立体映像技術の研究開発動向

奥井誠人^{†1}, 小池崇文^{†2}, 河合隆史^{†3}, 高木康博^{†4}, 吉川 浩^{†5}, 藤井俊彰^{†6},
氏家弘裕^{†7}

映像情報メディア年報2013シリーズ 企画主旨

映像情報メディア年報は、従来は隔年の8月号に、特集号として一括掲載してきましたが、今回より1年間をかけた連載とすることになりました。各研究会が、担当研究分野の最新動向を紹介します。以降の掲載スケジュールは、以下の通りです。(編集委員会)

- 1月号 立体映像技術研究会
- 2月号 情報ディスプレイ研究委員会
- 3月号 マルチメディアストレージ研究委員会
- 4月号 コンシューマエレクトロニクス研究委員会
- 5月号 放送技術研究委員会放送方式分科会
- 6月号 放送技術研究委員会放送現業分科会
- 7月号 放送技術研究委員会無線・光伝送分科会
- 8月号 ヒューマンインフォメーション研究委員会
- 9月号 メディア工学研究委員会
- 10月号 映像表現&コンピュータグラフィックス研究委員会
- 11月号 アントレプレナー・エンジニアリング研究会、
深い感性のテクノロジー時限研究会
- 12月号 情報センシング研究委員会

1. ま え が き

2010年初旬までをレポートした前回の年報¹⁾から約2年半が経過した。立体映像に対する大きな期待の中で迎えた2010年は、3DテレビやBlu-Ray 3Dなどの家庭用機器が相次いで発売され3D元年と呼ばれた。当初の熱気は落ち着きを見せはじめた感があるが、一般家庭で3D映像が楽しめる環境が実現でき、家電製品として"立体テレビ"が身近になった意義は大きい。3D化はテレビだけでなく、ゲー

ム機やデジタルカメラ、PCなど、映像情報メディア全体に波及した。コンテンツ制作においても3D機器が相次いで開発され制作環境が整うとともに²⁾、安全面へも配慮した制作手法が浸透してきている。

最近の3Dテレビ製品では、これまでのシャッタメガネ方式だけでなく、4kディスプレイパネルを用いた裸眼方式やパッシブメガネ方式によるものも出てきている。

一方で、インテグラルイメージングのような実用化は将来と考えられてきた方式についても、ライトフィールドカメラの事例のように、その原理に基づく機能を実現する試みも現れている。

以下においては、2010年以降の立体映像技術の動きを各分野ごとに報告する。(奥井)

2. 家庭用・民生用3D機器

家庭用・民生用3D機器は、テレビだけでなく、ゲーム機や携帯電話、カメラなど多岐に渡り、また関連するインタフェースやフォーマットなど関連技術が多数あるが、携帯電話やカメラ、Blu-RayやHDMI分野では大きな進展はなかった。本章では、特に大きな進展のあった、テレビとゲーム機を中心に報告する。

まず、3Dテレビに関しては、前回の報告時はちょうど3Dテレビの立ち上がり時で、国内メーカーを中心に時分割シャッタ方式がほとんどであった。時分割シャッタ方式とは、タイミング毎にフレーム全体を右目用映像と左目用映像を切替える方式であり、メガネ側にも同期制御する仕組みが必要である。現在では、低コスト化のため、LG電子を中心にパターンリターダー方式が増えてきている。パターンリターダー方式は、画素毎に偏光を変える方式のため、メガネ側に電氣的な機構をもつ必要がなく、通常の偏光メガネを用いることができる。画素の半分を右目用映像に、残りの半分を左目用映像に割当てするため、原理的には解像度が半分に減ってしまう課題があった。しかしながら、現在はパネルの実解像度がどんどん上がっている。3D映像コンテンツのほとんどがフルHD程度であることを考えると、4K2Kのパネルを用いた場合にはフルHDの3D映像を実現できることとなり、3D映像の視聴に問題はない。3D

^{†1} NHK 放送技術研究所

^{†2} 日立製作所 横浜研究所

^{†3} 早稲田大学 基幹理工学部 表現工学科

^{†4} 東京農工大学 大学院工学研究院

^{†5} 日本大学 理工学部 電子情報工学科

^{†6} 名古屋大学 大学院工学研究科

^{†7} 産業技術総合研究所 ヒューマンライフテクノロジー研究部門

"ITE Review 2013 Series (1): The Trend of Three Dimensional Image Technology" by Makoto Okui (NHK Science & Technology Research Laboratories, Tokyo), Takafumi Koike (Yokohama Research Lab., Hitachi, Ltd., Kanagawa), Takashi Kawai (Faculty of Science and Engineering, Waseda University, Tokyo), Yasuhiro Takaki (Institute of Engineering, Tokyo University of Agriculture and Technology, Tokyo), Hiroshi Yoshikawa (College of Science and Technology, Nihon University, Chiba), Toshiaki Fujii (Graduate School of Engineering, Nagoya University, Aichi), Hiroyasu Ujike (Human Technology Research Institute, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Ibaraki)

