

力覚ディスプレイを用いた絵画の流れの知覚

吉田 俊介* (ATR) 野間 春生 (ATR)

榎沢 順 (千葉商科大学, ATR) 鉄谷 信二 (ATR)

A Perception of Streams in the Picturesque Installation by using Proactive Desk

Shunsuke Yoshida* (ATR), Haruo Noma (ATR),

Jun Kurumisawa (Chiba University of Commerce, ATR), Nobuji Tetsutani (ATR)

コンピュータの高機能化に伴い、芸術の分野においても多様な表現手法を選択することが可能となってきた。その利用形態のひとつであるデジタルアートの分野でも、コンピュータはおもにストロークの入力と絵の出力として用いられてはいるが、触感を介した作家と鑑賞者との身体的な対話表現は困難であった。本研究では、絵の具やキャンバスの触感といった物理的な情報を作家が利用することができ、鑑賞者に伝えることが可能な新しい表現手法を用い、芸術の表現の可能性を模索する。具体的には、流れを持つ絵画を文字通り体験することができるシステム「Sumi-Nagashi」を構築し、混ざり合う色の流れに触れ、力の加えられた色が常に変化する様を身体的にも知覚できる手法を示す。

キーワード：メディアアート、力覚提示、コンピュータグラフィックス、バーチャルリアリティ

Keywords : Media art, Haptic display, Computer graphics, Virtual reality

1. はじめに

デジタル革命は芸術の分野にも大きな変化をもたらそうとしている。最先端の技術を好みを用いるアーティストたちにとっては、現代においてコンピュータを彼らの道具として選択することは自然な傾向であるとも言える。しかし現在のコンピュータ技術による表現の形は、視覚と聴覚に訴えかけるものだけであることが多く、その結果として、創造に必要とされる作家の身体性という重要な要素を作品に取り込むことが難しかった。

本研究では既存のデジタルツールでは表現することが困難であった触感を、物理的な情報を提示可能なシステム、Proactive Desk を用いて表現する。本稿では逐次変化する絵画の流れを知覚できる作品である「Sumi-Nagashi」を例示し、デジタルアーティストが身体的に知覚しつつ創造し、鑑賞者が実際に体感できる新しいデジタルアートのスタイルを模索する。

2. 流れる絵画の知覚—Sumi-Nagashi

日本の伝統的な動きを持つ絵画である墨流しを題材としたこの作品は、デジタル絵画との視覚だけではなく触感をも通じた対話環境を提供する。図1は実際に体験している場面の例である。通常の描画用ソフトウェアがマウスやタブレットを使いディスプレイを見ながら絵を描くのに対し、「Sumi-Nagashi」ではコンピュータにて生成される絵を

頭上のプロジェクタより机の上に投影し、利用者は筆型のデバイスを手に持ち、筆を使うかのように直接机上をなぞる。机上は一種のデジタルなキャンバスと定義されており、筆が動いた軌跡には色が置かれたとみなされ、それに応じてコンピュータグラフィックスも変化する。また通常の描画用ソフトウェアと異なり、キャンバスには色の層（カラーレイヤ）に加えて仮想的な流れを持つ層（ストリーミングレイヤ）が定義されており、描いたものが随時変化し続ける動きのある絵画となっている。ストリーミングレイヤ

