

# 博士学位論文

氏名（本籍）	鈴木拓弥（群馬県）
学位の種類	博士（工学）
学位記番号	博甲第148号
学位授与年月日	平成30年3月31日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項
学位論文題目	聴覚障害学生向け実技演習の教示支援手法 に関する研究

論文審査委員	主査	長嶋 祐二 教授
	副査	管村 昇 教授
	”	真鍋 義文 教授
	”	米澤 宣義 名誉教授
	”	原 大介 教授（豊田工業大学）

# 論文要旨

聴覚障害学生に対する授業では、聴覚の代行として主に視覚による支援が行われている。通常の講義では、教示内容をまとめた資料などを提示しながら、手話、口話、板書、書画カメラなどの視覚情報によって説明する手法が一般的である。近年では、エリアワンセグを用いて字幕を付与した映像を聴覚障害学生の手元に伝送するシステムや、PC同時通訳によって音声情報を文字情報に変換してタブレットPCやスマートフォンに伝送するシステムなど、多様な手法が存在する。実技演習においても、様々な手法が開発され、運用されてきた。教員は教科書などの読ませる教材を基本に、操作内容を字幕や脚注で付与したビデオ教材、各種のマルチメディア教材やプレゼンテーション資料、eラーニングシステム上で提供される各種コンテンツなどを組み合わせ、教示内容を伝達している。

これらの手法に共通して用いられる手法は文字による字幕表示である。手話を十分に使えない教員であっても、講義の場合には、文字情報を主体としたこれらの手法を活用することで、聴覚障害学生に対し、教示内容を漏れなく伝達できる。また、その効果も多方面から検証されている。

しかし、聴覚障害学生に対する実技演習時には講義の場合とは異なった問題が生じている。それは実演内容を画面で示しながら、同時に音声による補足的な説明を加えることが困難なことである。健聴学生を対象とした実技演習では、教員の実演を見せながら、同時に実演を補助する説明を音声によって同時に提供することが可能である。健聴学生は教員の実演から視線を逸らすことなく、音声による補助説明を教員の実演と同時に受け取ることができる。一方、聴覚障害学生は、教員の実演を見ながら、補助説明を音声によって同時に受け取ることが困難である。このため、聴覚障害学生に対する実技演習では、健聴学生に対して音声で提供している情報を、文字を中心とした視覚的な情報に置き換えて伝達する。音声を視覚的な情報に置き換える際には、必ず一定のタイムラグが存在する。また、空間的にも補助説明は実演と離れた位置に表示される。このために教員による実演と音声以外の手段での補助説明との間には、時間的、空間的な隔たりが生じる。このような特性から、聴覚障害学生への実技演習では、実演と説明のために、健聴学生に対する授業よりも、同じ授業内容であっても多くの時間を要する。また、実演と補助説明とが同期して提供されないため、学生の情報取得のための負荷も増し、理解の妨げとなっている。

聴覚障害学生へのデザインに関する実技演習の教示経験を通じ、これらの問題点が分かってきた。本論文ではこれらの問題を解決するため、聴覚障害学生向け実技演習時に用いるための教示支援ソフトウェアやシステム、デバイスを開発し、それぞれ効果を検証した。

第1章では、聴覚障害学生への実技演習時の情報保障や、問題点について述べる。

第2章では、聴覚障害学生向け実技演習における、教員の実演と補助説明との隔たりを解消することで、学生の精神的負荷を軽減し、理解力を向上させることができると予測し、新たな手法の開発と検証を行った。近年のデザインの実技演習は、PC上のグラフィックソフトウェアを用いた授業が主体であることから、筆者が担当している授業において使用している代表的なソフトウェアに関する教示支援手法に限定して着手した。

はじめに、ソフトウェアと文字チャットソフトを同時に使う手法を検討した。授業内容をテキストデータによるログとして全て残せるため、見直しや反復ができるなど、一定の効果があつたものの、実演と説明との空間的、時間的な隔たりを解消できず、実技を教示する教員をリアルタイムに支援するには不十分であると判断した。しかし、チャットソフトを試行することで、聴覚障害学生当事者の意見として、実演と補助説明の時間的、空間的な隔たりが理解の妨げになっていることを確認することができた。

次に、教員の実演と補助説明とを同期させる手法を検討した。調査の結果、音声同時通訳など、字幕を表示するシステムやソフトウェアは多数存在したが、いずれも画面の一定の領域を占有し、また、画面内で実演の近くに字幕を表示することができるソフトウェアは存在しなかった。そこでPC上のソフトウェアの教示時に使用する目的で、教員の実演と補助説明とを同期させる支援ソフトウェアを開発した。支援ソフトウェアは、はじめに字幕表示に限定し、以下の二つの要件を元に開発した。

- 1) マウスポインタに追従するテキスト領域を設定し、補助説明を表示する機能
- 2) テキストデータで準備した補助説明を読み込んで順次提示する機能

開発後、支援ソフトウェアをSZKIT (SynchroniZed Key points Indication Tool) と名付け、筆者の担当する聴覚障害学生向け実技演習に導入した。導入の結果、グラフィックスソフトウェアの教示時には、「マウスクリック」「マウスドラッグ」「Shift キー」「Ctrl キー」「Alt キー」の操作が多く、補助説明のテキストにこれらの単語が頻出していることが分かった。これらを効果的に表示することができれば演習の質の向上に繋がると推測し、その方法を検証することとした。

はじめにマウスやキーの状態を表示する既存のソフトウェアやプレゼンテーション支援用のソフトウェアを調査した。しかしそれらは固定ウィンドウ内に文字で状態を提示するもの、あるいはマウスポインタと重なった位置に丸印を表示するなどであり、直感的ではなく、操作内容を提示する用途には適していない。そこで、字幕表示システムとして開発したSZKITに対し、マウスボタンの左右、Shift、Ctrl、Altの押し下げ状態をインジケータとして表示する機能を追加した。この改良により、補助説明を読まなくても、教員の実演内容を視覚的に把握できるようになった。続けてSZKITを用いた場合と、用いなかった場合とを模擬授業において比較検証し、定量的にSZKITの有効性を示した。

改良後のSZKITを筆者の担当する聴覚障害学生向け実技演習に導入した。SZKITは実技演習時の教員をリアルタイム支援するシステムとして開発したが、教示内容を動画キャプチャすることで、字幕付き動画教材作成に活用できた。筆者の担当する実技演習において、授業開始時にSZKITを用いて教示内容を実演し、その後、実演内容をキャプチャした動画を併用するなどの方法を確立した。SZKITを導入する以前と比べ、学生の理解力は向上し、個別指導時の学生一人あたりの拘束時間は減少した。その結果、限られた時間の中で、より多くの学生に対応ができるようになった。SZKITの導入によりPC上で展開される実技演習において、聴覚から得られる情報を視覚的な情報に置き換え、教示する内容との遅延を解消できた。

第3章では、SZKITの開発と研究で得られた知見を絵画・彫刻・工芸などの実技教育に応用した。SZKITはPC上で展開される実技演習を対象としており、PC環境以外の実技教育に適用できない。芸術・工芸・デザインの教育において、PCやソフトウェアを用いた造形技術習得の機会が増す一方、画具や工具を用い、様々な素材に直接手で触れる芸術実技演習は依然として重要であり、多数のカリキュラムが存在している。そこで、短焦点プロジェクター、ポインティングペンデバイス、フットスイッチ、USBカメラをPCに接続し、SZKITを用いて机上に教員の実演と同期した字幕を表示するシステムを開発した。開発したシステムをSZTAP(Synchronized Tabletop Projection System)と名付け、授業に導入した。ドローイングに関する授業、人物イラストに関する授業のそれぞれに導入し、聴覚障害学生から良好な

評価を得た。

第4章では、SZKIT や SZTAP を授業に導入し、活用する中で発見した新たな問題について述べる。SZKIT や SZTAP は学生の理解力の向上に効果があったが、一部の学生はこれらの視覚を中心とした情報保障を駆使しても依然として理解に時間を要していた。原因を明らかにするため、SZKIT による字幕付き教材を用いた自習時の学生の行動を調査した。調査の結果、原因として、長い文章の字幕と実演内容とが同じ画面上に同時に表示されるような視覚情報過多による見落としや認識の遅れが推測された。そこで、情報保障を視覚以外の伝達手段に分散することで、視覚に集中している負荷が軽減され、理解の向上が図れるのではないかと推測した。

第5章では、第4章で得られた知見を元に、視覚情報によって伝達されている一部の情報を、感覚代行により伝達するシステムを開発し、検証した。開発した伝達システムは聴覚障害学生を対象とすることから振動等触覚情報により伝わるものとした。具体的には、左クリック右クリック、左ドラッグ右ドラッグの指示を振動による触刺激によって伝達するシステムを開発した。開発したシステムを SZCAT (SynchroniZed Click Action Transmitter) と名付け、有効性を検証した。伝達システムの有効性を検証する第一段階として、提示情報への気づきの誘発、触覚伝達手段による精神的負荷の低減効果を検証した。検証の結果、触覚を用いた方法論の有効性を示すことができた。

第6章では、SZCAT を改良し、キーボード操作とマウス操作のタイミングを触覚によって伝達するシステムを開発し、検証した。実技演習においては、マウス左右の押し下げ状態以外にも、キーボードとのコンビネーションを用いるなど、マウスとキーボードの操作タイミングの習得が重要となる場面が多い。そこで、マウス左右の押し下げ状態を伝達するシステムとして開発した SZCAT を改良し、マウスとキーボード双方の操作タイミングを伝達できるシステムを開発した。開発したシステムを SZFOX (SynchroniZed Focused Operation eXaggerator) と名付け、有効性を検証した。検証では SZKIT 単独で用いた場合と、SZKIT に SZFOX を併用した場合とを比較した。検証の結果、SZFOX を併用した場合には、SZKIT 単独で用いた場合に比べて視線移動量を著しく減少させるなどの効果が認められた。一方で、振動の残効によって、SZKIT 単独で用いた場合に比べ、SZFOX を併用した場合に、誤認識が多発する場面があることが分かった。SZCAT 及び SZFOX の開発、検証によって、視線移動量を減少させる効果など、視覚に集中している負荷を軽減させる効果を得ることができた。一方で触覚による伝達は、視覚による伝達に比べ、不正確に認識される場合もあるなど、問題点も明らかとなった。そこで、視覚情報過多による見落としや認識の遅れを解消するには、視覚以外の伝達手段に分散させるのではなく、視覚を用いつつ、負荷を軽減する別の方法を検討した。

第7章では、SZKIT を改良し、教員の実演履歴を一定時間提示する手法を開発し、有効性を検証した。グラフィックスソフトウェア上に実演履歴を残す場合、画面が履歴情報で溢れ、本来のソフトウェアの教示の妨げになることから、実演履歴を教員の実演に同期してタイムラグ無く提示しつつ、一定時間後に順次消える手法を開発した。

