

「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」  
平成 18 年度採択研究代表者

齋藤 英雄

慶應義塾大学理工学部・教授

## 自由空間に 3 次元コンテンツを描き出す技術

### 1. 研究実施の概要

慶應大、産総研、(株) パートンは共同で、レーザーの光を集光させることにより空気をプラズマ化して発光させるという技術をベースに、その発光位置を高速で 3 次元走査することによりして、ドットアレイの 3 次元的表示として、自由空間中に 3 次元の実像を描き出す 3 次元表示デバイスを世界に先駆けて開発した。本研究課題では、この新技術を実用レベルにまで高め、新たな 3 次元コンテンツ産業と呼ぶべき新領域を開拓していくことを、その目的とする。このために、以下の 3 つの技術課題についての研究開発を同時並行的かつ有機的に進める。

- (1) 3 次元表示デバイスそのものの高画質化や大規模化
- (2) 当該デバイスに表示する 3 次元コンテンツの制作技術基盤の整備
- (3) 3 次元コンテンツに対する社会的需要調査と、それに基づくデバイス開発およびコンテンツ制作基盤技術開発へのフィードバック

本研究課題で研究開発の空中表示デバイスは通信・放送、エンタテインメント、アート、医療、といった目的のための次世代ディスプレイとして利用できるだけではなく、空気中に任意の映像を浮かび上がらせることができることから、環境や空間を利用したディスプレイとして、屋外広告や屋外イベントにおける情報提示等の新しい応用分野を生み出すことが期待できる。それぞれの応用の規模に応じたデバイス開発および 3 次元コンテンツのデザインを推し進めていく。そして、新たなディスプレイメディア技術として確立していくとともに、3 次元コンテンツ産業と呼ぶべき新領域を開拓していくことを狙っている。

本研究課題がスタートした平成 18 年度は、研究代表者を中心に、3 次元表示デバイス研究、3 次元デジタルコンテンツ取得・解析・提示技術の研究、マーケティング研究の 3 つのコ

ユニットに分かれた研究推進体制の整備と準備的研究成果を挙げた。それに引き続いて、平成 19 年度は、

- (1) 3次元表示デバイスの高性能化を実現
- (2) 当該デバイスに表示するための3次元コンテンツの研究を推進
- (3) 3次元コンテンツに対する社会的需要調査と、それに基づくデバイス開発およびコンテンツ制作基盤技術開発へのフィードバック

を行い、十分な成果を挙げた。

## 2. 研究実施内容

(文中にある参照番号は 4. (1)に対応する)

研究代表者を中心に、3次元表示デバイス研究、3次元デジタルコンテンツ取得・解析・提示技術の研究、マーケティング研究の3つのユニットに分かれた研究推進体制で本課題の研究開発をおこなった。平成 19 年度における各ユニットの研究実施内容は以下のとおりである [14]。

### 3次元表示デバイス研究ユニット (慶大・産総研・エリオ)

3次元表示デバイスの表示領域の大規模・高画質化と安全性の確認に取り組んだ。

#### 1) 高画質化

既存機の10倍の解像度を持つ機器の開発に取り組んだ。具体的なアプローチとしては、まず、光源に世界最高レベルの1kHzの繰り返し周波数を持つレーザー光源を新たに導入し、空中描画装置内への組み込みを進めた。

今期開発した装置は、レーザー光源部分に、3次元表示デバイスのために新たに設計・開発した高繰り返し(1000ヘルツ)で高ピーク出力(200ワット)の光源を導入した。

さらに、閉鎖空間中でのより高精細な3次元画像の表示を実現するために、3次元スクリーンとなる気体、液体あるいは固体からなるディスプレイ媒体を作製し、その媒体中におけるレーザー照射による発光点の生成実験および閾値の計測を行った。その結果、液体を主成分とするディスプレイ媒体を用いると発光点を比較的容易に生成できることを見いだした。

#### 2) 光走査系の開発

目標数値に対応したダイナミックレンジをもつ光操作系の開発を行った。この走査系には、レーザーの繰り返し性能の向上に併せて、前記のシステムではなく、制御アルゴリズムからの見直しによる信号処理の最適化を行ったスキャニングシステム等を使用した。光学系の調整も同時に行うことにより、3次元映像をスムーズに描画することに成功した。

