

ドローイングを利用したモーションデザイン

甲田 春樹^{*1} 金谷 一郎^{*2} 佐藤 宏介^{*1}

^{*1} 大阪大学 大学院基礎工学研究科

^{*2} 大阪大学 大学院工学研究科

A Drawing-Based Interface For Motion Design

Haruki Koda^{*1} Ichiroh Kanaya^{*2} Kosuke Sato^{*1}

^{*1}Graduate School of Engineering Science, Osaka University

^{*2}Graduate School of Engineering, Osaka University

kouda-h@sens.sys.es.osaka-u.ac.jp

概要

近年のグラフィック演算性能の向上に伴い、グラフィックデザインのみでなく動画コンテンツの個人レベルでの創作が可能となり、今後、専門知識を持たない一般ユーザが容易にアニメーション作成可能なインタフェースへの需要が高まると考えられる。しかし、従来のアニメーション制作環境における GUI(Graphical User Interface)では、操作別の構造をしており、学習コストや効率性の観点から問題である。また、アニメーション制作の根幹となるモーションの入力では、キーフレーム補間法が多く採られており、速度変化を伴うモーションを扱うには試行錯誤の調整作業が要求される。

本論文に於いては、モーションの入力にドローイング動作の身体性を利用した速度入力を可能とするインタフェースを提案する。提案インタフェースにおいては、オブジェクトの配置された仮想空間とは別に、ペンタブレット等の入力面に固着するパラメータ平面を設定する。パラメータ平面の軸には並進や回転などのモーションの制御変数が割り当てられており、ユーザはスタイラスペンをを用いたドローイングにより制御変数の時間変化を試行錯誤的に設計する事が可能である。また、主に初心者を対象とした被験者実験から実装システムの操作の簡便性を確認した他に、ドローイングの揺れに関して、フーリエ成分のフィルタリングによりモーションの印象を左右する周波数パラメータを得た。

Abstract

Because of improvement of graphic computing performance in recent years, individual users are able to create not only graphic design but also movie contents. In the near future, novel interfaces will be indispensable for amateur users without special skills or knowledge. However, GUIs in conventional animation environments require complicated and menu operations, and also familiarized users who learned them with higher cost and longer learning time. Moreover, key frame interpolation methods are usually applied to the input of motions, which is the most basic process of animation production. When treating motions with velocity variation, this input method requires iterative numeric adjustment operation.

In this paper, we propose a novel interface for motion design by which users can input the velocity variation applying bodily movement of drawing. In the interface, the system sets the parameter plane that corresponds to the input screen such as a pen tablet besides a virtual space where the object is arranged. Control variables of the motions (rotation, translation, etc.) are allocated in each axis of the parameter plane. Users can treat temporal changes of these variables only by 2D drawings on the tablet surface and perform a number of 2D drawings through a trial-and-error process to explore his/her desired motions. Experimental results with a prototype agree that the proposed motion design method is suitable for especially beginner users. Moreover, as for the fluctuation of the drawing, experimental results clear that the frequency parameter that controls the impression of the motion can be controllable by filtering in the Fourier coefficients.

1 はじめに

近年、CGを用いたアニメーションは機械部品の開発から娯楽作品まで幅広い用途に用いられるようになった。また、インターネットの発達により、個人レベルでのコンテンツ発信が容易になったことから今後、特殊な入力デバイスや設備を必要とせず、作業非熟練者が手軽に扱える制作環境が求められている。プロのデザイナーにとっても、制作の初期段階に於いて、モーションの直感的なラピッドプロトタイピングを可能とする制作環境の存在は、よりよいコンテンツを生み出す上で重要であると考えられる。

ところで、アニメーションにおいて各プリミティブの動きをデザインする(以降本論文ではモーションデザインと呼ぶ)ための環境として既に市販されているソフトウェアは、プログラミングや物理的なシミュレーションを利用した手法を除いて、その殆どにキーフレーム法と呼ばれる手法が用いている。キーフレーム法では、ユーザはオブジェクトの位置姿勢を定めて作成した静止画(キーフレーム)の時刻を設定することで、中間のフレームが内挿されてモーションが作られる。

つまりキーフレーム法では、モーションキャプチャ法の様に身体動作を入力として直接モーションを設計する事はせず、数値入力や機能選択の繰り返しで作業が行われる。そのため、動かしたいプリミティブがある時間内においてどれだけ動かすか、回転するかなどの挙動を予め思い描いているユーザにとっては、滑らかな動きをつくり出すのに適した手法であるが、インタフェースが複雑かつ高機能なため、創作の初期段階に素早く、繰り返しモーションを作り、試行錯誤する環境としては適しているとは言えない。

また、人間にとって動きを表現する最も基本的な方法として身振りや手振りといった、自らの身体動作を利用した表現方法が挙げられる。しかし、従来の殆どの制作環境では作業者の熟練度は基本的なモーションの作成法のノウハウや、それらの組み合わせ方、微調整のコツを知っているか否か、といった知識ベースのスキルに依存することとなるため、個人が持つ身体的な運動感覚やその個性は従来環境ではモーションに反映することが困難であると言える。

本論文では新しいモーションデザイン手法として、モーションの制御変数空間へ直接ドロウイングするインタフェースを提案し、作業者の入力動作がモーションに反映される作業環境の実現を目指す。モーションの制御変数の時間変化が、ドロウイングにより描かれた形状(以後、本論文ではストロークと呼ぶ)によって可視化される事で、ユーザはモーションを単純化された状態で確認でき、また、身体動作を伴うドロウイングによる、数値入力を介さないモーションの速度調節や微調整を可能にする事で、モーションデザインのプロトタイピングが可能な作業環境を実現する。

2変数以上からなるモーションには、ドロウイングの媒介変数を陽として制御変数空間上の軸へと割り当てる機能により、段階的に作成出来る環境を用意する。これにより、例えば人の歩行動作を作成する場合には、腕振りの動作を作成した後に、足の動作を組み合わせることで最終的に歩行動作全体を作成するといった手順となる。

2章では、まず現在のモーションデザイン環境及び

関連研究の総括を通して、本論文の位置づけを行い、研究の目的を明確化する。3章では、モーションデザインの入力法としてドロウイングに適性がある事を論じた上で、4章にて提案インタフェースについて述べる。また、提案インタフェースを用いた被験者実験については5章で述べ、6章で本論文の結論を述べる。

