

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

電子板書システムによる板書内容の再利用環境

酒井 慎司

(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

板書を用いた授業では、一度書いた板書内容を再利用したいと思う場面がしばしば見受けられる。授業支援に関する多くの研究が行われているが、それらはそのような場面の支援を行うには不十分なものであった。これまでの授業支援ツールにおける問題点を解決することで、上記のような「保存した板書内容を用いて新たに板書を行う場面」の支援を行うことが本研究の目的である。その達成のために、保存してある中から教師が再利用したいであろう板書内容を自動的に検索し推薦する電子板書システム: ガリバーを開発し、評価を行った。

ガリバーは、手書きのストローク群である板書内容を再利用の際に必要な図表、数式、文章といった単位に自動的にグルーピングし保存・管理する。そして教師が実際に板書内容を再利用する際のインターフェースとして、授業という「操作の当事者以外である学生にも常に見られている環境」を意識し開発したインターフェースを備えているという特徴を持つ。

評価の結果、ガリバーによって学生にはこれまでの授業の印象を保ちながら教師には板書内容の再利用という有用な授業環境を提供できたことが示された。

目 次

第1章 序論	1
1.1 従来研究	1
1.2 改善すべき点	2
1.3 研究の目的	4
1.4 本研究の貢献	4
第2章 理想とする再利用インターフェース	6
第3章 板書内容の管理	8
3.1 ストロークのグルーピング	8
3.2 入力の空白時間	9
第4章 再利用したいであろう板書内容の検索	10
4.1 関連する板書内容の検索	10
4.1.1 形状の類似する板書内容の検索	11
4.1.2 時間的に近い関係にある板書内容の検索	13
第5章 板書内容の再利用環境	14
5.1 望まれるインターフェースの性質	14
5.1.1 ペン操作に適していること	14
5.1.2 授業に専念できること	14
5.1.3 「さりげない」情報提示手法であること	15
5.2 板書内容の保存	15
5.3 板書内容の再利用インターフェース	15
5.3.1 アイコンタイプ	16
5.3.2 ドロアタイプ	17
5.4 板書内容の提示インターフェース	18
5.4.1 フィッシュアイサムネイル	18
5.4.2 リングサムネイル	19
5.4.3 スクリューサムネイル	20
5.5 サムネイルのスクロールインターフェース	21
5.6 再利用の際のサイジングインターフェース	21

第6章 電子板書システム: ガリバー	23
6.1 概要	23
6.2 基本機能のインターフェース	23
6.2.1 無限に続く板書スペース	23
6.2.2 消しゴム	26
6.2.3 色の変更	27
6.2.4 入力の空白時間の調節	28
6.3 板書内容の再利用インターフェース	29
第7章 評価	32
7.1 評価実験1: 板書内容の再利用の有用性評価	32
7.1.1 被験者	32
7.1.2 手順	32
7.1.3 結果	33
7.1.4 考察	33
7.2 評価実験2: インターフェースの比較評価	35
7.2.1 被験者	35
7.2.2 手順	35
7.2.3 結果	35
7.2.4 考察	36
第8章 関連研究	37
8.1 さりげない情報提示手法	37
8.2 サムネイルを用いた情報提示手法	37
第9章 結論	39
謝辞	40
参考文献	41

図 目 次

1.1	板書内容のまとめ	3
1.2	一般的な計算機のインターフェース	3
1.3	本研究の位置づけ	5
2.1	再利用インターフェースのイメージ	7
3.1	入力の空白時間	9
4.1	ストローク数のベクトル	11
4.2	板書内容中の点の分布情報	12
4.3	関連する板書内容の検索過程	13
5.1	アイコンタイプのイメージ	16
5.2	ドロアタイプのイメージ	17
5.3	フィッシュアイサムネイルのイメージ	19
5.4	リングサムネイルのイメージ	19
5.5	スクリューサムネイルのイメージ	20
5.6	ダイアルによるサムネイルのスクロール	21
5.7	ドローツールなどで見られるサイジングインターフェース	22
5.8	本研究で採用したサイジングインターフェースのイメージ	22
6.1	ガリバーの起動画面	23
6.2	無限に続いた板書スペースのイメージ	24
6.3	取っ手による表示領域の移動	25
6.4	操作領域上のドラッグによる表示領域の移動	25
6.5	ガリバーでの表示領域の移動インターフェース（実行画面）	26
6.6	消しゴムによるストロークの削除	27
6.7	色の変更	27
6.8	スライダによる入力の空白時間の調節	28
6.9	アイコン + フィッシュアイサムネイル	30
6.10	アイコン + リングサムネイル	30
6.11	アイコン + スクリューサムネイル	30
6.12	ドロア + フィッシュアイサムネイル	31

6.13 ドロア + リングサムネイル	31
6.14 ドロア + スクリューサムネイル	31

表 目 次

7.1 話し手の評価（実験1）	33
7.2 聞き手の評価（実験1）	33
7.3 話し手の評価（実験2）	35
7.4 聴き手の評価（実験2）	36

第1章 序論

現在多くの授業、特に初等・中等教育の授業においては板書が用いられている。板書を用いた授業では教師がその場で黒板に板書を行いながら説明を行うため、学生の質問や反応、理解度に応じて説明の内容や順序、スピードを柔軟に変更できるという特徴を持つ。近年、PowerPoint[1] をはじめとするプレゼンテーション式の授業を目的とする機会も増えてきた。しかし、それでもなお多くの授業で板書が用いられているのはそういった柔軟性に起因する部分が大きいと思われる。

板書を用いた授業の中では、一度書いた板書内容をもう一度使いたいという欲求が生じる場面がしばしば見受けられる。例えば、教師が同じ図をもう一度説明に使いたいと思ったとき、現状では学生に口頭で先ほどの図とは独立した図であることを伝えた上で同じ図の細かな部分を書き換えて説明を行うか、もしくは同じ作業量と時間を費やしてもう一度図を描くことがほとんどであると思われる。他にも、学生の反応を見て補足説明が必要だと感じたとき、以前行った定義や公式に関する板書内容を補足説明としてもう一度使いたい場面などはよく見受けられる場面であると思われる。このような場面では、同じ内容の板書をもう一度行なうことがほとんどであると思われる。しかし、授業のように時間が限られている状況においてそのような作業に時間を費やしてしまうことは、おそらく教師と学生のどちらにとっても望ましくないと思われる。

1.1 従来研究

電子ホワイトボードやタブレットPCなどの手書き入力の可能なデバイスの出現によって、これまで実世界では使い捨てされてきた、一度書いた板書内容を保存することが可能になった。そして様々な授業支援を行う研究が行われている。

The Classroom 2000 Project[2][3] は授業を一種のマルチオーサリング活動と考え、授業中のあらゆる情報を保存し、授業後にWeb上で公開することで学習効果の向上を狙った研究である。Classroom 2000 Project では、授業支援を行うためにまず教師の授業スタイルと学生の学習スタイルの調査と分類を行った。そして、それらの異なったスタイルの授業であっても統一的な枠組みで支援が行えるように支援のフェーズを「授業の事前準備時」、「授業中の情報キャプチャ」、「授業後の見直し時」の三段階に分けた上で実際の支援を行っている。授業の事前準備の際は、教師が授業で用いる資料を教師が行う授業スタイルに適したフォーマットに変換することを行い、授業中は電子ホワイトボードなどの大画面デバイスやタブレットPCに加え、教室に設置されたマイクとビデオカメラによって授業中の可能な限り全ての情報（教

師が提示する資料、音声、動画、学生のノートなど)を保存する。授業後には保存した情報を学生が自由に見直せる形に整理し、それらをWeb上で公開するという支援を行っている。

E-Chalk[4][5]は、Tivoli[6][7][8]などの大画面デバイス上のペンコンピューティング技術の発展を踏まえた上で、そう遠くない未来では現在の黒板の代わりにペン入力の可能な大画面デバイスを用いた授業が行われるようになるであろうという考えに基づき開発された電子板書システムである。板書を用いた授業である理由としては冒頭で述べたような柔軟性に加え、教師が板書を行なながら説明を行うことは「教師が声に出して考えているようなもの」であるため、学生からすると教師の思考のステップを明確に捉えることができるこことを挙げている。E-Chalkでは、実世界では手書きの文字や図表しか書くことができなかつた板書の中で、画像ファイルを挿入したり、Java Appletや数値計算プログラムを動作させたり、さらにはWebサービスを利用したりすることが可能である。

MathPad[9]は、手書きの式式を認識し、さらにそれを手書きの図と関連付けることで図をアニメーションさせ数学や物理モデルなどのシミュレーションを行うことを可能とするものである。

Classroom Presenter[10][11][12]は、教師と学生の双方がタブレットPCを使用して教師のプレゼンテーション資料を学生のタブレットPC上に表示し、さらにその上に手書きによって自由に説明を書き加えながら授業を行うことを可能としたものである。また、学生に問題を与え、それを学生がタブレットPC上で手書きをしながら問題を解いていく過程を教師は把握することが可能である。さらにUbiquitous Presenter[13]では、Classroom Presenterを用いて行った授業の資料はタブレットPCを持っていない学生にとっても有用であると考え、Classroom Presenterを用いて行った授業の資料や内容をWebで公開することで、さらにその支援領域を遠隔授業などにも広げることを行った。このような授業支援手法は、プレゼンテーションを用いた授業に板書を用いた授業の側面を持たせたハイブリッドなものであると考えることができる。

1.2 改善すべき点

上記のように様々な形で授業支援を行う研究が行われているが、それらは冒頭で述べたような「一度書いた板書内容を再利用して新たに板書を行う場面」の支援を行うには不十分であると思われる。理由は以下の2点である。

1点目は管理するデータの単位が適切ではないということである。電子板書システムでは実世界での板書とは異なり、一度書いた板書内容を保存し再利用することが可能である。しかし、その際扱うデータの単位は、多くの場合1回の授業で行った板書内容全体である。そのため、当然板書内容を再利用する際も板書内容全体を単位とした再利用しか行えない。しかし、本研究でターゲットとする板書内容の再利用場面において再利用したい板書内容とは、板書内容全体ではなく1つの図表や式式、あるいは文章、節といったある程度のまとまり(図1.1)であると思われる。そのため板書内容を再利用して新たに板書を行う場面を支援するためには、そのようなまとまりごとに板書内容を保存・管理する必要があると思われる。

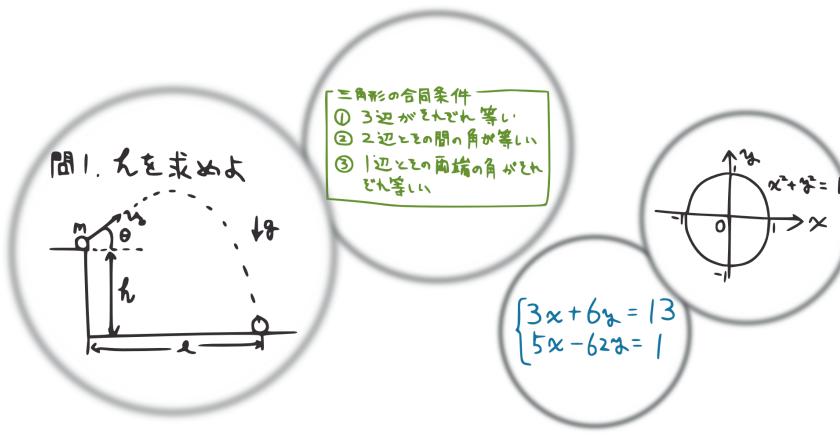


図 1.1: 板書内容のまとめ

2点目は、板書内容を再利用する際に目当ての板書内容を探さなければならないということである。多くの電子板書システムは一般的な計算機上の操作インターフェースを備えている。そのため、保存してある板書内容を再利用する際にはメニュー やボタンからダイアログボックス(図1.2)を呼び出し、それを操作して大量のディレクトリやファイル群の中から目当ての板書内容を探さなければならない。しかし授業という環境は、他の計算機の操作環境と異なり「全ての操作が操作の当事者以外である学生に常に見られている」という特徴を持っている。そのため、授業の本質ではないデータを探す操作を頻繁に行うこと、その操作に多くの時間を費やしてしまうことは授業の流れを切ってしまい、見ている学生に混乱を与えてしまうおそれがあると思われる。授業では学生にとって新たな情報を伝えるため、そのような不必要的混乱を与えることは情報が正しく伝わらないことや、さらには学習効果にも影響を与えててしまうおそれがあるため望ましくないと思われる。

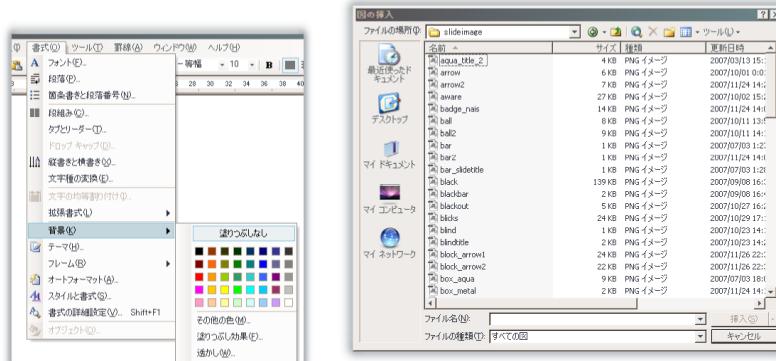


図 1.2: 一般的な計算機のインターフェース

1.3 研究の目的

本研究では、上記の 2 点を改善し「保存した板書内容を用いて新たに板書を行う場面」の支援を行うことを目的とする。その達成のために、板書内容を 1 つの図表、数式、文章といった適切なまとまりごとに保存・管理すること、授業という操作の当事者以外にも常に見られている環境を意識した板書内容の再利用インターフェースを備えることを特徴とする電子板書システムを開発することを目標とする。

