

推薦論文

アナログ画材を用いたアニメーションの作成を支援するシステム

中嶋 誠^{1,a)} 坂本 大介¹ 五十嵐 健夫¹

受付日 2014年7月9日, 採録日 2015年1月7日

概要: 本論文では, アナログ画材によりオフライン彩色された画像素材を, デジタルな Flash スタイルアニメーション制作に取り入れる統合的なワークフローを提案する. デジタルなオーサリング手法には, 下描き段階での編集のしやすさ等の利点があり, アナログ画材による彩色は, 有機的な質感を演出するのに有効である. しかし両者の連携には手間がかかるため, 効率的な連携ワークフローを提案する. まずユーザは, デジタルソフトウェアでキャラクタのスケッチと, 動きの設計を行う. 次にシステムが, ユーザの描いたレイヤ画像をまとめて紙に印刷し, ユーザは任意のアナログ画材を用いて彩色する. 最後に, 彩色済み用紙をスキャンし, システムが自動でアニメーションに再構成する. 提案ワークフローの実装例を示し, ユーザの作例と得られたコメントを通して, 提案システムの利点と将来課題について考察する.

キーワード: ワークフロー, アニメーション制作, アナログ画材, 創作支援

Offline Painted Media for Digital Animation Authoring

MAKOTO NAKAJIMA^{1,a)} DAISUKE SAKAMOTO¹ TAKEO IGARASHI¹

Received: July 9, 2014, Accepted: January 7, 2015

Abstract: We present an animation creation workflow for integrating offline physical, painted media into the digital authoring of Flash-style animations. Digital authoring methods are full of useful nonlinear editing features. Physically painted media can provide organic atmosphere to animation. To incorporate both in a labor-saving manner, we present a workflow that integrates the offline painting and digital animation creation processes. First, a user makes a rough sketch of the visual elements and defines their movements using our digital authoring software with a sketch interface. Then these images are exported to printed pages, and users can paint using offline physical media. Finally, the work is scanned and imported back into the digital content, forming a composite animation that combines digital and physical media. We present an implementation of this system to demonstrate its workflow. We also discuss the advantages of using physical media in digital animations through design evaluations.

Keywords: workflow, animation authoring, offline painted media, creativity support tool

1. はじめに

デジタル技術の普及によって, 映像コンテンツ作成のハードルは大きく下がり, 様々な表現が可能になってきた. 特にアンドゥやコピーアンドペーストを備えたノンリニア編集技術が, アニメーション制作にもたらした恩恵は大きい. 一方で, 従来のアナログ技法も完全に廃れたかという

と, そのようなことはなく, アナログ画材特有の雰囲気や質感を活かした作品演出が見られる.

研究の文脈でも, アナログ画材の持つ有機的な質感に着目し, デジタルに再現する取り組みがなされている. 一例

本論文の内容は 2013 年 6 月のビジュアルコンピューティング/グラフィクスと CAD 合同シンポジウムで報告され, グラフィクスと CAD 研究会主査により情報処理学会論文誌ジャーナルへの掲載が推薦された論文である.

©ACM 2014. This is a minor revision of the work published in Proc. CHI 2014,

<http://dx.doi.org/10.1145/2556288.2557062>

¹ 東京大学

The University of Tokyo, Bunkyo, Tokyo 113-8654, Japan

^{a)} nakajima@ui.is.s.u-tokyo.ac.jp

として、絵画調のストローク効果について、シミュレーション等により良い結果が生まれている [1], [2]. しかしアナログ画材は、キャンバス上のマテリアルであると同時に、ユーザが操作するインタフェースである. そのため、これまでアナログ画材で経験を積んだ画家が、高度にアナログ画材を模したデジタル画材を使う場合でも、ツールに対する習熟度と操作感の問題で、すぐには同等の能力を発揮できないことがある. そのようなケースでは、学習コストをかけて新しいソフトに習熟するよりも、手になじんだ既存の画材をそのまま使って作品を作る方が、効率的と考えられる場合がある.

そこで我々は、デジタルアニメーション制作とアナログ画材の連携を支援するワークフローを提案する. 対象ユーザは、アナログ画材による彩色スキルを持つが、アニメーション制作の経験は少ないイラストレータの人々であり、特に Flash スタイルのアニメーション制作を支援する.

具体的な手順として、最初にユーザはソフトウェア上でスケッチし、デジタルに映像の動きを設計する. 次にシステムが、ユーザが描いた絵の各レイヤを並べ、まとめて紙に印刷する. アナログデータとして紙に印刷することで、油絵の具や色鉛筆といった多様な画材を作品制作に利用できる. 最後に彩色された用紙をスキャンし、わずかなユーザ操作で、システムが自動で部分画像を切り出し、アニメーションとして再構築する. スキャンしたデータの位置合わせとレイヤごとの配置は、手動で行うと非常に手間のかかる作業だが、提案システムの支援によって簡単に実行できる.

本論文では提案ワークフローの実装例を示し、ユーザの作例と得られたコメントを通して、提案システムの利点と将来課題について考察する.

2. 関連研究

2.1 アニメーションオーサリング

コンピュータを利用したアニメーション制作支援技術は長年にわたり研究されてきた. Baecker は、ピクチャドリブンアニメーションと呼ばれる、画像プロパティ（二次元座標、回転、拡大縮小）の変化で表現するアニメーションを提案した [3]. 我々もこの種類のアニメーションを対象とする. Davis らは、アニメーション制作に必要な機能を調査し、スケッチシステムとして実装した [4]. いずれも有効な手法だが、アナログ画材との連携は考慮していない.

実世界オブジェクトを利用したパペッティング手法（オブジェクトに動きをつけること）も研究されている [5], [6], [7], [8], [9]. ShadowStory は、デジタルドローイングを利用して人形劇を演じるシステムである [10]. Video Puppetry は、紙に描いて切り抜いたイラストを手で動かし、その様子をカメラでキャプチャしてアニメーションを作るシステムである [11]. これは我々の提案システムとよ

く似ているが、その作業工程は、アナログ素材をデジタル環境に取り込むことしか考慮していない. また大半の作業が実世界で行われるため、作画や動きの設計段階でコンピュータの支援が受けられない. 一方我々のシステムは、デジタルからアナログへの出力と、アナログからデジタルへの入力の方を考慮している. そのため、繰り返し修正と微調整が必要になりがちな、制作の初期段階をソフトウェア上で行うことで、アンドゥやコピーアンドペーストといったデジタルの利点を活用できる.

