1　高臨場感放送

高臨場感放送を目指し、スーパーハイビジョン（SHV）と立体テレビの研究を進めた。

SHVの映像方式について、ITU-Rで標準化を進め、フルスペックSHVのフレーム周波数120Hzや広色域表色系を含む勧告BT.2020「制作および国際番組交換のための超高精細テレビジョンシステムパラメータ値」が2012年8月に成立した。

また、SHV広色域表色系からHDTVの色域に変換する装置を開発した。BT.2020で記載されている信号を伝送するためのインターフェースの仕様を考案し、試作した。

SHVのカメラについては、3300万画素撮像素子を用いた5kgの小型単板カメラヘッドを開発したほか、劇場程度の明るさで運用可能な高感度のカメラを試作した。また、2011年度に試作した120Hz対応SHVイメージセンサーを用いて3板式SHV撮像装置を試作した。さらに、イメージセンサーの感度向上を図るとともに、単板式フルスペックカメラを目指したイメージセンサーの設計も進めている。

SHVのディスプレーについては、2011年度開発した145インチPDPの画質向上を行い、ロンドン五輪のパブリックビューイングにおいて使用した。また、120Hzでの映像表示可能なSHVプロジェクターを開発した。

符号化については、映像圧縮方式規格HEVCの標準化作業への寄与を続け、SHVの映像解像度およびフレームレートに対応したレベルを含む国際標準（2013年中に発行予定）策定に導いた。また、HEVC方式に基づくSHVハードウェアエンコーダーを試作した。一方、超解像技術を活用した新たな符号化方式である画像復元型符号化に基づく4K対応のハードウェアを試作し、本方式の基礎実験を行った。

音響については、実測したインパルスレスポンスを利用する残響付加装置を開発するとともに、球形ワンポイントマイクロホンの指向性を改善した。これらはロンドン五輪での22.2ch音響制作に用いられた。スピーカー配置を変化させて行った主観評価により22.2ch方式の有効性を示した。22.2chの家庭再生のためのディスプレー一体型スピーカーアレーの特性の分析や、前方スピーカーで側方、後方の音を再生するための処理を改善した。また、22.2chのビットストリームの一部から2ch信号や5.1ch信号を再生できる3次元音響符号化方式を開発した。ITU-R、SMPTE、IEC、AES、MPEGにおいて22.2ch関連の規格化に貢献した。

立体テレビについては、自然で見やすく、特別なメガネが不要であるインテグラル立体方式の研究を進めた。複数台のカメラ、ディスプレーを並べて配置し、映像を統合することにより、システム全体として多画素の映像装置を構成する方式を開発した。また、撮像素子と同程度の大きさの微小なレンズアレーを試作し、撮像レンズを廃した小型の撮像装置を開発した。インテグラル立体方式により再現される立体像の品質に関する検討を開始した。一方、多視点映像からインテグラル立体像を取得する手法において、被写体の3次元モデルの統合や、距離センサーの情報を利用することにより改善を図った。また、特殊なパターンを使ったカメラ校正が不要な多視点ロボットカメラシステムを開発した。

SHVの伝送については、大容量の伝送を行うため、12GHz帯および21GHz帯衛星の広帯域伝送方式の検討を進めるとともに、次世代の地上デジタル放送方式を目指し高効率大容量伝送技術の検討を進めた。また、実際のケーブルテレビ施設において複数搬送波伝送装置によるSHVの分配伝送を実証した。一方、素材伝送技術として、SHV信号（144Gbps）を光波長多重伝送する技術と、SHV信号（72Gbps）をイーサネットで伝送する技術の開発を進めた。

1.1　スーパーハイビジョン

1.1.1　スーパーハイビジョンの方式

スーパーハイビジョン（SHV）の映像システムの研究開発ならびに標準化を進めている。

■ 映像フォーマットの標準化

ITU-RでSHV（標準化での用語はUHDTV）の映像方式の標準化を進めた。2011年度には、広色域表色系やフレーム周波数120Hzを含む新勧告草案が合意されていたが、輝度・色差信号式が残課題となっていた。輝度・色差信号式については、定輝度と非定輝度（従来方式）の両方式を比較検討し、定輝度方式の方がRGB原画像からの劣化量は少ないが、両方式間で主観的な画質差がないこと、定輝度方式の輝度・色差信号で信号処理した結果は、RGB信号で処理した結果と異なる場合があることなどの結果を得ていた。

表1　UHDTV映像フォーマットの主要パラメーター（HDTVとの比較）

		UHDTV	HDTV	
ARIB標準規格		STD−B56	S−001C	
画素数（水平×垂直）		7680×4320,　3840×2160	1920×1080	
フレーム周波数（Hz）		120,　60,　60/1.001	60,　60/1.001	30,　30/1.001
フィールド周波数（Hz）		−	−	60,　60/1.001
走査		順次走査	順次走査	飛越走査
表色系（x, y）	R	0.708,　0.292	0.640,　0.330	
	G	0.170,　0.797	0.300,　0.600	
	B	0.131,　0.046	0.150,　0.060	
	白	D65	D65	
輝度信号		$Y' = 0.2627R' + 0.6780G' + 0.0593B'$	$Y' = 0.2126R' + 0.7152G' + 0.0722B'$	
色差信号		$C'_B = \frac{B' - Y'}{1.8814}$　$C'_R = \frac{R' - Y'}{1.4746}$	$C'_B = \frac{B' - Y'}{1.8556}$　$C'_R = \frac{R' - Y'}{1.5748}$	
輝度・色差信号の画素構造		4：4：4,　4：2：2,　4：2：0	4：2：2	
ビット数		10,　12	8,　10	

2012年度は、これらの結果を基にITU−Rでの標準化作業を進めた。その結果、定輝度と非定輝度のそれぞれに得失があるとの認識で一致し、両方式を併記した新勧告案が合意された。承認手続きを経て、8月に勧告BT.2020「制作および国際番組交換のための超高精細テレビジョンシステムパラメーター値」[(1)]が成立した。

ITU−R勧告の成立を受けて、SMPTE規格2036−1の改訂およびARIB標準規格STD−B56[(2)]（表1）の策定を行った。ARIB STD−B56は、ITU−R勧告が規定するフォーマットのうち、国内のUHDTV放送で使用される可能性の高いフォーマットに限定して規定している。

また、ARIBにおけるUHDTVの標準静止画像およびUHDTV広色域表色系に準拠したHDTV解像度の標準静止画像の制作に貢献した。

■ 映像システム

SHV広色域表色系からHDTVの色域に高品位を保ちつつ変換する装置を開発した。演算処理の効率化のために3次元LUT（Look Up Table）を用い、HDTV色域外の色を、明度と色相を保ちつつ彩度だけを下げて色域内の色にマッピングすることによって、RGB値の変換よりも高品質な変換画像を得ることができた。

SHVカメラの解像度特性の要求条件を明らかにするため、種々のHDTV放送用カメラや4Kデジタルシネマ用カメラの解像度特性（MTF：Modulation Transfer Function）を調査し、要求される解像度特性の指針を得た。

■ インターフェース

従来のUHDTVインターフェースは、フィールド周波数60Hz（フレーム周波数30Hz）、4：2：2形式、10ビットを前提としたHD−SDI規格が基になっている。一方、SHVの信号形式には、フレーム周波数120Hz、4：4：4〜4：2：0形式、12ビットを含むため、新たなインターフェースを開発している。フルスペックSHV信号（7680×4320画素、フレーム周波数120Hz、4：4：4形式、12ビット）を伝送可能で、なおかつ3840×2160画素、フレーム周波数60Hz、4：2：2や4：2：0形式などの種々のUHDTV信号を統一的に扱うことができる10Gbit/sマルチリンクのインターフェースを考案した。そして、このインターフェースの有効性や実現性を検証するため、送信・受信装置を試作した。