2 関連研究

本章では関連研究をユーザ入力とモーション出力の時間的及び空間的インタラクションの有無の観点で分類した上で述べ、本論文の位置付けを明確にする。また本論文は、マウスやペンタブレット等比較的安価で一般的なデバイスのみを使用し、ユーザがモーションの強調表現や微調整の設計意図を身体的に反映させる事が可能なインタフェースについて述べたものである。特殊で高価なデバイスを必要とするモーションキャプチャ法 [1][2] や、プログラミング作業などを要する物理シミュレーションに基づいた手法 [3][4] は対象としない。

2.1 空間的インタラクション

関連研究としてはまず、オブジェクトの配置された仮想空間内にユーザが直接ドラッグ操作やドロウイングをする事でモーションの種類や経路を指定するインタフェースを提案している研究が挙げられる。Katoらはマンガの表現技法として知られる効果線をオブジェクトの周辺に書き込む事でモーションを作成するシステム [5] を提案し、Richardらはオブジェクトを直接ドラッグ操作したときの軌跡がモーションとなるインタフェース、K-sketch [6] を提案している。これらの手法では、GUIを介して、ユーザ入力と出力モーションの空間的なインタラクションを実現する事で、作業の直感性や学習効率の向上を目的としている。一方で、両手法は入出力の空間的一致性故に、2Dアニメーションの作成を対象としている。これらの手法と類似して空間的インタラクションを実現した例として、3Dアニメーション作成を実現した五十嵐らのSpatial Keyframing法 [7] がある。この手法では、キーフレーム法を3次元に拡張している。3Dキャラクターの姿勢をキーと呼ばれる3次元空間上の複数の制御点に対応させ、ユーザが空間内のハンドルをドラッグ操作することで、キーとハンドル間の座標関係に応じてキャラクターの姿勢がインタラクティブに表示されるが、仮想空間内の視点位置に依存して入力操作に制約が生じる。本論文ではオブジェクトの存在する仮想空間とは一致しない、モーションの制御変数を軸に持つ変数空間を入力領域とする。そうする事によりカメラとオブジェクトの位置関係や作成するモーションの次元数に関わらず、モーションの各制御変数を同等にあつかえる汎用性の高いインタフェースの実現を目指す。

2.2 時間的インタラクション

次に、時間的インタラクションを実現した研究について述べる。Terraらは予めキーフレーム法にて作成したモーションに対し、ユーザのドロ잉の速度情報を反映させる手法 [8] を提案している。また、Matthewらは、ドロ잉によるジェスチャ入力でキャラクタのモーションのパスを指定してアニメーションを作成するシステム、Motion Doodle[9] を提案している。ジェスチャ入力を識別する事で、予めシステム内のライブラリに登録されたジェスチャ形状に対応したモーションが出力され、ドロ잉の速度変化はモーションの速度変化に反映される。これらの手法では、モーションデザインで煩雑になりがちな速度調整作業に対し、ユーザが意図する速度変化の入力をドロ잉により可能としている。一方、速度調整するモーションは予め作成されるか、データベースとして登録されている必要があり、また、ドロ잉入力を終えた後に、プレビュー作業によりモーションの出力を確認する必要がある。

本論文では、ドロ잉の速度情報のみをモーションに反映させたり、ドロ잉の概形をジェスチャ認識に用いるのではなく、描かれたストロークが持つ線の震え等もモーションに反映されるシステムを目指す。これにより、キーフレーム法による滑らかに補間されたモーションと異なる印象を持つモーションの作成を目指す。また、ドロ잉入力にモーション出力が即座に反応する作業環境の構築を目指す。

また、2.1節にて述べた Spatial Keyframing は空間的のみならず、時間的インタラクションも実現しており、ユーザの入力に対し即座にモーションが出力されるが、この手法は補間法を用いており、設計するモーションを決めた上でキーを指定するため、キャラクタの上半身・下半身の動きを個別に作成した上で、それぞれの動きのタイミングを調整しながら統合していく様な上位行程に関しては作業対象としていない。本論文では既に述べた提案手法の要件に加えて、変数空間に入力されたストロークの時変数を、あらたな変数空間上の軸に割り当てる作業をインタフェース上で実現する事により、モーションを段階的に組み合わせて行く事が可能な作業環境を構築する。

3 ドロ잉動作の諸適性

本章ではドロ잉動作の諸特徴について述べる。ドロ잉はペンや筆などの筆記具を握って行う作業である為、肘や手首、指先の身体動作とほぼ同じ運動感覚で作業を行える。また、大まかな調整を繰り返しながら、多くの類似した形状を数多く試行する作業に向いている事から、デッサンやスケッチなど多くの創作の初期段階に於いてもドロ잉はしばしばみられる。

ドロ잉の速度変化や描かれたストロークのふるえなどの性質を検討するため、本論文では時間的ゆらぎ、および空間的ゆらぎを定義する。

ドロ잉の速度変化がモーションに反映されるシステムにおいては、例えばある2個のストロークの形状が一致し、かつそのドロ잉時間が同じ

であっても、入力中の速度変化が異なれば出力されるモーションは動特性が異なってくる。この要因の事を時間的ゆらぎとする。

一方、ストロークにみられる線の細かいふるえや歪みのことを空間的ゆらぎとする。森本らは手描き曲線のふるえに注目し、描画線に対しフーリエ記述子を用いて周波数解析することにより、そのふるえの特徴を調べ、さらにふるえのある曲線を自動的に生成する手法 [10] を提案している。本論文では、空間的ゆらぎの指標として、森本らの手法を参考に P 型記述子を用いたが、詳細についてはシステムの実装について述べた 4.3 節にて後述する。

4 提案インタフェース

本章では提案インタフェースの概念について述べた上で、実装したシステム及びシステムを用いたデザイン例について述べる。

4.1 変数空間へのドロ잉によるモーションデザインインタフェース

提案インタフェースにおいてユーザは、オブジェクトが存在する仮想空間内とは別に、実空間上の平面にドロ잉を行う。この平面上では縦軸横軸それぞれに、オブジェクトの位置座標や関節角等の制御変数または、複数の制御変数を陰とする時変数もパラメータとして割り当てる。よって平面上の1点は、2変数により定義されるある位置・姿勢状態のオブジェクトを示す為、ストロークを変更する事により、入力と同期して、オブジェクトの位置姿勢が変化するモーションが得られる。図1では立方体をオブジェクトとした時のモーション作成の概念図を示す。平面上の横軸は並進、縦軸には回転のモーションの制御変数が割り当てられており、座標上でドロ잉することで、二つのモーションを任意に組み合わせた動きを生成する。

