

立体映像技術の研究開発動向

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

映像情報メディア年報2015シリーズ 企画主旨

映像情報メディア年報は、2013年は1月号より研究委員会ごとに順に毎月掲載してまいりましたが、毎年企画することは研究委員会の負担が大きいため、2015年1月号より隔月で掲載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とおりです。(編集委員会)

- 2015年 1月号 立体映像技術研究会
- 3月号 情報ディスプレイ研究会
- 5月号 マルチメディアストレージ研究会
- 7月号 コンシューマエレクトロニクス研究会
- 9月号 放技術研究会 (現業/方式/無線・光の3テーマまとめて)
- 11月号 ヒューマンインフォメーション研究会
- 2016年 1月号 映像表現&コンピュータグラフィックス研究会
- 3月号 メディア工学研究会
- 5月号 アトレプレナー・エンジニアリング研究会
- 7月号 情報センシング研究会

1. まえがき

立体映像はとくに映画を中心に2眼ステレオ方式が映像の表現手段の1つとして定着した感がある。家庭用機器では、3Dテレビなどが一斉に売り出された2010年のような顕著な動きは見られなかったものの、立体映像を用いたVRシステムのゲーム応用が話題を呼ぶなど、身近なところへの3D映像の応用・製品化の試みは継続されてきている。

一方で、立体映像技術を活用し、立体映像そのものを得るだけではなく、機能面で新たな試みを行う事例も目立った。3次元ジェスチャ入力デバイスや動作入力センサ、ステレオカメラによる運転アシスト、ライトフィールドカメラによる後処理の実現などである。

本稿では、年報シリーズの第1回として立体映像技術の最近の進展を各分野について報告する。(奥井)

2. 裸眼立体ディスプレイ技術

産業界の動向としては、メガネ式立体テレビが期待ほど普及しなかったことが影響してか、裸眼立体ディスプレイの製品化については大きな動きはなかった。そんななか、従来から4Kパネルを用いた裸眼立体ディスプレイは展示会等で頻繁に出展されてきたが、ついにスーパーハイビジョン用の8Kパネルを用いた裸眼立体ディスプレイが2014年1月の展示会で登場した。発表では28視点相当で4Kに近い解像度となっているため、従来の多眼の設計では計算が合わないで疑問は残るが、画質に関しては概して評価が高い。一方で、以前は高価であった4Kパネルの低価格化がいきに進み画面サイズもさまざまなものが揃ってきたので、裸眼立体ディスプレイの製品化には好機を迎えていると言えるだろう。

携帯型ゲーム機には2眼式の裸眼立体表示が従来から利用されてきたが、2013年に海外で立体表示機能を省略した機種が発売され、立体視機能の存続が心配されていた。しかし、2014年10月にアイトラッキングを搭載して、逆立体視を防止する機能を備えた新機種が発売されることになった。海外では、アイトラッキングを用いて運動視差で立体視させるスマートフォンも発売されている。今後は、アイトラッキングを併用した裸眼立体表示の実用化が増える可能性がある。

海外の動向としては、韓国のGiga KOREAという国家プロジェクトの中で、裸眼立体ディスプレイの研究開発が産学官の枠組みで進められている。2015年までに100インチ100視点の大画面超多眼ディスプレイと10インチ30視点の携帯型超多眼ディスプレイを開発し、2017年までに200インチ600視点の大画面超多眼ディスプレイと20インチ72視

^{†1} 独立行政法人情報通信研究機構 ユニバーサルコミュニケーション研究所

^{†2} 東京農工大学 大学院工学研究院

^{†3} 日本大学 理工学部 応用情報工学科

^{†4} 名古屋大学 大学院工学研究科

^{†5} 法政大学 情報科学部

^{†6} 早稲田大学 理工学術院/基幹理工学部 表現工学科

^{†7} 独立行政法人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 2015 Series (1): The Trend of Three Dimensional Image Technology" by Makoto Okui (Universal Communication Research Institute, National Institute of Information and Communications Technology, Kyoto), 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), Takafumi Koike (Faculty of Computer and Information Sciences, Hosei University, Tokyo), Takashi Kawai (Faculty of Science and Engineering, Waseda University, Tokyo), Hiroyasu Ujike (Human Technology Research Institute, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Ibaraki)

