

1. スーパーハイビジョンの研究

1995年から着手したハイビジョン(HDTV)を超える超高精細映像の研究は、2000年以降、走査線数4000本級映像の研究へと進展し、機器開発も進んだ。

基礎研究では、画角と臨場感の関係を主観評価実験、生体指標を用いた実験により明らかにした。また、実物感を評価指標として、解像度と実物感の関係を明らかにするための主観評価実験を行い、スーパーハイビジョンの画素数を検討する研究を進めた。あわせてスーパーハイビジョンにふさわしいフレーム周波数を検討する研究も進めた。

これらの研究成果をもとにスーパーハイビジョン方式の国際標準化への寄与を進めた。スーパーハイビジョンの映像パラメーター関連では、2006年にITU-R BT. 1769、2007年にSMPTE 2036-1を策定(2009年に一部追加修正)し、水平、垂直方向の画素数がおのおのHDTVの4倍の映像システムを規定した。音響については多チャンネル音響再生方式の研究から始まり、上下、左右、奥行き方向に3次元音響が再現可能な22.2マルチチャンネル音響システムをスーパーハイビジョン音響システムとして提案し、SMPTE 2306-2となった。

機器開発では、2000年には800万画素のCCD撮像素子を用いた走査線数2000本級のカメラを開発し、2001年には800万画素CCD撮像素子を4枚用いた走査線数4000本級カメラ、同じく800万画素液晶素子を4枚用いた4000本級の前面投写型プロジェクターを開発した。あわせて映像を記録再生するためのフレームメモリーを開発した。その記録時間は約30秒間であった。2005年に開催された国際万国博覧会「愛・地球博」では、メイン展示館であるグローバルハウスで4000本級高精細映像コンテンツの展示を行った。この展示コンテンツの制作のため、1.25インチのCMOS撮像素子を4枚用いたプロトタイプカメラ、スクリーンサイズ600インチを可能にする前面投写型プロジェクター、約18分の記録再生が可能なビデオディスクレコーダーを開発した。

カメラについては、2008年に新たなCMOS撮像素子の導入による高性能化を行うとともに、3300万画素のCMOS撮像素子の開発を行った。3300万画素の撮像素子を用いたフル解像度カメラについては2007年にモノクロ撮像実験、2008年にカラー撮像実験を行い、2009年のプロトタイプを目指した撮像実験装置の開発に至っている。表示装置については、2008年度末には3300万画素の液晶素子をR、G、B用に3枚用いたフル解像度前面投写型プロジェクターを導入した。記録装置についても非圧縮の映像信号をおよそ2時間記録再生できるハードディスク装置を2007年に開発した。

さらに、圧縮符号化装置としてMPEG-2方式、MPEG-4 AVC/H. 264方式の装置をそれぞれ2005年、2008年に開発した。また、スーパーハイビジョンの伝送では2005年の非圧縮光ファイバー伝送に始まり、2006年には広帯域ネットワークを通して圧縮符号化した信号を伝送する実験に成功している。IP(Internet Protocol)伝送では日本電信電話(株)、NTTコミュニケーションズ(株)と共同で、IPマルチキャスト伝送にも成功した。将来の家庭への放送実現を目指して、21GHz帯衛星伝送実験を実施した。2009年の技研公開では、(独)情報通信研究機構(NICT)の超高速インターネット衛星「きずな」(WINDS)衛星を用いて、1中継器でスーパーハイビジョン3番組を伝送した。

機器開発の初期の頃からスーパーハイビジョンの魅力伝えるコンテンツの制作を継続して実施し、機器とコンテンツをさまざまな展示会などで展示した。2002年の技研新棟落成披露で4000本級映像によるコンテンツを初めて公開した。技研と放送技術局が協力して行った初の本格的なスーパーハイビジョンのロケは、2003年に屋久島で行われた。撮影した映像は2003年の技研公開コンテンツと愛・地球博のコンテンツの中で使われた。2004年には、放送総局と愛・地球博事務局が中心となり、技研、放送技術局、(株)NHKエンタープライズ21、(株)NHKテクニカルサービスなどが協力して、全国約30か所で900分あまりの映像収録を行い、約7分の番組2本を制作し、愛・地球博で公開した。愛・地球博は2005年3月から半年

間にわたって開催され、600 インチのスーパーハイビジョンシアターには、会期中、およそ 156 万人の観客が訪れ好評であった。また愛・地球博を前に、4000 本級システムに「スーパーハイビジョン」という愛称がつけられた。2005 年 10 月には日本で 4 番目の国立博物館となる九州国立博物館が福岡県の太宰府に開館し、スーパーハイビジョンシアターが常設された。ここでは、館所蔵の美術品や有形文化財がスーパーハイビジョンの静止画を中心としたコンテンツとして上映され、新たな映像応用として注目された。

2005 年は技研の開所 75 周年にあたり、技研公開の記念のイベントとして千葉県鴨川からスーパーハイビジョンの光ファイバーを用いた生中継を初めて実施した。2005 年末には NHK ホールに隣接した NHK ふれあいホール内にスーパーハイビジョンシアターを設置して、「NHK 紅白歌合戦」の映像を一般の視聴者に生で公開した。2005 年は愛・地球博に始まり年末の紅白歌合戦までスーパーハイビジョンにとって大きな節目の年となった。その後、スーパーハイビジョンの普及促進のため海外を含め、多くの展示を実施した。2006 年には NAB、IBC、CEATEC JAPAN、紅白歌合戦、2007 年には NAB、Interop Tokyo、2008 年には NAB、広島局(広島フラワーフェスティバル)、BroadcastAsia、IBC、熊本放送局開局 80 周年イベント、紅白歌合戦、2009 年には NAB、横浜開港 150 周年、紅白歌合戦で展示を実施した。特に、2006 年の紅白歌合戦パブリックビューイングでは、大阪局のスタジオ内にスーパーハイビジョンシアターを設置し、渋谷の NHK ホールから生で紅白歌合戦を伝送し、およそ 100 人の一般視聴者に公開した。また、2008 年の IBC 展示では、イギリスの公共放送 BBC と共同でイギリスのロンドンからオランダのアムステルダム会場までブロードバンドネットワークによるスーパーハイビジョンの生伝送実験、およびイタリアの公共放送 RAI と共同でイタリアのトリノからアムステルダム会場までユーテルサット(欧州衛星通信機構)の衛星によるスーパーハイビジョンの伝送実験を行い展示した。コンテンツ制作では、ニューヨークやハワイなどの外国ロケや水中撮影、空撮なども試みた。

以上のように、1990 年代に技研でスタートした超高精細映像の研究は、2000 年からの 10 年間で機器の研究開発、伝送実験など大きく進展した。これらの展示や標準化活動により 4000 本級映像「スーパーハイビジョン」は広く世界中の放送関係者に認知されることとなった。

[野尻 裕司]

1.1 スーパーハイビジョン方式

超高精細映像における広視野システムの効果についての研究を 2003 年に開始した。広視野映像の提示視角(画面角)と臨場感の関係について、主観評価実験および生体指標を用いた評価実験を実施した。試作した走査線数 4000 本級超高精細映像表示用プロジェクターを用いた主観評価実験により、提示水平視角 100 度まで臨場感が単調増加するという結果が得られた⁽¹⁾。視覚からの情報が姿勢制御に影響を及ぼすとの考えから、静止画を提示した場合の姿勢制御の安定性を重心動揺を指標として測定した。実験の結果、提示水平視角が広がるにつれて、姿勢制御応答が安定し、およそ 60 度以上では飽和傾向にあることが明らかになった⁽²⁾。

2004 年は、臨場感を空間的存在感や現実感などの複数量要因に分類して詳細な検討を行った。観視条件(画面サイズ、解像度、視距離)を変化させて臨場感および好ましさについての評価実験を行った。画面サイズが大きくなると、より小さい相対視距離において、臨場感に加えて好ましさも高く評価されるとの結果を得た⁽³⁾。また、別の実験により従来の主観評価の指標「力量感」と指標

「臨場感」の相関が高いこと、臨場感の主観評価と重心動揺軌跡長の相関は低いことを示した⁽²⁾。

2005 年は、広視野映像のネガティブな面として、映像酔いの提示視角依存性について検討を行った。振動映像観視時の酔いについて、主観評価指標(SSQ: Simulator Sickness Questionnaire、SSCQE: Single Stimulus Continuous Quality Evaluation)と生体指標(心電揺らぎと手の甲の温度)を用いて評価した。その結果、主観評価は SSQ、SSCQE のいずれも水平提示視角が広がるにつれて増加すること、心電計測によって振動映像により誘起される生理的変化の検出が可能であり、振動映像観視時の心電 LF/HF 比(心電揺らぎの低周波成分と高周波成分の比)が安定映像観視時に比べて有意に変化すること、水平提示視角 33 度で交感神経優位(正規化 LF/HF 比が 1 以上)となり、広視角ではさらに高進する傾向を示すことなどを明らかにした⁽⁴⁾。

スーパーハイビジョン映像フォーマットの最適なパラメーター値を検討する研究を 2006 年に開始した。前年までの研究を発展させて、臨場感と映像提示視角の関係について 2 つの実験計画(被験者内計画、被験者間計画)

により評価を行った。その結果、1人の被験者が1つの提示視角のみを評価する条件(被験者間計画)では、1人の被験者がすべての提示視角を評価する条件(被験者内計画)に比して、広提示視角で臨場感が飽和する傾向が見られた⁽⁵⁾。

画素数を検討するうえでのもう1つの要因である、角解像度に関する研究を2006年に開始した。「実物感」を評価指標として、必要とされる角解像度の検討を行った。主観評価実験の結果、角解像度が40から50 cpd (cycles per degree) で実物感が飽和する傾向を示した⁽⁶⁾。2007年には、解像度の弁別を評価指標として、必要とされる角解像度の検討を、国際医療福祉大学との共同研究を中心として行った。その結果、両眼視力1.0以上の人全体を対象としても、解像度を40から50 cpd とすれば十分であることを明らかにした⁽⁷⁾。2009年には65インチ程度の画面サイズでスーパーハイビジョンの利点を訴求するための新たな視聴形態、評価要因についての研究を開始した。

