

デザイナーの行動分析によるデザイン支援ツールの設計と評価

佐々木 勇 介[†] 岩 田 満[†]
 田 野 俊 一[†] 橋 山 智 訓[†]

近年の情報技術の進歩により、計算機によってアートやデザイン活動を支援できるようになり、様々なツールを使うことで複雑で綺麗な絵を容易に作成できるようになってきた。しかし、計算機による高度な技術支援ばかりを追求するあまり、逆に人間の創造性や感性を阻害しているという事例も報告されている。そこで本研究では、デザイナーの創造性、感性を阻害せず、創造性、発想性を高めるデザイン支援システムの構築を目標とし、デザインプロセスの分析結果、デザイナーによる描画実験での行動分析結果、従来研究を基に、「時系列ビュー」、「空間ビュー」、「タイムラインと部分 undo/redo」の3種のユーザインタフェースを考案し、実装した。評価実験の結果から、本システムの有効性を確認した。

Evaluation of Design Support Tool Based on Behavior Analysis of Designers

YUSUKE SASAKI,[†] MITSURU IWATA,[†] SHUN'ICHI TANO[†]
 and TOMONORI HASHIYAMA[†]

By progress of information technology in recent years, we can create complicated and beautiful painting easily using various advanced design support tools. On the other hand, several examples that the design support tools prevent human creativity and sensitivity (Kansei) are reported. This paper aims at construction of a design support system which enhances designers' creativity and generation of ideas. We designed and implemented three types of user interfaces (UIs), i.e., a "historical view UI", a "spatial view UI", and a "time-line and partial undo/redo UI", based on the results of analysis of design process, behavior analysis in drawing experiment by some designers, and the previous research. The effectiveness of this system was confirmed by the results of two evaluation experiments.

1. はじめに

近年の情報技術の発展とともに計算機の個人利用が一般的になり、様々なアートやデザイン活動においても高度な支援システムを使用するようになってきている。各ツールを利用することで複雑で綺麗な絵を生成できるようになったが、逆に人間の創造性や感性を阻害している事例や、綺麗な完成された表示のためにデザイナーは細部の変更に固執し、大きな変更を行わなくなるという問題が報告されている¹⁾。

また残念にも既存のデザイン支援システムは、デザインの最終形を構築するのに重要な表現力にシステム

の焦点を置いており、デザインの流動性やデザイナーが行う試し描きをあまり支援できていないように思われる。デザイナーは、デザイン早期段階で最終形を決めてその後表現を作るのではなく、むしろ最初に表現を生み、その表現の間、もしくはその後に表現を見ることで表現に意味を割り当てていき、デザイン作業を進めていく。本研究では、ユーザにとって自然かつ直接的な表現方法で、より効果的にアイデア創造に重要な内省思考を促し、特に今まであまり支援されずにいたデザイン早期段階を中心に支援したいと考える。

まず、デザイナーが何を手がかりにアイデア創造を行っているかを知るため、デザイナーが紙上でデザイン作業をしているシーンのビデオ分析を行う。この分析結果や従来研究を基に、ユーザインタフェースを考案し、デザイナーの創造性、感性を阻害せず、創造性、発想性を高めるデザイン支援システムを実装する。最後に、本システムの有効性を検証するための評価実験を行う。

[†] 電気通信大学大学院情報システム学研究科
 Graduate School of Information Systems, The University of Electro-Communications
 現在、ソニーデジタルネットワークアプリケーションズ株式会社
 Presently with Technology Track, User Experience Technology Group, Sony Digital Network Applications Inc.

2. デザインプロセスの分析と問題点

最初に、デザインの流れを分析し問題点を抽出した。図 1 に示すように、一般的にデザイナーはまず紙と鉛筆でアイデアをスケッチし、アイデアが十分に発展した後、明確化や仕上げのために計算機を利用するという流れでデザイン作業は行われている²⁾。

以下の節において、デザインプロセスを 3 つの過程に分けて分析し、問題点を述べる。

2.1 デザイン創造過程の問題点

デザイナーは最初にフリーハンドスケッチなどでアイデアを考えていくデザイン創造過程において、思いつくアイデアを可能なだけ描き出していく過程と、新しい形を得るため 1 つのスケッチを手がかりに発展させながら修正していく過程の、主に 2 つの異なる思考過程がある。前者は発散型思考、後者は収束型思考といわれている^{3)~6)}。より創造的なデザインにはこの両思考が活性化されることが望ましいが、両思考を支援しているシステムはない。

2.2 着色過程の問題点

色は「かたち」を引き立てる役割を果たし、色とかたちには密接な関わりがある⁷⁾。本来ならば色とかたちを同時に使って試行錯誤していくデザイン作業が好ましい。しかし紙上でのスケッチでは塗り直しが難しいため、着色を含めたデザイン作業が困難であり、線画完成後に着色をするという流れであるのが現状である。

近年、計算機システムを利用することで容易に着色ができるため、色とかたちを使って繰り返し試行錯誤していくデザイン作業が可能となったはずだが、できた絵の上に指定した色を塗るという方法や、全体的な色調を変更するという方法のように、ブアな着色方法しか提供されておらず、また、形が決まったあとの配色の試行錯誤や、デザイン最終形表現のための着色の試行錯誤はあるものの、デザインの早期段階で色と形を同時に使って繰り返し試行錯誤していくデザイン作業はあまり行われていない。

2.3 計算機を使ったデザイン過程の問題点

図 1 に示すデザインプロセスにおいて、紙から計算機へのデザイン作業の切替えでデザイン思考が中断される問題がある。また現在のデザイン支援システムは複雑で直感的でなく、使いにくい計算機システムに人間が歩み寄り、人間本来の知的創造活動が阻害されている。思考を中断しない自然な計算機システムが提供されれば、計算機で下絵から明確化まで総合的なデザインが行えるものと思われる。

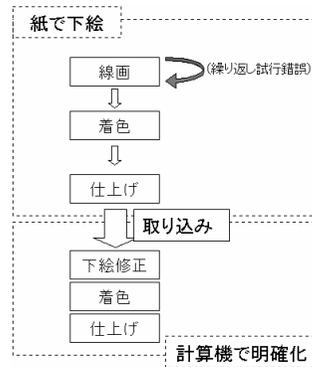


図 1 一般的なデザインの流れ
Fig. 1 General design process.