映像の時だけ解像度が半分になるというのは現実的な解ともいえる。

パネルは4K2Kが民生用でも上位機では標準となりつつあり、さらに、8K4Kの液晶パネルが、2011年のCEATECなどの主要展示会で展示され始めており、技術的に充分実現可能となっている。商品的にもロードマップに乗っており、今後はメガネ有りの二眼方式だけでなく、裸眼の多眼方式やインテグラルイメージングなどが序々に増えてくると予想される。大きなサイズの8K4Kパネルでは、実物大で高解像度に映像表示が可能のため、圧倒的な臨場感が得られる。そのため、ステレオ視が必ずしも重要でないとの議論もあり、知覚に関する研究の進展も期待される。

先に普及が始まった3Dテレビの方式である時分割方式も、シャッターメガネの規格化が始まっている。国内外の主要4社が集まり、フルHD 3Dグラス・イニシアチブが2011年に発足した。本イニシアチブの目的は、3Dテレビ用のメガネの標準化が目的であり、2011年11月からIRやRFなどの無線技術を用いたプロトコルのライセンス供与を開始している³⁾。

コンテンツ供給面に関しては、残念ながら、日本では、あまり話題にならなかったが、2012年のロンドンオリンピックで世界的に3D映像が配信されたことが挙げられる。このことは、3Dテレビが普及期に入ってきたことを示している。

続いて、大きな進歩があったゲーム機における3D技術に関して述べる。ゲーム機では、3Dディスプレイだけでなく、3D入力技術にも大きな革新があった。

まず、2011年に液晶バリアを用いた裸眼二眼方式の3.53インチ3D液晶を搭載した、NINTENDO 3DSが発売された。液晶バリアを用いた二眼方式で、横800ドット、縦240ドットと縦長のドットにすることで、3D表示時にバランス良い解像度になっていることが特徴である。コンテンツの大部分はリアルタイムCGであるため、奥行きを調整する物理スライドを内蔵することで、ユーザが自ら飛び出し量を簡単に調整できるのも大きな特徴である。途中値下げによるテコ入れはあったが、1年弱で500万台を達成し⁴⁾、世界で最も普及した3Dデバイスとなった。2012年7月にはパネルの大きさが4.88インチにアップした、NINTENDO 3DS LLが発売され、急速に普及が進んでいる。しかしながら、コンテンツ面では、3D機能を生かしきれてないことも多く、今後の課題である。

3D入力機器としては、MicrosoftのKINECTが挙げられる。Xbox360用の周辺機器として発売されたが、早くからハッカーらによる解析も進み、一般PCでも使えるよう、オープンソースで公開が始まり、急速に活用が進んでいる。KINECTに関しては、一般にセンサ技術に注目が行くが、技術者として注目すべきは、生成型機械学習による人体部位認識率の向上⁵⁾とその実用化である。人体の動きをコンピュータで

大量に生成し、そのデータを機械学習させることで、体の部位を認識する技術を確認している。なお、センサ技術は、PrimeSense社の赤外パターンを投影して奥行き情報を得る方式であり、両者の組合せで革新的な技術が生まれている。2012年2月には、Microsoft Windows用のKINECTが発売され、また、類似技術が競合メーカーから発売されるなど、GUIより進化したNUI(ナチュラルユーザインタフェース)としてブームになっている。KINECTはコンシューマ向け技術であるが、インタラクションやユーザインタフェースの研究分野に与えた影響も非常に大きい。

家庭用・民生用3D機器は以前のブーム時ほどの盛り上がりはないが、一方で着実に技術改良が続いており、3Dがある程度当たり前の世の中になりつつある。このことは、普及期に入りつつあるとも言え、今後も目を話せない分野である。

(小池)

3. コンテンツと3Dシネマ

両眼視差を用いたコンテンツの再生環境は、近年、多様化が進んでいる。映画館のスクリーンをはじめ、家庭用テレビ、PCモニタ、携帯型ゲーム機やスマートホンに至り、メガネ式や裸眼式など、呈示システムも多岐にわたっている。中でも映画館で上映される3Dシネマは、わが国でも定着した感がある。震災等の影響もあり、邦画では、2011年から2012年にかけて3Dで上映された作品数に比べ、3Dで制作された作品数は大幅に減少している。一方、洋画では、米国ハリウッドを中心に、コンスタントに作品が配給されている。

3Dシネマの制作手法は、CGアニメーションのステレオレンダリング、2台のカメラを用いたステレオ撮影、2D映像に両眼視差を付加する3D変換の、3種類に大別されるが、一つの作品の中で複数の手法が用いられる場合もある。最近では、こうしたコンテンツ制作の見地からの動向が活発化しており、主な例としてハリウッドの3Dシネマ関係者による国際3D協会(International 3D Society: I3DS)をあげることができる⁶⁾。I3DSには、現在、400以上の企業や団体が加盟しており、3Dの発展・普及を目指した教育活動や表彰活動が展開されている。2011年7月には日本部会も設立され⁷⁾、ハリウッドとのチャンネルを活かした取組みが推進されている。

さて、わが国ではハリウッドに比べ、3Dのコンテンツ制作に関わるノウハウ確立の遅れを言及されることが多い。ここでのノウハウとは、主として両眼視差の付加による、奥行き感の表現・活用技術を意味している。そのためI3DS日本部会では、ハリウッドで制作され世界的に認知されている著名な3Dシネマを対象とした、両眼視差の抽出・分析を、多角的かつ継続的に行っている⁸⁾。以下に、その概要を紹介する。