2007年より、フレーム周波数に関する研究を開始した。動体視力の提示視角依存性をランドルト視標が読める速度として測定した。その結果、提示視角が広がると動体視力が向上することを示した⁽⁸⁾。次に、蓄積時間、被写体速度と動きぼやけの関係を検討した。静止画像を素材として動きぼやけを模擬し、静動が連続したシーンを作成して静止部分に対する動部分の劣化(ぼやけの程度)を5段階で主観評価した。許容限を与える1フレームあたりの最小移動画素数は6程度であることから、追従視できる約30度/秒以内の動きの被写体の動きぼやけを許容限以下とするには、蓄積時間を約1/300秒以下にする必要があることを明らかにした⁽⁹⁾。

2008年には、ストロボ効果と時間軸パラメータの関係について検討を行った。評価映像は高速度カメラで撮影したスポーツ映像で、速度は20から180度/秒である。フレーム周波数240 Hz、開口率100%の映像を基準画像として5段階評価の結果、開口時間一定の条件では240 Hzまではフレーム周波数を上げるほどストロボ効果による劣化は小さくなることが示された。フレーム周波数一定で開口率を変えた条件では、被写体速度が大きい場合は開口率が小さくなるに従い評価が低くなるのに対して、被写体速度が小さい場合は劣化はほとんどなかった。これらの結果から、フレーム間の被写体移動が小さくなるように被写体速度を5~10画素/フレーム以下にすることがストロボ効果を生じない条件であることが示唆された⁽¹⁰⁾。

2009年に、提示視角およびディスプレイのデューティ比をパラメータとして、臨界フリッカー周波数(CFF)を調整法により測定した。映像の提示視角と

CFFの関係では、視角30度でCFFは65 Hz程度であるが、視角100度では80 Hzを超える値となった⁽¹¹⁾。また、視角100度の場合、デューティ比が90%から30%に減少するにつれて、CFFは65 Hzから80 Hzに増加した。このことから、ホールド型ディスプレイに起因する動きぼやけをデューティ比を小さくすることにより改善する手法ではフリッカーの増大を招き、フレーム周波数が60 Hzでは十分でない可能性が示された。

2009年には、新たな表色系の検討に着手した。表色系パラメータの主たる要求条件として、①既存システムを包含し、実在表面色をできるだけカバーすること、②実現可能なディスプレイによりモニター可能なこと、③コストに見合う原色数を用いることを設定し、R、G、Bの各色度点をそれぞれ、635 nm、532 nm、467 nmの単波長光源に相当する値とすることを提案した⁽¹²⁾。

以上の研究は、岡野文男、野尻裕司、菅原正幸、西田幸博、江本正喜、白川美穂、正岡顕一郎、松尾康孝、大村耕平が主に担当した。

[菅原 正幸]

1.2 カメラ

ハイビジョンを超える解像度で60フレーム/秒以上の動画像が撮影できるカメラの研究を継続し、2000年からは走査線数4000本級の撮像システム(後のスーパーハイビジョンシステム)の研究開発を開始した。

1998年から取り組んでいるCCD撮像素子の高速駆動と並列出力撮像素子の信号処理方法の研究を継続した。2000年に2.5インチ786万画素CCD撮像素子を3枚用いた3840画素×2048ライン、60フレーム/秒・順次走査方式のカラー撮像実験装置を試作した⁽¹³⁾。2001年には786万画素CCD撮像素子を緑に2枚、赤、青にそれぞれ1枚を使用した4板式撮像方式を採用した走査線数4000本級のプロトタイプカメラ1号機を試作した⁽¹⁴⁾。カメラ開発と並行して、撮像素子の出力端子間の不均一特性の補正法⁽¹⁵⁾や輪郭補償回路内で生じる4板撮像方式に特有の色偽信号の低減法を開発し、その効果を確認した⁽¹⁶⁾。

2002年からプロトタイプカメラの小型化に着手した。2002年に1.25インチ830万画素CMOS撮像素子を開発し、性能評価を行った^(17,18)。さらに列並列出力構造のCMOS撮像素子に特徴的な縦筋状のノイズを抑圧する手法を考案した。2003年には、この撮像素子を用いた4板撮像方式により、緑信号で3200 TV本以上の解像度を有する走査線数4000本級小型撮像実験装置を試作した^(19,20)。2004年には、これらの研究成果を反映させてプロトタイプカメラ2号機を開発した⁽²¹⁾。さらに、新規開発した実時間レンズ色収差補正機能⁽²²⁾により5倍

のズームレンズ(水平画角 15~67 度)を使用した高画質撮影が可能になった。このカメラシステムは 2004 年から 2005 年にかけて、愛・地球博展示用コンテンツ制作のための素材ロケで活躍した。2008 年には、性能を大幅に改善した 890 万画素 CMOS 撮像素子を開発し、このカメラに採用することで感度 2000 lux/F 5.6、SN 比 55 dB を達成した。

2006 年から赤、緑、青の信号とも 7680×4320 画素の解像度を有するフル解像度カメラの研究開発を進めた。まず、60 フレーム/秒で動作する 3300 万画素撮像素子を試作し、その撮像性能を評価した。また、撮像素子から出力される 2 Gbps のデータを処理する信号処理回路を試作した。2007 年にはこれらの成果をまとめ、60 フレーム/秒で動作する 3300 万画素モノクロ撮像実験装置を開発し、2008 年に 2.5 インチ色分解プリズムと専用の超高精細レンズを試作し、3300 万画素撮像素子を 3 枚用いた世界初のスーパーハイビジョンカラー撮像実験装置を開発した⁽²³⁾。限界解像周波数 4320 TV 本において約 20% の変調度を実現し、感度 2000 lux/F 4、SN 比 45 dB と当初の目標性能を達成した。この試作装置をもとに、2008 年後半から 2010 年にかけてフル解像度プロトタイプカメラの開発を進めた。カメラ開発と並行して、10 G-SDI ボードを 9 枚用いたカメラヘッド-CCU インターフェースや機器間を簡易に接続する 12 芯並列光インターフェースを開発した⁽²⁴⁾。2009 年前半までにカメラとしての基本的な機能を実装し⁽²⁵⁾、2010 年前半までに屋外でのテスト収録ができるカメラシステムとしてまとめた(図 1.1)。

以上の研究は、岡野文男、野尻裕司、菅原正幸、三谷公二、島本 洋、白川美穂、山下誉行、古賀則行、船津良平が主に担当した。

[三谷 公二]



図 1.1 3300 万画素 3 板式スーパーハイビジョンフル解像度カメラシステム (口絵参照)

1.3 ディスプレイ

1.3.1 スーパーハイビジョンプロジェクター

2000 年から走査線数 4000 本級となるスーパーハイビジョン表示装置の研究開発を開始した。1999 年からタイトル方式での超高精細表示を検討していたが、この方式では画面のつなぎ目を目立なくすることは困難であるため、2001 年には 1.7 インチ 2000 本級の反射型液晶表示素子(LCOS)4 枚によるデュアルグリーン方式(R、G1、G2、B)のプロジェクターを開発し(図 1.2)、所要の解像度特性を満足していることを確認した^(26,27)。当初、320 インチのスクリーンへ投写していたが、愛・地球博でのシアター展示に向けて 2004 年にはスクリーンサイズを 450 インチとした。また、このプロジェクターの調整を行うため、コンバーゼンス自動補正装置を開発した⁽²⁸⁾。

このプロジェクターを用いて、2005 年には愛・地球博のテーマパビリオンに、画面サイズ 600 インチ、300 名収容のスーパーハイビジョンシアターが設置され、半年間の会期中に 150 万人以上を集客した⁽²⁹⁾。同じく 2005 年 10 月に開館した九州国立博物館には、画面サイズ 350 インチのスーパーハイビジョンシアターが常設された⁽³⁰⁾。2005 年から、ふれあいホールで紅白歌合戦のパブリックビューイングを行っている⁽³¹⁾。2005 年は仮設であったが、2006 年に画面サイズ 520 インチのスーパーハイビジョンシアターを設置した。2006 年は日本電信電話(株)、NTT コミュニケーションズ(株)と共同で NHK ホールから大阪放送局まで紅白歌合戦の長距離伝送を行った。

2006 年からは超高精細の特長に加え高コントラストによる画質改善を目指し、日本ビクター(株)との共同研究で広ダイナミックレンジプロジェクターの開発を開始した。RGB プロジェクターの出力をさらにモノクロ用表示素子で変調する 2 重変調方式を考案することで、世



図 1.2 デュアルグリーン方式プロジェクター(口絵参照)

界最高水準の110万：1のダイナミックレンジを達成した⁽³²⁾。2008年には、RGB用素子は各800万画素で、輝度用素子のみ3300万画素にすることでフル解像度表示を可能にし、2009年には光学系の改善と動画像表示を実現した。2008年には3300万画素のフル解像度表示素子3枚を用いたプロジェクターと信号変換装置を開発し、フル解像度でのスーパーハイビジョン表示を実現した。

2009年度から、(独)情報通信研究機構(NICT)の委託研究「革新的な三次元映像技術による超臨場感コミュニケーション技術の研究開発」の一部(超臨場感コミュニケーションシステム)を受託し、ドームシアターでの超高精細・高画質映像表示を目指した研究を進めている。

以上の研究は、金澤勝、浜田宏一、日下部裕一、近藤いさおが担当した。

[金澤勝]

1.3.2 プラズマディスプレイ

スーパーハイビジョン家庭用ディスプレイを目指して、自発光・直視型のプラズマディスプレイ(PDP)の開発を進めた。PDPの超高精細化は発光効率の低下などで実現が難しいとされていたが、2004年に放電メカニズム解明による知見をもとに、画素ピッチ0.3mmの小型PDPを試作し、100インチスーパーハイビジョンディスプレイの実現性を示した。2005年に画素ピッチ0.3mmの6.5インチPDPで動画像表示に成功した後、2006年に発光効率を1.5倍近くまで向上させた。2007年は100インチ級パネルに対応できる製作技術を適用し、対角7インチ、画素ピッチ0.285mmの超高精細PDPを試作した。2008年はスーパーハイビジョンに向けた中間目標となるハイビジョンの4倍の画素(水平：3840×垂直：2160)をもつ対角103インチ、画素ピッチ0.59mmの高精細PDPを試作して動画像表示に成功した。2009年は画素ピッチ0.33mm、対角58インチの超高精細PDPを試作して動画像表示に成功した。これは60インチ級中型サイズで、最小の画素ピッチになる。

以上の研究は、関昌彦、村上由紀夫、高野善道、本山靖、石井啓二、平野芳邦、加藤大典、薄井武順が主に担当した。

[金澤勝]

