

戦略的創造研究推進事業 CREST  
研究領域「デジタルメディア作品の制作を  
支援する基盤技術」  
研究課題「デジタルメディアを基盤とした21世紀の  
芸術創造」

## 研究終了報告書

研究期間 平成16年10月～平成22年3月

研究代表者：藤幡正樹  
(東京藝術大学大学院映像研究科長、教授)

## § 1 研究実施の概要

21 世紀的な芸術創造環境の構築ということで、科学技術系研究者と芸術系表現者がお互いに刺激し合いながらコラボレーションできる場を作り上げるために研究提案を行った。当初の計画では、芸術全般を扱うことを構想していたが、数ヶ月間にわたって様々な形の会合を開き、特に東京藝術大学の教育研究の現場へ、科学技術系研究者に足を運んでもらい、様々なプログラムに参加することを通じて、芸術系表現者との問題意識や興味が重なり合う研究目標を模索し、「なぜ人間は絵を描くのか？」を研究プロジェクト全体にわたるテーマとした。

絵画に着目した理由は、メディアムの科学と描画の技術が直接的な関係を持っていた時代の絵画群などを先行事例のサンプルとしながら、科学技術系、工学系と芸術表現系、それぞれの研究者間でコラボレーションが可能であると考えたからだ。つまり、工学と芸術の稀なる接点を探し出すことで、デジタルメディアが視覚芸術に及ぼすと考えられる影響、変化をいち早く実現することを通じて、そのターニングポイントをリードすることが、本研究が美術芸術分野に果たす狙いであり、貢献であると考えた。

絵画、特に油画にフォーカスをするためのリサーチに3年をかけ、平成18年度からこの問いかけを各研究室で深化させ、『『描く』を科学する』というアプローチへと歩を進めた。当初から行っていたことではあるが、人間の描画行為を、ロボットやシミュレータを用いて模倣することによって人間の創造性を探ることを本格化し、デジタルメディアへの実装をすすめることによって研究を展開した。

東京藝術大学と東京大学では、池内研究室が保有するロボットに絵を描かせることを通して、人間が絵を描く過程を知るというアプローチで研究を進めた。

東京工業大学とのコラボレーションでは、東京藝術大学の佐藤一郎研究室が持つ油絵具の分析データ等をもとに、技法材料の特質をコンピュータ上でアルゴリズム化し、ペイント・ソフトウェアを開発した。

埼玉大学(当時)の近藤研究室では、絵画の構図等についてのソフトウェア開発の研究を、脳内のイメージ理解に関する岩田誠の先行研究を元に展開した。この研究は、後に東京大学の構図研究等にも引き継がれた。

研究を通じて、画家(芸術系表現者)の知見を言語化して他分野の研究者に伝える必要があり、平成18年度から近畿大学の岡崎研究室にも本研究への参加を依頼した。岡崎乾二郎は、多岐にわたる領域で活躍する造形作家であり、表現の背後にある歴史や理論に詳しく、また自身が作家であるために、非常に重要な知見を提供してもらうことができた。

東京藝術大学と東京大学の研究成果としては、ロボットによる描画行為をまとめた論文が、国際的なジャーナルで認められたことが挙げられる[1]。個々の要素技術としてではなく、システム全体のコンセプトが、ロボット工学に貢献するものとして評価を得た。また、芸術の歴史を「人間像をいかに表象してきたか」という視点で捉え直すことにより、人間の表象を模倣するロボット工学研究をアート&テクノロジーの融合領域とした、新しい研究パラダイムの主張は「ヒューマノイドはヒューマンになれるか？」(未来館)、「Art and Robots」(IROS2007、2008)の開催により、国内外の研究者から多くの反響を得ることができた(2010年、東京大学出版会から書籍化の予定)。

東京工業大学との研究は、油画描画シミュレータの開発を実現し、2010年に東京藝術大学美術館において「デジタル・オイル・ペインティング展」として一般公開するにいたり、大きな反響をよんだ(別掲の朝日新聞、東京新聞参照)。描画材としても画期的な新境地を開くこととなった。

科学技術と芸術の融合が言われて久しいが、その成功例は皆無に等しい。そうした中で、描画という行為を通じて、科学者にとっても工学者にとっても非常に重要な思考の基盤として共有した研究手法は、科学技術と芸術の両分野の橋渡しとして新たな可能性を提案した事例として、特筆すべき成果であったと考えている。

## § 2. 研究計画に対する成果

### (1) 当初の研究構想

本研究は、デジタルメディアを用いた芸術表現の基盤となる技術を開発することを目的としてきた。つまり、絵画や写真などの視覚表現技術を対象に、デジタル技術の側面から作品制作のプロセスに分析を加え、その新たな発展形を模索するとともに、いままでにない道具とメディアの関係性を研究開発してきた。こうした目的を達成するためには、科学技術と芸術を融合した領域横断的な研究体制の確立が必要不可欠な要件であると当初から考えてきた。

そしてこれまでに幾度となく叫ばれてきた科学技術と芸術の融合は、芸術家、科学者相互のいずれかが発注受注の関係となり、現場において創造性の主従関係を形成してしまい、この点が領域の融合の妨げとなってきたという事例が多く見られる。この科学技術と芸術表現の間にある大きな溝を超えるために考えられる解決策は、両分野にまたがる極めて本質的な創造性のあり方を改めて共有し、基盤となる問題を提示し、その接点を見いだすことにある。

科学技術と芸術表現における創造性を比較した際に浮かび上がる問題点は、ターミノロジーの問題であり、科学技術分野の膨大な言語に対し、芸術表現分野の技術や技法に関するほとんどが言語化されていないという状況に直面することが常であった。この点は現在においても、芸術表現のプロセスのほとんどが神秘主義的世界にあることから明白であろう。

本研究では、両者が研究として創造性を探求するために、科学技術の研究者と芸術の知見を持つ表現者が発注受注ではなく、真の意味でコラボレーションすることを、旧来の表現媒体をデジタルメディア上へ移行することを通じて実現した。このことを通じて、芸術表現の核心にある制作プロセスを、科学技術的な思考によって、神秘主義的世界から解放し、創造的な研究開発として共有することに成功した。

### ◎進行概要

本研究の研究代表者および東京藝術大学では、初年度からミーティングとワークショップを重ね、科学技術系研究者と芸術系表現者の思考方法を相互に翻訳しあい共通言語化をはかることを、研究スキームの根幹とする機会を頻繁に設けてきた。このことによって、工学系の研究領域内での文脈と、芸術表現における文脈を接続してきた。

具体的には、初年度から全研究グループのポストドクター、博士、修士学生を対象としたミーティングとワークショップ(デッサン教室、油画教室、油絵具の制作等)を重ね、科学技術の研究者と芸術表現の思考方法を共有、身体化するための体験的な機会を頻繁に設けてきた。

芸術系の知見を持つ作家や研究者を組織し、工学系の研究者との接点を作る作業は、想像以上に困難な作業であった。また、発達心理学、認知科学、認知心理学等の研究者たちを招いた「アート例会」の開催等、様々なミーティングが、研究代表者を中心に、東京藝術大学によって進められた。3年間以上にわたって行われた各研究室間の問題意識共有が、本プロジェクトの成果への礎になった。言い換えれば、科学技術と芸術の融合あるいは、情報工学と芸術表現の横断的研究を単なる機能実現のためだけに行うのではなく、創造のコンセプトについての理解を共有することから積み重ねることができたことは希有な体験であった。

平成18年度の継続研究提案の際に、人間にとって根源的な行為のひとつである描画行為に注目することに全体のテーマを集約することで『描く』を科学する」というアプローチを見出した。

そこで改めて、デジタルメディアによる技術的な実現と、美術表現の分野に対する影響を研究してゆくために、以下の(A)(B)(C)の3つの異なった研究プロジェクトに共通する問題点を解くことを目的に、画像、図像、写生、写真、絵画の違いを明確にするために、絵画を成立させている制度それ自体についても研究する4つ目のプロジェクトをたてた。

(A) 油絵描画ロボット(東京大学池内研究室)

(B) 油絵描画シミュレータ(東京工業大学中嶋斎藤研究室、東京芸術大学佐藤研究室)

(C)線画描画ロボット(東京芸術大学藤幡研究室)

(D)絵画の制度分析研究(東京芸術大学藤幡研究室、近畿大学岡崎研究室)

東京大学池内研究室との研究は、ロボットを用いた描画行為の模倣からはじめることになったが、そのために人間が描画行為において、どのような思考を時間軸上で行っているかについての仮説を作り、それを実装するという作業を行った。構図の作成方法や光の情報を画面上でどのように構成してゆくのかといった、作家の行動を研究する作業は、まさに工学者と芸術家のコラボレーションによってのみ進めることが不可能なプロジェクトであった。平成18年度までの前提があったことによって、池内研究室と藤幡研究室、佐藤研究室、岡崎研究室とのコラボレーションはきわめてスムーズに展開することができた。

東京工業大学中嶋・斎藤研究室との研究では、藤幡研究室、佐藤研究室とのコラボレーションによって、油画描画シミュレータをコンピュータ上に作り上げることを目標として進められ、前述のように、芸術的な表現のあり方を、技法材料の観点から美術史の中で更新することができる画材として、展覧会を実現できるところまで展開することができた。

## (2)新たに追加・修正など変更した研究構想

異分野の研究者同士がコラボレーションをしていくうちに、それぞれの役割分担をはっきりと意識し、お互いがお互いを尊敬しようということの重要性を深く理解した。

その上で、まず研究現場というレベルでは技術情報の共有や、目的に向けた作業の分担が次第に明確になっていった。円滑な研究のためには、言語による活発な議論を行える関係作りが研究活動としても重要であり、研究代表者と共に高い編集能力を有するスタッフが当初から参加していたことによって研究が迷走することなく展開した。途中経過の要所要所において、科学技術系研究者と芸術系表現者相互が、言語的に意思の疎通を確認しながら進めることができたことは貴重であった。通訳としての優秀なサイエンスライターの要請は、今後の科学技術の振興にとって非常に重要であることを改めて考えさせられた。

研究内容においては、描画という行為が非常に人間的な行為であることが明解となってきた。それに伴って、認知科学、認知心理学、発達心理学等の研究者との密接な関係が生まれて来た。この関係性を通して、今後「描画過程マトリクス研究」(後述)という名目で描画の目的を中心とした研究分野を構想することができるだろう。基盤となるアイデアは、描画行為を「目的」と「扱われる表現」という2次元に分け、私的な目的、個人的、家族的、社会的目的という、自分を中心にして社会へ次第に広がって行く描画の目的にと、抽象的、具体的、記号的といった表現の形式を重ねてゆくものである。特に建築家などが4種類ほどのことになったタイプの描画を使い分けて行くことなどが、このマトリクスで理解することができる。今後、この「描画過程マトリクス研究」をさらに深めてゆくことになるだろう(研究代表:藤幡正樹、基盤研究(A)「『描画過程マトリクス』による描画行為の創造性研究」、平成22～24年)。

### § 3 研究実施体制

#### A. 東京藝術大学グループ

##### ① 研究参加者

|   | 氏名    | 所属     | 役職   | 担当する研究項目                            | 研究参加期間     |
|---|-------|--------|------|-------------------------------------|------------|
| ○ | 藤幡正樹  | 映像研究科  | 教授   | 研究代表                                | 16.10～22.3 |
|   | 佐藤一郎  | 美術学部   | 教授   | 絵画技法材料の提供                           | 16.10～22.3 |
|   | 桐山孝司  | 映像研究科  | 教授   | 評価支援                                | 20.4～22.3  |
|   | 松下計   | 美術学部   | 准教授  | デザイン情報                              | 16.10～22.3 |
|   | 長濱雅彦  | 美術学部   | 准教授  | デザイン情報                              | 16.10～22.3 |
|   | 桂英史   | 映像研究科  | 准教授  | 評価支援                                | 16.10～22.3 |
|   | 松井茂   | 映像研究科  | 特任講師 | 油絵描画ロボット、シミュレータ研究、線画描画ロボット、絵画制度分析研究 | 16.11～22.3 |
|   | 小町谷圭  | 映像研究科  | 非常勤  | 油絵描画ロボット、シミュレータ研究、線画描画ロボット、絵画制度分析研究 | 18.4～22.3  |
|   | 三浦高宏  | 映像研究科  | 非常勤  | 油絵描画ロボット、シミュレータ研究、線画描画ロボット、絵画制度分析研究 | 19.8～22.3  |
|   | 齋藤達也  | 映像研究科  | 非常勤  | 油絵描画ロボット、シミュレータ研究、線画描画ロボット、絵画制度分析研究 | 18.11～22.3 |
|   | 越田乃梨子 | 映像研究科  | 非常勤  | 油絵描画ロボット、シミュレータ研究、線画描画ロボット、絵画制度分析研究 | 20.4～22.3  |
|   | 渡辺水季  | 映像研究科  | 非常勤  | 油絵描画ロボット、シミュレータ研究、線画描画ロボット、絵画制度分析研究 | 20.4～22.3  |
|   | 鈴木啓正  | 映像研究科  | 非常勤  | 油絵描画ロボット、シミュレータ研究、線画描画ロボット、絵画制度分析研究 | 20.9～22.3  |
|   | 村上華子  | 映像研究科  | 研究補助 | 油絵描画ロボット、シミュレータ研究、線画描画ロボット、絵画制度分析研究 | 21.2～22.3  |
|   | 近藤邦雄  | 東京工科大学 | 教授   | デザイン支援システム                          | 19.4～22.3  |
|   | 米山孝史  | 九州大学   | D2   | 画像描画解析と生成                           | 19.4～22.3  |
|   | 森永泰弘  | 映像研究科  | D3   | 油絵描画ロボット、シミュレータ研究、線画描画ロボット、絵画制度分析研  | 21.4～22.3  |

