

## 「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—

研究総括 原島 博

## 1. 研究領域の概要

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ます。

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、インターフェイス技術、ネットワーク技術等に関する研究を行います。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も含みます。また、デジタルメディアとしての特徴を生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出来るソフトウェア・ハードウェアに関する研究なども対象とします。

## 2. 研究課題・研究者名

別紙一覧表参照

## 3. 選考方針

選考の基本的な考えは下記の通り。

- 1) 選考は「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」領域に設けた領域アドバイザー10名と研究総括で行う。
- 2) 選考方法は、書類選考、面接選考及び総合選考とする。
  - ・書類選考において1提案につき3名の領域アドバイザーに査読評価依頼する。
  - ・領域アドバイザーの所属機関と応募者の所属機関が異なるよう配慮する。
  - ・面接選考では可能な限り多くの研究提案を直接聴取し、質疑応答する。
- 3) デジタルメディア作品の制作そのものでなく、制作に役立つ科学技術の研究開発を対象にした。但し、成果が技術開発を行う研究者の自己満足的な論文発表にだけにならないように、できるだけ制作者側との協働・協力・情報交換に努めるように。一方では、制作現場の一過性の要求に応える技術ではなく、将来におけるメディア芸術作品の高度化に資する先進的かつ革新的な科学技術であることに留意した。

## 4. 選考の経緯

一応募課題につき領域アドバイザー3名が書類審査し、書類選考会議において面接選考の対象者を選考した。続いて、面接選考および総合選考により、採用候補者を選定した。

選考	書類選考	面接選考	採用者
対象者数	57名	12名	6名

注)6名のうち1名は研究期間の変更。今回の修了者は5名である。

## 5. 研究実施期間

平成16年10月～平成20年3月

## 6. 領域の活動状況

領域会議:4回

その他:研究計画検討会、終了報告会、展示会の開催

研究総括(または技術参事)の研究実施場所訪問:研究開始時に研究総括が領域事務所会議室にて研究計画説明会を開催し、その後研究総括、技術参事が各研究者の研究実施場所を訪問し、研究環境等を確認した。その後の移動のあった場合や適時訪問を行った。また当領域は展示も1つの研究発表の場として位置付けており、予感研究所(日本科学未来館)、先端技術ショーケース(文化庁メディア芸術祭協賛展)を開催した。

## 7. 評価の手続き

研究総括が各研究者からの報告書および自己評価を基に、アドバイザーの協力を得て行った。また、研究終了時に当領域の主催するシンポジウムなどの意見を参考とした。

### (評価の流れ)

平成 19 年 11 月	当領域の領域シンポジウム(CREST合同)を開催
平成 20 年 3 月	研究期間終了
平成 20 年 3 月	研究報告書及び研究課題別評価提出
平成 20 年 3 月	研究総括による評価

## 8. 評価項目

- (1) 外部発表(論文、作品展示、特許出願等)、研究を通して得られた新しい知見などの研究成果
- (2) 得られた研究成果の科学技術への貢献

## 9. 研究結果

平成 16 年度に採択した研究課題は、デザイン、ゲーム、音楽などを対象としたものであり、デジタルメディアの広い分野に渡っている。採択された研究者は、募集の初年度ということもあり、どちらかというと技術系が中心であった。しかし、制作現場と繋がりのある人も多く、研究期間を通じてクリエイターとの協働はよくなされ、成果にも結びついた。

本領域は、個人型研究さきがけ、チーム型研究CRESTからなるハイブリッド領域であり、領域アドバイザーは両方を兼ねている。そのため、領域運営においては、個人型、チーム型のそれぞれの研究趣旨を活かしつつ、ハイブリッド領域の良さが発揮できるよう心がけた。領域シンポジウム(平成 19 年 11 月 19 日)、予感研究所(平成 18 年 5 月 2 日から 7 日)は、さきがけ・CRESTの共同開催とした。一緒に開催したことで、双方の研究者の意見交換が活発に行われ、また研究成果は、より多くの一般の人達に見てもらうことができた。そうした活動のなかで得られた様々な意見や評価は、研究推進に大いに役立った。

本研究期間を通じての各研究者の研究結果は以下のとおりである。

金谷研究者の研究は、デザイン(今回は主に工業デザイン)を対象としている。デザイン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目指した。研究は、原理となる「デザイン言語の発見」、デザイナーが使用する「デザインツールの開発」、実証ともいえる「ヒューチャ・ファニーチャ」について行われた。幅広く意欲的に研究に取り組み、デザイナーともよく協働して研究を進めた。その成果として、数多くのツール・システムが制作された。今後それらを更に発展させ、デザイナーにとって使いやすいメディア環境の構築が期待される。

桐山研究者の研究は、物語性に着目した新しいコンテンツ制作を対象としている。物語といっても、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を対象としている。まず、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。ポイントは、「意図的な転換点」であることを見出した。次に、行き戻りや分岐のある物語を分析した。対応するための技術基盤として、インデックス管理や XML などの開発を行った。そして、それらを統合した「計算の庭」を開発した。これは、組み立てていくプロセスを楽しむ新しいコンテンツである。今回の研究対象である物語性は、ビジネス、医療などでも広く観ることができ、今後のそうした分野への貢献が期待される。

長澤研究者の研究は、画像の質感(テクスチャー)を対象としている。装置を物体の表面に当てるだけで、質感情報を得ることのできる計測装置の小型化を目指した。現在、色彩や模様は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(MicroElectroMechanicalSystem)技術を使い、小型化に必要な要素技術の開発を行った。自己クリーニング型フォトニック結晶を用い、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が確立できた。さらに、それらを組み合わせたシステムの原理的な構築と確認が行われた。今後装置としての完成が期待される。

長谷川研究者の研究は、ゲームを対象としている。鑑賞者のインタラクションに反応しながら、主人公ともいべき人や動物(クリーチャー)が、その意思や感情を動きでもって鑑賞者に伝えることを目指した。こうしたゲームを作成するための支援システムとしては次の2点が大事である。まず、鑑賞者の操作と、クリーチャーの動きがリアルタイムに反応をすること。次に、ゲームクリエイターにとって使いやすいことである。本研究では、大きな動きは、クリーチャー全体を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、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、クリエイター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。本システムを使ってできた作品「Kobito-Virtual Brownies-」は世界最大のコンピュータグラフィックの展示会であるSIGGRAPHにも採択された。

浜中研究者の研究は、音楽を対象としている。専門家の音楽知識を体系化したGTTM理論を、PC上に実装することを目指した。GTTM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の、有力な理論である。しかし、高次の音楽構造は、構造のもつ曖昧性のため分析しても、複数の解釈が可能となっていた。そのため、これまで理論を計算機上に実装することが困難であった。今回の研究では、正しい解釈は複数あることを積極的に認め、人に安定な解釈を優先させた。そして、そのためのルール作成や、パラメータ調整を行い、自動楽曲分析器 FATTA を完成させた。纏めた論文は、国際的なコンピュータ音楽に関する学会でも表彰された。また本内容の成果を使い、さらに、「予測ピアノ」やメロディモーフィングなどのシステム、装置に応用された。

## 10. 評価者

研究総括 原島 博 東京大学大学院情報学環・学際情報学府 教授

### 領域アドバイザー氏名(五十音順)

秋山 雅和 日本大学大学院法学研究科 客員教授  
 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  
 加藤 和彦 筑波大学大学院システム情報工学研究科 教授  
 陣内 利博 武蔵野美術大学造形学部視覚伝達デザイン学科 教授  
 舘 暲 東京大学大学院情報理工学系研究科 教授  
 為ヶ谷 秀一 女子美術大学大学院美術研究科 教授  
 土井 美和子 (株)東芝 研究開発センター 技監  
 中津 良平\* 関西学院大学理工学部 教授  
 馬場 哲治\* (株)バンダイナムコゲームス 社長室 参事  
 松原 健二 (株)コーエー 代表取締役執行役員社長COO

\*平成17年6月より参画

(参考)

### (1)外部発表件数

	国内	国際	計
論文	8	16	24
口頭	30	24	54
その他	1	0	1
合計	39	40	79

※平成20年2月現在

### (2)特許出願件数

国内	国際	計
10	1	11

### (3)受賞等

- ・金谷 一郎  
 第10回文化庁メディア芸術祭 審査委員会推薦作品賞(H19.2)  
 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(H17.11)
- ・長谷川 晶一  
 日本バーチャルリアリティ学会論文賞(H18.2)  
 平成16年度日本バーチャルリアリティ学会論文賞(H17.9)  
 Intl. Conf. on Advances in Computer Entertainment Technology 2005 Best Paper Award(H17.6)  
 日本バーチャルリアリティ学会貢献賞(H18.5)  
 平成18年度日本バーチャルリアリティ学会論文賞(H19.9)

エンタテインメントコンピューティング 2007 最優秀論文賞(H19.10)

・浜中 雅俊

JNMR (Journal of New Music Research) Distinguished Paper Award for Best Paper in the International Computer Music Conference 2005(H17.9)

(4)招待講演

国際 1件

国内 1件

## 別紙

## 「デジタルメディア作品の制作を支援する基盤技術」領域 研究課題名および研究者氏名

研究者氏名 (参加形態)	研究課題名 (研究実施場所)	現職 (応募時所属)	研究費 (百万円)
金谷一朗 (兼任)	デザイン言語を理解するメディア環境の構築 (大阪大学)	大阪大学大学院基礎工学研究科 助手 (同上)	34
桐山孝司 (兼任)	物語性を重視するデジタルメディアの制作配信基盤 (東京藝術大学)	東京芸術大 大学院映像研究科 准教授 (さきがけ研究者)	30
長澤純人 (兼任)	MEMS テクスチャスキャナ (東北大学)	東北大学大学院工学系研究科 講師 (東京大学大学院情報理工学系研究科 産学官連携研究員)	38
長谷川晶一 (兼任)	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 (電気通信大学)	電気通信大学 知能機械工学科 准教授 (東京工業大学精密工学研究所 助手)	33
浜中雅俊 (兼任)	ドレミっち:成長する仮想演奏者の構築 (筑波大学)	筑波大学大学院システム情報工学 研究科 講師 (さきがけ研究者)	45

## さきがけ終了報告書

### 1. 研究課題名

デザイン言語を理解するメディア環境の構築

### 2. 氏名

金谷一朗

### 3. 研究のねらい

本研究のねらいは、デザインを言語として捉え直し、デザイン言語を用いる事によってデザインそのものを高度化することである。ここでデザインとは、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。

### 4. 研究成果 1

#### はじめに

本研究は、デザイン言語を通してデザインを高度化する事である。そのために、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の構築をデザインの高度化の手段とする。

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、皮肉な事に、デザインの欠如である。デザインの歴史は高々100年程度しか遡ることが出来ず、デザイナーたちは自身のデザインやデザイン方法論を語る適切な言葉を持たずに来ている。本研究のゴールは、まずデザイン言語の辞書をつくるための基本単語を収集することであり、デザイン言語の発見を通しての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(フューニチュア・ファーニチュア)の三つのカテゴリである。

「デザイン言語の発見」カテゴリでは、デザインのルール、または文法、を見つけ出す事を目的としている。感性的シェイプリトリバル、フラクタルパタンデザイナ (Pattern Designer\*)、および審美曲面の解析と合成に関する研究を行った。

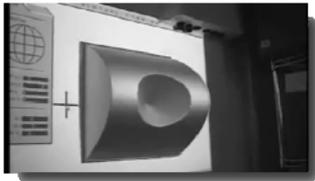


感性的シェイプリトリバル



審美曲面の解析と合成

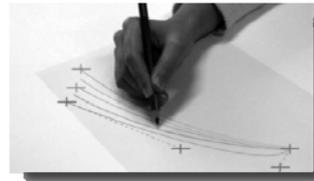
「デザインツールの開発」カテゴリでは、筆者らは製品デザインのための新しい道具を開発している。複合現実感技術によりフィジカルなモデルをあたかもデジタルなモデルのように扱うことを可能とし、その上にコンピュータによる様々なデザイン支援を行える環境を構築した。複合現実感技術を応用した三次元造形デザインシステムHYPERREAL、およびHYPERREALシステムのための新ユーザインタフェースコンセプト Zero User Interface、また平面スケッチ支援のためのドローイング動作先読み機能付き「お絵描き」ソフトウェアHyperdrawの研究を行った。