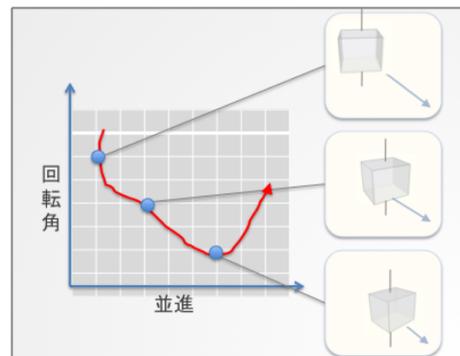


図 1: 提案インタフェースの概念図

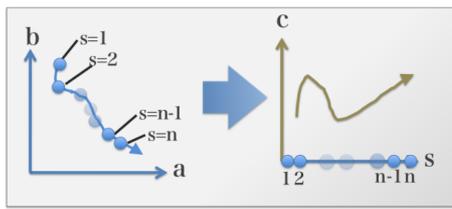


図 2: モーションの組み合わせの概念図 ストロークの媒介変数 s を新たな座標平面の 1 軸として割り当てる

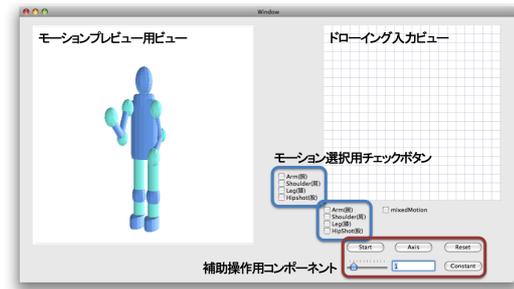


図 3: 実装したシステムのインターフェース

4.2 モーションの段階的な組み合わせ

ストロークの媒介変数を平面上の軸に割り当てる作業により、複数のモーションの組み合わせ作業を実現する。この作業の概念図を図 2 に示す。ストローク上の各点における入力時刻を媒介変数 s とすると、既成のモーションに対し更なるモーションを組み合わせる際、 s を陽として新たな座標平面の 1 軸として割り当てる。この操作により、新しい座標上では横軸 s の値から $a(s)$, $b(s)$ の 2 変数を参照することが可能となる。また、対となる 1 軸にも新たなモーションデータの時変数 c を割り当てる事により、ユーザはこの平面上でのドローイングにより a , b , c の 3 個の制御変数を組み合わせる事が可能であり、この作業を繰り返す事で、段階的なモーションの組み合わせが可能となる。

4.3 システム実装

前章で述べたインターフェースおよびストロークの時間的・空間的ゆらぎを調節する機能を持つシステムを構築した。

時間的ゆらぎの調整はドローイング速度を一定にする機能である。50[Hz] のサンプリングレートで得られたストロークの点群を、同じサンプル数からなる、ストローク上に等間隔に配置された点群に置き換える事でこの機能を実現した。

空間的ゆらぎの調整はストロークの震えや歪みを調整する機能である。先行研究によると線画のかたちは概形と明細に分けられるとされる [10]。ドローイングにより入力されたストロークは、フーリエ記述子によって周波数領域にて表現された場合、低周波成分において線の概形の情報が、高周波成分においては震えや歪みといった手書き線特有の明細の情報つまり空間的ゆらぎが記述されている。よって、ローパスフィルタ処理を施す事によりストロークの概形の情報を保持したまま、空間的ゆらぎを補正した再生曲線を得ることが出来る。

予備実験において 50[Hz] でサンプリングしたストロークに対し次数を 600 としフーリエ変換を行ったところ、周期 1~24 の成分をフィルタリングするとストロークの概形が大きく変化する事が経験的に確かめられたため、周期 1~24 を低周波成分とし、それより高次を高周波成分とした。また、周期 49 以上の成分

の強調や除去による再生曲線の変化がみられず、再生曲線から得られるモーションにも違いが見られなかったため、本研究では周期 24~48 の成分のみをフィルタリング領域とした。

図 3 に提案システムのインターフェースを示す。システム内で用いる 3D モデルは予め別のソフトウェアを用いて作成し、回転角等のオブジェクトの操作パラメータの制約はプログラム上で既に設定された状態である。既存の制作環境においては、モデルの作成やパラメータの制約付けといった過程と、実際にモーションを作成する過程は分割されており、それぞれ異なるデザイナーが受け持つ程である。本研究は、後者の過程の改善を目的とした提案のため、前者の過程が既に終わった状態を想定して、この様な実装とした。

ユーザは液晶タブレットを介してシステムを利用する。インターフェースは大別して、モーションプレビュー用ビュー、ドローイング入力ビュー、モーション選択用チェックボタン、補助操作 GUI コンポーネント群からなる。ユーザはまず、モーション選択用チェックボタンにて、ドローイング入力ビューの各軸に割り当てるモーションの制御変数を選択した後、ドローイング入力ビュー内にタブレットを用いてドローイングを入力する。モーションプレビュー用ビューには、ドローイングに同期してオブジェクトのモーションが表示される。補助操作 GUI コンポーネントとして、入力されたストロークにより得られたモーションを再生する Start ボタン、モーションの組み合わせを行う Axis ボタン、ストロークの時間的ゆらぎを調整する Constant ボタン、ストロークに対し、空間的ゆらぎを調整する Fourier スライダーを実装した。Fourier スライダーではストロークの高周波数領域へのフィルタリングの倍率係数をスライダーにて調節する。

4.4 システムを用いたモーションデザイン例

4.4.1 2つのモーションの組み合わせ: 携帯電話の開閉動作とひねり動作

実装したアプリケーションを用いて 2 個のモーションの組み合わせを行った。作成対象とするデザインは携帯電話の開閉のモーションとした。携帯電話のモデ

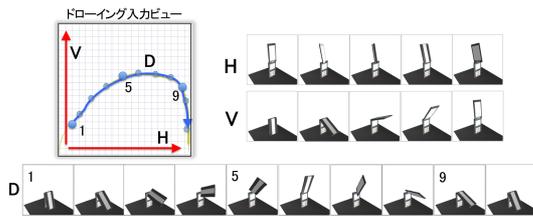


図 4: モーションデザインの例 (携帯電話)

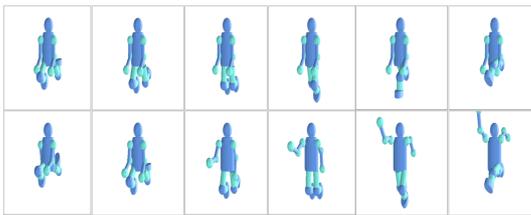


図 5: モーションデザインの例 (人型モデル)