1.4 本研究の貢献

本研究の位置付けを図示すると図 1.3 のようになる。本研究の研究領域はペンコンピューティング、授業支援、多人数環境の 3 つの分野に跨ると思われる。ペンコンピューティング領域には Tivoli[6][7][8] や Flatland[14][15]、Knight[16]、Range[17] などの大画面上で手書きを行いインタラクションを行うもの、Electronic Cocktail Napkin[18] や DENIM[19]、SketchPoint[20]、LEAN[21][22]、InkSeine[23] などの主にタブレット PC 上でのクリエイティブな活動を支援する行うものが含まれる。ペンコンピューティングにより授業支援を行うものとしては Classroom 2000 project[2][3] をはじめ、Classroom Presenter[10][11][12]、ことだま [24]、E-Chalk[4][5]、Ubiquitous Presenter[13]、MathPad2[9] が挙げられる。本研究は、板書を用いた授業の支援を行っている点でまずこれら 2 つの研究領域に跨る。加えて、これまでそれら 2 つの領域ではあまり研究の対象として扱われて来なかつた「操作の当事者以外にも常に見られている環境」を意識したインターフェース設計を行っている点で、Notification Collage[25] や Memorium[26]、Interactive Public Ambient Displays[27] などの多人数が存在する環境下を想定した研究領域とも共通する部分があると思われる。

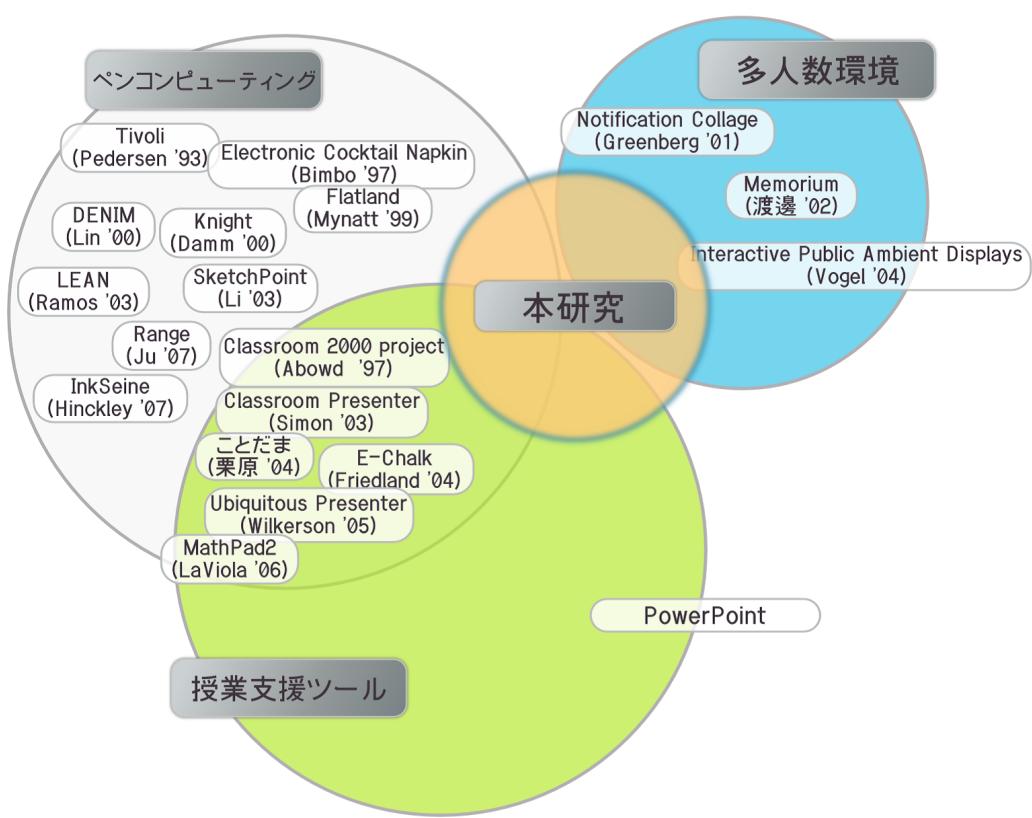


図 1.3: 本研究の位置づけ

第2章 理想とする再利用インターフェース

授業中に板書内容を再利用したい場面には、例えば一度描いた図をもう一度使いまわしたいときや、ある事柄についての説明を行う際に以前同じ事柄について説明を行ったときの板書内容をそのまま引用したいとき、学生の反応に応じて以前説明した板書内容を補足説明や復習としてもう一度参照させたいときなど様々な場面が考えられる。それらの多くの場面に共通することとして、板書内容を再利用したいと思うとき教師は何かしら目当てとする板書内容を思い浮かべているということが挙げられる。それは、再利用したい板書内容とはその教師が過去に行った板書内容であるからである。しかし、従来のファイル管理方式によって板書内容が保存されているとすると、教師は板書内容を再利用する際にメニュー や ダイアログを操作して大量のディレクトリやファイル群の中から目当ての板書内容を探さなければならない。そこで、仮に教師が板書内容を再利用したいと思ったときに目当ての板書内容がすぐ取り出せるような状況にあれば、そういう操作を行う必要もなくなり、見ている学生にも不必要的混乱を与えることなく板書内容を再利用することができるのではないかと考えた。

本研究では、理想とする板書内容の再利用インターフェースとして教師が板書内容を再利用したいときには既に目当ての板書内容がすぐ取り出せる状況にあるということを目指し、教師が再利用したいであろう板書内容をシステムが自動的に検索し、教師に推薦する電子板書システムの開発を行う。(図2.1) そのために以下の技術的課題を設定した。

- 板書内容を適切なまとまりで管理する
- 教師が再利用したいであろう板書内容の検索
- 操作の当事者以外にも見られている環境を意識した情報提示手法の開発



図 2.1: 再利用インターフェースのイメージ

まず板書内容を図表、数式、文章などの単位で管理する手法、次にシステムが推薦する教師が再利用したいであろう板書内容について考察を行った上でそれらを自動的に取り出すことのできる検索手法、そして最後に授業という操作の当事者以外の目にも常に見られている環境を意識した板書内容の再利用インターフェースの設計と開発について述べる。

第3章 板書内容の管理

板書内容を適切な単位で保存・管理するためには、教師によって行われた手書きのストロークをグルーピングする必要がある。多くの手書きツールは選択モードを備え、それによりユーザが手動でストロークをグルーピングする手法が採用されている。しかし、授業中にそういう操作を頻繁に行わなければいけないということは、それまでは必要のなかった新たな作業負担を教師に与えることとなってしまう。そこで本研究では、ストロークのグルーピングをシステムが自動的に行うことで板書以外の操作を必要とせずに板書内容を適切な単位で保存・管理することを行う。

3.1 ストロークのグルーピング

自動的にストロークを適切な単位にグルーピングする手法の設計にあたり、本研究では授業という環境の持つ性質に着目した。授業では、教師は板書と口頭での説明を交互に行うと思われる。それらの作業を同時に行うこともしばしば見受けられるが、多くは板書を行い、行った板書内容について口頭での説明を行う、もしくは先に説明を行ってからその事柄について板書を行うといった流れで授業が行われると思われる。そのため図表や数式、文章などの意味を持ったまとまりを書いた前後には、その事柄について口頭での説明を行っている時間が存在すると考えられる。そこで本研究では、そのような板書の行われない時間間隔に閾値を設定することで書かれたストロークを自動的にグルーピングする。本論文では、そのような板書の行われない時間間隔を「入力の空白時間」と呼ぶ。入力の空白時間によってグルーピングされたまとまりを単位として板書内容を保存・管理することで、再利用の際にも適切な単位で板書内容を取り出すことを可能とする。

3.2 入力の空白時間

入力の空白時間とは、あるストロークが書き終えられペンが画面から離れた瞬間から、次のストロークが書き始められる際にペンが再び画面に接する瞬間までの時間間隔である。下図の赤色で示された部分が入力の空白時間である。教師が口頭での説明を行っている間に入力の空白時間が設定された閾値を越えると、そのタイミングで直前に書かれたストロークまでをグルーピングし、グルーピングされたまとまり単位で板書内容を保存する。以後「板書内容」とは入力の空白時間によってグルーピングされたストローク群を指すこととする。

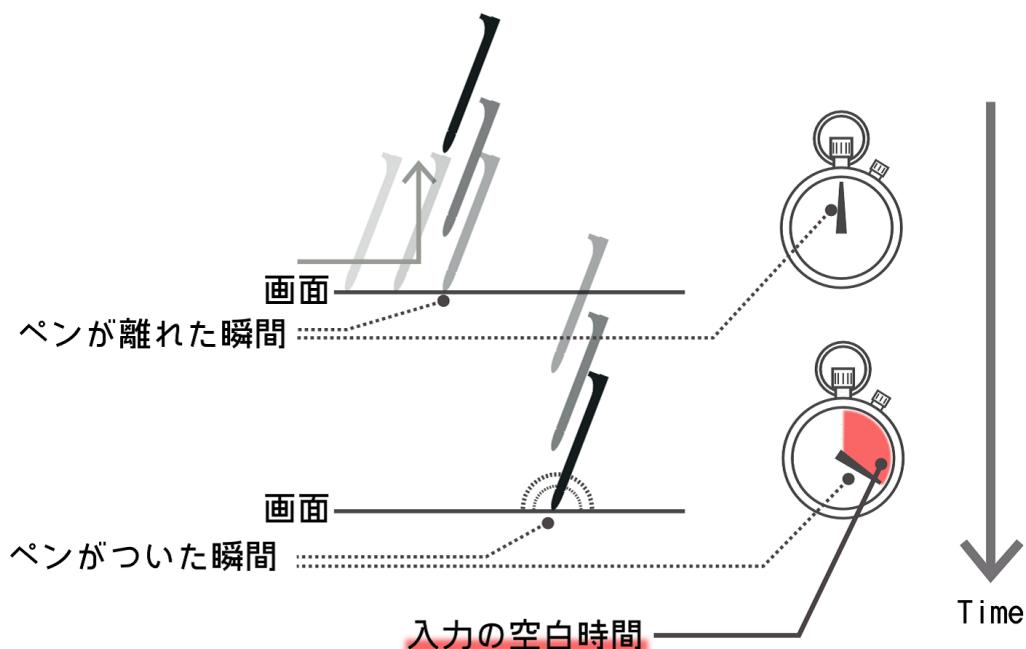


図 3.1: 入力の空白時間

第4章 再利用したいであろう板書内容の検索

板書を再利用したい場面とはどのようなものであるか具体的な例を挙げて考察する。例として、物理の授業で慣性の法則についての説明を行う際に、以前使った例題や説明文を再利用したいとき、他には数学の授業で三平方の定理を応用して求める計算の説明を行っていて、学生が三平方の定理についてのあまり理解していないと感じたときに三平方の定理についての板書内容を復習のために再利用したいときが考えられる。しかし、例えば算数の授業を行っているときに社会の授業で行った板書内容を再利用したいということは考えにくい。また、同じ理科の授業であっても地層についての説明を行っているときに突然力のモーメントについての板書内容を再利用したいといったことも同様に考えにくい。これらのことから、再利用したい板書内容とは「保存されている板書内容のうち、現在説明を行っている事柄と関連するもの」であると考えることができる。

4.1 関連する板書内容の検索

本研究では教師が再利用したいであろう板書内容をシステムが自動的に検索し教師に推薦することを目指している。そのためそのような板書内容、つまり現在説明を行っている事柄と関連する板書内容を自動的に検索する必要がある。本研究では、現在説明を行っている事柄を示す情報として現在行われている板書内容をキーとして用いて、現在行われている板書内容と同じ板書内容、もしくは似た板書内容を検索する。しかし、教師が板書内容を再利用する場面で必要とする板書内容は現在の板書内容と同じ内容のものではなく「現在行われた板書内容の次に使えそうなもの」であると思われる。例えば、授業で「慣性の法則」と書いた後で教師が再利用したいのは、同じ「慣性の法則」と書かれた板書内容ではなく、その前後に行われた説明や図などの板書内容であるということである。そこで本研究では、現在の板書内容と同じ、もしくは似た板書内容ではなく、それらの前後に行われたもの、つまりそれらと時間的に近い関係にある板書内容を検索する。そのために以下の手順で検索を行う。

1. 現在の板書内容と形状の類似する板書内容の検索
2. 類似する板書内容と時間的に近い関係にある板書内容の検索

4.1.1 形状の類似する板書内容の検索

現在行われている板書内容と類似する板書内容を検索するために、本研究では1つ以上のストロークから構成される板書内容の特徴を表現する特徴ベクトルを独自に作成した。そして特徴ベクトルの類似度を算出し、その類似度に閾値を設定することで類似する板書内容の検索を行う。作成した特徴ベクトルの要素は以下の通りである。

- i) 板書内容中の全ストローク数
- ii) ストローク数のベクトルの成分
- iii) 板書内容のバウンディングボックスの縦横比
- iv) 板書内容の書かれた時間間隔
- v) 板書内容中の点の分布情報

ii) のストローク数のベクトルとは、板書内容中のストロークをさらに細かくグルーピングしたとき、その各グループを構成するストローク数を要素とするベクトルである。単純な例として文字列を構成する板書内容を挙げて説明する。(図4.1)

