

2. 立体テレビの研究

立体テレビは、人間が現実の世界を見るのと同様な自然でリアルな3次元映像を表現することができ、2次元映像を超える究極の高臨場感映像として期待されている。

3次元映像の研究開発の歴史は古く、技研においても1960年頃から立体視、立体映像の基礎研究を進めてきた。1985年頃からは将来の放送システムを検討する中で、立体映像の視覚や心理効果、カメラ、表示装置、番組制作手法など幅広い研究が行われた。特に、広い画角と鮮鋭な画質をもつハイビジョンをベースにした2眼式立体映像(立体ハイビジョン)は、高画質で実現性の高い方式として番組制作から表示までのシステムを構築して広範な研究が進められた。

2000年以降、立体ハイビジョンシステムを用いて自然で見やすく視覚疲労の少ない撮影・表示・視聴条件を探る研究が進められた。書き割り効果・箱庭効果として知られる立体映像の空間歪みが発生する条件や、左右映像間の特性差と妨害度の関係、過大な視差量や視差の時間変化が見づらさや疲労にどのように影響するかなどを調査し、コンテンツの制作手法や機器特性との対応を明確化する検討を行った。これらの研究の成果は2002年度にまとめられ、2003年の技研公開で解説ビデオとして公開上映した。その後、研究成果を反映した空間歪み表示装置の開発も行った。

近年、立体映画の上映が人気を集め、家庭用のディスプレイや再生装置の製品化など、2眼式(ステレオ式)立体映像が身近な存在になってきている。技研における長年の研究成果は、2眼式立体映像にも適用できるものであり、学会などを通じて広く公表してきている。このほか、立体ハイビジョン関連では2001年にネットワーク伝送実験を実施し、さらに2009年には月周回衛星「かぐや」からのハイビジョン映像を立体化する試みを通じて映像メディアとしての有効性の検証を行った。

一方、1995年には、将来の放送への利用を目指す立体テレビ方式として像再生型立体映像方式の研究に着手した。像再生型は、2眼式のように一定の視点から見た立体映像の再生ではなく、実際に光学像を再生することで、視点を変えても自然な立体像の再生を可能にする方式である。像再生型立体映像方式には、多数の微小レンズを配列したレンズアレーを用いるインテグラル立体方式と、光を波面として記録再生することにより理想に近い立体像再生が可能なホログラフィー方式がある。放送への適用では、特殊なメガネが不要で長時間映像を見ても疲れず、見る位置や姿勢に応じた自然な立体像が見られることが重要である。その意味から像再生型方式は、将来の立体テレビの有力な候補と考えられる。ただし、これらの方式を放送に用いるには、電子的手段により動画のリアルタイムでの撮像・再生が要求され、実現に向けて多くの課題に取り組む必要がある。

インテグラル立体テレビは当初、ハイビジョンをベースにしたレンズ数54(H)×59(V)の試作装置からスタートしたが、2000年代に入り着実に性能の向上が進んだ。走査線2000本(800万画素)システム、さらには800万画素素子を組み合わせた画素ずらし方式(デュアルグリーン方式)によるスーパーハイビジョン映像システムの適用を経て、2009年にはフル解像度スーパーハイビジョンシステムと高精度レンズアレーを適用し、レンズ数400(H)×250(V)を達成した。同時に視域についても改善を進め、2006年以降の試作では視域角約24度まで拡大している。これらの一連の試作では、カメラとディスプレイを同時に開発し、これらを接続したリアルタイム動作を確認している。このように、撮像・表示のシステム化を図って開発を進めている点がインテグラル立体テレビの大きな特徴となっている。

また、立体映像における奥行き制御は、映像表現のうえでも、また再生像の解像度確保の点でも重要な技術であるが、従来の光学系を用いた手法より柔軟な対応が可能な映像処理手法を開発し、その効果を検証した。このほか、再生像の解像度特性などの基本特性の把握、モアレ低減や幾何学歪みの補正などの高画質化のための諸技術の開発も進めた。

電子ホログラフィーの研究開発では、両眼で観察可能な視域の確保と撮影時の制約の軽減が主要な課題としてあげられる。高精細液晶パネルの利用と複数パネルの組み合わせ技術の適用により、両眼視が可能な表示装置を開発し、2005年の技研公開で展示した。また入力手法では、インテグラル立体方式で撮影した映像データからホログラフィー用データ(ホログラム)を変換生成する手法を開発した。

立体テレビの番組制作では、従来のテレビと同様にさまざまな映像を撮像し、自由に編集できることが必要である。そのために多様な立体映像の入力手段が求められる。2000年から、複数カメラで撮影した多視点の映像から任意視点映像を生成する新しい情報提示技術の研究を開始した。さらに、複数のカメラ映像を処理して3次元モデルを生成することを基本技術とし、2007年からは、これをインテグラル立体映像に変換・表示する手法に応用した研究に発展させた。この手法が確立できれば、インテグラル立体映像の新しい入力手段として利用でき、より多彩な被写体の撮影が期待できる。

[奥井 誠人、中須 英輔]

2.1 立体ハイビジョン

立体ハイビジョンは、高精細なハイビジョン映像の特長を生かし、大画面で高い臨場感を実現した2眼式立体映像である。映像素材や試験的な立体映像番組の制作、カメラやディスプレイなどの機器開発とともに、立体映像に求められる所要条件や視覚特性の面からの検討を行った。1990年代後半からは、これらに加えて、放送に適用するうえでの課題とされていた見やすさの確保や視覚疲労の低減のための研究を集中的に行い、2002年度にこれらの成果をまとめた(2.2節参照)。

なお、2眼式立体映像の映像素材や立体映像番組制作の成果として、1998年発行の(社)映像情報メディア学会立体映像標準チャートの制作に協力した。その内容の一部は2000年にITU-Rで勧告化されている⁽¹⁾。