両眼視差の抽出にあたっては、ステレオマッチングを用

図1 アバターの視差分析の結果

いた画像処理により、左右の対応点からピクセル単位で算出され⁹⁾、各フレームの90%ile^{*1}、50%ile、10%ileのピクセル視差が、再生される3D空間の近方、中心、遠方の代表値として時系列の分析対象となる。なお、ピクセル視差は正の値が交差方向、負の値が同側方向を意味しており、フルハイビジョンの解像度で3Hを想定した場合、 $\pm 55\text{pixel}$ が視差角に換算して約 $\pm 1.0^\circ$ となる。図1に「アバター（20世紀フォックス，2009）」の視差分析の結果を示した。各代表値は、作品全体を通した視差の変化が把握しやすくなるよう、10秒間の移動平均に変換されている。図1から、視差の代表値の分布が時系列的に一律でなく、おそらくストーリーの起伏等に対応する形で増減していることがわかる。また、他の作品との比較を通して、作品間の差異も顕著であり、作品毎に奥行き感の表現・活用という点において、さまざまな工夫が凝らされていることもわかってきた。

このように、コンテンツに含まれる両眼視差の特徴や傾向を定量的に把握することによって、今後の制作に有益な知見を提供することが期待される。さらに、両眼視差が加わることで、どのようなメリットがあるかという、3Dの付加価値の定義や評価も当該分野の急務であることを指摘しておきたい。

(河合)

4. 裸眼・超多眼立体ディスプレイ技術

最近では、大規模な展示会等で、裸眼立体ディスプレイの試作機が展示されることが常になっている。4K2K解像度の液晶パネルが広く供給されるようになったため、これに斜めレンチキュラレンズを組合せて、9視点でHD解像度の多眼立体ディスプレイを構成した例が多い。一部では、テレビとしてすでに商品化されているものもある。より大型のパネルを用いたものが開発されているが、9視点では視域が充分ではないため、ヘッドトラッキングとの組合せが用いられる。一方で、レンチキュラレンズやパララックスバリアを用いるのではなく、専用のバックライトを開発して裸眼立体表示を実現したディスプレイ¹⁰⁾の試作も行われている。裸眼立体表示用のバックライトに関しては、こ

れまで研究開発があまり行われていなかったが、今後は重要になると思う。

情報通信研究機構（NICT）で、約200台のプロジェクタを用いたマルチプロジェクション型の構成で、スクリーンサイズが200インチの裸眼立体ディスプレイ¹¹⁾が開発された。以前から同様なシステムは存在するが、フルHD解像度を実現した点に特徴がある。

2D/3D切替を可能にするディスプレイの構成方法として、フラットパネル前面に置くパララックスバリアを液晶パネルに表示する方法が従来から用いられている。この前面に置く液晶パネルに、単にスリットアレイであるパララックスバリアを表示するのではなく、より自由なRGBの2次元的な透過率分布を表示することで、単なる2眼式とは異なる光線再生型の裸眼立体表示を実現する方法がMITから提案された¹²⁾。前面と後面に配置するパネルに表示するパターンを、最適化手法により計算で求める必要があるが、2枚のパネルのもつ自由度を最大限有効に活用しようとする点で興味深い技術である。

インテグラルイメージングによる立体表示を実現するためには、超高精細なフラットパネルディスプレイが必要になる。そのため、現状では解像度と視域を大きくできないことが問題点である。フラットパネルディスプレイと組合せて用いる2次元レンズアレイを傾けて用いることで、視域の水平幅を増加させ、垂直幅を減少させる方法がNHK技術研究所から提案された¹³⁾。実際の利用状況では垂直方向への視点移動は大きくないことを考えると、有効な技術であると思う。

現在の立体ディスプレイの利用形態は、従来の2次元ディスプレイと同様に、直立した画面を真正面から観察する形態がほとんどである。立体表示では、スクリーン以外の位置に画像を表示できるから、さまざまなスクリーン形状や利用形態が実現可能である。テーブル上のスクリーンの上下に立体像を表示して、360°全周から複数人で立体像を観察する利用形態が提案されている。従来は、高速プロジェクタを用いる方法と、プロジェクタアレイを用いる方法が利用されてきた。最近になり、これらを組合せた少数プロジェクタアレイを用いる方法が提案された¹⁴⁾。一周800視点でカラー立体像を直径300mmのスクリーンに表示することが実現されている。

視覚疲労を引き起こす輻輳調節矛盾を解決する立体表示方式として超多眼表示が研究されているが、多くの視点数を実現するために、フラットパネルディスプレイに高い解像度が必要になることが問題点であった。視点を左右の目の付近のみに発生することで、フラットパネルディスプレイに必要な少数視点超多眼表示が提案された。視域が制限される問題を解決するため、ヘッドトラッキングやイトラッキングと組合せて用いる¹⁵⁾。また、立体像観察時の輻輳調節矛盾を、2眼式、超多眼表示、および、ホログラフ

*1 %ileはパーセンタイルを表す。

ィで測定し比較した研究が国際電気通信基礎研究所 (ATR) で行われた¹⁶⁾。(高木)