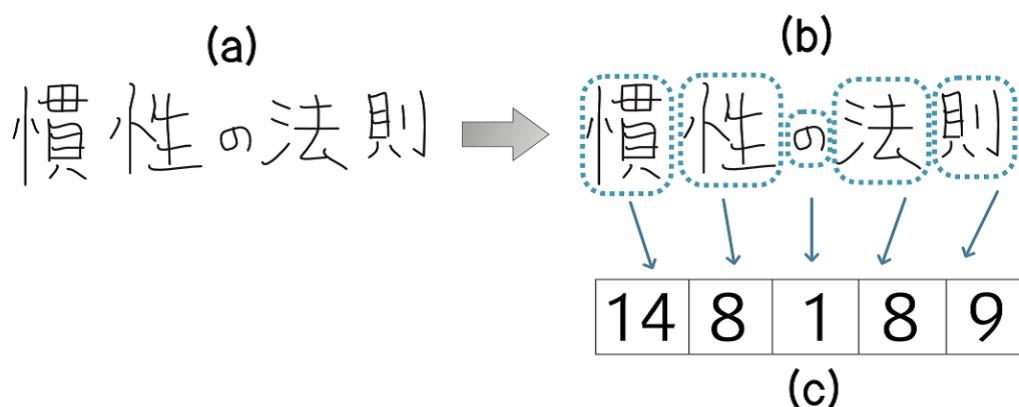


図4.1: ストローク数のベクトル

(a) のように「慣性の法則」と書かれた板書内容があったとき、人間はごく自然に5文字からなる文字列であると認識することができる。つまり、板書内容を構成するストローク群を(b)のようなさらに細かい5つのグループにグルーピングして認識しているのである。そして、細かくグルーピングされた(b)の各要素を構成するストローク数によって(c)のように5つの整数要素からなるベクトルを作成することができる。これを本研究では「ストローク数のベクトル」と呼ぶ。

しかし、手書きのストローク群を人間が知覚するのと同様にグルーピングすることは非常

に難しく、現在もその精度向上のために様々な手法の研究がなされている状況である。本研究では、近似的に(c)のようなストローク数のベクトルを作成するために以下の3つの方法を試みた。

1. 最大の矩形によるインターセクションによる切り分け
2. 平均の矩形によるインターセクションによる切り分け
3. 平均の時間間隔を基準とした切り分け

1は、まず板書内容中の各ストロークのバウンディングボックスの中から最大のWidthとHeightを求め、そのWidthとHeightからなる矩形を生成する。そして生成した矩形を全てのストロークに対して重心を合わせて配置したとき、その矩形同士のインターセクションが途切れた箇所で切り分けを行う手法である。2は、1で用いた矩形の代わりに板書内容中の各ストロークのバウンディングボックスの平均のWidthとHeightからなる矩形を用いた手法である。3は、板書内容中の各ストローク間の入力の空白時間から平均の時間間隔を求め、ストローク間の入力の空白時間が平均の時間間隔を越えた箇所で切り分けを行う手法である。

これらの手法を試みた結果、全ての板書内容に対して正しくストローク数のベクトルを作成することはできなかった。それは手書きには個人差が現れるということ、また板書内容は必ずしも文字列だけではなく図を用いることが多いということが理由として考えられる。しかし、これらの手法のように同じ制約を全ての板書内容に適用することで得られるストローク数のベクトルは、板書内容の素性の1つになり得るのではないかと思われる。今回は1の手法を用いてストローク数のベクトルを作成している。

v) の板書内容中の点の分布情報について説明する。ストロークは点列の多角的近似によって表現されている。そこで、板書内容のバウンディングボックスの領域を図4.2のように4つに分割し、板書内容中の全ストロークの点列が、分割された領域にどのような割合で分布しているかを算出したものを特徴ベクトルの要素として用いている。

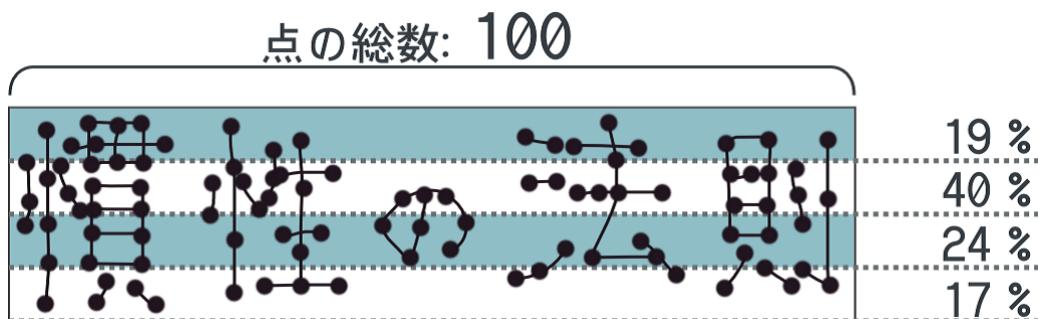


図4.2: 板書内容中の点の分布情報

検索の際には、特徴ベクトルの各要素間の類似度を算出し、それらを総合して2つの板書内容間の類似度としている。そしてその類似度が設定した閾値を越えたか否かによって現在の板書内容と類似する板書内容の検索を行っている。

4.1.2 時間的に近い関係にある板書内容の検索

本研究では、特徴ベクトルの類似度によって類似する板書内容が得られた後で、それらと時間的に近い関係にある板書内容を保存されている板書内容の中から検索し、そこで得られた板書内容を最終的に関連する板書内容として教師に推薦する。図 4.3 に関連する板書内容の検索の一連の流れを示す。

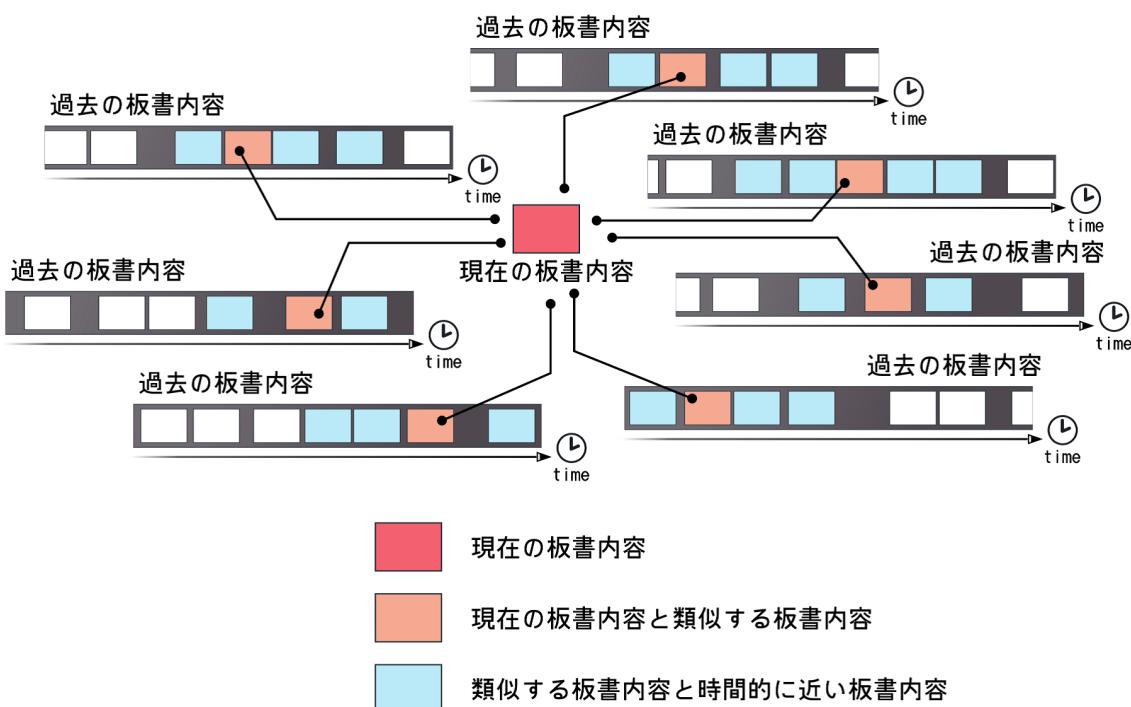


図 4.3: 関連する板書内容の検索過程

図の中央に位置する濃い赤色の矩形が検索のキーとなる現在の板書内容を、そしてその周囲に位置する複数の矩形が並んでいるものが過去に授業で行った一連の板書内容を示している。過去の板書内容の内、薄い赤色で示されるものが現在の板書内容と類似する板書内容である。そしてその左右、つまり時間的に前後にある水色で示されたものが類似する板書内容と時間的に近い板書内容である。システムは最終的に水色で示された板書内容を、現在の説明と関連する板書内容として教師に推薦する。

第5章 板書内容の再利用環境

授業という環境が持つ、他の環境と大きく異なる特徴として「全ての操作が操作の当事者以外にも常に見られている」ということが挙げられる。そのため、得られた関連する板書内容を教師に推薦する際の情報提示手法、さらには教師が推薦された板書内容を再利用する際の操作手法についてもそといった環境を意識したインターフェース設計を行う必要がある。ここでは、操作の当事者以外にも常に見られている環境を意識して開発した板書内容の再利用インターフェースについて述べる。

5.1 望まれるインターフェースの性質

操作の当事者以外にも常に見られている授業という環境を意識したインターフェースとは、一体どのような性質を備えたものが望まれるか考察する。ここでの授業とは、現在多くの教室で目につくことのできる黒板と同程度の大きさの大画面デバイス上で電子板書システムを用いて行う授業を想定するものとする。

5.1.1 ペン操作に適していること

1つ目としてペン操作に適していることが望まれると思われる。冒頭で述べたように板書という手法が柔軟性を持つ大きな理由として、手書きによって行われることが考えられる。そのため電子板書システムを用いて授業を行う場合においても、その入力デバイスにはペンを用いられるべきであり、ほとんどの電子板書システムはペンによって操作を行うものである。多くの電子板書システムでは、板書を行う際の操作こそペンによって自由な板書を行うことが可能であるが、それ以外の機能を操作する際のインターフェースにはメニューやツールボックス、ダイアログなどといった一般的な計算機上のインターフェースを使用する必要がある。しかし、ペンはマウスとは異なり直接的なポインティングを行うデバイスであるため、本研究のように現在の黒板と同程度の大きさの大画面デバイス上での操作を想定した場合、それらのインターフェースはペン操作に適したものではないと考えられる。

5.1.2 授業に専念できること

授業では全ての操作が操作の当事者以外である学生に常に見られている。そのため、板書内容を再利用する度に大量のディレクトリやファイル群の中から目当てのものを探す操作を

行うこと、その操作に多くの時間を費やしてしまうことは授業の流れを切ってしまうと思われる。そしてそのような操作を頻繁に行なうことは、見ている学生に不必要的混乱を与えてしまうおそれがあると思われる。授業の多くは学生にとって未知の情報を提示し、学習させることを行うため、不必要的混乱を与えててしまうことは情報が正しく学習内容が伝わらない、また学習効果にも影響を及ぼすといったことも考えられる。そのためそういった混乱の原因となり得るようなもの、授業の流れを切ってしまうようなものを必要としないインターフェースであることが望まれると思われる。

5.1.3 「さりげない」情報提示手法であること

ここで言う「さりげない」情報提示とは、必要ないときには邪魔にならないような情報提示手法のことを指す。本研究では、教師が板書を行っているとシステムが自動的に関連する板書内容を検索し推薦する。その際、教師がそれを必要としない場合も当然考えられるため、そういった場合にも板書内容の推薦が不必要に教師や学生の注目を集めてしまうことは、頻繁にデータを探す操作を行うことと同様に授業の流れを切り、学生に混乱を与えてしまうおそれがあるため望ましくない。そこで、関連する板書内容を教師に推薦する際には必要ないときには邪魔にならない程度の「さりげない」情報提示手法を用いる必要があると思われる。

5.2 板書内容の保存

上記の考察により、不必要に板書以外の操作を行うことは極力避けることが望ましいと考えられる。そこで本研究では、教師が板書を行い入力の空白時間によってストロークがグループ化されると、それと同時に板書内容を自動的に保存する。これは保存のための操作を必要としないことで教師の作業負担と学生に混乱を与える可能性を軽減することを狙いとしたものである。さらに、全ての板書内容を可能な限り保存しておくことで、教師が再利用したい目当ての板書内容に関する記憶が曖昧な場合にも考えられるだけの選択肢を教師に提示することでその想起の支援も行えるのではないかと思われる。

5.3 板書内容の再利用インターフェース

今回上記の考察に基づき、教師が板書内容を再利用する際のインターフェースとして以下の2つの異なるアプローチによる手法を開発した。

- アイコンタイプ
- ドロアタイプ

5.3.1 アイコンタイプ

これは、板書内容を推薦する際に情報を2段階のフェーズに分けて提示することで必要以上の情報提示をしない「さりげない」情報提示を行う手法である。検索の結果関連する板書内容が得られたとき、それらを教師に推薦するために全ての情報を突然画面上に表示してしまうことは、不必要に教師と学生の注目を集めてしまうため望ましくない。アイコンタイプでは、関連する板書内容が得られたとき、まずその存在だけを知らせるフェーズ、そして実際に関連する板書内容を見せるフェーズの2段階に分けることで必要以上の情報を画面上に表示しないようにすることを狙いとしている。そして関連する板書内容の存在を示す手法としてアイコンを、板書内容の詳細を示す手法としてはサムネイルを用いる。