1.4 番組制作機器

1.4.1 編集装置、記録装置

2001年からスーパーハイビジョン用番組制作機器の研究開発を開始した。2001年には30秒の動画シーケンスの記録再生が可能なフレームメモリーを開発した。2003年には18分の記録再生が可能なハードディスクレコーダーを開発し、動画像の番組制作と外部ロケが可能

になった⁽³³⁾。2003年には屋久島ロケ、2004年には愛・地球博用の7分番組2本を制作するため日本全国でロケなどを行った。

映像編集に関しては、2007年に、非リアルタイムではあるもののカット・ディゾルブなどの処理を自動で行う装置を開発し、2009年には色補正機能などを追加した⁽³⁴⁾。

以上の研究は、大坪直人、金澤勝、庄田清武、浜田宏一、堤直樹、山之上裕一、日下部裕一が主に担当した。

[金澤勝]

1.4.2 映像フォーマット変換装置

スーパーハイビジョン映像をさまざまなメディアに応用展開するため、2005年からフォーマット変換技術の研究を開始した。2005年から2006年にかけてスーパーハイビジョンとデジタルシネマ間双方向の映像変換技術の研究を行った。時間方向の処理に関して変換手法の主観評価を行い、その結果を反映した簡易フォーマット変換装置を開発した⁽³⁵⁾。空間方向の解像度変換に関してはウェーブレット変換技術を用い、水平・垂直ともに2倍の解像度に伸張する方式について評価実験を行い、その効果を確認した。また、2006年からスーパーハイビジョンの撮影素材をハイビジョン番組制作に活用するために、スーパーハイビジョン映像の任意位置の領域を実時間でハイビジョン映像に切り出すことができる電子ズームの研究を進めた。2006年に簡易インターフェースを備えた電子ズーム装置を開発し、サッカーのテスト収録映像を用いて効果を確認した。2008年に放送現場で用いるリモコン雲台用コントローラーを追加して操作性の改善を図った⁽³⁶⁾。2009年にこれらの研究成果に基づいた電子ズーム装置が技術局で開発され、ハイビジョン番組制作に用いられた。

以上の研究は、野尻裕司、矢野澄男、三谷公二、山下誉行、松尾康孝、船津良平が主に担当した。

[金澤勝]

1.5 音響方式

1.5.1 22.2 マルチチャンネル音響システム

2000年から走査線数4000本級超高精細映像のための音響システムの研究を開始した。

スーパーハイビジョン(SHV)の視聴条件と、高臨場感音響の聴取条件、家庭での視聴環境、放送番組制作への対応などを考慮して、SHV用の音響システムの要求条件を下記のように設定した。

- ①スクリーン上の任意の位置での音像定位が可能なこと(視野角100度を実現する広視野大画面上の映像と音像の方向を一致させる)

- ②視聴位置を取り囲む全方向からの音の到来が再現可能なこと(実際の音場に近似した音の到来を実現する)
- ③自然で高品質な3次元音響空間を再現できること
- ④最適な聴取エリアが十分広いこと
- ⑤既存のマルチチャンネル音響方式との互換性を有すること
- ⑥ライブ収録および生伝送に対応できること

以上の要求条件をもとに、SHVの音響方式として5.1chを超えるマルチチャンネル音響を用いることを決定し、そのチャンネル数とスピーカー配置を心理音響研究により検討した。

まず水平面上に必要なチャンネル数の検討を行った。無相関な白色雑音を聴取位置の周りに等間隔に配置したスピーカーから再生した場合、24個の等間隔配置スピーカーによる包み込まれ感と同様な印象を得るためには、最低8個のスピーカーが必要であることがわかった⁽³⁷⁾。さらに、左右2つのスピーカーで無相関な白色雑音を再生した場合と、中央位置に1つのスピーカーを追加して3個のスピーカーで白色雑音を再生した場合とを比較した結果、広がり感の印象に変化が生じる左右スピーカーの最大角度が、聴取者の前方から側方で30度以下、正面と後方で40度以下という先行研究⁽³⁸⁾と同じ結果となることが確認された。以上から、水平面には聴取者を取り囲む円周状に8~10チャンネルのスピーカーを配置する必要があることがわかった。

次に、上下方向の音像定位再現について検討を行った。耳の高さと同じ高さに置いたスピーカーの上下に仰角30度で2個のスピーカーを配置すると、その上下にそれぞれファンタム音像が得られるという先行研究⁽³⁹⁾に基づいて、従来のスクリーン垂直方向中央に設置したスピーカーに加えて、新たにスクリーンの上部と下部にもスピーカーを追加することによって、既存のマルチチャンネル音響との互換性を確保しつつ、スクリーンの上部と下部領域にも音像定位を可能にした⁽⁴⁰⁾。

さらに、120 Hz以下を再生するLFE(Low Frequency Effects: 低域効果チャンネル)についても検討を行った結果、スクリーンの左右に独立したLFEを配置することで、ホール音響再現などで重要な包み込まれ感が増すことがわかった⁽⁴²⁾。

以上の結果から、SHVの音響方式として、スクリーンの垂直方向の中央位置もしくは受聴者の耳と同じ高さの水平面上にスピーカー10個(10チャンネル)を配置した中層、スクリーンの上部もしくは部屋の天井と同じ高さの水平面上にスピーカー9個(9チャンネル)を配置した上層、スクリーンの下部もしくは床面と同じ高さの水平面上にスピーカー3個(3チャンネル)を配置した下層

の3層立体配置のスピーカー群と、下層と同じ高さに配置した2チャンネルのLFEで構成される22.2マルチチャンネル音響システムを提案した⁽⁴⁰⁾。この22.2マルチチャンネル音響システムはSMPTEで2008年に2036-2⁽⁴¹⁾として規格化された(図1.3)。

オーケストラ演奏を音源とし、ME(Magnitude Estimation)法を用いて、22.2ch方式、22.2chの中層前方チャンネルを3チャンネルにした方式、22.2chの中層だけにした方式、5.1ch方式の4方式による臨場感を比較評価した結果、22.2ch方式が最も広い聴取範囲で高い臨場感が得られることがわかった⁽⁴²⁾。また、愛・地球博のSHVコンテンツを用い、SD(Semantic Differential)法によりさまざまな音響印象を評価した結果、450インチのSHVスクリーンと50インチのHDスクリーンの視聴環境の双方で、2.0ch方式、5.1ch方式に比べて22.2ch方式が、より広い聴取エリアで迫力、美しさ、臨場感、上下感、音像の方向感、包み込まれ感などの多くの音響印象が優れていることがわかった^(43,44)。

SHVと22.2ch音響の国内外における展示については、2005年には75個のスピーカーによる大型シアター音響再生システムを開発し、愛・地球博で展示した⁽⁴⁵⁾(図1.4)。続いて技研SHVシアター用に41個のスピーカーによる中型シアター音響再生システムを開発し、2005年以降、技研公開などで展示した。また、33個のスピーカーによる可搬型中型シアター音響再生システムを開発し、2006年のNABとIBC、2007年のNAB、2008年のIBC、2009年のNABで展示を行った。さらに、スーパーツールスピーカー10本と2個のサブウーファーによる家庭用22.2ch音響システムを開発し、2008年のNABで展示した。

2009年から、(独)情報通信研究機構(NICT)の委託研究である「超臨場感コミュニケーションシステム」について、ドームシアターでの超臨場感3次元音響再生を目

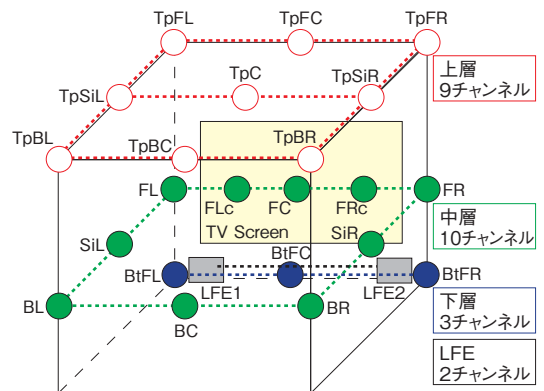


図1.3 22.2マルチチャンネル音響システム



図 1.4 「愛・地球博」で展示した 22.2 マルチチャンネル音響システム (口絵参照)



図 1.5 22.2 マルチチャンネル音響ミキシングシステム (口絵参照)

指した研究を進めている。

以上の研究は、黒住幸一、安藤彰男、渡辺 馨、濱崎公男、岡本幹彦、小野一穂、岩城正和、大久保洋幸、火山浩一郎、中山靖茂、西口敏行、奥村玲子が主に担当した。

〔濱崎 公男〕

1.5.2 3次元音響制作

22.2 マルチチャンネル音響によるコンテンツ制作の高度化と簡易化を目指して、2000 年より 3 次元音響制作の手法およびシステムの研究開発を行った。

3 次元音響によるコンテンツ制作は、2002 年の走査線数 4000 本級超高精細映像システム初公開に向けて開始した。この時点では SHV の音響方式はまだ検討段階であり、19.1 マルチチャンネル音響の暫定的なシステム(上層 9 ch、中層 9 ch、下層 1 ch、LFE 1 ch)で制作を行った。3 次元音響收音方式の研究では、両指向性マイクロホンを 4 本ずつ上下 2 層に配置して残響場の間接音を收音する方式を開発し⁽⁴⁶⁾、これ以降の音楽收音で標準的に利用した。

3 次元音響制作システムとして、8.0 ch 方式で水平面上の音像の位置(距離と方向)を制御し、タイムコードに同期して音像の動きを記録できる高機能パンニングシステムを 2004 年に開発した⁽⁴⁷⁾。このシステムには、HRTF(Head-Related Transfer Function: 頭部伝達関数)を用いて 5.0 ch にダウンコンバートする機能を付加し、5.1 ch サラウンド番組制作にも利用可能とした。2009 年には音響インテンシティの再現に基づく 3 次元音響パンニングアルゴリズムを開発した⁽⁴⁸⁾ (5.2.3 項参照)。また、3 次元パンニング機能を有し、最大 1000 ch のオーディオ信号に対応できる 22.2 ch ミキシングシステム (図 1.5) や、屋外用の可搬型 22.2 ch 收音システムも開発した。さらに、無響室で測定した個人ごとの HRTF データを利用して通常の 2 ch ヘッドホンで 22.2

ch 音響をモニタリングできるプロセッサや、音響遮へい板の間に全指向性マイクロホンを球形に配置したワンポイントマイクロホンなどを開発した。

2006 年には、紅白歌合戦を初めてライブで 22.2 ch ミキシングし、大阪放送局へ IP 回線により SHV 映像・音響をライブ伝送した⁽⁴⁹⁾。また、2008 年には、22.2 ch マイクロホンアレーで收音したロンドンの街音をアムステルダムへ伝送し、IBC の SHV 22.2 ch 音響シアターで公開した。

