JAIST Repository
https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	非言語メディアのデザイン支援に向けて
Author(s)	片寄，晴弘；平田，圭二；野池，賢二；原田，利宣；笠尾，敦司；宮田，一乗；平賀，瑠美
Citation	人工知能学会論文誌，20(2)：129-138
Issue Date	2005-02-04
Type	Journal Article
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/7822
Rights	Copyright (C) 2005 人工知能学会．片寄 晴弘,平田 圭二，野池 賢二,原田 利宣,笠尾 敦司,宮田 一乗,平賀 瑠美，人工知能学会論文誌，20(2)，2005，129-138．
Description	

JAIST
JAPAN
ADVANCED INSTITUTE OF
SCIENCE AND TECHNOLOGY

Japan Advanced Institute of Science and Technology

特集論文

非言語メディアのデザイン支援に向けて

Toward Computer-supported Design for Non-verbal Media

片寄 晴弘 Haruhiro Katayose
関西学院大学理工学部, さきがけ研究２１
Kwansei Gakuin University, PRESTO/JST
katayose@ksc.kwansei.ac.jp, http://ist.ksc.kwansei.ac.jp/~katayose/j/

平田 圭二 Keiji Hirata
NTT　コミュニケーション科学基礎研究所
NTT Communication Science Laboratories
hirata@brl.ntt.co.jp, http://www.brl.ntt.co.jp/people/hirata/

野池 賢二 Kenzi Noike
さきがけ研究２１
PRESTO/JST
noike@ksc.kwansei.ac.jp, http://noike.info/~kenzi/kscindex.html

原田 利宣 Toshinobu Harada
和歌山大学システム工学部
Wakayama University
harada@sys.wakayama-u.ac.jp, http://www.wakayama-u.ac.jp/~harada/

笠尾 敦司 Atsushi Kasao
東京工芸大学芸術学部
Tokyo Institute of Polytechnics
kasao@dsn.t-kougei.ac.jp, http://www.dsn.t-kougei.ac.jp/cd_home/

宮田 一乗 Kazunori Miyata
北陸先端科学技術大学院大学知識科学教育研究センター
JAIST
miyata@jaist.ac.jp, http://www.jaist.ac.jp/~miyata/

平賀 瑠美 Rumi Hiraga
文教大学情報学部
Bunkyo University
rhiraga@shonan.bunkyo.ac.jp, http://www.bunkyo.ac.jp/~rhiraga/

keywords: design assistance, contents production, non-verbal media, CBR, kansei information

Summary

Demands for multimedia contents are increasing. Computer-supported design for non-verbal media is supposed to be one of the most crucial information technology services. The goal of this paper is to illustrate a guide for productive design defined as the process to elaborate the artifacts toward the expression goal. This paper introduces design assistance systems explored in music, painting, plastic modeling and motion design. Based on the observation, this paper discusses merits of example-based design in terms of "smooth interface." Then we are going to illustrate a computational model for design assistance, which copies design elaboration of an existing example to a target based on gradual matching of reductions between the target and the example.

1. は じ め に

現在，コンテンツ制作に対する需要が高まってきており，音楽，映像，造形，舞踊など非言語メディアにおけるデザイン支援への取り組みが注目されている．本学会においても 2002 年に「事例に基づくデザイン支援と評価基盤の構築」がニュー・チャレンジテーマとして採択された．以来，発表件数も着実に増加しており，2004 年度の全国大会では 10 件の論文が発表され，その可能性や問題点について領域を越えて討論が行われた．全体的な傾向としては，実用化に近い，あるいは，実用化を意識した研究事例が増えてきているように思われる．

"デザインの支援" は回路図面のレイアウト，意思決定のプロセス [Goel 97, Duffy 97] ，ならびに発想支援 [村上 01] に代表されるように，人工知能の応用研究テーマのひとつとして以前から存在している．我々の着目は必ずしも新しいものではない．しかし，非言語メディアは回路図面や意思決定のプロセスと異なり，論理的に記述しその内容を他者へ伝達することが一般に困難である．そのデザイン支援においては新たな視点や手法を導入することが求められる．このような背景のもと，これまで音楽，絵画，造形，モーションといった非言語メディアの

デザイン支援の研究は人工知能とあまり関連付けられることなく個別に進展してきたと言えよう．ところが，実際に非言語メディアのデザイン支援の研究事例を俯瞰してみると，意外にも共通点が多いことに気付く．例えば，デザイン対象である非言語メディアの表現・記述の階層構造，既に存在するコンテンツを加工して新しいコンテンツを創作する方法論などである．共通点があるということは，他メディアでの方法論を援用あるいは借用することが考えられたり，今後新たに取り組まれる非言語メディア処理研究の指針となるガイドライン作りへの期待にもつながる．逆に，相違点が明らかになれば，非言語メディア毎の特徴を活かした応用技術やメディア情報の変換・統合技術に寄与することが考えられる．

本論文では，音楽，絵画，造形，モーションを取り上げ，各領域で個別に研究されてきたデザイン支援の研究事例について紹介する．その上で，事例に基づくデザインの一つの処理モデルを紹介し，効用と課題について論じる．第 2 章では，非言語メディアを対象としたデザインについての筆者らの基本的な立場を述べ，エラボレーション（elaboration），様式，形容詞の関係について論じる．その上で，従来の感性工学にはなかった事例に基づくデザイン支援への流れについて触れる．第 3 章では，音楽，絵画，造形，モーションのそれぞれの領域で取り組まれてきたデザイン支援の研究事例を紹介し，事例に基づくデザイン支援実施にむけての研究課題を整理する．第 4 章では，記述および構造解析の点で他の非言語メディアと比べて定式化が進んでいる音楽を題材としたデザイン転写モデルを紹介し，課題，他メディアへの応用可能性について検討を行う．第 5 章では，評価の考え方と取り組み事例を紹介する．

2. 非言語メディアのデザイン

一般にデザインとは，表現すべき抽象的な課題が与えられたとき，それを適切な実装技術やインタフェース技術等によって効率良く達成する表現行為，または，その結果と説明されることが多い．それでは非言語メディアを対象としたデザインとはどんなものだろうか? この章では，デザインに対する我々の考え方を示した上で，従来の感性工学にはなかった新しい視点である事例に基づくデザイン支援への流れについて触れる．

2·1 デザインとアート

我々は，明確なイメージを持って受容者の “知覚” や “認知” を考慮しつつ，アーティファクトを具体化・具象化する過程をデザインととらえている．一般に商用の非言語メディアデザインやコンテンツ制作においては，デザインされたアーティファクトをより多くの受容者に受け入れてもらう，あるいは，特定の心理状態に誘導するという目的をもってデザインがなされる．