5. ホログラフィ

ホログラフィは物体からの光を波面として完全に記録・再生できる方法として注目されており、レーザによりアナログ的に記録する静止画像としては本物と区別ができないほどの高画質の記録が達成されているが、近年これをデジタル化する試みが活発に研究されている。

計算機合成ホログラム (CGH) として生成された干渉縞を記録するプリンタは、これまでは平面型のみだった。波長選択性があり白色光再生でのフルカラー化に適する反射型体積ホログラムを出力するには、平面型ホログラムから光学転写により作成する方法が知られていたが、これを自動化した体積型ホログラムプリンタが提案された¹⁷⁾。ホログラムを液晶に表示し、レーザにより再生された波面と参照光を干渉させて記録し、白色光で単色の3次元像が得られた。

ホログラフィックプリンタの記録材料として、書換え可能なフォトリフラクティブポリマが研究されている。これまでの報告は光線再生方式であるホログラフィックステレオグラムであったが、波面再生方式としてCGHの干渉縞を記録するプリンタが開発されている¹⁸⁾。波面再生とすることで、奥行き深い像を高画質で再生することが期待できる。

コンピュータグラフィックス (CG) の分野では、多くの高画質な表現手法が開発されているが、その手法をホログラムに取り入れるのは容易なことではない。その理由の一つは、CGでは視点が一点に固定されているが、ホログラムでは一定の範囲内で自由に視点を変更できるからである。CGでは曲面を少ない多面体で表現しても見かけは滑らかな面に見せることができる「スムーズシェーディング」という手法がある。物体をポリゴンの集合としてホログラムを生成する手法において、鏡面反射を含むスムーズシェーディングの手法をCGHに適用する方法が提案された^{19) 20)}。また、CGではレイトレーシング法と呼ばれる、視点からの光線を追跡することで鏡面物体への周囲の映り込みや透明物体での光の屈折が表現できる手法がある。この手法をCGHに適用し、周囲の映り込みを実現した研究が報告されている²¹⁾。

マイクロソフト社のKinectは、安価で手軽に被写体の輝度情報と奥行き情報が得られるため、3次元入力装置として広く利用されている。被写体の3次元情報から、あらかじめ計算しておいた点光源による干渉縞を重ね合わせてホログラムを毎秒4コマ計算し表示する方法が報告された²²⁾。

2次元レンズアレイを用いるインテグラルフォトグラフィ*2 (IP) で3次元情報を取得し、各要素レンズの画像をフーリエ変換することでホログラムを得る方法が研究されて

いる。横方向の解像度が4KのIPカメラで3次元情報を取得し、四つのPCと四つのグラフィックプロセッサ (GPU) で8Kにアップコンバートしてからホログラムに変換することで、毎秒10コマのフルカラー表示が達成された²³⁾。

2台のPCに各1台のGPUを搭載し、波面記録法により光源数3万点のホログラムを毎秒30コマ生成し、2Mピクセルの液晶パネル6枚を水平方向に並べて、視域14°での実時間表示が実現された²⁴⁾。RGBのLEDを時分割で駆動してフルカラーの再生像も得られている。

従来よりも画素数が多くて広い視域を持つビデオディスプレイとしては、7,680×4,320画素の液晶パネルを3枚横に並べて水平方向の視域を広げ、RGB3本のレーザを時分割で切換えて20Hzでフルカラーとし、像のサイズ36.8mm×20.7mm、視域角15°が実現された²⁵⁾。

計算機によるホログラム生成や、ホログラフィックプリンタやビデオディスプレイの研究が活発化している。しかし、異なる方式の比較は難しく、標準画像や画質評価法などを議論すべき時期に来ている。(吉川)

6. 信号処理技術と符号化技術

3次元映像符号化に関する技術は、現在MPEGで活発な標準化活動が行われている。現時点での最新の動画映像符号化方式であるH.264/MPEG-4 AVCを多視点映像符号化用に拡張した方式としてMVC (Multiview Video Coding) がある。この規格は、H.264/AVCの規格²⁶⁾のAnnex Hとして規定されている。H.264/AVCとそのMVC拡張についての詳細は文献27)を参照されたい。MVCは多視点映像をそのまま符号化する規格であり、復号側で視点数や視点間隔を変える機能は有しない。そのため、主に3Dディスプレイを対象として、異なるパラメータをもったディスプレイ上でも3次元表示が可能のように拡張した3次元映像符号化の国際標準方式を規定しようという機運が高まり、2007年にMPEG FTVの活動が開始された (後にMPEG 3DVに集約)。その後、各基礎技術の検討を経て、2011年3月のジュネーブ会合で技術提案募集 (Call for Proposals on 3D Video Coding Technology)²⁸⁾が発行された。2011年8月末までに世界各国から提案された技術を集約し、基盤技術の決定、検討事項の整理を行い、2012年7月のストックホルム会合においてISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11とITU-T SG 16 WP 3の合同チームとしてJCT-3V (Joint Collaborative Team on 3D Video Coding Extension Development) が組織された。これまでMPEGのもとで行ってきた3次元映像符号化関連の活動はすべてJCT-3Vで行われることになり、新たな体制のもと、標準化作業が続けられている。2012年7月のストックホルム会合時点での標準化作業としては、MVCステレオと互換を保ちながらDepthデータを送る方式 (MVC+D) や、AVC互換だけを要請しDepthを含めたさまざまな符号化法を許してMVC+Dより高効率の方式を