〔参考文献〕

(1) Recommendation ITU−R BT.2020, “Parameter values for ultra−high definition television systems for production and international programme exchange”（2012）

(2) ARIB標準規格STD−B56, “超高精細度テレビジョン方式スタジオ規格”（2013）

1.1.2　カメラ

スーパーハイビジョン(SHV)カメラに関する研究として、単板式による小型撮像装置の研究と、フルスペック化に向けたフレーム周波数120Hzでの撮像方式や広色域化に関する検討、およびフルスペックSHV用イメージセンサーの開発を進めた。

■ SHV撮像方式の研究

実用化を目指した小型カメラの開発について、3300万画素撮像素子を用いた単板式による小型カメラヘッドを試作した(図1)[1]。重量は5kgであり、現行ハイビジョン放送用カメラと同程度である。このカメラヘッドを用いて、紅白歌合戦においてテスト撮影を実施した。さらにフル解像度化を目指し、超多画素撮像素子の試作を行った。

フルスペック化に向けて、3300万画素撮像素子4板式による120Hz撮像実験装置を用いた野外撮像実験を行った。撮影した映像は技研公開にて120Hzプロジェクターを使って展示、上映した。また、2011年度に実施したカメラの広色域化に関する検討結果に基づいて、SHVカメラ用プリズムを新たに設計し、このプリズムを用いてSHV広色域カメラを試作した。

現行のSHVカメラで課題となっている高感度化について、大判撮像素子と信号処理の組み合わせによる手法を検討し、劇場程度の明るさで運用可能な装置を試作した。

■ フルスペックSHV撮像デバイスの高感度化

2012年に規格化されたフルスペックSHVの仕様に基づいた、フレーム周波数120Hz、3300万画素のイメージセンサーの開発を進めている。2012年度は、2011年度に試作したイメージセンサー[2]を3枚用い、3板カラー方式の撮像装置を試作した(図2)[3]。撮影実験の結果、2000luxの明るさでF4.8、SN比51dBの性能が得られた。本装置は、映像信号処理装置と120Hz映像切り出し表示装置を備え、撮影したカラー映像をリアルタイムで表示可能である。動画像の撮影実験を行った結果、動きの速い被写体において、フレーム周波数120Hzで撮影した映像は、60Hzと比較して動きぼやけの少ない映像となることを示した。本装置は、技研公開およびアムステルダムで開催された国際放送機器展IBC2012において、技術発表とデモ展示を行った。

フルスペックSHV用イメージセンサーは画素数が多いため、1画素当たりの大きさはハイビジョン用イメージセンサーなどと比べて小さくなり、感度低下を招きやすい。さらに、フレーム周波数が高く1フレーム当たりの光の蓄積時間はハイビジョンの1/4程度となるため、原理的に感度が低下する。2011年度は画素構造の見直しとオンチップマイクロレンズの搭載により、感度を従来比2.4倍に改善した。2012年度は、半導体プロセスを0.11μmルールに微細化することにより、さらに2倍程度の感度改善を可能とするイメージセンサーを試作した。

■ フルスペックSHV単板カラー撮像デバイスの研究

フルスペックSHVカメラの小型化を目指し、イメージセンサーの各画素の上に微小なカラーフィルターを搭載し1枚の撮像素子でカラー画像が取得できる、単板カラーイメージセンサーの開発を進めている。フルスペックSHVでは、赤・青・緑のそれぞれの色の画像に対して3300万画素が必要となるため、イメージセンサー全体では1億画素以上が必要となる。このような超多画素をフレーム周波数120Hzで動作させるためには、電源回路、AD変換回路、出力インターフェース回路などが、安定して高速で動作することを確認する必要がある。2012年度は、要素回路の設計を進めるとともに、シミュレーションにより主要回路が高速で動作することを確認した。

フルスペックSHV撮像デバイスおよびフルスペックSHV単板カラー撮像デバイスの研究は、静岡大学と共同で実施した。

図1　スーパーハイビジョン用カメラヘッド
＜試作した小型機(左)と従来機(右)＞

図2　120Hzスーパーハイビジョン
3板カラー撮像装置

〔参考文献〕

(1)船津，山下，添野ほか："スーパーハイビジョン用小型カメラヘッドの開発，"映情学年大，19-6(2012)

(2)K. Kitamura, T. Watabe, T. Sawamoto, T. Kosugi, T. Akahori, T. Iida, K. Isobe, T. Watanabe, H. Shimamoto, H. Ohtake, S. Aoyama, S. Kawahito and N. Egami："A 33-Megapixel 120-Frames-Per-Second 2.5-Watt CMOS Image Sensor With Column-Parallel Two-Stage Cyclic Analog-to-Digital Converters，" IEEE Transactions on Electron Devices, vol.59, no.12, 2012, pp.3426-3433(2012)

(3)K. Kitamura, T. Watabe, H. Shimamoto, H. Ohtake, S. Kawahito, T. Kosugi, T. Watanabe, T. Yanagi, H. Kikuchi, T. Yoshida and N. Egami："DEVELOPMENT OF 33-MEGAPIXEL 120-HZ CMOS IMAGE SENSOR AND EXPERIMENTAL COLOUR CAMERA SYSTEM，" International Broadcasting Convention 2012［IBC 2012］Conference(2012)

1.1.3　ディスプレー

スーパーハイビジョン(SHV)の直視型ディスプレーおよびプロジェクターの研究を進めた。

■ プラズマディスプレー

高画質な自発光・直視型ディスプレーによる，SHV用大画面・超高精細パネルの実現を目指し，プラズマディスプレー(PDP)の開発を進めている。2012年度は，2011年度に試作した，対角145インチSHVフル解像度PDP[1]の画質向上と周辺機器の小型化に取り組んだ。パネルの大画面・超高精細化に伴い生じる，僅かな明るさのばらつきを補正する映像信号処理技術を前処理(フロントエンド)装置に導入し，映像表示の均一性をより向上させた。この技術を適用した高画質SHV用PDPを，ロンドンオリンピックのSHVパブリックビューイング[2]や，外部向けの広報展示などに広く活用した[3]。一方，実用化に向けたフロントエンド装置の小型化の検討を進め，従来の30%以下の装置サイズで構成可能なことを実証し，映像信号の前処理機能を含んだ一体型PDPが実現可能な見通しを得た。また，マルチチャンネル音響再生が可能な大画面パネル用スピーカアレーをフォスター電機(株)と共同で開発し，映像・音響再生装置を一体化したフル解像度SHV用フラットパネルモニターを実現した(図1)。

図1　スピーカーアレーを組み込んだ145インチSHV用プラズマディスプレー

■ 高フレームレート表示技術

フルスペックSHV映像を表示可能なディスプレーの開発を進めている。2012年度は、フレーム周波数120HzでSHV映像を表示できるプロジェクターを(株)JVCケンウッドと共同で開発した[4](図2)。本プロジェクターは、既開発の800万画素の反射型液晶素子3枚とe-shiftデバイスを用いたフレーム周波数60Hz表示の小型SHVプロジェクターをベースとしている。表示素子の駆動方法を工夫し、表示素子とe-shiftデバイスを倍速の120Hzで駆動することで、フレーム周波数120HzのSHV映像表示を実現した。また，家庭用ディスプレーへの適用を目的に，直視型ディスプレーの高フレームレート化のための要素技術探索に着手し，ホールド型ディスプレーに適応するパネル駆動技術の検討を進めた。