開発したシステムを SZKISS (SynchlioniZed Key points Indicator with Scrolling Sign) と名付け、有効性を検証した。検証では SZKIT を用いた場合と、SZKISS を用いた場合とを比較した。検証の結果、SZKISS を用いた場合には、SZKIT を用いた場合に比べ、誤認識を減少させる効果を証明できた。質問紙調査の結果から、実演履歴が一定時間残ることによる精神的負荷の低減効果も認められた。

第8章では本論文で得られた結論と今後の課題について述べる。主な成果や結論として、以下が挙げられる。

- 1) 聴覚障害学生に対する実技演習時において、教員の実演と補助説明との空間的、時間的な隔たり

を解消することで、授業理解度を向上させることができた。

2) 聴覚障害学生に対する実技演習時において、字幕を中心とした方法では、視覚情報過多による見落としや認識の遅れがあり、触刺激を用いることで、提示情報への気づきの誘発や視線移動量減少などの負荷軽減効果を得られた。

3) 2の成果が得られた一方、触刺激を用いた手法では、視覚による伝達に比べ、不正確に認識される場合があることが分かった。

4) 視覚情報過多による見落としや認識の遅れに対して、実演履歴を一定時間提示する手法を開発し、検証した結果、誤認識改善効果が得られた。また、精神的負荷の軽減効果が得られた。

今後の課題としては以下のことが考えられる。

本論文における触覚情報の効果は、提示情報の気づきの誘発、視線移動量減少などの負荷軽減効果に留まった。触覚情報による情報提示については、視覚情報による情報提示と比べて正確性が劣ると判断し、授業には最終的に開発したSZKISSのみを導入している。しかしながら、SZFOXの検証において、不正確に認識された原因は推定できている。この原因を取り除くことで、誤認識を減らすことができる可能性がある。本論文では触覚情報の効果検証は限定的であったため、今後の研究において引き続き触覚情報提示の可能性について追及していきたい。

# 目次

## 第1章 はじめに

1.1 聴覚障害学生に対する授業	13
1.1.1 聴覚障害学生に対する情報保障と関連研究	13
1.1.2 聴覚障害学生の特性に配慮した情報保障のあり方	14
1.2 聴覚障害学生に対する実技演習時の問題点	14
1.2.1 視覚のみからでは正しく内容を理解しにくい問題	14
1.2.2 実演内容と補助説明の空間的、時間的な乖離問題	16
1.3 関連研究と本研究の位置づけ	18
1.3.1 映像と字幕の時間のずれに関する関連研究	18
1.3.2 字幕の表示位置に関する関連研究	18
1.3.3 操作内容の可視化手法と字幕提示手法に関する調査	19
1.4 研究の目的、方法	19
1.5 本論文で使用する用語	20
1.6 本論文の構成	21
1.7 本論文で開発したシステム一覧、機能の詳細	22

## 第2章 ソフトウェア教示支援システム SZKIT

2.1 本章の目的	23
2.2 SZKIT の開発と検証	23
2.2.1 SZKIT の当初要件	23
2.2.2 マウスポインタに追従するテキスト領域の実装	24
2.2.3 ゲームパッドインタフェースの採用	24
2.2.4 自由記述機能の実装	25
2.2.5 マウスと特殊キーの状態表示の実装	25
2.2.6 SZKIT v.1.1 に対する追加機能	26
2.2.7 ゲームパッドからキーボードへの転換	27
2.3 SZKIT の検証	27
2.3.1 実験協力者	28
2.3.2 実験内容	28
2.3.3 実験手順	29
2.3.4 実験環境	29
2.3.5 課題の評価点数設定	30
2.3.6 質問紙調査	30

2.4	結果と考察	31
2.4.1	課題の採点結果と考察	31
2.4.2	質問紙調査結果と考察	32
2.5	まとめ	35

### 第3章 卓上リアルタイム教示支援システム SZTAP

3.1	本章の目的	37
3.2	SZTAP の開発	37
3.2.1	SZTAP の構成	38
3.3	SZTAP の実用と評価	39
3.3.1	模擬授業と評価	39
3.3.2	SZTAP の改良	40
3.3.3	外部講師による特別演習と評価	40
3.4	まとめ	41

### 第4章 字幕を中心とした情報保障の問題点

4.1	本章の目的	43
4.2	SZKIT による字幕付き教材を用いた自習調査	43
4.2.1	調査・実験の概要	43
4.2.2	調査・実験の詳細	44
4.2.3	実験の流れ	46
4.3	実験結果	47
4.3.1	実験結果の概要	47
4.3.2	自習時の行動分類	49
4.4	考察	49
4.5	まとめ	53

### 第5章 触覚によるマウス操作伝達システム SZCAT

5.1	本章の目的	55
5.2	触覚情報提示デバイス SZCAT の開発	55
5.2.1	触覚情報提示手法の検討	55
5.2.2	触覚情報提示システム SZCAT の機能	56
5.3	触覚情報提示による精神的負荷の軽減と情報取得漏れを防ぐ効果の検証	58
5.3.1	実験の目的	58
5.3.2	実験の概要	58
5.3.3	実験環境	60
5.3.4	実験手順	60

5.3.5	実験協力者	60
5.3.6	課題の評価点数設定	61
5.3.7	視線計測	61
5.3.8	質問紙調査	61
5.4	評価結果	62
5.4.1	各タスク実験結果	62
5.4.2	視線計測結果	62
5.4.3	質問紙調査結果	62
5.5	考察	64
5.5.1	計算タスクの正確性について	64
5.5.2	確認タスクの正確性について	64
5.5.3	視線移動量について	64
5.5.4	SZCAT の付け心地や重量、着用に伴うストレスについて	64
5.5.5	SZKIT と触覚情報を追加した効果について	65
5.6	まとめ	65

## 第6章 触覚による PC 教示支援システム SZFOX

6.1	本章の目的	67
6.2	触覚情報提示デバイス SZFOX の開発	67
6.3	SZFOX の有効性の検証	68
6.3.1	評価方法	68
6.3.2	二重タスクの内容	68
6.3.3	実験環境	71
6.3.4	実験手順	71
6.3.5	実験協力者	71
6.3.6	課題の評価点数設定	72
6.3.7	視線計測	72
6.3.8	質問紙調査	72
6.4	評価結果	72
6.4.1	各タスクの実験結果	73
6.4.2	視線計測結果	73
6.4.3	質問紙調査結果	74
6.5	考察	76
6.5.1	計算タスクの正確性について	76
6.5.2	確認タスクの正確性について	76
6.5.3	視線移動量について	76
6.5.4	SZFOX の付け心地や重量、着用に伴うストレスについて	77
6.6	まとめ	77

## 第7章 実演履歴提示システム SZKISS

7.1 本章の目的	79
7.2 実演履歴提示ソフトウェアの開発	79
7.2.1 実演履歴提示手法の検討	79
7.2.2 実演履歴提示ソフトウェア SZKISS の仕様	82
7.2.3 SZKISS の実演履歴インジケータの速度調整	83
7.3 実演履歴提示ソフトウェアの評価	83
7.3.1 実験の目的	83
7.3.2 二重タスクの内容	83
7.3.3 実験環境	86
7.3.4 実験手順	86
7.3.5 実験協力者	86
7.3.6 タスクの評価点数設定	86
7.3.7 質問紙調査	87
7.4 評価結果	87
7.4.1 各タスクの結果	87
7.4.2 質問紙調査・ヒアリング結果	89
7.5 考察	89
7.5.1 計算タスクの正確性について	90
7.5.2 確認タスクの正確性について	91
7.5.3 実演履歴インジケータの正確性に起因する問題点について	91
7.5.4 実演履歴インジケータの表示位置について	91
7.5.5 実演履歴インジケータの移動速度について	91
7.5.6 実演履歴インジケータの色や形について	91
7.5.7 読解の苦手な学生に対する実演履歴インジケータの効果について	92
7.5.8 実演履歴インジケータのストレスについて	92
7.6 まとめ	92
第8章 結論	95
謝辞	99
本論文に関する発表文献	100
参考文献	103

# 図目次

図 1.1	通常のドラッグ操作（上）と Alt キー・Shift キーを押しながらのドラッグ操作（下）	15
図 1.2	実技演習の授業風景	16
図 1.3	チャットを併用する場合の画面	17
図 1.4	本論文の構成	21
図 1.5	SZTAP の外観	22
図 1.6	SZCAT の外観	22
図 1.7	SZFOX の外観	22
図 2.1	SZKIT v1.0 の外観	24
図 2.2	ゲームパッドの外観（上）と左側のボタン群（下）	25
図 2.3	SZKIT v1.1 の外観	26
図 2.4	SZKIT v1.2 を用いて図 1.1 下と同じ操作をしている様子	28
図 2.5	タスク A（左）、タスク B（右）で作図方法を学んだ図形	28
図 2.6	SZKIT を用いた場合と用いなかった場合の模擬授業後試験結果	31
図 2.7	SZKIT の各インジケータに関するアンケート結果	32
図 3.1	実演と補助説明の隔たり	37
図 3.2	実演と補助説明の同期	38
図 3.3	SZTAP の外観	38
図 3.4	SZTAP を用いた模擬授業の様子	39
図 3.5	漫画家による SZTAP を用いた特別演習	40
図 4.1	評価実験の様子	44
図 4.2	基礎タスクに用いた図形	45
図 4.3	応用タスク A（左）、応用タスク B（右）で作図方法を学んだ図形	45
図 4.4	教示画面の詳細	46
図 4.5	各タスクの自習時間	48
図 4.6	教示画面（左）と操作画面（右）を連結した記録動画の一場面	49
図 4.7	実験協力者 G の応用タスク A 再自習時の行動分類結果の時系列分布	51
図 4.8	実験協力者 B の応用タスク A 再自習時の行動分類結果の時系列分布	51
図 5.1	SZCAT の振動部分の詳細	57
図 5.2	SZCAT の外観と各部の説明	57
図 5.3	SZCAT を着用してマウス操作を行っている様子	57
図 5.4	実験時の画面	59
図 5.5	誤認識の要因の集計結果	63
図 6.1	SZFOX を装着して操作している様子	68
図 6.2	実験時の画面例	69

図 6.3	確認タスクにおける提示パターン	70
図 7.1	字幕表示領域を確保し、画面下部から上部に向かって字幕を順次提示する手法	80
図 7.2	実演内容の直ぐ近くに、履歴を文字情報として一定時間表示しておく手法	80
図 7.3	履歴提示領域を確保し、画面下部から画面上部に向かって操作履歴インジケータを 順次提示する手法	81
図 7.4	画面の任意の位置に、画面下部から画面上部に向かって操作履歴インジケータを 順次提示する手法	81
図 7.5	上：SZKIT のみを用いた実験の画面、下：SZKISS を併用した実験画面	85
図 7.6	誤認識の要因の集計結果（発生回数）	88
図 7.7	誤認識の要因の集計結果（発生割合）	88
図 7.8	質問紙調査の集計	90