3. 関連システムと関連研究

3.1 発想支援に関する研究

デザイン創造支援に関する研究として、デザイナー同士でデザイン意図を理解し合えるために、言語だけではなくデザインプロセスを視覚的に表示する研究がある⁸⁾。この変形過程を見ることでデザイン意図がより明確に理解でき、デザイナー間の相互の知的触発や、多様な視点・価値観の融合により新しいデザインを生み出す。しかし、システムがまず形状バリエーションを生成し、それを選択・修正していくデザインワークであり、形状が限定されてしまう。

また、PDA を用いてグループで利用できる、アイデア収集から再利用までの支援を行う研究がある⁹⁾。これは手書き入力のアイデアを KJ 法でそのまま利用でき、その結果を次のアイデアの 1 つとして再利用することで知的触発を促す。この空間配置が促す知的触発は有用であるが、言語を使った KJ 法であり、デザイン支援ではない。

デザイナーの思考を阻害しないことを目指したツール^{10),11)}もある。文献 10) では、支援対象とするドメインを限定せず、情報創出の初期段階におけるアプリケーションを構築するうえで必須となる要件を検討し、外在化表現インタラクションモデルに基づいて複数のアプリケーションを構築するというアプローチ(ナレッジインタラクションデザイン)を提案している。文献 11) では、インタラクションデザインのアプローチには、実際のデザイン活動を観察して得られた知見からシステムを構築するものと、デザイン理論に基づいて新たな表現形態の可能性を探るものがあるとしている。前者のアプローチの場合、物理メディアを使ったスケッチプロセスを観察してシステムを構築しているため、計算機が持つ利点である undo/redo などの

便利な機能があまり使われていない。

3.2 着色に関する研究

新聞広告の形と色によって、イメージに及ぼす影響を調べた研究¹²⁾や、濃淡画像に単色フィルタをかぶせて印象の変化を調べた研究¹³⁾より、色・かたちと画像内容はお互いの印象に密接に関わり合っていることが分かる。

また、ブラシでの着色の際、キャンバスに塗られている色と現在のブラシの色が考慮されて新しい色が作られていく研究¹⁴⁾がある。これは多くのカラーパリエーションを少ないコントロールで作ることができ、色による知的触発を促すが、デザイナーの意図する色が実現されにくいという問題点がある。

3.3 計算機を使ったデザイン支援に関する研究

タブレットディスプレイを回転させることによりドロ잉キャンバスが回転しても、UIコンポーネントは同じ向きのまま固定する、アートワーク回転支援の研究がある¹⁵⁾。また、時間を前後に動かせるタイムラインを提供し、ディスカッションや共同作業の履歴を見ることが、実質無限のアンドゥを可能にした研究などがある^{16),17)}。

デザイナーのデザインプロセスを観察し、思考を阻害せずにデザイン支援を行うツールの開発も多く行われている^{18)~20)}。これらの多くは手描きスケッチに注目しており、文献 18) では工業デザインの初期段階を支援する Digital Sketchbook システムを提案し、文献 19) では UI デザインの初期段階を支援する SILK というシステムを提案している。また、文献 20) では複数人が共同で行う WEB デザインを検討できる Outpost というシステムを提案している。文献 18) は紙上でのスケッチ行為に焦点を置いており、コンピュータによる複雑ではあるが有用な支援機能が提供されていない。文献 19), 20) ではデザインの履歴閲覧についてはサポートされていない。

4. 目 的

本研究では、計算機を用いてデザインのアイデアを創造するのに重要なスケッチ作業を支援したいと考える。デザイナーにとって最小限の関与のみで扱うことができる自然かつ直接的な表現方法で、より効果的にアイデア創造に重要な内省思考を促し、特に今まであまり支援されずにいたデザイン早期段階を中心に支援したいと考える。

以上をふまえ、本研究ではデザイナーの創造性、感性を阻害せず、逆に創造性、発想性を高めるための、

1. 発散型思考、収束型思考を活性化させるデザイン

発想の支援

2. 計算機的能力を利用するが、思考を中断させない 自然なユーザインタフェースの提供

を満たすスケッチ支援システムを構築する。

なお、着色に関しても創造性や感性を高める重要な要素であると考えられるが、本研究では扱わない。

5. デザイナーのスケッチ行動分析

文献 11) 中で紹介されたインタラクティブシステムの多くや、文献 21)~23) では、デザイナーが実際に行う創造過程を観察・分析し、そこで得られた特徴的な行動やデザイン慣習などをもとにデザイン支援インタフェースを設計している。本研究においても同様のアプローチで分析を進める。これまでの研究における創造過程観察・分析は定性的に行われていたが、本研究ではデザイン活動における特定行動の分析を定量的に行う。

5.1 目的と設定

スケッチによるデザイン創造過程において、デザイナーがどのようにデザイン作業を行うのか、何を手がかりにアイデアを創出していくのかを知り、客観的に分析することが目的である。本研究では、過去に行われた外部機関との共同研究²⁴⁾におけるデザイン作業実験のビデオ素材を題材にして、紙上で行われたデザイン作業の記録を分析する。

紙上でのデザイン作業実験の設定は次のとおりである。被験者は 6 人の自動車のエクステリアデザイナーであり、紙とペンを用いて 60 分間、「カローラクラスの大きさで休日を楽しむ 2BOX カー」というデザインコンセプトを表現する車のデザインを作成してもらった。紙は何枚使ってもよく、紙の配置や移動などの制限もなく自由にデザイン作業をしてもらった。図 2 に描画風景とデザインの一例を示す。ここではビデオと紙に描かれたデザインを観察し、デザイン創造過程におけるデザイン作業を定量的に分析する。

5.2 時間見本法による定量的分析

より客観的にデザイン作業における特定行動の定量的分析を行うため、心理学観察法の一種である「時間見本法」を用いて分析を行う。時間見本法とは、行動を任意の時間間隔(観察単位)で区切り、観察対象となる行動の生起をチェックリストに記録することで、生起頻度などの量的な分析が可能となる方法である²⁵⁾。

最初にデザイナー 6 人のそれぞれ約 60 分間のデザイン作業ビデオをひととおり観察した後、デザイン作業中に見られた行動を抽出し、それを基にチェックリストのカテゴリを決めた。カテゴリを 5 種類に分類し、

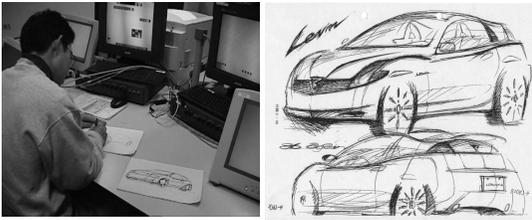


図 2 描画実験の様子とデザイン例
Fig. 2 Drawing experiment and design example.