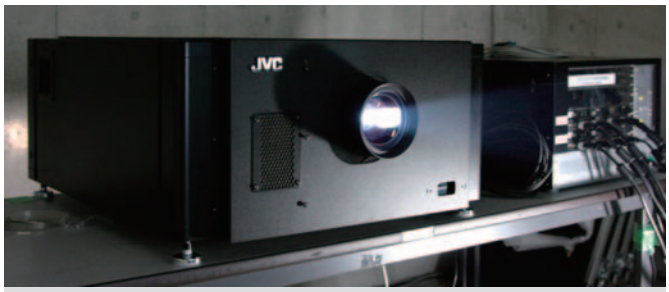

図2　120Hz SHVプロジェクターの外観

〔参考文献〕
(1)報道発表資料：http://www9.nhk.or.jp/pr/marukaji/m-giju322.html
(2)石井，菅原，鹿喰，伊藤："SUPER Hi-VISION Public Viewing at London 2012 Olympic Games,"International Display Workshop in conjunction with Asia Display 2012, pp.267-270(2012)
(3)村井，阿部，大植，石井，村上，清水："Development of 145-in. Diagonal SUPER Hi-VISION PDPs,"International Display Workshop in conjunction with Asia Display 2012, pp.1003-1006(2012)
(4)報道発表資料：http://www9.nhk.or.jp/pr/marukaji/m-giju329.html

1.1.4　符号化

スーパーハイビジョン(SHV)放送の実現に向けて、映像圧縮符号化の研究を進めた。

■ 次世代映像符号化方式HEVC/H.265

2010年度から始まった次世代の映像符号化方式HEVC(High efficiency video coding)/H.265(以降HEVC)の標準化作業に寄与した。HEVCがSHV映像の符号化方式として利用可能なように、SHV映像の解像度およびフレーム周波数に対応したレベル策定と，高品質な放送実現のため1画素当たり10ビット深度のプロファイル(main10)の策定に寄与した。HEVC規格は2013年中に国際標準として発行される予定である。

HEVCと従来のAVC/H.264(以降AVC)との符号化性能比較を種々のSHV映像について行った。標準化作業で用いられているソフトウェアを使用して映像符号化実験を行った結果、使用したSHV映像のうち半数以上でHEVCがAVCの2倍程度の符号化性能を達成することを確認した[1]。

HEVC標準化の進捗を受け、HEVC対応のSHV符号化装置を

図1 HEVC対応SHV符号化装置

試作した(図1)。この装置はHEVCのmain10プロファイル相当の符号化方式により60HzのSHV映像を圧縮し、ローカルデコードした映像を出力する。これまでに開発したAVCのSHV符号化装置は、映像を時空間に分割して独立に符号化しており、分割した映像間での予測が不可能であったため分割境界付近で画質劣化が生じる可能性があった。今回試作した装置では、画面分割は行うものの、分割境界を超えた予測が可能なため符号化効率が向上している。

さらに、総務省の委託研究「情報通信ネットワークの耐災害性強化のための研究開発」(研究課題：災害情報を高圧縮・低遅延で伝送する技術の研究開発)を受託し、HDTV対応のHEVCエンコーダーを開発、AVCと比較して約2倍の性能を実現することを主観評価によって検証した。

以上の研究は、三菱電機(株)と共同で行った。

■ 画像復元型符号化

画像復元技術と映像符号化方式を組み合わせることで超高圧縮・高画質を実現する画像復元型符号化の研究を進めた。

空間解像度変換に基づく画像縮小処理および超解像処理について、4K解像度の入力信号に対応したハードウェアを試作した[(2)](図2)。FPGA搭載の共通プラットフォームを利用し、処理別に論理実装を行う構成とした。画像縮小処理装置には画素単位で制御可能な畳み込み演算を実装し、折り返し歪(ひずみ)や標本化位相の制御を実現した。超解像処理装置は、適応畳み込み演算を並直列接続した構成にすることで、ウェーブレット超解像における基底関数や画質補正用パラメーターの適応制御を可能にした。開発した画像縮小装置および超解像装置とHDTV対応のAVC符号化装置とを組み合わせ、超解像処理を用いた画像復元型符号化の基礎実験を行った。

図2　画像復元型符号化ハードウェア(共通プラットフォーム)

画像復元型符号化の特長である、復元処理に有用な情報を伝送可能な仕組みを利用し、時間方向、階調方向、色空間方向に適用する研究を進めた。

時間方向では、120Hz映像のフレームを間引き60Hz用符号化装置で実現する手法を開発した。符号化側で複数のフレーム補間手法を試行し、その情報を伝送する。受信側では、伝送された情報を基に複数フレーム超解像技術を適用し、120Hz映像に復元する。従来のフレームレート変換技術よりも補間フレームが画質改善することを実験により確認した[(3)]。

階調方向では、2011年度に開発した手法を改善した。雑音を除去し画像のなだらかな階調変化をできるだけ保存する量子化により階調を削減する。受信側では周辺画素の階調値に応じた中間階調復元を行う。実験により高い雑音除去性能と疑似輪郭抑制効果を得た。

色空間方向では、入力映像に適応的な色変換を用いる手法を開発した。時間的に連続する2フレームの色信号6成分を、符号化に適した信号へ主成分分析により変換する。変換により2フレーム間の時間相関、色相関を統合的に除去した信号を符号化する。輝度が時間的に変化する映像で効果が大きいことを確認した。

〔参考文献〕

(1)杉藤，松尾，市ヶ谷，境田："スーパーハイビジョン画像におけるHEVCとAVC/H.264との符号化性能比較，"映像学年大，12-5(2012)

(2)T. Misu, Y. Matsuo, S. Iwamura, S. Sakaida and Y. Shishikui："Reconstructive Video Coding System - Broadcasting UHDTV to homes with the aid of super-resolution techniques，" Proc. IEEE GCCE 2012, pp.558-560(2012)

(3)三須，松尾，岩村，井口，境田："複数フレーム参照によるフレーム内挿法とその映像符号化への応用，"第11回情報科学技術フォーラム講演論文集，no.3, I-019, pp.289-292(2012)

1.1.5　高臨場感音響システム

スーパーハイビジョン(SHV)用の音響システムとして22.2マルチチャンネル音響(上層9チャンネル、中層10チャンネル、下層3チャンネル、低域強調2チャンネルから成るマルチチャンネル音響、以下，22.2ch音響)のシステム開発と標準化、家庭導入に向けた伝送・再生技術の研究を進めている。

■ SHV音響システムの研究

制作システムについては、実用型の残響付加装置を開発し、これに国内の競技場で測定した22方向のインパルス応答を実装して、ロンドン五輪SHV音響制作で使用した。また、音源方向ごとに残響感を変えることのできる新型のミキシングコンソールを開発した。さらに、技術局と共同で開発中の22.2ch音響の