*2 Integral Photography: インテグラルイメージングの基本原理解。ほぼ同義で用いられる。

目指す3D-AVC, さらに, 現在精力的に活動が続けられている高精細画像の符号化方式HEVC (High Efficiency Video Coding) との互換性を考慮したMV-HEVC (MVCのHEVC版) や3D-HEVC (3D-AVCのHEVC版) などが検討されている。各要素技術に対してコア実験 (Core Experiment) が定められ, 技術の性能評価や標準への採用の可否を検討しているところである²⁹⁾。これらJCT-3V関連の文書はJCT-3Vのサイト³⁰⁾から入手可能である。

MPEG (JCT-3V) では前述のように, Depthデータを符号化する方式が検討されているものの, Depthをどのように取得するかという点については未検討である。多視点映像を基にステレオ法などによってDepthを推定する方法も検討されているが, 近年では安価になってきたアクティブDepthカメラの利用が注目されている。アクティブ方式にはパターン光投影法やTOF (Time-of-Flight) 方式などがあるが, 2010年にMicrosoft社からXbox 360向けのゲームデバイスKinect for Xbox 360³¹⁾が発売され, 安価にDepthカメラが入手できるようになった。しかしながら, MPEGで現在検討されているDepthは非常に作りこまれたものであり, 現状利用できるDepthカメラから得られるDepth情報では解像度も品質も決定的に不足している。今後は, Depthカメラ等のデバイスと信号処理を統合させて, 3次元映像生成に耐えうる高品質のDepthデータを生成する研究が必要とされていくであろう。

もう一つ注目されている入力方式としては, 4次元の光線空間 (Light Field) データを直接取得できるライトフィールドカメラ^{32) 33)}がある。原理的にはインテグラルフォトグラフィの撮像部分と同一であるが³⁴⁾, マイクロレンズ板をCMOSセンサと一体にして, 比較的安価な製品として市場に出した点が注目される。Lytro³²⁾は, 330×380個のマイクロレンズアレイを3,280×3,280画素のCMOSセンサの前に配置して, 4次元光線空間を直接取得している³⁵⁾。この商品のコンセプトは「撮影後に焦点を変えられるカメラ」であるが, 可変焦点画像を得るのみならず, 後段でさまざまな光線空間信号処理を行うことが可能であり, 今後の研究が期待される分野である。

このように, 多視点映像処理, Depth処理, 光線空間処理など, 取得デバイスの発展に応じて信号処理の対象も広がりつつある。また前述のように, MPEG (JCT-3V) が先行してDepthデータを標準符号化方式に組込もうとする動きがあるものの, 実用化のためにはDepth取得デバイスの発展を待たねばならない。標準化の動きは注視しつつも, 幅広い信号を対象として着実な研究を積み重ねていく必要がある。

(藤井)

7. 生体影響とガイドライン

立体映像がブームとなり2010年は3D元年と言われた。その後, 現在までの間にも立体映像は少しずつ浸透し, 立

体映像のさまざまな活用に眼が向けられつつあるが, 立体映像による生体影響についての人間工学的観点からの研究やこれらを基盤としたガイドラインおよびその国際標準化に関する議論も活発に行われてきている。

国内では立体映像のガイドラインとして, 3Dコンソーシアムによる3DC安全ガイドラインが2004年に公開されていたが, 2010年4月に3Dコンソーシアム, 電子情報技術産業協会, 産業技術総合研究所により「人に優しい3Dのためのガイドラインとデータベースを公開」との共同記者発表が実施され, 3DC安全ガイドラインの改定版が公開された。このガイドラインは, 現在, 業界関係者に広く普及しており, その後も英語版, 中国語版, 韓国語版が公開されている。

こうした中, ITU-R (国際電気通信連合・無線通信部門) では, 無線通信研究委員会の放送業務を担当するSG6において, 2010年秋以降, 3Dテレビに関する議論が進められており, 快適視聴に対する考え方やこれまでに報告されている立体視覚特性や視覚疲労などの人間工学的研究成果についての議論が行われている。

一方, ISO (国際標準化機構) では, 人間工学をテーマとする技術委員会TC 159のSC 4 (人間とシステムのインタラクション) の下に存在する, 視覚表示の要求事項をテーマとするWG 2と映像の正体安全性をテーマとするWG 12において, 立体映像の生体影響の観点から人間工学に関する規格が議論されている。WG 2では, フィンランドと日本が中心となって裸眼立体ディスプレイの光学的計測法に関する標準報告書 (TR) が準備されてきたが, 2010年5月にISO/TC 159/SC 4において承認され, 2012年3月に発行された³⁶⁾。このTRは, 人間工学的側面から, 生体影響の少ない観察空間を求めるための計測法を提案するとともに, 今後の規格化に向けて考慮すべき課題を考察したものである。またこのWG 2においては, メガネ式立体ディスプレイについてのスタディーグループが2010年6月に設置され, 裸眼立体ディスプレイについてもTR提案後も引き続きスタディーグループとして活動が継続しており, いずれも規格化に向けて提案文書が準備されている。さらにWG 12では, 2012年2月に立体映像の生体安全性に関する国際規格化提案 (ISO/NP 9241-392) が承認され, 現在ドラフトについての議論が行われている。