教師がある板書内容を書き終え学生に向かって説明を行っていると、入力の空白時間が設定された閾値を越え先ほど書いた板書内容がグルーピングされる。それと同時に関連する板書内容の検索が行われ、関連する板書内容が見つかった場合、システムはまず「関連する板書内容が存在する」という情報だけを教師に知らせるために画面上の先ほど書いた板書内容の近くにアイコンを出現させる。教師はそれによって関連する板書内容の存在を知ることができ、必要な場合に出現したアイコンにペンを近づけたときに初めて実際見つかった板書内容がどのようなものであるかを表示されたサムネイルによって見ることができるというものである。(図5.1) サムネイル群が多数ある場合はそれらをスクロールさせて見ることができる。そしてサムネイル群の中から再利用したい板書内容が見つかった場合は、そのサムネイルをドラッグ＆ドロップすることで現在の板書内容に追加することができる。アイコンが出現したが教師が必要ないと感じた場合は、無視して新たに板書を開始するとアイコンは薄くなる。

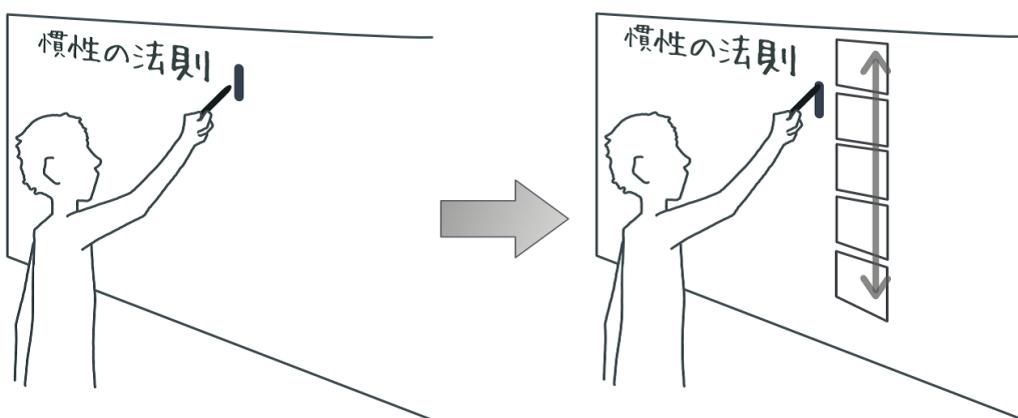


図5.1: アイコンタイプのイメージ

5.3.2 ドロアタイプ

これは、実世界のドロア(=引き出し)のような「引き出す」メタファを用いた手法である。画面上には常にドロアが設置されており、教師が板書を行っていき入力の空白時間によってストローク群がグルーピングされると、関連する板書内容が自動的にドロアの中に格納されていく。教師が板書内容を再利用したいときには、画面上のドロアを開くことで検索された関連する板書内容の詳細をサムネイルの形で見ることができる。サムネイル群が多数ある場合はそれらをスクロールさせて見ることができ、再利用する際はアイコンタイプと同様にサムネイルをドラッグ&ドロップすることで現在の板書に追加することができる。(図5.2)

ドロアタイプの大きな特徴は、操作の当事者である教師と操作の当事者以外である学生の双方に「ドロアには再利用できそうな関連する板書内容が入っている」という事前知識を与えることで、教師がドロアを開ける操作に学生が違和感を覚えずに見ることができることを狙っている点である。また「引き出す」という実世界に存在するメタファを用いたのも、ドロアを開けたり閉めたりという操作を教師と学生の双方が「自然な」ものとして見ることができるようにとの狙いによるためである。

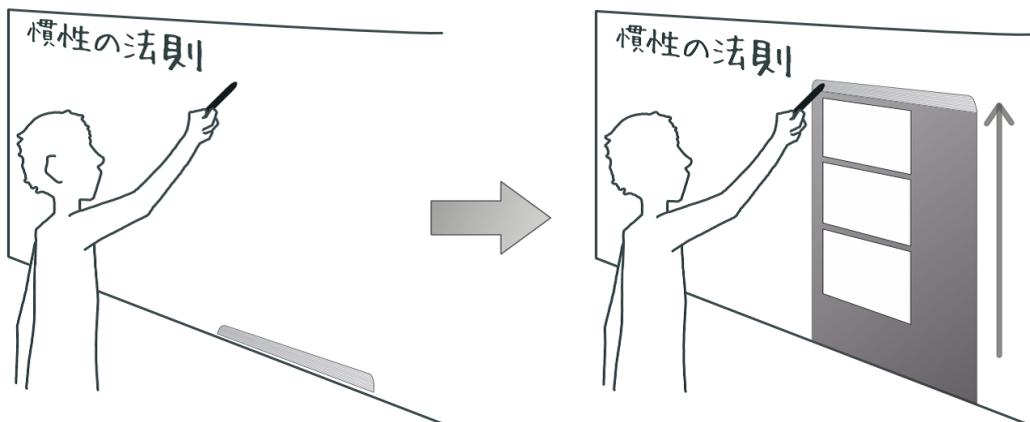


図5.2: ドロアタイプのイメージ

5.4 板書内容の提示インターフェース

関連する板書内容を提示する手法にはサムネイルを用いる。サムネイルは小型端末などの限られたスペースに多くの視覚的情報を提示する手法として広く用いられている。関連する板書内容を提示する際、学生の目を意識すると可能な限り小さなスペースに提示する必要があると思われるため、サムネイルは本研究で想定する環境において最適な情報提示手法であると考えられる。小さなスペースに板書内容の詳細を提示するのであれば手書き文字認識を用いてテキスト表示を行うという方法も考えられる。しかし、板書内容では書かれた文字情報だけではなく、書かれた内容の位置関係も意味をもつことが多い。また板書を行う際図や数式などを書く場面は少なくない。そのため本研究では、板書内容を文字情報としてではなく視覚情報として扱うこととする。

上記のように、サムネイルはそれ自体が小さなスペースに多くの視覚情報を提示するという特性を持つ。しかしその提示手法には依然検討の余地があると思われる。今回板書内容を提示する際の一覧性と空間効率に着目し、新たに以下の3つのサムネイルインターフェースを開発した。

- フィッシュアイサムネイル
- リングサムネイル
- スクリューサムネイル

5.4.1 フィッシュアイサムネイル

これはフィッシュアイフォーカスを用いたサムネイルインターフェースである。注視点に最も近いサムネイルを最も大きなサイズで表示し、それ以外は注視点からの距離に比例して縮小して表示する特性を持つ。(図5.3) これは、その特性ゆえに同じ数のサムネイルを表示する際にもただサムネイルを並べるだけよりも小さなスペースに表示することを狙った手法である。また、全てのサムネイルと同じ重要度で表示するのではなく、表示の際に注目という情報をサムネイルのサイズによって視覚的に表現することで教師が再利用する板書内容の選択を行いやすくなるのではないかと思われる。

図はアイコンタイプの際のイメージである。出現したアイコンの位置を注視点に設定し、そこからの距離に応じてサムネイルが縮小されて表示される。

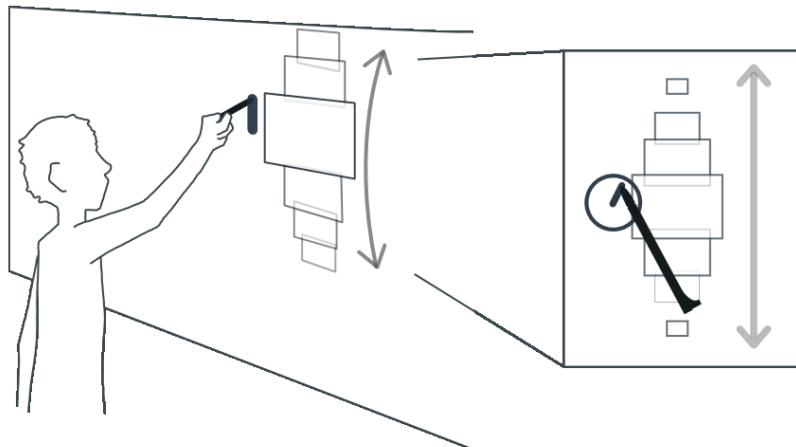


図 5.3: フィッッシュアイサムネイルのイメージ

5.4.2 リングサムネイル

これは、垂直方向に並べられただけのサムネイルを拡張した手法である。サムネイル群が多数ある場合、垂直方向に並べただけでは当然一度に表示できる数も限られるためスクロールさせて見ることを行う。リングサムネイルは、スクロールによって表示領域から外れてしまったサムネイルを、サムネイル群が大きな輪を成しているようなメタファーで背面に回り込ませて表示する。(図 5.4) スクロールを連続して行う際、そのスピードによっては求める情報を見落としてしまうことがある。そこでこのようにスクロールして表示領域から外れたものももう一度表示することによって、先ほどは気付かなかった情報にも気付くことができるのではないかと思われる。

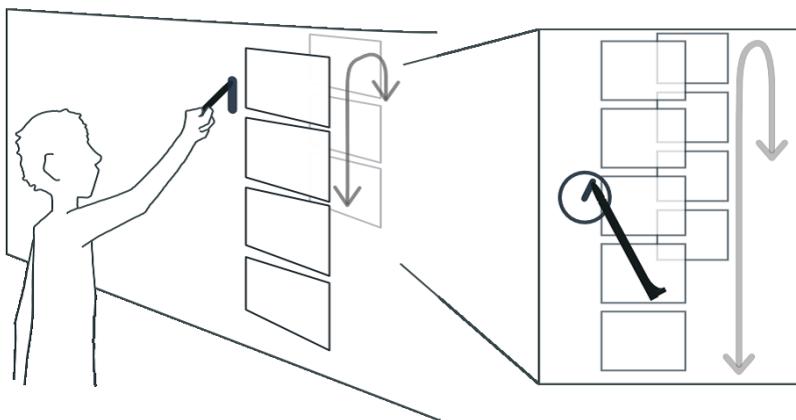


図 5.4: リングサムネイルのイメージ

5.4.3 スクリューサムネイル

これは、サムネイル群を画面平面と垂直な方向の螺旋状に配置し、その一部を輪切りにしたように表示する手法である。(図 5.5) フィッシュアイサムネイルやリングサムネイルと異なりサムネイル群を円形に配置し、さらにサムネイル同士のオクルージョンを許すことで他のサムネイルインターフェースと比較してより小さなスペースに多くのサムネイル群を表示することを狙いとしている。オクルージョンを許す理由は、提示する情報はそれを見る教師が過去に行った板書内容であるため、多少情報が隠されても情報提示としては十分であると考えられるためである。

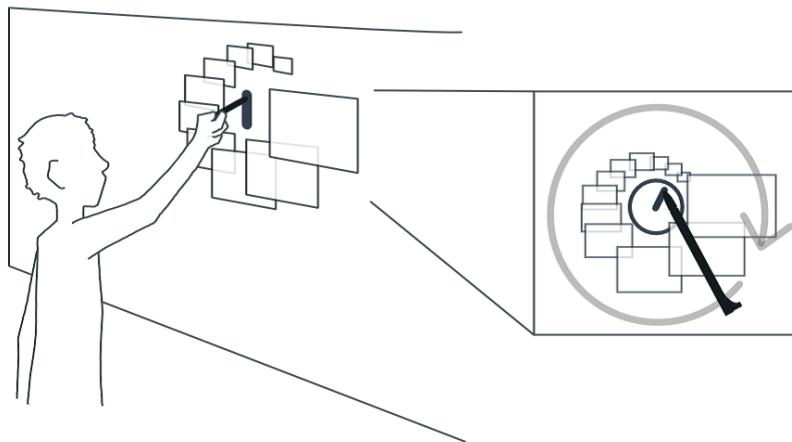


図 5.5: スクリューサムネイルのイメージ

5.5 サムネイルのスクロールインターフェース

サムネイル群をスクロールする際のインターフェースとして Radial Scroll[28] に代表されるダイアルによる手法を用いた。これはスライダなどのインターフェースでは1回の操作でスクロールできる範囲が限られているが、ダイアルであれば円運動によって1回の操作によって無限にスクロールすることが可能であると考えたためである。アイコンタイプの場合は出現したアイコンをそのままダイアルのハンドルとして、ドロアタイプの場合はドロア内の自由な位置にペンを付くことでその位置からダイアルを操作することができるようとする。(図 5.6)

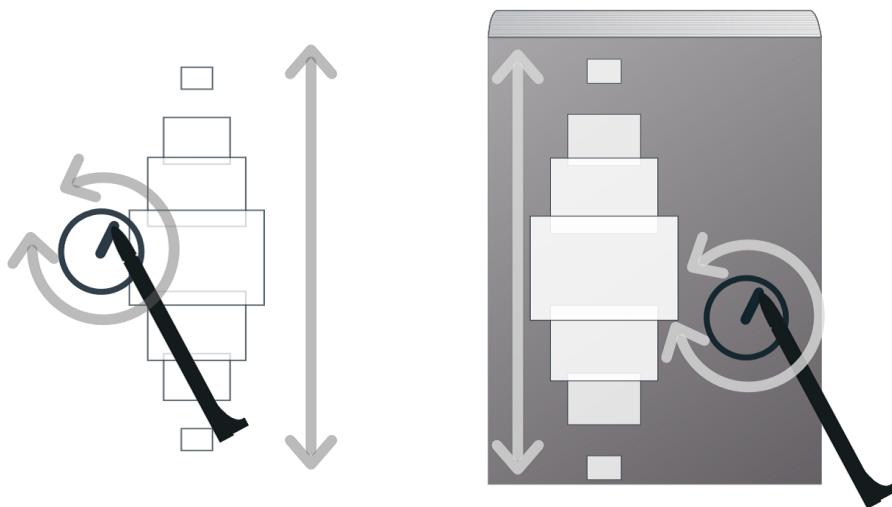


図 5.6: ダイアルによるサムネイルのスクロール

5.6 再利用の際のサイジングインターフェース

板書内容を再利用する際、自然な欲求として再利用する板書内容のサイズを調節したいというものがある。そしてそれは板書内容の再利用を支援する上で必要不可欠な機能である。描画されたもののサイジングインターフェースとして一般的な手法としてはドローツールで広く用いられている、選択されたオブジェクトのバウンディングボックス上に配置されたハンドルをドラッグする手法が挙げられる(図 5.7)。

