

特集 ■ 表現の幅を広げる立体視

レーザープラズマによる空間立体描画



齋藤英雄

HIDEO SAITO

慶應義塾大学

1. はじめに

2005 年に、(株)バートン、産総研、慶大は、レーザープラズマを発生させることにより、空気以外何も存在しない自由空間にデジタルコンテンツを描きだすことを可能にするディスプレイを開発した。このディスプレイと同じ表示原理に基づくものは世界に類が無く、極めて独自性の高いものであり、注目を集めている。開発当初は、空間に 20cm 四方程度の 2 次元ドットパターンを表示するものであったが、その後の技術開発により、現時点では 3m 立方程度の空間にドットパターンを表示可能なレベルまで性能が向上した。一方で、同様な技術により、閉鎖空間中に、より多くのドットパターン表示可能なシステムも開発された。このような空間に点列を直接描画することにより 3 次元表示を行う表示装置を Aerial 3D Display (BURTON Inc. の特許及び商標) と呼ぶ。

本稿では、この世界に類を見ない、空間に点列を直接描画することにより 3 次元表示を行う空間 3 次元表示装置である Aerial 3D Display の原理と、これまでに開発された Aerial 3D Display の歴史について紹介する。そして、これを用いた新たな 3 次元コンテンツ生成技術について紹介し、今後の展開について議論する。

2. Aerial 3D Display の表示原理と開発の歴史

図 1 に空間 3 次元表示の原理を示す。レーザービームをレンズ等の光学系で絞り、ある点にビームを集光させると、レーザーのエネルギーを媒質である空気が吸収しイオン化し、そのイオン化した空気が電氣的に再結合する際にプラズマ発光する。このプラズマ発光体の位置を 3 次元スキャナでコントロールすることにより、自由空間の任意位置にプラズマ発光体を発生させることができる。そこで、表示したいコンテンツに応じて XYZ スキャナをコントロールすることで、空間中に任意の軌跡で点列を発生させることができる。

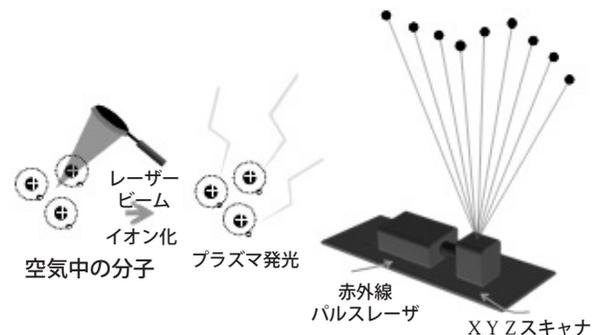


図 1 空間 3 次元表示の原理

この原理に基づいて、100Hz の赤外線パルスレーザーと、2 次元のスキャナを利用して実現した空中表示例を図 2 (a) に示す。ここでは、レーザービームの方向 2 次元スキャンにより空中に文字列を描画している。図 2 (b) は、レーザービームの方向だけではなく、焦点位置も制御することにより描画点を 3 次元スキャンし、3 次元の点列を空中に描画した例を示している。その後、SIGGRAPH2006 の E-Tech では、より周波数の高い 200Hz のパルスレーザーを用い、さらにより広範囲に描画できる 3 次元スキャナを導入した、空中型 Aerial 3D Display を展示した [1]。その後、2007 年には、さらに高周波の 1000Hz のパルスレーザーを導入し、より多くの点列による空中表示が可能となった。これを用いて表示した例を図 2 (c) に示す。この時点では、描画範囲は 0.5m 立方程度の空間であったが、その後、スキャナや光学系に改良を加え、レーザーから 3m 程度の距離で、2m 立法程度の空間に描画できるようになるまで性能が向上した (図 2 (d))。また、ビームスプリッターを用いたり、複数の装置を並列で利用することにより、描画領域を 2 倍にすることも可能になった (図 2 (e))。

さらに、2010 年には、透明なケースで覆われた閉鎖

空間に、前述と同様な原理で光の点列を発生させ3次元表示を行うことのできる Super Real Vision (BURTON Inc.の特許及び商標)を開発した。ここでは、より小型・低出力で高周波(50KHz)のレーザーを利用することができるので、空中描画型 Aerial 3D Display とは異なる3次元コンテンツ表現が可能となる。図3に Super Real Vision の外観と描画例を示す。

