3. 超高精細ディスプレイ

3-1. ドーム型高臨場感立体映像提示システム

澤田 一哉[†]

キーワード ● イマーシブプロジェクションテクノロジー, 立体映像, ドーム型スクリーン, 歪み補正, 景観設計, 医用応用

1. ま え が き

人間の視野を覆うような映像提示を行うと、その映像に没入した感覚を得られる。大画面映像で体験者の周囲を取り囲むことによって、そのような感覚を実現する技術は、IPT (Immersive Projection Technology)¹⁾と呼ばれている。IPTの代表的な方式には、複数の平面スクリーンを立方体形状に配置して投影するCAVE²⁾方式と、本稿で紹介するドーム型の球面スクリーンに投影する方式がある。

以下では、はじめに、球面スクリーンを用いた立体映像提示の特徴について概説する。次に、具体事例として、筆者らが開発したCyberDome^{3)~5)}の基本技術を述べる。さらにCyberDome技術の景観設計への応用と、医療分野への応用について紹介する。

2. 球面スクリーンによる立体映像提示の特徴

人間を広視野で覆う映像提示を行うと、映像との相対的な位置関係が平衡感覚や運動感覚に大きな影響を及ぼし、その映像に没入した感覚を得られるとの報告がある。また、人間が通常見えている範囲(補助視野)は、水平 $200^{\circ} \times$ 垂直 125° であり、その中で、誘導視野と呼ばれる水平 $100^{\circ} \times$ 垂直 85° を越えると、広視野効果が飽和するとされている(図1)⁶⁾。

球面スクリーンを用いると、この誘導視野以上を覆う映像提示を、コンパクトなスペースで実現することが可能となる。また、球面スクリーンに投影する方式は、CAVEのような方式と比較すると、スクリーンの繋ぎ目に極端な折れ曲がりがないため、複数人で体験する際にも、違和感の少ない立体映像提示が可能である。すなわち、映像の生成は、ある一つの視点に追従して成されるが、CAVE方式においては、スクリーン面に例え直線が投影されていたとしても、視点追従が正しくない位置からは、スクリーンのつ

図1 視野マップ

なぎ目を頂点として折れ曲がった2本の線分として知覚されることになる。これに対して、球面スクリーンを用いると、スクリーン面の曲率が一定であるため、視点追従が正しくない位置から見ても、映像の歪みはスクリーン面全体にわたって緩やかに現れ、直線が特定の部分で折れ曲って見えるということはない。

その反面、球面スクリーンを用いることでの困難が生じる。例えば、体験者自身が投影の邪魔にならないようにするには、スクリーンの背面から投射することが望ましいが、球面スクリーンの場合には、プロジェクタに対峙した球面スクリーンの中央部と周辺部では、プロジェクタからの距離が異なることや、光の入射角が異なることから、周辺部で映像がぼやけ、暗くなる。したがって、スクリーンの前面から投射することになるが、この場合でも、体験者自身が投影を遮らないようにプロジェクタを配置し、さらに、プロジェクタ、スクリーン、体験者の位置などの幾何学的関係から生じる複雑な映像歪みを補正する必要がある。

3. 具体事例：CyberDome

CyberDomeは、球面スクリーンを用いた偏光方式立体映像提示システムである。標準的な構成は、球面シルバースクリーン、2台の液晶プロジェクタ、3台のPC、平面ミラーである。左目用右目用の映像描画を2台のPCに分担させる

[†] パナソニック電工株式会社

"Large-Screen and Ultra-High Resolution Display: Dome-shaped Immersive 3D Display System" by Kazuya Sawada (Panasonic Electric Works Co., Ltd., Osaka)

図2 CyberDomeのプロジェクタ配置設計

図3 歪み補正イメージと映像提示例

ことでPCの描画性能を最大限に活用し、それらの映像同期を、3台目のPCでネットワーク管理している。プロジェクタの配置設計の概要を図2に示す。本図において、プロジェクタは、Aの位置では影の問題が生じるためBの位置に移動し、さらに平面ミラーを追加することによって、実際の設置位置はCとなる。左眼用と右眼用の映像を生成するために、プロジェクタは水平方向に2台配置する。以上により、プロジェクタをスクリーン上部に配置することを可能にし、コンパクトな一体構造を実現している。

歪み補正は、PC上でのソフトウェア（アルゴリズム）により実現している。すなわち、まず始めに、プロジェクタ、スクリーン、体験者の位置関係をモデル化する。次に、このモデルに基づいて投影される映像の歪みを推定して、予め歪みの逆補正マッピングパターンを作成し、本マッピングパターンを使用した歪み補正をリアルタイムに行って映像を提示する（図3）。本歪み補正アルゴリズムでは、球面スクリーンの径、体験者の視点位置、プロジェクタの投影位置や光学的仕様などをパラメータにして、映像マッピングパターンを生成するため、小型から大型まで任意サイズの球面スクリーンに対応することができる。