|  |       |       |        |                                     |            |
|--|-------|-------|--------|-------------------------------------|------------|
|  |       |       |        | 究                                   |            |
|  | 馬定延   | 映像研究科 | D2     | 油絵描画ロボット、シミュレータ研究、線画描画ロボット、絵画制度分析研究 | 20.4～22.3  |
|  | 齋藤重矢  | 映像研究科 | 非常勤    | 油絵描画ロボット、シミュレータ研究、線画描画ロボット、絵画制度分析研究 | 20.4～22.3  |
|  | 津田道子  | 映像研究科 | D2     | 油絵描画ロボット、シミュレータ研究、線画描画ロボット、絵画制度分析研究 | 20.4～21.11 |
|  | 津田やよい | 美術学部  | 助手(専任) | 油絵描画ロボット、シミュレータ研究、線画描画ロボット、絵画制度分析研究 | 18.4～21.3  |
|  | 祐川良子  | 映像研究科 | 非常勤    | 油絵描画ロボット、シミュレータ研究、線画描画ロボット、絵画制度分析研究 | 20.4～20.6  |
|  | 毛利悠子  | 映像研究科 | 非常勤    | 油絵描画ロボット、シミュレータ研究、線画描画ロボット、絵画制度分析研究 | 18.4～20.3  |
|  | 川崎昌平  | 映像研究科 | 非常勤    | 油絵描画ロボット、シミュレータ研究、線画描画ロボット、絵画制度分析研究 | 18.4～19.3  |
|  | 松田一聡  | 美術学部  | 助手(専任) | 研究補助                                | 18.4～19.3  |
|  | 石橋素   | 美術学部  | 非常勤    | 研究補助                                | 16.11～18.3 |

## ②研究項目

### 油絵描画ロボット、シミュレータ研究、線画描画ロボット、絵画制度分析研究

人はなぜ絵を描くのか、という疑問から、絵を描くプロセスに注目し、油絵の描画プロセスにおける画家の技法・媒体をシミュレーションおよび絵画制作過程を言語化することにより描画ロボットの開発を進め、デジタルメディアを基盤とする新しい表現の可能性に関する研究を行う。

## B. 東京大学グループ

### ① 研究参加者

|   | 氏名   | 所属   | 役職 | 担当する研究項目 | 研究参加期間     |
|---|------|------|----|----------|------------|
| ○ | 池内克史 | 東京大学 | 教授 | グループ統括   | 16.10～22.3 |
|   | 工藤俊亮 | 東京大学 | 特任 | 動きの生成    | 16.10～22.3 |

|  |                          |               |       |              |           |
|--|--------------------------|---------------|-------|--------------|-----------|
|  |                          |               | 助教    |              |           |
|  | 宮崎大輔                     | 東京大学          | 特任助教  | 色情報解析        | 20.4～22.3 |
|  | 川上玲                      | 東京大学          | 特任助教  | 入力画像の解析、評価支援 | 17.4～22.3 |
|  | 影澤政隆                     | 東京大学          | 助教    | 入力画像の解析      | 19.4～22.3 |
|  | 中岡慎一郎                    | (独)産業技術総合研究所  | 研究員   | 動きの生成        | 17.4～22.3 |
|  | シヤマモホッタ                  | 東京大学          | D3    | プログラム開発      | 17.4～22.3 |
|  | 小野晋太郎                    | 東京大学          | D3    | プログラム開発      | 17.4～22.3 |
|  | 白鳥貴亮                     | カーネギーメロン大学    | 博士研究員 | 動きの生成        | 17.4～22.3 |
|  | 猪狩壮文                     | 東京大学          | D3    | 入力画像の解析      | 17.4～22.3 |
|  | 角田哲也                     | 東京大学          | D3    | 3次元モデルの生成    | 17.4～22.3 |
|  | 佐藤啓宏                     | 東京大学          | 研究補助員 | プログラム開発      | 17.4～22.3 |
|  | 高松淳                      | 奈良先端科学技術大学院大学 | 准教授   | 動きの生成        | 18.4～22.3 |
|  | J.H.Manoj Vincent Perera | 東京大学          | D3    | 動きの生成        | 18.4～22.3 |
|  | Bjoern Rennhak           | 東京大学          | D1    | 動きの生成        | 20.4～22.3 |
|  | 肥後智昭                     | 東京大学          | D1    | 色情報の解析       | 20.4～22.3 |
|  | Phongtharin Vinayavekhin | 東京大学          | M2    | ロボットによる操り    | 20.4～22.3 |
|  | 梁智炫                      | 東京大学          | M1    | 構図解析         | 20.4～22.3 |
|  | 大藏苑子                     | 東京大学          | M2    | 色情報の解析       | 20.4～21.3 |
|  | MitiRuchanurucks         | 東京大学          |       | 動きの生成        | 17.4～20.3 |
|  | 小川原光一                    | 東京大学          |       | 仕草の解析、設計     | 17.4～19.3 |
|  | 宮崎麻衣子                    | 東京大学          | M2    | 動きの生成        | 18.4～19.3 |
|  | 塩田一貴                     | 東京大学          | M2    | 3次元モデルの生成    | 18.4～19.3 |
|  | 李曉路                      | 東京大学          | M2    | 3次元モデルの生成    | 17.4～18.3 |

## ②研究項目

**3次元モデルの生成、色情報解析、動きの生成、構図解析、仕草の解析、設計、入力画像の解析、プログラム開発、ロボットによる操り**

油絵描画プロセスから絵を描く手順、手法の基礎的データの抽出を行い、技法を言語化しインプリメントすることにより、一連の文書によって描画を行うロボットに関する研究を行う。

## C.東京工業大学

① 研究参加者

|   | 氏名                   | 所属          | 役職    | 担当する研究項目         | 研究参加期間     |
|---|----------------------|-------------|-------|------------------|------------|
| ○ | 中嶋正之                 | 情報理工学研究科    | 教授    | 研究マネジメント         | 16.10～22.3 |
|   | 齋藤豪                  | 情報理工学研究科    | 准教授   | シミュレータの開発        | 16.10～22.3 |
|   | 内川恵二                 | 大学院総合理工学研究科 | 教授    | 色計算の助言           | 16.10～22.3 |
|   | 張英夏                  | 情報理工学研究科    | 助教    | 発色評価             | 16.10～22.3 |
|   | 京田文人                 | 情報理工学研究科    | RA D4 | インタフェース設計補助      | 17.6～22.3  |
|   | 小野純明                 | 情報理工学研究科    | RA M1 | シミュレータの開発        | 21.4～22.3  |
|   | 秋山純哉                 | 情報理工学研究科    | RA M1 | シミュレータの開発        | 21.4～22.3  |
|   | 篠山範明                 | 情報理工学研究科    | RA M2 | 形状モデリング          | 20.7～22.3  |
|   | 小山 温史                | 情報理工学研究科    | M1    | 描画分析補助           | 20.4～21.3  |
|   | 齋藤 峻                 | 情報理工学研究科    | M1    | シミュレータ設計補助       | 20.4～21.3  |
|   | Andre Alexis Nicolas | 情報理工学研究科    | RA D5 | 描画分析補助           | 19.4～21.9  |
|   | 所 秀治                 | 情報理工学研究科    | M2    | 描画分析補助           | 19.4～21.3  |
|   | 伊藤由花                 | 情報理工学研究科    | M2    | シミュレータ設計補助       | 19.4～21.3  |
|   | 鈴木 和明                | 情報理工学研究科    | D3    | 描画分析補助           | 18.10～21.3 |
|   | 島哲生                  | 情報理工学研究科    | D3    | シミュレータ設計補助       | 17.6～21.3  |
|   | 坂本 良太                | 情報理工学研究科    | 既卒    | 描画分析補助           | 18.10～20.3 |
|   | 岡村 光展                | 情報理工学研究科    | 既卒    | 描画分析補助           | 18.10～20.3 |
|   | 岡部雄太                 | 情報理工学研究科    | 既卒    | シミュレータ設計補助       | 17.6～20.3  |
|   | 山田 英樹                | 情報理工学研究科    | 既卒    | シミュレータ設計補助       | 18.10～19.3 |
|   | 窪田 潤                 | 情報理工学研究科    | 既卒    | シミュレータ設計補助       | 18.10～19.3 |
|   | 瀬川かおり                | 大学院総合理工学研究科 | ポスドク  | シミュレータ設計補助       | 17.1～19.3  |
|   | 安田浩志                 | 情報理工学研究科    | 既卒    | インタフェースについての調査研究 | 17.6～18.3  |
|   | 周藤一浩                 | 情報理工学研究科    | 既卒    | 顔料測定のための調査研究     | 17.6～18.3  |



|  |      |          |    |                  |           |
|--|------|----------|----|------------------|-----------|
|  | 渡部智之 | 情報理工学研究科 | 既卒 | インタフェースについての調査研究 | 17.6～18.3 |
|--|------|----------|----|------------------|-----------|

## ②研究項目

色計算の助言、インタフェースについての調査研究、顔料測定のための調査研究、形状モデリング、シミュレータ設計補助、シミュレータの開発、発色評価、描画分析補助

油絵に着目し、画像出力としてのキャンバスに画布、絵の具、筆などの媒体素材をコンピュータ上でシミュレーションするために必要な物理特性の評価と絵画技量の効果についての研究をおこなう。

## C. 埼玉大学

### ①研究参加者

|   | 氏名    | 所属   | 役職  | 担当する研究項目   | 研究参加期間     |
|---|-------|------|-----|------------|------------|
| ○ | 近藤邦雄  | 埼玉大学 | 助教授 | デザイン支援システム | 16.10～19.3 |
|   | 米山孝史  | 埼玉大学 | D2  | 画像描画解析と生成  | 17.4～19.3  |
|   | 宇波由紀子 | 埼玉大学 | D2  | 画像生成       | 17.4～19.3  |
|   | 栗山 仁  | 埼玉大学 | D2  | 画像解析       | 17.4～19.3  |
|   | 大林 正一 | 埼玉大学 | D2  | 動画表現       | 17.4～19.3  |
|   | 黄檗雅也  | 埼玉大学 | D1  | 動画表現       | 17.4～19.3  |
|   | 舘野 圭  | 埼玉大学 | D1  | スケッチモデリング  | 17.4～19.3  |

## ②研究項目

デザイン支援システム、画像描画解析と生成、画像生成、画像解析、動画表現、スケッチモデリング

グラフィックデザイナーの情報整理の思考過程に注目したレイアウトを行う作業過程を研究するために必要な、デザイン支援システムに関する研究を行とともに、芸術系と工学系の情報交流を進める。

## D. 近畿大学

### ①研究参加者

|   | 氏名    | 所属        | 役職        | 担当する研究項目                   | 研究参加期間     |
|---|-------|-----------|-----------|----------------------------|------------|
| ○ | 岡崎乾二郎 | 国際人文科学研究所 | 教授        | 研究代表                       | 18.10～22.3 |
|   | 鈴木満雄  | 国際人文科学研究所 | 非常勤       | ロボット製作                     | 19.4～22.3  |
|   | 木原進   | 国際人文科学研究所 | CREST 研究員 | 絵画制度分析、ロボット製作、ロボット制御システム構築 | 18.10～22.3 |

|  |           |               |              |                                                       |            |
|--|-----------|---------------|--------------|-------------------------------------------------------|------------|
|  | 福井裕司      | 国際人文科学研究<br>所 | CREST<br>研究員 | ハードウェア・プログラム制<br>作、ロボット制御システム構<br>築、ロボット製作、絵画制度<br>分析 | 18.10～22.3 |
|  | 中村泰之      | 国際人文科学研究<br>所 | CREST<br>研究員 | アーカイブ・ネットワーク構<br>築、ロボット制御システム構<br>築、ロボット製作、絵画制度<br>分析 | 18.10～22.3 |
|  | 中井悠       | 国際人文科学研究<br>所 | CREST<br>研究員 | 絵画制度分析、ロボット製<br>作、ロボット制御システム構<br>築                    | 18.10～22.3 |
|  | 森本英裕      | 国際人文科学研究<br>所 | 非常勤          | 絵画制度分析                                                | 18.10～22.3 |
|  | 高嶋晋一      | 国際人文科学研究<br>所 | 非常勤          | 絵画制度分析                                                | 18.10～22.3 |
|  | 印牧雅子      | 国際人文科学研究<br>所 | 非常勤          | 絵画制度分析                                                | 18.10～22.3 |
|  | 福井裕司      | 国際人文科学研究<br>所 | CREST<br>研究員 | 絵画制度分析、ロボット製<br>作、ロボット制御システム構<br>築                    | 18.10～22.3 |
|  | 鈴木満雄      | 国際人文科学研究<br>所 | 研究補<br>助員    | 絵画制度分析、ロボット製<br>作、ロボット制御システム構<br>築                    | 19.4～22.3  |
|  | 川原康弘      | 国際人文科学研究<br>所 | 非常勤          | ロボット製作                                                | 19.4～22.3  |
|  | 西浜琢磨      | 国際人文科学研究<br>所 | 研究員          | 絵画制度分析                                                | 21.4～22.3  |
|  | 梶原あず<br>み | 国際人文科学研究<br>所 | 研究員          | 絵画制度分析                                                | 21.4～22.3  |
|  | 中山雄一<br>朗 | 国際人文科学研究<br>所 | 研究員          | 絵画制度分析                                                | 21.4～22.3  |
|  | 草刈思朗      | 国際人文科学研究<br>所 | CREST<br>研究員 | 絵画制度分析、ロボット製<br>作、ロボット制御システム構<br>築                    | 18.10～21.3 |
|  | 前田真里      | 国際人文科学研究<br>所 | 研究員          | 絵画制度分析                                                | 18.10～21.3 |
|  | 松本直樹      | 国際人文科学研究<br>所 | 非常勤          | 絵画制度分析                                                | 18.10～21.3 |