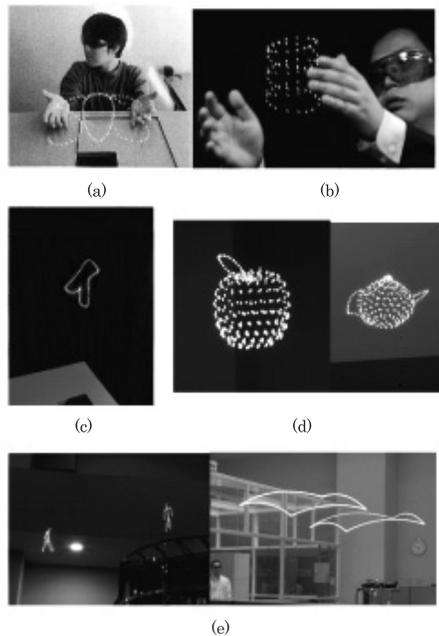


図2 空中型 Aerial 3D Display の表示例

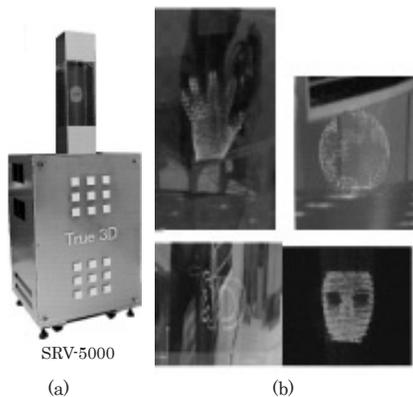


図3 Super Real Vision 外観と描画例

3. Aerial 3D Display のための点列生成手法

従来型の3次元表示装置のように、観察視点に応じて見え方の異なる2次元画像を表示するタイプの3次元表示装置では、異なる複数視点における多量の2次元画像を生成するだけで済むため、既存のCGレンダリング技術などを利用することができる。しかし、空間に直接点列を表示する Aerial 3D Display では、表示したい3次元

コンテンツに応じた点列生成手法が必要となる。また、点列の生成にあたっては、装置のハードウェア特性をも考慮する必要がある。

空中描画型 Aerial 3D Display では、現在のところ1000Hzのパルスレーザーを利用しているため、1秒間に1000ドットの空中描画が可能である。人間の視覚の残像時間を考慮すると、200ドット程度が同時に人間に観察されると考えられ、この程度の点数で効果的に3次元物体形状を表現しつつ、さらに3次元スキャナのハードウェア特性を考慮して、点列を生成する必要がある。

石川ら[2]は、表示対象物体をエッジで表現する場合、曲面で表現する場合、それぞれに対して、点列生成アルゴリズムを提案した。エッジで表現する場合は、スキャナの特性を考慮すると、最短経路探索を行って点列生成するのが望ましいと考えられる。しかしながら、複数のエッジで構成される物体中の面を明示的に表示した方が、物体形状を知覚しやすいことから、エッジで構成される面毎に点列を生成し描画する手法を提案した。一方、曲面で表現する物体に対しては、鉛直方向にらせん状に沿った軌跡となる点列によって曲面を表現した方が形状を知覚しやすいことを実験的に見出し、この考え方に基づいた点列生成手法を提案した。例えば球体の場合は、図4に示すように複数の円形状を表現する点列よりも、らせん状の点列表現の方が形状を知覚しやすい。

Super Real Vision では、図5のようにポリゴンモデル表現される描画対象を複数の水平面で鉛直軸方向にスライスし、水平断面とポリゴンモデルが交わる2次元形状を断面毎に描画していく方法[3]が提案されている。図6に点列生成結果とそれに基づく描画結果を示す。

このように、表示したい3次元モデル形状や文字列に応じて点列を生成することによって、Aerial 3D Display にコンテンツ描画を行うことができるようになっている。

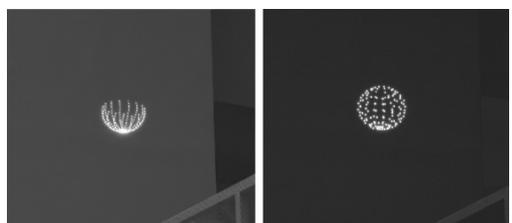
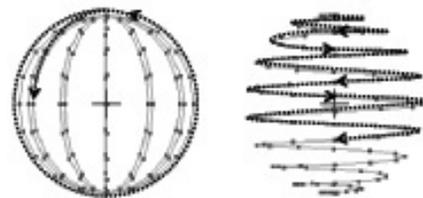