以上の研究は、小宮山 撰、安藤彰男、濱崎公男、岡本幹彦、岩城正和、小野一穂、大久保洋幸、火山浩一郎、中山靖茂、奥村玲子、西口敏行が主に担当した。

〔濱崎 公男〕

1.5.3 3次元音響の家庭導入技術

22.2 マルチチャンネル音響などの 3 次元音響を家庭に導入するため、3 次元音響を少ないスピーカー数で再現する技術と、壁や天井などに簡易に設置可能な新しいスピーカーデバイスの研究を進めている。このうち、スピーカーデバイスの研究は 5.4.4 項に譲り、本項では、家庭の限られたスピーカー数やスピーカー配置に適した音響再生を行うための信号処理技術について述べる。

3 次元音響の家庭導入に向けて 2 つの方式を検討した。1 つは、受音点における 22.2 マルチチャンネル音響再生時の音響物理量を、少ないチャンネル数で再現する方式である⁽⁵⁰⁾。もう 1 つは、5.2.4 項で述べる頭部伝達関数を用いたトランスオーラル再生方式である。いずれの方式も受聴位置は 1 点付近に限定されるが、前者はだれでも同様に 3 次元音響を楽しむことができる方法であるのに対して、後者は使用する頭部伝達関数に適合する人に有効性が限られるものの、前者よりも少ないスピーカー数で済むという利点がある。

受音点における音響物理量を再現する方式の研究は、2006 年から開始した。音響物理量として、音圧と粒子速度を採用した⁽⁵¹⁾。この方式のブロック図を図 1.6 に

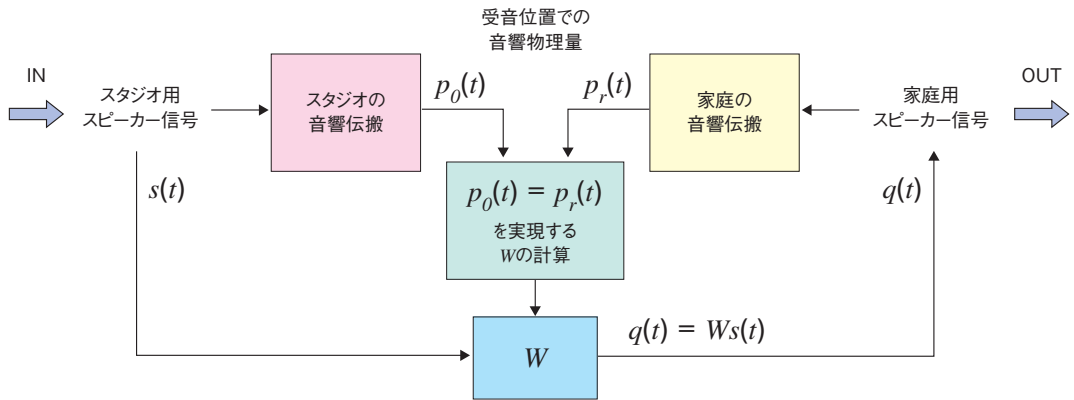


図 1.6 受音点における音響物理量を再現する方式

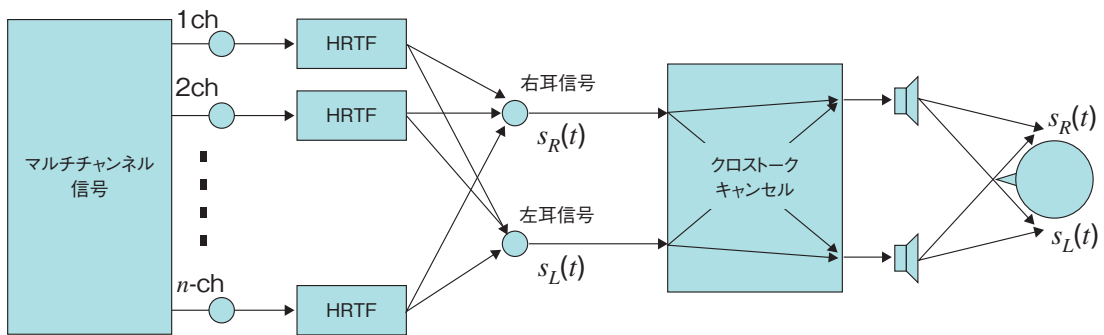


図 1.7 トランスオーラル方式

示す。受音点における 22.2 マルチチャンネル音響の物理量を少ないチャンネル数で再現するように、22.2 マルチチャンネル音響信号に対する行列演算 W を決定した。この方式は、家庭におけるスピーカー数と各スピーカーの位置座標を必要とするが、得られた結果は入力信号には依存しない。この方法で、22.2 マルチチャンネル音響のうち、LFE チャンネルを除く 22 チャンネル信号を 10 チャンネル、8 チャンネル、6 チャンネル信号に変換し、主観評価実験により品質劣化程度を調べた。主観評価実験には、隠れ基準付き 3 刺激 2 重盲検法⁽⁵²⁾を用いた。その結果、22 チャンネル信号を 8 チャンネルまで削減しても、受音点における品質劣化は気にならない程度であることがわかった⁽⁵¹⁾。

トランスオーラル方式の研究は 2008 年から開始した。この方式は、3 次元音響の各チャンネル信号に対して、そのスピーカー方向に対応した頭部伝達関数を畳み込んで左右の耳への信号を生成したうえ、スピーカー再生によって生じる左右信号間のクロストークをキャンセルする方法である。この方式のブロック図を図 1.7 に示す。2009 年には、トランスオーラル用の 2 つのスピーカーに対して、センターチャンネル専用のスピーカーを追加した 3 つのスピーカーによって、22.2 マルチチャンネル

音響のうち、LFE を除く 22 チャンネル信号を再生するシステムを試作した。

以上の研究は、安藤彰男、松井健太郎、および高橋義典(ポストドクター)が主に担当した。

[安藤 彰男]

1.6 符号化

1.6.1 映像符号化

(1) 映像符号化装置

スーパーハイビジョン放送の実現に向け、映像信号を効率良く伝送・記録するための映像符号化装置の開発を 2004 年から開始した。

装置開発時のスーパーハイビジョン映像は、デュアルグリーン方式と呼ばれる 800 万画素 4 板撮像による G1/G2/B/R 信号で構成されており、YC4:2:2 フォーマットで符号化するためにはフォーマット変換が必要となる。そこで、効率的な符号化に適したフォーマット変換方法を検討し、その結果に基づいてスーパーハイビジョンフォーマット変換装置を開発した。この変換装置は、スーパーハイビジョン映像の色空間変換と時空間分割を行い、最終的に HD-SDI 信号 16 本として出力する。

2004 年から 2005 年にかけて、MPEG-2 方式による

符号化装置を開発した(図 1.8)。この装置は、16 個のハイビジョン用符号化 LSI を使って、時空間分割されたスーパーハイビジョン映像を 180~600 Mbps のビットレートに圧縮する。この装置の開発により、IP 回線などを用いた長距離伝送が可能になるとともに、長時間の素材収録が可能になった⁽⁵³⁾。

2006 年からは MPEG-4 AVC/H.264 を用いた符号化装置の開発を(株)富士通研究所と共同で行った(図 1.9)。MPEG-2 方式の装置と同様に 16 台のハイビジョンエンコーダーで並列処理をする。符号化の機能を分散して処理することでリアルタイム符号化を実現した⁽⁵⁴⁾。

開発した符号化装置を用い、スーパーハイビジョン放送の実現性を検証するために IP および衛星を利用した伝送実験を行った。素材伝送を想定した実験として、NAB 2006 および IBC 2006 において MPEG-2 方式の装置を用いた IP 伝送実験を行った。また、2006 年の紅白歌合戦では、東京-大阪間の長距離 IP 光伝送実験を実施した⁽⁵⁵⁾。さらに、IBC 2008 においては、イギリスのロンドンからオランダのアムステルダムへの国際 IP 伝送実験を行い成功させた。一方、MPEG-4 AVC/H.264 方式の装置を利用し、衛星による家庭へのスーパーハイビジョン放送を想定した伝送実験を行った。高度衛星デジタル放送の実験として、約 128 Mbps に圧縮した映像ストリームを伝送した。この実験の成功を受け、IBC 2008 においては、イタリアのトリノからアムステルダムへの国際間衛星伝送を実施した⁽⁵⁶⁾。また、2009 年には超高速インターネット衛星「きずな」(WINDS)を利用して、札幌から技研へのライブ映像中継および多チャンネル同時伝送を IP 伝送と衛星伝送を組み合わせることで実施した。

2009 年は、1080/60 P 符号化装置を利用した新しい符号化装置の開発に着手した。この装置は、スーパーハイビジョン映像を空間 8 分割し、MPEG-4 AVC/H.264 方式の 1080/60 P エンコーダー 8 台によりリアルタイム



図 1.8 MPEG-2 スーパーハイビジョン符号化装置



図 1.9 MPEG-4 AVC/H.264 スーパーハイビジョン符号化装置
(口絵参照)

符号化を実現する。時空間 16 分割方式の装置に比べて、特に動き量の大きな画像に対して画質の向上を確認した。

また、スーパーハイビジョン符号化 LSI の実現に向け、動き推定や内挿フィルターなどの高速化についての研究を早稲田大学と共同で 2008 年より実施した。

(2) 次世代映像符号化方式

MPEG-2 や MPEG-4 AVC/H.264 の枠を超えた高圧縮映像符号化方式の研究を進めた。MPEG-4 AVC/H.264 を超高精細映像に適用するため、直交変換のブロックサイズを拡大する方式を開発し、符号化実験により効果を確認した⁽⁵⁷⁾。また、DCT(離散コサイン変換)により発生するブロック歪みを低減するため、DCT と DST(離散サイン変換)を併用した符号化方式を開発した⁽⁵⁸⁾。

また、超高精細映像を対象とする次世代符号化方式の要素技術として、輝度・色差信号間の相関を利用したループ内フィルターを開発し、色の再現性を向上した。さらに、2 次元的な信号変化を隣接する画素群から推定するフレーム内予測方式を開発した。これらの技術と DCT/DST 併用符号化を MPEG-4 AVC/H.264 をベースにした符号化アルゴリズムに統合し、標準化が開始された MPEG の次世代符号化方式へ三菱電機(株)と共同で技術提案を行った。