これに対し，アートとは制作者の問題意識を作品という表現行為で表象したものを指すことが多い．制作者の “自己表現” が主目的であり，受容者を特定の心理状態に誘導することを必ずしも目的とはしない．しかし，アート制作者自身の表現意図が比較的明らかな時，受容者の知覚を明確に意識したアーティファクトの緻密な具体化が行われることも少なくない．この意味において，アート制作の一部としてデザインが実践されている場合もある．

2·2 エラボレーション

非言語メディアデザインの表現行為において，受容者の印象や感想を制作者の意図に沿ったものとするために意図的に配された逸脱を エラボレーション（elaboration）と呼ぶことにする．例えば，演奏者は音楽演奏においてある意図を実現するため，譜面通りの機械的な演奏からテンポ，音長，音量などをずらす (逸脱させる)．これは演奏表現レベルでのエラボレーションである．また，舞踊においては特定のポーズに対する体の各部分のちょっとした配置や角度の違いがエラボレーションである．

一般に，エラボレーションには個体差が認められ，受容者はそこに個性や様式を感じとる．ジャンルや様式といった概念の存在もその現れである．ある種のエラボレーションの分布がジャンル，様式，個性として認識されるクラスを形成していると考えられる．デザイン自体の説明をする際，形容詞 (**情緒表現**[*1]) を使うことが少なくないが，これもエラボレーションの分布と関連が深く，またジャンルや様式と同等のものであるといえよう．

2·3 概念空間の構成に基づくアプローチ

非言語メディアコンテンツのエラボレーションに対する受容者の印象や感想は曖昧かつ主観的なものであるが，生物的及び社会的に共有する背景や概念を基盤とした共通了解があるため，ある程度の一般性が仮定できる [Gibson 86]．この仮定を起点としたデザインの工学的支援インタフェースとしては感性工学と呼ばれる手法が知られている [長町 93, 大澤 00]．一般に感性工学は次のような方法論を採用している: 1) デザイン素材に対する印象を多数の形容詞対によって評定する，2) 評定データを元に，多変量解析によって，直交基底からなる低次元の概念空間を形成し，同時に，デザイン素材の概念空間への写像関数を得る，3) 概念空間がデザイン素材に対するナイーブな概念に対応することを想定してメディアの提示や選択などを行う，4) GUI 等で概念空間に配置したメディアをブラウズし，操作する．

感性工学は「車」,「眼鏡」,「商標」等の検索インタフェースを中心に実績を上げてきた．また，作曲支援に

---

*1 情緒表現は，さらに，知覚情報の言い換えに相当する知覚表象表現, 文化的な基盤において共有されているクラスの表象に相当する文化的表象表現, 嗜好に関連し一般性の仮定が困難な嗜好関連表現に分類できよう．

用いられた例もある [Saiwaki 89]．しかし，概念空間の座標値の写像からデザインを一意に求めることはどの分野においても基本的に不可能である．そのため，エラボレーションの生成を含むデザインタスクには不向きとされる．この問題に対し吉住らは車のデザインを題材としてデザイン特徴量（ここでは，形状の直線近似データ）を直接的に操作し，予め定めた写像関数によって 2 次元の概念空間に投影し，その投影座標が所望の概念空間に近づくよう繰り返し修正することで具体的なデザインを得るという手法を提案した [吉住 97]．この研究での評価の焦点は発想支援に関する事項であり，生成系デザインに関する論述は少ないが，デザインのアピアランスに直接的に影響するパラメータを操作しうるという状況は使用者にとって好ましかったと推測される．

2·4 事 例 の 活 用

前節では，エラボレーションに対する共通了解について言及したが，そのデザインをそのデザインたらしめている特徴については言語化されていないことが多い．また，あったとしても語彙は乏しく，言葉で説明することも容易ではない．イメージを伝達するには，直接，事例を参照した方がはるかに容易である．実際に職業的なデザイン分野，特にコンテンツ創作においては，具体的な目標事例を掲げてデザインイメージの伝達・共有をはかり，その上で具体的な制作プロセスに入ることが多い．例えば「ビートルズのあの編曲」や「スタンリー・キューブリック後期作品のシーン展開」という指示である．この場合，当事者間にはデザインイメージの共通了解があるため，あえて概念空間を外在化させる必要性がない．

計算機を用いたデザインの支援アプローチの多くは概念空間の操作・形成に焦点を当ててきた．しかし，エラボレーションの生成を含むデザイン支援インタフェースにおいては，概念空間の操作・形成を支援するのではなく，直接的にエラボレーションの操作・転写を支援した方がデザイナのイメージをより正確に捉えられるのではないか．そのほうがデザインの機微や個人差を情緒表現で記述することなく “なめらかに” 伝達できるのではないか．しかしその一方で，事例に基づく推論 (CBR) の研究で言われているように，事例 (ここではエラボレーション) の適切なインデキシングや開いた状況 (文脈) への対応等が課題となる [Kolodner 93]．

以下の章では，音楽領域を中心にデザイン上の特徴の操作と転写に焦点を当てた研究例をいくつか紹介する．

3. デザイン上の特徴の操作・転写に焦点を当てた研究事例

この章では，音楽，絵画，造形，モーションの各領域で実施された具体的な研究例を紹介し，事例を利用してデザイン支援を実施する際の考慮事項を整理する．

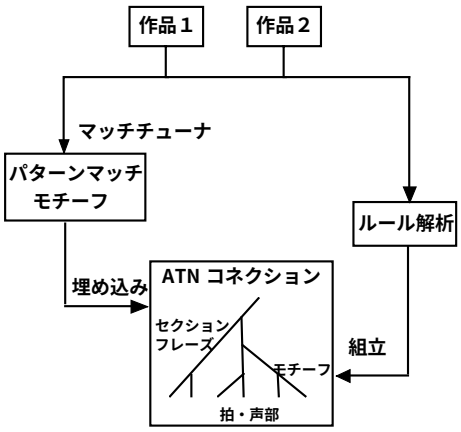


図 1 EMI の概要．図中，左サイドがパターンマッチ（モチーフ抽出）プロセス，右サイドがルール解析のプロセスを示している．

3·1 音楽領域での取り組み

§1 作曲タスク

EMI は Cope によって 1981 年から開始された自動作曲に関するプロジェクトである [Cope 91]．Cope は,「作曲とは，今までに作られた作品の事例の解析と再合成によってなされる」という考え方に基づき，自動作曲・編曲システムを構築してきた．EMI の処理概要を図 1 に示す．EMI は大きくわけてモチーフ抽出プロセスとルール解析プロセスから構成されている．モチーフ抽出プロセスでは，ピッチのみ，リズムのみ，ピッチとリズムを合わせたものの 3 つの基準から同一または同型と考えられるモチーフの発見を行う．一方，ルール解析プロセスではパートの進行方向，繰り返される音の数，和声の概形などからモチーフの出現確率を計算し，それを拡張遷移網 (augmented transition network) として表現する．これら作品の様式に関する基礎データから，乱数を用いてモチーフを再構成することで作曲が行われる．ユーザが与えるデータは楽譜（音のシーケンス）である．ここでのエラボレーションとは作曲レベルでの作風であり，それを操作する内部変数はモチーフ，和音の推移確率などである．