# 表目次

表 1.1	SZKIT 及び SZKISS の機能	22
表 5.1	計算タスクの採点結果	63
表 5.2	視線計測結果	63
表 6.1	計算タスクの採点結果	73
表 6.2	確認タスクの各パターンの誤認識発生率	73
表 6.3	視線の停留時間と移動回数	74
表 7.1	表示されるインジケータの種類及び表示される回数	84
表 7.2	計算タスクの採点結果	88

# 第1章

## はじめに

### 1.1 聴覚障害学生に対する授業

聴覚障害学生は健聴学生に比べ、視覚によって得るべき情報が多い。音声は手話や文字などを通じて視覚から取得される。手話の場合、教員自らが手話を用いる、あるいは手話通訳者が介在するかのいずれかである。いずれの場合も、教員や視聴覚教材から発せられる音声を手話に変換し、視覚を通じて伝達される。文字の場合には多数の方法が存在する。教員や学生の音声をノートテイクによって文字に変換したり、あるいは教員が教示すべき内容を文字や図などにあらかじめ変換しておくなど、多数の方法が存在する。これらの手法はいずれも視覚を中心として伝達される。

聴覚障害学生は聴力レベル、教育歴、読解力など様々である。また、コミュニケーション方法の嗜好性もある。聴力レベルだけ見ても、補聴器や人口内耳のフィッティングが良く、音声を聞いた日常的会話に支障のない学生、あるいはFM補聴器等を介すれば音声を十分に取得できる学生、全く聴力の無い学生など、様々である。コミュニケーション方法についても、手話によるコミュニケーションを好む学生もいれば、口話を好む学生もいる。口話のできる学生は教員の口の動きを見てある程度内容を把握できる。また、普段の会話では手話を基本としていても、授業においては字幕を希望する学生など、様々である。

このように聴覚障害には様々な違いがあり、一様ではない。そのため、聴覚障害をサポートする手法も様々な存在する。この聴覚障害学生に対する補助は、情報保障と呼ばれている。

#### 1.1.1 聴覚障害学生に対する情報保障と関連研究

通常の講義における情報保障は、教示内容をまとめた資料などを提示しながら、手話、口話、板書、書画カメラなどの視覚情報によって説明する手法が一般的である。近年では、エリアワンセグを用いて字幕を付与した映像を聴覚障害学生の手元に伝送するシステムや [1][2]、PC 同時通訳 [3][4]、ネットワークを通じた同時通訳 [5] によって音声情報を文字情報に変換してタブレット PC やスマートフォンに伝送するシステムなど、多様な手法が存在する。実技演習においても、様々な手法が開発され、運用されている。教員は教科書などの読ませる教材を基本に、操作内容を字幕や脚注で付与したビデオ教材 [6] [7]、各種のマルチメディア教材やプレゼンテーション資料、eラーニングシステム上で提供される各種コンテンツなどを組み合わせ、教示内容を伝達している [8-11]。

現在、授業において一般的に行われている情報保障には以下がある。

- 1) 手話（手話通訳、手話介助）
- 2) 文字通訳（筆談、ノートテイク、パソコンノートテイク、要約筆記、同時通訳、遠隔情報保障）
- 3) 音声認識

これらに共通して用いられる手法は聴覚情報を視覚情報に変換する情報提示である。手話を十分に使えない講師であっても、講義の場合には文字情報を主体としたこれらの手法を活用することで、聴覚障

害学生に対し、教示内容を漏れなく伝達できる。また、それぞれの手法の比較 [12] や、講義における字幕情報の提示手法や効果も多方面から検証されている [13][14]。これらの文字情報を主体とした手法は一般的な講義において有効であり、様々な知見が得られている。一方で、実技演習で実演を伴いながら教示する場面において、これらの手法では、教示する教員を直接サポートできない場合が存在する。聴覚障害学生に対する実技演習時の問題点は 1.2 において述べる。

### 1.1.2 聴覚障害学生の特性に配慮した情報保障のあり方

1.1.1 では情報保障の手法について関連研究を中心に述べた。一方、情報保障をより有効なものとするために、聴覚障害学生の特性への配慮も必要である。漏れなく情報が与えられていたとしても、聴覚障害学生は視覚から多くの情報を得なければならない。音声から同時並行的に情報を得やすい健聴学生とくらべ、視覚情報過多になりがちである。そこで、手段としての情報保障に加え、聴覚障害学生の特性に配慮した以下のような工夫が行われている。

#### 1) 授業内容を資料化する

健聴学生であれば、教員の音声を聞きながら書きとめることが容易だが、聴覚障害学生には困難である。視覚から多くを得なければならない聴覚障害学生に対する配慮として、書き写す作業をできるだけ少なくすることは有効である。

#### 2) 同時並行処理を避ける、確認のための時間を設ける

健聴学生であれば、音声を聞きながら図や表を確認することが可能である。しかし、聴覚障害学生には困難であるため、同時に複数のことをさせない工夫が必要である。例えば資料を読ませている間に説明を始めたりしないなどである。また、ノートテイクや手話通訳、要約筆記サービスを利用した場合、必ず数秒のタイムラグが生じるため、確認のための時間を設けることは有効である。

#### 3) 視線を遮らない、視線移動量を減少させる

手話を主なコミュニケーション手段としている学生でも、口の動きを見ていない訳ではなく、むしろ手話と一体となって、口の動きを含めた顔全体を確認しながら意味を読み取っていることも多い。そのため、説明しながら学生に背を向けて板書しないなど、できるだけ顔を学生の方を向けておく工夫は有効である。また、手話を主な説明の手段とした場合、聴覚障害学生は提示されている資料と手話との間で視線を移動させる必要がある。視線によって多くを得なければならない聴覚障害学生に対し、例えば資料をプロジェクターによって提示している場合には、提示されている位置の近くに立つなど、視線移動量を減らす工夫が有効である。

## 1.2 聴覚障害学生に対する実技演習時の問題点

通常の講義では、先に述べた情報保障や、聴覚障害学生の特性に配慮することで、聴覚障害学生に対する授業に比べ、多少の時間を要するものの、大きな差異はなく授業を進めることが可能である。しかし、聴覚障害学生に対する実技演習時には、講義の場合とは異なった問題が生じている。

### 1.2.1 視覚のみからでは正しく内容を理解しにくい問題

聴覚障害学生への実技演習では、視覚のみからでは情報を正しく判断しにくい場合がある。例えば聴覚障害学生への実技演習の一つとして、美術やデザインに関する実技演習がある。筆者が所属する筑波技術大学産業技術学部総合デザイン学科には、聴覚障害学生がデザインに関する知識と技術の習得を目

的として修学している。Adobe 社の Illustrator や Photoshop、Indesign など、業界標準グラフィックデザイン系ソフトウェア（以下、グラフィックスソフトウェア）の習得は必要不可欠であり、そのための実習科目が多数編成されている。

グラフィックスソフトウェアを教示する場合、僅かな操作の違いが画面上では認識しにくいことも多く、微妙な違いで結果が異なる場合がある。例えば、Adobe Illustrator において描画オブジェクトをドラッグすると、そのオブジェクトは移動する。ここで Alt キーを押しながらドラッグすると、オブジェクトはコピーされる。また、コピー操作中に Shift キーを押すことで、コピー元オブジェクトと水平方向や垂直方向などを保った位置にコピー先を指定することもできる。このように Shift キーは位置や角度を揃える場合に押されるため、往々にして操作途中で押されることも多い。すなわち、水平方向や垂直方向などを保ったままオブジェクトをコピーする場合には、「Alt キーを押しながらオブジェクトをドラッグし、途中で Shift キーを押して、目的の位置でマウスのボタンを離し、その後特殊キーを離す」という操作が行われることになる。

このような操作を教える場合、一般的には操作している画面の様子を提示しながら「ここで Alt キーを押しながらドラッグします」「さらに Shift キーを追加して押します」と音声で説明を加える。しかし聴覚障害学生は音声情報を正確に受け取ることが困難であるため、主に画面表示からのみ情報を受け取ることになり、操作の理解が難しい。

例として、図 1.1 に通常のドラッグ操作と、Alt キーと Shift キーを押したドラッグ操作の画面状態を示す。マウスカーソルの形の変化からかろうじて Alt キーが押されたことは分かるものの、その差はご

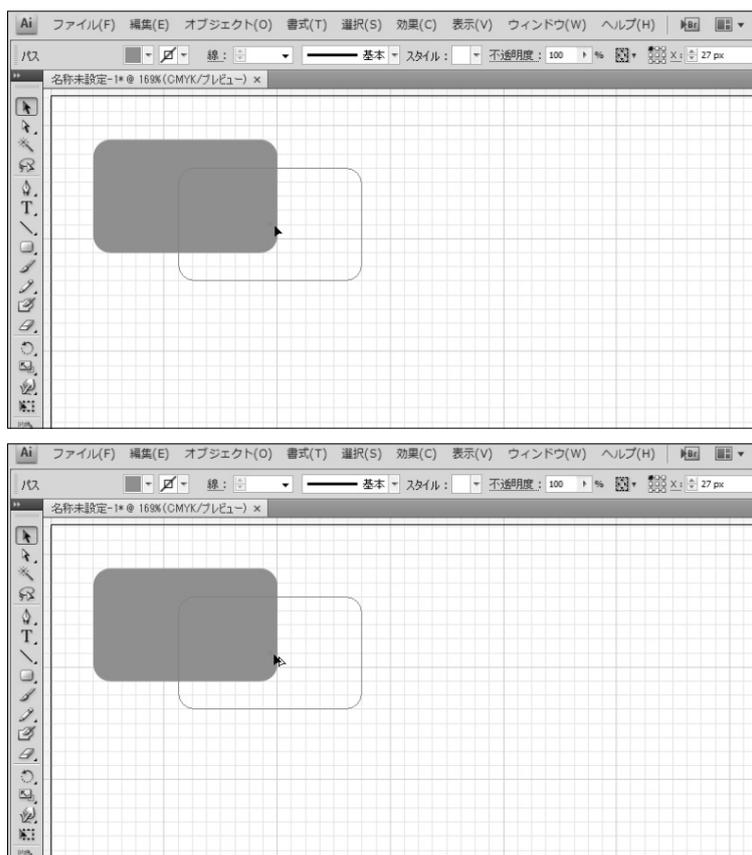


図 1.1 通常のドラッグ操作（上）と Alt キー・Shift キーを押しながらのドラッグ操作（下）

Figure 1.1 Above: Usual dragging operation, Below: Dragging operation while pressing Shift key