ルは二つの直方体状のオブジェクトからなり、ヒンジ部分の開閉および、ひねりの2個の回転が可能な可動部を持つ設計となっている。図4には、ドローイング入力ビューの縦軸横軸それぞれに割り当てられたモーション及び、入力したストロークにより得られたモーションを示す。携帯電話のヒンジ部の開閉回転とひねり回転の制御変数が同時に調整され、新たなモーションが生成されている事が分かる。

4.4.2 3個のモーションの組み合わせ: 人間の膝関節、股関節及び肩関節のモーション

実装したアプリケーションを用いて三つのモーションの組み合わせを行った。オブジェクトとして膝、股、肩関節が可動する人型のモデルを用いた。このモデルの各オブジェクトは個別に動作を生成し、順運動学の手続きで整合性を担保している。例えば、肩を動かした場合、その子部品である腕も同時に動くことになる。図5に作成したモーションを示す。はじめに、ドローイング入力ビューの両軸に、膝、股関節の制御変数を割り当てた状態でのドローイングにより、下半身の動きを作成した(図5上段)。その後、Axisボタンを一度押し、先のドローイングで入力されたストロークの媒介変数を新たな平面上の横軸に割り当て、縦軸には肩関節の制御変数を設定した状態で再度ドローイング入力を行う事により、3変数のモーションを作成した(図5下段)。

4.4.3 ストロークのゆらぎを調整する機能

前述した、ストロークの時間的および空間的ゆらぎを調整する機能についての動作を確認した。

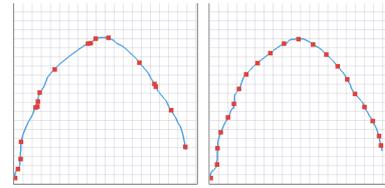


図 6: 時間的ゆらぎを調整する機能 (左:原曲線, 右:得られた再生曲線)

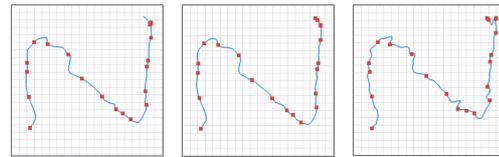


図 7: 空間的ゆらぎを調整する機能 (左:原曲線, 中:成分除去, 右:成分4倍強調)

図6には入力したストロークの原曲線と、時間的ゆらぎ調整によりサンプリング点間隔が補正されたストロークを示す。また、図7には入力したストロークの原曲線(左)と、その高周波成分を除去して得られたストローク(中)、当該成分を4倍に強調して得られたストローク(右)を示し、図8にはそれぞれのストロークの周波数特性を示す。各ストロークによるモーションの差異を紙面上にて示す事は難しいため、各モーションの差異については4章の印象評価実験にて述べる。

5 評価実験

本章では、提案インタフェースの評価のために行った3種の被験者実験について述べる。

5.1 実験1 モーションの組み合わせタスク時のモニタリング評価

実験1においては、モーションの組み合わせタスク時の被験者の作業を観察する実験を行った。実験では、4.4.2にて述べた人型のモデルを用いた。このモデルは順運動学の手続きでオブジェクト間の整合性が担保されている。ただし、4.2節とは異なり、膝・股・肘・腕の4個の関節部が可動する。現在モーションデザインの現場では、インバースキネマティクス(IK)を用いたモデルによるモーション作成が盛んであるが、本実験ではオブジェクト間のタイミング調整といった作業のモニタリングが主目的であるため、本モデルの使用で十分あり、また被験者のIKへの理解度の個人差といった要素による影響を防ぐ目的をかねている。このモデルに対し、各関節のモーションを段階的に組み

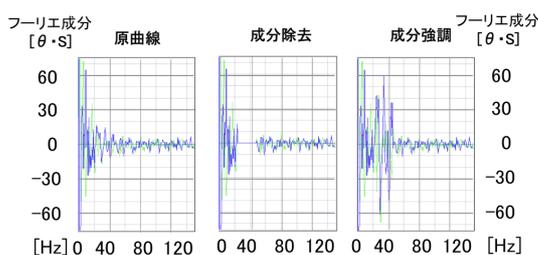


図 8: 原曲線及び再生曲線のフーリエ成分

表 1: タスク内に於ける各被験者の評価指標.

被験者	作業時間 [s]	総ドロワー ング回数	総組合せ数	再生回数
A	554	74	6	19
B	867	178	7	26
C	2438	704	15	29

合わせて歩行動作を作成するタスクを行った時の様子を観察し、評価を行った。

実験の様子はビデオカメラにて録画し、タスク後に被験者には自分の作業した様子をビデオにて確認してもらい、ヒアリング分析を実施した。被験者は 20 代男性 2 名、20 代女性 1 名である。歩行動作のサンプルモーションの提示などは行っていない。タスクに制限時間は設けず、被験者の自己申告により作業終了とした。本実験は、被験者作業の観察が主目的であり、被験者の作成したモーションの正確さや提案システムの効率性を定量的に評価する事を目的としないが、計測指標として作業時間・ドロワー入力回数・モーションの組み合わせの種類・モーションの再生回数を記録した。

被験者 3 名の作業履歴を図 9 に示し、各種計測指標の結果を表 1 に示す。図 9 の各系列はモーションの組み合わせを示す。図中の略語 A・S・L・H は A:Arm(肘関節), S:Shoulder(肩関節), L:Leg(膝関節), H:Hip(股関節)を示す。例えば A+S という表記は肘・肩両関節の組み合わせ作業を示し、(A+S)+L は肘と肩の動きが既に組み合わせられた状態で、さらに膝関節の組み合わせる作業を意味する。Play はモーションの再生作業を示す。

5.1.1 タスク時の被験者の振る舞いに対する考察

作業初期においては、被験者が明確な入力意図を持たずに、極端な加速度変化を持つドロワーを行ったり、過度に線をふるわせたストロークを入力するといった特徴的な行動が観察された。被験者からのコメントとして「最初はドロワーの方はあまり見ず、手を感覚的に動かしながら表示されるモーションに注視していた」、「落書きする感覚でモーションを作れるのが良い」等が得られた事からも、被験者はドロワー