(1) PDP 立体表示方式

フラットパネル型の立体ディスプレイを目指して、PDPを用いた時分割型の立体表示方式の研究を進めた。2001年には短残光型蛍光体とクロストークキャンセラーを用いたAC型PDP立体ディスプレイを試作し、従来のDC型PDPに比べて左右画像間のクロストークを大幅に改善させるなど、特性を向上させた⁽²⁻³⁾。

以上の研究は、栗田泰市郎、浜田宏一が主に担当した。

(2) 立体ハイビジョンのネットワーク伝送実験

2001年に、2眼式立体ハイビジョンのネットワーク伝送の可能性を検証するために、IP(Internet Protocol)による伝送システムを試作し、東京-岡山間でネットワーク伝送実験を行った。伝送システムは、2台のMPEG-2符号化装置とストリーミングサーバーで構成した。左右映像を同期するための時刻情報を多重伝送し、受信装置では時刻情報を参照しながら左右映像の表示時刻制御を行った。長距離ネットワークにはJGN(Japan Gigabit Network)、岡山県内のアクセスには岡山情報ハイウェイを利用し、45Mbpsのビットレートで伝送を行った。

この実験は、KDDI(株)と(独)通信総合研究所(現在は(独)情報通信研究機構NICT)との共同実験であり、岩館祐一、星野春男、山本真、中岡範之が主に担当した。

(3) 立体ハイビジョンの心理効果

立体ハイビジョン映像システムの特徴を明らかにするため、その心理効果を調べるための主観評価実験を早稲田大学との共同研究により実施した。実際に制作した複数の立体ハイビジョン映像を分析し、2つの因子(見やすさ・臨場感に関する因子)を抽出した。立体映像では2次元(平面)映像に比べ、臨場感に関する因子の効果は大きい。見やすさに関する因子の効果は一定でない。また、立体映像の視差量の分布パターンと各因子の関係を分析した結果、見やすい映像の視差分布(画面上方が遠方、下方が手前など)の傾向が認められた⁽⁴⁾。また、「書き割り効果・箱庭効果」などの立体映像特有の空間歪みに関する幾何学的解析を行い、発生条件を検証するとともに、評価実験結果との関係を明らかにした⁽⁵⁻⁷⁾。これらの見やすさや視覚疲労の低減に関連した研究は、立体テレビ放送実現のための課題として一元的な検討が行われた(2.2節参照)。

以上の研究は、岡野文男、奥井誠人、山之上裕一、井出真司が主に担当した。

(4) 視差量の分析と応用

見やすさや視覚疲労の観点から、視差量制御の検討を進めてきたが(2.2節参照)、これらの知見を積極的に応用して立体ハイビジョンの多眼化を試みた。視差抽出には位相相関法を用い⁽⁸⁾、動画表示可能な装置を試作して表示実験を行った。その結果、動領域の輪郭などで課題があるものの円滑な視差変化の多眼立体像が確認できた⁽⁹⁾。

以上の研究は、野尻裕司、山之上裕一、花里敦夫、内藤洋一、奥井誠人が主に担当した。



図 2.1 生成した立体ステレオ画像（オリジナル映像：JAXA/NHK、3D変換：NHK放送技術研究所）（口絵参照）

（5）空間歪み表示装置

立体ハイビジョンの制作支援システムとして、2.2節の研究成果を実際の撮影に活用するため、2眼式立体システム再現画像の空間歪み表示装置を開発した⁽¹⁰⁾。この装置は、撮影・表示に関するパラメーターおよび観視パラメーターを入力し、位相相関法を援用して被写体範囲を設定することにより、書き割り効果・箱庭効果や過度な視差の発生をわかりやすく表示するものである。

以上の研究は、岡野文男、野尻裕司、山之上裕一、江本正喜、花里敦夫、正岡顕一郎が主に担当した。

（6）月周回衛星「かぐや」からの映像の立体化

2007年から2009年まで月面観測に活躍した月周回衛星「かぐや」からのハイビジョン映像（（独）宇宙航空研究開発機構 JAXA と NHK の共同撮影）をもとに、立体映像への変換を試みた。動画における被写体の位置ずれを利用し、同一動画映像から左右眼用の映像を生成する手法⁽¹¹⁾で、地球が月面から昇る印象的なシーンなどを立体映像化した（図 2.1）。この立体映像は NAB 2009 や CEATEC JAPAN 2009 などでも展示し、その幻想的で迫力のある映像は好評を得た。

以上の研究は、岡野文男、洗井 淳、佐々木久幸、三浦雅人が主に担当した。

〔奥井 誠人〕

2.2 立体視の不自然さ、見づらさ、疲労要因

（1）クリップ特性の差異の主観評価

立体映像は、通常の2次元映像を超えた臨場感を提供できる一方で、映像の不自然さや見づらさ、視覚疲労などの立体映像特有の課題がしばしば指摘されることがある。これらの課題の解明を目指した研究を実施し、1990年代の関連研究の結果とともに課題を整理し、取りまとめを行った。

立体映像の見づらさや疲労の原因として、左右眼用の映像間の特性の不ぞろいあげられる。2眼立体映像の一方の映像の輝度がクリップされた場合（白つぶれ、黒つぶれに相当）について、その妨害度を調べる実験を行った⁽¹²⁾。その結果、白レベルのクリップが約70%以

下、黒レベルのクリップが約1%以上となると検知されることがわかった。このため、特に黒レベルについてのレベル管理や機器調整に留意する必要があることがわかった。

以上の研究は、野尻裕司、花里敦夫が主に担当した。

（2）視差分布による分析

実際の立体映像の視差と見やすさ見づらさなどの関連を調べるため、位相相関法で視差分布を求め、その統計量をもとに分析を進めた⁽⁸⁾。利用した統計量は、画面内の視差分布の平均およびその絶対値、画面内の視差の分散、画面内の視差の最小値および最大値、画面内の視差の分布範囲である。この検討結果と見やすさ、臨場感の主観評価結果から、視差の分布範囲が見やすさおよび臨場感と最も相関が高いことがわかった。さらに、各評価映像の視差の分布範囲、視差分布の平均値と見やすさ、臨場感との関係を調べた結果、以下の知見が得られた。