さらに、BBC(英国放送協会)が提案している映像符号化方式「Dirac」によるスーパーハイビジョン映像符号化方式の研究を BBC と共同で進めた⁽⁵⁹⁾。

以上の研究は、合志清一、中須英輔、鹿喰善明、西田幸博、境田慎一、井口和久、黒住正顕、市ヶ谷敦郎、松尾康孝、中島奈緒、豊田崇弘が主に担当した。

[境田 慎一]

1.6.2 音声符号化

スーパーハイビジョン放送における 22.2 マルチチャンネル音響サービスを実現するため、スーパーハイビ

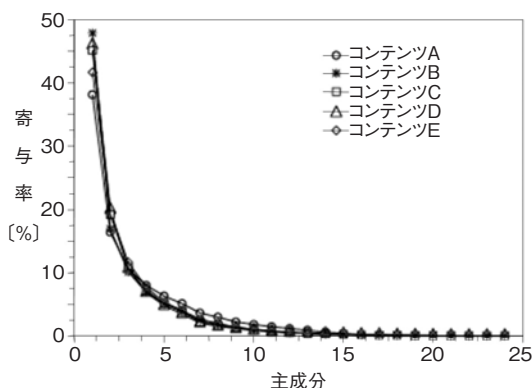


図 1.10 22.2 マルチチャンネルコンテンツの各主成分の寄与率

ジョン用音声符号化方式の研究を 2005 年に開始した。

22.2 マルチチャンネル音響符号化の基礎検討として、2006 年に、実験的に制作した音響コンテンツのチャンネル間統計量を分析して 22.2 マルチチャンネル音響の各チャンネルの特徴を調べた。各チャンネルを変量とした主成分分析を行い、各主成分の寄与率の平均をコンテンツごとに調べた結果、ほとんどのコンテンツで 1~8 主成分を合わせた寄与率が 95% を超えることがわかった (図 1.10)。これは、任意の時刻におけるコンテンツのエネルギーのほとんどが数種の主成分で構成できることを示しており、この特徴を利用してビット配分を行う高効率符号化の可能性が示された⁽⁶⁰⁾。

また、2007 年には、(社)電波産業会 (ARIB) における高度衛星デジタル放送方式の策定にあたり、22.2 マルチチャンネル音響サービスを実現するため、音響符号化方式として MPEG-2 AAC を提案し、2009 年に標準化された⁽⁶¹⁾。さらに、MPEG-2 AAC を 22.2 マルチチャンネル音響フォーマットに対応させる修正案を 2008 年に MPEGへ寄与し、2009 年に修正文書として国際標準化された⁽⁶²⁾。

以上の研究は、渡辺 馨、濱崎公男、中山靖茂が主に担当した。

[中山 靖茂]

1.7 伝送技術

1.7.1 衛星伝送技術

衛星放送によるスーパーハイビジョン (SHV) 放送システムの実現を目指し、2005 年から SHV 伝送実験による検証と性能評価を開始した。

2005 年 12 月に 21 GHz 帯室内伝送実験を行った。MPEG-2 方式で圧縮符号化した SHV 信号を分割し、ISDB-S 方式 (TC 8 PSK、伝送レート約 52 Mbps) 4 系統の送・受信機を用いて伝送した (伝送総レート約 208 Mbps)。また、21 GHz 帯の信号は小型細径 TWTA (進

行波管増幅器) で増幅して伝送した⁽⁶³⁾。これは 2006 年の技研公開で展示した。

2005 年から 2007 年にかけて、21 GHz 帯衛星放送帯域での利用を想定した 300 MHz 級広帯域変復調器の開発を行い、2007 年の技研公開において、MPEG-2 Video で圧縮符号化した SHV 信号を QPSK 変調 (伝送レート 500 Mbps) し、21 GHz 帯小型細径 TWTA で増幅して室内無線伝送実験を行った⁽⁶⁴⁻⁶⁶⁾。

2008 年 5 月には、高度衛星デジタル放送方式の ARIB 実証実験において、NHK が提案した伝送路符号化方式に基づいて試作した送・受信機と MPEG-4 AVC/H.264 による圧縮符号化装置を用い、12 GHz 帯放送衛星 BSAT-3a を使用して SHV 衛星伝送実験を行った。この実験では、32 APSK (LDPC 符号 (4/5)、伝送レート約 127 Mbps) を用いて 1 系統の衛星中継器で伝送する場合と、8 PSK (LDPC 符号 (3/4)、伝送レート約 70 Mbps) を用いて 2 系統の送・受信機および衛星中継器で伝送する場合 (総伝送レート約 140 Mbps) について実験を行い、良好に伝送できることを確認した^(67,68)。

2008 年 9 月の IBC 2008 において、NHK、RAI (イタリア放送協会)、ユーテルサット (欧州衛星通信機構) が共同で、イタリアのトリノからオランダのアムステルダムへの SHV 国際衛星伝送実験を行った^(56,69-71)。DVB-S 2 (Digital Video Broadcasting-Satellite 2) 送・受信機 (8 PSK、LDPC 符号 (5/6)) と MPEG-4 AVC/H.264 圧縮符号化装置を用い、ユーテルサットの ATLANTIC BIRD-3 号衛星の中継器を 2 つ利用して、総伝送レート約 145 Mbps で伝送した。また、同年 10 月には NHK、RAI、ユーテルサットが共同で、EUROBIRD-9 号衛星を使用して SHV 映像をトリノからローマへ衛星伝送した。MPEG-4 AVC/H.264 圧縮符号化装置と、2 系統の DVB-S 2 送・受信機 (8 PSK、LDPC 符号 (8/9)、1 系統あたりの伝送レート約 71 Mbps) と衛星中継器を使用した。

2008 年から 2009 年にかけて、300 MHz 級広帯域変復調器に LDPC 符号 (Low Density Parity Check Code: 低密度パリティ検査符号) を用いた誤り訂正機能を付加し、伝送性能の改善を図った。2009 年 5 月の技研公開において、超高速インターネット衛星「きずな」(WINDS) の広帯域中継器を利用した SHV 多チャンネル・衛星生中継伝送実験を (独) 情報通信研究機構 (NICT) と共同で実施した^(72,73) (図 1.11)。札幌からの SHV カメラ映像と 22.2 マルチチャンネル音響を NICT 鹿島宇宙技術センターまで JGN 2 plus 回線を用いて伝送し、NICT 鹿島宇宙技術センターに置いたストリーマーに記録した 2 つの SHV と合わせて、3 つの SHV 番組を多重して伝送し、技研で受信した。

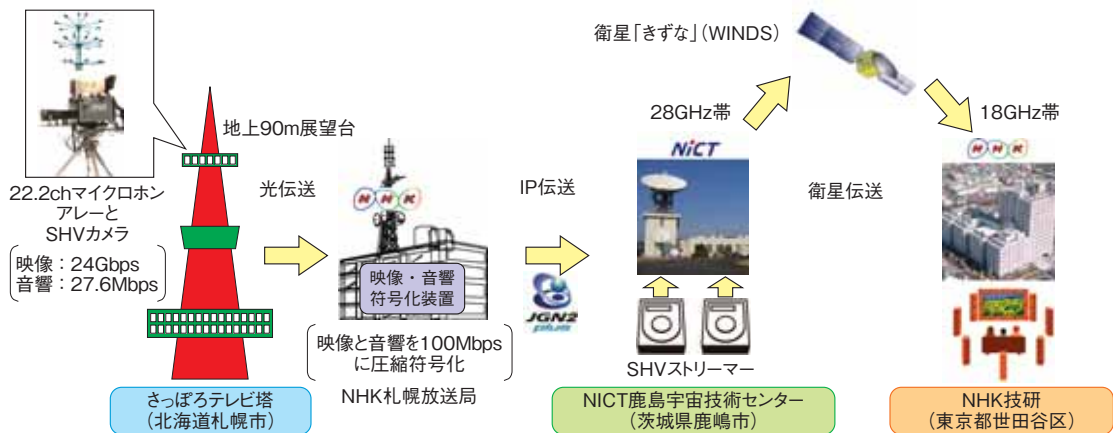


図 1.11 衛星「きずな」(WINDS) を利用したスーパーハイビジョン多チャンネル・生中継伝送実験系統

以上の研究は、正源和義、木村武史、斉藤知弘、田中祥次、橋本明記、筋誠久、清水丈晴、山形和弘、上村和宏、小島政明、鈴木陽一、合志清一、菅原正幸、西田幸博、境田慎一、井口和久、黒住正顕、市ヶ谷敦郎、中島奈緒、松尾康孝、豊田崇弘、濱崎公男、中山靖茂、西口敏行、奥村玲子が主に担当した。

〔鈴木 陽一〕

1.7.2 光伝送技術

(1) 非圧縮 SHV 信号の中継用光伝送技術

非圧縮の SHV 信号は、数十 Gbps という大容量であるため、生中継などで SHV の画質をそのまま伝送する手段がなく、番組制作が困難であった。そこで、光ファイバーを用いた長距離伝送技術の開発を 2005 年から開始した。

2005 年には、16 系統の HD-SDI 信号(それぞれ約 1.5 Gbps)を用いたデュアルグリーン方式の SHV 信号を、それぞれ半導体レーザーにより光波長 1545.32~1557.36 nm の 16 波長の光信号に変換して伝送する高密度波長多重伝送装置を開発した⁽⁷⁴⁾。これを用いて、千葉県鴨川市の鴨川シーワールドから技研までの長さ 260 km の光ファイバーを用い、その途中に 4 台の光増幅器を挿入して、生中継伝送する実験を行った(図 1.12)。これと同時に、10 Gbps の信号の長距離光伝送実験を行い、分散補償ファイバーを用いて波長分散を補償することにより 10 Gbps での SHV 信号伝送の可能性を示した⁽⁷⁴⁾。

これを受けて、2006 年に 10 Gbps の光信号を 3 波多重して SHV 信号を伝送する技術を開発した⁽⁷⁵⁾。6 つの HD-SDI 信号を 10 Gbps に多重し、RZ(Return to Zero) 差動位相シフト変調を行って光信号に変換する。これを 3 系統用いて波長多重伝送することにより、デュアルグリーン方式の SHV 信号を伝送する装置を試作した。前述の 16 波多重による装置に比べ、中継用光増幅器の台



図 1.12 鴨川からのスーパーハイビジョン中継実験(口絵参照)

