

戦略的創造研究推進事業
CREST・さがけ複合領域
追跡評価用資料

個人型研究(さがけ)
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」
(2004 年度～2011 年度)

研究総括： 原島 博

2018 年 3 月

目次

要旨	1
第 1 章 追跡調査概要.....	3
1.1. 研究領域概要	3
1.1.1. 戦略目標.....	3
1.1.2. 研究領域概要.....	3
1.1.3. 研究総括.....	3
1.1.4. 領域アドバイザー.....	4
1.1.5. 研究課題および研究者.....	4
1.2. 研究領域終了後の進展と波及効果.....	6
1.2.1. 研究成果の発展状況や活用状況.....	6
1.2.2. 研究成果から生み出されたの科学技術や社会・経済への波及効果.....	6
1.3. 研究領域の展開状況(系譜図).....	7
第 2 章 追跡調査(研究領域全体動向).....	9
2.1. 追跡調査について.....	9
2.1.1. 調査の目的.....	9
2.1.2. 調査の対象.....	9
2.1.3. 調査方法.....	9
2.2. 研究成果概要	12
2.2.1. 研究助成金.....	12
2.2.2. 論文	17
2.2.3. 特許	18
2.3. 科学技術や社会・経済への波及効果.....	19
2.3.1. 科学技術への波及効果.....	19
2.3.2. 社会・経済への波及効果.....	20
第 3 章 各研究課題の主な研究成果および波及効果.....	22
3.1. 2004 年度採択研究課題	22
3.1.1. デザイン言語を理解するメディア環境の構築（金谷 一朗）.....	22
3.1.2. 物語性を重視したデジタルメディアの制作配信基盤（桐山 孝司）.....	27
3.1.3. MEMS テクスチャスキャナ（長澤 純人）	32
3.1.4. 感覚運動統合がなされた自律バーチャルクリーチャーの創生（長谷川 晶一）.....	37
3.1.5. ドレミっち：成長する仮想演奏者の構築（浜中 雅俊）.....	42

3.1.6. 「感性リアル」表現の制作支援を目的としたCG技術の開発（佐藤 いまり）	47
3.2. 2005 年度採択研究課題	52
3.2.1. 感触表現の制作支援を目的とした視触覚感覚ディスプレイ技術の開発（串山 久美子）	52
3.2.2. 「意図的なランダムな行為」の創出方法の解明（後安 美紀）	56
3.2.3. 全天周と極小領域映像を扱うための入出力機器の研究開発（橋本 典久）	60
3.2.4. 人間の知覚に基づいた色彩の動的制御システムの構築（武藤 努）	64
3.2.5. 触・力覚の知覚特性を利用した新たな芸術表現の基盤研究（渡邊 淳司）	67
3.3. 2006 年度採択研究課題	71
3.3.1. アート表現のための実世界指向インタラクティブメディアの創出（筧 康明）	71
3.3.2. 空間型メディア作品を強化する7つ道具型対話デバイス（木村 朝子）	76
3.3.3. Locative Media を利用した芸術/文化のための視覚表現技術開発（野口 靖）	81
3.3.4. 折紙のデジタルアーカイブ構築のための基盤技術とその応用（三谷 純）	84
3.3.5. 子どもの知育発達を促すデジタルメディアの作成（山口 真美）	89
第4章 科学技術イノベーションの創出に資する研究成果	94
4.1. アート表現のための実世界指向インタラクティブメディアの創出（筧 康明）	94
4.1.1. 研究の概要	94
4.1.2. 研究成果の波及と展望	96
4.2. 折紙のデジタルアーカイブ構築のための基盤技術とその応用（三谷 純）	99
4.2.1. 研究の概要	99
4.2.2. 研究成果の波及と展望	101
4.3. 子どもの知育発達を促すデジタルメディアの作成（山口 真美）	103
4.3.1. 研究の概要	103
4.3.2. 研究成果の波及と展望	105

要旨

本報告書は、戦略的創造研究推進事業の個人型研究さきがけの研究領域「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」（2004 年度-2011 年度）において、研究期間終了後一定期間を経過した後、副次的効果を含めて研究成果の発展状況や活用状況等を明らかにし、国立研究開発法人科学技術振興機構(JST)事業及び事業運営の改善等に資するために実施する追跡評価に供する資料とすべく、追跡評価の前年度に実施した追跡調査の結果をまとめたものである。

本研究領域では、コンピュータ等の電子技術を駆使した映画、アニメーション、ゲームソフト、さらにはその基礎となる CG アート、ネットワークアート作品等の高品質化（多次元化も含む）を目的とした映像や画像の入力・処理・編集・表示技術、インタフェース技術、ネットワーク技術等に関する研究が行われた。視覚や聴覚以外の感覚の表現をも可能とする人工現実感技術、現実空間と人工空間を重畳させる複合現実感技術等が開発された。さらに、これらの技術を利用した高度なコンテンツ制作手法やデジタルメディア作品の制作を効率的に行う技術について研究が行われた。

追跡調査の結果、本研究領域で得られた研究成果は、終了後も高精細な CG や 3D コンテンツの生成技術、画像認識技術や触覚、視覚等を実現する感覚デバイスによるセンシング技術として発展し、間接的に、人工現実感(VR)や複合現実感(AR)という形で既に一般向けにも適用され始めている。また、プロジェクションマッピング、触覚をいかしたアート作品にもいかされている。成果は学術論文に留まらず、国際的に知名度の高い各種展示会において、展示、発表もなされている。

本研究領域の代表的な研究成果としては、視覚・触覚等五感と合わせて画像認識技術を活用した AR (Augmented Reality: 拡張現実感)の開発(筧 康明、木村 朝子)、画像認識技術に基づく CG 生成手法の構築(佐藤 いまり)、シミュレーション技術に基づく CG や VR の高度化(三谷 純)、乳幼児の視覚認知メカニズムの解明(山口 真美)などが挙げられる。これらの研究者の中から筧、三谷、山口の 3 人に対してインタビューを実施し、科学技術イノベーション創出に資する研究成果の状況について概要をまとめた。

上記の研究成果、進展状況等について、以下にそって、本資料が構成されている。

第 1 章は、研究領域の戦略目標、領域概要、研究総括、領域アドバイザー、研究課題と研究者を記載し、研究期間終了後の進展と波及効果について概説した。

第 2 章は、追跡調査の目的、調査の対象、調査の方法（研究助成金、論文、特許）を記載し、各研究者のアウトプットの概要と、受賞歴や報道等から見た科学技術的および社会・経済的アウトカムの概要を記述した。

第 3 章は、研究期間終了後の各研究課題の研究の継続と発展状況について、科学技術の進歩への貢献および社会・経済的な波及効果の観点から詳述し、併せて研究成果に関連した主な成果論文をリストアップした。

第 4 章は、研究期間終了後に特に科学技術イノベーションの創出に資する成果をあげていると思われる研究者にインタビューを通じて、科学技術イノベーション創出に資する研

究成果がどのような状況であるかを記述した。

第 1 章 追跡調査概要

1. 1. 研究領域概要

1. 1. 1. 戦略目標

本研究領域では、「メディア芸術の創造の高度化を支える先進的科学技术の創出」の戦略目標のもと、独創的なメディア芸術を創造するためにメディア芸術制作者に先進的な表現手法等を提供するとともに、広く国民全般が自己実現にいかすために容易にメディア芸術を制作し、楽しむことを可能とするための先進的科学技术を創出することをめざした。

主にデジタルメディアとしてのアート作品やコンテンツを作成、表現するための技術や、作品制作に使われる要素技術の高度化をめざして研究開発が行われた。具体的には、コンピュータ内で様々なモデルを表現し、五感に対して新しい体験が得られたり、新しいユーザインタフェースとして利用できるように、CG や VR (Virtual Reality: 仮想現実感) によるコンテンツを生成する技術、実空間内の状態をカメラやセンサから認識する技術、認識結果に基づく様々なメディアを合成し表現する技術、デジタルメディア作品である画像、映画、ゲーム、音楽、アート作品等の制作を効率的に行うための技術、新しい作品を生成するための技術等に関する研究がなされた。研究成果は、作品として発表されたものが多いが、その基盤となる技術は、画像、映像、音声の解析技術や生成技術など最新の技術を駆使したものであり、技術的な仕組みに詳しくなくても、それらの最先端技術を簡単に利用できるようにすることが本研究領域の大きな目標になっていた。

1. 1. 2. 研究領域概要

本研究領域は、情報科学技術の発展により急速な進歩を遂げた、メディア芸術という新しい文化に係る作品の制作を支える先進的・革新的な表現手法、これを実現するための新しい基盤技術を創出する研究を対象とした。

具体的には、コンピュータ等の電子技術を駆使した映画、アニメーション、ゲームソフト、さらにはその基礎となる CG アート、ネットワークアート作品等の高品質化（多次元化も含む）を目的とした映像や画像の入力・処理・編集・表示技術、インタフェース技術、ネットワーク技術等に関する研究が行われた。視覚や聴覚以外の感覚の表現も可能とする人工現実感技術、現実空間と人工空間を重畳させる複合現実感技術等も含まれ、デジタルメディアとしての特徴をいかした斬新な表現手法の研究、快適性や安全性の観点から人間の感性を踏まえた表現手法の研究、物語性に優れた作品の制作を可能にする高度なコンテンツ制作手法の研究、誰もが自由にデジタルメディア作品の制作を効率的に行うことができるソフトウェア、ハードウェアに関する研究なども実施された。

1. 1. 3. 研究総括

原島 博（東京大学 名誉教授）

1.1.4. 領域アドバイザー

本研究領域では、情報科学技術の発展により急速な進歩を遂げた、メディア芸術という新しい文化に係る作品の制作を支える先進的・革新的な表現手法の実現に向けた研究が実施されたが、本研究領域の運営に際し、10 人の領域アドバイザーが定められ、研究指導にあたった。表 1-1 に領域アドバイザーを示す。

表 1-1 領域アドバイザー

領域アドバイザー	所属	役職	任期
秋山 雅和	日本大学大学院法学研究科	客員教授	2004 年 10 月～2012 年 3 月 31 日
井口 征士	宝塚造形芸術大学メディア・コンテンツ学部	教授	2004 年 10 月～2012 年 3 月 31 日
加藤 和彦	筑波大学大学院システム情報工学研究科	教授	2004 年 10 月～2012 年 3 月 31 日
陣内 利博	武蔵野美術大学造形学部	教授	2004 年 10 月～2012 年 3 月 31 日
舘 暲	慶應義塾大学大学院メディアデザイン学科	教授	2004 年 10 月～2012 年 3 月 31 日
為ヶ谷 秀一	女子美術大学大学院美術研究科	教授	2004 年 10 月～2012 年 3 月 31 日
土井 美和子	(株) 東芝研究開発センター	首席技監	2004 年 10 月～2012 年 3 月 31 日
中津 良平	シンガポール国立大学工学部	教授	2004 年 10 月～2012 年 3 月 31 日
馬場 哲治	前 (株) バンダイナムコゲームズ	研究部長	2004 年 10 月～2012 年 3 月 31 日
松原 健二	(株) コーエー	代表取締役執行役員社長 C O O	2004 年 10 月～2012 年 3 月 31 日

(注) 所属と役職はさがけ終了時点

1.1.5. 研究課題および研究者

研究課題（研究者）の公募は 2004 年度から 3 年間、3 期にわたり、総計 16 件の研究課題が採択された。表 1-2 に各期の研究課題、研究者、採択当時の所属機関と役職、研究期間終了時の所属と役職並びに追跡調査時点の所属と役職を示した。

表 1-2 研究課題と研究者(第1期、第2期、第3期)

期(採択 年度)	研究課題	研究者	採択時の所 属・役職	研究期間終了時の 所属・役職	追跡調査時の所 属・役職
第1期 (2004 年度)	デザイン言語を 理解するメディ ア環境の構築	金谷 一朗	大阪大学大学 院基礎工学研 究科助手	大阪大学大学院基 礎工学研究科助手	長崎県立大学情報 システム学部 教 授
	物語性を重視す るデジタルメディ アの制作配信 基盤	桐山 孝司	さがけ研究 者	東京藝術大学院 映像研究科 准教 授	東京藝術大学院 映像研究科 教授
	MEMS テクスチャ スキャナ	長澤 純人	東京大学大学 院情報理工学 系研究科 産 学官連携研究 員	東北大学大学院工 学系研究科 講師	芝浦工業大学機械 機能工学科 准教 授
	感覚運動統合が なされた自律パ ーチャルクリ ャーの創生	長谷川 晶 一	東京工業大学 精密工学研究 所 助手	電気通信大学知能 機械工学科 准教 授	東京工業大学 准 教授
	ドレミっち:成長 する仮想演奏者 の構築	浜中 雅俊	さがけ研究 者	筑波大学大学院シ ステム情報工学研 究科 講師	京都大学大学院医 学研究科 研究員
	「感性リアル」表 現の制作支援を 目的とした CG 技術の開発	佐藤 いま り	東京大学大学 院学際情報学 部 学生	国立情報学研究所 コンテンツ科学研 究系 准教授	国立情報学研究所 コンテンツ科学研 究系 教授
第2期 (2005 年度)	感触表現の制作 支援を目的とし た視触覚感覚デ ィスプレイ技術 の開発	串山 久美 子	東京農工大学 大学院 特任 教授	首都大学東京 シ ステムデザイン学 部 教授	首都大学東京 シ ステムデザイン学 部 教授
	「意図的なランダ ムな行為」の創出 方法の解明	後安 美紀	(独)国際電気通 信基礎技術研 究所 研究員	(独)科学技術振 興機構 さきがけ 研究者	大阪市立大学法学 研究院 研究員
	全天周と極小領 域映像を扱うた めの入出力機器 の研究開発	橋本 典久	筑波大学人間 総合等研究教 育支援室 技 術職員	(独)科学技術振 興機構 さきがけ 研究者	明治大学総合数理 学部 特任講師
	人間の知覚に基 づいた色彩の動 的制御システムの 構築	武藤 努	(財)国際メデ ィア研究財団 研究員	(財)国際メディア 研究財団 研究員	明星大学デザイン 学部 准教授
	触・力覚の知覚特 性を利用した新 たな芸術表現の 基盤研究	渡邊 淳司	東京大学大学 院情報理工学 系研究科/日 本学術振興会 特別研究員	(独)科学技術振 興機構 さきがけ 研究者	NTT コミュニケー ション科学基礎研 究所人間情報研 究部感覚表現研究 グループ
第3期 (2006 年度)	アート表現のた めの実世界指向 インタラクティ ブメディアの創 出	寛 康明	博士課程/日 本学術振興 特別研究員	慶應義塾大学環境 情報学部 講師	慶應義塾大学 准 教授
	空間型メディア 作品を強化する 7つ道具型対話 デバイス	木村 朝子	立命館大学情 報理工学部 助教授	立命館大学情報理 工学部 准教授	立命館大学情報理 工学部 教授

期(採択 年度)	研究課題	研究者	採択時の所 属・役職	研究期間終了時の 所属・役職	追跡調査時の所 属・役職
	Locative Media (ローカティブ メディア)を利用 した芸術／文化 のための視覚表 現技術開発	野口 靖	東京工芸大学 芸術学部 講 師	東京工芸大学メデ ィアアート表現科 講師	東京工芸大学芸術 学部インタラクテ ィブメディア学科 准教授
	折紙のデジタル アーカイブ構築 のための基盤技 術とその応用	三谷 純	筑波大学大学 院システム情 報工学研究科 講師	筑波大学大学院シ ステム情報工学研 究科 准教授	国立大学法人 筑波 大学大学院システ ム情報系情報工学 域 教授
	子どもの知育発 達を促すデジタル メディアの作 成	山口 真美	中央大学文学 部 教授	中央大学文学部 教授	中央大学文学部 教授

1. 2. 研究領域終了後の進展と波及効果

1. 2. 1. 研究成果の発展状況や活用状況

本研究領域では、デジタルメディアであるアニメーション、ゲーム、CG や VR などにおいて、現実感の高いコンテンツを生成するための技術開発が行われ、それらを活用した作品が多数制作された。日本科学未来館をはじめとして、一般向けに作品を展示することで、先端技術が広く知られるようになっている。

三谷 純は、折紙をシミュレーションするソフトウェアを開発し、それによって複雑な作品を容易に制作することが可能となり、複雑な形状を持つ折紙は、アート作品としても評価され、映画や商品にも使われている。

筧 康明は、本研究領域の成果をいかして、インタラクティブメディアを構築するための触感表現ツールキット TECHTILE toolkit を開発し、オープンハードウェアとして提供することで、研究者だけではなく、アーティストが簡単に触覚を使ったプロトタイプが作れるようになった。

山口 真美は、近赤外光による脳機能計測システムである NIRS を使って、乳幼児の顔や色の認識の仕組みを明らかにすることで、言語で表現できない乳幼児の疾患を、早期に発見する研究につなげている。

このように、本研究領域の研究者は、他の研究者、クリエイタ、アーティスト等に対しても開発用ツールやソフトウェアを提供し、研究成果を普及させる活動を活発に行っている。

1. 2. 2. 研究成果から生み出された科学技術や社会・経済への波及効果

(1) 研究成果の科学技術の進歩への貢献

一般には 2016 年は VR 元年と言われているが、1990 年代の VR 研究から始まったものであり、2000 年代に行われた本研究領域の研究期間は VR や AR の第 2 期に相当し、映画やゲームが 3D 化されつつあった時期と重なっている。

寛 康明や木村 朝子が開発したインタラクティブ・アートを実現する技術は、リアルな表現力を有する VR 技術とリアルな触感を実現する AR 技術として、ゲームなどのエンターテインメントや仮想空間、様々なシミュレーションにも応用可能である。

(2) 研究成果の応用に向けた発展状況

山口 真美が近赤外光による NIRS を用いて乳幼児の脳機能を分析した成果は、生後数か月の乳児の視知覚能力がどのような変遷を経て完成されるのか、その形成過程を明らかにし、当該手法は、乳幼児の ADHD（注意欠陥・多動性障害）の詳細な診断目的で、病院内で臨床試験に使われている。また、東京都現代美術館において、乳幼児が反応するように「親子向けのデジタルメディアコンテンツ」の展示も行った。

1.3. 研究領域の展開状況(系譜図)

図 1-1 に研究領域の系譜図を示す。本研究領域は、コンピュータ内で表現されている CG や VR を用いたリアルで高精細な表現のための技術をはじめ、コンピュータ内に表現されているデータと現実が存在しているものを組み合わせて、新しい表現・体験を得られるよう、AR 技術を高度化するための研究や、画像、映像、音声等の各メディアを認識するための技術開発、それらの技術要素を活用した新しいユーザインタフェース技術の研究開発等につながり、アート作品の制作技術の研究開発にもつながっている。

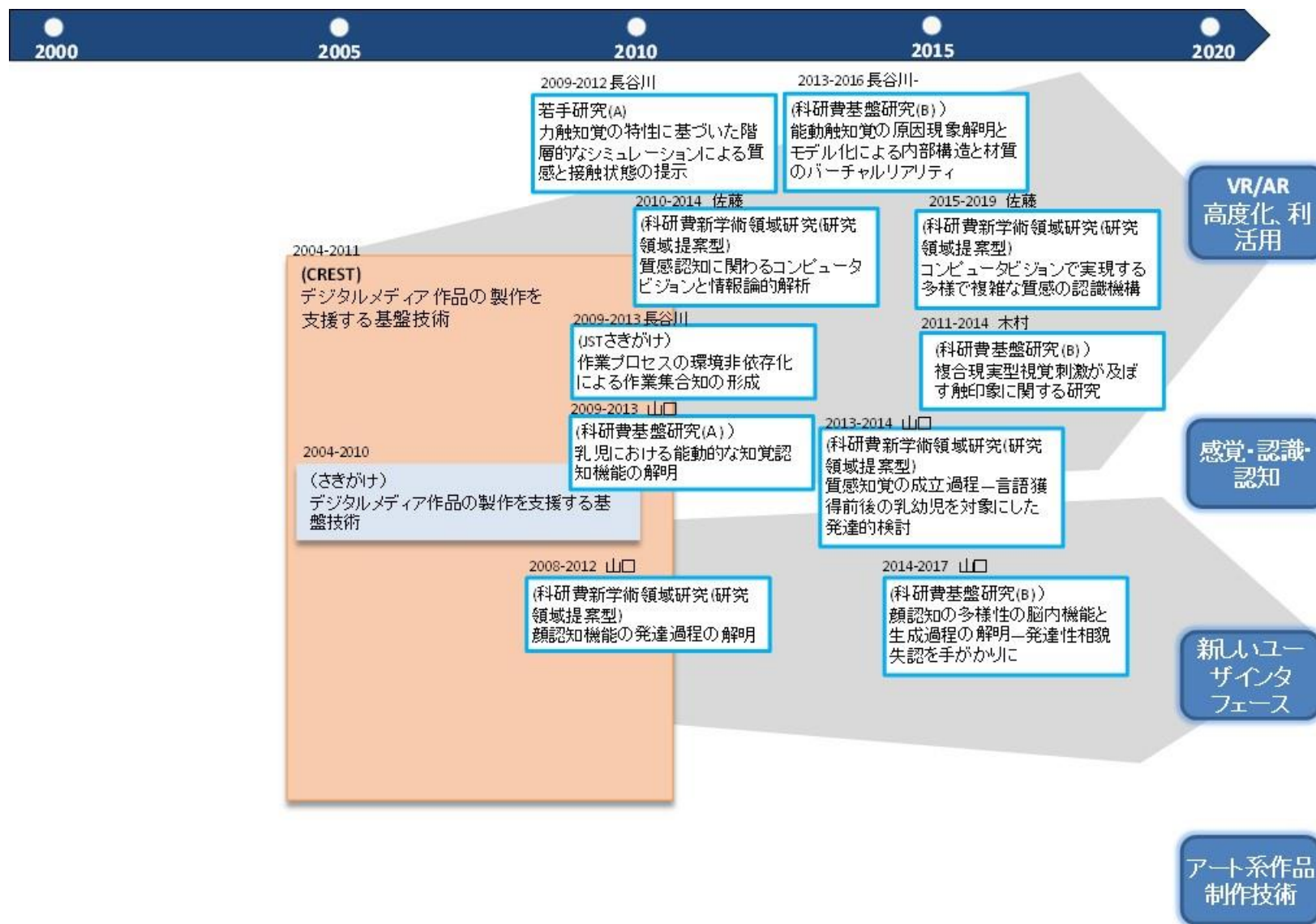


図 1-1 研究領域(さきがけ)の系譜図

第 2 章 追跡調査(研究領域全体動向)

2. 1. 追跡調査について

2. 1. 1. 調査の目的

追跡評価は、研究領域終了後、一定期間を経過した後、副次的効果を含めて研究成果の発展状況や活用状況を明らかにし、JST(科学技術振興機構)の事業および事業運営の改善に資するために実施するもので、本調査では、評価用資料に供するために、研究領域終了後のさきがけ研究者の研究課題の発展状況等を調査した。

2. 1. 2. 調査の対象

本追跡調査は、さきがけ研究領域「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術(2004年度～2011年度)」の研究者を対象とした。表 2-1 に調査対象と調査対象期間を示した。

表 2-1 調査対象と調査対象期間

	さきがけ調査対象期間	さきがけ研究期間終了後の 調査対象期間	研究課題数
第 1 期	2004 年 4 月～2010 年 12 月	2011 年 1 月～2016 年調査終了月	6
第 2 期	2005 年 4 月～2011 年 12 月	2012 年 1 月～2016 年調査終了月	5
第 3 期	2006 年 4 月～2012 年 12 月	2013 年 1 月～2016 年調査終了月	5

2. 1. 3. 調査方法

(1) 研究助成金

研究助成金リストの作成にあたっては、以下の手順で行った。

手順 1：JST 戦略的創造研究推進事業、JST 産業連携事業、科研費(特別推進研究、基盤研究、特定領域、新学術創成で 1 千万円／件以上)、最先端・次世代研究開発支援プログラム、ImPACT、FIRST、NEDO プロジェクトなど比較的大型の外部研究資金の獲得状況を調査した。

具体的には、研究課題や研究者についての国内最大級のデータベースサイト（日本の研究.com, <https://research-er.jp/>）から研究者名により検索を行い、研究資金の獲得状況をリスト化した。

手順 2：さらに研究代表者となっているもののみを抽出する。

手順 3：データベース等で内容を確認する。

手順 4：一覧表を作成した。

(2) 論文

発表論文の調査については、旧トムソン・ロイター社（現 Clarivate Analytics 社:以下

CA 社) Web of Science (以下 WoS) を用いて、「研究期間中の論文リスト」「研究期間終了後の論文リスト」を作成した。

① 研究期間中の論文調査

研究期間中に発表された論文の情報については、抽出した論文の書誌情報に基づいて WoS 上での同定作業を実施し、以下の書誌情報を抽出・整理することで、研究者ごとの「研究期間中の論文」リストを作成した。

- ・著者名 (姓名の内、名はイニシャルのみ)
- ・タイトル
- ・掲載誌
- ・発行年
- ・被引用数
- ・WoS 分野 (WoS が独自に付与している各論文の学術分野)

終了報告書などからの情報が十分でない部分については、研究者名 (著者名、ただし姓名の内、名はイニシャルのみ) と所属機関 (研究開始時点、研究期間終了時点、追跡調査時点の 3 ヶ所)、論文発表年 (研究期間中の年次に限定) を条件として WoS を検索し、まずは「研究期間中の論文」の候補を抽出した。ただし、ここで作成した「研究期間中の論文」の候補には、同姓同名 (正確には姓は同一で、名はイニシャルのみ一致) の別人が著者である論文、同一人物の論文だが本研究領域の成果とは言えない論文といった「ノイズ」が含まれている。

これら「ノイズ」を除去し、さきがけの研究成果と判断できる論文のみを抽出し、「研究期間中の論文」リストへ追加した。

② 研究期間終了後の論文調査

研究期間終了後に発表された論文のうち、研究課題に関係すると考えられる論文については、以下の手順でそれぞれ抽出を行った。

(i) 「研究期間終了後の論文」候補リストの作成

研究者名 (著者名、ただし姓名の内、名はイニシャルのみ) と所属機関 (研究開始時点、研究期間終了時点、追跡調査時点の 3 ヶ所)、論文発表年 (研究期間後～2016 年に限定) を条件に WoS を検索し、論文の書誌情報を抽出・整理することで、「研究期間終了後の論文」候補リストを作成した。ただし、ここで作成した候補リストは「研究期間中の論文」の候補を抽出した際と同様に多数の「ノイズ」が含まれている。

(ii) 「研究期間中の論文」を引用している論文の特定

「研究期間終了後の論文」候補リストに含まれる論文のうち、「研究期間中の論文」を引用している論文を特定した。「研究期間中の論文」を引用している論文は、本研究領域と研究上の関連が示唆されるものであり、さきがけの成果論文に該当するか否かの判断材料となる。

(iii) 「ノイズ」の除去

「研究期間終了後の論文」候補リストに含まれる論文について、研究課題との関連性を評価した。具体的には、以下のいずれかの条件を満たした場合には、研究課題との関連性があると判断し、「研究期間終了後の論文」リストに加えた。

- ・「研究期間中の論文」を引用した論文である。
- ・論文の書誌情報（論文タイトル、掲載誌など）が、研究課題と関連している。

この結果として、「研究期間終了後の論文」リストを作成した。

上記以外の論文については、明らかに関係のない研究テーマのものを排除し、その結果残った論文についてはグレーゾーンとして、可能な範囲で各研究者に草稿の確認を依頼する際に、論文の関連性についても確認を依頼した。

③ 国際的な水準との比較

①および②で作成した論文リストの和集合として「さきがけの成果論文」リストを作成した上で、各論文について以下の書誌情報を付加した。

- ・被引用数順位（パーセンタイル）
- ・被引用数順位をカウントした分野領域

なお、トムソン・ロイター社の Base Line Percentile 表は、過去 10 年間のデータを対象としているため、2004 年と 2005 年に発行された論文に関しては、被引用数は算出していない。

(3) 特許

特許については、日米欧の特許をカバーする Wisdomain 社の UltraPatent データベース（以下「特許 DB」と記す）を用い、「研究期間中に出願された特許出願・公開特許リスト」「研究期間終了後に出願された公開特許リスト」を作成した。

研究期間中の特許出願・公開特許・登録特許については、原則として終了報告書に記載されている特許情報（出願番号・公開番号など）に基づいて特許 DB 上での同定作業を実施し、公開または登録されたものについて以下の情報を抽出した。

- ・出願番号
- ・公開番号
- ・審査請求状況（日本のみ）
- ・特許番号（あれば）
- ・発明者
- ・出願人/権利者
- ・発明の名称
- ・国際出願番号