- ・見やすい立体映像の視差の分布範囲は、画面内の一番手前と一番奥に提示された被写体の輻輳角の差で表現した場合、約60分以内であった。
- ・視差の分布範囲の平均がスクリーン位置に近いほど見やすい。
- ・見やすい立体映像では、視差の分布範囲が大きいほど臨場感も強い。
- ・視差分布の平均と臨場感とは相関関係が認められない。

以上は、主に2002年に実施した結果である。これらの研究をもとに、立体ハイビジョン映像の課題を整理した結果を図 2.2 に示す。これらの各課題に対する研究結果の取りまとめを2002年度に行った。また、撮像条件と立体映像の自然さ・不自然さの主たる要因である立体映像の空間歪みの関係を理論的に明らかにした⁽⁷⁾。見やすさ・見づらさに関する研究では、上記視差の分布範囲や左右映像間の差異の検知限・許容限を明らかにした。視覚疲労については、輻輳と調節の不一致が視覚疲労の原因と言われていたが、これを実験的に検証し、輻輳と調節の不一致の度合いを大きくする過大な（水平）両眼視差や、不連続な（水平）両眼視差変化が、視機能の低下を招くことを示した⁽¹³⁻¹⁶⁾。

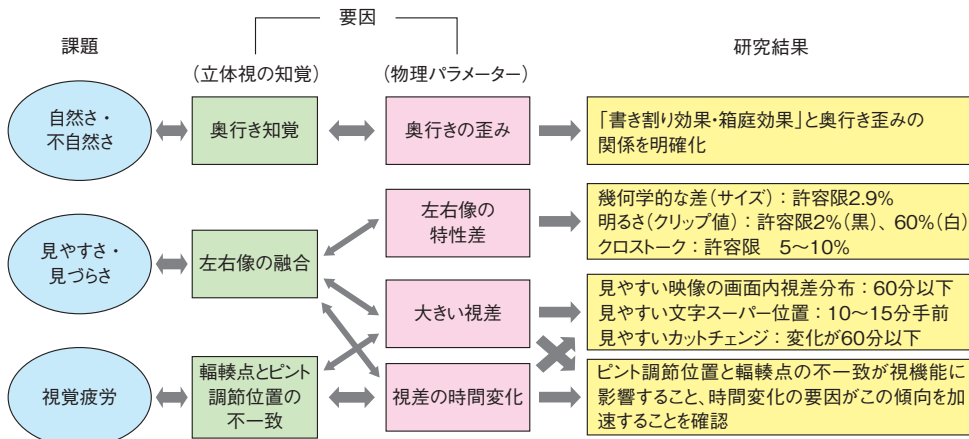


図 2.2 立体ハイビジョン映像の課題と研究結果

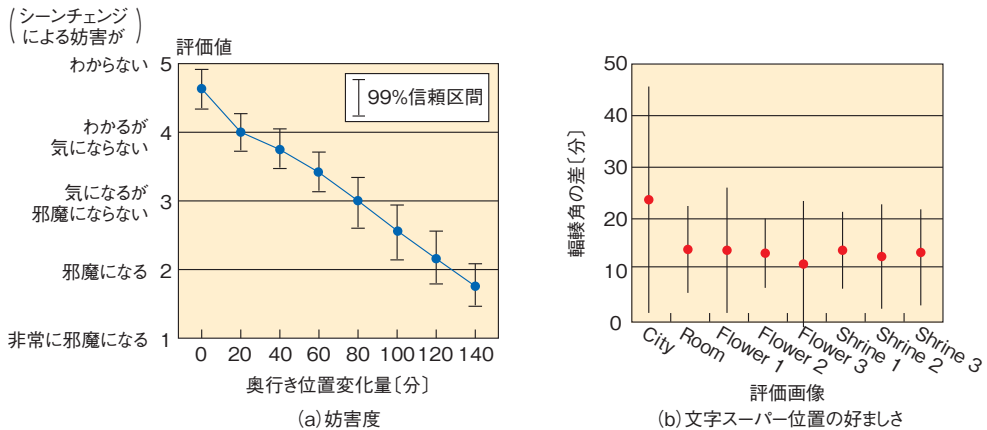


図 2.3 奥行き位置変化による評価実験

これらの研究結果をわかりやすく解説する立体ハイビジョンコンテンツを制作し、2003年の技研公開で上映した。

なお、立体映像に関連するヒューマンファクターについてはこのほか、(株)ATR 人間情報科学研究所との一連の共同研究による評価実験を行った^(17,18)。

以上の研究は、岡野文男、野尻裕司、矢野澄男、奥井誠人、山之上裕一、江本正喜、花里敦夫、井出真司、内藤洋一が主に担当した。

(3) 視差分布の時間変化と文字スーパー位置の評価

2003年以降は、さらにいくつかの追加実験によりこれらの研究成果を補強した。視差分布の急激な時間変化と見やすさの関係、および好ましい文字スーパーの奥行き位置についての評価実験を行った^(19,20)。図 2.3 (a) より、評価値が 3.5 となる注視点位置変化の許容限は、輻輳角の変化で約 60 分であることがわかった。また、見やすい文字スーパーの奥行き位置は視聴者の好みに大

きく依存することが明らかとなった。同図 (b) に実験結果を示す。これより、文字スーパー位置は、背景画像内のいちばん手前の奥行き位置より輻輳角 10~15 分ぐらい手前の位置が最も好まれることがわかった。

以上の研究は、野尻裕二、矢野澄男、山之上裕一、江本正喜、花里敦夫、井出真司が主に担当した。

[奥井 誠人]