く僅かである。また Shift キーに関しては、オブジェクトの位置や動きを良く観察していないと全く理解できない。

つまり、実演を見るだけでは内容を正しく判別できない場合があり、その場合には実演と同時に補助的な説明が必要となる。

## 1.2.2 実演と補助説明の空間的、時間的な乖離問題

1.2.1 で述べたように、グラフィックスソフトウェアに関する実技演習では、視覚のみでは正確に判断できない場合があり、実演と共に補助説明が必要となる場合が多い。しかし、聴覚障害学生に対する実技演習時の最も大きな問題は、実演を見せながら、同時に音声による補足的な説明を加えることが困難なことである。健聴学生を対象とした実技演習では、教員の実演を見せながら、同時に実演を補助する説明を音声によって同時に提供することが可能である。健聴学生は教員の実演から視線を逸らすことなく、音声による補助説明を教員の実演と同期して受け取ることができる。一方、聴覚障害学生は、教員の実演を見ながら、補助説明を音声によって同時に受け取るとは困難である。

この問題を解決する手段として、先に述べた各種の教育コンテンツや教材の活用が考えられる。具体的には、教科書・参考書等の教材に加えて、詳しく解説が書かれたプレゼンテーションコンテンツや、適切な解説などを字幕挿入したマルチメディア教材を提示する教示方法などが考えられる。筆者もこれらの手法を試して一定の効果を上げられることを確認している。しかし、これらの手法は授業内容の理解促進には役立つものの、デザインに関する実技演習をリアルタイムに支援するものではない。実際には、学生のペースや理解力に合わせたアドリブの説明が必要であり、学生からの質問に答えるために、リアルタイムで操作を説明する必要がある。また、教示対象がコンピュータ上のグラフィックスソフトウェアの場合、対象となるソフトウェアのバージョンアップなどによってインターフェースが大きく変更される場合もあり、その都度教材を更新していくための労力も伴う。

グラフィックスソフトウェアを教示する場合、筆者が担当している授業において、二つのプロジェクターを用い、片方に事前準備した Web 教材や資料を、もう一方にグラフィックスソフトウェアの実演を投影しつつ、手話を交えながら演習を進めていた。教員の実演の提示と補助説明とは、どちらも視覚



図 1.2 実技演習の授業風景

Figure 1.2 Lecture scene of practical operation

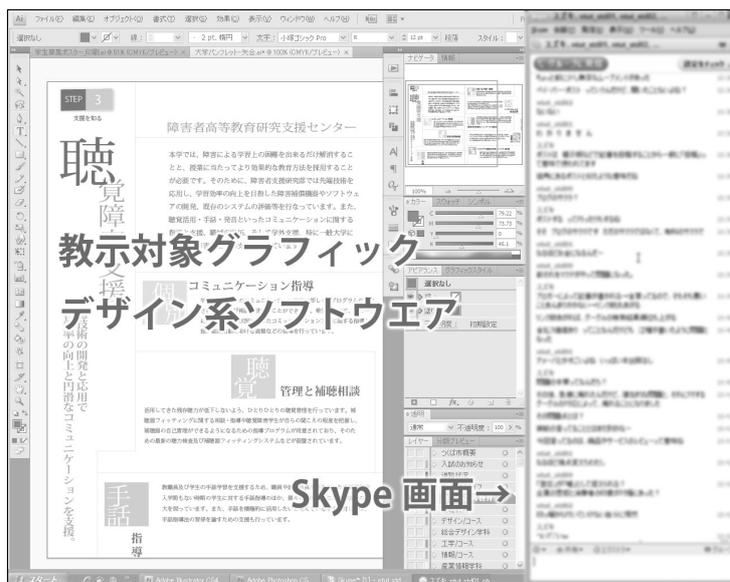


図 1.3 チャットを併用する場合の画面  
Figure 1.3 Screen of teaching with chat function

による情報によって提供される。1.1.2 で述べたように、聴覚障害学生への授業では、同時並行処理を避ける配慮や工夫が求められる。筆者も初期の教示では、教材や資料を見せ、これから行う実演の説明をし、それから実演を行い、また戻って説明をするという教示を行っていた（図 1.2）。

上記の教示手法では、実演時に教材や資料にない説明を加える場合に、手話や筆記などを組み合わせて用いる必要があった。そこで、実演時に教材や資料にない説明を加えるため、チャットを併用する手法を試した（図 1.3）。

チャットを併用することで、教材に無い内容を文字情報として具体的に指示できた。また、ログとしても残せるという利点もあった。しかし、チャットソフトを常駐させる場合には画面の実演部分の広さが圧迫される問題があった。グラフィックスソフトウェアは、各種パネルやパレットを多数展開するため、2009 年時点で標準的であった SXGA（1280 × 1024）環境では、グラフィックスソフトウェアの領域が狭くなる問題があった。表示環境の高解像度化や、複数ディスプレイの導入などにより、チャットソフトの常駐による圧迫感は軽減可能であると考えられるが、聴覚障害学生は、実演部分とチャットソフト、説明資料を交互に確認する必要が生じ、チャットソフト導入以前とくらべ、視線移動がより煩雑となる問題がある。

また、これら手法では、実演と説明とを同期させることができない。グラフィックスソフトウェアの操作は、マウス操作と同時にキーボード操作を伴っていることが多い。講義の場合とは異なり、同時に複数の操作を行うことが多く、一連の動作として習得する必要がある。実演と補助説明とを交互に展開するような教示方法では、教員による実演と補助説明との間に、空間的、時間的な隔たりが生じ、一連の連続した動作を教示しにくい。このような特性から、聴覚障害学生への実技演習では、実演と説明のために、健聴学生に対する授業よりも、同じ授業内容であってもより多くの時間を要する。また、実演と補助説明とが同期して提供されないため、学生の精神的付加も増し、理解の妨げとなっている可能性もある。この実演と補助説明との空間的、時間的な乖離が聴覚障害学生に対する実技演習時の最も大きな問題ではないかと考えられた。

## 1.3 関連研究と本研究の位置づけ

### 1.3.1 映像と字幕の時間のずれに関する関連研究

実演と補助説明との空間的、時間的な乖離について、聴覚障害学生対象の実技演習における問題に触れた研究は存在しないが、映像と字幕との時間のずれに関する研究について、ニュース字幕と映像のタイミングのずれに関する問題について扱った研究が多数存在する [15][16][17]。丸山ら [16] によれば、ニュース映像内容に対する字幕のタイミングのずれに対する許容限界は1秒程度とされている。筆者の担当する実技演習において、先に述べた図 1.2 で示した授業形態では、実演と補助説明との間に、少なくとも10数秒程度のずれが生じている。ニュースにおける映像を実技演習における実演に置き換えて考え、ニュースにおける字幕を補助説明として置き換えて考えた場合、丸山らによる許容限界1秒とは大幅にかけ離れている。

また、下郡らの [17] によれば、字幕の内容の精度よりも字幕提示タイミングの方が内容理解に対する影響が大きいとされ、発話後よりも発話前に字幕を提示する場合に、理解に与える影響が大きいことが示されている。

また、聴覚障害者に対する映像と字幕の時間のずれに関する研究として、黒木らの [18] によれば、映像に対し字幕を1秒先行して提示する場合に最も理解が高まることが示されている。

[17] 及び [18] では、映像よりも字幕提示のタイミングが遅れている場合には、字幕が映像に先行する場合よりも内容理解が低下することが示唆されている。一方、聴覚障害学生に対する授業では、講義であっても実技演習であっても、手話通訳、要約筆記のいずれの手法も、字幕は1秒よりも大幅に遅れて提示されている。このずれを解消することで、授業理解度を高めることができる可能性があると考えた。

### 1.3.2 字幕の表示位置に関する関連研究

また、実演と補助説明との時間の乖離問題以外に、字幕の表示位置に関する問題もある。鈴木らの [19] によれば、字幕の表示位置によって、読み取り時間に差があることが示されている。ただし [19] では、画面の上下に横方向に字幕を提示した場合と、画面の左右に縦方向に字幕を表示した場合とを比較したのみであり、映像に字幕を近接させた場合の効果についての検証は十分ではない。

また、映像と字幕の位置に関する研究として、高橋らの [20] がある。[20] では提示されている映像に対し、字幕の大きさや位置を変化させた場合の、提示内容の正答率について調査している。映像に対する字幕の表示位置によって正答率に有意な差は認められなかったものの、話者の位置に字幕を挿入した場合の方が、画面の下に挿入した場合よりも平均点で8%程度正答率が上昇していることを示している。

聴覚障害学生に対する授業では、講義の場合には実演を伴わないため、視線移動に関する問題は限定的であるが、実技演習の場合には実演と字幕の双方に視線を送る必要があり、視線移動量を減少させることで、授業理解度が高めることができる可能性がある。

以上の関連研究は、映像と字幕のずれに関する調査である。これらの研究における試料としての映像は、映像のみからでもある程度内容を類推することが可能である。しかし、聴覚障害学生向け実技演習では、1.2.1 で述べたように、実演内容から教員が行っている操作を視覚的に類推しにくい場合があるため、字幕が授業理解に与える影響は、より重大であると考えられる。また、実演を見るだけではどのような操作が行われているかを類推しにくい場合には、操作内容を何らかの手段を用いて可視化する必

要がある。

そこで次に実演を可視化する手法について調査した。

### 1.3.3 操作内容の可視化手法と字幕提示手法に関する調査

教員がPC上のソフトウェアの教示において操作しているのは主にマウスとキーボードである。マウスやキーの状態を表示するソフトウェアは、AutoHotKeyを用いるosdHotkey[21]やプレゼンテーション支援用のNullmass TeamによるTarget[22]などが存在する。しかしそれらは固定ウィンドウ内に文字で状態を提示するものであり、視線移動を伴う上、直感的ではない。また、Targetのマウスドラッグ表示はマウスポインタと重なった位置に丸印を表示するため、操作内容を示すような用途には適していない。

また、キー入力・マウス操作視覚化ツールとしてOrakuin[23]がある。Orakuinはマウスクリックやドラッグ、キーボード操作の結果をインジケータで表示する。マウス操作については、マウスボタンを押し下げたタイミングで押し下げ状態を示すインジケータが表示される。左右ボタンの違いも明示されており、区別も容易である。しかし、キーボード操作については、キーを押し下げたタイミングでは、画面に何も表示されず、キーを押し上げたタイミングで、該当キーが押されたことを示すインジケータが遅れて表示される。グラフィックスソフトウェアの操作時には、マウスクリックやキーボード操作のタイミングが重要であることが多い。そのため、キーボード操作については、押し下げたタイミングでインジケータが表示され、押し上げたタイミングで表示が消えるなど、いつどのタイミングでどのくらいの長さでキーが押されたのかを提示できる必要がある。また、Orakuinでは、表示されるインジケータの色や大きさを詳細に調整できる一方、提示位置は予めプリセットされている提示パターンから選択できるのみであり、表示位置を細かく調整することができない。