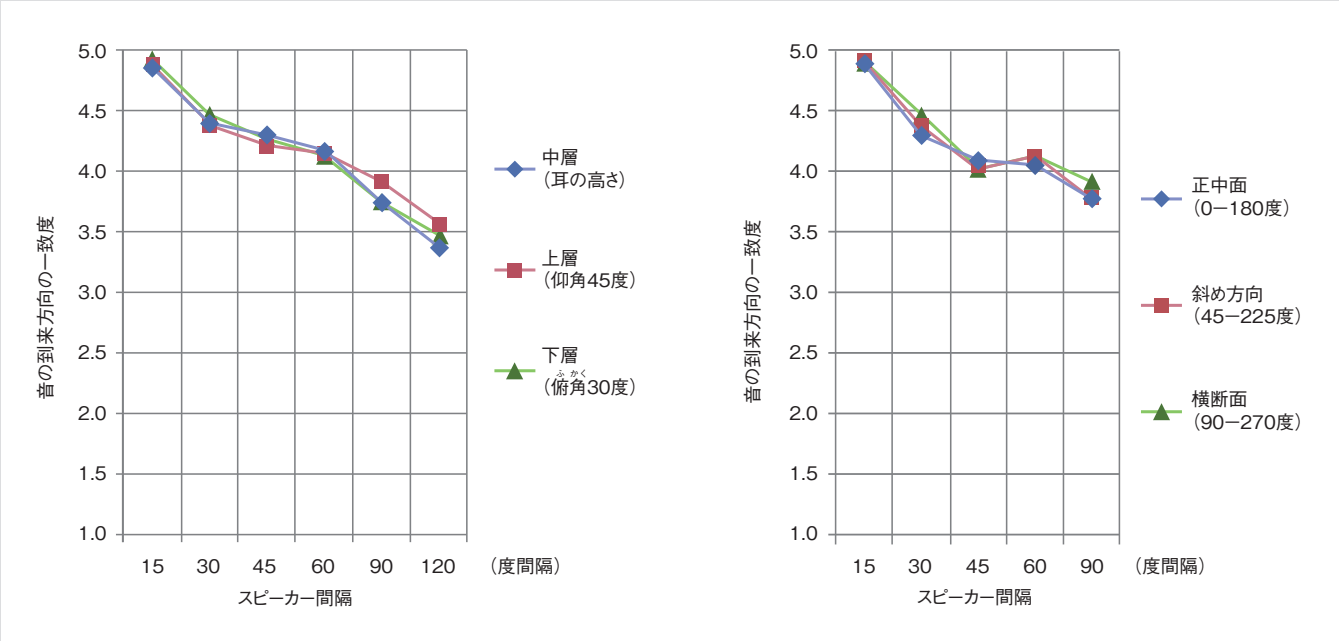

図1　スピーカー間隔と音の到来方向の精度の関係　（左：水平面内、右：垂直面内）

ヘッドホンプロセッサーに音像定位の精度を向上させるための3次元ヘッドトラッキング機能を追加した。

直径45cmの球形ワンポイントマイクロホンについては、指向性を改善するために音響遮蔽板の形状を改良し、ロンドン五輪で使用した。また、小型化に伴う指向性の劣化を補償する信号処理手法を考案した。

空間音響知覚の研究では、22.2ch音響方式の有効性を確認するための実験を行い、スピーカー間隔が60度以下であれば、音の到来方向を実音源と同じ精度で再現できることを示した（図1）[1]。また、スピーカー位置が上層は正面方向に約30度、中層は側方に約10度ずれた場合においても、空間印象が大きく劣化しないことが分かった。

■ 標準化

ITU-Rでは、4月会合で勧告「5.1ch超マルチチャンネル音響方式」の作成に向けたワークプランの提案を行った。10月会合では、22.2ch音響と10.2ch音響のマルチチャンネル音響方式スタジオ規格の提案を日韓連名で行った。

IECでは、IEC62574として規格化した22.2ch音響のチャンネルアサインメント情報をデジタルオーディオI/Fで伝送するためのIEC60958-3の改定作業を行い，草案がTA4で承認された。AESでは、AES3と同じ物理層で、最大32チャンネルのオーディオ信号を伝送するための新規格を提案した。SMPTEでは、3次元音響に関するスタディーグループを立ち上げ、22.2ch音響に関する情報を入力した。

MPEGでは、3次元音響符号化に関して、22.2ch音響システムのオーディオレベル校正法や評価実験用スピーカー配置について寄与文書を入力し、MPEG-H 3D AudioのCall for Proposal発行に貢献した。

■ SHV音響伝送・再生技術の研究

22.2ch音響の家庭用再生システムの一つとして開発中のディスプレー一体型のスピーカーアレーフレーム（LAF）については、2012年度は、波面合成技術によって画面上の仮想音源位置から実音源とほぼ同じ波面が生成できることを実測で確認した[2]。さらに、新たに定義した評価関数を使って、この波面の乱れに周波数依存性があることを明らかにした。

LAFで聴取者の側方、後方の音を再生するためのトランスオーラル技術については、視聴エリアの狭さが課題である。これを解決するために、LAFの多数のスピーカーを使い、従来の時間領域での信号処理に加え、周波数領域で信号処理を行う手法を開発した。

LAFおよび画面上下の2本の線状スピーカーアレーで、聴取者の側方および後方の音を再生する手法として、波面合成技術と、音のビームを形成する技術の検討を韓国ETRIと共同で進めた。

さらに将来の音響再生方式として必須となる奥行き感制御に関連して、LAFで生成する音像位置を画面より奥にした場合の周波数応答の変化と波面の乱れを最小化する方法を開発した。

22.2ch音響のヘッドホン再生については、22方向の信号をバイノーラル信号に変換するための頭部伝達関数（HRTF）を個人に最適化する手法の検討を進めた。HRTFを周波数特性などの特徴量によって分類し、その中から個人に適したHRTFを選択する手法を開発し、携帯デバイスに実装した。

3次元音響符号化については、既存の放送システムと互換性を確保するために、22.2ch信号のビットストリームを全て復号することなく、従来の2chステレオ信号や5.1ch信号を抽出できる方式を開発した[3]。

■ 超臨場感メーターの開発

音による臨場感や感動の客観評価法については、2012年は、音響印象の時間的な変化を調べた。楽曲全体の評価値の相関が高い印象は時系列データで比較しても相関が高いこと、楽曲全体の評価値の相関が低い場合であっても印象の時間的な変化は同期することが分かった。この研究は、（独）情報通信研究機構の委託研究「革新的な三次元映像による超臨場感コミュニケーショ

ン技術の研究開発」を受託して実施した。

〔参考文献〕
(1) H.Ookubo, K.Watanabe, S.Oode：“Report of studies on advanced multichannel sound system beyond 5.1ch sound sensation of listener's envelopment and localization of phantom sound images on loudspeaker configurations with height channels ” ITU, 6C/85-E (2012)
(2) H.Okubo, T.Sugimoto, S.Oishi, A.Ando：“A Method for Reproducing Frontal Sound Field of 22.2 Multichannel Sound utilizing a Loudspeaker Array Frame, ” AES 133rd Convention, Convention paper 8714 (2012)
(3) A.Ando：Coding and transmission of three-dimensional sound using its spatial features, Acoust. Sci.&Tech. vol.33, no.5, pp.326-328 (2012)

1.1.6　衛星伝送技術

■ 次世代衛星放送伝送方式

フィードフォワードブラインド適応等化器を実装した300MHz級広帯域変復調器を試作し、模擬衛星中継器による伝送実験を行った。変調方式-符号化率を8PSK-3/4とした場合、シンボルレート247Mbaud、ロールオフ率0.1において、所要C/N＋OBO（Output Back Off）で4.7dBの改善を確認した（図1）[1]。

高度広帯域衛星デジタル放送の伝送方式について、送信側歪（ひずみ）補償および受信側適応等化を適用した場合の模擬衛星中継器による伝送実験を行った。8PSK-3/4、16APSK-3/4および32APSK-4/5の所要C/N＋OBOがそれぞれ約0.2dB、0.5dB、1.1dB改善することを確認した。また、衛星中継器の伝送帯域幅として69MHzを想定し、最大シンボルレートを69Mbaud、ロールオフ率を0.0～1.0の間で任意の値を設定できる変復調器を試作した。

伝送性能改善を目的として、8PSKの集合分割法におけるビットごとの訂正能力を考慮したLDPC検査行列の設計を行った。第1ビット、第2ビットに適用するLDPC符号について符号化率をパラメーターとした計算機シミュレーションを行い、伝送性能が最も良くなる符号化率を確認した。

スーパーハイビジョンなどの大容量素材伝送を目的として、WINDS衛星を利用した衛星伝送実験を行った。8PSK、16APSK、32APSKについて、1波伝送およびバルク伝送を想定した2波隣接FDM伝送実験を行い、いずれもIF折り返し伝送に近い性能が得られることを確認した。