ガイドラインの基盤となり得る立体映像における生体影響の研究についても関心が高まり, さまざまな研究報告が活発に行われている。これを象徴するものとして, 2007年12月に第1回目, また2009年6月に第2回目が開催された「映像の生体安全性に関する国際シンポジウム (VIMS)」は, 2011年9月に第3回目が米国・ラスベガスで開催され, 20件の講演の中で, 映像酔いに関する研究発表が大半を占めていたものの, 立体映像での生体影響についても, 7件の講演^{37) ~ 43)}が行われた。この中では, 調節と輻輳の距離

情報の不一致に関する研究^{37) 38)}や、立体提示による姿勢の安定性³⁹⁾や映像酔いへの影響^{40) 41)}などに関する研究などが報告されている。また、調節と輻輳の距離情報の不一致については、これまでも重要な研究が報告されているが、UC Berkeleyのグループにより改めて詳細に焦点があてられている^{44) ~ 46)}。さらに、2012年4月にDisplays誌において「ヒューマンファクターに基づく快適3D視覚環境評価」との特集が生まれ、立体映像における生体影響についてのレビュー⁴⁷⁾や、立体映像における輻輳眼球運動への影響⁴⁸⁾、読みのパフォーマンスへの影響⁴⁹⁾、さらに表示技術に関連するものとして、時分割式に内在する視差変化の問題⁵⁰⁾や、他眼式立体ディスプレイの評価についての報告⁵¹⁾が掲載された。

(氏家)

8. む す び

2眼ステレオ方式においてはハリウッド製大作映画の3D上映は定番になっており、また、FIFAワールドカップや五輪などのスポーツビッグイベントでの3D映像制作も定着しつつある。放送での実用化は各国で濃淡はあるものの、前述のようにITU-Rにおいても検討が行われレポート⁵²⁾がまとめられたほか、通常の2D制作との整合の観点からの規格化も進められている⁵³⁾。また、国内でも安全性への配慮も含め⁵⁴⁾、実施のための環境整備が行われている。

3D映像の応用が広がる中、本文でもたびたび触れられているように、立体映像としての品質、すなわち、再現される奥行きや立体空間の品質を評価できる技術が求められている。システムや機器設計に加えサービス導入の検討にも必要であり、またステレオ方式だけでなく将来にもわたる立体映像共通の研究課題と言える。

(奥井)

(2012年10月23日受付)