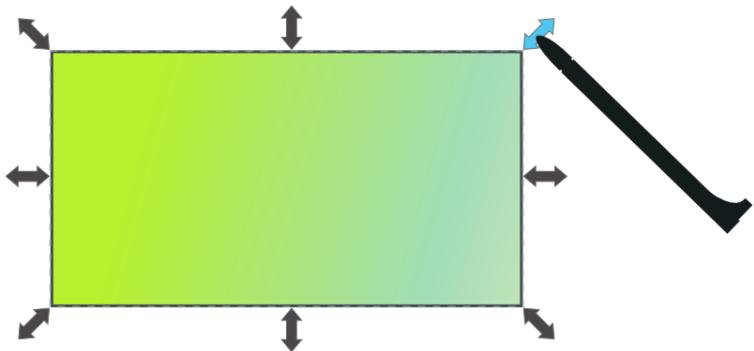


図 5.7: ドローツールなどで見られるサイジングインターフェース

しかし板書内容をサイジングする際、その縦横比を変化させるようなサイジングを行うことは考えにくい。つまり必要なサイジング機能は縦横比を維持した拡大と縮小の2つのみである。そこで本研究では、図 5.8 のような独自のサイジングインターフェースを開発した。これは、再利用するためにある板書内容がサムネイル群からドラッグされると、そのタイミングでその板書内容中に拡大縮小のためのボタンが大きく表示され、それらのボタンを押していく時間に伴って板書内容の拡大と縮小が行えるというものである。

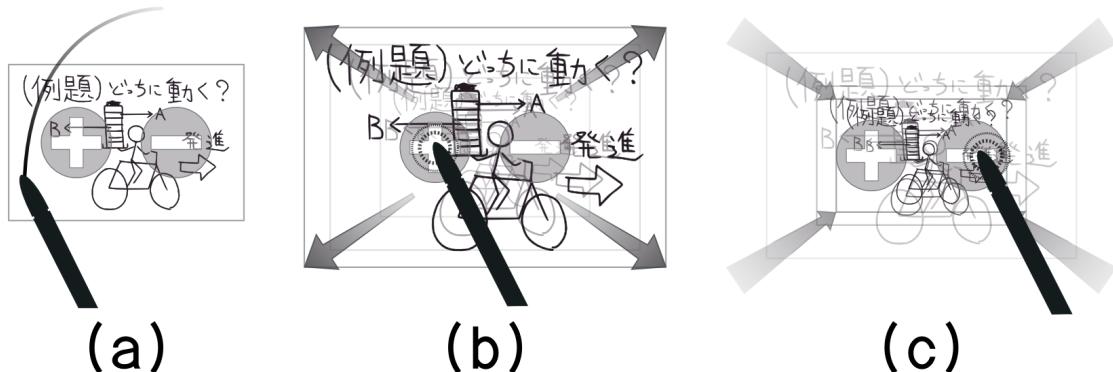


図 5.8: 本研究で採用したサイジングインターフェースのイメージ

再利用する板書内容をサムネイル群からドラッグするとそのサムネイル中に「+」と「-」と書かれた拡大縮小ボタンが表示される。(a) 拡大したい場合は + ボタンに触れると触れている時間に比例してサムネイルが拡大する。(b) 反対に縮小したい場合は - ボタンを触ると触れている時間に比例してサムネイルが縮小する。(c)

第6章 電子板書システム: ガリバー

6.1 概要

本研究では、5章の設計に基づき電子板書システム: ガリバーを開発した。ガリバーは板書内容の再利用を支援する電子板書システムである。教師がガリバー上で板書を行っていると、保存してある板書内容の中から教師が再利用したいであろう板書内容をシステムが自動的に検索し、教師に推薦してくれ、教師は必要に応じて推薦された板書内容を再利用できるというものである。以下にその詳細について述べる。

6.2 基本機能のインターフェース

実際のガリバーの起動画面を図 6.1 に示す。それぞれ i) が「板書スペース」、ii) が「スクロールエリア」、iii) が「消しゴム」、iv) が「終了ボタン」となっている。画面中のほとんどは自由に板書を行える板書スペースとなっており、板書そのものの柔軟性を損なわないよう、その他には必要最低限の機能のみを備えている。

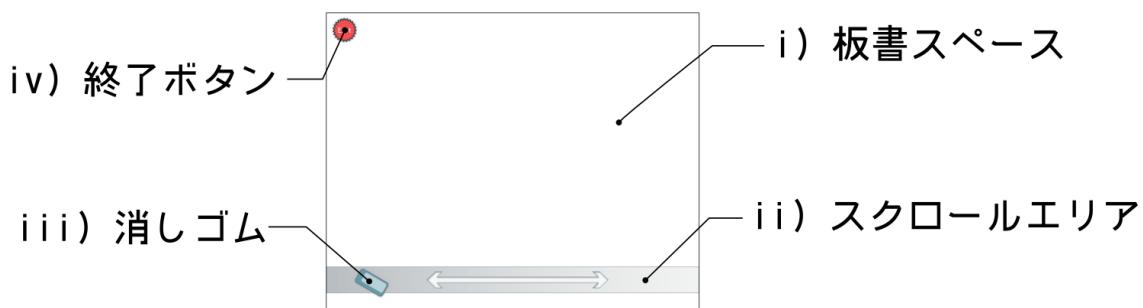


図 6.1: ガリバーの起動画面

6.2.1 無限に続く板書スペース

ガリバーは現在教室に設置してある黒板と同程度の大画面デバイスでの動作を想定しており、その板書スペースは仮想的に無限に続いている。実世界では、黒板やホワイトボードという限られたスペース上で板書を行うため、そのスペースが板書内容で埋まり教師が新たな

板書スペースを確保したいとき、一度書いた板書内容を消すという作業が必要であった。大教室などでは黒板が2枚設置されており、それらをスライドさせながら板書を行うことも可能であるが、全てのスペースが板書内容で埋まってしまったときにそれらを消す必要があるという点では同様である。同時に、そのように限られたスペース上で板書を行うことがこれまで板書内容が使い捨てされてきた1つの要因であるとも考えられる。ガリバーでは、図6.2のように仮想的に無限に続いた板書スペース上で板書を行い、新たな板書スペースが必要なときには一度書いた板書内容を消すのではなく、表示している領域を移動させることで板書スペースを確保する。このような方法によって、例えば学生が見逃してしまった部分があったときに、表示領域を移動させることで容易に目的の部分を参照させることが可能になる。

もう1つの特徴は仮想的に無限な板書スペースが「続いている」ということである。多くの手書きツールや電子板書システムではページ単位で手書きスペースを管理しているため、新たな手書きスペースを確保する際には新しいページを追加する操作をする必要があり、またそれによって新たなページに画面の表示が切り替わってしまう。しかし、そのように急に画面が切り替わってしまうことは5.1節で述べたのと同様に見ている学生にとっては望ましくないと思われる。ガリバーでは、板書スペースが続いていることによってページ管理では表示することのできない1.5ページに相当する部分も自由に表示可能なため、教師は常に前の板書内容を学生に提示しながら板書を行うことができる。それにより、学生は常に話の繋がりを確認しながら授業を受けることができる。

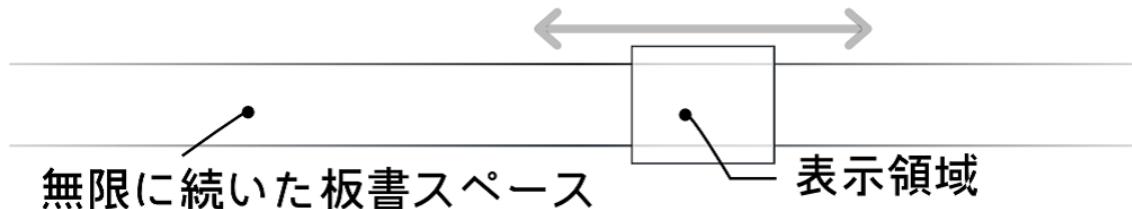


図6.2: 無限に続いた板書スペースのイメージ

無限に続くという実世界では存在しなかった板書スペースを実現するためには、その操作手法の開発の必要性が新たに生まれる。本研究ではいくつかの操作手法を試みた。1つは画面上に取っ手を設置し、それによりスクロールを行うものである(図6.3)。しかしこの方法では、表示領域を移動させる際に教師が画面の端まで移動しなければならないため求める操作手法としては不十分であった。それを踏まえ、画面上のどこででも表示領域を移動させることができるように画面下部に操作領域を設置し、操作領域上でペンをドラッグするとそれに伴って表示領域も移動する手法を試みた(図6.4)。しかし画面上のどこででも操作はできるものの、この手法による1回の表示領域の最大の移動幅は画面サイズに限定され、さらにそれだけの移動を行うためには教師が画面の端から端まで移動しなければならない。

そこで、ガリバーでは最終的にサムネイル群のスクロールと同様にダイアルによって移動領域の移動操作を行う手法を採用した。ダイアルによる操作は、1回の操作で移動させることのできる移動幅は無限である。さらに、表示領域を大きく移動させたい場合も教師はその場

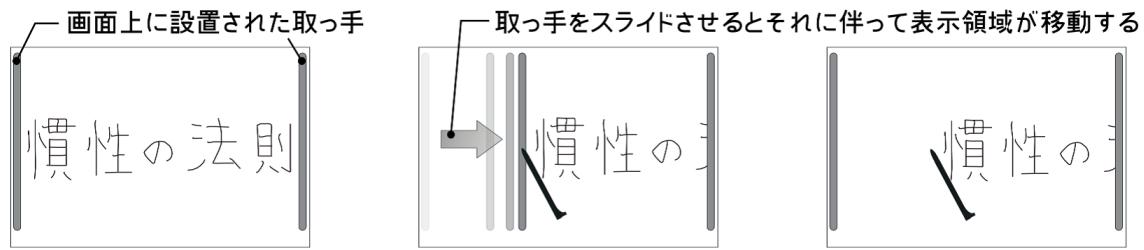


図 6.3: 取っ手による表示領域の移動

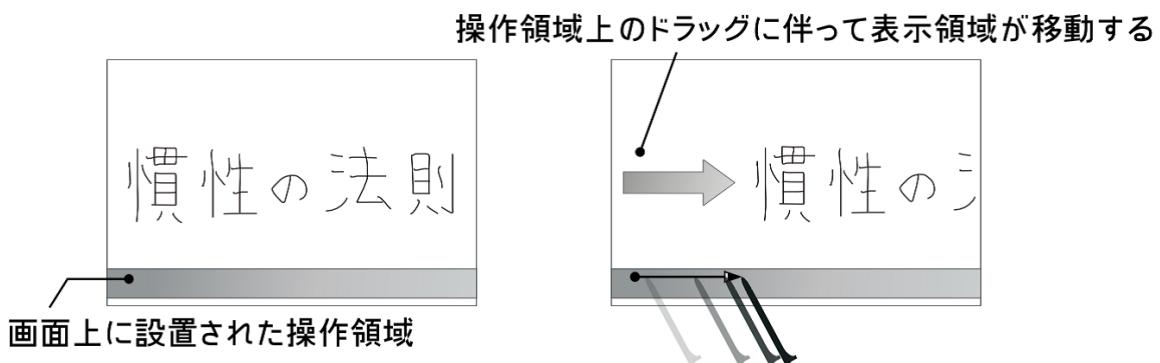


図 6.4: 操作領域上のドラッグによる表示領域の移動

に留まつたまま操作を行うことができる。

画面上のスクロールエリア上にペンをつくとその位置にダイアルが出現する。ペンをついてからそのまま出現したダイアルを回転させることで板書スペースの表示領域を移動させることができる。(図 6.5)

