

筑波大学大学院博士課程

システム情報工学研究科修士論文

アイデアを図で記録・整理するための
手書き環境の構築

中園 長新

(コンピュータサイエンス専攻)

指導教員 田中 二郎

2008年3月

概要

本研究では、計算機上で手書き入力を用いてアイデアを記録・整理するための要素技術を提案し、ツールとして実装するとともに、それらの有効性について評価を行った。

アイデアの記録・整理には図を使うことが多く、様々な技法が存在する。また、計算機上のツールとして実装することにより、様々な機能を実現した研究もある。しかしそれらはキーボードやマウスによる入力を採用しており、直感的に利用できるツールとはいえなかった。

そこで、本研究では直感的で自然な入力手法として手書き入力を採用し、計算機上でアイデアの記録・整理をするための環境を構築した。まず、計算機上で手書き入力を用いることに対する利点と問題点をまとめ、手書き入力の傾向を調査するために2つの予備実験を実施した。この予備実験により、手書き入力の曖昧さや、紙上と計算機上における手書き入力の差異について定量的なデータを得た。予備実験で得られた知見を元に、手書きを効果的に活用するための要素技術を提案・実装した。要素技術として、図の論理構造を保持した移動操作、ブランチの自動レイアウト支援、アイデア記述エリアの提供がある。要素技術を利用することにより、手書き入力の問題となる入力の曖昧さや、計算機上の手書きによる細かい記述の困難さといった問題が解消される。

さらに、計算機上で手書き入力を用いてアイデアの記録・整理を行うツールを開発した。このツールは放射状マップを用いてアイデアを記録・整理できる。本ツールは要素技術を用いた手書き入力の支援機能とともに、計算機の機能を生かした機能を実装し、利用者のアイデア記録・整理を支援する。評価実験を実施し、ツールや要素技術の有用性を明らかにするとともに、今後の発展についての考察も実施した。評価実験によって、本ツールおよび要素技術はおおむね好意的に受け入れられ、アイデアの想起を支援するものであることが示された。

目次

第1章	序論	1
1.1	アイデアとは	1
1.2	アイデアを図で記録・整理する	2
1.3	図を用いた様々な技法	3
1.4	計算機を活用したアイデアの記録・整理	3
1.4.1	計算機を利用する利点	4
1.4.2	計算機を利用する際の問題点	4
1.5	本研究の目的	4
1.6	論文の構成	5
第2章	計算機上における手書き入力と予備実験	6
2.1	直感的な入力手法としての手書き	6
2.2	手書き入力の問題	7
2.3	問題の解決に向けて	7
2.4	予備実験 1: ノードと関係線の位置関係調査	8
2.4.1	予備実験 1 の概要	8
2.4.2	予備実験 1 の結果	9
2.4.3	予備実験 1 を受けての考察	12
2.5	予備実験 2: 紙と計算機画面での文字サイズ比較	12
2.5.1	予備実験 2 の概要	12
2.5.2	予備実験 2 の結果	13
2.5.3	予備実験 2 を受けての考察	18
第3章	手書き環境の要素技術	19
3.1	アイデアを記録・整理する図の分類	19
3.1.1	ノード型	19
3.1.2	ブランチ型	20
3.2	放射状マップ: 本研究が対象とする図	21
3.3	放射状マップの数学的定義	21
3.4	自然で直感的な操作の実現に向けて	23
3.5	開発する要素技術	24
3.6	図の論理構造を保持した移動操作	24

3.6.1	問題意識	24
3.6.2	問題の解決に向けて	24
3.6.3	要素技術の開発	25
3.7	ブランチのレイアウト支援	26
3.7.1	自動レイアウトの検討	26
3.7.2	要素技術の開発	27
3.8	アイデア記述エリアの提供	30
3.8.1	エリア提供の目的	30
3.8.2	要素技術の開発	31
第4章	放射状マップによるアイデア記録・整理ツール	33
4.1	ツールの概要	33
4.2	ツールが備える機能	33
4.3	発展が停滞しているブランチの指摘	34
4.3.1	発展停滞ブランチの扱いについて	34
4.3.2	発展停滞指摘の具体例	34
4.4	ペンジェスチャ機能	34
4.4.1	ペンジェスチャへの対応の目的	34
4.4.2	実装した機能	35
4.4.3	線をなぞるメタファの採用	35
4.5	ツール利用シナリオ	36
第5章	ツールの開発	38
5.1	ツール開発の概要	38
5.2	ストロークの属性自動判別	38
5.3	モード遷移	39
5.4	データ形式	40
5.5	実装言語と動作環境	40
5.6	処理の流れ	41
5.7	ツールの構成	42
5.8	機能の実装	42
5.8.1	発展が停滞しているブランチの指摘	42
5.8.2	ペンジェスチャによるブランチの太線化	43
第6章	評価実験	44
6.1	実験の目的	44
6.2	実験方法	44
6.2.1	実験の概要	44
6.2.2	実験課題	45

6.2.3	評価方法	45
6.3	実験結果	46
6.4	各機能に対するコメント	47
第7章	議論	50
7.1	評価実験結果を受けて	50
7.2	本研究の位置づけ	51
7.3	本研究の貢献	52
7.4	今後の展望	52
第8章	関連研究	54
8.1	知識創造支援に関する研究	54
8.2	手書き入力の処理に関する研究	54
8.3	手書き入力を用いたツール開発に関する研究	54
第9章	結論	56
	謝辞	57
	参考文献	58
付録A	予備実験1で用いた質問紙	62
付録B	予備実験2で用いた質問紙	67
付録C	評価実験で用いた質問紙	71

図目次

1.1	アイデアを図で記録・整理している例	2
2.1	タブレットPC上での手書き入力	6
2.2	スタイラスの先と描画点の間に生じる物理的な隙間	8
2.3	被験者ごとのギャップ平均と分散	9
2.4	ノードと関係線間のギャップ(ヒストグラム)	10
2.5	ギャップとノード間距離の相関	11
2.6	ギャップとノードの大きさの相関	11
2.7	予備実験2で得られたデータの例(被験者ID14)	14
2.8	調査文字ごと, 被験者ごとの結果比較	16
2.9	タブレット入力への慣れと記述文字幅の相関	17
3.1	ノード型の図のストローク分類	20
3.2	ブランチ型の図のストローク分類	21
3.3	ノード型の図の例	22
3.4	ブランチ型の図の例	22
3.5	放射状マップの例	23
3.6	親子関係を変更しないブランチの移動操作	26
3.7	親子関係の変更を伴うブランチの移動操作	27
3.8	ブランチが近接している状態(配置Aの場合)	29
3.9	近接したブランチの自動レイアウト(配置Aの場合)	29
3.10	上に凸であるブランチ(左)と下に凸であるブランチ(右)	30
3.11	ブランチ配置の一般化	31
3.12	アイデア記述エリアと自動縮小結果	31
3.13	ストロークの縮小と平行移動	32
4.1	Twill を利用している様子	33
4.2	発展停滞ブランチの指摘	35
4.3	ブランチを太くするペンジェスチャ	35
4.4	テーマを書き, 最初のアイデアを書いている様子	36
4.5	発展停滞しているブランチが指摘される様子	37
4.6	発展停滞ブランチの検討とブランチの太線ジェスチャ	37

4.7	さらなるアイデア記録・整理作業の実施	37
5.1	Twill の処理の流れ	41
5.2	ブランチの深さ	42
6.1	評価実験で被験者 (ID1) が書いたマップ	47
7.1	本研究の位置づけ	51

表目次

2.1	予備実験1の被験者属性	9
2.2	予備実験1結果の相関に対する検定	10
2.3	予備実験2の被験者属性	13
2.4	予備実験2で用いたタブレットPCのスペック	13
2.5	予備実験2の結果(各文字ごとの被験者平均)	14
2.6	予備実験2の結果(被験者ごとの文字幅平均)	15
2.7	紙上とタブレットPC上での結果に対する統計処理の結果	16
2.8	タブレット入力に対する慣れの得点換算	17
2.9	予備実験2結果の相関に対する検定	17
6.1	評価実験で用いた計算機のスペック	44
6.2	評価実験の結果	46
6.3	評価実験アンケート結果の得点換算	47
6.4	評価実験アンケートの結果	48

第1章 序論

1.1 アイデアとは

我々は日常生活において、様々な考えを生みだしている。それらの中には、何かのテーマに沿って計画的に生み出されたものもあれば、日常生活のふとしたひらめきによるものなど、様々な形態があると考えられる。研究の方法などの学術的なものもあれば、何となく気に入った言葉を記録するような感情的なものもある。このようなものは一般にアイデア (idea) と呼ばれる。

アイデアとは漠然とした概念である。辞書的な意味を挙げると、Oxford Dictionary of English には “idea” について以下のように述べられており、様々なものをアイデアと呼べるのが分かる。

1. a thought or suggestion as to a possible course of action
 - [in sing.] a mental impression
 - an opinion or belief
2. (the idea) the aim or purpose
3. 《Philosophy》 (in Platonic thought) an eternally existing pattern of which individual things in any class are imperfect copies.
 - (in Kantian thought) a concept of pure reason, not empirically based in experience.

また、ヤングはその著書 [28] において、「アイデアとは既存の要素の新しい組み合わせ以外の何ものでもない」と定義している。

これらを踏まえ、本研究では「アイデア」という語をなるべく広義に捉えるが、単発的に思いついたものではなく、テーマに沿ってアイデアをいくつも生み出す場合を研究の対象とする。本研究におけるアイデアの定義は次の通りである。

アイデアとは、我々が日常生活で思いついた様々な思考や提案の断片であり、あるテーマに沿っていくつも生み出されるもの、あるいはその集合である。

つまり、本研究では目新しい考えや思いつきだけでなく、あるテーマから連想するものや、テーマに関連した語句などもアイデアの一種として捉える。このような「テーマに沿って複数のアイデアを生み出す」行為は、意識的あるいは無意識のうちに、日常生活で頻繁に行われている。具体例として、以下の例はいずれもこの行為であるとみなすことができる。

- 修士論文執筆のため，研究のポイントを列挙する
- ミュージカルの公演を企画し，実現までに必要な仕事を挙げる
- 今夜の夕食として食べたいメニューやその調理法などを比較検討する

アイデアを多数思いつくと，頭の中だけで考えたりまとめたりすることは困難になる．そのため，何らかの形で記録し，アイデアを整理したいという欲求が生じる．アイデアの記録・整理手法には様々な方法がある．単純に文章や箇条書きをする場合もあれば，それぞれのアイデアをパーツとみなし，線などで関連づけて記録・整理することも多い．本研究では，こうした「アイデアをパーツとしてみなし，互いに関連づけて記録・整理」することに着目する．このようなアイデアの記録・整理手法を本研究では「図で記録・整理する」と表現する．

1.2 アイデアを図で記録・整理する

アイデアを図で記録・整理するという行為は我々が日常生活で頻繁に実施している行為であり，多くの分野で活用されている．たとえば，工学分野においては，情報を図解することで様々な知識を発見しようとする試みがなされている [45]．ビジネスの分野でも，理解力や思考力，解決力の向上のために図を使って考えることが効果的であると考えられている [30]．

図 1.1 は「ミュージカルの公演を企画し，実現までに必要な仕事を挙げる」という活動を行っている例である¹．

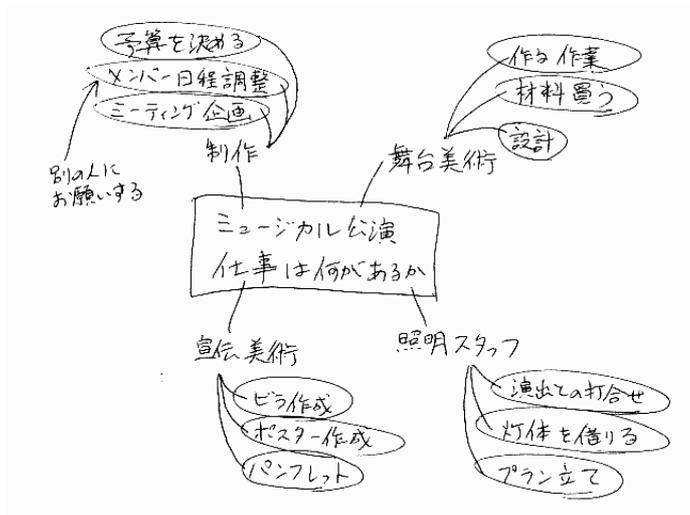


図 1.1: アイデアを図で記録・整理している例

¹実際にミュージカルの公演企画を行う場合は様々な仕事考えられる．ここでは簡単のため，いくつかの仕事についてのみ記載した例を示した．

この例ではテーマやアイデアが単語や短い文章で表現され、枠で囲まれたり線で結ばれたりしている。このような自由な図の作成でもアイデアの記録・整理は可能であるが、枠囲みや線が何を表しているのか曖昧である。例えば「舞台美術」と「設計」を結ぶ線は「役職名と仕事内容」の関係を表すのに対し、「メンバー日程調整」と「別の人にお願する」は「仕事内容と注釈」の関係であり、表現が統一されていない。また、アイデアも枠で囲まれているもの、囲まれていないものが混在し、図としての一貫性がない。このような図は、後日読み返したりするときや、大規模になった際に読み取りが困難になり、思考を妨げてしまう恐れがある。

そこで、一定の規則に従って図を書き、アイデアを記録・整理する様々な技法が考案され、活用されている [32]。これらについて、次節で代表的なものを挙げる。

1.3 図を用いた様々な技法

KJ法 KJ法²とは、川喜田二郎がデータをまとめるために考案した手法である [37]。データをカードに記録し、そのカードをグループ化、図解化することで問題に対するアイデアを収束させる技法である。

特性要因図 特性要因図とは、特性と要因の関係を系統的に線で結び、魚の骨のような形でまとめたものである [35]。問題の結果(特性)との原因の意味(要因)を図解化したものであり、問題点を把握し解決を考える技法である。

マインドマップ マインドマップ (Mindmap)³とは、Tony Buzan が発案した図解表現技法の一つである [6]。表現したいテーマを言葉やイメージで中央に配置し、そこから放射状にキーワードなどのアイデアをつなげていくことで、複雑な概念もコンパクトにまとめることができる。また、人間の脳の意味ネットワークと呼ばれる意味記憶の構造によく適合しており、効率的に理解や記憶ができるといわれている。

コンセプトマップ 概念地図法とも呼ばれる、ノヴァックが考案した技法である [27, 9]。思いついたアイデアを単語やフレーズにまとめ、その中の2つの間に関連づけを行うことで考えを表現したり、まとめたりすることができる。

1.4 計算機を活用したアイデアの記録・整理

前節で紹介した様々な技法は、いずれも紙とペンなどを使って実施することを前提としていた。しかしながら近年では、計算機上のツールとして各技法をサポートしたものも多く開

²KJ法は株式会社川喜田研究所の登録商標である。

³「マインドマップ」および「Mindmap」は英国 Buzan Organisation Ltd. の登録商標である。

発されている。計算機上での技法の活用は、計算機による恩恵を享受できる反面、紙とペンを使う場合とは異なる問題も発生する。

1.4.1 計算機を利用する利点

計算機を利用する理由として挙げられるものはいくつかあるが、その最も有力なものの一つが「編集が容易である」ということである。紙とペンによる図の作成では、一度書いた図の要素を移動したり再編集するためには、書いたものを消して新しく書き直す必要があり、一般的に困難である。一方で計算機上における図の編集は、システムによって描画処理が行われるため、利用者は簡単な操作(たとえばドラッグアンドドロップなど)で編集作業を実施できる。

また、編集時に各要素の関係性を保持することも容易である。アイデア同士の接続関係をシステムが何らかの方法で保持していれば、線につながっているアイデアの一つを移動させても、他のアイデアとの接続関係を論理的に保持することが可能である。

1.4.2 計算機を利用する際の問題点

計算機上でアイデアの記録・整理を行うことには問題もある。本研究で注目するのはアイデアの入力方法についてである。

従来、アイデアを記録する際には紙とペンを用いることが一般的であった。一方、計算機上に実装されたシステムにおいては、マウスとキーボードによる入力を中心となる。マウスとキーボードは活字入力などには向いているが、自由な形状の図形を描画するには向いていない。また、ペンは利用者が書きたいと思ったところに直接書き込むことができ、操作が直感的であるが、マウスやキーボードは入力・表示位置(ディスプレイなど)と入力装置操作部(キートップなど)が物理的に離れており、直感的な操作とはいえない。

アイデアの記録・整理は人間の知識創造活動の一つである。入力が直感的でなければ、利用者はシステムの利用にストレスを感じ、結果的に活動を妨げてしまう恐れがある。そのため、計算機上で直感的な入力を実現できる方法を検討することが必要である。この条件を満たす入力方法として、本研究では手書き入力を採用する。

1.5 本研究の目的

本研究では、図を用いたアイデアの記録・整理を簡単に、効率よく、自然に行う環境を構築することを目的とする。すなわち、アイデアの記録・整理を行うシステム利用者が、記録・整理以外のシステム制約などを意識する必要が無く、紙とペンで行うような自然さで計算機上にアイデアを記録・整理できるようにする。

この目的を達成するために、本研究では手書きを入力手段として採用し、放射状マップを用いてアイデアを記録・整理するツールを開発する。

1.6 論文の構成

本論文の構成は次の通りである．本章では，本研究で扱うアイデアについて定義し，従来のアイデア記録・整理における要点を整理するとともに，本研究の目的と目標を明確にした．続く第2章では，本章で触れた計算機上での手書き入力についてさらに深く考察を行うとともに，問題の解決方針を検討するために実施した予備実験について述べる．第3章では，問題解決のための要素技術を提案する．要素技術を実装し，放射状マップを対象としたアイデア記録・整理ツール“Twill”について第4章で述べ，第5章でその実装について説明する．第6章では開発したツールを試用しての評価実験について述べ，その結果をもとに第7章で議論する．第8章で関連研究を紹介し，第9章でまとめる．

第2章 計算機上における手書き入力と予備実験

2.1 直感的な入力手法としての手書き

本研究では，1.4.2 節で述べた直感的な入力手法として，手書きを採用する．

手書き入力は一般に，タブレットPC(図2.1)などのタッチパネルを備えた画面上で，スタイラス(ペン)を用いて行われる．最近ではニンテンドーDS¹などの携帯ゲーム機器，iPod touch²などの音楽プレーヤ，D800iDS³や iPhone⁴などの携帯電話といった様々な機器に搭載されており，その利点が一般に浸透してきている．2007年にはペン入力を研究するコミュニティ⁵が発足するなど，研究レベルでの活動も活発である．