【文 献】

- 高木ほか：“映像情報メディア年報，5．立体映像技術”，映情学誌，64，8，p.1204-1209 (2010)
- 石田：“NAB2012に見た放送・映像技術動向”，放送技術7月号，P.68-87 (2012.7)
- Full HD 3D Glasses initiative Press Release: "Licensing Program for Full HD 3D Glasses Initiative Kicks into High Gear", 2011/11/08, <http://www.fullhd3dglASSES.com/index.php/press/Nov.-8-2011-licensing-program-for-full-hd-3d-glasses-initiat/>
- 任天堂ニュースリリース：“「ニンテンドー3DS」国内販売500万台突破”，2012/02/10，<http://www.nintendo.co.jp/corporate/release/2012/120220.html>
- J. Shotton, A. Fitzgibbon, M. Cook, T. Sharp, M. Finocchio, R. Moore, A. Kipman and A. Blake: "Real-Time Human Pose Recognition in Parts from a Single Depth Image", CVPR 2011 (June 2011)
- 国際3D協会，<http://www.international3dsociety.com/>
- 国際3D協会日本部会，<http://www.i3ds.jp/>
- 富山勇也，平原正広ほか：“ハリウッド3D映画の視差分析と表現手法の検討 (1) (2)”，人間工学，48，特別号，pp.418-421 (2012)
- 岸信介，河合隆史，ほか：“2眼式立体映像のコンテンツ評価システムの試作”，映情学誌，60，6，pp.96-104 (2006)
- 南，横溝，新福：“独自開発の導光板を用いた裸眼方式2D/3D切替えディスプレイ”，ディスプレイ技術年鑑2012，日経BP社，pp.160-164 (2011)
- M. Kawakita, S. Iwasawa: "3D image quality of 200-inch glasses-free 3D display system", Proc. SPIE, 8288, 82880B-1 - 82880B-8 (2012)
- D. Lanman, M. Hirsch, Y. Kim and R. Raskar: "Content-Adaptive Parallax Barriers: Optimizing Dual-Layer 3D Displays Using Low-Rank Light Field Factorization", Proc. of SIGGRAPH Asia 2010, ACM Transactions on Graphics, 29, 6 (2010)
- 三浦，洗井，三科，奥井，岡野：“インテグラルイメージング方式における水平・垂直視域角の振り分け手法”，映情学誌，35，42，pp.19-22 (2011)
- Y. Takaki and S. Uchida: "Table screen 360-degree three-dimensional display Using a small array of high-speed projectors", Opt. Express, 20, 8, 8848-8861 (2012)
- J. Nakamura, T. Takahashi, C.-W. Chen, Y.-P. Huang and Y. Takaki: "Analysis of longitudinal viewing freedom of reduced-view super multi-view display and increased longitudinal viewing freedom Using eye-tracking technique", J. Soc. Inf. Display, 20, 4, pp.228-234 (2012)
- 水科，根岸，安藤，正木：“電子ホログラフィーによる再生立体像に対する調節・輻輳応答の測定”，映情学誌，36，12，pp.9-12 (2012)
- T. Yamaguchi, O. Miyamoto and H. Yoshikawa: "Volume hologram printer to record the wavefront of three-dimensional objects", Optical Engineering, 51, pp.075802 (1-7) (2012)
- S. Jolly and V.M. Bove, Jr.: "Direct fringe imaging of diffraction specific coherent panoramagrams in photorefractive polymer for updatable three-dimensional holographic display", Proceedings of the 9th International Symposium on Display Holography, Cambridge Massachusetts USA (2012)
- K. Yamaguchi, T. Ichikawa and Y. Sakamoto: "Calculation method for CGH considering smooth shading with polygon models", Proceedings of SPIE 7957, pp.795706 (1-7) (2011)
- H. Nishi, K. Matsushima and S. Nakahara: "Advanced rendering techniques for producing specular smooth surfaces in polygon-based high-definition computer holography", Proc. SPIE 8281, pp.828110 (1-9) (2012)
- T. Ichikawa and Y. Sakamoto: "A rendering method of background reflections on a specular surface for CGH", Proceedings of the 9th International Symposium on Display Holography, Cambridge Massachusetts USA (2012)
- 中村，高木：“解像度変換ホログラム表示モジュールとKinectによる実写ホログラム表示”，3次元画像コンファレンス2011，p.15 (2011)
- 市橋，大井，妹尾，山本，栗田：“GPUを用いた8K電子ホログラフィのためのリアルタイム実写動画再生システム”，3次元画像コンファレンス2012，pp.6-3 (2012)
- 下馬場，村野，翁，増田，伊藤：“GPUクラスタと位相変調型LCDパネルを用いたリアルタイムカラー電子ホログラフィ”，3次元画像コンファレンス2012，p.7 (2012)
- T. Senoh, T. Mishina, K. Yamamoto, R. Oi and T. Kurita: "Viewing-Zone-Angle-Expanded Color Electronic Holography System Using Ultra-High-Definition Liquid Crystal Displays with Undesirable Light Elimination", Journal of Display Technology, 7, pp.382-390 (2011)
- ITU-T and ISO/IEC JTC 1: "Advanced video coding for generic audiovisual services", ITU-T Recommendation H.264 and ISO/IEC 14496-10 (MPEG-4 AVC) (2010)
- A. Vetro, T. Wiegand & G.J. Sullivan: "Overview of the Stereo and Multiview Video Coding Extensions of the H.264/MPEG-4 AVC Standard", Proceedings of the IEEE, 99, 4, pp.626-642 (2011)
- "Call for Proposals on 3D Video Coding Technology", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N12036 (2011)
- White Paper on State of the Art in 3D Video (Draft 2) JCT-3V Doc. JCT2-A1006, Stockholm, SE (July 2012)
- <http://phenix.it-sudparis.eu/jct2/>
- Kinect 公式ページ，<http://www.xbox.com/ja-JP/kinect/>
- Lytro，<http://www.lytro.com/>
- アルゴ，4D ライトフィールドカメラ，<http://www.argocorp.com/cam/special/Raytrix/Raytrix.html>
- R. Ng: "Digital Lightfield Photography", Ph.D thesis, Stanford