2.2 オフラインマテリアル

オフライン（アナログ）作業と、オンライン（デジタル）作業の連携を考えるにあたって、紙は重要な媒介として研究されてきた. The paper user interface は、紙に書かれた内容を、構造化されたデジタルデータとして読み取るシステムである [12]. たとえば、紙のアンケート用紙に書かれた回答を、デジタルなテキストと数値データとして簡単に集計できる. Paperlink という研究では、ペンの先に小さなカメラをつけ、筆記機能と文字認識機能を合体させた VideoPen デバイスを実装した [13]. このデバイスは、紙面の文字列中で特別にマークされたものを検出し、その文字列と特定のデジタルデータをハイパーリンクする機能を備えている. また Guimbretière のシステムでは、紙に印刷した書類に対する書き込みを、元のデジタルデータの脚注として取り込むことができる [14]. Garcia らは、紙に印刷した楽譜の断片を並べ替えることで、編曲を行うインタラクティブなシステムを提案した [15]. ModelCraft は、建築物のデジタルなモデルデータと、紙の建築模型を連携させるシステムである [16]. 3D CAD データから作った紙の模型に、ペンで修正指示を書き込むと、元のデジタルデータに指示内容が反映される. FrameWire では、GUI インタラクションのプロトタイピングに、紙を利用した [17].

Maeda は、自身のアートのワークの中で、実世界の物体（フライドポテト、煮干等）をスキャンし、グラフィックデザインの一部に利用した [18]. スキャンされた素材は、作品に独特の雰囲気を与えている. 彼はこの手法を静止画作品の制作にのみ使い、動画には用いなかった. 他に、ペイントソフトウェアのブラシ [19], [20], [21], またはイラストのデカール [22] として、実世界物体の写真を利用する研究がある. Amati らは、紙とインクで描いた植物の絵をスキャンして、2.5 次元モデルを作るシステムを提案した [23]. このシステムは、アナログ画材をどのようにデジタル素材として取り込むかについては研究しているが、デジタルコンテンツをアナログ出力して利用する統合的なワークフローは考慮しておらず、我々の提案手法とは異なる.

2.3 アナログ画材のシミュレーション

絵筆等に似たデバイスを作り、デジタル彩色時の操作感

を改良する研究が行われている。FluidPaint は、本物の絵筆を入力デバイスに使うことで、触覚フィードバックを得るシステムである [24]。MAI Painting Brush は、ヘッドマウントディスプレイを通して見る現実世界の物体表面に、絵筆を使ってバーチャルに絵を描く体験ができる複合現実システムである [25]。

アナログ絵画の見た目を、デジタルに再現する研究も行われている。RealBrush は、油絵の具や、アクリル絵の具で描いた筆跡をサンプリングして、有機的なテクスチャやストローク効果を生成するシステムである [2]。Schwarz らは、ユーザがストローク要素をキャンバス上に配置して、デジタル絵画を作成するシステムを提案した [26]。写真を加工する手法や、3D モデルを絵画風にレンダリングする手法も研究されている [27]。Vignette は、手書きの線を複製してテクスチャにし、ペン画を作成するシステムである [28]。いずれも有効な手法だが、我々の提案手法では、既存のアナログ画材をデジタル手法で置き換える代わりに、双方の連携を支援する。これにより、アーティストが時間をかけて新しいツールを学ばなくても、慣れ親しんだ画材をそのまま使って作品制作できるので、学習コストを考えると費用対効果の面で利点がある。

3. アニメーション制作ワークフロー

アニメーション制作には一般的に、動きの設計（コンテ）、線画、彩色、仕上げの工程が含まれる。

3.1 一般的なワークフロー

初期のアニメーションは、すべてアナログ環境で制作された [29]。アニメータは紙の絵コンテで動きを設計し、紙と鉛筆で線画を描き、透明なセル板に転写して彩色を行う。そしてカメラで連続撮影し、アニメーションを得た。

これらの工程は、徐々にデジタルな道具で置き換えられてきた [30]。現在では、コンテや線画の一部と、彩色と仕上げのほぼすべてがデジタル化されている。最も一般的なワークフローは以下である。まず監督が紙に絵コンテを描き、次にアニメータが紙と鉛筆で線画を描く。線画をスキャンしてデジタル彩色し、仕上げと合成処理を行ってデジタルアニメーションを得る。

各工程の単純なデジタル化にとどまらない、新しいタイプの技術も提案されてきた。プログラミング・バイ・デモンストレーションの考え方や [31]、スケッチインタフェースである [4]。ユーザはこれらのシステムにより、これまで別々だった設計、線画、彩色、仕上げの各工程を、平行して同時に行う、新しいアニメーション制作スタイルが可能になる。

3.2 提案ワークフロー

新しいソフトやワークフローにより、より簡単に、手早

一般的なワークフロー

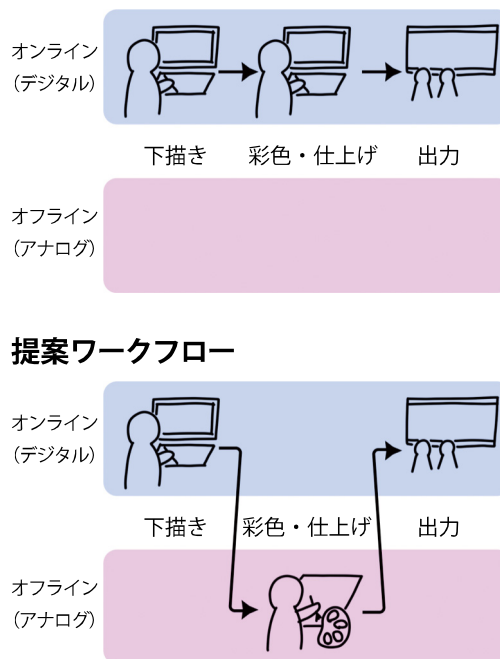


図 1 一般的なワークフローと提案手法の比較

Fig. 1 A comparison of modern animation authoring and the workflow proposed here.