図4 CyberDome8500外観（口絵カラー参照）

4. 景観設計への応用

筆者らは、住民参加型まちづくりから都市再開発など、あらゆる環境計画の設計プロセスにおける関係者の合意形成や意思決定を支援するというコンサルティングビジネス、環境計画支援VR⁷⁾を推進している。3次元CADで作成したバーチャル空間を提供し、自由な動きで計画空間を確認したり、建物、道路、樹木などの色や形、位置、高さや広さなど、事前に登録された複数の選択肢を即座に切替えて比較検討を行ったりすることができる。

この環境計画支援VRにおいて、大きな威力を発揮しているのが、2003年4月よりパナソニック電工東京本社汐留ビルに常設しているCyberDome8500である（図4）。開口径が約8,500mmの巨大球面スクリーンを用いており、水平180°、垂直150°の広視野な映像提示が可能であるため、水平方向の広がりはもとより、足元から見上げ方向の景観まで、大規模空間を等身大スケールで体験することができる。20人程度が同時に体験可能であり、首都圏を中心とした再開発計画の他にも、大型店舗の設計、新しい住宅や住まい方の提案など、幅広い用途に利用されている。

このような径が大きい球面スクリーンに明るく高精細な映像提示を行うには、映像領域を分割し、複数のプロジェクタによって各領域に映像を提示することが必要となる。このため、CyberDome8500では、映像領域を3×3の9つの面に分割し、片眼用に水平3台×垂直3台の計9台のプロジェクタを用いて球面スクリーン全体に映像を提示し、左右

図5 CyberDome8500のエッジブレンディングイメージ

両眼用として、全体で合計18台のプロジェクタを使用して、9つの面のそれぞれへの映像提示には、前述のCyberDomeの歪み補正技術を用いている。

このように映像領域を分割して複数台のプロジェクタで映像を投影する際には、個々の映像領域における歪み補正に加えて、隣接するプロジェクタの提示映像の境界部分を繋ぎ合わせるというブレンディング処理が必要となる。すなわち、単純にプロジェクタからの投影映像を重ねると、境界のオーバーラップした部分では、光量が増え明るく輝くことになる。そこで、別途開発した投影シミュレータソフトウェアを用いて、予め重なり部分を特定して輝度傾斜を与え、これを輝度分布として保存し、映像提示時にはソフトウェアによって、歪み補正と輝度補正をリアルタイムに合成し、シームレスで歪みのない映像提示を行っている(図5)。

5. 医用分野への応用

内視鏡外科手術では、術者や助手は内視鏡カメラの映像をCRTモニタなどで見ながら鉗子操作をする。このとき術者は、CRTモニタに映し出される2次元映像から奥行き情報を推定して鉗子操作を行う必要があり、この眼と手の協調運動には十分な経験と高度な技術を要求される。立体映像を導入すると、術者の直感的な奥行き知覚を支援し、正確かつ効率的な鉗子操作の実現を図ることのできる可能性がある。しかし、現在の内視鏡外科手術用の立体映像提示システムは、立体映像観察が術者のみに限定される、フリッカ発生や拘束感により、術者の疲労・ストレスが増加するなどの課題があるため、製品化されているものは少なく、ほとんど普及していないのが現状である。

そこで、九州大学大学院医学研究院橋爪研究室と共同で、内視鏡外科手術において、立体映像提示システムに求められる要件をまとめ、それらを満たすシステムとして、Cyber Dome技術を応用した内視鏡外科手術向け立体映像提示システムを開発した。

図6 内視鏡向けシステムのスクリーン形状

図7 内視鏡向けシステム外観

球面スクリーンの開口径は、手術室での使用、可搬性、大画面効果などを考慮して600mmとした。また、曲率は、術中の典型的な配置である術者と映像提示装置との距離1,000mmを半径とする球体から切出した底浅の形状(曲率半径1,000mm)にすることで、術者の視点位置からはスクリーン上の任意の点が等距離となり見やすく、助手には水平方向150°超の広範囲からの観察を可能にしている(図6)。

映像の歪み補正処理には、高い精度に加え、手術での使用に適した高い信頼性が要求される。そこで、前述の歪み補正アルゴリズムを専用の歪み補正ユニットに実装し、高信頼性を実現した。また、術者視点位置への調整を可能にするため、昇降機能、パン回転機能を付与し、内視鏡手術関連機器の搭載や手術室への搬入出を考慮して、立体映像提示部全体を医療用カートに搭載した(図7)。