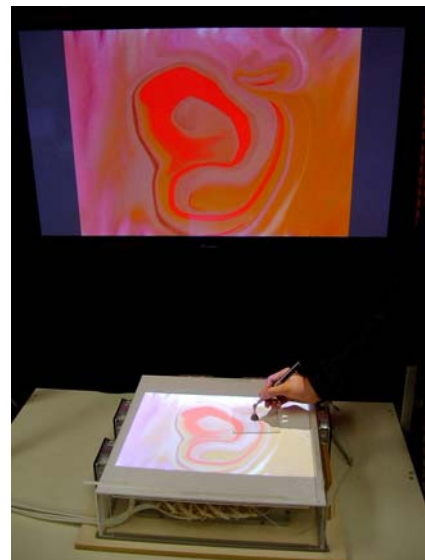


図1 Sumi-Nagashi

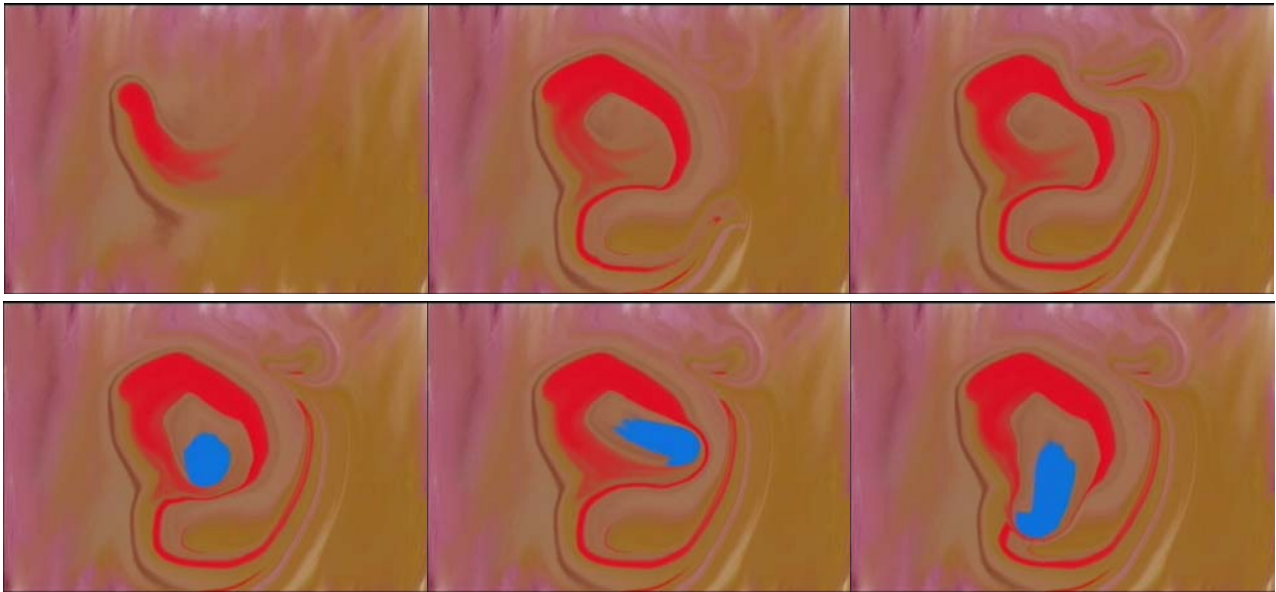


図2 描画時の視覚的な変化の例

の各場所における流れは利用者の行動により変化し、流れはカラーレイヤの色に反映される。利用者が新しい色をキャンバスに置いた時、付近のストリーミングレイヤの仮想的な流れによってその色は流される。そして、元のキャンバスの色と混ぜ合わさり、刻一刻と変化しつつ新しい絵が生み出される(図2)。

このような視覚的なデジタル絵画の体験に加え、さらに「Sumi-Nagashi」では触覚的な体験を利用者に与える。ここでは、Proactive Desk と名づけた我々の提案する新しい力覚提示システムをデジタルキャンバスとして用いている。本システムでは、コンピュータにより計算される描画動作の結果としての力が、利用者が持つ筆型のデバイスに物理的な平面方向に移動させられる力として伝わる。これにより、例えばストリーミングレイヤにより定義されている仮想的な流れを、描画時に利用者へ流れる力として伝えることが可能となる。さらに、キャンバスの上に置かれる色や筆の大きさには仮想的な重さの属性が与えられている。例えば、利用者が新しい色をキャンバスに置いた際、キャンバスに存在する色の境界を越える際や暗い色を通り抜けるたびに触感としてその変化を感じられるようにする。すなわち、利用者はデジタルな筆や仮想的なキャンバスの触感を通じて、絵画の視覚的な色の粘性を身体的に体験できる。これにより、本研究では絵画における触感の存在がいかに創造的な作業にとって重要であったか、絵を描くものに対して再認識を促すことを目指すものである。

3. Proactive Desk

既存の描画用ソフトウェアでは、実際の筆やブラシの機能を模した道具を用意し、マウスやタブレットを使いながら実在のそれらの道具の感触を頭の中で補完しつつ作業を進めなければならない。また絵を描く際に手にする道具であるマウスやタブレットらは入力装置としてのみ使われる

ものであり、出力装置としては使われていない。さらに、様々な作業の結果の出力には視覚的な表示装置を用いるため、筆とキャンバスのような入出力が一体となった関係には無い。「Sumi-Nagashi」では、実際の物体からの自然かつより直観的な応答に近いものとして力を利用者の手先に返すことを試みる。