## ②研究項目

### アーカイブ・ネットワーク構築、絵画制度分析、ハードウェア・プログラム制作、ロボット制御システム構築、ロボット製作

人はなぜ絵を描くのか、という疑問から、絵を描くプロセスに注目し、絵画の描画プロセスにおける画家の技法・媒体をシミュレーションおよび絵画制作過程を言語化するデジタルメディアを基盤とする新しい表現の可能性に関する研究を行う。

## § 4 研究実施内容及び成果

### A. 東京芸術大学グループ デジタルメディアを基盤とした新しい芸術創造に関する研究

#### (1) 研究実施内容及び成果

本研究は、芸術系の表現者が研究代表者であること、デジタルメディアによって生まれる工学と芸術の融合地点を提案することに大きな特徴があった。

横断的な研究手法の提案自体がチャレンジでもあったため、東京藝術大学藤幡研究室の研究実施内容は、プロジェクト全体の推進に渡り、東京大学、東京工業大学、近畿大学、埼玉大学への芸術系の知見提供と情報共有、共同研究の成果集約に重点があった。そうしたコラボレーションは、以下の B～E の各解説を参照して欲しい。ここでは研究推進に付随して展開した「子供の描画行為に関するフィールドワーク」「描画過程マトリクス」に関する研究実施内容及び成果について報告する。

子供の描画行為の分析に関しては、チンパンジーとの比較研究を通じて、描画行為それ自体のプリミティブの解析をすすめた。これに付随して、実際の画家の描画行為のリサーチを行った。具体的には、近畿大学の岡崎乾二郎教授の作品制作過程に関して、本人の作品解説やインタビューから分析をすすめる機会を得た。また、人間の生活の中に現れる様々な描画行為の局面をリサーチすることも行った(東京大学名誉教授で建築家の香山壽夫氏へのインタビュー)。

こうした成果をもとに認知心理学、発達心理学、記号学等の専門家とのディスカッションを重ね、「描画過程マトリクス」を「描画過程研究会」(2008 年 3 月 31 日)に際して提案した。これは「描画行為」を、描画対象のあり方と、目的によって分類したものである。まず、対象を「具体物」「想像物」「記号」「不定形」、目的を「私的」「個人的」「共同体的」「社会的」と分けた。左から右への遷移は、内的で不明解なイメージが可視化されることで、他者と共有することのできる記号へと変化する様を示しているといえるだろう。これはイメージを通した、言語とは異なる、記号生成の過程と見ることができる。

「子供の描画行為に関するフィールドワーク」は、もともと描画に関するプログラムをロボットへ実装するための理論化を目的に始められた分析であり、それは本研究提案の段階で、研究代表者が有していた「なぜ、人は絵を描くのか？」に通底する研究の方法論の提案でもあった。これは、視覚文化全般についての研究手法として、絵画表現のみならず、漫画の効果線やアニメなど、新しい情報メディア技術による表現に関する本質的な研究手法として今後展開していくと考えてられる。前述したように、基盤研究(A)『「描画過程マトリクス」』による描画行為の創造性研究(平成 22～24 年)によって研究は継続される。

描画過程マトリクス:建築家の描画行為

|     | 私的  |                  | 個人的         |                  | 共同体          |                  | 社会的                       |                  |
|-----|-----|------------------|-------------|------------------|--------------|------------------|---------------------------|------------------|
| 具体物 | 描写的 | 模式的              | 描写的         | 模式的              | 描写的          | 模式的              | 描写的<br>竣工図<br>記号的         | 模式的<br>略図<br>抽象的 |
|     | 記号的 | 抽象的              | 記号的         | 抽象的              | 記号的          | 抽象的              | 完成後<br>図面、フロア案内図<br>ロゴ、壁紙 |                  |
| 想像物 | 描写的 | 模式的              | 描写的<br>スケッチ | 模式的<br>スケッチ      | 描写的<br>完成予想図 | 模式的<br>透視図、断面図など | 描写的<br>完成予想図              | 模式的<br>透視図、断面図など |
|     | 記号的 | 抽象的              | 記号的         | 抽象的              | 記号的          | 抽象的              | 記号的                       | 抽象的              |
| 記号  | 描写的 | 模式的              | 描写的         | 模式的              | 描写的          | 模式的              | 描写的                       | 模式的              |
|     | 記号的 | 抽象的              | 記号的         | 抽象的              | 記号的          | 抽象的              | 記号的                       | 抽象的              |
| 不定形 | 描写的 | 模式的              | 描写的         | 模式的              | 描写的          | 模式的              | 描写的                       | 模式的              |
|     | 記号的 | 抽象的<br>イメージ・スケッチ | 記号的         | 抽象的<br>イメージ・スケッチ | 記号的          | 抽象的              | 記号的                       | 抽象的              |

#### (2) 研究成果の今後期待される効果

「描画過程マトリクス」は、認知心理学、発達心理学、記号学の専門会などから多くの反響をもらっており、本研究プロジェクトの終了後も共同研究が継続される。描画過程研究という考え方は、作品の価値についての研究ではなく、描画の利用目的の研究であり、論文等の形での発表にはいた

っていないが、視覚イメージの利用という観点から、視覚情報コミュニケーションに関わるさまざまな分野にその研究領野は広がる可能性が高い。ロボットの実装は、東京藝術大学内でも引き続き、研究を続ける予定であり、同時に東京大学との研究においてもその一部は情報として共有されている。それ以外の今後に期待として述べれば、デジタルメディアを利用した美術教育、美術理論研究の革新に貢献できると考えている。

また東京藝術大学が中心になっている「共同研究成果のとりまとめ」として補足しておく、IROS2007、2008 でのワークショップ「Art & Robots」、予感研究所の関連で行った「ヒューマノイドはヒューマンになれるか？」をもとにした書籍の編集をすすめており、東京大学出版会から 2010 年に刊行される予定である。また、2010 年 1 月の「デジタル・オイル・ペインティング展」のキュレーションを行ったことから書籍化のオファーを受けている(詳細未定)。



デジタル・オイル・ペインティング展(2010 年 1 月 6 日～20 日 東京藝術大学大学美術館)

## B 東京大学グループ 油絵描画ロボットに関する研究

### (1) 研究実施内容及び成果

本研究では、「絵を描く」一連の動作をロボットにより実現することを目標とした。これは、たんにロボットをプリンタやプロッタのような出力装置として利用するということではなく、モチーフの観察、構図の決定、実際に筆を操作しての描画というすべての行為をロボットに実装するということであり、さらにそれらを実現するために、構図や描画に関する画家の知見を収集、モデル化する作業も必要となる。これらを整理すると、以下のような技術が必要となる。

#### 描画対象の観察

実際の画家は、描画対象を 3 次元の物体として認識しており、描画に際しては様々な角度からの見えを比較して最良の視線方向を決めたり、形状に関する知識を陰影の表現に生かしたりしている。本研究でも描画対象を 3 次元に捉えるシステムの構築が必要となる。

#### 構図の決定

絵画においては、必ずしも写真のような意味での「写実性」をもとめられるとは限らない。構図の

決定(視線、配置、色彩の選択など)に際しては、絵画特有の表現技法が存在するはずである。それらを画家の描画行為を解析することにより抽出・モデル化する必要がある。

### ロボットによる描画の実現

実際にカメラシステムとロボットアーム、多指ハンドを装備したロボットを用いて、筆を把持し、キャンバス上に描画を行うシステムの開発が必要である。

これらを実現するために、当初、以下のように研究を推進するよう計画した。まず平成 17～18 年度で線画に関し、描画ロボットの開発を行う。これは、物体を観察しその特徴をもっとも簡潔な輪郭で表現するという点において、もっともシンプルでありつつ、上記の描画行為の要素をすべて含んでいるため、当初の目標として相応しいと考えられる。

平成 17 年度は、描画ロボット開発のための基礎的な研究として、人間の操り動作や道具の状態を記述するための手法に関し研究を行う。タスクモデルに基づく人間行動観察学習の枠組に基づいて、全身動作、視線からの意図の推定、操り動作など様々なレベルでの人間の動作記述の手法を提案する。

特に人間行動観察学習パラダイムに基づく作業理解に重点を置き、人間の視線を元に作業の意図を理解するシステムを開発[29]、柔軟物体の状態変化をタスクモデルを用いて記述する手法の開発[24]、全身動作を最適化計算を用いて生成する手法の開発[7,25,27,60,71]などを行った。

平成 18 年度は、基本的なロボットプラットフォームの制作を行う。ここでは描画行為(観察、構図、描画の一連の行為)を可能とするシステムを開発する。目の前に置かれたモチーフを観察し、そこから特徴となる輪郭を抽出し、それを実際に絵筆を用いて描画するロボットを制作することがここの目標となる。

基本的なロボットプラットフォームの構築を行った。モチーフを 3 次元的に観察する手法、三次元モデルを特徴的な輪郭線により抽象化する手法、筆の把持やそれを可能にする新たなロボットアームの制御手法の開発などを行い、線画を描画する一連の動作を行うロボットシステムを実現した[6,62,68,72]。このシステムは、日本科学未来館で催された「予感研究所」において、実際にデモ展示された。

平成 19 年度以降は、このロボットプラットフォームの各要素を充実・発展させるかたちで絵画の研究を行った。必要な要素として、以下のものが挙げられる。まずは線画から塗りへの展開である。どのようなストロークによって塗りを実現するか画家の知見を元にモデル化する。次に構図の技術のモデル化である。構図には、幾何学的な側面と光学的な側面がある。幾何学的側面としては、どのように描画対象を配置するか注目する。光学的側面としては、モチーフをどのような色で描くかに注目する。いずれの場合も、画家の知見を収集する実験を行いそれを元に画家の技法をモデル化する。最後に筆の操りの精緻化がある。筆は筆先が柔軟物であるという特徴があり、描画に際してどのようなタッチの線を描くかに応じて把持や操りの方法を変化させる必要がある。状況に応じて相応しい線を描画できるようシステムの開発を行う。

描画行為(モチーフの観察を含む)を全身動作として捉え、画家の描画に関する技術を解析するために、ステレオ視を用いた全身動作取得システムの開発を行った。その過程で、人間の全身動作に関する興味深い知見が得られたため、さらに研究を進めた。

ひとつは動作と時間(タイミング)との関係であり、動作とそれを行うタイミングを同時に考慮することによって、人間の動作をより詳細にモデル化(あるいはロボットにより再現)する研究を行った。

もうひとつは、人間動作の記述に関するもので、人間の動作に対し適切な次元圧縮を行うことによって、3次元程度の低次元空間を用いても十分に個々の動作の特徴を残して記述可能な方法の開発を行った。これらの研究では、描画行動のみにとどまらず、舞踊動作などを含むより一般的な芸術表現行動に適用可能な手法である。

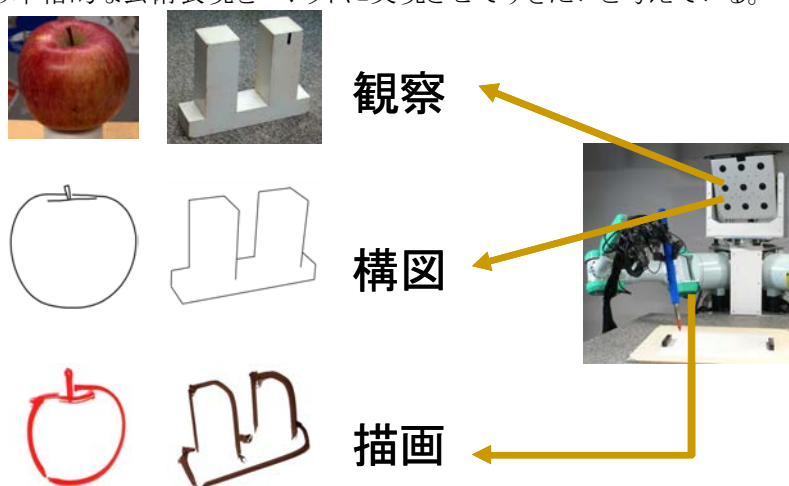
基本システムの拡張として、塗りのストローク生成手法の開発[55,56,63]や、画家の構図生成(幾何的・光学的)の手法のモデル化を行った[41,42,46]。また状況に応じた筆の適切な把持の実現するために、筆の持替に向けた研究を実施した。ここでは人間の複雑な把持を適切に観察・理解するための具体的な枠組を提案した[39,47]。また人間の全身動作を簡易に得るためのステレオ視を用いた動作取得手法の提案[54]を行った。この研究により得られた新たな知見を生かし、平