表 1 時間見本法チェックリストのカテゴリ
Table 1 Category of time sampling check list.

メインカテゴリ	サブカテゴリ	
新しい紙		
オブジェクトの描画	対象	新規, 過去
	行動	描画, 模写
紙の配置	対象	現在の紙, 過去の紙
	行動	配置, 回転/移動, 重ね
	場所(上, 下, 左, 右)	
視線	対象絵	現在の絵, 過去の絵
	対象紙	現在の紙, 過去の紙
	その他	
思考中		

それらをメインカテゴリとする。さらにメインカテゴリはサブカテゴリに分類することができる。作成したチェックリストのカテゴリは表 1 に示すとおりである。このカテゴリ分けを基に作成したチェックリストシートの一例を図 3 に示す。また、観察したデザイン作業では、秒単位の行動の変更が見られたため、観察単位は 5 秒と短く設定した。その後、デザイン作業ビデオを 5 秒間隔で再度観察し、生じられた行動をチェックリストにチェックした。

5.3 分析結果

5.3.1 視線

デザイナーは自分が過去に描いた絵を見ることで何かしら触発を受けていたと思われる。そこで、チェックリストの視線カテゴリの対象絵内の「現在の絵」と「過去の絵」のチェック数を数え、自分が描いた過去の絵をどの程度参照しているかを調べた(表 2)。その結果から、デザイナーは全員過去の絵を参照しており、見ている時間の比率は 10~30%にもなることが分かる。

デザイナー D, E, F は過去の絵を参照する割合が少ないが、デザイナー D, E は 1 枚の紙に複数のデザインを描いており、同じ紙内の視線移動はビデオからは検出しにくいいため、実際にはこの回数より多く過去の絵を参照していた可能性がある。

時刻	新しい紙	オブジェクトの描画				対象		配置
		対象(変更時check)		行動		現在の紙	過去の紙	
		新規	過去	描画	模写			
5	✓							
10								
15		✓		✓				
20				✓				
25				✓				
30				✓				
35				✓				
40				✓				
45				✓		✓		
50				✓		✓		
55				✓		✓		

図 3 時間見本法チェックリストの一部
Fig. 3 A part of time sampling check list.

表 2 視線先
Table 2 Look point.

視線先 \ デザイン	A	B	C	D	E	F
現在の絵(%)	97	81	82	99	90	97
過去の絵(%)	17	23	34	4	11	3

表 3 紙の配置回数

Table 3 Number of times of paper arrangement.

行動 \ デザイン	A	B	C	D	E	F
配置(回数)	11	9	11	4	30	3

5.3.2 紙の配置

デザイン作業中、デザイナーが現在描いている紙をスケッチブックより切り離して隣へ置いたり、近くに配置してあった紙を別の場所へ移動させたりといった行動を何回か見ることができた。ここでいう配置行為とは、描きやすくするために紙を回転させたり多少移動させたりという行為ではなく、見やすい位置に置いたり整理のために、現在描いている紙または過去に描いた紙を別の場所へ置くという行為を指す。そこでデザイン作業中の紙の配置行為の生起頻度を調査するため、紙の配置カテゴリの行動内「配置」のチェック数を集計した(表 3)。

表 3 より、60 分のデザイン作業内にデザイナー全員が紙の配置行為をしており、多い人で 30 回もの配置行為をしていることが分かった。

5.3.3 過去のオブジェクトに対する追加描画と模写

デザイン作業中、過去に描いたオブジェクトに対して後で追加描画をして修正することで新しいアイデアの手かがりとする行動が見られた。そこで過去に描いたオブジェクトに対し、後で追加描画する生起頻度を調べるため、オブジェクトの描画カテゴリの対象内「過去」のチェック数を集計した。また過去に描いたオブジェクトを見ながら、もしくは紙を上重ねて下のオブジェクトを透かしながら、過去のオブジェクトもしくはその一部を模写する行動が見られた。過去に描いた絵を再利用したり、過去に描いた絵をベースに

表 4 追加描画回数と模写回数

Table 4 Number of times of additional drawing and copy.

行動 \ デザイン	A	B	C	D	E	F
過去のオブジェクトに追加描画 (回数)	4	5	6	1	16	0
模写 (回数)	1	2	10	0	0	1

新しいデザインの手がかりにしたりする模写の生起頻度も調べるため、オブジェクトの描画カテゴリの行動内「模写」のチェック数を集計した。表 4 にそれらの生起頻度を示す。

表 4 より、過去のオブジェクトに追加描画する回数は 60 分のデザイン作業中 5 回前後、多いデザイナーで 10 回以上も行ってたことが分かる。また模写行為はデザイン作業中何回も行われており、多いデザイナーでは 10 回も行ってたことが分かった。

6. ユーザインタフェース設計

スケッチ支援システムにおいて、どのようなユーザインタフェース (UI) が有効か、従来研究と前章で分析したデザイナーによるデザイン描画作業の特性より検討する。

デザイナーのスケッチ行動分析結果から、デザイナーは単に描くという作業以外に、過去に描いた絵を参照することでそれを描いていたときの気持ちや状態、デザインの流れを思い起こし、アイデア創造に役立てていることが分かった。しかし結果として描かれた過去の絵を参照するだけでは、なかなかデザインの流れを把握しにくい。より明確にそして即時にデザインの流れを知覚できる UI により、さらにデザイナーの内省思考を促進できると考えられる。

また、デザイナーは過去に描いた絵の配置行為を行い、自分なりの配置にすることで、より効果的に知的触発を受けており、なおかつ配置行為そのものが刺激となっていたとも考えられる。より自由に配置行為が行え、そしてその一覧を容易にする UI は、デザイナーに知的触発を与えるうえで有用であると考えられる。

さらに、デザイナーは追加描画や模写で過去に描いた絵にアクセスすることで知的触発を受けていたと思われる。容易に過去のある時点へ戻れる UI は重要であると考えられる。

これら 3 種の UI について、以後詳しく述べる。

6.1 時系列ビュー

5 章の結果より、デザイナーは必ず過去に描いた絵を参照していたことが分かった。過去に描いた絵を見る

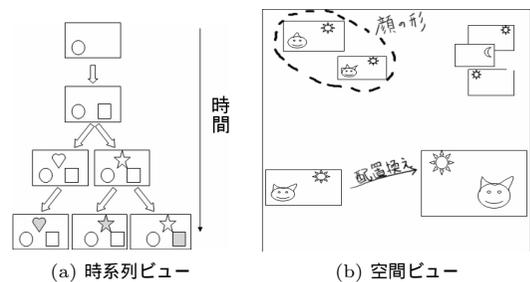


図 4 時系列ビューと空間ビュー

Fig. 4 Historical view and spatial view.