数が削減できることを実証した。

また、長距離伝送を行うためには、光送信電力を大きくすることが必要であるが、そうすると伝送途中の光ファイバーの非線形性による波形歪みが無視できなくなる。そこで、非線形歪みを電子的に補償する技術の開発を、2007 年から開始した。

送信器側でルックアップテーブル(LUT)と DA 変換器を用いて補償する方式について、有効な補償性能を得るために必要なテーブルのサイズと DA 変換器の分解能を、数値解析により明らかにした^(76,77)。

(2) SHV 用機器間インターフェース

2008 年に、スタジオ内やスタジオ間にある制作機器を接続する光インターフェースの開発を行った。ハイビジョン用のインターフェースである HD-SDI と同様に、光ファイバー 1 本で 2 km まで接続可能な SHV 機器間インターフェースの物理層仕様を設計した。1.55 μm 帯の 8 つの波長を用い、おのおの 10 Gbps の信号を伝送する方式のインターフェース装置(図 1.13)を試作して動作を検証した⁽⁷⁸⁾。



図 1.13 試作したスーパーハイビジョン機器間インターフェース装置

(3) 放送局内用超高速光ネットワーク

2007年度から、(独)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託研究「次世代高効率ネットワークデバイス技術開発」の一部を受託し、SHVの局内配信のための超高速光LAN-SANシステム化技術の研究を(独)産業技術総合研究所、技術研究組合光電子融合基盤技術研究所と共同で進めている。

2007年には、光ネットワークに対する要求条件を検討し、配信実験のための目標性能および仕様などの基本的検討を行い、誤り訂正を付加することにした⁽⁷⁹⁾。2008年から、デュアルグリーン方式の非圧縮SHV信号を160 Gbpsの超高速光ネットワークで配信するための変換装置の試作を開始した。2009年に、(独)産業技術総合研究所(産総研)が開発した光時分割多重方式による160 Gbpsの超高速光ネットワークを用いて、2つのSHV信号を伝送する実験(図 1.14)を行い、機能を検証した⁽⁸⁰⁾。

以上の研究は、小山田公之、前田幹夫、中戸川剛、中村円香が主に担当した。

[小山田 公之]

1.7.3 IP 伝送技術

SHVの実用的な長距離伝送を目的として、高速・長距

離の商用回線が多数提供されているIPネットワークを用いたSHVのIP伝送技術の研究を2006年から行った。

SHV番組(約24 Gbps)をHDTV用のMPEG-2符号化装置16台により4本のMPEG-2 TS信号から成る約640 Mbpsのビットストリームに圧縮し、RTP(Real-time Transport Protocol)によりIPパケットにカプセル化し伝送するシステムを開発した。NAB 2006およびIBC 2006での実演展示を経て、2006年12月31日のSHV制作による紅白歌合戦のパブリックビューイングでは、東京のNHKホールから大阪放送局まで商用の専用IP回線を用いたリアルタイム伝送を日本電信電話(株)およびNTTコミュニケーションズ(株)と共同で行った⁽⁵⁵⁾。2007年のInterop Tokyo 2007では、IPマルチキャストによりNTT横須賀研究開発センターと技研から幕張への多地点伝送の実験展示を行った。

2008年には、複数の通信回線を接続しての高信頼国際伝送に取り組んだ。国際伝送ではSTM(Synchronous Transfer Mode)回線やイーサネット回線など複数の伝送方式に基づく伝送路を相互接続する必要があり、パケットロスの発生を完全にゼロにすることは難しい。そこで、IBC 2008では、FEC(Forward Error Correction)を用いた保護とIPネットワーク回線の2重化を行い信頼性の向上を図った。訂正能力と帯域増加分の兼ね合いから実用的な誤り訂正パラメータを選定し保護を行う⁽⁸¹⁾とともに、SNMP(Simple Network Management Protocol)を用いた遠隔監視を行い、イギリス・オランダ国際IP生中継伝送を実現し、期間中の安定した運用を行った^(71, 82, 83)(図 1.15)。

2009年には、(独)情報通信研究機構(NICT)の超高速・高機能研究開発テストベッドネットワークJGN 2 plusを用いて、複数の利用者が共用するIPネットワークでのSHV伝送に取り組んだ。共用ネットワークではほかの通信との競合によりパケットロスの発生やジッターの増加が起こることから、FECによる保護に加えてネットワーク中での優先伝送処理を導入し、2009年



図 1.14 超高速光ネットワークによるスーパーハイビジョン伝送実験

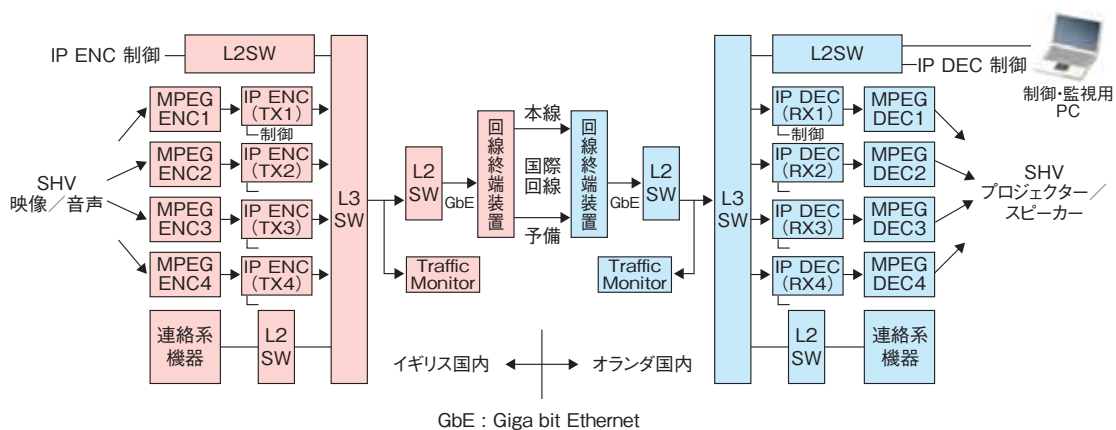


図 1.15 スーパーハイビジョン IP 伝送系統図

の技研公開では JGN 2 plus を用いて SHV 信号を札幌から鹿島まで安定に伝送し、超高速インターネット衛星「きずな」(WINDS)による SHV 生中継伝送を実現した。

以上の研究は、合志清一、中須英輔、西田幸博、青木勝典、黒住正顕、筋誠久、上村和宏、清水丈晴、市ヶ谷敦郎が主に担当した。

〔西田 幸博、青木 勝典〕

1.8 国際標準化

1.8.1 ITU-R における標準化

スーパーハイビジョン (SHV) の国際標準化は、まず ITU-R における研究課題「超高解像度映像」(EHRI) および「デジタルシネマ」(後に大画面デジタル映像 (LSDI) と改訂) に対する寄与から始まった。2002 年秋に、走査線数 4000 本級超高精細映像システムの開発状況に関する情報を最初の入力文書として寄与した。その後、2003 年には LSDI の映像フォーマットとして HDTV を超える画素数を規定する新勧告案およびマルチチャンネル音響勧告のフレームワークを提案した。その後、SHV の映像および音響に関する研究成果を継続して寄与した。その結果、2006 年に拡張 LSDI 用映像フォーマットとして画素数 7680×4320、3840×2160 を規定する勧告 BT. 1769⁽⁸⁴⁾ が成立した。BT. 1769 では、画素数およびビット深度 (10、12 ビット/pixel) の規定を除いて、勧告 BT. 709 および BT. 1361 と同じパラメーター値を規定している。寄与した技術的な内容は、レポート BT. 2042⁽⁸⁵⁾、BT. 2053⁽⁸⁶⁾ にまとめられた。

2008 年からの新たな研究会期の開始にあたって、テレビジョンとしての研究を主眼とした研究課題「UHDTV : Ultra High Definition Television」および「マルチチャンネル音響」を提案し、映像は研究課題 EHRI に含まれる形で、音響は現行のマルチチャンネル音響の発展形として研究が開始された。2008 年から

2009 年にわたり、SHV のシステムパラメーターに関する研究やハードウェア開発に基づく寄与を行った。映像フォーマットでは、従来の BT. 709 とは異なり、スペクトル軌跡線上に 3 原色を配置した新たな広色域表色系を提案した。また、マルチチャンネル音響として 22.2 ch システムを提案した。これらの結果は作業文書に反映され、継続審議となっている。

以上の活動は、金澤勝、渡辺馨、菅原正幸、西田幸博、山之上裕一が主に担当した。

〔菅原 正幸〕

1.8.2 SMPTE における標準化

2006 年 9 月から SMPTE のテレビ関連の規格化作業を所掌する技術委員会に参加し、規格化作業を開始した。SMPTE ではハイビジョンとの整合性を重視し、機器開発を進めるために必要となる基本的なパラメーターの規格策定を目指した。2007 年 3 月に行われた東京会合で SHV システムの開発状況を報告し、さらに会合終了後、参加メンバーを技研に招待し、実際に SHV デモコンテンツや制作システムを紹介した。同年 6 月に超高精細度テレビジョン (UHDTV) 用として 7680 画素×4320 ライン、および 3840 画素×2160 ラインの映像フォーマットに関する規格化提案を行い、9 月会合を経て 10 月に映像フォーマット規格 SMPTE 2036-1⁽⁸⁷⁾ が公開された。続いて 2007 年 12 月から音響システムの規格化作業に取り組んだ。12 月会合で音響システムに関するプレゼンテーションを行い、2008 年 3 月に音響システムに関する規格化提案を行った。同年 7 月に 22.2 ch の音響チャンネルアサインメント規格 SMPTE 2036-2⁽⁴¹⁾ が承認された。さらに 2008 年 3 月にはインターフェースに関する規格化提案を行い、2010 年 3 月までに標準化作業をほぼ終了した。

以上の活動は、三谷公二、濱崎公男が主に担当した。

〔三谷 公二〕

1.8.3 AES および IEC における標準化

SHV および 22.2 ch 音響に関連して、AES では SMPTE 2036-1 で規定された UHDTV フレームレートに対応すべく、映像フレームレートとデジタルオーディオの同期関係を規定した AES 11 規格の改定を提案し、2009 年に承認されて AES 11-2009 として公開された。IEC TC 100 では、22.2 ch 音響を包含したジェネラルなチャンネルアサインメント規格を提案し、IEC 62574 として草案された。

以上の活動は、濱崎公男が主に担当した。

[濱崎 公男]