成 19 年度以降、動作と時間（タイミング）の関係に注目した動作理解手法の構築 [9,19,26,48,58,61,63,67,73,74] や次元圧縮により効果的な人間行動の記述手法の開発 [8,49,57,70] が行われた。さらにロボットをより容易に制御するためのファイルシステムベースの制御システムの構築も行った[40]。

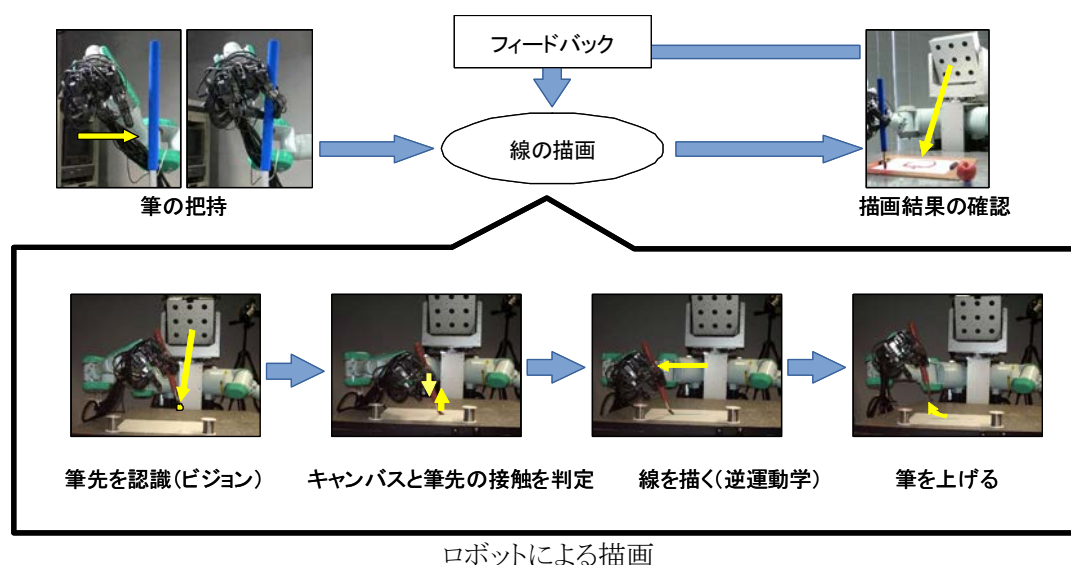
## (2) 研究成果の今後期待される効果

平成 19 年度と平成 20 年度は、ロボット研究における世界最大の国際会議である IROS において、ロボットによる芸術表現に関心を持つ内外の研究者によるワークショップを開催した。その中で本研究で開発した描画ロボットを紹介し、意見交換などを行った[46,59]。

これまでの研究を通して、当初計画で予定していた、描画対象の観察、構図の決定、ロボットによる描画を一連のものとして実現するロボットは実現された。しかし研究を進める中で、実際の画家の描画においては、これら 3 つの要素は独立して順に実行されるものというよりは、描きつつある絵を観察しながら描画構想自体をしたいに変化させてゆくというように、よりダイナミックな関係として機能していることが明らかになってきた。今後は、このようなダイナミックな関係を各要素に持たせることによって、より本格的な芸術表現をロボットに実現させてゆきたいと考えている。

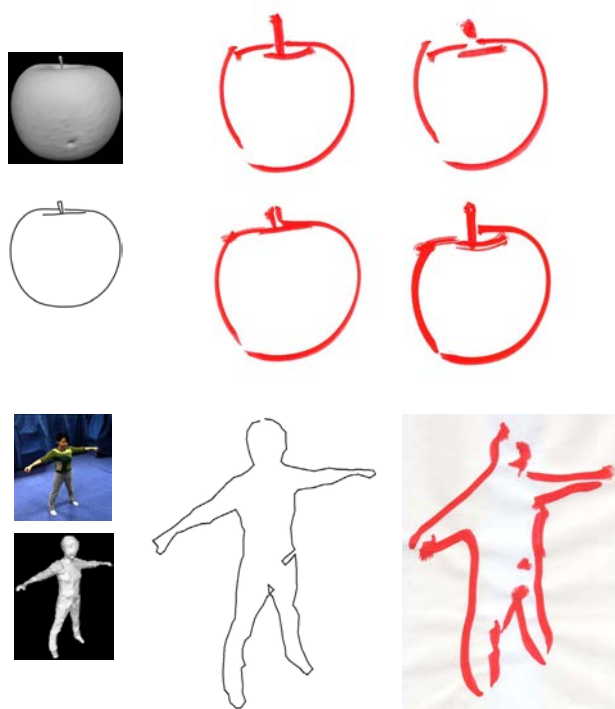


描画ロボットの概要（観察，構図，描画のすべてを行う）

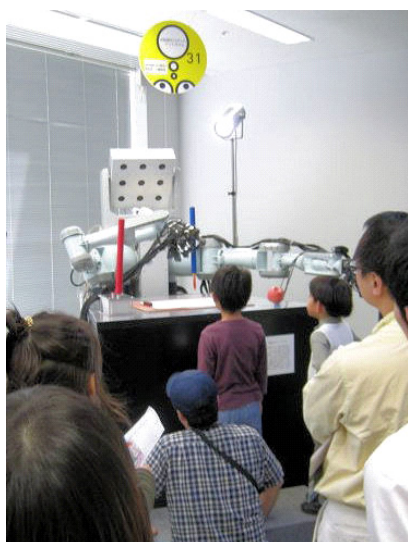


ロボットによる描画





描画結果(3次元モデル, 抽出された特徴線, 描画結果)



日本科学未来館での一般公開デモの様子

## C 東京工業大学 油絵の描画シミュレーションに関する研究

### (1) 研究実施内容及び成果

描画過程の記録分析を目標とし、記録を行うための描画環境「油画描画シミュレータ」の構築と分析を行うための視覚処理モデル、仮説検証アルゴリズムの研究を行った。

#### 油絵描画シミュレータ

東京藝術大学技法材料研究室の協力により油絵具の画材に必要な機能について必要な知見を得ることができ、それに基づく画材のソフトウェア設計ができた。さらに、実際の絵具の光学的特性を計測する手法を開発し、その絵具を油絵描画シミュレータで利用可能とした。これらの結果として、物質感のある画材を計算機上に作り出すことに成功し、東京藝術大学美術館で 14 日間にわたって開催された展覧会「デジタル・オイル・ペインティング展」においても、多くの芸術表現系の研究者から、従来にない描画環境として認識され、市販化の声も多く寄せられた。

計算機上での描画システムの有益な点について言及しておきたい。

まず、仮想的な画材には物質的な制約が存在しないことが挙げられる。例えば、現実世界ではたとえ素晴らしい発色特性も持っていたとしても化学的に安定しない顔料は絵具の顔料には使用できない。また、鮮やかで安定している顔料であっても有毒物質であれば、世界的に生産が禁止される傾向にある。しかし、計算機上の仮想絵具については世の中に存在しない色も創り出すことができる。また、乾燥にかかる時間や絵具の粘性も自由に操作することができる。これらは、従来の延長として創作活動の自由度を高められるという利点である。

つぎに、計算機上での描画記録の利用が挙げられる。画家にとって、記録された描画過程を編集、修正、複製することは、新たなパラダイムになるかもしれない。例えば、ある画家によって記録された描画過程が時空感を越えて、他の画家たちによって編集されたり修正されるといったことが可能になる。これは、新たな共同制作の形となるかもしれない。また、入門者にとっては、記録された描画過程は描画技術を習うための教育的素材になるだろう。

また、デジタルメディアとの融合が容易である点が挙げられる。始めから計算機上で描画を行っていれば、カラーマッチングの問題は回避が容易である。制作された絵画がデジタル素材として、2 次利用される機会も増えるであろう。

以下に「油画描画シミュレータ」に関して解説をする。

#### シミュレータの基本設計

実世界での描画では画材の選択から運筆に至るまで、多様な自由度が存在する。しかし現在実用化されている描画ソフトウェアでは、入力から処理に至るすべてが単純化されすぎており、表現の多様性に乏しい。しかし、現実の画材を複雑にモデル化するだけでは、闇雲に計算コストが増大し、また現実の画材の限界を越えることができない。

本シミュレータの設計方針は画材そのものをモデル化するというよりも、むしろその特性を検討してモデル化することと定め、その結果、筆致 1 本 1 本の表現力を高め、それにより画家が描画できる幅を広げることを目標とする。

シミュレータは合計 4 つのモジュールから構成する。以下各モジュールについて説明を行う。

#### 筆モジュール

本モジュールでは、運筆により生じる筆致の多様性を生み出すため、入力装置からの位置 (2)、筆圧 (1)、傾き (2)、ひねり (1) の 6 データはまず絵筆の柄の姿勢に反映され、三次元の毛の房の変形形状がその姿勢とキャンバスとの接触の関係から動的に計算される (図 1)。さらにその結果から、接地面の形状、筆圧分布を図 2 のように逐次生成し、筆とキャンバス間での絵具の授受に多様性を生み出すことを可能としている。

また、毛管現象により内包する絵具と表層に付着しキャンバス面と接触する絵具が重層構造のテクスチャデータにより表現され、筆内部の絵具の移動が考慮されている。

これらにより生み出される筆致の特徴的な 2 つの例が図 3 である。左は少量の絵具で描いたもの



で、筆圧分布の偏りが、かすれ方に反映されている。右は多量の絵具で描いたもので筆致に凹凸を生じさせることに成功している。

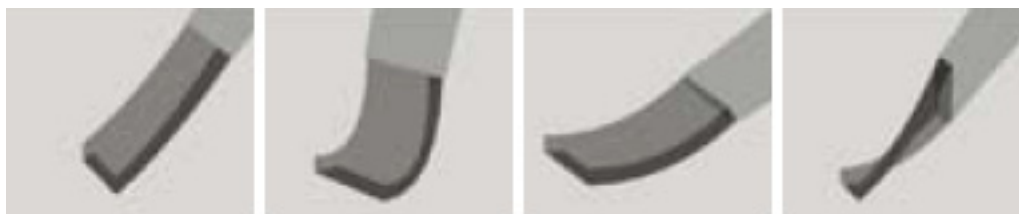


図 1 変形する 3 次元筆形状



図 2 多様性のある圧力分布



図 3 特徴的な筆致の例

### 版画版モジュール

本モジュールはカラー画像の各画素の色を絵具情報に変換してキャンバスに乗せるための処理を行う。絵具の色以外にも、厚みや、オイルの比率、隠蔽力など必要な情報は画像ファイルを読み込ませることで各画素に独立に設定できる。色情報からスペクトルへ変換し、それを絵具内部の散乱率、吸収率の値へ変換することで、絵具顔料の係数を決定する。この版画版の機能を用いることで、写真の 1 画素 1 画素を絵具に置き換えることが可能となる。

本モジュールによりキャンバス上に乗せられた絵具は、筆により乗せた絵具と同様に、濡れた上に重ねることで混合混色することも、乾いた上に重ねることで、積層混色することも可能である。これらの混色は色を絵具に変換してから行われるため、現在描画ソフトウェアで広く用いられているレイヤー処理とは異なった絵具の混色を実現できている。

「デジタル・オイル・ペインティング」展ではモナリザの描画過程を追う展示の作成に活躍している。

### キャンバスモジュール

ここでは名をキャンバスモジュールとしているが、対象を布と限定しているわけではなく、表面の凹凸を表す高さデータを画像として用意できれば、それを描画面の初期状態とすることができる。従って木板を地とするようなことも可能である。

高さ情報は本シミュレータの表現力を高めるための重要な要素である。まず、筆との接触判定に用いられ、凹んだところよりも高いところに絵具を着きやすくしている。また、新たに付着した絵具の量により更新され、塗り重ねて描いた際の複雑な絵肌を生じさせることに役立っている(図 4-a)。また高さ情報から、凹凸により生じる表面の不均一な法線方向が計算されるが、この情報は艶を表す反射計算と絵具が流れて広がる際の移動判定に用いられる。また、濡れた絵具の移流計算では表面の凹凸が均一になるように液体が移動するので、凹みに絵具がたまる効果も生み出す。

本モジュールは、濡れた絵具の移流計算も行う。濡れた絵具のキャンバス上での挙動は単純な拡散によるものから(図 4-b)、重力による流れ、表面張力の影響を考慮した滴り(図 4-c)まであり、これらを効率的なデータ構造と計算方法により実現することで、高解像度のキャンバス領域を提供することを可能としている。