くアニメーションが作れるようになってきた。代表例としては Adobe Flash[®] があげられる。ユーザは何枚かの静止画（ラスタまたはベクタ画像）に、キーフレーム（位置、拡大率、回転、透明度）を設定してアニメーションを作ることができ、すべてのフレームを手描きする必要がない。本論文では、このタイプのアニメーションを、Flash スタイルと呼ぶ。Flash 的な映像制作手法は、省力化のメリットがある一方で、作品の見栄えが似てしまう問題点もある。

そこで我々は、作者の個性をより濃く反映した、多彩な彩色スタイルを可能とする新しいワークフローを提案する。初めにユーザは、ソフトウェア上でスケッチし、下描きと動きの設計を行う。次に、映像を構成する各レイヤを紙に印刷し、彩色する。最後に彩色済み用紙をスキャンし、デジタルデータとして再構成して、アニメーションを得る（図 1 下）。

彩色の工程は、作品の最終的な見栄えに影響する重要なステップのため、作者固有の彩色スキルを上手に取り入れて作風に反映したい。しかしアニメーションは多くのフレームやレイヤ画像から構成されるため、すべての画像を手動で書き出し、読み込みするのは非常に手間がかかる。また、画像の切り出しや位置合わせも必要である。我々の提案システムでは、これらのデジタル–アナログ間連携をシステムで支援し、簡便化する。

4. ワークフロー設計と実装

本研究の主な新規性は、単なる新しいツールを実装した

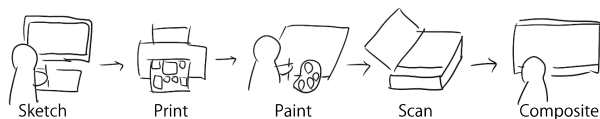


図 2 我々の提案ワークフロー

Fig. 2 Our proposed workflow.

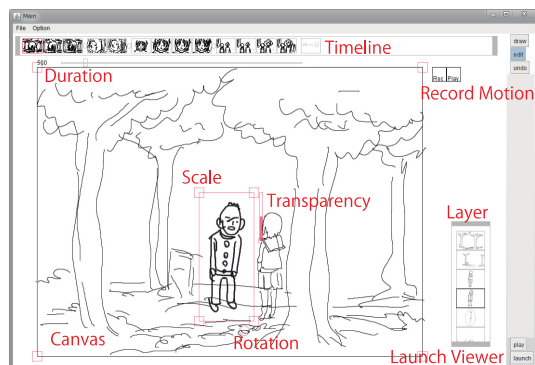


図 3 下書きアニメーション用スケッチシステム

Fig. 3 Our sketch-based interface for drawing and animating.

という点ではなく、デジタルアニメーションをいったんアナログで処理しやすい形に出力し、再度デジタルに読み込み映像として再構築する、統合的なワークフローを提示する点にある。図 2 はワークフローのイメージ図である。ユーザはまずデジタルソフトウェア上でキャラクタやオブジェクトを描き、スケッチインタフェースで操作して下書きアニメーションを作る。システムは、一定のルールに沿ってアニメーションの各レイヤを印刷する。ユーザは印刷された用紙を、色鉛筆や油彩等、各自の好きな画材で彩色する。そして彩色済み用紙をスキャンし、デジタル環境に取り込んだ後、システムが自動で画像を切り出してレイヤ構造を再構築し、アニメーションを得る。

これは特にユーザが作成した簡易な下書きを、清書して彩色する場面に有効である。なぜなら、作品クオリティ向上の観点から考えると、最終的な作品の見映えに直接関係する彩色の工程では、ユーザの慣れ親しんだ道具を使うことが望ましいからである。たとえばイラストレータはコピックマーカを使い、油絵画家は筆と絵の具を使うことを想定する。この過程を支援するのが提案システムである。

4.1 スケッチによる下書きと動き設計

ユーザはまず K-Sketch [4] と同様のスケッチインタフェースで下書きアニメーションを作る。画面中のオブジェクトごとにレイヤを分けることで、個別に動きを制御できる。ユーザは図 3 に示されるキャンバス上に絵を描いていく。各レイヤは、位置、拡大率、回転、透明度を属性に持ち、それぞれにキーフレームを打ってアニメーションを作る。値の調整は、ドラッグアンドドロップによって直感的に行うことができる。また複雑な動きを作りたい場合は、モーション録画モードがあり、ユーザがオブジェクトをドラッ

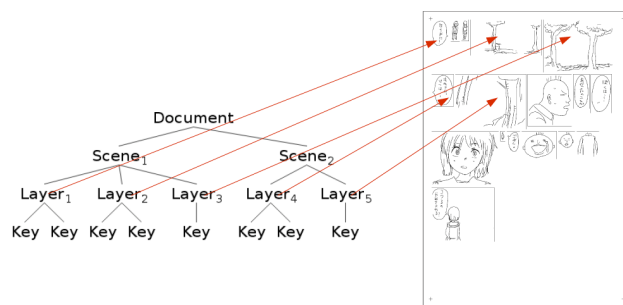


図 4 アニメーションと紙面の対応関係

Fig. 4 Mapping of a digital animation structure to paper.

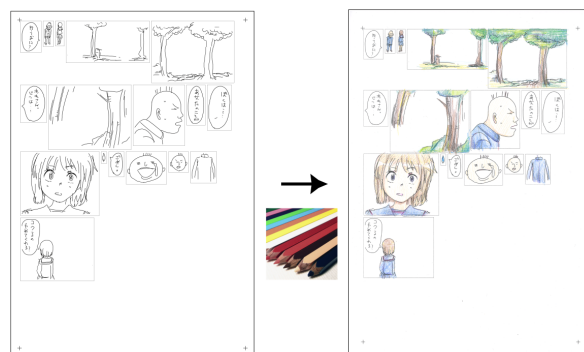


図 5 ユーザは印刷された紙を彩色する

Fig. 5 A user paints on printed paper.

グして動かした軌跡が、キーフレームに保存される。

ユーザが作成したアニメーションは、以下のデータ構造により保持される。まずアニメーション全体が 1 つのドキュメントであり、その中に複数のシーンを含む。シーンは、複数のレイヤと、各レイヤに対応するキーフレーム情報を含む。レイヤは 1 枚のビットマップ画像、もしくはベクター画像である。キーフレーム情報は、ある時刻 t における対象レイヤの位置、回転、拡大率、不透明度である。アニメーションの再生時には、現在のシーン中の各レイヤについて、現在時刻から近傍のキーフレームを 2 つ取り出し、各パラメータを線形補間し、現在時刻におけるレイヤの表示状態を決定する。

4.2 画像パッキングと印刷

下書きアニメーションを紙に出力する単純な手段としては、各レイヤ画像を順番に書き出す方法がある。しかしアニメーション作品に使用されるレイヤ数は膨大であり、その 1 枚 1 枚を手動で画像ファイルとして保存し、印刷し、処理するのは非常に手間がかかる。また画像枚数が増えると、ある画像がどのシーンのどのレイヤに相当するのか混乱しやすく、レイヤ順序の管理も難しい。そこで我々は、アニメーションの構成レイヤをシステムがまとめてパッキングする手法を提案する。ユーザはワンクリックで、アニメーションに含まれるすべてのレイヤをまとめて png 画像に出力できる。この画像には、各レイヤの線画画像、各レイヤの枠線、位置補正用に四隅のマークが含まれる。ユー