ここで用いている Proactive Desk とは、デジタルな世界との物理的なインタラクションを行うためのシステムである(図3)。本システムは Wellner により提案された Digital Desk⁽¹⁾の概念を拡張させたものである。Digital Desk では、机の上に置かれた物体をカメラや位置センサなどを用いて取得、解析し、デジタル化した情報をコンピュータに入力する。取り込まれた情報はコンピュータにて処理され、その結果は頭上に設置されたプロジェクタから机上へ投影される映像として実世界に出力される。

Proactive Desk ではこれにさらに物理的な情報の出力チャネルを付加する。本システムにおける物理的な情報を生成する仕組みとしては、リニア誘導モータ(Linear Induction Motor: LIM)を用いている。図4に1次元のLIMの基本的な動作原理を示す。Proactive Desk では大平らにより提案されている2組のLIMのコアを直交するように配置する方式⁽²⁾

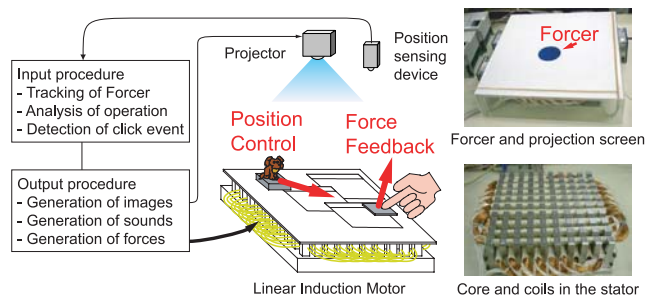


図3 Proactive Desk の概要

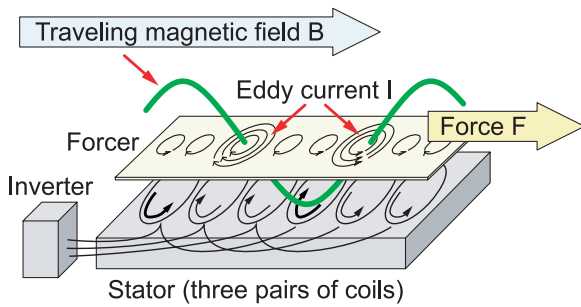


図 4 リニア誘導モータ(LIM)の動作原理.

1 次元の LIM の動作原理は一般的な三相交流モータと同じである。1 次側には 3 組で対となるコイルが動作方向に対して複数個並べ、これに三相交流が印加するとコイルを並べた方向に進行磁界 B が生じる。すると 2 次側となる導体内にはこの磁界の進行を妨げる方向に磁界を発生させる渦電流 I が励起される。この渦電流に対して進行磁界が作用し、フレミング則に従い 2 次側の導体に並進力 F が生じる。

により、机の下に 2 自由度を持つ LIM を構築し、机上の非磁性体の導体（以下、Forcer と呼ぶ）に対して平面方向に自由に駆動させる力を発生させている。Forcer に生じる力はその面積や厚さに比例する⁽³⁾。本試作機では 150mm×150mm、1mm 厚の銅製 Forcer にて最大 3N 程度の力を計測することができた。さらに、Proactive Desk ではこれを入出力装置として用いるために、Forcer を追跡し位置に関するフィードバック処理を加えることにより、机上の任意地点への Forcer の位置制御や、特定箇所における任意方向への力の発生などの制御を行っている。これにより、利用者は Forcer を手にすることで力という物理的な情報をデジタルな世界から得ることが可能である。本アプリケーションでは、実際の描画のための道具を模した物として Forcer 上に筆型のグリップを持つ装置を取り付け、入力インタフェースとして用いている。

本システムにおける力覚提示の仕組みの特徴として、利用者に見えるのはキャンバスと同一の色に塗られたプレート状の Forcer だけであり、ほぼその構造をキャンバスである机の下に隠蔽することが可能な点が挙げられる。これは、頭上から投影されるコンピュータの映像を阻害するものが少ないことを意味し、利用者は通常のタブレットを扱うかのように机上での操作が行える。さらに LIM を用いる利点として、LIM のサイズに比例して強力な力をキャンバス全体にわたる広い範囲に容易に発生させることが可能な点が挙げられる。結果として、Digital Desk に要求されるような 2 次元での作業が、磁気的な吸引力による机上物体の位置制御装置⁽⁴⁾や、機械的なリンク機構による他の力覚提示装置⁽⁵⁾らと比較してより簡単に行うことが可能である。