また、乾燥処理も本モジュールが行っており、一瞬で完全に乾かすことも、全く乾燥させないこと

も、乾燥速度を設定して生乾きの状況を作り出すことも可能である。これは現実の油絵描画で必要となる乾燥に関する工程と比べ、計算機上での描画ならではの特長である。

また、乾燥を行うことにより油絵具に特徴的な積層が作り出されるが、その積層情報を保持するのも本モジュールである。

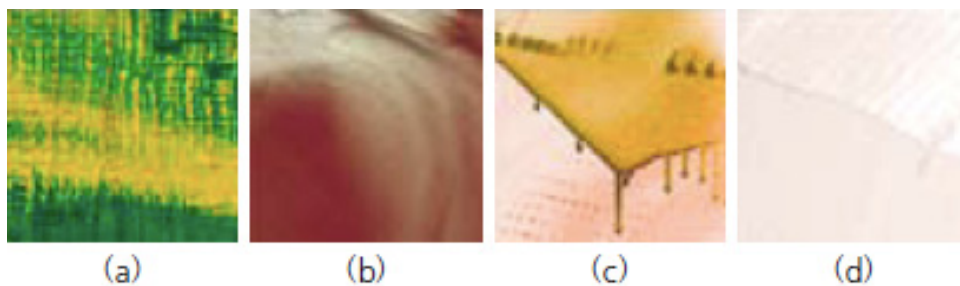


図 4 力学、光学特性を考慮することで生み出される効果



図 5 厚みにより発色の変化する絵具



図 6 異なった着色力による混合混色

### 光線モジュール

絵具の発色、質感は絵具内部の散乱吸収と表面反射により生じる。本モジュールは、これらをそれぞれ計算し加算することで、キャンバスの各画素の反射光を計算する。

表面反射は絵具の微視的な平滑性により変わり、揮発油を多く含んだメディウムが乾燥した後は顔料粒子が表面の凹凸作り出す場合には艶を生じず、乾性油を多く含んだメディウムが乾燥した後は平滑な表面が艶を生じる。この特性を考慮し、キャンバス上の絵具のメディウム情報から艶の度合いを計算し、仮想的な光源位置と視点位置、画素の法線方向から表面反射の強度を計算することで艶を表現する。図 4-d は異なる艶の表現を行った例である。

絵具内部の散乱吸収はより複雑な光学現象である。実際には顔料粒子の大きさ、形、透過率、メディウムと顔料の屈折率係数が関与し、さらに混色となれば、種々の顔料の分布の仕方も影響を与える。そこで、可視光のスペクトルを視覚特性に適するように標本化し、それぞれの吸収係数と散乱係数を定義し、さらに混合混色時の色の強さを制御する着色力係数も定義することで絵具の顔料を特徴付けることとした。これらの係数を使い、混合混色、積層混色の発色計算を行うことができる。図 4-a は黄色の下地の刷毛目に緑の絵具が入り込んで作られた効果であるが、緑の色に濃淡があるのは層の厚みに応じた積層混色が行われているからである。図 4-c で滴の先端の色が濃いのも同様に厚みがあることが反映されている結果である。図 4-b は混合混色の結果生じる淡い濃淡が生み出されている結果である。

さて、絵具の特徴付ける係数の決定方法についてであるが、これには 3 つの方法を用意している。画家が絵具の特性を設計できるユーザーインターフェイスを操作する方法、版画版モジュールに組み込まれている画像から決定する方法、実際の絵具を計測することで係数を導出する方法である。

ここで、本シミュレータの特徴的な絵具の発色について示す。図 5 の色見本はユーザーインターフェイスを操作することで作り出された絵具の例であり、厚く塗られた頭色から、薄く塗られた足色に向かって発色がどのように変化するかを表現したものである。現実の絵具では物質的制約から作ることがまず困難である色相が大きく変化する階調を持つものも定義が可能であることが分かる。

図 6 は白絵具に対して、ユーザーインターフェイスにより着色力を変化させた青色の絵具を混ぜた時の混色結果である。左から右に白の比率が上がり、上から下に着色力を上げている。現実の絵具では着色力はこれほどまでに単独で制御できず、隠蔽力と強い相関を持つのであるが、本シミュレータでは容易に望んだ特性を定義可能である。



## 作業環境

図7は、本システムの操作風景である。パソコンにWacomのペンタブレット装置が接続されており、ペンの水平位置座標、筆圧、傾き方向と角度、ひねり角度の6つの状態データが逐次入力される。これを仮想環境の筆の姿勢に当てはめることで、筆の房の接地形状を直感的に制御できる仕組みを画家に提供している。

図8は様々な絵肌を試みてもらった習作の1例である。絵具の力学的特性から来る物質性と艶や混色による質感が筆跡も相まってよく表れている。



図7 描画風景



図8 絵肌

## 視覚処理モデル、仮説検証アルゴリズム

シミュレータと並行してそこで記録されるであろうデータを分析するために、人の視覚処理に関するモデル、視覚情報から表現へと変換するマッピングの仮説検証アルゴリズムの研究も行った。画像処理で最も基礎的な微分フィルタ、画像中の線群の分類、T字結合する線情報からの前後関係検出、Necker cubeの特性を利用した二次元からの奥行き推定、色のカテゴリーカル分類法を用いた画像処理、

記憶とスケッチ描画の関係に基づく補完、運筆技法とストローク形状の分離をテーマとしたものであり、それぞれ得られた成果があった。

### (2) 研究成果の今後期待される効果

本油画描画シミュレータは、計算効率の良い柔軟な筆モデル、移流及び光学シミュレーションの両方を行っている絵具モデルを備えており、従来手法に比べより素材感のある画材の提供を可能としている。また、画家自らにより、現実世界には存在しない新たな絵具を設計し利用することも可能である。これらにより本シミュレータは実際の画材を越えた表現まで踏み出す可能性を秘めている。「デジタル・オイル・ペインティング」展開催にあたり、画家の視点で絵具を掘り下げられたことで本シミュレータの完成度を高めることができたことはとても幸運なことであった。今後は更なる画材モデルの研究開発と並行して、本シミュレータの開発のきっかけとなった描画過程の記録分析法に関して研究を進める予定である。

画材の支持体や、描画表面の高分解形状計測に有効な手法研究の成果も上げることができたが、それを用いて計測した画布や実際の絵画の表面データの描画環境への利用は今後の課題となった。当初計画していた記録分析に関しては筆運びの記録再生の仕組みの用意をし、最長6時間半の描画を記録し、画家による分析ツールとしては一定の成果を上げることができたが、工学的な分析のための処理等について、視覚処理モデル、仮説検証アルゴリズムから得られた知見との統合は今後の研究課題である。



デジタル・オイル・ペインティング展(2010年1月6日～20日 東京藝術大学大学美術館)

## D 近畿大学グループ デジタルメディアを基盤とした新しい芸術創造に関する研究

### (1) 研究実施内容及び成果

制作プロセスと知覚プロセスの相互作用としてメディアを考察すること。「なぜ、人は絵を描くのか？」をテーマとして掲げた、われわれ研究チームの共通コンセプトは制作プロセスと知覚プロセスの相互作用としてメディアを考察することであった。すなわちデジタルメディアと従来の美術表現の影響関係をその生産物＝出力形態(ピクチャーイメージ)の比較ではなく、その制作プロセスと知覚プロセスのズレを含んだ相互関係、およびフィードバックに焦点を当て、研究しようとしたことにこの研究計画の重要性、特異性があった。

表現＝メディアとはそれを使う身体自体の構築を当然含んでいる。それは絵画知覚が単なる画像だけではなく、それが描かれた制作プロセス自体の把握を含んでいたことにも端的に示されている。こうした絵画表現に含まれる素材や身体所作と関連した統合的なイメージ把握＝表現構造は新しいメディアの中にどのように組み込まれるのか？ デジタルメディアにおける芸術表現をこうした素材の抵抗、身体行為を含んだプロセスとして捉え直すことで、デジタルメディアと人間の原初的な描画行為を結びつける基礎的な理論を抽出することが目指された。それは次の2点に集約される。

(A) 研究全体を支える理論的土台を構築する研究として、制作プロセスと知覚プロセスの統合する(および視覚、聴覚、運動をイメージとして統合する)メディアとしての芸術表現史の再検証。その現れとしての、美術、音楽、建築、文学、身体芸術諸ジャンル＝メディアの編纂、展開の歴史的検証。この展開を内的に構造づける、表現理論および、それと対応した表現技術およびコンテンツの展開の歴史の再検証。

(B) 以上にもとづいた視覚、聴覚、運動感覚、触覚、言語などの諸感覚の統合(共感覚)の条件としてのメディアの実践的探求と実験。

(A)(B)において得られた視点、すなわち諸感覚の差異あるいは複数、異種の情報をどのように統合するか、という視点における表現メディアの歴史考察および実証は、それが統覚(人の意志とよばれるもの)をいかに定位するかという問題と平行していることを自覚させることになった。統覚とは制作プロセスと知覚プロセスが重ね合わされる、その方向(運動)自体であり、そこでこそ確保される。従って、こうしたメディアを通じた、知覚の統合条件の探求は、そのまま「創造はいかになされるか?」「自由意志はいかに生まれるか」つまり人工知能(あるいは魂)の成立条件の探求へ繋がらざるをえない。いわば「メディアとしてのロボット(身体的な分散性に基礎づけられる人工知能)の研究」、この新たな研究目標は(先験的に魂があるというわけではなく)、メディア(統合形式)が、知能の様態、形式をいかに規定し、安定させ発生させるか、という視点に基づく。

したがって研究後期においては、さらに制作プロセス＝メディアに含まれた時間プロセス自体が、作品構造に組み込まれる創造性の核心となる、という視点をもとに、自由意志(創造性)の把握、分析に研究は展開することとなった。これはいわゆる人工知能とよばれる問題群とも交差する。具体的には、知覚表現を統合するメディア(その起源は絵画の起源である、ピグマリオン伝説やディプタデス伝説に遡れる)としてのロボット研究へ対象領域が移行することとなった。

### (2) 研究成果の今後期待される効果

(A) については、絵画さらには芸術表現の歴史を、スタティックな成果物の同一性(美術においては画像＝ピクチャーイメージ)ではなく、身体を介した時間的な運動＝制作プロセスが生み出す意味構造として、可能な限り歴史的および領域横断的に幅広く関連資料を狩猟しつつ、構造解析を行ない分析した。

最終年度は、そのまとめとして、諸ジャンル、諸感覚、さらに複数の制作プロセスと知覚プロセスを束ねるメタメディア構築の歴史的事例の元型として、ブルネレスキ(1377～1446)の方法(制作はマサッチオほか)によるブランカッチ礼拝堂壁画の制作プロセス(および知覚プロセス)の再現をこころみ、音楽、絵画、建築、思考がいかに離れた時間、空間を乗り越え、組織されえたか、を実証した。

(B) については、諸感覚の統合は出力プロセスではなく、いまだ作品が完成していない(つまり作



品の総体が目に見えない、耳に聞こえない)段階にある制作プロセス—運動的な過程においてこそ重要になる。(従来インターメディアはコンテンツを複数の感覚に分散、併置する上演形態の多様化だけで終わっていた)。制作プロセスにおける諸感覚、諸ジャンルの統合、交換。このコンセプトを具体的の実装した装置として、以前より開発していた、振り付け、作曲、絵や字を描くという制作プロセス自体を、そのままダンスとして再現する装置(ダンスという時間的運動イメージと視覚イメージを相互交換するプログラム)を実験装置として絵画と舞踏、音楽、言葉との感覚の統合実験、研究をすすめた。(米国の現代舞踏家トリシャ・ブラウンと共同制作した舞台でも使用)。



DekNobo:トリシャ・ブラウン／岡崎乾二郎《I love my robots》

## E 埼玉大学グループグループ デジタルメディアにおけるデザイン支援システムに関する研究

### (1) 研究実施内容及び成果

グラフィックデザイナーの情報整理の思考過程に注目したレイアウトを行う作業課程を研究するのに必要な、デザイン支援システムの開発、および絵画の認識モジュールを分析し、それを元にコンピュータシミュレーションするシステムを構築することを目指した。

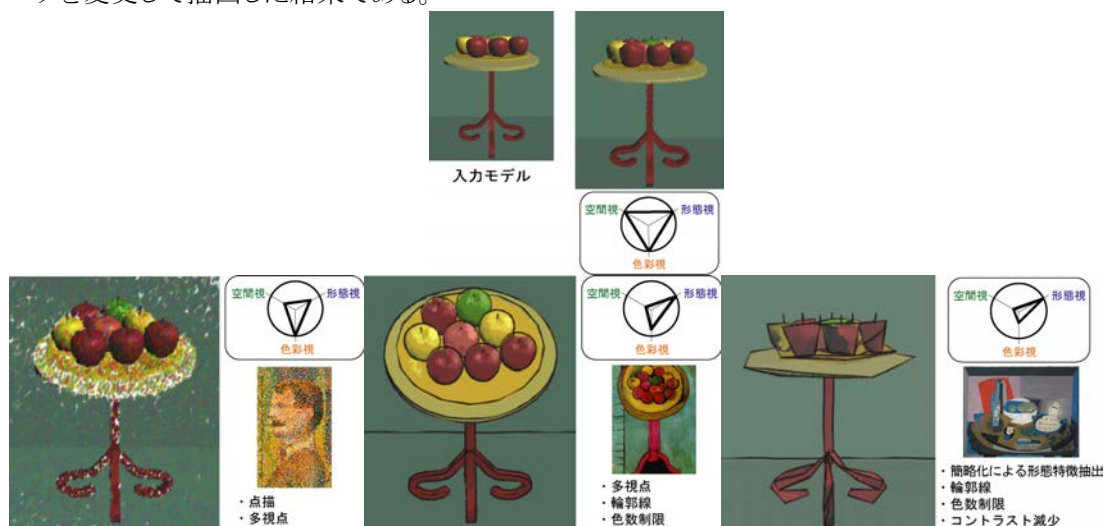
このために、デザイン支援システムのための画像生成に関する各種手法の開発を目的として、調和配色を用いた画像の変換、フリーハンドスケッチ入力によりモデリング手法などのデザイン支援に関する各種手法を開発することを進める。そして、近代の絵画の分析を元にして、見ること、すなわち視覚認知のプロセスをシミュレーションするためのモデル、そのモデルに基づき、入力した視覚対象についてパラメトリックに対象変換を行う手法の提案、およびパラメータ変換を実装した対話的画像変換システムの作成を目的とする。