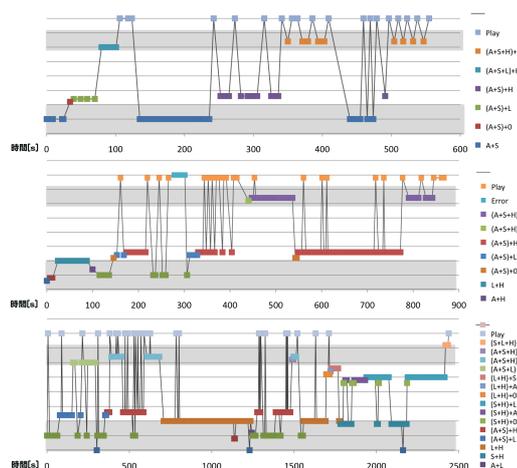


図 9: 実験 1 における 3 被験者の作業履歴 (上から被験者 A, B, C の順)

ング動作の感覚的に作業出来る操作特性を失わずに作業を行っていた事が分かる。

作業効率の観点からみると、各被験者の総作業時間および総ドロワー入力回数より、1 ドロワーあたりの作業時間は被験者 A, B, C の順に、7.5, 4.9, 3.5[s] となっている。ここでいう総作業時間には、モーションの再生作業や、何も作業を行っていない状態も含まれる。

また、通常のデッサン作業などでみられる重ね書きの動作(類似した形状のストロークを素早く繰り返して入力すること)が観察された。キーフレーム法においては、一度作成したモーションの出力にはその都度プレビュー作業が必要となるが、提案システムの場合、重ね書き動作と同時にモーションの大まかな様子を確認し、細かい動きを確認する際はボタン操作によりモーションを再生する、といったように確認方法を使い分けが出来る事が確認された。

5.1.2 組み合わせ作業に対する考察

作業履歴を見ると、被験者毎に作業の手順や作業時間は異なるが、3 人とも 4 個全てのモーションを組み合わせる事ができている。被験者 A, B はタスク内において、モーションの組み合わせ方や組み合わせ順を決めた後に、同じ手順で作業を繰り返す傾向が見られた。ヒアリングによると、被験者 A は「モーションを全て組み合わせたときに、初期段階での組み合わせ方を修正したくなり、最初から作業をやり直した」と答えており、また被験者 B は「以前に書いたストロークを閲覧出来たり再利用できる機能が欲しい」と述べている。本実験により、モーションを段階的に組み合わせる作業が可能である事は確認出来た。しかし、制作のし易さや効率に関しては、作業履歴の操作や入力ストロークのコピーアンドペーストなどの、

アプリケーションの補助的な機能の追加により、さらに改善される余地があると言える。

5.2 実験 2 モーションの再現タスクの精度測定

実験 2 では、目標とするモーションがサンプルとして提示された条件下に於いて、被験者がどれくらいの精度でサンプルと類似したモーションを入力できるかを測定し、作業中の被験者の観察を通して、提案手法の制約や限界について考察を行う。被験者は 2 グループ有り、グループ S は理系を専攻とする研究室に所属する 20 代男性 4 名 (S-A, S-B, S-C, S-D) からなり、グループ NS は現在にいたるまで理系学問を専攻した研究や職業の経験が無い 20,30 代の一般社会人女性 4 名 (NS-A, NS-B, NS-C, NS-D) である。

本実験では 4.4.1 にて述べたアプリケーションを用いて実験を行った。ただし、サンプルのモーションを確認するために sample ボタンという GUI コンポーネントを一つ追加した。ユーザはタスク中、このボタンをクリックする事により、サンプルのモーションを任意時に確認する事が出来る。作成対象として用いたモデルは携帯電話であり、ドロ잉入力用ビューの縦軸、横軸にはそれぞれ、ヒンジ部の開閉回転、ひねり回転の制御変数が割り当てられている。具体的な実験手順としては、被験者にアプリケーションの使用方法について説明を行い、操作に慣れるまで自由にアプリケーションに触れてもらった(全被験者 3 分以内の練習時間)。その後、サンプルのモーションを見ながら実際にドロ잉にて同じモーションを作成するタスクを行った。タスク中、被験者はサンプルのモーションのみを見る事が可能であり、サンプルの作成に使用したストロークの形状は被験者には提示していない。被験者がサンプルと同じモーションを作成出来た、と自己申告した時点で実験を終了とし、最終入力されたストロークを記録し、サンプルのストロークとの類似度を算出した。サンプルのモーション作成に使用したサンプルのストロークは全部で 4 個であり、図 10 に示す。

5.2.1 P 型フーリエ記述子を用いた評価指標

本実験は回転およびひねりの 2 変数のみの操作が可能な条件の下で行う。この条件下では、1 回のドロ잉で 1 個のモーションが作成されるため、1 本のストロークをデザイン上の最小試行の単位として捉える事が出来る。よって、ストローク同士の形状の類似度を定量的に示す指標が存在するならば、それをモーションの類似度と見なす事が出来る。各ストロークの形状の類似度指標として P 型フーリエ記述子の低周波領域成分を用いた (P 型フーリエ記述子による類似度指標の算出については付録を参照)。フーリエ記述子は曲線を周波数領域で記述する事が出来、形状認識等の技術で広く用いられている。フーリエ記述子には複数の形式が存在しているが、その中で P 型記述子の低周波成分による再生曲線は形状に関する情報が低周波成分に集約されており、特徴パラメータとして最

適であると言える。本論文では、P 型記述子を利用して算出した 2 本のストローク間の類似度の値が低い程、2 本のストロークの形状が類似しているとする。各タスクで最終入力されたストロークの形状を図 11 および図 12 に示し、ストロークの類似度及び、タスク内の総ドロ잉回数、作業時間 [s] をそれぞれ表 2、表 3、表 4 に示す。表 2 中の x 印は、被験者がその試行が不可能だと判断し途中でタスクを棄権したことを示し、表 4 中の \times 印は指標の欠測を示す。

5.2.2 グループ間の違いに対する考察

タスク 2, 3, 4 のように 2 個の回転が組み合わせられた様なモーションを作成する場合、グループ間で被験者の作業に特徴的な違いが見られた。グループ S においては、実験開始時にドロ잉入力領域を横断する横線や縦線を繰り返し入力する事で、入力領域と