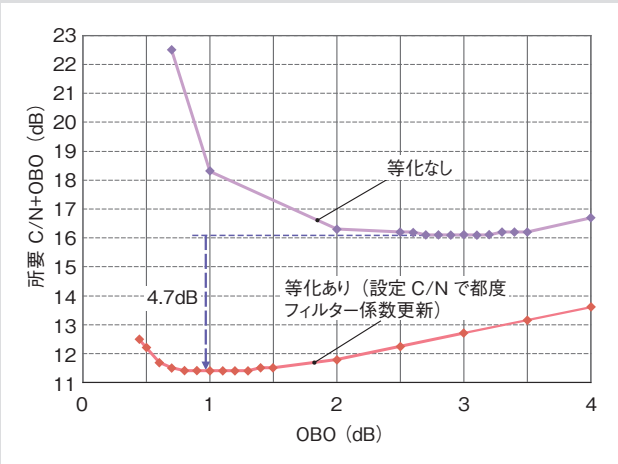

図1　OBO対所要C/N+OBO特性

■ 21GHz帯衛星放送システム

21GHz帯衛星搭載用アレー給電反射鏡アンテナに鏡面修整技術を適用することで、素子数が少なくても日本を覆う複雑な形状の放射パターンが形成できることを確認した。また、形成した放射パターンをモニターするため、素子間の位相差と振幅差を測定できる素子の電気性能を評価した。

衛星搭載用アンテナの給電導波管における電力損失を小さくするため、衛星搭載用TWT増幅器をアレー給電部に近接した配置とその排熱方法を検討した。アレー給電部の熱特性を計算機シミュレーションにより評価するため、TWT増幅器、フィルター、導波管などで構成する1素子分の熱ダミーを試作し、真空中における個別の熱特性を測定した。この研究は、（独）宇宙航空研究開発機構と共同で実施した。

技研（2005～2010年）と鹿児島局（2001、2002、2004年）で測定した降水量と12GHz帯衛星放送波の降雨減衰量を使用して、10分間降水量ごとの降雨減衰量の発生時間率を検証した。10分間降水量が同一の場合でも、年間降水量の多い鹿児島局の方が、技研よりも大きい降雨減衰が発生することがわかった。

12GHz帯および21GHz帯衛星放送の共用受信アンテナ用給電素子と給電回路を設計した。4素子マイクロストリップアレーアンテナの積層構造とすることで（図2）、両帯域に対応できることを計算機シミュレーションで確認した[2]。

■ 21GHz帯放送衛星用広帯域・高出力中継器の研究開発

スーパーハイビジョン放送の実現に向けて、21GHz帯放送衛星用広帯域・高出力中継器の研究を進めた。

広帯域変調信号を良好に通過させ、かつ、電波天文が使用する22.21-22.5GHzへの不要波を十分に低減させる21GHz帯衛

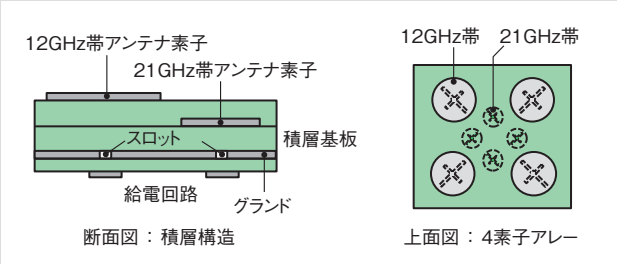

図2　12GHz帯－21GHz帯共用受信アンテナ用給電素子

星搭載用出力フィルターのエンジニアリングモデルの開発に向け、21.7–22.0GHzの300MHzに対応する出力フィルターの設計を行った。

21GHz帯衛星搭載用アレー給電イメージングリフレクターアンテナのエンジニアリングモデルの開発に向け、ビームフォーミングネットワークの設計、給電ホーンアレーの部分試作、反射鏡の設計を行った。また、32素子で構成するアレー給電イメージングリフレクターアンテナの衛星搭載時の機器配置を検討した[3]。

この研究は総務省の委託研究「次世代衛星放送システムのための周波数有効利用促進技術の研究開発」を受託して実施した。

〔参考文献〕
(1)鈴木，橋本，松﨑，田中，木村："適応等化器を実装した21GHz帯広帯域変復調器の性能評価，"信学ソサイエティ大会，B–3–6, p273 (2012)
(2)M. Nagasaka, S. Nakazawa and S. Tanaka："12/21GHz Dual–Band Feed for Circularly Polarized Satellite Broadcasting Receiving Antenna，" 2012 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC / URSI National Radio Science Meeting, IEEE, 511.3 (2012)
(3)亀井，田中，伊藤："21GHz帯を使用する次世代衛星放送システムの研究開発"，第56回宇科連，2S06 (2012)

1.1.7　地上伝送技術

■ 次世代地上大容量伝送

スーパーハイビジョン(SHV)地上放送の実現に向け、大容量伝送技術の研究を進めている。2012年度は、誤り訂正符号に低密度パリティーチェック(LDPC)符号とBCH符号の連接符号を採用するとともに32kポイントFFTの実装、多次元インターリーブ(時間方向、周波数方向および偏波間)の適用、およびビットインターリーブの最適化を行った偏波MIMO(Multiple–Input Multiple–Output)－超多値OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)伝送実験装置2対向とバルク伝送実験装置を組み合わせて、圧縮したSHV映像をUHF帯の二つのチャンネル(UHF31、34ch)で地上波伝送する世界初の野外実験を実施した[1]。

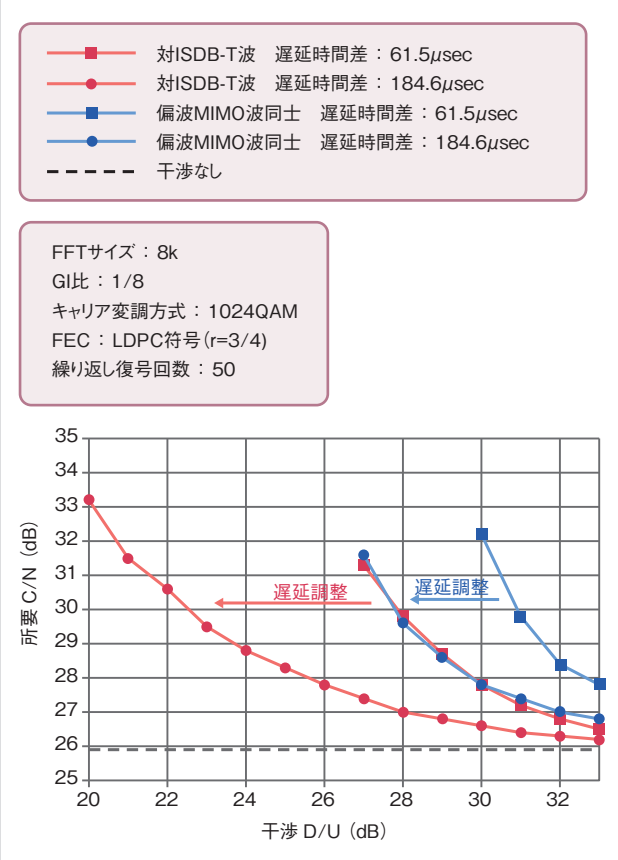

図1　同一ch干渉環境における偏波MIMO－超多値OFDM伝送の所要C/N

技研公開では、実際にSHV映像を伝送する様子を展示した。技研屋上に設置した偏波共用送信アンテナから各偏波、各チャンネル(合計4波)とも1Wで放射した試験電波を約4.2km離れた市街地のビルの屋上に設置した偏波共用八木アンテナで受信した。受信した4波の信号はRF信号のまま光信号に変換し、波長多重技術を用いて技研までROF(Radio Over Fiber)伝送した後、復調、復号した。伝送パラメーターは、変調多値数が4096、FFTサイズが32k、ガードインターバル(GI)比が1/32、LDPC符号の符号化率が3/4で、伝送容量は91.2Mbps/チャンネル(パケット長188バイトのTS)である。現行ISDB–T波と偏波MIMO－超多値OFDM波および偏波MIMO－超多値OFDM波同士の同一チャンネル干渉特性を、計算機シミュレーションで評価した。その結果、いずれの場合も被干渉波と与干渉波のシンボル長が同一の場合、SP(Scattered Pilot)の相関に起因して干渉波が白色ガウス雑音(AWGN)の場合よりも劣化が大きくなるが、互いの遅延時間差を調整することで、劣化を軽減できることが分かった(図1)。また、干渉波がISDB–T波の場合、片偏波のみを使用していることから、多次元インターリーブにより改善効果が得られることが分かった[2]。

