

戦略的創造研究推進事業 CREST
研究領域「デジタルメディア作品の制作を支援する
基盤技術」
研究課題「自由空間に3次元コンテンツを描き出す
技術」

研究終了報告書

研究期間 平成18年10月～平成24年3月

研究代表者：斎藤 英雄
慶應義塾大学工学部 情報工学科、
教授

§ 1 研究実施の概要

(1) 実施概要

多人数で全周囲から観察できるメガネなしの立体映像表示
に向けて
空中で発光点群を制御する方式
を提唱し、
大規模表示が可能な空中型と多点表示が可能な閉鎖型の
デバイスおよびコンテンツ生成手法
を新たに技術開発して、
展示規模や表示点数などの数値的性能の向上と日本科学未来館における展示
によって、その有効性を検証した。その成果を
広告・サインからアート・エンタテインメントにおける日本発の新たな表示デバイス
の形で今後につなげていきたい。

具体的には、下記のような成果となる。

大規模表示が可能な空中型と多点表示が可能な閉鎖型のデバイス開発

本デバイスは、多人数で全周囲から観察できるメガネなしの立体映像表示を実現するための
ものであり、本プロジェクト開始以前より提唱していた、空中で発光点群を制御する方式に基
づくものである。

開発にあたっては、本プロジェクト開始直後より、(株)エリオ、産総研、慶大グループが共同
で行ってきた。

空中型に関しては、当初は、光源から1m程度の距離に、0.5m立方程度の表示空間のもの
であった。この表示空間のサイズの拡大、光源からの表示距離の延伸のために、レーザー光
源、レーザービーム走査系、ミラーやレンズといった光学系の性能評価のための実験を行い、
目的を達成するために必要な仕様を有する装置の仕様を決め、それに基づく製品を導入し、
組み合わせることにより、光源から3m程度の距離で1.5m立方程度の表示空間での表示を実
現可能とした。さらに、光源から6mの距離でのプラズマ発光にも成功し、この距離での表示の
実現可能性を実証した。

空中型と同様に、発光点群を制御する方式を利用し、閉鎖空間で表示可能なデバイスは、空
中型の小型シミュレータとして開発した。空中を模擬した閉鎖空間内にレーザーを照射する
ことにより発光点を生成させ、空中型と同様に発光位置を制御することにより点列表示を実現す
るものである。

表示デバイスのためのコンテンツ生成手法

慶大グループと東大グループが共同で、上記の表示デバイスのためのコンテンツ生成手法
についての研究を行った。上記の表示デバイスは、空間に配列された点列でコンテンツを表
示するため、表示対象の3次元形状を点列表現する必要がある。また、点列の密度や配列、
さらに表示順は、表示デバイスのハードウェア特性に依存するため、これも考慮に入れる必要
がある。これらの要求を考慮し、3次元物体の一般的な表現であるポリゴンモデルから、点列
を生成するための手法を考案した。そして、それをベースに、あらかじめ指定された3次元形
状だけではなく、人間の手形状や顔、更に動作をインタラクティブにデバイスで表示するた
めに、距離カメラを利用したシステムの構築を行った。一方で、空間の点描であることを利用し、
観察する方向により見え方が全く変化することを利用した新たなインタラクティブ表示法を考
案した。

日本科学未来館や世界中の展示会における展示

プロジェクト開始から約1年後に、日本科学未来館のレーザー実験室で空中型デバイスの開発実験を行うことができるようになった。日本科学未来館の実験スペースは天井高が十分に高いため、慶大の実験室では不可能であった本プロジェクトの開発目標である表示位置の延伸化のための実験が可能になったことは本プロジェクトの成果に大きく役立った。また、日本科学未来館を訪れる一般客への公開までは安全上の問題で実現しなかったものの、日本科学未来館を訪問する特別ゲストの多くが、世界に類を見ない空中表示型の表示デバイスの実験デモを生で体験し、日本科学未来館における研究が優れたものであることを示すことができた。また、小型のシミュレータとしての閉鎖型デバイスは、アメリカ、ヨーロッパで開催された複数の展示会で実物展示を行い、世界に向けて本プロジェクトの独自技術をアピールすることができた。さらに、電通の主催する広告イベントでは、空中型デバイスのデモ展示を実施し、広告としての空中型表示デバイスの可能性をアピールすることができた。

(2) 顕著な成果

1. 空間表示デバイスの開発

概要: レーザーを用いて空間に発光点を生成することにより、レーザー光源から5m以上の距離の2m立方程度の空間に点列で表現される3次元コンテンツを表示可能なデバイスを開発した。また、この原理に基づいて、0.3m立方程度の閉鎖空間で点列表現可能な3次元空間ディスプレイも併せて開発した。

2. 点列を表示するという空間表示デバイスの特性を考慮した3次元コンテンツ生成手法の研究

Hiroyo Ishikawa et al., Surface representation of 3D objects for aerial 3D display, Proc. SPIE 7863, 78630X (2011)

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
等の論文成果

概要: CREST研究で開発した空間表示デバイスの様々な特性を考慮して、任意の3次元形状から空間表示デバイス用の点列を生成するための手法と、そのためのツール群を開発した。

3. 空間表示デバイスを用いたインタラクティブ提示システムの開発と展示

発表成果 3DSA2010(Best Paper), EI2011, VRSJ2011

展示成果 CES2010, NAB2010, IBC2010, CES2011, Future Seine 2011, SIGGRAPH2011, IBC2011, CES2012, Imagina2012

概要: 開発した空間ディスプレイデバイスを用いたインタラクティブシステムを、アメリカ、ヨーロッパなど開催された複数の展示会に出展しデモを行った。

§ 2. 研究構想

(1) 当初の研究構想

(2) 新たに追加・修正など変更した研究構想

シミュレータとして位置づけた閉鎖型デバイスの多色化を当初は計画していたが、多色化のために必要となるレーザー装置の仕様が、実際に入手可能な装置では達成困難であることがわかった。このため、この装置に計画していた予算を、空間表示装置の距離を延伸するための開発に集中した。

距離カメラ(Swiss Ranger, KINECT) の導入により、人間などの形状や動作をリアルタイム取得しやすい環境が整ったため、インタラクティブな3Dコンテンツ生成と表示が可能になった。

§ 3 研究実施体制

(1) 「慶應義塾」グループ

① 研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
斎藤英雄	慶應義塾大学理工学部	教授	H18.10～H24.3
内山太郎	慶應義塾大学理工学部	教授 (離脱時)	H18.10～H21.7
村上俊之	慶應義塾大学理工学部	教授	H18.10～H24.3
小沢慎治	慶應義塾大学理工学部	教授 (離脱時)	H18.10～H19.3
植松裕子	慶應義塾大学理工学部	助教 (離脱時)	H18.10～H19.3 H21.4～H23.3
Jarusirisawad, Songkran	慶應義塾大学大学院 理工学研究科	D3 (離脱時)	H18.10～H21.10
Kerdvibulvech, Chutisant	慶應義塾大学大学院 理工学研究科	D3 (離脱時)	H18.10～H21.10
井原 健喜	慶應義塾大学大学院 理工学研究科	D3 (離脱時)	H19.4～H23.3
石川 尋代	慶應義塾大学大学院 理工学研究科	特任助教	H19.4～H23.3 H23.10～H24.3
内山 英昭	慶應義塾大学大学院 理工学研究科	D3 (離脱時)	H18.10～H22.3
小山田 雄仁	慶應義塾大学大学院 理工学研究科	D2 (離脱時)	H19.3～H21.12
Acar, Cihan	慶應義塾大学大学院 理工学研究科	D3 (離脱時)	H21.8～H23.9
佐々木 孝治	大学院理工学研究科	M2 (離脱時)	H19.4～H20.3
青木 淳	大学院理工学研究科	M2 (離脱時)	H19.4～H20.3
山口高志	慶應義塾大学大学院 理工学研究科	M2 (離脱時)	H20.4～H21.3

平野雄哉	慶應義塾大学大学院 理工学研究科	M2 (離脱時)	H20.4～H21.3
Nozick, Vincent	慶應義塾大学理工学部	助教 (離脱時)	H19.9～H20.9
佐藤幸男	慶應義塾大学大学院 理工学研究科	客員教授 (離脱時)	H19.10～H21.3
亀嶋英人	慶應義塾大学大学院 理工学研究科	D3 (離脱時)	H19.10～H20.3
鑰山 統	慶應義塾大学大学院 理工学研究科	M2 (離脱時)	H19.10～H20.3
Amstutz, Edmee	慶應義塾大学大学院 理工学研究科	M2 (離脱時)	H20.1～H20.9
榎本 暁人	慶應義塾大学大学院 理工学研究科	M2 (離脱時)	H20.4～H21.3
鈴木 誠司	慶應義塾大学大学院 理工学研究科	M2 (離脱時)	H21.4～H22.3
青木 悟史	慶應義塾大学大学院 理工学研究科	M2 (離脱時)	H20.4～H22.3
有賀 玲子	慶應義塾大学大学院 理工学研究科	M2 (離脱時)	H20.4～H22.3
渡邊 隼人	慶應義塾大学大学院 理工学研究科	M2	H22.4～H24.3
氏原 拓也	慶應義塾大学大学院 理工学研究科	M2	H22.4～H24.3
中谷文香	慶應義塾大学大学院 理工学研究科	M2	H22.7～H24.3
高岡 和史	慶應義塾大学大学院 理工学研究科	M1	H23.9～H24.3
佐野 孔宣	慶應義塾大学大学院 理工学研究科	M1	H23.9～H24.3
Tarizzo, Gregoire	慶應義塾大学大学院 理工学研究科(Univ. Paris Est)	特別学生 (離脱時)	H21.6～H21.8
相田繁夫	エリオ	主任研究員	H18.10～H24.3
木村秀尉	エリオ	代表取締役	H18.10～H24.3
浅野 明	エリオ	研究員	H18.10～H24.3
児玉博之	エリオ	研究員	H19.4～H24.3
糸内 正幸	エリオ	研究員	H18.10～H24.3
董 丞培	エリオ	主任研究員	H19.4～H24.3
広畑 順子	慶應義塾大学理工学部	臨時職員 (離脱時)	H20.4～H21.1
石川 大介	慶應義塾大学理工学部	臨時職員 (離脱時)	H20.4～H21.5
秋元 真一	慶應義塾大学理工学部	臨時職員 (離脱時)	H21.1～H21.3
高木哲史	慶應義塾大学理工学部	臨時職員 (離脱時)	H21.2～H21.6
古家朝子	慶應義塾大学理工学部	臨時職員	H22.2～H21.12

		(離脱時)	
小泉 一夫	慶應義塾大学理工学部	臨時職員 (離脱時)	H21.4～H22.10
松本ゆうこ	慶應義塾大学理工学部	臨時職員 (離脱時)	H21.5～H22.9
大澤 克之	慶應義塾大学理工学部	臨時職員	H19.1～H24.3
細田 和由	慶應義塾大学理工学部	臨時職員 (離脱時)	H22.10～H22.11
鈴木 浩志	慶應義塾大学理工学部	臨時職員	H22.10～H24.3
佐藤公与	慶應義塾大学理工学部	臨時職員 (離脱時)	H22.9～H22.11
大山 俊哉	(株)電通 アウト・オブ・ホーム・メディア局	企画業務推進部長	H18.10～H19.9
堀 宏明	(株)電通 アウト・オブ・ホーム・メディア局	局長	H20.7～H24.3
萱原 純	(株)OOH メディア・ソリューション		H18.10～H24.3
益子幸司郎	(株)電通 アウト・オブ・ホーム・メディア局		H19.6～H24.3
佐伯 純子	(株)電通 アウト・オブ・ホーム・メディア局		H19.6～H24.3
山崎 洋平	(株)電通 アウト・オブ・ホーム・メディア局		H19.6～H24.3
安達 啓一郎	(株)電通 アウト・オブ・ホーム・メディア局		H18.10～H24.3

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研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
島田 悟	(独)産業技術総合研究所 光技術研究部門	主任研究員	H18.10～H24.3
木村 龍実	(独)産業技術総合研究所 光技術研究部門	研究員	H18.10～H24.3
欠端 雅之	(独)産業技術総合研究所 光技術研究部門	主任研究員	H18.10～H24.3
佐々木 史雄	(独)産業技術総合研究所	主任研究員	H18.10～H21.3

	光技術研究部門		
屋代 英彦	(独)産業技術総合研究所 光技術研究部門	主任研究員	H19.4～H21.3
森 雅彦	(独)産業技術総合研究所 光技術研究部門	研究グループ長	H18.10～H24.3
鳥塚 健二	(独)産業技術総合研究所 光技術研究部門	副部門長	H18.10～H24.3
塚田 勇二	(独)産業技術総合研究所 光技術研究部門	非常勤職員	H21.8～H22.8
李成竺	(独)産業技術総合研究所 光技術研究部門	テクニカルスタッ フ	H22.9～H23.3

