイ（2002年）

4板方式によるカメラと投射型ディスプレイ（プロジェクタ）に、フレームメモリによる記録装置を加えたシステムが開発された。スクリーンサイズは、7m×4mであり、最前列の座席では視角110度の広い視野を提供するものであった⁶⁾。

なお、本稿では詳述しないが、映像が上下方向も含め格段に広い視野の表現を行うことから、音声についても上下方向を含めた3次元的な表現が必要とのことで、スーパーハイビジョン用の音響として22.2マルチチャンネルシステムが開発された⁷⁾。

これらのシステムは、2002年3月6日のNHK 技研新館披露式典でのデモを含め、多くの人々にデモされ、多くの肯定的な反応があった。それらを受けて、2005年の愛・地球博での展示⁸⁾を次のマイルストーンとする本格的な研究開発が進められることになる。

3 映像フォーマットパラメータの検討

本格的な研究開発の開始にあたって、具体的な開発項目として、カメラ、ディスプレイに加えて放送システムとして必要な各部分と、コンテンツの可能性を探ることが定められた。それらの開発、ひいては放送サービスとして実現するには、まず、ベースバンド信号の形式の標準化が必要とな

る。ベースバンド信号の形式とは、映像で言えば画素数や毎秒のコマ数（フレーム周波数と呼ぶ）などの映像フォーマットのパラメータの値をさす。システムの各部分の開発，コンテンツの可能性探索と並行して，映像フォーマットのパラメータの検討に2003年に着手した⁹⁾。

(1) アプリケーション

システムの仕様は，本来，アプリケーション（そのシステムを使ったサービス）は何かを定義し，次に，そのアプリケーションの要求条件は何かを，そして，それらの要求条件を満たすための仕様は何か，の順で定められるものであろう。しかしながら，現実的には，存在していないアプリケーションを仔細に定義することは困難であり，実際の開発過程では，試作とアプリケーション，要求条件，仕様の明確化を繰り返すことになる。

4K8Kシステムについては，「高臨場感映像音響システム」というおおまかなアプリケーションイメージに基づいて開発された2002年のデモシステムの試作後，そのイメージをより具体化する作業が行われた。その作業の結果の一つが，図1のイラストである。単なるイラストではあるが，

図1 4K8K開発の初期に用いられたアプリケーションイメージ図



イラストレーターと依頼者（筆者）の間で2～3か月やりとりするなかでイメージを具体化したものである。映像，音響に包まれる体験（その後，没入感，あるいはイマーシブ<immersive>）という言葉を使うようになった）と近寄ってみても映像品質が保たれること

を表している。

この、アプリケーションが何か、という点は4節で詳述するITU-Rでの標準化作業においても厳しく問われた。単に従来技術の延長線上での、用途が不明確な、標準化のための標準化は行うべきではないとの考え方がその底流にある。議論の結果として発行されたレポート¹⁰⁾には、UHDTV (ITUでの4K8Kシステムの呼称。以下、本稿では4K8Kで統一) アプリケーションの効果として、「高い臨場感や実在感」「現実世界のより忠実な映像再現」「より多くの情報提示」、使用される場所として、「リビングルーム」「モバイル、非モバイル機を使った個人スペース」「シアターのような集団視聴」が記されている。

(2) 検討対象とした映像フォーマットパラメータ

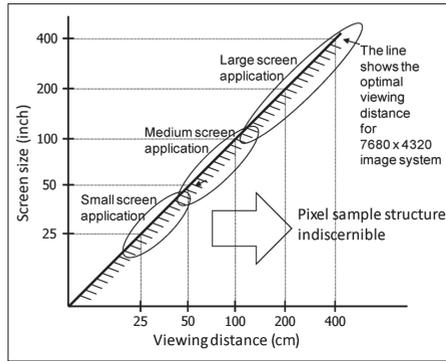
このようなアプリケーションを実現するための要求条件は、人間が映像、音声をどのように受容するかが、最大の要因となる。映像の場合は、人間の視覚システムとの関連が重要である。テレビジョンはその開発過程で、人間の視覚システムに合うように開発が行われてきた。それらは、空間、時間、階調、色に関する属性に分類される。空間に関する情報量を規定するのが画素数であり、「超高精細度テレビ」の名が表すように、必要な画素数に関する研究が第一に行われた。しかしながら、「究極の二次元テレビ」とのコンセプトのもと、時間、階調、色に関する映像パラメータも視覚システムの観点から検討が行われた。