ことは、デザインの流れなどを思い出すきっかけとなり、新しいアイデアの発想や、デザインをまとめていく方向性を考える手がかりになる。

研究 17) では、並列的な共同作業の履歴を有向非巡回グラフとして表し、共同作業の流れを明確化した。他人のアイデアに触発されて新しいアイデアが創造されることを期待するとき、他人のデザイン過程を理解することは重要である⁸⁾が、1 人で行うデザイン作業においても、今まで描いてきた絵を見て、デザインの流れを知覚・再認することは、アイデア創造にとって良い刺激になると思われる。

そこで、図 4 (a) に示すように今までのデザイン過程の区切りや分岐を自動解析し、ツリー状に表示する「時系列ビュー」を考案した。ツリーを過去から現在へ追うことでデザインの流れの把握、再認ができ、アイデアを修正していく収束型思考が活性化されると考えられる。また、分岐して広がったツリーを一覧することで、多様で広範囲な視点での知的触発を受け、新しいアイデアを創造する発散型思考が活性化されると考えられる。

時間情報を利用したスケッチツールとして文献 26) の ART019 がある。ストロークの時間情報が Z 軸上にマッピングされ、各時間のスナップショットがリストとして表示される。スケッチの undo やヒストリのブランチングが可能であるが、複数のスケッチを自由に配置しての比較、途中のスケッチに戻ってストロークを追加した場合の時系列分岐表示などには対応していない。

6.2 空間ビュー

デザイナーは描きやすくするために紙を回転・移動して微調整するという行為以外に、紙の配置行為を行っていたことが行動分析結果から分かった。二次元空間に配置する行為は 2 つの特性を持ち、デザイナーに 2 種類の内省思考をさせる²⁷⁾。1 つ目は配置行為の結果知覚する「位置」という特徴を手がかりに内省思考を行

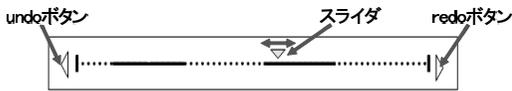


図5 タイムラインと部分 undo/redo
Fig. 5 Time line and partial undo and redo.

うという静的な特性であり、Reflection on Action と呼ばれる。もう1つは、配置するという「行為」内で内省思考を行うという動的な特性であり、Reflection in Action と呼ばれる。

そこで、図4(b)に示すように今まで描いてきた絵を二次元空間に自由に配置できる「空間ビュー」を考案した。絵の配置行為のほか、絵の拡大・縮小や、アノテーション書き込みを可能にすることで、さらに幅広い刺激が受けられ、発散型と収束型の両思考が活性化されると考えられる。

空間配置を用いた類似研究として、作曲家の作曲プロセスの観察やインタビューで得られた知識を、創造的インタラクションモデルの作成に使用し、音楽の創造性を支援するインタフェースとツールをデザインしたものが^{28),29)}。これらのツールでは、現在のスケッチと過去に描いたスケッチ(履歴)を同時に眺めてデザインの検討を行うことはできない。

6.3 タイムラインと部分 undo/redo

デザイナーはデザイン作業中、過去に一度描いた絵を修正したり、新しいアイデアを付け加えたりといった追加描画を行っていたことが分かった。また過去に描いた絵を見ながら、もしくは紙を重ねて透かしながら、一度描いた絵を新しい紙に模写するという行為も見られた。過去に描いた絵を参照するだけでなく、追加描画や模写によるドローイング行為で過去に描いた絵にアクセスすることは、デザイナーに知的触発を与えられ、よって容易に過去のある時点へ戻り、修正できる機能は必要といえる。

また現在の undo は最後に行った描画から逆順に行われるため、過去のある時点で行った描画のみの undo は難しい。また1ストローク単位でしか行えず、あるストロークの途中まで戻ることができない。

そこで、図5に示す「タイムラインと部分 undo/redo」を考案した。スライダを前後に動かすことで、ストローク単位よりも細かい自由な undo/redo が行える。また、ある部分のみを選択してそれに含まれる過去のアクションに対してのみ undo/redo が行える「部分 undo/redo」機能も提供する。ある描画領域を選択すると、その領域内に対応した時間が図5のように明示化され、その選択内のみ undo/redo が行える。この機能により、過去に行った描画でも、どの場所

でも自由に推敲でき、思考が中断されずデザイン作業に集中できると思われる。

本論文での提案手法と類似の機構を用いたデザイン支援のツールとして、文献30)、31)があげられる。文献30)ではプレビューを表示することで機能の選択を試行錯誤できる Side View というシステムを提案しており、文献31)では Side View の問題点を改良するために複数の解バリエーションを同一作業空間に埋め込んでまとめて同時に操作できる Parallel Pie という画像処理のためのインタフェースを作成している。文献31)ではスケート操作によりバリエーションの履歴をトラバースでき、タイムライン操作に似ている。しかし、履歴情報が時系列として表示されていないため、デザインがどのように遷移したかを一目で確認できない。

7. スケッチ支援システムの実装

前章の UI を実装したスケッチ支援システムについて述べる。本システムは電子ペンで全操作が可能であり、キャンバスでスケッチを行いつつ、時系列ビューで今までのデザイン過程を参照したり、空間ビューで今までのアイデアの整理・参照をしたり、タイムラインで過去の任意の時間へ戻ったりするなどして、知的触発を受けながらデザイン作業を進める。図6にシステムの概観を示す。次節以降で、各 UI の機能について詳述する。

7.1 時系列ビュー

時系列ビューで表示されるデザイン過程は、システムがユーザのすべての操作を観察し、デザイン過程の区切りや分岐を判断しツリーを生成していくが、どのような時点を区切り・分岐とするか、予備実験を行い検討した。予備実験のアンケート結果より、本システムで実装した区切りのタイミングは、(1)色、太さ、ペン/消しゴムの変更時、(2)全消去時、(3)前回の区切り・分岐から一定時間経過時、(4)部分 undo で修正し追加描画したとき、(5)空間ビューに取り込みをしたときとした。また分岐のタイミングは、部分 undo 以外で過去に描いた絵に戻り追加描画したときとした。

このように時系列ツリーが自動生成されるが、ユーザが意図する流れと異なるツリーが生成される可能性もある。その際にユーザがある程度自由にツリーを編集できるように、1つもしくは複数のノードを移動・削除する機能も実装した。また、ユーザがツリーの過去のある時点の絵に追加描画したいときやキャンバスの大きな画面で見たいという場合に、その過去に描いた絵に戻る機能も実装した。キャンバスにはその絵が



図 6 システム概観
Fig. 6 System overview.