LDPC符号の復号において、考案した対数尤度比(LLR)の繰り返し推定を行う復号処理を実験装置に反映するための検討を行った。基本となるBP(Belief Propagation)法は回路規模が非常に大きくなるため、演算量を削減したさまざまな方法が実用化されており、これらの復号法にLLRの繰り返し推定を導入した場合の特性を計算機シミュレーションで評価した。その結果、超多値信号の場合、Offset UMP BP法が適しており、AWGN環境の場合、BP法からの所要C/Nの劣化は約0.2dBに留まることが分かった。二つの単一周波数ネットワーク(SFN)送信局からの放送波が重っても劣化を生じることがない次世代SFN技術として、空間分割多重(SDM)の一種である偏波MIMOに時空間符号化(STC)を組み合わせたSTC–SDM伝送方式の検討を行い、計算機シミュレーションによって、優れた基本特性を確認した[3](図2)。さらに、STC–SDM方式によるSFNの野外実験を実施するため、実験装置の改修を進めた。また、マルチパス環境における所要C/Nを改善するため、LDPC符号の復号におけるLLRの計算にキャリアシンボルごとの雑音分散を反映する改修も実施した。

一方、OFDMに替わる新たな伝送方式として、重複基底を用

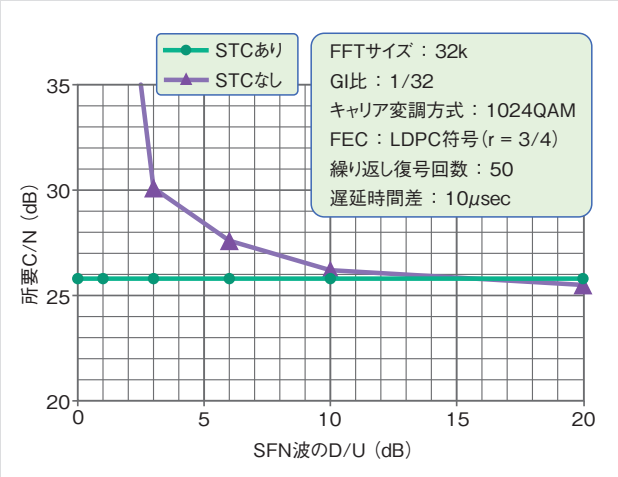

図2　SFN環境における
偏波MIMO−超多値OFDM伝送の所要C/N

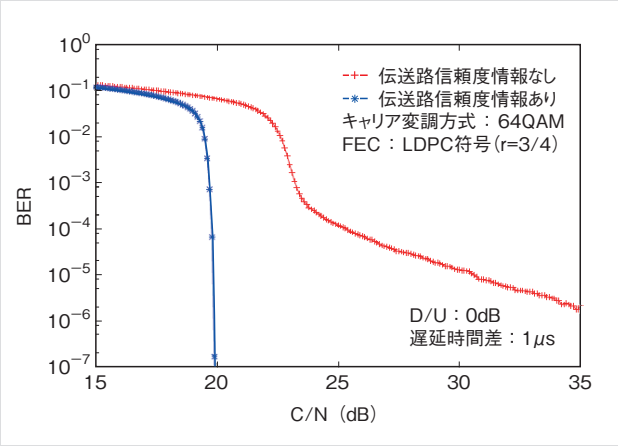

図3　マルチパス環境におけるTMUX伝送の
ビット誤り率特性

いたマルチキャリア変調方式(TMUX)の研究を進めた。2012年度はハードウェアへの実装および評価を行い、提案方式の実現可能性を示した。また実際の放送波伝搬環境における伝送特性を計算機シミュレーションにより評価し、OFDM方式に対する優位性を確認した。さらに誤り訂正符号を適用する際に用いる伝送路信頼度情報を生成する手法を提案し、計算機シミュレーションにより有効性(図3)を確認するとともにハードウェアへの実装を進めた。

〔参考文献〕
(1)村山，田口，蔀，朝倉，渋谷："次世代地上放送に向けた伝送技術−UHF帯の2つのチャンネルを用いたSHV伝送実験−，"映情学技報，vol.36, no.30, BCT2012−64, pp.17−20(2012)
(2)朝倉，村山，田口，蔀，渋谷："次世代地上放送に向けた伝送技術−同一チャンネル干渉対策の一検討−，"映情学技報，vol.36, no.51, BCT2012−99, pp.27−32(2012)
(3)蔀，村山，田口，朝倉，渋谷："次世代地上放送に向けた伝送技術−STC−SDM伝送を応用したSFNに関する検討−，"映情学技報，vol.36, no.51, BCT2012−98, pp.21−25(2012)

1.1.8　有線伝送技術

■ 非圧縮SHVの光伝送

映像の圧縮による遅延や画質劣化が生じない利点を持つ非圧縮スーパーハイビジョン(SHV)信号の光ファイバー伝送システムの研究を進めている。

放送局内のSHV機器の小型化には、機器に内蔵される機器間インターフェースを小さくする必要がある。そのためには、波長当たりの信号の高速化により波長多重数を減らすことが有効である。そこで、波長当たり25Gbpsの高速伝送を行う機器間インターフェースの光伝送部分を設計した。さらに、受信信号のクロック再生を容易にするための8B/10B伝送路符号化を用いて、25Gbps信号のエラーフリー伝送が可能であることを試作装置で確認した。

また、放送局間や放送局内の番組素材の伝送にイーサネット網を用いる伝送システムの研究を進めている。2012年度は、フル解像度SHV信号(72Gbps)を100ギガビット・イーサネット信号へ変換する方式を設計するとともに実験装置を試作し、基本動作を確認した。

■ SHVのケーブルテレビ伝送技術

SHVをケーブルテレビで家庭へ配信する伝送技術の研究を進めている。SHVはハイビジョンの16倍の情報量を持つため、デジタルケーブルテレビの1チャンネルでは伝送容量が不足する。既存のケーブルテレビシステムでSHVを伝送するために、圧縮されたSHV信号(MPEG−2 TS)を分割して、複数の搬送波を使って伝送する方式を開発した。

現在のケーブルテレビでは、64QAMの搬送波を用いてデジタル放送の信号(MPEG−2 TS)を伝送している。今後、64QAMよりも伝送容量の大きい256QAMが導入される予定である。一方で、振幅・位相面上でシンボル密度が高い256QAMは64QAMよりも雑音・歪(ひずみ)の影響を受けやすいため、信号のビット誤りを生じやすい。そこで、チャンネルを効率良く利用するために、ケーブルテレビ伝送路の雑音や歪(ひずみ)などの特性に応じて、異

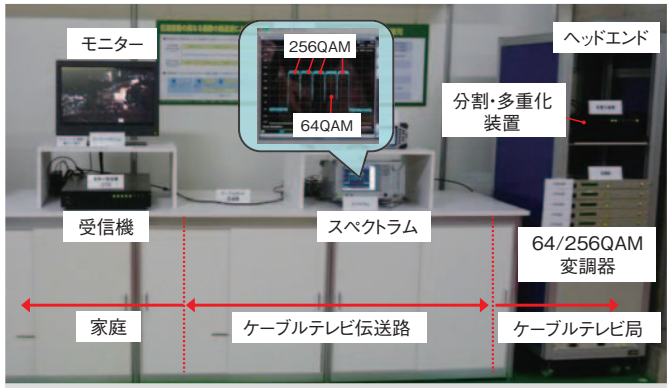

図1　複数搬送波伝送方式によるSHVのケーブルテレビ伝送

なる変調方式(64QAMと256QAM)のチャンネルを組み合わせて信号を分割伝送し、受信した信号を同期合成して大容量のMPEG-2 TS信号を再生することができる装置[1]を試作した。さらに、この装置を用いて、山梨県甲府市にあるケーブルテレビ事業者(株式会社日本ネットワークサービス)の実施設でSHVのケーブルテレビ伝送実験に成功した。