研究期間終了後の、研究課題に関係した公開特許・登録特許については、まず候補リストとして特許 DB 上で研究者名が発明者名称と一致するものを抽出した。候補リストの中から、

同姓同名の別人による公開特許・登録特許、また該当研究者による公開特許・登録特許であっても研究課題との関連性が低いと思われるものを除いた。公開特許・登録特許と研究課題との関連性については、概要及び請求項などの情報から判断した。

抽出した情報は、研究期間中の特許出願・公開特許・登録特許リストと同様である。

2.2. 研究成果概要

2.2.1. 研究助成金

研究発展状況を把握するために、プロジェクト終了後にどれだけ外部資金を獲得しているかを把握することは非常に重要である。当該研究領域の研究者の外部資金獲得状況を表2-2に示す。

研究者の多くはプロジェクト終了後も科研費を中心に競争的研究資金を獲得して、関連する研究開発を継続的に行っている。その中でも、長谷川 晶一は、科研費の獲得件数が多く、JST さきがけ研究領域「情報環境と人」における研究課題「作業プロセスの環境非依存化による作業集合知の形成」などの大型資金も獲得している。

長谷川のほか、佐藤 いまり、山口 真美は科研費新学術領域研究(研究領域提案型)において、研究代表者として新たなプロジェクトを実施している。

表 2-2 研究者の研究助成金獲得状況

科研費  JST  内閣府  文科省  厚労省 
 NEDO  AMED  その他 

研究者	研究 期間 (年度)	研究種目	研究課題	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	金額 (百万円)
金谷一朗	2004～2007	科学技術振興機構(JST) 戦略的創造研究推進事業 個人型研究(さがけ) デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術	デザイン言語を理解するメディア環境の構築														34.00
桐山孝司	2004～2007	科学技術振興機構(JST) 戦略的創造研究推進事業 個人型研究(さがけ) デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術	物語性を重視するデジタルメディアの制作配信基盤														30.00
長澤純人	2004～2007	科学技術振興機構(JST) 戦略的創造研究推進事業 個人型研究(さがけ) デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術	MEMS テクスチャスキャナ														38.00
長谷川晶一	2004～2007	科学技術振興機構(JST) 戦略的創造研究推進事業 個人型研究(さがけ) デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術	感覚運動統合がなされた自律バーチャルクリーチャーの創生														33.00
	2009～2012	科研費 若手研究(A)	力触知覚の特性に基づいた階層的なシミュレーションによる質感と接触状態の提示														22.75
	2009～2013	科学技術振興機構(JST) 戦略的創造研究推進事業 個人型研究(さがけ)	作業プロセスの環境非依存化による作業集合知の形成														40 (最大)

研究者	研究 期間 (年度)	研究種目	研究課題	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	金額 (百万円)
	2014 ～ 2016	科研費 基盤研究(B)	能動触知覚の原因 現象解明とモデル 化による内部構造 と材質のバーチャ ルリアリティ														15.47
浜 中 雅 俊	2004 ～ 2007	科学技術振興機 構(JST) 戦略的創造研究 推進事業 個人型研究(さ きがけ) デジタルメディ ア作品の制作を 支援する基盤技 術	ドレミっち:成長す る仮想演奏者の構 築														45.00
	2010 ～ 2012	科学技術振興機 構(JST) 戦略的創造研究 推進事業 個人型研究(さ きがけ)	計算論的メディア 操作の形式化														40 (最 大)
	2013 ～ 2016	科研費 若手研究(A)	音楽音響信号に対 する音楽操作の蓄 積と再利用の実現 に関する研究														10.66
佐 藤 い ま り	2004 ～ 2008	科学技術振興機 構(JST) 戦略的創造研究 推進事業 個人型研究(さ きがけ) デジタルメディ ア作品の制作を 支援する基盤技 術	「感性リアル」表現 の制作支援を目的 としたCG 技術の開 発														22.00
	2010 ～ 2014	科研費 新学術領域研究 (研究領域提案 型)	質感認知に関わる コンピュータビジ ョンと情報論的解 析														58.11
	2015 ～ 2019	科研費 新学術領域研究 (研究領域提案 型)	コンピュータビジ ョンで実現する多 様で複雑な質感の 認識機構														23.79
串 山 久 美 子	2005～ 2008	科学技術振興機 構(JST) 戦略的創造研究 推進事業 個人型研究(さ きがけ) デジタルメディ ア作品の制作を 支援する基盤技 術	感触表現の制作支 援を目的とした視 触覚感覚ディスブ レイ技術の開発														32.00

研究者	研究期間 (年度)	研究種目	研究課題	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	金額 (百万円)
	2015～ 2018	科研費 基盤研究 B	メディア表現を支援するための情動を伴うインタラクティブな触覚インタフェースの研究														20
後安美紀	2005～ 2008	科学技術振興機構(JST) 戦略的創造研究推進事業 個人型研究(さきがけ) デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術	「意図的なランダムな行為」の創出方法の解明														41.00
橋本典久	2005～ 2008	科学技術振興機構(JST) 戦略的創造研究推進事業 個人型研究(さきがけ) デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術	全天周と極小領域映像を扱うための入出力機器の研究開発														48
武藤努	2005～ 2008	科学技術振興機構(JST) 戦略的創造研究推進事業 個人型研究(さきがけ) デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術	人間の知覚に基づいた色彩の動的制御システムの構築														36
渡邊淳司	2005～ 2008	科学技術振興機構(JST) 戦略的創造研究推進事業 個人型研究(さきがけ) デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術	触・力覚の知覚特性を利用した新たな芸術表現の基盤研究														38.00
寛康明	2006～ 2009	科学技術振興機構(JST) 戦略的創造研究推進事業 個人型研究(さきがけ) デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術	アート表現のための実世界指向インタラクティブメディアの創出														37.00

研究者	研究 期間 (年度)	研究種目	研究課題	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	金額 (百万円)
木村 朝子	2006～ 2009	科学技術振興機構(JST) 戦略的創造研究推進事業 個人型研究(さきがけ) デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術	空間型メディア作品を強化する7つ 道具型対話デバイス														44.00
	2011～ 2014	科研費 基盤研究(B)	複合現実型視覚刺激が及ぼす触印象に関する研究														19.24
	2016～ 2019	科研費 基盤研究(B)	複合現実型視覚刺激による R-V Dynamics Illusion の研究														16.12
野口 靖	2006～ 2009	科学技術振興機構(JST) 戦略的創造研究推進事業 個人型研究(さきがけ) デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術	Locative Media (ローカティブメディア) を利用した芸術／文化のための視覚表現技術開発														39.00
三 谷 純	2006～ 2009	科学技術振興機構(JST) 戦略的創造研究推進事業 個人型研究(さきがけ) デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術	折紙のデジタルアーカイブ構築のための基盤技術とその応用														19.00
山口 真美	2005～ 2008	科学技術振興機構(JST) 戦略的創造研究推進事業 個人型研究(さきがけ) デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術	子どもの知育発達を促すデジタルメディアの作成														41.00
	2008～ 2012	科研費 新学術領域研究(研究領域提案型)	顔認知機能の発達過程の解明														67.08
	2009～ 2013	科研費 基盤研究(A)	乳児における能動的な知覚認知機能の解明														44.46

研究者	研究期間 (年度)	研究種目	研究課題	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	金額 (百万円)
	2013～2014	科研費 新学術領域研究 (研究領域提案型)	質感知覚の成立過程—一言語獲得前後の乳幼児を対象にした発達の検討														11,96
	2014～2017	科研費 基盤研究(B)	顔認知の多様性の脳内機能と生成過程の解明—発達性相貌失認を手がかりに														12,48

2016年8月19日調査をもとに加筆修正

(注) 本研究領域開始以降に開始されたプロジェクトで助成金総額が1千万円／件以上のもののみを抽出した。

2.2.2. 論文

論文発表数は研究者の研究活動を示す重要な指標であるため、研究者について研究期間中の論文数と研究期間終了後の論文数とを調査した。研究期間終了後については、研究者が筆頭著者(First Author)もしくは責任著者(Last Author)となっている論文の数を求めた。検索はいずれも2016年10月に実施した。表2-3に示すように、研究期間中の発表論文数は全体で113報、研究期間終了後の発表論文数は140報であった。また、研究期間終了後発表論文のうち、責任著者となっている論文は56報であった。

研究期間中の論文数では、長澤 純人、長谷川 晶一、渡邊 淳司、山口 真美が10報を超える論文を発表している。研究期間終了後を見ると、長澤 純人、佐藤 いまり、木村 朝子、山口 真美の論文発表が10報を超えている。研究者の多くは研究期間終了後に発表論文数が減っているが、佐藤 いまり、木村 朝子、山口 真美は、むしろ論文発表数が大きく増えている。

表 2-3 研究代表者の論文（原著論文）数

期（採 択年 度）	研究課題	研究代表者	①研究 期間中 の論文 数	②研究 期間終 了後の 論文数	③研究 期間終 了後の 責任著 者論文 数
第 1 期 (2004 年度)	デザイン言語を理解するメディア 環境の構築	金谷 一朗	1	4	0
	物語性を重視するデジタルメディ アの制作配信基盤	桐山 孝司	2	5	3
	MEMS テクスチャスキャナ	長澤 純人	12	13	3
	感覚運動統合がなされた自律バー チャルクリーチャーの創生	長谷川 晶一	10	6	5
	ドレミっち：成長する仮想演奏者 の構築	浜中 雅俊	1	5	3
	「感性リアル」表現の制作支援を 目的とした CG 技術の開発	佐藤 いまり	7	27	6
第 2 期 (2005 年度)	感触表現の制作支援を目的とした 視触覚感覚ディスプレイ技術の開 発	串山 久美子	9	6	5
	「意図的なランダムな行為」の創出 方法の解明	後安 美紀	2	3	2
	全天周と極小領域映像を扱うため の入出力機器の研究開発	橋本 典久	0	1	0
	人間の知覚に基づいた色彩の動的 制御システムの構築	武藤 努	0	0	0
	触・力覚の知覚特性を利用した新 たな芸術表現の基盤研究	渡邊 淳司	15	5	0
第 3 期 (2006 年度)	アート表現のための実世界指向イ ンタラクティブメディアの創出	筧 康明	3	1	1
	空間型メディア作品を強化する 7 つ道具型対話デバイス	木村 朝子	8	16	5
	Locative Media（ローカティブメ ディア）を利用した芸術／文化の ための視覚表現技術開発	野口 靖	0	0	0
	折紙のデジタルアーカイブ構築の ための基盤技術とその応用	三谷 純	4	1	1
	子どもの知育発達を促すデジタル メディアの作成	山口 真美	39	47	22
	領域全体		113	140	56

2016 年 9 月調査を元に加筆修正

2.2.3. 特許

特許出願件数・登録件数は研究開発が応用に向けて進展していることを表す一つの指標であると考えられるため、研究期間中と研究期間終了後の状況について調査した結果を、下表に示す。

研究期間中の特許出願は国内 23 件、海外 3 件であり、成立件数（研究期間中に出願した特許のうち、現時点で特許登録されている件数）は、国内 12 件、海外 0 件であった。研究

期間中では、渡邊 淳司の特許出願数が国内 5 件、海外 1 件とやや多い。特許出願数が 0 の研究者も多く、基礎的な側面が強い領域であったことがわかる。

研究期間終了後の特許出願は、国内 35 件、海外 4 件であり、うち国内 15 件、海外 2 件が特許として成立している。研究期間終了後も渡邊 淳司の出願数が多い。また、笥 康明も国内 5 件、海外 1 件の特許出願をしている。渡邊 淳司は、海外出願も積極的に行っており、国内 9 件、海外 1 件の特許登録もされている。

表 2-4 研究代表者の特許出願・登録状況

採択年度	研究代表者	研究期間中				研究期間終了後			
		出願件数		登録件数		出願件数		登録件数	
		国内	海外 (国際)	国内	海外 (国際)	国内	海外 (国際)	国内	海外 (国際)
2004 年度	金谷 一朗	0	0	0	0	0	0	0	0
	桐山 孝司	0	0	0	0	0	0	0	0
	長澤 純人	5	0	1	0	2	0	0	0
	長谷川 晶一	3	0	1	0	2	0	2	0
	浜中 雅俊	0	0	0	0	0	0	0	0
	佐藤 いまり	1	1	1	0	1	0	0	0
2005 年度	串山 久美子	2	1	2	0	2	0	1	0
	後安 美紀	0	0	0	0	0	0	0	0
	橋本 典久	1	0	1	0	2	1	2	1
	武藤 努	0	0	0	0	0	0	0	0
	渡邊 淳司	5	1	4	0	18	2	9	1
2006 年度	笥 康明	1	0	0	0	5	1	0	0
	木村 朝子	1	0	1	0	0	0	0	0
	野口 靖	1	0	0	0	0	0	0	0
	三谷 純	3	0	1	0	3	0	1	0
	山口 真美	0	0	0	0	0	0	0	0
	領域全体	23	3	12	0	35	4	15	2

2016 年 10 月 20 日調査をもとに加筆修正

2.3. 科学技術や社会・経済への波及効果

2.3.1. 科学技術への波及効果

(1) 受賞

佐藤 いまりは、2009 年、2010 年に情報処理学会において論文賞を受賞しており、また海外の有力な国際会議である CVPR(2011 年)や ACCV(2010 年)においても受賞している。

笥 康明は、2014 年の文部科学大臣表彰若手科学者賞をはじめ、情報処理学会(2011 年、2014 年、2015 年)、ヒューマンインターフェース学会(2013 年、2015 年)、自動計測制御学会(2014 年)、日本バーチャルリアリティ学会(2015 年)等の各学会において論文賞を受賞

している。

三谷 純は、WISS2010 ベストペーパー賞、日本応用数理学会 2010 年度若手優秀講演賞、2015 年芸術科学会 第 12 巻論文賞、2012 年マイクロソフトリサーチ日本情報学研究賞等、様々な賞を受賞している。

また、桐山 孝司は、2008 年に文化庁メディア芸術祭エンターテインメント部門優秀賞を受賞、武藤 努は 2008 年 PRIX ARS ELECTRONICA Interactive Art 部門 Honorary Mention を受賞するなど、論文だけではなく本研究で制作された作品が芸術作品として受賞している。

(2) 学会・研究会等への貢献

三谷 純は、The Asian Conference on Design and Digital Engineering 2013, Keynote speache、NICOGRAPH International 2015 等の国際会議において招待講演を行っている。

山口 真美は、「ノンバーバルコミュニケーション」を研究期間終了後の 2012 年 11 月に日本高次脳機能障害学会学術総会において招待講演を行っている。

(3) 研究人材の広がり

佐藤 いまり、渡邊 淳司、笥 康明は当時博士課程の学生であったが、さがけ終了後にはそれぞれ国立情報学研究所、NTT コミュニケーション科学基礎研究所、慶應義塾大学に研究者として着任している。

三谷 純は、JST ERATO「五十嵐デザインインタフェースプロジェクト」において、生活デザインのための技術グループのグループリーダーを担当し、笥 康明は、2015 年から JST ERATO「川原万有情報網」の研究総括補佐として、インタラクティブマター&ファブリケーショングループリーダーを務めているなど、若手研究者が研究リーダーとしても活躍している。

2.3.2. 社会・経済への波及効果

(1) 報道

三谷 純は、2010 年にファッションデザイナーである三宅一生と協力して、本研究で制作した折り紙作品を照明器具のカバーとして利用するためにデザインを提供したり、2005 年から折紙の展開図をシミュレーションするツール ORIPA を一般向けに提供した。また、2016 年に公開されたシン・ゴジラやデスノートなどの映画にも、制作した折紙作品を提供しており、複雑な形状を持つ折紙作品が注目された。

山口 真美は、研究成果である乳児の顔認識の脳反応に基づく仕組みについて、2010 年および 2013 年に多数の報道があり、一般からも注目が集まった。2014 年 7 月から 8 月に東京都現代美術館において開催された展示会「ワンダフルワールド」に、乳幼児が反応するよ

うに「親子向けのデジタルメディアコンテンツ」の展示を行った。

第 3 章 各研究課題の主な研究成果および波及効果

3. 1. 2004 年度採択研究課題

3. 1. 1. デザイン言語を理解するメディア環境の構築（金谷 一朗）

(1) 研究のねらいと研究期間中の達成状況

① 研究のねらい

本研究では、デザイン分野（製品デザイン、グラフィックデザイン、景観デザインなど）における大きな問題はデザインの欠如にあるとして、デザインを言語として捉え直し、デザイン言語を用いることによってデザインの高度化をめざした。デザインとは、造形や意匠設計のみではなく、知性と感性の統合による高度な頭脳的、身体的創作活動を指す。デザインを情報技術から捉えるために、デザイン言語という考え方を導入し、デザイン言語の理解、およびデザイン言語を理解するコンピュータ支援デザインシステム、デザイン言語を応用したコンピュータによるデザイン、および、コンピュータとひとのインタラクションによるデザインを可能とする新しいメディア環境を構築することを目的とした。

具体的には、デザイン言語の辞書をつくるための基本単語の収集、デザイン言語の発見をととしたデザインツールの開発、およびデザインツールによる具体的なデザイン例としての家具デザイン（フューチャ・ファーマニチュア）を目的とした。

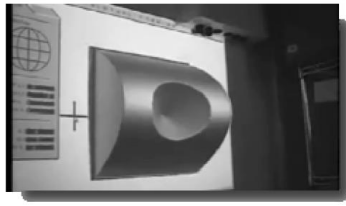
② 期間中の研究成果

(i) デザイン言語の構築

デザインのルール、または文法を見つけ出すことを目的として、感性的シェイプトリートリアル、フラクタルパタンデザイナー（Pattern Designer）、および審美曲面の解析と合成に関する研究を行い、審美的フラクタルパタンを自在にデザイン可能なフラクタルデザイン支援システムを構築した。

(ii) デザインツールの開発

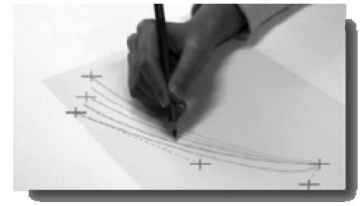
複合現実感技術により、フィジカルなモデルをあたかもデジタルなモデルのように扱うことを可能とし、その上にコンピュータによる様々なデザイン支援を行える環境を構築した。図 3-1 は、製品デザインのために開発した 3 種類のソフトウェアであり、複合現実感技術を応用した三次元造形デザインシステム HYPERREAL、および HYPERREAL システムのための新ユーザインタフェースコンセプト Zero User Interface、また平面スケッチ支援のためのドローイング動作先読み機能付き「お絵描き」ソフトウェア Hyperdraw である。



HYPERREAL



Zero User Interface



Hyperdraw

図 3-1 複合現実感技術を応用したデザインツール¹

(iii) フューチャ・ファーマニチュアの開発

ユーザと相互作用を行う家具のデザインとして、呼吸する椅子 Fuwapica Suite、および形態と色彩をコピーする机 RGBy desk の開発を行った。

(iv) フラクタルパタンデザインソフトウェアの開発

実際のデザインに用いられているフラクタルパタンデザインソフトウェア Pattern Designer を開発した。芸術作品、平面グラフィックデザインにおける審美性を科学的に扱うことを目的として、フラクタルパタンを用いたテキスタイルデザインの実現をめざし、審美的フラクタルパタンを自在にデザイン可能なフラクタルデザイン支援システムを構築した。

また、テキスタイルデザインにおいて、模様の印象が重要であるという観点から、フラクタルパタンの持つ多様な印象を、数学的に解析する手法を開発した。フラクタルパタンを生成するアルゴリズムである L-System を改良したフラクタル生成アルゴリズム Parametric L-System を用い、ユーザが与えた確率パラメータに従ってフラクタル性にゆらぎ(幾何学的なひずみ)を与えることで、より人間らしい「味わい」をフラクタルパタンに与えることができた。

(v) 審美的フラクタルパタンの解析

Parametric L-System を用いて審美的フラクタルパタンの印象を定量評価するため、SD 法によるフラクタルパタンの印象測定実験を実施した。ユーザにフラクタルパタンをそれぞれの印象に基づいて分類させた結果、フラクタルパタンは “soft-hard”、“heavy-light”、“ugly-beautiful” という三つの形容詞対を軸とする印象語空間にマッピングできることを示した。生成した印象語空間とフラクタルパタンのもつ審美的フラクタル収束度、審美的フラクタル構造組成、という二つの幾何学的特徴量とを対応づけることで、数学的にフラク

¹「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」研究領域 領域活動・評価報告書ー平成 19 年度終了研究課題ー

タルパタンの印象推定を実現した。

(vi) フラクタルパタンデザインシステムの構築

意図したフラクタルパタンをデザイン可能にするため、Parametric L-System と Interactive GA を組み合わせたフラクタルパタンデザインシステムを構築した。ユーザによるパターンの選択と、システムによるパターンの突然変異を繰り返すことで、フラクタルパタンのデザインを実現している。加えて、アンケート調査とテキスタイルデザイン専門家による評価の結果、「生成される模様が審美的である」、「創造的刺激が得られる」という点で、提案システムが有効であることを明らかにした。図 3-2 に Pattern Designer*で作成されたフラクタルパタンデザイン例を示す。

これらの成果について論文 1 報を発表し、計測自動制御学会計測部門パターン計測部会優秀論文賞(2005)および、成果の一つである、形態と色彩をコピーする机「The RBGy desk」が、第 10 回文化庁メディア芸術祭審査委員会推薦作品賞(2007)を受賞した。デザインの製作現場とよく連携して進められた。

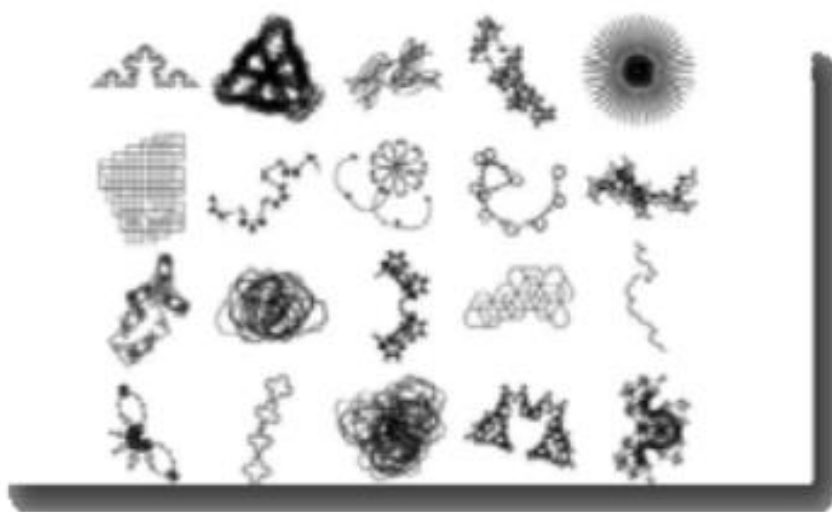


図 3-2 Pattern Designer によって生成されたフラクタルパタン例²

③ 研究成果に関連した主な成果論文リスト 3 報以内(被引用数トップ 2 位)

Web of Science のデータベースでは、各成果論文の被引用数は 0 となっており、被引用数を把握できなかったため、メジャーな学会等で発表した論文を示す。

[1] Kanaya, I; Nakano, Y; Sato, K., “Classification of Aesthetic Curves and

² 「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」研究領域 領域活動・評価報告書ー平成 19 年度終了研究課題ー

Surfaces for Industrial Designs; Design Discourse”, 2, 4, 1-8, Design History Forum, 2007.

[2] 江田幸弘, 金谷一朗, 佐藤宏介, デザイン言語に基づいた 3 次元形状モデルの検索のための形状表現法, 計測自動制御学会計測部門パターン計測部会, 2005.

(2) 研究領域終了後の継続と発展状況

① 科学技術の進歩への貢献

2016 年現在、金谷は長崎県立大学の教授として下記 3 テーマを主な研究テーマとして活動を行っている。

- コンピュータグラフィックスとホログラフィー
- 仮想現実
- インタラクティブデザインの方法論と理論

本研究課題と関連深い研究テーマである「インタラクティブデザインの方法論と理論」において、コンピュータを駆使したアートの科学的理解に向けた研究を続けている。

一方で、本研究で培われたコンピュータグラフィックス技術をいかして、2016 年現在はエジプトのピラミッドのような歴史的建造物の調査にコンピュータの技術を応用する活動にも取り組んでいる（図 3-3 参照）。



図 3-3 エジプトにおける建造物の 3D 映像化³

³ Pineapple.cc [http://www.pineapple.cc] (最終閲覧 2016 年 10 月)。

Ichi Kanaya [https://www.flickr.com/photos/kanaya/]

② 社会・経済への波及効果

本研究は、デザイン(主に工業デザイン)を対象にデザイン言語という考え方を取り入れ、そこに数理的な視点を加えたメディア環境の構築をめざした。デザイナーとも協働して研究を進めた結果、数多くのツール・システムが構築された。

テキスタイルデザインに限らずに、工業デザインでよく使われているフラクタルパターンを審美的フラクタルパターンとして、本研究で構築したツールを用いて生成することで、「人間らしい味わい」をもつ、より魅力的なデザインの製品を作り出すことができる。テキスタイルデザインとしても利用することができ、衣服をはじめ内装などの素材に使うことで優れたデザイン性をいかにすることができる。

2016年現在、金谷はTED (Technology Entertainment Design) Conferenceをはじめ、神戸で開催された TEDxKobe や京都で開催された TEDxKyoto 等において、数回の講演を行っており、コンピュータを駆使したアートの科学的理解に向けた研究やその過程で得られた知見に基づくメディアアート作品等について一般の人に広く知らせる活動を精力的に行っている。

③ 上記、継続と発展状況を示す研究成果に関連した主な成果論文リスト 4 報以内

[1] Kouda, H; Kanaya, I; Sato, K., “Motion Stroke-A Tablet-Based Interface for Motion Design Tool Using Drawing”, HUMAN-COMPUTER INTERACTION, PT II, 5611, 821-829, 2009.

[2] Nakamura, S; Kanaya, I; Ohno, Y; Kawasaki, K., “System Design for Automated Time Study of Nursing”, E-HEALTH, 335, 228-229, 2010.

[3] Shimizu, S; Ohno, Y; Noda, H; Nakamura, S; Kanaya, I; Yamada, K; Ishii, A; Kasahara, S; Hirakawa, K; Nakagawa, R; Matsumura, Y., “The Impact of Electronic Medical Records on the Work Process of Outpatient Care: Extracting Use-Cases of Paper-Based Medical Records Using a Time Process Study”, E-HEALTH, 335, 230-231, 2010.

[4] Ojima, H; Ohno, Y; Shimizu, S; Oi, S; Inoue, Y; Ishii, A; Kasahara, S; Hirakawa, K; Nakamura, S; Kanaya, I; Kawasaki, K; Tanaka, A; Motosugi, F; Okada, C., “The Working Process and Time Efficiency of Patient Transportation in Cardiovascular Hospital Using Time Process Modeling”, E-HEALTH, 335, 232-233, 2010.