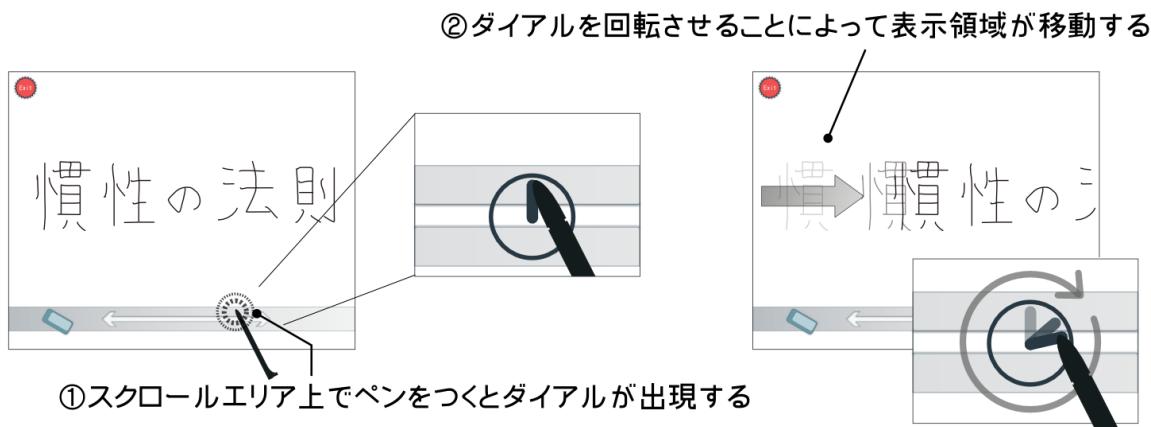


図 6.5: ガリバーでの表示領域の移動インターフェース（実行画面）

6.2.2 消しゴム

電子板書システムの必要不可欠な機能として消しゴムが挙げられる。仮想的に無限に続く板書スペースにより、新たな板書スペースを確保するために一度書いた板書内容を消す必要はなくなった。しかし、それでもなお板書のように自由な手書きを行う場面では消しゴムを用いる機会は少なくないと考えられる。多くの手書きツールや電子板書システムでは、まずツールボックスやメニューなどによってモード変更を行い、矩形や閉曲線などによって選択されたオブジェクトを削除する手法を採用している。しかしそのような手法は、自由な手書きを行うツールの消しゴム機能としてはユーザに課す制約が多いと思われる。ガリバーはそのような手法とは異なり、実世界の消しゴムの使用感を活かした消しゴム機能を備えている。

起動時に消しゴムはスクロールエリア上に設置されている。書いたストロークを削除したいときは消しゴムをペンでタッチすると、消しゴムがペン先に追従して動くので、その状態で実世界で消しゴムを掴んで消すように削除したいストローク上で図 6.6 のようにスクラッチすることでストロークを削除することができる。消しゴムを置きたいときは、スクロールエリア上の任意の位置にペンをつくとその場所に消しゴムが置かれる。

矩形や閉曲線による領域選択によるオブジェクト単位の削除とは異なり、消しゴムでスクラッチした部分が削除されるこのような手法は教師と学生の双方にとってもより直感的な操作を可能にすると思われる。

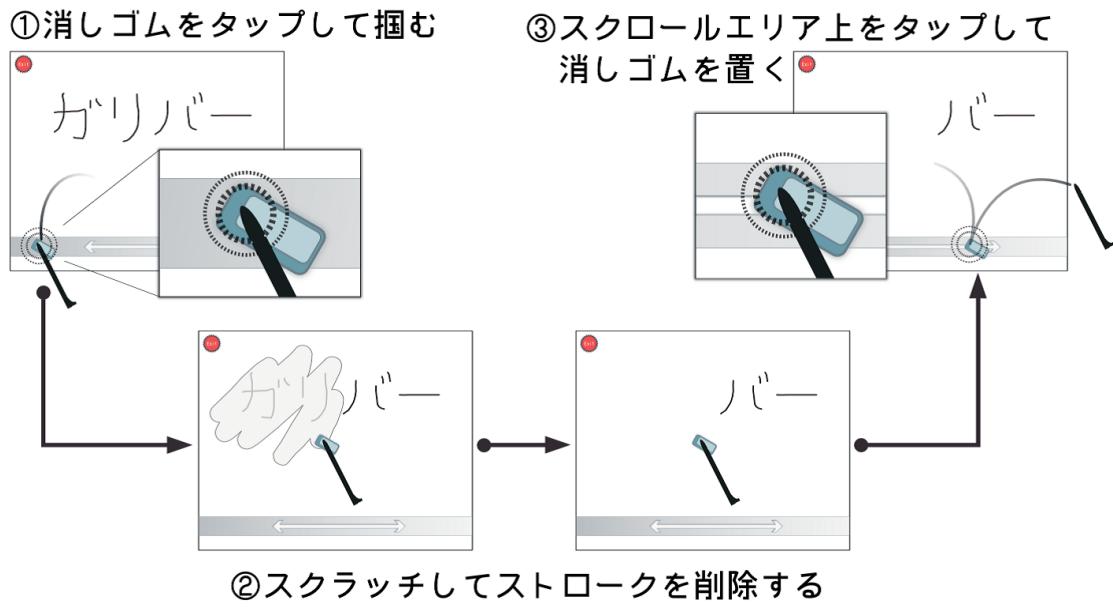


図 6.6: 消しゴムによるストロークの削除

6.2.3 色の変更

消しゴムと同様に板書を行う際によく用いられる機能としてペン(チョーク)の色の変更が挙げられる。板書を用いた授業において、ペンの色によって行われた板書内容の重要度を示すことはよく行われる。その他にも教師が独自にペンの色に意味づけを行って板書を行うことはよく見受けられる。ガリバーでは色の変更を行うには、スクロールエリアの上部の縁をクロッシング [29] することでペンの色の変更を行うためのカラーBOXが呼び出され、その中から変更したい色を選択することでペンの色を変更することができる。(図 6.7)

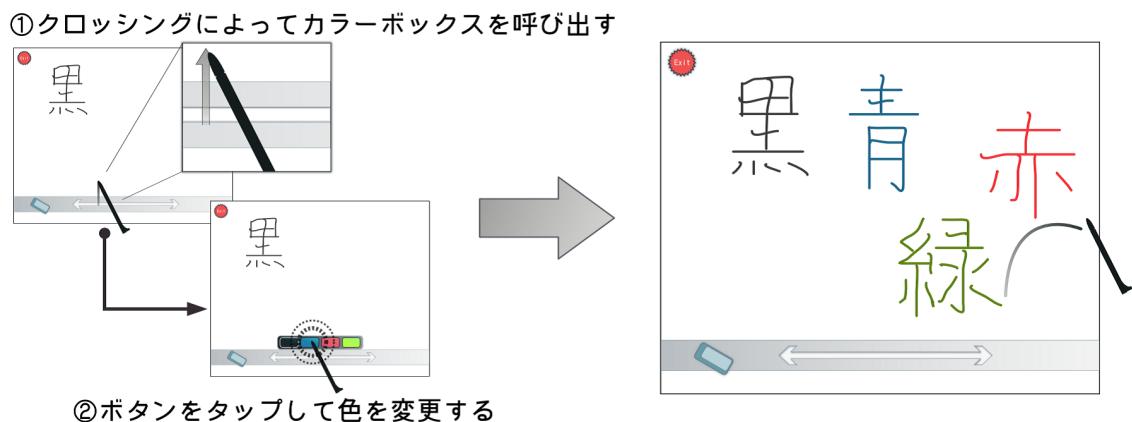


図 6.7: 色の変更

6.2.4 入力の空白時間の調節

ガリバーでは入力の空白時間によってストロークのグルーピングが行われる。しかし [30] で述べられているように、時間情報によってストロークの適切なグルーピングを行う際、その適切な閾値は個人によって異なると思われる。そのためガリバーはグルーピングの際の入力の空白時間をある程度調節できる機能を備えている。スクロールエリアの下部の縁をクロッシングすると、入力の空白時間の閾値を調節するスライダが呼び出される。教師はスライダの値を変化させることで入力の空白時間の閾値を調節することができる。(図 6.8) 現在は 0.1 秒から 5 秒の幅で調節することが可能である。

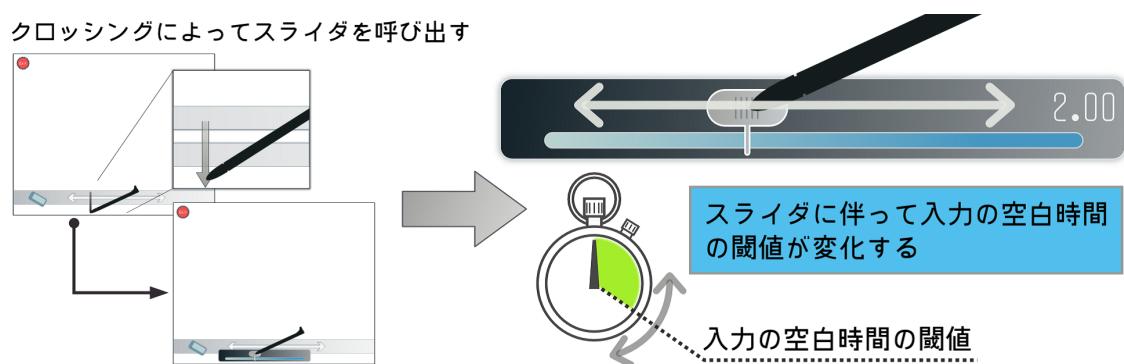


図 6.8: スライダによる入力の空白時間の調節

6.3 板書内容の再利用インターフェース

本研究では5章で述べた、板書内容の再利用インターフェースを2種類、板書内容の詳細を提示するサムネイルインターフェースを3種類実装した。それゆえガリバーではそれらの組み合わせにより以下の6種類の板書内容の再利用インターフェースを提供する。

- アイコン + フィッシュアイサムネイル
- アイコン + リングサムネイル
- アイコン + スクリューサムネイル
- ドロア + フィッシュアイサムネイル
- ドロア + リングサムネイル
- ドロア + スクリューサムネイル