上記の 1) 2) の成果により、図 1 に示すような描画映像を得ることができた。今期開発した装置では、毎秒最高で 1000 ドットを描画することが可能である。1 秒当りの発光数が大幅に向上したことにより、従来に比べ 3 次元の描画がスムーズになり、動画表現の自由度も大きく広がった。

比較のために紹介する図 2 の画像は、2006 年 2 月につくば市において発表を行った試作機のものである。このときは、1 秒間に 100 点ほどの発光点を生成できる性能であった。図 1 と図 2 を比較すると、その描画性能の違いは明確であり、解像度が向上していることがわかる。



図 1 : 本年度の描画装置による映像  
(Nikon D70 18-70mmF3.5-4.5G  
ISO200F6.3 露出時間 1/8 秒)



図 2 : 2006 年発表の描画装置による映像  
(Finepix4900Z ISO200 F6.3  
露出時間 2.8 秒)

### 3) 安全性の確認

平成 18 年度に既存のシステムにて評価を行っているが、今期開発する装置についても、詳細に安全性の評価について検討した。

今期開発した装置についても、昨年度の装置と同様に、詳細な安全性の評価を進めた。具体的には、新たに導入したレーザー光源を用いて生成した空気プラズマについて、ファイバー分光器により、可視紫外領域、放射線領域における詳細なスペクトル測定を行い、人体に対する安全性を確認した。また、空気プラズマおよびその周辺からの Nd:YAG レーザーの基本波 (1064nm) の散乱光の強度分布を測定し、人体に対する安全基準値を満たす条件を算出した。これらの値に基づいて、観察者が安全に空間映像を鑑賞できるエリアを策定することが可能となった。

#### 4) 表示領域の大規模化

既存機の5倍の描画距離を持つ機器の開発に取り組んだ。本年度は光学系の計算まで行い、実際の評価・検討は平成20年度におこなうこととした。

#### 5) ミラー駆動用アクチュエータの制御アルゴリズム

さらなる光学系の走査の高性能化に向けたて、ミラー駆動用アクチュエータの制御アルゴリズムの研究を行った。本年度は、ミラー駆動用アクチュエータの高精度、高速度制御を目的としたリアルタイム制御システムの構築を行った[20、21]。同システムを利用した基礎実験を行い、ガルバノミラーおよびZ軸アクチュエータの応答特性のモデル化を行った。これにより、ガルバノミラーに関しては一次遅れ系、Z軸アクチュエータに関しては二次遅れ系でモデル化を行うことが妥当であるとの結論に達した。ミラー制御（フィードフォワード制御）に関しては、同定したモデルを考慮した構成としている。これら一次および二次遅れ系モデルに基づいたフィードフォワード制御に関しては、他のシステムへの適用も可能な汎用的なものである。また、レーザーの描画座標（作業座標）でのフィードバック制御の基本構成法についても検討を行った。現状では作業座標での描画点の計測が行えないため、構築した制御アルゴリズムを適用した実機描画検証は行えていないが、提案する作業座標でのフィードバック制御系の基本性能に関しては、他の実験システムを利用することでその有効性を確認している。

### 3次元デジタルコンテンツ取得・解析・提示技術研究ユニット（慶大・東大・愛知工科大）

3次元表示デバイス表示に適した3次元コンテンツ取得・解析・提示技術の研究を行った。

慶大グループでは、3次元コンテンツ取得技術として、多視点カメラシステムから平面走査法により得られる距離画像の取得法の研究を行った。特に、この平面走査法における処理の一部についてGPUのシェーダー機能を利用することによって、リアルタイムで距離画像の生成を可能にした[4、8、12、19]。また、未校正多眼撮影により得られた多視点画像から3次元映像を生成するための手法についての研究を進めた[5、9]。さらに、パターン光投影により得られる距離画像を複数取得し、それらを融合して一つの3次元モデルを生成するための新しいキャリブレーション手法を提案し、有効性を実験的に確認した[15、16]。また、手の動きを2台のステレオカメラで取得するための手法について研究を行った[3、13]。