点の携帯型超多眼ディスプレイを開発することを目的としている。

研究面では、シースルー型の立体表示が話題になった。Google Glassなどのウェアラブルデバイスが注目を集めたことに影響された動きであろう。ホログラム光学素子でレンズアレイを実現し、レーザプロジェクタで画像投影するシースルー型インテグラルイメージングディスプレイが提案された¹⁾。また、自由曲面プリズムをハーフミラーとして用いてヘッドマウント型のインテグラルイメージングディスプレイを実現する方法が提案された²⁾。インテグラルイメージングは水平・垂直に運動視差を有するため、実風景と立体像の重ね合わせにずれが生じないことが特徴である。上記のシステムではプロジェクション型の光学系を用いるためシステムにある程度の大きさが必要になるのに対して、シースルー型ではないが、目の近くに置いて用いることができるフラットパネル型のインテグラルイメージングディスプレイが提案された³⁾。プロジェクション光学系を必要としないため、小型なヘッドマウントディスプレイが実現できる。

立体表示技術を応用した視力補正機能をもつディスプレイがMIT Media Labから提案されて、注目された⁴⁾。これは、表示原理にはインテグラルイメージングを用いており、立体表示を用いて観察者がピント合わせできる奥行き位置に画像を立体表示することで、遠視や近視などに対する視力補正を可能にする。そのため、メガネをかけずに、ディスプレイを見ることができ、また、乱視や白内障に対応することもでき、さらには、個々人に合わせたテイラードな視力補正も実現できるとしている。

立体表示は大画面で用いると効果的である。NICTは、従来から画面サイズ200インチの200視点裸眼立体ディスプレイを大阪駅前のグランフロント大阪において一般公開しているが、2014年には、十一面観音立像や五重小塔などの国宝級の文化財を立体映像として表示して、好評を得た。韓国のSamsungから、NICTのシステムと同様にマルチプロジェクションシステムを用いた大画面裸眼立体表示システムの研究開発に関する報告があった⁵⁾。以上のマルチプロジェクション型の大画面裸眼立体ディスプレイは、映像投影に長距離を必要とするため、設置面積が大きく、多くのプロジェクタを用いるため設置や移設が難しいといった問題点がある。これを解決する方法として、枠なしの多眼表示モジュールをタイリングする方法が提案された⁶⁾。実際に、4K解像度のフラットパネルディスプレイを用いて実現した枠なし表示モジュールを縦方向に4台タイリングすることで、等身大の裸眼立体表示可能なシステムが試作されている。

(高木)

3. ホログラフィ

レーザにより光学的に記録したホログラムは、実物と区

別がつかないほどの高画質の立体像を記録することができる。近年、デジタル技術を用いてホログラムの記録や合成、ハードコピーやビデオディスプレイの研究などが盛んに行われている。

ホログラムの干渉縞を3次元物体のデータから生成する計算機合成ホログラム(CGH)では、動画像のための高速生成と、静止画像のための高画質生成の研究が行われている。動画像表示のための高速化手法としては、フレネル領域にイメージCGH法を拡張した波面記録面法があるが、その第二ステップの回折計算に帯域制限ダブルステップフレネル回折を用いた効率的な計算法が提案され⁷⁾、従来法よりも少ないメモリー容量で高速な計算が可能となった。コンピュータグラフィックス(CG)での光線追跡法をCGHに適用した研究では、高画質なホログラム動画像を高速に生成するために、静止物体と移動物体を分けて計算する手法が研究されている⁸⁾。また、光線追跡法では表現が難しい集光現象や拡散面と鏡面の相互反射などを表現できるプログレッシブフォトンマッピング法をCGHに適用した研究が報告された⁹⁾。物体をポリゴンの集合で計算するCGHの研究では、手前のポリゴンによる奥のポリゴンからの光の遮蔽を効率よく行うために、手前のポリゴンを開口とした光波を減算する手法が提案されているが、物体の奥行きを複数に分割することで計算時間がさらに短縮できる手法が提案された¹⁰⁾。

計算機により生成されるホログラムは基本的に平面型となるが、このホログラムから再生された波面を反射型の体積ホログラムとして記録する方法が提案されている。フルカラーのホログラムを記録する場合、3原色のホログラムを多重露光すると、像が暗くなる。それに対して、空間分割で記録した場合は要素ホログラムを小さくしないと、色が分離して見えてしまう。そこで、要素ホログラム内を空間分割し、フルカラーホログラムを記録することで明るさと画質を両立できる方法が提案されている¹¹⁾。

ホログラムの記録材料として、光学的に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。従来のフォトリフラクティブ材料では、記録の保持のため強力な外部電界を印加する必要があるが、扱いにくいものであったが、この外部電界が不要な材料が提案された¹²⁾。ビデオレートに近い50ミリ秒での書換えも確認されており、ハードコピーだけでなく、動画表示への利用も期待できる。

電子的に書換えが可能なホログラム材料(空間光変調器)としては、液晶やデジタルミラーデバイスなどが広く用いられている。ホログラフィックビデオディスプレイとして大きな画像サイズと広い視域を両立するには帯域幅、すなわち(画素数)×(毎秒の画面更新数)が大きいものが望ましい。高速に書換え可能な空間光変調器として、磁性体の磁気光学効果と電流駆動によるスピン注入磁化反転技術を用いた1ミクロン画素ピッチの光変調デバイスが提案さ