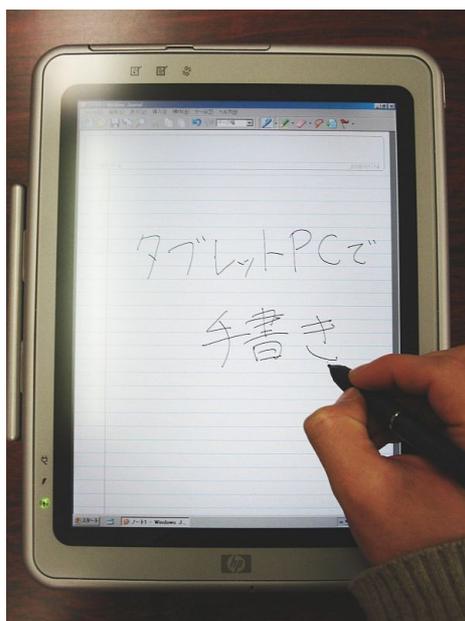


図 2.1: タブレット PC 上での手書き入力

手書き入力は我々が普段から慣れ親しんでいる手法である．計算機が普及した現代におい

¹<http://www.nintendo.co.jp/ds/>

²<http://www.apple.com/jp/ipodtouch/>

³<http://www.mitsubishielectric.co.jp/mobile/foma/d800ids/>

⁴<http://www.apple.com/iphone/>

⁵<http://pen-community.org/>

ても、我々は多くの場面で紙とペンを用いた手書きを活用しており、キーボードやマウスよりも自然で手軽な入力手法だと感じている人が多い [17]。手書きはシステムによる制約がほとんどない、直感的な手法といえる。紙とペンを使った場合、利用者は紙上の任意の位置に描画することが可能である。また、描画内容も制限されておらず、文字や図形、絵など様々な表現に対応できる。そのため、手書きは自由な発想が促進されると考えられている [25]。

さらに、書き手によって描画内容の形状や特性が異なるため、個性や温もりを感じることもできる。

2.2 手書き入力の問題

一方で、計算機における手書き入力にはマウスやキーボードにはない問題もいくつか存在する。

一点目の問題として、入力データの曖昧さが挙げられる。手書き入力はその描画内容が制限されていないため、様々な表現に対応できることを前節で述べた。これは手書き入力の利点であると同時に、システムにとっては問題点となる。計算機は紙とペンでは不可能である機能を利用者に提供できるため、利用者は計算機に対して高度な編集をしてほしいという欲求が生まれる。計算機が利用者の欲求を満たすためには、利用者の入力が何を意味しているのかを正しく解釈し、その意味に応じた適切な処理を行わなければならない。しかし手書きは入力データが曖昧であるため、システムは描画された内容が何であるのか、正確に判断することが困難である。図によるアイデアの記録・整理においては、たとえばどのストロークがアイデアの記録であり、どのストロークがアイデア同士をつなぐ線であるのかを判断するのが難しい。

二点目の問題として、入力時に必要とするエリアの問題がある。紙とペンによる描画と比較して、計算機上での手書き入力は細かい文字や図形の描画に向かない。これは一般的なタブレットやタッチパネルが、画面表示と感圧部の間にわずかな隙間を有する構造になっており、入力に用いるスタイラス(ペン)の先と描画点の間に物理的な隙間が生じていることなどに原因があると考えられる(図 2.2)。結果として、計算機上での手書き入力は紙上と比べて、物理的な情報密度が低下する傾向にある。

計算機上で手書き入力を活用するためには、これらの問題を解決する必要がある。

2.3 問題の解決に向けて

手書き入力の問題を解決するために、本研究ではいくつかの提案を行う。

一点目の問題である曖昧さの解釈については、図の種類によって解釈する構造を特定し、その構造がどのような特徴を持っているかを調査する。その結果をもとにシステムを実装し、利用者の直感的な入力による曖昧さをシステムが吸収できるようにする。

二点目の問題である入力エリアの問題は、描画されたストロークを扱いやすいサイズに縮小する機能を実装する。

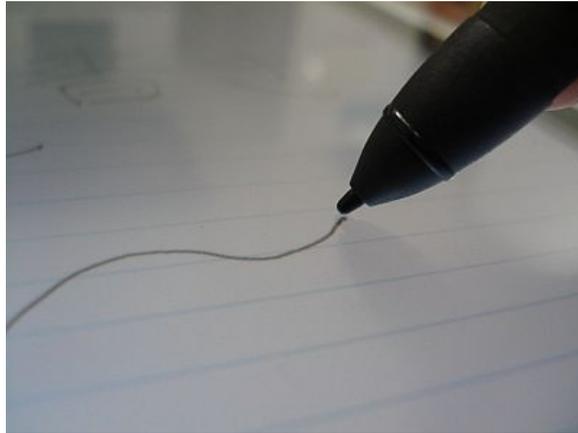


図 2.2: スタイラスの先と描画点の間に生じる物理的な隙間

これらの問題は、紙とペンでの手書きでは問題にはならず、計算機上での手書きに特有の問題といえる。我々の多くは紙とペンによる操作を自然であると感じているため、計算機上での手書き入力も、紙とペンによる手書きと同様の自然さを提供すれば問題を解決できると考えられる。そこで、紙と計算機での違いを調査する予備実験を実施し、その結果を参考に次章以降で実際に要素技術を提案・実装していく。

その他、計算機上で手書き入力を行うにあたって効率を高める要素技術を提案し、システムに実装する。

2.4 予備実験 1: ノードと関係線の位置関係調査

手書き入力は描画者によってその形状などが様々であり、同じ図形を描画したとしても全く同じ形状になることはない。その揺らぎがどの程度であるかを調査するための予備実験を行った。

予備実験 1 では被験者にノード (図形) の対を提示し、その二者間を関係線 (矢印) でつなぐという作業を課した。様々なノード対を提示して結果を調査することにより、人々が普段どのような位置関係でノードと関係線で描画しているのかを考察する。また、同一の実験を複数の被験者に対して実施することで、個人による描画の差がどの程度あるのかを調査する。

2.4.1 予備実験 1 の概要

実験には 18 歳から 24 歳までの大学生および大学院生 19 名が被験者として協力した。内訳は表 2.1 の通りである。CS 系はコンピュータサイエンス系の学生を示す。

各被験者には A4 判の紙に印刷したノードの組を 20 組提示し、ペンを使って各組のノード間を関係線 (矢印) でつないでもらった。被験者に提示した質問紙は付録 A の通りである。

実験データとして、各関係線(被験者1名あたり20本)の始端と終端における、ノードと関係線の距離を収集した。このデータは被験者1名あたり40個であり、データを19人分収集して合計で760個のデータを得た。ここで得られたノードと関係線の距離をギャップとよぶことにする。ギャップを統計的に処理した結果、いくつかの知見が得られた。

表 2.1: 予備実験1の被験者属性

	CS系	その他理系	文系	芸術系	小計
男	5	4	3	0	12
女	1	1	4	1	7
小計	6	5	7	1	19

(単位: 人)

2.4.2 予備実験1の結果

ギャップの平均と分散

図 2.3 は、被験者ごとのギャップの平均と分散を計算したものである。平均、分散ともに個人差が非常に大きいことが分かる。常に一定の距離を保って関係線を描画する被験者もいれば、毎回大きく異なる被験者もいる。このことから、ノードと関係線の位置関係には個人差が非常に大きいことが分かった。

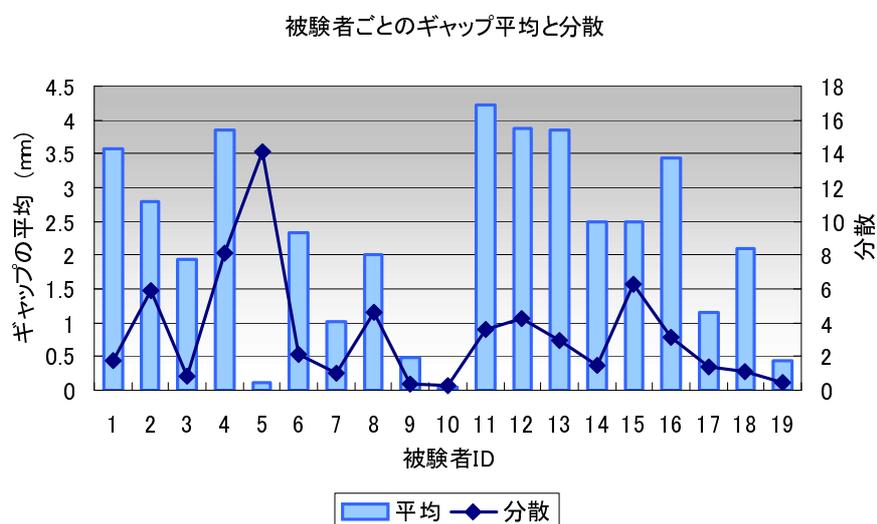


図 2.3: 被験者ごとのギャップ平均と分散

ギャップ値の分布

次に、ギャップがどのような値を多く取るのか調べるため、図 2.4 のヒストグラムを作成した。ギャップが負の値になっているのは、ノード内部に関係線が侵入している事例である。多くのデータにおいて、ノードから数 mm 離れたところで関係線が開始・終了していることが分かる。逆に、ノードから極端に離れる事例は少ないことが分かった。

ノードと関係線間のギャップ (ヒストグラム)

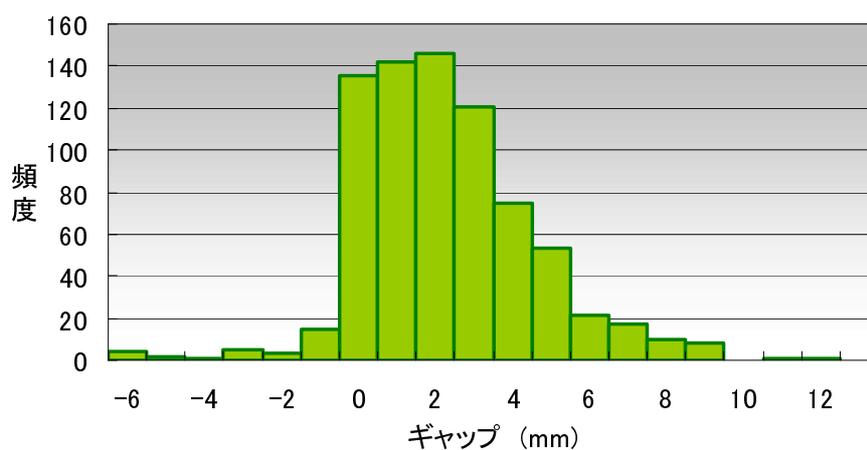


図 2.4: ノードと関係線間のギャップ (ヒストグラム)

ギャップとノードの関係

ギャップとノード間距離およびノードの大きさとの相関も調査を行った。ギャップとノード間距離の相関を図 2.5 に示し、ギャップとノードの大きさの相関を図 2.6 に示す。

ギャップとノード間距離に関して、相関係数は 0.504 であり、中程度の相関がある。一方、ギャップとノードの大きさについては相関係数が -0.172 となり、ほとんど相関がない。これらの結果について無相関検定を行った結果を表 2.2 に示す。この検定の標本数はそれぞれ 19 である。

表 2.2: 予備実験 1 結果の相関に対する検定

	相関係数	t 値	p 値
ギャップとノード間距離	0.504	2.408	0.028
ギャップとノードの大きさ	-0.172	0.718	0.482

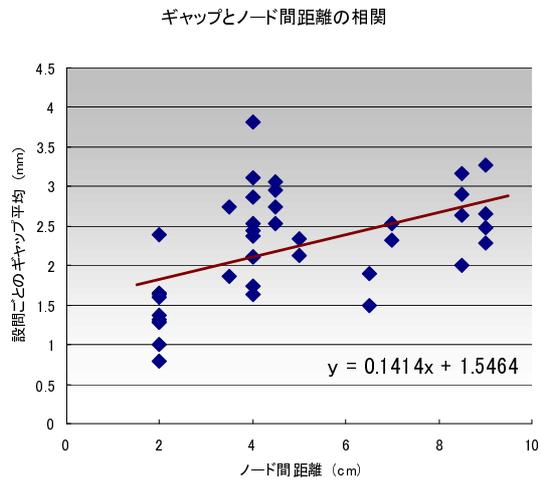


図 2.5: ギャップとノード間距離の相関

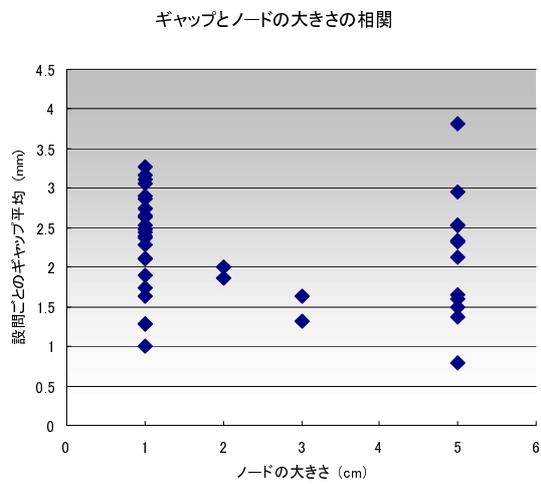


図 2.6: ギャップとノードの大きさの相関

有意水準 5% で検定を行う。ギャップとノード間距離の相関係数については p 値が 0.05 より小さいため、有意である。一方、ギャップとノードの大きさの相関係数については p 値が 0.05 より大きいため、有意とはいえない。

2.4.3 予備実験 1 を受けての考察

実験により、ノードと関係線の位置関係については個人差や文脈依存の影響が大きく、簡単なモデル化が困難であることが示された。一方で、ノードと関係線のギャップについてのみ着目すれば、多くの場合は一定の離れ具合をとることが実験により示唆された。また、ギャップとノード間距離との間には相関があることが示唆された。

このことから、ノードと関係線のギャップを利用する場合は、どの程度のギャップのときにシステムがどのように振る舞うか、その閾値を柔軟に変更できる仕組みを備える必要があると考えられる。

2.5 予備実験 2: 紙と計算機画面での文字サイズ比較

タブレット PC 上での手書き入力は便利であるが、紙とペンを使った場合ほど自然な入力ができない。主な原因としては、タブレット PC の物理的な制約が考えられる。一般的なタブレット PC は、液晶画面の表面にスタイラス感知部を重ねることで手書き入力を実現している。そのため、スタイラス先端が触れる部分と、実際に描画される部分の間には数ミリメートルの空間が生じる。この空間の存在により、利用者は自分が思ったとおりのところに描画できない。また、計算機上での手書き入力はスタイラスからの入力をシステムが受け取り、様々な処理を経てアプリケーションに伝達される。そのために入力から出力までの間にわずかな時間差が生じ、利用者に違和感を与える結果となっている。

予備実験 2 では、被験者に紙上とタブレット PC 上で文字描画を行ってもらい、タブレット PC 上でどの程度細かい入力が実現可能であるのかを調査する。

2.5.1 予備実験 2 の概要

実験には 18 歳から 25 歳までの大学生および大学院生 20 名が被験者として協力した。内訳は表 2.3 の通りである。CS 系はコンピュータサイエンス系の学生を示す。

実験は 2 ステップで構成される。最初のステップとして、被験者に A4 版の紙に印刷した実験課題を提示し、紙の余白に課題文章をなるべく小さく書き写すというタスクを課した。書き写す際の筆記用具として、各被験者に自分が使い慣れているペンを用意してもらい、そのペンを利用した。

次のステップでは被験者にタブレット PC を貸与し、最初のステップと同様の課題文章をタブレット PC 上のアプリケーション (Microsoft ペイント) に手書き入力をういてなるべく小さく書き写すというタスクを課した。利用したタブレット PC の主なスペックを表 2.4 に示す。

表 2.3: 予備実験 2 の被験者属性

	CS 系	その他理系	文系	芸術系	小計
男	6	2	1	0	9
女	0	4	4	3	11
小計	6	6	5	3	20

(単位: 人)

表 2.4: 予備実験 2 で用いたタブレット PC のスペック

項目	スペック
機種	HP compaq tc1100 (DU676P#ABJ) ⁶
CPU	Intel Pentium M 1.0GHz
RAM	512MB
ディスプレイ	10.4 インチ TFT カラー液晶
画面解像度	768 × 1024 ピクセル (縦置き)
OS	Microsoft Windows XP Tablet PC Edition 2005 (SP2)
アプリケーション	Microsoft ペイント

被験者に提示した質問紙は付録 B の通りである。書き写す課題文として以下の文章を用いた。

私は、筑波大学で Computer を研究しています。

この文章を書き写してもらい、書き写した文章全体の幅、および文字「私」「大」「m」「を」「究」「て」「す」の幅をそれぞれ測定した。なお、タブレット PC を用いて記述してもらったものについては、被験者が実験で使ったものと全く同一の環境で表示し、画面に表示される見かけの大きさを定規で直接計測することで求めた。

2.5.2 予備実験 2 の結果

実験データ

予備実験で得られたデータを表 2.5, 2.6 に示す。表 2.5 は、各文字の幅の平均を取った値、表 2.6 は被験者ごとの文字幅平均を取った値である。以下の表で、PC はタブレット PC を表す。図 2.7 に、ある被験者 (ID14) が紙上とタブレット PC 上で書いた 2 種類のデータを示す。

⁶<http://h50146.www5.hp.com/products/tablet/old/tc1100/pm1010x51260bwlxpt.html>

表 2.5: 予備実験 2 の結果 (各文字ごとの被験者平均)

対象文字	幅の平均 (紙) (wp)	幅の平均 (PC) (wt)	幅の比 (wp / wt)
私	3.05	5.65	0.54
大	2.39	3.95	0.59
m	1.95	2.90	0.67
を	2.05	3.40	0.60
究	2.90	4.10	0.71
て	1.80	2.40	0.75
す	2.00	2.75	0.73
7文字の平均	2.30	3.59	0.64
文章全体	63.95	85.30	0.75

(単位: mm) (単位: mm)

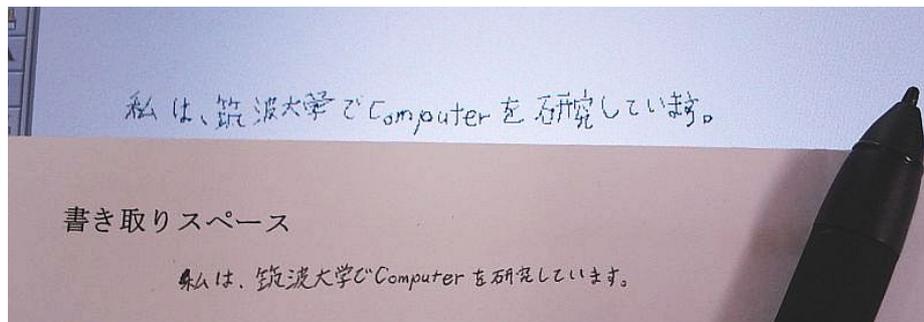


図 2.7: 予備実験 2 で得られたデータの例 (被験者 ID14) . 下が紙上, 上がタブレット PC 上で描画したものである .