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 研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
苗村 健	東京大学大学院 情報理工学系研究科	准教授	H18.10～H24.3
小池 崇文	東京大学大学院 情報理工学系研究科	博士3年 (離脱時)	H19.4～H21.3
田口 裕一	東京大学大学院 情報理工学系研究科	博士3年 (離脱時)	H19.4～H21.3
上田 健介	東京大学大学院 情報理工学系研究科	修士2年 (離脱時)	H19.4～H20.3
伊野 浩太	東京大学大学院 学際情報学府	修士2年 (離脱時)	H19.4～H21.3
太田 昌宏	東京大学大学院 情報理工学系研究科	修士2年 (離脱時)	H19.4～H21.3
李 同夏	情報理工学系研究科 電 子情報学専攻	修士2年 (離脱時)	H20.4～H21.9
石井 雅人	情報理工学系研究科 電 子情報学専攻	修士2年 (離脱時)	H20.4～H22.3
山本 和明	情報理工学系研究科 電 子情報学専攻	修士2年 (離脱時)	H20.4～H22.3
和田 拓朗	学際情報学府	修士2年 (離脱時)	H20.4～H22.3
秋月 亮輔	情報理工学系研究科 電 子情報学専攻	修士2年 (離脱時)	H21.4～H23.3
中島 諒	情報理工学系研究科 電 子情報学専攻	博士1年	H21.4～H24.3
吉田 有里	情報理工学系研究科 電	研究補助	H21.10～H24.3

	子情報学専攻		
金 ハンヨウル	情報理工学系研究科 電 子情報学専攻	修士1年 (離脱時)	H22.4～H23.3
白石 卓也	情報理工学系研究科 電 子情報学専攻	修士2年	H22.4～H24.3
橋田 朋子	情報理工学系研究科 電 子情報学専攻	特任研究員	H22.7～H23.9
武井 祥平	学際情報学府	修士2年	H23.4～H24.3

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 研究参加者

氏名	所属	役職	参加時期
小沢 慎治	愛知工科大学 情報メディア学科	教授	H19.4～H24.3

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 研究実施内容及び成果

本研究プロジェクトは、目的である「3次元コンテンツを自由空間に描き出す」ための3次元表示デバイスの研究開発と、それを支える3次元コンテンツ生成関連技術についての研究を行ってきた。

従来の3次元ディスプレイは、原理的には、

- ・見る方向によって異なる2次元画像を表示する仕組みを実現することによって、立体表示可能にするもの。基本的には2次元表示の組み合わせに過ぎない。
- ・立体表示像の波面をホログラフィックに再現するもの。虚像として表示することしかできない。

といったもののいずれかに属するものであった。本プロジェクトでは、上記のいずれにも属さない世界に類を見ない全く新しい原理を用いて、空間の任意位置を発光させることにより、空間中に立体の実像を表示する空間ディスプレイと、このディスプレイのための3次元コンテンツ技術の研究開発を、複数の研究機関に属する研究者が集まって進めてきた。

3次元表示デバイスの研究開発を行う「3次元表示デバイス研究ユニット」は、慶應義塾大学、産総研、エリオからの研究者が、2007年度より日本科学未来館の実験室を拠点として、3次元表示デバイスのためのレーザー光源、光学系、走査系、表示スクリーンの媒質、といった要素技術と、デバイスを構築するための総合的なシステムデザインについて研究開発を進め、3次元表示デバイスの表示性能の向上を行ってきた。

3次元表示デバイスのためのコンテンツ生成に関する研究開発は、「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」として、慶應義塾大学、東京大学、愛知工科大学の研究者が、それぞれ得意とする技術的バックグラウンドを生かしながら、本研究プロジェクトで開発した3次元表示デバイスのためのコンテンツの取得・解析・提示等に関する研究を展開した。

さらに、このような3次元ディスプレイの市場性について、電通が「マーケティング研究ユニット」として、マーケティング研究ユニットとして検討した。

4.1 3次元表示デバイス研究ユニット(慶應義塾大学、産総研、エリオ)

(1)研究実施内容及び成果

本研究プロジェクト開始以前までに開発した3次元表示デバイスは、自由空間中に描画可能な点数が1秒あたり数10から数百のレベルであり、さらに光源となるレーザーからの距離が1m程度、さらに表示領域も高々0.5m立方程度のものであった。しかし、実用に耐えるには、多様な3次元コンテンツを表示可能である必要があり、このためには、解像度の向上・色／諧調数の向上、といった高画質化が必要となる。また、自由空間に描画可能なため、同時に多人数が見ることができるという特徴を生かした大規模空間での表示を可能にするための表示領域の大規模化も実用的には重要である。本研究課題では、これらの点について研究開発を進めた。

研究の進め方としては、このエリオの木村秀尉氏がこのユニットの中心となり、そこに慶大グループ、産総研グループからの参加者が参加しながら研究開発を行ってきた。

平成18年から平成19年にかけては、3次元表示デバイス開発のために必要となるレーザーの仕様・光学系や走査系の設計検討を行うとともに、設備や実験環境の整備を慶應義塾大学内の実験室を利用して行った。その後、平成19年度後半から、日本科学未来館内のクリーンルームと十分な空間を持つ実験室を利用できることになり、その環境の元で本格

的に3次元表示デバイスの研究開発を開始した。

3次元空中表示デバイスの表示空間の大規模化と高画質化

平成 19 年度には、1kHz の発信周波数を持つ赤外線パルスレーザー光源を導入することにより、自由空間に描画可能な点数を1秒あたり 1000 点に増やすことに成功した。その後、1kHz のパルスレーザーをスプリットして2つに分割できるように改良することにより、1秒間に500点のプラズマ光を用いて独立した2つの物体を描くことができるようになった。結果として、これまでの約 2 倍の範囲に描画可能になった。またこれは将来の表示のマルチ化につながる成果であった。

図1に、表示領域を拡大したシステムによる 3 次元コンテンツの描画結果の一例を示す。

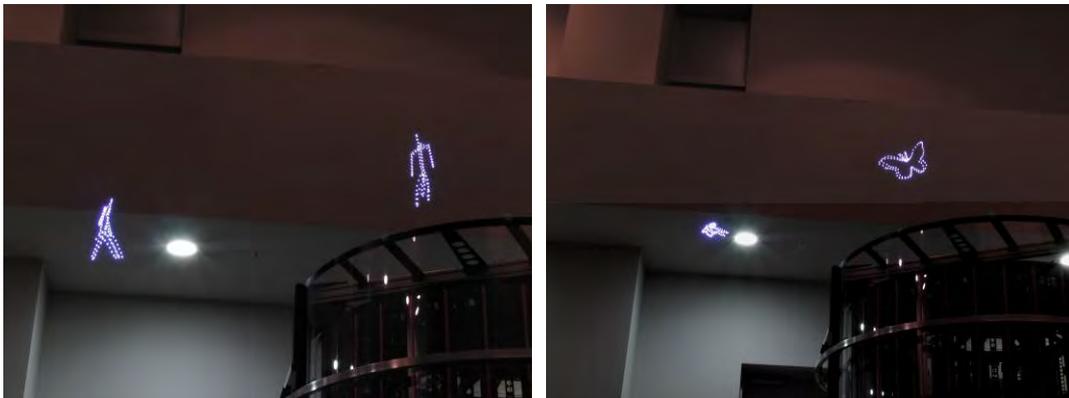


図 1: 表示領域を拡大したシステムによる3次元コンテンツ描画結果

一方、3次元表示デバイスの別の面の性能向上として、光源内と光源外の光学系の最適化を行った。Z軸アクチュエータを3種類のモーター(サーボモーター、リニアモーター、VCNモーター)を用いてそれぞれ製作し、動作実験データを取得し、描画用スキャナの最適化のための検討を行った。さらに高速描画特性を向上として、制御システムの小型化を行うと同時にアクチュエータの特性を考慮したシミュレータの改良を行った。制御システムにおいて、複数のコンテンツデータを管理、シミュレートできるようになり、描画実験がスムーズに行えるようになった。また、描画特性を考慮して実際の描画実験前にコンテンツデータを自動で最適化するフィードフォワード制御ができるようになった。

また、新たな機能として、レーザーの On/Off を瞬時に切り替えるためのポッケルスセルを追加することにより、それまでは困難だった不連続な点群の描画ができるようになった(図2)。

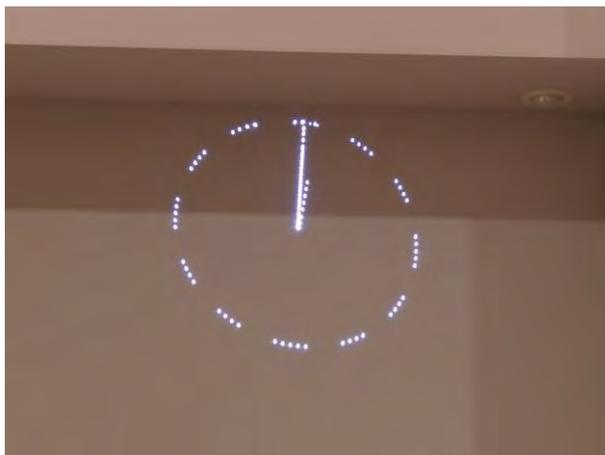


図2: ポッケルスセルを追加したことによるプラズマ on/off 制御の例

デバイス開発と並行して、安全性データの取得のために、上記の新たに開発した3次元表示デバイスを用いて発生する空気プラズマの近赤外可視紫外領域における詳細なスペクトル測定を行い、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た。本データから人体に対する安全基準値を満たす条件の算出をおこなった。さらに、本結果から、より性能を向上させた安全機構を考案、製造するとともに、本安全機構の3次元表示デバイスへの導入・作動実験も行った。

さらに、平成21年度以降になり、3次元表示デバイスの表示領域の更なる拡大を目指し、プラズマ光の焦点距離の延伸を目的に、異なる複数の波長の光源を同一光路に挿入し、集光した場合のプラズマ生成しきい値へ与える影響を確認する実験を行った。この実験を踏まえて集光レンズ系を見直し検討を行った結果、焦点距離10mレベルのレンズ系が妥当だということが判明し、その構築のためのレンズ系構築のための1/2モデルの設計・作成を行い、その性能をシミュレーションで評価した。

上記のような焦点距離の延伸による表示領域の拡大と平行して、描画画質を向上させるために、描画形成部の光走査系を高速に走査するためのプログラムの設計開発を行った。具体的には、描画形成部の光走査系で、アクチュエータの特性を含めた立体映像の高速描画特性を向上させるための次の3事項に焦点を当て、リニアやサーボ機構、ボイスコイルモータを利用した研究開発を進めた。

- ①アクチュエータの特性を考慮したシミュレータの構築
- ②制御システムの小型化
- ③描画特性を考慮したフィードフォワード制御(必要に応じて視認性を考慮)

3次元空中表示デバイスのシミュレータとしての閉鎖型ディスプレイの開発

上記の空中表示型に加え、平成20年度には、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の研究を開始し、ディスプレイ媒体中での発光点生成現象について検討を行った。この検討の結果、発光点生成に適していると推測される新しいレーザー光源を選定し、それをを用いた予備的な実験により、発光点の生成を確認した。また、レーザー光の偏光状態を制御することで、媒体中での発光点コントラストを向上させられるという知見を得た。さらに、本光源用の光学系および走査系の設計・製造および本光源の組み込みを行い、発光点生成現象の評価を行った。また、3次元スクリーンとしての媒質の設計・

製作に取り組み、レーザー光源の性能評価も合わせて行った。さらに、閉鎖型 3D ディスプレイのフルカラー化、多色化を将来的に実現可能にするための基礎研究を行った。

この結果を受け、平成21年度後半には空中型のシミュレータとして、閉鎖型の3次元ディスプレイデバイスのプロトタイプを完成することに成功した。そして、そのプロトタイプを、2010年1月に開催された、コンシューマ電子機器の世界最大規模の展示会 CES2010、さらにその後2010年4月に開催された映像機器の世界最大規模の展示会NAB2010に展示し、本プロジェクトで開発中の3次元表示デバイスを世界に向けて公開することができた。

さらに、展示会に出展するためのシステム構築を目的に、閉鎖型 3D ディスプレイの筐体、光学系等の設計・製作を行った。その結果、前年度試作した表示デバイスよりも明るく鮮明に3次元コンテンツを表示可能な装置となった。図3に、開発した閉鎖空間型3次元表示デバイス(Super Real Vision:SRV)を示す。図4に、このSRVを海外の展示会で出展した様子を示す。