(3) 画素数

図2はどれくらいの大きさの画面をどれくらいの距離で見るとによりアプリケーションを分類し、必要な画素数を検討する際に用いた図である。ITU-R勧告BT.1845は、視角1分が1画素に相当するような条件を最適観

視条件と呼び、この条件での画面サイズと視距離のガイドラインを定めている。これに従って、7,680×4,320画素（8K）システムをプロットした。偶然ではあるが、インチで表した画面サイズとcmで表した視距離が同じ値となっている。

図2 8Kのアプリケーションを説明するために作られた視距離とスクリーンサイズ、解像度の関係を表す図



一般的には、観視者のより広い視野をカバーすることにより、「臨場感」に代表される映像効果がより高くなる。一方、視角あたりの画素数を増やすことにより「実物感」に代表される画質が良くなると考えられる。これらの関係は、当然ながら線形ではなく、人間の視覚受容特性による。「究極の二次元テレビ」を目指すうえで、画素数をそれ以上増やしても、これらの効果への影響がなくなる点は、考慮すべき重要な項目となる。それを知るために、以下の心理物理実験、生体評価を用いた実験、違いが区別できるパラメータの差異（弁別限）の測定などが行われた¹¹⁾。

臨場感の主観評価

単位視角あたりの画素数を一定にして、視角に対する臨場感の主観評価実験が行われた¹²⁾。実験の結果、視角30度（HDTV相当）から100度（8K相当）まで臨場感が単調に増加するとの結果が得られた。しかしながら、この実験は同じ被験者が複数の視角を評価する実験（被験者内要因）であったため、被験者が複数の視角の映像を評価する際に、画面の大きさを直接的に比較した結果が評価に影響を与えるのではないかとの仮説が考えられた。そこでさらに一人の被験者は一つの視角のみを評価する

実験（被験者間要因）が行われた。その結果、30度と60度以上の視角間で有意差が認められた。まとめると、被験者内要因実験ではHDTVから8Kまで臨場感が有意に増加する、被験者間要因実験ではHDTVと4K以上で臨場感に有意な差がある、との結果であった。

生体評価（重心動揺）

高臨場感システムの開発にあたっては臨場感の定量的評価が必要であり、主観評価が最初の選択肢となる。しかしながら、主観評価実験では、意図以外のさまざまな主観的要因の混入する可能性がある。そこで、主観の入り込まない客観的な指標で臨場感を評価する実験も併せて行われた¹³⁾。客観的な指標の一つとして、映像に対する生体の反応、具体的には重心動揺が考えられる。

人間の平衡機能は視角情報を手がかりの一つとしていることから、表示されているシーンと現実世界の違いが小さくなるほど、それらを見ているときの平衡機能の応答の違いも小さくなるとの仮定から、被験者が視角の異なる画像を見ているときの重心動揺（身体の重心が安定せず揺れ動く度合い）の違いが測定された。その結果、76.9度の条件まで重心動揺が減少することが認められた。

解像度弁別

自然画像をコンテンツとして、解像度の増加を識別できる限界を求める実験が行われた。結果は視力2.0以上を含む被験者が角解像度（cycles per degree : cpd）の差を弁別できなくなる点は、40から50cpdであった。この値は、テレビジョンの標準視距離を規定する1画素/1分を30cpdとすると、それ以上の解像度が必要であることを示すものであった。