図 7 undo と redo の動作例
Fig. 7 Example of undo and redo.

描画され、時系列ビューのツリーでは、今戻った場所から分岐する形で新しい流れが派生していく。

7.2 空間ビュー

空間ビューは、KJ法のように今までのデザインを空間的に配置・整理できるUIである。空間ビューの取り込みボタンを押すと、現時点のキャンバスに描かれている絵が小さなサムネイルとして空間ビュー内に取り込まれる。空間ビュー内では、このサムネイルを自由に移動、拡大・縮小することができ、またアノテーションを書くことも可能である。さらに時系列ビューと同様に、サムネイルに対応した過去に描いた絵に戻ることもできる。

7.3 タイムラインと部分 undo/redo

タイムラインはスライダ式のユーザインタフェースで、過去の任意の時点へのアクセスを可能とし、さらに過去の任意の描画に対する undo/redo のため、以下の4種類の undo/redo を提供する。

- undo/redo ボタンによる、1 ストローク単位の undo/redo
既存のデザイン支援ツールと同様、1 アクション分 undo/redo を行いたいときは“undo”ボタンや“redo”ボタンを押す。ドローイングの undo/redo の場合は、1 ストロークごと undo/redo が行われ、時系列ビューや空間ビュー、タイムラインで過去の絵に戻ったアクションの undo/redo の場合は、キャンバスの絵が変わった1シーンごと undo/redo が行われる。
- スライダによる、1 ストローク単位よりも細かい undo/redo (図7)



図 8 空間選択による部分 undo
Fig. 8 Spatial partial undo.

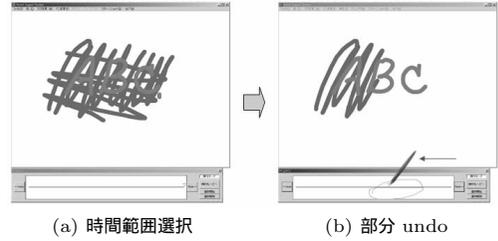


図 9 時間選択による部分 undo
Fig. 9 Temporal partial undo.

- タイムラインのスライダ“ ”をペンで左右にドラッグ、もしくはタイムライン上をペンでタップすることで、ストロークよりも細かい単位で、キャンバスを対応した時間の過去に描いた絵に変えることができる。

- ある選択領域内の描画のみを対象とするundo/redo (空間選択による部分 undo/redo, 図8)

キャンバス内で修正したい箇所を範囲選択した後に、タイムラインのスライダや“undo”, “redo”ボタンを使うことで、その選択した場所のみのドローイングが前後する。

- ある選択時間内の描画のみを対象とするundo/redo (時間選択による部分 undo/redo, 図9)

ペンでタイムライン上の修正したい時間の範囲を囲んで選択した後に、タイムラインのスライダや“undo”, “redo”ボタンを使うことで、その選択した時間内のみのアクションが前後する。

8. 評価実験

本システムを評価するため2種類の実験を行った。本システムの各ユーザインタフェースが思考を中断せずに自然に扱えるかどうかを測るための「シナリオ実験」と、発散・収束型思考を活性化できたかという観点を含め、本システムの有効性を検証するための「デザイン実験」である。被験者は男性8名、女性3名の計11名であり、そのうち3名はプロのデザイナーである。まず被験者は実験前アンケートに回答し、次に操作マニュアルを見ながら本システムの操作の説明を受ける。その後、本システムに慣れるために10分程度

表 5 シナリオ実験で行ったシナリオ
Table 5 Scenarios.

番号	シナリオ
1	左下に被験者番号を書いてください。
2	時系列ビューで、区切りボタンを押して現時点を区切りとシステムに教えてください。
3	ペンの太さが異なる、赤い四角形と青い三角形を横に並べて描いてください。
4	今の状態を空間ビューに取り込んで、好きな位置に配置してください。
5	今空間ビューに取り込んだものを多少拡大してください。
6	空間ビュー内のその拡大した絵の近くに、「デザイン 1」とアノテーションを描いてください。
7	時系列ビューで、分岐ボタンを押して現時点を分岐とシステムに教えてください。
8	キャンパスで、消しゴムを使って青い三角形を消してください。
9	タイムラインを使って、今消した三角形を復活させてください。
10	空間的な選択による部分 undo を使って、赤い四角形だけを消してください。
11	青い三角形の上に重なるように、緑色の丸を描いてください。
12	空間ビューで今の絵を取り込んで、さっきの「デザイン 1」の絵の右側に置いて「デザイン2」とアノテーションしてください。
13	タイムラインで青い三角形を描いている時間をさがし、時間的な選択による部分 undo を使って、緑色の丸が消えないように青い三角形だけ消してください。
14	空間ビューで「デザイン1」の絵を描いた時点に戻ってください。
15	時系列ビューで自動生成を行い、今までのデザイン過程を見てください。
16	いらぬと思うノードを1つだけ削除してください。
17	間違っている分岐があれば、ノードを移動・枝の付け替えをして、デザインの流れを正してください。
18	まとめて移動を行い、見やすい位置に移動させてください。
19	まとめて削除を行い、いらぬノードを消してください。
20	時系列ビューで「デザイン2」の絵を描いた時点に戻ってください。
21	キャンパス全消しをしてください。
22	キャンパスに赤い太いペンで「終了」と描いて、区切りボタン押し、自動生成ボタンを押し、全体を一通り眺めてください。

マニュアルを見ながら自由にシステムを使い、十分操作に慣れた後に2つの実験を行う。実験中は被験者の様子をビデオで録画し、ボタンを押したり描画をしたりといった被験者が行った全操作はログファイルに記録しておく。またデザイン実験中は nac 社のアイマークレコーダ EMR-8 (視線検出装置) を装着してもらい、被験者の注視点マーク入り視野ビデオ画像も録画する。2つの実験終了後に実験後アンケートに記入してもらい、最後に15分程度の簡単な口頭質問を行う。