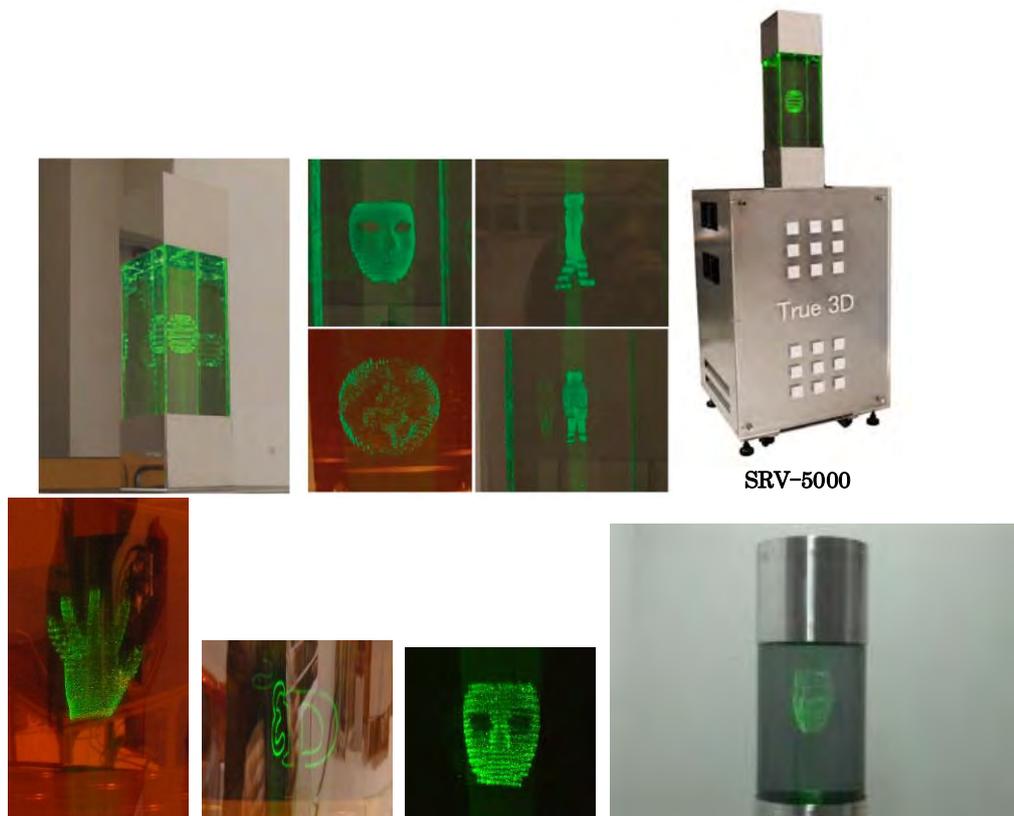
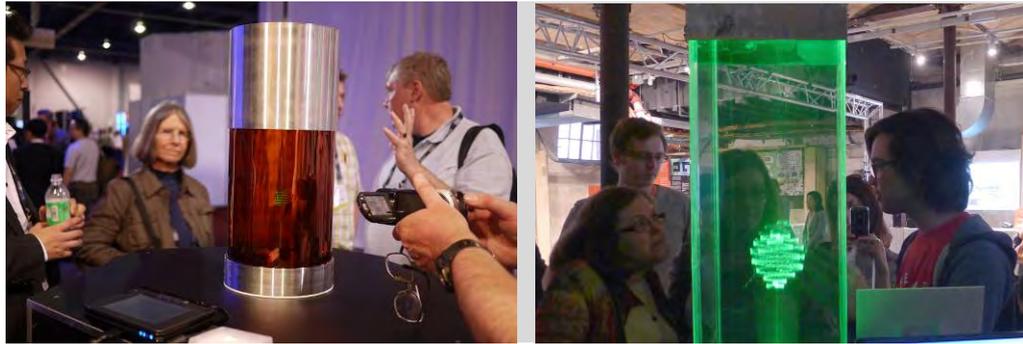


図3: 閉鎖空間型3次元表示デバイス(Super Real Vision:SRV)の外観と表示例



(a) NAB2010, Las Vegas

(b) Future Seine 2011, Paris

図4: 海外の展示会での出展の様子

(2) 研究成果の今後期待される効果

本プロジェクトで開発した3次元表示デバイスは、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、点列で表現する本デバイスでは、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、閉鎖型の表示デバイスである 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、例えば、南カリフォルニア大学で開発された360° light field display 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・入力する必要があり、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。

閉鎖型のSRV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。

4.2 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(慶應義塾大学、東京大学、愛知工科大学)

(1) 研究実施内容及び成果

従来より、映像情報メディア処理、バーチャルリアリティ等の分野において、3次元コンテンツの処理・解析・提示等に関する技術の研究が盛んであったが、これらは、従来の2次元

表示デバイスを前提にしているものが殆どであった。本研究課題では、当該3次元表示デバイスの利用を前提とした、新しい3次元コンテンツ処理・解析・提示といった、3次元コンテンツ制作基盤技術の整備が必須であり、当該3次元表示デバイスの利用を前提とした、新しい3次元コンテンツ処理・解析・提示に関する基礎的な研究を行った。これと同時並行に、3次元表示デバイス研究ユニットと密接に連携を取りながら、3次元表示デバイスシミュレータ、3次元コンテンツデザインツール、インタラクティブ表示機能の実現、などに向けた研究を行った。

慶大グループでは、表示すべき3次元コンテンツの取得のために、多視点カメラや距離画像センサを利用した3次元形状計測手法の研究を追求した。その一つとしては、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。図5に、4台のカメラで撮影した映像からリアルタイムで距離画像を生成し、距離画像を利用して4台のカメラの補間映像を生成した例を示す。

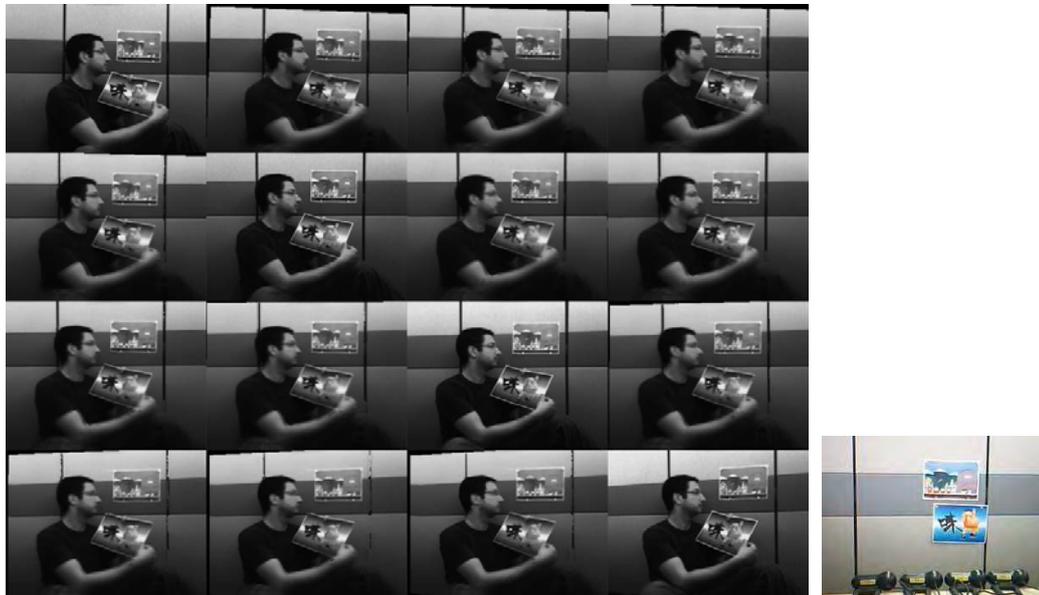


図5: 4台のカメラで撮影した映像からリアルタイムで距離画像を生成し、距離画像を利用して4台のカメラの補間映像を生成した例

一方で、複数カメラをカメラキャリブレーション無しで利用して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。また、動きのある対象の3次元形状をリアルタイム・オンラインで復元するための研究を進めた。動きのある対象として人体動作に着目し、人体3次元スキャンデータから特徴点を抽出する手法や、手の動作解析の手法について検討した。

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。

また、3次元表示デバイスが実用化されたことを想定して、表示する3次元デジタルコンテンツを現実シーンの中で効果的に表示できるようにするための拡張現実技術に関する研究を追求した。複数カメラの同時利用により得られるコンテンツを効果的に表示する手法や、プロジェクタカメラシステムによる映像表示の性能改善に関する研究、さらに複合現実感の

ためのカメラトラッキング技術の研究、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。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。

さらに、3次元表示デバイスのための要素技術として、入力さ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、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。

さらに、獲得した3次元形状を効果的に3次元表示するための手法についても様々な検討を進めた。特に、閉鎖空間型3次元表示デバイスを用いて、空中3次元表示デバイスのコンテンツの視認性を向上させる手法について研究を進め、図6に示すようなポリゴンメッシュで表現されたデータを断面点列化するための手法を開発した。

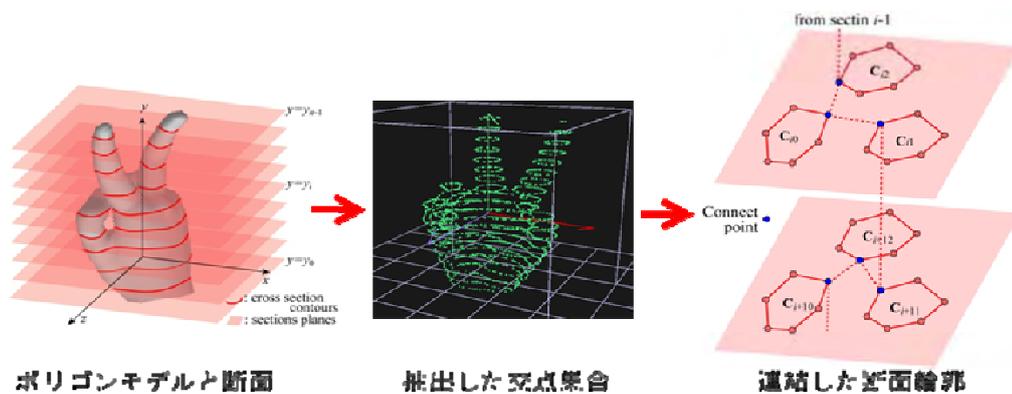


図6: 閉鎖型 3D ディスプレイのためのポリゴンモデル断面点列化手法

さらに、得られた3次元形状を効果的に3次元表示するための手法についても検討を進めた。特に、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し、得られた3次元形状を本研究プロジェクトで開発する3次元表示デバイスに効果的に表示するための点群生成法の研究を進めた。同時に表示できる点群数を表示デバイス側の制約条件とし、連続して表示する点群間の距離や移動方向に制限があることを考慮した点群生成方法や、同時に、人間の視覚認知に関する知見を考慮して、より人間に知覚しやすい点群生成法についての研究を進めた。また、人間の視覚システムにあるサッカード現象を利用した新しい3次元空間ディスプレイにおける知覚特性に関する研究を行い、人間の視覚認知特性に関する研究を進めた。

一方、表示可能なコンテンツの品質に応じて、ディスプレイハードウェアに要求される性能について検討した。特に、ペンタブレット入力インタフェースを装備し、ユーザが簡易に入力した図形を3次元コンテンツとして、適切な点群描画シーケンスに変換するための手法を開発した。さらに、動きのある動画コンテンツを制作するためのインタフェースについて検討を進めた。特に、文字情報の表示を可能にするために、フォントデータを点群シーケンスに変換する手法の実現など、コンテンツ制作の基盤になる要素技術の整備を進めた。文字の大きさやプラズマ点列の間隔、各文字の表示順などを考慮して、人間が文字列を安定して認知できる描画手法に関する研究を行った。文字列描画結果を図7に示す。



図7: 文字情報の描画結果

さらに、アニメーション作成機能や、一般的なCG作成ソフトウェアやレーザディスプレイ用コンテンツ作成アプリケーションからのインポート機能を持つ3次元コンテンツ作成ツール(CAT: ContentsArrangementTool)の開発を進めた。本ツールの作成画面と作成したコンテンツの表示例を図8に示す。

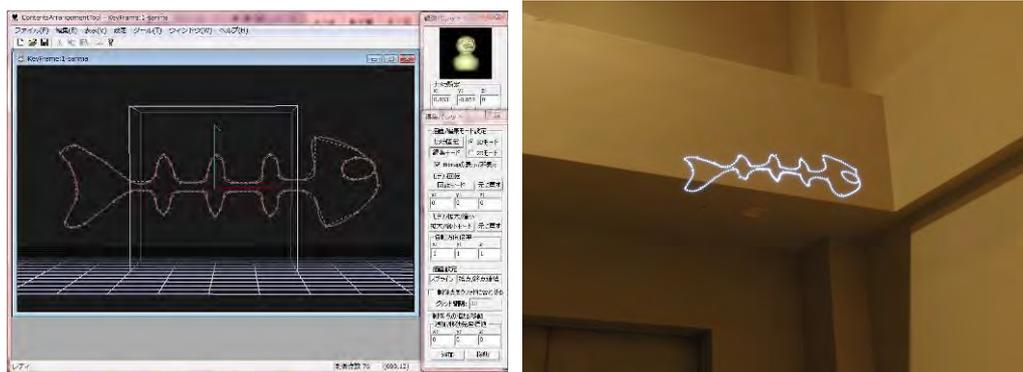


図8: ContentsArrangementTool の作成画面と描画結果

一方、**東大グループと共同で**、3Dディスプレイの特徴を引き出し、3次元であることの意義を効果的にアピール可能な3次元コンテンツ生成法の研究を進めた。その例として、ディスプレイを見る方向によって全く異なる複数の2次元図形を観察できるようにするための3次元コンテンツ生成法を開発した。

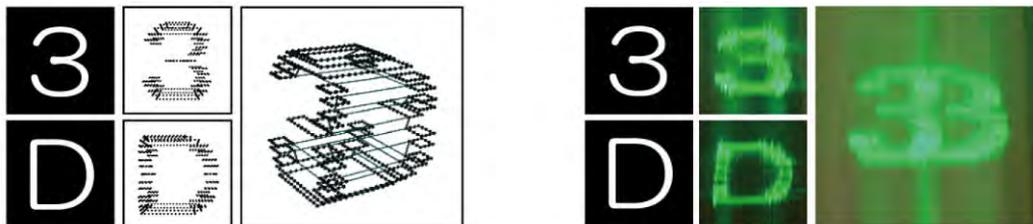


図9: 複数の2次元図形が観察可能な点列の生成例と、空間表示装置による表示例

距離画像センサによる手の形状計測データを利用した「じゃんけん認識システム」を実装し、これと閉鎖型 3D ディスプレイを組み合わせたじゃんけんシステムを構築した。さらに、3次元表示デバイスが実用化されたことを想定して、距離画像センサにより入力された形状データに応じて音などのコンテンツを変化させることがインタラクティブに可能なエンタテインメントシステムを構築した。