ザは書き出された png 画像を任意の手段で紙に印刷し、彩色に利用する。各レイヤが紙面中のどこに位置するかは、アニメーション全体のデータ構造から一意に計算されるため、ユーザは画像の並び順を気にすることなく、少ない手間ですべてのオブジェクトを彩色できる。

紙面における各レイヤ画像の位置を決定するために、各レイヤサイズのリストと紙のサイズを引数に取り、各レイヤ位置のリストを返す関数 f を考える。関数 f は以下で定義される。

$$f : (\text{layers}, \text{paper}) \rightarrow \text{positions}$$

s.t.

$$\text{layers} = \{l_1, \dots, l_n | l_i = (w, h) \in R^2\}$$

$$\text{paper} = (w_p, h_p) \in R^2$$

$$\text{positions} = \{p_1, \dots, p_n | p_i = (k, x, y, w, h) \in R^5\}$$

w_p と h_p はピクセル単位で表される紙のサイズである。これは紙の物理サイズとドット密度 (dpi) で決まり、今回は 300 dpi で実験を行ったため、A4 サイズの用紙は $2,480 \times 3,508$ ピクセルとなる。この関数により、 i 番目のレイヤが、 k 番目の紙の、位置 (x, y) に、幅 w 、高さ h ピクセルで配置される。現在の実装では、レイヤを紙の左上から順に配置し、右端に達したら改行する単純な計算を用いている。

4.3 アナログ彩色

システムが出力した png 画像を紙に印刷したあと、ユーザはオフラインのアナログ画材を用いて彩色する。最終的にスキャンが可能であればよく、色鉛筆、マーカー、水彩絵の具、油絵の具、等が利用できる。

また別の利用法として、印刷された用紙の上から別の紙を重ねてトレースし、線画をクリーンアップすることもできる。その場合、四隅のマークを新しい紙に手で書き入れておけば、スキャン後に位置合わせが可能である。現在のシステムでは、目印のマークは単なる十の字であり、手で書き写すのも特に困難ではない。

4.4 画像スキャンとアニメーション再構築

ユーザは彩色した画像を任意の手段でスキャンし、png や jpg 等の、一般的な画像フォーマットで保存する。その後提案システムに読み込み、図 6 のインタフェースにより、各画像中の基準点を、手動で 4 点指定する。システムはユーザの指示を元に 4 点補正を行って紙面の傾きを修正する。また簡単なマッピング機能も備えており、背景色を取り除く処理が可能である。提案システムでは、レイヤ構造により複数の画像が重なり合っただけでアニメーションを構成するので、余白の領域を取り除かないと、背後のレイヤを遮蔽してしまうからである。具体的には、ユーザが画像

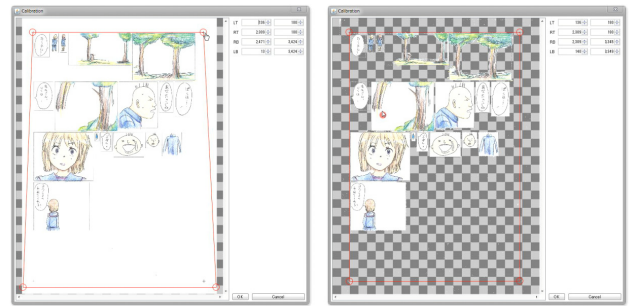


図 6 位置合わせ (左) と背景除去 (右) システム

Fig. 6 Our interface for calibration (left) and background removal (right).

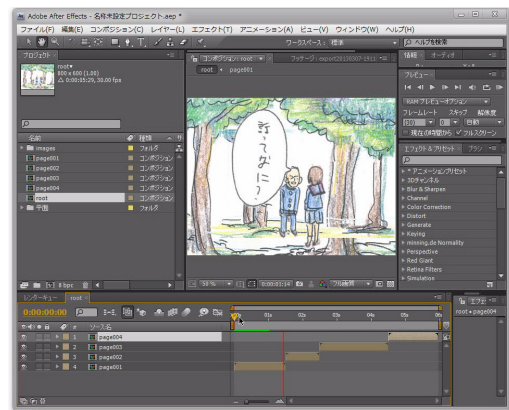


図 7 Adobe AfterEffects® への書き出し機能

Fig. 7 Our system can export animations to Adobe AfterEffects®.

中の任意の点をクリックすると、その点に隣接する近似色領域が、flood fill アルゴリズムにより選択され、透明に設定される。その後システムが、各レイヤ画像の位置を計算し、元のアニメーションに再構成する。具体的には、各スキャン画像から、部分画像を切り出し、元のドキュメント中にレイヤとして配置する。

一連の処理を提案システムの支援なしで行うならば、各画像をスキャンした後、画像の歪みを補正し、各レイヤに相当する矩形領域を手動で切り出して保存し、背景色を取り除き、それぞれアニメーションのレイヤとしてプロジェクト中に配置する作業が必要である。しかし提案システムを使うことで、作業が大幅に短縮される。また提案システムによって制作した作品は、Adobe AfterEffects® のプロジェクトとして出力でき、パラメータの微調整や、一般的な動画フォーマットへの変換が可能である。

5. ワークフローデザインの評価

提案ワークフローを評価し、改善点を検討するため、アーティストを被験者とする予備実験を行った。主に定性的な意見の収集が目的であり、直接比較できるシステムがなく、手作業と比べると提案システムの優位性が明らかのため、定量的な比較実験は行っていない。

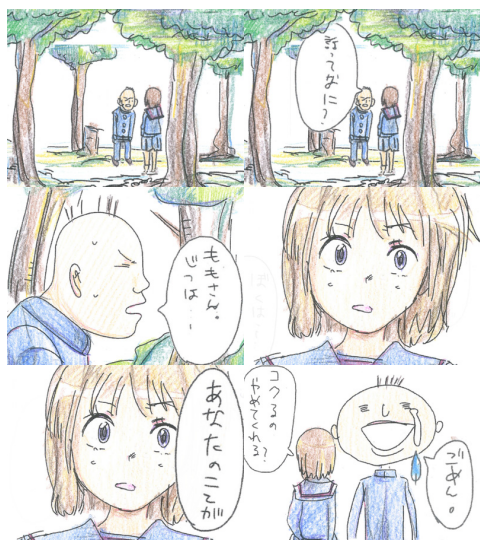


図 8 色鉛筆で彩色したアニメーション

Fig. 8 A thumbnail of an animation painted with colored pencils.