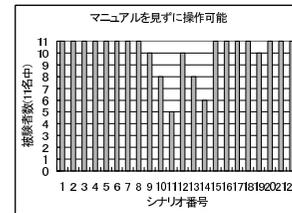
8.1 実験1: シナリオ実験

8.1.1 実験設定

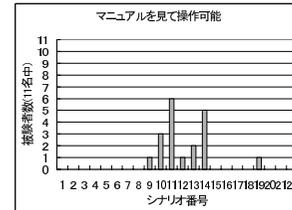
被験者は、システムの各ユーザインタフェースを使用するような、あらかじめ定められた表5に示す22個のシナリオに沿って操作をし、各操作が「マニュアルを見ずに操作可能」か「マニュアルを見て操作可能」か「マニュアルを見ても操作不可能」が記録する。

8.1.2 実験結果

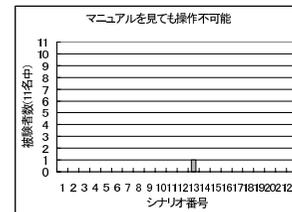
図10は各シナリオの操作に対し、「マニュアルを見ずに操作可能」「マニュアルを見て操作可能」「マ



(a) マニュアルを見ずに操作可能



(b) マニュアルを見て操作可能



(c) マニュアルを見ても操作不可能

図 10 各シナリオの操作分類

Fig. 10 Classification of operations in each scenario.

ニュアルを見ても操作不可能」だった被験者数を示す。図10(a)は、被験者11名全員がマニュアルを見ずにほとんどの操作が可能であったことを示しており、本システムは自然な操作で扱えたことが分かる。被験者が戸惑ったシナリオは11と14である。シナリオ11では、ペンの動作モードを範囲選択から通常ペンに戻すのを忘れたままドロ잉しており、シナリオ14では、空間ビューのモードをアノテーションモードから通常モードに戻さずに過去の絵に戻ろうとしていた。現在のモードが何であるかは表示されていたが、被験者は現在のモードが異なることに気づかず操作を行ってしまったため、予想外の動作に戸惑ってしまったようである。

8.2 実験2: デザイン実験

8.2.1 実験設定

デザイン実験ではシステムの有効性のほか、ペン入力方式によるデザイン行動の差異の検証も同時に行うため、表示されているディスプレイに直接電子ペンで入力が行える「直接型ペン入力」と、表示されるディスプレイとは離れた場所にあるタブレット上に電子ペンで入力を行う「間接型ペン入力」、さらに「紙とペン」の3つの環境において実験を行った。



(a) 直接型ペン入力 (b) 間接型ペン入力



(c) 紙とペン

図 11 デザイン実験の様子
Fig. 11 Design experiment.

プロデザイナー以外の 9 名の被験者には、3 つの環境で各 30 分間、3 つの指定されたデザインテーマでデザイン描画を行ってもらった。デザインテーマは、

- 休日に安らいだ気分させるようなペットボトル
- 寒い夜中に聞くと暖まるような CD
- 蒸し暑い夏に爽やかに楽しめるような絵本

の 3 種である。デザインテーマはなるべく試行錯誤するようなテーマで、かつ立体構造が難しくないものとした。つまり被験者が表現したいものを、デッサン力がないからという理由で表現できなかったということを防ぐためである。また単に「自分の好きな CD」のように自由度を高くしすぎてしまうと、デザイン探索空間が広くなりすぎて短時間の実験では完成が難しくなってしまうため、デザイン探索空間を多少狭くするような抽象的な表現を使うことによって適度に試行錯誤が行えるよう工夫した。

入力方式の順序やテーマの実施順序は被験者間で異なるように調整した。図 11 に 3 つの環境における実験の様子を示す。被験者は、注視点計測のためアイマークレコーダ(図中の帽子)を装着して描画を行う。

なお長時間のデザイン作業における検証を行うため、被験者のうちの 3 名のプロデザイナーには 1 つのテーマのみを 90 分間、直接型ペン入力環境のみで行ってもらった。

8.2.2 実験結果

描画ストロークを除いたキャンバス(色変更, 太さ変更など), タイムライン(undo/redo, スライド操作など), 空間ビュー(移動, アノテーション, 拡大縮小など), 時系列ビュー(移動, 削除など)の操作回数の割合を, システムのログファイルを解析して算出した(図 12)。この結果から, キャンバス, 空間ビュー,

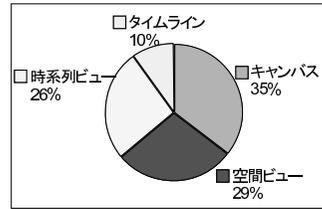
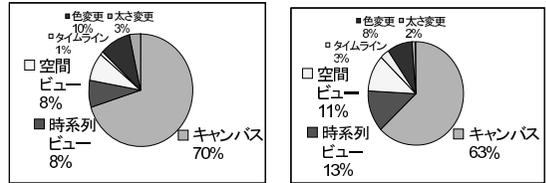
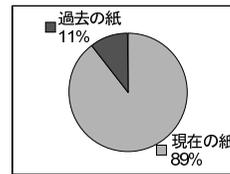


図 12 各 UI の操作量の割合
Fig. 12 Rate of the amount of operations.



(a) 直接型ペン入力 (b) 間接型ペン入力



(c) 紙とペン

図 13 各環境における視線参照量の割合
Fig. 13 Rate of the amount of references in each environment.

時系列ビューは同程度使用されており、デザインするうえで有用に活用されていたといえる。これらと比べるとタイムラインの割合が少なくなっている。これは 30 分という短時間のデザイン作業では、まずアイデアを出すことに集中し、大きな修正行為が行われなかったためと考えられる。

アイマークレコーダで得られた注視点マーク入り視野ビデオ画像を観察し、直接型・間接型ペン入力環境ではキャンバス, 時系列ビュー, 空間ビュー, タイムライン, 色変更ダイアログ, 太さ変更ダイアログを注視していた合計時間を, 紙とペン入力環境では現在の紙と過去の紙を注視していた合計時間を計測した。図 13 は, これらの注視時間の割合を示す。紙とペンによるデザインでは過去に描いた絵を見る割合は 11% で 1 割程度であるが, 直接型ペン入力時は時系列ビューと空間ビューを合わせて 16%, 間接型ペン入力時では 24% となっている。よって, 本システムは今まで描いた絵を参照する行為を促したといえる。また, 直接型ペン入力と間接型ペン入力では, 間接型ペン入力の方が今までの絵を参照する行為をより促したといえる。さらに, 時系列ビューと空間ビューは同程度参照され

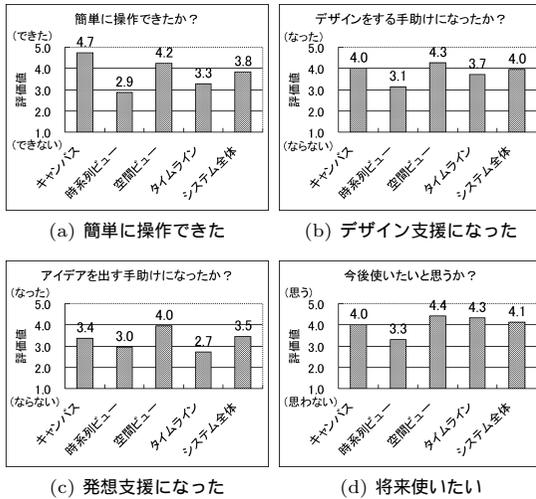


図 14 アンケート結果

Fig. 14 Questionnaire results.