また、これら既存の手法では、操作内容を示すインジケータは表示できるものの、同時に字幕を表示することはできず、字幕表示のためには別のシステムやソフトウェアを検討する必要がある。字幕提示について、PC要約筆記であれば、IPtalk[24]、ITBC2[25]など、多数の手法が存在する。これらの手法は、発話者の音声や映像を受け付け、補助者がテキストに変換した上、画面の一定の領域を確保して字幕を提示するソフトウェアである。これらの手法は同時通訳を行う上では有効な手段である。しかし同時通訳の特性として、音声を受け付けてから文字として表示するまでに一定の時間を要する。また、実技演習の教示において、実演のすぐ近くに、字幕表示位置を制御しながら提示するような場合に用いることはできない。最も大きな問題は、実技を教示する教員以外に、補助者が必要となることである。補助者は一般的には2～4名程度が必要である。

ニュースへの字幕挿入システムを用いた場合、表示位置を自由に調整できるシステムが存在する。しかしこの手法では、専用のハードウェアや追加のPCを追加する必要がある。また、PC要約筆記同様、実技を教示する教員以外の補助者が必要であるという問題がある。

## 1.4 研究の目的、方法

聴覚障害学生へのデザインに関する実技演習の教示経験を通じ、1.2で述べた実演と補助説明とのずれに関する問題点が分かってきた。1.3の関連研究からも、教員の実演と補助説明のタイミングを近接させることで、授業理解が向上する可能性があることが分かった。また、1.3.3から、教員の実演を可視化する手法、教員の実演と補助説明とのずれを解消するためには、既存のシステムやソフトウェアで

は不十分であることが分かった。

そこで、本論文では実演と補助説明とのタイミングを調整することで、聴覚障害学生の精神的負荷軽減や授業理解度向上につながるという仮説に基づき、複数のシステムやソフトウェアを開発し、聴覚障害学生当事者の評価を受け、それぞれ効果を検証した。

## 1.5 本論文で使用する用語

**教示内容**：以下の実演と補助説明を包括した授業で教える内容の総称

**実演**：教員によるアプリケーション操作のデモンストレーション

**補助説明（または単に説明）**：操作をどのように行っているか、どのような意味で行っているかなどの説明。健聴学生に対してであれば、音声によって伝えられる内容。

**リアルタイム教示**：教示者が実演などを見せながら進行する授業形態。

**探査学習**：教材や指示によって学習するのではなく、受講者が試行錯誤しながら正解に至る学習形態。

## 1.6 本論文の構成

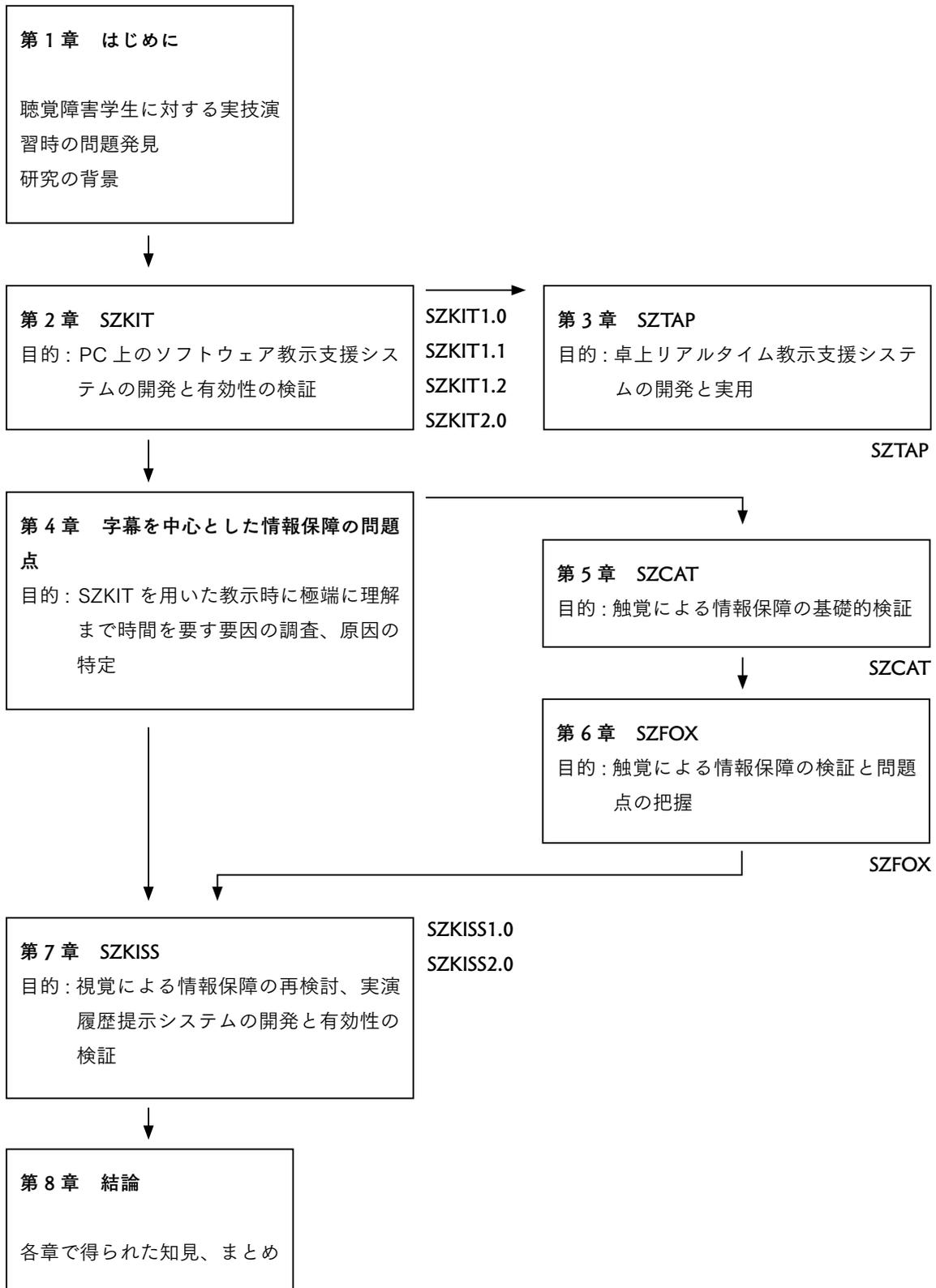


図 1.4 本論文の構成

Figure 1.4 Structure of this thesis

## 1.7 本論文で開発したシステム一覧、機能の詳細

表 1.1 SZKIT 及び SZKISS の機能

Table 1.1 Function of SZKIT and SZKISS

	SZKIT1.0	SZKIT1.1	SZKIT1.2	SZKITYaro	SZKIT2.0	SZKISS1.0	SZKISS2.0
カーソル追従字幕表示	●	●	●	●	●	●	●
字幕透明度	●	●	●	●	●		●
字幕白黒反転	●	●	●	●	●		●
特殊キー表示		●	●	●	●	●	●
字幕ファイル切替			●	●	●		●
字幕編集			●	●	●		●
字幕拡大縮小			●	●	●		●
字幕表示入切			●	●	●	●	●
電光掲示板・Skype連動				●			
インジケータ表示入切					●		●
字幕位置調整					●		●
実演履歴						●	●



### SZTAP

SZKIT を用い、短焦点プロジェクターによって卓上に字幕などの補助説明を投影するシステム

図 1.5 SZTAP の外観

Figure 1.5 Appearance of SZTAP



### SZCAT

ソレノイド振動子を用いたマウスの左右ボタンの押し下げ状態を伝達する触覚情報提示システム

図 1.6 SZCAT の外観

Figure 1.6 Appearance of SZCAT



### SZFOX

ソレノイド振動子を用いたマウス、キーボードの押し下げ状態を伝達する触覚情報提示システム

図 1.7 SZFOX の外観

Figure 1.7 Appearance of SZFOX

## 第2章

# ソフトウェア教示支援システム SZKIT

### 2.1 本章の目的

聴覚障害学生へのデザインに関する実技演習の教示経験を通じ、1章で述べた実演と説明の非同期問題が分かってきた。本章では、グラフィックソフトの操作方法の習得など、PC上で行われる聴覚障害学生向けデザイン実技演習において教員が使用するリアルタイム教示支援ソフトウェアを開発し、1章で述べた実演と説明の非同期問題を解決することで、聴覚障害学生の精神的負荷軽減や授業理解度向上につながるかどうかを検証した。

本章では、教示支援ソフトウェアの開発の経緯と、開発後、支援ソフトウェアの効果や有効性を検証した結果を述べる。

### 2.2 SZKITの開発と検証

第1章で述べた、教員の実演と補助説明との空間的、時間的な乖離を解決する手段を検討した。リアルタイムでのソフトウェア操作説明を目的として、はじめに学生らに補助説明を文章で効果的な位置にリアルタイムに示す手法を検討した。1章で述べたように、既存のソフトウェアは操作内容を直感的に伝達することができず、チャットソフトのように教示画面の一定の領域を占有する手法では、実演部分が圧迫される問題や、実演と補助説明とのタイムラグ、また、視線移動が煩雑になることが分かっていたため、独自に開発することとした。

最初のステップとして、実演を行っているカーソルの直ぐ近くに、操作説明文を字幕として表示する手法を検討した。字幕をマウスポインタに追従させることで、実演と操作との空間的な乖離を解消するための教示支援ソフトウェアの開発である。

この支援ソフトウェアは教員が操作のデモをする際に利用することを想定している。説明文や特殊キー押下といった、操作のキーポイントを同期して提示することから、「SynchroniZed Key points Instruction Tool: SZKIT」と名付けた。

#### 2.2.1 SZKITの当初要件

SZKITに関する当初要件を整理すると以下のようになる。

- 1) マウスポインタに追従するテキスト領域に操作説明やコメント等を表示したい。
  - 2) 一連の説明文を予めファイルで用意しておき、それらを読み込んでテキスト領域に順に表示したい。
  - 3) いくつかの多用する説明文は、ワンアクションで呼び出して表示したい。
  - 4) 事前に準備したテキストだけでなく、授業中に自由記述で書き込めるモードも欲しい。
- それぞれの要件について、実装や試用を繰り返しつつ改良を進めたので、順に説明する。

## 2.2.2 マウスポインタに追従するテキスト領域の実装

先ず要件1について、これまで小林 [26][27] は「でかポインタ」や「あんだーまうす君」といったマウスポインタに追従する弱視者用のソフトウェアを作成してきている。そこでSZKITも同様の手法を用いることにした。これは50ms毎にマウスポインタの座標値を取得し、ウィンドウ座標を追従させつつ、画面最上位に描画するものである。コンピュータには相応の負荷がかかるものの、現在のハードウェア性能では使用感に変化が現れるほどのものではないことが確認されている。

基本的にこの仕組みを用いて、要件2に対する機能も組み込み、支援ソフトウェアを開発した(SZKIT v1.0)。これは予め用意したファイルの文章を1行ごとに切り替えて表示するもので、Windows+CtrlとWindows+Shiftのキー操作で説明文を切り替える仕様とした。SZKIT v1.0の外観を図2.1で示す