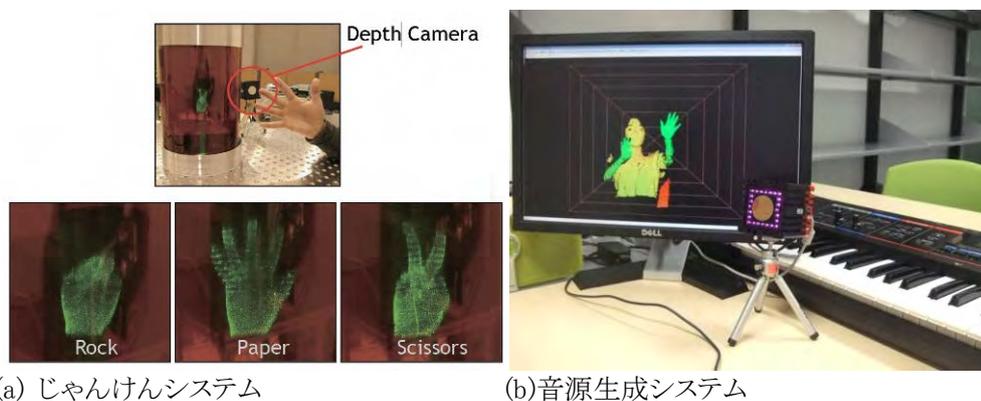


図10: 動作によりインタラクティブなコンテンツ生成を可能にするシステムの実装例

また、このシステムにおいて、距離画像センサにより入力された対象形状をリアルタイムで空間表示可能にするための手法について検討した。距離画像センサから得られるデータは、対象物体表面形状を表現する複数点群である。しかし、本プロジェクトで開発している3D表示デバイスのハードウェアの制約により、この複数点群を全てを計測された位置に応じて自由に表示することは困難である。そこで、対象となる形状に応じて、その形状がより視覚的に理解しやすくなるように、入力された点群データから表示点列を再生成する手法を検討した。

まず、手形状を対象にしたものとして、手の距離画像から、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を構築した。

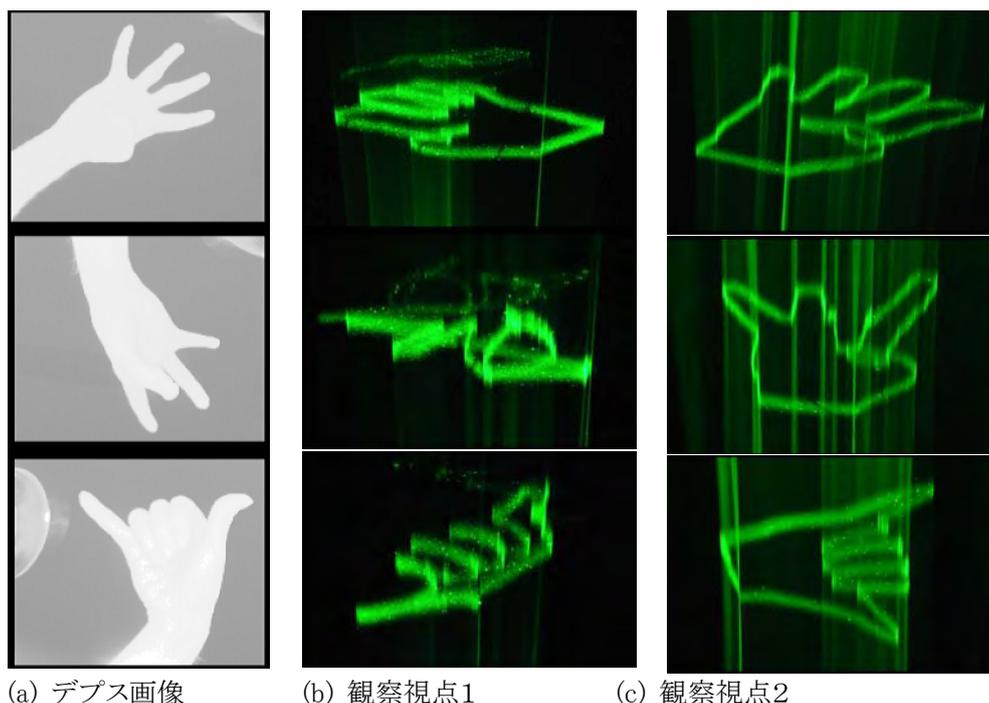


図11：手形状描画システムによる手形状描画例

さらに愛知工科大学と共同で、プラズマ発光時の爆裂音の解析を行った。平成 21 年度には、この解析結果を利用して、爆裂音をコンピュータで合成する実験も行った。このような解析の結果を利用して、爆裂音を提言するための改善の検討を行った。

東大グループでは、3 次元データの高速処理や柔軟性を有する光学系の検討や、レーザープラズマ方式との連携や棲み分けを考慮した空中像ディスプレイや点群ディスプレイの開発、慶大グループと連携してのコンテンツ制作ツールの開発などに取り組んだ。

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。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 (図 12)。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、その特性を検討した。3 次元空間から、多視点かつ多焦点の情報を入力することには成功したが、これをレーザープラズマの走査系として、機械的ではなく電氣的に焦点距離を制御する仕組みに転用するには、強いエネルギーに対する耐性が不足するなどの問題点が明らかになった。そこで、高電圧駆動する PLZT を用いた電氣的な焦点距離制御についても検討し、デバイスの基本特性を明らかにした。しかし、大規模な空中像を描くには焦点変動の幅が小さく、ただちに転用できるものではないという結論に達した。

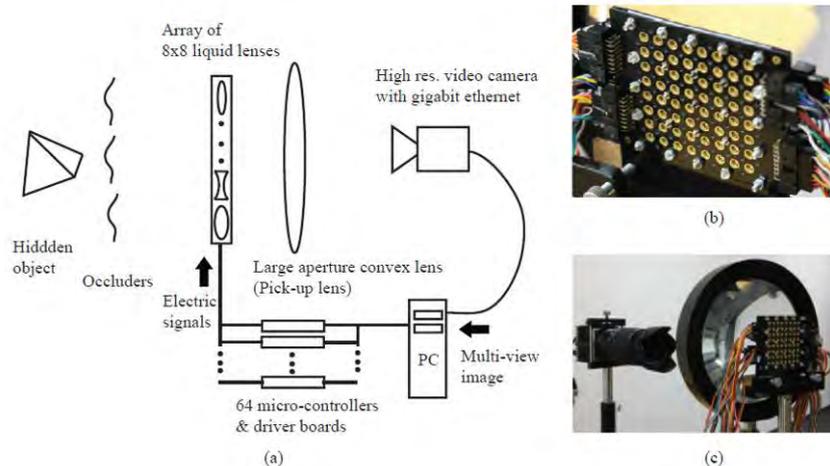


図 12 可変焦点レンズアレイによる 3 次元情報の取得

また、レーザープラズマ方式との連携や棲み分けを考慮した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(図 13)。しかし、レンズによる実像を用いる方法では、可変焦点レンズ系なども含めて検討も行ったが、レーザープラズマ方式に匹敵する大きなスケールでの実装が困難なことや、屋外において太陽光をフレネルレンズ系が集光してしまうなどの問題点があり、室内デスクトップ環境での併存が適当であるという判断に至った。

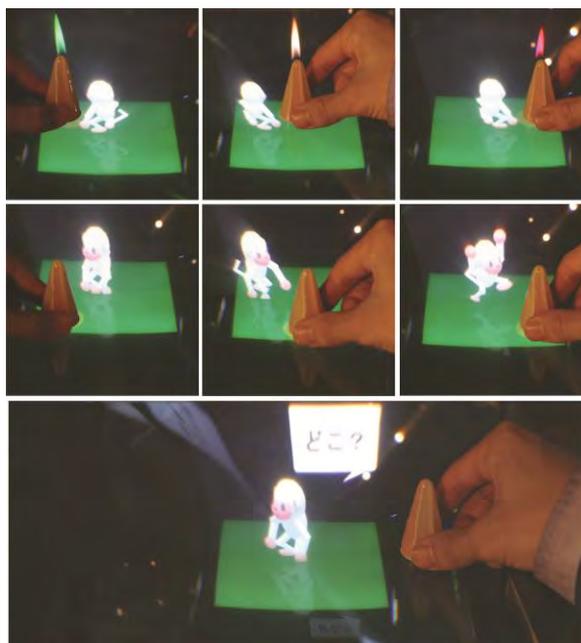
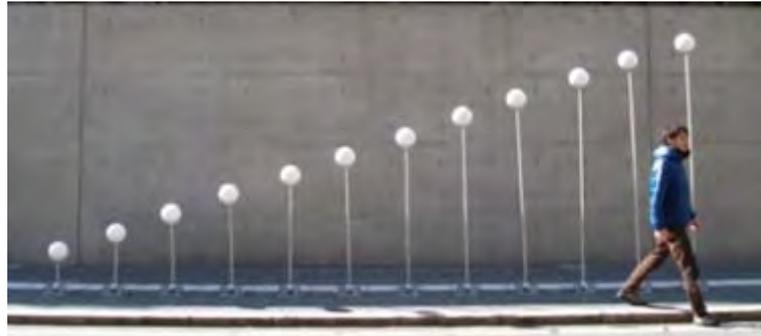
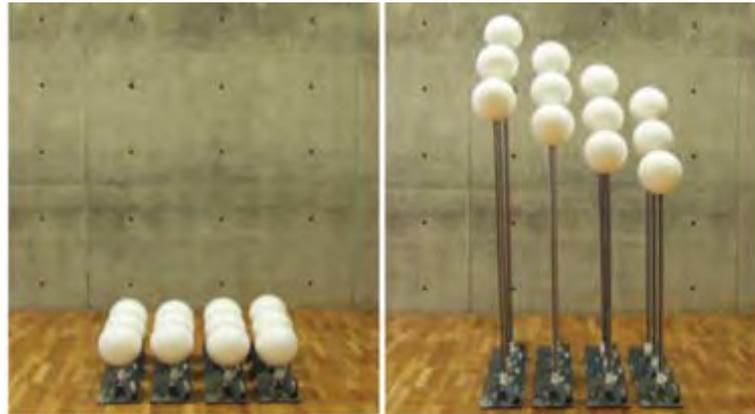


図 13 実物体と空中像が混在する複合現実ディスプレイ

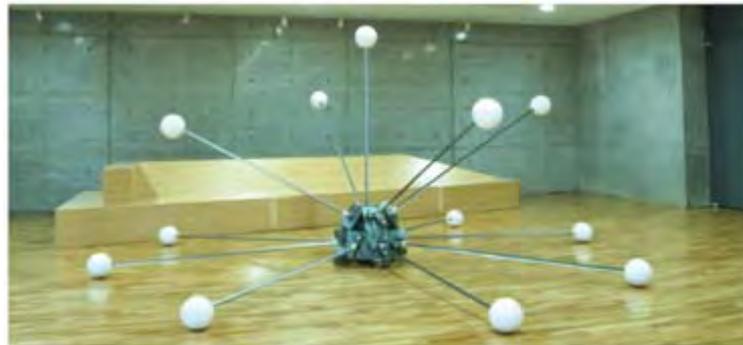
また、レーザープラズマ方式で採用されている点群による空間的な表現手法を、別の機構でも応用展開するための点群ディスプレイについての検討も行った。1つは、高さ 12cm のコンパクトな筐体から 300cm まで支持棒の伸縮を可能にしたリール式アクチュエータの提案と、それを用いた空間的点群ディスプレイ KineReels の実現である(図 14)。原理的には、巻き尺にモータを取り付けて制御するものであるが、強度を確保するための工夫や多数のアクチュエータを一括して無線で制御することを可能にした。



(a) 屋外における点群提示



(b) 点群による面の表現



(c) 放射状点群

図 14 リール式アクチュエータによる点群ディスプレイ(KineReels)

もう1つは、点群の発色制御を紫外光を使って行う Photochromic Sculpture である(図 15)。紫外線の照射に反応する化学材料であるスピロピランなどを透明な板に点状に塗布して積層し、2次元の紫外線パターンを動的に照射することによって空間的な点群を浮かび上がらせる。紫外線を含む太陽光を利用した屋外への展開や、建築物のスケールでの実装などを今後の課題として挙げている。以上、2種類の点群ディスプレイは、レーザープラズマ方式のために作成されたコンテンツを、異なる方式においても提示可能にするものである。

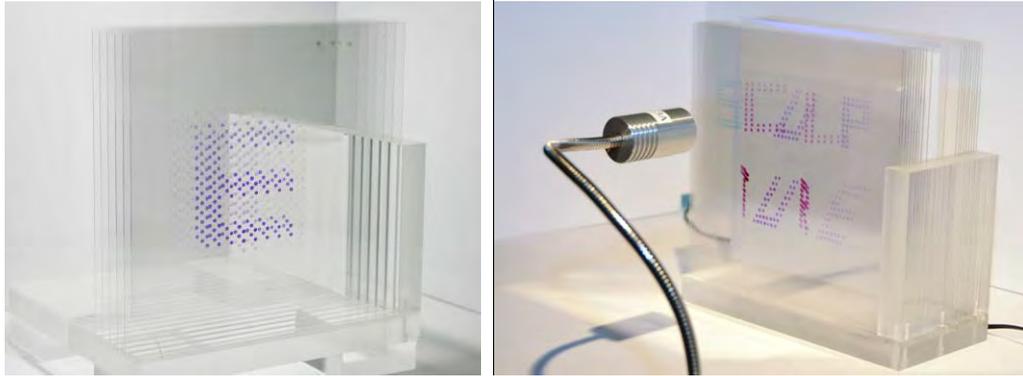


図 15 紫外線による点群の発色制御 (Photochromic Sculpture)