図4 球体の表現方法による見え方の違い

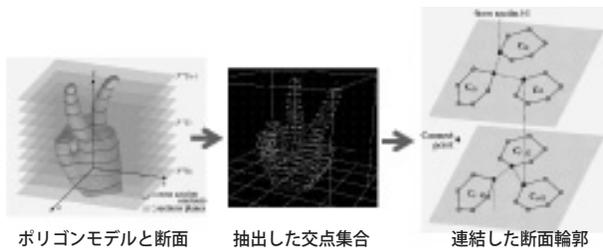


図 5 ポリゴンモデルの断面化による点列表現法

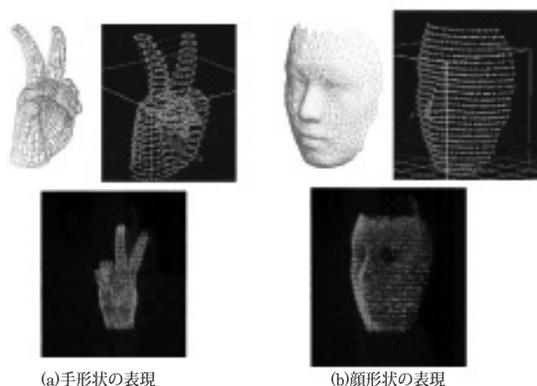


図 6 Super Real Vision のための点列生成結果とそれに基づく描画結果

4. Super Real Vision を用いたインタラクティブ描画

観察者の動作に応じて表示コンテンツを変化させることによるインタラクティブ描画システムは、Aerial 3D Display の応用範囲を更に広げると期待できる。そこで、先に紹介した Super Real Vision とカメラを用いたインタラクティブ描画システムのプロトタイプを構築した。Super Real Vision は、小型のレーザーを用いた装置であり可搬性に優れ、さらに 3D 表示空間である透明な容器を観察者の近くに置くことも可能となり、このようなインタラクティブ描画システムに適しているとも考えられる。

その一例として、図 7 に示すように Super Real Vision とデプスカメラを併用した「じゃんけんシステム」を構築した [4]。これは、デプスカメラから得られる手の形状情報からグー・チョキ・パーをシステムが認識し、それに勝つ手形状を描画させるというものである。

ここでは、図 8 に示すように、デプスカメラにより得られるデプス画像を利用して手の領域のみをセグメンテーションして輪郭を求め、手領域の 2 次元形状の主軸に垂直な線と手領域形状が交差する点数の最大値から指の本数を推定し、これをもとに手形状の判定を行っている。

また最近では、じゃんけんのような 3 種類ではなく、手のデプス画像から、手形状を適切に表現する輪郭線を

3 次的に抽出し、その軌跡を点列表現することにより、手の任意形状をリアルタイムで表示することを可能にするシステムも構築した [5]。図 9 にその表示例を示す。

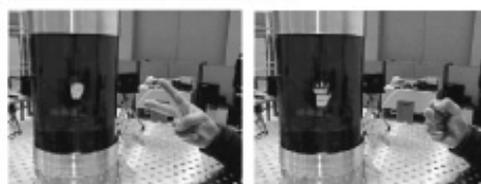
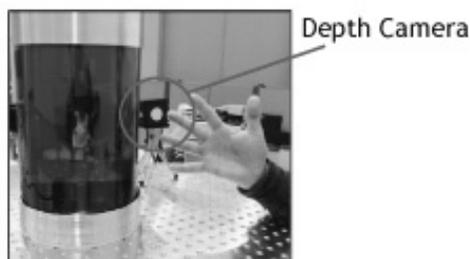


図 7 Super Real Vision とデプスカメラを併用した「じゃんけんシステム」
* 口絵にカラー版掲載

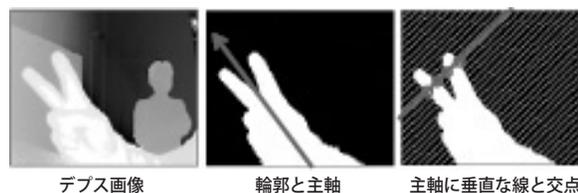


図 8 手形状の判定方法

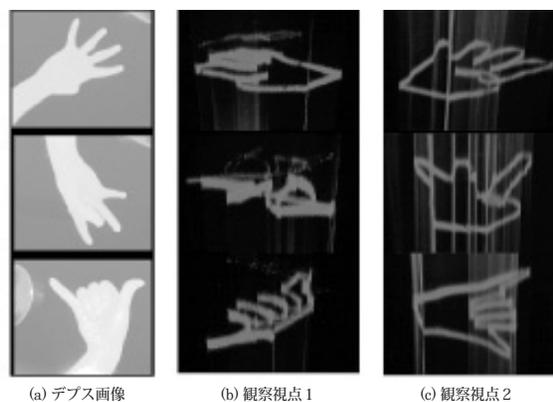


図 9 手形状描画システムによる手形状描画例

5. Aerial 3D Display の展望

本稿で紹介した Aerial 3D Display は、空間に点列を描画することによって 3 次元表示を行うものである。LCD ディスプレイなどの通常の 2 次元映像ディスプレイを拡張して構築した 3 次元表示装置ではフルカラーによる密な画素表示ができるのに対して、点列で表現する Aerial 3D Display では、コンテンツの 3 次元形状