1.8.4 MPEG における標準化

SHV など超高精細映像を主な対象とする High Efficiency Video Coding (HEVC) の規格化作業が 2009 年より始まった。技研で開発した符号化ツールを含む方式を提案した。

以上の活動は、鹿喰善明、境田慎一、井口和久、市ヶ谷敦郎が主に担当した。

[境田 慎一]

1.9 国内標準化

2008 年 7 月、(社)電波産業会 (ARIB) に、スーパーハイビジョンなど HDTV を超える高解像度映像のスタジオ標準規格制定を所掌事項とする超高精細度 TV スタジオ設備開発部会が設置され、国内でのスーパーハイビジョン規格化に向けた取り組みが開始された。部会と同時に、映像規格を担当する映像システム検討作業班、音響規格を担当する音響システム検討作業班、信号インターフェースを担当する機器間インターフェース検討作業班が設けられた。

2009 年に ITU-R への規格提案を開始した。これらは、5.1 チャンネルを超え 22.2 チャンネルまでのマルチチャンネル音響スタジオ規格案、映像規格として彩度の高い 3 原色点により広い色域を包含するカラリメトリーの提案などである。

以上の活動は、金澤勝、境田慎一、金次保明、中村円香、渡辺馨、濱崎公男が主に担当した。

[金澤 勝]

文 献

- (1) 正岡, 江本, 菅原, 岡野: 広視野・超高精細平面ディスプレイの画角と臨場感の関係, 映情学技報, Vol. 28, pp. 17-20 (2004)
- (2) 江本, 正岡, 菅原: 広視野映像による臨場感の提示視角依存性と評価指標間関係, 映情学技報, Vol. 29, No. 60, pp. 33-36 (2005)

- (3) K. Masaoka, M. Emoto, M. Sugawara and F. Okano: Presence and preferable viewing conditions when using an ultrahigh-definition large-screen display, SPIE, Vol. 5668, pp. 28-37 (2005)
- (4) M. Emoto, M. Sugawara and Y. Nojiri: Viewing angle dependency of visually-induced motion sickness in viewing wide-field images by subjective and autonomic nervous indices, Displays, Vol. 29, pp. 90-99 (2008)
- (5) K. Masaoka, M. Emoto, M. Sugawara and Y. Nojiri: Contrast effect in evaluating the sense of presence for wide displays, Journal of the SID, Vol. 14, pp. 785-791 (2006)
- (6) K. Masaoka, M. Emoto, M. Sugawara and Y. Nojiri: Comparing realness between real objects and images at various resolutions, Proc. of SPIE-IS&T Electronic Imaging, Vol. 6492, pp. 1-9 (2007)
- (7) K. Masaoka, T. Niida, M. Murakami, K. Suzuki, M. Sugawara and Y. Nojiri: Perceptual limit to display resolution of images as per visual acuity, Electronic Imaging (2008)
- (8) 松尾, 江本, 菅原: 広視野映像システムに必要なフレーム周波数の検討-横方向動体視力の視覚依存性-, FIT 2007, pp. 419-420 (2007)
- (9) 大村, 菅原, 野尻: 静止画との比較による動画蓄積ぼやけの評価, 信学総大, pp. DS-3-3 (2008).
- (10) 大村, 菅原, 野尻: 撮像のフレーム周波数・開口率をパラメータとしたジャーキネスの主観評価, 信学技報, pp. 7-11 (2009)
- (11) M. Emoto and M. Sugawara: Flicker perceptions for wide-field-of-view and hold-type image presentations, IDW '09, pp. 1233-1234 (2009)
- (12) K. Masaoka, Y. Nishida and M. Sugawara: Designing a Wide-Gamut System Colorimetry for UHDTV, IDW '09, pp. 1237-1238 (2009)
- (13) 三谷, 菅原, 岡野: 60 fps 順次走査方式 800 万画素 3 板式カラー撮像実験装置, 映情学技報, Vol. 25, No. 75, IPU 2001-91, pp. 1-6 (2001)
- (14) 山下, 三谷, 菅原, 島本, 岡野: 走査線 4000 本級 4 板式超高精細動画カメラ, 映情学誌, Vol. 58, No. 3, pp. 383-391 (2004)
- (15) K. Mitani, S. Sugawara and F. Okano: Real-time gain correction method using a reference light for an area-parallel-type FT-CCD with multi-output taps, Journal of Electronic Imaging, Vol. 15, No. 1, 013001 (2006)
- (16) 山下, 島本, 三谷, 菅原, 岡野: 4 板撮像・表示方式超高精細映像システムにおける輪郭補償, 映情学技報, Vol. 26, No. 78, pp. 5-8 (2002)
- (17) M. Shirakawa, T. Yamashita, K. Mitani, M. Sugawara, I. Takayamagi, J. Nakamura, S. Iversen, J. Moholt and E. Fossum: Design consideration of FPN suppression circuit for a 1.25-8.3-Mpixel digital output CMOS APS, IEEE Workshop on CCD and AIS (2003)
- (18) 船津, 三谷: イメージセンサパッケージ内に実装されたバイパスコンデンサの効果, 映情学冬大, 5-1 (2005)
- (19) T. Yamashita, K. Mitani, H. Shimamoto, M. Shirakawa and F.

- Okano : A new sensor alignment method for an 8 k×4 k-pixel ultra-high definition camera with four imagers, Proceedings of SPIE, 5301 A-14, pp. 76-86 (2004)
- (20) K. Mitani, H. Shimamoto, T. Yamashita and R. Funatsu : Extremely High-resolution Camera System with Four 1.25-inch 8 M-pixel CMOS Image Sensors, Proceedings of the 12 th IDW, ITE, Takamatsu, IDS 1-1, 2005, pp. 2033-2036 (2005)
- (21) H. Shimamoto, T. Yamashita, N. Koga, K. Mitani, M. Sugawara, F. Okano, M. Matsuoka, J. Shimura, I. Yamamoto, T. Tsukamoto and S. Yahagi : An 8 k × 4 k Ultrahigh-Definition Color Video Camera with 8 M-Pixel CMOS Imager, SMPTE Motion Imaging Journal, Vol. 114, No. 7-8, pp. 260-268 (2005)
- (22) T. Yamashita, H. Shimamoto, R. Funatsu, K. Mitani and Y. Nojiri : Lateral Chromatic Aberration Correction System for Ultrahigh-Definition Color Video Camera, Proceedings of SPIE, 6068-25 (2006)
- (23) T. Yamashita, S. Huang, R. Funatsu, B. Mansoorian, K. Mitani and Y. Nojiri : Experimental color video capturing equipment with three 33-megapixel CMOS image sensors, Proceedings of SPIE, 7249-18, pp. 7249H. 1-10 (2009)
- (24) 船津, 山下, 三谷, 野尻 : 光並列トランシーバを用いたスーパーハイビジョン機器間インターフェース, 信学総大, D-11-35, p. 35 (2008)
- (25) 船津, 山下, 三谷, 野尻 : スーパーハイビジョンカメラ用フォーカス補助信号の検討, 映情学冬大, 10-11 (2009)
- (26) M. Kanazawa, K. Hamada, I. Kondoh, F. Okano, Y. Haino, M. Sato and K. Doi : A wide-screen projector of 4 k × 8 k pixels, IDW '02, 3 D 3-1, pp. 1241-1244 (2002)
- (27) M. Kanazawa, K. Hamada, I. Kondoh, F. Okano, Y. Haino, M. Sato and K. Doi : An ultrahigh-definition display using the pixel-offset method, Journal of SID, Vol. 12, No. 1, 2004, pp. 93-103 (2004)
- (28) 日下部, 金澤, 岡野 : 超高精細映像表示システムのコンバーゼンス誤差と素子位置調整の自動化, 映情学誌, Vol. 60, No. 2, pp. 234-241 (2006)
- (29) 安藤, 金澤, 濱崎 : 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 22.2 マルチチャンネル音響システム～, 映情学誌, Vol. 59, No. 4, pp. 502-505 (2005)
- (30) K. Masaoka, M. Kawakita, M. Sugawara, M. Kanazawa, K. Ohzeki and Y. Nojiri : Image Quality Management for the Super Hi-Vision System at the Kyushu National Museum, 信学論 A, Vol. E 89-A, No. 11, Nov., pp. 2938-2944 (2006)
- (31) 吉川, 藤沼, 菅原, 関口, 金澤, 岩城, 濱崎, 中山, 横山, 河内 : NHK みんなの広場 ふれあいホールのスーパーハイビジョン設備設置について, 放送技術 Vol. 59, No. 6, pp. 629-636 (2006)
- (32) Y. Kusakabe, M. Kanazawa, Y. Nojiri, M. Furuya and M. Yoshimura : A YC-separation-type projector : High dynamic range with double modulation, Journal of SID, Vol. 16, No. 2, pp. 837-843 (2008)
- (33) M. Kanazawa, K. Mitani, K. Hamasaki, M. Sugawara, F. Okano, K. Doi and M. Seino : Ultrahigh-Definition Video System with 4000 Scanning Lines, Proc. IBC 2003, pp. 321-329 (2003)
- (34) 大坪, 金澤, 野尻 : スーパーハイビジョン自動編集システムの試作, 映情学技報, Vol. 32, No. 24, BCT 2008-57 (Jun. 2008), pp. 9-12 (2008)
- (35) 松尾, 矢野 : 4000 本級超高精細映像を用いた 24 フレーム/秒の高精細映像へのフレームレート変換法の検討, 信学論 D, Vol. J 91-D, No. 2, pp. 471-483 (2008)
- (36) 船津, 塚本, 今村, 山下, 三谷, 野尻 : スーパーハイビジョン映像を用いた実時間ハイビジョン電子ズーム装置の開発, 映情学誌, Vol. 63, No. 12, pp. 1868-1876 (2009)
- (37) K. Hiyama, K. Hamasaki and S. Komiyama : The minimum number of loudspeakers and its arrangement for reproducing the spatial impression of diffuse sound field, AES 113 th Convention, Convention paper 5674 (2002)
- (38) 黒住 : 連続的な音像の拡がり感を実現するためのスピーカー配置, 音響学会講演論文集, 1-1-7 (1988)
- (39) 黒住 : 垂直面内に配置した 2 つのスピーカーによる合成音像の定位, 音響学会講演論文集, 2-2-9 (1989)
- (40) 濱崎, 火山, 金澤, 三谷, 菅原 : 走査線 4000 本級超高精細映像のための三次元音響システム, 映情学誌, Vol. 27, No. 64, pp. 35-38 (2003)
- (41) SMPTE 2036-2-2008, Ultra High Definition Television - Audio Characteristics and Audio Channel Mapping for Program Production (2008)
- (42) K. Hamasaki, K. Hiyama, T. Nishiguchi and K. Ono : Advanced Multichannel Audio Systems with Superior Impression of Presence and Reality, AES 116 th Convention, Convention paper 6035 (2004)
- (43) K. Hamasaki, T. Nishiguchi, R. Okumura and Y. Nakayama : Wide Listening Area with Exceptional Spatial Sound Quality of a 22.2 Multichannel Sound System, AES 122 nd Convention, Convention paper 7037 (2007)
- (44) K. Hamasaki, T. Nishiguchi, R. Okumura, Y. Nakayama and A. Ando : A 22.2 Multichannel Sound System for Ultrahigh-Definition TV (UDHTV), SMPTE Journal, Vol. 117, No. 3, pp. 40-49 (2008)
- (45) K. Hamasaki, K. Hiyama and R. Okumura : The 22.2 Multichannel Sound System and Its Application, AES 118 th Convention, Convention paper 118 (2005)
- (46) K. Hamasaki, T. Shinmura, S. Akita and K. Hiyama : Approach and Mixing for Natural Sound Recording of Multichannel Audio, AES 19 th International Conference (2001)
- (47) K. Hamasaki, S. Komiyama, H. Okubo, K. Hiyama and W. Hatano : 5.1 and 22.2 Multichannel Sound Productions Using an Integrated Surround Sound Panning System, AES 117 th Convention, Convention paper 6226 (2004)
- (48) A. Ando and K. Hamasaki : Sound intensity based three-dimensional panning, AES 126 th Convention, Convention paper 7675 (2009)
- (49) T. Nishiguchi, Y. Nakayama, R. Okumura, T. Sugimoto, A. Imai, M. Iwaki, K. Hamasaki, A. Ando, S. Kitajima, Y. Otsuka and S. Shimaoka : Production and Live Transmission of 22.2