紙上とタブレット PC 上での結果比較

図 2.8 に, 調査対象文字ごと, 被験者ごとに紙とタブレット PC での文字幅を比較したものを示す .

紙上とタブレット PC 上での結果には差があると考えられる . これらの結果に対して, t 検定 (対応のある平均値の差の検定) を実施する . 帰無仮説は「紙上で書いた文字幅とタブレット PC 上で書いた文字幅には差がない」とする .

表 2.7 に, 紙上とタブレット PC 上での結果に対して統計処理を実施した結果を示す .

p 値が非常に小さいため, 1% の有意水準で帰無仮説が棄却される . すなわち, 紙上で書いた文字幅とタブレット PC 上で書いた文字幅との間には有意差がある .

表 2.6: 予備実験 2 の結果 (被験者ごとの文字幅平均)

被験者 ID	幅の平均 (紙) (wp)	幅の平均 (PC) (wt)	幅の比 (wp / wt)
1	2.57	2.86	0.90
2	2.43	2.86	0.85
3	1.29	3.14	0.41
4	2.86	3.29	0.87
5	1.43	3.43	0.42
6	3.14	3.00	1.05
7	2.43	3.00	0.81
8	1.43	4.14	0.34
9	2.00	3.00	0.67
10	3.00	5.00	0.60
11	2.71	3.29	0.83
12	3.29	4.57	0.72
13	2.29	4.43	0.52
14	2.29	3.29	0.70
15	1.57	3.57	0.44
16	2.43	4.00	0.61
17	2.86	3.29	0.87
18	2.57	5.43	0.47
19	1.86	3.00	0.62
20	1.57	3.29	0.48
全被験者の平均	2.30	3.59	0.64

(単位: mm) (単位: mm)

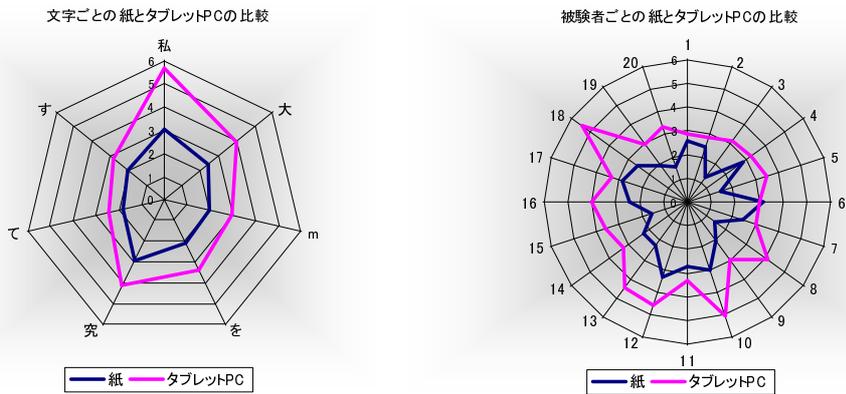


図 2.8: 調査文字ごと，被験者ごとの結果比較

表 2.7: 紙上とタブレット PC 上での結果に対する統計処理の結果

	紙上	タブレット PC 上
平均	2.30	3.59
分散	0.371	0.561
自由度		19
t		-6.78
p 両側		1.78×10^{-6}

タブレット入力への慣れとの相関

タブレット PC は多くの被験者にとって，紙よりもなじみのない機器であった．そのため，慣れの問題が筆記結果と関係があるのかについて相関を調査した．

被験者には実験後のアンケートで，「ペンタブレットなど」「タブレット PC や計算機のタッチパネルなど」あるいは「ニンテンドー DS や iPod touch などの小型デバイス」を用いて，文字や図形を書く頻度を回答してもらった．ここで，ペンタブレットとは，画面とは別の場所でスタイラスを操作するタイプの手書きデバイス，タブレット PC や計算機のタッチパネルなどは画面の表面にセンサがあり，指やスタイラスで直接操作するタイプの手書き入力デバイスである．

回答してもらった上記 3 項目の選択肢について，表 2.8 の基準で得点化し，合計点を「その被験者のタブレット入力に対する慣れ」と定義した．3 種類全てをほぼ毎日使っている場合は満点となり，12 点である．

各被験者の慣れ得点と，7 文字の平均幅の紙とタブレット PC の比，および文章全体の幅の比の相関を図 2.9 および表 2.9 に示す．

慣れ得点と各文字幅に関して，相関係数は 0.127 であり，ほとんど相関がない．一方，慣れ得点と文章全体幅については相関係数が 0.636 となり，中程度の相関がある．これらの結果に

表 2.8: タブレット入力に対する慣れの得点換算

選択肢	配点
ほぼ毎日	4
週 3 ~ 5 回程度	3
月数回程度	2
年数回程度	1
それ以下	0

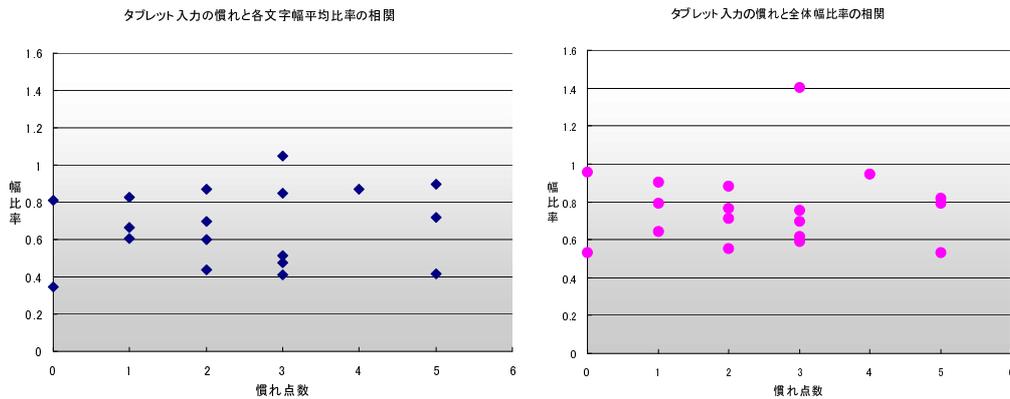


図 2.9: タブレット入力への慣れと記述文字幅の相関

ついて有意水準 5% で検定を行う。慣れ得点と各文字幅の相関係数については p 値が 0.05 より大きいため、有意とはいえない。一方、慣れ得点と文章全体幅の相関係数については p 値が 0.05 より小さいため、有意である。

なお、相関がある慣れ得点と文章全体幅については、近似直線の傾きが 0.003 となった。これらのことから、文章全体幅はタブレット入力に対する慣れとは関係なく、ほぼ一定となることが示された。

表 2.9: 予備実験 2 結果の相関に対する検定

	相関係数	t 値	p 値
慣れ得点と各文字幅	0.127	0.543	0.593
慣れ得点と文章全体幅	0.636	3.496	0.003

2.5.3 予備実験2を受けての考察

実験により，タブレット入力の慣れに関わらず，タブレットPC上における手書き入力は紙上における手書き入力と比べて細かい記述が難しいことが明らかになった．具体的には，タブレットPCを用いた場合よりも，紙を用いた場合のほうが0.7～0.8倍程度の細かさで文字を記述できる．

このことから，タブレットPC上で入力されたデータを0.7～0.8倍に縮小して表示すれば，紙とペンを使って記述する場合とほぼ同じ情報密度を実現できると考えられる．

第3章 手書き環境の要素技術

本章では、計算機上で手書き入力を用いる際に生じる諸問題を解決し、手書き入力をより効果的に活用するための要素技術を提案・開発する。

3.1 アイデアを記録・整理する図の分類

一口に「図でアイデアを記録・整理する」といっても、利用される図は様々な形態が考えられる。計算機にとって、アイデアはデータ的一种である。出原らはその著書において、データを可視化する表現手法を以下の5つに分類している [34]。

1. 座標系: 折れ線グラフ, 棒グラフなど
2. 行列系: 表など
3. 領域系: ベン図など
4. 連結系: ネットワーク図, フローチャートなど
5. 連結系と領域系の複合系: 複合グラフなど

本研究では、あるテーマに沿って様々なアイデアを出すような活動を想定している。そのため、テーマとアイデア、あるいはアイデア同士の間には関係性が生まれる。このようなアイデアの表現に最も適しているのは連結系であるため、連結系の図によるアイデアの記録・整理を研究対象とする。

しかしながら、連結系の図はその可視化方法で様々な形態が考えられ、それぞれの図について異なった要素技術を適用したほうが、それぞれの形態を有効に活用できる。そこで本研究では、連結系の図によるアイデアの可視化を、アイデアの可視化形状に着目して2種類に分類し、それぞれノード型、ブランチ型と名付けた。

なお、本研究で扱うアイデアはテーマに沿って発想されるものであるため、アイデアの集合は木構造で表現される。このとき、テーマが木の根である。

3.1.1 ノード型

ノード型の図は、アイデアの断片それぞれが囲みストロークによって囲まれているものである。囲みストロークとは、あるアイデアを記述するストローク群全体を囲むストロークで

ある．囲みストロークに囲まれたストローク群が一つのアイデアを形成し，それらを関係線が接続するので，ノードと関係線という二種類の要素で構成されているとみなすことができる(図 3.3)．KJ 法などはノード型の図とみなすことができる．

ノード型の図は以下の 3 種類のストロークが組み合わせることで構成される(図 3.1)．アイデア記述ストロークとはアイデアの内容そのものを記すストロークで，通常は複数ストロークで文字や図形，イラストなどを構成する．

- アイデア記述ストローク
- アイデア囲みストローク
- 関係線

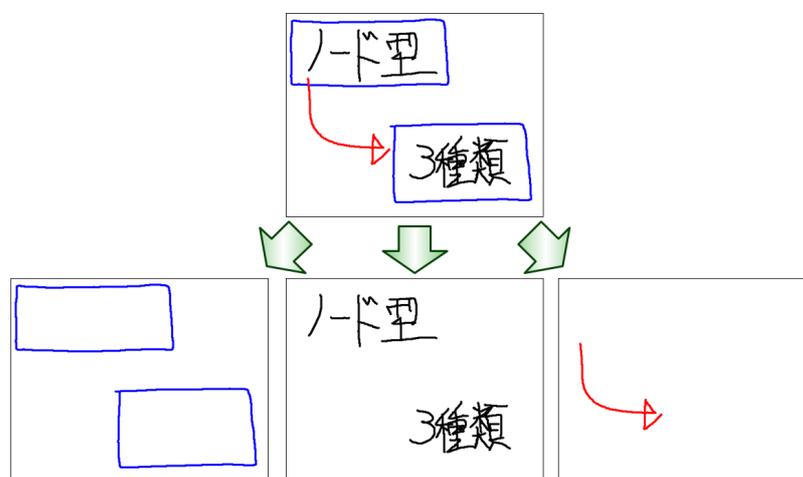


図 3.1: ノード型の図のストローク分類．上の図はアイデア囲みストローク(左下)，アイデア記述ストローク(中下)，関係線(右下)の 3 種類で構成される．

3.1.2 ブランチ型

ブランチ型の図は，アイデアの断片はブランチの上に直接描画される．ノード型と異なりノードと関係線の区別に乏しく，ブランチの集合が図となる(図 3.4)．特性要因図やマインドマップはブランチ型の図を活用しているといえる．

ブランチ型の図は以下の 2 種類のストロークが組み合わせることで構成される(図 3.2)．

- アイデア記述ストローク
- ブランチ線

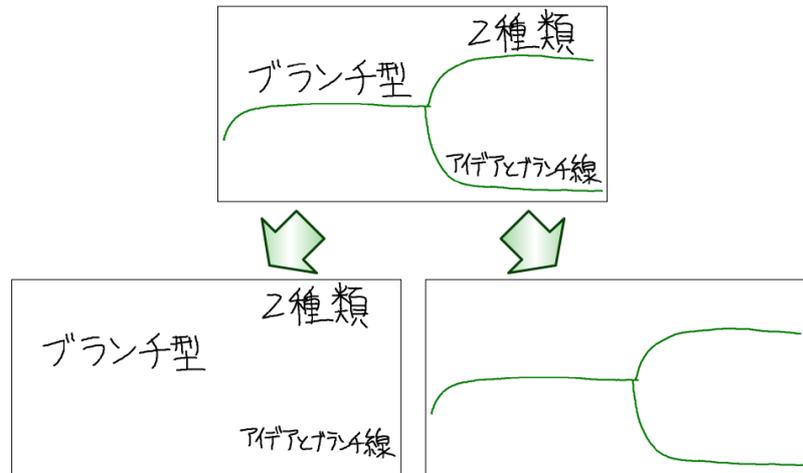


図 3.2: ブランチ型の図のストローク分類．上の図はアイデア記述ストローク (左下)，ブランチ線 (右下) の 2 種類で構成される．

3.2 放射状マップ：本研究が対象とする図

本研究ではアイデアの記録・整理のための図として「放射状マップ」に着目した．放射状マップは連結系でブランチ型の図である．中央にテーマを配置し，テーマから放射状にアイデアを配置していく．

図 3.5 に「放射状マップの特徴を考える」というテーマについて考察したことをまとめた放射状マップの例を示す．図中にあるように，文字や図形，イラストを活用してアイデアをまとめることが可能である．

我々はあるテーマについて発想を行う際，無意識のうちに様々な方向に発想を広げている．例えば「発表会を開催するために必要なこと」というテーマでアイデアを出す場合，発表会の場所，参加者，予算など様々な方向に発想が広がっていき，それらは有機的に結びついていく．このような人間の思考パターンを可視化するために，放射状マップは適していると考えられる．

3.3 放射状マップの数学的定義

放射状マップで手書きストロークを用いるには，マップの構造を解釈し，要素技術を適切に活用できなければならない．この要件を満たすためには，システムが記述されたストロークを数学的に解釈することが必要である．

本研究が対象とする放射状マップは，数学的に次のように定義される．

放射状マップはテーマを根とする木構造であるとみなすことができる．すなわち，放射状マップに閉路は含まれない．放射状マップ M は以下のように定義される．

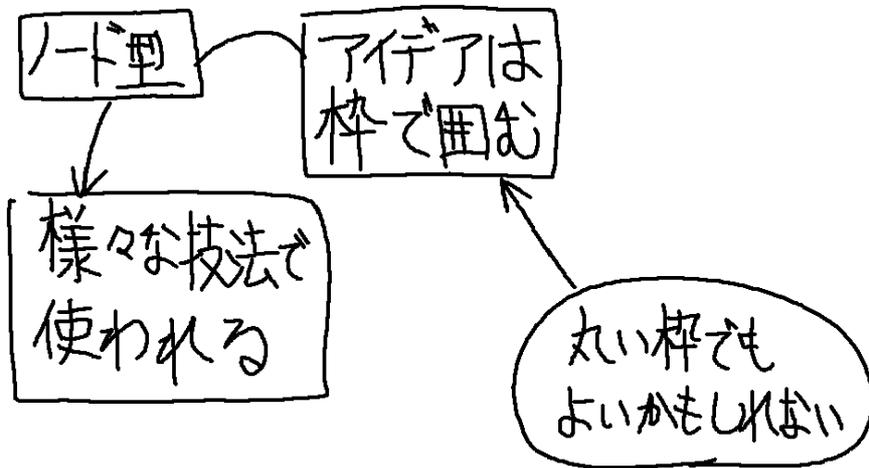


図 3.3: ノード型の図の例

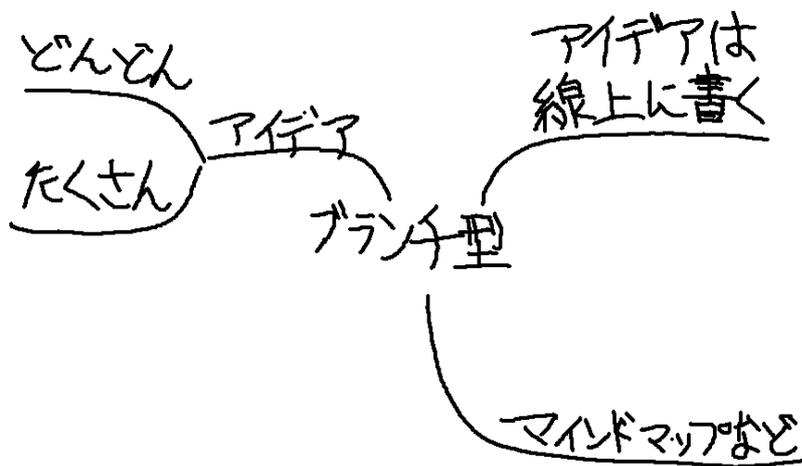


図 3.4: ブランチ型の図の例

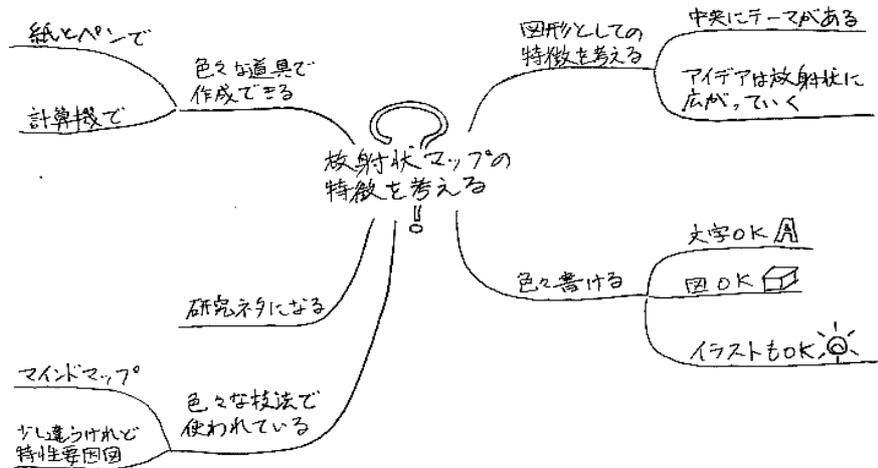


図 3.5: 放射状マップの例

$$M = (\{c\} \cup V, p)$$

$$p: V \rightarrow \{c\} \cup V$$

ここで、 c はマップ中央に描画されるテーマ、 V は頂点集合である。なお、放射状マップの実装において V はブランチ集合である。すなわち、ブランチは頂点を実装したものである。関数 p は頂点と頂点または中央テーマ間の結合関数であり、与えられた頂点の親を返す関数である。

あるノード v に対し、 v から c に到達するまでに経由する頂点の個数 (自分自身を含む) を v の深さとする。テーマ c および、ある頂点 v の深さは次のように定義される。なお、 d は頂点の深さを返す関数である。

$$d: \{c\} \cup V \rightarrow \mathbb{N}$$

$$d(c) = 0$$

$$d(v) = d(p(v)) + 1$$

3.4 自然で直感的な操作の実現に向けて

本研究では、アイデアの記録・整理を簡単に、効率よく、自然に行うことを目的としている。また、アイデアの記録・整理は人間の知識創造活動の一つであり、可能であれば不必要な操作を気にすることなく、アイデアの記録・整理に集中したい。一方で、計算機を用いることにより、紙とペンでは困難であった様々な恩恵が享受可能になるが、その実現のために利用者に対して余計な操作を課すのでは本末転倒である。