5.1 実験計画

被験者として、漫画家 2 人 (Participant 1 : P1, Participant 3 : P3), 油絵画家 1 人 (Participant 2 : P2) に協力いただいた。全員 20 代後半男性で、本研究には関係していない。実験手順は、事前アンケート、システムとワークフローの解説、下描きアニメーション作成、印刷とアナログ彩色、スキャンとアニメーション再構築、事後アンケートとインタビューである。

事前アンケートでは、以下の内容を質問した。絵を描く経験はどれくらいありますか? (P1 : 15 年, P2 : 3 年, P3 : 10 年), 絵を描く際どのような道具を使いますか? (P1 : ボールペン, P2 : 油彩, P3 : ComicStudio ソフト), アニメーション制作経験はありますか? (P1, P2, P3 : なし)。事後アンケートでは、実験の各ステップについて (スケッチインタフェース, 画像の出力, アナログ彩色, スキャンと再構築, 外部ソフトへの出力, アニメーションのクオリティ, ワークフロー全体), 自由記述形式のフォームを用意し、意見の記入を求めた。最後にインタビューを行い、特にトピックは制限せず、本システムについて感じたことを口頭で述べてもらった。また実験中は、ユーザが各ステップでかかった所要時間を計測した。

5.2 結果

Participant 1 : 図 8 は色鉛筆で彩色したアニメーションのサムネイルである。P1 が提案システムを用い、20 分で下描きアニメーションを作成した。その後、筆者らが紙に印刷し、色鉛筆で彩色し、スキャン後アニメーションに再構成した。

Participant 2 : 図 9 は油絵の具で彩色したアニメーションのサムネイルである。筆者らが提案システムを用い、下



図 9 油絵の具で彩色したアニメーション

Fig. 9 A thumbnail of an animation painted with oil paints.

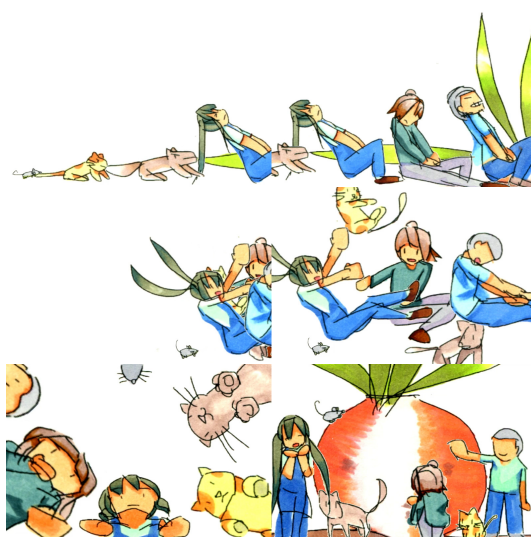


図 10 コピックマーカで彩色したアニメーション

Fig. 10 A thumbnail of an animation painted using Copic markers.

描きアニメーションを作成し、紙に印刷した。次に P2 が、A4 用紙 8 枚を 1 週間かけて、油絵の具で彩色した。油絵は絵の具を乾かす時間が必要なため、所要時間が長くなった。その後、筆者らが用紙を受け取ってスキャンし、アニメーションに再構成した。

Participant 3 : 図 10 はコピックマーカで彩色したアニメーションのサムネイルである。筆者らが提案システムを用い、下描きアニメーションを作成し、紙に印刷した。このアニメーションは、図 9 のアニメーションの短縮版である。次に P3 が、A4 用紙 3 枚を 1 時間 45 分かけて、コピックマーカで彩色した。そのあと、彩色済み用紙を用いて、P3 が自分でアニメーションとして再構成した。スキャン済み画像の位置合わせと背景除去、アニメーション再構成に要した時間は 3 分であった。



図 11 コピックマーカで彩色したアニメーション

Fig. 11 A thumbnail of an animation painted using Copic markers.

図 11 はコピックマーカで彩色したアニメーションのサムネイルである。P3 が提案システムを用い、1 時間 50 分以下で描きアニメーションを作成した。そのデータを紙に印刷し、P3 が A4 用紙 3 枚を 45 分かけて、コピックマーカで彩色した。その後、彩色済み用紙を用いて、P3 が自分でアニメーションとして再構成した。スキャン済み画像の位置合わせと背景除去、アニメーション再構成に要した時間は 3 分であった。

6. ユーザの反応と分析

6.1 提案システムによる省力化支援

提案ワークフローの利点は、下描きと彩色それぞれの段階に、デジタルツールとアナログ画材を利用し、適材適所なコンテンツ制作を実現する点である。しかしその過程には、単純だが多くの画像処理作業が必要なため、提案システムの支援による省力化を目指した。実験後のアンケートでは、提案システムがユーザの省力化支援に有用である、との意見が被験者から得られた。提案システムなしの場合、ユーザは、出力作業（各レイヤを別々の画像ファイルに保存し、印刷する）と入力作業（彩色済み用紙をスキャンし、位置を合わせ、背景を取り除き、元のドキュメント中の画像を順番に差し替える）を手動で行う必要があるため、作業時間が増大することは明らかである。

ワークフローとシステムについて、ユーザ省力化の観点から、全体的には好意的なコメントが得られたが、2 点の問題が指摘された。1 点目は、レイヤ画像をまとめて印刷する際の並べ方である。現在は、レイヤの登場順に、紙面の左上から配置する単純な実装のため、無駄な余白が多く、紙の枚数も増えがちである。そのため彩色時の筆移動にも無駄が多い。将来的に、紙の余白を詰めて画像を配置する



図 12 フリンジやノイズが目立つシーンの例

Fig. 12 A scene with artifacts such as fringes and noise.