実物感の主観評価

画像の解像度を変化させて、実物との違いが分からなくなる点を求める

実験も行われた。被験者には実物があることは知らせず、また両眼視による奥行きの手がかりを除去するための特殊な装置が用いられている。結果は、50cpdを超えると実物感は飽和傾向であることが分かった。また、広視野映像の負の効果として考えられる映像酔いの評価も行われている。

以上の実験の結果、高い臨場感や実物感を実現するための視角や角解像度などが明らかになり、これを実現するための画素数については、4K相当から最大8K相当が必要であることが分かった。詳細な画素数について、既存システムとの整合性から1,920×1,080の整数倍、最大7,680×4,320画素が必要であるとの結論が得られた。

(4) フレーム周波数

動画の画質に関連する映像パラメータはフレーム周波数である。これに加えて、標準化デューティ比（一コマ期間で、撮像素子が光を蓄積している、あるいはディスプレイが発光している期間の割合）が動画質に影響する。例えば、撮像素子でのデューティ比は、カメラのシャッタースピードに相当し、デューティ比を小さくすると各コマ内の動被写体のボケが小さくなる。一方、それを動画で見た場合、ストロボ効果（後述）が生じる。

デューティ比はシステム内のインターフェースを取るために必要なパラメータではなく、カメラやディスプレイにおいて設計仕様や運用により決まるものであるが、その設定により映像体験が変わるので、動画質評価時のパラメータに加味して検討が行われた。特に、4K8Kの開発時はディスプレイデバイスがCRT（ブラウン管）からFPD（フラットパネルディスプレイ）への移行期にあたり、ディスプレイのデューティ比が大きくなることに起因して動きぼやけが生じる¹⁴⁾ことに注意が払われた。

動画質を評価する指標としては、フリッカー（ちらつき）、動きぼやけ、ストロボ効果、総合画質が検討された。ストロボ効果とは、撮像におい

てデューティ比を小さくした場合に、ストロボ撮影した静止面の連続のように見える現象である。

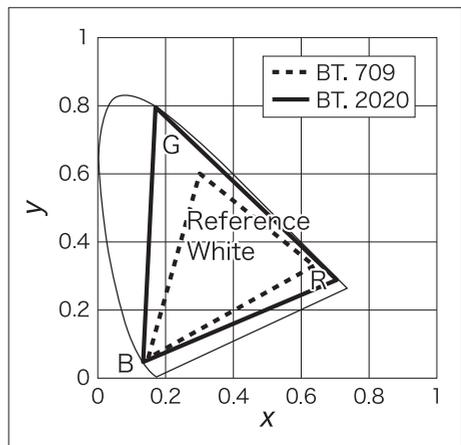
検討の結果、まず、大きな画質劣化要因であるフリッカーを完全に除去するためには、80Hz以上のフレーム周波数が必要であることが明らかとなった。そして、そのほかの画質要因について、60Hz、120Hz、240Hzについての主観評価実験が行われ、画質改善効果が60Hzと120Hz間に比して、120Hzから240Hz間は小さいことが明らかにされた。画質の向上の程度と、フレーム周波数の増加によるエンジニアリングの難易度を考慮し、フレーム周波数の最大値として120Hzをターゲットとすることとなった。

(5) 表色系

色の情報は三次元で表すことができ、これを表色系と呼ぶ。よく知られたCIE（国際照明委員会）のXYZ表色系もその一つであり、人間が知覚できるすべての色を正の値により表現できる。X, Y, Z原色は実在の色ではない（虚色）。虚色を原色とするディスプレイは物理的に実現できない。図3はXYZ表色系を二次元のxy色度図に表現したものであり、馬てい形の内部が実在の色である。

テレビジョンでは、信号を表す三原色としてディスプレイと同じ赤(R)、緑(G)、青(B)三原色が用いられてきた。これは、実

図3



用的な観点から合理的なアプローチである。表示できない信号を扱うことは、テレビジョン応用ではあまり意味がないからである。HDTVの規格策定時までは、CRT（ブラウン管）がほぼ唯一のディスプレイであった。したがって、表色系に関してはCRTの蛍光体により制約される形でそのパラメータ値が決まっていた。