さらに、慶大グループと共同で、点群コンテンツの生成技術について検討した。簡易な文字情報の入力に対して、フォントデータから点群を自動生成し、走査系の負担を抑える工夫を行った(図 16)。この際、連続的な走査において、点の描画をオフにするモードの実装が必要であることをコンテンツグループからハードウェアグループへのフィードバックとし、以降のシステムの実装に取り入れられた。また、空間的な点群に対して、特定の方向から観察した時にだけ意味のある情報を見出すことができるアート作品として、「United Points」を制作し、展示会やテレビ取材を通じて高い評価を得た。

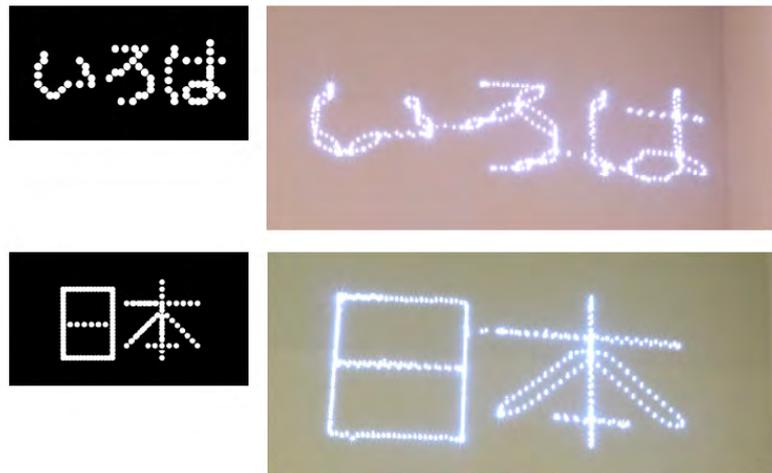


図 16 フォントデータからの点群生成

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。

(2)研究成果の今後期待される効果

本研究プロジェクトで開発した3次元表示デバイスは、他に類の見ないものであるため、このデバイス特有の性質を考慮したコンテンツ表示技術の研究開発は、今後、本デバイスが実用化されていくために、更に重要性を増すと予想される。また、本デバイスが「点列」を用いた表示であることから、「点ベース」の可視化・レンダリングのための手法が重要であることから、CGによる可視化の分野で古くから研究されている「Point Based Rendering」の研究成果を応用可能なデバイスとして本プロジェクトで開発した3次元表示デバイスを位置づけることができる。つまり、Point Based Rendering の成果を実現可能なデバイスとして、よりこの分野の研究を活性化できることが期待できる。そして、点に基づくレンダリング技術を利用した新たな情報可視化・表示技術へと発展出来る可能性がある。

一方で、本プロジェクトで開発した3次元表示デバイスをメディアアートに活用する可能性について、複数のアーティストから打診されることがあった。本プロジェクト研究期間内には具体的成果として実現できなかったものの、今後、本研究成果を生かして、新たなメディアアート作品や展示が生まれることも大いに期待できる。

4.3 マーケティング研究ユニット(電通)

(1)研究実施内容及び成果

当該デバイスは、大空に広告を浮かび上がらせることから医療応用やゲームなどのデスクトップサイズまでをカバーし得るものであり、それぞれの規模に応じ、さまざまな社会的需要が存在すると考えられる。そこで、3次元コンテンツに関する社会的な要求・期待について、その市場的・ビジネス的価値等を中心とした需要調査を行い、さらにその調査を(1)のデバイス開発や(2)の3次元コンテンツの制作基盤技術へフィードバックし、より実用的・社会的に意義の高い研究開発を実現することを目的として下記のような検討を進めた。

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的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た。

まず、屋外広告についての実用化へ向けた検証を行ってきた。屋外広告は、まさに代表的なものとしてのビルの上にあるネオン広告塔やビルの壁にかかっている大型のポスターであるビルボードや懸垂幕、あるいは大型のビジョン、それに映画館の本編が始まる前のシネアドや野球やサッカーの競技場の常設の看板などもこの範疇である。最近では六本木ヒルズやミッドタウンなどに代表される大型の商業施設を丸ごと媒体と捕らえて、施設中をジャックしてしまうやり方や大型のショッピングモールや流通店舗の媒体化なども進んでいる。また、従来型の「看板」「ポスター」を超えて、昨今伸張するインターネット技術の向上及び液晶ディスプレイの価格低下により、デジタルサイネージと呼ばれる電子看板事業が注目を浴びている。このデジタルサイネージは、時間・天候その他状況に応じて放映する広告／コンテンツをインターネットを通じて変えることが出来るという点で画期的であり、従来の看板・ポスターと大きく異なる新たな特徴を持った媒体として注目されている。これらのOOH媒体を3Dで表現し、普段目にしない広告表現が実現できる可能性が生まれると、新しいスタイルの屋外広告の展開ができると考え、利用方法、展開場所、使用条件などを検証し、実現性に向けた検討を行った。

(2)研究成果の今後期待される効果

本研究で研究開発した3次元ディスプレイの表示サイズ、色彩、動画対応等の自由度を高めると共に、設置環境を考慮した安全性を確保し、広告としての法律および規制を検討し整備し、確立することができれば、本研究成果を屋外広告に実用化することは十分に可能であると考え。例えば、屋外の使用を前提に考えるのであれば、一般的な繁華街の広告ボード(ビル壁面や低層ビルの屋上に設置されているもの)が3×4メートルサイズとなっておりますので、この規模での描画は、本研究成果により可能であることが示されていると考えられ、今後の研究の進展により、実用の可能性が広がっていくものと推察される。

§ 5 成果発表等

(1)原著論文発表 (国内(和文)誌8件、国際(欧文)誌40件)

1. 著者、論文タイトル、掲載誌 巻、号、発行年

1. Hideaki Uchiyama, Hideo Saito, "Position Estimation of Solid Balls from Handy Camera for Pool Supporting System", *Advances in Image and Video Technology, Lecture Note in Computer Science* 4319, pp.393-402, Dec. 2006
2. 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ビ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)
3. Yuji Oyamada, Hideo Saito, "Focal Pre-Correction of Projected Image for Deblurring Screen Image," *Proceedings of IEEE International Workshop on Projector-Camera Systems (PROCAMS2007)*, June 18, 2007
4. 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.
5. 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).
6. Chutisant Kerdvibulvech, Hideo Saito Real-Time, "Guitar Chord Recognition System Using Stereo Cameras for Supporting Guitarists,"

ECTI TRANSACTIONS ON ELECTRICAL ENG., ELECTRONICS,
AND COMMUNICATIONS VOL.5, NO.2, pp.147-157, August 2007.

7. Songkran Jarusirisawad, Hideo Saito, "Free Viewpoint Video Synthesis based on Natural Features Using Uncalibrated Moving Cameras," ECTI TRANSACTIONS ON ELECTRICAL ENG., ELECTRONICS, AND COMMUNICATIONS VOL.5, NO.2, pp.181-190, August 2007.
8. Songkran Jarusirisawad, Hideo Saito, "Diminished Reality Via Multiple Hand-Held Cameras," Proc. First ACM/IEEE International Conference on Distributed Smart Cameras, ICDSC2007, pp.251 - 258, 25-28 Sept. 2007.
9. 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).
10. 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)
11. 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.
12. 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.
13. 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.
14. 小山田雄仁, 斎藤英雄, "プロジェクトタ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)
15. Vincent Nozick, Hideo Saito, "Online Multiple View Computation for Autostereoscopic Display," Advances in Image and Video Technology, LNCS 4872, pp. 399-412, (2007.12)
16. Chutisant Kerdvibulvech, Hideo Saito, "Vision-Based Guitarist Fingering Tracking Using a Bayesian Classifier and Particle Filters," Advances in Image and Video Technology, LNCS 4872, pp.625-638, 2007.
17. 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).
18. Osamu Kagiya, Yukio Sato, and Hideo Saito, "Rangefinding system using hybrid pattern projections," Proceedings of the SPIE, Volume 6805, pp. 680507-680507-9 (2008)
19. 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)
20. 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)
21. 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.
22. 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.
 23. 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.
 24. 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.
 25. 辛 貞殷, 小沢 慎治, 三次元人体スキャンデータからの衣服製作のための特徴点抽出, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.J91-D No.4 pp.1103-1114, 2008.
 26. Songkran Jarusirisawad, Hideo Saito, 3DTV View Generation Using Uncalibrated Cameras, Proceedings of 2nd International Conference on 3DTV (3DTV-CON08), pp.57-60, 2008.
 27. 榎本暁人, 斎藤英雄, 複数のハンディカメラの協調利用による遮蔽物体除去映像のオンライン生成, 映像情報メディア学会誌, Vol.62,No.6, pp.901-908,2008
 28. Vincent Nozick, Hideo Saito, On-line Free-Viewpoint Video: From Single to Multiple View Rendering, International Journal of Automation and Computing, Volume 5, Issue 3, pp. 257-265, July 2008.
 29. François de Sorbier, Vincent Nozick and Venceslas Biri, GPU rendering for autostereoscopic displays, Proceedings of Fourth International Symposium on 3D Data Processing, Visualization and Transmission (3DPVT08), pp.205-212, 2008
 30. Yuko Uematsu and Hideo Saito, Visual Enhancement for Sports Entertainment by Vision-Based Augmented Reality, Advances in Human-Computer Interaction, Volume 2008 (2008), Article ID 145363, 14 pages.
 31. Hideaki Uchiyama and Hideo Saito, AR Supporting System for Pool Games Using a Camera Mounted Handheld Display, Advances in Human-Computer Interaction, Volume 2008, Article ID 357270, 13 pages.
 32. Chutisant Kerdvibulvech and Hideo Saito, Guitarist Fingertip Tracking by Integrating a Bayesian Classifier into Particle Filters, Advances in Human-Computer Interaction, Volume 2008 (2008) , Article ID 384749, 10 pages.
 33. Yuji Oyamada and Hideo Saito, Defocus Blur Correcting Projector-Camera System, Proc. Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems (ACIVS2008), Lecture Notes in Computer Science 5259, pp.453-464, 2008
 34. Hiroyo Ishikawa, Hideo Saito, Point Cloud Representation of 3D Shape for Laser-Plasma Scanning 3D Display, Proceedings of the 34th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, pp.1913-1918, 2008
 35. Hiroyo Ishikawa, Hideo Saito, Closed-line based representation of 3D shape for point cloud for laser-plasma scanning display, Proceedings of 18th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT2008), pp.28-35, 2008.
 36. Reiko Aruga, Hideo Saito, Hideyuki Ando, Junji Watanabe, Study on perceptual properties of images presented by Saccade-based display --- Asynchronous and depth perception, Proceedings of 18th International

- Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT2008), pp.254-257, 2008.
37. Vincent Nozick, Ismael Daribo, Hideo Saito, GPU-based photometric reconstruction from screen light, Proceedings of 18th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT2008), pp.242-245, 2008.
 38. Takuro Wada, Takafumi Koike, Takeshi Naemura, Optically multilayered light field display for enhancing depth of field, accepted to SPIE Stereoscopic Displays and Applications XX, Paper 7237-68 (2009.1).
 39. 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, (2009.5)
 40. Songkran Jarusirisawad and Hideo Saito, "3DTV View Generation Using Uncalibrated Pure Rotating and Zooming Cameras," the Special Issue on Advances in Three Dimensional Television and Video of the Journal Signal Processing: Image Communication, Vol.24, pp. 17-30, 2009
 41. Yuko Uematsu, Hideo Saito, "Multiple Planes Based Registration Using 3D Projective Space for Augmented Reality," Journal of Image and Vision Computing, Vol.27, pp.1484-1496, 2009.
 42. Hiroyo Ishikawa, Hideo Saito, Billboard representation for Laser-Plasma Scanning 3D Display", ASIAGRAPH 2009, PROCEEDINGS Vol.3 No.9, pp.41-46, 2009.
 43. Songkran Jarusirisawad, Hideo Saito, Vicent Nozick, Real-Time Free Viewpoint Video from Uncalibrated Cameras Using Plane-Sweep Algorithm, The 2009 IEEE International Workshop on 3-D Digital Imaging and Modeling (3DIM2009), 2009 IEEE 12th International Conference on Computer Vision Workshops, pp. 1740-1747, 2009.
 44. 李 同夏, 小池 崇文, 高橋 桂太, 苗村 健: ``流体レンズアレイを用いた光学焦点と合成焦点の制御'', 映情学誌, vol. 64, no. 4, pp. 585 -- 593 (2010.4).
 45. Hayato Watanabe, Hiroyo Ishikawa, Satoshi Aoki, Seiji Suzuki, Hideo Saito, Satoru Shimada, Tatsumi Kimura, Masayuki Kakehata, Yuji Tsukada and Hidei Kimura, "Vision-based Interaction with Aerial 3D Display," International Conference on 3D Systems and Applications 2010 (3DSA 2010), pp.193-196, May, 2010.
 46. Hiroyo Ishikawa, Takeki Ihara, Takuya Ujihara and Hideo Saito, "Interactive Sound Creation System with Depth Camera," 20th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT2010), Dec.2010.
 47. 有賀玲子, 斎藤英雄, 安藤英由樹, 渡邊淳司, "Saccade-based Display のためのコンテンツ設計と印象評価," 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 第 15 巻, 第 3 号, pp.491-494, Sept. 2010.
 48. Hiroyo Ishikawa, Hayato Watanabe, Satoshi Aoki, Hideo Saito, Satoru Shimada, Masayuki Kakehata, Yuji Tsukada, Hidei Kimura, "Surface representation of 3D object for aerial 3D display," Proceedings of SPIE Volume 7863, 78630X (2011) (DOI: 10.1117/12.872397)