HYPERREAL



Zero User Interface

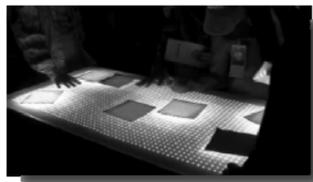


Hyperdraw

「フューチャ・ファニチュア」カテゴリで、筆者らはユーザと相互作用を行う家具のデザインを行っている。本研究は道具に日々触れている間に道具との対話が可能になるという日本古来の考え方に基づく、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。



Fuwapica Suite



RBy desk

以下に、フラクタルパタンデザイナー Pattern Designer\* の研究を紹介する。本研究は、デザイン言語の発見例として興味深いだけでなく、作成されたフラクタルパタンデザインソフトウェアは実際のデザイン事例にも用いられている。

#### フラクタルパタンデザイナー Pattern Designer\*

従来から、芸術と数学は深い関わりがあるとされてきている。美術作品に見られる構成比が黄金比となっていること、フィボナッチ数列に従っていること、あるいはフラクタル性が見られること等が例である。本研究は、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いる。

特にフラクタルパタンは審美的な魅力を持っていると言われており、フラクタル構造を持つ模様がテキスタイルデザインの分野に置いて利用されつつある。しかし、フラクタル構造を生成する従来のアルゴリズムはテキスタイルデザインを対象としたものではなく、入力と出力の間に直観的な関係が乏し

い。

本研究はフラクタルパターンを用いたテキスタイルデザインの実現を目指し、審美的フラクタルパター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の構築を行う。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、フラクタルパターンの持つ多様な印象を数学的に解析する手法を提案する。

#### 審美的フラクタルパターンの生成

フラクタルパターンを生成するアルゴリズムとして L-System が有名である。本研究は L-System に独特の改良を施した Parametric L-System なるフラクタル生成アルゴリズムを用いる。この Parametric L-System は従来の L-System をベースに、ユーザが与えた確率パラメタに従ってフラクタル性にゆらぎ(幾何学的なひずみ)を与えるものである。これにより、より人間らしい「味わい」をフラクタルパターンに与える。

#### 審美的フラクタルパターンの解析

フラクタルパターンは多様な印象を持つが、これらの印象を定量評価するため、SD 法によるフラクタルパターンの印象測定実験を行った。Parametric L-System を用いて審美的フラクタルパターンを生成し、ユーザにフラクタルパターンをそれぞれの印象に基づいて分類させた。この結果、フラクタルパターンは“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がわかった。

この印象語空間とフラクタルパターンのもつ幾何学的特徴量とを対応づけることで、数学的にフラクタルパターンの印象推定を可能とした。具体的には、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を提案した。これらの二つの量と印象語空間のパラメタの回帰分析を行うことで、フラクタルパターンの印象が幾何学的特徴量から推定可能であることを確認した。

#### フラクタルパターンデザインシステム

意図したフラクタルパター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ーンデザインシステムの構築を行った。提案システムでは、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移を繰り返すことで、フラクタルパターンのデザインが可能である。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確認した。図 1 に Pattern Designer\* で作成されたフラクタルパターンデザイン例を示す。

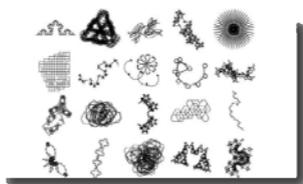


図 1. Pattern Designer\* によって生成されたフラクタルパターン例

## 5. 自己評価

本研究のねらいは、デザインを形態論、色彩論、素材論などの個別の議論ではなく、デザインを言語として捉え直し、デザイン言語を用いる事によってデザインそのものを高度化することである。本目的を達するために、合計 1,000 時間を超えるデザイン活動(デザイナーへの聞き取り調査を含む)に取り組み、研究者自身がデザイン言語を獲得するとともに、デザイン言語を意識したデザインの道具を開発するに至った。また、デザイン論の研究は、本研究のねらいを超えて、数式からデザインを「起こす」という新たなデザイン手法を生み出すに至っており、研究のねらいは十分に達せられたと判断可能である。

## 6. 研究総括の見解

デザイン言語という考え方を取り入れ、数理的な観点からメディア環境を構築しようとする研究である。今回の研究では、「デザイン言語の発見」「デザインツールの開発」「ヒューチャア・ファーニチュア」の3つの課題設定が行われた。これは、デザインの原理から実証までの広範囲に渡っており、意欲的な取り組みと言える。

本報告書では、数学と芸術とのかかわりが高く、また審美的な魅力をもつフラクタルパターンの発生システムについてとりあげている。本システムは、フラクタルパターンの生成アルゴリズムである L-System を使用し、ユーザが与える確率パラメータに従って、「人間らしい味わい」をもつフラクタルパターンを多く発生させるものである。そして、発生したフラクタルパターンのもつ印象の定量的評価を行なった。具体的には、ユーザがもつ印象語空間による分類と、フラクタルパターンのもつ幾何学的特徴量による分類の比較をした。その結果、2つの分類が一致することがわかり、このことにより、フラクタルパターンのもつ印象が幾何学的特徴量より推定可能であるということが確認できた。このことは、本研究の成果として評価されるものである。

また研究推進にあたっては、デザインの製作現場とよく連携して進められた。その成果の1つとして、形態と色彩をコピーする机「The RBGy desk」が制作された。本作品は、第 10 回文化庁メディア芸術祭審査委員会推薦作品賞を受賞した。

今後は、今回取り組んだ広範囲な課題をそれぞれに深耕することにより、デザイナーにとって使いやすいメディア環境が構築されていくことを期待する。

## 7. 研究成果リスト

### A. さきがけの研究者が主導で得られた成果

#### (1) 論文発表

- Ichiroh Kanaya, Yuya Nakano, and Kosuke Sato: Classification of Aesthetic Curves and Surfaces for Industrial Designs; Design Discourse, Vol. 2, No. 4, pp. 1-8, Design History Forum, 2007.

(2) 特許出願

- なし

(3) 受賞

- 第 10 回文化庁メディア芸術祭審査委員会推薦作品賞(平原真, 松山真也, 金谷一朗: The RGBy desk), 2007.
- 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(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), 2005.

B. その他の主な成果

(1) 論文発表

- 岩井大輔, 金谷一朗, 日浦慎作, 井口征士, 佐藤宏介: Thermopainter 熱画像を用いたタブレット型入力装置とそのインタラクティブ描画システム; 情報処理学会論文誌(ジャーナル), Vol. 46, No. 7, pp. 1852-1593, 情報処理学会, 2005.

(2) 特許出願

- なし

(3) 受賞

- なし

(4) 展示

- 「インタラクティブ東京 2005」展示(ThermoPainter).

## 1. 研究課題名

物語性を重視したデジタルメディアの制作配信基盤

## 2. 氏名

桐山孝司

## 3. 研究のねらい

本課題では、デジタルメディアによって可能になる物語性の提示の仕方について研究を行う。物語性と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指す。そのような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XML標準の上で開発する。

## 4. 研究成果

### 1) 物語性を強化するための力点

この研究の成果は、まず調査研究で行った調査とと基盤技術開発

ではまず第一段階として、コンテンツに物語性を与えるポイントとは何かを検討した。文献調査から、従来の物語研究では登場人物や状況設定の詳細を捨象し、物語間に共通な構造だけを抽出する方法が使われていることがわかった。しかし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ので、物語論的な構造分析だけでは不十分であることもわかった。そこで現実に物語が作り出されている状況として、ユーザリサーチ分野のペルソナ作成に注目することとした。ペルソナとは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したものである。ペルソナに着目した理由は、ユーザリサーチを行う上で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、そこから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出来るためである。

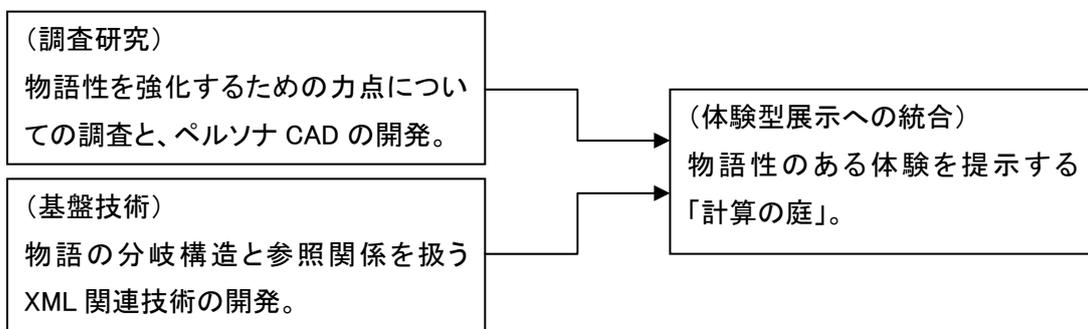


図1: 研究成果の関係

分析に当たって、専門的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するためにペルソナCADを作成した(図2)。これは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ようになっている。また新たなフレーズを入力すると、それと同じ単語やあらかじめ登録された同意語をアンケートデータの中から抽出し、前後の文脈とともに参照することもできる。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るようにした。このペルソナCADは日本未来館での予感研究所にて展示した。

ペルソナからデータ中の言葉へのリンク	
番号	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。
経験設定	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。
性別	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てみませんか?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。
年代	
職業	
クラス	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。帰路はベトベトになりますが、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。
現在	
住所	
未婚	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。
現在	
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きます。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2: ペルソナCAD

ペルソナCADを用いて実際に専門家が作ったペルソナとその元になったアンケートデータを比較した。その結果、ほぼ全体にわたってアンケートデータから直接引用したフレーズが用いられているのに対して、一部では作成者の創作が入っている個所も見出すことが出来た。これは前後にある実際の経験を反映したストーリーをつなぐために、創作部分を入れて物語の一貫性を作り出している個所である。さらにこの部分は、ペルソナが望ましい方向に変化するために必要な転回点を示しており、一貫性をもったペルソナを作成する作業を通じて望ましい変化を起こす要件を作成者が発見しているといえる(図3)。

この第一段階から、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との調査結果を得た。この調査結果については学会報告の他に、ユーザーサーチと物語性に関するセミナーや書籍などを通して産業界に還元した。またユーザーサーチ以外にも、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についても並行して調査を行った。

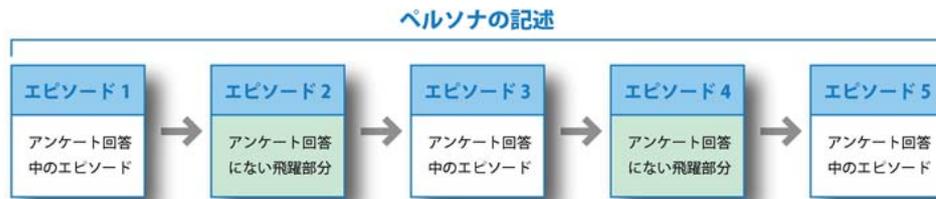


図3: ペルソナ記述における転換点

## 2) 分岐のある物語を扱うための基盤技術

次に第二段階として、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実験を行った。実験の素材として、同じ質問群について4人の人物がそれぞれ単独で答える合計約160分のインタビュー映像を用意し、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するようにした。そ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た。これによって、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ようにした。物語を表現する映像やテキストにインデックスをつけて管理することで、非線形的に物語を追うことが可能になる。そこでインデックスを管理し、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 技術を用いて実現した。このツール群を基盤技術として、その上にリンクをたどって映像を再生するシステムを作成した。このシステムは東京芸術大学のオープンスタジオの機会に一般向けに展示し、160分のインタビュー全部を見るには長すぎる場合でも興味のある箇所を選択的に移動して見てもらえることを確認した。