2.3 インテグラル立体テレビ

自然で見やすい将来の立体テレビを目指し、特殊なメガネが不要で、観察者の位置に応じた立体像を鑑賞できるインテグラル立体テレビの研究を進めた。この研究は 1995 年に開始し、2000 年以降も引き続き、インテグラル立体方式の基本特性の解析と課題の解決、最新の高精細映像技術の応用による画質向上を進めた。

インテグラル立体方式では、撮影と表示に複数の微小レンズで構成されたレンズアレーを用いる。このレンズ

アレーを構成する要素レンズと、ディスプレイ上に表示された要素画像の位置精度が十分でない場合、再生像にゆがみが生じる。2002年より、この位置誤差が画質へ与える影響の解析を行った。その結果、要素レンズ間に不規則な間隙がある場合、再生像に図形的なゆがみが生じることを明らかにした。また、試作機において、撮影レンズアレーの配列精度の高精度化と、要素画像群の幾何学歪みを除く手法を適用した。これにより再生立体像のゆがみを低減し、制限されていた視域を設計値に近い範囲まで広げることができた^(21,22)。

奥行き深い被写体の撮像方法を目指して、撮像から表示までの総合的な解像度特性を解析するとともに、表示立体像の解像度を測定評価した。その結果、レンズアレーから比較的遠くにピントを合わせる撮像方法により、奥行き深い被写体を良好に撮影ができることがわかった⁽²³⁾。また、インテグラル立体方式の原理を波動光学的手法でも解析できることを示した⁽²⁴⁾。

インテグラル立体方式の課題として、一般的な凸レンズアレーを撮影と表示に使用すると、再生像の凹凸が逆に見える逆視現象がある。従来、この現象を回避するために、撮影レンズアレーに特殊な屈折率分布レンズアレーを使用してきた。しかし、通常の凸レンズが使用できれば、多数のレンズを高密度に配置したレンズアレーの製作が容易になり、画質向上が期待できる。そこで、2005年に、凸レンズを3枚組み合わせたレンズ光学系を撮影に用いることを考案し、逆視像を回避できることを実験で確認した⁽²⁵⁾。

また、直視型ディスプレイをインテグラル立体表示に用いる場合、ディスプレイの画素構造とレンズアレーの周期構造に起因する顕著なモアレ妨害が発生する。これを低減するための光学的空間フィルターとして、「拡散素子の利用」と「デフォーカス」について、モアレ改善効果と解像度への影響を定量的に検討した。その結果、両手法を併用することが効果的であるとの知見を得た。また、この解析手法がモアレ低減フィルターの最適設計に有効であることを実験で確かめた^(26,27)。

一般的なインテグラル立体方式では、要素レンズの光学的歪曲収差や色収差などにより、立体像の画質が劣化する。2006年にはこの改善策として、微小レンズの代わりに微小ミラーから成るミラーアレー手法を提案した。実験により、この手法でインテグラル立体像の撮影と表示が可能であることを示した⁽²⁸⁾。

従来、インテグラル立体表示は直視型ディスプレイを用いていたが、投写型ディスプレイが使用できれば、画面の大型化や要素画像の高精細化、高輝度化、モアレ妨害の回避などの画質改善が可能になる。2006年には、拡散スクリーンを使わずに、レンズアレーを2枚組み合

わせた光学スクリーンに直接投写表示する方式を提案した。試作装置による表示実験で、提案の投写型ディスプレイによるインテグラル立体表示が可能であることを実証した⁽²⁹⁾。

撮像用の屈折率分布レンズアレーを複数枚組み合わせることで、3次元光学像をシフト結像する機能が実現できる^(30,31)。また、2006年には、イメージインテンシファイアーの前後に屈折率分布レンズアレーを合わせ、立体像の画像強度を増幅できる光学デバイスを開発した。これにより、暗い環境下の被写体でも、明るい立体像として観察することができた⁽³²⁾。

また、2009年度には、文部科学省の委託研究「デジタル・ミュージアム実現のための研究開発に向けた要素技術及びシステムに関する調査研究」を一部受託し、インテグラル立体像の展示物の展示ケースへの応用の可能性を検討した。

東京大学との共同研究として、インテグラル立体技術により撮影した映像から視点を任意に設定した2次元映像をリアルタイムで生成・表示する手法を開発し、2004年の技研公開で展示した。

立体像の解像度や視域角などの画質を向上するには、要素画像を高精細化する必要がある。1996~1997年の研究初期にはハイビジョン映像システムを利用してきたが、さらなる画質向上を目指し、より高精細映像の適用技術を継続的に進めた。

2002年には、走査線2000本級の映像システムの利用を開始した。走査線2000本級カメラと直視型の液晶ディスプレイにより、立体テレビシステムを試作した。この試作機では、従来のハイビジョン試作機と比較し、立体像の解像度を縦横ともに2倍の160(H)×118(V)画素を実現した。2004年には、従来の200万画素4板式カメラを800万画素3板式カメラに変更し、画質向上を図った。再生像の解像度特性を測定し、従来のハイビジョン試作装置より改善されていることを確認した⁽³³⁻³⁵⁾。

2006年には、さらに高精細なスーパーハイビジョン(SHV)映像システムの利用を開始した。撮像系では、800万画素の素子を4板使用したデュアルグリーン方式SHVカメラを応用した(図2.4)。また、表示系では、G1、G2とR、B表示用の2台のプロジェクターをハーフミラーで合成したデュアルグリーン方式SHVディスプレイを適用した(図2.5)。これらにより、立体撮像を実時間で撮像・表示できる立体テレビシステムを構築した。このシステムによる表示立体像の画素数は182(H)×140(V)画素、視域角は、従来の約2倍の24.5度に拡大できた⁽³⁶⁾(図2.6)。