④ その他

2009年に「デザイン幾何学に基づく計算機支援三次元デザイン」、2011年に「デザイナーの「きもち」を「かたち」に変える：デザイン幾何学を応用した計算機支援設計」として科学研究費補助金を獲得している。

3.1.2. 物語性を重視したデジタルメディアの制作配信基盤（桐山 孝司）

(1) 研究のねらいと研究期間中の達成状況

① 研究のねらい

本研究では、従来の小説や映画のような一方向の流れに限定された物語だけでなく、利用者が問いかけたり、働きかけたりすることで展開していく、インタラクティブな探求の可能性を持ったコンテンツや体験を物語性と位置づけ、デジタルメディアによって可能になる物語性の提示方法のポイントを探ることをめざした。

コンテンツを提示する上でのポイントを具体的な事例から抽出し、またそのポイントを利用者に伝えるために必要な基盤技術を開発することを目的とした。

② 期間中の研究成果

(i) 物語性を強化するためのペルソナ手法およびツールの構築

本研究では、既知の物語の分析ではなく、作り手側の工夫によって物語性を強化することを意図したため、物語論的な構造分析だけでは不十分であることを明らかにした。製品やサービスの利用者として想定する具体的な人物像を描き出す手法であるペルソナでは、アンケートやヒアリングによって多数の人間の断片的な経験を収集した上で、一貫性のある物語を作り出しており、元になるデータと物語との対応関係を見ることができる。

分析に当たって、専門家がアンケートで収集したデータを、ペルソナの記述に集約していくプロセスをシミュレートできるペルソナ CAD を構築した。図 3-4 に示すようにペルソナを記述するテキストのフレーズと、その元になったアンケート調査データの該当フレーズとの対応を保持するもので、完成したペルソナがデータのどの部分を引用したかを追跡できる。これらの機能によって、データの必要箇所を引用しながら、独自のペルソナを記述していく作業を再現でき、コンテンツに物語性を持たせるために、意図的に転換点を作ることがポイントであることを明らかにした。ペルソナ CAD は日本科学未来館での予感研究所にて展示された。

ベルソナからデータ中の言葉へのリンク	
番号 経験設定 性別 年代 職業 クラス 現在 住所 未婚 現在	社会人になってから体を動かさなくなり日頃のストレスがたまっていた彼女は、スポーツクラブが気になっていたのですが、なんとなく躊躇していました。
	近所のスポーツクラブの無料体験キャンペーンを見かけて、思い切って行ってみることにしました。はじめてのスポーツクラブの館内は意外にキレイで、彼女は少しいい気分でした。
	しかも体験会を担当してくれたインストラクターが親切で感じがよく、また一緒に体を動かしませんか？といわれたことがきっかけで、彼女は入会を決意しました。
	スポーツクラブには毎週木曜日に会社が終わってからいきます。帰路はヘトヘトになりますが、とても健康にいいことをしている清々しい気分を満たされて家路につきます。
	しばらくすると、いまひとつ目的がハッキリしない感じに違和感を覚えてきていました。しかしダイエットプログラムに出会った時に、真剣にダイエットに励む決心をしました。
Q1	ダイエットしようと思い、チラシやインターネットで調べたり、友人に相談し、とりあえず近い場所にあるところを選びました。入会候補は2つ程ありましたが、やはり通いやすいところ＝近いところとなり、そこに決めました。見学などはせず、すぐ申し込みました。
Q2	行くのは金曜日。土日だと混むので、昼から夕方にかけて行きます。金曜が妥当なので毎週金曜日に決めて行っています。準備は水着などのみ。決まったモノしか使いません。帰ってくると「ああ、今日も運動したな」と充実感と心地よい疲労感があって寝付きも良くなります。帰ったら食事の準備をして、寝ます。

図 3-4 ペルソナ CAD⁴

(ii) 分岐のある物語を扱うための基盤技術の開発

物語を追って進みながら、そこで出てくる話題に関連した別の箇所に移動してまたもとに戻るといふ、非線形的に物語を追うための実験を通じて、長時間のコンテンツから興味のある箇所に選択的に移動して見てもらえることを検証した。

インタビューから書き出したテキストデータと映像が、同期したインタビュー映像に対して、テキストデータを形態素解析して単語に分解し、同じ単語や同義語関係にある単語間に相互参照のリンクをつけることで、リンクをたどって映像を再生するシステムを構築した。一つのインタビュー映像を追いながら、その中の言葉が他のインタビューでどのように使われているかが気になった単語を選ぶと、それと同じ単語を使っている他の映像の箇所に移行できる。問い合わせに対して関連部分を返すためのツール群を XSLT、XQuery などの XML 技術を用いて開発した。本システムは東京藝術大学のオープンスタジオの機会に一般向けに展示された。

(iii) 体験型展示の構築

転換点というポイントと基盤技術を活用して、人間が体験しながら物語を作り出す装置

⁴ 「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」研究領域 領域活動・評価報告書ー平成 19 年度終了研究課題ー

として、人間が分岐構造のある空間の中を移動していくと、システムがそれに応じたレスポンスをするシステムを構想した。この空間には 8 台のゲート型の RFID リーダを設置し、それぞれをネットワークでサーバに接続して、ゲートを通過するたびにどのゲートをいつ通過したかがデータベースに登録するようにした。またディスプレイと固定型の RFID リーダを用意して、これまでにたどった経路を確認できるようにした。

「計算の庭」は、これまでのメディアアートのように鑑賞者の感覚的な理解に頼るものと異なり、組み立てていくプロセスを楽しむ新しいタイプのコンテンツである(図 3-5 参照)。これらの成果について、論文 2 報を発表し、森美術館での展示を行った。



図 3-5 計算の庭⁵

③ 研究成果に関連した主な成果論文リスト 3 報以内（被引用数トップ 3 位）

Web of Science のデータベースでは、各成果論文の被引用数は 0 となっており、被引用数を把握できなかったため、主要な発表論文を示す。

[1] 桐山孝司, ” ユーザ・エクスペリエンスのための物語性研究”, 情報処理, 47, 4, 2006.

[2] 桐山孝司, ” 意味性を重視するユーザー・エクスペリエンス研究”, 機械の研究, 59, 1, 2007.

⁵ 「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」研究領域 領域活動・評価報告書ー平成 19 年度終了研究課題ー

(2) 研究領域終了後の継続と発展状況

① 科学技術の進歩への貢献

2016 年現在、桐山は東京藝術大学大学院映像研究科メディア映像専攻の教授として下記 2 テーマを主な研究テーマとして活動を行っている。

- 映像メディア学
- インタラクティブメディア

本研究領域終了後も、本研究と関連深い研究テーマであるインタラクティブメディアの研究を続けており、芸術教育の手法や教材などを改善する活動にも取り組んでいる。

また、革新的イノベーション創出プログラム(COI STREAM) の東京藝術大学 COI 拠点において共感覚メディア研究を担当している。

② 社会・経済への波及効果

本研究では、物語性に着目し、小説や映画のように作者から与えられた物語でなく、鑑賞者が問いかけを行うことにより、複数の展開をもつ物語のように新しいコンテンツを制作した。

また、商品開発で使われているペルソナ作成のプロセスを分析したことにより、「意図的な転換点」が重要であることが明らかになった。これにより、コンテンツにおいて行き戻りや分岐のある物語を実現することができ、アニメーション、オンラインゲーム、建築などの分野における物語性の高いコンテンツの設計にも利用でき、魅力的な新しいコンテンツとして生成することができる。さらに、ゲーム等のエンタテインメント分野だけではなく、同時進行で進められるビジネス、医療などの分野にも応用可能である。

2016 年現在、桐山はNHK 教育番組「TAKE TECH」の技術監修も行っており、研究活動をとおして得た自身の知見を一般の人に広く知らせる活動を精力的に行っている。また、本研究成果について、学会での論文報告のほかに、ユーザリサーチと物語性に関するセミナーや書籍、各所での展覧会などを通して産業界に還元した。

③ 上記、継続と発展状況を示す研究成果に関連した主な成果論文リスト 4 報以内

Web of Science のデータベースでは、各成果論文の被引用数は 0 となっており、被引用数を把握できなかったため、主要な学会等で発表した論文を示す。

[1] Kiriya, T; Sato, M., “Design of museum exhibits and analysis of visitor-exhibit interactions”, Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments, 5, 2, 147-159, 2013.

[2] Kiriya, T; Akagawa, T; Inoue, T; Yamamoto, A., “Designing Behaviors of Mobile Robots for Museum Exhibits”, 20th International Conference on Virtual Systems and Multimedia, 2014.

[3] 桐山孝司、木村稔、重田佑介、越田乃梨子、宮廻正明、松村公太、平論一郎，マルチレイヤープロジェクションによるオペラ舞台の演出，映像メディア学（東京藝術大学大学院映像研究科紀要），4，43-59，2013

[4] 木村稔、桐山孝司、千葉毅，縄文土器のための展示技術開発 デジタルファブリケーションの活用，LOOP 映像メディア学，5，5-15，2015.

④ その他

特になし。

3.1.3. MEMS テクスチャスキャナ（長澤 純人）

(1) 研究のねらいと研究期間中の達成状況

① 研究のねらい

本研究は MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 技術を用いて、実際の物体表面での光学異方性を持った反射特性や色情報をスキャンし、CG モデルに即時適用可能なテクスチャ情報を取得することをめざしたものである。反射特性や色情報をスキャンするための光学的な要素デバイスを試作し、評価を行うことで簡単にテクスチャ計測できる装置の実現をめざした。

② 期間中の研究成果

(i) 自己クローニング型フォトニック結晶による動的光学フィルタの開発

物体表面の色情報(可視光領域におけるスペクトル情報)を得るデバイスを、MEMS 構成要素として開発を行った。これまでの MEMS デバイスにおけるフォトニック結晶の利用は、直径数 100nm の穴を規則正しく配列させて開けるスラブ型がほとんどで、扱える波長域も、シリコン構造体を導波路とするために赤外線領域での動作が多かった。本研究で利用したフォトニック結晶は自己クローニング法によって作られた、2 次元、もしくは 3 次元の立体構造を持つフォトニック結晶である。試作したデバイスは、構造ピッチは 190nm、可視光線領域(500nm 近傍)で動作するフォトニック結晶デバイスであり、2006 年度の MEMS 国際学会でも、スラブ型とは異なる方式で MEMS プロセスに適合できる自己クローニング法を利用する提案は、当時多くの研究者からも注目された (図 3-6 参照)。

(ii) マイクロバブルによる駆動構造を持たない入射光のスキャン機構の開発

マイクロヒータ・アレイは、MEMS 要素としては比較的プロセスが容易で、その発生熱量の制御も電流制御で可能である。マイクロヒータを液体の中で発熱させると、マイクロバブルが生成する。マイクロバブルは、生成・分解の応答性が非常に速く、応用が期待されている技術の一つであり、ヒータ電力と供給時間によるヒータでの供給電力量で、バブル径を任意に制御することが可能である。マイクロバブルの位置は、ヒータによって精密に決められているため、入射光をコリメートしておき、ピンホールを介してバブルに入射すれば、バブル径を調節することで、その入射光方向を制御し、駆動構造を持たずにスキャン機構を実現することができる。

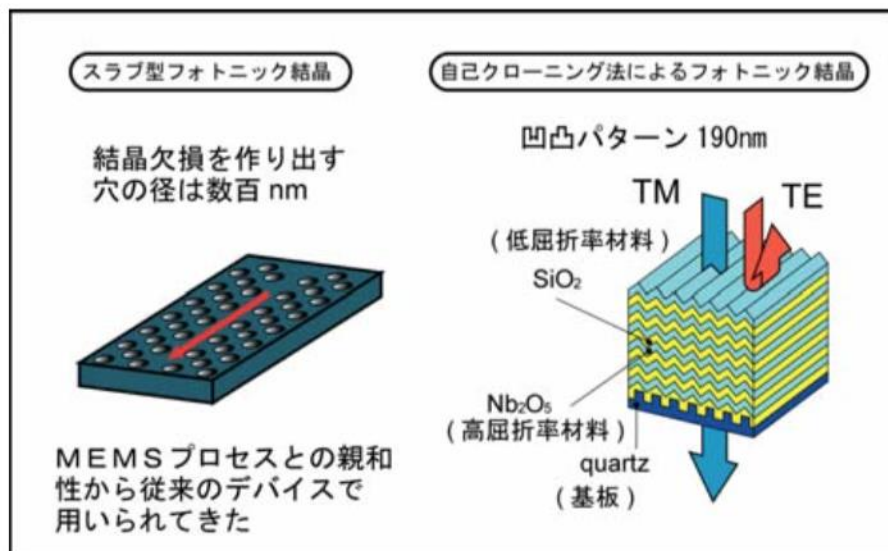


図 3-6 スラブ型と自己クローニング法による違い⁶

(iii) カスタム ASIC によるベアチップ周辺回路の開発

MEMS センサデバイス用のベアチップ周辺回路を試作した。高入力インピーダンスタイプのオペアンプを前段にしたインストルメンテーションアンプを構成し、後段の増幅回路は最小限の外付け部品でゲインを調節できるように工夫した。また、測定信号には $1/f$ ノイズ軽減のため高周波変調をかけることがあり、その復調器も構成できる。

(iv) MEMS ミラーと受光素子アレイを用いたテクスチャスキャナの開発

MEMS ミラーと受光素子アレイ(フォトダイオードアレイや CCD など)を組み合わせた主要なテクスチャ情報である、物体表面での光学異方性反射分布を計測する試作テクスチャスキャナを開発した(図 3-7 参照)。特定の測定可能範囲でしか測定値が得られないため、レファレンスとしての光学異方性反射分布ライブラリを用意し、測定データとフィッティングすることにより、全方向からのテクスチャ情報を補完する。

本装置は、高 NA の対物レンズを用いて対象サンプルの表面の一点に様々な方向から測定光を入射させ、反射光分布を計測する。対物レンズへ入射する平行光の入射位置を変えることで、入射光方向を変化させることが可能で、計測点での異方性反射分布が計測できる。

⁶ 「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」研究領域 領域活動・評価報告書—平成 19 年度終了研究課題—

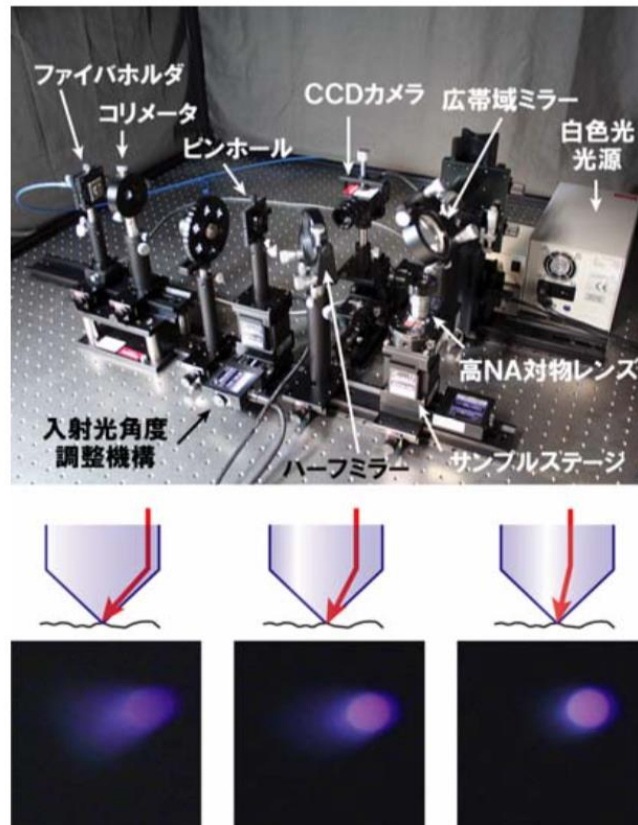


図 3-7 レファレンス用の光学異方性取得実験系⁷

これらの成果について論文 12 報を発表し、特許 5 件を出願した。

③ 研究成果に関連した主な成果論文リスト 3 報以内（被引用数トップ 3 位）

- [1] Kanzaki, R; Nagasawa, S; Shimoyama, I., “Neural basis of odor-source searching behavior in insect brain systems evaluated with a mobile robot”, CHEMICAL SENSES, 30, I285- I286, 2005.
- [2] Nagasawa, S; Shimoyama, I., “Calcium concentration measurement by local fluorescent-dye injection”, SENSORS AND ACTUATORS B-CHEMICAL, 102, 1, 7-13, 2004.
- [3] Konno, R; Mitsui, M; Kuwano, H; Nagasawa, S; Sano, K; Hayasaka, J., “A highly sensitive strain sensor using surface acoustic wave and its evaluation for wireless battery-less sensor network”, 2007 IEEE SENSORS, VOLS 1-3, 796-799, 2007.

(2) 研究領域終了後の継続と発展状況

⁷ 「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」研究領域 領域活動・評価報告書ー平成 19 年度終了研究課題ー

① 科学技術の進歩への貢献

2016 年現在、長澤は芝浦工業大学の准教授として下記 3 テーマを主な研究テーマとして活動を行っている。

- 昆虫の胸部神経回路を模擬した 6 足歩行ロボット
- MEMS センサ、マイクロアクチュエータ
- 3 次元マイクロ折紙構造

本研究領域終了後も MEMS センサ・マイクロアクチュエータの研究を続けており、MEMS 技術をベースにした機械分野において、広い視点で研究テーマに取り組んでいる。従来のスラブ型ではなく、自己クリーニング型フォトリソグラフィを用いた、光に対する入力方向を動的に制御する動的光学フィルタをはじめ、いくつかの小型化のための要素技術の確立により、それらを組み合わせたシステムの原理を構築することで、光学的なスキャニング装置の小型化が実現する可能性が示された。

② 社会・経済への波及効果

本研究は、装置を物体の表面に当てるだけで、画像の質感(テクスチャ)情報を得ることができる計測装置の小型化をめざしたものである。現在の技術では、色彩や模様は光学的なスキャナで簡単に情報取得できる。しかし、質感情報については、専門知識を要するソフトウェアを使いこなすか、大型の計測装置を使うしかなかった。今回 MEMS 技術を使い、小型化に必要な要素技術の開発を行った。これにより、小型の光学的なスキャナに質感を得る機能を組み込むことができ、様々な対象物をスキャンすることで、形状やテクスチャ情報を反映した 3D コンテンツを作り出すことが可能になると考えられる。

2016 年現在まで、長澤は書籍を 3 冊出版しており、研究活動を通して得た自身の知見を一般の人に広く知らせる活動を精力的に行っている。

③ 上記、継続と発展状況を示す研究成果に関連した主な成果論文リスト 4 報以内

[1] Bao, Z.Q; Hara, M; Mitsui, M; Sano, K; Nagasawa, S; Kuwano, H., “Experimental Study of Highly Sensitive Sensor Using a Surface Acoustic Wave Resonator for Wireless Strain Detection”, JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, 51, 7, [07GC23], 2012.

[2] Suzuki, T; Nagasawa, S; Okamoto, H; Kuwano, H., “Novel Vibration-Driven Micro-Electrostatic Induction Energy Harvester with Asymmetric Multi-Resonant Spring”, 2010 IEEE SENSORS, 1161-1164, 2010.

[3] Okamoto, H; Onuki, T; Nagasawa, S; Kuwano, H., “Efficient Energy Harvesting from Irregular Mechanical Vibrations by Active Motion Control”, JOURNAL OF MICROELECTROMECHANICAL SYSTEMS, 18, 6, 1420-1431, 2009.

[4] Yabe, A; Hamate, Y; Hara, M; Oguchi, H; Nagasawa, S; Kuwano, H., “A self-

converging atomized mist spray device using surface acoustic wave” , MICROFLUIDICS AND NANOFUIDICS, 17, 4, 701-710, 2014.

④ その他

特になし。

3.1.4. 感覚運動統合がなされた自律バーチャルクリーチャーの創生（長谷川 晶一）

(1) 研究のねらいと研究期間中の達成状況

① 研究のねらい

本研究では、人間や動物(クリーチャー)の感覚・運動系をモデル化し、感覚入力に基づくAIが運動系を制御して動作を生成することで、鑑賞者にキャラクタの意図や感情が伝わるような動作を生成することをめざした。感覚・運動系をモデル化することで、作りこみのための膨大な手間からクリエイタを解放し、本来のゲームの面白さの開発に専念できるようにするとともに、インタフェースの進歩によって可能となった自由なインタラクションに対して、自然で多様な反応をするキャラクタを実現し、ゲームなどのインタラクティブ作品に登場するキャラクタの魅力を向上させることを目的とした。

② 期間中の研究成果

本研究では、キャラクタの意図が鑑賞者に伝わりやすくするために、キャラクタを含む作品世界全体を物理シミュレーションされたバーチャル世界で表現し、キャラクタの感覚・運動系モデルに基づくキャラクタAIがキャラクタの体を制御するシステムによって作品世界を構築した。また、作品世界の持つ中身のリアリティが鑑賞者の心に届くよう、作品世界と鑑賞者をつなぐインタフェースにも注意を払い、界面のリアリティも確保した。

(i) 安定な物理シミュレータの開発

従来の物理シミュレータでは、バネ・ダンパモデルと組み合わせると不安定になるという問題があった。このためバーチャルクリーチャーの体を安定にシミュレーション・制御することが難しかった。そこで、陰積分によるバネ・ダンパモデルを物理シミュレーションに組み込み、バネ・ダンパモデルを含めた系の安定性を保証する枠組みを構築した。図3-8は従来手法と本研究で開発した手法を比較したものである。リアルタイム化のための繰り返し近似計算と組み合わせて実現した。繰り返し計算では、計算の打ち切りによる誤差が存在するが、誤差の影響を考慮することで、誤差がある場合でも安定性が確保でき、速度と安定性を両立させたシミュレーション手法が構築できた。

この結果、複雑なリンク機構などを正確かつ高速にシミュレーションすることができるようになり、複雑な機構を持つ4足歩行ロボット同士の対戦のような状況をシミュレーションできるようになった。

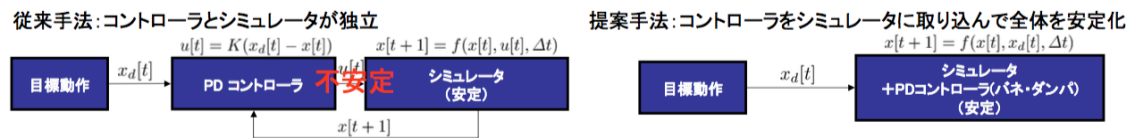


図 3-8 安定な物理シミュレータ⁸

(ii) 視覚系と注視のモデルの構築

人の眼球は、中心部分のみが高い解像度を持つため、人は視線を動かして必要な情報を取得している。そのため視線は人の意図を表出する機能を持つ。人が注意を向ける対象としては、動作目標のように意識に基づく注意によるトップダウン性の注意が高い場所と、視野の中で、動いているもの、複雑なパターンを持つもの、特徴的な色を持つものがある。これらは、無意識に視線が動くボトムアップ性の注意である。これらをモデル化、シミュレーションすることで、リアリティの高い視線の動きを生成することができる。このモデルを用いて 2 つのデモ作品を制作した。

(iii) モーションデザイナーにとって使いやすい動作生成の構築

シミュレーションによる動作生成に、キーフレームアニメーションを連動させることで、キーフレームに慣れたモーションデザイナーにとって使いやすい動作生成システムを構築した。構築したシステムでは、キャラクタの全体的な動作については、キャラクタをひとつの剛体で近似したモデルを物理シミュレーションすることで生成し、力学的なリアリティとインタラクションに対する反応の多様性を確保した。一方、詳細な動作は、剛体の位置・姿勢といった状態に連動した多次元キーフレームアニメーションによって実現している。これにより、キーフレームに慣れたモーションデザイナーが望む動作を簡単に作り出せるシステムとなった。

本システムでは、キャラクタをあらゆる剛体に対して、人や人型ロボットの制御モデルとして用いられる倒立振子モデルを用いて制御を行った。支持多角形と摩擦係数による床反力の制約を考慮することで、自然な転倒動作を生成することもできた。

これらの成果について論文 10 報を発表し、日本バーチャルリアリティ学会論文賞(2006 年)を受賞した。

③ 研究成果に関連した主な成果論文リスト 3 報以内（被引用数トップ 3 位）

[1] Hasegawa, S; Sato, M., “Real-time rigid body simulation for haptic interactions based on contact volume of polygonal objects”, COMPUTER GRAPHICS FORUM, 23, 3, 529-538, 2004.

⁸ 「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」研究領域 領域活動・評価報告書ー平成 19 年度終了研究課題ー

[2] Murayama, J; Luo, YL; Akahane, K; Hasegawa, S; Sato, M., “A haptic interface for two-handed 6DOF manipulation-SPIDAR-G&G system”, IEICE TRANSACTIONS ON INFORMATION AND SYSTEMS, E87D, 6, 1415-1421, 2004.

[3] Shoichi Hasegawa; Toshiaki Ishikawa; Naoki Hashimoto; Marc Salvati; Hironori Mitake; Yasuharu Koike; Makoto Sato., “Human-scale haptic interaction with a reactive virtual human in a real-time physics simulator”, Computers in Entertainment (CIE), 4, 3, [9], 2006.

(2) 研究領域終了後の継続と発展状況

① 科学技術の進歩への貢献

2016 年現在、長谷川は東京工業大学の准教授として下記 4 テーマを主な研究テーマとして活動を行っている。

- 人が楽しく活躍できるようになるヒューマンインタフェース
- 感覚フィードバックの可能性
- シミュレーション技術
- 最小 VR

本研究領域終了後もシミュレーション技術や感覚フィードバックの研究を続けている。図 3-9 は、様々な場面で感覚フィードバックを役立てる研究の一例で、ぬいぐるみに組み込んだ計測を実施している。そのための基盤技術として、シミュレーションとモデリング、ヒューマンインタフェースの機構・計測・制御の研究、特にリアルタイム提示を目的としたシミュレーション・モデリングの研究に力を入れており、さらに展示やデモなどを通じて、具体的な活用方法や課題などを探っている。



図 3-9 Soft-stuffed Robot Alive!⁹

② 社会・経済への波及効果

本研究は、ゲームに登場するキャラクタである人や動物（クリーチャー）が鑑賞者のインタラクションに反応を示す動作を、リアルタイムかつ現実 に即した動きとして実現するための物理シミュレーション技術を開発することで、ゲーム開発の効率化や高品質化につながっている。大きな動きは、クリーチャ全体を 1 つの剛体として扱うことにより、計算の負荷を軽減した。

また、本研究の成果は、ゲーム制作にかかわるクリエイタの一人であるモーションデザイナーが、キャラクタの動きを設計する際に利用できる。使いやすいように、細かな動きは、キーフレームアニメーションを活用することにより、クリエイタが使いなれたキーフレームで望みの動きを得られるようにした。これにより、ゲーム開発やゲーム、アニメなどのデザインの効率化が進んだものと考えられる。

本システムを使ってできた作品「Kobito-Virtual Brownies-」は世界最大の CG の展示会である SIGGRAPH にも採択されており、国際的にも注目された。

2016 年現在、長谷川は 5 件以上の講演を行い、研究活動を通して得た自身の知見を一般の人に広く知らせる活動を精力的に行っている。

③ 上記、継続と発展状況を示す研究成果に関連した主な成果論文リスト 4 報以内

[1] Mitake, H; Asano, K; Aoki, T; Marc, S; Sato, M; Hasegawa, S., “Physics-driven Multi Dimensional Keyframe Animation for Artist-directable Interactive Character”, COMPUTER GRAPHICS FORUM, 28, 2, 279-287, 2009.

⁹東京工業大学 長谷川研究室 [http://haselab.net/researches] (最終閲覧 2016 年 10 月)。

- [2] Hasegawa, S; Takehana, Y; Balandra, A; Mitake, H; Akahane, K; Sato, M., “Vibration and Subsequent Collision Simulation of Finger and Object for Haptic Rendering”, HAPTICS: NEUROSCIENCE, DEVICES, MODELING, AND APPLICATIONS, PT II, 8619, 352-359, 2014.
- [3] Susa, I; Takehana, Y; Balandra, A; Mitake, H; Hasegawa, S., “Haptic Rendering based on Finite Element Simulation of Vibration”, 2014 IEEE HAPTICS SYMPOSIUM (HAPTICS), 123-128, 2014.
- [4] Mitake, H; Hasegawa, S; Sato, M., “Reactive Virtual Creatures for Dexterous Physical Interactions”, Motion in Games 2011, 2011.