改良や、同じ色で塗りたいオブジェクトをユーザが指定し、紙面内で近くに配置する改良が考えられる。しかしこれらはユーザの操作感に大きく影響を与えるため、検討が必要である。個人制作か、集団による分業を想定するかも最適な方法は変わると予想される。

2 点目はスキャンした画像の処理方法についてである。この点について、P3 は次のようにコメントした。「現在の操作は十分簡単だが、画像認識やマーカを用いて四隅の位置合わせを自動化できると、もっと簡単になると思う。また背景を取り除く際、意図に反して髪の毛のハイライト部分が透明に設定されてしまったが（図 11）、修正する手段がなかった」。

スキャンした画像に対して必要な処理は、位置合わせと背景除去の 2 点である。位置合わせについては、専用のマーカを紙面に印刷すれば、P3 が述べたとおり、画像認識技術を用いて比較的簡単に自動化が可能である。

背景除去には、さらに細かく分けて、前景オブジェクトの指定方法と、切り抜き精度の、2 つの問題が関係する。前景オブジェクトの指定については、各レイヤの矩形領域が分かっているため、GrabCut [32] 等を利用すれば、ある程度自動で切り出しが可能と考えられる。しかしこの場合も、選択誤りや、飛び散った絵の具によるノイズの問題が想定されるため、P3 のコメントにあるとおり、ユーザによる修正が可能なブラシツール等を併用することが望ましい。

また切り抜き精度について、現在はスキャン時に色調補正を強めにかけ、背景を完全な白に飛ばして flood fill を行っている。不透明度は完全に不透明、または完全に透明の二値である。そのため、オブジェクトの輪郭部分に背景色がフリンジとして残る問題があり、特に複数のレイヤが重なる部分で顕著である（図 12）。エッジのソフトな画像切り出しは、アルファマッピングと呼ばれる問題であり、一般的な RGB 画像を対象とする手法や [32], [33], アナログ画材を対象とするレイヤ分離手法 [34] が利用可能と考えられる。また自動色調補正も既存手法がある [35]。

6.2 アナログ画材の利用

今回の実験でユーザの作成したアニメーションは、いずれもアナログ画材特有の多様なスタイルを含んでいる。P2

は、油絵で彩色した彼の作品について以下のコメントをした。「アニメーションが全体的に茶色いトーンを持っている。これは、油絵は最初にある色で下塗りを行うため、その下地の色が影響していると考えられる」。

全体的な統一感のある色彩は油絵の特徴だが、デジタルで彩色する場合、考えなしにフルカラーのカラーピッカから色を選ぶと、ちぐはぐな配色になることがある。しかし我々のワークフローでは、アナログ画材の手法的な特徴とユーザの熟練度を上手く取り込むことで、バランス感のある配色がなされたデジタルアニメーションを実現できた。

図8のアニメーションには、色鉛筆の多様なストロークが観察でき、作品に豊かで有機的な印象を与えている。デジタルソフトウェアでもこのような作風を実現することはできるが、そのためには適切なソフトの使い方を学習する必要がある。学習時間と費用の面から考えると、すでに使い方を知っている画材を、デジタル作品にそのまま利用できるのは大きなメリットといえる。

我々のシステムとその結果を、別の研究者に見せた所、図9のアニメーションについて以下のコメントが得られた。「油絵の見た目は、表面の凹凸が作る微細な陰影や、光の表面下散乱、BRDF特性等に影響される。そのためRGB値だけをスキャンするのでは、見た目を再現するのに不十分ではないか。他のチャンネルも合わせてスキャンすることで、アナログ画材の雰囲気をも取り込むことができる」。

6.3 オフライン彩色中の問題点

P2は以下のコメントをした。「紙に印刷した絵を彩色している時、最終的な画面構成が分からなかった。そのため塗っているオブジェクトにどちらから光が当たるのか分からず、陰影付けが難しい」。

P2によると、各オブジェクトの画面中での位置が分からないと、光源を仮定して光の当たり方を考えることができない。これはイラストレータの彩色スタイルにもよるが、重大な問題である。もしユーザがフラットな塗りしか必要としないならば、特に問題ではない。しかし多少リアルな表現をする場合、画面レイアウトと光源の関係が分からないと、一貫性のある陰影付けを行うことは難しい。

類似の点として、P3は以下のコメントをした。「どのオブジェクトがどのシーンなのか混乱しました。そのため犬と猫の色を間違えて塗ってしまいました(図10左下)。各オブジェクトに、『これはシーン1のセリフ2』のような、アノテーションを書き込める機能があると、便利だと思います」。

これらのコメントから、P2とP3のいずれも、オフライン彩色中に、最終的な画面イメージをつかむのが難しい問題点を指摘していることが分かる。現在のシステムは、単純に各レイヤを紙面に並べて印刷するだけであり、ユーザはその相互関係について何の情報も読み取れない。P3の

ケースでは、セリフの吹き出しにも問題があった。P3は下描きの段階では、吹き出しをただの白い丸として書いていたため、印刷後どの丸がどのセリフに対応する吹き出しか判別できなかった。仕方なくコンピュータの前に戻り、形とシーンの対応関係を確認してからセリフを書き込んだ。

6.4 イラストレータへのアニメーション制作支援

P3は以下のコメントをした。「FlashやAfterEffectsで作ったようなアニメーションを、それらのソフトを覚えずにとっても簡単につくれて驚きました。しかも今回のシステムではアナログの画材も使うことができました。これはアーティストの可能性を広げると思います。私自身今回の経験を通して、自分がアニメーションも作れるという新しい可能性を感じています」。

これまでイラストレータにとってアニメーションは近くて遠い表現手段だったが、提案システムにより距離が縮まったといえる。また重要な点として、我々の提案ワークフローは、既存のワークフローと相反するものではなく、親和性の高い拡張として実現可能であり、伝統的な制作体系と連携が可能である。

我々のシステムは、キーフレームやレイヤ情報を保ったまま、作品をAdobe AfterEffects®のプロジェクトとして出力できる。この点はユーザから、彼らの持つアナログ彩色スキルを、プロ向けの映像制作ソフトウェアに取り込む手段として好意的に受け止められ、「イラストソフトを使うのと同じくらい簡単だった」とのコメントが得られた。しかし彼らはイラストレータであり、1フレームずつ手描きで作品を作ってきた、昔ながらのアニメータとは視点が異なることも考えられる。この点は今後の調査が必要である。

7. 考察

7.1 オフライン彩色

我々の提案ワークフローはイラストレータにとって有効だった。システムが自動でデジタルアニメーション構造と印刷用紙の対応関係を計算するため、ユーザは簡単にアナログ画材をデジタルアニメーションに取り入れることができた。また下描き段階をデジタルで行うことで、すべてをオフラインで行うよりも便利である。今回の実験では被験者がイラストレータであり、彼ら自身の彩色スタイルを再現するために、新しいデジタルツールの使い方を覚えるよりも、好きな画材をそのまま使える方が有利である。しかし問題点もあり、最終的な画面レイアウトを把握する手段や、アノテーション機能が必要である。