や色等についての表現能力が劣っている。しかしながら、空間の任意位置に発光体を表示できるという特徴は、他の3次元ディスプレイでは実現できない様々な応用を考えることができる。屋外広告などのためのデジタルサイネージに利用することや、空間を利用したエンタテインメント、さらにアートへの利用等、その可能性は大きい。また、閉鎖型の Aerial 3D Display である Super Real Vision は、その可搬性の良さから、同様な応用としては、主に屋内向けのデジタルサイネージやアート作品への利用が考えられる。

このような応用は、従来から研究開発がなされている、観察視点に応じて見え方の異なる2次元画像を表示するタイプの3次元表示装置[6]などでも実現は可能である。しかし、このようなタイプの3次元表示装置では、任意方向からの立体視表示はできるものの、その視点は特定の水平面に限られており、鉛直方向への視点移動には対応していないものが大半である。また、観察範囲を増やすことができたとしても、観察視点数に相当する2次元画像を生成・入力する必要がある、そのデータ量が膨大になるために動画表示への対応が困難であり、現時点では静止物体の表示に限定されている。

Super Real Vision では、自由空間に表示可能という特徴が失われてしまうものの、閉鎖空間内の任意の位置の点を直接光らせているため、表示コンテンツを観察する位置に全く制限が無く、入力すべきデータとしても3次元点列のみとなり、先に示したようにインタラクティブに表示コンテンツをリアルタイムで自由に変更するような表示さえも可能となるという優位性があり、このような優位性を最大限に生かした応用を見つけ出すことが期待されている。これまでに、この Super Real Vision を海外の色々な展示会（ラスベガスで開催のコンシューマ電化製品の展示会 CES2010, CES2011, ラスベガスで開催の映像機器展 NAB2010, アムステルダムで開催の映像機器展 IBC2010, パリで開催の3次元テレビの展示会 Dimension 3, さらにパリで開催の最新技術展示会 Future Seine2011）に出展してきた。図10にその一部の様子を紹介する。これらの展示会では、様々な分野の人々から注目を集め、この応用の可能性について色々な意見を頂



(a) NAB2010, Las Vegas

(b) Future Seine 2011, Paris

図10 海外の展示会の様子

いてきた。今後は、その知見を生かして、実用化につなげていくことを目指している。

謝辞

本稿で紹介した研究を進めるにあたり多大なるご協力を頂きました、(株) パートン 木村秀尉氏、浅野明氏、産業技術総合研究所 島田悟氏、欠端雅之氏、東京大学 苗村健氏、慶應義塾大学 石川尋代氏、渡邊隼人氏、佐野孔宣氏に深く感謝する。

なお、本研究は、JST CREST (デジタルメディア作品の製作を支援する基盤技術領域、「自由空間に3次元コンテンツを描き出す技術」)の補助を受けた。

参考文献

- [1] H. Kimura, T. Uchiyama, S. Shimada, : True 3D Display Using Laser Plasma in the Air, Emerging Technologies , SIGGRAPH2006 (2006)
- [2] 石川尋代, 斎藤英雄: レーザプラズマ式3Dディスプレイにおける点列を用いた物体表現, 映像情報メディア学会誌, Vol.63, No.5, pp.665-672 (2009)
- [3] H. Ishikawa et al., : Surface Representation of 3D Object for Aerial 3D Display, Proc. SPIE 7863, 78630X; doi:10.1117/12.872397 (2011)
- [4] H. Watanabe, H. Ishikawa et al., : Vision-based Interaction with Aerial 3D Display, International Conference on 3D Systems and Applications 2010 (3DSA 2010) , pp.193-196 (May, 2010)
- [5] 佐野孔宣, 渡邊隼人, 石川尋代, 斎藤英雄: 空間立体描画ディスプレイのためのデプスカメラを用いたインタラクティブ描画システム, 第16回日本VR学会大会発表予定 (2011)
- [6] A. Jones, H. Yamada, M. Bolas, P. Debevec, : An interactive 360° light field display, Proceeding ACM SIGGRAPH 2007, Emerging Technologies (2007)

【略歴】

斎藤英雄 (SAITO Hideo)

慶應義塾大学 理工学部情報工学科 教授

1987年慶應義塾大学理工学部卒業, 1992年同大学大学院理工学研究科電気工学専攻博士課程終了。同年同大学理工学部助手, 2006年より現職。1997年から99年までカーネギーメロン大学ロボティクス研究所訪問研究員。専門はコンピュータビジョン, 3次元映像メディア。