4K8Kの開発時は、CRTからFPD（フラットパネルディスプレイ）への移行期にあたり、さまざまな可能性が考えられた。そこで表示デバイスの制約を取り払った検討を行った。その際の条件が以下である。

- 既存のテレビジョンに関係する表色系の色域や実際の被写体のほとんどがカバーされること
- 表色系のコーディング効率が既存のテレビジョンシステムと同等であること
- すべての色域が表示可能で、画質を管理できるように、表色系の三原色は物理的に実現可能で、リファレンスディスプレイの三原色と共通であること

その結果、波長が青：467nm、緑：532nm、赤：635nmの三つの単色光による表色系を導き出した。図3にITU-R勧告BT.709に規定されたHDTVの三原色と、同BT.2020（後述）に規定された4K8K三原色を示す。三角形の内部が、それぞれが表すことのできる色の範囲であり、4K8Kでは大幅に拡大されていることが分かる。この範囲を満たすべくディスプレイの開発が進められている。

（6）階調

階調に関しては、隣接する量子化レベル間で表示された輝度レベルの差が検知できないことが、基本的な要求条件となる。検知限に関する視覚特

性の先行研究を参照し、12bitではほぼ下回るとの結論を得て、従来の10bitに12bitを追加することとした。

4 ITU-Rにおける標準化

(1) 全体像

新たな映像フォーマットを放送に導入するためには、国際的な標準規格となることが欠かせない。ハイビジョンの国際標準化活動での経験から、ITU-Rにおける4K8Kの国際標準化の取り組みは、比較的早くに開始された。

ITU-Rの放送業務を扱うStudy Group (SG) 6においては、2000年代前半にデジタルシネマ（のちにLarge Screen Digital Imagery (LSDI)）を取り扱うTask Group (TG) 6/9が活動していた。超高精細映像の応用という観点から、この活動への寄与を開始した。デジタルシネマの画素数は、DCI規格では映像は2K (2,048×1,080) または4K (4,096×2,160) で、水平方向が2のn乗となっている。これは、デジタル化がラインセンサー（線状に対象物をスキャンして撮像し、1枚の画像に合成するカメラ）によるフィルムのスキャンから始まったことに由来している。そのようななかで、TG6/9における活動結果として、Recommendation ITU-R BT.1769が2006年に成立し（現在は廃止）、画素数として7,680×4,320と3,840×2,160、すなわち、水平、垂直ともHDTVの4倍および2倍を規定したことは大きな一歩であった。

ITU-R SG6 Working Party (WP) 6Cにおける4K8Kの標準化活動は、2008年の4月会合において日本の提案により始まった。その後、4K8Kの標準化は時期尚早といった否定的な意見もあったが、ラポータグループ（課題ごとの検討グループ）の議長を引き受けることなどにより、日本が作業をリードした。技術的な寄与は主に日本と韓国から行われ、技術内容

については、日韓で意見が異なる場面もあったが、両国の活動は4K8Kの国際標準化の必要性を示すものであった。4年間の研究会期中に4K8K放送に必要な技術基準の基礎となる、映像フォーマットの勧告を作成することを目標に進めた。その結果、2012年に勧告BT.2020として成立した。以下に、意見の違いがあった点について概説する。

(2) 特に議論があった点

表色系

画素数に関しては、アプリケーションで合意できたのちは、HDTVの2倍、4倍の $3,840 \times 2,160$ と $7,680 \times 4,320$ という値に異論はなかったが、表色系については、議論があった。まず、韓国がExtremely High Resolution Imagery (EHRI：映像システムを解像度の観点から分類したときに、HDTV以上の解像度を持つもの)用として三原色に一部虚色を利用する新たな表色系を提案した。これに対して日本は、前述の条件、特にモニタリングの観点で実在色を三原色にすべきとの立場から、4K8K用の表色系を提案し、議論となった。実在色にすべきとの考えには同意が得られたが、赤の色度点については、波長625nmの純色とする韓国案と同635nmの日本案で違いが残った。最終的には、折衷案として630nmの純色とすることで合意した。