そこで、計算機の恩恵を享受しつつ、そのことによって利用者に負担が発生しないような要素技術が必要となる。

3.5 開発する要素技術

本研究で提案・開発する要素技術は以下の通りである。

- 図の論理構造を保持した移動操作
- ブランチのレイアウト支援
- アイデア記述エリアの提供

それぞれの要素技術について、次節から詳説する。

3.6 図の論理構造を保持した移動操作

3.6.1 問題意識

図を描画していると、描画エリア上に多数のアイデアが並ぶことになる。計算機の画面は物理的には有限であるため、ある程度の規模になるとアイデアのブランチが重なり合ったり、乱雑に並んだりして図の可読性を低下させてしまう。この問題は計算機上だけでなく、紙とペンを使った場合にも同様に生じる。紙に記述した場合、アイデアの再配置は一度消して書き直すという手順を踏む必要があり、困難であった。

また、アイデアは多くの場合において他のアイデアと関係づけられており、再配置によってその関係が失われないようにしたい。紙とペンの場合は、再配置対象と関係づけられている他のアイデアについても再描画する必要があるため、規模が大きくなればなるほど、このような編集は現実味を失ってくる。

3.6.2 問題の解決に向けて

計算機上でこの問題を解決するため、本研究では図の論理構造を保持した移動操作を提案する。計算機上で描画されたアイデアはストローク単位で電子的なデータとして管理されている。そのため、複数のアイデア(ストローク)が重なり合っても、その中から特定のストロークだけを取り出すことが可能である。

3.6.3 要素技術の開発

この要素技術の開発にあたっては、放射状マップが持つ論理構造を保持することを意識した。各ブランチは他のブランチと接続関係を保持しているため、あるブランチを移動させても接続関係を失わないことが必要になる。

また、ブランチの移動には次の2通りが考えられるため、それぞれの場合について考える必要がある。

- ブランチの親子関係を変更せず、位置を移動させる (物理的な位置移動)
- ブランチの親子関係の変更を伴う移動を行う (物理的かつ論理的な位置移動)

親子関係を変更しない移動

親子関係を変更しないブランチの移動の際は、移動によって接続の論理構造が失われないよう、保持する必要がある。そのため、次のような制約を設けた。

1. 移動対象ブランチと親ブランチの接続点は移動しない
2. 利用者の移動操作に対応して、移動対象ブランチと子ブランチの接続点が移動する
3. 両端の接続点の位置関係に対応して、移動対象ブランチが変形する
4. 移動対象ブランチの子ブランチは、移動対象ブランチとの接続点移動に付随して自動的に移動する

この制約に従ってブランチを移動させた例を図 3.6 に示す。図中“Target Branch”が移動対象ブランチであり、これは“Parent Branch”の子ブランチである。Parent との接続点 S の位置は移動操作を行っても変化しない。一方、子ブランチとの接続点 D は移動し、その移動に付随して子ブランチ“Child Branch”の2本が自動的に移動している。

移動対象ブランチは接続点の移動に合わせて、ストロークを拡大・縮小することで移動を実現する。子ブランチは接続点の移動距離と同じ分だけ平行移動させることで接続関係を保持する。この移動操作は、内部的にはストローク点列の変形を行っており、接続関係情報は変更していない。すなわち、ブランチ同士の接続など論理構造は全て保存され、移動操作によって失われることはない。

親子関係の変更を伴う移動

親子関係の変更を伴う移動では、移動対象ブランチは移動前と異なるブランチの子になる。この論理構造の変化を正しく反映させなければならない。この操作における制約は次のようになる。

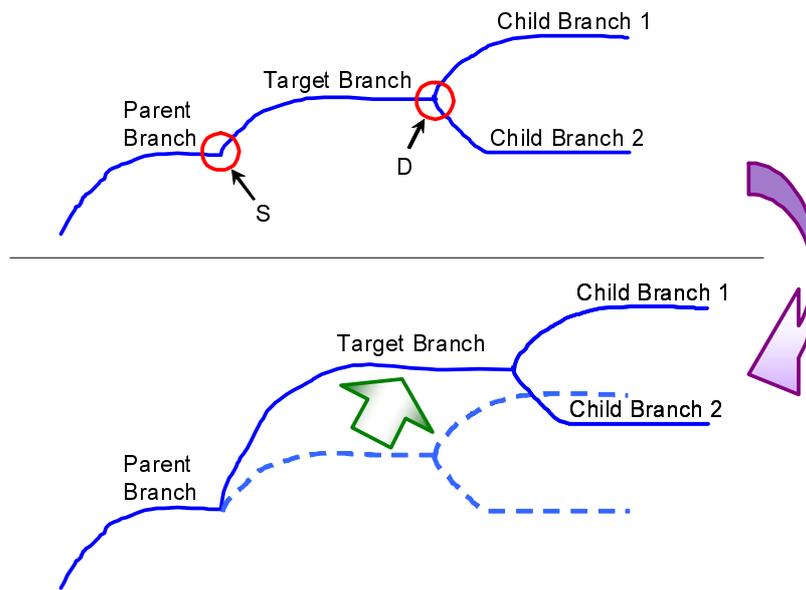


図 3.6: 親子関係を変更しないブランチの移動操作．上が移動前，下が移動後である．

1. 移動対象ブランチの両端点は，その相対的な位置関係を保持する
2. 利用者の移動操作に対応して，移動対象ブランチ全体を変形せずに移動する
3. 移動対象ブランチの子ブランチは，移動対象ブランチの移動に付随して平行移動する
4. 移動対象ブランチの親との接続点は，新しく親となるブランチの端点と接続する

この制約に従ってブランチを移動させた例を図 3.7 に示す．移動対象である Target は，これまで Parent を親ブランチとしていた．移動操作により，新しく “Relative Branch” を親ブランチとして持つようにする．Target のブランチ端 S は Relative のブランチ端と接続される．その移動に付随して子ブランチ Child の 2 本が自動的に移動している．

この移動に伴い，ブランチの親子関係が更新される．Target の親はこれまで Parent であったが，移動後は Relative に変更される．この処理により，移動によって変更された論理構造を適切に扱うことができる．

3.7 ブランチのレイアウト支援

3.7.1 自動レイアウトの検討

前節で述べた図の論理構造を保持した移動操作は，利用者が意図的にアイデアを移動させたい場合に有効な要素技術である．一方で，アイデアの発想中などは発想作業に集中し，アイデアの配置などに気を回せない状況になることもあると考えられる．このような場合，シ

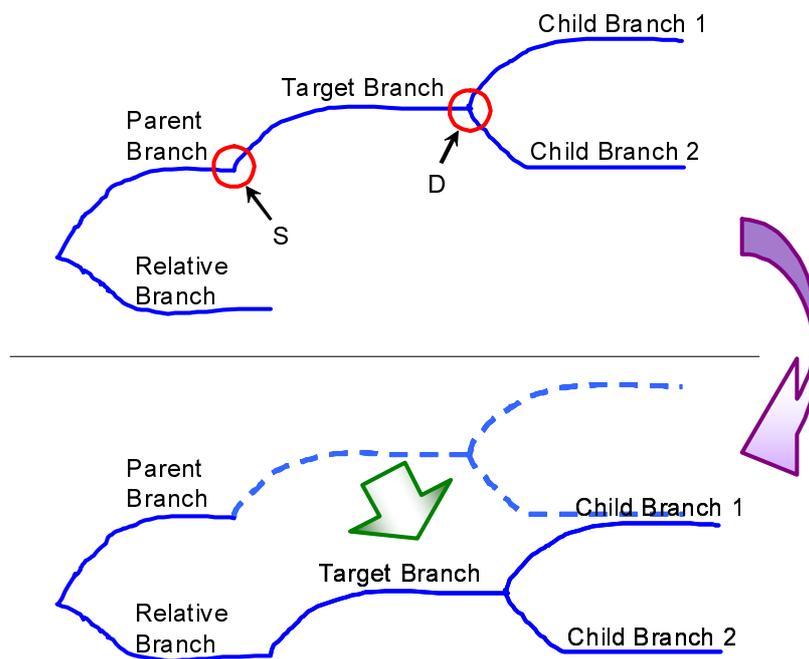


図 3.7: 親子関係の変更を伴うブランチの移動操作．上が移動前，下が移動後である．

システムがアイデアのブランチを自動的にレイアウトすることで、利用者の作業を支援できると考えている。

システムによる自動レイアウトは、利用者が意識的に操作する必要がないという利点があるが、そのために意図しないレイアウトをシステムが行ってしまう危険性もある。そこで、自動レイアウトを行う際の条件を以下のいずれかの場合に規定した。

- アイデアを記述した複数のブランチが重なっている場合
- これからアイデアを記述するブランチ線と他のブランチとの距離が近い場合

3.7.2 要素技術の開発

自動レイアウト機能の開発にあたっては、あるブランチを自動レイアウトすることによって他のブランチ同士が近づきすぎるといった別の問題を引き起こす可能性がある。この場合はそれぞれの問題に対し、再帰的に処理を行う必要がある。

本節ではまず、簡略化したブランチ関係における自動レイアウトを示す。その実装を元に、より複雑なマップにおける自動レイアウト手法を開発する。

簡略化したブランチ関係における自動レイアウト

図 3.8 は、ある 1 本のブランチ (アイデア) が描画されているところに、新しいブランチ線を追加したところである。新しいブランチ線の上部にはこれからアイデアを書き込むが、システムが想定しているアイデアエリアの高さは、新旧ブランチ間の間隔よりも大きくなっている。すなわち、この配置のままアイデアを書き込んでしまうと、新ブランチのアイデアが旧ブランチと重なってしまう。そこで、新ブランチ線の描画が完了し、アイデアを記述する前に、システムは旧ブランチを自動的に再レイアウトする。

旧ブランチの始点の Y 座標を $OldStartY$ 、旧ブランチの高さを $OldBranchH$ とする。新ブランチ線上で想定されるアイデアエリアの高さを $IdeaAreaH$ 、新旧ブランチの終点の Y 軸方向間隔を Gap とする。旧ブランチを自動レイアウトした後の高さを $ResizedH$ とすると、 $ResizedH$ は次のような式で表現される。

$$ResizedH = (OldBranchH - Gap) + IdeaAreaH + d$$

なお、 d はアイデアエリア上端とレイアウト後の旧ブランチの間隔である。自動レイアウト後のブランチの位置関係は図 3.9 の通りである。

ブランチは図 3.10 に示すように、その形状から 2 種類に分類できる。ここでは便宜上、上に凸のブランチ、下に凸のブランチと呼ぶ。今述べた例は、以前描画された上に凸の旧ブランチ下側に新しいブランチが描画される場合である。この場合を含め、レイアウト対象となるブランチの配置は以下の 4 種類に分類できる。

- A. 上に凸である旧ブランチの下側に新しいブランチを描画する (上記例)
- B. 上に凸である旧ブランチの上側に新しいブランチを描画する
- C. 下に凸である旧ブランチの下側に新しいブランチを描画する
- D. 下に凸である旧ブランチの上側に新しいブランチを描画する

ブランチの配置が B、C および D の場合において、旧ブランチを自動レイアウトした後の高さはそれぞれ次の数式で算出できる。

配置 B の場合

$$ResizedH = (OldBranchH - (IdeaAreaH - Gap)) - d$$

配置 C の場合

$$ResizedH = OldBranchH + Gap - IdeaAreaH - d$$

配置 D の場合

$$ResizedH = IdeaAreaH + Gap + d$$

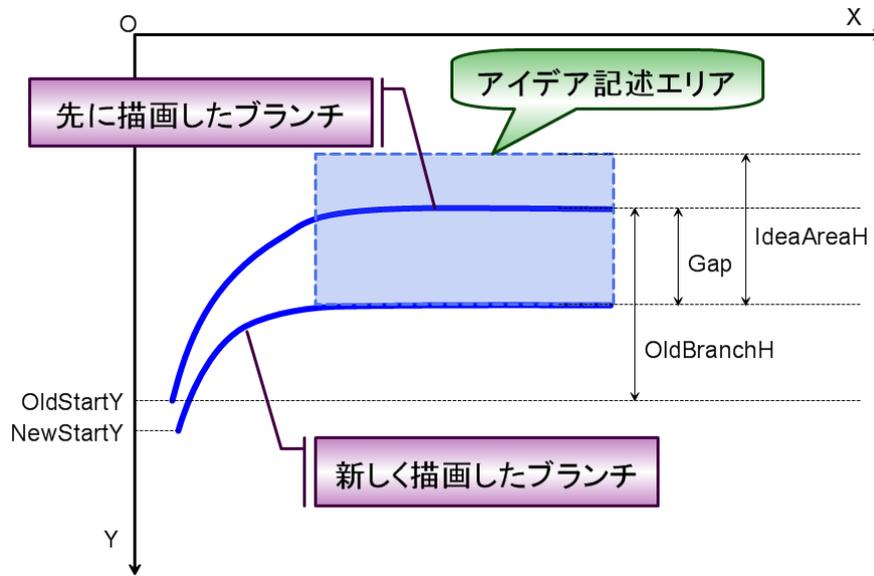


図 3.8: ブランチが近接している状態 (配置 A の場合)

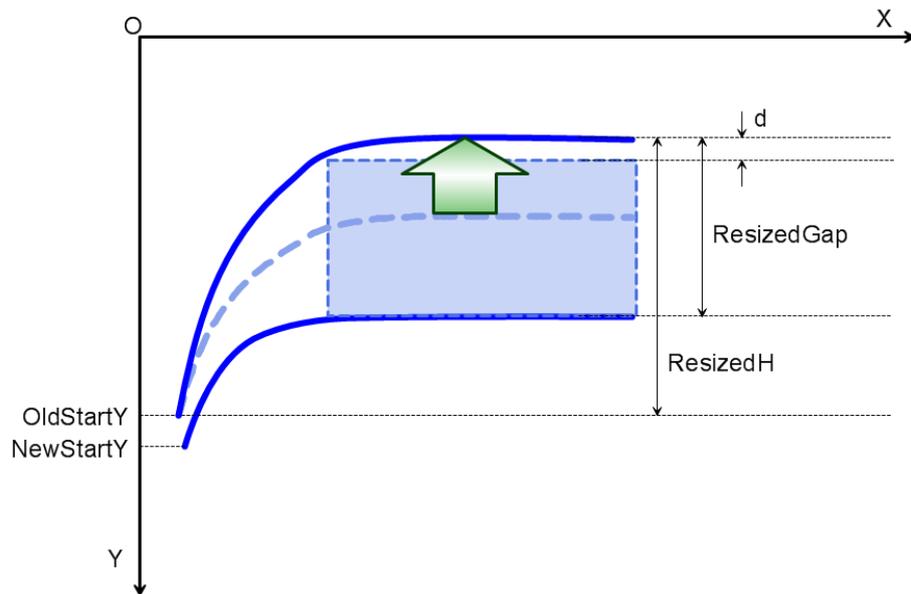


図 3.9: 近接したブランチの自動レイアウト (配置 A の場合)

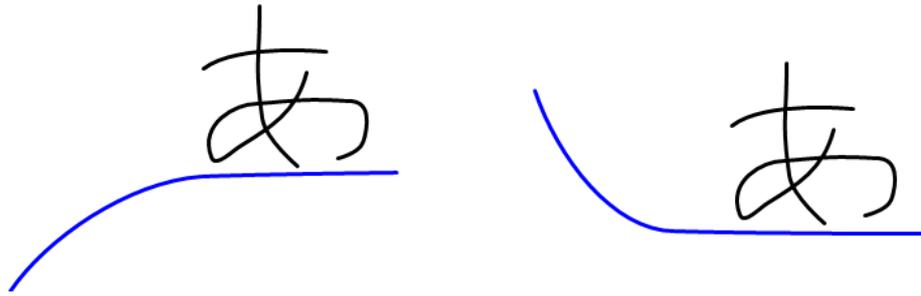


図 3.10: 上に凸であるブランチ (左) と下に凸であるブランチ (右)

複雑なマップにおける自動レイアウト

実際の放射状マップにおいては多数のアイデアが配置され、隣り合うブランチを自動レイアウトすると他のブランチが重なってしまうという問題が生じる可能性もある。そのような問題を解決するため、各ブランチについて再帰的に自動レイアウトを実施する。

図 3.11 に、ブランチ配置を一般化したものを示す。新しく描画されたブランチを N とすると、ブランチ N の上側には q 本の既存ブランチ U_1, \dots, U_q があり、下側には r 本の既存ブランチ D_1, \dots, D_r がある。既存ブランチはそれぞれ 0 本以上の子ブランチを持ち、たとえばブランチ U_1 は p 本の子ブランチ C_1, \dots, C_p を持つ。ここで、 p, q, r はそれぞれ 0 以上の整数である。

まず、ブランチ N とブランチ U_1 に着目する。この 2 本について、前述の簡略化した自動レイアウトを実施する。この際、ブランチ U_1 の子ブランチは U_1 の移動に合わせて平行移動する。

次に、ブランチ U_1 とブランチ U_2 について自動レイアウトが必要かどうか調査し、必要であれば同様にレイアウトを行う。これを繰り返して、 U_q までのブランチとそれらの子ブランチの自動レイアウトを実施する。

さらに、ブランチ D_1 から D_r までについても同様に自動レイアウトを行う。以上の処理を行うことで、マップ全体の自動レイアウトが実現できる。

3.8 アイデア記述エリアの提供

3.8.1 エリア提供の目的

アイデア記述エリアの提供は、アイデアが枠で囲まれないブランチ型の図に特有の要素技術である。

予備実験 2 で明らかになったとおり、タブレット PC などを用いた手書き入力では、紙とペンを使うときと比べて記述する文字などが大きくなる傾向がある。そこで、システムが利用者にアイデア記述エリアを提供し、そこに書かれたアイデアのストロークをエリアから図に転載する際に自動縮小することで、描画領域の有効活用を図る。

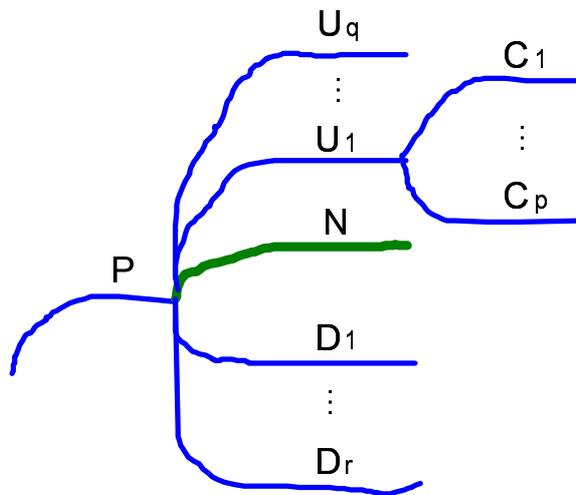


図 3.11: ブランチ配置の一般化

システムにとって、アイデアのストロークは一定の形状や規則を持っておらず、他の要素と正しく区別することが困難である。アイデア記述エリアを提供することにより、システムはエリア内のストロークをアイデアと認識することが容易になる。この認識率の向上により、利用者はシステムの認識を訂正する必要性が減少し、結果的にアイデアの発想を阻害しなくなると考えられる。