〔参考文献〕
(1) Y. Hakamada, N. Nakamura, K. Oyamada, T. Kurakake and T. Kusakabe, "An UHDTV Cable Television Distribution in Combinations of Multiple 64 and 256 QAM Channels" IEEE ICCE2013 vol.2, pp.488-489(2013)

ロンドン五輪パブリックビューイングの取り組み

スーパーハイビジョンによるロンドン五輪のパブリックビューイング(PV)を実施した。本プロジェクトはオリンピック放送機構(OBS)、英国放送協会(BBC)との共同プロジェクトである。2011年度に発足した関連部局との実施体制により、準備作業、本番運営を行った。ロンドン市内のオリンピック会場で制作、BBCスタジオで編集・送出を行い、英国・米国・日本の9か所でPVを行った。報道局・スポーツセンター、放送技術局が制作から編集・送出までを、技研がBBCスタジオから各PV会場への伝送、および各会場での上映を主に担当した。信号の国際伝送については通信事業者の、米国におけるPVについては米国放送事業者の協力を得た。

■ 準備および設営

2011年6月に、技研内に各PV会場の責任者とそれをサポートする専門家チームを中心とする体制を発足させ、このチームを中心に準備を進めた。設備については、2011年度に引き続き2012年度も、制作用設備を技術局が、PV用設備を技研がそれぞれ中心となって準備を進めた。2012年5月には関西圏の電力事情を受けて、大阪での開催を断念することとなったが、代替として福島局で行うこととした。

国際および国内伝送の準備は、2010年から本格化させていた。2010年9月にロンドン→技研、2011年2月にNTT武蔵野⇄ロンドン折り返し、同7月にロンドン→技研、同9月に国際多地点(ロンドン→ワシントン、技研、国内3か所)、2012年3月に英国内(ロンドン→ブラッドフォード、グラスゴー)、同4月に国際多地点(ロンドン→英国3か所、ワシントン、技研、ふれあいホール)の伝送実験をそれぞれ行った。

国内は、PVを主に技研が、関連イベントを主に視聴者事業局が担当した。2012年年初より、技術運営担当、事業運営担当、シアター演出担当を確定し、準備を本格化させた。周知広報については、オンライン系(ニュース、番組、スポット、お知らせなど)、オフライン系(雑誌・新聞広告、駅貼り、ポスター、チラシなど)、デジタル系(ホームページ、NHKネットクラブ、ツイッターなど)を、広報局と連携して上記部局、団体が分担して行った。

英国では、2011年4月に英国会場調査、同9月にBBC担当者の技術訓練、同11月に再度会場調査を行い、準備を進めた。英国担当者はPV開始前10日前後に現地入りし、BBC担当者に協力して会場設営を行った。国際放送センター(IBC)については、仮設のシアターで3Dとの兼用の会場のため、OBSと綿密な打ち合せを行った。IBCは会場の都合上、前もって機器を設置する必要があったため、6月に担当者が現地に出向きPV機器設置および回線確認を行った。

米国では、米国放送事業者と協力して準備を進めた。2011年8月に現地下見を行い、同9月の国際伝送実験時にデモ会場をNBCUビルの会議室に決定、その後、デモの方法について詳細を決定し、2012年4月の国際伝送実験の機会を利用して準備を進めた。

■ 実施および結果

国内では、7月28日から8月12日まで4か所のPV会場で上映を行った(図1)。配信拠点である技研を連絡網の拠点とし、本番は泊まり体制で、時差のある日英米での業務に対応した。スタジオパークでの関連イベントは7月21日から先行開催した。渋谷、秋葉原、福島の会場では、それぞれファミリー層や若者を対象とした番組連動イベントを多数展開した。周知広報についても幅広い層に情報が届くように複数の媒体を活用して露出を図るとともに、事業のネットワークを生かした多様なジャンルの番組との連携やNHKオリンピック放送とも連動させた周知に努めた。集客のために、スペシャルシートや団体シートの予約、NHKネットクラブへの特別イベントの案内なども行った。これらの結果、国内会場で約20万人、国外会場で約2万人の来場者があり、満足度も82%以上と非常に高かった。また、7月28日に取材会、31日に招待者内覧会を開催し

図1　NHKふれあいホールでの上映の様子

た。多くの要人が来場したほか、マスコミにも多く取り上げられた。

英国のPV運営は、ロンドン・ブラッドフォード・グラスゴーの3会場はBBCが、IBCはOBSが主となり、NHKがサポートする形で行った。PVの3会場においては、7月23日からプレゲームコンテンツの上映を先行開催した。集客はBBCの運営する番組予約システムや、各団体にスロットごと割り当てるなどの方法をとった。IBCでは、自由入退場として各国からの放送関係者を受け入れたほか、VIPの訪問も多数あった。英国内のイベントについては、広報局・国際広報が主に担当し、NHK/OBS/BBCの合同レセプション、プレスイベントなどを行った。

米国のPV運営は米国放送事業者が主となり、NHKがサポートする形で行った。招待者ベースの展示であったが、政府、メディア、電子産業会などから多数のVIPの来場者があった。

国内外会場の来場者から、「五輪会場にいるような臨場感だった」、「いつから放送が始まるのか」などの評価・期待する声が多く寄せられた。

〔参考文献〕

(1) M. Sugawara, S. Sawada, H. Fujinuma, Y. Shishikui, et al., "SUPER Hi-VISION at the 2012 London Olympics," SMPTE Motion Imaging Journal, vol.122, January/February, pp.29-39 (2013)

1.2　立体テレビ

1.2.1　インテグラル立体テレビ

自然で見やすく、特別なメガネが不要な立体テレビの実現を目指して、空間像再生型の一つであるインテグラル方式の研究を進めている。インテグラル方式は、微小レンズで構成されたレンズアレーを撮影・表示の双方に用いて立体像を再現する方式である。2012年度は、立体像の高品質化、および立体像の再現品質について検討した。

■ 空間再生立体像の高品質化の研究

インテグラル方式によって高品質な立体像を生成するためには、撮像と表示の双方で、通常の2次元の映像装置より多くの画素数が必要となる。映像装置単体の画素数の制限を克服するため、複数台の映像装置を並べて配置することにより、システム全体として多画素の映像装置を構築する方法について検討した。撮像側では、7台のカメラアレーによる撮像装置(図1)を試作した。各カメラで取得した映像を統合することで、水平と垂直方向ともそれぞれ3倍に視域(立体像を観ることのできる範囲)を拡大できることを確認した。表示側では、2台のプロジェクターで構成した装置を試作し、水平方向の視域を2倍に拡大できることを確認した[1]。

また、これまでの撮像装置は、撮像素子に比べて大きなレンズアレーを用いていた。この構成では、レンズアレーによって生成される被写体の微小な光学像(要素画像)を撮像素子に投影するために，光学像のサイズ変換用のカメラレンズが必要となり、撮像装置が大きくなるという問題があった。また，カメラレンズによる解像度の低下や歪(ひずみ)により、立体像の画質が劣化する問題があった。そこで、撮像素子と同じ大きさの微小なレンズアレーを試作し，両者を一体化した小型で高画質な撮像装置を開発した(図2)[2]。