## 3) 体験型展示への応用

以上の段階を経て、(1)一連の物語の中に転換点を意図的に作ることで興味深い展開が可能になることが明らかになった。また(2)映像と文字など表現形態の異なるコンテンツを組み合わせ、それらの中を柔軟に移動するXML標準上の基盤技術を開発した。

そして研究の最終段階では、上記の転換点というポイントとXML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を作ることとした。具体的には、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。

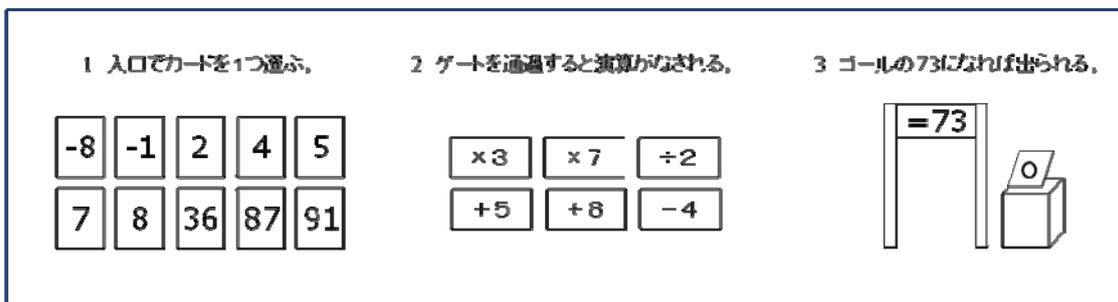


図4: 計算の庭の過程

この基盤技術を使って「計算の庭」という装置を開発した(図4)。「計算の庭」では、約10メートル四方のフロアの中に入口と出口を含めて8つのゲートがある。「計算の庭」を体験する人は、2、5、7、36、91などの数字がかかれたカードを一つ選んではいる。フロア内には+5、+8、-4、×3、×7、÷2と書かれた6つのゲートがある。カードの数字は初期値で、ゲートを通るたびに数字に演算が施されて現在の値が更新される。そして現在の値を出口ゲートに書かれている73にするのが目標である。参加者は頭の中で「いま24だから次に×3を通ると72、そして+5と-4を通るとゴールの73になるはずだ」などと考える。そして実際にその計算が正しければ出口ゲートで「○」が表示され、73になっていなければ「×」が表示されて続けて計算することになる。途中で計算がわからなくなったときには、フロア内にある表示台に行ってカードをかざすと、これまでの経路と現在の値を画面に出すことができる。「計算の庭」での経験のデザインは表現の世界に深く関わるので、その方面はメディアデザインの専門家である東京芸術大学の佐藤雅彦教授が計画し、さきがけ研究者の桐山孝司が基盤技術を利用したシステム開発を行った(図5)。



図5: 計算の庭

「計算の庭」のプロトタイプは、2007年8月に東京芸術大学で行われたオープンスタジオで機能テストを兼ねて展示し、計418人の利用者から貴重なデータを得た。来場者の様子を観察すると、ほぼ全員が入場してからしばらくは演算の種類をながめ、さてどうしようかと考える。そして数回ゲートを通してから、途中でいくらになったかを確認めに表示台に行く。そこで計算を確認してから、今度はゴールの数字にするにはどのゲートを通ればよいかと具体的に考え始める。多くの人にとっては、装置の説明を聞いただけでは自分がその中で動いて演算が進むイメージが十分に確立できず、頭の中でスムーズにシミュレーションすることができない状況になっているようであった。一方、演算が途中まで進んで、そこからゴールに到達する方法が分かると途端に足取りが早くなる様子が観察された。そこで上記(2)のXMLによる映像とデータの連携技術を応用し、RFIDゲートの通過記録であるテキストデータとビデオ映像との間にリンクを作れるようにした。そしてRFIDゲートの通過記録からゲートを通る間隔が急に短くなった時点を抽出して(図6)、その時点のビデオ映像を調べた。すると確かにゴールへの経路が分かった瞬間に急に体験者の動きが変わり、感情的にも変化のある様子を見て取ることができた。

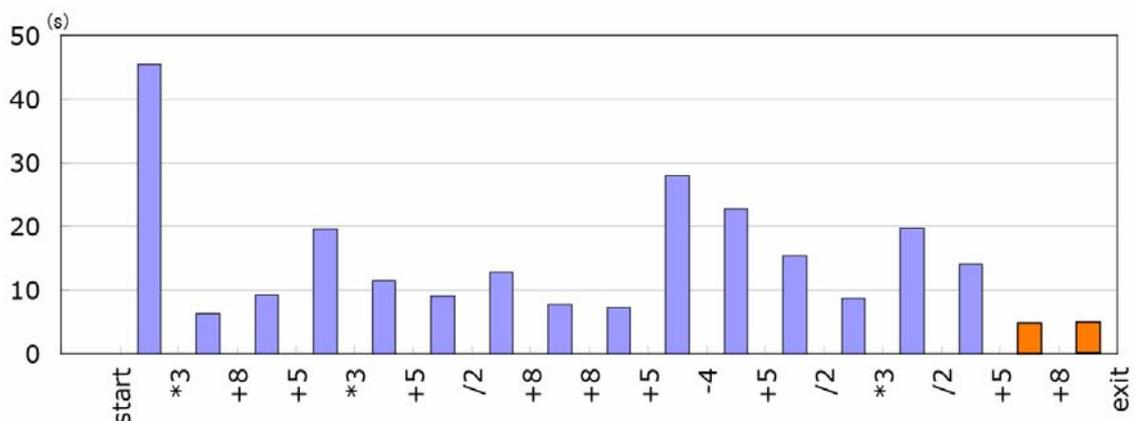


図6:ゲートから次のゲートまでに要した秒数

計算の庭は2007年10月から2008年1月まで森美術館の六本木クロッシング2007展で公開された。公開中に延べ43,156人が体験し、そこから各人がどのような経路をたどってゴールに到達したかについてのデータを得ることができた。これを分析したところ、コンピュータであらかじめ求めたゴールへの最短ステップの経路と人間の判断が違う様子が見て取れた。例えば現在の数字が10のとき、最短経路に沿って進むには $10-4=6$ か $10+5=15$ であるが、実際にもっとも多くの人が選択したのはゴールからの距離が2ステップ分遠くなる $10 \times 7=70$ であった(図7)。これは人間が直感的に $\times 7$ のゲートを通るとゴールの73に近道と感じたからだと思われる。

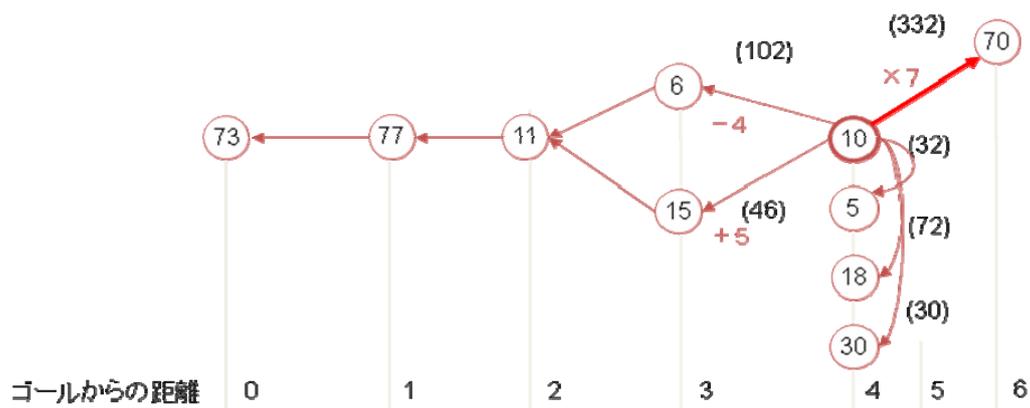


図7: 10からの状態遷移(カッコ内は六本木クロッシング展示中にその経路を通った人数)

これまでメディアアートの展示では、鑑賞者の感覚的な理解に拠るものが多く、計算の庭のように組み立てていくプロセスを扱うものは少なかった。これは感覚的な理解の方が展示として分かりやすいという面もあるが、より根本的には何かを組み立てていく方が時間がかかり、その完成に至るまでのプロセスに引き込む技術が十分確立していないという現状があった。計算の庭のように組み立てていくプロセスに物語性を与えて鑑賞者を引き込むことに成功すれば新たなメディアアートの分野が開けるが、そのためには今回行ったような利用者のデータに基づく行動パタンの抽出が有用であると考え。より一般的には、本研究で得られたXML基盤技術は、体験型の展示を作る上で人間の体験をシステムが把握して、体験から生じる物語を豊かにすることに利用できるものであると考えている。

## 5. 自己評価

物語性という概念が多様であるため、まずその中でどの特徴に注目すべきかを探る調査研究から始めた。その過程でペルソナ CAD を作り、ペルソナ記述と元になったデータとの対応関係を調べる作業を行い、物語性にとって転換点があることが重要であるとの認識を得ることができた。それと同時に複数の物語間の対応関係を管理するためのXML関連技術を開発し、それが発展して最後に計算の庭の実現につながった。全体としては段階を追って研究を進めることができたが、その途中で計算の庭のような体験型展示を構築する方向に絞り込んだ面もあり、物語性という大きな課題に対しては今後より包括的な研究も必要であると考えている。

## 6. 研究総括の見解

今回対象とする物語は、小説や映画のように制作者から与えられた物語ではなく、鑑賞者が問いかけることにより展開するという物語である。情報がユビキタスになりネットワーク化された現在において、新しい体験型のコンテンツの可能性を模索する研究である。

今回の研究では、まずコンテンツに物語性を与えるポイントを見出すため、ユーザーサーチ分野で使われているペルソナ作成に注目した。そして、経験豊かな専門家が、断片的な情報から一貫性のある物語を作りだしていくプロセスを分析した結果、「意図的な転換点」がポイントであることが判った。次に、非線形的であったり分岐のある問いをもつ物語に対応するための調査を行った。そして、物語の映像やテキストのインデックス管理や、XQuery などのXMLなどの技術開発を行った。最終的には、転換点というポイントとXLM技術等を統合して、人が体験しながら物語を作りだす装置として「計算の庭」を制作した。「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。このような新しいコンテンツが提案されたことは1つの成果として評価できる。

問いかけにより展開する物語に対応できる技術は、ゲームのみならず医療・ビジネスなど広い応用が考えられ、今後の新たな研究分野の展開が期待される。また、今回作成されたペルソナCAD は今後の商品開発などの面で産業界にも貢献できる。

## 7. 主な論部等

### A. さきがけの個人研究者が主導で得られた成果

#### (1) 論文(原著論文)発表

- ・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 Vol.47, No.4, (2006)
- ・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、Vol.59, No.1, (2007)

#### (2) 特許出願

- ・なし

#### (3) その他の成果

##### 《口頭発表》

- ・桐山孝司, 坂井れいしう, 天内大樹, 島田龍、物語を介した関係性のデザイン, 日本建築学会 第7回設計方法シンポジウム資料集、(2007)

##### 《招待講演》

- ・桐山孝司、ユーザ・エクスペリエンスのための物語性研究、FIT2006(第5回情報科学技術フォーラム)、(2005)

#### (4) 展示

- ・計算の庭、森美術館「六本木クロッシング2007」(2007/10/13-2008/1/14) (佐藤雅彦と共同出展)

1. 研究課題名

MEMSテクスチャスキャナ

2. 氏名

長澤 純人

3. 研究のねらい

本研究の目的は MEMS(MicroElectroMechanical 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である。また、そのための光学的な要素デバイスの試作・評価も行う。

4. 研究成果

(a) MEMSプロセスに適した自己クロニング型フォトニック結晶による動的光学フィルタ

MEMS 構成要素として、物体表面の色情報(可視光領域におけるスペクトル情報)を得るデバイスが必要である。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、図 1 に示すような直径数百 nm の穴を規則正しく配列させて開けるスラブ型のもので、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東北大学の川上らによって確立された自己クロ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。構造ピッチは 190nm、可視光領域(500nm 近傍)で動作する。本課題で試作しデバイスは、可視光線領域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ニング法を利用する提案は、多くの研究者が非常に高い関心を示していた。