色差信号式

表色系以上に議論となったのが、輝度・色差信号式である。HDTVまでの輝度信号式は、Y'信号が輝度を正確に表していない(定輝度でない)ことから、画質への影響は大きくないものの、課題のあることはテレビ技術者の間ではよく知られていた¹⁵⁾。

これを提案してきたのが韓国である。一方、現在の「非定輝度」の隠れた利点、例えばエンコードしたままの信号処理結果がRGBで行った場

合と同じになるなど、については十分に認識されておらず、ようやく色差信号式に関するラポータグループの活動のなかで、明らかになった。その結果、「定輝度」と「非定輝度」方式それぞれに利点と欠点があるとの理解となり、結果として両方式を並記する形の勧告となった。



ラポータ会合で、検討結果をEBU（ヨーロッパ放送連合）の専門家にデモし意見聴取している様子（右から、WP6C議長Wood氏、韓国代表Choi氏、筆者）

(3) フレーム（フィールド）周波数

規格に記載されるパラメータ値は、一つに統一されることが、標準化の趣旨からして理想的である。テレビの映像パラメータでは、歴史的経緯により、SDTVでは走査線数（画素数に相当）が525本と625本、フィールド周波数が60Hzと50Hzで、地域により異なっていた。これらの地域間で番組を交換する際には、信号変換機が必要であった。HDTVの標準化では、画素数が1,920×1,080に統一され、番組交換の利便性や機器の簡素化に大きく貢献した。しかしながら、フレーム（フィールド）周波数はSDTVと同じ60Hzと50Hzが規定され、それぞれの地域でSDTVと同じ値が使われていた。これは、各地域でHDTVとSDTVの相互運用性を維持したいというのが大きな理由である。

また、日本や米国で用いられている60Hzはより正確には59.94Hzであり、フラクショナル周波数と呼ばれる。これが、NTSC（National

Television System Committee：全米テレビジョンシステム委員会）方式が白黒からカラーに移行する際に、色副搬送波と音声搬送波の干渉を見えにくくするための変更であったことはよく知られていることである^{15*)}。その後導入された映像信号のフレームを時間で管理する放送局システムでは、フラクショナル周波数を扱うには工夫が必要となり、その不便さは今日まで続いている。

以上のように、4K8KのITU-Rでの標準化開始時のフレーム周波数の課題としては、世界が50Hz圏と60Hz圏に分かれていること、60Hz圏では整数周波数でない59.94Hzが使われていることの二つがあった。

4K8Kの映像パラメータの規格であるITU-R勧告BT.2020は、2012年に成立後、これまでに2014年、2015年の2回、改定されている。フレーム周波数に関する規定を見ると、60Hzを超える周波数が2012年版では、120Hzのみの規定であるが、2014年版を経て2015年版になると100Hzと120/1.001Hzが追加されている。これは以下の経緯によるものである。

まず、日本の寄与文書により60Hzを超えるフレーム周波数の必要性が合意された。そのうえで、従来のフレーム周波数では難しいものの、60Hzを超える高フレーム周波数は世界統一が望ましいことから、50Hz圏、59.94Hz圏、双方にとってそれぞれ、従来フレーム周波数との変換においてどちらか一方だけが2倍という「メリット」を享受するのではない、120Hzが選定されたものである。これにより、いったんは長年の悲願であった世界統一とフラクショナルフレーム周波数からの決別が達成された。この背景には、デジタル信号処理の進歩により、単純な整数関係でなくても、以前に比べれば容易に、そして高画質なフレーム周波数変換が可能になったことがある。