デザインプロセスや描画プロセスを分析する中で、以下のような研究を新たに行うこととした。ルネサンス期以降近代以前の絵画を中心に調査し、それらに共通する作法を抽出する。このために、人間の画家が行うように、1) 対象となるモチーフを設置し、2) 構図を決定し、3) 輪郭を作り、4) 背景から手前に向かって絵の具を塗り重ねるという描画プロセスと視覚との関係をあきらかにする。Non-Photo Realistic Rendering の研究分野に対する、芸術系からの評価は、これまで非常に厳しかった。それは、従来の研究が絵画の表層を複製することに留まっており、その背後にあるプロセスに注目していないからである。これは実際の絵画を扱ってきた経験からは、あまりにもかけ離れたものであり、芸術系研究者には受け入れがたいものであったが、絵画作成のプロセスと人の視覚と認識を扱い、絵画の描画手法を解明することとした。

本研究では(a)視覚に基づく絵画の特徴分析とパラメータ変換の提案[1,2,3]、(b)ドット絵のための輪郭線画像縮小手法[4]、(c)スケッチ入力による形状モデリング手法[5,6]を扱った。(a)が本研究の中心課題であり、視覚に基づく絵画特徴の認識をまず分析して、描かれた絵画の特徴を実現するパラメータ変換を提案した。そしてこれに基づく絵画描画、変換システムを構築した。(b)は画像生成とデザインへの応用をあつかったものである。(c)の課題は、3次元モデルをコンピュータで取り扱うための手法を扱った研究である。

## (2) 研究成果の今後期待される効果

近代以前の西洋絵画においては、網膜像的に描かれた絵画が主流であったのに対し、近代以降ではピカソやモンドリアンなどが代表とされる抽象的な絵画が描かれるようになった。この変化の要因として真実を表現するといったリアルさの追求が挙げられる。すなわち、網膜像的な手法だけで描かれた絵画では表現できない、人にとってのリアルさの表現がこのような絵画において試みられていると考えられる。絵画を描くとき、“見る”という行動は重要であり、またそれによって描かれた絵画もまた“見る”ことで成立する。そこで本研究では、このような近代以降の絵画の背景に、視覚における認知のプロセスの観点から着目した。そして近代の絵画の分析を元にして、見ること、すなわち視覚認知のプロセスをシミュレーションするためのモデルについて提案した。また、そのモデルに基づき、入力した視覚対象についてパラメトリックに対象変換を行う手法の提案、およびパラメータ変換を実装した対話的画像変換システムの作成を目的とする。近代絵画の視覚的特徴分析に基づき、形態視・空間視・色彩視の視覚のパラメータを用いた視覚対象のパラメータ変換のモデル、また形態特徴抽出簡略化および輪郭線による空間情報取り出しのパラメータ変換のアルゴリズムと描画システムを提案した。その成果を図に示す。3次元モデルをもとに、いくつかの視覚パラメータを変更して描画した結果である。





## § 5 成果発表等

(1)原著論文発表 (国内(和文)誌 19 件、国際(欧文)誌 12 件)

- [1]Shunsuke Kudoh, Koichi Ogawara, Miti Ruchanurucks, Katsushi Ikeuchi, "Painting robot with multi-fingered hands and stereo vision", Robotics and Autonomous Systems, 57, pp. 279-288, 2009.
- [2]Alexis Andre, Suguru Saito, Masayuki Nakajima, "Single-View Sketch Based Surface Modeling," IEICE Transactions D vol.E92-D no.6, pp.1304-1311 2009.
- [3]Tetsuo Shima, Suguru Saito, Masayuki Nakajima, "Design and Evaluation of More Accurate Gradient Operators on Hexagonal Lattices," IEEE, Transaction on PAMI  
<http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/TPAMI.2009.99> 2009.
- [4]齋藤豪, 貝原亮太, 瀧祐也, 中嶋正之, "データベースを用いたスケッチからの動作生成," VisualComputing/グラフィクスと CAD 合同シンポジウム 2009 DVD 2009.
- [5]謝寧, 齋藤豪, 中嶋正之, "Oriental Brush Stroke Synthesis by Dynamic Programming," VisualComputing/グラフィクスと CAD 合同シンポジウム 2009 DVD 2009.
- [6]工藤俊亮, 小川原光一, ミティ・ルチャヌラック, 高松淳, 池内克史, "ロボットによる描画行為の再現," 日本ロボット学会誌, Vol. 26, No. 6, pp. 612-619, 2008.
- [7]Katsushi Ikeuchi, Takaaki Shiratori, Shunsuke Kudoh, Hirohisa Hirukawa, Shin'ichiro Nakaoka, Fumio Kanehiro, "Robots That Learn to Dance from Observation", IEEE Intelligent Systems, Vol. 23, No. 2, pp. 74-76, 2008.
- [8]Manoj Perera, Takaaki Shiratori, Shunsuke Kudoh, Atsushi Nakazawa, Katsushi Ikeuchi, "Task Recognition and Person Identification in Cyclic Dance Sequences with Multi Factor Tensor Analysis", The IEICE Trans. on Information and Systems, E91-D (5), pp. 1531-1542, 2008.
- [9]白鳥貴亮, 池内克史, "Synthesis of Dance Performance Based on Analyses of Human Motion and Music," 情報処理学会 コンピュータビジョンとイメージメディア論文誌, 2008.
- [10]Hiroshi Yasuda, Ryota Kaihara, Suguru Saito, Masayuki Nakajima, IEICE "Motion Belts: Visualization of Human Motion Data on a Timeline," Transactions D vol.E91 no.4 pp.1159-1167 2008.
- [11]Suguru Saito, Akane Kani, Youngha Chang, masayuki nakajima, "Curvature-based stroke rendering," The visual computer. vol.24 no.1 pp.1-11 2008.
- [12]岡村光展, Andre Alexis, 張英夏, 齋藤豪, 中嶋正之, "画像中の特徴的な線を用いた線画生成に関する研究," 情報処理学会グラフィクスと CAD 研究会第 130 回研究発表会 vol.2008 no.14 pp.121-126 2008.
- [13]岡崎乾二郎, "人間は ロボットによって創造される——芸術を通したロボットの定義。あるいはロボットを通した芸術および人間の定義。"「述 2—近畿大学国際人文化学研究所紀要」vol.4, pp104-126, 明石書店, 2008.
- [14]白鳥貴亮, 中澤篤志, 池内克史, "音楽特徴を考慮した舞踊動作の自動生成," 電子情報通信学会論文誌 D-II, Vol. J99-D-II, No. 8, pp. 2242-2252, 2007.

- [15]池内克史, “人間行動観察学習「トップダウンとボトムアップ」,” 日本ロボット学会誌, Vol. 25, No. 5, pp. 652-658, 2007.
- [16]工藤俊亮, 中岡慎一郎, 白鳥 貴亮, “伝統舞踊の獲得における動作理解,” 日本ロボット学会誌, Vol. 25, No. 5, pp. 665-670, 2007.
- [17]高松淳, “状態変化に基づく動作理解,” 日本ロボット学会誌, Vol. 25, No.5, pp. 659-664, 2007.
- [18]Youngha Chang, Suguru Saito, Masayuki Nakajima, “Example-Based Color Transformation of Image and Video Using Basic Color Categories,” IEEE Transaction on Image Processing. vol.16 no.2 pp.329-336 2007.
- [19]岡部雄太, 前田大介, 齋藤豪, 中嶋正之, “離散 HMM を用いた線の毛筆調レンダリング,” 電子情報通信学会論文誌 D. vol.90 no.1 pp.106-114 2007.
- [20]窪田潤, 齋藤豪, 中嶋正之, “計算機上での油絵の具の物性再現に関する研究,” 情報処理学会第 69 回全国大会 2X-7 2007.
- [21]周藤一浩, 齋藤豪, 張英夏, 中嶋正之, “汎用イメージスキャナを用いた高精度三次元形状測定,” CGAC2007 NICOGRAPH Spring Festival in TAF 2007.
- [22]岡本穂, 齋藤豪, 中嶋正之, “画像中の線の分類に基づく線画自動生成,” CGAC2007 NICOGRAPH Spring Festival in TAF 2007.
- [23]藤幡正樹, “, アートを科学する——「描くこと」を中心として,” 情報処理学会誌, Vol.48, No.12, pp.1319-1326, 2007.
- [24]Jun Takamatsu, Takuma Morita, Koichi Ogawara, Hiroshi Kimura and Katsushi Ikeuchi, “Representation for Knot-Tying Tasks,” IEEE Trans. on Robotics, Vol. 22, No. 1, pp. 65-78, 2006.
- [25]池内克史, 中澤篤志, 工藤俊亮, 中岡慎一郎, 白鳥貴亮, “観察学習パラダイムに基づく二足歩行ヒューマノイドロボットによる舞踊動作の再現,” バイオメカニクス研究, 10(3), pp.190-202, 2006.
- [26]Takaaki Shiratori, Atsushi Nakazawa, Katsushi Ikeuchi, “Dancing-to-Music Character Animation”, Computer Graphics Forum, 25(3), pp.449-458, 2006.
- [27]Shunsuke Kudoh, Taku Komura, Katsushi Ikeuchi, “Modeling and Generating Whole Body Motion of Balance Maintenance,” Systems and Computers in Japan, 37(13), pp.11-19, 2006.
- [28]Kazuhiro SUDO, Akihiro YAMAGUCHI, Suguru SAITO, Hiroki TAKAHASHI, Masayuki Nakajima, “High-Resolution 3D Shape Reconstruction and Evaluation Using a Flatbed Scanner,” 電子情報通信学会技術研究報告. vol.105 no.501 pp.203-208 2006.
- [29]小川原光一, 崎田健二, 池内克史, “視線運動からの動作意図の推定とロボットによる協調行動への応用,” 情報処理学会コンピュータビジョンとイメージメディア研究報告(CVIM), 2005-CVIM-150, pp. 55-62, Sep. 2005.
- [30]Youngha Chang Suguru Saito Keiji Uchikawa Masayuki Nakajima, “Example-Based Color Stylization of Images,” ACM Transactions on Applied Perception (TAP). vol.2 no. 3 pp.322-345 2005.
- [31]岡部雄太, 齋藤豪, 中嶋正之 “HMM を用いた線の毛筆調レンダリングに関する研究,”

VC/GCAD 合同シンポジウム 2005. pp.81-86 2005.

(2)その他の著作物(総説、書籍など)

[32]岡崎乾二郎編「芸術の設計—見る/作ることのアプリケーション」(2007 年 5 月、フィルムアート社).

[33]「美術手帖」2008 年 8 月号(美術出版社)で 岡崎乾二郎監修特集「現代アート基礎演習」.

[34]藤幡正樹、池内克史、岡崎乾二郎「ロボット魂(仮題)」(2010 年刊行予定、東京大学出版会).

(3)国際学会発表及び主要な国内学会発表

① 招待講演 (国内会議 2 件、国際会議 1 件)

[35]Katsushi Ikeuchi, "Programming-by-demonstration: From assembly-plan through dancing humanoid," Plenary talk in IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2007.

[36]齋藤亜矢 "チンパンジーが絵を描いた"「がんばれ！図工の時間」フォーラム第 8 回シンポジウム, 東京大学, 2009 年 10 月 (招待講演).

[37]工藤俊亮 "ロボットに絵を描かせる"「がんばれ！図工の時間」フォーラム第 8 回シンポジウム, 東京大学, 2009 年 10 月 (招待講演).

② 口頭発表 (国内会議 19 件、国際会議 21 件)

[38]Jung Yeon Ma, Kei Komachiya, Masaki Fujihata, "Robots as Artworks, Robots as Artists," Asia Digital Art and Design Association, The 7th International Conference, 2010.

[39]Phongtharin Vinayavekhin, Shunsuke Kudoh, Katsushi Ikeuchi, "Contact States Detection for Dexterous Manipulation in Low-Dimensional Joint Space," 第 27 回日本ロボット学会学術講演会, 2009.

[40]Bjoern Rennhak, Shunsuke Kudoh, Katsushi Ikeuchi, "Robot Control Through a File System," 第 27 回日本ロボット学会学術講演会, 2009.

[41]和田明菜, 川上玲, 工藤俊亮, 池内克史, 小町谷圭, 三浦高宏, 松井茂, 藤幡正樹, "描画環境の形状と明るさの実測に基づく絵画の陰影表現の解析と再現," 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU)論文集, pp. 1126-1133, July 2009.

[42]和田明菜, 川上玲, 工藤俊亮, 池内克史, 小町谷圭, 三浦高宏, 松井茂, 藤幡正樹, "対象物と照明環境の実測値を用いた絵画における陰影表現の解析," 情報処理学会研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア(CVIM), No. 2009-CVIM-167, June 2009. (最優秀賞受賞)

[43]Single-View Sketch Based Surface Modeling Alexis Andre, Suguru Saito, Masayuki Nakajima, IEICE Transactions D vol.E92-D no.6 pp.1304-1311 2009.

[44]Design and Evaluation of More Accurate Gradient Operators on Hexagonal Lattices Tetsuo Shima, Suguru Saito, Masayuki Nakajima, IEEE Transaction on PAMI

<http://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/TPAMI.2009.99> 2009.