れた¹³⁾。まだ基礎実験の段階ではあるが、立体像の再生も確認されている。画素数を増やして帯域幅を広げる方法としては、複数の空間光変調器を多数並べる方法が従来から行われている。光学系の構成が簡単であるなどの理由により、これまでは横一列に並べる報告が主であった。文献14)では、4Kの液晶パネルを4×4の構成で16枚並べたビデオディスプレイを報告している。その際、省スペースの映像読出し光学系を開発し、表示サイズ対角85 mmで水平視域5.6°のフルカラー像を20 fpsで表示している。水平走査によるホログラフィックビデオディスプレイでは、ホログラム要素を走査するのが通常の方式だが、ホログラムではなく視域(観察域)を走査する方式が提案された¹⁵⁾。この方式では、走査角が視域角となるため視域の拡大が容易で、40°というホログラフィ方式としては大きな視域角が得られた。ただし、視域角と再生像のサイズはトレードオフの関係にあるので、視域を拡大した場合は再生像が小さくなる。

デジタル技術を利用した3次元表示のためのホログラフィの研究は、静止画像については実用化も進んでいる。動画像の研究も着実にすすんでおり、標準画像や画質評価についても早めの段階で議論を開始することが重要と考えられる。

(吉川)

4. 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、MPEG (ISO/IEC JTC1 SC29/WG11) やITU/ISO/IECの共同チームであるJCT-3V (ITU-T/ISO/IEC Joint Collaborative Team on 3D Video Coding Extension) によって活発な標準化活動が行われている。現在の標準化活動は、主に2つの方向性がある。1つは、取得した多視点映像をそのまま伝送するものであり、復号側でも視点数や視点間隔を変えることなく再生することを想定している。もう1つの方向性は、付加情報として奥行き情報を付け加えることによって、受信側で新たなViewの合成を可能にしようというものである。前者の例としては、動画像符号化方式であるH.264/MPEG-4 AVC¹⁶⁾ (以下、AVC)の規格のAnnex Hとして規定されているMVC (Multiview Video Coding) が知られており、Blu-rayのステレオ映像符号化方式として採用されている。MVCに奥行き情報を付加する方式として、MVC+D (MVCD)がAVCのAnnex Iとして規格化されている。また、AVCとコンパチビリティを有しつつ、視点を変化させる機能を持たせるものとして、3D-AVCが検討されている¹⁷⁾。これとまったく同様な動きが、最新の動画像符号化方式であるHEVC (High Efficiency Video Coding)でも行われている。MVCのHEVC版としてのMV-HEVC¹⁸⁾の標準化もほぼ終わり、2014年7月の札幌会合では、HEVCのver.2に統合されることとなった。HEVCに奥行きを付加した3D-HEVC¹⁹⁾の規格化も終盤となっている。これらJCT-3V関連の文書はJCT-3Vのサイト²⁰⁾から入手可能である。

標準化のもう1つの大きな流れとしては、上記のような多視点映像の符号化および微小な視点位置変更といった枠を超え、数百眼からなる超高密度多視点映像やIntegral Photographyなどの映像の符号化、さらにはフリーナビゲーションなどを可能とする符号化方式を標準化しようというものがある。これらに関してはMPEGの公開ドキュメントがあるので参考にされたい²¹⁾。現在も、このトピックに関する探索実験 (Exploration Experiment) が続けられており^{22) 23)}、予定では、2016年2月にCall for Proposalsが発行されることになっており、技術開発競争が進むものと思われる。

信号処理技術としては、LytroやRaytrixといった光線空間情報を直接取得できるLight Field Cameraを用いたものが注目を浴びつつある。ステレオカメラや多視点カメラから物体の奥行き情報を推定する問題は古くて新しい問題であるが、近年さらにLight Field Cameraを用いて奥行き推定を行う研究が活発になってきている。エピソード平面画像のパターンを解析して視差推定を行うもの²⁴⁾や、コスト関数を定義し、視差推定問題をコスト最小化の最適化問題に置き換えて解こうとするもの²⁵⁾などがある。また、単に視差推定を行うだけでなく、さまざまな認識の問題に応用しようとする試みもある。Raghavendraら²⁶⁾は、Light Field Cameraで撮影した画像が焦点を任意に変えられる特徴を活かし、顔認識の性能を向上させる試みを行っている。このように、従来は多視点映像処理の1つとして用いられていた技術が、Light Field Cameraの登場によって別の文脈で再検討されるようになっており、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。