一方、上記のようにして得られた距離画像から対象物体の3次元点群を取得し、それを空間中の複数の輝点表示した際に、どの程度見やすいか、といったことについて検討したり、距離画像から物体表面形状を点群で表現して可能な限り人間に理解しやすく提示するための手法について、人間の視覚心理に基づいたアルゴリズムの提案を行った。現在、さらにこの考え方を3次元表示デバイスの走査系の性能を考慮したものに拡張中である。

また、3次元表示デバイスの応用として、実像とデジタル映像のシームレス表示を取り上

げ、一例として、ビリヤード台という現実空間において、その戦略表示をデジタル映像で重畳表示する手法とシステムに関する研究を行った[1、10]。また、大規模空間におけるデジタルコンテンツ表示として、平面スクリーンとプロジェクタを利用するシステムにおける焦点ボケ除去手法についての研究を進めた[2、11、18]。

東大グループでは、まず、3次元コンテンツの処理において、GPU (Graphics Processing Unit) を拡張利用する手法について開発を進めた。これにより通常の CPU (Central Processing Unit) を用いるべき処理と、GPU を導入すべき処理の切り分けが明確化された。さらに、膨大な 3次元コンテンツ情報を分散的に圧縮伝送する方式を提案し、その有効性を明らかにした[7]。以上のような高速な処理技術に裏付けられたコンテンツ開発へと今後結び付けていく予定である。

さらに、3次元コンテンツ制作の基礎となる 3次元情報取得技術として、新たに可変焦点光学系を導入する試みを提案した[17]。この光学系は、商用化の目処が立ったばかりのデバイスであり、空中像を提示する新たなディスプレイ光学系や、レーザープラズマの走査系への転用など、本プロジェクトへのさらなる応用に向けて、その特性を検討している段階である。

また、レーザープラズマ方式に加える新たな選択肢として、空中像型ディスプレイのプロトタイプを製作し、実物体とバーチャルな映像（立像）が混在する複合現実環境の可能性を明らかにした[6]。今後、利用目的に応じたさまざまな空中像型ディスプレイの選択肢を提示し、体系的に整理していく予定である。

最後に、レーザープラズマ方式ディスプレイの点群コンテンツの例として「United Points」という作品を製作し、メディアアート分野で高い評価を得た。さらに、ペン入力によって簡易に点群コンテンツを生成するインタフェースを試作し、2次元の手描きコンテンツを 3次元的に躍動させることが容易にできるようになった。

点群コンテンツを簡易に作成するユーザインタフェースの開発は、点群走査順（描き順）の最適化およびフォント制作の部分にも着手している。

愛知工科大学グループでは、人体の動作の解析とその 3次元表示技術に関する研究を行った。人体の動作解析の対象として体操競技のうちの鉄棒競技を選択した。これは通常のディスプレイ表示では視聴者が演技の質を判断することが困難であり、鉄棒演技の動作解析によって得た付加情報を反映し、演技の質が強調された 3次元表示することが効果的と考えられるからである。まず鉄棒演技の動画像を撮影し、画像処理により動作時の関節点の移動軌跡を抽出することを行い、演技の 3次元表示のためのデータを作成した。また付加情報として規定された動作軌跡との相違を定量化することを試みている。このために規定演技の記述法を考案してデータベースとした。これは演技の質を計測するものであり、自動採点の可能性を示すと共に、演技の質、および欠点を強調して 3次元表示するため規準を与えるものと考えられる。

このような付加情報を反映した 3次元表示の手法について検討を開始した。

## マーケティング研究ユニット（(株) 電通）

昨年度に引き続き、開発中のデバイスおよびコンテンツ提示技術のマーケット的可能性について市場価値の検討を行った。

2007年07月10日の(株)バートン・産総研・浜松ホトニクス(株)による「空間立体描画（3Dディスプレイ）」技術の高性能化実験に成功に関するニュースリリース以後、(株)電通へも商業利用／広告利用の開始時期の目処や将来性に関する質問が大手広告主から相次いだことから、広告市場からも強く期待されていることが明らかとなった。