[45]Shunsuke Kudoh, Koichi Ogawara, Miti Ruchanurucks, Jun Takamatsu, Kei Komachiya, Katsushi Ikeuchi, "A Robot Painter – Reproduction of Drawing Behavior by a Robot", In Proc. of the 2008 ASIAGRAPH, pp. 85-90, Jun, 2008.

[46]Shunsuke Kudoh, Koichi Ogawara, Kei Komachiya, Katsushi Ikeuchi, "Painting Simulation Using Robots," IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS) Workshop "Art and Robots," pp. 39-45, 2008.

[47]Shunsuke Kudoh, Naoto Ikeda, Koichi Ogawara, Katsushi Ikeuchi, "Learning Everyday Object Manipulation from Observation," IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS) Workshop "Grasp and Task Learning by Imitation", pp. 77-82, 2008.

[48]Takaaki Shiratori, Atsushi Nakazawa, Shunsuke Kudoh, Shin'ichiro Nakaoka, Katsushi Ikeuchi, "Task Models of Upper Body Motion for a Dancing Humanoid Robot Based on Motion and Music Features," IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS) Workshop "Art and Robots," 19-27, 2008.

[49]マノジ・ペレラ, 工藤俊亮, 白鳥貴亮, 池内 克史, "キーポーズを用いた舞踊動作の低次元化表現", 情報処理学会グラフィクスとCAD 研究報告, 2008-CG-133, pp. 19-24, 2008.

[50]野中敬介, 齋藤豪, 中嶋正之, "計算機上における油絵具の筆致の再現に関する研究," 電子情報通信学会 2008 総合大会 D-11-93 2008.

[51]岡部雄太, 齋藤豪, 中嶋正之, "油絵シミュレータ上での 3 次元筆モデル," 情報処理学会第 70 回全国大会 1F-6 2008.

[52]貝原亮太, 安田浩志, 齋藤豪, 中嶋正之, "スケッチインターフェースを用いた動作データ検索手法," 電子情報通信学会 2008 総合大会 D-12-43 2008.

[53]所秀治, 齋藤豪, 中嶋正之, "重要な輪郭線の検出手法に関する研究," 電子情報通信学会 2008 総合大会 D-12-116 2008.

[54]Koichi Ogawara, Xiaolu Li, Katsushi Ikeuchi, "Marker-Less Human Motion Estimation Using Articulated Deformable Model," In Proc. of the 2007 IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation (ICRA), pp. 46-51, 2007.

[55]Miti Ruchanurucks, Shunsuke Kudoh, Koichi Ogawara, Takaaki Shiratori, Katsushi Ikeuchi, "Humanoid Robot Painter: Visual Perception and High-Level Planning," In Proc. of the 2007 IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation (ICRA), pp. 3028-3033, 2007.

[56]Miti Ruchanurucks, Shunsuke Kudoh, Koichi Ogawara, Takaaki Shiratori, Katsushi Ikeuchi, "Robot Painter: From Object to Trajectory," In Proc. of IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp. 339-345, 2007.

[57]Manoj Perera, Takaaki Shiratori, Shunsuke Kudoh, Atsushi Nakazawa, Katsushi Ikeuchi, "Multilinear Analysis for Task Recognition and Person Identification," In Proc. of IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp. 1409-1415, 2007.

- [58]Takaaki Shiratori, Shunsuke Kudoh, Shin'ichiro Nakaoka, Katsushi Ikeuchi, "Temporal Scaling of Upper Body Motion for Sound Feedback System of a Dancing Humanoid Robot," In Proc. of IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS), pp. 3251-3257, 2007.
- [59]Shunsuke Kudoh, Koichi Ogawara, Miti Ruchanurucks, Katsushi Ikeuchi, "Painter Robot: Manipulation of Paintbrush by Force and Visual Feedback," IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS) Workshop "Art and Robots," pp. 63-68, 2007.
- [60]Jun Takamatsu, Takaaki Shiratori, Shin'ichiro Nakaoka, Shunsuke Kudoh, Atsushi Nakazawa, Fumio Kanehiro, Katsushi Ikeuchi, "Entertainment Robot: Learning from Observation Paradigm for Humanoid Robot Dancing," IEEE/RSJ Intl. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS) Workshop "Art and Robots," pp. 45-56, 2007.
- [61]白鳥貴亮, 工藤俊亮, 池内克史, "舞踊動作の観察に基づく人体動作の時間伸縮手法," 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU)論文集, pp.429-435, 2007.
- [62]工藤俊亮, 小川原光一, 高松淳, 池内 克史, "ロボットによる描画行為の再現," 第 25 回日本ロボット学会学術講演会, 2007.
- [63]白鳥貴亮, 工藤俊亮, 中岡慎一郎, 池内克史, "サウンドフィードバック制御のための舞踊動作の時間伸縮手法," 第 25 回日本ロボット学会学術講演会, 2007.
- [64]周藤一浩, 齋藤豪, 中嶋正之, "汎用イメージスキャナを用いた高精度三次元形状測定に関する研究," 情報処理学会第 69 回全国大会 6P-7 2007.
- [65]山田英樹, 齋藤豪, 中嶋正之, "GPU を用いた油絵具のリアルタイムレンダリングに関する研究," 情報処理学会第 69 回全国大会 2X-8 2007.
- [66]岡本穂, 齋藤豪, 中嶋正之, "実写中の線の分類に基づく線画自動生成," 情報処理学会第 69 回全国大会 1P-5 2007.
- [67]Takaaki Shiratori, Atsushi Nakazawa, Katsushi Ikeuchi, "Dancing-to-Music Character Animation", Eurographics 2006, pp. 449-458, 2006.
- [68]Shunsuke Kudoh, Koichi Ogawara, Miti Ruchanurucks, Katsushi Ikeuchi, "Painting Robot with Multi-Fingered Hands and Stereo Vision", In Proc. of 2006 IEEE Intl. Conf. on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI), pp. 127-132, 2006.
- [69]Miti Ruchanurucks, Koichi Ogawara, Katsushi Ikeuchi, "Neural Network Based Foreground Segmentation with an Application to Multi-Sensor 3D Modeling", In Proc. of 2006 IEEE Intl. Conf. on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI), pp. 116-121, 2006.
- [70]Manoj Perera, Takaaki Shiratori, Shunsuke Kudoh, Atsushi Nakazawa, Katsushi Ikeuchi, "Task Recognition and Style Analysis in Dance Sequences", In Proc. of 2006 IEEE Intl. Conf. on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI), pp. 329-334, 2006.
- [71]Shunsuke Kudoh, Taku Komura, Katsushi Ikeuchi, "Stepping Motion for a Human-like Character to maintain Balance against Large Perturbations", In Proc. of the 2006 IEEE Intl. Conf.

on Robotics and Automation (ICRA), pp. 2661-2666, 2006.

[72]Miti Ruchanurucks, Shin'ichiro Nakaoka, Shunsuke Kudoh, Katsushi Ikeuchi, "Humanoid Robot Motion Generation with Sequential Physical Constraints", In Proc. of the 2006 IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation (ICRA), pp. 2649-2654, 2006.

[73]Takaaki Shiratori, Nakazawa, Katsushi Ikeuchi, "Synthesizing Dance Performance Using Musical and Motion Features", In Proc. of the 2006 IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation (ICRA), pp. 3654-3659, 2006.

[74]白鳥貴亮, 中澤篤志, 池内克史, "音楽情景を考慮した舞踊動作", 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2006), pp. 174-179, 2006.

[75]岡部雄太, 齋藤豪, 高橋裕樹, 中嶋正之, "HMM を用いた毛筆調レンダリングに関する研究 第二報 -HMM クラスタリングによる実行時間の短縮-", 情報処理学会第 68 回全国大会予稿集. 4T-8 2006.

[76]山田英樹, 齋藤豪, 松田一聡, 佐藤一郎, 中嶋正之, "油絵の具の発色モデルに関する研究," 電子情報通信学会 2006 総合大会. D-12-20 2006.

[77]岡部雄太, 齋藤豪, 高橋裕樹, 中嶋正之, "多様な曲率を持つストローク生成のための毛筆調レンダリングの改良," 情報処理学会 第 67 回全国大会. 1Y-5 2005.

③ ポスター発表 (国内会議 6 件、国際会議 1 件)

[78]齋藤亜矢, 林美里, 上野有理, 竹下秀子 幼児期の描画におけるさかさ絵の出現, 第 21 回日本発達心理学会大会, 神戸国際会議場, 2010 年 3 月.

[79]Komachiya, K., Kiriya, T., & Fujihata, M. (2009). Inherent Expression by aFlexible Drawing Robot. In DVD Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Conference on Human-Computer Interaction (HCI International 2009), San Diego, CA, USA, 19-24 July, pp. 104-108. Berlin Heidelberg: Springer (ISBN 978-3-642-02884-7).

[80]島哲生, 齋藤豪, 中嶋正之 "六角形格子および四角形格子における最小矛盾微分フィルタの実験的評価," MIRU 2008 第 11 回 画像の認識・理解シンポジウム CDROM 2008.

[81]齋藤峻, 齋藤豪, 中嶋正之, "油絵の具の反射特性の計測と再現," NICOGRAPH 2008 CDROM 2008.

[82]岡部雄太, 齋藤豪, 中嶋正之, "HMM を用いた線の毛筆調レンダリングにおけるかすれの改善," NICOGRAPH2007 春季大会ポスターセッション 2007.

[83]窪田潤, 齋藤豪, 中嶋正之, "油絵の具の粘性モデルに関する研究," Visual Computing グラフィクスと CAD 合同シンポジウム 2006. Pp.211-214 2006.

[84]岡本穂, 齋藤豪, 高橋裕樹, 中嶋正之, "線の延長可能性を表す場を用いた不連続な輪郭線の延長法," 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2005). Pp.1201-1207 2005.



④ 展示発表 (国内展示 4 件)

[85]東京工業大学、「油絵調描画シミュレーション・システム」、「Crest21Art シンポジウム『描く』を科学する」、ヒルサイドテラス(東京)、2006.1.19.

[86] 東京大学「油絵描画ロボット(ドットちゃん)」、東京工業大学「油絵調描画シミュレーション・システム」、埼玉大学「見ると描くを楽しむ」、「アート+テクノロジー+エンタテインメント=?! 325 人の研究者たちの予感」、日本科学未来館(東京・お台場)、2006.5.3〜7.

[87]東京藝術大学「描画ロボット(ポルタくん)」、「高精細デジタル画像」、東京工業大学「油絵調描画シミュレーション・システム」、「Crest21Art シンポジウム『描く』を科学する—プロセスで読み解く」、ヒルサイドテラス(東京)、2007.3.23.

[88] 東京工業大学+東京藝術大学、「油画描画シミュレータ」、「デジタル・オイル・ペインティング展 油画描画シミュレータを使って」、東京藝術大学大学美術館 B2F 展示室 2、2010.1.6〜1.20.

(4)受賞・報道等

米山孝史, 近藤邦雄, 藤幡正樹, ”視覚に基づく絵画の特徴分析とパラメータ変換の提案” 画像電子学会 2006 年度第 34 回年次大会予稿集, pp.7-8, 2006 (研究奨励賞)

和田明菜, 川上玲, 工藤俊亮, 池内克史, 小町谷圭, 三浦高宏, 松井茂, 藤幡正樹, “対象物と照明環境の実測値を用いた絵画における陰影表現の解析,” 情報処理学会研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM), No. 2009-CVIM-167, June 2009. (最優秀賞受賞)

藤幡正樹×池内克史「どうやってロボットは絵を描くのか?」(「美術手帖」2006 年 5 月号)  
岩田誠「脳科学から見た絵画史」(「Crest21Art シンポジウム『描く』を科学する」より 「美術手帖」2006 年 5 月号)

季刊『インターコミュニケーション』(NTT 出版、2008 年 2 月)に、東京工業大学が展示協力をした小町谷圭の、「Materia ex machina——機械仕掛けの絵肌」(2007-2008 展示協力)の紹介記事掲載。

『the village VOICE』紙(2008 年 2 月 5 日)に、岡崎乾二郎とトリシャ・ブラウンによる共同制作《DekNobo》を使用したダンス作品《I love my robots》の紹介記事。

デジタル・オイル・ペインティング展関連記事

「朝日新聞」2010年1月14日夕刊。大西若人「デジタル表現も実体化 対アナログの構図崩れる」

「東京新聞」2010年1月19日夕刊。稲葉千寿「科学で開く油絵の新しい形」

「読売新聞」2010 年 1 月 30 日朝刊。芥川喜好「時の余白に」

## 文化

## 科学で開く油絵の新しい形

油絵を描くときにコンピュータ上で立体的な画像をつくれるペイントソフト「OPPS油絵描画シミュレーター」を、東京芸術大と東京工業大が開発した。二〇〇四年から進めてきた共同研究の成果で、絵の具が筆とキャンパスとの間を移動する様子を三次元立体データにし、絵の具の垂れや盛り上がりも再現できる。絵の制作を合理化するためではなく、これまで

コンピュータ上で立体的画像

東京芸大・東工大が共同開発



描画過程を記録し、再現もできる「油絵描画シミュレーター」

一緒に開発に携わった東工大大学院の齋藤孝准教授は「画家がソフトを使って残したデータによって、画家から求められているものが分かれば、新しい画材の研究にも役立つだろう」と話す。東京芸大は理化学研究所と提携するなど、このところ芸術と科学の交流を進めている。今回の共同開発もその一例だが、技術開発の成果を芸術家が利用する「一方通行の関係ではなく、創造性についての理解を共有し、芸術家の発想を実現するための技術を科学が実現する」と齋藤さんという、新たな関係を示している。(福井千寿)