前述のようにMPEG (JCT-3V) がDepthデータを標準符号化方式に組み込みつつあるが、超高密度多視点映像やフリーナビゲーションを実現するためには、それだけでは不足であり、標準化活動の中でも模索が続いている。一方、Light Field Cameraの登場によって、古くて新しい問題が再検討されているという動きもある。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)

5. 立体映像技術応用

立体映像技術の応用に関しては、立体ディスプレイなどの表示装置よりも、立体撮影装置に大きな進展があった。まず、4次元の光線空間 (4D Light Field) データを直接取得できるカメラとして、Lytro社からLYTRO ILLUMが発売された。前機種種のThe First Generation Lytro Cameraが小型のコンパクトカメラであったとすれば、ILLUMはレンズ一体型カメラと言える。ILLUMは光学ズームも内蔵し、かつ開口が前機種よりも広いため、より広い範囲の焦点位置の変更や、狭い範囲であるが視点位置を変更することも可能となっており、写真表現の幅が広がっている。

また、Pelican Imagingは、4×4にカメラを配置した小さなカメラアレイであるPiCamをSIGGRAPH ASIA 2013で発表している²⁷⁾。PiCamは、正確にはレンズアレイカメラであるが、1ドル硬貨より小さく、スマートフォンなどの携帯機器への搭載が予定されている。スマートフォンやタブレットデバイスにカメラアレイまたはレンズアレイカメラが内蔵される日も近いと予想される。

Amazonが発売したスマートフォンであるFire Phoneは、ディスプレイ面の4隅にそれぞれカメラを内蔵している。この4つのカメラを用いて、ユーザのヘッドトラッキングを行っている。カメラの画角が広いと、スマートフォンのようなデバイスとユーザの距離が比較的近い利用でもトラッキングができるようになってきている。また、赤外光を照射する光源を持っているため、暗所でもトラッキングが可能となっている。ユーザの頭(顔)の位置に応じて、その視点での映像を表示することができ、擬似立体表示を可能としている。現状の立体ディスプレイの視域が狭いことを考えると、実用的な解の1つであるといえる。

続いて、2013年の年報でも報告しており、急速に普及したMicrosoft社のKinectに関しては、ToF(Time of Flight)を用いたKinect for Windows v2が発売された。ToFは、センサ側から光(通常は赤外光などの非可視光)を照射し、その反射光が戻ってくるまでの時間を測定することで、奥行きを計測する手法である。ToFを用いた深度カメラは、一昔前には100万円近い価格であったことを考えると、急速に低価格化が進んだデバイスの1つであると言える。

Kinectも含めた深度カメラは、RGBDカメラと呼ばれるようになってきたが、インテルも、RGBDカメラであるRealSense 3Dカメラを開発した。RealSense 3Dカメラは、Ultrabookやタブレットに内蔵できるサイズの小型モジュールで、本年度中を目処に製品への組み込みが予定されている。原理は、Kinect v1, v2のどちらとも違い、IR(赤外)プロジェクタと、1または2台のIRセンサ、1台のカラーセンサで構成される。詳細はわからないが、IRプロジェクタはMEMSを用いたものとのことである。太陽光の下でもIRセンサによりステレオ検出は可能であるため、明所でも暗所でも問題なく深度が取得できるのが特徴である。ただの深度取得にとどまらず、ジェスチャ処理などさまざまなアプリケーションが提案されていて、ソフトウェアの整備もされており、SDKの形で公開されている。

立体ディスプレイに関しては、家庭用テレビでは、テレビの目玉機能としてではなく、ハイエンド機を含む一部の機種に搭載されるようになった。また、3D映画が一般的になったこともあり、Blu-Rayでのコンテンツ供給も順調に増えている。残念ながら3D対応の放送コンテンツが少ないこともあり、限定的な普及にとどまっている。

家庭用ゲーム機でも、残念ながら3D映像化は進んでおらず、3Dテレビへの対応が遅れている。2014年には、任

天堂、ソニー、Microsoftの主要3社による据置型ゲーム機が出そろったが、一部でBlu-Ray 3Dに対応しているだけで、ハードウェアとしては3D出力機能を有しているが、3D対応ゲームが販売されていないなど、限定的な3D機能のサポートにとどまっている。立体映像コンテンツとして、ゲームは大きな牽引力となると予想されるので、この状況はコンシューマ向け映像装置としての立体映像の本格普及までは、まだ時間がかかるということであろう。