④ その他

長谷川はさがけ研究期間終了後も、多くの研究助成プログラムに採択され、当該研究分野の継続的発展に取り組んでいる。下記に、さがけ研究期間終了後の代表的な研究助成プログラムを記す。

表 3-1 ささがけ研究期間終了後の研究助成プログラム

期間	プログラム名	研究課題名
2009-2012 年度	平成 21-24 年度 文部科学省： 科学研究費補助金(若手研究(A))	力触知覚の特性に基づいた階層的なシミュレーションによる質感と接触状態の提示
2009-2013 年度	平成 21-25 年度 科学技術振興機構 (JST) 戦略的創造研究推進事業 個人型研究(さがけ)	作業プロセスの環境非依存化による作業集合知の形成
2014-2016 年度	平成 26-28 年度 文部科学省： 科学研究費補助金(基盤研究(B))	能動触知覚の原因現象解明とモデル化による内部構造と材質のバーチャルリアリティ

3.1.5. ドレミっち：成長する仮想演奏者の構築（浜中 雅俊）

(1) 研究のねらいと研究期間中の達成状況

① 研究のねらい

本研究では、専門家の持つ音楽知識を計算機上に形式的に記述することで、音楽知識の乏しいユーザを支援し、メロディ、リズム、和声といった高次の音楽的な構造を適切に操作できる音楽システムを実現することをめざした。さらに、ユーザと即興演奏することにより、次第に演奏が上達するなど、音楽的に成長する仮想演奏者ドレミっちの構築をめざした。このような仮想演奏者システムの実現は、初心者にも音楽を楽しませるアミューズメント性をもつだけでなく、プロの演奏者にとっても音楽制作の生産性をあげる技術の一つとして期待された。

具体的には、以下の3点を実現することを目標とした。

- (i) 高度な音楽的活動を可能とする仮想演奏者を実現するための、計算機上へ音楽家の音楽知識として体系化した GTTM 理論の実装
- (ii) 仮想演奏者があたかも初心者から熟練者に成長するような機能を実現するための、メロディのモーフィング手法の構築
- (iii) 初心者が複数の仮想演奏者の演奏を聴き分けるための、能動的音楽鑑賞インタフェースの構築

② 期間中の研究成果

(i) 音楽理論 GTTM の計算機上への実装

音楽家の音楽知識を計算機上へ実装する第一歩として、音楽家の音楽知識を体系化したものである音楽理論の計算機上への実装を行った。その際、音楽知識を計算機上に形式的に記述する観点から、音楽理論として GTTM (Generative Theory of Tonal Music) を採用した。そして、GTTM を計算機実装用に拡張した exGTTM を提案し、複数の調節可能なパラメータを導入することで、音楽そのものに内在する曖昧性を積極的に認めつつ、音楽理論の曖昧性を解消することを可能にした。さらに、様々な解釈の可能性のうち、人間はできる限り安定な解釈を優先すると仮定することで、ATTA (Automatic Time-span Tree Analyzer) のパラメータを自動で最適化する自動楽曲分析器 FATTA (Full Automatic Time-span Tree Analyzer) を実現した。FATTA の実現によって、メロディの重要な部分から装飾的な部分を分離するメロディの簡約や、メロディ、コード進行の予測など音楽家が行う高度な音楽的活動を計算機上で実現することが可能となった。

図 3-10 は、本研究で開発した自動楽曲構造分析器 FATTA による楽曲構造の分析結果例を示したものである。

(ii) メロディモーフィング手法の構築

あるメロディと別のメロディの間にある複数個のメロディを、ある尺度のもとで順序付けて生成するメロディモーフィング手法を構築した。メロディモーフィング手法は、音符や休符など、メロディの表層的な構造を操作できない音楽初心者が、自分の意図を反映させたメロディを生成させる際に有効である。

(iii) 能動的音楽鑑賞インタフェースの構築

音楽初心者でも複数のパートの聴き分けを容易とするシステム、「サウンドスコープヘッドフォン」を構築した。サウンドスコープヘッドフォンは、直感的な操作で複数パートのミキシングを自由に変更できる能動的音楽鑑賞インタフェースである。頭を上下左右に振ったり、手を耳に近づけて耳を済ませるようなポーズをとったりするなど、人間が音を聴くときに自然に行う動作を、ヘッドフォンに搭載した地磁気センサ、傾斜センサ、距離センサで検出することで、音楽用ミキサーのコントロールを可能とした。

これらの成果について論文 1 報を発表し、JNMR (Journal of New Music Research) Distinguished Paper Award for Best Paper in the International Computer Music Conference 2005 を受賞した。

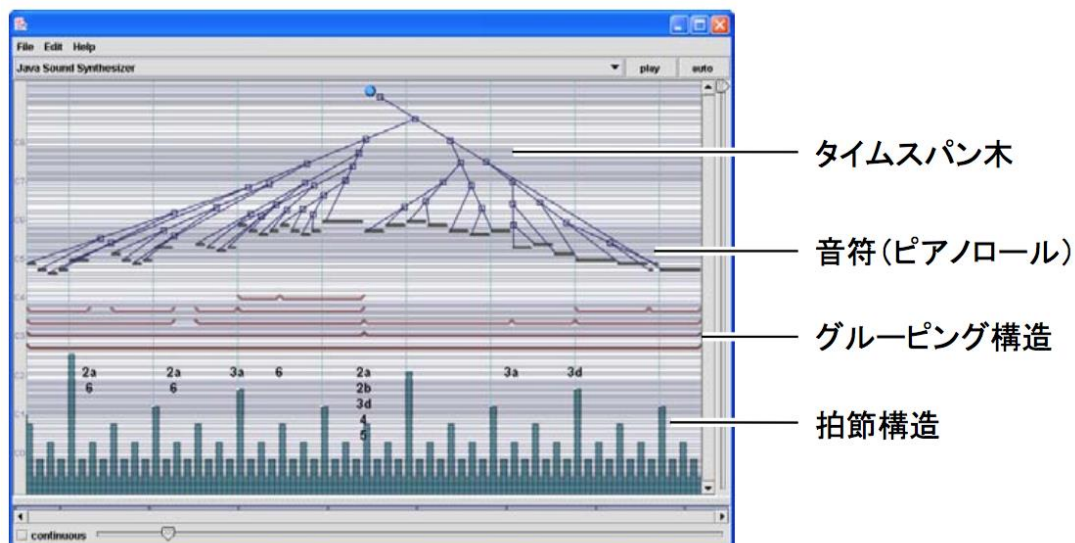


図 3-10 自動楽曲分析器 FATTA を用いた楽曲構造分析の結果¹⁰

③ 研究成果に関連した主な成果論文リスト 3 報以内（被引用数トップ 2 位）

Web of Science のデータベースでは、各成果論文の被引用数は 0 となっており、被引用

¹⁰ 「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」研究領域 領域活動・評価報告書ー平成 19 年度終了研究課題ー

数を把握できなかったため、主要な学会等で発表した論文を掲載する。

[1] Hamanaka, M; Hirata, K; Tojo, S., “Implementing “A Generative Theory of Tonal Music” ”, Journal of New Music Research, 35, 4, 249-277, 2006.

[2] 浜中雅俊, 李 昇姫, “サウンドスコープヘッドフォン”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 12, 3, 295-304, 2007.

(2) 研究領域終了後の継続と発展状況

① 科学技術の進歩への貢献

2016 年現在、浜中は京都大学の研究員として下記 4 テーマを主な研究テーマとして活動を行っている。

- 創薬
- 音楽情報処理
- 音楽インタフェース
- ドローン

本研究領域終了後も音楽情報処理および音楽インタフェースの研究を続けている。図 3-11 は、本研究で構築した FATTA を発展させた、暗意実現モデルに基づいた音楽分析手法について示したものである。

② 社会・経済への波及効果

本研究では、旋律、リズム、和声のような高次の音楽構造を分析するために専門家の音楽知識を体系化した GTTM 理論を実装した。GTTM に基づく音楽分析器 ATTA(Automatic Timespan Tree Analyzer)を実現したことで、メロディの重要な部分から装飾的な部分を分離するメロディの簡約や、メロディ、コード進行の予測など音楽家が行う高度な音楽的活動を計算機上で実現することが可能になった。本分析器を活用することで、音楽家の制作活動を支援することになり、優れた音楽を生み出すことにつながる。

さらに、本研究の成果であるメロディモーフィング手法は、音符や休符など、メロディの表層的な構造を操作できない音楽初心者が、自分の意図を反映させたメロディを生成させる際に有効な手法である。

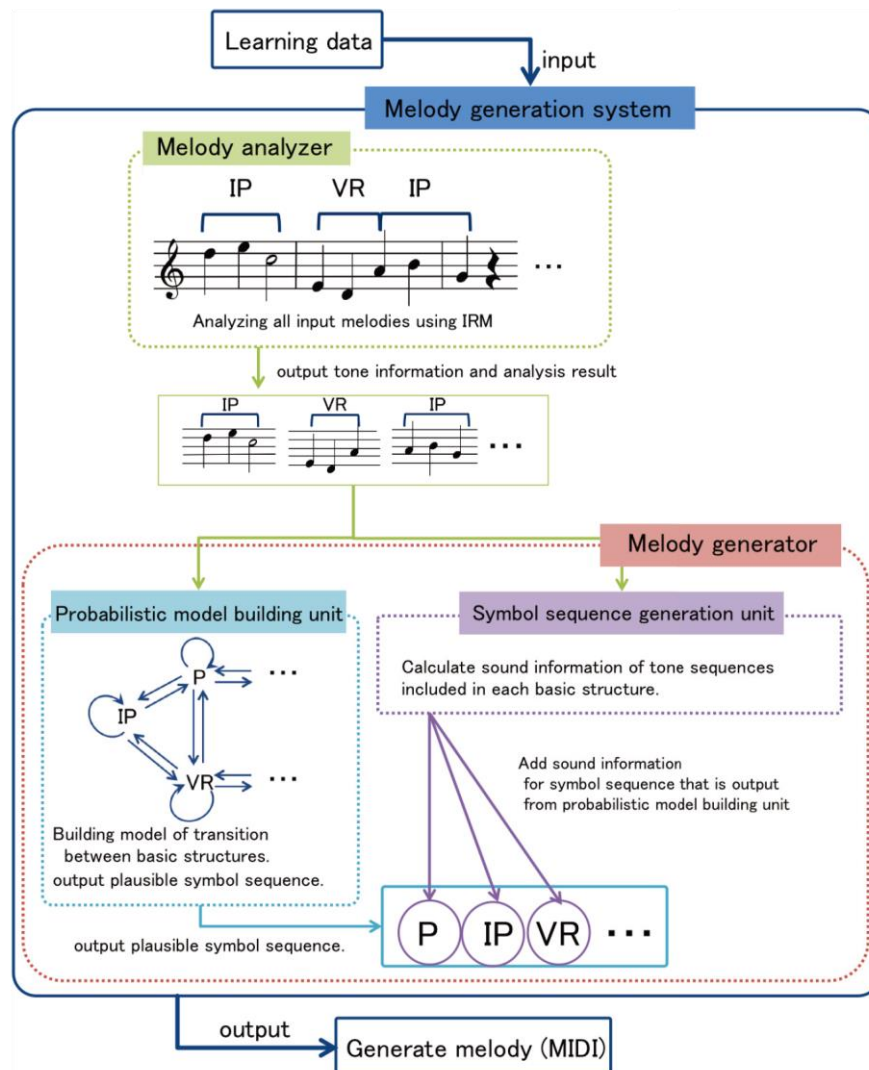


図 3-11 暗意実現モデルに基づいた音楽分析¹¹

③ 上記、継続と発展状況を示す研究成果に関連した主な成果論文リスト 4 報以内

- [1] Lee, S; Sohn, J; Usami, A; Hamanaka, M., “Development of Wearable Device by Kid’s Friendly Design for Kid’s Safety”, HUMAN-COMPUTER INTERACTION, 332, 80-85, 2010.
- [2] Tojo, S; Hirata, K; Hamanaka, M., “Computational Reconstruction of Cognitive Music Theory”, NEW GENERATION COMPUTING, 31, 2, 89-113, 2013.
- [3] Yazawa, S; Hamanaka, M; Utsuro, T., “A Novel Approach to Separation of Musical Signal Sources by NMF”, 2014 12TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON SIGNAL PROCESSING (ICSP), 610-615, 2014.

¹¹ Masatoshi Hamanaka [http://gttm.jp/hamanaka/] (最終閲覧 2016 年 10 月)。

[4] Yazawa, S; Hamanaka, M; Utsuro, T., “Melody Generation System based on a Theory of Melody Sequence”, 2014 International Conference of Advanced Informatics: Concept, Theory and Application (ICAICTA), 336-341, 2014.

④ その他

浜中はさがけ研究期間終了後も、多くの研究助成プログラムに採択され、当該研究分野の継続的发展に取り組んでいる。下記に、さがけ研究期間終了後の代表的な研究助成プログラムを記す。

表 3-2 さがけ研究期間終了後の研究助成プログラム

期間	プログラム名	研究課題名
2010-2012 年度	平成 22-24 年度 科学技術振興機構 (JST) 戦略的創造研究推進事業 個人型研究(さがけ)	計算論的メディア操作の形式化
2013-2016 年度	平成 24-27 年度 文部科学省: 科学研究費補助金(若手研究(A))	音楽音響信号に対する音楽操作の蓄積と再利用の実現に関する研究

3.1.6. 「感性リアル」表現の制作支援を目的としたCG技術の開発（佐藤 いまり）

(1) 研究のねらいと研究期間中の達成状況

① 研究のねらい

コンピュータグラフィックス(CG)により現実感の高い映像コンテンツを生成するためには、入力するシーンの物体(形状や反射特性)に関する精密なモデルを必要とする。実在物体の持つような複雑な質感の生成を追求すればするほど、生成対象の物体に関するモデルを準備するのが難しいという問題が存在する。本研究では、実在世界の観察に基づき、実在物体の持つ複雑な質感や形状をモデル化し、写実的な画像生成を実現することを目標とした。さらに人間の視覚特性を考慮することにより、人間の感性を刺激して現実感が得られるような、感性的なりアリティを実現する画像加工技術の開発を行った。

② 期間中の研究成果

本研究では、画像生成に用いる物体のモデルを設定する方法として、実在シーンの観測に基づき実在物体のモデルを自動構築する技術を開発した。具体的には、照明変動に伴い物体表面の各点において観察される輝度変化に基づき、実在物体の反射特性(色艶、質感)や形状をモデル化する手法を開発した。さらに、人間の視覚特性を考慮することにより、効果的な画像提示方法についても研究した。

(i) 質感のモデルの構築

実在物体の見え(色艶や質感など)のモデルを構築するにあたり、本研究では、物体の反射特性を表す双方向反射関数の周波数特性と球面調和関数のサンプリング定理にもとづき、どれだけの方向にどのような光源を配置しながら画像を撮影すれば、その物体の見えの変動を表現するのに十分であるかという点を明らかにした。

具体的には、拡散球を点光源で照らすことにより構築される拡散光源下で物体表面の見えを観察することにより、物体の見えのモデル化において、不十分なサンプリングに起因するエイリアシングを回避することができることを示した。対象物体を包み込む形で拡散球(乳白色で中が空洞な拡散球を点光源で照らすことにより、点光源からの明るさを拡散して物体表面を照らすことができる)が配置された撮像装置により画像を生成した(図 3-12)。拡散光源の利用により、限られた枚数の入力画像からも、物体表面の持つ周波数帯域に左右されず、入力画像のサンプリング間隔から決定される周波数帯域まで、エイリアシングの影響なく基底画像を獲得することが可能となった。これにより、従来は取り扱うことが困難であった非常に複雑な反射特性を持つ実在物体に対しても、比較的少数枚の入力画像からモデルを獲得し、任意照明環境下の物体の見えを効率良く生成できるようになった。

(ii) 形状のモデルの構築

従来研究は、完全拡散反射などを表す反射モデル式を利用することにより、物体表面の形状を推定しているが、現実世界の物体の中には、パラメトリックな反射モデル式で表現できない、複雑な反射特性を示す物体が多数存在する。本研究では、様々な照明条件で撮影された物体の画像列のみを利用して、反射モデルを仮定せず、物体を照らす光源方向も未知という困難な条件のもとで、物体形状を推定する手法を開発した。

具体的には、照明変動に伴い実在物体表面の各点で観察される輝度履歴(照明変動に伴う輝度の変化)に基づき、物体の三次元形状を推定する手法を開発した。類似の法線ベクトルを持つ物体表面の点の輝度履歴はほぼ等しくなる。そこで、類似度と各点の法線ベクトルの類似度に密接な関係があることに着目し、多次元尺度構成法(観測された類似度に基づきデータ内の構造を見つけ出す方法)の枠組みで法線ベクトルを推定する、という全く新しい発想に基づく形状推定手法を提案した。

(iii) 人間の視覚特性を考慮した効果的な画像提示手法の構築

本研究では、出力デバイスの色や輝度の範囲を最大限活用して、液晶モニタなどの画像提示デバイスの色や輝度出力の限界を超えて、高いコントラスト、色鮮やかな印象で画像を提示するための要素技術の開発を行った。具体的には、人間が知覚しない色誤差や輝度誤差を積極的に利用することにより、実際に提示している明るさ以上にコントラストの高い画像として人間に知覚させる方式の研究を行い、色誤差の利用(人間の視覚特性を考慮し、同じ色に知覚される色領域を積極的に利用すること)により、輝度高く色を再現できることを示した。

これらの成果について、論文7報を発表し、画像の認識・理解シンポジウム MIRU2005 において、優秀論文賞(2005 年)を受賞した。

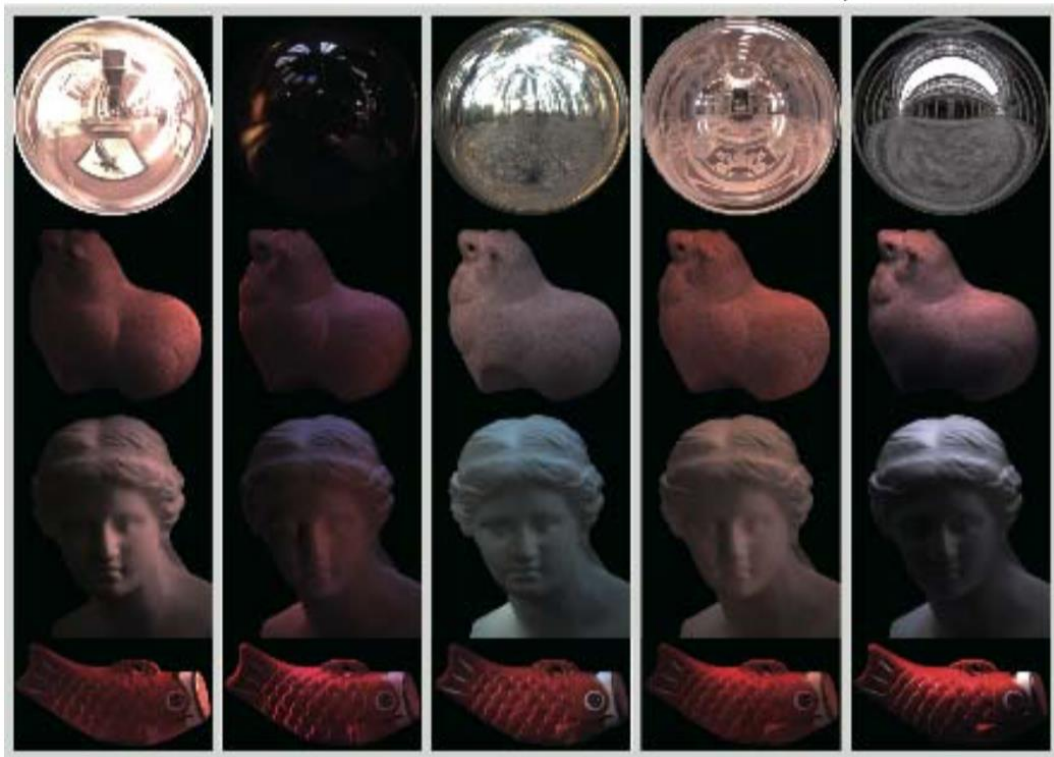


図 3-12 複雑光源環境下において生成された画像¹²

③ 研究成果に関連した主な成果論文リスト 3 報以内(被引用数トップ 3 位)

- [1] Sato, I; Okabe, T; Sato, Y., “Appearance Sampling of Real Objects for Variable Illumination”, International Journal of Computer Vision, 75, 1, 29-48, 2007
- [2] Sato, I; Okabe, T; Sato, Y; Ikeuchi, K., “Using Extended Light Sources for Modeling Object Appearance under Varying Illumination”, ICCV 2005.
- [3] Sato, I; Okabe, T; Yu, Q; Sato, Y., “Shape reconstruction based on similarity in radiance changes under varying illumination”, ICCV 2007.

(2) 研究領域終了後の継続と発展状況

① 科学技術の進歩への貢献

2016 年現在、佐藤は国立情報学研究所の教授として、下記 6 テーマを主な研究テーマとして活動を行っている。

- 蛍光解析
- 反射解析

¹² 「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」研究領域 領域活動・評価報告書ー平成 20 年度終了研究課題ー

- 実物体のモデリングとレンダリング
- 光源環境の推定および計測
- 医療画像解析
- 分光画像解析

本研究領域終了後も、本研究課題に関連した蛍光解析や光源環境の推定などについての研究や、形状やモデリングについての推定などの研究を続けている。本研究を継続することにより、実在物の色艶や質感をモデル化することで、現実世界をより写實的に画像として表現することができるようになり、CG(コンピュータグラフィック)の分野の発展が進んだ。図 3-13 は、物体の表面を分析する上で、蛍光を考慮した分光解析技術を示したものである。

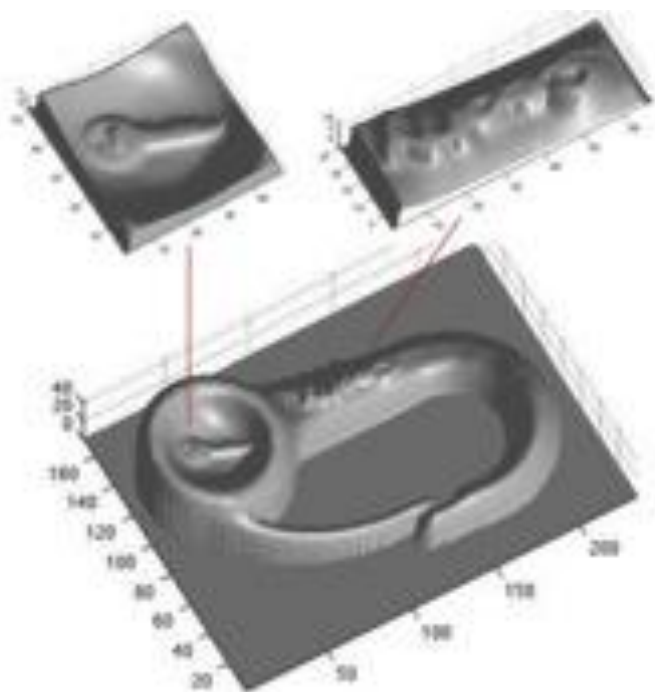


図 3-13 蛍光解析¹³

② 社会・経済への波及効果

実在物の色艶や質感をモデル化し、現実世界をより写實的に実現することで、CG(コンピュータグラフィック)の発展が期待できる。屋内外の複雑な光源環境下でも、これまで経験的に行なわれていた観測画像の取得を、双方向反射関数の周波数特性と、球面調和関数のサンプリング定理に基づき、特異な反射特性をもつ物体（あわびのような貝殻模様）でもモデル化することができるようになった。実在物をCGとして表現する映画やゲームなどの発展につながる。

¹³国立情報学研究所 Imari Sato [<http://research.nii.ac.jp/~imarik/>] (最終閲覧 2016 年 10 月)。

2016 年現在、佐藤が主要なコンピュータビジョン会議(CVPR, ICCV, ECCV)や著名誌(IJCV, TPAMI)に発表した論文数は、研究期間中 7 報、研究期間終了後 27 報の合計 34 報である。また、学会や教育機関で多数の講演を行っている。

③ 上記、継続と発展状況を示す研究成果に関連した主な成果論文リスト 4 報以内

- [1] Nishiyama, M; Okabe, T; Sato, I; Sato, Y., “Aesthetic Quality Classification of Photographs Based on Color Harmony”, 2011 IEEE CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION (CVPR), 33-40, 2011.
- [2] Han, S; Matsushita, Y; Sato, I; Okabe, T; Sato, Y., “Camera Spectral Sensitivity Estimation from a Single Image under Unknown Illumination by using Fluorescence”, 2012 IEEE CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION (CVPR), 805-812, 2012.
- [3] Lu, F; Matsushita, Y; Sato, I; Okabe, T; Sato, Y., “Uncalibrated Photometric Stereo for Unknown Isotropic Reflectances”, 2013 IEEE CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION (CVPR), 1490-1497, 2013.
- [4] Sato, I; Okabe, T; Sato, Y., “Bispectral Photometric Stereo based on Fluorescence”, 2012 IEEE CONFERENCE ON COMPUTER VISION AND PATTERN RECOGNITION (CVPR), 270-277, 2012.

④ その他

佐藤はさきがけ研究期間終了後も、多くの研究助成プログラムに採択され、当該研究分野の継続的発展に取り組んでいる。下記に、さきがけ研究期間終了後の代表的な研究助成プログラムを記す。

表 3-3 さきがけ研究期間終了後の研究助成プログラム

期間	プログラム名	研究課題名
2010-2014 年度	平成 22-26 年度 文部科学省：科学研究費補助金(新学術領域研究(研究領域提案型))	質感認知に関わるコンピュータビジョンと情報論的解析
2015-2019 年度	平成 27-31 年度 文部科学省：科学研究費補助金(新学術領域研究(研究領域提案型))	コンピュータビジョンで実現する多様な複雑な質感の認識機構

3.2. 2005 年度採択研究課題

3.2.1. 感触表現の制作支援を目的とした視触覚感覚ディスプレイ技術の開発（串山 久美子）

(1) 研究のねらいと研究期間中の達成状況

① 研究のねらい

本研究では、人と情報社会を結ぶ触覚インタフェースとして、直接人が触れ、触覚のインタラクションのある、感触表現の制作支援を目的とした視触覚感覚ディスプレイ技術の実現をめざした。視触覚感覚ディスプレイにより、メディア芸術表現のみならず、日常の情報活動をも支援する触覚デジタルコンテンツの制作にもつなげられる技術の研究を行った。

② 期間中の研究成果

感触表現の制作支援を目的とした視触覚感覚ディスプレイ技術の開発を実施し、下記の研究成果をあげた。

(i) 冷温感型ディスプレイの開発

ペルチェ素子とタッチパネルを組み合わせた、インタラクティブな冷温感ディスプレイ「Thermoesthesia」（サーモエステシア：温度感覚の意味）の開発を行った。映像に合わせた冷温のインタラクションのある冷温感覚のディスプレイは、新しい提示のディスプレイとして特許公開され、国内外でその新規性が高く評価された。

4cm 角ペルチェ素子 24 枚を使用した 19 インチディスプレイを試作し、さらに 4cm 角ペルチェ素子 80 枚を使用した 50 インチの大型版ディスプレイをアルスエレクトロニカセンターに実装し、1 年間の常設展示等に耐えうる、安定したシステムの構築が確認できた。

また、冷温の画素数と温度変化の即時性の向上、使用応用範囲の拡大を目的とした 30mm 角ペルチェ素子 48 枚を使用した薄型、携帯可能な 15 インチディスプレイも開発した。持ち運びの容易な冷温感覚ディスプレイのプロトタイプとして、海外での学会デモや通信実験などに使用された。ペルチェ素子の反応実験、耐久テスト、複数のペルチェ素子の位置による温度関係などの、一連の冷温感ディスプレイ性能試験を行った。

(ii) 砂状の硬軟感覚ディスプレイの研究と開発

硬軟感覚を体験できる 2 種類の装置の 1 番目として、砂状の硬軟感触を提示できる、小型スチールボールと電磁石を使用したインタラクティブな硬軟感覚ディスプレイ「Magnetospheres」を開発した。まず、直径 1.2mm 小型スチールボールと電磁石 80 個を使用した硬軟ディスプレイ 19 インチ版「Magnetospheres」を試作し、次に大型化を図るための設計を再検討し、直径 1.6mm 小型スチールボールと電磁石 192 個を使用した硬軟ディス

プレイ 50 インチ版の開発を行った。

(iii) ふわふわ感触触圧提示ディスプレイの開発

硬軟感覚を体験できる装置の 2 番目として、生命感を感じさせるふわふわ感触のディスプレイを開発した。ふわふわ感触に毛を使用し、サーボモーターによる上下、回転運動によって得られる硬軟感覚を提示できるディスプレイの実験と 50 インチ版を開発した。

(iv) ディスプレイのインタラクションに対応した画像生成ソフトウェアの開発

冷温感ディスプレイ「Thermoesthesia」に対応した画像生成、シミュレーション CG として、雪の結晶や氷の生成、植物の成長のシミュレーション画像の生成手法を構築した。また、硬軟ディスプレイに表示する雲の 2 種類のシミュレーションを行って、バネのシミュレーションと粘りのある水滴のシミュレーションや、ふわふわ感覚が得られる画像の生成を行った。図 3-14 は、冷温感ディスプレイに表示された雪の結晶のシミュレーション画像を示したものである。

これらの成果について、論文 9 報を発表し、2007 年の Japan-America Frontiers of Engineering Symposium にて、Best Poster Session Presenter 賞を受賞した。

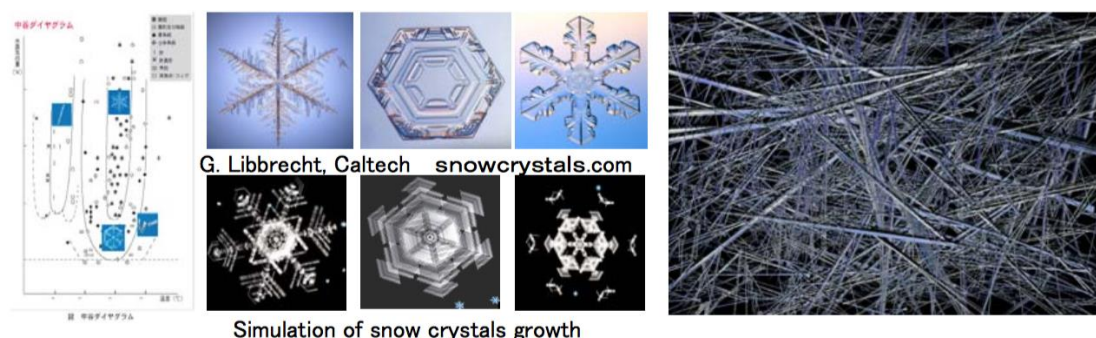


図 3-14 雪の結晶のシミュレーション¹⁴

③ 研究成果に関連した主な成果論文リスト 3 報以内（被引用数トップ 3 位）

- [1] Kushiyama, K., “Thermoesthesia”, ACM SIGGRAPH 2006 Art gallery, [71], 2006.
- [2] Kushiyama, K., “Fur-Fly”, LEONARDO, 42, 4, 376-377, 2009.
- [3] 串山久美子, 土井 幸輝, 笹田 晋司, 馬場 哲晃, “Thermo Drawing:冷温提示による小型触覚ディスプレイを使用した 温度描画システムの開発”, インタラクション 2012, 情報処理学会, 2012.