7.2 作品のクオリティ

我々の提案ワークフローによって、ユーザは、統一感のある配色や、多様なストローク、画材によるテクスチャ感のあるアニメーションを作成できた。ブラシ跡や絵の具の

はねといった偶発的な要素が、デジタルアニメーションに有機的な雰囲気を与えている。しかし改善の余地もあり、画材の物理特性をキャプチャすることで、雰囲気感の再現につながると予想される。我々のシステムはこのようなアニメーションを作るため、新しいコンピュータ技術と伝統的なアナログ彩色手法の融合を支援する意味がある。

7.3 ワークフローの比較

我々の提案ワークフローと既存のデジタルワークフローの最も大きな違いは、旧来のアート手法に対する扱い方である。既存手法ではしばしば、伝統的なアート手法をいかにしてデジタルツールで置き換えるかに注目しがちである。しかし我々のワークフローでは、昔ながらの技術や、ノウハウ、歴史といったものを柔軟に取り入れることができる。より大きな視点から考えると、伝統的なアナログアートと、先進的なデジタル手法の間を取り持って、新しい表現の可能性を示すことが本研究の目的である。このような取り組みの必要性は広く認識されている [36]。

提案ワークフローの1つの問題点は、ターゲットユーザー層である。アナログ画材の経験がない人々は、本システムからあまりメリットを受けない。現代は昔ながらのアート手法とデジタル手法が混在する移行期間のため、その双方に経験があるユーザーを見つけることができる。もし将来的に、デジタルネイティブと呼ばれる、すべて作品作りをデジタルで完結するユーザー層が多数を占めるようになれば、提案手法はあまり意味を持たなくなる可能性がある。しかし、美術系の教育システムや、個人の趣味嗜好を考えると、即座にそのような状況になるとは考えにくい。

7.4 得られた知見

ユーザーの反応から得られた知見を以下にまとめる。

- レイヤのパッキング手法に改善の余地がある。レイヤのサイズを考えて余白を減らすことや、画像の内容によって配置順を変える改良が考えられる
- オフライン彩色中に、最終的な画面レイアウトを把握するのが困難である。アノテーションを併記するか、簡易なプレビュー手段を用意する必要がある
- 用紙のスキャン工程は、画像認識やマッピング手法を併用することで、自動化が可能である
- 用紙のRGB値に限らず、将来的にBRDFや表面の凹凸をキャプチャすることで、物理メディアの雰囲気をより再現できる可能性がある
- アナログ画材をデジタルアニメーションに利用することで、アーティストがすでに持っているスキルを活かす新しい可能性が開ける

7.5 リミテーション

提案システムは、コンセプト検証用のプロトタイプであ

り、いくつかの制限がある。我々のシステムはFlashスタイルのピクチャドリブンアニメーションを対象としており、1枚1枚のフレームを手描きするフルアニメーションには対応していない。商業アニメーションの制作ワークフローでは、会社特有のフォーマットや絵コンテ技法があるため、それらとの連携は今後の課題である。

別の問題点は、P2とP3から報告された、ユーザがオフライン彩色中に、作品の最終的な画面を意識しにくい点である。我々は2つの解決策を提案する。1つは、印刷の際に、画面全体のサムネイルや、アノテーションを一緒に出力する方法である。ユーザはこれらの付加情報を参考にして、画面レイアウトを確認できる。もう1つは、スマートフォンのカメラ等を用いた、簡易なプレビュー手段を提供する方法である。現在の実装では、彩色済み用紙を高画質でスキャンするため、フラットベッドスキャナを利用したが、プレビュー時に限ればそこまで画質にこだわる必要はないため、スマートフォンのカメラでも十分利用可能である。彩色中はモバイル端末で簡易プレビューし、最終的に作品が完成した後、スキャナで読み取るというハイブリッドな手法が考えられる。

8. まとめ

我々はオフラインのアナログ画材をデジタルアニメーション制作に利用する新しいワークフローを提案した。プロトタイプとして、スケッチインタフェースによるアニメーションシステムを実装し、デジタルアニメーションを紙に出力、彩色後再びデジタルデータとして入力する仕組みの一例を示し、ユーザスタディを行った。提案システムにより、ユーザは少ない労力でアナログ画材をデジタルアニメーションに取り込むことができ、提案ワークフローが新しい表現可能性をもたらすことを示した。

謝辞 本研究の遂行にご協力いただいた、黒岩司氏、助川正人氏に謹んで感謝の意を表する。

参考文献

- [1] Hertzmann, A.: Tutorial: A survey of stroke-based rendering, *IEEE Comput. Graph. Appl.*, Vol.23, No.4, pp.70–81 (2003).
- [2] Lu, J., Barnes, C., DiVerdi, S., et al.: RealBrush: Painting with examples of physical media, *ACM Trans. Graph.*, Vol.32, No.4, pp.117:1–117:12 (2013).
- [3] Baecker, R.M.: Picture-driven animation, *Proc. AFIPS '69 (Spring)*, pp.273–288, ACM (1969).
- [4] Davis, C.R., Colwell, B., and Landay, A.J.: K-Sketch: A 'kinetic' sketch pad for novice animators, *Proc. CHI '08*, pp.413–422, ACM (2008).
- [5] Held, R., Gupta, A., Curless, B., et al.: 3D puppetry: A kinect-based interface for 3D animation, *Proc. UIST '12*, pp.423–434, ACM (2012).
- [6] Hourcade, P.J., Perry, B.K. and Moore, L.J.: Vuelta: Creating animated characters and props using real-world objects, *Ext. Abst. CHI '07*, pp.2429–2434, ACM (2007).