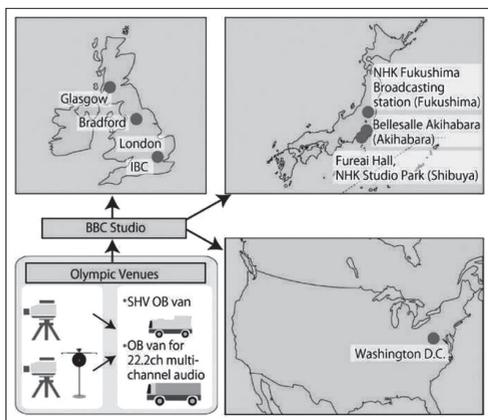
しかしながら、その後、50Hz圏である欧州から、電源周波数に同期して明るさが変化する照明により照らされたシーンを撮影した場合に、50Hz照明（100Hzで明るさが変化する）を120Hzで撮影すると20Hzのフリッカーが生じるので、100Hzを規格に含める提案があった。照明

のLED化などにより、そのようなケースは減るということで説得を試みたが、納得が得られず、100Hzも追記することとなった。それに伴い、59.94Hz圏側も、世界統一のメリットがないのであればということで、2倍の119.88Hzを含めることを主張し、最終的に、60Hzを超える高フレーム周波数も、120Hz、119.88Hz、100Hzの三つの値が記載され、フレーム周波数の統一はなされなかった。

個人的には、フレーム周波数が統一されなかったこと、および、フラクショナルフレーム周波数から決別できなかったことは、50Hz圏の要求を入れないと標準化の合意はできなかったであろうし、フラクショナルでない整数の倍速フレーム周波数では、60Hz圏の現在の周波数のちょうど倍にならないので、倍速システムを導入する難度が増すことは分かりつつも、大変残念に思う。特にフラクショナルフレーム周波数に関しては、前述の編集に加え、放送局設備がIP化されつつある現在では、正確な時計システムを用いるため相性が良くない部分があり、今後も付き合っていかなければならない不便な点である。

このことは、そのときの課題をスマートな方法で解決しても、技術が変わるとそれが逆にあだになってしまう例と言える。NTSCをカラー化する際に、音声副搬送波の周波数のほうを変更するという選択肢はなかったと思うが、ついそう考えてしまう。インターレース（飛び越し走査）もアナログ圧縮技術では優れていた

図4 ロンドン五輪でのパブリックビューイング実施箇所



が、デジタル圧縮の普及で逆に不便になってしまったという点では似ているかもしれない。多くの映像システムがプログレッシブ（すべての走査線を一本ずつ順番に伝送）に移行することにより（4K8Kもプログレッシブのみが規定）、インターレースのデメリットは減少しつつあるが、フラクショナルフレーム周波数の端数の問題はどのように解決されていくだろうか。

（4）普及展開活動

ITU-Rでの標準化が成功した要因として、国際的な普及展開活動がある。2005年の愛・地球博の翌年から、NAB show（全米放送事業者協会の見本市）やIBC（国際放送機器展）、さらには標準化の審議を行っているITU-R本部においてもデモが行われた¹⁶⁾。大画面のシアター形式に加えて、後年は家庭サイズの直視型ディスプレイも加え、アプリケーションとしての説得力と超高精細による映像効果をアピールした。そのハイライトが2012年に、日本、イギリス、米国で実施されたロンドン五輪のパブリックビューイングであった¹⁷⁾。イギリスにおいては、開会式を含めた五輪競技をBBCと共同で8Kにより中継制作した。制作したコンテンツは、ネットワークを通じて伝送し、BBCと共同でイギリス国内においてパブリックビューイングを行った。米国にも伝送し、NBCと協力してパブリックビューイングを行った。日本においても3か所でパブリックビューイングが行われた。パブリックビューイングの評価は高く、「あたかもオリンピックスタジアムで見ているようだった」、「臨場感というものが初めて分かった」などの好意的なコメントが多くあった。欧米の放送事業者とともに活動を行うことにより、新たなメディアへの理解を共有し、国際標準化をスムーズに進める助けとなった。