この試作装置では、プロジェクターを使用しているた



図 2.4 スーパーハイビジョンカメラを応用したインテグラル立体撮像の様子

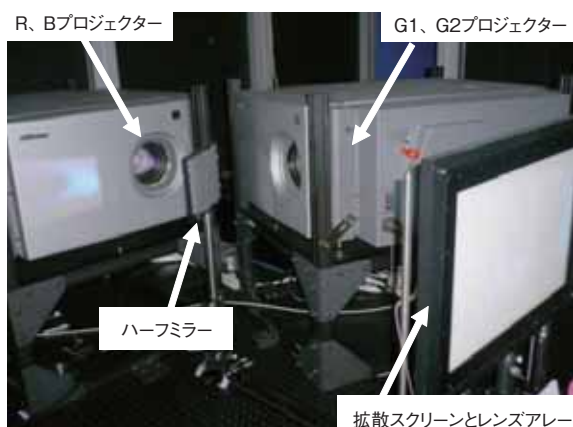


図 2.5 スーパーハイビジョンディスプレイを応用したインテグラル立体表示装置



図 2.6 インテグラル立体テレビによる再生立体像
(観察者の視点位置に応じた立体映像が観察できる) (口絵参照)

め、投写レンズの歪曲収差により、再生立体像の画質が低下する。そこで、投写レンズによる要素画像群の幾何学歪みと、再生立体像の空間的ゆがみの関係を解析により明らかにした。また、リアルタイムに要素画像を幾何学補正する装置を開発し、空間ゆがみの低減や視域角の拡大を可能にした⁽³⁷⁻³⁹⁾。

また、立体映像の表現手法の向上を目指し、後処理により再生像の奥行き位置を任意に制御できる奥行き制御技術を提案した。提案方式では、撮影した要素画像をもとに、仮想的な中間立体像とレンズアレーを想定して演算処理し、所望の奥行き位置に対応する要素画像を再計算する。一連の演算処理法として、幾何光学的な光線追跡手法や波動光学的手法などにより基本性能を調べた。また、実写映像に提案手法を適用し、表示システムで再生立体像の奥行き位置が制御できることを検証した⁽⁴⁰⁻⁴³⁾。

2009年4月には、これらのSHV映像を応用したインテグラル立体システムを米国で開催のNAB 2009で展示し、多くの人々に成果をアピールした。

2009年より、さらに高精細な3300万画素のフル解像度SHV映像システムの利用を開始した。撮影系の屈折率分布レンズの数を従来の4倍の10万個以上に増加した。カメラはフル解像度SHVの撮影素子を3枚使用し、高解像な撮影レンズで要素画像を撮影した。表示系では、フル解像度SHVのLCOS(Liquid Crystal on Silicon)素子を3枚用いたプロジェクターを応用し、専用の低歪特性の投写レンズで、24インチサイズのスクリーンに要素画像を投影できるようにした。表示レンズアレーは、レンズ直径を従来の半分の1.34mmに微細化し、数も撮影用レンズアレーと同様に増加させた。この試作システムにより、立体像の画素数を、デュアルグリーン方式SHVを用いた前試作機の約4倍の400(H)×250(V)画素に向上することができた^(44,45)。

上記SHV映像システムを利用したインテグラル立体テレビの研究に関しては、一部、(独)情報通信研究機構(NICT)の委託研究「多並列像再生型の立体テレビシステムの研究開発」(2006~2010年度)で行った。特に、プロジェクター部分の開発は、共同受託のJVC・ケンウッド・ホールディングス(株)と連携して進めた。

以上の研究は、岡野文男、野尻裕司、金澤勝、奥井誠人、星野春男、三谷公二、河北真宏、山下誉行、洗井淳、小林真樹、川井博史、佐々木久幸、日浦人誌、三浦雅人が主に担当した。

〔河北 真宏〕

2.4 電子ホログラフィー

ホログラフィーは、被写体から反射される光の情報を、

干渉縞を利用して記録・再生する方式で、立体映像技術の中で最も理想的な立体像再生が可能な技術であると考えられている。技研では、将来の放送への応用を目指して、電子的にホログラフィーを実現するための研究を1995年から開始している。

ホログラフィーで用いる干渉縞は非常に微細なパターンであるため、液晶などの現行の表示素子では十分な精度で表示できず、その結果、再生像を見ることができる範囲(視域)が極端に狭くなる課題があった。

画素構造に起因する不要な光(高次回折光)を物体光として利用することで視域の改善を図る方法を考案し、2000年には、その有効性を実験で実際に確認した^(46,47)。2001年には、画素数 3840(H)×2048(V)、画素間隔 10 μm の高解像度の液晶パネルを用いて、この手法を適用したシステムを試作し、従来のシステムより視域が拡大できることを検証した⁽⁴⁸⁾。これらの結果から、両眼視が可能で、かつ水平・垂直の視差を有するなどのホログラムとしての長手を十分に備えた立体映像を電子的な手段により得られることが確認できた。

2002年以降、表示画素の開口率の制御により、高次回折光の強度を増す改善を進め、より均質な輝度をもつ立体像が得られた。2005年には、モノクロ映像ながら階調をもった立体動画像の表示を確認した。また、高次の回折光を利用した視域拡大手法により通常の2倍の視域を実現し、立体像から90cmの場所で両眼立体視が可能であることを確認した。2005年の技研公開では、この表示実験装置を初めて展示した(図2.7)。

一方、入力手法については、CG(Computer Graphics)ではない実物体のホログラムデータの取得方法の検討を2004年から開始した。通常ホログラム撮影のようにレーザー光を使わずに実写撮影を実現するため、インテグラル立体方式(2.3節参照)で撮影した立体画像からホログラムデータを計算する手法を検討した。この手法を適用することにより、自然光下で被写体の動画ホログ