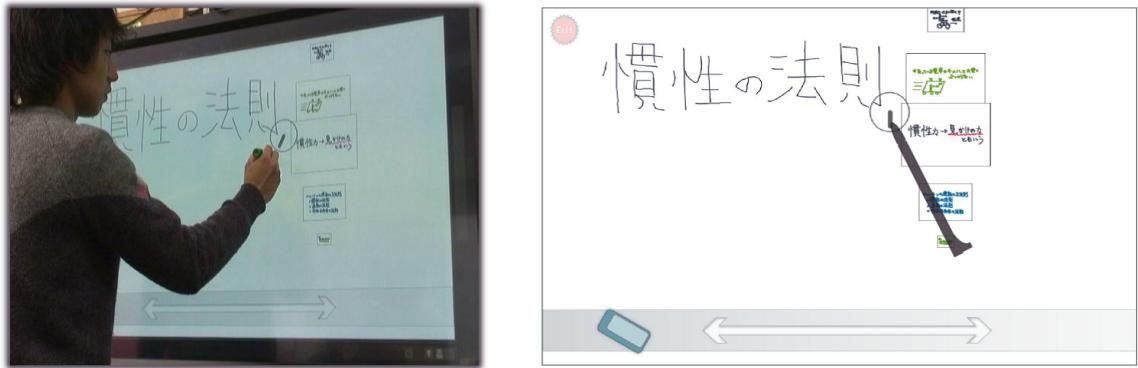


図 6.9: アイコン + フィッシュアイサムネイル

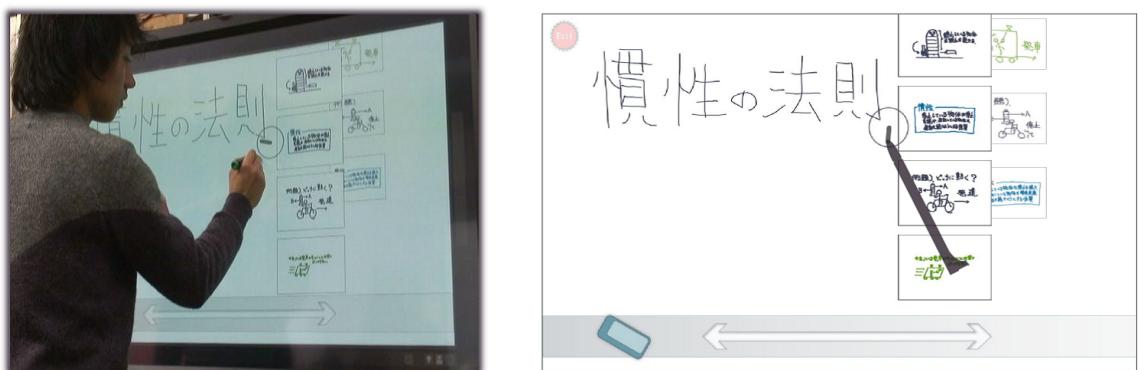


図 6.10: アイコン + リングサムネイル

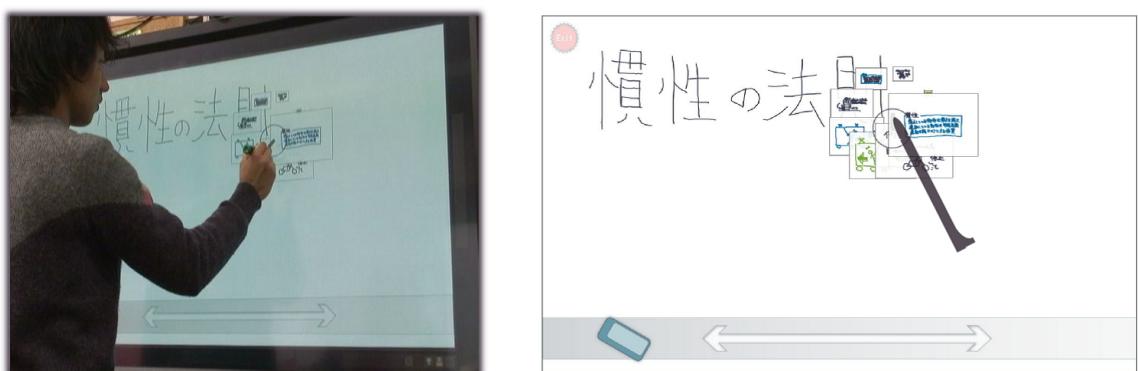


図 6.11: アイコン + スクリューサムネイル

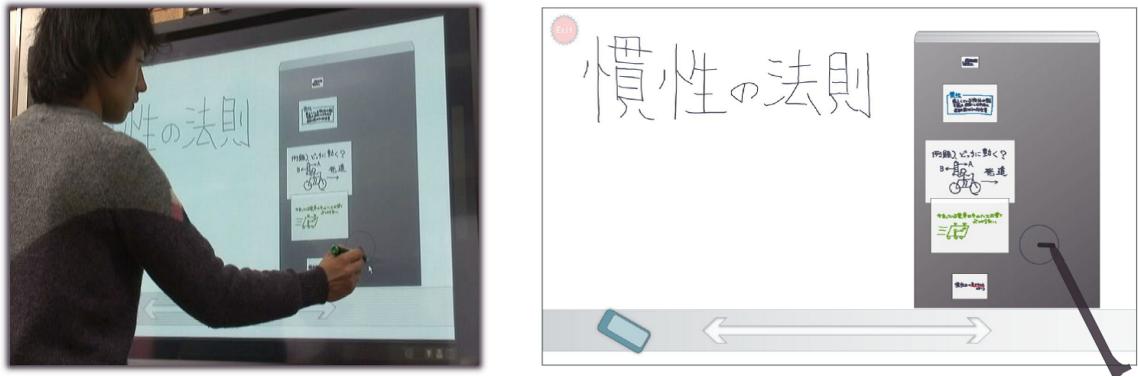


図 6.12: ドロア + フィッシュアイサムネイル

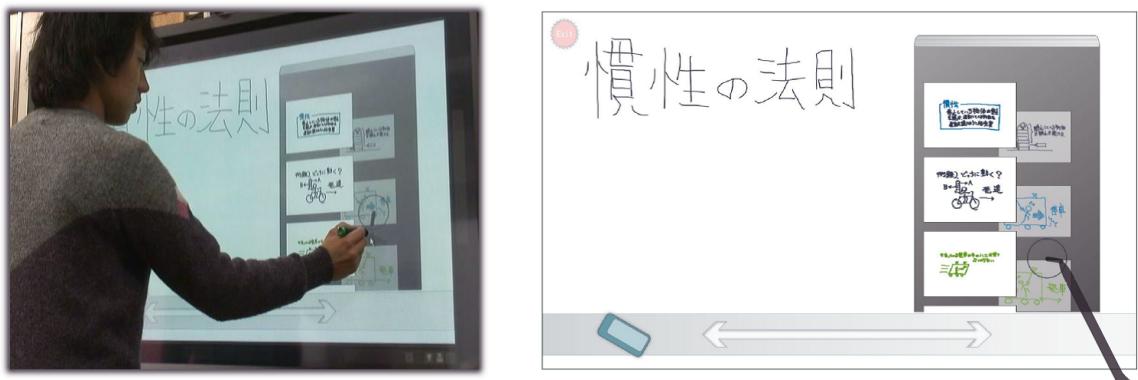


図 6.13: ドロア + リングサムネイル

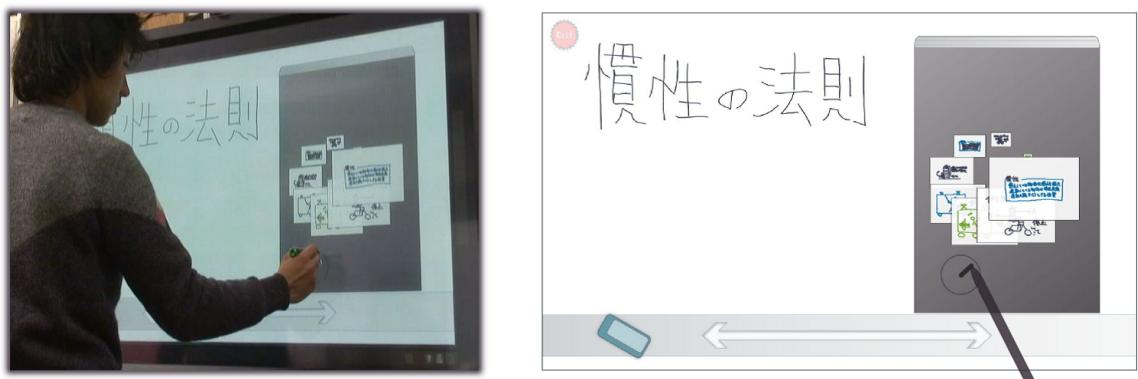


図 6.14: ドロア + スクリューサムネイル

第7章 評価

開発した電子板書システム: ガリバーについて以下の 2 つの評価実験を行った。実験環境として Smartboard¹上でガリバーを動作させて行った。

1. 板書内容の再利用の有用性評価
2. 再利用インターフェースの比較評価

7.1 評価実験 1: 板書内容の再利用の有用性評価

実験では、板書内容の再利用の有無によって板書を用いた説明に対する印象にどのような印象を与えるかを見ることを狙いとしている。

7.1.1 被験者

1 回の試行に必要な被験者は、教師役である話し手 1 名と学生役である聞き手 1 名の計 2 名である。今回理系の大学生および大学院生である同研究室の学生 8 名を選び、それぞれの学生に話し手と聞き手を 1 回ずつ、計 8 組のペアに実験を行ってもらった。

7.1.2 手順

話し手には、聞き手に向かって指定された事柄について板書を用いて説明を行ってもらう。説明は 10 ~ 20 分程度のものとする。説明は板書内容の推薦・再利用機能の有無の計 2 回行い、学習効果による影響を考慮しその順序は被験者ごとに入れ替えるものとする。板書内容の再利用インターフェースにはアイコン+フィッシュアイサムネイルの組み合わせを用いる。実験後、話し手と聞き手の両名に以下の項目についてのアンケートを行ってもらう。回答はそれぞれ 5 段階評価と自由記述によって行ってもらう。

話し手による評価項目

- 板書内容の推薦は有用であったか?

¹<http://smarttech.com/>

- 推薦は説明を行う際の妨げになったか?
- 再利用によって説明のしやすさは変わったか?

聞き手による評価項目

- 板書内容の推薦は有用であったか?
- 推薦は説明を聞く際の妨げになったか?
- 再利用によってノートのとりやすさは変わったか?
- 再利用によって理解のしやすさは変わったか?

7.1.3 結果

実験結果を表 7.1、7.2 にて示す。

表 7.1: 話し手の評価（実験 1）

被験者	A	B	C	D	E	F	G	H	Avg.
板書内容の推薦は有用であったか?	5	5	4	4	5	4	5	3	4.375
推薦は説明を行う際の妨げになったか?	3	4	2	3	3	3	4	4	3.25
再利用によって説明のしやすさは変わったか?	4	4	5	4	5	4	4	3	4.125

表 7.2: 聞き手の評価（実験 1）

被験者	A	B	C	D	E	F	G	H	Avg.
板書内容の推薦は有用であったか?	5	4	2	2	1	4	3	5	3.25
推薦は説明を聞く際の妨げになったか?	4	5	5	3	5	4	5	4	4.375
再利用によってノートのとりやすさは変わったか?	4	3	3	3	3	4	3	3	3.25
再利用によって理解のしやすさは変わったか?	4	3	3	3	3	4	3	3	3.25

7.1.4 考察

実験結果を見ると、板書内容の再利用は話し手には平均で 5 段階中 4 以上と好意的な評価を受けているものの、聞き手には 5 段階中 3 点台の平均と概してどちらでもないという評価となっている。しかし板書内容の推薦は説明を聞く際の妨げになったかについてに注目すると平均で 5 段階中 4 以上と高い評価を得ていることがわかる。これらのことより、板書内容

の再利用は板書を行う話し手にとって有用であり、そのためのシステムによる推薦も授業の流れを切らない「さりげない」情報提示が行えたと言うことができると思われる。

注目すべきコメントとして以下のようなものがあった。

- i) (話し手) 板書内容の推薦によって書く内容への示唆や想起を受けた
- ii) (聞き手) 口頭での説明の時間が多くなり説明が理解しやすくなった
- iii) (聞き手) 説明のスピードが上がりノートをとるのが大変なことがあった
- iv) (聞き手) 教師が再利用する板書内容を選ぶのに時間がかかり、空白の時間が発生することがあった

i) と ii) は、板書内容の再利用が話し手の板書作業や聞き手の学習効果に良い影響を及ぼしたことを示したものであると思われる。それに対して iii) と iv) は板書内容によって新たに生じた問題点であると思われる。どちらも話し手が調節することで解消を望むことはできるものの、板書内容の再利用手法としても今後それらの問題点を解消する手法であることが望まれると思われる。

また、何人かの被験者から検索の精度が不十分であるという指摘を受けた。今回は独自に特徴ベクトルを作成しそれによって検索を行ったが、今後は手書き文字認識技術、[31] やアマナイメージドットコム [32] のように手書きのストロークをキーとして用いた画像検索技術を要素技術として用いることで検索の精度の向上を図ることが可能ではないかと思われる。

7.2 評価実験 2: インタフェースの比較評価

実験では、開発したインターフェースを比較することでそれぞれの持つ特性がどのような印象を与えるか、また有効な性質を見出すことを狙いとしている。

7.2.1 被験者

1回の試行に必要な被験者は話し手1名、聞き手1名の計2名である。被験者には同研究室の学生6名（実験1の被験者2名を含む）を選び、それぞれの学生に話し手と聞き手を1回ずつ、計6組のペアに実験を行ってもらった。

7.2.2 手順

話し手には、聞き手に向かって指定された事柄について板書内容の再利用を用いて説明を行ってもらう。説明は開発したインターフェースの全ての組み合わせについての計6回行い、学習効果による影響を考慮しその順序は被験者ごとに入れ替えるものとする。評価は全てのインターフェースの組み合わせ（6種類）と各インターフェース（再利用インターフェース2種類、サムネイルインターフェース3種類）について5段階評価と自由記述によるアンケートを行ってもらい、最も適切だと思うインターフェースの組み合わせとその理由を回答してもらう。

7.2.3 結果

実験結果を表7.3、7.4にて示す。

表 7.3: 話し手の評価（実験2）

被験者	A	B	C	D	E	F	Avg.
アイコン + フィッシュアイ (I+F)	5	5	2	5	4	4	4.16
アイコン + リング (I+R)	5	5	4	4	4	4	4.33
アイコン + スクリュー (I+S)	5	4	2	4	3	3	3.5
ドロア + フィッシュアイ (D+F)	5	4	3	4	5	5	3.33
ドロア + リング (D+R)	5	4	5	5	5	5	4.83
ドロア + スクリュー (D+S)	5	3	2	2	3	4	3.16
アイコン	5	5	4	5	4	4	4.5
ドロア	4	4	4	4	4	5	4.16
フィッシュアイ	4	5	2	4	4	4	3.83
リング	5	4	5	4	4	5	4.5
スクリュー	4	4	2	4	4	3	3.5
選択	I+R	I+F	I+R	I+F	D+R	D+R	

表 7.4: 聞き手の評価（実験 2）

被験者	A	B	C	D	E	F	Avg.
アイコン + フィッシュアイ (I+F)	4	5	2	4	3	4	3.66
アイコン + リング (I+R)	4	5	5	4	3	3	4
アイコン + スクリュー (I+S)	4	3	3	4	3	2	3.16
ドロア + フィッシュアイ (D+F)	2	4	2	4	3	4	3.16
ドロア + リング (D+R)	4	4	5	4	3	5	4.16
ドロア + スクリュー (D+S)	2	4	2	4	3	2	2.83
アイコン	5	4	4	3	3	4	3.83
ドロア	3	4	2	3	4	5	3.5
フィッシュアイ	4	3	2	4	3	3	3.16
リング	4	4	4	4	3	5	4
スクリュー	3	3	2	3	3	3	2.83
選択	I+F	I+R	I+R	I+F	D+*	D+R	

7.2.4 考察

実験結果を見ると、話し手と聞き手のどちらについても、リングサムネイルが高い評価を得ていることがうかがえる。これはリングサムネイルは背面にもサムネイルが表示されるため、一度に見ることのできる情報量が多いことによるものであると思われる。リングサムネイルの前面だけでなく背面にもサムネイルを回り込ませて表示するという手法は他のサムネイルインターフェースにも適用可能である。そのため、それらを組み合わせることでさらに改善されたサムネイルインターフェースを実現することが可能になるのではないかと思われる。

アイコンタイプとドロアタイプではアイコンタイプの方が手軽に推薦された板書内容を確認することができたというコメントを受けた。これは、ドロアは画面上に固定されているがアイコンは正に板書を行っている領域に出現するため話し手が移動する必要なく操作することができたことが 1 つの要因であると思われる。そのため改善策としては、ドロアが常に教師の手元にあるように教師の位置に応じて移動するといったことが考えられる。また、アイコンはその出現自体が関連する板書内容の存在を知らせるため当然それを操作することで必ず推薦された板書内容を見ることができる。しかし、ドロアは常に画面上に設置されているため関連する板書内容が入っているかどうかがわからなかったという声もあった。そのため、ドロアタイプにもアイコンの出現と同様に関連する板書内容の存在を知らせるフィードバック方法を備えることで改善が望まれるのではないかと思われる。

今回の実験ではそれぞれのインターフェースが持つ特性の中から有用なものとそうでないものを分類することができた。今後の展望として、例えばフィッシュアイリングサムネイルのようなそれぞれの特性を組み合わせることで、より授業環境に適したインターフェースを実現できるのではないかと思われる。