図 2a) に自己クロニング法の製作方法を示す。自己クロニング法は、スパッタリングによって2つの屈折率の異なる光学材料を堆積・エッチングを繰り返して製作する。この手法は構造材料の堆積とエッチングの繰り返しによって微小構造を作りだすMEMSのファブリケーションプロセスと適合性が高い。例えば図 2b) に示すように、SOIウエハを用いてSiO<sub>2</sub>中間層を露出させ、透明基板として用いる。ここに数百nmオーダーの凹凸を作る。その上で、自己クロニング法を適用すれば、完全にMEMS構造とフォトニック結晶が融合したデバイスを作成することができる。

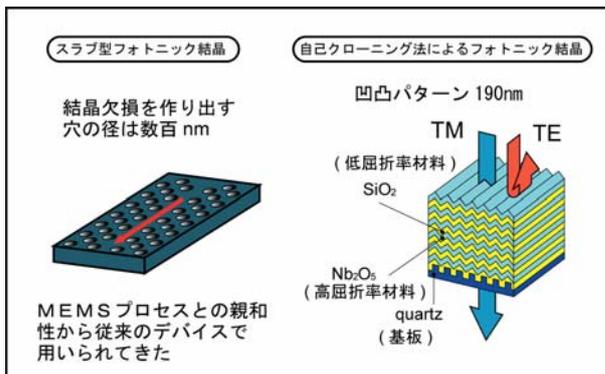


図1 スラブ型と自己クロニング法

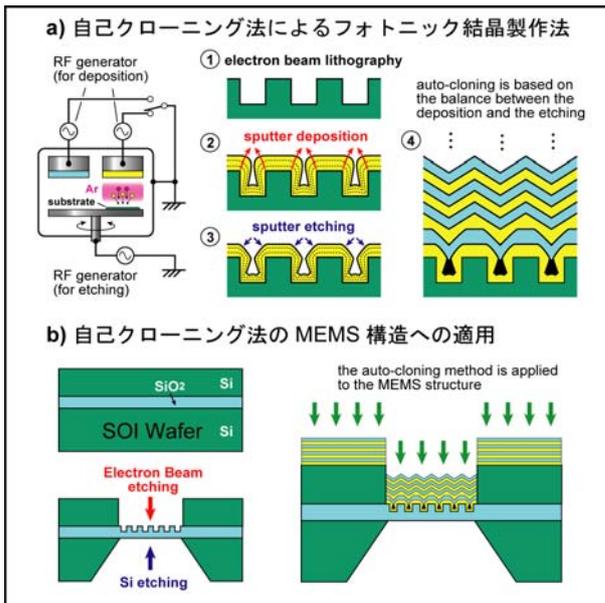


図2 MEMS 構造への自己クロニング法の適用

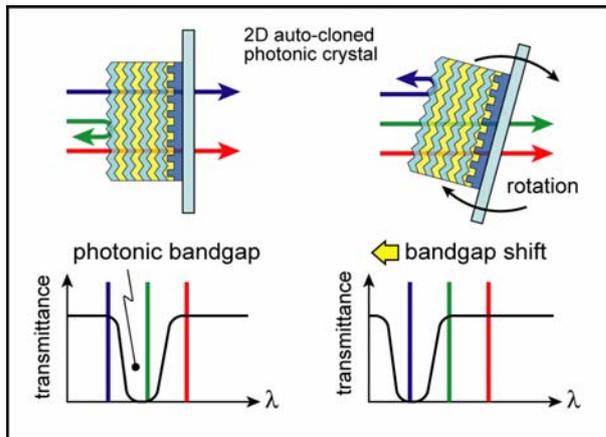


図3 MEMS で駆動される動的光学フィルタ

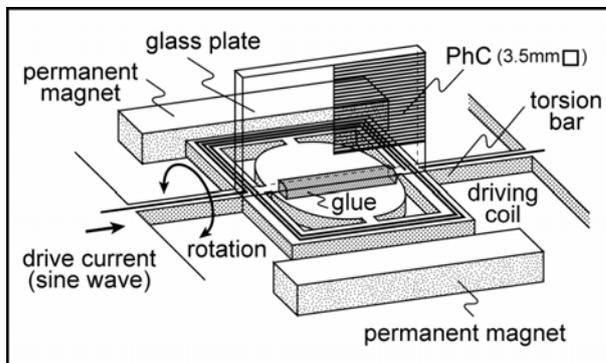


図4 MEMS で駆動される動的光学フィルタ

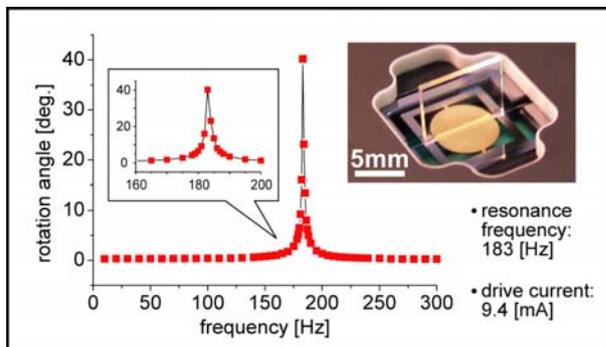


図5 PhC をつけた試作デバイスの共振周波数

図3に示すように、フォトニック結晶に入射する入射光方向を制御することで、フォトニック・バンドギャップを動的にシフトさせることが可能である。本研究では、入射光角度の制御に MEMS デバイスを用いた動的光学フィルタの試作・評価を行った。

フォトニック結晶の入射光角度を変化させる駆動機構として MEMS デバイスを利用している。図4に試作した MEMS 動的光学フィルタの構成を示す。駆動用 MEMS デバイスとして、日本信号の Eco Scan ESS115B を使用した。このデバイスは両持ち梁で支えられた可動構造に駆動用のコイルが形成されている。外部永久磁石による磁界の中で、駆動コイルに電流を流したときにローレンツ力が発生し、可動構造が振動する仕組みである。振動の周波数と振幅は、駆動コイルに印加する駆動電流によって制御される。デバイスの仕様は共振周波数 540Hz、約 20mA 程度の駆動電流で光学角 $\pm 34$ 度(構造体の振動角度はその半分)である。フォトニック結晶は可動構造の上に接着剤で固定した。フォトニック結晶を取り付けたことでデバイスの共振周波数は図5に示すように 183Hz に低下したが、振幅角度としては駆動電流 9.4mA で光学角 40 度を実現しており、十分な入射光角度変化が得られた。

この試作デバイスの評価として、1~5Hz でスイッチング特性を計測した。波長 420nm における入射角度変化に対する透過率変化は、0 度付近で 0~40% の範囲で劇的に変化しており、MEMS 駆動による光のスイッチングが確認された。

(b) 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ニング機構

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が可能である。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る。ヒータ電力と供給時間によって、ヒータでの供給電力量が決定され、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ので、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ニング機構を実現することができる。

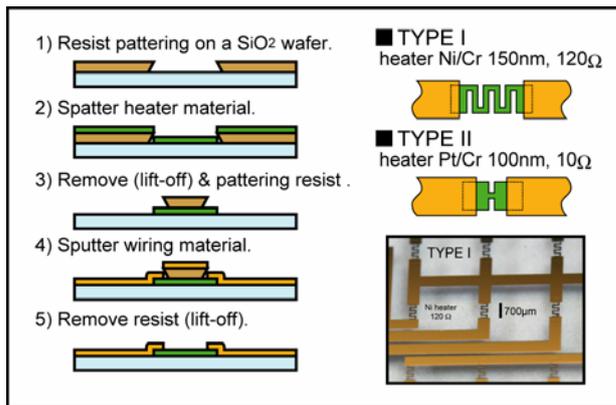


図6 マイクロヒータ・アレイの試作プロセス

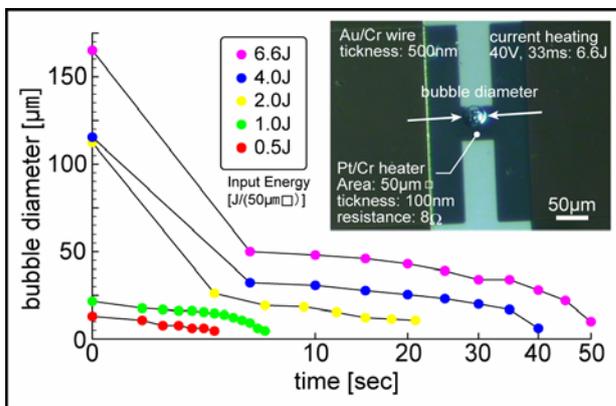


図7 生成されたマイクロバブル径の時間推移

マイクロバブル生成のための、マイクロヒータ・アレイを試作した。試作プロセスを図6に示す。ヒータ部に Ni (150nm, 120ohm)を用いて折り返し形状とした TYPE I と、Pt (100nm, 10ohm)を用いて絞った形状とした TYPE II の2タイプを試作した。TYPE I は広域を均一に加熱し、比較的大きなバブルを生成することを目的としている。TYPE II は局所的な部分(50μm 角)で加熱し、比較的小さいバブルを生成する。

Pt をエッチングすることが困難なので、リフトオフでパターニングを行っている。配線は電気分解を起こさないようにイオン化傾向の低い Au 配線とした。生成されるバブルの生成・消滅過程は、倒立顕微鏡に取り付けた CCDカメラで撮影し、画像解析してバブル径やその時間遷移を解析している。

図7に TYPE II のマイクロヒータで生成されたマイクロバブルを示す。このヒータでは、数十ミクロン径のバブルが生成される。ヒータ部は 50μm 角しかないが、バブル径は 100μm を超えるものが生成される。小さいバブルを生成できれば高速な動作が期待できる。

(c) カスタムASICによるベアチップ周辺回路の試作

MEMS センサデバイスは微弱な物理量を検知し、それを電気信号に変換するトランスデューサである。このためデバイスの直ぐ傍でインピーダンス変換をするのが望ましい。電気学会マイクロマシニング・マルチチップサービスを利用して MEMS 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ている。また、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。

(d) MEMSミラーと受光素子アレイを用いた試作テクスチャスキャナ

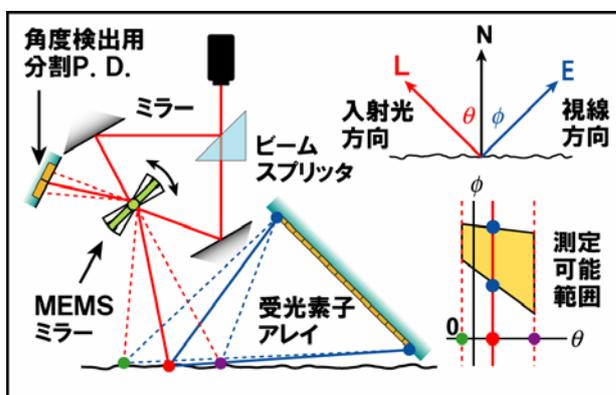


図8 MEMSミラーと受光素子アレイによる構成

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)を組み合わせた試作テクスチャスキャナを試作した。本装置は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。MEMS ミラーによるスキャニング機構を用いた構成例を図2に示す。特定の測定可能範囲でしか測定値が得られないため、リ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。