さらに、内視鏡外科手術を模したタスクにより、奥行き情報の把握、手術手技の作業効率、鉗子運動、長時間対応性に関して、本開発システムと、内視鏡外科手術で用いられている従来の2次元CRTモニタや立体映像提示モニタとの比較評価を行った。その結果、奥行き情報の把握や作業効率では、正答率、作業時間、正確性などが有意に向上し、

図8 評価結果の一例

図9 内視鏡向けシステム使用状況

鉗子運動においても、初心者でも熟練者に近い鉗子動作が可能になることが確認された。また、眼や全身の疲労に関する長時間対応性の評価では、従来の2次元CRTモニタと疲労の増加に有意な差はなく、開発システムの有用性・手術適用性が確認された。これらの比較評価結果の一例を図8に示す。現在、実用化に向けて、臨床現場における実使用試験と評価を進めている(10月末現在、6症例実施)。使用状況を図9に示す。

なお、本成果は、NEDO技術開発機構の次世代戦略技術実用化開発助成事業「内視鏡手術向け自在可動型高臨場感立体映像提示システムの開発」(平成18～20年度)の結果得られたものであることを、ここに付記する。

6. む す び

本稿では、球面スクリーンを用いたドーム型高臨場感立体映像提示システムの特徴について述べ、その具体事例として、筆者らが開発したCyberDomeの基本技術について概説した。さらにCyberDomeの技術を基に、景観設計への応用を主目的として開発したCyberDome8500(開口径8,500mm)と、内視鏡外科手術向け立体映像提示システム(開口径600mm)について、その効果も含めて紹介した。

球面スクリーンを用いると、コンパクトなスペースで、広視野の立体映像提示を実現できる。そのため、観察者は、

画面の縁を意識せずに、映像空間に入り込んだ感覚で立体映像を観察することが可能となる。考慮すべき点としては、映像の歪み補正がある。球面スクリーンを用いるが故に生じる複雑な映像歪みを補正する手段を講じなければならない。映像の精細度の確保も考慮しなければならない。広視野と高精細とはトレードオフの関係にあり、視野角を大きくすればする程、角度分解能、すなわち、観察者から見た時の映像の精細度は低下する。この問題解決には、プロジェクタ自身の解像度を高める、映像領域を分割して複数台のプロジェクタで投影する、といったことが必要となる。

(2009年8月31日受付)

〔文 献〕

- 1) 澤田：「多様化する高臨場感没入型視覚ディスプレイ」, 映像学誌, 53, 7, pp.927-931 (1999)
- 2) C.Cruz-Neira, et al.: "Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: the Design and Implementation of the CAVE", Computer Graphics, Proc. ACM SIGGRAPH・3, p.135-142 (1993)
- 3) 柴野ほか：「小型半球面スクリーンを用いた没入型視覚ディスプレイの開発」, 日本バーチャルリアリティ学会第6回大会論文集, pp.393-396 (2001)
- 4) 柴野ほか：「マルチプロジェクタを用いたスケーラブル大型ドームディスプレイCyberDomeの開発」, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 9, 3, pp.327-336 (2004)
- 5) 山本ほか：「半球ドーム型スクリーンへの立体カメラ映像表示技術の開発」, 日本バーチャルリアリティ学会第10回大会論文集, pp.115-116 (2005)
- 6) 畑田：「視野効果による人工現実感」, 精密工学会誌, 57, 8, pp.22-26 (1991)
- 7) 長濱：「環境計画支援VR」, 日本バーチャルリアリティ学会学会誌, 10, 3, pp.17-20 (2005)
- 8) K. Ohuchida, et al.: "Cyberdome, A Novel 3-dimensional Dome-shaped Display System, for Laparoscopic Surgery; Comparison with 2D, 2D HD, and 3D Plain Display Systems", 11th World Congress of Endoscopic Surgery, pp.395 (2008)
- 9) K. Ohuchida, et al.: "The Effect of CyberDome, A Novel 3-dimensional Dome-shaped Display System, On Laparoscopic Procedures", International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery, 4, 2, pp.125-132 (2009)

さわだ かずや
澤田 一哉 1978年、神戸大学大学院工学研究科システム工学専攻修了。同年、松下電工(現パナソニック電工)(株)入社。現在、同社先行技術開発研究所技監。バーチャルリアリティ、アンビエントテクノロジー、およびそれらに応用した新事業、新商品、新システムの研究開発に従事。博士(工学)。