第8章 関連研究

8.1 さりげない情報提示手法

ユーザの作業を妨げないような「さりげない」情報提示を行っている研究として Ripple Desk[33] や Water Lamp[34]、ambientROOM[35] が挙げられる。Ripple Desk は、実世界における会話のざわめきをチャットの世界においても表現しようとするものである。ユーザが計算機上で作業をしている際に、予めそのユーザが所属しているコミュニティの他のメンバー一同士によってチャットによる会話が行われていると、そのざわめきをユーザのデスクトップ上に波紋を生じさせることでそのコミュニティで現在会話が行われていることをユーザに知らせてくれる。その情報提示を行う際、ユーザが仕事やその他の作業中であってもそれらの作業を妨げないような情報提示手法として波紋のメタファを用いている。本研究においても作業を妨げない情報提示手法を目指しているため、その点の問題意識ではこれらの研究と関連する部分がある。しかし、システムの利用シーンがそれぞれ異なるため実際の情報提示のアプローチは異なっている。WaterLamp や ambientROOM はデジタル情報や遠隔地の状況を水面の振動や風車の回転などの実世界の物体を用いて情報提示を行うものである。正にさりげない情報提示を行っていると思われるが、本研究とは利用シーンが異なっている。

8.2 サムネイルを用いた情報提示手法

本研究のようにサムネイルを用いて情報提示を行う研究として Visual Decision Maker[36] や Goromi-TV[37]、[38] が挙げられる。Visual Decision Maker はユーザに対し、ユーザが求めるであろう動画データをシステムが自動的に推薦するシステムである。動画データはサムネイルで表示され、ユーザの好みとの合致性によってその大きさや透過度を変化させて表示される。大量の視覚情報をサムネイルで表示するという点において本研究と共通するが、提示された情報を見るユーザとして想定されているのは操作の当事者のみであり、その点で本研究とは異なる。Goromi-TV は、ユーザが撮りためた膨大な量のビデオ映像の中からそのときの気分に合うものを、キーワードやサムネイルなどによってブラウジングしていくことで見つけることを支援するシステムである。こちらもサムネイルを用いて多くの情報を提示する点においては共通する部分があるが、やはり想定しているのは操作の当事者のみである。[39] は、計算機上でドキュメントを閲覧する際のインターフェースとしてスクロールしかないことを問題意識として、膨大なページ数のドキュメントの概要をより速く把握するためのインターフェースとして画面を埋め尽くす程のサムネイルでドキュメントの各ページを表示すること

を行った。本研究とはシステムの利用シーンが異なるが、多くの情報をより速く把握させることを狙いとしてサムネイルを用いている点では共通する部分があると思われる。

第9章 結論

本研究では、板書を用いた授業の中でよく見受けられる板書内容を再利用したい場面を支援することを目的とし、既存の授業支援ツールの問題点として管理するデータの単位と再利用する際に目当ての板書内容を探す必要があることを挙げ、それらを解決する電子板書システム: ガリバーを開発した。ガリバーは、教師が板書内容を再利用したいと思ったときには既に目当ての板書内容がすぐ取り出せる状況にあるということを理想とし、教師が再利用したいであろう板書内容を自動的に検索し教師に推薦する電子板書システムである。その特徴は、手書きのストローク群である板書内容を適切な単位で保存・管理すること、操作の当事者以外である学生に常に見られている環境を意識した板書内容の再利用手法を備えていることである。

本研究では、授業という操作の当事者以外にも見られている環境を意識し、板書内容の再利用手法としてアイコンタイプとドロアタイプの2種類を、関連する板書内容を提示する手法としてフィッシュアイサムネイル、リングサムネイル、スクリューサムネイルの3種類を開発した。

評価実験により、ガリバーによる板書内容の再利用は、学生にはこれまでの授業の印象を保ちながら教師にはより有用な授業環境を提供できることが示された。また、開発したインターフェースの比較評価を行った結果、それぞれのインターフェースが持つ性質を有用なものとそうでないものに分類することができた。それにより有用な性質を組み合わせることによって板書内容の再利用手法を今後さらに改善することが可能ではないかと思われる。

謝辞

本論文の執筆にあたり、指導教員である筑波大学大学院コンピュータサイエンス専攻田中二郎教授には終始丁寧なご指導をいただき、学外の研究発表の機会も与えていただきました。また、研究の内容だけでなく研究に取り組む姿勢に関しても親身になってご指導をいただき、その中で多くの事を学ばせていただきました。厚く御礼申し上げます。

筑波大学大学院コンピュータサイエンス専攻三末和男准教授には、日常のゼミ活動などを通し研究に対する丁寧なご指導をいただきました。そして日常生活に関する細かな事柄に関しても親身になってご指導いただきました。心より感謝致します。

筑波大学大学院コンピュータサイエンス専攻志築文太郎講師、高橋伸講師には大変有益な議論の機会を与えて頂きました。心から感謝致します。

筑波大学大学院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のメンバーの方々にも、大変お世話になりました。特に本研究の評価実験に協力していただいた方々には、貴重な時間を割いていただき心より感謝致します。特にNAISチームのメンバーの方々と過ごした多くの時間はこの学生生活の中で非常に得難いものになりました。心より感謝致します。

何より、物心両面からこの学生生活を支えていただいた両親、兄弟には深く感謝したいと思います。最後に、この素晴らしい学生生活の中で多くの時間を共に過ごした友人、そして学生生活の中で関わることのできた全ての方々にも心より感謝致します。本当にありがとうございました。

参考文献

- [1] PowerPoint. <http://office.microsoft.com/powerpoint/>
- [2] Gregory D. Abowd, Christopher G. Atkeson, Ami Feinstein, Cindy Hmelo, Rob Kooper, Sue Long, Nitin Sawhney, and Mikiya Tani. Teaching and learning as multimedia authoring: the classroom 2000 project. *In: Proceedings of the fourth ACM international conference on Multimedia*, pp.187-198, 1997.
- [3] Gregory D. Abowd, Christopher G. Atkeson, Jason Brotherton, Tommy Enqvist, Paul Gulley, Johan LeMon. Investigating the Capture, Integration and Access Problem of Ubiquitous Computing in an Educational Setting. *In: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pp.440-447, 1998.
- [4] Gerald Friedland, Lars Knipping, Raul Rojas, Ernesto Tapia. Teaching with An Intelligent Electronic Chalkboard. *In: Proceedings of the the 2004 ACM SIGMM workshop on Effective telepresence*, pp.16-23, 2004.
- [5] Gerald Friedland, Lars Knipping, Raul Rojas, Ernesto Tapia. Teaching with An Intelligent Electronic Chalkboard. *In: Proceedings of the the 2004 ACM SIGMM workshop on Effective telepresence*, pp.16-23, 2004.
- [6] E. R. Pedersen, K. McCall, T. P. Moran, and F. G. Halasz. Tivoli: An Electronic Whiteboard for Informal Workgroup Meetings. *In: Proceedings of INTERCHI '93*, pp.391-398, 1993.
- [7] Thomas R Moran, Patrick Chiu, William van 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*, pp.45-54, 1997.
- [8] Thomas P. Moran, William van Melle, and Patrick Chiu. Spatial Interpretation of Domain Objects Integrated into a Freeform Electronic Whiteboard. *In: Proceedings of the 11th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp.175-184, 1998.
- [9] Joseph J. LaViola, Robert C. Zeleznik. MathPad2: a system for the creation and exploration of mathematical sketches. *In: Proceedings of ACM SIGGRAPH 2006 Courses*, 2006.

- [10] Beth Simon, Richard Anderson, Steven Wolfman. Activating Computer Architecture with Classroom Presenter. *In: Proceedings of the 2003 workshop on Computer architecture education*, 2003.
- [11] Richard Anderson, Ruth Anderson, Beth Simon, Steven A. Wolfman, Tammy VanDeGrift, Ken Yasuhara. Experiences with a Tablet PC Based Lecture Presentation System in Computer Science Courses. *In: Proceedings of the 35th SIGCSE technical symposium on Computer science education*, pp.56-60, 2004.
- [12] Richard Anderson, Ruth Anderson, K. M. Davis, Natalie Linnell, Craig Prince, Valentin Razmov. Supporting Active Learning and Example Based Instruction with Classroom Technology *In: Proceedings of the 38th SIGCSE technical symposium on Computer science education*, pp.69-73, 2007.
- [13] Michelle Wilkerson, William G. Griswold, Beth Simon. Ubiquitous Presenter: Increasing Student Access and Control in a Digital Lecturing Environment. *In: Proceedings of the 36th SIGCSE technical symposium on Computer science education*, pp.116-120, 2005.
- [14] Elizabeth D. Mynatt, Takeo Igarashi, W. Keith Edwards, Anthony LaMarca. Flatland: New Dimensions in Office Whiteboards. *In: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems: the CHI is the limit*, pp.346-353, 1999.
- [15] Takeo Igarashi, W. Keith Edwards, Anthony LaMarca, Elizabeth D. Mynatt. An Architecture for Pen-based Interaction on Electronic Whiteboards. *In: Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces*, pp.68-75, 2000.
- [16] Christian Heide Damm, Klaus Marius Hansen, Michael Thomsen. Tool Support for Cooperative Object-Oriented Design: Gesture Based Modeling on an Electronic Whiteboard. *In: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pp.518-525, 2000.
- [17] Wendy G. Ju, Brian A. Lee, Scott R. Klemmer. Range: Exploring Proxemics in Collaborative Whiteboard Interaction. *In: Proceedings of CHI '07 extended abstracts on Human factors in computing systems*, pp.2483-2488, 2007.
- [18] Mark D. Gross, Ellen Yi Luen Do. Demonstrating the Electronic Cocktail Napkin: a paper-like interface for early design. *In: Conference companion on Human factors in computing systems: common ground*, pp.5-6, 1996.
- [19] James Lin, Mark W. Newman, Jason I. Hong, James A. Landay. DENIM: Finding a Tighter Fit Between Tools and Practice for Web Site Design. *In: Proceedings of the 5th international conference on Multimodal interfaces*, pp.510-517, 2000.

- [20] Yang Li, James A. Landay, Zhiwei Guan, Xiangshi Ren, Guozhong Dai. Sketching Informal Presentations. *In: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pp.234-241, 2003.
- [21] Gonzalo Ramos, Ravin Balakrishnan. Fluid Interaction Techniques for the Control and Annotation of Digital Video. *In: Proceedings of the 16th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp.105-114, 2003.
- [22] Gonzalo Ramos, Matthew Boulos, Ravin Balakrishnan. Pressure Widgets. *In: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pp.487-494, 2004.
- [23] Ken Hinckley, Shengdong Zhao, Raman Sarin, Patrick Baudisch, Edward Cutrell, Michael Shilman, Desney Tan. InkSeine: In Situ Search for Active Note Taking. *In: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pp.251-260, 2007.
- [24] 栗原一貴, 伊藤乾, 五十嵐健夫. ことだま : ペンベース電子プレゼンテーションの提案. 第 12 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 (WISS2004) 論文集, pp.77-82, 2004.
- [25] Saul Greenberg, Michael Rounding. The Notification Collage: Posting Information to Public and Personal Displays. *In: Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems*, pp.514-521, 2001.
- [26] 渡邊恵太, 安村通晃. Memorium: 眺めるインターフェースの提案とその試作. 第 10 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 (WISS2002) 論文集, pp.99-104, 2002.
- [27] Daniel Vogel, Ravin Balakrishnan. Interactive Public Ambient Displays: Transitioning from Implicit to Explicit, Public to Personal, Interaction with Multiple Users. *In: Proceedings of the 17th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp.137-146, 2004.
- [28] G. M. Smith and M. C. Schraefel. The radial scroll tool: scrolling support for stylus- or touch-based document navigation. *In: Proceedings of the 17th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp.53-56, 2004.
- [29] Georg Apitz, Francois Guimbretiere. CrossY: A Crossing-Based Drawing Application. *In: Proceedings of the 17th annual ACM symposium on User interface software and technology*, pp.3-12, 2004.
- [30] Yanqing Cui, Vuokko Lantz. Fact finding: Stroke break analysis: a practical method to study timeout value for handwriting recognition input. *In: Proceedings of the 7th international conference on Human computer interaction with mobile devices & services*, pp.263-266, 2005.

- [31] A Del Bimbo, P Pala, S Santini. Visual Image Retrieval by Elastic Matching of User Sketches. *In: IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 19(2), pp.121-132, 1997.
- [32] アマナイメージドットコム <http://amanaimages.com/>
- [33] 岩淵志学, 久松孝臣, 高橋伸, 志築文太郎, 三末和男, 田中二郎. 波紋を用いたインターネット上のざわめきの提示手法. 第三回知識創造支援システム・シンポジウム予稿集, pp.100-107, 2006.
- [34] Andrew Dahley, Craig Wisneski, and Hiroshi Ishii. Water lamp and pinwheels: ambient projection of digital information into architectural space. *In: CHI 98 conference summary on Human factors in computing systems*, pp.269-270, 1998.
- [35] Hiroshi Ishii, Craig Wisneski, Scott Brave, Andrew Dahley, Matt Gorbet, Brygg Ullmer, and Paul Yarin. ambientROOM: integrating ambient media with architectural space. *In: CHI 98 conference summary on Human factors in computing systems*, pp.173-174, 1998.
- [36] Steven M. Drucker, Tim Regan, Asta Roseway, Markus Lofstrom. The Visual Decision Maker: a recommendation system for collocated users. *In: Proceedings of the 2005 conference on Designing for User eXperience*, posters, 2005.
- [37] 大坪五郎. Goromi-TV 撮りためた千以上のビデオを気ままに閲覧する方法. 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 (WISS2006) 論文集, pp.47-52, 2006.
- [38] Andy Cockburn, Carl Gutwin, Jason Alexander. Faster Document Navigation with Space-Filling Thumbnails. *In: Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in computing systems*, pp.1-10, 2006.