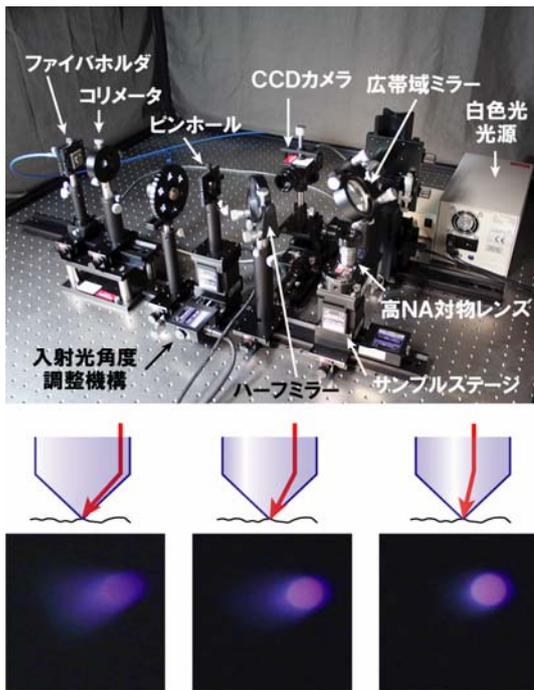


図9 リファレンス用の光学異方性取得実験系

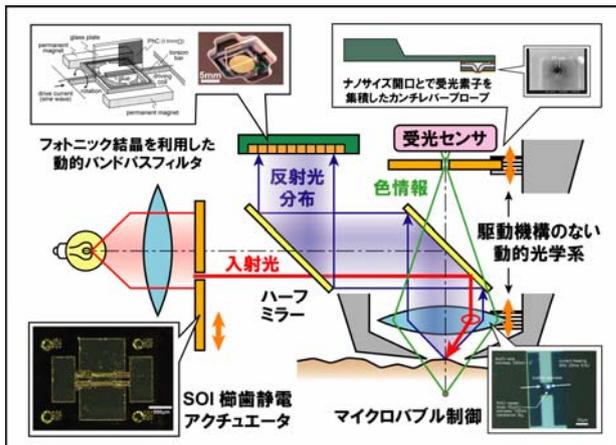


図10 MEMS構成要素への置き換え

## 5. 自己評価

本研究では、MEMS テクスチャスキャナを構成する要素デバイスの試作・評価、それに伴うMEMSプロセス研究展開のフェーズ、それらを統合してMEMSテクスチャスキャナを構成・評価するフェーズに分かれる。先のフェーズにおいては、自己クロニングフォトニック結晶を用いた動的光学フィルタをはじめ、動的要素を持たない光学デバイス、ベアチップ周辺回路、SOI櫛歯アクチュエータなど多くの要素デバイスの試作・検討を行うことができた。また、これらの試作に際して得られたスキルから、MEMS プロセスに関して多くの展開研究(微小開口、PZT薄膜、SAW素子、微小カンチレバ、高アスペクト比微小ニードル、エレクトレット発電など)を行うことができた。次の統合フェーズでは、従来の光学部品で組み上げた光学特性実験系の各要素を、MEMSデバイスで置き換えていくのだが、要素デバイスは単独では動作するのだが、統合して動かすのは非常に困難であった。主要テクスチャ情報であるBRDFをMEMSミラーと受光素子アレイだけで計測する試作テクスチャスキャナも検討を行っている。

リファレンスとする光学異方性分布は、図9に示す装置で計測を行った。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。従来の測定装置は、光源・カメラ・サンプルを動かしながら反射分布を計測するため、非常に大掛かりなシステムとなっていた。本装置は物体表面での光学異方性分布を得るための装置としては、コンパクトな構成である。駆動部は精密ステージで制御されるため、再現性の良い計測が可能である。本装置の目的の一つに光学異方性反射分布のライブラリ化がある。実際に計測だけから求めるには、精密かつ非常に多くの繰り返し計測が必要となる。試作テクスチャスキャナでは、実測によってライブラリから適合データを照合できるだけの特徴点を検出するのが現実的である。また、この作業にはMERLのBRDFライブラリなど公的に利用可能な情報も参考にしている。

MEMSミラーだけでなく、これまでに試作・評価したMEMS構成要素の統合デバイスとしてのテクスチャスキャナを図10に示す。これを従来の機能要素部品で構成したものが図9の実験系であり、順次試作したMEMS構成要素と置き換え・評価を行っている。

## 6. 研究総括の見解

テクスチャ(質感)は、重要な画像情報の1つである。しかし、テクスチャ情報は、これまで専門性の高いソフトウェアを使いこなすか、大型の測定装置でしか得ることが出来なかった。今回の研究は、MEMS(MicroElectroMechanical System)による要素技術開発を行い、それらを組み合わせた計測システムの原理の確立を目指した。この技術開発により、物体表面に押し当てただけで簡単にテクスチャ計測できる装置を実現することへの道筋が得られる。

要素技術としては、波長分光のための動的光学フィルタ、光の方向をスキャンングするためのマイクロバルブ制御などの開発が行われた。特に動的光学フィルタ開発では、従来あったスラブ型フォトニクス結晶から自己クリーニング法によるフォトニック結晶に変更し、その結晶の傾斜角を動的に制御する技術開発を行った。その結果、可視光領域(500nm 近傍)でバンドギャップの狭い光学フィルタが作られた。このことには、MEMS 分野の専門家が強い関心を示した。また、今回開発した MEMS 構成要素を統合し計測システムを構築し、スキャナとしての原理的な確認を行った。

今回の研究で、小型化のための要素技術の確立はできたと評価できる。また、スキャナ装置としての原理的なシステムの構築・確認まではできたので、装置化については今後の研究に期待する。なお、MEMS は産業面・医療面など実用面で大きな期待が寄せられている技術であるが、本研究を契機に文化・芸術への応用という新しい分野が立ち上がることが期待される。

## 7. 主な論文等

### A. さきがけの個人研究者が主導で得られた成果

#### (1)論文(原著論文)発表

1. Sumito Nagasawa, Takashi Suzuki, Yusuke Takayama, Kuni Tsuji, Hiroki Kuwano, "Mechanical Rectifier For Micro Electric Generators," Technical Digest of The 21st IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS2008), pp.992-995 [204-Th], JW Marriott Starr Pass Resort & Spa, Tucson, USA, Jan. 13-17, 2008.
2. S. Nagasawa, T. Onuki, Y. Ohtera, H. Kuwano, "MEMS Tunable Optical Filter Using Auto-Cloned Photonic Crystal," Technical Digest of The 19th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS2006), pp.858-861 [WP39], Lütfi Kırdar Convention and Exhibition Centre, Istanbul, Turkey, January 22-26, 2006.
3. S. Nagasawa, H. Arai, R. Kanzaki, I. Shimoyama, "Integrated Multi-Functional probe For Active Measurements in a Single Neural Cell," Digest of Thechnical Papers of The 13th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems (TRANSDUCERS' 05), pp.1230-1233 [3D2.3], Convention and Exhibition Center (COEX), Seoul, Korea, Jun. 5-9, 2005.
4. Sumito Nagasawa, Isao Shimoyama, "Calcium concentration measurement by local fluorescent-dye Injection," Sensors and Actuators B: Chemical, Vol.102, pp.7-13, 2004.

#### (2)特許

[1] 発 明 者: 長澤純人 (25%)、岩瀬英治 (25%)、松本潔 (25%)、下山勲 (25%)

発明の名称: 質感情報取得装置及び質感情報取得方法

出 願 人: オリンパス株式会社

出 願 日: 2006 年 11 月 8 日

出願番号: 特願 2006-301805

#### (3)口頭発表

なし

## B. その他の成果

### (1)論文(原著論文)発表

1. Katsuhiko Tanaka, Hiroki kuwano, Sumito Nagasawa, and Takahito Ono, "A Novel Scanning Thermal Microscopy System," Technical Digest of The 20th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS2007), pp.627-630 [TP25], Kobe Portopia Hall and Kobe Portopia Hotel, Kobe, Japan, Jan.21-25, 2007.

### (2)特許出願

- [1] 発明者: 長澤純人 (25%)、岩瀬英治 (25%)、松本潔 (25%)、下山勲 (25%)

発明の名称: 画像表示装置

出願人: オリンパス株式会社

出願日: 2006年11月8日

出願番号: 特願 2006-302566

- [2] 発明者: 長澤純人 (25%)、桑野博喜 (25%)

発明の名称: マイクロ発電装置

出願人: 長澤純人、桑野博喜

出願日: 2008年1月10日

### (3)口頭発表

1. H. Okamoto, T. Onuki, S. Nagasawa, H. Kuwano, "Efficient Energy Harvesting from Wideband Vibrations by Active Motion Control", Technical Digest of PowerMEMS2007, Congres and Convention Center, Freiburg, Germany, pp. 101-104, Nov. 28-29, 2007.
2. Riyo Konno, Misato Mitsui, Hiroki Kuwano, Sumito Nagasawa, Koji Sano, Junichi Hayasaka, "A Highly Sensitive Strain Sensor Using Surface Acoustic Wave and Its Evaluation for Wireless Battery-less Sensor Network," Proceedings of The 6th IEEE Conference on Sensors (SENSORS2007), pp.407-408 [B4P-F13], Hyatt Regency Atlanta, Atlanta, USA, Oct. 28-31, 2007.
3. Takuya Sano, Masato Sato, Hiroaki Kuwano, Sumito Nagasawa, "A Novel LiNbO3 Surface Acoustic Wave Pump onto Micro Channel Wall," The Proc. of Micro Total Analysis Systems ( $\mu$ TAS2007), La Cité des Sciences et de l'Industrie, Paris, France, Oct. 7-11, 2007.
4. 長澤純人, 小貫哲平, 桑野博喜, "自己クローニング法によるフォトニック結晶を用いた動的光学フィルタ," Dynamic Optical Filter by Tilting Auto-Cloned Photonic Crystal, 電気学会研究会資料センサ・マイクロマシン部門総合研究会, pp.53-56 [MSS-07-12], 筑波大学, July 2-3, 2007.
5. 三井望聖, 佐野広滋, 桑野博喜, 長澤純人, 早坂淳一, "表面弾性波応用超高感度ひずみセンサの研究," Highly Sensitive Strain Sensor using Surface Acoustic Wave, 第23回「センサ・マイクロマシンと応用システム」シンポジウム, pp.308-311 [Po-39] (abst. p.73), サポート高松, 高松市, Oct.5-6, 2006.

1. 研究課題名

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

2. 氏名

長谷川 晶一

3. 研究のねらい

人は、自己投射することで人や動物の状態や心情を汲み取ることができる。このため、人や動物は、登場人物、キャラクタなどと呼ばれ、多くの作品で重要な役割を担っている。近年のゲーム開発では、人間や動物の姿をしたキャラクタ(クリーチャー)の動きの作り込みに膨大な手間がかけられているが、ユーザの自由なインタラクションに対して多様に反応するキャラクタを構築することは難しい。

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伝わるような動作を生成することを目指す。これにより、作りこみのための膨大な手間からクリエイターを解放し、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向上を目的とする。

4. 研究成果

本研究では、図 1のように、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することを提案する。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する。

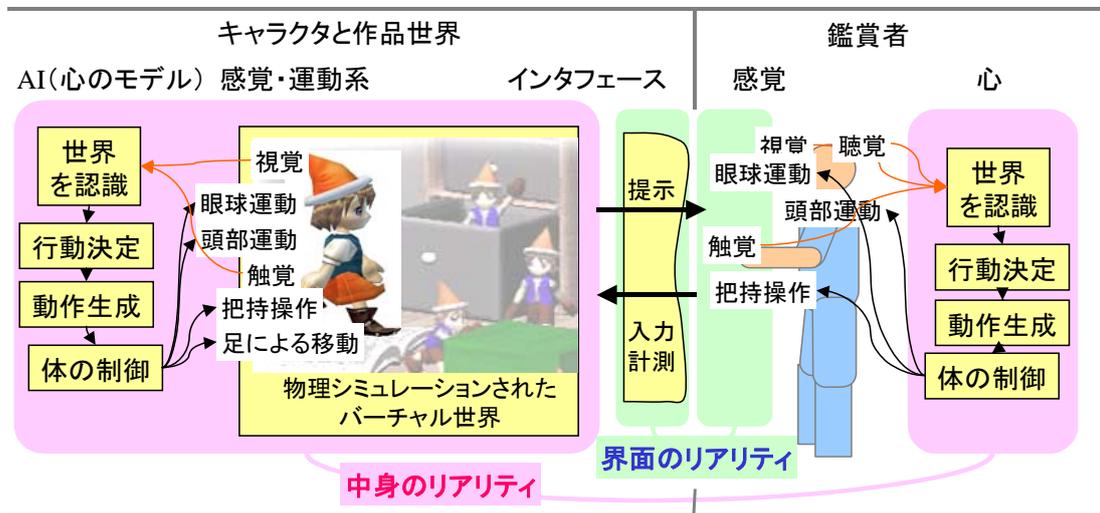


図 1 本研究が提案する作品のシステム構成

人間は、人や動物と物体の動きから、人や動物が物体に作用させた力を推定し、さらに人や動物の意図を推定できると考えられる。提案システムでは、作品世界全体を物理シミュレーションすることで、実世界と同様にキャラクタが物体に作用させた力を推定できるようにすることで、キャラクタの意図が鑑賞者に伝わりやすくしている。さらに、感覚・運動系モデルに基づくAIがキャラクタの体を制御して動作生成することで、鑑賞者が意図を推定しやすい動作が生成できると考えられる。また、感情が感覚系・運動系に及ぼす影響を再現することができれば、感情を推定しやすい