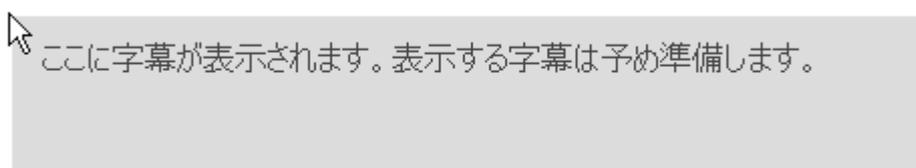


図 2.1 SZKIT v1.0 の外観

Figure 2.1 Screenshot of SZKIT v1.0

## 2.2.3 ゲームパッドインタフェースの採用

SZKIT 1.0 はシステムに常駐する形で動作し、対象となるグラフィックスソフトウェアと同時に実行され、説明文を表示する。SZKIT v1.0 では、キーボードに説明文の切り替え機能を割り当てたが、要件3を満たすような操作を、すべてキーボードで行うには限界がある。例えばCtrl+F1などといった特殊キーとファンクションキーの組みあわせにワンアクション呼び出し機能を割り当ててしまうと、実演対象のソフトウェアに備わるショートカットキーと重なってしまう恐れがある。そこで、今後の機能の増加を考慮し、教員にどのようなインタフェースで操作させるかを考えた結果、「ゲームパッド」を利用することにした。ゲームパッドは汎用ハードウェアでありながら、通常のグラフィックスソフトウェアでは用いられることはなく、SZKITのような常駐型ツールの操作に適している。そしてゲームパッドを左手に持ち、右手でマウスを操作することを想定すると、パッドの左半分のインタフェースを積極的に用いるのが良策であるため、これらに機能を割り当てることにした。図2.2にゲームパッドの外観と左側に配置されたボタンの拡大図を示す。俗にプレステ型と称されるゲームパッドの場合、左半分には、十字キーと5番と7番のボタンがあるのが一般的である。

ここで、ゲームパッドの操作を検出するにはDirectInputを利用する手法もあるが、簡便さからWindowsAPIを利用することにした。そして、SZKITによる負荷を減らすために、ポーリングではなく、イベント駆動型のスタイルで進めることにした。この場合、フックできるイベントは十字キーおよび1~4のボタンの操作時に発生するもののみであり、通常5番や7番ボタン操作時にイベントを発生させることはできない。しかし、十字キー操作時に、5番や7番ボタンが押されているかどうかのチェックはできるため、2ビット4種の状態を区別できることから、十字キーの上下左右とそれらボタンの組み合わせにより、合計16種の機能が割り当てられる。これは今回の支援ツールにおいては十分な数であると判断した。



図 2.2 ゲームパッドの外観（上）と左側のボタン群（下）  
Figure 2.2 Above: Gaming Pad, Below: Buttons at left

機能の割り当てに関しては、2.2.1 要件 2 及び 3 を満たすべく、十字キーの上下にファイルで用意した説明文の送りと戻しを割り当て、左に先頭に戻る機能を割り当てた。そして 5 番と 7 番のボタンを押しながら十字キーを操作する 12 種の操作には、ワンアクション呼び出しを割り当てた。

#### 2.2.4 自由記述機能の実装

図 2.1 のマウスポインタ右下の領域が説明文の表示領域である。ここに要件 4 を満たすため、モード切り替えをすることで自由記述を行うことができるようにした。ファイルに用意された説明文の表示と自由記述文の表示の切り替えの機能は、ゲームパッドの十字キー右方向に割り当てた。

#### 2.2.5 マウスと特殊キーの状態表示の実装

次にマウスと特殊キーの状態表示の実装について述べる。

グラフィックスソフトウェアでは、マウスクリック、ドラッグ、Shift・Alt・Ctrl キーを頻繁に、かつ組み合わせて使用することが多い。そのため、これらのボタンやキーの状態（押されているのか離されているのか）を視覚的に提示する機能を追加した。

クリックとドラッグは、左ボタンが押された場合にアイコンを表示すれば、表示されつつ動いている場合はドラッグであると学生が理解できるので、特に両者を区別することなくマウスの左ボタンの押下

のみを検出することにした。そして Shift・Alt・Ctrl キーについても状態を監視して、それぞれのキーのアイコンを独立して表示するようにした。

マウスやキーの状態を表示するソフトウェアは、複数の既存の手法が存在する。しかし、1.3.3 で述べたように、これらのソフトウェアでは、マウスやキーの状態を固定ウィンドウ内に文字で状態を提示するものであり、また、マウストラッグ表示はマウスポインタと重なった位置に丸印を表示するなど、今回目的とする用途に適さない。

それらを踏まえ、それぞれの状態表示がマウスポインタに重ならないようポインタの上側に左から「マウスクリック」「Shift キー」「Ctrl キー」「Alt キー」の順に配置することにした。特殊キー状態表示機能を追加したバージョンを SZKIT v1.1 とする。SZKIT はグラフィックスソフトウェアの習得の初期において用いることが多いため、表示するアイコンは初心者でも直感的に分かりやすいよう、マウスの形とキーボードの形にした。SZKIT v1.0 に対し、これら機能を追加した SZKIT v1.1 の外観を図 2.3 に示す。

図 2.3 ではすべてのアイコンを表示させているが、実際の利用時には、キーやマウスのアイコンは押されたタイミングで表示され、押されていないときは表示されない。



図 2.3 SZKIT v1.1 の外観

Figure 2.3 Screenshot of SZKIT v1.1

## 2.2.6 SZKIT v.1.1 に対する追加機能

以上のような実装を進め、試用を進めるうち、聴覚障害学生から要望があり、以下の機能を追加検討した。

- ・実演時に邪魔になることもあるため、説明文エリアの表示・非表示機能
- ・後ろの学生から文字が読めないという意見があるので、文字サイズを変更したり、太字にしたりする機能
- ・自由記述の入力後に操作説明をし、再度自由記述を追加するという作業が繰り返されるため、キーボードショートカットで自由記述入力モードに移行できる機能
- ・自由記述で書きためたものをログとして残す機能

さらに、当初は重要であると考えていた 2.1.1 要件 2 と 3 (ファイルで用意された文章表示・ワンアクション呼び出し) よりも、利用当初は 4 の自由記述の方が、利用頻度が高かった。そこで以上の要望を満たすため、機能を追加し、キーやゲームパッドの機能割り当てを変更した。

はじめにゲームパッド十字キーの上下方向に文字サイズの拡大・縮小を割り当て、左方向に太字と標

準の切り替え、右方向に表示・非表示を割り当てた。そしてキーボード操作については、Windows+Ctrl で非表示、Windows+Shift で表示とし、SZKIT がアクティブになっている状態でCtrl+[ と Ctrl+] を押すと文字サイズの拡大・縮小を行い、Ctrl+B を押すと太字と標準の切り替えを行うようにした。更にCtrl+ 上下矢印に説明文表示領域の透過率の変更を、Ctrl+ 左右矢印に白黒反転機能を割り当て、文字表示の見やすさを容易に変更可能なようにした。そしてログ記録については、Ctrl+S を押すことでテキストファイルに記録できるようにした。

また、表示モードへの切り替え時に SZKIT をアクティブにすると同時に自由記述用のテキストボックスにフォーカスをあてるようにしたので、教える対象となるソフトウェアの操作時に Windows+Shift を押すと、直後に説明文の追加入力とこれら表示に関する変更ができるようになった。

## 2.2.7 ゲームパッドからキーボードへの転換

実演対象のソフトウェアに備わるショートカットキーと重なってしまう恐れがあるため、SZKIT v1.1 ではゲームパッドインタフェースを採用した。しかし、字幕に表示される文章を切り替えるため、教員はゲームパッドに手を伸ばす必要があり、実演時のオペレーションが煩雑になる問題があった。

そこで、同様の操作がキーボードで可能かどうかを再検討した。実演対象のソフトウェアに備わるショートカットキーは様々であり、Shift・Ctrl・Alt キーや Windows キーと組み合わせる場合には、他のショートカットキーと重なってしまう恐れがあった。しかし、日本語キーボード環境であれば、無変換キーはどのソフトウェアでもショートカットキーとして使用されていないため、操作に割り当てるキーとして問題が発生しないのではないかと推測した。

ゲームパッドインタフェースに割り当てていた以下の操作を、無変換キーと組み合わせたショートカットキーに割り当て直した。

- ・無変換キー+S：説明文の送り
- ・無変換キー+W：説明文の戻し
- ・無変換キー+Q：SZKIT の表示・非表示（トグル）
- ・無変換キー+[、+]：文字サイズの拡大・縮小
- ・無変換キー+B：太字と標準の切り替え
- ・無変換キー+ 上下矢印：説明文表示領域の透過率の変更
- ・無変換キー+ 左右矢印：白黒反転機能

また、無変換キー+A を押すことで字幕情報を簡単に編集できるようにし、もう一度無変換キー+A を押すことで編集したテキストが字幕に反映される仕組みとした。

これらの機能を追加したバージョンを SZKIT v1.2 とした。

図 2.4 に、SZKIT v1.2 を用いて図 1.1 と同様の操作をした画面を示す。図 1.1 と比べ、操作のポイントが文章とアイコンでリアルタイムに表示されており、学生の理解を助けていると思われる。

## 2.3 SZKIT の検証

筑波技術大学産業技術学部において模擬授業による評価を実施した。模擬授業による評価では、本研究で試作したソフトウェアを用いて模擬授業を行った場合と、用いずに模擬授業を行った場合を比較し、模擬授業後の試験結果によって SZKIT の効果を調べた。

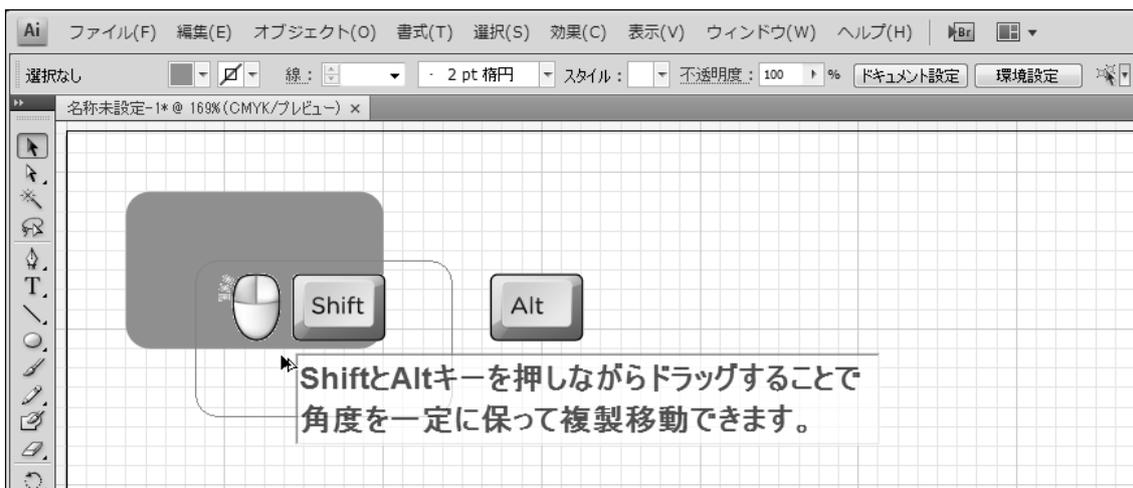


図 2.4 SZKIT v1.2 を用いて図 1.1 下と同じ操作をしている様子

Figure 2.4 Scene operating the same action as of figure1.1 with SZKIT v1.2

### 2.3.1 実験協力者

授業内容は Adobe Illustrator の操作方法に関するものとし、実験の性質上、Adobe Illustrator をほとんど触ったことのない協力者を募集した。調査に参加した学生は筑波技術大学産業技術学部に所属する学生 11 名とした。インフォームドコンセントを実施後、実験を行った。