§2 ミックスダウンタスク

ミックスダウンとはレコーディングによって録音された各トラックの音素材に対しエフェクタにより音質を加工し，音量や音像定位の調節を行い，最終的に 2 トラックにまとめあげる作業である．この部分のデザインにはエンジニアの個性が顕著に表れる．的確なミックスダウンを施すためには高度の技能と経験が必要であり，アマチュアにとっては難しい作業である．片寄らは目標となるミックスダウン事例を参照し，そこで施されたデザインを転写するシステムを提案した [谷井 03]．

最近のポピュラー音楽の多くは計算機上のシステムによって制作されており，十分な資産が存在する．それらの資産を利用するために，音響信号処理に基づいて，各

トラックの楽器種，楽曲中の音楽構造 (A メロ，B メロ，サビなど) の情報を付与する．ユーザが用意した原曲のそれぞれのトラックに対し，対応する事例中の音楽構造毎，トラック毎のエフェクト，音像定位パターンを転写する．あわせて，どのような制作上の目的をもってそのミックスダウンが行われたのかというような情報も付与しておく．

このシステムの基本的なアイデアは，言語的なインタフェースを使用せずにミックスダウンの操作レベルのデザインを転写するというものである．「事例」が思い浮かばないケースも想定し，「楽器の音色」「奏法」を手がかりに類似の事例を検索し，その中から所望のデザインを選ぶインタフェースも用意している．「構造記述」「楽器の音色」「奏法」など人間にとって直感的な認知的特徴をシステム内部で扱おうとしている点が，このシステムの特徴である．ここでのエラボレーションは使用者にとっては音響そのものであるが，操作対象はエフェクトの選択，パラメータの付与など抽象度の異なった記述レベルのものであることに注意したい．

§3 演奏表現タスク

iFP は，名演奏のデータをテンプレートとして利用し，指揮あるいは拍打によって，テンポ，音量を制御する演奏インタフェースである [Katayose 04a]．このシステムでは，演奏におけるエラボレーションが，テンポ，拍音量，拍内の微細な演奏表現（偏移の分散）の 3 つの次元の時系列データとして取り扱われている．図 2 に示すように，演奏者は自身の直接的なテンポ，音量制御，さらに，それぞれの 3 つの軸に対する実時間の重み設定によって演奏表現を実施する．演奏技術はシステムが担うため，演奏者はフレーズの表現そのものに集中できる．このシステムでは，二つの演奏テンプレートを利用したモーフィングインタフェースも用意しており，例えば，中庸の演奏と重い演奏例の外挿により，軽やかな演奏を生成するといった使い方も可能である．iFP を使用した演奏は演奏表現というデザイン事例の能動的ななぞりと見なすこともできよう．

一般的なユーザは， iFP に不慣れな段階では「システムに引っ張られる」という感想を持つことが多いが，慣れてくるにしたがって，その多くがテンプレートを用いることによる表現力向上を実感するようになる．これに対し，指揮法の専門家は「単純に聞いているよりも実際に iFP を演奏する方が演奏者の意図を理解しやすい．指揮法の教育システムとしても利用できる」と指摘した．この指摘を受け，iFP を使用して演奏している時と単に音楽を聞いている時の状態の差を，内観調査と NIRS を用いた脳機能計測によって比較した．その結果，iFP を用いた方がユーザはより深く音楽に没頭していることを示すデータが得られた．デザイン事例の能動的ななぞりは，そのデザイン事例を理解し，気付きを得るのに有効な手段の 1 つになり得るかも知れない．

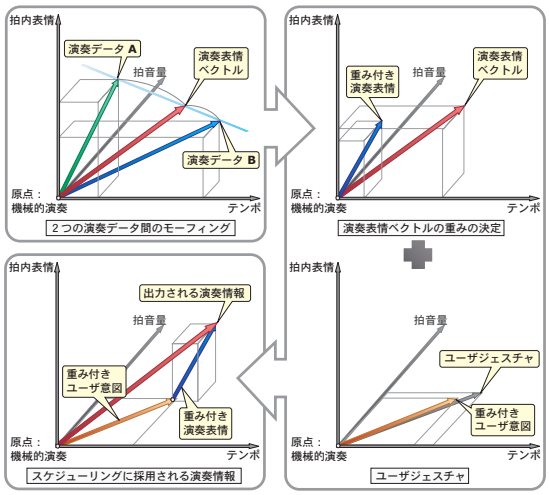


図 2 iFP における演奏データ生成の概念図．演奏者が直接的に操作するエラボレーションは，テンポ，音量である．その他に，テンポ，拍音量，拍内の微細な演奏表現（偏移の分散）表現のバランスを操作する．

3·2 造形領域での取り組み

造形領域においては，デザインプロセスの定式化を行い，その知見をデザイン支援に応用する研究が行われてきた．その端緒は G. Kepes によって説かれた視覚言語である [Kepes 44]．しかし，今までの研究の多くは造形研究家やデザイナの直感を頼りにしており，形状の物理量などに基づいたものではなかったため，成果の一般的な有用性や適用可能性，説明の科学的な客観性に乏しかった．つまり，エラボレーションを記述するものとしては不十分なものであった．

原田らは視覚言語を，扱う対象の物理量から抽出することを目指し，自動車の曲面デザインを題材として，その定量化や認知科学的アプローチを試みた (図 3) [原田 98]．ここでは，体系的に定式化された視覚言語を再構成することで，創成が可能な曲線のエラボレーションの全体像を同定・記述することに成功した．さらに，デザイン支援として，任意のデザイン概念 を具現化する視覚言語とそれらを組み合わせる統語法との関係を形式化し，それを自動車の曲線デザインにおいて検証した．しかし，現段階では，自動車全体の曲面までを網羅した様式の実装までには至っておらず，このレベルの様式の形式化，表現や操作の探究が今後の課題である．

3·3 絵画領域での取り組み

芸術家の Harold Cohen が Lisp で構築したコンピュータ画家 “Aaron” は，Cohen の芸術活動における過程（精神の働き）をマシン上に実装したものである．“Aaron” においては，Cohen 自身の描画に対する知識が形式化され，プログラムとして具現化されている．“Aaron” は Cohen の表現に関する知識の一部を持ってはいるが，それはプログラム中に埋め込まれたものであり，一般の人は利用できない．