¹⁴ 「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」研究領域 領域活動・評価報告書ー平成 20 年度終了研究課題ー

(2) 研究領域終了後の継続と発展状況

① 科学技術の進歩への貢献

2016 年現在、串山は首都大学東京の教授として、下記 2 テーマを主な研究テーマとして活動を行っている。

- 福祉教育・触覚デバイスの開発：点字 Pad プロジェクト 車椅子楽器
- 情動と触覚研究：残像ドミノ（図 3-15 参照）

本研究領域終了後も、本研究課題と関連したデジタル技術に応用したインタラクティブアートや、アクセシブルなインタフェースデザイン、公共空間でのデジタル表現や視触覚ディスプレイの制作など、社会との関わりの中で表現を思考するメディアアート作品の制作・研究と、デジタルメディア制作を支援する基盤技術の開発に従事しており、さらに展示やデモなどを通じて、具体的な活用方法や課題などを探っている。



図 3-15 残像ドミノ¹⁵

② 社会・経済への波及効果

本研究は、直接人が触れることによりインタラクションを生じる視触覚感覚ディスプレイ技術を開発し、その技術を使って作品を制作する研究である。具体的には、ペルチェ素子を用い、冷温感を見学者の手の動きにあわせ、画像とともに提示する「thermoesthesia」、直径 1.6mm の小さな鋼球を砂状に敷きつめ、電磁石で制御することにより硬柔感を提示する「Magnetospheres」、ほかを制作した。開発にあたっては、基盤技術ばかりではなく、触感にあわせたシミュレーション画像の技術開発も行った。

これらのディスプレイ技術、および触覚デジタルコンテンツの開発により新しいメディア芸術表現ができるようになり、広告媒体などへの応用が可能になると考えられる。

作品は SIGGRAPH、ArsElectronica などの著名な展示会において高い評価を得た。

¹⁵首都大学東京システムデザイン研究科 IDEEA Lab [<http://ideca.jp>] (最終閲覧 2016 年 10 月)。

2016 年現在、串山は本研究期間終了後も 2 件の特許を出願しており、今後もデジタルメディアの研究領域に新たな手法を提起していくことが期待される。

③ 上記、継続と発展状況を示す研究成果に関連した主な成果論文リスト 4 報以内

- [1] Kushiya, K; Kikukawa, Y; Baba, T; Haimes, P; Sasada. S., “Mag-B: tactile sand play using an interactive magnetic display”, In ACM SIGGRAPH 2014 Studio (SIGGRAPH ’14) ACM, New York, NY, USA, [39], 1, 2014.
- [2] Kato, M; Baba, T; Kushiya, K., “HandON: A Tabletop Interface for Dynamic Erasable Handwriting”, In ACM SIGGRAPH 2013 posters, [21], 2013.
- [3] 馬場哲晃, 笠松慶子, 土井幸輝, 串山久美子, ” 温冷呈示を利用したビデオゲームインタラクションにおける手法の検討と開発”, 情報処理学会論文誌, 53, 3, 1082-1091, 2012.
- [4] Kanai, T; Kikukawa, Y; Suzuki, T; Baba, T; Kushiya, K., “PocoPoco: a tangible device that allows users to play dynamic tactile interaction”, In ACM SIGGRAPH 2011 Emerging Technologies (SIGGRAPH ’11). ACM, New York, NY, USA, [12], 1, 2011.

④ その他

特になし。

3.2.2. 「意図的なランダムな行為」の創出方法の解明（後安 美紀）

(1) 研究のねらいと研究期間中の達成状況

① 研究のねらい

現場のアニメーターは、モーションキャプチャデータをもとに CG キャラクタの動きを作成する際、いくつかのコマを抜いてわざと動きをぎくしゃくさせてリアリティを出している。これは、動きのノイズとリアリティと深くかかわっている。現場のアニメーターが、コマの中抜きというマイナスの方法論で動きのリアリティを追求しているのに対して、本研究では、稽古という積み上げの方法論でリアリティ追求をしている演劇から動き方の法則を発見し、CG キャラクタ作成にいかす手法に取り組んだ。具体的には、いったん築き上げたタイミング秩序構造をわざとずらしていく方法を採用する平田オリザの演劇に着目し、「意図的なランダムな行為」の創出方法の解明をめざした。

② 期間中の研究成果

(i) 演劇創作過程に関する中数自由度のシステムダイナミクスのモデル構築

1 人や 2 人、あるいは群衆の相互作用については、決定論的な記述や統計的な推定に基づいた数多くの研究がなされているが、10 人程度の中途半端な人数の相互作用については、研究はあまり進んでいない。本研究では、このような中数自由度を持つ人間の相互作用の法則性から、CG でリアルに再現する研究を実施した。演劇創作過程を、システムダイナミクスの一環として、演劇を演出家、俳優集団、観客の三者から構成されるシステムととらえ、演劇の創作過程について、それぞれが自己目的で様々な方略のもとで活動する俳優集団に対して、演出家がなんらかの拘束条件を与え、ある合目的な時空間パターンを形成していくモデルとして構築した。本番を見た観客による劇に対する解釈がおこなわれる以前に、作品の創作過程において、俳優のパフォーマンスを媒介に自らが下した作品の評価というフィードバックループを受けながら、演出家自身の解釈というものがダイナミックに変わっていくモデルを構築した。

図 3-16 は、演劇創作過程に関するシステムダイナミクスとして、演出家はルールダイナミクス、俳優はエレメントダイナミクス、のモデルに従って意思決定をして作品ができることを示したものである。

(ii) 序破(急)仮説の構築

俳優ひとりひとりの局所的振る舞いに関する、序破(急)仮説を構築した。全体の集団行動パターンとして、いったん築き上げたタイミング秩序構造をわざとずらしていく方法を採用していることは、これまでのデータから推測されていたが、その全体パターンを生成するためには、ひとりひとりの個々の行動のなかにも、秩序作りとずらしの側面が織り込まれてい

ることを、演出家である平田オリザの演劇創作過程の分析により明らかにした。

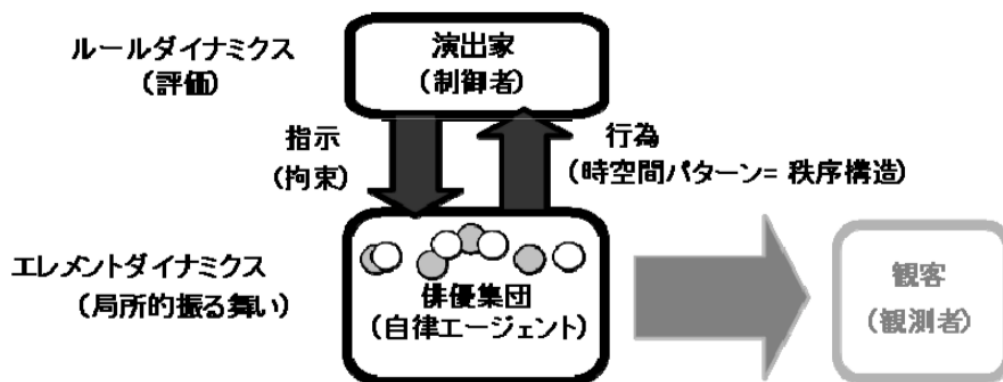


図 3-16 演劇創作過程のシステムダイナミクス¹⁶

(iii) 演出家のスキル分析手法の構築

創作過程において俳優に指示を出し、行為の方向付けをおこなう演出家のスキルについて、エージェントベースシミュレーションで試される方法を援用して、指示内容のもつ機能について分析する手法を構築した。

「あと1秒早く」というように、具体的に直接的に目標値を設定したタイプの指示を「直接制御」と呼び、「もうちょっと早く」というように実際の行動をどこまで調整するかは俳優たちの決定にまかせるタイプの指示を「間接制御」に分類した結果、平田オリザはタイミングに関する指示は、どの稽古場のフェーズでも直接制御1に対して間接制御4の割合になるよう指示を出していることが明らかになった。俳優の示す「意図的なランダムな行為」は、演出家の一定の評価基準に基づいた意図的な制御によって達成されていることが明らかになった。

(iv) 演出家の視線計測に基づく演出方法の構築

二者間会話と同時多発会話の2種類の稽古シーンにおいて、アイマークカメラで撮影した映像を分析すると、二者間会話では、発話されたセリフの統語情報や韻律情報を利用しながら、预期的に話者交替のタイミングにわずかに先行させて視線を動かす様子が、同時多発会話では、話者交替のタイミングに視線が必ずしも同調しておらず、むしろ左右全体をスキャンするような演出家の視線配布の様子が観察された。このことから演出家は、特定の人や事柄に注目して演出しているというよりは、「会話の流れ」を中心に演出していることを明らかにした。

¹⁶ 「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」研究領域 領域活動・評価報告書—平成20年度終了研究課題—

これらの成果により、論文 2 報を発表し、2009 年に開催された The 2nd Conference, International Association of Performing Language にてパネリストとして招待講演を行った。

③ 研究成果に関連した主な成果論文リスト 3 報以内（被引用数トップ 2 位）

[1] Goan, M; Fukaya, T; Tsujita, K., “Two Succeeding Stages in Acquisition Process of a Rehearsed Drama: Applying System Dynamics to Human Collaborative Behavior”, WMSCI 2008: 12TH WORLD MULTI-CONFERENCE ON SYSTEMICS, CYBERNETICS AND INFORMATICS, VOL VII, PROCEEDINGS, 126-131, 2008.

[2] 後安美紀, 辻田勝吉, “演劇創作におけるシステムダイナミクス,” 認知科学, 14, 4, 509-531, 2007.

(2) 研究領域終了後の継続と発展状況

① 科学技術の進歩への貢献

本研究領域終了後も本研究と関連深い研究テーマを掲げ、分野横断的な研究に取り組んでいる。さまざまな制約状況におかれた人間の表現方法について研究を続けており、異なる立場にたった者同士が特定のメディアを通じて対話をし、情報を編み出し、自己を刷新していくメカニズムを解明しようとしている。2016 年現在、後安は下記 3 テーマを主な研究テーマとして活動を行っている。

- 芸術として尖鋭的にあらわれてくる人間の表現行為の可能性
- 障害者の身体表現方法やことばなどから行為の成立過程を考察
- 刑事裁判の文脈で冤罪が疑われる被疑者の供述分析

本研究領域の会合を通じて、後安は造形作家の岡崎乾二郎（CREST 参加）と出会い、研究領域終了後、共同研究を始め、2016 年現在もワークショップやフィールドワーク等を通じて積極的な研究活動を行っている。演劇のみならず美術や建築、ダンス等の表現の現場に触れ続け、「人間の表現行為の可能性」について考察を深めている。

先鋭的な芸術に触れることは、障害者の行為を理解する助けになる。例えば、自閉症者の思考方法を世に知らしめたテンプル・グランディンのような才能を発見し、十全に伸ばし、科学技術の発展に貢献することにつなげることができる。一方で、身勝手に自己中心的だという誤解を受け、必要以上に重罰が下されがちな発達障害者（受刑者のうち多くの割合を占めるといわれる）に対する社会的偏見を、科学技術の力によって是正することにもつながると考えられる。

② 社会・経済への波及効果

本研究では、CG における人のリアリティのある動きを、平田オリザの演劇における「リ

アルに見せる技術」から解明した。俳優のセリフでは、しゃべり出しのタイミングパターンの再帰定量分析を行った結果、演技が熟達するにつれ、再帰率は高まる(安定した状態になる)と思われていたものが、実際には再帰率はかえって低下(28%⇒25%(試行数 90 回))した。つまり、熟達するにつれランダムな行為を意図的に生み出し、劇でのリアリティを生み出していることがわかった。このことから、演劇の稽古をすることは、ランダム性を生む余裕をすることで、豊かな表現を生むための効率的な行動を導き出すことや、制作側もランダム性を生み出すことによる表現の向上について意識することで、優れた作品を生み出せるようになると思われる。

2016 年現在、クラウドファンディングによって支えられて公開にたどりついた映画『この世界の片隅に』の成功を受け、そのような優れた作品群が同時多発的に世に放たれていく素地が整いつつあると考えられる。

③ 上記、継続と発展状況を示す研究成果に関連した主な成果論文リスト 4 報以内

[1] Goan, M; Fukaya, T; Tsujita, K., “The More Rehearsal, the More Noise in Timing Patterns”, NOISE AND FLUCTUATIONS, 559-562, 2009.

[2] Yabuki, K; Tsujita, K; Goan, M; Kihara, S; Okazaki, K., “Point contact and relative motion of drawing can identify individual traits”, 2014 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON SYSTEMS, MAN AND CYBERNETICS (SMC), 1254-1259, 2014.

[3] Goan, M; Tsujita, K; Kihara, S; Okazaki, K., “Drawing as the relative movement between subject and medium: Using a robot to show the subjectivity in dynamic flows of consciousness”, In Y. Suzuki and M. Hagiya (Eds.), RECENT ADVANCES IN NATURAL COMPUTING, Selected Results from the IWNC 8 Symposium, Mathematics for industry, 14, 81-108, 2015.

[4] Goan, M; Tsujita, K; Kihara, S; Okazaki, K., “The generation of emotional transmission via medium-perceiving drawing system and the plasticity of subjects”, In Y. Suzuki and M. Hagiya (Eds.), RECENT ADVANCES IN NATURAL COMPUTING, Selected Results from the IWNC 7 Symposium, Mathematics for industry, 9, 99-112, 2014.

④ その他

特になし。

3.2.3. 全天周と極小領域映像を扱うための入出力機器の研究開発（橋本 典久）

(1) 研究のねらいと研究期間中の達成状況

① 研究のねらい

本研究は、球の中心をレンズの主点とし、球体外面に空間を投影させることにより、小型で歪みのない完全な全天周画像を得る Panorama Ball に対してリアルタイムな入出力をすることで、昆虫などの極小領域から超高解像度かつ被写界深度の深い画像データを得るための装置の開発をめざした。超広角と超狭角の画像研究は、自然界を深く理解するのに役立つ、新たなコンテンツ産業の創出に貢献することが期待された。

② 期間中の研究成果

本研究では、全天周と極小領域という2つの異なる視点から、環境を捉える映像技術を開発した。全天周映像においては、橋本が1996年から研究を続けている Panorama Ball という球面写真システム（図3-17参照）をもとに、全天周カメラと球体ディスプレイによる、リアルタイム表示可能な球面映像入出力装置 Panorama Ball Vision を開発した。極小領域映像においても、2003年から制作している、家庭用スキャナを使った昆虫の超高解像度画像データ、を閲覧することのできるデータベース “ZooMuSee(ズームシー)” の制作を行った。

(i) Panorama Ball Vision カメラ部 (PBVC)の開発

球体の中心にピンホールが存在する状態をレンズにあてはめると、レンズの主点が球体の中心に存在することになる。そのことを反転させると、レンズの主点を中心にして動かないように様々な角度を撮影した画像から、極至近距離から無限遠までパララックス(視野の誤差)のない像を取得できた。レンズを複数用いた全天周カメラは数種類存在するが、至近距離は正しく取得することができないため、185°の広角レンズを、レンズの主点を軸に水平方向に回転させることで、パララックスの無い全天周画像を入力するカメラを開発した。

(ii) Panorama Ball Vision ディスプレイ部の開発

カメラで撮影された映像をPCに取り込み、180°の画角で切り抜き、ジオメトリ変換を行い、パノラマ画像を生成し、録再生できるディスプレイ部を開発した。パノラマ画像は、さらに座標を回転させることが可能で、ディスプレイに表示する画像を任意の方向に回転させることができる。回転フレームの中では、信号が分配され、LEDアレイで表示され、球体は6本のLEDアレイによって構成される。

(iii) ZooMuSee(ズームシー)の開発

ZooMuSee の前身は、2003 年から橋本典久+scope(稲葉剛、玉置淳)が制作している超高解像度人間大昆虫写真である。人間が肉眼では見ることの困難な微細な領域を、一部を切り抜くこと無く見せ、拡大表示と画像の解像度の劣化という相反する 命題をクリアしている。超高解像度のデータを有効活用すべく、データベースでの公開とした。ZooMuSee は、Zoom(拡大)+See(見る)、ゾウムシ、動物園(zoo)+虫などから作成した造語である。Google maps のように、インターネットブラウザ上で、画像の拡大や縮小、移動が自由自在にできるものである。機能限定の Web バージョンと、アップル社の iMac にインストールした単体モデルがあり、単体モデルには、原寸大での表示が可能である。

Adobe 社の Flash と、Zoomify, Inc の Zoomify enterprise バージョンを使用し、博物館などでの展示できるように工夫したフルバージョンと、機能限定の web バージョンを制作した。

これらの成果により、芸術文化学会芸術賞(2006 年)を受賞した。



3-17 Panorama Ball (左図) および Panorama Ball Vision (右図) ¹⁷

③ 研究成果に関連した主な成果論文リスト 3 報以内 (被引用数トップ 1 位)

[1] Saito, Y; Hashimoto, N; Tsugawa, S; Kato, S., “Development of Deceleration Intention Indicating System of Forward Vehicle: Effect of the System”, 2012 15TH INTERNATIONAL IEEE CONFERENCE ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS (ITSC), 852-857, 2012.

(2) 研究領域終了後の継続と発展状況

¹⁷ 「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」研究領域 領域活動・評価報告書ー平成 20 年度終了研究課題ー。

① 科学技術の進歩への貢献

2016 年現在、橋本はメディアアーティストとして活動を行っている。最新の作品は以下の通りである。

- Motion zerograph : zerograph の動画版
- Breath : 映画の時間軸の平面画像化
- Voice : 小説の作者のリズムの可視化 (図 3-18 参照)

「どうして四角いフレームで切り抜いた世界しか残すことができないのか」という疑問をきっかけに、10 年以上にわたりフレームに関する研究を続け、試行錯誤の結果 Panorama Ball という球体写真が生まれ、それを平面に展開した円形画像を Zerograph として開発を進めており、さらに展示やデモなどを通じて、具体的な活用方法や課題などを探っている。



図 3-18 Voice¹⁸

② 社会・経済への波及効果

本研究は、全天周と極小領域という 2 つの異なる視点からの、環境を捉える映像の研究である。広角レンズの主点を軸とし、360 度回転するカメラ(入力)部と、1,920 個の LED を 6 本のアレイに配置し、500rpm で回転する球体ディスプレイ(出力)部からなる装置 Panorama Ball Vision を開発した。これにより、万博などのビッグイベントでしか見ることはできなかった 全天周映像が、身近で容易に見られるようになった。また、ZooMuSee は、昆虫の等身大の映像データを、PC やネット上で操作ができるようにし、データベース化を行なった。これらのコンテンツは、見る人に自然への関心を喚起させるもので、多くの科学館・美術館で展示され、技術による新たな知覚世界が広がった。

2016 年現在、橋本の研究に関するメディアの報道や展示報告¹⁹は 30 件以上にのぼり、従

¹⁸ Hashimoto Norihisa Works http://zeroworks.jp (最終閲覧 2016 年 10 月)。

¹⁹ 「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」研究領域 領域活動・評価報告書ー平成 20 年度終了研究課題ー

来の枠にとらわれないフレームをとおした作品群に対する社会からの関心が高まっている

③ 上記、継続と発展状況を示す研究成果に関連した主な成果論文リスト 4 報以内

Web of Science のデータベースには登録されていなかったため、掲載なし。

④ その他

特になし。

3.2.4. 人間の知覚に基づいた色彩の動的制御システムの構築（武藤 努）

(1) 研究のねらいと研究期間中の達成状況

① 研究のねらい

本研究のねらいは、デジタルメディアを用いた色彩造形手法について、芸術的観点と技術的観点を結びつけ高度化することにあった。光を感受することにより引き起こされる知覚的な体験である色彩を、デジタルメディア技術という観点から、色彩の動き・空間性を研究し、コンピュータを用いた色彩出力をインタラクティブに制御し、動的・空間的な色彩造形手法の構築をめざした。

② 期間中の研究成果

本研究では、色彩に着目し、デジタル制御される色彩出力技術を基盤とした色彩の動き・空間性を扱い、下記の研究成果を得た。

(i) 色彩の動的制御のためのカラーモデルの構築

色彩を数値化しデジタル制御するため、モニターディスプレイやフルカラー発光ダイオード(LED)等の加法混色デバイスは、色彩出力を赤・緑・青の色彩の物理量で行うが、人間の色彩知覚は、明度・色相・彩度の心理量によるため、視覚的かつ連続的に色彩変化を扱う上で、この差異に留意し、数値化した色彩を制御する必要がある。連続的な色彩変化を制御するため、明度制御を主軸に色相関係を重視したカラーモデルを構築した。これにより明度を一定とした色相変化・彩度変化、色相を一定とした明度変化・彩度変化等を可能とし視覚的に滑らかな色彩変化を実現した。

(ii) 視覚環境インタラクションの開発

物質的に環境を変化させるのではなく、色彩光の変化を用いて、視覚的な見えの状態を変化させる色彩造形手法を視覚環境インタラクションとして開発した。

視覚環境インタラクションの検証制作として「Optical Trajectory」、「Optical Tone」、「COLORS in SHADOWS * SHADOWS in COLORS」等のカラーインスタレーションの制作を行った。「Optical Trajectory」は色彩の動きの可視化に着目した、振り子状のLEDインタフェースによる検証例である。「Optical Tone」は物体色と光源色を用いた視覚環境インタラクションの検証制作である。この試みは、LED色彩制御技術と造形分野の色彩構成手法を用いた色彩知覚の恒常性を再体験するインタラクティブな実験であった。

Ars Electronica 2008をはじめ国内外の展示会に出品し、検証の機会を得、これらの検証により色彩光を用いた視覚環境インタラクションは既存の実空間に導入しやすく、メディア芸術分野のみではなく、照明手法、サインシステム、広告表現等に実用可能なことが明らかになった。

(iii) 色彩照明装置の開発

デジタルメディア技術に基づくインタラクティブな色彩制御や、動的・空間的な色彩造形手法を、メディア芸術分野とともにデザイン分野に応用した（図 3-19 参照）。一般的な実用環境での利用を前提とすると、照明光として加法混色出力を制御する際には、明るさや色みを直感的に操作する必要があるため、ユーザの色彩操作軸は、赤・緑・青の物理量軸よりも明度・色相・彩度の心理量軸の方が都合良い。また、従来の明るさのみの調光に加え、色彩照明機器は色相・彩度の要素が加わりインタフェースが複雑になるが、スイッチ等 ON・OFF に変えてセンシング技術による操作インタフェースを取り入れ、容易な操作を可能とする必要がある。これらの点を考慮し、装置の形状と使用者の行為を色彩インタラクション手法で結びつけ、色彩の動き・空間性という問題を示し、その有用性・可能性を提示した。

これらの成果により、Honorary Mention PRIX ARS ELECTRONICA 2008 を受賞した。

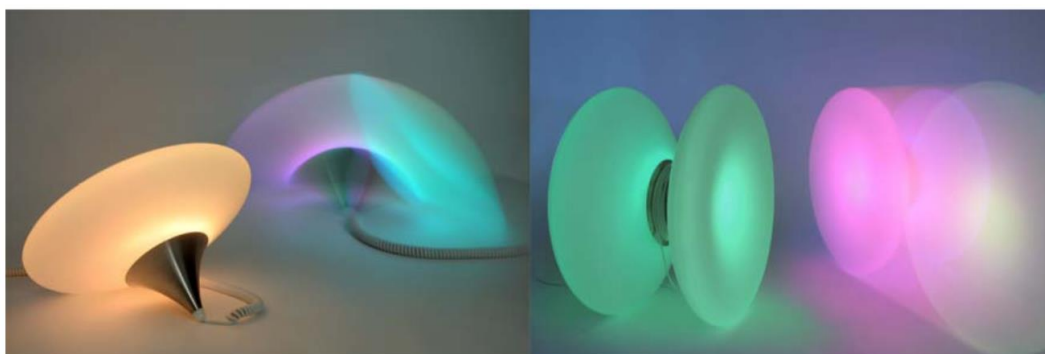


図 3-19 色彩照明装置応用例²⁰

③ 研究成果に関連した主な成果論文リスト 3 報以内（被引用数トップ 3 位）

Web of Science のデータベースに登録されていなかったため、掲載なし。

(2) 研究領域終了後の継続と発展状況

① 科学技術の進歩への貢献

2016 年現在、武藤は明星大学デザイン学部の准教授として、下記 4 つの照明器具に関する作品を手がけている。

- OPTONE OBI : ダイナミックに変化する色彩調和に着目した照明器具
- OPTONE WAFT : 触れることによって揺らぎ様々な色彩に変化する照明器具
- OPTONE HAMON : 水面に広がる波紋の様に光が混色される照明器具

²⁰ 「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」研究領域 領域活動・評価報告書ー平成 20 年度終了研究課題ー

- OPTONE DROP : 直感的な色彩照明操作に着目した照明器具 (図 3-20 参照)

本研究課題と関連し、照明器具における色に関する研究を続け、色彩体験を得られるような照明器具をメディアアートとして発表している。



図 3-20 OPTONE DROP²¹

② 社会・経済への波及効果

本研究は、メディア芸術の重要な要素である色彩を、芸術的観点と技術的観点から結びつけ、直感的でインタラクティブに制御できる色彩造形手法の構築をめざした。人間の視覚がもつ色相環の心理量と、ディスプレイや LED 等のデバイスのもつ RGB の物理量との差異に着目し、視覚的な整合性を保ちつつ、物理的に計算制御できるカラーモデルを作りあげた。そして、色彩のもつ空間的・時間的な側面と、照明・建築などの実体と結びつけ「Optical Trajectory」、「Optical Tone」等の作品を制作し、新たな視覚と環境のインタラク션을創成した。

これらの成果は、芸術分野のみならず、デザイン分野にも新たな影響を及ぼすもので、2009 年に開催されたインテリアデザインの見本市であるミラノサローネに採択された。

2016 年現在、武藤は 20 件以上の作品を発表し、デジタルテクノロジーを用いた造形・研究活動に積極的に貢献している。

③ 上記、継続と発展状況を示す研究成果に関連した主な成果論文リスト 4 報以内

Web of Science のデータベースに登録されていなかったため、掲載なし。

④ その他

特になし。

²¹ STUDIO MUTOH [<http://studiomutoh.com/category/product/>] (最終閲覧 2016 年 10 月)。

3.2.5. 触・力覚の知覚特性を利用した新たな芸術表現の基盤研究（渡邊 淳司）

(1) 研究のねらいと研究期間中の達成状況

① 研究のねらい

本研究では、時間・空間・質感等の触・力覚の基本的な知覚特性を調べる基礎研究とともに、その知覚特性を新たなインタフェース技術や、デザイン原理へ適用する応用研究を行い、メディア芸術の表現領域拡大をめざした。

② 期間中の研究成果

(i) 触・力覚インタフェース技術の開発

人間の知覚特性や錯覚を利用することで、より簡便なシステムによって触・力覚提示を実現した。爪側から振動刺激を与え、指の腹側に凸凹感を提示する触覚提示手法を発展させ、その振動波形をうまく変化させることで、様々なテクスチャ感覚の提示手法を開発した。さらに、指の位置を同時に計測することで、タッチパネルモニタ上の動画像に合わせて触感覚が変化するシステムを実現した。錯覚による爪上からの振動を利用することで、時間遅れのない高速な応答性、ディスプレイのサイズに因らない空間的拡張性、十分な提示感覚の強度を実現した。

身体に関する知覚特性を利用した情報提示インタフェースとして、腹と背に振動子をベルトで固定し、それらを適切な時間差で振動させると、その振動間に「腹部を通過する仮現運動」が知覚され、あたかも何かが身体を貫通したような感覚を実現した（図 3-21 参照）。

身体通過仮現運動知覚を生じさせる振動子の最適な時間差、振動波形等の振動パラメータを特定するとともに、映像情報と貫通感覚が同期するようなアプリケーションを実現し、SIGGRAPH2008 New Tech Demo(2008 年 8 月)にて展示を行った。

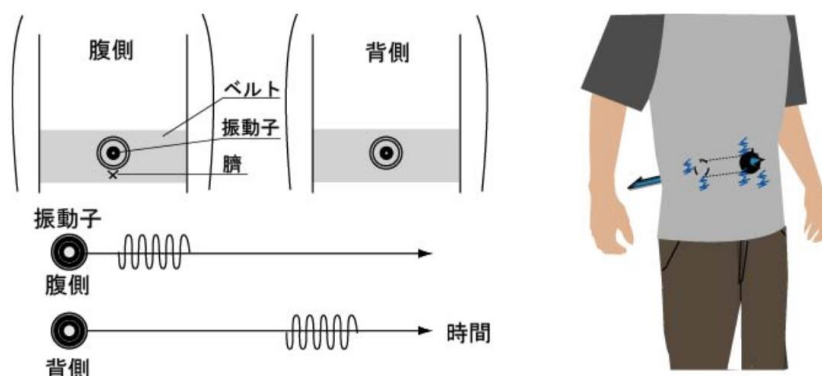


図 3-21 貫通感覚提示の原理²²

²² 「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」研究領域 領域活動・評価報告書ー平成 20 年度終了研究課題ー

(ii) 触・力覚におけるデザイン原理の構築

触・力覚を通じて感情を伝える新たな触・力覚のデザイン原理として、日本語のオノマトペを利用したデザイン原理も提案した。言葉は、その記号的意味と、意味以外の質感的要素(書き言葉の文字の形、話し言葉の声の抑揚)を持っているが、特にオノマトペは、その意味よりも、単語の音の響き自体が対象の性質を表している語である。オノマトペに対する共通イメージに着目し、触感覚オノマトペと実際のテクスチャの主観的なイメージを関係付ける平面図(触相図)を作成し、そのデザイン原理としての可能性を検証した。

本デザイン原理は、環境に無限に存在する触覚テクスチャ情報を、物理情報(摩擦係数や粘性)のまま扱うのではなく、主観イメージを含む有限な記号(オノマトペ)で表現しなおして扱うことで、一つのデザイン理論を構築した。

基礎研究については、主に心理物理実験のパラダイムを用いて行い、その研究成果を論文発表し、応用研究の成果については、技術展示や作品制作、ワークショップ等、合計6件発表²³した。

これらの成果について、15報の論文を発表し、文化庁メディア芸術祭アート部門 審査委員会推薦作品賞(2007年、2008年)、優秀賞(2009年)を受賞した。

③ 研究成果に関連した主な成果論文リスト3報以内(被引用数トップ3位)

[1] Nishida, S; Watanabe, J; Kuriki, I; Tokimoto, T., “Human visual system integrates color signals along a motion trajectory”, CURRENT BIOLOGY, 17, 4, 366-372, 2007.