3.8.2 要素技術の開発

利用者がブランチ線を描画すると、システムによって線上に矩形が表示される。この矩形がアイデア記述エリアとなる。利用者は矩形の内部にアイデアを書き込む。書き込んだアイデアはシステムによって自動的に縮小され、図に転載される(図 3.12)。

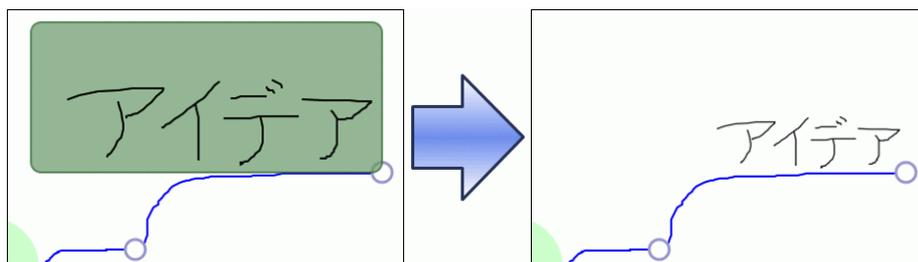


図 3.12: アイデア記述エリア(左)と自動縮小結果(右)

アイデア記述エリアの内部に記述されたストロークの点集合を行列 A で表現すると、 s 倍に縮小後のストローク R は次のような演算を行うことで生成することができる。

$$R = A \begin{bmatrix} s & 0 & (s-1)cx \\ 0 & s & (s-1)sy \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

これは、中心座標が (cx, cy) であるアイデアストロークを表す行列 A を s 倍に縮小し、元のストロークと中心が同じ位置になるように平行移動する操作である (図 3.13)。倍率 s は予備実験 2 の結果をもとに、本研究では以下のように算出した。

$$\begin{aligned} s &= \text{average(紙上での文字サイズ)} / \text{average(タブレット PC 上での文字サイズ)} \\ &= 2.30 / 3.59 \\ &= 0.64 \end{aligned}$$

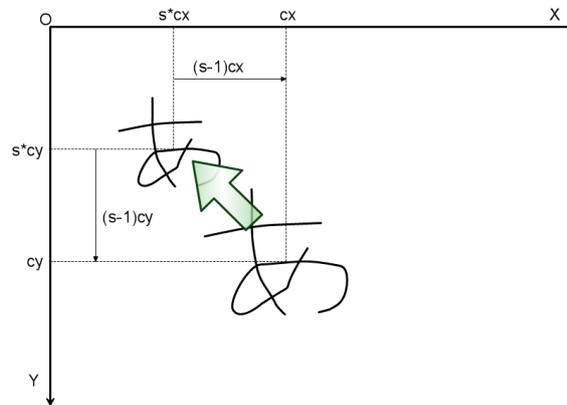


図 3.13: ストロークの縮小と平行移動

第4章 放射状マップによるアイデア記録・整理ツール

前章では、ブランチ型の図にである放射状マップに対して活用できる要素技術を提案した。本章ではそれらを元に開発した、アイデアを記録・整理するツール“Twill”[41]について述べる。

4.1 ツールの概要

開発したツールは、放射状マップを活用してアイデアの記録・整理を実施することができる。利用者はタッチパネル付き画面を備えた計算機やタブレットPC上でツールを起動し、スタイラスを用いて手書きでアイデアを記述していく(図4.1)。要素技術に基づく機能はシステムが自動的に実行するため、利用者は「アイデアを記述する」という作業に集中することができる。

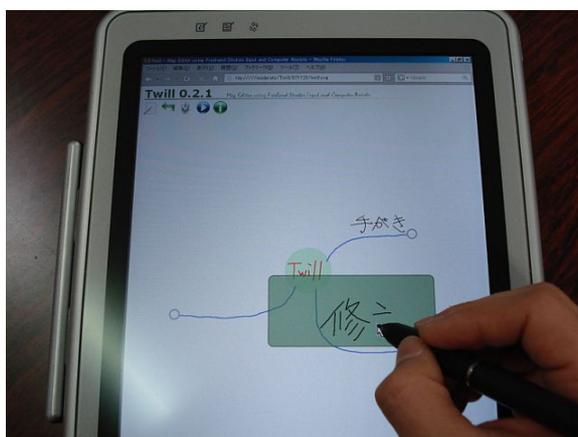


図 4.1: Twill を利用している様子

4.2 ツールが備える機能

本ツールが備える機能は以下の通りである。a, b および c は 3 章で述べた要素技術を活用する機能である。d と e については、計算機によるアイデア記録・整理支援のための機能である。この 2 機能については次節以降で詳説する。

- a. 図の論理構造を保持した移動操作
- b. ブランチのレイアウト支援
- c. アイデア記述エリアの提供
- d. 発展が停滞しているブランチの指摘機能
- e. ペンジェスチャ機能

4.3 発展が停滞しているブランチの指摘

4.3.1 発展停滞ブランチの扱いについて

放射状マップはテーマから様々な方向にアイデアを展開できる形式の図である。しかしアイデアは常に全方向にまんべんなく発想されるとは限らず、マップが大規模になるにつれて発想が停滞したり、存在を忘れられてしまうブランチが発生する恐れがある。このようなブランチは利用者にとって発想の対象となっていないが、さらに思考することで有用なアイデアが発想される可能性もある。

そこで本ツールでは、このような発展が停滞したブランチをシステムが検知し、利用者に対して指摘する機能を実装した。発展が停滞しているブランチを指摘することで、利用者幅広い発想を促し、全体的なアイデアの質向上に貢献できる。

4.3.2 発展停滞指摘の具体例

図 4.2 に、指摘の具体例を示す。この図は「停滞の指摘」というテーマでアイデアを記録・整理している途中の様子である。深さ 1 のブランチとして「アルゴリズム」「提示方法」という 2 つのブランチがある。このうち「提示方法」については様々な意見が生まれ、記録されているが、「アルゴリズム」については手つかずのままである。このような状況の場合、システムによって「アルゴリズム」のブランチ端アイコンの色が変更される。ツール利用者はアイコンの変化から発展停滞しているブランチに気づき、そのブランチについて発想を広げることができるようになる。

4.4 ペンジェスチャ機能

4.4.1 ペンジェスチャへの対応の目的

本ツールでは、描画されるストローク以外にも、いわゆるペンジェスチャによるコマンド入力にも対応する。ペンジェスチャに対応することで、利用者が描画以外にも実施したい操作を簡単に、自然に実施できることを目的とする。

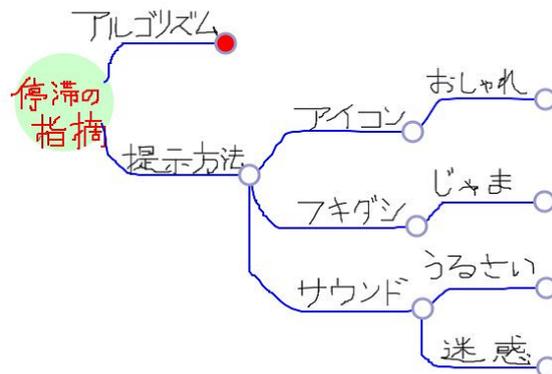


図 4.2: 発展停滞ブランチの指摘

4.4.2 実装した機能

ペンジェスチャによって実現する機能として、今回はブランチ線を太くする機能を実装した。放射状マップを描画していると、利用者の中で重要度を高く設定したいアイデアが生まれることが考えられる。そのようなアイデアをマップの中で目立たせる方法として、本ツールでは「ブランチ線を太くする」というアプローチを採用した。

4.4.3 線をなぞるメタファの採用

紙とペンを用いたブランチ線記述の場合、線を太くするためには「既存の線をなぞる」という方法をとる。この方法は多くの描画者にとって自然な方法であると考えられるため、本ツールにおいても線をなぞって太くするというメタファを採用した。

図 4.3 のように、既存のブランチ線をなぞるストロークをひくと、そのストロークは描画されず、なぞられたブランチの太さが太くなる。

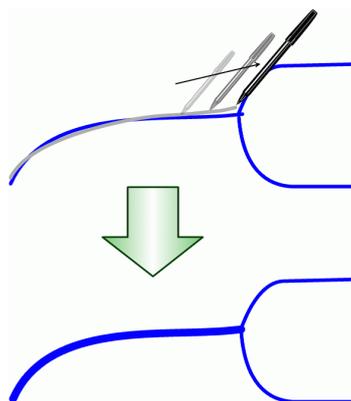


図 4.3: ブランチを太くするペンジェスチャ

4.5 ツール利用シナリオ

具体的な活用事例を用いて、本ツールの利用方法を解説する。

研究室の新人勧誘のため、研究室公開(オープンハウス)を企画することを考える。利用者はツールを起動し、中央のテーマ記述エリアに「オープンハウス」と記述する。このテーマに沿って、まずは検討すべき項目を挙げていく。図 4.4 の時点では、テーマを書き終わり、検討すべき一つ目のアイデアを記述しているところである。アイデア記述エリアが提示され、利用者は大きめの文字を記述できる。アイデア記述が終了したら、エリアをタップすることで記述エリアを終了し、書いたアイデアを縮小することができる。

検討すべき項目を挙げた後は、それぞれの項目について具体的な案を出していく。図 4.5 ではオープンハウスを開催する場所や日時候補が挙がっている。一方で、研究室紹介を行う発表者や必要な準備についての検討がなされていない。利用者はこれらのブランチ端に表示されているアイコンを確認し、検討課題がもれなく検討されるようにアイデアの記録・整理を実施していく。

準備のブランチはアイデアがすぐに浮かび、書くことができたが、発表者を誰に依頼するかはもう少し検討する必要がある。そこで、このブランチは要検討事項で忘れたくないので、ブランチをジェスチャで太くして目立つようにした(図 4.6)。そしてこのブランチはいったん保留し、他のブランチのアイデアについてさらに検討を続ける(図 4.7)。

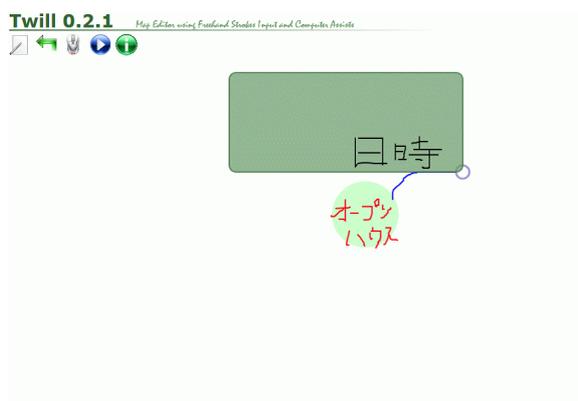


図 4.4: テーマを書き，最初のアイデアを書いている様子

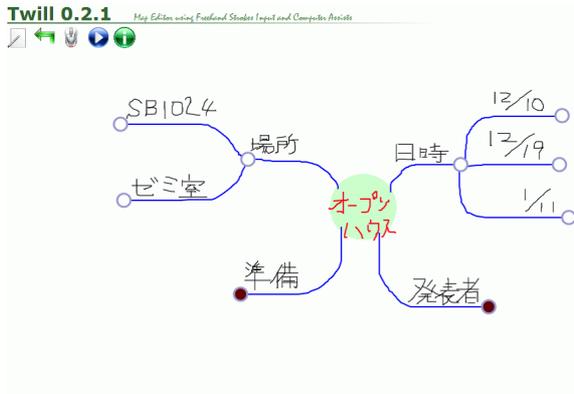


図 4.5: 発展停滞しているブランチが指摘される様子

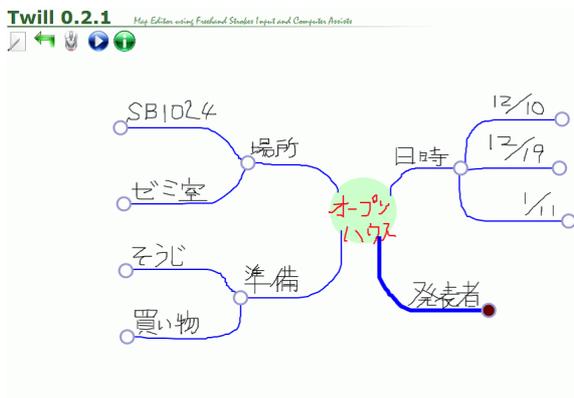


図 4.6: 発展停滞ブランチの検討とブランチの太線ジェスチャ

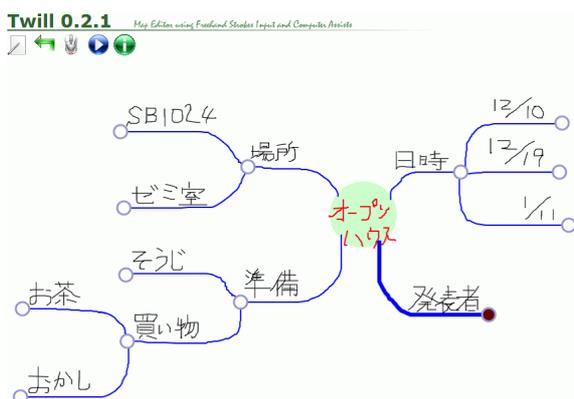


図 4.7: さらなるアイデア記録・整理作業の実施

第5章 ツールの開発

5.1 ツール開発の概要

本ツールを開発し、4章で述べた機能を実装するためには、以下のような点を踏まえる必要がある。それぞれについて次節以降で述べる。

- 書かれたストロークがどのような属性を持つのか自動的に判別する
- 各機能を実現するモードの切り替え方法を決定する
- 手書きストロークを扱うデータ形式を決定する

また、4章で述べた各機能について、それぞれどのような実装によって機能を実現するのか検討する必要がある。

本章ではまず、ツールがどのようにストローク属性を判別しているのか、モードをどのように切り替えるのかについて述べる。次に採用したデータ形式について述べ、実装言語と動作環境を説明する。さらに、システム全体の構成を紹介するとともに、4章で述べた各機能の実装方法を述べる。

5.2 ストロークの属性自動判別

ツールの機能を実現するためには、描画されたストロークがどのような意味を持つのかシステムが判別できなければならない。ストロークの自動判別は、計算機上でも紙とペンを使うときとほぼ同様の自然さを描画者に提供するために必要な機能である。

我々が紙とペンを使って放射状マップを描画するとき、自分がアイデアを書いているのかブランチ線を書いているのかという区別は、意識下で行っているに過ぎない。すなわち、紙上には物理的に同様の線として描画されており、属性の区別というものは読み取れない。我々は文脈や知識を用いてそれらを解釈しているため、物理的な区別がないことで不便を感じることは少ないが、計算機上で同様の作業を行うとシステムは属性を区別できない。

開発するツールは、描画されたストロークの関係性から属性を自動判別する機能を搭載する。この機能を採用することで、描画者は紙とペンを使っているときと同様の自然さで描画することが可能になり、システムは描画者の曖昧なストロークを適切に判別することが可能になる。

本ツールでは以下の条件により、ストロークの属性自動判別を行う。

1. 描画エリア中央に書かれたストロークはテーマを構成する
2. エリア中央から伸びる曲線はブランチ線である
3. あるブランチ線の終端付近から伸びる曲線は、そのブランチ線を親とする新しいブランチ線である
4. ブランチ上のアイデア記述エリアに書かれたストロークはアイデアを構成する

テーマを書く「描画エリア中央」の大きさや、「ブランチ線の終端付近」などは、手書きという曖昧な入力を使っているため、最適な大きさを厳密に定義することは難しい。予備実験1が示すように、手書きによる線は対象にちょうど接することは少なく、わずかに離れることが多い。そこで、エリア中央のテーマ記述部分やブランチ線終端に大まかな大きさを示すものを提示し、それよりも一回り大きい認識エリアを設定することで、利用者のストロークと対象のギャップを埋めるようにした。

テーマ記述部分の場合、現在の実装ではマップ中央に半径 50 ピクセルの円を表示し、利用者にこの円付近にテーマを書くことを促している。実際は円よりも大きい半径 80 ピクセルの領域を認識エリアとして持っており、円からはみ出したストロークもテーマとして認識が可能である。ブランチ線の接続の場合、ブランチ端に半径 10 ピクセルのアイコンを表示している。このアイコン内部から引いたストロークは新しいブランチになるが、実際は半径 20 ピクセルの認識エリアを持っており、アイコンから離れている点から書き始めたストロークも、同様にブランチとして認識できる。

5.3 モード遷移

本ツールではストローク描画だけでなく、ブランチ移動などいくつかの操作が可能である。これらはツール内部でモードが変更されることで実現されるが、その変更の際にも、なるべく自然な動作になるよう留意した。

アイデアの記録・整理で最も多く使うモードはストロークの描画であると考えられる。そのため、通常モードとしてストローク描画モードを規定する。このモードではストロークの属性自動判別機能が有効である。

ブランチを描画すると、アイデア記述エリアが表示され、システムはアイデア記述モードに移行する。このモードはストローク描画モードとほぼ同じであるが、属性の自動判別は行わず、全てのストロークをアイデア記述ストロークであるとみなす。アイデア記述モードからストローク描画モードに戻る場合は、利用者がアイデア記述エリアをタップすることでモード遷移を行う。アイデア記述の終了は利用者が明確に意識していると考え、意図的な動作によってモード遷移するようにした。

ブランチを移動したい場合は、利用者が移動対象ブランチの末端部分にスタイラスを 1 秒間ホールドすることで、システムがブランチ移動モードに移行する。これはブランチを「つかむ」という意識に近いため、利用者の意図的な操作ではあるが、自然な動作として受け入

れられるのではないかと期待した。プランチの移動が終わり、スタイラスが離れると自動的にストローク描画モードに戻る。

5.4 データ形式

本ツールは計算機上で手書きデータを処理する必要がある。手書きデータを処理するデータ形式は様々なものがあり、たとえば Microsoft Tablet PC Platform SDK[14] は C# 言語などで活用できる独自のデータ形式を提供している。

本研究では、手書きデータのデータ形式として SVG[2] を採用した。SVG とは Scalable Vector Graphics の略であり、XML によって記述されたベクターグラフィック言語である。ベクター形式であるため、描画したストロークの変形を行ってもデータの劣化が発生しない。また、XML で記述されているため、XML 形式に対応した既存の様々なアプリケーションでの活用も可能である。XML は木構造を持つマークアップ言語であり、DOM (Document Object Model)[1] を用いて編集が可能である。