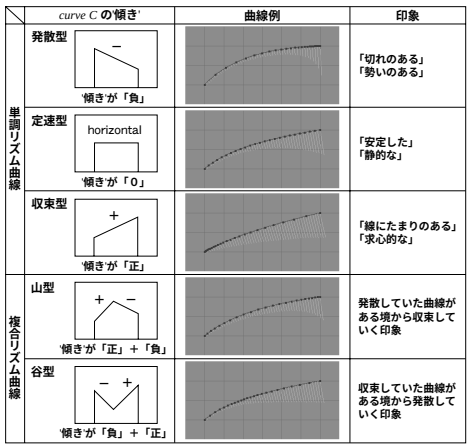


図 3 視覚言語化（定式化）された 5 つの曲線タイプ

これに対し，笠尾・宮田らは,「多くの人と描画知識を共有しながら新たな表現を生み出す」描画サーバーシステムの構築に着手している．この描画サーバーシステムの基本エンジンには，描画ソフトウエア SIC[笠尾 01] が利用されている．SIC は，まず，元となる写真から画像の構造を抽出し，次にその構造をもとに数段の表現ステップを踏むことで表現したい画風を作り出す．

SIC のプログラムには各ステップにおける描画知識が埋め込まれているが，各ステップにおける多くの “処理” の組み合わせ方やパラメータ設定はスクリプトとして外部記述が行えるように設計されている．つまり，SIC においてエラボレーションは “処理” の組み合わせ方やパラメータ設定として取り扱われている．SIC は画家の頭の中の画像の変換プロセスをアルゴリズムに置き換えるという方針で設計されているため，使用者は各 “処理” レベルの振る舞いをおおよそ予想することができる．しかし，スクリプトの組み合わせによって全体としては SIC を用いて生成された作品は多様に変化する．描画サーバーシステムはスクリプトとレンダリング結果との対応関係を公開型で集積・管理するものであり，描画知識の整理，共有，再利用の環境として利用されていくことが期待されている．

3·4 モーション領域での取り組み

エンターテイメントや教育などの分野では，CG による人物アニメーションに対するニーズが高まっている．この制作には複雑な技術や専門知識に加え，膨大な制作時間が必要で，個人，とりわけ初心者にとっては敷居が高い．CG で人物動作を生成する場合，一般的にキーフレーム補間法が使用されるが，自然な動作を生成するためには多数のキーフレームを設定して動きを与えてやる必要がある．この作業を代替するものとして，少数のキーフレームのみを指定し，計算モデルによってモーションを補間する研究が行われている [星野 03, 向井 03].

星野らは，アニメーションのデザインプロセスを概略的な図表現による基本構造と運動レベルの詳細化に分離することで，複雑な人物アニメーションを容易に生成する手法を提案している．ここでの目的は，ストーリーボードによって記述されたシナリオやシーンデザインなどの様々なレベルで，モーション事例を再利用することである．まず，ビデオ映像からの 3 次元的な人物動作を輝度値と関節駆動力の最小化問題に帰着させて推定する．次にキーフレーム間のモーション補間を行うため，ストーリーボードに書かれた概略的なキャラクタ動作の記述に，動作データベースに蓄積された動作セグメント (事例) を適用する (図 4)．その際， 独立成分分析 (Independent Component Analysis: ICA) を使用し，その基底により生成される空間拘束を用いることで，間隔の広い姿勢を補間した場合でも破綻の少ない姿勢遷移を生成する．

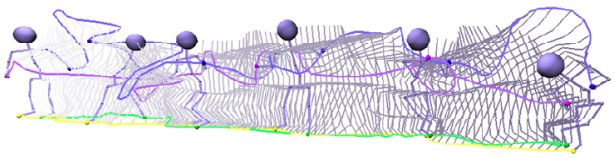


図 4 概略記述からの連続動作の生成．動作生成の結果を軌道表示したところ．筑波大学 星野准一氏提供．[星野 03] より

モーションは時系列メディアであり，エラボレーションの記述に関しては，課題も含め，音楽と共通する点が多い．レンダリングのスピードが飛躍的に高まった現在，デザインの対象としての重要性がますます高まっている．それとともに，新たなアート領域として発展する可能性も大きい．

3·5 事例に基づくデザイン支援にむけての研究課題

事例を利用したデザイン支援を実現する上で，取り組んでいくべき基礎的研究課題としては，

- エラボレーション記述の定式化
- 非言語メディアの認知構造のモデル化と分析

があげられる．また，実用化に向けては，

- 非言語メディアからのエラボレーション抽出
- エラボレーションの利用を促進するインタフェース
- エラボレーションの転写アーキテクチャ
- 評価法構築

などに取り組んでいかなければならない．

先の章で紹介した研究事例は上記研究課題に複数関連する．**エラボレーション記述の定式化**の取り組みに該当するものとして，曲線 (面) の視覚言語 (3·2 節)，モーションのモデル化 (3·4 節) が挙げられる．**非言語メディアの認知構造**(4·1·2 節参照) に該当するものとして，EMI (3·1·1 節) とミックスダウン支援システム (3·1·2 節) が挙げられる．これらシステムが**エラボレーションを転写・創成**する際，**認知構造のモデル化と分析**が重要な役割を果たす．視覚プロセスをシーケンシャルな処理として再構築している SIC(3·3 節) も**認知構造のモデル化**を強く

意識した研究といえる．SIC のようなシステムにおいては，それぞれの処理ステップ毎に異なった事例のエラボレーションを転写するという使用法も想定される．

非言語メディアからのエラボレーション抽出については，モーションのモデル化，iFP でのテンプレート作成部 (3･1･3 節) が該当する．これらのシステムは従来のパターン認識研究が切り捨てていた情報を抽出することに焦点を当てている．エラボレーションの抽出にはパターン認識での技術的蓄積の活用が期待される．

4. エラボレーションの転写アーキテクチャ

前章で紹介した研究事例はすべてなんらかの形で**エラボレーションの利用を促進するインタフェース** を備えており，それぞれ目的，エラボレーションの粒度，形態等が異なっている．しかし我々は，そこに何らかの領域を越えて共通な**エラボレーションの転写アーキテクチャ** があると考える．本章では，音楽を題材として エラボレーションの転写アーキテクチャに考察を加える．