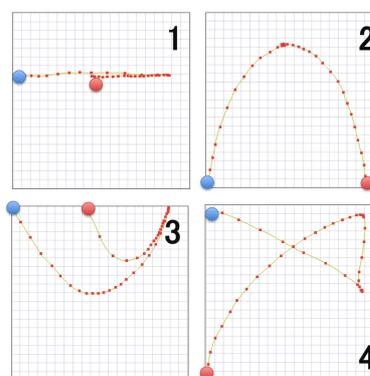


図 10: 実験に用いたサンプルのストローク (青点・赤点はそれぞれ、ストロークの始点・終点を示す)

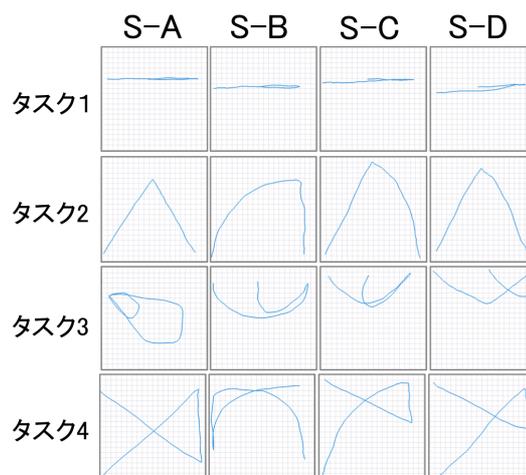


図 11: 全タスクで各被験者が最終入力したストロークの形状 (グループ S)

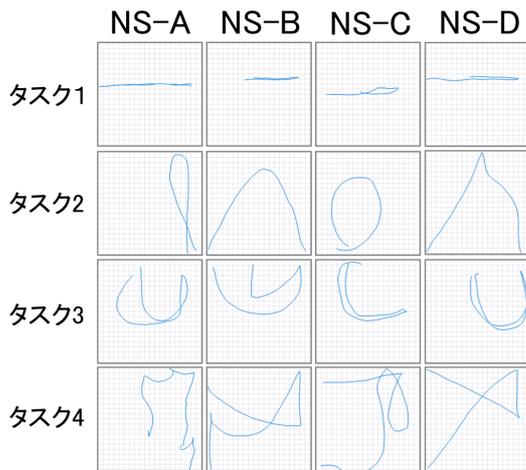


図 12: 全タスクで各被験者が最終入力したストロークの形状 (グループ NS)

表 2: 各タスクで最終入力されたストロークの類似度 . (表中の (×) は被験者がタスクを棄権した事を示す)

タスク	S-A	S-B	S-C	S-D	NS-A	NS-B	NS-C	NS-D
タスク 1	66.2	58.4	41.2	78.8	872.1	323.1	104.1	56.1
タスク 2	146.4	141.1	103.2	114.0	295.7	91.3	386.7	179.8
タスク 3	487.0(×)	158.4	136.1	324.2	339.5	153.5	505.2	387.8
タスク 4	222.1	718.4(×)	81.8	139.5	564.2(×)	466.7	407.0	87.6

オブジェクトの回転範囲の対応関係を調べるといった行動が共通してみられた。その後、モーションの開始時・回転方向の変化時・終了時といった、一連のモーションで重要となる姿勢を表示する座標を探した後、それらの点の間を結ぶストロークの形状を調整する傾向も見られた。また、タスク後のコメントとして「サンプルが簡単なモーションの場合、どのようなドロ잉で所望するモーションが得られるかはある程度想像できた」という意見が得られた。

一方グループ NS においては、グループ S に見られたような行動を行う被験者はいなかった。作業時の観察からは、適当なドロ잉を繰り返しながら、サンプルのモーションと類似したモーションを探す傾向がみられ、実際そのように作業を行ったと答えた者が多数であった。提案手法は入出力空間を分離する事で、オブジェクトの存在する仮想空間上の視点位置に依存しないモーションデザインが出来る一方で、入出力の対応が把握出来ないユーザが使用する場合、作業時間・量の増大や、作業精度の低下が生じる可能性が有るといえる。各指標においても、グループ NS は作業時間・ドロ잉回数ともに増大する傾向があり、ストロークの類似度に関してもグループ S との違いがみられる。しかし、タスクを棄権した回数にはグループ間で差は殆ど見られなかった。グループ NS の被験者は、そもそもサンプルのモーションを把握することに強く戸惑っている様子が見られたが、作業が止まる被験者はいなく、なんらかのドロ잉を繰り返して入力して行く事で、初めは部分的に作成してい

表 3: 各タスクで入力されたドロ잉回数 .

タスク	S-A	S-B	S-C	S-D	NS-A	NS-B	NS-C	NS-D
タスク 1	9	8	11	14	11	18	12	19
タスク 2	8	6	9	12	29	57	5	86
タスク 3	10	9	16	17	4	74	14	14
タスク 4	7	12	13	5	22	49	41	13

表 4: 各タスクの作業時間 [s] . (表中の () は指標の欠測を示す)

タスク	S-A	S-B	S-C	S-D	NS-A	NS-B	NS-C	NS-D
タスク 1	99	69	71	75	232	256	261	508
タスク 2	94	66	69	51	358	567	91	647
タスク 3	270	()	120	81	111	765	183	93
タスク 4	143	280	137	52	393	493	431	85

たストロークを次第に拡張して行く形でモーション全体を得ていく傾向がみられた。

また、NS-A のタスク 1 や S-B のタスク 1 では、サンプルのモーションとはひねりの回転方向が逆のモーションが得られるストロークが最終入力となっており、サンプルとの違いに気付かないまま被験者がタスクを終了したと申告する結果となった。さらに、サンプルモーションが複雑なタスク 3・4 においては、作業に対する難しさや軽い疲労感を訴える被験者が存在した。

提案インタフェースの使い易さは使用者の空間認知能力に大きく左右されると考えられるが、オブジェクトの回転範囲と入力領域の対応関係の理解を補助する情報を提示する事で、更なる改善がみられると考えられる。例えば、入力領域にてポインティングが行われた際、現座標からの相対変化により、オブジェクトがどのように変化するかをあらかじめモーションプレビュー上にて表示したり、モーションプレビュー上のオブジェクトを直接ドラッグ操作して姿勢を変化させた時に、姿勢に対応する座標を入力領域に表示するといった手法が考えられる。また、今回は実験の設定上、一度作成したモーションの保存や部分的な修正、アンドゥといった基本的な機能が備わっていないが、これらの機能が追加される事でユーザの作業環境の改善が見込めると考えられる。