SVG は現在、Mozilla Firefox¹ や Opera²、Safari³ など多くの Web ブラウザで表示が可能である。データ形式として SVG を採用することにより、利用者は本ツール専用のシステムを構築することなく、Web ブラウザを介して作業を行うことができる。また、ツールを Web 上で公開することにより、利用者は SVG 対応ブラウザとインターネット接続環境さえ用意すれば、いつでもどこでもツールを活用できるという付加的価値も生まれる。

5.5 実装言語と動作環境

開発したツールは描画部分に SVG を用いることに合わせ、処理部分に JavaScript を採用する。JavaScript は前述の Web ブラウザで標準サポートされており、DOM を利用して SVG データを操作することができる。

ツールの実装にあたっては、以下の公開されている JavaScript ライブラリを利用させていただいた。

- Prototype (prototype.js)⁴
- Rico (rico.js)⁵

ツールは実行環境として、タッチパネル付きディスプレイを搭載した計算機やタブレット PC など、手書き入力をサポートするハードウェアを備えた計算機を想定する⁶。アプリケー

¹<http://www.mozilla-japan.org/products/firefox/>

²<http://jp.opera.com/>

³<http://www.apple.com/jp/safari/>

⁴<http://www.prototypejs.org/>

⁵<http://openrico.org/>

⁶手書きが困難ではあると考えられるが、マウスを使って描画することもできる。

ションとしては、SVG と JavaScript に対応した Web ブラウザを想定する。ツール本体 (SVG ファイルや JavaScript など) はローカルに設置しても、Web 上に設置しても同様に利用が可能である。

5.6 処理の流れ

図 5.1 に、本ツールにおける処理の流れを示す。

最初に、システムは利用者がシステムに入力したストロークを解釈し、SVG ファイルにどのような変更を行うかを決定する。ストロークはテーマ、ブランチ線、アイデア記述ストローク、ジェスチャのいずれかに分類される。

ストロークがテーマであった場合は、ストロークのデータにテーマであるという属性を付加する。ブランチ線の場合は、ストロークのデータにブランチ線であるという属性を付加し、アイデア記述エリアを表示する。アイデア記述エリア内に描画されたストロークは全てアイデアとみなす。アイデアストロークの場合は、アイデアであるという属性を付加し、縮小してツール上に配置する。ジェスチャの場合はジェスチャ対象のストロークを判別し、そのストロークに対して適切な処理を実施する。

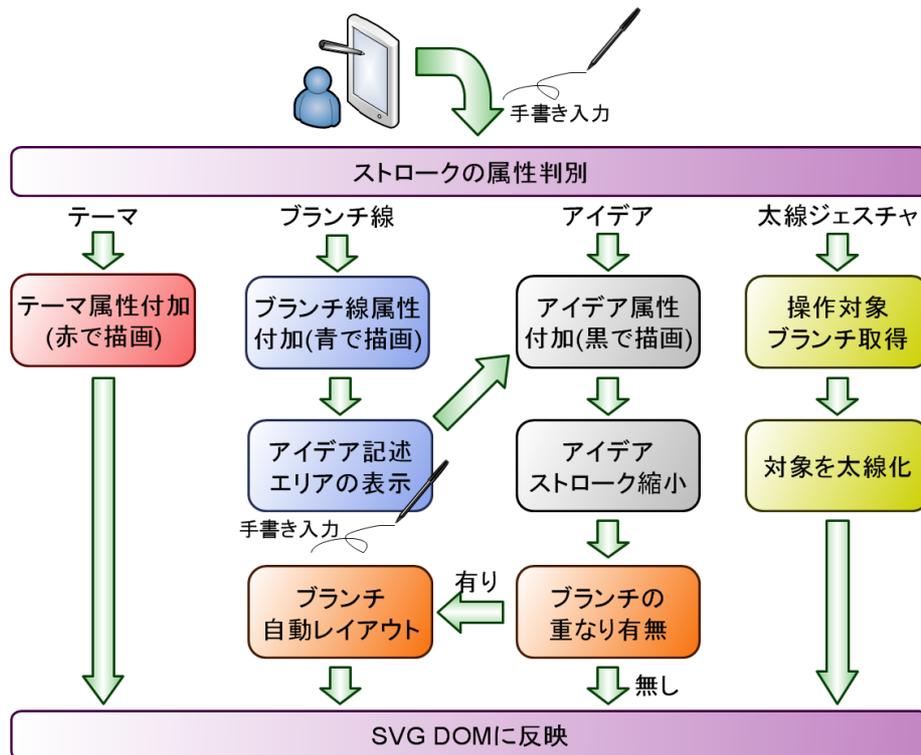


図 5.1: Twill の処理の流れ

5.7 ツールの構成

ツールは JavaScript と SVG 文書で構成される。

JavaScript はツールのコントロール部にあたる。実際の変更作業は、JavaScript が DOM API を用いて、SVG の DOM ツリーを直接書き換えることによって実現する。

SVG 文書は利用者に図を提供する部分である。ツールとしての枠組みはあらかじめ SVG 文書ファイルとして提供する。利用者の操作は JavaScript から DOM API を用いて SVG に通知され、メモリ上に展開されている SVG の DOM ツリーの変更によって表示が変更される。

5.8 機能の実装

5.8.1 発展が停滞しているブランチの指摘

利用者がツールにブランチ線を描画するたびに、システムは全ブランチの階層構造を調査し、各ブランチの深さを取得する。たとえば図 5.2 の場合、ブランチ A と B は深さ 1、ブランチ C と D は深さ 2、ブランチ E と F は深さ 3 となる。

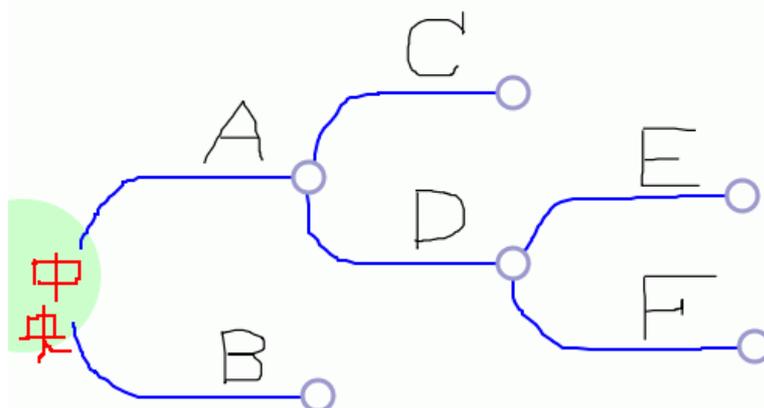


図 5.2: ブランチの深さ

ブランチの深さを取得した後、木構造のリーフにあたるブランチの深さのみを取り出し、その平均を丸めて整数で算出する。深さの平均値よりも浅いブランチは他のブランチに比べて発展が停滞しているとみなし、終端のアイコンを変更することで利用者に指摘する。

図 5.2 の場合では、リーフにあたるブランチは B, C, E, F であり、深さはそれぞれ 1, 2, 3, 3 である。よって、深さの合計値 Sum と深さの平均値 Ave(整数値) は次の通りである。Round は丸め関数である。

$$\text{Sum}(B, C, E, F) = 1 + 2 + 3 + 3 = 9$$

$$\text{Ave}(B, C, E, F) = \text{Round}(\text{Sum}(B, C, E, F)/4) = 2$$

よって、深さが 2 よりも小さいブランチ B は発展が停滞しているとみなされ、終端のアイコンが変更される。

5.8.2 ペンジェスチャによるブランチの太線化

ブランチを太くするジェスチャは、既存のブランチストロークを「なぞる」ことで実行される。「なぞる」動作の判別は、ストロークの始点と終点で判別する。新しく描画されたストロークの始点が、ある既存ストロークの端点付近にあり、終点と同じ既存ストロークのもう片方の端点の近くにある場合、新しいストロークはその既存ストロークを「なぞっている」とみなし、ジェスチャであると判断する。ジェスチャであると判断されたストロークは DOM に追加されず、代わりに既存ストロークの太さを変更する。

現在の実装におけるストロークの太さは、最初に描画したときに太さを w としたとき、 n 回なぞったときの太さを $(n+1)w$ としている。より強調したいブランチがある場合は、そのブランチを複数回なぞることで他のブランチよりも太くすることができる。

第6章 評価実験

6.1 実験の目的

開発したツールの有用性を評価するため，評価実験を実施した．特に，手書きという入力手法に対する印象，実装した各要素技術の有用性についてはツール試用後のアンケート調査を通して定量的に評価する．その他，ツールの全体的な印象や気づきについて，インタビュー形式で意見を収集する．

この評価実験によって，実装した各機能やツールそのものが利用者にとってどの程度使いやすいかを評価する．

6.2 実験方法

6.2.1 実験の概要

評価実験には22歳から25歳までの大学生および大学院生5名が被験者として協力した．被験者は全員がコンピュータサイエンス系の男子学生である．

被験者に提示した質問紙を付録Cに示す．今回はツールの実行環境として，50インチワイドプラズマディスプレイにタッチセンサを搭載した計算機を用いた．この計算機の主なスペックを表6.1に示す．

表 6.1: 評価実験で用いた計算機のスペック

項目	スペック
機種	自作
CPU	Intel Pentium 4 3.0GHz
RAM	1.0GB
ディスプレイ	Pioneer PDP-503CMX (50型ワイドプラズマディスプレイ)
タッチセンサ	SMART Board ¹ PX350
画面解像度	1280 × 768 ピクセル
OS	Microsoft Windows XP Professional SP2
アプリケーション	Mozilla Firefox 2.0.0.11

¹<http://smarttech.com/>

実験に用いるツール“Twill”は、Web ブラウザである Mozilla Firefox 上で実行される。なお、Twill のソースコード本体は実験に用いた計算機上に配置し、ローカルファイルとして読み込んでいる。

被験者はまず、実験担当者から以下の項目について 5 分間程度の簡単な説明を受ける。

- SMART Board システムを用いた手書き入力方法について
- 放射状マップを用いたアイデア記録・支援の方法について
- Twill の機能と使い方について

説明を受けた被験者には、ツールをしばらく自由に使ってもらい、機能や操作方法に慣れてもらう。ある程度使えるようになったところで被験者に実験手順書を提示し、実験を実施してもらった。実験終了後にアンケート調査およびインタビューを行い、ツールの使用感などを調査した。

6.2.2 実験課題

被験者に課した実験課題は次の通りである。

最初に、以下のうち、被験者が最も言及しやすい項目を選択する。

- 自分の研究テーマについて
- 所属組織(会社、サークルなど)での役職やイベントについて
- その他(実験担当者に要相談)

次に、項目に沿ったテーマを設定し、マップ中央にテーマを書く。そして、テーマから思いついたこと、連想したことなどを放射状に配置してもらう。なお、重要なアイデアが思いついた場合は、ブランチ線を太くするよう事前に伝えておいた。ある程度アイデアを出すことができたら実験終了となる。

6.2.3 評価方法

実験終了後、被験者にアンケートとインタビューを実施することにより評価を行う。アンケートはツールの各機能について、それぞれ「非常に便利」「まあまあ便利」「そこそこ不便」「かなり不便」の 4 段階で評価してもらった。また、必要に応じて各項目に関するコメントを自由記述で収集した。アンケートと同時にインタビューを行い、被験者がツールを試用しての感想や要望などを調査した。

アンケートについては、各機能についての評価を 3~0 点の得点に置き換え、数値化して検証する。コメントやインタビューについてはそれぞれの意見を取り上げ、議論する。

本実験では、評価方法が多分に被験者の主観によって実施される。これは、本研究が利用者にとっての自然なツール開発を目標としているため、被験者の好みなども反映される主観評価がより適切であると考えたためである。

6.3 実験結果

今回の実験では、被験者 1, 2, 3, 5 がマップ作成のテーマとして「自分の研究テーマについて」を選択し、被験者 4 が「Twill の使い勝手について」を選択した。ある被験者 (ID1) が書いたマップを図 6.1 に示す。各被験者が書いたマップの規模は表 6.2 の通りである。全ての被験者が 10 本以上のブランチを書いているが、5 人中 4 人が深さ 2 までのブランチしか書かなかった。今回の実験では描画時間が各 5 分程度と短かったため、作成されたマップは大規模なものにはならなかった。

各被験者が回答したアンケート結果を表 6.3 に従って点数化したものと、その平均を表 6.4 に示す。表の各項目は以下の内容を示している。また、「慣れ」は各被験者が計算機上での手書き入力に慣れているかどうかを 3 点満点で自己評価してもらったものである。

色分け テーマ、ブランチ線、アイデアを自動解釈し、色分けして表示する機能

自動縮小 アイデア記述エリアに記述されたアイデアを自動的に縮小して表示する機能

停滞指摘 発展停滞しているブランチをアイコンで指摘する機能

レイアウト 重なり合っているブランチを自動的にレイアウトして重なりをなくす機能

太線 ブランチをなぞるジェスチャによって、そのブランチを太くする機能

手動移動 ジェスチャ操作によってブランチを意図したとおりに移動させる機能

全体 ツール全体の印象

表 6.2: 評価実験の結果

ID	テーマ	ブランチ数	深さの最大値
1	研究について	16	2
2	研究について	12	2
3	研究について	10	2
4	Twill について	21	4
5	研究について	14	2
平均		14.6	2.4

得点換算に従うと、平均点が 2 以上であれば、その機能はおおむね好意的に受け入れられたと考えることができる。

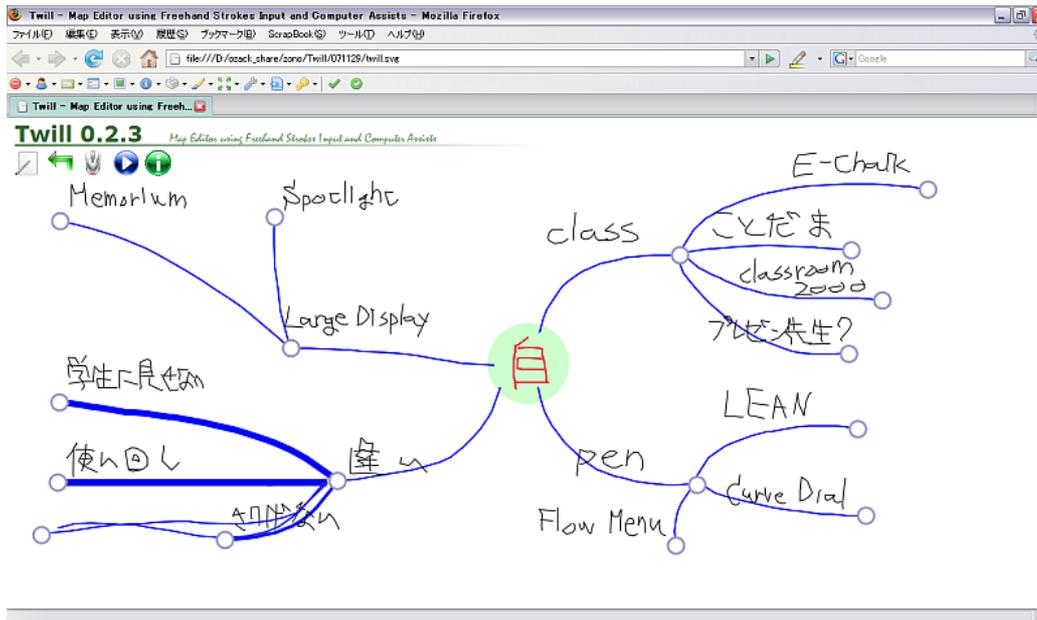


図 6.1: 評価実験で被験者 (ID1) が書いたマップ

表 6.3: 評価実験アンケート結果の得点換算

選択肢	配点
非常に便利	3
まあまあ便利	2
そこそこ不便	1
かなり不便	0

6.4 各機能に対するコメント

被験者にはアンケートとインタビューを通し、各機能やツールそのものについてのコメントをいただいた。それらの主なものを以下に示す。

テーマ、ブランチ線、アイデアの自動色分け機能

- どんな意味のストロークか一目で分かるのでよい
- 気にならなかったが、「気にならなかった」ことがいいことなのかもしれない
- テーマを色分けして意識的に区別する必要は感じられない

表 6.4: 評価実験アンケートの結果

ID	慣れ	色分け	自動縮小	停滞指摘	レイアウト	太線	手動移動	全体
1	3	2	3	3	2	2	2	2
2	2	3	1	2	2	2	2	2
3	2	3	2	3	1	3	2	3
4	1	2	3	2	0	2	3	2
5	3	2	2	2	1	3	1	2
平均	2.2	2.4	2.2	2.4	1.2	2.4	2.0	2.2

アイデアの自動縮小機能

- 手書きツールで感じる見た目の違和感が多少解消された
- 「...」や「i」などを書けない(タップだとみなされてしまう)
- 小さい文字をちまちまと書かなくていいのでよい
- 記述枠が小さい

発展停滞したブランチのアイコン色変更機能

- アイデアがどこでつながっているか、どこが途切れているかが分かりやすくなる
- あまり使わなかった
- アイデアが足りない場所を教えてくれるので便利である
- ブランチの深さだけで判別するのは停滞のイメージに合わない

ブランチの自動レイアウト機能

- 自動的に移動するのは便利である
- 移動によって見失ってしまうことがあるので、アニメーション効果を使って表示するとよいのではないか

ブランチ線を太くする機能

- あまり使わなかった
- 似たような機能で、ブランチ線ではなくアイデアのラベルそのものに丸囲みや下線を付記するようなものがあるとよい

ブランチの手動移動

- 自分でレイアウトを修正できて便利である
- ブランチ線描画と移動を間違えてしまうことがある

ツール全体の印象

- それぞれの機能は便利だが、アニメーションを効果的に使ったほうがよい
- アイデアの想起に役立っていると思う
- 複数人で使ってみたい

第7章 議論

7.1 評価実験結果を受けて

評価実験の結果、開発したツール“Twill”は被験者におおむね好意的に受け入れられた。実装した各機能についても、その有用性を感じられる結果となった。

被験者によっては、発展停滞指摘のアイコンやブランチ線を太くする機能をあまり利用しなかったと回答した。これは、今回の評価実験が各被験者5～10分程度のマップ作成活動を行っており、マップの規模が大規模にならなかったことが原因であると考えられる。しかしながら機能の有用性を感じられた被験者が多かったため、今後はより大規模なマップを作成する実験を通し、これらの機能の有用性を評価する必要がある。