い動作が生成できる可能性がある。

本研究では、提案する作品システムを実現するため、次の項目について研究を行った。

- ・ キャラクタの体のシミュレーションに必要な、安定な物理シミュレータ
- ・ 視覚系と注視のモデル
- ・ モーションデザイナーにとって使いやすい動作生成

以下、各項目について説明する。

## 安定な物理シミュレータ

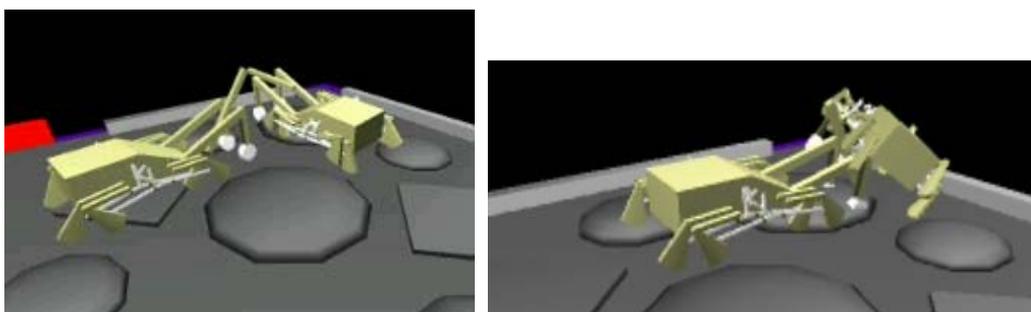


図 2 安定な物理シミュレータ

従来のシミュレータでは、バネ・ダンパモデルと組み合わせると不安定なという問題があった。このためバーチャルクリーチャ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。

同様の提案は従来もあったが、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る点に新規性がある。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構築の見通しが立った。詳細は[田崎,長谷川: 拘束法の動力学シミュレータのための安定なバネダンパモデル]参照。

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、下図のような複雑な機構を持つ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。また、「視覚系と注視のモデル」の節の作品「こびとのケーキ屋」ではここで構築したシミュレータを用いている。



## 視覚系と注視のモデル

人は多くの情報を視覚から得ている。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する。このため、目は口ほどにものを言うということわざのとおり、視線は人の意図を表出する機能を持つ。人が注意を向けるのは、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に無意識に視線が動くボトムアップ性の注意がある。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(図 3)。このモデルを用いて2つのデモ作品を構築した。図 4 のバーチャルボクシングでは、トップダウン性注意とボトムアップ性注意のバランスを調節することで、相手キャラクタの性格が変わったように体験者に感じさせることができた。

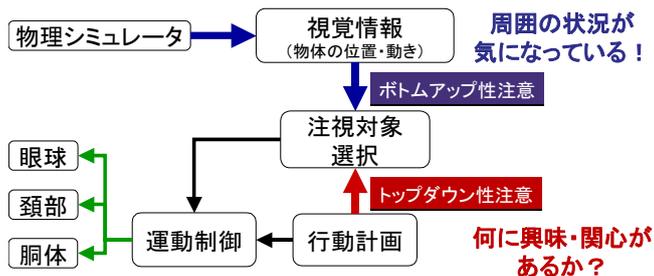


図 3 視覚系と視線生成のモデル



図 4 パーチャルボクシング

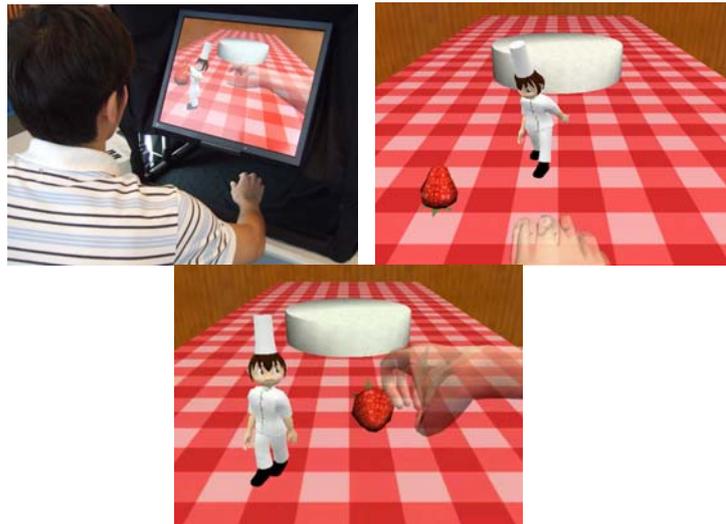


図 5 視覚・注視モデルによる意図の表出例:こびとのケーキ屋

また、現在、視線によって複数の対象物の中で興味を持つ対象を視線によって提示することを目指して、図 5の作品「こびとのケーキ屋」を構築している。

### モーションデザイナーにとって使いやすい動作生成

感覚運動系のシミュレーションによって、リアリティが高く、意図・感情が伝わりやすい動作の生成が実現すると考えられるが、それだけでは作品に登場するキャラクターが持つべき個性やシナリオの展開に合わせた動作などを生成することは難しい。これらの動作を感覚運動系のパラメータ調整とキャラクター AI を作りこむことで実現することも考えられるが、これらの作りこみにはプログラム・制御・AI といった専門知識が必要となり、従来キャラクターの動作を作りこんできたモーションデザイナーにとって容易なものではない。

そこで、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提案する。提案システムでは、キャラクターの全体的な動作については、キャラクター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する。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する(図 6)。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、望みの動作を簡単に作り出せるシステムとなる。

提案システムでは、キャラクター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り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。

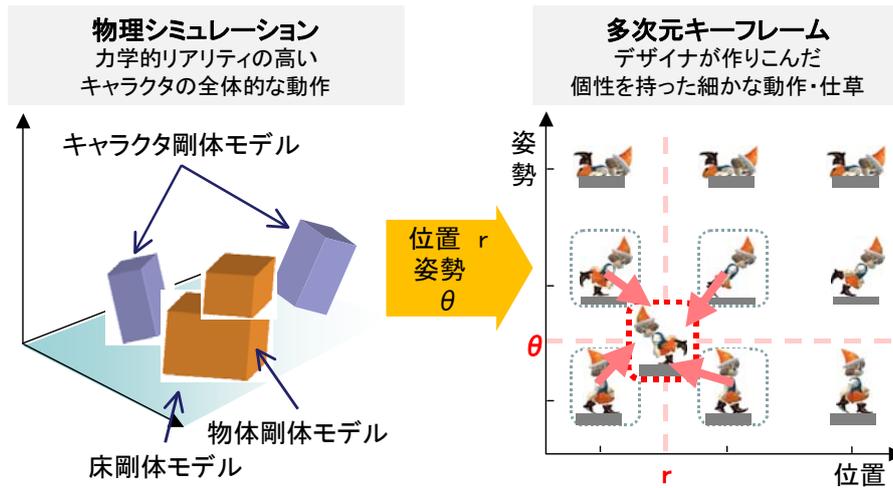


図 6 デザイナーにとって使いやすい、物理シミュレーションとキーフレームによる動作生成

**Kobito - 運動制御の定数**  
Kobito - Constants for control

動作種別	$v_0$	$\omega_0$	$F_0$	$N_0$
前進	3	0	12.0	12.0
左回転	0	3	12.0	12.0
右回転	0	-3	12.0	12.0
押す	3	0	24.0	12.0

Top view

(a) 動作生成実験用

Front view

Top view

(b) 衝撃力推定実験用

Front view

キャラクタに加える力

力を 1 回加えた場合： ①真後ろに転倒 ②バランスを崩し斜め後ろに移動 ③回転しながら転倒 ④バランスを崩し真横に移動  
力を 2 回加えた場合： ⑤⑥横転ののち 2 回目の力で回転 ⑦バランスを崩したのち 2 回目の力で別方向に転倒 ⑧バランスを崩したのち 2 回目の力で回転しつつ姿勢復帰

図 7 力を加えた際の反応動作

衝撃力推定実験 結果  
Result of Impact force estimation task

被験者	力の強さ	作用点横位置	作用点縦位置	力の方向
A	18	9 <sub>(19)</sub>	12 <sub>(20)</sub>	12 <sub>(18)</sub>
B	20	20 <sub>(20)</sub>	13 <sub>(20)</sub>	20 <sub>(20)</sub>
C	17	9 <sub>(20)</sub>	7 <sub>(18)</sub>	11 <sub>(14)</sub>
D	15	15 <sub>(20)</sub>	9 <sub>(19)</sub>	17 <sub>(20)</sub>

数字は試行 20 回中の正答数 (カッコ内は選択肢一つ分の誤差を許容した場合の正答数. ただし強さに関しては選択肢が 2 つしか無く誤差を許容すると全て正答となるため省略)

図 8 動作からの加えられた力の推定

提案システムを用いたところ、図 7 のような多様な反応動作を、わずかなキーフレームから生成することができた。また、キャラクターの動作だけを見た被験者に、キャラクターに加わった力を推定させたところ、図 8 のような結果を得た。おおむね加えられた力が推定できているといえる。また、キャラクターの個性やシナリオに合わせたキーフレームを用意することで、作品に登場するキャラクターに必要な動作を生成することができた。詳細は添付の投稿中論文を参照いただきたい。

## 5. 自己評価

研究開始前の計画では、視覚・聴覚・触覚・前提感覚といった感覚系と筋骨格系、足による移動のためのバランスの制御、到達運動といった運動系とその制御をモデル化し、これらをシミュレーションすることで、リアリティの高い動作を生成することを目標としていた。しかし、さきがけ研究を通じて、ゲーム産業界で活躍するプログラマ、モーションエンジニア、デザイナー、ゲームプランナーなどの意見や仕事内容に触れ、実際に作品を作るにつれて、単に自然な動作が生成できるシステムを構築するだけでは不十分であり、モーションデザイナーや作家にとって使いやすく、望みの動作が容易に得られるようなシステムを構築する必要があることに気づき、こちらにも取り組んだ。

結果として、モデル化が完了した感覚系・運動系の種類は当初の計画より少なくなったが、実際に作品制作に利用できるシステムを構築することができた。また、デザイナーや作家にとって使いやすいシステムは、初心者にとっても使いやすいシステムにもつながるので、コンテンツ創造の裾野を広げる効果も期待できる。これらの観点から、当初計画以上の成果が得られたと考えている。

## 6. 研究総括の見解

ゲームにおいては、人や動物などのキャラクターが重要な役割を担っており、鑑賞者がその意図や感情を汲み取れることが大事である。今回の研究は、鑑賞者からの自由なインタラクションに対し、キャラクターの意図や感情を動きでもってその反応を鑑賞者に伝えるシステムに関するものである。

研究は、まずバネ・ダンパ系から成る物理シミュレータによる自然な動きを作りだすことから始められた。従来こうした系でのシミュレータは不安定になるという問題があったが、今回陰積分を採用することにより、シミュレータを安定化することができた。これにより、ロボットの動きのシミュレーションでは一定の成果を得た。しかし、本システムを使いこなすには技術的な専門知識が必要であり、ゲームクリエイターにとって使いやすいシステムにする必要があった。そのため、リアルタイムで動作するゲームの要請から、キャラクター全体は 1 つの剛体として扱い計算の負荷を軽減した。そして、キャラクターの細部の動きは、クリエイターが使いなれたキーフレームアニメーションにより実

現した。このシステムにより、ゲームクリエイターが、ゲームの面白さの開発に専念できるようになったことは、高く評価できるものである。作品として制作した「Kobito -Virtual Brownies-」は、中で動く技術を感じさせずに、多くの人がインタラクティブに楽しめるものである。そうした点が SIGGRAPH Hという世界最大のコンピュータグラフィックスの展示会で採択され評価されたものである。

今後、当技術が改良され公開されることにより、多くのゲームクリエイターに対する制作を支援する基盤技術となることが期待される。

## 7. 主な論文等

### A. さきがけの個人研究者が主導で得られた成果

#### (1) 論文(原著論文)発表

- ・ 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), Vol.4, No.3, 2006 6.