5.2.3 キーフレーム法と比較した時の作業環境に対する考察

キーフレーム法においては、各時刻における個々の回転角を定量的に把握出来て初めてモーションの作成が可能となるが、それには一定の空間認知能力や使用する特定アプリケーションソフトウェアへの慣れが求められる。一方、提案システムは、所望するモーションを正確に作成するにはユーザ個人の能力に左右されるものの、モーションを作成するにあたって数値入力等の定量的操作や機能選択といった手順を踏まずとも作業が可能な環境であると言える。

また、キーフレーム法においては一度作成したモーションの部分的或いは全体の速度を変更する為には、それに関わるキーフレーム全てを再度設定する必要が有る。しかし、キーフレームを用いてそれぞれの制御

変数を再設定した場合、モーションの速度のみでなく、軌跡もまた変化してしまうため、ユーザが速度調整と軌跡調整を意図通りに行うには相当の習熟が必要であり、たとえ熟練者でも再設定作業に伴う時間的コストは大きい。

一方実験においては、タスク初期にはドロ잉の速度を考慮せずに、ストローク形状の探索を行うことでオブジェクトの移動経路や回転の範囲を定め、ストロークの形状を確定した後に、重ね書きによりドロ잉の速度変化を調整するといった作業が観察されたことから、提案システムは速度調整と軌跡調整の作業を個別に行う事ができる環境であると言える。

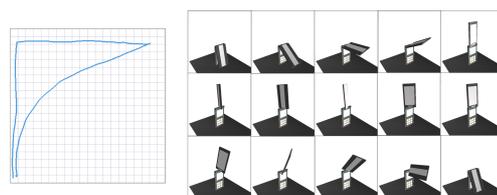


図 13: 実験に使用した原モーションとサンプルストローク

5.3 実験3 アプリケーションにて作成したモーションの印象評価

実験3においては、ストロークの時間的・空間的ゆらぎが作成したモーションに与える影響を調べるため、アンケートを用いた主観評価によりモーションの印象を評価した。実験では提示刺激用の各種モーションを予め提案インタフェースにて作成し、パソコンを用いて提示した上で、提示されたモーションの印象を回答するよう指示した。作成したモーションは以下の通りである。

- モーション1 用意したサンプルストロークで作成した原モーション (図 13)
- モーション2 1のサンプルストロークのサンプリング点を等間隔化して作成したモーション
- モーション3 1のサンプルストロークの高周波成分 (N=24 ~ 48) を4倍強調して作成したモーション
- モーション4 1のサンプルストロークの高周波成分を8倍強調して作成したモーション
- モーション5 1のサンプルストロークの高周波成分を除去して作成したモーション

モーションの作成には携帯電話のモデルを用いた。モーション2は時間的ゆらぎの調整機能を用いてモーション1から作成し、モーション3・4・5は、空間的ゆらぎの調整機能を用いてモーション1から作成した。これらの中からモーション1及び、その作成に用いたストロークを図13に示す。個々のモーション間の違いは連続写真で表出する事が難しいため、紙面上での図示は割愛する。5種のモーションに対し、形容詞対5個を用いた7段階の評価を行った。実験に用いた形容詞対5個を表5に示す。これらは参考文献[11]に記載されている68個の形容詞対の中から本実験の評価項目として適当であるとして選定した。

被験者は20代及び30代の男女19名である。被験者へ刺激を提示する際、数名毎のグループを作り、提示する刺激の順番はモーション1を初めに提示した上で、残りの四つの刺激に関してはグループ毎にランダムとした。また、被験者が刺激に対する印象の回答を終えるまで各刺激は繰り返し提示した。

表 5: アンケートに用いた形容詞対5種。

1	固い	-	柔らかい
2	美しい	-	醜い
3	滑らかな	-	でこぼこした
4	軽い	-	重たい
5	人工的な	-	自然な

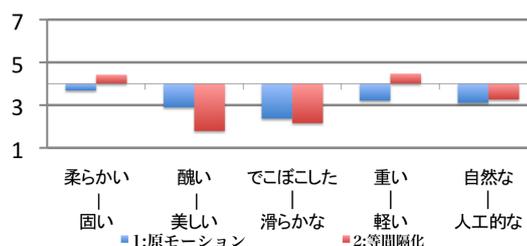


図 14: 印象評価結果 (時間的ゆらぎの比較)

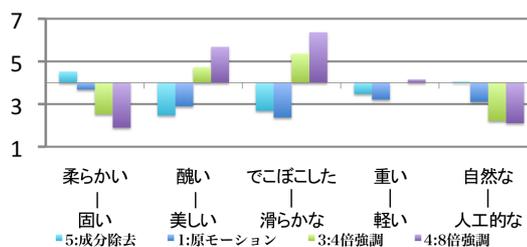


図 15: 印象評価結果 (空間的ゆらぎの比較)

5.3.1 時間的ゆらぎの影響について (モーション1,2の比較)

評価の結果を図14に示す。どの項目についても、比較的似通った結果となったが「醜い-美しい」「重たい-軽い」、の項目に関して顕著な差となり、モーション1と比較してモーション2は、より「重たい」かつ「美しい」印象が強い傾向がみられた。ドロ잉の時間的ゆらぎはモーションの重量感や審美性に関

する印象を左右すると考えられ、時間的ゆらぎを調整する事により、その印象を変化させる事が出来ると思われる。また、被験者からのコメントによると、モーション1と比較してモーション2は「面白くない」、「つまらない」、といった評価がみられた。

モーションの速度変化が重量感に影響を与えることはモーションデザイン分野の既存の専門知識であるが、提案システムは時間的ゆらぎを調整しながらドロージングを繰り返すことで、重量感の試行錯誤が出来る点が特長である。また、キーフレーム法で作成される様な定速度のモーションは、時間的ゆらぎを一定にする機能を利用することで作成することが出来る。

5.3.2 空間的ゆらぎの影響について (モーション1, 3, 4, 5の比較)

評価の結果を図15に示す。モーションの5,1,3,4の順で空間的ゆらぎの度合いは強くなるが、この度合いが強くなる程「固い」、「醜い」、「でこぼこした」、「人工的な」といった印象が強い傾向がみられた。しかし、「でこぼこした-滑らかな」、「重たい-軽い」の形容詞対において、モーション1の印象がモーション5と比べてより「滑らかな」、「軽い」といった印象を持つ結果となっており、先に述べた傾向と矛盾している。これは実験上、モーション1を常に最初の提示刺激とした事と、モーション1,2の空間的ゆらぎの差が比較的小さかった事が理由として挙げられる。実際に「モーション1と5の違いが感じられない」という回答も複数得られた。