本ツールで実装した要素技術は、停滞指摘や自動レイアウトなど、利用者が明示的に実行するのではなく、システムが自動的に実行するものが多かった。これらについては自動的に支援が好意的に受け入れられた。一方で、被験者が予想しない動作となることもあり、それがストレスになる危険性も示唆された。ある被験者から指摘されたように、アニメーション効果などを活用し、利用者に適切な提示方法でフィードバックを与えることが必要であると考えられる。

ブランチの自動レイアウト機能は変形によってアイデアとブランチ線の関係がずれる場合があり、他の機能に比べて低い評価となった。これは実装の問題であるため、適切に変形できるように実装を改善し、再評価する必要がある。

モード遷移については今後も検討の余地がある。太線ジェスチャの線をなぞるメタファがすぐに受け入れられた反面、手動移動の際のスタイラス保持や、アイデア記述エリア利用終了のタップなどは否定的な感想が寄せられた。これらの動作をトリガとすることは描画や思考の妨げとなる恐れもあるため、今後はより直感的で自然な操作方法を模索していくべきであろう。

発展停滞の指摘基準については、利用者の主観にあった判断基準を実装する必要がある。現在はブランチの深さだけを利用して判別しているが、明らかに停滞していると利用者を感じた部分が指摘されないなど、感覚との不一致がみられた。この点については被験者実験などを重ね、よりよい基準を考えていく必要がある。

今回の評価実験は、少人数の被験者で主観寄りの評価にとどまっている。今後はより多くの被験者を募り、客観的な評価を実施することで、ツールの有用性を定量的に評価していくことが望まれる。

7.2 本研究の位置づけ

図 7.1 に本研究の位置づけを図示する。この図において、縦軸は各研究対象が想定している入力方法、横軸はアイデアの記録・整理を主眼にしているかどうかを示している。従来の研究では、アイデアの記録・整理を主目的とした手書きツールの開発は多くない。本研究はこの領域を対象としている。

この領域に位置する既存研究として、Leafletnote[13]やDENIM[17]が挙げられる。Leafletnoteは手書きによるアイデアの保存や利用を支援するためのツールであるが、手書きストロークの論理構造は利用していない。本研究はストロークの論理構造を用いてアイデアの記録・整理を支援する点で異なっている。DENIMは手書きを用いてWebサイトを構築するツールであり、Webサイトをアイデアの一種とみなせば本研究と近いコンセプトを持っている。DENIMはWebサイトを構築するため、Webページを表す矩形でグループ化したストロークを扱う。これは本研究の分類に従うとノード型の図を対象としており、ブランチ型の図を対象とした本研究とは図の扱い方が異なっている。

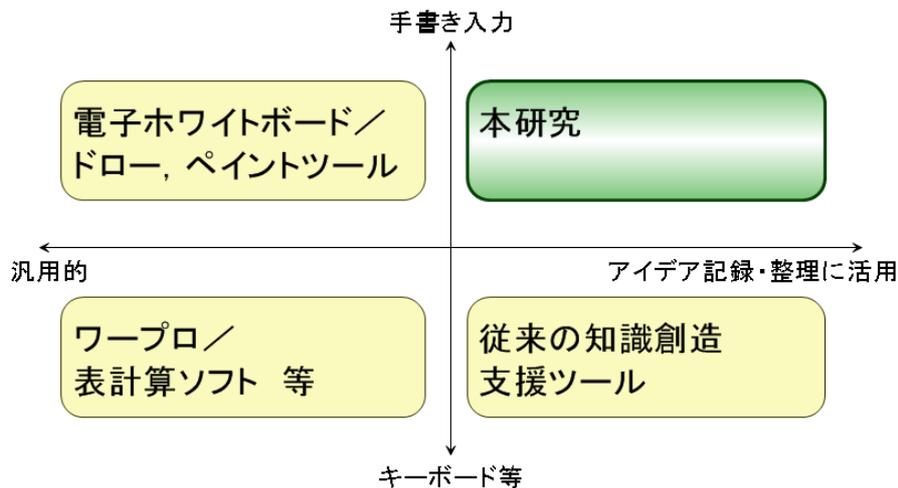


図 7.1: 本研究の位置づけ

従来のアイデア記録・整理ツールは、キーボードとマウスという従来の入力手法の制約内でいかに簡単に操作を行うかという点に主眼がおかれていた。本研究は入力手法そのものを変更することにより、利用者により直感的で簡単な操作体系を提供する。このことにより、利用者のアイデア発想が妨げられることが減少し、ひいてはアイデア発想の活性化に寄与することができるようになったと考えられる。

7.3 本研究の貢献

本研究ではまず、手書き入力の特徴を調査する予備実験を実施した。手書きの曖昧さを定量的に調査する試みを通して、手書き入力をより自然に活用するためのパラメータを得た。特に予備実験2は紙と計算機による手書きの違いを調査したものであり、計算機上での手書きの問題の一つである、小さい文字を書きにくいという点を解決するために必要な情報を得た。この情報についてはアイデア記述エリアの提供という形で、要素技術として開発した。

さらに、計算機上での手書きの問題を指摘し、それらを解決するための要素技術を提案・開発するとともにツールとして実装した。ツールは放射状マップを対象としており、アイデアを手書きによって論理的に記録・整理するための環境を提供した。

開発したツールは前節で述べたとおり、従来ほとんど研究されていなかった「アイデアの記録・整理を主目的とした手書きツール」の領域を対象としている。手書き入力を論理的に解釈し、放射状マップというブランチ型の図でまとめるというアプローチは、この分野における既存研究とは違った独自のものであると考えている。

7.4 今後の展望

要素技術の提示方法

現在の実装では、計算機が要素技術を用いた変更や結果は利用者にすぐ提示している。これは情報を遅延なく伝達できる反面、評価実験の被験者からは変化を追うことができない、突然提示されるので思考の妨げになるという意見をいただいた。今後は変更や結果の提示方法を検討し、ツール利用者の活動を妨げない提示を検討すべきである。提示のタイミングを調整したり、被験者からのコメントにあったようにアニメーションを活用することなどが解決策として考えられる。

知識創造支援技法との連携

本ツールは現在、放射状マップを利用してはいるものの、特定の知識創造技法を支援するためのツールではない。今後は支援技法の特徴的なルールに則った機能拡張を行い、KJ法やマインドマップなどの技法を活用できるツールに発展させることも可能であると考えている。機能拡張だけでなく、KJ法などノード型の図に応用する場合は、本ツールの実装を変更する必要がある。例えばブランチの自動レイアウト部分は、ノードのオーバーラップ解消アルゴリズム [12] の採用などで解決できると考えている。

共同作業支援ツールとしての発展

アイデアの記録・整理は個人で行うこともあるが、何人かのグループを作って実施することも考えられる。近年はネットワークの普及により遠隔地の仲間とコラボレーションする機

会も増加しているため、同じ場にはない仲間同士で放射状マップを共有できることは意義があると考えている。本ツールは JavaScript を用いて Web ブラウザ上で実行できる形で開発しているため、Ajax¹の技術などを用いることで共同作業支援ツールとして発展させることも可能であると考えている [40]。

¹Asynchronous JavaScript + XML の略で、Web ブラウザ内で非同期通信やインタフェースの構築などを行う技術の総称である。

第8章 関連研究

8.1 知識創造支援に関する研究

計算機による知識創造支援に関する研究の歴史は古く、初期のものとしては Stefik らによる Colab[26] などがある。一方で、「発想支援」と呼ばれるものにはどのような形態があるのかについても様々な研究や提案がなされており、折原 [36] や國藤ら [44] によってよくまとめられている。

知識創造支援ツールの開発は様々な研究者によってなされている。三末らは KJ 法の過程を図的思考展開過程としてとらえた対話型支援システム D-ABDUCTOR[33] を開発し、計算機的能力を活用することで発想支援の新しい可能性を実現した。鈴木らによる Brain Storming Engine[43] は、技法の一つであるブレインストーミングを計算機上で支援するツールである。

私は以前の研究で、計算機上で知識創造支援を行うツール“IdeaCrepe”を開発した [39, 22]。このツールは利用者の発想を妨げないことを念頭に開発したが、入力手法については未検討であった。本研究は、この研究のコンセプトを踏襲しつつ、入力手法の検討など発展をおこなったものである。

8.2 手書き入力の処理に関する研究

手書き入力は非常に有効な入力手法であるが、曖昧であるために計算機上で処理することは難しい。そのため、手書き入力をいかに正確に処理するかという点に主眼をおいた研究も活発である。

Arvo らは手書きのグラフを解析し、ノードの移動やエッジの変形などについての規則を調査した [5]。Kara らは手書きによるネットワーク図を解析・識別するコンセプトを定め、それに基づいて Matlab における手書きベースインタフェース“SimuSketch”を設計した [15]。Alvarado らが開発した SketchREAD[4] は手書きスケッチをドメインとして解析し、手書きの電気回路図などを解釈できる認識エンジンである。Landay らはスケッチによってインタフェース設計を行うために SILK を開発した [16]。

8.3 手書き入力を用いたツール開発に関する研究

手書きを用いた研究は多岐にわたっており [31]、一つのツール上でいろいろな機能を実現するものも開発されている [21]。また、手書き入力を用いたアプリケーションを開発するた

めのツールキットも開発されており，代表的なものとして SATIN がある [11]．

Tivoli は電子ホワイトボードシステム上で手書きの構造化された編集を提供する [24, 20, 19]．描画したものの構造をシステムが把握するという点では本研究と方向性が同じであるが，Tivoli は主にリストやテーブル構造を中心に解釈しており，放射状マップを対象とする本研究とは研究の対象が異なっている．

美崎らは計算機上で紙のシンプルさを追求し，手書きでメモを行うツール“SmartWrite”を開発した [42]．Gross による Electronic Cocktail Napkin[8] や Iwamura らによる Leafletnote[13] も，アプローチは異なるが画面上での手書きメモを活用するツールである．

Neustaedter らは，手書き入力をスケジュール管理に応用した [23]．これは家族での利用を対象とした研究であり，本研究と同様，手書き入力其自然さを活用した研究といえる．

大美賀，加藤らは，PDA で手書き入力をういてアイデアをメモするためのインタフェースを考案した [38, 29]．このインタフェースは画面上に様々なボタンを配置し，利用者が明示的に機能呼び出すようになっているが，本研究ではシステムが自動的に要素技術を活用でき，利用者がモードを意識する必要がない点で異なっている．

Hinckley らは手書きをその枠にとらわれず，ファイルなど様々な情報との連携を行うメモツールを開発した [10]．これは計算機の活用を別の視点から実施した研究事例といえる．

手書きが多用されている分野において，計算機を導入する試みも行われている．例えば学校の授業は従来より黒板を使った板書が広く用いられており，この分野に手書き入力をういた計算機を導入する研究も広く行われている．代表的なものとして，Classroom 2000 project[3] や E-Chalk[7] がある．

知識創造活動に限定せず，様々なネットワーク図の手書きによる作成と編集を目指したものとして DiagramPad[18] がある．本研究における「利用者の作業を妨げない」という理念はこの研究と共通するものである．

第9章 結論

本研究では，計算機上で手書き入力を用いてアイデアの記録・整理を実施するための環境を構築した．

最初に計算機上で手書き入力を利用することの利点と問題点を挙げ，手書き入力の持つ特性を調査するために2つの予備実験を実施した．この予備実験により，手書き入力の曖昧さや，紙上と計算機上における手書き入力の差異について定量的なデータを得た．問題点を解決するために，手書き入力を用いる際の要素技術を提案・実装した．この実装にあたっては，予備実験で得られた手書き入力の特性を参考にした．要素技術として，図の論理構造を保持した移動操作，ブランチの自動レイアウト支援，アイデア記述記述エリアの提供がある．要素技術を利用することにより，手書き入力の問題となる入力の曖昧さや，計算機上の手書きによる細かい記述の困難さといった問題が解消される．

さらに，要素技術を実装したツール“Twill”を実装し，評価実験を実施した．Twillは放射状マップを用いてアイデアの記録・整理を行うツールである．評価実験によって，ツールや要素技術の有用性が示され，利用者がアイデアの記録・整理を行う際に本研究の成果が効果的に活用できることが示唆された．

謝辞

本論文は多くの方々の助言と協力によって書き上げることができました。この場を借りてお礼申し上げます。

システム情報工学研究科田中二郎教授には、指導教員という立場から多くのご指導とご助言をいただき、いつも温かく支援していただきました。また、システム情報工学研究科三末和男准教授には、毎週のゼミや進捗報告をはじめとするきめ細かいご指導とともに、研究の方向性について多くのご助言をいただきました。システム情報工学研究科の志築文太郎講師、高橋伸講師からも、様々な視点からの多くのアドバイスをいただきました。深く感謝いたします。

システム情報工学研究科インタラクティブプログラミング研究室 (IPLAB) の皆様にも研究活動、私生活の両面に渡りお世話になりました。特にNAISグループの皆様は日々同じ研究室で研究し、語り合ったことで研究のヒントをいただいたことも少なくありません。心より感謝いたします。同学年のグループメンバーには特にお世話になりました。酒井慎司君からは大小様々な問題に対して、親身のアドバイスをいただきました。佐藤修治君からは計算機システムなどについて、多くのことを学ばせていただきました。鈴木優君はグループのリーダーとして、毎回のゼミ準備など大変お世話になりました。ありがとうございました。

評価実験にあたっては、2つの予備実験と本実験あわせて、のべ44名もの方々にご協力をいただきました。それぞれお忙しい時期であるにも関わらず被験者依頼を快諾していただき、本当にありがとうございました。自分の研究を外部の眼を通して見直す貴重な機会となりました。特に、所属サークルであるミュージカル集団ESSASSAの皆様が実験に参加していただいたことにより、幅広い層からの意見を得ることができました。ありがとうございました。

博士前期課程の2年間を無事に過ごすことができたのは、ひとえに両親・家族の支えによるものです。家族からの経済的、精神的なサポート無くしてこの研究は成し遂げられませんでした。ありがとうございました。

最後に、ここに全員を挙げることはできませんが、大学院で出会った全ての人に支えられたことに感謝いたします。本当にありがとうございました。

参考文献

- [1] W3C Document Object Model. <http://www.w3.org/DOM/>.
- [2] Scalable Vector Graphics (SVG). <http://www.w3.org/Graphics/SVG/>.
- [3] G. D. Abowd, C. Atkeson, A. Feinstein, C. Hmelo, R. Kooper, S. Long, N. Sawhney, & M. Tani. Teaching and Learning as Multimedia Authoring: The Classroom 2000 Project. In *Proceedings of the Fourth ACM international Conference on Multimedia (Multimedia '96)*, pp. 187–198, 1996.
- [4] C. Alvarado & R. Davis. SketchREAD: A Multi-Domain Sketch Recognition Engine. In *Proceedings of the 17th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST 2004)*, pp. 23–32, 2004.
- [5] J. Arvo & K. Novins. Appearance-Preserving Manipulation of Hand-Drawn Graphs. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques in Australasia and Southeast Asia (Graphite 2005)*, pp. 61–68, 2005.
- [6] T. Buzan & B. Buzan. *The Mind Map Book*. BBC Books, 1993.
- [7] G. Friedland, L. Knipping, R. Rojas, & E. Tapia. Teaching with an Intelligent Electronic Chalkboard. In *Proceedings of the 2004 ACM SIGMM Workshop on Effective Telepresence*, pp. 16–23, 2004.
- [8] M. D. Gross. The Electronic Cocktail Napkin – a Computational Environment for Working with Design Diagrams. *Design Studies*, Vol. 17, Issue 1, pp. 53–69, 1996.
- [9] A Survey of Concept Mapping Tools. <http://datalab.cs.pdx.edu/sidewalk/pub/survey.of.concept.maps/>.
- [10] K. Hinckley, S. Zhao, R. Sarin, P. Baudisch, E. Cutrell, M. Shilman, & D. Tan. InkSeine: *In Situ* Search for Active Note Taking. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2007)*, pp. 251–260, 2007.
- [11] J. I. Hong & J. A. Landay. SATIN: A Toolkit for Informal Ink-based Applications. In *Proceedings of the 13th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST 2000)*, pp. 63–72, 2000.

- [12] X. Huang, W. Lai, A. S. M. Sajeev, & J. Gao. A New Algorithm for Removing Node Overlapping in Graph Visualization. *Information Sciences*, Vol. 177, Issue 24, pp. 2821–2844, 2007.
- [13] N. Iwamura, K. Misue, & J. Tanaka. On-screen Note Pad for Creative Activities. In *Proceedings of the 10th International Conference on Knowledge-Based & Intelligent Information & Engineering Systems (KES 2006)*, pp. 835–842, 2006. LNAI 4253.
- [14] R. Jarrett & P. Su. *Building Tablet PC Applications*. Microsoft Press, 2002.
- [15] L. B. Kara & T. F. Stahovich. Hierarchical Parsing and Recognition of Hand-Sketched Diagrams. In *Proceedings of the 17th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST 2004)*, pp. 13–22, 2004.
- [16] J. A. Landay & B. A. Myers. Sketching Interfaces: Toward More Human Interface Design. *IEEE Computer*, Vol. 34, Issue 3, pp. 56–64, 2001.
- [17] J. Lin, M. W. Newman, J. I. Hong, & J. A. Landay. DENIM: finding a tighter fit between tools and practice for Web site design. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2000)*, pp. 510–517, 2000.
- [18] K. Misue & J. Tanaka. A Handwriting Tool to Support Creative Activities. In *Proceedings of 9th International Conference on Knowledge-Based & Intelligent Information & Engineering Systems (KES 2005)*, pp. 423–429, 2005. LNAI 3684.
- [19] T. P. Moran, P. Chiu, & W. v. Melle. Pen-Based Interaction Techniques for Organizing Material on an Electronic Whiteboard. In *Proceedings of the 10th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST 97)*, pp. 45–54, 1997.
- [20] T. P. Moran, P. Chiu, W. v. Melle, & G. Kurtenbach. Implicit Structures for Pen-Based Systems Within a Freeform Interaction Paradigm. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '05)*, pp. 487–494, 1995.
- [21] E. D. Mynatt, T. Igarashi, W. K. Edwards, & A. LaMarca. Flatland: New Dimensions in Office Whiteboards. In *ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '99)*, pp. 346–353, 1999.
- [22] N. Nakazono, K. Misue, & J. Tanaka. IdeaCrepe: Creativity Support Tool With History Layers. In *Proceedings of the 10th International Conference on Knowledge-Based & Intelligent Information & Engineering Systems (KES 2006)*, pp. 843–850, 2006. LNAI 4253.
- [23] C. Neustaedter & A. J. B. Brush. “LINC-ing” the Family: The Participatory Design of an Inkable Family Calendar. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2006)*, pp. 141–150, 2006.