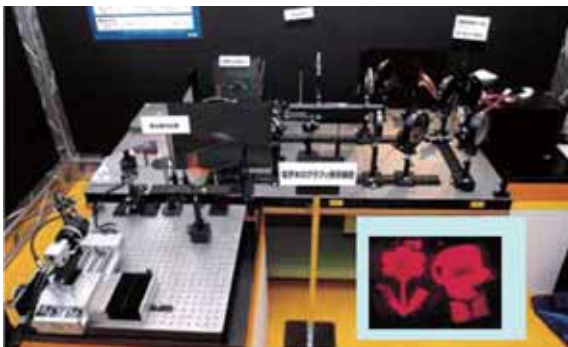


図 2.7 電子ホログラフィー試作装置と再生像(右下)
(2005年技研公開)(口絵参照)



図 2.8 インテグラル立体-ホログラム変換による実写動画像の電子ホログラフィー表示(2007年技研公開、NICTとの共同研究)(口絵参照)

ラムデータが取得できることを確認した^(49,50)。2005年には、インテグラル立体方式で撮影された画像とレンズ群との位置関係を制限することによって高速フーリエ変換の適用を可能にした新しい処理方法を考案し、インテグラル立体像再生系の計算時間の短縮を実現した⁽⁵¹⁾。

電子ホログラフィーの研究は、2006年度以降、(独)情報通信研究機構(NICT)との共同研究による実施となった。2007年の技研公開において、インテグラル立体方式による実写動画の入力信号を変換して表示するホログラム像再生システムをNICTと共同で展示した(図2.8)。

以上の研究は、岡野文男、山田光穂、奥井誠人、三科智之、および大井隆太郎(ポストドクター)が主に担当した。

[奥井 誠人]

2.5 多視点映像からの立体映像生成

将来の立体映像システムの実現に向けて、1998年から多眼立体映像に関する研究を進めてきた。2000年から2002年にかけて、アレー状に配置した複数カメラの映像から任意視点映像を生成する手法について検討した⁽⁵²⁻⁵⁴⁾。その中で、任意視点画像の画質向上のために、複数のカメラごとに求めた形状情報を統合して、整合しない情報を除去する手法を導入した。この研究の一部は、(株)ATR 知能映像通信研究所との共同研究で行った。さらに、被写体の形状情報を効率的に伝送するための符号化方式についての検討を行った⁽⁵⁵⁾。

2007年より、3次元モデルからインテグラル立体像(2.3節参照)を生成する手法について検討を開始した⁽⁵⁶⁻⁵⁸⁾。3次元モデルとは、7.3.2項に記載されている

ように、被写体の形状情報や色情報で構成される3次元データである。3次元モデルの形状情報を利用することにより、さまざまな立体像を生成することができる。この手法では、OpenGL(Open Graphics Library)が提供する3次元空間上に仮想的なインテグラル立体像表示装置と3次元モデルを配置し、光線追跡法を用いて要素画像の画素値を求めている。インテグラル立体像表示装置のレンズアレーと要素画像の画素は被写体からの光をサンプリングする効果があり、単純に光線追跡を行うと折り返し雑音が生じる。折り返し雑音を含むインテグラル立体像を視点移動しながら観察すると、雑音の変化が目立って見苦しい。そこで、レンズアレーに起因する折り返し雑音および要素画像の画素に起因する折り返し雑音をそれぞれ抑制する2種類のプリフィルタ処理を導入した。その結果、図2.9に示すように折り返し雑音が軽減され、良好な画質が再現できた。プリフィルタ処理を伴う光線追跡法は計算時間がかかるため、PCに搭載されているグラフィックボードを活用して高速化を図った。さらに、複数のPCを用いた分散処理システムを構築し、一層の高速化を図った。

2009年からは、インテグラル立体像の再構成を目的として、多視点映像から被写体の形状情報を取得する手法の検討を開始した。その中で、視差推定のための位相相関法や信頼度伝搬法の検討を行った。位相相関法は雑音状の誤差が生じにくい安定性のある手法であるが、相関計算に時間を要するため、GPU(Graphics Processing Unit)を用いた高速化について検討を進めた。信頼度伝搬法は画像の統計的な性質を利用した手法であり、性能調査のための基本プログラムを試作した⁽⁵⁹⁾。

これらの研究の一部は、(独)情報通信研究機構(NICT)の委託研究「革新的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」(2009~2011年度)の中で実施した。



図2.9 動的3次元モデルから生成したインテグラル立体像の再撮画像(口絵参照)

以上の研究は、岩館祐一、片山美和、久富健介、池谷健佑、富山仁博、今泉浩幸、蓼沼眞、金次保明が主に担当した。

[岩館 祐一]