\*OPPS油絵描画シミュレーターは、20日まで東京・上野公園の東京芸大美術館で開催中の「デジタル・オイル・ペインティング展」で展示。入場無料。

## デジタル表現も実体化

## 対アナログの構図崩れる

深層新層



日常の中で当たり前の存在になったデジタル技術と、従来の視覚表現との関係はこうなっているのか。そんな問いを再考する機会に相次いで接することになった。まず、昨年の美術評論家連盟のシンポジウム「テーマは「デジタル時代における写真表現」で、「デジタルの表現力も上がっているが、従来の写真の奥深さがなく」といった話かと思いきや、べつと冷めた議論が展開された。女子美術大教授の杉田敦さんは、写真の質感などの議論を超え、大量に撮り残せるデジタル写真の特性に注目、「そのアーカイブの展示も表現になりうる」と語った。多くの写真集を出す赤々舎の代表・姫野希美さんは、戦前に活躍した写真家・野島康

は、同大学と東京工業大が共同で開発した「OPPS(油絵描画シミュレーター)」と呼ばれるソフトだ。お絵かきソフトの一種で、ボード上でペンを動かせば画面に絵が現れるのだが、油絵の具のかすれも再現。絵の具の厚みの情報まで持っているため、重ね塗りすると下の色が微妙に出てくる。筆の触感まではないが、ペンの持ち方を変えればタッチの変化も生まれ、画面上の絵は、なるほど油絵。デジタル技術と油絵が溶けあった印象すらある。このソフトを使ってイラストレーターがどう描いたかを記憶させ、その過程を再現する展示などは、どこか透明人間による制作を思わせる。そして、公開中の映画「アバター」話題の3D(3次元)映画だが、かつてのよう

三つのゴムの面などの技法に新鮮な感動を覚える若い写真家がいることを紹介。その上で、銀塩写真(一般的にフィルム写真)とは写真の可能性が「狭められていった過程なのかもしれない」と指摘し、デジタルを経由することで、すべての手法が相対化されている状況をうかがわせた。そこにデジタル対銀塩という構図は、もうない。

絵画表現との関係を考えさせるのが、東京芸大・大学美術館で20日まで開かれている「デジタル・オイル・ペインティング展」。展示の中心は、同大学と東京工業大が共

「朝日新聞」H22 年 1 月 14 日夕刊

「東京新聞」H22 年 1 月 19 日夕刊

(5)その他

近畿大学・岡崎乾二郎と、トリシャ・ブラウンによる共同制作《DekNobo》を使用したダンス作品《I love my robots》が、2007年6月30日にMontpellier Dance Festival (Corum Theatre、Montpellier、France)、2008年2月5-10日にJoyce Theater (New York、U.S.A.)で公演。

2008年4月25日、Minneapolis

Venue : Northrop Auditorium (University of Minnesota East Bank Campus, Minneapolis, Minnesota, U.S.A.)

Website: <http://calendar.walkerart.org/event.wac?id=3932>

(6)成果展開事例

①実用化に向けての展開

東京工業大学と東京藝術大学が開発した「油画描画シミュレータ」は、専門のイラストレーター、画家に使用してもらい、一般向けの市販化を念頭に細部の改善をはかっている。成果報告会として行った展覧会「デジタル・オイル・ペインティング展」のような機会を今後も継続的に設け、利用者からのフィードバックを反映した上での実用化を目指している。

§ 6 研究期間中の主な活動（ワークショップ・シンポジウム等）

| 年月日       | 名称                             | 場所             | 人数 | 概要                               |
|-----------|--------------------------------|----------------|----|----------------------------------|
| H16.10.27 | 全体ミーティング                       | 東京芸術大学佐藤研究室    | 40 | 研究の進捗状況の確認。情報交換。今後の予定確認。         |
| H16.11.4  | 全体ミーティング                       | 東京芸術大学佐藤研究室    | 40 | 研究の進捗状況の確認。情報交換。今後の予定確認。         |
| H16.11.12 | 東大・藝大ミーティング                    | 東京大学池内研究室      | 5  | ロボットによる描画に関する研究の意見交換。            |
| H16.11.26 | 全体ミーティング                       | 東京大学池内研究室      | 40 | 研究の進捗状況の確認。情報交換。今後の予定確認。         |
| H16.12.21 | ゲスト・ミーティング（北野宏明）               | 北野共生プロジェクト     | 5  | ロボットによる描画に関する研究の意見交換。            |
| H17.2.22  | 全体ミーティング                       | 東京工業大学中嶋・齋藤研究室 | 30 | 研究の進捗状況の確認。情報交換。今後の予定確認。         |
| H17.3.24  | 第1回デッサン教室                      | 東京芸術大学佐藤研究室    | 40 | 工学系研究者を対象にしたデッサン教室。芸術系の知見の体験的学習、 |
| H17.3.24  | 埼玉大・藝大ミーティング                   | 東京芸術大学松下研究室    | 5  | 埼玉大学の研究に関する意見交換。                 |
| H17.4.3   | ゲスト・ミーティング（Ben Fry、Casey Reas） | 領域事務所          | 15 | Processingに関するプレゼンテーションと意見交換。    |
| H17.4.12  | 油画教室                           | 東京芸術大学佐藤研究室    | 5  | 工学系研究者を対象にしたデッサン教室。芸術系の知見の体験的学習、 |

|             |                                         |             |     |                                            |
|-------------|-----------------------------------------|-------------|-----|--------------------------------------------|
| H17.4.20    | ゲスト・ミーティング<br>(Camille Utterback)       | 領域事務所       | 15  | メディアアーティストによるプレゼンテーションと意見交換。               |
| H17.7.2     | 第2回デッサン教室                               | 東京芸術大学佐藤研究室 | 40  | 工学系研究者を対象にしたデッサン教室。芸術系の知見の体験的学習、           |
| H17.7.22    | 埼玉大・藝大ミーティング                            | 東京芸術大学      | 5   | 埼玉大学の研究に関する意見交換。                           |
| H17.8.15    | 全体ミーティング                                | 国際交流館       | 40  | 研究の進捗状況の確認。情報交換。今後の予定確認。                   |
| H17.9.17、24 | 油絵教室                                    | 東京芸術大学佐藤研究室 | 40  | 工学系研究者を対象にしたデッサン教室。芸術系の知見の体験的学習、           |
| H17.11.30   | 第1回アート例会「絵画とは何か？」(岡崎乾二郎)                | 領域事務所       | 20  | 岡崎乾二郎(近畿大学教授)によるプレゼンテーション、crestに関する意見交換。   |
| H17.12.2    | 第2回アート例会「脳で描く絵画」                        | 領域事務所       | 20  | 岩田誠(東京女子医科大学教授)によるプレゼンテーション、crestに関する意見交換。 |
| H17.12.26   | 第3回アート例会「子どもの絵の理解・産出の発達」                | 領域事務所       | 20  | 山形恭子(金沢大学教授)によるプレゼンテーション、crestに関する意見交換。    |
| H18.1.19    | Crest21Art シンポジウム『描く』を科学する              | ヒルサイドテラス    | 120 | 岩田誠、岡崎乾二郎一般向けの研究発表、およびデモ公開。                |
| H18.3.11    | 第4回アート例会「ヒトの認知、動物の認知」                   | 領域事務所       | 20  | 渡辺茂(慶應大学教授)によるプレゼンテーション、crestに関する意見交換。     |
| H18.4.15    | 第5回アート例会「人間型ロボットと乳幼児の『常』インタラクションの研究」    | 領域事務所       | 20  | 田中英文によるプレゼンテーション、crestに関する意見交換。            |
| H18.10.7    | 岡崎乾二郎ワークショップ                            | 東京芸術大学佐藤研究室 | 20  | 工学系研究者を対象にしたデッサン教室。芸術系の知見の体験的学習、           |
| H18.10.11   | 第6回アート例会「絵画の技法」                         | 東京芸術大学佐藤研究室 | 20  | 佐藤一郎(東京芸術大学教授)によるプレゼンテーション。                |
| H18.10.18   | 第7回アート例会「ヒト型ロボットアームの設計／見まねによるロボットハンド制御」 | 領域事務所       | 20  | 星野聖(筑波大学准教授)によるプレゼンテーション、crestに関する意見交換。    |
| H18.11.10   | ホルベイン見学                                 | ホルベイン工業     | 10  | 絵具の製造、検査に関する視察。                            |
| H18.12.2    | 全体ミーティング                                | 東京大学        | 40  | 研究の進捗状況の確認。情報交換。今後の予定確認。                   |
| H18.12.22   | 児童の描画行為を鑑賞する会                           | 東京芸術大学藤幡研究室 | 10  | 石田英敬(東京大学情報学環教授)とともに描画行為のビデオを分析した。         |

|           |                                      |                                |     |                                                                                                                                 |
|-----------|--------------------------------------|--------------------------------|-----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| H19.1.27  | 全体のミーティング                            | 領域事務所                          | 30  | 研究の進捗状況の確認。情報交換。今後の予定確認。                                                                                                        |
| H19.3.23  | Crest21Art シンポジウム『描く』を科学するープロセスで読み解く | ヒルサイドテラス                       | 140 | 一般向けの研究発表、およびデモ公開。                                                                                                              |
| H19.4.24  | 全体のミーティング                            | 近畿大学、東京大学、東京工業大学               | 40  | 研究の進捗状況の確認。情報交換。今後の予定確認。                                                                                                        |
| H19.8.6   | IROS ミーティング                          | 東京大学池内研究室                      | 20  | IROS2007 へ向けてのミーティング。発表内容等の確認。                                                                                                  |
| H19.9.12  | 第 8 回アート例会                           | 領域事務所                          | 20  | 岡田猛(東京大学情報学環教授)によるプレゼンテーション、crest に関する意見交換。                                                                                     |
| H19.10.7  | 「芸術創作プロセスの理解」『Experiment Show』       | 近畿大学四谷アート・ステュディウム(旧四谷第三小学校体育館) | 130 | 芸術における実験、あるいは科学的側面をプレゼンテーションしたイベント。                                                                                             |
| H19.11.2  | Art and Robots                       | San Diego, USA                 | 30  | IROS2007 のワークショップとして内外の研究者を招き、研究発表とディスカッションを行った。                                                                                |
| H20.3.31  | 描画過程研究会                              | 東京大学                           | 50  | 認知心理学、発達心理学、知覚心理学などの視点から描画に関わる研究者を一堂に会した意見交換を行う機会を作ることを中心に、それぞれの最新の研究成果の紹介と、ディスカッションを行い、描画行為の過程に注目した研究の可能性を検討した。(岡田猛、山口真美、山形恭子) |
| H20.7.26  | ヒューマノイドはヒューマンになれるのか？                 | 未来館                            | 50  | 「人間を模倣する」ということを中心に、これまでのロボット研究と美術史の間に現れる共通点から、あたらしい研究パラダイムの提案を行った。(浅田稔、國吉康夫、小菅一弘)                                               |
| H20.9.26  | IROS2008 Workshop “Art and Robots”   | Nice, France                   | 20  | ロボティクスの国際会議 IROS2008 において、ロボットの研究者とロボットとアートの関係について議論を行った。                                                                       |
| H20.11.10 | 第 9 回アート例会:佐藤道信                      | 東京大学                           | 40  | 美術史からみたロボットに関して、ディスカッション。                                                                                                       |
| H20.11.12 | 第 10 回アート例会:岡崎乾二郎                    | 南天子画廊(銀座)                      | 40  | 描画過程研究として自作解説。                                                                                                                  |
| H21.1.30  | 第 11 回アート例会:乾敏郎                      | 領域事務所                          | 20  | 視覚心理学からの描画に関する意見交換。                                                                                                             |

|                  |                                   |              |      |                                |
|------------------|-----------------------------------|--------------|------|--------------------------------|
| H22.1.6～20       | デジタル・オイル・ペインティング展-油画描画シミュレータを使って- | 東京藝術大学大学美術館  | 4659 | 「油画描画シミュレータ」による展覧会。            |
| H22.1.17         | 「油画描画シミュレータをめぐって」                 | 東京藝術大学大学美術館  | 200  | 油画描画シミュレータの可能性を討議。建畠哲ほか        |
| H22.1.9,10,16,17 | 油画描画シミュレータワークショップ                 | 東京藝術大学大学美術館  | 50   | この他にも、期間中希望者に対して随時ワークショップを行った。 |
| H22.3.28         | 「ブランカッチ礼拝堂壁画分析」                   | 四谷アート・ステディウム | 50   | ルネサンスの知覚革命から現在のメディアを検証した。      |



## § 7 結び

デジタル・オイル・ペインティング・シミュレータは平成 22 年 1 月に 東京藝術大学美術館でその成果展を開催し、新聞等にも取り上げられ、広く一般から興味と評価を受けた。今後この研究をもとにしたアプリケーションソフトウェア等をどのような形で、一般の人々へ繋げていくことができるのかは、大きな課題である。研究費をもとに開発されたソフトウェアを、どのような形で一般に公開し、配布し、研究開発しバージョンアップしていくのかということに関する、研究も必要であろう。今回のように、時代を画すかもしれない非常に重要なソフトウェアの基盤技術が開発されたことに関して、将来性を考慮し、その成長のサポートのあり方を、研究としてどのように継続する可能性があるのかを検討する必要性を痛感した。