一方モーション3,4に対して被験者からは「古いロボットの様だ」、「壊れかけている」、というコメントが得られた。高周波成分の強調によって得られた再生曲線は震えを持ち、この曲線によるモーションは独特の震えを持つ不規則な振る舞いをするが、その動作に対し、機構的動作の強調と受け取る人が多くいたと考えられる。

その他のコメントとして「滑らかすぎるモーションよりも有る程度のブレや震えが含まれているほうが親しみが持てる」という意見があった。キーフレーム法では補間法を用いるため、滑らかなモーションの作成に適している一方で、震えやブレの含んだモーションの作成には大量のキーフレームが必要となり、またその作業には熟練を要する。それに対して、滑らかさの印象変化がドロージングの空間的ゆらぎの強弱で生じるという特徴は提案手法の利点の一つであると言える。

6 おわりに

本論文では、ドロージング入力によりインタラクティブにモーションデザインが可能なモーションデザイン支援システムを提案し、その評価を行った。評価実験の結果、被験者がドロージングを感覚的に入力してモーションを作成する事が可能である事が示され、作業効率の観点からも提案システムが有効である事が確かめられた。

また、作成したモーションへの印象評価により、ドロージングの時間的・空間的ゆらぎの変化がモーシ

ンに与える影響を調べ、提案システムによる作成が最適なモーションの印象を特定した。今後の展望として、モーションデザインに於いて、モーションの設定作業のみではなく、形状設計作業や制御変数の設定作業など、他の作業過程との境界領域を考慮した統合的なインタフェースの提案を目指す。

参考文献

- [1] 栃木博子, 萩田紀博, 宮下敬宏, 人形型入力装置を使用したインタラクティブアニメーションシステムの提案, 電気情報通信学会信学技報, pp.5-10, 2005.
- [2] Kawasaki. H, Ito.S, Ishigure.Y, Nishimoto.Y, Aoki.T, Mouri.T, Sakaeda.H, Abe.M, Development of a Hand Motion Assist Robot for Rehabilitation Therapy by Patient Self-Motion Control, Rehabilitation Robotics, 2007. ICORR 2007. IEEE 10th International Conference on, pp. 234-240, 2007.
- [3] Adrien. T, Seth.C, Zoran.P, Continuum Crowds, ACM Transaction on Graphics, Vol. 25, No.3, pp. 1160-1167, 2006.
- [4] Douglas. J. W, James. K. H, Interpolation Synthesis of Articulated Figure Motion; IEEE Computer Graphic and Applications, Vol. 17, No. 6, pp. 39-45, 1997.
- [5] Kato. Y, Shibayama. E, Takahashi. S, Effect lines for specifying animation effects, Proc. IEEE Symposium on Visual Languages and Human-Centric Computing, pp.27-34, 2004.
- [6] Richard. C. D, Brien.C, James. A. L, K-sketch:A“ Kinetic “Sketch Pad for Novice Animators. Proc. CHI 2008, pp. 413-422, 2008.
- [7] Igarashi. T, Moscovich. J, Hughes. F, Spatial Keyframing for Performance-driven Animation, Proc. Eurographics/ACM SIGGRAPH Symposium on Computer Animation, pp. 107-115, 2005.
- [8] S. C. L. Terra, R. A. Metoyer, Performance Timing for Keyframe Animation, Proc. Eurographics/ACM SIGGRAPH Symposium on Computer Animation, pp. 253-258, 2004.
- [9] Thorne. M, Burke. D, Panne. van. de. M, Motion doodles:an interface for sketching character motion, Proc. International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques: ACM SIGGRAPH, 2007.
- [10] 森本崇之, 森啓年, 岩崎慶, 高木佐恵子, 吉本富士市, 手書き風曲線の生成支援システム, 情報処理学会関西支部大会予稿集, 2002.
- [11] 井上正明, 小林利宣, 日本におけるSD法による研究分野とその形容詞対尺度構成の概観, 教育心理学研究, Vol. 33, No. 3, pp. 69-76, 1985.

A フーリエ記述子による類似度の算出

2次元の曲線を複素平面上の点列と考え、長さの等しい線分からなる折れ線で近似する。折れ線の各頂点を $z(j) = x(j) + iy(j)$ とするとき、各折れ線を δ で正規化して $(|z(j+1) - z(j)| = \delta, j = 0, \dots, n-1)$ 、折れ線のP表現 w を得る

$$w(j) = (z(j+1) - z(j))/\delta$$

w の離散フーリエ展開により、フーリエ係数 $c(k)$ が次の様に求まる。

$$c(k) = \frac{1}{n} \sum_{j=0}^{n-1} w(j) \exp(-2\pi i \frac{jk}{n})$$

係数の集合 $(c(k); k = -N, \dots, 0, \dots, N)$ が N 次のP型フーリエ記述子である。P型記述子の低域成分には原曲線の形状に関する情報が含まれている。したがってP型記述子の低域成分を特徴パラメータとして用いる事が出来る。上式で得られるフーリエ係数のうち低次の $2N+1$ 個により次の特徴ベクトル V を定義する。

$$V = [|c(-N)| \cdots |c(0)| \cdots |c(N)|]$$

本実験では、経験上 $N = 5$ とし、ある2つのストロークから得られる特徴ベクトルのユークリッド距離をその二つのストロークの類似度とした。

工学、情報考古学、画像処理に関する研究に従事。工学博士。ACM, IEEE, 電子情報通信学会, VR学会ほか各会員。

佐藤 宏介



1983年大阪大学基礎工学部制御工学科卒業。1985年同大学大学院博士前期課程修了。1986年同大助手。1988~1990年カーネギーメロン大学ロボット工学研究所客員研究員。1994年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助教授。2003年大阪大学大学院基礎工学研究科教授。三次元画像計測、映像情報メディア、実世界インタフェース等の研究に従事。工学博士。電子情報通信学会, VR学会, SICE, IEEEほか各会員。

甲田 春樹



2007年大阪大学基礎工学部システム科学科卒業。現在、同大学大学院博士後期課程在籍。ヒューマンコンピュータインタラクションに関する研究に従事。

金谷 一朗



1995年関西大学工学部電気工学科卒業。1997年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科博士前期課程修了。1999年同後期課程修了。1997年ATR人間情報通信研究所研修研究員。1999年和歌山大学システム工学部助手。2001年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助手。2003年大阪大学大学院基礎工学研究科助手。2004年科学技術振興機構さきがけ研究員兼任。2008年同工学研究科准教授。デザイン理