(2)その他の著作物(総説、書籍など)

1. 苗村 健: ``序論 3次元映像技術の魅力'', 立体視テクノロジー ―一次世代立体表示技術の最前線―, NTS, pp. 1 -- 18 (2008.10) [ISBN978-4-86043-155-6]
2. 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'', 立体視テクノロジー ―一次世代立体表示技術の最前線―, NTS, pp. 356 -- 362 (2008.10)

[ISBN978-4-86043-155-6]

3. 木村秀尉、相田 繁夫、浅野明、Songkran Jarusirisawad、島田 悟、欠端 雅之、佐々木史雄、木村 龍実、屋代 英彦、森 雅彦、鳥塚 健二: ”レーザー誘起プラズマからの発光現象を用いた空間立体描画装置の開発”, 立体視テクノロジー 一次世代立体表示技術の最前線一, NTS, pp. 333 -- 339 (2008.10) [ISBN978-4-86043-155-6]
4. 斎藤英雄、レーザープラズマによる空間立体描画、日本バーチャリアリティ学会誌、2011年

(3)国際学会発表及び主要な国内学会発表

上記の原著論文としてリストに加わっている査読審査の入る Proceedings 論文を発表した会議(32件)を含む。

① 招待講演 (国内会議 11 件、国際会議7件)

1. 発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、年月日

1. 苗村 健(東大), 実世界に情報を宿す拡張現実型情報提示手法の検討, 情報社会のデザインシンポジウム, 信学技報 MVE2006-63, vol. 106, no. 396, pp. 1- 4 (2006.11).
2. 斎藤英雄(慶大), コンピュータビジョン技術を用いた3次元映像生成と表示, 画像電子学会 第228回研究会-高臨場感ディスプレイフォーラム2006-, 2006年11月
3. 木村 秀尉、浅野 明(エリオ)、島田悟(産総研、講演担当)、欠端 雅之、佐々木 史雄、木村龍実、屋代英彦、森 雅彦、鳥塚 健二(産総研), 三次元空間描画装置, 日本光学学会主催 Optics & Photonics Japan (OPJ) 2007 シンポジウム「高輝度ディスプレイ技術」(2007年11月 大阪大学)
4. Hideo SAITO(慶大), Computer Vision for 3D Media Creation and Presentation, ASIAGRAPH Forum 2007, May 24-25, Shanghai, China
5. Hideo Saito(慶大), Hidei Kimura(エリオ), Satoru Shimada(産総研), Takeshi Naemura(東大), Jun Kayahara(電通), Technology to Display 3D Contents into Free Space, ASIAGRAPH 2007 in Tokyo, pp.119-122, Oct. 2007.
6. Hideo Saito(慶大), Computer Vision for Virtual/Mixed Reality: Trends and Perspectives, Proc. 2nd Korea-Japan Joint Workshop on Pattern Recognition (KJPR2007), pp.45-50, Sendai, Oct. 2007.
7. 斎藤英雄(慶大), 新しい3次元映像生成・表示技術とその応用—新映像の世界を拓く, 高柳記念未来技術フォーラム, 2008
8. 木村 龍実、島田 悟、欠端 雅之、森 雅彦、鳥塚 健二(産総研)、木村秀尉、相田 繁夫、浅野明(エリオ)、Songkran Jarusirisawad(慶大), 体積走査型三次元ディスプレイに関する我々の取り組み, 高臨場感ディスプレイフォーラム 2008, 映像情報メディア学会
9. 苗村 健(東大), [招待講演]Computational Photography に基づく裸眼立体ライブ映像システム, 映情メ研報, 3DIT2008-67, vol. 32, no. 44 (2008.10).
10. 斎藤英雄(慶大), スポーツ映像を健康的に楽しむための 3 次元映像メディア技術, 日本 VR 学会サイバースペースと仮想都市シンポジウム, 2008.
11. 斎藤英雄(慶大), 多視点カメラによる 3 次元映像生成と仮想現実表示, テレコム技術情報セミナー, 2009年4月
12. Hideo Saito(慶大), Vision-based 3D Media Synthesis and Display, 2009 Workshop on Computer Vision, Peking University, Beijing, China, July 8-9, 2009.
13. 斎藤英雄、石川尋代(慶大)、空間表示ディスプレイのための3次元コンテンツ生成、URCF立体映像 WG セミナー「立体映像の新しい利用形態」、(財)テレコム先端技術研究支援センター 5F 会議室、2010年9月2日

14. 斎藤英雄(慶大)、多視点映像処理技術とその複合・拡張現実感への応用、電気四学会 関西支部 専門講習会「立体映像技術の現在と未来」、中央電気倶楽部 513 号室 (大阪市北区堂島浜 2-1-25)、2010 年 10 月 18 日
15. Hideo Saito (慶大), 3D Visual Media Synthesis and Analysis for Auto-Stereoscopic Display and Aerial 3D Display, Invited Talks at Institute of Computer Graphics, Johannes Kepler University Linz, Linz Austria, via internet from Keio University, December 15th, 2010.
16. Hideo Saito(慶大), 3D Visual Media for Mixed and Augmented Reality, The 9th International Conference on Virtual-Reality Continuum and Its Applications in Industry (VRCA2010), CO-EX, Seoul, December 12, 2010.
17. Hideo Saito(慶大), Computer Vision for 3DTV and Augmented Reality, the 9th International Symposium on Ubiquitous Virtual Reality (ISUVR 2011), 2011 年7月 2 日
18. 藤代一成:”三次元ディスプレイのためのリソースアウェア・レンダリング”, 日本色彩学会視覚情報基礎研究会第 8 回研究発表会論文集, 慶應義塾大学日吉キャンパス, 2011 年 6 月 18 日, 招待講演 CSA--FVI--2011-1 (pp. 3-5)

② 口頭発表 (国内会議 35 件、国際会議29件)

1. 発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、年月日

1. 苗村 健(東大):“技術と芸術を結ぶ光学的アプローチ”, 第12回ビジュアリゼーションカンファレンス(2006.10).
2. 加藤 紀雄, 苗村 健(東大): “2つの結像系を用いた空間立像ディスプレイの基礎検討”, 映像メディア処理シンポジウム(IMPS2006), I2-02 (2006.11).
3. Hideaki Uchiyama, Hideo Saito(慶大), “Position Estimation of Solid Balls from Handy Camera for Pool Supporting System”, Proc. of 1th IEEE Pacific-Rim Symposium on Image and Video Technology (Lecture Note in Computer Science 4319,Advances in Image and Video Technology), pp.393-402, Dec. 2006、新竹、台湾.
4. Chutisant Kerdvibulvech, Hideo Saito(慶大), “Real-Time Guitar Chord Estimation By Stereo Cameras For Supporting Guitarists”, International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT2007), (IEICE technical report. Image engineering 106(448),147-152), 2007 年 1 月、バンコク.
5. Songkran Jarusirisawad, Hideo Saito(慶大), “New Viewpoint Video Synthesis in Natural Scene Using Uncalibrated Multiple Moving Cameras,” (IEICE technical report. Image engineering 106(448),25-30), 2007 年 1 月、バンコク、タイ。
6. 内山英昭, 斎藤英雄(慶大)、”平面性に基づくオンラインキャリブレーションを用いたハンディカメラ入力によるビリヤード戦略発想支援システム”、動画像処理実利用化ワークショップ、2007 年 3 月
7. Yuji Oyamada, Hideo Saito(慶大), “Focal Pre-Correction of Projected Image for Deblurring Screen Image,” IEEE International Workshop on Projector-Camera Systems (PROCAMS2007), Mineapolis, USA, June 18, 2007
8. Chutisant Kerdvibulvech, Hideo Saito(慶大), “Vision-Based Detection of Guitar Players' Fingertips Without Markers,” 4th International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualisation (CGIV '07), タイ, バンコク, August 2007.
9. Yuichi Taguchi, Takeshi Naemura(東大)、”Rendering-Oriented Decoding for

- Distributed Multi-View Coding System,” IEEE Intern. Conf. Image Process. (ICIP2007), San Antonio, Texas, USA, 2007.9
10. Vincent Nozick, Hideo Saito(慶大), “Real-Time Video-Based Rendering from Multiple Cameras,” ACCV’07 Workshop on Multi-dimensional and Multi-view Image Processing, 東京大学生産技術研究所, 2007. 11.
 11. Songkran Jarusirisawad, Hideo Saito(慶大), “Free Viewpoint Video Synthesis based on Visual Hull Reconstruction from Hand-Held Multiple Cameras,” ACCV’07 Workshop on Multi-dimensional and Multi-view Image Processing, 東京大学生産技術研究所, 2007. 11.
 12. Hideaki Uchiyama, Hideo Saito(慶大), “AR Display of Visual Aids for Supporting Pool Games by Online Markerless Tracking,” 17th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT 2007), デンマーク, 2007.11.
 13. Vincent Nozick, Hideo Saito(慶大), “Online Multiple View Computation for Autostereoscopic Display,” 2007 Pacific Rim Symposium on Image Video and Technology (PSIVT2007), Santiago, Chile, 2007.12
 14. Chutisant Kerdvibulvech, Hideo Saito(慶大), “Vision-Based Guitarist Fingering Tracking Using a Bayesian Classifier and Particle Filters,” 2007 Pacific Rim Symposium on Image Video and Technology (PSIVT2007), Santiago, Chile, 2007.12
 15. Hideo Saito(慶大), Hidei Kimura(エリオ), Satoru Shimada(産総研), Takeshi Naemura(東大), Jun Kayahara(電通), Songkran Jarusirisawad, Vincent Nozick, Hiroyo Ishikawa, Toshiyuki Murakami, Jun Aoki(慶大), Akira Asano(エリオ), Tatsumi Kimura, Masayuki Kakehata, Fumio Sasaki, Hidehiko Yashiro, Masahiko Mori, Kenji Torizuka(産総研), and Kouta Ino(東大), “Laser-plasma scanning 3D display for putting digital contents in free space,” SPIE Stereoscopic Displays and Applications XIX, San Jose, Jan 27-31, 2008.
 16. Osamu Kagiya, Yukio Sato, and Hideo Saito(慶大), “Rangefinding system using hybrid pattern projections,” SPIE Three-Dimensional Image Capture and Applications, San Jose, Jan 27-31, 2008.
 17. Hideto Kameshima, Yukio Sato, and Hideo Saito(慶大), “A calibration method of multiple rangefinders system,” SPIE Three-Dimensional Image Capture and Applications, San Jose, Jan 27-31, 2008.
 18. Kensuke Ueda, Takafumi Koike, Keita Takahashi and Takeshi Naemura(東大), “Adaptive IP Imaging with Variable-Focus Lens Array,” SPIE Stereoscopic Displays and Applications XIX, San Jose, Jan 27-31, 2008.
 19. Yuji Oyamada, Hideo Saito(慶大), “Estimation of Projector Defocus Blur by Extracting Texture Rich Region in Projection Image,” The 16-th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision 2008 (WSCG2008), Pilzen, チェコ共和国, 2008.2
 20. de Sorbier,F.(パリ東大学), Nozick,V.(慶大), Biri,V.(パリ東大学), Accelerated Stereoscopic Rendering using GPU, The 16-th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision 2008 (WSCG2008), Pilzen, チェコ共和国, 2008.2
 21. Koji Sasaki, Toshiyuki Murakami(慶大), "Pushing Operation by Two-Wheel Inverted Mobile Manipulator", 10th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control, Trento, Italy, March 2008.
 22. Jun Aoki, Toshiyuki Murakami(慶大), "A Method of Road Condition Estimation and Feedback Utilizing Haptic Pedal", 2008 10th IEEE International Workshop on Advanced Motion Control, Italy, March 2008.
 23. 安藤 徹, 田口 裕一, 苗村 健(東大), “グラフィクスプロセッサを用いた3次元空間