文 献

- (1) ITU-R BT. 1438, Subjective assessment of stereoscopic television pictures (2000)
- (2) K. Hamada, T. Kurita, M. Kanazawa and K. Yamamoto : A 3 D Hi-Vision Display with 50-in. AC PDP, Asia Display/IDW '01, PDP 1-3, pp. 785-788 (2001)
- (3) 浜田, 金澤, 栗田, 山本 : PDPを用いた立体ハイビジョン表示装置, 映情学技報, Vol. 25, No. 76, IDY 2001-158, AIT 2001-93, pp. 81-86 (2001)
- (4) 山之上, 井出, 奥井, 湯山, 尾藤, 寺島 : 立体画像の臨場感・見易さと視差ベクトル分布についての一考察, 映情学技報, Vol. 24, No. 63, HIR 2000-146, pp. 29-34 (2000)
- (5) H. Yamanoue, M. Okui and I. Yuyama : A Study on Relationship between Shooting Conditions and Cardboard Effect of Stereoscopic Images, IEEE Trans. on Circuit and Systems for Video Technology, Vol. 10, No. 3, pp. 411-416 (2000)
- (6) 山之上, 奥井, 岡野, 湯山 : 2眼式立体画像における箱庭・書き割り効果の幾何学的考察, 映情学誌, Vol. 56, No. 4, pp. 575-582 (2002)
- (7) 山之上, 奥井, 岡野 : Geometrical Analysis of Puppet Theater and Cardboard Effects in Stereoscopic HDTV Images, IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 16, No. 6, pp. 744-752 (2006)
- (8) 野尻, 山之上, 花里, 岡野 : 位相相関法を用いた立体ハイビジョン映像の視差量測定と見やすさについて, 映情学誌, Vol. 57, No. 9, pp. 1125-1134 (2003)
- (9) 内藤, 野尻, 奥井, 岡野 : 立体ハイビジョンを用いた多視点画像生成の試み, 映情学年次大, 15-1 (2005)
- (10) 正岡, 花里, 江本, 山之上, 野尻, 岡野 : Spatial Distortion Prediction System for Stereoscopic Images, Journal of Electronic Imaging, Vol. 15, No. 1, 013002, (2006)
- (11) 三浦, 洗井, 山崎, 佐々木, 奥井, 祖父江, 岡野 : 「かぐや」ハイビジョン映像の二眼立体映像変換, 映情学技報, Vol. 33, No. 42, 3 DIT 2009-77, IDY 2009-103, pp. 49-52 (2009)
- (12) 花里, 奥井, 野尻, 岡野 : 立体映像における輝度クリップ特性差による妨害度の評価, 信学総大, D-11-1, 情報・システム 2, p. 1 (2002)
- (13) M. Emoto, T. Niida and F. Okano : Repeated Vergence Adaptation Causes the Decline of Visual Functions in Watching Stereoscopic Television, J. Display Technology, Vol. 1, No. 2, pp. 328-340 (2005)
- (14) 矢野, 井出, ハル : 立体画像の見やすさと調節応答から見た視覚疲労, 映情学誌, Vol. 55, No. 5, pp. 711-717 (2001)
- (15) 矢野, 井出, 奥井 : 立体画像の視差・動き量と見やすさのか

- かわり, 映情学誌, Vol. 55, No. 5, pp. 736-741 (2001)
- (16) 江本, 矢野, 長田: 立体画像システム観察時の融像性輻湊境界の分布, 映情学誌, Vol. 55, No. 5, pp. 703-710 (2001)
- (17) 矢野, 木下, 宇和, 野尻, 江本: 両眼融合視による静止立体画像の見やすさ, 信学総大, A-15-21 (2003)
- (18) 内藤, 野尻, 林, 宇和, 矢野: 平面/立体映像による前庭系回転量知覚への影響, 信学総大, A-15-23 (2004)
- (19) 野尻, 山之上, 花里, 江本, 岡野: Visual comfort/discomfort and visual fatigue caused by stereoscopic HDTV viewing, SPIE, Bellingham, 5291-33, pp. 303-3135 (2004)
- (20) 花里, 井出, 山之上, 野尻: 2眼立体映像における文字スーパ-の最適奥行き位置, 映情学年次大, 10-2 (2002)
- (21) J. Arai, M. Okui, M. Kobayashi and F. Okano: Geometrical effects of positional errors in integral photography, J. Opt. Soc. Am. A, Vol. 21, pp. 951-958 (2004)
- (22) M. Okui, J. Arai, M. Kobayashi and F. Okano: Improvement of integral 3-D image quality by compensating for lens position errors, Proceedings of SPIE, 5291-36, pp. 321-328 (2004)
- (23) J. Arai, H. Hoshino, M. Okui and F. Okano: Effects of focusing on the resolution characteristics of integral photography, J. Opt. Soc. Am. A, Vol. 20, No. 6, pp. 996-1004 (2003)
- (24) F. Okano, J. Arai and M. Kawakita: Wave optical analysis of integral method for three-dimensional images, Optics Letters, Vol. 32, No. 4, pp. 364-366 (2007)
- (25) J. Arai, H. Kawai and F. Okano: Microlens arrays for integral imaging system, Applied Optics, Vol. 45, No. 36, pp. 9066-9078 (2006)
- (26) 小林, 洗井, 奥井, 岡野: インテグラルフォトグラフィの色モアレ低減に関する検討, 映情学技報, Vol. 26, No. 74, IDY 2002-119, pp. 1-4 (2002)
- (27) M. Okui, M. Kobayashi, J. Arai and F. Okano: Moire fringe reduction by optical filters in integral three-dimensional imaging on a color flat-panel display, Applied Optics, Vol. 44, No. 21, pp. 4475-4483 (2005)
- (28) J. Arai, M. Kawakita and F. Okano: Integral imaging system using an array of planar mirrors, Proceedings of SPIE, Vol. 6490, 6490 A-43, pp. 649018.1-649018.9 (2007)
- (29) M. Okui, J. Arai, Y. Nojiri and F. Okano: Optical screen for direct projection of integral imaging, Applied Optics, Vol. 45, No. 36, pp. 9132-9139 (2006)
- (30) F. Okano and J. Arai: Optical shifter for a three-dimensional image by use of a gradient-index lens array, Applied Optics, Vol. 14, No. 20, pp. 4140-4147 (2002)
- (31) F. Okano, J. Arai and M. Okui: Visual resolution characteristics of an afocal array optical system for three-dimensional images, Optical Engineering, Vol. 46, pp. 023201-1-023201-9 (2007)
- (32) F. Okano, J. Arai and H. Kawai: Amplified optical window for three-dimensional imaging, Optics Letters, Vol. 31, No. 12, pp. 1842-1844 (2006)
- (33) J. Arai, M. Okui, M. Kobayashi, M. Sugawara, K. Mitani, H. Shimamoto and F. Okano: Integral Three-Dimensional Television Based on Super-High-Definition Video System, Proceedings of SPIE, Vol. 5006, pp. 5006 A-06 (2003)
- (34) F. Okano, J. Arai, K. Mitani and M. Okui: Real-time integral imaging based on extremely high resolution video system, Proceedings of the IEEE, Vol. 94, No. 3, pp. 490-501 (2006)
- (35) J. Arai, M. Okui, T. Yamashita and F. Okano: Integral three-dimensional television using a 2000-scanning-line video system, Applied Optics, Vol. 45, No. 8, pp. 1704-1712 (2006)
- (36) K. Suehiro, M. Yoshimura, Y. Haino, M. Sato, J. Arai, M. Kawakita and F. Okano: Integral 3-D projection TV using ultrahigh-definition D-ILA device, Proceedings of SPIE, Vol. 6803, 6803-43, pp. 680318.1-680318.12 (2008)
- (37) 佐々木, 河北, 洗井, 岡野, 末廣, 配野, 吉村, 佐藤: インテグラル立体映像方式における要素画像群の歪曲の影響, 映情学誌, Vol. 62, No. 12, pp. 2013-2022, (2008)
- (38) M. Kawakita, H. Sasaki, J. Arai, F. Okano, K. Suehiro, Y. Haino, M. Yoshimura and M. Sato: Geometric analysis of spatial distortion in projection-type integral imaging, Optics Letters, Vol. 33, No. 7, pp. 684-686 (2008)
- (39) H. Sasaki, M. Kawakita, J. Arai, M. Okui, F. Okano, K. Suehiro, Y. Haino, M. Yoshimura and M. Sato: Analysis and Compensation of Spatial Distortion in Integral Three-dimensional Imaging, 3rd International Universal Communication Symposium (IUCS 2009), 2-2, pp. 64-69 (2009)
- (40) 川井, 洗井, 河北, 岡野: インテグラルフォトグラフィにおける奥行き制御処理法の基礎検討, 映情学年次大, pp. 2-8 (2007)
- (41) J. Arai, H. Kawai, M. Kawakita and F. Okano: Depth Control Method for Integral Imaging Using Elemental Image Data Processing, Proceedings of SPIE, Vol. 6803, 6803-14, pp. 68030 G.1-68030 G.9 (2008)
- (42) J. Arai, H. Kawai, M. Kawakita and F. Okano: Depth-control method for integral imaging, Optics Letters, Vol. 33, No. 3, pp. 279-281 (2008)
- (43) 洗井, 河北, 岡野: インテグラル立体方式における幾何光学を用いた奥行き制御手法, 映情学技報, Vol. 32, No. 44, 3 DIT 2008-74, IDY 2008-102, pp. 41-44 (2008)
- (44) 洗井, 河北, 佐々木, 日浦, 三浦, 奥井, 岡野, 山下, 三谷, 配野, 吉村, 古屋, 佐藤: フル解像度スーパーハイビジョンを用いたインテグラル立体テレビ, 映情学技報, Vol. 33, No. 42, pp. 5-8 (2009)
- (45) M. Kawakita, J. Arai and F. Okano: 3-D TV Based on Integral Method Using Extremely High-Resolution Video System, Frontiers in Optics 2009, the 93rd OSA Annual Meeting, FTuM 4 (2009)
- (46) 三科, 山田, 岡野: 画素構造をもつ空間光変調素子による高次回折光を用いたホログラフィの視域拡大, 映情学誌, Vol. 55, No. 5, pp. 688-695 (2001)
- (47) T. Mishina, M. Okui and F. Okano: Viewing-zone enlargement method for sampled hologram that uses high-order diffraction, Appl. Opt. Vol. 41, No. 8, pp. 1489-1499 (2002)
- (48) T. Mishina, M. Okui, K. Doi and F. Okano: Holographic display with enlarged viewing-zone using high-resolution LC