また、(株)電通 アウト・オブ・ホームメディア局主催の広告主向けセミナー「Dentsu OOHワークショップ'08」（2008年1月24日開催。）や社団法人日本民間放送連盟 営業委員会主催の民間放送局向けセミナー「第34回テレビ営業ゼミナール」（2008年2月8日開催。）において、現行のプラズマによる3Dディスプレイの模様を撮影した映像を大々的に提示した上で3Dディスプレイの将来性に関するプレゼンテーションを行い、大手広告主及び大手マスコミ各社の反応の調査を行った。本格的実用化にはより一層の描画技術の向上、安全面や周辺環境への影響の懸念払拭が必要との見方がありつつも、総じて高い興味関心を惹いていた。

これらの反応・意見を基に電通は本3D技術の商用利用の目標の一つに、屋外の新たな大型サインボードとしての利用を位置づけた。今後は屋外での描画技術のより一層の向上（描画サイズ、精度、安全性、汎用性）と自治体や国との制度面での協議、が必要になる。また広告のビジネスモデルとして捉えていく為には、昨今OOH業界で進展するデジタルサイネージ（デジタル技術を使い、タイムリーに映像や情報をディスプレイ表示する「次世代型インフォメーションシステム」。）とも協調したコンテンツ配信技術も平行して取り組んでいく必要がある。今後も常にマーケットのニーズと他の新技術導入事例を調査しながら、広告市場での実用化に向けて検証を進めていく。

## 3. 研究実施体制

### (1)「慶應義塾」グループ

① 研究分担グループ長：斎藤 英雄（慶應義塾大学、教授）

#### ② 研究項目

- ・3次元スクリーンの設計と製造
- ・安全性データの取得・解析
- ・光学系のシミュレーション計算
- ・高速操作プログラムの設計・開発
- ・3次元表示デバイスの大規模化
- ・3次元表示デバイスの高画質化

- ・3次元表示の現実空間との位置合わせの研究
- ・画像入力からの3次元コンテンツ生成と表示に関する研究
- ・3次元表示デバイスシミュレータの開発
- ・3次元デジタルコンテンツに関する市場調査

(2)「産総研」グループ

① 研究分担グループ長: 島田 悟 ((独)産業技術総合研究所、主任研究員)

② 研究項目

- ・3次元スクリーンの設計と製造
- ・安全性データの取得・解析
- ・光学系のシミュレーション計算
- ・高速操作プログラムの設計・開発
- ・3次元表示デバイスの大規模化
- ・3次元表示デバイスの高画質化

(3)「東大」グループ

① 研究分担グループ長: 苗村 健 (東京大学大学院、助教授)

② 研究項目

- ・デジタル・インタラクティブアートへの展開
- ・3次元表示デバイスシミュレータの開発

(4)「愛知工科大」グループ

① 研究分担グループ長: 小沢 慎治 (愛知工科大学、教授)

② 研究項目

- ・画像入力からの3次元コンテンツ生成と表示に関する研究

## 4. 研究成果の発表等

(1) 論文発表(原著論文)

- [1] 内山英昭, 斎藤英雄, “ハンディカメラ入力からのシーン解析に基づくピリヤード戦略発想支援用 AR 表示システム,” 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, VOL.12, NO.2, pp.159-170, (2007.6)
- [2] Yuji Oyamada, Hideo Saito, “Focal Pre-Correction of Projected Image for Deblurring Screen Image,” Pceedings of IEEE International Workshop on Projector-Camera Systems (PROCAMS2007), June 18, 2007