一方で、携帯ゲーム機では立体映像に関して進展があった。2014年10月に任天堂は、「3Dブレ防止機能」を持つ新しいニンテンドー3DSを発売した。ユーザの目の位置をカメラで検出し、ユーザの視点に応じた立体映像を出力することで、以前の欠点であった、視域が狭い問題とそれによる逆視やクロストークによるブレの問題を解決している。2眼式の裸眼立体ディスプレイは、立体視が可能な視域と逆視により立体視が不可能な視域がある。逆視領域では、左右の映像を入れ替えて表示することで立体視が可能となり、本ゲーム機ではその手法を用いている。

最後に、ファブリケーション技術と立体映像との関連について簡単に述べる。3Dプリンタの急速な普及によって、さまざまなアプリケーションやサービスが登場してきた。研究分野では、透明な樹脂を用いてレンズなどの光学素子を作り、特種な形状のディスプレイを作る方法が提案されている²⁸⁾。また、3Dスキャナや多視点画像と組合せることで、人体などの3Dフィギュアを作製する研究²⁹⁾やサービス³⁰⁾が出てきており、今後、立体映像技術の一つの出口として有望である。

(小池)

6. コンテンツ分野

(1) 立体映像コンテンツの国際動向

立体映像(3D)コンテンツは、映画産業においては国際的に定着した感がある。ハリウッドを拠点とした当該分野の業界団体である国際3D協会(International 3D Society)では、今年度より名称を国際3D先進映像協会(International 3D & Advanced Imaging Society)に変更し、そのスコープに4Kや8KといったUHD(Ultra High-Definition)なども包含するようになった³¹⁾。

一方で、「3Dならではの」ユーザ体験や活用方法は、未だ不明確な点が多く、コンテンツという切り口においても多様な課題が存在する。本稿では、その中から「ソーシャル化」と「感情の喚起」について触れる。

(2) 3Dコンテンツのソーシャル化

ソーシャルメディアとは、誰もがコンテンツを制作・発信できるよう設計されたメディアの総称である。3Dコンテンツは、テレビやPCなどの呈示環境に加えて、ビデオカメラや動画共有サイトといった制作・発信環境の整備に伴い、近年はソーシャルメディアとしての展開も期待されるようになった。

最近の動向としては、3Dのソーシャル化に関連して Hakalaらが興味深い取り組みを行っている。具体的に、民生用の3Dカメラの使いやすさについて初心者5例に4週間の連続使用を求め、質問紙やインタビューによる評価と同時に、その間に撮影された約700枚の3D写真に含まれる視差角を分析した。結果から、初心者の3D写真では被写体に近づきすぎ、過度の視差が含まれる傾向にあるが、4週間という使用期間内に約70%が改善され、自然な構図を選択するようになったことを報告している³²⁾。

(3) 感情を喚起する視差操作

「3Dは、2Dよりも感動するのか?」という問いに対して、世界的に著名な3D映画の感情表出シーンにおいて、両眼視差にどのような特徴がみられるか、視差角の分析が行われた³³⁾。分析の結果から、視差操作において基本感情毎に一定の傾向がみられたため、その操作を異なる画像に適用した際の影響について、実験的な検討が行われている³⁴⁾。具体的に、感情を喚起する大規模な画像セットである International Affective Picture System³⁵⁾ から、幸福、驚き、悲しみ、恐怖を喚起すると判断された画像を3種類ずつ抽出し、元画像である2D条件と各画像に含まれる単眼情報に基づいて両眼視差を付加した3D条件、さらに感情毎の視差操作を反映した条件間で情動値と覚醒度に与える影響が比較された(n=20)。Self-Assessment Manikin³⁶⁾を用いた評価結果から、3D化と視差操作の反映によって、いずれの感情分類においても覚醒度を増進する傾向が認められている。

(4) 3Dコンテンツの機能性

上述のように3Dコンテンツは、映画産業では定着をみせているものの、新たな産業創出というレベルには至っていない。そのため一部を本稿で触れたように、3D特有の機能性の解明が急務と考えられる。同時に、3Dコンテンツの機能性に関する知見やアプローチは、研究者だけでなく事業者やユーザにとっても有益であることから、国内外へ広く情報を発信していく必要があると考えている。そうした取り組みの1つとして、日本人間工学会3D人間工学研究部会は国際3D先進映像協会の日本部会³⁷⁾と連携し、3Dコンテンツの機能性に関する情報提供を目的としたウェブサイト³⁸⁾を今年度より構築・運営している。(河合)

7. 生体影響とガイドライン

立体映像の一時期のようなブームは去ったものの、医療現場など実務上の利用として着実に浸透している分野や、ゲームやVR環境等での裸眼あるいはHMDデバイスのもとの普及、さらに新たに4Kとの融合による展開の可能性など、立体映像のさまざまな有効活用に眼が向けられており、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いる。

国内では、2004年に公開され2010年に新たに改訂された3DC安全ガイドラインが、現在、関連業界に広く普及しており、合わせて英語版、中国語版、韓国語版の公開も行われている。