4. 絵と力の表現手法

「Sumi-Nagashi」のデジタルなキャンバスには図 5 に示すような 2 つのレイヤが定義されている。利用者による筆型

デバイスのドラッグ操作により置かれていく色はカラーレイヤ上に加えられる。カラーレイヤ上の色はストリーミングレイヤによって定義される仮想的な流れに沿って徐々に運ばれていく。ストリーミングレイヤは 2 次元速度ベクトルの場として表現されており、場所によって異なり、逐次変化するものである。

描画用の筆としては 3 種類の機能が用意されている。単純に色を置く筆のほかに、キャンバス上に既に置かれている未乾燥の絵の具をあたかも塗り広げるかのような筆と、ストリーミングレイヤの流れの一部をせきとめたり加速させたりするように変化させる筆が用意されている。これらの筆の種類以外にも、大きさや色は、利用者が自由に変更することが可能である。

これらの描画が行われる際、キャンバスに視覚的な変化だけが生じるのではなく、利用者が持つ筆型のデバイスに対してキャンバスからの物理的な触覚の情報として力が加わる。ここで、利用者が受ける流れは慣性、流体抵抗、摩擦抵抗をモデル化した 3 種類の仮想的な力の合力として定義されている。

慣性は選択中の色の重さに、筆の大きさにより決定する筆の重さ、筆の移動により計算される加速度に比例し、進行方向に逆らう力として定義される。ここで、各色の重さは輝度値に変換した際に白色が最も軽く、黒色が最も重い色であると定義した。描画により筆の下の絵が変化した場合、例えば徐々に暗い色に変化する場合はそれに応じて慣性力も変化する。

流体抵抗は流れから筆が受ける力である。ストリーミングレイヤ上の筆の位置にある面積分の領域を対象として流れの総和平均を求め、流れの向きと大きさを決定する。これは結果的にカラーレイヤの色が流れていく方向へデバイスが動く力となる。加わる力の強さは筆の大きさにも比例し、大きな筆が選択された際には流れにより強く押し戻されるかのように感じるようになる。

摩擦抵抗はキャンバス上の色を基準に定義される力である。具体的には筆の進行方向前方に存在するカラーレイヤ上の色の重さ（慣性と同様に定義）の変化を基に計算される。進行方向前方の対象領域から求められる標本偏差に比

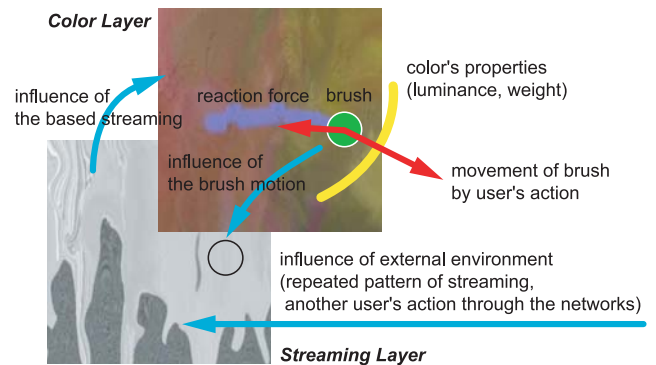


図 5 キャンバスの内部構造

例した大きさを力の進行を妨げる力として定義し、方向は進行方向と逆方向とする。標本偏差は色の変化が少ない部位では小さく、変化が大きい部位では大きくなるため、進行方向に対するキャンパスの色変化に応じた一種の抵抗値として機能する。

これらの合力を提示することにより、利用者が筆を劇的に異なる色の上を動かしたり、速い流れの中を進むように動かす時、その場所のキャンパスの特性に応じた感触を得ることを可能とした。

5. 本提案のコンセプト

芸術における身体の重要性は、芸術に関わるすべての人、特に作家は強く認識するところであった。自らが関わる素材と道具とを体で会話し深く感じるところから人を魅了する芸術は誕生する⁽⁶⁾。いわゆるデジタルアーティストはそういった体感を、現実世界に存在しない道具を用いて、あたかも実在し、触っているかのように自らの想像力により無理やり補完することで得てきた。すなわちこれはごく限られた生命体としてのリソースのみを用い、全てのリソースを用いてきた従来の芸術分野と同等の仕事をしなければならぬ状態に置かれていたと言える。これがデジタルアートやメディアアートに他の芸術分野と比較して、多角的な創造性に限界があるように感じられ、まるで人間の存在が必要無いように感じられる原因のひとつでもある。しかしながらこれをもってこの分野に将来性が無いと言う事は早計であり、単にそのための道具が未熟なだけである。