#### (2) 特許出願

発明者: 三武裕玄, 浅野一行, 長谷川晶一, 青木孝文, 佐藤誠

発明の名称: 画像処理装置、画像処理方法、及び、プログラム

出願人: 電気通信大学

出願日: 2007年8月23日

出願番号: 特願 2007-217372

発明者: 時崎崇, 長谷川晶一, 三武裕玄, 青木孝文

発明の名称: 映像信号制御装置、映像提示システム、映像提示方法およびプログラム

出願人: 電気通信大学

出願日: 2007年9月11日

出願番号: 特願 2007-235240:

#### (3) 受賞

- ・ Intl. Conf. on Advances in Computer Entertainment Technology 2005 Best Paper Award(H17.6)
- ・ 日本バーチャルリアリティ学会貢献賞(H18.5)

#### (4) 展示

- ・ Shoichi Hasegawa, Mitsuaki Kato, Yoshinori Dobashi, Makoto Sato, Tsuyoshi Yamamoto, Tomoyuki Nishita: 'Virtual Canoe: Real-Time Realistic Water Simulation for Haptic Interaction', SIGGRAPH 2005 Emerging Technologies Project, 2005 8
- ・ Takafumi Aoki, Kazuyuki Asano, Rikiya Ayukawa, Hiroshi Ichikawa, Yuichiro Iio, Toshihiro Kawase, Takatsugu Kuriyama, Itaru Matsumura, Takashi Matsushita, Hironori Mitake, Takashi Toyama, Shoichi Hasegawa, Makoto Sato: 'Kobito: Virtual Brownies', SIGGRAPH 2005 Emerging Technologies Project, 2005 8
- ・ Masayoshi Ohuchi, Takafumi Aoki, Jiro Baba, Shoichi Hasegawa, Koichiro Kimura, Jun Noguchi, Makoto Sato, Hiromi Shimizu, ' Powder Screen: A Virtual Materializer' SIGGRAPH 2006 Emerging Technologies Project, 2006 8

## B. その他の主な成果

### (1) 論文(原著論文)発表

- ・青木 孝文, 三武 裕玄, 浅野 一行, 栗山 貴嗣, 遠山 喬, 長谷川 晶一, 佐藤 誠: `実世界で存在感を持つバーチャルクリーチャの実現 Kobito -Virtual Brownies-', 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.11, No.2, 2006.
- ・三武 裕玄, 青木 孝文, 浅野 一行, 遠山 喬, 長谷川 晶一, 佐藤 誠: `キャラクタとの物理的なインタラクションのための剛体モデルと多次元キーフレームの連動による動作生成法', 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 2007.

### (2) 特許出願

- ・なし

### (3) 受賞

- ・日本バーチャルリアリティ学会論文賞(H18.2)
- ・平成 16 年度日本バーチャルリアリティ学会論文賞(H17.9)
- ・平成 18 年度日本バーチャルリアリティ学会論文賞(H19.9)

### (4) その他の成果

- ・田崎勇一, 長谷川 晶一: `拘束法の動力学シミュレータのための安定なバネダンバモデル', 情報処理学会研究報告「グラフィクスと CAD」, No.2006-CG-124, 2006 8

## 研究者依頼用報告書

### 1. 研究課題名

ドレミっち： 成長する仮想演奏者の構築

### 2. 氏名

浜中 雅俊

### 3. 研究のねらい

本研究では、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実現を目指し、次の3点について研究を行った。第一に、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、計算機上へ音楽家の音楽知識の実装を試みた。第二に、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、メロディのモーフィング手法を構築した。第三に、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について研究を行った。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が持たれる。

### 4. 研究成果

#### 1) 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。exGTTM を計算機上へ実装した楽曲分析器 ATTA (Automatic Time-span Tree Analyzer) は、46 個の調節可能なパラメータを持ち、パラメータの値を変更することで音楽の様々な解釈の結果が出力される。さらに、様々な解釈の可能性のうち、人間は出来る限り安定な解釈を優先すると仮定することで ATTA 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(図 1)。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。

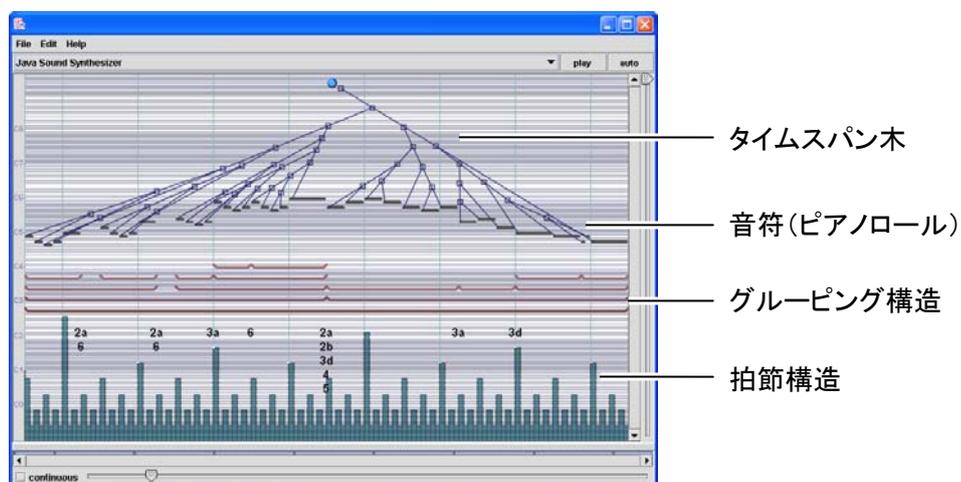


図 1: 自動楽曲分析器 FATTA を用いた楽曲構造分析の結果

- 音楽理論 GTTM を実装する目的

音楽というメディアの認識や表現は曖昧なため、ユーザの思い通りに作曲させたり演奏させることは一般に困難である。市販の楽譜エディタやシーケンサが操作できる対象は、音符、休符、和音名など曖昧性の低い表層的な構造に限定されている。我々の研究の最終的な目的の一つは、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である。そのための第一歩として、本さきがけ研究では、音楽理論 GTTM の計算機上への実装を行った。

- 音楽理論として GTTM を採用した理由

音楽理論は、音楽に関する知識、経験、技能を利用して楽曲を分析、解釈する方法論を我々に与える。音楽は様々な側面から分析、解釈することができるため、これまで多くの音楽理論が提案されており、楽曲の分析や解釈に用いられる様々な音楽的な概念が抽出され、様々な手順が議論されてきた。

我々が音楽理論として GTTM を採用した理由は、GTTM は音楽が備える多様な側面を包括的に表象しているからである。音楽知識の乏しいユーザを支援し音楽的な構造を適切に操作するという我々の目的と照らし合わせると音楽の持つメロディ、リズム、和声という3つの側面に対して一貫性のある操作を実現する必要があり、実装する音楽理論として GTTM が適切だと考えた。

- 音楽理論 GTTM の実装の困難さ

GTTM は他の音楽理論と比べて比較的厳密なルールで記述されており、音楽を形式化する上で最も有望であると考えられるが、それでもなお、実装を実現する上で以下のような困難な問題が複数存在した。

(1) 楽曲分析における曖昧性の問題

一般に GTTM を含む音楽理論の分析結果は唯一に決まらないことが多い。その理由としては (i) 音楽理論自体に曖昧性があるために分析結果が曖昧になることと、(ii) 楽曲の解釈自体曖昧性が内在していることで、分析結果も曖昧になること、の2つが考えられる。

(2) アルゴリズムの欠落

GTTM のルールには、局所的な構造からより高次の構造を生成するボトムアップ方向に働くルールと大局的な構造をより低次の構造に分解するトップダウン方向に働くルールが混在している。しかしその両者をどのように組み合わせると適切な階層構造を生成するかに関するアルゴリズムが欠落している。

(3) ルールの競合

ルールを適用する際、ルール間での優先度が決まっていないため競合が起きることがある。

- exGTTM の提案と ATTA の実現

GTTM を計算機上へ実装する上での課題は、以下の2つに大別される: (1)すでにルールや概念として GTTM に定性的に記述されているが、計算機上のプログラムとして実現するために定量的に記述しなおすこと、(2)ルールや概念として明示的に記述されていないが、計算機上のプログラムとして実現するために必要なアルゴリズムやパラメータを発見し補うこと。

まず(1)に関して、パラメータの存在は示されているがその値が不明な場合は、パラメータの値域を定義することにした。音楽の解釈は曖昧なので、一般に、人間が GTTM に従って分析した結果は唯一に決まらない、よって我々の分析器が、人間の分析結果全体を包含すれば十分であると考え、そのような分析結果を生成できるように値域を設定した。

(2)に関して同様に、その値を調整すれば人間の分析結果を包含できるような新しいパラメータとその値域を導入した。

具体的には、楽曲の正しい解釈は複数あるという前提のもとで、以下に述べる2つの方針に

基づき、計算機上で実行可能となるよう GTTM の理論を拡張した exGTTM を設計した。まず、1 目の方針は、パラメータを導入して曖昧さを出来限り排除することである。exGTTM を計算機上に実装した ATTA では、それらのパラメータを手動で動かすことによって、楽曲の多様な解釈をすべて出力できるような分析器を実現した。exGTTM に導入したパラメータは以下の 3 つのカテゴリーに分類できる。まず第 1 のカテゴリーは、GTTM でその存在は明らかであったものの具体的な値が与えられていなかったパラメータである。例えば、あるルールが成立するか否かを、 $D_{rule}$  というパラメータであらわし、ルールが成立すれば 1 に、不成立ならば 0 に対応付けた。第 2 のカテゴリーは、GTTM ではその存在自体が暗黙であったものを明示化したパラメータである。この例として、GTTM の各選好ルールの強さを重みづけするパラメータが挙げられる。GTTM ではルールの適用に際して競合が起きることは認識されており、何らかの方法で解決しなければならなかった。このパラメータを導入することによって、ルールの強さの制御が可能となり、競合を解消することが可能となった。第 3 のカテゴリーとして、GTTM ではその存在自体が議論されていなかったパラメータがある。この例として、並列性に関するルールにおいてフレーズ間で並列性がどの程度で成立するかを表すパラメータが挙げられる。GTTM では並列性について詳細な定義が与えられていなかった。2 目の方針は、詳細な定義が無いまま GTTM で用いられている用語に直観的でわかりやすい定義を与えることである。そして、局所的な構造に関するボトムアップなルールと、大局的な構造に関するトップダウンのルールを組み合わせ、階層的な構造を獲得する手法を提案した。もし exGTTM が、楽曲の正しい分析の結果を出力できない場合、我々は新たなパラメータを exGTTM に追加することで、正しい分析結果が出力できるように試みた。このようにして、外在化およびパラメータ化を繰り返し、最終的に、グルーピング構造分析に関する 15 個のパラメータ、拍節構造分析に関する 18 個のパラメータ、タイムスパン簡約に関する 13 個のパラメータを導入した。