[2] Terao, M; Watanabe, J; Yagi, A; Nishida, S., “Reduction of stimulus visibility compresses apparent time intervals”, NATURE NEUROSCIENCE, 11, 5, 541-542, 2008.

[3] Johnston, A; Bruno, A; Watanabe, J; Quansah, B; Patel, N; Dakin, S; Nishida, S., “Visually-based temporal distortion in dyslexia”, VISION RESEARCH, 48, 17, 1852-1858, 2008.

(2) 研究領域終了後の継続と発展状況

① 科学技術の進歩への貢献

2016年現在、渡邊はNTTコミュニケーション科学基礎研究所の主任研究員として下記2テーマを主な研究テーマとして活動を行っている。

- 視覚、触覚の基礎研究及びそれらを表すオノマトペの研究
- 人間の知覚特性を利用した情報提示装置の開発

²³ 「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」研究領域 領域活動・評価報告書ー平成20年度終了研究課題ー

本研究領域終了後も本研究課題と関連し、人間の知覚メカニズム、特に視覚・触覚の研究を続けている。人間の知覚特性を利用したインタフェース技術を開発、展示するなかで、人間の感覚と環境との関係性を、理論と応用の両面から研究しており、さらに展示やデモなどを通じて、具体的な活用方法や課題などを探っている。

図 3-22 は、聴診器を胸に当て自分の鼓動を振動スピーカ（心臓ボックス）で再現し、手で感じることで新しい感覚が得られる作品を制作した。

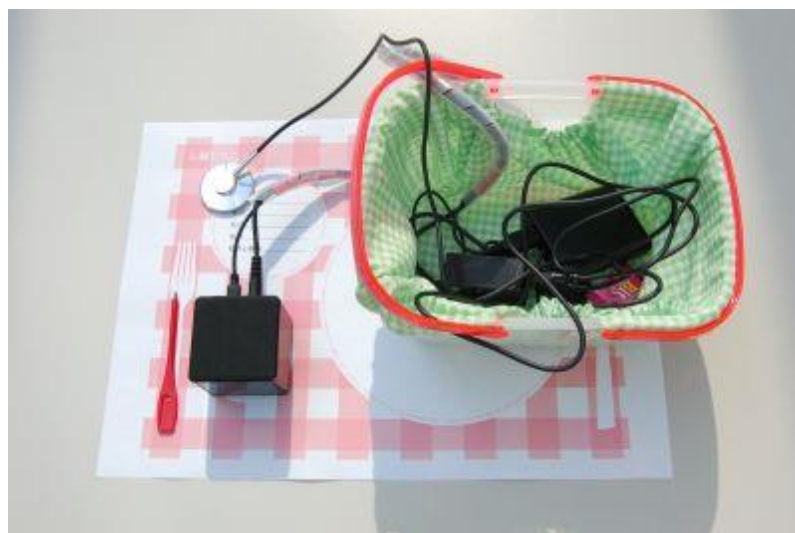


図 3-22 聴診器と連動する心臓ボックス²⁴

② 社会・経済への波及効果

本研究は、視聴覚に加えて触・力覚を効果的に芸術表現に利用する基盤技術の開発をめざしたものである。研究では、触・力覚の基本的な知覚特性を調べる基礎研究と、その知覚特性を応用した新たなインタフェース技術の開発を行った。そして、それを用いた作品を研究者自身やクリエイタとの協働で制作した。触・力覚の情報提示として、指先の爪側から振動刺激を与え、指の腹側に凹凸感を提示するインタフェースを開発した。従来は触・力覚の情報提示には、大掛かりな装置を要したが、このインタフェースにより簡便化されたことで、芸術表現への利用の可能性が開けた。さらに振動波形を制御することにより、様々なテクスチャ触感の表現をすることが可能になった。これらの知覚メカニズムは国際論文誌に発表され、これを利用して多くの作品が制作されることになった。

自分の身体内を通過したような感覚を提示する装置の開発や、触・力覚の感情を他人に伝えるためのデザイン原理を構築し、触・力覚を使った芸術分野に対する基盤技術を開発した。これらの研究成果は、論文発表ばかりではなく、特許としても 2016 年現在までに国内 18 件、海外 2 件が出願されており、触・力覚インタフェースが、教育分野・福祉分野等の産業

²⁴ Junji WATANABE [http://www.junji.org] (最終閲覧 2016 年 10 月)。

にも応用され発展するものと考えられる。

2016 年現在、渡邊は書籍を 2 冊出版しており、研究活動を通して得た自身の知見を一般の人に広く知らせる活動を精力的に行っている。

③ 上記、継続と発展状況を示す研究成果に関連した主な成果論文リスト 4 報以内

[1] Kuroki, S; Watanabe, J; Kawakami, N; Tachi, S; Nishida, S., “Somatotopic dominance in tactile temporal processing”, EXPERIMENTAL BRAIN RESEARCH, 203, 1, 51-62, 2010.

[2] Terao, M; Watanabe, J; Yagi, A; Nishida, S., “Smooth Pursuit Eye Movements Improve Temporal Resolution for Color Perception”, PLOS ONE, 5, 6, 2010.

[3] Kuroki, S; Watanabe, J; Mabuchi, K; Tachi, S; Nishida, S., “Directional remapping in tactile inter-finger apparent motion: a motion aftereffect study”, EXPERIMENTAL BRAIN RESEARCH, 216, 2, 311-320, 2012.

[4] Masuda, A; Watanabe, J; Terao, M; Watanabe, M; Yagi, A; Maruya, K., “Awareness of central luminance edge is crucial for the Craik-O’Brien-Cornsweet effect”, FRONTIERS IN HUMAN NEUROSCIENCE, 5, 2011.

④ その他

特になし。

3.3. 2006 年度採択研究課題

3.3.1. アート表現のための実世界指向インタラクティブメディアの創出（筧 康明）

(1) 研究のねらいと研究期間中の達成状況

① 研究のねらい

本研究では、誰もが直感的、かつ自然にデジタル表現に参加できる情報環境の実現のために、主に実世界での利用に焦点をおいたインタラクティブメディアの創出を目的とした。特殊なデバイスの装着などユーザへの負荷を強わず、また実世界での道具操作や対面コミュニケーションと、デジタル世界とを乖離無くつなぐための情報環境の構築をめざした。また、実世界のモノを積極的に活用した情報提示手法とインタラクションの提案、情報の共有と個人化の両立が可能な複数人参加型コミュニケーションメディアの開発、さらにこれらのメディアを用いた即興的表現のためのコンテンツ生成環境の開発もめざした。

② 期間中の研究成果

(i) Tablescape Plus: 卓上オブジェクトを用いたインタラクティブ映像シアターの開発

実オブジェクトを用いたインタラクションを行う際の直感性と汎用性を両立するために、テーブル上のオブジェクトに映像を投影し、置く、動かす、つなげるといった実オブジェクトを用いた操作や状況に応じて、動的に役割や状態が変化するインタフェースを提案した。テーブル面とオブジェクト面の両方に、同時に異なる映像を投影することができ、テーブル内部に設置されるカメラにより、テーブル上のオブジェクトを認識することで、インタラクティブな情報提示を実現した（図 3-23（左）参照）。

(ii) UlteriorScape: 指向性を有する多人数参加型インタラクティブメディアの開発

上記で開発したテーブルを囲む各ユーザに対し、テーブル面、およびオブジェクト面に適切な情報を、適切な位置・向きに提示できる方向依存情報を提示する装置を開発した（図 3-23（右）参照）。

(iii) ForceTile: 3次元力分布入力可能なタンジブルインタフェースの開発

実オブジェクト自体への特殊なセンサ等の設置をしない方法として、透明弾性体の中に透明マーカを構造的に配置し、カメラ認識を用いた新たな入力インタフェースを実現した。

(iv) アニメーション作成支援環境 Tablescape Animation の開発

即興的・直感的なアニメーション作品の制作支援を目的とし、実オブジェクトの振る舞いとユーザの声のデータを用いて、バーチャル空間内にキャラクタを再配置し、ビューを操作

することで、最終的に通常のモニタで鑑賞できるような、書き割り風のアニメーション作品を生成できるツールを開発した。手描きのキャラクタを人形遊びの感覚で操ることで、アニメーションを制作するという新たなコンテンツ制作環境を構築した。

(v) 香りを視覚化するインタラクティブアート hanahana の制作

“香り”を視覚化し、時間に伴う変化を演出することを提案し、試香紙についた香りの強さ、種類によって多様に変化し、ユーザに対して視覚と嗅覚の両方の感覚から匂いの変化を認識させることができる。

これらの成果を、研究論文 3 報および国際会議²⁵で発表し、日本バーチャルリアリティ学会論文賞(2006 年)、およびエンタテインメントコンピューティング優秀論文賞(2007 年)を受賞した。また、制作した作品を、SIGGRAPH、Ars Electronica、文化庁メディア芸術祭などの著名な展示会に展示し、推薦作品として表彰された。



図 3-23 Tablescape Plus (左) および UteriorScape (右) ²⁶

③ 研究成果に関連した主な成果論文リスト 3 報以内 (被引用数トップ 3 位)

[1] Kakehi, Y; Naemura, T., “UteriorScape: Interactive Optical Superimposition on a View-Dependent Tabletop Display”, THIRD ANNUAL IEEE INTERNATIONAL WORKSHOP ON HORIZONTAL INTERACTIVE HUMAN-COMPUTER SYSTEMS, PROCEEDINGS, 201-204, 2008.

[2] Kakehi, Y; Chikamori, M; Kunoh, K., “Yasuaki Kakehi, Motoshi Chikamori and Kyoko Kunoh”, LEONARDO, 43, 4, 396-397, 2010.

[3] Kakehi, Y; Naemura, T., “Optical Design of Tabletop Displays and Interactive Applications”, TABLETOPS-HORIZONTAL INTERACTIVE DISPLAYS, 101-129, 2010.

(2) 研究領域終了後の継続と発展状況

²⁵ 「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」研究領域 領域活動・評価報告書ー平成 21 年度終了研究課題ー

²⁶ 同上

① 科学技術の進歩への貢献

現在、笥は慶應義塾大学の准教授として、下記の 3 テーマを主要な研究テーマとしている。

- デジタル世界と融合する実世界のデザイン
- マテリアルインタラクション
- デジタルメディアによる人間の感覚拡張

本研究領域終了後も、『リアリティのデザイン』というキーワードのもと、実世界をベースに、リアリティを発見する／操る／創るためのメディアのために研究を続けている。光学設計（ディスプレイ）、画像処理（カメラ）、電子回路（センサ・アクチュエータ）、3D プリントなどの技術を駆使し、物理世界（Atoms）とデジタル世界（Bits）の融合をめざすと共に、近年盛んなウェアラブルディスプレイやプロジェクションマッピングに見られるような、実世界への情報の重ね合わせに留まらず、より物性に踏み込んだレベルでの物質と情報の浸透・融合もめざしている。さらに、Atoms と Bits が融合した新たなメディア・ツールと人間とのインタラクションのデザインをつうじて、人間の周りの素材・身体・記号の関係性や、人と人との関係性に介在し、時に人の活動を支援するインタラクティブな装置、場および表現を創出している。

これらアイデアの創出から技術的に実装する方法について研究を進めており、さらに展示やデモを通じて、具体的な活用方法や課題を探っており、「dePENd：ボールペンの強磁性を利用した手描き補助システム」で、2014 年に情報処理学会論文誌論文賞を受賞している（図 3-24 参照）。

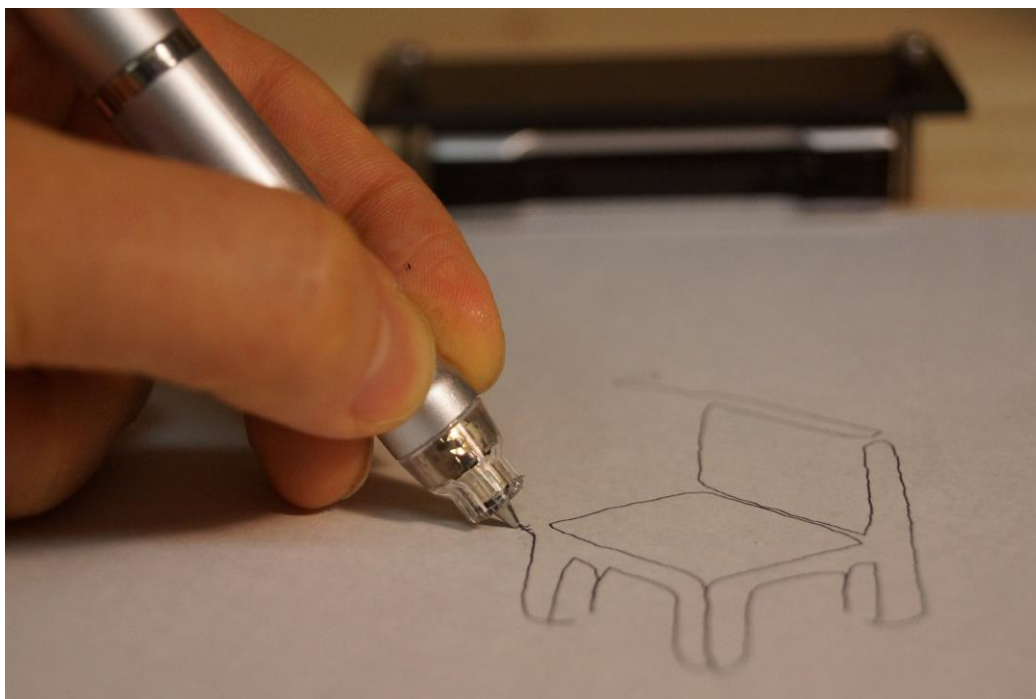


図 3-24 dePENd: 手作業と機械による作業を組み合わせた描画支援システム²⁷

② 社会・経済への波及効果

光学設計（ディスプレイ）、画像処理（カメラ）、電子回路（センサ・アクチュエータ）に関する研究開発を行い、展示やデモを通じてアイデアを広く知らしめることにつながっている。加えて、近年注目されている VR (Virtual Reality) や AR (Augmented Reality) を実現するための要素技術でもあることから、今後の VR や AR の市場拡大にもつながることが期待されている。

③ 上記、継続と発展状況を示す研究成果に関連した主な成果論文リスト 4 報以内

- [1] Yamaoka, J; Kakehi, Y., “2016. MiragePrinter: interactive fabrication on a 3D printer with a mid-air display”, ACM SIGGRAPH 2016 Studio (SIGGRAPH ’16). ACM, New York, NY, USA, [6], 2016.
- [2] 河野通就, 星貴之, 笥康明, “lapillus bug: 音響浮揚操作に基づいた粒子の生物学的表現とインタラクション”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 19, 4, 615-624, 2014.
- [3] 中垣 拳, 笥 康明, “COMP*PASS: 紙上での多様な図形描画と複製を可能にするコンパスの拡張”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 19, 3, 423-432 2014.
- [4] Yamaoka, J; Kakehi, Y., “dePENd: augmented handwriting system using

²⁷慶応義塾大学 SFC 政策・メディア研究科 笥研究室[<http://www.xlab.sfc.keio.ac.jp/>] (最終閲覧 2016 年 10 月)。

ferromagnetism of a ballpoint pen” , In Proceedings of the 26th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST ' 13). ACM, New York, NY, USA, 203-210, 2013.

④ その他

特になし。

3.3.2. 空間型メディア作品を強化する7つ道具型対話デバイス(木村 朝子)

(1) 研究のねらいと研究期間中の達成状況

① 研究のねらい

本研究は、空間型のインタラクティブ・アート&エンターテインメントに幅広く用いられ、対話型操作を円滑にしてメディア作品の価値を高めるとともに、創作者の創作意欲を増すような新しい道具型対話デバイスの各種提案・提供をねらいとした。既存の道具の形状と、その道具ならではの操作感を活用した対話デバイスを各種開発し、空間型メディア作品に適用するとともに、道具型対話デバイスに求められる要件を分析することもめざした。

② 期間中の研究成果

インタラクティブ・アート作品の鑑賞者が、はじめてでも容易に使用することのできる対話デバイスとして「道具型対話デバイス(以降、道具型デバイスと略す)」を提案・開発し、これらのデバイスを使用した空間型メディア作品を、様々な形で実現することをめざした。まず、大きさや内蔵機構など、様々な条件で各種道具型デバイスを開発し、評価実験や運用を行う中で、道具型対話デバイスに求められる要件の分析を行った。また同種の対話デバイスにおいて必要不可欠であった、精度が高く、デバイスの美観を損ねにくい位置姿勢検出方法についても開発を行った。

(i) 道具型対話デバイスの各種提案・開発とメディア作品の制作

本研究では、慣れ親しんできた既存の道具の形状とその道具ならではの操作感(触感や操作音)を活用することで、ユーザに正しい操作イメージを与えるだけでなく、その用途や利用方法を直観的に把握させる道具型デバイスを開発した。

デバイスをより直観的なものとするため、1つのデバイスに多種多様な機能をもたせた万能型デバイスではなく、目的に応じて異なった道具に持ち替えて利用できる汎用型のツールセットをめざし、まず空間型の作業で重要と考えられる操作を分類・抽象化し、その操作に適した道具型デバイスを実現した。具体的には、広い作業領域が必要な設計作業、多種多様なデータを一挙に取り扱うレイアウト作業、3次元物体操作と奥行き知覚が必要な立体造形作業等を想定し、それらを実現する操作として「選択・移動」、「加工」、「描画」の3種類の操作に絞り込んだ。道具型デバイスの製作にあたっては、プロダクトデザイナーと協力し、度重なる展示にも耐えうる堅牢なデバイスを実現した。

図3-25は、「切る」、「叩く」操作に関連付けたナイフ、およびハンマ型のデバイスを示したもので、触感や操作音を再現するための振動モータ、小型スピーカ、および、「叩く」強さを検出するための加速度センサを内蔵した。

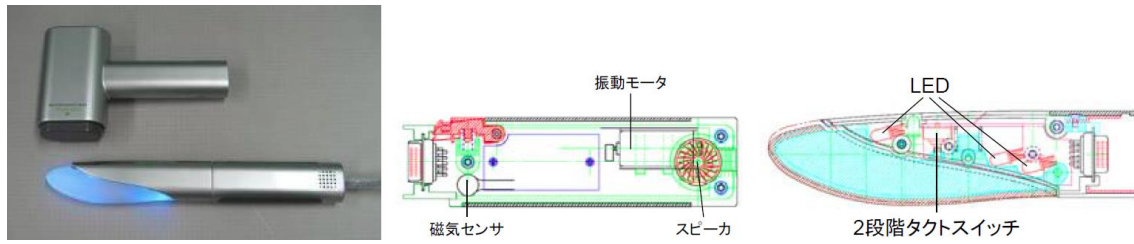


図 3-25 ナイフ・ハンマ型デバイス²⁸

(ii) 道具型対話デバイスの要件の構築

4 種のピンセット型デバイス、2 種類のナイフ用デバイス、1 種類のハンマ型デバイス、3 種類の筆型デバイスの設計・製作を行い、これらを利用・提供して、実際に様々なメディア作品の制作を行った。これら大きさや内蔵機構など条件の異なる各種道具型デバイスの評価・運用を行った経験に基づき、道具型対話デバイスに求められる要件を分析した。

道具の形状からその操作をすぐに思いつくというだけではなく、他の用途に利用されない道具を選択することが明らかになった。デバイスに「道具らしい触力覚感」を提示する機構を導入することで、実物の道具の操作感に近づけた。

(iii) 複合現実空間操作対話デバイスのためのハイブリッド型位置姿勢決定法の開発

磁気センサの利用等に留まっていた MR 空間におけるデバイス利用のための位置姿勢決定法として、対話デバイスの特性を考慮し、姿勢センサと LED マーカ、さらに形状情報を利用したハイブリッド型位置姿勢決定法を提案した。本研究では、精度の低い LED と姿勢センサを利用した位置姿勢決定法と、精度が高いが破綻することがある形状情報と、姿勢センサを用いた位置姿勢追跡法を組み合わせ、以下の 2 種類の処理を実現し、デバイスの利便性を向上させた。

- ・追跡が破綻した際、自動的に LED と姿勢センサによる位置決定に切り替えることで、十分な処理速度と安定した追跡を実現し、選択・移動デバイスに必要十分な精度を確保した。

- ・画像情報を用いた推定を行うことで、視覚的なずれの小さい処理を行うことができ、デバイスと仮想物体の前後関係を正しく表現することが可能となった。

環境設置型の大掛かりなセンサシステムを必要とせず、簡易な機器構成で対話デバイスの位置姿勢を推定することが可能となった。このため、カメラ位置姿勢推定法と組み合わせることで、可搬性が高く、インタラクション可能な MR システムの構築が可能になり、対話機能の充実につながると考えられる。

これらの成果について、論文 8 報を発表し、情報処理学会の山下記念研究賞(2009 年)を

²⁸ 「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」研究領域 領域活動・評価報告書ー平成 21 年度終了研究課題ー

受賞した。また、制作した作品は、SIGGRAPH、ヒューマンインタフェースシンポジウムなどの著名な展示会にも展示された。

③ 研究成果に関連した主な成果論文リスト 3 報以内

[1] Arisandi, R; Takami, Y; Otsuki, M; Kimura, A; Shibata, F; Tamura, H., “Enjoying Virtual Handcrafting with ToolDevice”, ADJUNCT PROCEEDINGS OF THE 25TH ANNUAL ACM SYMPOSIUM ON USER INTERFACE SOFTWARE AND TECHNOLOGY, 17-18, 2012.

[2] 大槻麻衣, 杉原賢次, 中嶋友美, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: 絵筆の描き味を活かした複合現実型描画システムと筆型対話デバイス, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 15, 3, 357-367, 2010.

[3] 木村朝子, 上坂晃雅, 柴田史久, 田村秀行: 空間型作業での選択・移動操作に適した道具型デバイスの機能設計と評価, 情報処理学会論文誌, 51, 2, 314-323, 2010.

(2) 研究領域終了後の継続と発展状況

① 科学技術の進歩への貢献

2016 年現在、木村は立命館大学の教授として、下記 4 テーマを主な研究テーマとして活動を行っている。

- モバイル複合現実感システムとその応用
- 複合現実から隠消現実への発展（現実&仮想空間の足し算と引き算）
- 次世代ヒューマンインタフェースの設計と実装
- 複数の感覚を併用した高度な複合現実空間の構築

本研究領域終了後も、仮想と現実を融合する「複合現実感」、触力覚をいかした「タンジブルインタフェース」の研究を続けており、さらに展示やデモを通じて、具体的な活用方法や課題などを探っている。

図 3-26 に、視覚が触知覚に与える影響に関する研究の一例を示す。



図 3-26 視覚が触知覚に与える影響に関する研究²⁹

② 社会・経済への波及効果

本研究は、複合現実感(Mixed Reality; MR)技術を駆使し、誰もが実物に触るような感覚で、情報やデータを操作する道具型対話デバイスの技術開発に取り組んだ。道具型対話デバイスに求められる立体造形作業として、「選択・移動」、「加工」、「描画」の3つの操作を重要な操作として抽出し、それぞれに適した道具型対話デバイスを制作した。今回の研究プロセスにおいては、道具を制作し展示することにより、触ったり楽しんだりした多くの人たちからの意見をフィードバックして、研究を進めた。科学と文化が融合する新分野へ展開することが期待される。

実世界に仮想空間の情報を加える技術は、ポケモン GO をはじめとして、一般の人が使えるようなゲームなどのコンテンツ開発にもつながっており、広く浸透しつつある。

③ 上記、継続と発展状況を示す研究成果に関連した主な成果論文リスト 4 報以内

- [1] 片岡佑太, 西川歩未, 橋口哲志, 柴田史久, 木村朝子: 複合現実環境下での R-V Dynamics Illusion と Size-Weight Illusion の相互作用, ヒューマンインタフェース学会論文誌, 18, 3, 177-186, 2016.
- [2] 佐野 洋平, 橋口哲志, 柴田史久, 木村朝子: 動的に変化する複合現実型視覚刺激が重さ知覚に与える影響, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 19, 2, 255-264, 2014.
- [3] 大槻麻衣, 大下勉, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: ElasticConnections: 3D 空間における複雑な仮想物体の観察・分解手法に関する研究, 情報処理学会論文誌, 55, 4, 1365-1377, 2014.
- [4] 杉原賢次, 大槻麻衣, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行: 仮想物体への描画感を達成した

²⁹立命館大学情報理工学部メディア情報学科 リアリティメディア研究室

[<http://www.rm.is.ritsumeai.ac.jp/research.html>] (最終閲覧 2016 年 10 月)。

新筆型対話デバイス開発, ヒューマンインタフェース学会論文誌, 14, 1, 31-42, 2012.
(論文賞受賞)

④ その他

木村はさがけ研究期間終了後も、多くの研究助成プログラムに採択され、当該研究分野の継続的发展に取り組んでいる。下記に、さがけ研究期間終了後の代表的な研究助成プログラムを記す。

表 3-4 さがけ研究期間終了後の研究助成プログラム

期間	プログラム名	研究課題名
2016-2020 年	平成 28 年度 文部科学省: 科学研究費補助金(基盤研究(B))	複合現実型視覚刺激による R-V Dynamics Illusion の研究
2011-2015 年	平成 23 年度 文部科学省: 科学研究費補助金(基盤研究(B))	複合現実型視覚刺激が及ぼす触印象に関する研究

3.3.3. Locative Media を利用した芸術/文化のための視覚表現技術開発（野口 靖）

(1) 研究のねらいと研究期間中の達成状況

① 研究のねらい

本研究は、地域の歴史/文化的コンテンツをアーカイブすることをめざして、研究 3D グラフィックスを利用した「時空間」マッピングシステムとデータベースを統合し、更には GPS 機能や CSV インポート機能などと連携するための技術を開発することを目的とした。研究成果を API やソフトウェアなどの形で広く一般に提供していくことにより、特に歴史/文化的コンテンツのアーカイブ化のケースにおいて、Media 技術を利用したメディア芸術表現が可能になることをめざし、また、地域の財産をアーカイブ化する目的で、調査及びコンテンツ作成を行うこともめざした。

② 期間中の研究成果

本研究は、地域の歴史/文化的コンテンツをアーカイブする技術に取り組んだものであり、本研究の中心は、地理情報と時間情報を 3D 空間にアートとして表現することのできる c-loc ソフトウェアである。