国際的には、ITU-R(国際電気通信連合・無線通信部門)において、無線通信研究委員会の放送業務を担当するSG6が、3Dテレビに関する議論を進めており、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活発に議論を行っている。

また、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と映像の生体安全性をテーマとするWG 12において、立体映像に関わる人間工学についての規格が議論されている。このうちWG 2では、裸眼立体ディスプレイおよびメガネ式立体ディスプレイに関するスタディグループにおいて、それぞれ国際規格化を目指した議論が行われており、いずれも2014年1~2月に国際規格化提案が行われた。一方WG 12では、2012年2月に国際規格化提案が承認された立体映像の生体安全性に関するガイドラインについて引き続き審議が行われ、2014年2月に国際規格案(ISO/DIS 9241-392)の投票結果が承認基準を満たすものとなり、引き続き国際規格発行に向けて議論が行われる予定である。

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引き続き精力的に報告が行われている。その一つの例として、2007年に第1回が開催された「映像の生体安全性に関する国際シンポジウム(VIMS)」は、2013年9月に第4回として英国・ストラトフォードアポンエイボンにて開催され、11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、3件の講演^{39)~41)}が行われた。具体的には、調節と輻輳の距離情報の不一致に関する検討³⁹⁾や、クロストークや両眼間映像ズレによる影響⁴⁰⁾、さらに映画視聴における立体提示の影響⁴¹⁾などに関する研究が報告されている。また、学術誌でも引き続き立体映像による視覚疲労等の検討がさまざまな観点で行われている。その中では、実際の立体映画視聴に基づく調査研究⁴²⁾や、市販の立体ゲームや立体映画をできるだけ家庭での視聴環境に近づけて影響をみる研究^{43)~45)}、またショッピングモール等での3D表示を想定した研究⁴⁶⁾や、小ホールでのビデオ視聴による影響など⁴⁷⁾、現実場面での利用を意識した研究が目立っている。さらに、市販のビデオを利用しつつ異なる立体表示形式の影響を主観的評価に加え、客観的評価を含めて検討したり⁴⁸⁾、立体表示の位置や観視者の視聴位置による影響などを系統的に調べたりした研究⁴⁹⁾なども報告されている。今後、さらに立体表示技術が社会に浸透していく

中で、こうした学術的研究など最新の知見を基礎に、より利用しやすいガイドライン作成が望まれる。(氏家)

8. むすび

立体映像技術の動向、とくに最近の約2年間の進展をまとめた。

5年後には東京オリンピック・パラリンピック開催が控えているが、このようなビッグイベントは最新の映像技術が一気に進展する場でもある。立体映像技術も五輪やその後の産業化に向けた研究開発が進むことを期待する。その一方で、継続的な課題としては、ホログラフィや超多視点映像に特化した表示デバイスの実用化や立体映像評価技術を挙げておきたい。

(奥井)

(2014年11月24日受付)