- Multichannel Sound with Ultrahigh-definition TV, AES 122nd Convention, Convention paper 7137 (2007)
- (50) A. Ando : Adaptation of Multichannel Sound Reproduction to Restricted Speaker Arrangement, Proc. ICA 2007 (The 19th International Congress on Acoustics), Paper no. ELE-01-002 (2007)
- (51) A. Ando : Conversion of reproduced sound field based on the coincidence of sound pressure and direction of particle velocity, Proc. ICA 2010 (The 20th International Congress on Acoustics) (2010)
- (52) ITU-R BS 1116-1, Methods for the subjective assessment of small impairments in audio systems including multichannel sound systems (1994-1997)
- (53) 西田, 市ヶ谷, 黒住, 中須 : スーパーハイビジョン MPEG-2 コーデックの開発, 信学総大, D-11-26, p. 26 (2006)
- (54) S. Sakaida, N. Nakajima, A. Ichigaya, M. Kurozumi, K. Iguchi, Y. Nishida, E. Nakasu and S. Gohshi : The Super Hi-Vision Codec, IEEE ICIP 2007, MA-L 1.6, pp. I 21-I 24 (2007)
- (55) 黒住, 西田, 田中, 深澤, 岩津 : スーパーハイビジョンの長距離ライブ IP 伝送実験, 映情学年次大, 10-4 (2007)
- (56) 井口, 中島, 境田, 合志, 筋誠, 鈴木, 伊藤, 中川, 数井 : スーパーハイビジョンコーデックの開発と衛星伝送実験, 信学論 B, Vol. J 92-B, No. 7, pp. 991-1002 (2009)
- (57) S. Sakaida, A. Ichigaya, E. Nakasu and S. Gohshi : Compression coding of Super Hi-Vision via Expansion of MPEG-4 AVC/H. 264 Transform Block Size, IWAIT 2007, P 1-24, pp. 902-907 (2007)
- (58) 市ヶ谷, 西田 : DCT/DST 相互予測符号化, 信学技報, Vol. 107, No. 379, IE 2007-118, pp. 31-37 (2007)
- (59) P. Wilson, S. Gohshi and Y. Matsuo : Supporting the March to 8 K, SMPTE 2008 Annual Technical Conference and Expo (2008)
- (60) 中山, 濱崎, 安藤 : 22.2 マルチチャンネル音響コンテンツのチャンネル間統計量の分析, 2006 年秋季日本音響学会研究発表会講演論文集, pp. 447-448 (2006)
- (61) ARIB STD-B 32 2.2 版, デジタル放送における映像符号化、音声符号化および多重化方式 (2009)
- (62) ISO/IEC 13818-7 : 2006/Cor 1 : 2009 Information Technology-Generic coding of moving pictures and associated audio information-Part 7 : Advanced Audio Coding (AAC) TECHNICAL CORRIGENDUM 1 (2009)
- (63) 筋誠, 鈴木, 山形, 田中, 西田, 菅原 : スーパーハイビジョン信号の 21 GHz 帯室内伝送実験, 映情学技報, Vol. 30, No. 12, pp. 13-16, BCT 2006-23 (2006)
- (64) 筋誠, 鈴木, 田中, 正源 : スーパーハイビジョン伝送のための広帯域変復調器の試作, 映情学技報, Vol. 31, No. 36, pp. 5-8, BCT 2007-65 (2007)
- (65) 筋誠, 鈴木, 田中, 正源 : Super Hi-Vision Transmission Experiment in the 21 GHz band with Prototypes of a Wideband Modulator and a Demodulator, 信学技報, Vol. 107, No. 299, pp. 221-226, SAT 2007-54 (2007)
- (66) 筋誠, 鈴木, 田中, 正源 : Super Hi-Vision Transmission Experiment in the 21 GHz Band, NAB Proceedings 2008, pp. 515-521 (2008)
- (67) 橋本, 井上, 松本, 方田, 上田, 市川, 佐藤, 柴田, 石原, 大田, 野崎, 北之園, 斉藤, 筋誠, 小島, 鈴木, 田中 : 高度衛星デジタル放送の ARIB 実証実験, 信学技報, Vol. 108, No. 357, SAT 2008-53, pp. 1-6 (2008)
- (68) 橋本, 井上, 松本, 方田, 上田, 市川, 佐藤, 柴田, 石原, 大田, 野崎, 北之園, 斉藤, 筋誠, 小島, 鈴木, 田中 : 高度衛星デジタル放送方式の ARIB 実証実験, 映情学誌, Vol. 63, No. 7, pp. 957-966 (2009)
- (69) H. Sujikai, Y. Suzuki, A. Hashimoto, K. Shogen, K. Iguchi, S. Goshi, A. Bertella, V. Mignone, B. Sacco and M. Tabone : Pre-Test for SHV Transmission via Satellite in Italy, 信学ソ大, B-3-9, p. 238 (2008)
- (70) A. Morello, V. Mignone, K. Shogen and H. Sujikai : Super Hi-Vision - delivery perspectives, EBU Technical Review, 2009-Q 0 (2009)
- (71) 筋誠, 鈴木, 井口, 清水, 上村, 市ヶ谷 : IBC 2008 におけるスーパーハイビジョンの国際伝送実験, 放送技術, Vol. 62, No. 3, pp. 90-97 (2009)
- (72) 筋誠, 鈴木, 小島, 橋本, 田中, 正源 : 衛星「きずな (WINDS)」を利用したスーパーハイビジョン伝送実験, 信学技報, SAT 2009-3, pp. 13-18 (2009)
- (73) 筋誠, 鈴木, 小島, 清水, 橋本, 田中, 木村, 豊田, 松尾, 中島, 井口, 奥村, 中山, 増田, 尾澤, 高橋, 大川, 正源 : 超高速インターネット衛星「きずな」によるスーパーハイビジョンの多チャンネル・生中継伝送実験, 放送技術, Vol. 62, No. 9, pp. 91-98 (2009)
- (74) 中戸川, 前田, 小山田 : 非圧縮スーパーハイビジョン信号の 16 波高密度波長多重方式による長距離伝送, 映情学誌, Vol. 60, No. 9, pp. 1490-1495 (2006)
- (75) 中村, 中戸川, 小山田 : 非圧縮スーパーハイビジョンの 3 波 WDM 方式による伝送の検討, 信学総大, B-10-70 (2008)
- (76) 中村, 中戸川, 小山 : LUT 法による送信端歪み補償の補償性能の光パワー依存性, 信学総大, B-10-42 (2009)
- (77) 中村, 中戸川, 小山田 : 送信端歪み補償の DAC 分解能依存性, 信学総大, B-10-57 (2010)
- (78) 中村, 中戸川, 小山田 : フル解像度スーパーハイビジョン用機器間光インターフェースの試作, 映情学技報, Vol. 33, No. 32, BCT 2009-60 (2009)
- (79) 中戸川, 中村, 小山田, 尾中, 並木, 浅見 : SHV 配信 LAN-SAN システム収容技術の開発, 信学技報, Vol. 108, No. 409, IA 2008-51 (2009)
- (80) 中戸川, 中村, 小山田, 尾中, 並木, 浅見 : 非圧縮 SHV 信号の OTU 3 フレームによる光伝送実験, 信学技報, Vol. 109, No. 421, IA 2009-92 (2010)
- (81) 清水, 市ヶ谷, 青木, 合志, P. C. Smith, P. Style : スーパーハイビジョンの国際 IP 伝送システムの検討および予備実験, 映情学年次大, 3-7 (2008)
- (82) 清水, 上村, 市ヶ谷, 青木 : スーパーハイビジョンの高品質・高信頼 IP 伝送に関する一検討, 映情学冬大, 3-4 (2008)
- (83) J. Zuberzycky, T. Davies, P. C. Smith, P. Styles, B. Whiston, Y. Nishida and M. Kanazawa : Super Hi-Vision - the London-

- Amsterdam live contribution link, EBU TECHNICAL REVIEW, pp. 17–34, Jan. (2009)
- (84) ITU–R BT. 1769, Parameter values for an expanded hierarchy of LSDI image formats for production and international programme exchange (2006)
- (85) ITU–R BT. 2042, Technologies in the area of extremely high resolution imagery (2009)
- (86) ITU–R BT. 2053, Large screen digital imagery (2005)
- (87) SMPTE 2036–1–2009, Ultra High Definition Television–Image Parameter Values, for Program Production (Revision of SMPTE 2036–1–2007) (2009)