- [3] Chutisant Kerdvibulvech, Hideo Saito, "Vision-Based Detection of Guitar Players' Fingertips Without Markers," Proc. 4th International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualisation (CGIV '07), pp. 419 - 428, August 2007.
- [4] Vincent Nozick, Hideo Saito, "Real-Time Free Viewpoint from Multiple Moving Cameras," Proc. Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems (ACIVS2007), LNCS 4678, pp. 72-83, (2007.8).
- [5] Songkran Jarusirisawad, Hideo Saito, "Diminished Reality Via Multiple Hand-Held Cameras," Proc. First ACM/IEEE International Conference on Distributed Smart Cameras, ICDS2007, pp.251 - 258, 25-28 Sept. 2007.
- [6] 加藤 紀雄, 苗村 健: "2つの結像系を用いた複合現実型空間立像ディスプレイ", VR 論, vol. 12, no. 3, pp. 323 -- 330 (2007.9).
- [7] Yuichi Taguchi, Takeshi Naemura: "Rendering-Oriented Decoding for Distributed Multi-View Coding System", IEEE Intern. Conf. Image Process. (ICIP2007), Vol. 1, pp. 213--216 (2007.9)
- [8] Vincent Nozick, Hideo Saito, "Real-Time Video-Based Rendering from Multiple Cameras," Proc. ACCV'07 Workshop on Multi-dimensional and Multi-view Image Processing, pp.17-23, 2007.
- [9] Songkran Jarusirisawad, Hideo Saito, "Free Viewpoint Video Synthesis based on Visual Hull Reconstruction from Hand-Held Multiple Cameras," Proc. ACCV'07 Workshop on Multi-dimensional and Multi-view Image Processing, pp.39-46, 2007.
- [10] Hideaki Uchiyama, Hideo Saito, "AR Display of Visual Aids for Supporting Pool Games by Online Markerless Tracking," Proc. 17th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT 2007), pp. 172-179, 2007.
- [11] 小山田雄仁, 斎藤英雄, "プロジェクトスクリーン上に生じる焦点ボケ解消のための投影画像の事前補正法," 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol.12, No.4, pp.479-486 (2007.12)
- [12] Vincent Nozick, Hideo Saito, "Online Multiple View Computation for Autostereoscopic Display," Proc. 2007 Pacific Rim Symposium on Image Video and Technology (PSIVT2007), LNCS.4872, pp. 399-412, (2007.12)
- [13] Chutisant Kerdvibulvech, Hideo Saito, "Vision-Based Guitarist Fingering Tracking Using a Bayesian Classifier and Particle Filters," Proc. 2007 Pacific Rim Symposium on Image Video and Technology (PSIVT2007), LNCS.4872, pp.625-638, 2007.
- [14] Hideo Saito, Hidei Kimura, Satoru Shimada, Takeshi Naemura, Jun Kayahara, Songkran Jarusirisawad, Vincent Nozick, Hiroyo Ishikawa, Toshiyuki Murakami,

- Jun Aoki, Akira Asano, Tatsumi Kimura, Masayuki Kakehata, Fumio Sasaki, Hidehiko Yashiro, Masahiko Mori, Kenji Torizuka, and Kouta Ino, "Laser-plasma scanning 3D display for putting digital contents in free space," Proc. SPIE Vol. 6803, pp. 680309 (2008).
- [15] Osamu Kagiya, Yukio Sato, and Hideo Saito, "Rangefinding system using hybrid pattern projections," Proceedings of the SPIE, Volume 6805, pp. 680507-680507-9 (2008)
- [16] Hideto Kameshima, Yukio Sato, and Hideo Saito, "A calibration method of multiple rangefinders system," Proceedings of the SPIE, Volume 6805, pp. 68050P-68050P-8 (2008)
- [17] Kensuke Ueda, Takafumi Koike, Keita Takahashi and Takeshi Naemura: "Adaptive IP Imaging with Variable-Focus Lens Array," SPIE Stereoscopic Displays and Applications XIX, SPIE Vol. 6803, 68031A (2008.1)
- [18] Yuji Oyamada, Hideo Saito, "Estimation of Projector Defocus Blur by Extracting Texture Rich Region in Projection Image," Communication Paper Proc. the 16-th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision 2008 (WSCG2008), pp. 153-160,2008.
- [19] de Sorbier,F., Nozick,V., Biri,V.: Accelerated Stereoscopic Rendering using GPU, Communication Paper Proc. the 16-th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision 2008 (WSCG2008), pp. 239-244,2008.
- [20] Koji Sasaki and Toshiyuki Murakami, "Pushing Operation by Two-Wheel Inverted Mobile Manipulator", 2008 10th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control, pp33-37, 2008.
- [21] Jun Aoki and Toshiyuki Murakami, "A Method of Road Condition Estimation and Feedback Utilizing Haptic Pedal", 2008 10th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control, pp777-782, 2008.