これらの研究の一部は、総務省の委託研究「複合撮像面を用い

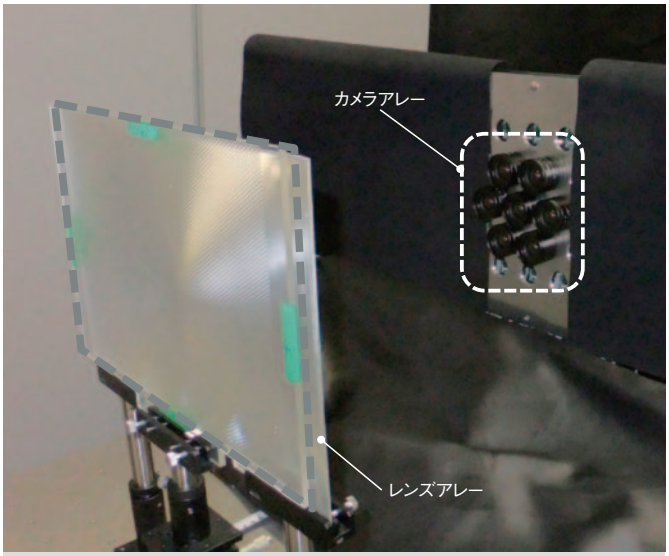

図1　複数台のカメラを用いたインテグラル撮像装置

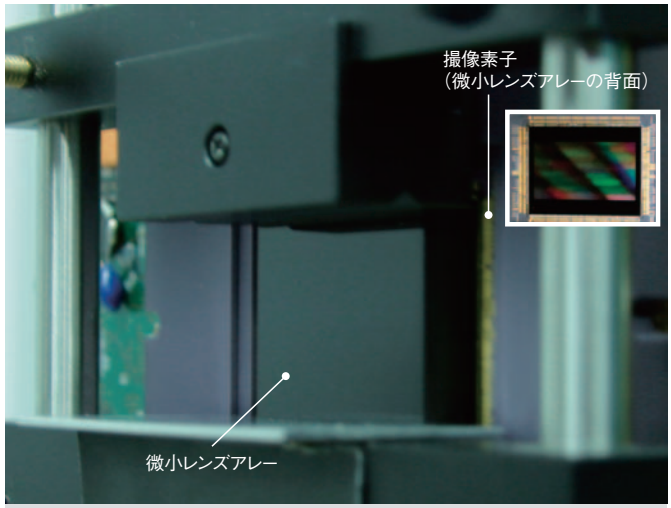

図2　撮像素子とレンズアレーを一体化した
インテグラル撮像装置

た空間情報取得システムの研究開発」を受託して実施した。また、文部科学省の委託研究「デジタル・ミュージアムの展開に向けた実証実験システムの研究開発」を受託し、博物館所蔵品をインテグラル方式で立体表示するディスプレーを試作した。

■ 空間再生立体像の再現品質に関する研究

2012年度から、インテグラル方式により再現される立体像の品質に関する検討を開始し、立体像に対する眼球のピント調節応答、および立体像の解像度に関する実験を行った。

2眼立体方式では、両眼の輻輳（ふくそう）は立体像に一致するが、眼球のピント調節はディスプレー面に固定されて立体像とは一致しない。これが視覚疲労の一因であると考えられている。インテグラル方式は被写体からの光線情報を再現するので、原理的には、輻輳（ふくそう）と調節は実物を観察する時と同様に立体像の奥行き位置に一致する。この原理的な特徴を検証するために、2012年度は、インテグラル方式による立体像観察時における主観的な奥行き知覚の評価実験および眼球のピント調節応答の測定実験を行った。その結果、主観的な奥行き知覚および眼球のピント調節応答が立体像の奥行き位置に追従することを示唆するデータが得られた[3]。

インテグラル方式により再現された立体像の解像度は、レンズアレーのレンズ間隔や焦点距離、あるいは平面表示パネルの画素間隔などにより決まる。このように、解像度には関連するパラメーターが多く、解像度の評価を行うには計算機シミュレーションが有効であると考えられる。そこで、CGなどの3次元データからインテグラル立体像を生成し、さらに2眼立体方式に変換することにより、インテグラル立体方式をシミュレーションする手法を開発した。さまざまなパラメーターで生成した立体像の解像度に関する主観評価実験を行い、本手法の有効性を検証した。

〔参考文献〕
(1)佐々木，三浦，洗井：“複数のMEMSレーザープロジェクタを用いた視域拡大型インテグラル立体映像表示，”映情学年次大，14−8（2012）
(2)洗井，山下，三浦，日浦，岡市，岡野：“レンズアレイと撮像素子を近接配置したインテグラル立体撮像装置，”信学総大，B−11−5（2013）
(3)日浦，矢野，江本，三科，洗井，久富，岩舘：“インテグラル立体映像観察時の調節応答に関する一検討，”映情学技報，vol.37, no.11, 3DIT2013−3, HI2013−35, pp.3−6（2013）

1.2.2　多視点映像からの立体コンテンツ生成

インテグラル方式において、遠方の被写体や大きな被写体など、光学的手法では撮影することが難しい被写体のインテグラル立体像を取得する手法について検討を進めている。2012年度は、多視点映像や距離センサーからインテグラル立体像を生成する手法、多視点ロボットカメラについて検討した。

2011年度に多視点映像から被写体の3次元モデルを生成する手法を開発した。2012年度は、複数の視点で生成した3次元モデルを要素画像（レンズアレーに対応した微小画像）上で統合する手法を考案した。これを用いると、前景に隠れた部分を複数の視点で生成した3次元モデルの情報で補うことができる（図1）[1]。

2012年度から、距離センサーの距離情報からインテグラル立体映像を生成する手法の研究を開始した。その中で、距離情報をインテグラル立体像に変換するシステムを試作した。また、並列に配置された距離センサーとカメラ間の校正手法に関する実験を実施した。

多視点ロボットカメラについては、2011年度までに構築したシステムに、カメラ校正手法として弱校正手法を導入した。その結果、従来のようにカメラ校正用の特殊なパターンを撮影する必要がなくなり、撮影現場での利便性が向上した。弱校正で得られるカメラの位置・方向などのパラメーターは、多視点ロボットカメラの方向制御や多視点映像から3次元モデルを生成する計算に利用することができる[2]。映像制作にも有効であり、多視点ロボットカメラで被写体をフォロー撮影し、その映像から，ぐるっとビジョン映像（あたかも1台のカメラが被写体の周りを回りこむように撮影した映像）を即座に生成することが可能となった。

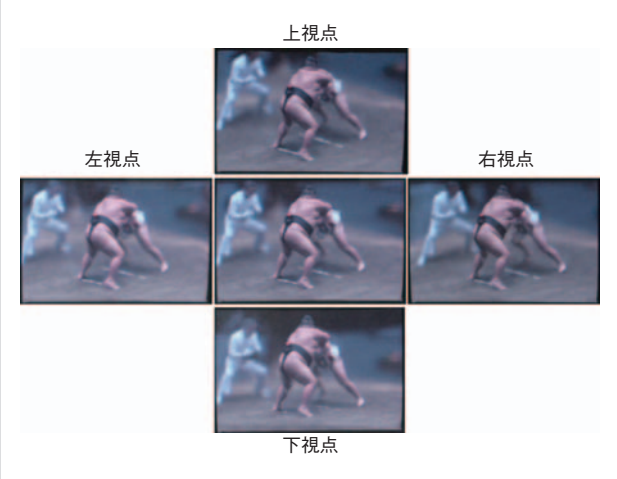

図1　カメラ11台の多視点映像から生成したインテグラル立体テレビの再生像

〔参考文献〕
(1)久富，池谷，片山，岩舘：“複数距離画像からのインテグラル立体像生成手法，”映情学技報，vol.36, no.24, 3DIT2012−34, pp.7−10（2012）
(2)池谷，久富，片山，岩舘：“弱校正多視点ロボットカメラシステムにおける方向制御手法，”映情学冬季大，6−4（2012）