#### - FATTA の実現

ATTA で正しい分析結果を得るためには、46 個の調節可能なパラメータを手動で適切に設定しなければならず、多大な労力がかかるという問題があった。そこで、ATTA の分析の結果得られるタイムスパン木を用いて、タイムスパン木の安定度および拍節構造の安定度を評価するアルゴリズムを与えることで、ATTA の各パラメータの値を自動的に最適化する手法を提案した。その際用いるタイムスパン木の安定度を定義するにはいろいろな尺度が可能であるが、調とコード進行の安定性という観点に立ち、GTTM と同著者による音楽理論 Tonal Pitch Space に基づき定義した。一方、拍節構造の安定度は、タイムスパン木と整合性の高い拍節構造ほど安定であると考え、タイムスパン木と拍節構造の整合性の高さを安定度として定義した。

#### - 基盤技術としての意義

第一に、GTTM に基づく音楽的な構造の自動獲得できるようになったこと自体が意義である。従来、GTTM に基づく音楽の意味構造の分析や、演奏の表情付け、音楽要約システムの研究がなされてきたが、それらのシステムの動作には GTTM の分析結果が必要であり、音楽家が作成した GTTM の分析結果を用いていた。本研究により、GTTM に基づく音楽的構造の獲得が自動化され、それらの音楽システムへ応用されることが期待される。

第二に、メロディの簡約、モーフィング、予測など、音楽家が行う高度な音楽的活動が音楽理論に基づき計算機上で実現できることを示したことである。

第三に、音楽知識の乏しいユーザへ音楽理論に基づいた支援の可能性を示したことである。次頁で述べる、予測ピアノおよびメロディモーフィング手法はその一例である。

図2は、メロディの簡約の例である。図のメロディAの上にある木構造は、FATTAによる分析の結果得られたタイムスパン木である。タイムスパン木のレベルBより下にある枝の音符を省略するとメロディBのようになる。さらに、レベルCよりも下にある枝の音符を省略するとメロディCのようになる。

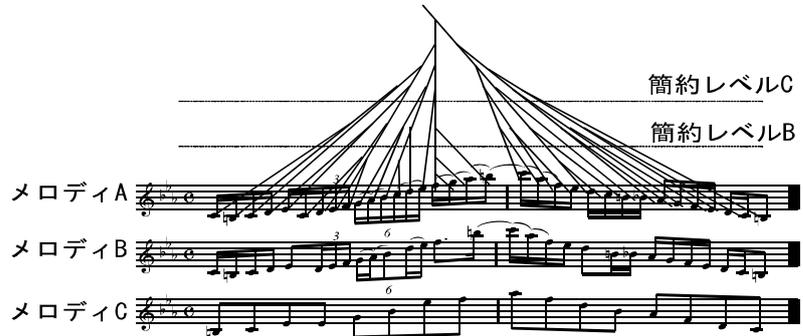


図2: タイムスパン木を用いたメロディの簡約

図3は、FATTAに基づくメロディの予測手法を用いて、演奏者の次の音を予測し天板上に結果を表示する「予測ピアノ」というシステムである。天板上の表示は時間と共に縦スクロールし、明るいところほど次の音が鳴りやすい位置である。素人でも明るく表示されている位置の鍵盤を押していくことで即興演奏が可能となる。

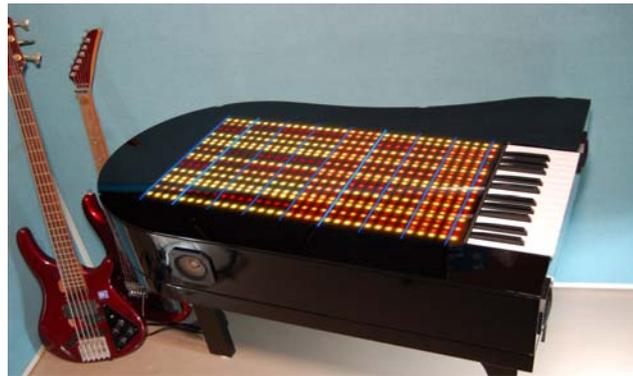


図3: 予測ピアノ

## 2)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(図4)。



図4: メロディモーフィング手法

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。たとえば、ユーザがメロディAの一部を修正し何らかのニュアンスを付加したいとき、ユーザはそのようなニュアンスを持つメロディBを知っているとす。このような場合、メロディモーフィング手法を用いると、ユーザは「メロディAにメロディBのニュアンスを付加せよ」と指示するだけで、ユーザの意図を簡易かつ的確に反映したメロディの生成が可能である。メロディモーフィングには、上記の簡易かつ的確という利点の他に、システムの入力と出力の因果関係の理解が比較的容易、システム操作が簡便という利点がある。

### 3) 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(図5)。

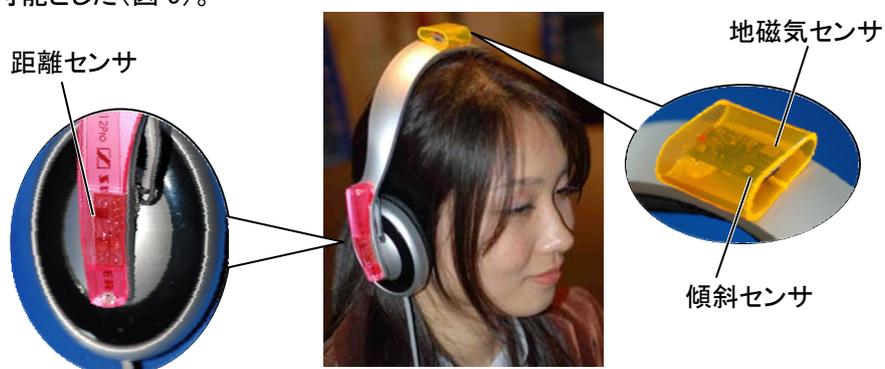


図5: サウンドスコープヘッドフォン

図6は、サウンドスコープヘッドフォンの展示風景で、各パートの楽器を周囲に配置し、音量に応じて楽器を照らす明るさを変化させることで、視覚的にも音量の変化を確認できるようにしたものである(論文2参照)。



図6: サウンドスコープヘッドフォンの展示風景

## 5. 自己評価

音楽理論 GTTM のタイムスパン木の自動獲得は、理論が考えられてから 20 年以上困難とされてきた問題であり、その実現は音楽情報処理の研究分野に新たな展開を与えるもので、非常に大きな貢献ができたと考えている。当初実装を行っていた、GTTM に基づく音楽分析器 ATTA(Automatic Time-span Tree Analyzer)は、予定通り約 1 年で完成することができた。しかし、ATTA はユーザが手作業で 46 個のパラメータを調節する困難な作業が必要であったため、さらに 1 年間改良を進め、パラメータを自動で最適化する FATTA(Full Automatic Time-span Tree Analyzer)を構築した。分析器の構築に、当初の予定より 1 年長くかかってしまったが、予想以上の成果を上げることができた。そして、音楽家が行う高度な音楽的活動の例として、メロディの予測およびメロディのモーフィングの 2 つを考え、それらを FATTA に基づき実現することで、FATTA の有用性を示すことができた。今後、FATTA を用いて作曲・編曲など様々な音楽的操作を実現していく予定である。

サウンドスコープヘッドフォンは、一般の人が能動的に音楽を楽しむためのデバイスとして構築したものであるが、文化庁メディア芸術祭協賛展など展示の機会を多く得ることができたため改良を重ねることができた。子供やお年寄りなど、当初は想定していなかった年齢層のユーザでも容易に使用できるデバイスを構築することができた。

本研究でやり残した課題は、これまで開発してきたシステムを統合し、実際に仮想演奏者を実現することである。その実現には、複数の演奏者から得られる情報の統合など難しい問題を解決する必要がある。今後、それらの問題を解決し、自律的に演奏する仮想演奏者の実現に向けた研究に邁進していくことを予定している。

## 6. 研究総括の見解

音楽はデジタルメディアにとって重要な対象である。今回の研究では、音楽家の音楽知識を体系化した GTTM 理論を、PC 上に実装した自動楽曲分析器の開発を目指した。

音符、休符のように曖昧性がないものは、既に市販の楽譜エディタなどで計算機に実装されている。しかし、旋律、リズム、和声のような高次の構造に対しては、GTTM が音楽理論としてあったが、計算機上には実装することが困難であった。旋律・リズム・和声は GTTM によって分析しても、複数の解釈が可能になるという曖昧性があることなどがその理由である。今回、曖昧性を積極的に認め、パラメータを調整し、複数の解釈のうち人に安定な解釈を優先するというルールをもうけた。そしてこれらを PC 等の計算機上に実装したシステム (FATTA) を完成した。さらに成果を応用しメロディ予測やメロディモーフィングのシステムまで完成した。このことは高く評価されるし、論文が ICMC(コンピュータ音楽国際会議)において受賞されるなど、専門家にも評価されるものである。また、サウンドスコープヘッドフォンはこうした技術を一般の人に分かりやすい形で提示しものであり、多くの展示会でも好評であった。

今後はこうした成果を他の人に具体的に使うための工夫(公開方法やインターフェース改良など)を行い、「ドレミっち」のネーミングとともにこの分野の基盤技術となっていくことが期待される。

## 7. 主な論文等

(1) 論文(原著論文)発表

### A. さきがけ研究者が主導で得られた成果

(1) 論文(原著論文)発表

1. Masatoshi Hamanaka, Keiji Hirata, and Satoshi Tojo, Implementing "A Generative Theory of Tonal Music", *Journal of New Music Research*, Vol. 35, No. 4, pp. 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, Vol. 12, No. 3, pp. 295-304, 2007.

3. 浜中雅俊, 平田圭二, 東条敏: 音楽理論 GTTM に基づくグルーピング構造獲得システム, 情報処理学会論文誌, Vol. 48, No. 1, pp. 284-299, 2007.
4. Masatoshi Hamanaka, Keiji Hirata, Satoshi Tojo: FATTA: Full Automatic Time-span Tree Analyzer, Proceedings of the 2007 International Computer Music conference (ICMC2007), Vol. 1, pp. 153-156, August 2007.
5. Masatoshi Hamanaka, Seunghee Lee: *Music Scope Headphones: Natural User Interface for Selection of Music*, Proceedings of the 2006 International Conference on Music Information Retrieval (ISMIR2006), pp. 302-307, September 2006.

## (2) 特許出願

発明者: 浜中雅俊、池月雄哉  
 発明の名称: ミキシング装置及び方法並びにプログラム  
 出願人: 科学技術振興機構  
 出願日: 2005年6月21日  
 出願番号: 特願 2005-18772

発明者: 浜中雅俊  
 発明の名称: ネットワークを用いた遠隔多地点合奏システム  
 出願人: 科学技術振興機構  
 出願日: 2005年8月3日  
 出願番号: 特願 2005-225878

発明者: 浜中雅俊、東条 敏  
 発明の名称: 楽曲のタイムスパン木の自動分析方法および自動分析装置  
 出願人: 科学技術振興機構  
 出願日: 2005年10月3日  
 出願番号: 特願 2005-289732

発明者: 浜中雅俊、李 昇姫  
 発明の名称: 音源選択装置  
 出願人: 科学技術振興機構  
 出願日: 2006年9月29日  
 出願番号: 特願 2006-269623

発明者: 浜中雅俊  
 発明の名称: モーフィング楽曲生成装置及び該装置用プログラム  
 出願人: 科学技術振興機構  
 出願日: 2008年2月5日  
 出願番号: 特願 2008-25374

## (3) 受賞

JNMR (Journal of New Music Research) Distinguished Paper Award for Best Paper in the International Computer Music Conference 2005 (H17.9)

## (4) 招待講演

ISMIR2007 チュートリアル開催(タイトル: Techniques for Implementing the Generative Theory of Tonal Music)