4･1 音楽の構造と記述

§ 1 音楽におけるエラボレーション記述

音楽には，楽譜や MIDI に基づくデータ記述や音楽理論が存在する．これらはエラボレーション記述の糸口になると思われる．

楽譜には音符のシーケンス，楽器種，演奏表現の手がかりとなる発想記号等が含まれる．楽譜における音の長さ，音の大きさ，音の高さは量子化されたものであり，実際の演奏にはそれに逸脱が加わる．楽譜だけでは元の演奏を正確に再現することはできない [大橋 03] が，楽譜の記述力，記述のコスト，再現性のトレードオフとして現在の楽譜のような記法が定着したと考えられる*2．一方，楽譜という 記述レベルが設定されたことで，楽曲そのもののエラボレーションと演奏の表現に関するエラボレーションを分離することが可能となった．

次に演奏の表現に関するエラボレーションを考える．演奏者は与えられた楽譜に対して発音を制御して演奏上のニュアンスを表現するが，エラボレーションの記述を考える場合，少なくとも，物理的な演奏ジェスチャ，音の波として投影された結果である音響信号の二つの視点が存在する．また，聴覚レベルに留意するなら，音響の時間周波数表現に基づく記述も考えられる．

これら演奏の表現に複数の視点が存在することに関連し，電子楽器分野では 1982 年に電子楽器の演奏制御プロトコルを共通化する MIDI と呼ばれる規約が制定された．MIDI はピアノやオルガン等の打鍵楽器系の演奏ジェスチャを近似的にモデル化しており，基本情報としては発音名とその際の打鍵の強さ，そのイベントの発火時刻を取り扱う*3．

以上，音楽におけるエラボレーション記述の枠組みとして楽譜，MIDI について眺めてきた．楽譜や MIDI によって表現し得るエラボレーションは音楽全体のそれからすると断片を切り取ったものに過ぎず，また，単純な加算によって音楽のエラボレーションの全体像が再構築できるものでもない．しかし，このようなレベルの異なったデータ記述が制定されたことにより問題が明確になり，作曲や演奏のモデル化，エラボレーション転写の研究の進展につながったのも事実である．レベルの異なるエラボレーション記述を用意していくことは他の非言語メディアでのデザイン支援を考える際にも有効であると思われる．

§ 2 音楽とリダクション

前節で扱ったエラボレーション記述はデータの表層的な部分に焦点を当てたものである．これに対し，音楽の拍節構造，和声，フレーズなどのように，受容者や創作者の知覚・認知にかかわる高次構造もしくは抽象化された音楽記述レベルが存在する．本論文ではこれらをリダクション（reduction）構造と呼ぶことにする．

リダクション構造には階層構造をなすものがある．拍節構造やフレーズ (グループ) 構造がその代表である．楽譜記述レベルから階層的に解析を進める理論として GTTM [Lerdahl 83] *4が有名である．これに対し，ネットワーク構造で音楽進行における期待感を扱う理論として IRM [Narmour 90] がある．

4･2 事例に基づくデザイン転写モデル

作曲家は音楽構造をきわめて明確に意識して作曲を行い，演奏家は自身の理解した音楽的構造を明確化するという意図をもって演奏表現を行う [斎藤 99]．メロディの線形予測システムに複数のリダクション構造の組み合わせによる多次元統計モデルを導入することで予測精度が大きく向上し，バッハのコラールに対しては 100% に近い確度で後続音が予測できるようになったという報告もある [Conklin 95]．

音楽では複数のエラボレーション記述レベルにおいて，

- 未来のエラボレーションは，観測された現エラボレーションの振る舞いと因果性を持つ，
- エラボレーションはリダクション構造と強い相関を持つ，

*2 楽譜には様々なものがあるが，ここでは伝統的西洋音楽のいわゆる五線譜を想定している．

*3 その他にビブラートやトレモロの表現が記述できる．また，音源に組み込まれたエフェクトパラメータを記述・制御することが可能である．

*4 西洋調性音楽のホモフォニーを対象とした，生成文法理論とシェンカー理論に基づく音楽構造の解析理論である．分析のための規則は，分析結果として得られる木構造の well-formedness に関する基本規則と，基本規則の適用に関するメタ規則 (選好規則) から成る．GTTM は 4 つの部分理論から成る: グループ構造解析 (G)，拍節構造解析 (M)，Time-Span Reduction (TSR)，Prolongational Reduction (PR)．G と M の結果をベースとして楽曲のスタイル構造を表す TSR ，TSR と二つのイベントの緊張弛緩関係から PR を得る．

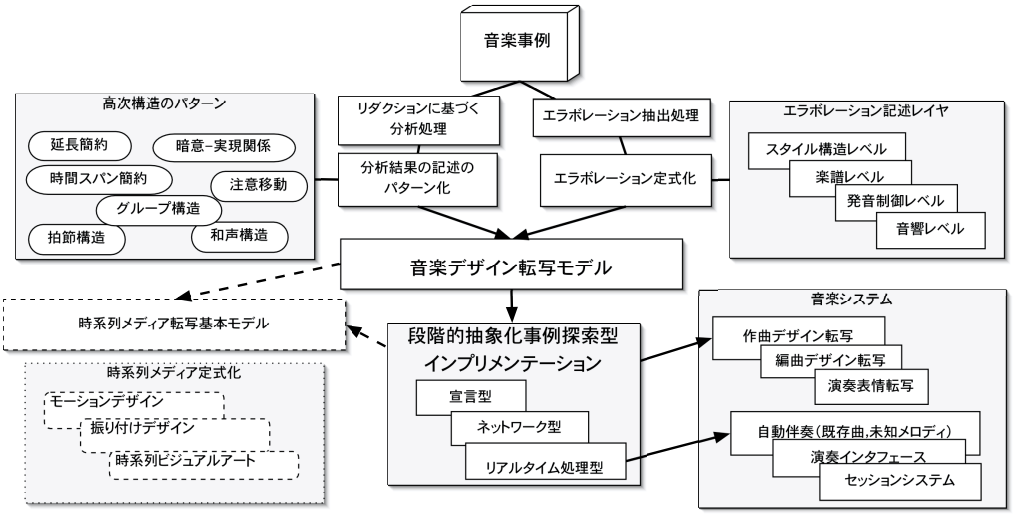


図 5 音楽におけるデザイン転写の全体像

という 2 つの性質がある．これらの性質に着目したエラボレーション転写に対する我々の考え方を 図 5 に示す．まず音楽事例が与えられると，リダクション構造の抽出とエラボレーションの抽出が行われる．ユーザがこれら 2 種類の情報を組み合わせて新しい楽曲等を具現化することが音楽におけるデザイン転写である (音楽デザイン転写モデル)．インプリメンテーションの囲みでは楽曲生成の仕組みによって大きく 3 通りに分類した．

§1 インプリメンテーション

図 5 の枠組に沿った一つのデザイン転写モデルを示す:

(1) ユーザがエラボレーション転写の記述レベルを指定
(2) その記述レベルにおいてユーザの入力と合致するデザイン事例 (転写元) を検索
(3) 合致するデザイン事例中において，そのリダクション構造の記述レベル (リダクションレベル) でエラボレーションの転写と付与
(4) もし合致する適切なデザイン事例が検索できなかった場合は統計的処理を実施

以下，主要ステップについて説明を行う．

i. 検 索:

以下のステップに従って検索を行う:

- より具体度の高いリダクションレベル（あるいは，リダクションの組み合わせ）から，抽象度の高いリダクションレベルに向かっての段階的探索
- より長い（古い）データ列から，短い（直近の）データ列に向かっての探索

を相補的に組み合わせ，できるだけ入力として与えられたデザイン転写先と類似したデザイン転写元を検索する．

一般に，検索条件が具体的かつ詳細化しすぎていると，適合する事例が見つからないということが起こり得る．ただし，適合する事例が存在する場合は，できる限り具体的なものを優先して利用したい．本検索手法はこのような相反する要求に対処するよう設計されている．

例えば，3 小節の入力データヒストリに対して MIDI ノート名とテンション付コード名で検索したとする．もし合致するものがあればそれを採択する．もし合致するものが無ければ，具体的な MIDI ノート名の代わりに上向・下向等の音型を検索する，あるいは，コード名検索のテンションに対する条件を外す．さらにそれでもまだ合致しなければ，2 小節のデータヒストリで検索を行う．

本モデルにおける検索の特徴の 1 つはリダクションレベルを上下に移動することで，その類似性の抽象度を制御している点である．

ii. デザイン事例転写:

デザイン転写元として与えられるデータの構成要素が適度な分布を持っている場合や，事例間の類似度が計算され合致事例を一意に絞ることができる場合は，その事例中の指定したレベルでのエラボレーションを転写することによって目標が達成される．

洗練された抽象化レベルが用意できていない場合，検索条件を 1 段階緩めただけで合致要素が急激に増えてしまうことが起こり得る．また，その際，合致事例どうしが矛盾していうることも想定される．この状態でエラボレーションを捨象して平均値をそのまま用いることは適当な方策とはいえない．そこで，転写の対象となるエラボレーション（例えば，その音をどれだけ延ばすか，次の音は何であるかなど）の値毎の生起確率を計算し，その上で，1) 前もってユーザが指定した尤度の高いデータを決定的に選択する，2) 統計的性質を満たすよう乱数を用いて選択する，の何れかの指示にしたがって，転写あるいは補完データを決定する．

§2 データの与え方

上記のモデルに与える事例は必ずしも一曲である必要はない．楽曲の一部もしくは複数の曲を与えることも可能である．

リダクションレベルを制御する条件によっては，デザイン事例の照合が全く成功しない場合もありえる．何ら

かのエラボレーションを転写することを最優先させたい場合は，別途デザイン事例ベースを用意し，それに対して考え得るリダクションの各要素に対するエラボレーションの値の生起確率を計算しておき，ベイズの定理に基づいて統合的に最も尤度の高いものを採用するという操作によって対処する．

§ 3 システム試作

以上のデザイン転写モデルに基づき，自動伴奏と演奏の表情付けの 2 システムをプロトタイプ実装し，予備評価を行った [片寄 04b]．自動伴奏システムに数曲のデータセットを与えた所，未知のものを含む童謡程度のメロディに対してほぼ違和感なく伴奏ができるようになった．演奏の表情付けシステムについても，ルールベースによる演奏表情付けシステムと同程度の演奏を生成することを確認した．本格的な評価はまだであるが，リダクションレベルの制御を利用したデザイン事例検索と，デザイン転写モデルへの第一歩は提示できたものと考えている．

4·3 デザイン転写モデルの検討

本デザイン転写モデルを実行する際には，頻繁にデザイン事例間の類似度を計算する必要がある．この類似度の振る舞いは人間の知覚や認知を自然に反映していなければならない．本モデルでは，リダクションレベルの制御を行い，解が存在する適切なレベルでのみ類似度を計算できればよいようにしている．また，この手法によって自然な類似度の定義を多少簡素化できたと考えている．しかし一方，事例の照合におけるリダクションレベルの制御という新たな課題が生まれた．音楽に限らず非言語メディアに幅広く有効なリダクションレベルの制御戦略が求められよう．

従来の音楽システムの多くは作曲や演奏など音楽タスク毎の個別動作モデルに基づいて開発がなされてきている．しかし，人間は音楽タスク毎に異なったモデルを用いて音楽を処理しているとは考えにくい．この意味において，上述の自動伴奏と演奏の表情付けの 2 システムが同じモデル上で動作している点は重要である．我々のデザイン転写モデルは作曲，編曲タスクへの応用も可能であり，1 つの音楽タスクを構成する際に蓄積されたノウハウやリダクションレベルの制御戦略等を他の音楽タスクを実現する際にも再利用できる可能性が高い．さらに本モデルは音楽以外の時系列情報，例えばアニメーションの動作デザインや振り付け等におけるデザイン転写にも応用できるのではないかと考えている．一方，絵画や造形等の非時系列メディアに関して，本モデルを直接的に応用するのは難しいかも知れないが，絵画や造形を要素として構成した新しい時系列コンテンツに関しては本モデルの応用が可能であると思われる．

そもそもデザインの転写に際してユーザが具体的なデザイン事例を思い浮かべられない場合もあろう．そのような時，例えば「ホラームービーの BGM にはこのエフェクトが多用された」というような自然言語による付加的な情報がデザイン事例検索の有効な手がかりとなり得るだろう．このような音楽の高次構造とは全く無関係な自然言語とエラボレーションを関連付けることも可能であり，この場合においても，本論文で示したデザイン転写モデルはある程度機能するものではないかと考えている．

5. デザイン支援システムの評価

非言語メディアのデザイン支援の最終的な目的は「人間の作業を代替し生産性を向上させる」ことと「人間の作業手段を拡張する」ことに集約される．評価項目として，これら目的の達成度や作業効率を調べる必要がある．また，エラボレーションの利用を促進するインタフェースにおいては，気付きや使い心地がそれらにどの程度貢献しているかも調べる必要があろう．しかし，システム毎に変動する付帯状況も無視できないため，一般的な議論を行うのは簡単ではない．例えば，事例に基づくデザイン支援システムの場合の評価法として，用いる事例と得られるデザイン結果の差に特化して評価を行う方法が考えられるが，この場合，研究者ごとに異なるデザイン事例の記述フォーマット及びその内容の共通化を図る必要がある．本章では，まず，評価に際して考慮すべき項目を整理する．次に評価に関する事例報告として，我々が現在実施している演奏表情付けシステムの評価に関するプロジェクトを紹介する．