我々は、芸術作業における身体性、視覚と脳の生理的な関係をもっと研究し、合理的な知覚の拡張を進めるべきである。この「Sumi-Nagashi」のアプリケーションはデジタルアートの世界に身体性を取り込むためのひとつの試みであり、視覚と触覚の調和により生まれる新しい芸術の可能性を例示するものである。画家が絵の具の粘性や、キャンパスと絵の具の接着具合を微妙な触覚によって正確に把握し、必要な効果を構築していくのと同じ次元でのデジタルならではの身体性の拡張こそが本研究の最終的な目的である。

次に技術的な側面を考察する。力覚提示装置に代表される物理的な情報の入出力装置は既存のインタフェースに変化をもたらす力を秘めている。Wellner が 1991 年に提案した Digital Desk の概念⁽¹⁾はコンピュータの中で帰結していたデジタルな世界と我々のいる物理的な世界との境界を希薄にした。机に置かれた実世界の物体の性質（個数、形、大きさ、色、文字など）はコンピュータの世界に取り込まれ、机上に表示されたアイコンはマウスの代わりに指で直接操作することができた。しかしながら、このシステムでは利用者に対して映像という形でしか情報を提供することができなかった。したがって、視覚的なインタラクションの輪は閉じているのに対し、物理的なインタラクションの輪は実世界から仮想世界への入力、一方向のみに制限されていたと言える。

Proactive Desk は完結した物理的なインタラクションの輪を Digital Desk の概念にもたらしするための解のひとつである。本システムは利用者に対して物理的な力を感じさせることにより触感を伴った物体操作を可能とさせている。例えば既存の GUI へ応用し、致命的な結果を引き起こすボタンに対してはボタンに進入しづらい力を発生させ、奨励するような操作に対してはそちらへ誘導する力を発生させることにより操作支援を行うことが可能である。また Forcer を位置制御させるための仕組みを実装していることにより、例えば机上に投影された地図上を Forcer に配置した車の模型が移動して道順を示すといった、コンピュータグラフィックスではなく、実物を用いた視覚的な情報提示なども可能となる。

本アプリケーションは触覚情報をデジタルな描画ツールに取り込んだひとつの例である。力覚のフィードバックを描画用ソフトウェアや CAD などに取り入れることにより、利用者は筆や定規といった実在する他のツールの模擬的な物を使えるだけでなく、刻一刻と形が変化する定規やある一定の法則に基づき描画中の軌跡が変化していく筆など仮想的なツールを使うことも可能となる。さらに、机自身が利用者のまたは他人の行動を記録、蓄積し、再生することにより、時間や場所に束縛されず自分や他人の感覚を共有できる装置となるだろう。

6. まとめ

本研究では力覚ディスプレイを用いた流れるような絵画の身体的知覚を通じ、新しいデジタルアートの可能性を示した。流れる絵画を体感できる作品「Sumi-Nagashi」により、視覚だけではなく触覚も含めたデジタルアートとの対話操作を実現した。

今後は展示等を通じた多くの人々への体験の提供を行い、本システムの有効性を検討する。また、Proactive Desk の力覚提示性能を向上させることにより、より豊かな絵画の表現手法を模索する。

謝辞 本研究は通信・放送機構の研究委託“超高速ネットワーク社会に向けた新しいインタラクションメディアの研究開発”により実施した。

文 献

- (1) P. Wellner : “The Digital Desk Calculator: Tangible Manipulation on a Desk Top Display”, ACM UIST '91, pp.27-33 (1991)
- (2) 大平博一・川西利昌 : 「2方向リニア誘導モータの実験的検討」, 計測自動制御学論, Vol.19, No.2, pp.74-79 (1983)
- (3) H. Noma, Y. Yanagida, and N. Tetsutani : “The Proactive Desk: A New Force Display System for a Digital Desk Using a 2-DOF Linear Induction Motor”, IEEE VR2003, pp.217-224 (2003)
- (4) G. Pangaro, D. M. Aminzade, and H. Ishii : “The actuated workbench”, ACM UIST '02, pp.181-190 (2002)
- (5) SensAble Technologies, Inc. : “PHANTOM”, <http://www.sensable.com/>
- (6) S. Zeki : “Inner Vision: An Exploration of Art and the Brain”, Oxford University Press, (2000)