- [24] E. R. Pedersen, K. McCall, T. P. Moran, & F. G. Halasz. Tivoli: An Electronic Whiteboard for Informal Workgroup Meetings. In *Proceedings of the INTERACT '93 and CHI '93 Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 391–398, 1993.
- [25] J. Schmann, T. Strothotte, A. Raab, & S. Laser. Assessing the Effect of Non-Photorealistic Rendered Images in CAD. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems: Common Ground (CHI 96)*, pp. 35–41, 1996.
- [26] M. Stefik, G. Foster, D. G. Bobrow, K. Kahn, S. Lanning, & L. Suchman. Beyond the Chalkboard: Computer Support for Collaboration and Problem Solving in Meetings. *Communications of the ACM*, Vol. 30, No. 1, pp. 32–47, 1987.
- [27] J. D. ノヴァック, D. B. ゴーウィン. 子どもが学ぶ新しい学習法: 概念地図法によるメタ学習. 東洋館出版社, 1992. 福岡敏行, 弓野憲一 監訳.
- [28] ジェームス W. ヤング. アイデアの作り方. 阪急コミュニケーションズ, 1988. 今井茂雄 訳.
- [29] 加藤直樹, 大美賀かおり, 中川正樹. 携帯型ペン入力情報機器におけるペンジェスチャ入力指示インタフェース. *情報処理学会論文誌*, Vol. 41, No. 9, pp. 2413–2422, 2000.
- [30] 久恒啓一. 図で考える人は仕事ができる. 日本経済新聞社, 2002.
- [31] 五十嵐健夫. スケッチインタフェースの研究動向. *コンピュータソフトウェア*, Vol. 23, No. 4, pp. 3–13, 2006.
- [32] 高橋誠. 問題解決手法の知識. 日本経済新聞社, 1984.
- [33] 三末和男, 杉山公造. 図的発想支援システム D-ABDUCTOR の開発について. *情報処理学会論文誌*, Vol. 35, No. 9, pp. 1739–1749, 1994.
- [34] 出原栄一, 吉田武夫, 渥美浩章. 図の体系 – 図的思考とその表現. 日科技連, 1986.
- [35] 石川馨. 品質管理入門. 日科技連, 1989. 第3版.
- [36] 折原良平. 発想支援システムの動向. *情報処理*, Vol. 34, No. 1, pp. 81–87, 1993.
- [37] 川喜田二郎. 発想法. 中公新書, 1967.
- [38] 大美賀かおり, 加藤直樹, 中川正樹. 手書きインタフェース統合環境におけるアイデアメモ PDA. 第14回ヒューマンインタフェースシンポジウム論文集, pp. 543–548, 1998.
- [39] 中園長新, 三末和男, 田中二郎. IdeaCrepe: 履歴レイヤー構造を持つ知識創造支援ツール. 第3回知識創造支援システム・シンポジウム予稿集, pp. 84–91, 2006.

- [40] 中園長新, 三末和男, 田中二郎. 共同作業のための創造支援作図ツール. 第14回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ(WISS 2006) 予稿集, pp. 131–132, 2006.
- [41] 中園長新, 三末和男, 田中二郎. 放射状のマップを用いたアイデア記録を支援する手書きツール. 第70回情報処理学会全国大会, 2008. 発表予定.
- [42] 美崎薫, 加藤直樹. SmartWrite: 紙のシンプルさを追求した手書きメモツールの開発. 第13回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ(WISS 2005), pp. 37–42, 2005.
- [43] 鈴木真一郎, 高橋和之, 小野哲雄. ブレインストーミング支援ツール –Brain Storming Engine–. インタラクション 2006 論文集, pp. 183–184, 2006.
- [44] 國藤進, 山下邦弘, 西本一志, 藤波努, 宮田一乗. 知識創造支援システム研究開発の動向とJAISTにおける開発の現状. 第1回知識創造支援システム・シンポジウム報告書, pp. 1–10, 2004.
- [45] 廣川佐千男, 池田大輔, 田口剛史. リンク情報からの知識網構成. 発見科学とデータマイニング, pp. 272–281. 共立出版, 2001.

付録A 予備実験1で用いた質問紙

今回の実験について

実験コード A01-1

被験者ID

この度は実験にご協力いただき、ありがとうございます。
本実験は、「手書き」における図形の描画方法について調査する予備実験です。
簡単な実験ですので、深く考えず、思った通りに回答してください。

なお、実験時に収集した個人情報(メールなど)は実験に関する連絡や報告以外の用途では使用いたしません。

実験で得られたデータは個人が特定できない形で統計的に処理され、学内外で発表する論文などで利用します。また、研究遂行上の必要に応じて、研究室内の共同研究者とデータを共有することがあります。

本実験はいつでも中断・辞退できます。中断や辞退によって被験者の方が不利益を被ることはありません。

本実験についてのご質問・要望などがございましたら、実験コードと被験者IDを明記の上、以下のメールアドレスまでお気軽にご連絡ください。

実験担当者 中園 長新(なかその ながよし)

メール zono@iplab.cs.tsukuba.ac.jp

Web <http://www.iplab.cs.tsukuba.ac.jp/~zono/>

研究室 第三学群C棟 3C316(内線 5402)

筑波大学大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻
インタラクティブプログラミング研究室(田中研究室)

<http://www.iplab.cs.tsukuba.ac.jp/>

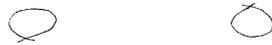
実験終了後、本紙はお持ち帰りください

予備実験シート

実験コード: A01-1 ID:
実験日:

Q. 下にある図形の組を指示に従って矢印でつないでください。

例)  (左から右へ)

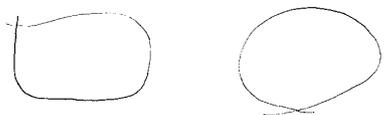
1.  (左から右へ)

2.  (左から右へ)

3.  (右から左へ)

4.  (左から右へ)

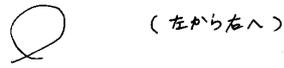
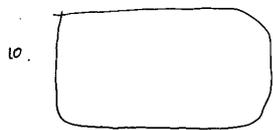
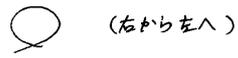
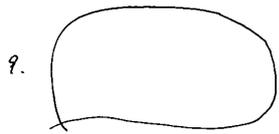
5.  (右から左へ)

6.  (左から右へ)

7.  (右から左へ)

8.  (左から右へ)

A01-1 1



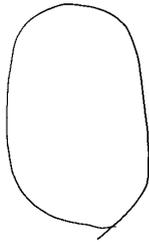
11.



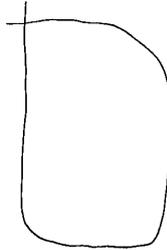
12.



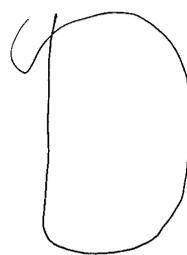
13.



14.



15.



(上から下へ)



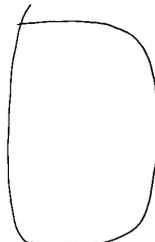
(上から下へ)



(下から上へ)



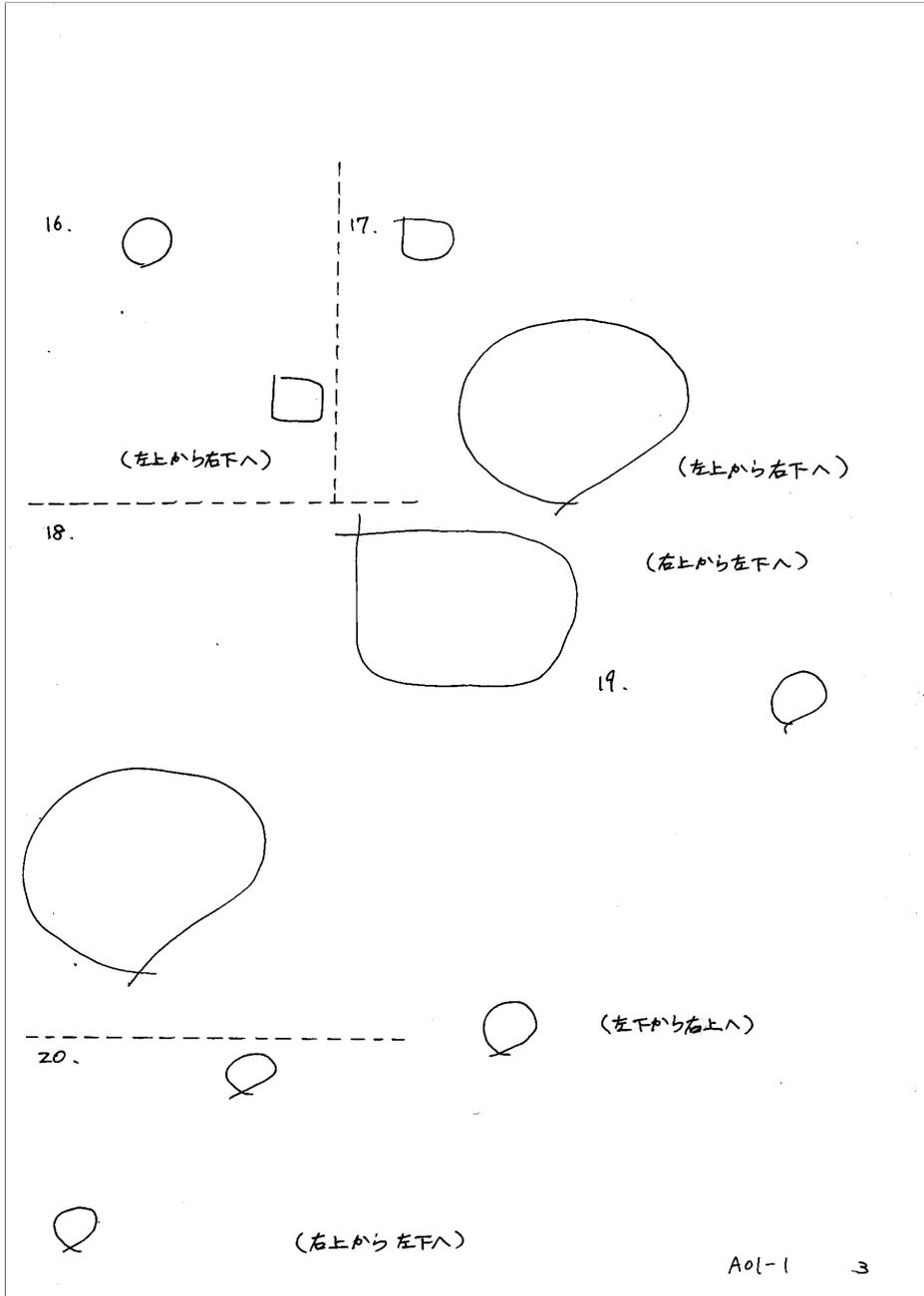
(下から上へ)



(上から下へ)

A01-1

2



付録B 予備実験2で用いた質問紙

今回の実験について

実験コード A02-1

被験者 ID

この度は実験にご協力いただき、ありがとうございます。
本実験は、「手書き」における文字の描画方法について調査する予備実験です。
簡単な実験ですので、深く考えず、思った通りに回答してください。

実験で得られたデータは個人が特定できない形で統計的に処理され、学内外で発表する論文などで利用します。また、研究遂行上の必要に応じて、研究室内の共同研究者とデータを共有することがあります。

本実験はいつでも中断・辞退できます。中断や辞退によって被験者の方が不利益を被ることはありません。

本実験についてのご質問・要望などがございましたら、実験コードと被験者 ID を明記の上、以下のメールアドレスまでお気軽にご連絡ください。

実験担当者 中園 長新 (なかぞの ながよし)

メール zono@iplab.cs.tsukuba.ac.jp

Web <http://www.iplab.cs.tsukuba.ac.jp/~zono/>

研究室 3C 棟 3C316 (内線 5402)

筑波大学大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻
インタラクティブプログラミング研究室 (田中研究室)

<http://www.iplab.cs.tsukuba.ac.jp/>

実験終了後、本紙はお持ち帰りください

実験手順書 1

実験コード： A02 - 1

ID：

実験日：

この予備実験は3ステップで構成されています。
実験手順はひとつずつ提示しますので、順番に進めてください。

予備実験 1

以下の欄に、自分が普段利用している筆記用具(シャープペンなど)を用いて、指示された文章を「なるべく小さい字で」書いてください。句読点も正しく書いてください。

ただし、書いた字が正しく判別できる程度の読みやすさは保ってください。
(ノートの端の狭い空欄にメモする感覚で書いてください)

書き取り文章

私は、筑波大学でComputerを研究しています。

書き取りスペース

書き取りが終わったら、実験担当者にこの紙を提出して「実験手順書 2」を受け取ってください。

実験手順書 2

実験コード： A 0 2 - 1

ID：

実験日：

予備実験 2

お貸しした機器は「タブレット PC」といって、計算機のディスプレイ表面にセンサが取り付けられており、スタイラス (ペン) を使って画面に直接書き込める機器です。この機器を使って、以下の作業を行ってください。

タブレット PC 上で起動している「ペイント」のキャンバスに、指示された文章を「なるべく小さい字で」書いてください。句読点も正しく書いてください。ただし、書いた字が正しく判別できる程度の読みやすさは保ってください。(ノートの端の狭い空欄にメモする感覚で書いてください)

なお、うまく書けない場合は書き直しをしても構いません。複数個書いた場合は、最も上手に書けたと思うものをひとつ選択してください。失敗は消しても消さなくても問題ありません。

書き取り文章

私は、筑波大学でComputer を研究しています。

書き取りが終わったら、実験担当者にこの紙を提出してアンケート用紙を受け取ってください。タブレット PC はご返却ください。

次のアンケートで予備実験は終了です。

予備実験アンケート

実験コード： A 0 2 - 1

ID：

実験日：

Q1. あなた自身について教えてください。

年齢 歳 男 ・ 女 右利き ・ 左利き

コンピュータサイエンス系 ・ その他理系 ・ 文系 ・ 芸術系 ・ その他

Q2. 今回の実験で、どちらが小さい文字を書きやすいと感じましたか。

紙 ・ タブレット PC ・ どちらも書きやすい ・ どちらも書きにくい

Q3. あなたの以下の経験について、その頻度を教えてください。

A. 紙にペンで文字を書く頻度

ほぼ毎日 ・ 週3~5回程度 ・ 月数回程度 ・ 年数回程度 ・ それ以下

B. ペンタブレットなどを「文字や図形を書く」目的で使う頻度(注を参照)

ほぼ毎日 ・ 週3~5回程度 ・ 月数回程度 ・ 年数回程度 ・ それ以下

C. タブレット PC や計算機のタッチパネルなどを「文字や図形を書く」目的で使う頻度(注を参照)

ほぼ毎日 ・ 週3~5回程度 ・ 月数回程度 ・ 年数回程度 ・ それ以下

D. ニンテンドー DS や iPod touch などの小型デバイスで「文字や図形を書く」目的で手書き入力を使う頻度

ほぼ毎日 ・ 週3~5回程度 ・ 月数回程度 ・ 年数回程度 ・ それ以下

注：

ペンタブレットなど

画面とは別の場所でスタイラスを操作するタイプの手書き入力デバイス

タブレット PC や計算機のタッチパネルなど

画面の表面にセンサがあり、指やスタイラスで直接操作するタイプの手書き入力デバイス

イス

付録C 評価実験で用いた質問紙

今回の評価実験について

実験コード B01-1

被験者 ID

実験日

この度は実験にご協力いただき、ありがとうございます。

本実験は、手書き入力を用いた放射状マップ作成ツール“Twill”の試用を通して、ツールの有用性を調査するための評価実験です。

回答に正解・不正解はありませんので、思った通りに回答してください。

実験で得られたデータは個人が特定できない形で統計的に処理され、学内外で発表する論文などで利用します。また、研究遂行上の必要に応じて、研究室内の共同研究者とデータを共有することがあります。

本実験はいつでも中断・辞退できます。中断や辞退によって被験者の方が不利益を被ることはありません。

本実験についてのご質問・要望などがございましたら、実験コードと被験者 ID を明記の上、以下のメールアドレスまでお気軽にご連絡ください。

実験担当者 中園 長新 (なかその ながよし)

メール zono@iplab.cs.tsukuba.ac.jp

Web <http://www.iplab.cs.tsukuba.ac.jp/~zono/>

研究室 3C 棟 3C316 (内線 5402)

筑波大学大学院システム情報工学研究科コンピュータサイエンス専攻
インタラクティブプログラミング研究室 (田中研究室)

<http://www.iplab.cs.tsukuba.ac.jp/>

実験終了後、本紙はお持ち帰りください

実験手順書

実験コード：B 0 1 - 1

ID：

実験日：

ツールの使い方について説明を受け、実際に機能を体験した後で、以下の手順で実験を行ってください。

- 1．以下のうち、自分が最も言及しやすい項目をお選びください。
 - ・自分の研究テーマについて
 - ・所属組織(会社，サークルなど)での役職やイベントについて
 - ・その他(実験担当者にご相談ください)
- 2．マップ中央に，選択した項目に沿ったテーマを書いてください。
- 3．テーマから思いついたこと，連想したことなどを放射状に配置して行ってください。
- 4．重要なアイデアが思いついた場合は，ブランチ線を太くしてください。
- 5．ある程度アイデアを出すことができれば実験終了です。
- 6．最後に，アンケートにご協力ください。

評価実験アンケート

実験コード： B 0 1 - 1

ID：

実験日：

Q1. あなた自身について教えてください.

年齢 歳 男 ・ 女 右利き ・ 左利き

コンピュータサイエンス系 ・ その他理系 ・ 文系 ・ 芸術系 ・ その他

Q2. あなたはタブレット PC など, 画面に直接手書きできる機器による, 文字や図形の描画にどれくらい慣れていますか

慣れている ・ やや慣れている ・ あまり慣れていない ・ 全く不慣れ

Q3. 今回の実験で選んだテーマを書いてください.

Q4. ツールによる以下の各機能について, 評価とコメントをお願いします.

A. テーマ, ブランチ線, アイデアの自動色分け機能

非常に便利 ・ まあまあ便利 ・ そこそこ不便 ・ かなり不便 ・ 未使用

B. アイデアの自動縮小機能

非常に便利 ・ まあまあ便利 ・ そこそこ不便 ・ かなり不便 ・ 未使用

C. 発展停滞したブランチのアイコン色変更機能

非常に便利 ・ まあまあ便利 ・ そこそこ不便 ・ かなり不便 ・ 未使用

D. ブランチの自動レイアウト機能

非常に便利 ・ まあまあ便利 ・ そこそこ不便 ・ かなり不便 ・ 未使用

E. ブランチ線を太くする機能

非常に便利 ・ まあまあ便利 ・ そこそこ不便 ・ かなり不便 ・ 未使用

F. ブランチの手動移動

非常に便利 ・ まあまあ便利 ・ そこそこ不便 ・ かなり不便 ・ 未使用

G. ツール全体の印象

非常に便利 ・ まあまあ便利 ・ そこそこ不便 ・ かなり不便

Q4. 実験およびツールに対して、感想や要望をご自由にご記入ください。