5·1 評 価 の 枠 組

我々はデザイン支援システムの評価項目は，次の 3 つの視点，4 つのタイプ，2 つの範囲の組合せとして整理できると考えている．

3 つの視点

- (V_1) コンテンツの制作におけるシステムの利用
- (V_2) 作成されたコンテンツの内容と受容
- (V_3) システムの開発・改良にかかわる学術的価値

4 つのタイプ

- (T_1) 対象の特性を表す絶対的な数値測定
  - e.g. 全解を X 秒で計算できた
- (T_2) 相対的な達成度の数値測定
  - e.g. 適合率が Y % に向上した
- (T_3) 心理・生理実験に基づく一般的評価
  - e.g. Z% の被験者がこの曲に好感を持った
- (T_4) 対象に対する個人のナイーブな定性的評価
  - e.g. システムの利用が新たな発想につながった

2 つの範囲

- (R_1) システム全体
- (R_2) システムを構成する各要素

上で述べた事例とデザイン結果の差に注目する評価は視点 (V_2) における評価である．

用いたモデルによってその事例がどの程度再構築されるかを測定する評価は (T_2) タイプの評価法である．加えて，デザインを取り扱う上では，タイプ (T_3)，(T_4) のような質的・認知的評価が不可欠である．この時，どのようなスキルや背景を持った被験者を集めるかによって結果が大きく変わってくるので，評価者や被験者の選別に注意を払う必要がある．

5·2 評価に関するプロジェクトの事例報告

演奏の表情付けシステムは音楽演奏に人間のような豊かな表情を付けることを目的としており，別名 performance rendering と呼ばれている．人間を感動させるような演奏は機械的な演奏に対してエラボレーションを付加することで実現される．我々は表情付けシステムの視点 (V_2) タイプ (T_3) での評価の一環として，2002 年より生成された演奏をコンテスト方式で聞き比べるプロジェクト Rencon (Performance **Ren**dering **Con**test [*5]を開始させた [平賀 02]．

Rencon では，作曲者と対象曲，音源をそろえるなど規約を設けてきた．表情付けシステムの場合，当該の楽曲のみに有効に機能するシステム設計者の “作り込み” が入り込む余地がある．ただし，この “作り込み” が表情付け研究におけるブレークスルーにつながる可能性もあるため，そのすべてを排除することが良いとは考えない．そこで，対象曲限定の規定部門と手法・対象曲・音源のいずれにも制約を課さない自由部門を設けることにしている．今までに実施してきた Rencon では，その演奏が「好きか–嫌いか」,「自然か–不自然か」の 5 段階評価で順位付けを行ってきた．この結果，興味深いことに，年齢・音楽経験・民族を超えた音楽受容の一般性を見出すことができている．

主観評価において信頼性を高めていくためには，恣意性を排除する努力が求められる．審美性にかかわる評価という点では，フィギュアスケート競技での評価法が参考になる．フィギュアスケートでは，従来，技術点，芸術点の二つの基準を定め，それぞれに対し減点方式で採点を行っていたが，2003 年からジャンプ，スピン，曲の解釈など演技を構成する要素を細かく分類し，その難易度と質を加味した加点方式の採点法を試行している (T_1)．この試みは部分 (R_2) の積み上げによって全体 (R_1) を評価しようとするものでもある．新しい採点法の導入により主観評価にかかわる問題をすべて解決できたというわけではないが，少なくとも得点内容の一般説明，それに基づく恣意性の低減という点でこの取り組みは成功していると言える．Rencon においても具体的な評定項目を設定し，各項目毎の得点付け・順位付けを実施していくことで，恣意性の入り込む余地を軽減できると考えている．例えば，ポルタメントやフレーズ表現など要素毎の表現に特化したコンテストの実施を視野に入れている．

もう一つの考慮事項として，システムの生成演奏に対しての “人間の関与” の度合いをどのように位置づけ・評価していくかということがあげられる．現在の技術レベルでは音楽認知構造分析そのものが研究対象であり，関連して，各システムが要求する人間の関与のレベルに開きがある．この部分がシステムの生成物の完成度を左右するという側面もあるため，生成物の質が向上していけばいくほど，しっかりとした人間の関与に関する規約を用意することが求められる．

表情付けシステムの中には学習型，事例転写型システムとして構成されたものもある．これらのシステムでは人間の関与が入り込む余地が少ない．異なった様式の事例を与え，どの程度の特徴把握転写能力があるかを比較・評価していくことは有望な評価法の一つになると思われる．この評価は視点 (V_2)，さらに副次的に，(V_1)，(V_3) にも関係する．

6. お わ り に

本論文では，非言語メディアのデザイン支援に向けて，音楽，造形，絵画，モーションの各領域におけるデザイン支援に関する研究事例を紹介し，事例に基づくデザイン支援方法論の有用性について考察を行った．我々は非言語メディアのデザイン支援を進めるにあたり以下の研究項目に取り組んでいくべきものと考える．

- エラボレーション記述の定式化
- 非言語メディアの認知構造のモデル化と分析
- 非言語メディアからのエラボレーション抽出
- エラボレーションの利用を促進するインタフェース
- エラボレーションの転写アーキテクチャ
- 評価法構築

さらに，本論文では事例を利用したデザイン支援の起点として音楽領域におけるエラボレーション記述，リダクションとエラボレーションの関係について述べた．その上で，データ検索における類似性判定の一部をリダクション制御に置き換えたデザイン転写モデルを示した．この手法は類似度・距離の設定問題を細粒化できるという特長を有している．反面，音楽分野に限ってもリダクション制御方式の定式化が完了しているわけではなく，これからの課題も残されている．

ここで紹介したモデルは異なる音楽タスクに適用できることが確認されている．今後は，作曲や編曲，演奏生成，さらには，モーション，振り付けなどのさまざまな時系列メディアにも適用し，有効性を検証していきたい．事例に基づく非言語メディアのデザイン支援という新しい研究分野が実応用に深いつながりを持つと同時に，非常に基礎的な人工知能に関する研究テーマであると筆者らは考えている．

*5 http://shouchan.ei.tuat.ac.jp/~rencon/

◇ 参 考 文 献 ◇

[Conklin 95] Conklin, D. and Witten, I.: Multiple Viewpoint Systems for Music Prediction, *Journal of New Music Research*, Vol. 1, pp. 51–73 (1995)

[Cope 91] Cope, D.: *Computers and Music Style*, A-R EDITIONS (1991)

[Duffy 97] Duffy, A. H. B.: The “What” and “How” of Learning in Design, *IEEE Expert*, pp. 71–76 (1997)

[Gibson 86] Gibson, J. J.: *The ecological approach to visual perception*, Lawrence Erlbaum Associates (1986)