- University (2006), <http://www.lytro.com/renng-thesis.pdf>
- 35) 日経エレクトロニクス, 日経BP社, 1089, pp.42-47, 2012年8-20号
- 36) ISO: "Ergonomics of human-system interaction - Part 331: Optical characteristics of autostereoscopic displays", ISO/TR 9241-331:2012 (2012)
- 37) T. Shimoi, H. Hori, K. Uemoto, M. Miyao: "Simultaneous Measurement of Lens Accommodation and Convergence, - Real objects, 2D vision and 3D vision -, VIMS2011, Las Vegas, US (2011)
- 38) P.A. Howarth: "I've just bought my daughter (who has eye control problems) a Nintendo 3DS. Am I a disgrace as a dad?", VIMS2011, Las Vegas, US (2011)
- 39) J. Bos, W. Ledegang, A. Lubeck, L. van Geest and J. Stins: "Postural instability after a 3D cinema attendance", VIMS2011, Las Vegas, US (2011)
- 40) B. Keshavarz, H. Hecht: "The role of multiple body-axis rotations and stereopsis on visually induced motion sickness", VIMS2011, Las Vegas, US (2011)
- 41) L.C. Taylor, D.L. Harm, R.S. Kennedy, M.F. Reschke: "Cybersickness following repeated exposures to dome and HMD virtual environments", VIMS2011, Las Vegas, US (2011)
- 42) P.A. Howarth: "The quantification of asthenopia", VIMS2011, Las Vegas, US (2011)
- 43) H. Watanabe, N. Sugita, H. Ujike, M. Yoshizawa, S. Chiba: "The effect of seating position for 3D movies with the 200-inches theater screen environment evaluated by both physiological and psychological measurement", VIMS2011, Las Vegas, US (2011)
- 44) D.M. Hoffman, A.R. Girshick, K. Akeley, M.S. Banks: "Vergence-accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue", J Vis, 8, 3, 33 31-30 (2008)
- 45) T. Shibata, J. Kim, D.M. Hoffman, M.S. Banks: "The zone of comfort: Predicting visual discomfort with stereo displays", J Vis, 11, 8, 11 (2011)
- 46) T. Shibata, J. Kim, D.M. Hoffman, M.S. Banks: "Visual discomfort with stereo displays: effects of viewing distance and direction of vergence-accommodation conflict", Proceedings of the SPIE: Stereoscopic Displays & Applications, 7863, 0P, 1-9 (2011)
- 47) T. Bando, A. Iijima, S. Yano: "Visual fatigue caused by stereoscopic images and the search for the requirement to prevent them: A review", Displays, 33, 2, 76-83 (2012)
- 48) A. Iijima, S. Komagata, T. Kiryu, T. Bando, I. Hasegawa: "Vergence eye movements signifying 3D depth perception from 2D movies", Displays, 33, 2, 91-97 (2012)
- 49) M. Lambooi, M.F. Fortuin, W.A. Ijsselstein, I. Heynderickx: "Reading performance as screening tool for visual complaints from stereoscopic content", Displays, 33, 2, pp.84-90 (2012)
- 50) H. Hong: "Change of the observed binocular disparity of the moving 3D object in 3D technology based on the time-division", Displays, 33, 2, pp.98-102 (2012)
- 51) A. Boev, R. Bregovic, A. Gotchev: "Visual-quality evaluation methodology for multiview displays", Displays, 33, 2, pp.103-112 (2012)
- 52) Report ITU-R BT.2160-2 (10/2011), <http://www.itu.int/pub/R-REP-BT.2160>
- 53) ITU-R Rec. BT.2024および同BT.2027
- 54) デジタル放送推進協会技術委員会: "3D放送に関する周知事項について", <http://www.dpa.or.jp/articles/archives/tech/6785>

奥井 誠人 1980年, NHK入局。盛岡放送局を経て, 1983年より, 放送技術研究所。以後, 映像処理, 放送方式, 3D映像システムの研究に従事。2006年より, 情報通信研究機構に出向, 2009年より, NHKに復職。最近の研究分野は, 超高精細映像および3D映像システム。博士(工学)。正会員。

小池 崇文 1995年, 東京工業大学理学部物理学科卒業。1997年, 東京大学大学院工学系研究科修士課程修了。同年, (株)日立製作所入社。2009年, 東京大学大学院情報理工学系研究科博士課程修了。現在, (株)日立製作所横浜研究所主任研究員。コンピュータグラフィックス, 立体ディスプレイなどの研究に従事。博士(情報理工学)。正会員。

河合 隆史 1993年, 早稲田大学人間科学部卒業。1998年, 同研究科博士後期課程修了後, 同大学助手等を経て, 現在, 早稲田大学理工学術院基幹理工学部表現工学科教授。3Dやバーチャルリアリティ, ユビキタスコンピュータなど, 次世代のメディアとヒトのインタラクションに関する研究に従事。博士(人間科学)。認定人間工学専門家。

高木 康博 1986年, 早稲田大学理工学部卒業。1988年, 早稲田大学大学院理工学研究科修士課程修了。1992年, 同研究科博士後期課程修了。1991年, 同大学助手。1994年, 日本大学文理学部専任講師。1998年, 同助教授。2000年, 東京農工大学工学部助教授。現在, 准教授。主に, 立体映像技術に関する研究に従事。博士(工学)。正会員。

吉川 浩 1985年, 日本大学大学院理工学研究科博士課程修了。同年, 同大学助手。現在, 同大学理工学部電子情報工学科教授。1988年~1990年, マサチューセッツ工科大学メディアラボ客員研究員。計算機合成ホログラム, フリンジプリンタ, 電子ホログラフィックディスプレイ, コンピュータグラフィックスなどの研究に従事。工学博士。フェロー認定会員。

藤井 俊彰 1990年, 東京大学工学部電子工学科卒業。1995年, 同大学院博士課程修了。同年, 名古屋大学大学院工学研究科電子情報学専攻助手。2003年, 同助教授。2008年~2010年, 東京工業大学大学院理工学研究科准教授。2012年, 名古屋大学大学院工学研究科電子情報システム専攻教授。主に3次元映像通信, 3次元映像システム・映像処理に関する研究に従事。博士(工学)。正会員。

氏家 弘裕 1991年, 東京工業大学大学院総合理工学研究科博士課程修了。1995年, 工業技術院生命工学工業技術研究所入所。現在, 産業技術総合研究所人間福祉医工学研究部門マルチモダリティ研究グループ, グループ長。視覚の心理物理学を基盤として, 運動立体視, 奥行き知覚の基礎的研究に関わるとともに, 映像の生体安全性に関する国際標準化と研究開発に携わる。正会員。