- [7] Kakehi, Y., Yamaoka, J., Akatsuka, D., et al.: Tablescape animation: A support system for making animations using tabletop physical objects, *SIGGRAPH '09 Talks*, pp.70:1–70:1, ACM (2009).
- [8] Lockwood, N. and Singh, K.: Finger walking: Motion editing with contact-based hand performance, *Proc. SCA '12*, pp.43–52, Eurographics Association (2012).
- [9] Vaucelle, C. and Ishii, H.: Picture this!: Film assembly using toy gestures, *Proc. UbiComp '08*, pp.350–359, ACM (2008).
- [10] Lu, F., Tian, F., Jiang, Y., et al.: ShadowStory: Creative and collaborative digital storytelling inspired by cultural heritage, *Proc. CHI '11*, pp.1919–1928, ACM (2011).
- [11] Barnes, C., Jacobs, E.D., Sanders, J., et al.: Video puppetry: A performative interface for cutout animation, *Proc. SIGGRAPH Asia '08*, pp.124:1–124:9, ACM (2008).
- [12] Johnson, W., Jellinek, H., Klotz, L.Jr., et al.: Bridging the paper and electronic worlds: The paper user interface, *Proc. CHI '93*, pp.507–512, ACM (1993).
- [13] Arai, T., Aust, D. and Hudson, E.S.: Paperlink: A technique for hyperlinking from real paper to electronic content, *Proc. CHI '97*, pp.327–334, ACM (1997).
- [14] Guimbretière, F.: Paper augmented digital documents, *Proc. UIST '03*, pp.51–60, ACM (2003).
- [15] Garcia, J., Tsandilas, T., Agon, C., et al.: Interactive paper substrates to support musical creation, *Proc. CHI '12*, pp.1825–1828, ACM (2012).
- [16] Song, H., Guimbretière, F., Hu, C., et al.: ModelCraft: Capturing freehand annotations and edits on physical 3D models, *Proc. UIST '06*, pp.13–22, ACM (2006).
- [17] Li, Y., Cao, X., Everitt, K., et al.: FrameWire: A tool for automatically extracting interaction logic from paper prototyping tests, *Proc. CHI '10*, pp.503–512, ACM (2010).
- [18] Maeda, J.: Desktop (2004), available from <http://www.maedastudio.com/2004/desktop/>.
- [19] Hettiarachchi, A., Nanayakkara, S., Yeo, P.K., et al.: FingerDraw: More than a digital paintbrush, *Proc. AH '13*, pp.1–4, ACM (2013).
- [20] Ryokai, K., Marti, S. and Ishii, H.: I/O brush: Drawing with everyday objects as ink, *Proc. CHI '04*, pp.303–310, ACM (2004).
- [21] Ryokai, Marti, S. and Ishii, H.: Designing the world as your palette, *Ext. Abst. CHI '05*, pp.1037–1049, ACM (2005).
- [22] Lee, W., Lee, G., Song, J., et al.: Digital decal, *SIGGRAPH '09 Emerging Technologies*, pp.8:1–8:1, ACM (2009).
- [23] Amati, C. and Brostow, G.J.: Modeling 2.5D plants from ink paintings, *Proc. SBIM '10*, pp.41–48, Eurographics Association (2010).
- [24] Vandoren, P., Claesen, L., Van L., et al.: FluidPaint: An interactive digital painting system using real wet brushes, *Proc. ITS '09*, pp.53–56, ACM (2009).
- [25] Otsuki, M., Sugihara, K., Kimura, A., et al.: MAI Painting Brush: An interactive device that realizes the feeling of real painting, *Proc. UIST '10*, pp.97–100, ACM (2010).
- [26] Schwarz, M., Isenberg, T., Mason, K., et al.: Modeling with rendering primitives: An interactive non-photorealistic canvas, *Proc. NPAR '07*, pp.15–22, ACM (2007).
- [27] Hertzmann, A.: Tutorial: A survey of stroke-based rendering, *IEEE Comput. Graph. Appl.*, Vol.23, No.4, pp.70–81, ACM (2003).
- [28] Kazi, H.R., Igarashi, T. and Zhao, S., et al.: Vignette: Interactive texture design and manipulation with freeform gestures for pen-and-ink illustration, *Proc. CHI '12*, pp.1727–1736, ACM (2012).
- [29] Thomas, F. and Johnston, O.: Disney Animation: The Illusion of Life, Abbeville Press (1987).
- [30] デジタルアニメ制作技術研究会: プロフェッショナルのためのデジタルアニメマニュアル 2009—工程・知識・用語, 東京工科大学 (2009).
- [31] Stasko, T.J.: Using direct manipulation to build algorithm animations by demonstration, *Proc. CHI '91*, pp.307–314, ACM (1991).
- [32] Rother, C., Kolmogorov, V. and Blake, A.: “GrabCut”: Interactive foreground extraction using iterated graph cuts, *Proc. SIGGRAPH '04*, pp.309–314, ACM (2004).
- [33] Rhemann, C., Rother, C., Wang, J., et al.: A perceptually motivated online benchmark for image matting, *Proc. CVPR '09*, pp.1826–1833, IEEE (2009).
- [34] Morimoto, T., Tan, T.R., Kawakami, R., et al.: Estimating optical properties of layered surfaces using the spider model, *Proc. CVPR '10*, pp.207–214, IEEE (2010).
- [35] Pizer, M.S., Amburn, E.P., Austin, D.J., et al.: Adaptive histogram equalization and its variations, *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, Vol.39, No.3, pp.355–368 (1987).
- [36] Garvey, G.P.: Retrofitting fine art and design education in the age of computer technology, *SIGGRAPH Comput. Graph.*, Vol.31, No.3, pp.29–32 (1997).

推薦文

筆者らは、アナログ彩色画によるアニメーションのための効率的なワークフローを提案している。彩色に現れる作者の個性を生かしつつ静止画から動画を生成するのは困難な問題である。これに対して、本論文では、レイヤ構造に基づくツールシステムを実装し実験を行った。本研究は、アナログ画材の経験が豊富でデジタルツールには慣れていない制作者たちに新しい作品表現様式を提供するものであり、アニメーション分野のすそ野の拡大に貢献するものである。

(グラフィクスと CAD 研究会主査 柿本 正憲)



中嶋 誠

2010 年東京大学理学部情報科学科卒業。2012 年同大学大学院情報理工学系研究科コンピュータ科学専攻修士課程修了。現在、同大学院博士課程在籍。修士（情報理工学）。イラスト風表現を活かしたコンピュータグラフィ

クスに興味を持つ。



坂本 大介 (正会員)

2008 年公立はこだて未来大学大学院
システム情報科学研究科博士（後期）
課程修了．博士（システム情報科学）．
国際電気通信基礎技術研究所（ATR）
にてインターン，東京大学にて日本
学術振興会特別研究員 PD，JST ER-

ATO 五十嵐デザインインタフェースプロジェクト研究員，
東京大学大学院情報理工学系研究科コンピュータ科学専
攻助教を経て，現在，同大学院同研究科特任講師．人とロ
ボットを含む情報環境とのインタラクション設計に関する
研究に従事．



五十嵐 健夫 (正会員)

2000 年東京大学大学院工学系研究科博
士（工学）．2002 年同大学院情報理工
学系研究科講師，2005 年助教授，2011
年教授．2007～2013 年 JST ERATO
研究総括．学術振興会賞，SIGGRAPH
若手科学者賞等受賞．専門はユーザイ

ンタフェースおよびグラフィクス．