[Goel 97] Goel, A. K.: Design Analogy and Creativity, *IEEE Expert*, pp. 62–70 (1997)

[原田 98] 原田 利宣, 森山 真光, 吉本 富士市：視覚言語を用いた曲線創成システム, デザイン学研究, Vol. 45, No. 3, pp. 63–70 (1998)

[平賀 02] 平賀 瑠美, 平田 圭二, 片寄 晴弘：蓮根，目指せ世界一のピアニスト, 情報処理, Vol. 43, No. 2, pp. 136–141 (2002)

[星野 03] 星野 准一, 中野 敦, 森 博志：モーションデザインの再利用によるアニメーション作成支援, 人工知能学会全国大会論文集, 1B1-07 (2003)

[笠尾 01] 笠尾 敦司：Linux GIMP のプラグイン: SIC で目指す芸術と科学の融合-数行のプログラムの変更がもたらす個性的な CG 表現の世界-, in *Linux Conference 2001* (2001)

[Katayose 04a] Katayose, H. and Okudaira, K.: *iFP: A Music Interface Using an Expressive Performance Template*, pp. 529–540, LNCS Vol. 3166, Springer (2004)

[片寄 04b] 片寄 晴弘, 橋田 光代, 豊田 健一, 野池 賢二, 奥平 啓太：音楽認知情報処理に関する 3 つのアプローチ, 情報処理学会研究報告音楽情報科学 2004-MUS-57, pp. 41–46 (2004)

[Kepes 44] Kepes, G.: *The Language of Vision*, Paul Theobald (1944)

[Kolodner 93] Kolodner, J.: *Case-Based Reasoning*, Morgan Kaufmann Publishers (1993)

[Lerdahl 83] Lerdahl, F. and Jackendoff, R.: *A Generative Theory of Tonal Music*, MIT Press (1983)

[向井 03] 向井 智彦, 栗山 繁, 金子 豊久：モーションデータによる目的関数推定法を用いた仮想人間の動作生成, FIT2003 講演論文集, LJ-014 (2003)

[村上 01] 村上 存, 湯浅 修二, 田島 史和, 斎藤 裕樹：形と色の特徴量を用いたデザイン支援に関する研究, 日本機械学会第 11 回設計工学・システム部門講演会, pp. 167–170 (2001)

[長町 93] 長町 三生：感性商品学: 感性工学の基礎と応用, 海文堂出版 (1993)

[Narmour 90] Narmour, E.: *The analysis and Cognition of Basic Melodic Structure*, University of Chicago Press (1990)

[大橋 03] 大橋 力：音と文明－音の環境学ことはじめ, 岩波書店 (2003)

[大澤 00] 大澤 光編：印象の工学とは何か, 丸善 (2000)

[斎藤 99] 斎藤 秀雄：(小澤征爾 他編) 斎藤秀雄講義録, 白水社 (1999)

[Saiwaki 89] Saiwaki, N., Katayose, H., and Inokuchi, S.: An Approach to a Computer Assisted Composition System with KANSEI Parameter, in *Proc. of 2nd. Intl. Workshop in AI and Music*, pp. 36–52 (1989)

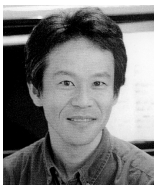
[谷井 03] 谷井 章夫, 後藤 真孝, 片寄 晴弘：ミックスダウンデザインの抽出と適用, FIT2003 講演論文集, LF-003 (2003)

[吉住 97] 吉住 英典, 堀 浩一, 大須賀 節雄：概念形成から形状設計までを支援する発想支援システムの一提案, 電子情報通信学会論文誌 D-II Vol.J80-D-II, No. 7, pp. 1887–1895 (1997)

〔担当委員：阿部 明典〕

2004 年 10 月 1 日 受理

著 者 紹 介



片寄 晴弘(正会員)

1991 年大阪大学大学院基礎工学研究科博士課程修了．工学博士．和歌山大学システム工学部助教授，関西学院大学助教授を経て，現在，同教授．2004 年度より，同大学文学研究科心理学専攻兼任．音楽情報処理，感性情報処理，HCI の研究に従事．2002 年度本会ベストプレゼンテーション賞，2003 年度 FIT 論文賞受賞．科学技術振興機構さきがけ研究 21「協調と制御」領域研究者．

平田 圭二

1987 年東京大学大学院工学系研究科情報工学専門課程博士課程修了．工学博士．1990-93 年 (財) 新世代コンピュータ技術開発機構 (ICOT)．日本ソフトウェア科学会 第 3 回大会高橋奨励賞 (1987)．情報処理学会論文賞 (2002)，山下記念研究賞 (2003)．音楽情報処理とインタラクションに興味を持つ．

野池 賢二

1992 年東京農工大学工学部数理情報工学科卒．2000 年同大学大学院博士課程単位取得満期退学．工学修士．音楽情報処理研究に従事．2002 年より，科学技術振興機構さきがけ研究 21「協調と制御」領域片寄研究グループメンバー．情報処理学会会員．

原田 利宣(正会員)

1996 年千葉大学大学院自然科学研究科デザイン科学研究分野修了．工学（博士）．マツダ（株）車両設計部，日産自動車（株）デザイン本部を経て，1997 年度和歌山大学システム工学部助教授．2004 年度より，同教授．現在に至る．1996 年日本デザイン学会研究奨励賞受賞．人工知能学会，日本デザイン学会，情報処理学会会員，感性工学会各会員．

笠尾 敦司

1986 年東京工業大学総合理工学研究科博士前期課程修了．博士 (工学)．1998 年度より，東京工芸大学芸術学部講師．2000 年度より，同大学助教授．視覚情報処理と情報デザインの研究に従事．2001 年 Linux Conference 2001 最優秀プレゼンテーション賞受賞．SIGGRAPH2002 ArtGallery 入選．情報処理学会，IEEE，ACM，デザイン学会，絵本学会各会員．

宮田 一乗

1984 年東北大学・工学部・応用物理学科卒，1986 年東工大・総合理工学研究科・物理情報工学専攻修士了，同年日本アイビーエム（株）東京基礎研究所入社，1998 年から 2002 年まで，東京工芸大学・芸術学部・助教授，2002 年から，北陸先端科学技術大学院大学・知識科学教育研究センター教授．現在に至る．工博．CG，画像処理，マルチメディアの研究に従事．

平賀 瑠美(正会員)

東京大学理学部情報科学科卒業，筑波大学理工学研究科・工学研究科修了．日本 IBM 株式会社東京基礎研究所，IBM アルマデン研究所勤務．現在，文教大学情報学部助教授．博士（工学）．ACM，情報処理学会，日本ソフトウェア科学会，ICMA 各会員．