5 おわりに

4K8Kは、日本では2018年に新4K8K衛星放送としてサービスが開始された。ここに至るまでには、技術面で見ただけでも、映像分野、音声分野で、圧縮、多重化、伝送、記録、表示技術や、番組制作、送出行うためのシステム構築、運用技術などが、多くの人たちにより開発されたことはいうまでもない。それらについては、NHK放送技術研究所編『スーパーハイビジョン技術』¹⁸⁾を参照願いたい。

最後に、メディアの形態という面から今後の方向性を考えてみたい。まず4K8Kの二次元映像については、今後、浸透の速度を速めていくであろう。ただし、かつてのように一つのフォーマットに統一されることはなく、必要に応じてフォーマットが使い分けられることになると思われる。これは、システムのデジタル化により多様なフォーマットを容易に扱えるようになってきたことが大きい。8Kの普及については、視角100度の広視野な視聴形態が広まり、併せてそれに対応した（従来の視野を対象としたものとは異なる）映像制作（プロダクショングラマー）の開発が望まれる。広視野視聴が広がるには、ディスプレイの進歩がキーと考えられる。ハイビジョンの普及に合わせてサイズが拡大してきたLCD（液晶ディスプレイ）やOLED（有機ELディスプレイ）などのサイズは、100インチ程度まで達している。このサイズのディスプレイが家庭に入ることは不可能ではないが、広く普及するにはやはり物理的な困難が伴う。導入ができたとしても、使わないときにも存在する「スペース」が美しくない、無駄との感覚もある。それを解決するディスプレイとして、現在の延長線上のものとしては、丸めて片づけることができるディスプレイが登場している¹⁹⁾。また、空中ディスプレイ²⁰⁾は物理的な制約を抜本的に解決すると期待される。いずれにしても、現状の8Kディスプレイはハイビジョンの歴史に当てはめるとCRTに相当するというのが筆者の見方であり、広視

野な視聴形態が本格的に普及するためには、FPDがCRTの奥行き方向の物理制約を解決しハイビジョンを普及させたようなディスプレイ技術のブレークスルーが待たれる。

4K8Kは高臨場感を目指したシステムであるが、「究極の二次元テレビ」の名が示すように、あくまで二次元のテレビジョンサービスを目指したものである。三次元テレビに必要な立体感の手がかり²¹⁾としては、二次元網膜像から得られる要因を強化してはいるが、それ以外の調節、ふくそう、両眼視差、運動視差などは提供しない。またテレビジョンサービスであるので、固定したスクリーンを限定された位置から見ることを前提としている。実際の視覚体験と同じあるいはそれ以上の体験をしたいというのは、人間の欲求の一つと考えられるので、立体感の手がかりを現実と同じように与え、さらには、自由に動き回れるような仮想世界を映像化するような方向のメディア進化は続くものと考えられる。いわゆるXRの世界である。しかしながら、その映像を使うサービスはかならずしも現在のテレビ放送と似たようなサービスに限らないだろう。ビジネスとして成立しやすいエンターテインメント分野に限らず、教育や医療を含む産業分野での利用も想定される。4K8Kの標準化において、初めにまずそのアプリケーションが問われたように、新たな映像メディアの要件、仕様はアプリケーションが何かにより定められるべきものであろう。一方、新たなアプリケーションを現実的なものとして想像し作り出すには、一定の技術的な実現可能性を示すことが助けとなる。技術開発とアプリケーション開発を両輪として映像メディアがさらに発展することを期待したい。

2024年3月に刊行された本誌の262ページ、267ページに誤りがありました。
このPDFでは、

- ・262ページの3行目に、注15*)を追記、
 - ・267ページの参考文献10)11)12)15)の内容を修正し、15*)を追記いたしました。
- 訂正するとともにお詫び申し上げます。