【文 献】

- 1) K. Hong, J. Yeom, C. Jang, J. Hong and B. Lee: "Full-color lens-array holographic optical element for three-dimensional optical see-through augmented reality", *Opt. Lett.* **39**, 127-130 (2014)
- 2) H. Hua and B. Javidi: "A 3D integral imaging optical see-through head-mounted display", *Opt. Express* **22**, 13484-13491 (2014)
- 3) D. Lanman and D. Luebke: "Near-eye light field displays", in *ACM SIGGRAPH 2013 Emerging Technologies* (July 2013)
- 4) V.F. Pamplona, M.M. Oliveira, D.G. Aliaga and R. Raskar: "Tailored displays to compensate for visual aberrations", *ACM Trans. On Graph.* **31**, article 81 (2012)
- 5) J.-H. Lee, J. Park, D. Nam, S.Y. Choi, D.-S. Park and C.Y. Kim: "Optimal projector configuration design for 300-Mpixel multi-projection 3D display", *Opt. Express* **21**, 26820-26835 (2013)
- 6) Y. Takaki, M. Tokoro and K. Hirabayashi: "Tiled large-screen three-dimensional display consisting of frameless multi-view display modules", *Opt. Express* **22**, 6210-6221 (2014)
- 7) 岡田, 下馬場, 市橋, 大井, 山本, 老川, 角江, 増田, 伊藤: "帯域制限ダブルステップフレネル回折を用いた計算機合成ホログラムの高速計算", 3次元画像コンファレンス2013, P-17 (2013)
- 8) 渡邊, 市川, 坂本: "光線追跡法を用いた計算機合成ホログラムにおける動画作成時の高速隠面消去法に関する研究", 3次元画像コンファレンス2014, 2-2 (2014)
- 9) 中村, 山口, 吉川: "計算機合成ホログラムへのプログレッシブフォトンマッピングの導入", *映情学技報*, **37**, 17, pp.211-214 (2013)
- 10) 増田, 松島, 中原: "スイッチバック法を用いたポリゴン単位隠面消去処理の性能とその改良", 3次元画像コンファレンス2014, P-14 (2014)
- 11) H. Kang, Y. Kim, J. Park, E. Stoykova and S. Hong: "Color holographic wave-front printing method based on partitioned elemental hologram", in *Imaging and Applied Optics 2014*, p. DTh3B.1 (2014)
- 12) 木梨, 堤: "書換え可能ホログラム材料", *Hodic Circular*, **33**, 1, pp.21-27 (2013)
- 13) 町田, 青島, 加藤, 金城, 久我, 菊池, 石橋, 清水: "広視域のホログラフィ立体表示に向けた超高精細スピンSLM", *映情学技報*, **36**, 36, pp.5-8 (2012)
- 14) 佐々木, 山本, 涌波, 市橋, 大井, 妹尾: "複数の空間光変調素子を用いた電子ホログラフィ立体映像表示～省スペース映像読出し光学系による再生像の大型化～", *映情学技報*, **38**, 34, pp.13-16 (2014)
- 15) 藤井, 高木: "MEMS空間光変調器を用いた視域走査型ホログラフィックディスプレイ", 3次元画像コンファレンス2014, 2-3 (2014)
- 16) ITU-T Rec. H.264 - Advanced video coding for generic audiovisual services (2013.4)
- 17) "Study Text of ISO/IEC 14496-10:2012/DAM3 AVC compatible video-plus-depth extension", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N13752/JCT3 V-E1002 v1 (2013.9)
- 18) "MV-HEVC Draft Text 9 (ISO/IEC FDIS 23008-2:2013/DAM4)", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N14700/JCT3 V-II002 (2014.7)
- 19) "3D-HEVC Draft Text 5 (ISO/IEC 23008-2: 2013/DAM4)", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N14701 / JCT3 V-II001 (2014.7)
- 20) <http://phenix.it-sudparis.eu/jct3v/index.php>
- 21) "Use Cases and Requirements on Free-viewpoint Television (FTV)", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N14104 (2013), <http://mpeg.chiariglione.org/sites/default/files/files/standards/parts/docs/w14104.zip> より取得可能
- 22) "Purpose of FTV Exploration", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N14546 (2014)
- 23) "Description of Exploration Experiments on Free-viewpoint Television (FTV)", ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N14551 (2014)
- 24) S. Wanner and B. Goldluecke: "Variational light field analysis for disparity estimation and super-resolution.", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, **36**, 3, pp.606-619 (2014.3)
- 25) S. Tulyakov, T.H. Lee and H. Han: "Quadratic formulation of disparity estimation problem for light-field camera", in *2013 IEEE International Conference on Image Processing*, pp.2063-2067 (2013)
- 26) R. Raghavendra, B. Yang, K.B. Raja and C. Busch: "A new perspective - Face recognition with light-field camera", in *2013 International Conference on Biometrics (ICB)*, pp.1-8 (2013)
- 27) K. Venkataraman, D. Lelescu, J. Duparré, A. McMahon, G. Molina, P. Chatterjee, R. Mullis and S. Nayar: "PiCam: an ultra-thin high performance monolithic camera array", *ACM Trans. Graph.* **32**, 6, Article 166 (2013)
- 28) K. Willis, E. Brockmeyer, S. Hudson and I. Poupyrev: "Printed optics: 3D printing of embedded optical elements for interactive devices", in *Proceedings of the 25th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST '12)*. ACM, New York, NY, USA, 589-598 (2012)
- 29) H. Li, E. Vouga, A. Gudym, L. Luo, J.T. Barron and G. Gusev: "3D self-portraits", *ACM Trans. Graph.* **32**, 6, Article 187 (2013)
- 30) <https://shapify.me>
- 31) <http://www.international3dsociety.com/>
- 32) J. Hakala, S. Westman, M. Salmimaa, M. Pölönen, T. Järvenpää, J. Häkkinen: "Why 3D cameras are No.popular: A qualitative user study on stereoscopic photography acceptance", *3D Research*, **5**, 4 (2014)
- 33) T. Kawai, M. Hirahara, Y. Tomiyama, D. Atsuta, J. H_kkinen: "Disparity analysis of 3D movies and emotional representations", *SPIE*, **8648**, 86480Z-1-9 (2013)
- 34) T. Kawai, D. Atsuta, Y. Tomiyama, S.H. Kim, H. Morikawa, R. Mitsuya, J. Hakkinen: "Disparity modifications and the emotional effects of stereoscopic images", *SPIE*, **9011**, 901115-1-8 (2014)
- 35) P.J. Lang, M.M. Bradley, B.N. Cuthbert: "International affective picture system (IAPS) : Affective ratings of pictures and instruction manual", *Technical Report A-8 University of Florida* (2005)
- 36) M.M. Bradley, P.J. Lang: "Measuring emotion: the self-assessment manikin and the semantic differential", *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, **25**, 1, 49-59 (1994)
- 37) <http://www.i3ds.jp/>
- 38) <http://www.naruhodo3d.jp/>
- 39) Howarth, P. A.: "Conflict? What conflict?", *VIMS2013, Stratford-upon-Avon, UK* (2013)
- 40) H. Ujike, H. Watanabe: "Effects of crosstalk and interocular vertical misalignment on visual fatigue with stereoscopic images", *VIMS2013, Stratford-upon-Avon, UK* (2013)
- 41) E. Karpicka: "The viewing of 3D stereoscopic films", *VIMS2013, Stratford-upon-Avon, UK* (2013)
- 42) A.G. Solimini, A. Mannocci, D.D. Thiene, G.L. Torre: "A survey of visually induced symptoms and associated factors in spectators of three dimensional stereoscopic movies", *BMC Public Health* **12**, p.779 (2012)
- 43) C.A.J. Read, I.Bohr: "User experience while viewing stereoscopic 3D television", *Ergonomics*, **57**, 8, pp.1140-1153 (2014)