### 2.3.2 実験内容

模擬授業と試験は二種類を準備した。ベジェ曲線を用いた作図をタスク A とし、基本図形の組み合わせによる作図をタスク B とした。実験に用いた図形を図 2.5 で示す。

タスク A、B それぞれの模擬授業で、SZKIT を用いた授業と用いない授業を組み合わせ、合計 4 種類の実験パターンを設定した。被験者を 4 つのグループに分け、これら 4 つの実験順序パターンにはほぼ均等になるように割り当てることで、順序効果や学生の能力差を解消した。

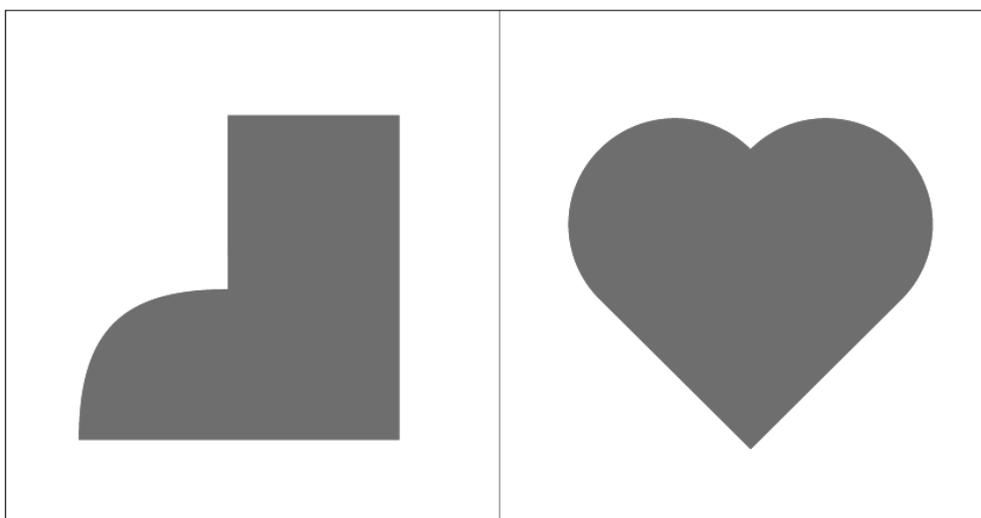


図 2.5 タスク A (左)、タスク B (右) で作図方法を学んだ図形

Figure 2.5 Shapes to be learnt how to make in the taskA(left) and in the taskB(right)

いずれの模擬授業も 20 分、模擬授業後の試験は 8 分とした。

模擬授業では個別指導は行わず、口話による一斉授業とした。情報保障として、SZKIT 以外に教示内容を文字情報化した補助資料を用いた。模擬授業では教員も学生も個別に二つのモニタを用い、それぞれ以下を提示した。

画面 1) 教示アプリケーション (Adobe Illustrator)

画面 2) 教示内容を文字情報化した補助資料

受講学生は講義を一方向的に受けるだけでなく、内容を聞きながら画面 1 にて作業可能とした。

### 2.3.3 実験手順

模擬授業及び試験の詳細は以下の通りである。

実施日：2012 年 9 月 28 日

研究協力者：筑波技術大学産業技術学部産業情報学科学生 3 名、総合デザイン学科学生 8 名、合計 11 名 (両耳の聴力レベル 60 デシベル以上)

模擬授業の条件：SZKIT 有、SZKIT 無

タスク：タスク A、タスク B (図 5)

タスク A：ベジェ曲線を用いた作図

タスク B：基本図形の組み合わせによる作図

試験順序パターン

グループ A：SZKIT 有 + タスク A ⇒ SZKIT 無 + タスク B

グループ B：SZKIT 無 + タスク B ⇒ SZKIT 有 + タスク A

グループ C：SZKIT 有 + タスク B ⇒ SZKIT 無 + タスク A

グループ D：SZKIT 無 + タスク A ⇒ SZKIT 有 + タスク B

被験者の分類

グループ A：2 名

グループ B：3 名

グループ C：3 名

グループ D：3 名

1 回の試験実施の流れ (40 分)

事前説明や模擬授業前の準備：7 分

模擬授業：20 分

試験：8 分

各工程の間隔調整・予備：5 分

### 2.3.4 実験環境

模擬授業時の表示環境や SZKIT の設定値は以下の通りである。

プロジェクター表示サイズ：横 200 × 縦 150cm

プロジェクター解像度：横 1280 × 縦 1024 ピクセル

使用書体：メイリオ

文字サイズ：43 ポイント (行間 64 ポイント)

インジケータ消去時間：1 秒 (クリック、特殊キー、一般キー)、1.5 秒 (マウスカーソル)

□インジケータの透過率：25%

使用書体に関しては Windows 環境で標準的な書体として利用されているメイリオを選択した。本研究は各インジケータの設定最適値を得ることが目的ではないため、予備調査は実施せず、文字サイズや消去時間を設定した。

### 2.3.5 課題の評価点数設定

模擬授業後の試験では模擬授業で学習した作図と全く同じ図形を描画してもらい、達成度を 100 点満点で採点した。採点基準は以下の通りである。

#### タスク A

- ・正しく形状が閉じられているか。(10 点)
- ・正しく着色できているか。(5 点)
- ・必要なアンカーポイントがあるか。(25 点：足りないアンカーポイント 1 つ毎に -5 点)
- ・余計なアンカーポイントがないか。(余計なアンカーポイント 1 つ毎に -5 点)
- ・方向線が正しいか。(30 点×2 箇所)
- ・余計な方向線がないか。(余計な方向線 1 つ毎に -10 点)

#### タスク B

- ・正円と正方形が描けたか。(10 点)
- ・正しく着色できているか。(10 点)
- ・四角形と円の径が一致しているか。(30 点)
- ・円が二つ正しく複製できているか。(10 点)
- ・四角形と円を正しい位置で交差させられたか。(20 点：2 つの円それぞれ 10 点)
- ・パスファインダ機能が使えているか。(20 点)

各項目の配点は、単に図形の正しさに影響を与える部分の配点を高めるのではなく、操作内容の理解が難しい箇所の配点を他よりも高くし、多少の操作ミスはあっても概ね正しく理解した場合に全体として 80 点程度となる様に設定した。

### 2.3.6 質問紙調査

以上の実験を実施するとともに、試験後、アンケートを実施した。

質問項目は以下の通りである。

Q1：SZKIT によって表示される特殊キー (Shift、Ctrl、Alt) の指示は、操作を理解するのに役に立ちましたか？

Q2：SZKIT によって表示されるアルファベットキーの指示は、操作を理解するのに役に立ちましたか？

Q3：SZKIT によって表示されるマウスクリックの指示は、操作やクリックのタイミングを理解するのに役に立ちましたか？

Q4：SZKIT は数行程度の短いテキストを表示できます。この短いワンポイントテキストは役に立ち

ましたか？

Q5: SZKIT はカーソルの直ぐそばに各種の情報を提示します。カーソルと情報が離れている場合と比べてどんな利点や欠点があるか自由に記述してください。

Q6: SZKIT を他の授業や演習でも使用して欲しいですか？

Q7: SZKIT が役立つと思った瞬間はどんな瞬間でしたか？思い出して自由に記述してください。

Q8: 操作説明の情報保障として、「SZKIT」「手話」、「口話」のどれを希望しますか？希望する順番に並べてください。またその順位の理由を記述してください。

Q9: 今回の授業のような細かな操作習得を目的とした授業で使う教材や情報保障について、どのような教材を望むか、自由に記述してください。

Q10: SZKIT はどのような授業（授業以外の場面でも構いません）で役立つと思いますか？

## 2.4 結果と考察

### 2.4.1 課題の採点結果と考察

SZKIT を利用した場合と利用しなかった場合とで、模擬授業後の試験結果を比較した。試験内容は授業内容をそのまま繰り返すもので、教示内容の応用は含まれておらず、単純にグラフィックスアプリケーションの操作が理解できたかどうかのみを試した。

結果を図 2.6 に示す。図中の棒グラフは平均点を表し、エラーバーは標準偏差を表す。

SZKIT を用いた結果はタスク A、タスク B 共に平均得点が 88 点となった。SZKIT を用いなかった結果はタスク A が 45 点、タスク B が 62 点となった。タスク B がタスク A に比べて高い得点となったのは、タスク B はタスク A に比べて画面の様子から何をしているのかが把握しやすく、課題の難易度が低いからだと考えられる。

t 検定を行ったところ、SZKIT を用いた場合と、用いなかった場合の平均値の間に有意水準 5% で有意差が見られた ( $p=0.012<0.05$ )。

SZKIT を用いた模擬授業は用いなかった場合に比べて間違いが少なく、作図完了までの時間も短かった。SZKIT を用いなかった場合には用いた場合に比べて操作ミスが多く観察されていた。操作ミスの例

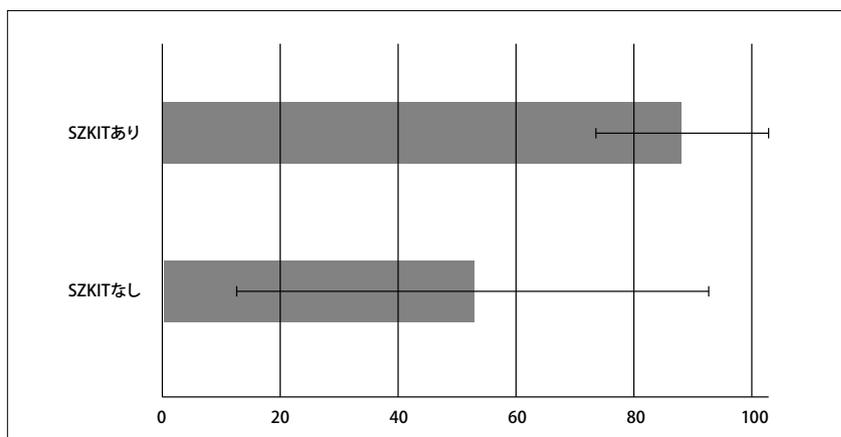


図 2.6 SZKIT を用いた場合と用いなかった場合の模擬授業後試験結果

Figure 2.6 Results of the examination after class simulation with using SZKIT (upper) and without using SZKIT (lower)