(i) 新宿駅周辺(角筈)の歴史を写真で辿るアーカイブマップの開発

かつて「角筈」と呼ばれていた新宿駅周辺の歴史を、写真によって体験できる時空間マップを作成した。戦後から現代に至るまで劇的に変化してきた新宿という地域で、何が変わり、何が変わらなかったのか、過去の歴史に思いを巡らせながら時空間マップを体験するためのインタフェースを構築した。このコンテンツは研究期間中常にアップデートされ、最終的には 300 枚以上の写真のアーカイブとなった。

(ii) 絶滅危惧種(魚類)の時空間的生息分布の構築

2008 年の日本科学未来館における「未来予感研究所 2」では、国立科学博物館、及び多様性生物希少標本ネットワークの協力のもと、非常に貴重な魚類の絶滅危惧種の写真を掲載した時空間マップを作成した。この種の情報の問題として、地域が特定されたために、絶滅危惧種にも関わらず、愛好家が採取してしまう可能性があるが、この問題の解決策として、展示では県名の位置にのみ分布データを配置した。日本社会の発展と背中合わせである、絶滅危惧種の地域分布の変遷が読み取れる作品となった。

(iii) 鉄道の運行状況の時空間表現の開発

山手線内の地域における、全ての列車の 8:00 から 8:30 までの発着時刻を、オブジェクトとして時空間的にマッピングし、それらを路線ごとに線で繋いだ（図 3-27 参照）。つまり、

横から見ると時刻表であり、上から見ると地図となる。毎日めまぐるしく運行される路線の時空間的構造が一つの立体作品となった。また、各路線の点と線の色は実際の路線図と同じ色を採用した。この作品は c-loc ソフトウェアの応用可能性の広さを実感させるものとなった。

これらの成果は、第 11 回文化庁メディア芸術祭アート部門(2007 年)で審査委員会推薦作品賞を受賞した。

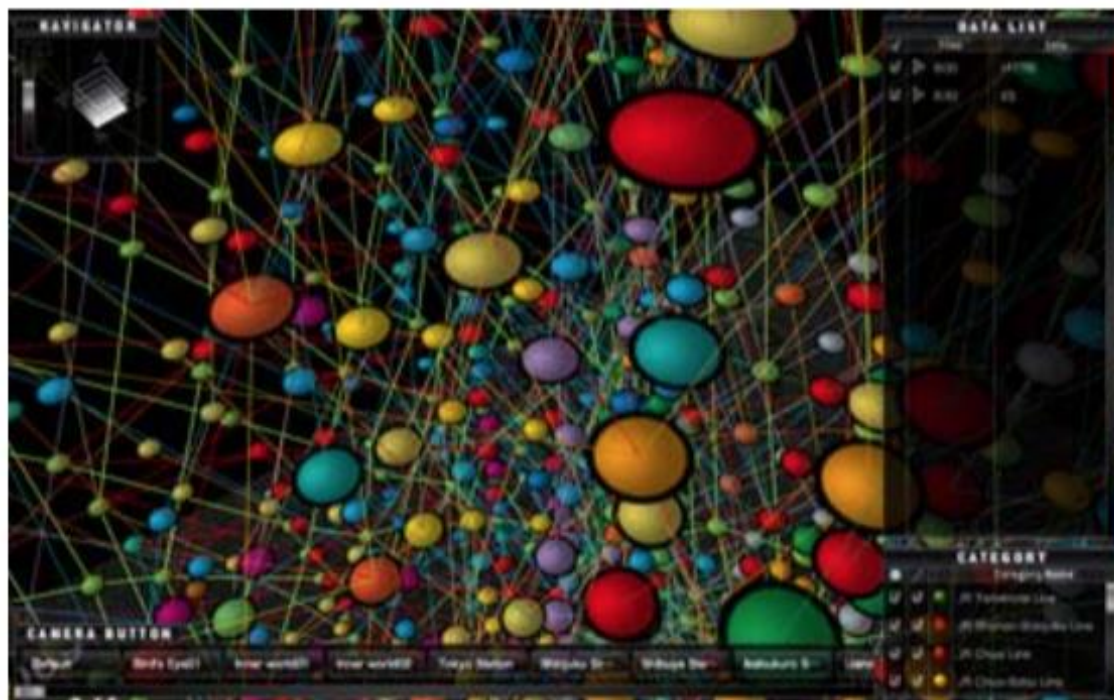


図 3-27 近距離から見た発着時刻のオブジェクト群³⁰

③ 研究成果に関連した主な成果論文リスト 3 報以内（被引用数トップ 3 位）

Web of Science のデータベースに登録されていなかったため、掲載なし。

(2) 研究領域終了後の継続と発展状況

① 科学技術の進歩への貢献

現在、野口は東京工芸大学の准教授として、下記 4 テーマを主な研究テーマとして活動を行っている。

- 歌舞伎町アートサイト
- Watch Me!（社会的つながりを題材とした作品）

³⁰ 「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」研究領域 領域活動・評価報告書ー平成 21 年度終了研究課題ー

- フィールドアート in 八尾
- フィールドアート in 小平

本研究領域終了後も研究テーマに関連し、さまざまな地域での歴史/文化的コンテンツをアーカイブする研究を続けている。アーカイブ化コンテンツを利用したメディア芸術表現を追求しており、図 3-28 のように、新宿歌舞伎町でのパブリックメディアアートとして、アーカイブ化コンテンツを展示するなど、具体的な活用方法や課題などを探っている。



図 3-28 歌舞伎町アートサイト³¹

② 社会・経済への波及効果

時間と場所が特定できる情報、関連するテキスト、画像、音声を登録することにより、これらのデータが時空間マップにオブジェクトとしてレイアウトすることが可能になった。メディアアート表現を専門とする研究者だからこそできたソフトウェアである。コンテンツとしては、新宿駅周辺(角筈)の歴史を写真で辿るアーカイブマップや、絶滅危惧種(魚類)の時空間的生息分布のマップ等が作られたが、アート作品の制作にとどまらず、社会的な意義も大きい。

2016 年現在、野口が行った展示会は 20 件以上にのぼっている。

③ 上記、継続と発展状況を示す研究成果に関連した主な成果論文リスト 4 報以内

Web of Science のデータベースに登録されていなかったため、掲載なし。

④ その他

特になし。

³¹東京工芸大学芸術学部 インタラクティブメディア学科 YASUSHI NOGUCHI PROJECTS [http://r-dimension.xsrv.jp/projects_e/category/public-project/](最終閲覧 2016 年 10 月)。

3.3.4. 折紙のデジタルアーカイブ構築のための基盤技術とその応用（三谷 純）

(1) 研究のねらいと研究期間中の達成状況

① 研究のねらい

本研究では、折紙の幾何に関する情報を、デジタルデータとしてアーカイブすることで、今後の折紙の発展に資することをめざし、折紙の情報をデジタル化するための手法の 1 つとして展開図情報のデジタル化を挙げ、展開図を効率的に入力するための専用エディタの開発と、展開図データベースのプロトタイプの作成を行った。これに関連して、展開図から折りたたみ後の形を推定するアプリケーションの開発、曲面を含む立体的な折紙の設計技法の研究なども行った。折紙の新規作品の設計支援や折紙研究の基盤ツールとして役立てること、また折紙の理論をベースとした工学、数学、芸術、文化の領域へ発展させることを目標とした。

② 期間中の研究成果

(i) 折紙の展開図エディタ ORIPA の開発

折紙の展開図をコンピュータ上で効率的に作図するための専用エディタ、ORIPA (Origami Pattern Editor) の開発を行った (図 3-29 参照)。開発初期のころから Web 上で一般公開し、研究期間中に 32 回更新し、改良を図った。折紙の展開図に現れる折り線には、角の二等分線や、対称性を持つなどの特徴があるため、それらを効率的に入力するための機能を複数実装し、展開図データをデジタルデータとして保存できるようにした。展開図のデータフォーマットはオープンとなっており、ORIPA と連携したアプリケーションの開発が可能となった。また、ソフトウェアそのものもオープンソースとして公開されているため、任意に改変、改良が可能となっている。

(ii) 展開図データからの折りたたみ後の形状推定機能の開発

平坦な折紙作品に対して、ORIPA によって入力された展開図データを解析し、そのデータから折りたたみ後の形状を復元する機能の研究開発を行った。この復元においては、紙の重なり順の決定が難しい問題であることが知られており、如何に処理を高速化するかが大きな課題であったが、新しいアルゴリズムを考案、実装することで、一般的な折紙作品については実用的な時間で結果を得られるようになった。また、与えられた展開図から、物理的に作り得る、紙の重なり方をすべて数え上げることも可能となった。さらに、紙を折った後の形状と、紙の重なり順の情報を含むデータフォーマットも考案し、これにより、折紙の展開図と、折りたたみ後の形状および、その構造を 1 つのデータとして扱えるようになった。

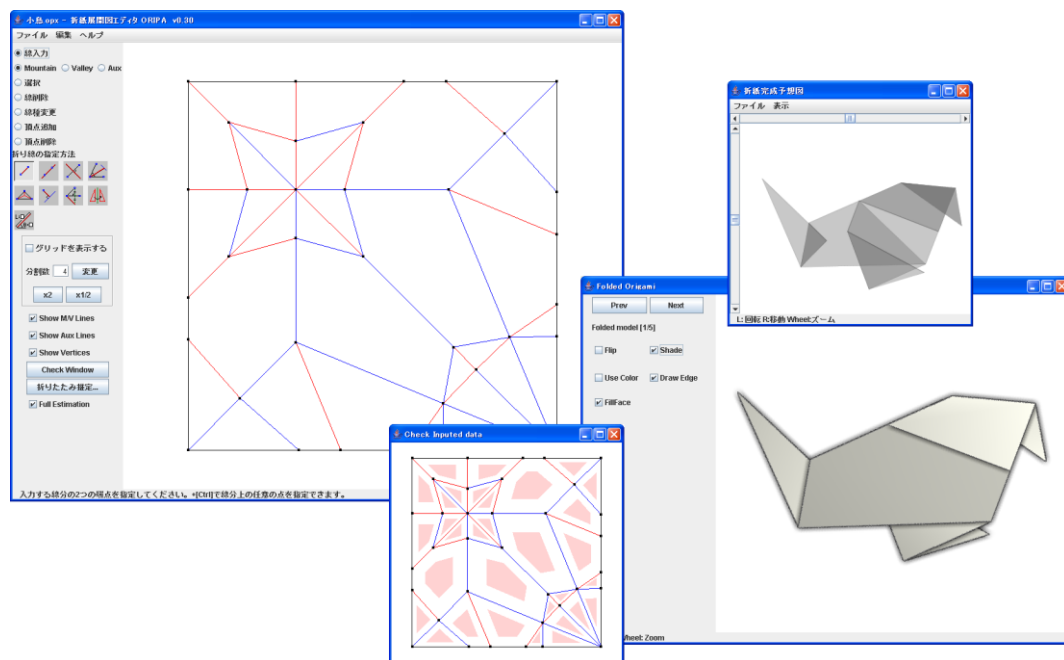


図 3-29 折紙の展開図エディタ ORIPA³²

(iii) 折りたたみ後の形状を画面表示するためのレンダリング手法の確立

平坦に折りたたまれる折紙が、紙の重なり順に循環を含んでいる場合、その折たたみ結果を適切に画面表示することは、通常の CG の技術では難しい。そこで、紙の重なり関係を表す行列と、レンダリング領域において最上位に位置する面の識別子を格納するメモリ領域を準備し、CG 分野で用いられるスキャンライン法によるピクセル単位での上位面の判別を行うことで、適切な画面表示を行う手法を開発した。また、表示結果をイラスト調にし、擬似的な陰影を付加することで、紙の厚みを認識しやすい表示を行うなどの工夫により、平坦折紙の形を、視覚的によりわかりやすく画面表示できるようになった。

(iv) 折紙の展開図データのアーカイブ構築

ブラウザからの簡易なユーザインタフェースで、折紙作品およびその展開図データを検索・登録・削除などを行える Web ベースの展開図データベースを想定し、そのためのプロトタイプシステムを構築した。また、各種折紙関係の資料から折紙作品を抽出し、その折紙作品の情報収集、および展開図データのデジタル化を行い、試作データベースへの登録作業を行った。このシステムに基づき、折紙の展開図データをアーカイブする際には、どのようなシステムが妥当であるかの評価を行った。例えば、類似作品の検索、作品と作者の関係の管理などの機能が必要であることなどを確認した。また、実際の公開運用を前提とした検討で

³² 「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」研究領域 領域活動・評価報告書ー平成 21 年度終了研究課題ー

は、折り紙作品の著作権に対する扱いや、サーバーの確保、運用、保守、データ登録作業の労務などに解決すべき課題があり、一般公開までには至らなかった。

(v) 画像処理に基づく展開図の入力および類似展開図の検索システムの開発

デジタル化の手間を軽減することを目的に、実際に折って開いた折紙をスキャナで読み込み、その画像から展開図情報を再構築する手法の研究開発を行った。画像から得られる線分の集合には誤差が含まれ、そのままでは折りたたみ推定などの別処理に渡すことができないため、この誤差の修正を自動で行うアルゴリズムの開発を試みた。また、展開図データを画像として扱うことで、異なる展開図間で類似度を算出し、類似した展開図を検索するシステムの開発などを行った。

これらの成果により、論文 4 報を発表し、第 4 回日本図学会論文賞(2009 年)や、第 8 回 NICOGRAPH 春季大会優秀ポスター賞(2009 年)の受賞に至った。

③ 研究成果に関連した主な成果論文リスト 3 報以内（被引用数トップ 3 位）

- [1] Igarashi, T; Mitani, J., “Apparent Layer Operations for the Manipulation of Deformable Objects”, ACM TRANSACTIONS ON GRAPHICS, 29, 4, 2010.
- [2] Mitani, J., “A Design Method for 3D Origami Based on Rotational Sweep”, Computer-Aided Design and Applications, 6, 1, 69-79, 2009.
- [3] 三谷純: “折紙の展開図専用エディタ (ORIPA) の開発および展開図からの折りたたみ形状の推定”, 情報処理学会論文誌, 48, 9, 3309-3317, 2007.

(2) 研究領域終了後の継続と発展状況

① 科学技術の進歩への貢献

2016 年現在、三谷は筑波大学の教授として、下記 6 テーマを主な研究テーマとして活動を行っている。

- 折たたみ可能な切開辺を含む立体形状の設計
- ポップアップカードおよび回路印刷技術を用いたタンジブルインタフェース構築手法
- 小型ブロック芸術作品のデザインシステム
- 45 度系格子パターンから作り出される平坦折り形状の列挙
- 手術支援を目的とした 3D プリント用簡易臓器モデル生成システム
- 立体折り紙の設計システム

本研究課題と関連の深いテーマとしては、「45 度系格子パターンから作り出される平坦折り形状の列挙」、「折たたみ可能な切開辺を含む立体形状の設計」(図 3-30 参照)、および「立体折り紙の設計システム」があり、3 次元形状処理、レンダリング、画像処理等の技術を用

い、日本の伝統である折紙の数理的側面、および産業応用に関する研究を推進しており、さらに展示やデモなどを通じて、具体的な活用方法や課題を探っている。

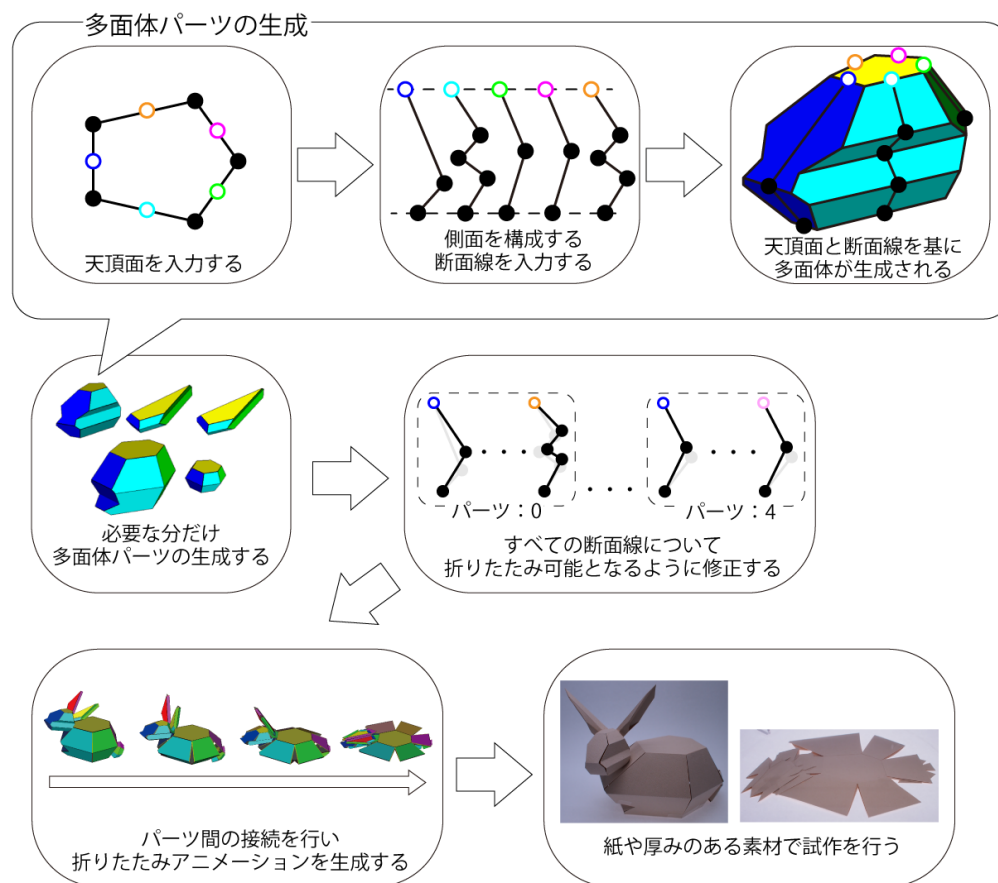


図 3-30 立体形状の設計手順³³

② 社会・経済への波及効果

本研究では折紙の展開図情報をデジタル化することにより、折紙のアーカイブが可能になり、折紙研究の基盤構築に大きく貢献した。また、ORIPA の一般公開により、折紙を数学的に考察する研究が存在することが、一般の人にも広く知られるようになった。

2016 年現在、三谷が学会や教育機関などで行った講演は 70 件以上、メディア等の報道は 50 件以上にのぼり、折紙の研究に対する社会からの関心が高まっている。また、作品の展覧会を行ったり、デパートのショーケースに陳列されるなど、三谷の折紙はアート作品としての評価も高く、近年では映画に登場する重要なアイテムとして、三谷が設計した折紙が使用されるなど、折紙の新しい活用領域を開拓している。

³³筑波大学大学院システム情報工学研究科 非数値処理アルゴリズム研究室

[http://www.npal.cs.tsukuba.ac.jp/projects/2015/flat-foldable_model/index.html] (最終閲覧 2016 年 10 月 31 日)。

③ 上記、継続と発展状況を示す研究成果に関連した主な成果論文リスト 4 報以内

- [1] Mitani, J., “A Method for Designing Crease Patterns for Flat-Foldable Origami with Numerical Optimization”, Journal for Geometry and Graphics, 15, 2, 195-201, 2011.
- [2] Mitani, J., “Column-shaped Origami Design Based on Mirror Reflections”, Journal for Geometry and Graphics, 16, 2, 185-194, 2012.
- [3] Zhu, L; Igarashi, T; Mitani, J., “Soft Folding”, Computer Graphics Forum, 32, 7, 167, 2013.
- [4] Tsuruta, N; Mitani, J; Kanamori, Y; Fukui, Y., “Interactive Design of 3D Geometry Made by Bending Inextensible Sheet Material Containing Slits”, The International Journal of CAD/CAM (IJCC), 13, 2, 23-29, 2013.

④ その他

特になし。

3.3.5. 子どもの知育発達を促すデジタルメディアの作成(山口 真美)

(1) 研究のねらいと研究期間中の達成状況

① 研究のねらい

現代日本の社会・教育上の問題として、社会的能力が欠損した子どもの存在が指摘されている社会情勢の中で、本研究は、子どもの脳科学の知見に基づき、子どもの社会的能力を感覚レベルから促進する、メディアコンテンツを開発することをめざした。また、知覚・感覚能力に基づき、子どもの社会的能力や注意の欠損を予測する検査項目を、小児科医とともに開発し、成果を市場に普及させること、小児医療などの社会的現場に役にたてること、それを裏付ける乳児の脳活動の基本的データを取ることを目的とした。

② 期間中の研究成果

(i) 乳児の脳と知覚の発達過程の解明

視覚機能の発達、視覚機能を支える脳機能の発達、特に視覚野のシナプスの発達から見ると、出生後8ヶ月までが大きな変化の期間となるが、この期間に、動きから形、形から空間、そして顔認知へと、発達が進むプロセスを解明した。視覚野を含む大脳皮質がまだ十分に発達していないとされる生後2ヶ月の乳児でも、接近する運動を識別できることを明らかにした。さらに、形を見る能力である「主観的輪郭」の知覚は、「動き」を加えることで促進され、より低月齢の乳児でも主観的輪郭を知覚することや、顔学習でも、同様の動きによる促進効果があることを明らかにし、動きを加えることで顔学習に要する時間を短縮できることを明らかにした。

(ii) デジタルメディアコンテンツの作成

乳幼児の親、養育者を対象に、子供達の知覚認知世界の理解を通じて子育て力の総合的スキルアップを図るべく、親子向けデジタルメディアコンテンツの作成を行い、一般公開した。内容は、視力測定、かたちを見る能力、色を見る能力、空間把握の能力、運動知覚の能力、顔ではないものを顔としてみることができるかといった、6つのコンテンツからなっている。たとえば「かおのコンテンツ」には、野菜などの食べ物や花などを組み合わせて人の顔を描いた「アルチンボルドの絵」を使用した(図3-31参照)。人にとって顔は特別に注意をひくものである。乳児でも「かお」と「かおでないもの」を呈示すると「かお」のほうに注意がむく。それが「アルチンボルドの絵」のような「かおにみえる」絵であっても、乳児は注意をむけることが明らかになった。コンテンツでは、「かお」に見えるところをクリックするよう求め、回答すると、「かお」の領域を○でわかりやすく案内し、最後に解説を加えた。それぞれのコンテンツごとに乳幼児が何を好んでみるのかを入力することで、養育者にとっても、子供の視力や知覚認知世界への理解に役立てることができるものとなった。

これらの成果について、論文 39 報を発表した。



図 3-31 アルチンボルドの絵³⁴

③ 研究成果に関連した主な成果論文リスト 3 報以内（被引用数トップ 3 位）

- [1] Shirai, N; Birtles, D; Wattam-Bell, J; Yamaguchi, M.K; Kanazawa, S; Atkinson, J; Braddick, O., “Asymmetrical cortical processing of radial expansion/contraction in infants and adults”, *Developmental Science*, 12, 6, 946-955, 2009.
- [2] Otsuka, Y; Konishi, Y; Kanazawa, S; Yamaguchi, M.K; Abdi, H; O’Toole, A. J., “The recognition of moving and static faces by young infants”, *Child Development*, 80, 4, 1259-1271, 2009.
- [3] Nakato, E; Otsuka, Y; Kanazawa, S; Yamaguchi, M.K; Watanabe, S; Kakigi, R., “When do infants differentiate profile face from frontal face? A near-infrared spectroscopic study”, *Human Brain Mapping*, 30, 2, 462-472, 2009.
- [4] Otsuka, Y; Nakato, E; Kanazawa, S; Yamaguchi, M.K; Watanabe, S; Kakigi, R.,

³⁴ 「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」研究領域 領域活動・評価報告書—平成 21 年度終了研究課題—

“Neural activation to upright and inverted faces in infants measured by near infrared spectroscopy”, *NeuroImage*, 34, 1, 399-406, 2007.

(2) 研究領域終了後の継続と発展状況

① 科学技術の進歩への貢献

2016 年現在、山口は中央大学文学部の教授として、下記を主な研究テーマとして活動を行っている。

- 生後 1 歳未満の乳児を対象とした「世界を見る能力」（視知覚能力）の発達に関する研究（図 3-32 参照）

本研究領域終了後も乳幼児を対象とした研究を進め、視知覚能力がどのような変遷を経て完成されるのか、その形成過程をたどることに興味を持ち、さらに展示やデモなどを通じて、具体的な活用方法や課題などを探っている。



図 3-32 「世界を見る能力」（視知覚能力）の発達に関する研究³⁵

② 社会・経済への波及効果

本研究は、近年発達した子どもの脳科学の知見に基づき、乳幼児向けのデジタルメディア

³⁵中央大学文学部 山口真美研究室[<http://c-faculty.chuo-u.ac.jp/~ymasa/greeting/index.html>]（最終閲覧 2016 年 10 月）。

コンテンツの開発を取り組み、デジタルメディアの主力情報である「視覚情報」を、出生後のどの時期から獲得していくのかという基礎的な調査を行い、その成果をコンテンツとして制作し Web 上で公開した。本研究では、脳の視覚野のシナプスが発達し、視覚機能が大きく変化する出生後 8 ヶ月までの期間を対象とし、「動き」、「形」、「顔」などについて、乳幼児を対象にした心理学実験の手法により調査をした。その結果、例えば「動き」については、生後 2 ヶ月で接近する運動を識別していることなどが解明された。

これらの成果は、論文、招待講演/シンポジウム等で発表され、一般向けには多くの出版(2016 年現在、新書を中心に 27 冊)や Web 上の「親子向けデジタルメディアコンテンツ」を通じて、広くわかりやすく伝えられた。本研究は、小児科医の協力を得て進められ、子どもの社会能力や注意の欠損を、知覚・感覚能力の測定に基づき予測することにも貢献した。

2016 年現在、山口は国内外合わせて 20 以上の研究機関との共同研究を通じ、視知覚能力の発達に関する研究を幅広く、意欲的に進めている。

③ 上記、継続と発展状況を示す研究成果に関連した主な成果論文リスト 4 報以内

- [1] Tsuruhara, A; Sawada, T; Kanazawa, S; Yamaguchi, M. K; Corrow, S; Yonas, A.,
“The development of the ability of infants to utilize static cues to create and access representations of object shape”, Journal of Vision, 10, 12, 2, 1-11, 2010.
- [2] Kobayashi, M; Otsuka, Y; Nakato, E; Kanazawa, S; Yamaguchi, M. K; Kakigi, R.,
“Do infants recognize the Arcimboldo images as faces? Behavioral and near-infrared spectroscopic study”, Journal of Experimental Child Psychology, 111, 22-36, 2012.
- [3] Tsuruhara, A; Nakato, E; Otsuka, Y; Kanazawa, S; Yamaguchi M.K; Hill, H., “The hollow-face illusion in infancy: do infants see a screen based rotating hollow mask as hollow?”, i-Perception, 2, 5, 418-427, 2011.
- [4] Otsuka, Y; Konishi, Y; Kanazawa, S; Yamaguchi, M.K., “The effect of occlusion on motion integration in infants”, Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 35, 1, 72-82, 2009.