- 情報の実時間符号化手法の検討”, 3次元画像コンファレンス2007, 4-3, pp. 67 --70 , 東京, (2007.7)
24. 上田 健介, 小池 崇文, 高橋 桂太, 苗村 健(東大), “Adaptive IP Imaging の基礎検討”, 映像年次大会, 2-7 (2007.8).
 25. 上田 健介, 小池 崇文, 高橋 桂太, 苗村 健(東大), “Adaptive IP Imaging における自由視点画像合成の検討”, 日本バーチャルリアリティ学会第 12 回大会, 福岡, 九州大学, 1C1-6(2007.9).
 26. 太田 昌宏, 小池 崇文, 苗村 健(東大), “3 次元ディスプレイとアフォーカル系を併用した空中像提示手法の基礎検討”, 日本バーチャルリアリティ学会第 12 回大会, 福岡, 九州大学, 2C2-1 (2007.9).
 27. 上田 健介, 小池 崇文, 高橋 桂太, 苗村 健(東大), “Adaptive IP Imaging の理論的検討” 映像メ学会 立体映像技術研究会, 映像学技報 3DIT2007-36, vol. 31, no.48, pp. 1 - 4, 東京, NHK技研 (2007.10).
 28. ジャルシリサワッド ソンクラン, 斎藤英雄, 村上俊之, 青木 淳(慶大), 木村秀尉(エリオ), “レーザープラズマ方式自由空間点群ディスプレイにおけるインタラクティブな 3 次元コンテンツ表示のための実時間制御系の開発,” 映像情報メディア学会 立体映像技術研究会 情報ディスプレイ研究会, 東京, NHK技研 2007 年 10 月
 29. 石川尋代, 斎藤英雄(慶大), “視覚特性を考慮した 2 次元形状の効率的な点群表現手法”, 電子情報通信学会技術報告, PRMU2007-206, pp. 305-310, 滋賀, 龍谷大学 Jan. 2008
 30. 小山田雄仁, 斎藤 英雄(慶大), “表示画像の特徴領域抽出に基づくプロジェクターカメラシステムの焦点ボケの自動補正”, 電子情報通信学会技術報告, PRMU2007-158, pp. 1-8, 滋賀, 龍谷大学, Jan. 2008
 31. 益子幸司郎(電通)、タイトル:「OOHメディアの最新動向と近未来」、セミナー名: 電通 OOH ワークショップ‘08、会場: 東京/港区東新橋「電通本社ビル」電通ホール、月日: 2008 年 1 月 24 日
 32. 堀宏明(電通)、タイトル:「クロスメディア環境下における OOH メディアの最新動向」、セミナー名:「第 34 回テレビ営業ゼミナール」、会場: 東京/港区台場「ホテル日航東京」1 階ペガサス、月日: 2008 年 2 月 8 日
 33. 辛貞殷, 小沢慎治(慶大), “動画像処理によるスポーツ運動解析の研究-鉄棒競技の自動採点システムに向けて-”, 動的画像処理実利用化ワークショップ 2008 (DIA2008)5-5, pp191-194, 中京大学, 豊田市, 2008 年 3 月 (実行委員長特別賞 受賞)
 34. Vincent Nozick (慶大)、Francois de Sorbier (パリ東大)、Hideo Saito (慶大), “Plane-Sweep Algorithm: Various Tools for Computer Vision”, 電子情報通信学会技術報告, PRMU2007-259, pp. 87-94, 北陸先端大, March. 2008
 35. 小山田雄仁, 斎藤英雄(慶大), “補正画像の繰り返し投影によるプロジェクタの焦点ボケ推定”, 電子情報通信学会 2008 総合大会, D-12-83, 北九州, March. 2008
 36. Satoshi Aoki, Hideo Saito, Vincent Nozick(慶大), “レーザープラズマ方式自由空間ディスプレイによる顔表示のための点群生成法”, 電子情報通信学会 2008 総合大会, D-11-44, 北九州, March. 2008
 37. 伊野 浩太, 苗村 健(東大), “レーザープラズマ方式自由空間点群ディスプレイにおける3次元コンテンツ制作の基礎検討”, 信学技報 MVE2007-84, vol. 107, no. 554, pp. 19 -- 23, 北九州 (2008.3).
 38. Chutisant Kerdvibulvech, Hideo Saito(慶大), Markerless Guitarist Fingertip Detection Using a Bayesian Classifier and a Template Matching For Supporting Guitarists, Laval Virtual, Virtual Reality International Conference (VRIC'08), Laval (France), April 2008.
 39. Songkran Jarusirisawad, Hideo Saito(慶大), 3DTV View Generation Using

Uncalibrated Cameras, 2nd International Conference on 3DTV(3DTV-CON08), Istanbul, May 2008.

40. 和田 拓朗, 小池 崇文, 苗村 健(東大), インテグラルフォトグラフィの光学的多層化に関する基礎検討, 3次元画像コンファレンス, P-11, pp. 125 -- 128 (2008.7).
41. 有賀 玲子, 斎藤 英雄(慶大), 安藤 英由樹(阪大), 渡邊 淳司(NTT), Saccade-based display の特性を活かした呈示コンテンツの生成, 1A3-4, 奈良, 第13回 日本バーチャルリアリティ学会大会, September 2008
42. 伊野 浩太, 苗村 健(東大), レーザープラズマ方式自由空間点群ディスプレイにおける文字コンテンツの基礎検討, 日本バーチャルリアリティ学会第13回大会, 2B4-3 (2008.9).
43. Kouta Ino and Takeshi Naemura(東大), A Basic Study on Font Design for Laser-Plasma Scanning 3D Display, ASIAGRAPH 2008 in Tokyo (2008. 10).
44. Hiroyo Ishikawa, Hideo Saito(慶大), Point Cloud Representation of 3D Shape for Laser-Plasma Scanning 3D Display, the 34th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON08), Orlando, November, 2008
45. Hiroyo Ishikawa, Hideo Saito(慶大), Closed-line based representation of 3D shape for point cloud for laser-plasma scanning display, 18th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT2008), Yokohama, December 2008.
46. Takuro Wada, Takafumi Koike, Takeshi Naemura (東大), Optically multilayered light field display for enhancing depth of field, accepted to SPIE Stereoscopic Displays and Applications XX, Paper 7237-68 (2009.1).
47. 伊野 浩太, 苗村 健(東大), レーザープラズマ方式自由空間点群ディスプレイにおける日本語文字コンテンツの基礎検討, 信学技報 MVE2008-114, vol. 108, no. 490, pp. 19 -- 24 (2009.3)
48. 石川尋代, 斎藤英雄(慶大), レーザープラズマ式 3D ディスプレイにおける文字表現, 電子情報通信学会パターン認識メディア理解研究会, 2009年3月
49. 和田 拓朗, 苗村 健(東大), ``テーブル型空中像ディスプレイの基礎検討'', 日本バーチャルリアリティ学会第14回大会, 3A4-2 (2009.9)
50. Hiroyo Ishikawa, Hideo Saito (慶大), "Billboard representation for Laser-Plasma Scanning 3D Display", ASIAGRAPH 2009, Tokyo, 2009.
51. 李 同夏, 小池 崇文, 高橋 桂太, 苗村 健(東大), ``流体レンズアレイの二重化による光学ズーム付き多眼撮影装置の基礎検討'', 日本バーチャルリアリティ学会第14回大会, 1A4-5 (2009.9)
52. 和田 拓朗, 苗村 健(東大), ``テーブル型空中像ディスプレイの基礎検討'', 日本バーチャルリアリティ学会第14回大会, 3A4-2 (2009.9)
53. 山本 和明, 小池 崇文, 永田 邦裕, 海老澤 瑞枝, 相澤 隆, 大西 康司, 苗村 健(東大), ``PLZT を用いた高速可変焦点レンズの基礎実験 ~ 高速時分割方式による立体ディスプレイ実現に向けて(第2報) ~'', 映像情報メディア学会 立体映像技術研究会 3DIT2010-41, vol. 34, no. 12, pp. 59 -- 62 (2010.3).
54. Hayato Watanabe, Hiroyo Ishikawa, Satoshi Aoki, Seiji Suzuki, Hideo Saito (慶大), Satoru Shimada, Tatsumi Kimura, Masayuki Kakehata, Yuji Tsukada (産総研) and Hidei Kimura (エリオ), "Vision-based Interaction with Aerial 3D Display," International Conference on 3D Systems and Applications 2010 (3DSA 2010), Tokyo, May, 2010.
55. 石川尋代・斎藤英雄(慶大)、空間表示 3D ディスプレイにおけるポリゴンモデルの表示、映像情報メディア学会 映像表現 & コンピュータグラフィックス研究会、AIT2010-96、北海道大学、2010年7月23日。
56. 武井 祥平, 飯田誠, 苗村 健(東大), ``3次元形状ディスプレイのためのリール式ア

- クチュエータの提案”, 日本バーチャルリアリティ学会大 15 回大会, 3D2-3 (2010.9).
57. 秋月 亮輔(東大), 石川 尋代, 斎藤 英雄(慶大), 苗村 健(東大), “空間表示 3D ディスプレイのための 2 図形組合せによる立体コンテンツの生成”, 信学技報 MVE2010-91, vol. 110, no. 382, pp. 101 – 106 (2011.1).
58. Hiroyo Ishikawa, Hayato Watanabe, Satoshi Aoki, Hideo Saito(慶大), Satoru Shimada, Masayuki Kakehata, Yuji Tsukada(産総研), Hidei Kimura(エリオ), "Surface representation of 3D object for aerial 3D display," Stereoscopic Displays and Applications XXII, Electronic Imaging 2011, San Francisco, Jan 2011.
59. 橋田 朋子, 笈 康明, 苗村 健(東大): “ソラ・カラ ～ 太陽光を活用した発色による空間演出 ～”, 信学技報 MVE2011-4, vol. 111, no. 38, pp. 21 – 26 (2011.5).
60. Tomoko Hashida, Yasuaki Kakehi, and Takeshi Naemura: “Photochromic Sculpture: Volumetric Color-forming Pixels,” ACM SIGGRAPH2011, Studio Talks (2011.8).
61. 橋田 朋子, 笈 康明, 苗村 健(東大): “Photochromic Sculpture: 発色による体積点群表現”, 日本バーチャルリアリティ学会第 16 回大会, 13B-2 (2011.9)
62. 武井 祥平, 飯田 誠, 苗村 健(東大): “KineReels: 動的 3 次元形状表現のためのリール式アクチュエータ群”, 日本バーチャルリアリティ学会第 16 回大会, 21B-1 (2011.9).
63. 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ブカメラを用いたインタラクティブ描画システム”, 日本バーチャルリアリティ学会第 16 回大会, 11D-2 (2011.9).
64. 中谷文香, 藤代一成, 木村秀尉, 浅野明: 「レーザプラズマ式 3 次元ディスプレイにおける特徴点列の強調」, 情報処理学会グラフィクスと CAD/画像電子学会 Visual Computing 合同シンポジウム 2011, DVD 予稿集, No. 30, 2011 年 6 月 25 日

③ ポスター発表 (国内会議5件、国際会議12件)

1. 発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、年月日
1. 小山田雄仁, 斎藤英雄(慶大), “投影面上に生じる焦点ボケ補正のための投影画像の事前補正法”, MIRU2007 画像の認識・理解シンポジウム, pp.1295-1300、広島市立大学, July 2007
2. 内山英昭, 斎藤英雄(慶大), “ピリヤードの支援情報提示のためのオンラインマーカレス AR 表示システム”, MIRU2007 画像の認識・理解シンポジウム, pp.445-446、広島市立大学, July 2007
3. Toru Ando, Yuichi Taguchi, Takeshi Naemura(東大), “GPU-Oriented Light Field Compression for Real-Time Streaming,” ACM SIGGRAPH2007, Posters, G03, San Diego, USA, (2007.8).
4. Vincent Nozick, Hideo Saito(慶大), “Real-Time Free Viewpoint from Multiple Moving Cameras,” Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems (ACIVS2007), オランダ, 2007.8.
5. Songkran Jarusirisawad, Hideo Saito(慶大), “Diminished Reality Via Multiple Hand-Held Cameras,” First ACM/IEEE International Conference on Distributed Smart Cameras, ICDS2007, ウイーン, 25-28 Sept. 2007.
7. Yuji Oyamada and Hideo Saito(慶大), Defocus Blur Correcting Projector-Camera System, Advanced Concepts for Intelligent Vision Systems (ACIVS2008), France, October 2008
8. François de Sorbier, Vincent Nozick(慶大) and Venceslas Biri, GPU rendering for autostereoscopic displays, Proceedings of Fourth International Symposium on 3D Data Processing, Visualization and Transmission (3DPVT), Atlanta, July 2008

9. 青木 悟史, ノジク ヴァンソン, 石川 尋 代, 斎藤英雄(慶大), “レーザー プラズマ方式自由空間ディスプレイによる顔表示のための点群生成法,” 情報処理学会 CVIM 研究会, 京都, May 2008
10. 石川尋代, 斎藤英雄(慶大), レーザープラズマ 3D ディスプレイにおけるハードウェア特性を考慮した点群を用いた 3 次元形状表現 MIRU2008 画像の認識・理解シンポジウム, 軽井沢, July 2008
11. Takuro Wada, Takafumi Koike, and Takeshi Naemura (東 大), Semi-transparent Light Field Display using Dual Integral Videography, ACM SIGGRAPH2008 Posters, F226(SRC19) (2008.8).
12. Reiko Aruga, Hideo Saito(慶大), Hideyuki Ando, Junji Watanabe, Study on perceptual properties of images presented by Saccade-based display --- Asynchronous and depth perception, 18th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT2008), Yokohama, December 2008.
13. Vincent Nozick, Ismael Daribo, Hideo Saito(慶大), GPU-based photometric reconstruction from screen light, 18th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT2008), Yokohama, December 2008.
14. R Aruga, H Saito(慶大), H Ando, J Watanabe, Perceptions of depth and asynchrony during eye movements, 32nd European Conference on Visual Perception (ECVP2009), August 24th - 28th 2009 in Regensburg, Germany, 2009.
15. Songkran Jarusirisawad, Hideo Saito, Vicent Nozick(慶大), Real-Time Free Viewpoint Video from Uncalibrated Cameras Using Plane-Sweep Algorithm, The 2009 IEEE International Workshop on 3-D Digital Imaging and Modeling (3DIM2009), 2009 IEEE 12th International Conference on Computer Vision Workshops, Kyoto, Oct.2009.
16. Hiroyo Ishikawa, Takeki Ihara, Takuya Ujihara and Hideo Saito(慶大), "Interactive Sound Creation System with Depth Camera," 20th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT2010), Adelaid, Dec. 2010.
17. Shohei Takei, Makoto Iida, and Takeshi Naemura(東大): ``KineReels: Extension Actuators for Dynamic 3D Shape," ACM SIGGRAPH2011, Posters, 45B (2011.8).