参考文献

- 1) A. Abramson, "The history of television, 1880-1941", McFarland, Jefferson NC USA, 1987
- 2) 二宮佑一・大塚吉道 (1996) 『ハイビジョン方式技術』コロナ社
- 3) 畑田豊彦・坂田晴夫・日下秀夫 (1979) 「画面サイズによる方向感覚誘導効果—大画面による臨場感の基礎実験」『テレビジョン学会誌』vol.33, no.5, pp.407-413
- 4) 二宮佑一 (1990) 『MUSE—ハイビジョン伝送方式』コロナ社
- 5) 菅原正幸・三谷公二・齋藤敏紀・藤田欣裕・末次圭介 (1995) 「4板撮像方式における画素ざらし効果についての検討」『テレビジョン学会誌』vol.49, no.2, pp.212-218
- 6) M. Sugawara, M. Kanazawa, K. Mitani, H. Shimamoto, T. Yamashita, F. Okano (2003). "Ultrahigh-Definition Video System with 4000 Scanning Lines," SMPTE Motion Imaging Journal, vol.112, no.10-11, pp.339-346
- 7) K. Hamasaki, K. Hiyama, T. Nishiguchi, K. Ono (2004), "Advanced Multichannel Audio Systems with Superior Impression of Presence and Reality," AES 116th Convention: Paper 6053
- 8) 安藤孝・金澤勝・濱崎公男 (2005) 「地球博スーパーハイビジョンシアター～走査線4000本級超高精細大画面映像と2.2マルチチャンネル音響システム～」『映像情報メディア学会誌』vol.59, no.4, pp.502-505
- 9) NHK放送技術研究所 (2003) 『研究年報』, 同 (2004) 『研究年報』
- 10) ITU-R (2020), "The present state of ultra-high definition television," Report ITU-R BT.2246-7
- 11) 菅原正幸 (2008) 「スーパーハイビジョンの開発における人間科学的側面からの研究」『電子情報通信学会論文誌』vol.J91-A, no.6, pp.613-621
- 12) K. Masaoka, M. Emoto, M. Sugawara, Y. Nojiri, (2006) "Contrast effect in evaluating the sense of presence for wide displays," Journal of the SID, vol.14, no.9, pp.785-791
- 13) 江本正喜・正岡顕一郎・菅原正幸 (2007) 「広視野映像システムの臨場感評価」『信学技報』CQ2006-84, pp.25-30
- 14) 栗田泰市郎 (1999) 「ホールド型ディスプレイにおける動画表示の画質」『電子情報通信学会技術研究報告』vol.EID99, no.10, pp.55-60
- 15) C. Poynton (2012), "Digital video and HD algorithms and interfaces second edition," Chapter 10, Morgan Kaufmann, Waltham MA USA
- 15*) 大塚吉道 (2000) 「NTSC-フィールド周波数59.94Hz, 1000/1001の秘密」『映像情報メディア学会誌』vol.54, no.11, pp.1526-1527
- 16) NHK放送技術研究所 (2006) 『研究年報』, 同 (2007) 『研究年報』
- 17) M. Sugawara, S. Sawada, H. Fujinuma, Y. Shishikui, J. Zubrzycki, R. Weerakkody and A. Quedest (2013) "Super Hi-Vision at the London 2012 Olympics," SMPTE Motion Imaging Journal, vol.122 (January/February), pp.29-39
- 18) NHK放送技術研究所編 (2021) 『スーパーハイビジョン技術』
- 19) <https://www.youtube.com/watch?v=Jzr7208A-os&t=10s>
- 20) 映像情報メディア学会 (2021) 「空中ディスプレイ」『映像情報メディア学会誌』vol.75, no.2, pp.180-212
- 21) 大越孝敬 (1972) 『三次元画像工学』産業図書



菅原 正幸 (すがわら・まさゆき)

1983年NHK入局。神戸放送局を経て、1987年から放送技術研究所にて、固体撮像素子、ハイビジョンカメラ、スーパーハイビジョンシステムの研究に従事。この間、ITU-R、ARIB等で4K8Kの標準化に寄与。2000年から2004年、電気通信大学客員助教授。2015年より、日本電気株式会社 放送・メディア事業部。2022年より、リーダー電子株式会社。SMPTEフェロー、映像情報メディア学会フェロー。