ていることも分かった。

各ユーザインタフェースについて、簡単に操作できたか、デザイン支援になったか、発想支援になったか、将来使いたいかの4項目について5段階評価してもらった実験後アンケートの結果を図14(a)~(d)に示す。5段階評価では、1が{できない, ならない, 思わない}, 5が{できた, なった, 思う}を表す。図14(a)より、各ユーザインタフェースは簡単に扱うことができたと評価されているが、時系列ビューの評価が一番低くなっている。これは時系列ビューの自動生成でノードが細かく生成され、1画面中にツリーの全体が表示しきれなくなり、結果的に一覧性が欠け、編集操作が困難になったことが原因である。図14(b)~(d)では、空間ビューが高い評価を得ていた。被験者の意見としては、いろいろなアイデアを置くことができ、高い一覧性を提供している点、アノテーションや拡大縮小機能などを使うことでデザインに自分なりの重要度を表現できる点、過去に描いた絵に追加描画したいときすぐにアクセスできる点が高評価であった。空間ビューに比べ、時系列ビューは高評価ではないが、これは今回の実験が30分という短い時間のデザイン作業であるため、今までの過程を見る必要性が少ないという点が原因として考えられる。長時間のデザイン作業であれば時系列ビューは有用と思うという感想が得られており、実際1つのテーマで90分間行った3名のプロデザイナー被験者による発想支援・デザイン支援の評価平均は、4.5と高い評価を得ていた。

最後に、被験者から得られたコメントを以下に示す。

- 何気ない落書き、今まで不採用とした失敗デザイ

ンを見て次のアイデアが浮かんだ。

- 特にデザイン初期のアイデア試行錯誤段階に有用。
- タイムラインは今までの描画をアニメーション再生することで自分の作業のクセを発見できるのが良い。
- 部分 undo/redo は細かい修正をするのに便利。空間選択 undo/redo, 時間選択 undo/redo 以外に、色素的な選択 undo/redo もしたい。

9. おわりに

本研究では、ユーザの創造性や感性を阻害せず、逆に創造性、発想性を高めるための、

- (1) 発散型思考と収束型思考を活性化させるデザイン発想の支援
- (2) 計算機的能力を利用するが、思考を中断させない自然な UI の提供

を満たすスケッチ支援システムの構築を目標とした。

デザインプロセスの分析結果、デザイナーによる描画作業のビデオ分析結果、従来研究を基に、以下の3種類の UI を設計し、実装した。

1. デザイン過程を自動解析しツリー状に表示する時系列ビュー
2. デザインを2次元空間に自由に配置が行える空間ビュー
3. 1ストローク単位の undo/redo, スライドによる細かい undo/redo, ある指定した領域や時間の undo/redo を行う部分 undo/redo 機能を提供するタイムライン

そして、本システムの有効性を検証するため、2種類の実験を行い、各 UI は同程度有効活用されていたこと、今までの絵を参照する行為を促したということ、特に空間ビューでの配置整理行為がデザイン発想を有用に支援できたということ、そして時系列ビューは主に長時間のデザイン作業において有用な支援となることなどが分かった。

今後の課題として、時系列ビューの自動生成における区切り・分岐のタイミングのさらなる検討や、全過程をより直感的に把握できるための一覧性向上など、表現方法のさらなる検討を行う必要がある。また、ドローイングツールとしての機能充実や、本研究では扱わなかったデザイン発想支援の一要素である着色方法に対する検討を行う必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 田野俊一：人間の知的で創造的な活動を支援・阻害する情報システムの分析，ヒューマンインタ