- panel, Proc. SPIE Vol. 5005, pp. 137-144 (2003)
- (49) T. Mishina, M. Okui and F. Okano : Generation of holograms using integral photography, Proc. SPIE. Vol. 5599, pp. 115-122 (2004)
- (50) T. Mishina, M. Okui and F. Okano : Calculation of holograms from elemental images captured by integral photography, Applied Optics, Vol. 45, No. 17, pp. 4026-4036 (2006)
- (51) 大井, 三科, 奥井, 野尻, 岡野 : 実写ホログラムの高速な計算方法の検討, 映情学誌, Vol. 61, No. 2, pp. 198-203 (2007)
- (52) 今泉, 片山, 岩館 : 任意視点画像表示を目的とした多眼画像からの奥行き推定, 信学技報, Vol. 101, No. 201, IE 2001-59, pp. 109-116 (2001)
- (53) 片山, 今泉, 蓼沼, 金次 : 内挿画像作成のための信頼性を利用した奥行情報の平滑化手法, 信学技報, Vol. 100, No. 142, IE 2000-15, pp. 49-55 (2000)
- (54) 片山, 今泉, 蓼沼, 岩館 : 対応点の信頼性に基づいた奥行き情報の適応平滑化手法, PCSJ 2000, P-01.03 (2000)
- (55) 今泉, 富山, 片山, 岩館 : MPEG-4 スタジオプロファイルを用いた多視点画像の圧縮符号化方式, 信学技報, Vol. 102, No. 151, IE 2002-17, pp. 1-6 (2002)
- (56) M. Katayama and Y. Iwadate : A method for converting three-dimensional models into auto-stereoscopic images based on integral photography, Proc. SPIE, Vol. 6805, pp. 68050 Z. 1-68050 Z. 8 (2008)
- (57) 片山, 岩館 : 3次元モデルからインテグラル・フォトグラフィ立体像への変換手法の検討, 映情学技報, Vol. 32, No. 44, 3 DIT 2008-69, pp. 17-29 (2008)
- (58) 片山, 岩館 : 3次元モデルを用いたインテグラル・フォトグラフィ立体画像の生成手法の検討, 映情学年次大, 5-1 (2008)
- (59) 池谷, 久富, 片山, 岩館 : 階層型信頼度伝搬法による視差推定に関する一検討, 映情学技報, Vol. 34, No. 12, 3 DIT 2010-40, pp. 55-58 (2010)