- 44) M. Pölonen, T. Järvenpää, B. Bilcu: "Stereoscopic 3D entertainment and its effect on viewing comfort: Comparison of children and adults", *Applied Ergonomics* 44, 1, pp.151-160 (2013)
- 45) S.N. Yang, T. Schlieski, B. Selmins, S.C. Cooper, R.A. Doherty, P.J. Corriveau, J.E. Sheedy: "Stereoscopic viewing and reported perceived immersion and symptoms", *Optometry and Vision Science* 89, 7, pp.1068-1080 (2012)
- 46) H. Watanabe, H. Ujike: "Psychological and physiological effects of stereoscopic movies of real-world scenes containing improper three-dimensional settings", *Health*, 5, 7, pp.1099-1105 (2013)
- 47) M. Obrist, D. Wurhofer, T. Meneweger, T. Grill, M. Tscheligi: "Viewing experience of 3DTV: An exploration of the feeling of sickness and presence in a shopping mall", *Entertainment Computing* 4, 1, pp.71-78 (2013)
- 48) L. Zhang, Y.Q. Zhang, J.S. Zhang, L. Xu, J.B. Jonas: "Visual fatigue and discomfort after stereoscopic display viewing", *Acta Ophthalmologica* 91, pp.e149-e153 (2013)
- 49) E.J. Cho, K.M. Lee, S.M. Cho, Y.H. Choi: "Effects of stereoscopic movies: the positions of stereoscopic objects and the viewing conditions", *Displays* 35, 2, pp.59-65 (2014)



奥井 誠人 (おくい まこと) 1980年, NHK入局。1983年より, 放送技術研究所。以後, 映像処理, 放送方式, 超高精細映像および3D映像システムの研究に従事。2013年より, 情報通信研究機構ユニバーサルコミュニケーション研究所。最近の研究分野は, 3D映像システム, 裸眼立体ディスプレイ。博士(工学)。正会員。



高木 康博 (たかき やすひろ) 1986年, 早稲田大学理工学部卒業。1988年, 同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, 同大学助教授。2000年, 東京農工大学工学部助教授。2013年より, 同大学教授。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 (よしかわ ひろし) 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, 同大学教授。理工学部応用情報工学科勤務。1988年~1990年, MITメディアラボ客員研究員。計算機合成ホログラム, フリτζ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。当会フェロー認定会員。



藤井 俊彰 (ふじい としあき) 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。



小池 崇文 (こいけ たかふみ) 1995年, 東京工業大学理学部物理学卒業。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。2013年, 法政大学情報科学部教授。実世界指向メディアの研究に従事。博士(情報理工学)。正会員。



河合 隆史 (かわい たかし) 1993年, 早稲田大学人間科学部卒業。1998年, 同大学院人間科学研究科博士後期課程修了。同大学人間科学部助手, 同大学院国際情報通信研究科准教授等を経て, 2008年より, 早稲田大学基幹理工学部表現工学科教授となり, 現在に至る。ユーザやクリエイタの観点から次世代メディアの評価や応用, コンテンツ制作に関する研究に従事。認定人間工学専門家。博士(人間科学)。正会員。



氏家 弘裕 (うじけ ひろやす) 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, 興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。