④ その他

山口はさきがけ研究期間終了後も、多くの研究助成プログラムに採択され、当該研究分野の継続的発展に取り組んでいる。下記に、さきがけ研究期間終了後の代表的な研究助成プログラムを記す。

表 3-5 さきがけ研究期間終了後の研究助成プログラム

期間	プログラム名	研究課題名
2008-2012 年度	平成 20-24 年度 文部科学省： 科学	顔認知機能の発達過程の解明

期間	プログラム名	研究課題名
	研究費補助金(新学術領域研究(研究領域提案型))	
2009-2013 年度	平成 21-25 年度 文部科学省: 科学研究費補助金(基盤研究(A))	乳児における能動的な知覚認知機能の解明
2013-2014 年度	平成 25-26 年度 文部科学省: 科学研究費補助金(新学術領域研究(研究領域提案型))	質感知覚の成立過程—言語獲得前後の乳幼児を対象にした発達の検討
2014-2017 年度	平成 26-29 年度文部科学省: 科学研究費補助金(基盤研究(B))	顔認知の多様性の脳内機能と生成過程の解明—発達性相貌失認を手がかりに

第 4 章 科学技術イノベーションの創出に資する研究成果

4.1. アート表現のための実世界指向インタラクティブメディアの創出（筧 康明）

4.1.1. 研究の概要

(1) 研究テーマの状況(国内)

本研究では、実世界のモノを用いることで、道具操作による情報提示手法や対面コミュニケーションと、デジタル世界と結びつけるインタラクションの実現をめざし、VR 用のヘッドセットなど、特殊なデバイスの装着などユーザへの負荷を強わず、シンプルな形状のインタフェースによる汎用性を、映像重畳等により直感性と両立させ、そのためのプロジェクタやカメラの光学系およびセンサの処理方法、モノを利用するコンテンツ生成環境などを開発した。

情報の共有と個人化の両立が可能な、複数人参加型コミュニケーションメディア作品として、「Tablescape Plus」、「UlteriorScope」、「ForceTile」、「Tablescape Animation」、「hanahana」などの多くの作品が制作された。これらの技術に関する論文は、優秀論文として表彰されるとともに、作品は SIGGRAPH、Ars Electronica、文化庁メディア芸術祭など、著名な展示会に出展され、推薦作品として表彰された。

(i) テーブル型インタラクティブメディアの開発

テーブル型ディスプレイの上に置かれた実オブジェクトを、入力ツールとして用いると同時に、映像ディスプレイとして利用するインタラクティブディスプレイシステム Tablescape Plus を開発した。システム構成を図 4-1 に示す。光学系を採り、入射角により光の透過と拡散を制御することにより、テーブル面とオブジェクト面の両方に同時に異なる映像を投影し、テーブル内部に設置されるカメラにより、テーブル上のオブジェクトを認識することで、インタラクティブな情報を提示する技術を開発した[1]。

さらに、テーブル面上に観察方向により異なる映像を提示し、テーブル上に置かれた（かざされた）実オブジェクト上にテーブル面とは異なる映像を提示し、実オブジェクトの形状を利用し、実オブジェクト上にも観察方向により異なる映像提示ができるインタラクティブメディア UlteriorScope を開発した（図 4-2 参照）。本システムを利用して、写真閲覧やボードゲームなどの、多人数参加型アプリケーションを開発した。



図 4-1 Tablescape Plus³⁶

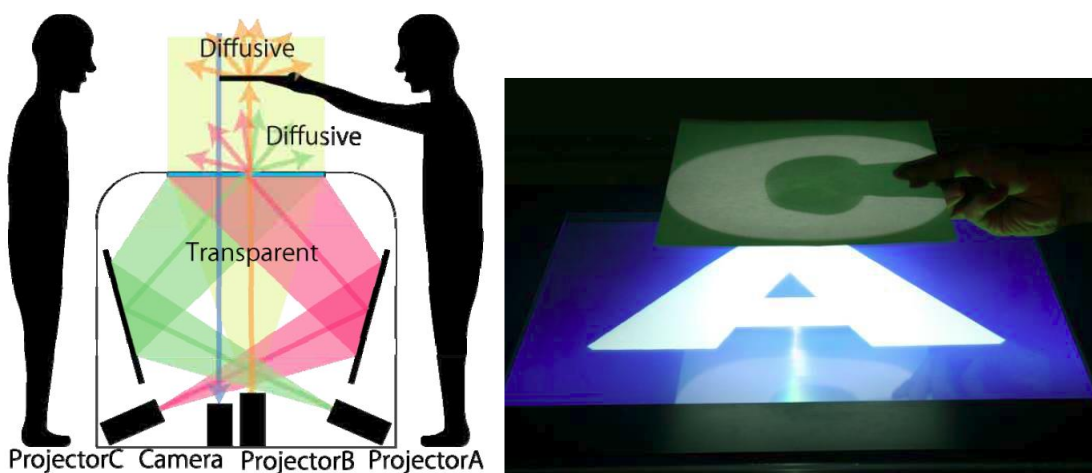


図 4-2 UlteriorScape³⁷

(ii) 3次元力分布入力可能なタンジブルインタフェースの開発

実オブジェクトに、位置、向き、組み合わせだけでなく、指によるタッチ入力など、より多様な入力を自然な形で許容するインタフェースにより、テーブル上で実オブジェクトを通じた入力方法 ForceTile を開発した（図 4-3 参照）。実オブジェクト自体への特殊なセンサ等の設置を要さず、透明弾性体の中に透明マーカを構造的に配置し、カメラ認識を用いた新たな入力インタフェースを実現した[2]。

³⁶ 「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」研究領域 領域活動・評価報告書ー平成 21 年度終了研究課題ー

³⁷ 同上



図 4-3 ForceTile³⁸

(iii) 香りを視覚化するインタラクティブアート hanahana の制作

香りを時間軸上での種類と強さの変化を認識し、視覚化するシステムを開発した。このシステムでは、映像化された形と色および透過度によって香りを表現した。2 種類の特性の異なる半導体ガスセンサを用い、反応電圧の変化値から香りの強度、センサ同士の変化値の比率から香りの傾向を示す値を、それぞれ割り出す手法を開発した。発展形として、ガスセンサアレイを複数個配置し、香りの漂いを視覚化するシステムも制作した。これらのシステムを Ars Electronica での常設展示すると共に、文化庁メディア芸術祭などでも展示を行った。

(2) 海外での共同研究の状況

海外との直接的な共同研究はないものの、SIGGRAPH や Ars Electronica、ACM CHI、WISS といった著名な学会や、専門分野に特化したワークショップである Augmented Human や TEI (Tangible and Embedded Interaction) などにおいて、実際にデモを見せることにより、海外の研究や展示体験者からのフィードバックを得、海外の先導的な研究機関、研究者にも影響を与えている。

また、常設展示を通じて、様々な利用者が使うインタラクティブなシステムがロバストに動作させたことは重要な要素となっている。

4.1.2. 研究成果の波及と展望

(1) 科学技術への波及と展望

コンピュータがアートの世界にも使用されるようになり、誰もが直感的かつ自然に実世

³⁸ 「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」研究領域 領域活動・評価報告書ー平成 21 年度終了研究課題ー

界とコンピュータの世界を結びつけるインタフェースが重要な課題になっている。本研究では、実世界のモノを用いた情報提示手法や、インタラクションを実現するために、光学設計（ディスプレイ）、画像処理（カメラ）、電子回路（センサ・アクチュエータ）、3D プリンタなどの技術を駆使し、実世界をベースに、リアリティを発見する／操る／創るためのメディアとして、物理世界（Atoms）とデジタル世界（Bits）の融合をめざした。

ユーザインタフェースに使うマテリアルをどのようにコントロールするか、がテーマの中心となっており、ユーザインタフェースの体験者が手に取って触れるようにすることが重要ととらえている。そのため、研究者以外のユーザにも簡単にプロトタイプが作れるように、プロジェクタ・カメラ光学系や、センサ処理などの技術的な開発を行い、積極的に作品やソフトウェアを公開したことで、ツールキットは図 4-4 のようにオープンハードウェアとして提供され、簡単に触覚を使ったプロトタイプが作れるようになった。特に、本研究期間の終了前後の時期から、3D プリンタが低価格で利用できるようになったことも、メディアアートの進化に大きな影響を与えた。

アイデアの創出から技術的に実装する方法について研究を展開しており、さらに展示やデモを通じて、具体的な活用方法や課題を探っている。プロジェクションマッピングや VR/AR といった技術の、近年の普及や市場の拡大も、本研究のようなコンピュータとアートが結びついたことで、急速に進んだと言える。



図 4-4 触感表現ツールキット TECHTILE toolkit³⁹

³⁹慶応義塾大学 SFC 政策・メディア研究科 寛研究室

[<http://www.xlab.sfc.keio.ac.jp/~kakehi/?works=techtile-toolkit>] (最終閲覧 2016 年 10 月)。

(2) 社会・経済への波及と展望

本研究で開発されたように、表示されるものに合わせて事前に出力を制御した映像を作る技術は、現在イベントなどで使われているプロジェクションマッピング技術に多少なりとも影響を与えている。

本研究は、光学設計（ディスプレイ）、画像処理（カメラ）、電子回路（センサ・アクチュエータ）、3D プリンタなどの技術を駆使し、近年盛んなウェアラブルディスプレイやプロジェクションマッピングに見られるような実世界への情報の重ね合わせに留まらず、インタラクティブに操作や反応をフィードバックする技術を開発した。この技術は、身近なマテリアルを用いたインタフェースが広告などに使われるようになってきて、一般の人にも理解されるようになった。

また、近年普及し注目されている VR (Virtual Reality) や AR (Augmented Reality)、プロジェクションマッピング等を実現することにもつながる技術でもあることから、VR や AR の市場拡大にもつながっている。

(3) その他特筆すべき事項

寛は、これまで論文 4 報を発表し、日本バーチャルリアリティ学会論文賞 (2006 年)、およびエンタテインメントコンピューティング優秀論文賞 (2007 年) を受賞した。また、制作した作品は、SIGGRAPH、Ars Electronica、文化庁メディア芸術祭などの著名な展示会に展示し、推薦作品として表彰されている。また、開発した TECHTILE Toolkit は 2012 年度のグッドデザイン賞も受賞している。

引用文献

- [1] Kakehi, Y; Yamaoka, J; Akatsuka, D; Naemura, T., “Tablescape Animation: A Support System for Making Animations Using Tabletop Physical Objects”, ACM SIGGRAPH 2009 Talks, 2009.
- [2] Kakehi, Y; Naemura, T; Akatsuka, D; Naemura, T., “Tablescape Animation: A Support System for Making Animation”, THIRD ANNUAL IEEE INTERNATIONAL WORKSHOP ON HORIZONTAL INTERACTIVE HUMAN-COMPUTER SYSTEMS, PROCEEDINGS, 2009.

4.2. 折紙のデジタルアーカイブ構築のための基盤技術とその応用（三谷 純）

4.2.1. 研究の概要

(1) 研究テーマの状況(国内)

1989年に折紙紙の国際会議（現在は「折紙紙の科学・数理・教育に関する国際会議」：The International meeting of Origami Science, Mathematics, and Education）が開催され、学術的な観点から、折紙紙の研究が注目されるようになった。また、1990年代に入ってから、ソフトウェアを用いて折紙紙の設計や解析を行う研究が進められてきた。2000年以降は折紙紙の理論が広く知られるようになり、折紙紙の設計を支援するソフトウェアや、折りによる紙の変形をシミュレーションするソフトウェアなどが開発された。このようなコンピュータを使った折紙紙の設計・研究は、Computational Origami と呼ばれている。

三谷は2005年前後から折紙紙の研究を始めているが、それ以前は、特にコンピュータグラフィックス分野での形状モデリングを専門とし、それと並行して紙工作をコンピュータで支援する研究を行ってきた。紙工作では、複数の部品を組み合わせて形を作り上げるが、その後は、より制約の厳しいテーマとして、折るだけで形を作る折紙紙による形状設計に関する研究に着手した。

本研究課題では、折紙紙の展開図をコンピュータ上で効率的に作図するための専用エディタ、ORIPA(Origami Pattern Editor)の開発を継続的に行い、一般公開した。それにより、オープンなフォーマットとした展開図データをデジタルデータとして保存、連携できるようになり、本ソフトウェアで設計した展開図データを集めることができた。

実用的な時間で結果が得られるように、展開図から形状推定アルゴリズムを実装することで、より多くの人に設計しながらシミュレーションをしてもらえるような環境を提供できるようになった。また、ORIPAはデータフォーマットだけでなく、ソフトウェア本体もオープンソースとなっており、誰でも自由に改変できるようになっている。

研究領域終了後、三谷らは、2011年に回転体ベースの立体折紙紙の設計を行えるツールとして、ORI-REVOというソフトウェアを開発した。ORI-REVOでは、軸周りに回転させる断面線を入力するだけで、あとは1枚の紙から作られることを前提に、展開図と完成予想図を自動生成することができる。例えば、図4-5に示すような、多面体の外側に三角錐状の突起がついた形状を設計できる。この形状は展開図、および折った後の底面が正多角形になるため、突起の大きさを調整することで、隙間なく立体構造を持つ要素を平面上に並べることができる。さらに、ORI-REVOでは、入力とする断面線を曲線とすることで、曲面を含む立体も設計できる。この特長が従来の折紙紙とは大きく異なる点となっており、新しい分野を開拓している。また、ORI-REVOで設計された形が、実際に1枚の紙からできている様子を示すために、円筒または平坦な状態の紙から対象となる立体形状が折りだされる様子を可視化するアニメーションソフトウェア ORI-REVO-MORPH を2011年に開発した。

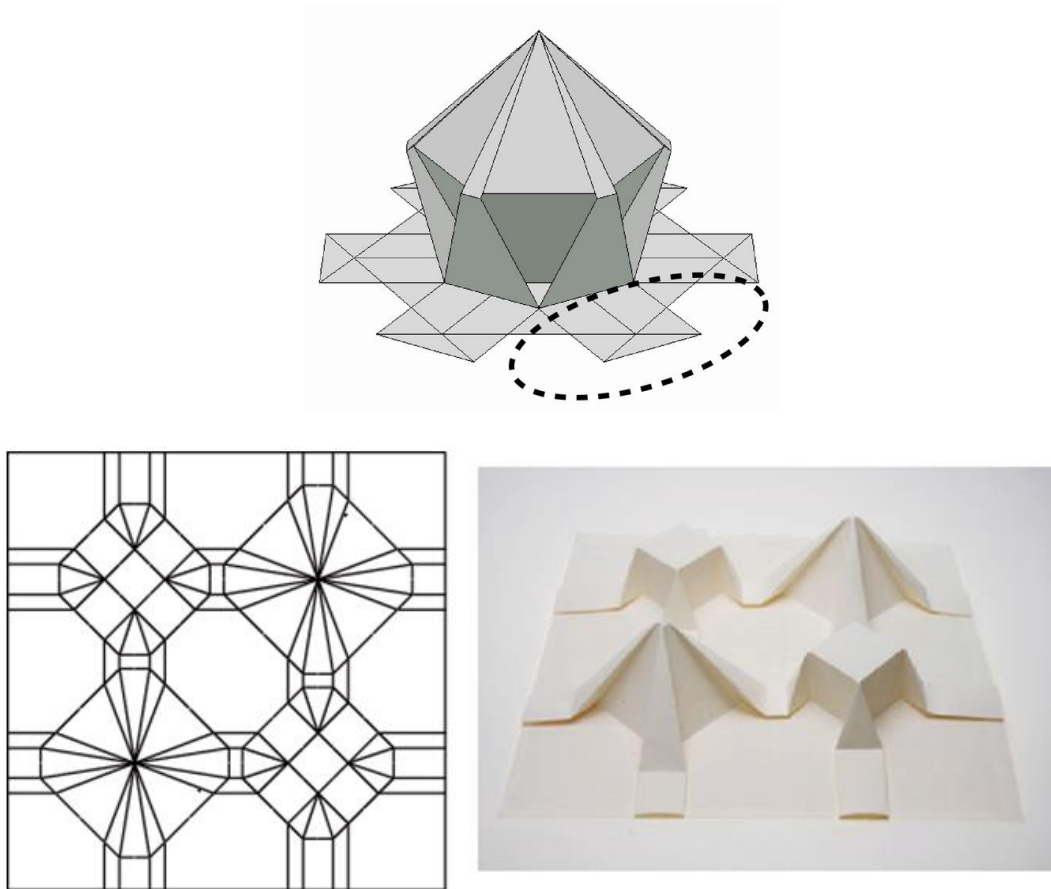


図 4-5 ORI-REVO で設計した多面体の外側に三角錐状の突起がついた形状、
タイリングパターン⁴⁰

これらの設計・シミュレーションツールは Web 上で一般公開し、簡単にプロトタイプが作れるようにしている。また、プロッタや 3D プリンタが低価格で利用できるようになったこともあり、デジタルで作った展開図などをすぐに生成できる、デジタルファブリケーションの研究にもつながっている。

(2) 海外での共同研究の状況

海外では、コンピュータサイエンスやコンピュータグラフィックスを専門とする研究者だけではなく、数学、生物学の研究者、機械系研究者等がそれぞれのバックグラウンド、視点で折紙の研究を続けている。毎年開催されている折紙の国際会議 The International Meeting on Origami in Science, Mathematics and Education では、140 報程度論文が発

⁴⁰ 折り紙研究ノート(三谷純) [<http://mitani.cs.tsukuba.ac.jp/origami/>] (最終閲覧 2016 年 10 月 31 日)。

表されており、幅広い折紙研究がなされている。国際会議では、折紙のみを対象とした研究者による発表に留まらず、数学や教育などの分野の研究者による、折紙の技術を取り入れた研究発表も行われている。

4.2.2. 研究成果の波及と展望

(1) 科学技術への波及と展望

折紙はアート作品としての楽しみ方もあるが、実際の製品等に応用されているものも多い。例えば、東京大学名誉教授の三浦公亮が考案したミウラ折は人工衛星に搭載された太陽電池パネルの折り畳みに使用されたパターンとして広く知られており、一点を固定し、他の点を移動させると全体が連動して開閉する、一自由度の剛体折りパターンである。折りたためることが可能な構造物の設計に応用するために、折り紙を「多角形の剛板がヒンジで連結されたモデル」で置き換えた上で、剛体折り紙として扱う必要がある。一般的な折り紙の折り工程には、紙のねじりや曲げが含まれ、剛体折り紙として扱うと折りたためない場合がほとんどとなるため、剛体折り可能な構造は、実際に工業製品や建築物を作る上で重要である。

国際会議等で、今最もホットなテーマとなっているのは、自分で開く Self Folding(自己折り)である。

(2) 社会・経済への波及と展望

さきがけ研究領域での研究成果やソフトウェア等の発表を通じて、折紙作品や設計技術が知られるようになり、様々な企業とのコラボレーションが行われた。三宅一生との共同研究の例では、折り紙のデザインがファッションデザインに採り入れられ、132 5. という新しいシリーズのデザインの創出に貢献した。

また、2016年に公開された「シン・ゴジラ」や、「デスノート」などの映画やテレビ番組等に対して、資料協力や、複雑な作品の貸出提供を行うことで、広く社会での認知度を高めている。論文による発表だけではなく、様々な方法でより多くの人に知ってもらうことで研究分野としての広がりが進んでいる。

折紙技術の商品化に向けた共同研究を行っているケースもあり、中小企業が多いため、多額の研究費を得ているわけではないが、研究成果は多くの産業分野で注目されている。

(3) その他特筆すべき事項

研究領域終了前後から「ふしぎな 球体・立体」(二見書房出版、2009年)、「折り紙立体ふしぎ折り紙」(二見書房出版、2010年)、「立体折り紙アート」(日本評論社、2015年)を出版しており、それぞれ増刷を重ねている。また、2016年には「立体折り紙アート」を英訳した「3D Origami Art」(A K Peters/CRC Press)が出版されている。

これまでの取り組みは海外でも広く認知され、スイス、ドイツ、イタリア、イスラエルな

どに招待されワークショップや展示会などを行っている。また、折紙研究に関する幅広い情報をまとめた「折り紙研究ノート」(<http://mitani.cs.tsukuba.ac.jp/origami/>)という Web ページを公開するなど、折紙に関する研究の取り組みを広く一般に紹介するための活動も、積極的に行っている。

4.3. 子どもの知育発達を促すデジタルメディアの作成(山口 真美)

4.3.1. 研究の概要

(1)研究テーマの状況(国内)

山口は、これまで知覚・感覚能力に基づき、子どもの社会的能力や注意の欠損を予測する検査項目を小児科医とともに開発し、成果を広く普及させて、小児医療などの社会的現場に役に立てることをめざした。

本研究では乳児の発達過程における顔認知、質感の発達、色の発達に関する研究に取り組み、まず顔を見る際の脳機能から定型発達をとらえる実験を実施した。実験は、獨協医科大学越谷病院の協力のもと、NIRS(近赤外分光法: near-infrared spectroscopy)で血流量を計測する手法により、定型と非定型の発達を把握する研究を行った。これまで乳児は色カテゴリについては、対応する言語の前提で獲得されると思われていた。これは心の成立と文化を捉える上で、哲学的にも大きな問題であり、世界的にも注目されているテーマである。この色カテゴリの問題に関して、「色カテゴリは言語獲得以前の乳児でも持つ」ことを、脳機能の視点から世界で初めて明らかにした。

ADHD(注意欠陥・多動性障害)の脳機能の詳細についても、NIRS計測の貢献が大きい。ADHDの診断方法としては、従来は経験豊富な医師が診て、母親からの情報聴取により判断する方法が一般的であったが、本研究で実施したように、複数のタスクを課した上で、NIRSで血流量を計測することで、ADHDの診断が可能となりつつある。また、MRI等の計測に比べ、NIRSは複数の端子を有する装置を頭部に取り付けるだけで簡単に測定できるため、乳幼児の計測と診断に適している。

言語を持たない乳児では獲得できないとされてきた色カテゴリに関する研究成果は、PNAS(2016年)とCurrent Biology(2015年)に掲載された。また、顔の認知の発達に関する研究成果は、Current Biology(2016年)に掲載された。国内学会では、主に日本視覚学会や日本基礎心理学会、日本心理学会で発表している。

乳幼児における社会性の発達、言語の発達をテーマとしている研究者は多いが、顕著な成果をあげている研究は少なく、特に感覚知覚の発達については、ATRとNTTと共同で研究を行っている山口の研究室に限られている。

図4-6は、乳児に対して変化したパターンを見せ、NIRSを用いてその時の血流の変化を計測する方法を示したものである。これにより、乳児の色カテゴリに関する脳機能を調べることが可能となった。

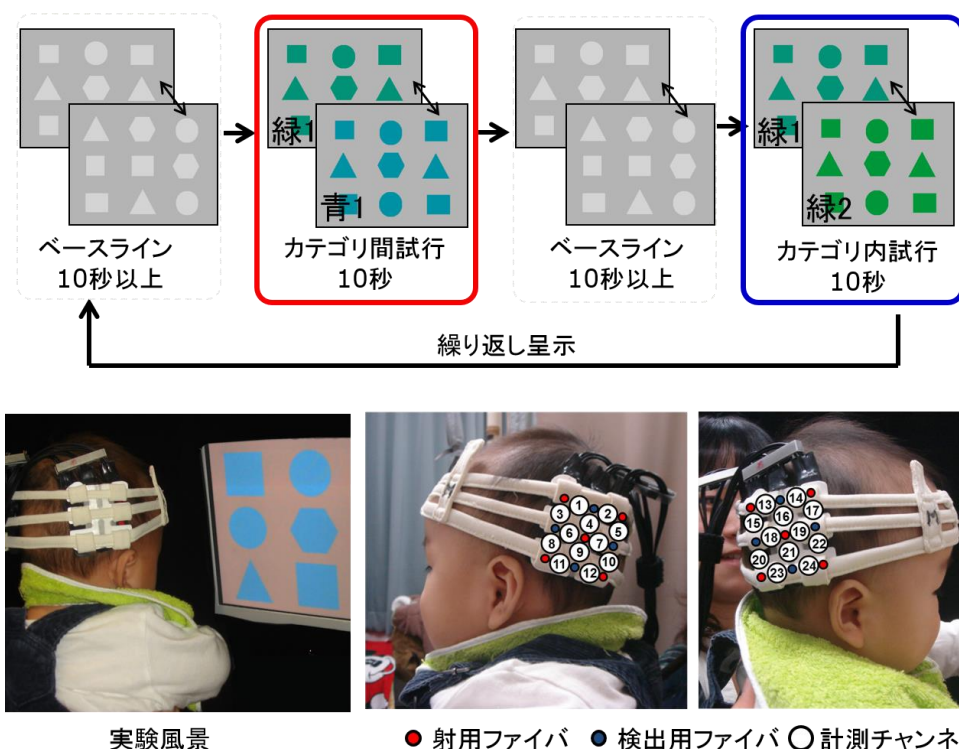


図 4-6 NIRS を使った測定⁴¹

(2) 海外での共同研究の状況

イタリア University of Milan-Bicocca, Department of Psychology、米国 University of California, San Diego、オーストラリア University of New South Wales, School of Psychology などの心理学の研究者と協力して、乳児の認知に関する研究を実施している。オーストラリア科研での研究、英国 Royal Society での研究、JSPS のサマープログラムでの院生（ネバタ大学）の受け入れや、スイスとの二国間事業の研究などで研究を推進している。

Vision Sciences Society や、乳児の認知関連の国際会議 ICIS(International Congress on Infant Studies) 等で、招待講演も行っている。言語獲得以前の乳児が言語カテゴリを持つことは、言語や文化以前に認識を持つ可能性を示唆しており、従来信じられてきた、言語が人の認識を形成するという「サピアウォーフ仮説」を覆す知見として欧米では非常に大きな話題となった。Scientific American Mind や、イタリアの大手新聞社の雑誌 Il Venerdì にも特集記事が掲載され、フランスの Wikipedia の「サピアウォーフ仮説」にはこの論文情報が掲載されている。

⁴¹ Cortical response to categorical color perception in infants investigated by near-infrared spectroscopy

4.3.2. 研究成果の波及と展望

(1) 科学技術への波及と展望

脳の視覚野のシナプスが発達し、視覚機能が大きく変化する出生後 8 ヶ月までの期間を対象とし、「動き」、「形」、「顔」などについて、乳幼児を対象にした心理学実験の手法を構築し、

- ①「動き」については、生後 2 ヶ月で接近する運動を識別している
 - ②「形」では、主観的輪郭の知覚は「動き」を加えることにより加速される
 - ③「顔」学習においても、「動き」が同様の効果がある
- ということを明らかにした[1]。

また、脳内のヘモグロビン量の変化を計測する非侵襲の装置である NIRS を用いて、乳児の脳反応計測により、乳児の顔認知の機能についても研究を進めており、生後 5-8 ヶ月の乳児でも、相手の顔の表情を見た時に脳反応が異なることを明らかにした[2]。

乳児の脳活動測定による研究、および行動観察実験による研究成果から、顔認知・形状知覚・運動知覚・奥行き知覚・色知覚などの領域に関して、生後数か月の乳児の発達過程を明らかにした[3]。これらの研究成果に基づき、その認知発達指標が確立された。

(2) 社会・経済への波及と展望

本研究で開発した乳幼児向けのデジタルメディアコンテンツについては、ウェブサイト上で公開するだけではなく、一般向けの書籍「発達障害の素顔 脳の発達と視覚形成からのアプローチ」[4]や、東京都現代美術館での子ども向けの展示により、普及に努めた。乳幼児の親、養育者を対象に、子供達の知覚認知世界の理解を通じて、子育て力の総合的スキルアップを図るべく、親子向けデジタルメディアコンテンツの作成も行った。

さらに、ADHD の診断と薬効の把握のために、NIRS 装置による脳反応を計測して診断する手法を、大学病院だけではなく、一般の病院でも広く使えるよう、病院の協力を得て NIRS 装置を設置し、乳幼児の行動と脳反応の計測を継続している。

社会への波及に関しては、フレーベル社と共に、本研究の成果に関連する商品展開を進めている。フレーベル社は保育園に直接販売しており、比較的制約のない、乳幼児の好みに即した「うちゅうじんのたまご」を作り、2016 年のキッズデザイン賞を受賞している。また、岩崎書店の「しろとくろ」、「カラフル」といった、乳幼児の視知覚の発達に即した絵本の出版にも協力している。

また、本研究におけるデジタルコンテンツの開発をきっかけに、2014 年夏に、武蔵野美術大学の研究者と共に、東京都現代美術館において子ども向けの美術館展示を実施した。東京都現代美術館の新しい試みであったが、夏のイベントとしては、歴代 2 番目の入館者数が記録された。現代美術関係者には、最新の科学的な知見を作品に反映させている人が多く、展示の結果から、幼児もそのような展示物に興味があることが明らかになった。

(3) その他特筆すべき事項

山口は研究領域終了後も、多くの研究助成プログラムに採択され、当該研究分野の継続的発展に取り組んでいる（表 3-5 参照）。

これらの研究成果に関して、一般向けの科学雑誌である Scientific American から取材があり、2016 年 8 月に取材記事が掲載された。その他、「自分の顔が好きですか?—「顔」の心理学」（岩波書店、2016 年）、「発達障害の素顔 脳の発達と視覚形成からのアプローチ」（講談社、2016 年）、「顔を忘れるフツーの人、瞬時に覚える一流の人—「読顔術」で心を見抜く」（中央公論新社、2015 年）等の、顔の認知に関する書籍や、乳幼児の視覚や発育に関する書籍を出版し、一般向けへの普及活動も行っている。

引用文献

- [1] Yang, J; Kanazawa, S; Yamaguchi, M.K; Kuriki, I., “Cortical response to categorical color perception in infants investigated by near-infrared spectroscopy”, Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 113, 9, 2370-2375, 2016.
- [2] Geangu, E; Ichikawa, H; Lao, J; Kanazawa, S; Yamaguchi, M.K; Caldara R., “Turati, C., Culture shapes 7-month-olds’ perceptual strategies in discriminating facial expressions of emotion”, Current Biology, 26, 14, R663-R664, 2016.
- [3] Yang, J; Kanazawa, S; Yamaguchi, M.K; Motoyoshi, I., “Pre-constancy vision in infants”, Current Biology, 25, 24, 3209-3212, 2015.
- [4] 「発達障害の素顔 脳の発達と視覚形成からのアプローチ」講談社、ブルーバックス、2016 年 2 月