④ 展示発表 (国内展示13件、国際展示12件)

1. 発表者(所属)、タイトル、展示会名、場所、年月日

1. 斎藤英雄(慶大)、木村秀尉(エリオ)、島田悟(産総研)、苗村健(東大)、萱原純(電通), 空中に描くデジタル映像, 予感研究所2, 日本科学未来館, 2008年7月26日—30日
2. 伊野浩太、苗村健(東大), United Points, 予感研究所2, 日本科学未来館, 2008年7月26日—30日
3. 青木悟志、石川尋代、ノジク ビンセント、斎藤英雄(慶大), 自分の姿を空中に浮かび上がらせよう, 予感研究所2, 日本科学未来館, 2008年7月26日—30日
4. 木村秀尉他, 空中表示3次元ディスプレイ, Photon Fair 2009(浜松ホトニクス総合展), アクティシティ浜松 展示イベントホール, 2009年2月26日から28日
5. 最新デジタルサイネージソリューション, 宣伝会議プロモーション&メディアフォーラム 2010, 東京フォーラム, 2009年11月26日, 27日
6. Aerial 3D Display, CES2010, Las Vegas, Jan 7-10, 2010.
7. 3次元形状の空間表示装置、予感研究所3、日本科学未来館、2010年5月1日—5日

8. Aerial 3D Display Project, 2010 NAB Show, Las Vegas, 2010年4月11日-14日
9. Aerial 3D Display Project, Dimension 3, Paris, 2010年6月1日-3日
10. True 3D Display, IBC2010, Amsterdam, 2010年9月9日-13日
11. 石川尋代, 井原健喜, 氏原拓也, 斎藤英雄(慶大), デプスカメラを用いたインタラクティブなサウンド生成システム, EC2010, 京都, 2010年10月22日から24日
12. 武井 祥平, 飯田 誠, 苗村 健(東大), ``Autonomous Kinetic Bamboo (AKB)``, 第12回学府制作展(2010.12.2-7).
13. Tomoko Hashida(東大), Yasuaki Kakehi(慶大) and Takeshi Naemura(東大): ``SolaColor: Space Coloration with Solar Light,`` accepted to Fifth International Conference on Tangible, Embedded and Embodied Interaction (TEI'11), Art Explorations (2011.1).
14. 橋田 朋子, 笥 康明, 苗村 健(東大), ``展示協力:NEDO 革新的マイクロ反応場利用部材技術開発~マイクロリアクターによるエコプロセスの確立~``, 山田化学工業(株), 国際ナノテクノロジー総合展 (2011.2.16 - 18).
15. Aerial 3D Display Project, CES2011, Las Vegas, 2011年1月6日-9日
16. Aerial 3D Display Project, TedexTokyo2011, 日本科学未来館, 2011年5月21日
17. Aerial 3D Display Project, Futur en Seine 2011, パリ, 2011年6月23日-26日
18. Hidei Kimura, Akira Asano (エリオ), Issei Fujishiro, Ayaka Nakatani, Hayato Watanabe (慶大), True 3D Display, SIGGRAPH2011, Emerging Technologies, バンクーバー, 2011年8月9日から11日
19. Tomoko Hashida, Yasuaki Kakehi, and Takeshi Naemura (東大): ``Photochromic Sculpture: Volumetric Color-forming Pixels,`` ACM SIGGRAPH2011, Emerging Technologies (2011.8.9-11).
20. True 3D Display, IBC2011, Amsterdam, 2011年9月9日-13日
21. True 3D, DIGITAL CONTENT EXPO, 2011年10月20日-23日, 日本科学未来館
22. Aerial 3D Display Project, サイエンスアゴラ, 2011年11月18日-20日, 日本科学未来館
23. Aerial 3D Display Project, CES2012, Las Vegas, 2012年1月10日-13日
24. Aerial 3D Display Project, Imagina2012, Monaco, 2012年2月7日-9日
25. 空間3Dディスプレイプロジェクト, インタラクシオン 2012, 2012年3月17日, 日本科学未来館

(4)知財出願

①国内出願 (1件)

1. 積層型発色点群ディスプレイ, 橋田朋子・笥康明・苗村健, 独立行政法人科学技術振興機構, 平成23年8月1日, 特願2011-168450

②海外出願 (0件)

③その他の知的財産権

(5)受賞・報道等

①受賞

1. 高橋 桂太, 苗村 健: ``多眼ステレオ法の周波数解析的な解釈と一般化``, 映像メディア処理シンポジウム(IMPS2006), I5-01, pp. 99 -- 100 (2006.11). IMPS フロンティア賞

受賞

2. 上田 健介, 小池 崇文, 高橋 桂太, 苗村 健: ``Adaptive IP Imagingにおける自由視点画像合成の検討'', 日本バーチャルリアリティ学会第 12 回大会, 1C1-6(2007.9) [学術奨励賞 受賞]
3. テレビ取材(伊野 浩太): ``United Point'', NHK BS2 デジタルスタジアム (2007.10.11). [週間ベストセレクションに選定]
4. 辛貞殷, 小沢慎治, “動画像処理によるスポーツ運動解析の研究-鉄棒競技の自動採点システムに向けて-”, 動的画像処理実利用化ワークショップ2008 (DIA2008)5-5, pp191-194, 2008年3月 (実行委員長特別賞 受賞)
5. Selected for Student Research Competition Semi-Finalists: Takuro Wada, ACM SIGGRAPH2008 Student Research Competition (2008.8).
6. 李 同夏, 小池 崇文, 高橋 桂太, 苗村 健: ``流体レンズアレイの二重化による光学ズーム付き多眼撮影装置の基礎検討'', 日本バーチャルリアリティ学会第 14 回大会, 1A4-5, 学術奨励賞受賞
7. Best Paper Award, International Conference on 3D Systems and Applications 2010 (3DSA 2010), Hayato Watanabe, Hiroyo Ishikawa, Satoshi Aoki, Seiji Suzuki, Hideo Saito, Satoru Shimada, Tatsumi Kimura, Masayuki Kakehata, Yuji Tsukada and Hidei Kimura, "Vision-based Interaction with Aerial 3D Display," May 2010.
8. 橋田 朋子, 笈 康明, 苗村 健: ``ソラ・カラ ~ 太陽光を活用した発色による空間演出 ~'', 信学技報 MVE2011-4, vol. 111, no. 38, pp. 21 -- 26 (2011.5). [MVE賞 受賞(2011.10.13) / ヒューマンコミュニケーション賞 受賞(2011.12.7)]
9. 橋田 朋子, 笈 康明, 苗村 健: ``Photochromic Sculpture: 発色による体積点群表現'', 日本バーチャルリアリティ学会第16回大会, 13B-2 (2011.9). [学術奨励賞 受賞(2012.3.28)]
10. 武井 祥平, 飯田 誠, 苗村 健: ``リンク機構を構成するリール式アクチュエータ群による動的3次元形状表現'', 信学技報 MVE2011-46, vol. 111, no. 235, pp. 81 --86 (2011.10). [MVE賞 受賞(内定)]
11. 武井 祥平: ``修士論文:リール式伸縮アクチュエータの提案と3次元形状表現システムへの応用、その他で示された業績'' [東京大学総長賞/学際情報学府長賞 受賞(2012.3.22)]

②マスコミ(新聞・TV等)報道

1. テレビ取材(加藤 紀雄, 苗村 健): ``テレビの未来は?'', テレビ東京 ワールドビジネスサテライト (2007.2.20).
2. フジサンケイビジネスアイ 2007年7月11日「毎秒1000回レーザー発光。また、今後は科学技術振興機構(JST)の事業として、慶大、エリオ、産総研、東京大学、電通が「空間立体描画」技術に対応したコンテンツ関連技術の開発を進める。
3. テレビ取材(伊野 浩太): ``United Point'', NHK BS2 デジタルスタジアム (2007.10.11).
4. ナショナルジオグラフィック TV に研究成果の一部が放映された
5. 英国の一般向け科学雑誌 NEW SCIENTIST に研究が紹介された
6. 雑誌取材(苗村健): ``裸眼で飛び出す最新 3D 映像の近未来'', 大人の科学マガジン, vol. 25, pp. 70 -- 71, 学研教育出版 (2009.10).

③その他

(6)成果展開事例

①実用化に向けての展開

②社会還元的な展開活動

§ 6 研究期間中の主なワークショップ、シンポジウム、アウトリーチ等の活動

年月日	名称	場所	参加人数	概要
2008年7月9日	「自由空間に3次元コンテンツを描き出す技術」シンポジウム	東京大学 武田先端知ホール	100	本プロジェクトの研究内容について紹介する。
2012年3月17日	空間表示3Dディスプレイ – CREST 自由空間に3次元コンテンツを描き出す技術 最終シンポジウム–	日本科学未来館 会議室2	120	CREST「自由空間に3次元コンテンツを描き出す技術」プロジェクトの総括として、その最終報告と今後の関連研究の展望について紹介した。

§ 7 結び

本プロジェクトでは、レーザープラズマ現象を利用して空中の任意の位置に発光体を生成する技術を利用して、3次元コンテンツを空間に表示するという世界に類を見ないデバイスを核にして、デバイスそのものの性能向上、3次元コンテンツ生成技術、さらに、その広告応用への可能性、といったことについて研究を進めた。

デバイスのハードウェアの研究開発については、当初の目標ほどではないものの、表示空間サイズの拡大や、光源から表示空間までの距離の延伸化には成功し、描画できる映像の質は向上したと考えている。また、空中表示デバイスのシミュレータとして位置づけて開発した閉鎖空間型の3次元表示デバイスは、複数の海外展示会に出展し、その技術の独創性から、多くの注目を集めることが出来たと考えている。本研究期間中には、南カリフォルニア大学の360° Light Field Display や、ソニーが開発した360度立体ディスプレイが発表され、これらに対する閉鎖空間型のアドバンテージや位置付けが不明確になるとの指摘もあったが、これらの360度ディスプレイは、本質的には2次元画像を水平方向に同時に多数表示するというに過ぎず、本研究プロジェクトのように真の3次元空間表示できるデバイスは他には無く、独創性のあるデバイスを開発できたことは間違いないと考えている。但し、その独創性を明確にわかりやすくアピールできるようなデモが十分に行えていなかったかもしれないという意味では、今後課題が残されていると感じている。

コンテンツ生成技術についての研究については、コンピュータビジョンをベースとした3次元入力、解析、表示、といった研究成果は着実に挙げ多くの論文業績を挙げることができた。そして、そのような研究成果を利用したリアルタイム・インタラクティブ3次元表示として、じゃんけんシステムや予感研究所3でデモしたり、その技術についての論文が国際会議 3DSA2010 で論文賞を受賞し、最終的には開発した空間表示デバイスにも応用した成果を挙げる事ができた。開発したデバイスでの3次元表示には、空間表示デバイスのハードウェア特性を考慮したアルゴリズムが必要であり、

特にベースとなる研究成果の無い手探りな状態で研究を行ったが、線描・点描のグラフィクス表示を利用することにより、空間表示デバイスに効果的な点列表示手法を開発することができた。この表示法については、CG分野における Point Based Rendering に関する従来の研究成果と有機的に結び付け、さらにその分野の成果を実際に役立てることができるデバイスが本研究プロジェクトで開発した空間表示デバイスであると位置づけることにより、今後、新たな方向への展開できる可能性を残したと思っている。

広告応用については、本研究期間内には、本当の広告として実証実験を行うレベルまで達成できなかったのは残念であるが、屋外広告としての利用可能性が十分にあることは確認できたと考えている。光源から表示空間までの距離が約10m、というのが、屋外広告として実用化する上での最低条件の目安となるが、本プロジェクト期間内には、それに近い6m程度を達成したことから、今後、数年程度の研究を継続すれば、広告利用を現実のものとしてできると考えている。

今後の展開であるが、本プロジェクトで核となる3次元空中表示デバイスの開発については、その基本技術を有しているエリオ・バートン社が中心となって、継続して行っていくことになるであろう。また、その際には、広告だけではなく応用の方向性を明確にして、その応用を本当に実現するための研究開発を行うことが重要となっていくものと考えている。



CES2010 2010年1月 ラスベガス



EC2010 2010年10月 京都



NAB2010 2010年4月 ラスベガス



予感研3 2010年5月 日本科学未来館



TEDex Tokyo 2011年5月 日本科学未来館



Futur en Seine 2011 年6月 パリ



DC EXPO 2011 年10月 日本科学未来館



2011年11月 サイエンスアゴラ 日本科学未来館



2012年3月 インタラクション 日本科学未来館



2012年3月 空間表示 3D ディスプレイ –CREST 自由空間に3次元コンテンツを描き出す技術
最終シンポジウム– 日本科学未来館