- フェースシンポジウム'99, pp.791-796 (1999).
- 2) Schkolne, S., Pruet, M. and Schröder, P.: Surface Drawing: Creating Organic 3D Shapes with the Hand and Tangible Tools, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2001)*, pp.261-268 (2001).
 - 3) 永井由佳里, 野口尚孝: ドローイングに表れたデザイン専攻学生の思考タイプと創造性の関係: デザイン創造過程におけるドローイングの役割(1), *デザイン学研究(日本デザイン学会誌)*, Vol.48, No.4, pp.131-138 (2001).
 - 4) 永井由佳里, 野口尚孝: デザイン創造過程における思考の抽象度と創造性の関係: デザイン創造過程におけるドローイングの役割(2), *デザイン学研究(日本デザイン学会誌)*, Vol.48, No.4, pp.185-194 (2001).
 - 5) 永井由佳里, 野口尚孝: デザイン創造過程におけるキーワードと思考経路の関係: デザイン創造過程におけるドローイングの役割(3), *デザイン学研究(日本デザイン学会誌)*, Vol.48, No.4, pp.195-200 (2001).
 - 6) 野口尚孝: 発想支援研究の動向と今後の課題: デザイン発想支援システム研究の一助として, *デザイン学研究(日本デザイン学会誌)*, Vol.44, No.6, pp.45-52 (1998).
 - 7) 小林重順: 実践カラーデザイン, 日本カラーデザイン研究所(編), 講談社(2000).
 - 8) 山岸 淳, 長坂一郎, 田浦俊春: 形状デザインのためのコラボレーションメディア, *デザイン学研究(日本デザイン学会誌)*, Vol.43, No.6, pp.1-10 (1997).
 - 9) 宗森 純, 吉野 孝, 湯ノ口万友: 発想支援グループウェア GUNGEN-Spiral の開発と適用, 情報処理学会研究報告, 人文科学とコンピュータ, Vol.2000, No.67, pp.15-22 (2000).
 - 10) 中小路久美代, 山本恭裕: 創造的情報創出のためのナレッジインタラクションデザイン, *人工知能学会論文誌*, Vol.19, No.2, pp.154-165 (2004).
 - 11) 中小路久美代: 創造的思考過程における外在化のためのインタラクティブシステム, *人工知能学会誌*, Vol.19, No.2, pp.229-234 (2004).
 - 12) 宮崎紀郎, 玉垣庸一, 佐藤秀樹: 新聞における変形広告の形と色がそのイメージに及ぼす影響: 新聞紙面レイアウトに関する研究(10), *デザイン学研究(日本デザイン学会誌)*, Vol.48, No.4, pp.201-206 (2001).
 - 13) 井上正之, 田中昭二, 石若通利, 井上誠喜: 濃淡画像への単色付加による印象の変化, *電子情報通信学会技術研究報告, パターン認識・メディア理解*, Vol.96, No.307, pp.17-22 (1996).
 - 14) Tzafestas, E.S.: Integrating Drawing Tools with Behavioral Modeling in Digital Painting, *Proc. 2000 ACM Workshops on Multimedia (MULTIMEDIA '00)*, pp.39-42 (2000).
 - 15) Fitzmaurice, G.W., Balakrishnan, R., Kurtenbach, G. and Buxton, B.: An Exploration into Supporting Artwork Orientation in the User Interface, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'99)*, pp.167-174 (1999).
 - 16) Jarkko, L.: Visualizing Discussion History, *International Journal of Human-Computer Interaction*, Vol.15, No.1, pp.121-134 (2003).
 - 17) Edwards, W.K. and Mynatt, E.D.: Time-warp: Techniques for Autonomous Collaboration, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI'97)*, pp.218-225 (1997).
 - 18) Hoeben, A. and Stappers, P.J.: Direct Talk-back in Computer Supported Tools for the Conceptual Stage of Design, *Knowledge-Based Systems*, Vol.18, No.8, pp.407-413 (2005).
 - 19) Landay, J.A. and Myers, B.A.: Sketching Interfaces: Toward More Human Interface Design, *IEEE Computer*, Vol.34, No.3, pp.56-64 (2001).
 - 20) Klemmer, S.R., Newman, M.W., Farrell, R., Bilezikjian, M. and Landay, J.A.: The Designers' Outpost: a Tangible Interface for Collaborative Web Site, *Proc. 14th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST 2001)*, pp.1-10 (2001).
 - 21) 石井成郎, 三輪和久: 創造活動における心的操作と外的操作のインタラクション, *認知科学*, Vol.10, No.4, pp.469-485 (2003).
 - 22) 三輪和久, 石井成郎: 創造的活動への認知的アプローチ, *人工知能学会誌*, Vol.19, No.2, pp.196-204 (2004).
 - 23) Do, E.Y.-L.: Design Sketches and Sketch Design Tools, *Knowledge-Based Systems*, Vol.18, No.8, pp.383-405 (2005).
 - 24) 小寺敏正, 中嶋孝行, 河野 功, 中西克嘉, 濱岸五郎, 井上益孝, 田野俊一, 渡辺 新, 岡本俊之, 川越一宏, 金子恭子, 堀田 隆, 辰岡正樹: 2D画像と3D画像をシームレスに用いるデザイン支援環境の開発, *IPA 次世代デジタル応用基盤技術開発事業論文集*, pp.189-196 (2000).
 - 25) 中澤 潤, 大野木裕明, 南 博文: 心理学マニユアル観察法, 北大路書房(1997).
 - 26) 中小路久美代, 山本恭裕, 西中芳幸, 浅田充弘: 時間情報を利用した手描きスケッチングツール, *情報処理学会インタラクション 2006 論文集*, pp.99-100 (2006).
 - 27) Nakakoji, K., Yamamoto, Y., Takada, S. and Reeves, B.N.: Two-Dimensional Spatial Positioning as a Means for Reflection in Design, *Proc. Conference on Designing Interactive*

Systems (DIS'00), pp.145-154 (2000).

- 28) Coughlan, T. and Johnson, P.: Position Paper for CHI 2006 Workshop: "Sketching" Nurturing Creativity (2006). <http://www.cs.bath.ac.uk/~tc225/papers/Position-1.pdf>
- 29) Coughlan, T. and Johnson, P.: Interaction in Creative Tasks: Ideation, Representation and Evaluation in Composition, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2006)*, pp.531-540 (2006).
- 30) Terry, M. and Mynatt, E.D.: Side Views: Persistent, On-Demand Previews for Open-Ended Tasks, *Proc. 15th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST 2002)*, pp.71-80 (2002).
- 31) Terry, M., Mynatt, E.D., Nakakoji, K. and Yamamoto, Y.: Variation in Element and Action: Supporting Simultaneous Development of Alternative Solutions, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2004)*, pp.711-718 (2004).

(平成 18 年 6 月 21 日受付)

(平成 18 年 12 月 7 日採録)



佐々木勇介

2004 年電気通信大学大学院情報システム学研究科修士課程修了, 同年ソニー株式会社入社。2005 年ソニーデジタルネットワークアプリケーションズ株式会社出向。製品の

ユーザインタフェースの検討, 設計, 開発に従事。



岩田 満

1999 年筑波大学大学院博士課程工学研究科構造工学専攻修了。2000 年電気通信大学大学院情報システム学研究科助手, 現在に至る。ヒューマンインタフェースに関する研究に従事。工学博士。日本知能情報ファジィ学会会員。



田野 俊一 (正会員)

1983 年東京工業大学大学院総合理工学研究科システム科学専攻修士課程修了。同年(株)日立製作所システム開発研究所入社。1990~1991 年カーネギメロン大学客員研究員。1991~1995 年国際ファジィ工学研究所。1996 年電気通信大学大学院情報システム学研究科助教授。2000~2001 年マサチューセッツ工科大学客員研究員。2002 年電気通信大学教授。博士(工学)。人工知能, 知識工学, 自然言語理解, あいまい理論, 知的ユーザインタフェースの研究に従事。人工知能学会, 日本知能情報ファジィ学会, 言語処理学会, AAAI, IEEE, ACM 各会員。



橋山 智訓

1996 年名古屋大学大学院工学研究科博士課程後期課程電子情報学専攻修了。同年 4 月同助手。1997 年 4 月(財)名古屋産業科学研究所主任研究員。2000 年 1 月名古屋市立大学自然科学研究教育センター講師。2001 年同助教授。2003 年 10 月電気通信大学大学院情報システム学専攻助教授, 現在に至る。博士(工学)。主として, ソフトコンピューティングに関する研究に従事。IEEE, 日本知能情報ファジィ学会, 電気学会, 人工知能学会, 認知科学会, ヒューマンインタフェース学会, 計測自動制御学会の各会員。