を以下で示す。

・ハートマークを構成する二つの円の形状が同じではない。これは学生が図形のコピー機能を使用していなかったことを意味する。

・ハートマークを構成する円の形状が楕円であった。これは円を作成する時に学生がシフトキーを押していなかったことを意味する。

・正方形と円の交差位置が正しくない。これは学生がオブジェクトを移動する時に、注釈メッセージを使用してアンカーの位置を確認していなかったことを意味する。

これらの操作ミスは作画技術の習得が不十分だったために発生したものであり、SZKIT を用いた模擬授業の後の試験の場合にはほとんど見られなかった。したがって SZKIT は学生が操作のタイミングを覚えるのに役に立ったと判断することができる。

SZKIT を用いた場合でも満点が取れなかった学生がいる理由は、模擬授業では質問等を受け付けなかったため、十分に理解できなかった内容が残ってしまったためと考える。

また、SZKIT を用いなかった場合の標準偏差が大きく、用いた場合の標準偏差が小さいことから、SZKIT は理解力の高い学生はもちろん、理解力の低い学生の引き上げ効果が高いと判断できる。

#### 2.4.2 質問紙調査結果と考察

図 2.7 は Q1 ~ Q4 の SZKIT の各インジケータが役に立ったかどうかを質問した結果を集計したものである。アンケート結果は良好な結果となった。この結果から、多くの学生は字幕や特殊キー表示がとも役に立ったと考えていると判断できる。字幕と特殊キー表示はどちらも良好な結果となったが、最も役に立ったと思われるのは特殊キー表示と考えられる。

一方でアルファベットキー表示やマウスクリック表示は上記に比べて役に立ったと回答した学生の人数はやや少なくなっている。アルファベットキー表示に関しては、単純に模擬授業の際に用いる機会が少なかったからであるが、マウスクリックは頻繁に行っており、機会の少なさが理由ではないと考えら

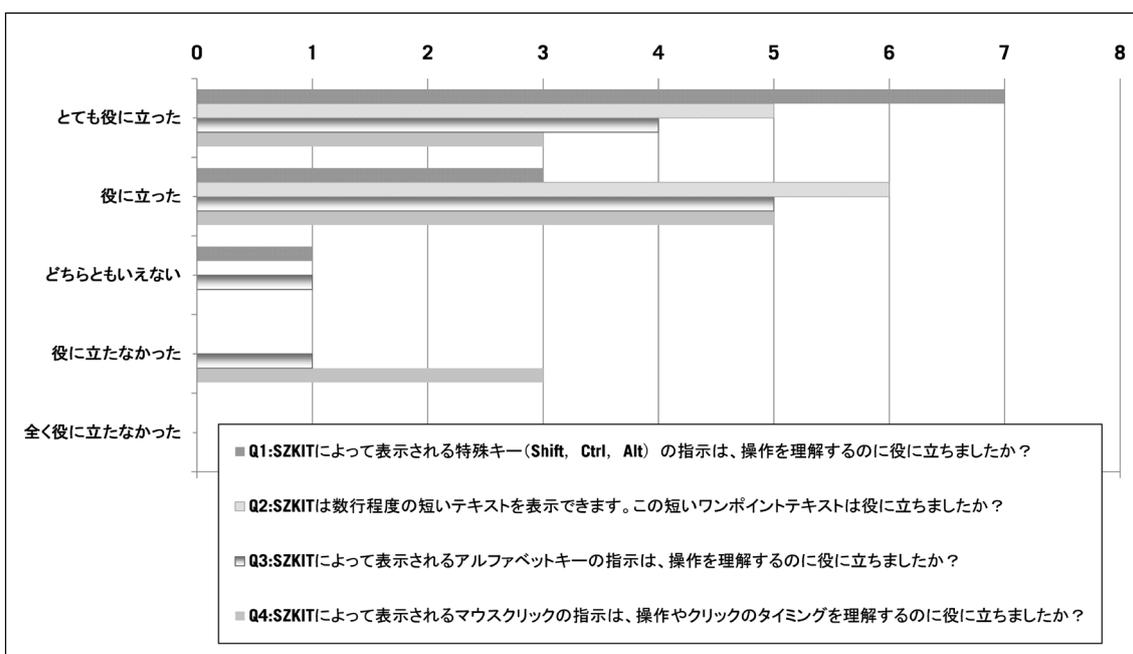


図 2.7 SZKIT の各インジケータに関するアンケート結果

Figure 2.7 The Answers to Q1, Q2, Q3 and Q4

れる。マウスクリック表示が重要でないとされたことには以下の理由が考えられる。マウスクリックを行った場合には、マウスがクリックされたことをインジケータによって表示しなくても、画面に何らかの変化があることが多く、クリックされたことを推測できることである。

Q5のカーソルのそばに情報を提示する利点と欠点については以下の回答が得られた。

#### 肯定的な意見

- ・SZKITがないと、カーソルと先生の説明、どちらを見ればいいのか分からず、もし先生が説明している時にカーソルの方をみていたら、次は何をすべきなのか、分からなくなってしまうと思う。
- ・カーソルの動きに集中して講義を受けることができるため、理解しやすい。
- ・操作中の様子を見ながら情報保障を見ることができ、操作内容をスムーズに把握できた。
- ・表示されるキーボード（Shift、Ctrl、Altなど）はすごくよかった。

#### 否定的な意見

- ・見えづらい時があった。右にあるパレットが見えなかった。
- ・長文になると端で見えなくなったりしてしまう。
- ・表示するテキストは良かったが、文字が少し見にくかった。太字で表示した方が良い。

多くの学生は、教示内容と操作内容の隔たりが無くなる利点を述べている。しかし、カーソル脇に表示することによって視点移動が少なくなることは肯定的に捉えられている一方で、字幕表示エリアが教示するアプリケーションを隠してしまう弊害も見受けられた。SZKITは字幕表示エリアを隠すこともできるため、必要ない場合には字幕表示エリアを非表示とするなど、運用面で補う必要がある。

Q6のSZKITを他の授業や演習でも使用して欲しいかどうかについて、7名が「是非使用して欲しい」と回答し、残り4名も「使用して欲しい」と回答した。どちらとも言えない、使用して欲しくないと回答した学生は0名だった。

Q7のSZKITが役立ったと思った瞬間に関する自由記述について、以下の回答が得られた。内容が類似しているものは要約し、回答数を括弧内に示す。自由記述欄の回答について以後同様とする。

- ・字幕表示により各ツールの操作内容の詳細が分かりやすく、正しく理解できたとき。(4)
- ・説明を聞き漏らした時、何をしているのか分かった瞬間。(2)
- ・カーソルのそばに文章がある。
- ・特殊キー（Shift、Ctrl、Altキー）が表示されたとき。(2)
- ・ボタンを押すタイミング。
- ・SZKITがない授業を体験したとき。

これら自由記述については、字幕表示により内容が明確に理解できたとした学生や、特殊キー表示やタイミングについて言及する学生が見られ、Q1~Q4までの結果と同様の傾向が見られた。

Q8の希望する情報保障の順位について、11名中10名がSZKITを1位に上げており、「SZKIT」「手話」「口話」の順で回答した。1名は「手話」を一位とした。内容が類似しているものは要約した。

- ・SZKITが最も正確に理解できる。手話は分からないことや見逃しがあり、口話は人によって読みづ

らい人もいると思う。(3)

- ・SZKIT はすぐ理解できるから。
- ・私は聞き取りが全くできないので、目で聞き分けるしかないので、目から入る情報として SZKIT を第一希望とした。手話だと PC 専用語を表現するのが難しいと考えたので第二希望にした。
- ・自分にとっては手話より文字の方が分かりやすい。
- ・手話は私に合った情報保障方法だから。
- ・口話はともかく、手話より SZKIT の方が自分のペースで内容を把握しやすい。
- ・SZKIT と手話が一緒だとお良いと思った。
- ・SZKIT があった方がかなり分かりやすい。手話は出来れば少しだけ使って欲しい。口話では聞きにくい時もあるので、できれば大声で。

今回の模擬授業では、SZKIT を用いた場合と用いなかった場合を比較したのみであり、他の情報保障手段との比較は行わなかった。しかし実験に参加した学生は普段から他の情報保障を用いた授業を多数受講しており、定性的な評価に留まるものの、少なくともコンピュータ操作を伴う実技演習においては、肯定的に受け入れられていると思われる。

Q9「細かな操作習得を目的とした授業で使う教材や情報保障について、どのような教材を望むか」について、以下の回答が得られた。「SZKIT の応用先」と思われる回答も含まれているが、内容が類似しているものは要約した。

- ・SZKIT は分かりやすく、他の授業でも使用してほしい。(3)
- ・情報だけじゃなく、実験（化学など）の説明、パワーポイントなどにも活かせると思う。
- ・今回のように、文章では説明しにくい作図方法などの説明時に SZKIT を用いると良いと思う。
- ・Illustrator, Photoshop, SAI など、基本的な内容を、簡単な内容からやや難しい内容まで分かりやすくし解説した教材。

Q10「SZKIT の応用先」について、回答を掲載する。内容が類似しているものは要約した。

- ・情報系、理系の授業。(2)
- ・細かい作業が要求される授業・場面。(2)
- ・パソコンの基本操作に関する授業。
- ・説明が長くなる場面。
- ・エクセル、ワードなど、他のソフトの説明。(2)
- ・手話を併用しにくい演習。
- ・SZKIT の操作を含んだ解説動画を記録した教材。(2)

今回の研究では対象をグラフィックスソフトウェアのみとしたが、Q9 及び Q10 の回答から、他のアプリケーションソフトウェアへの活用を言及する学生も見受けられた。SZKIT は筑波技術大学産業技術学部において、デザインの実技指導だけではなく、エクセルについて教示する他の情報系の授業や、他大学における数学系の授業においても既に活用されている。

また、字幕を付与するような場面や、パソコン初心者への応用などに言及する学生もおり、応用範囲が広いことがアンケート結果からも示された。

## 2.5 まとめ

模擬授業と事後の試験によってSZKITを使用した場合と使用しなかった場合を比較し、SZKITの効果を実証的に検証した。その結果、模擬授業後の試験の点数において有意差が得られた。

アンケート結果も良好であり、自由回答によって得られた回答の多くも肯定的な意見であった。模擬授業の試験結果による定量的な評価をアンケート調査による定性的な評価で裏付けることができたと考えている。

今回の模擬授業と試験では、授業時間を20分、試験時間を8分としたが、描画内容は2分程度の時間で十分に描画可能である。SZKITを用いて模擬授業を実施した後の試験において、2分程度で制作を終えた実験協力者を複数確認している。一方、SZKITを用いなかった場合には、模擬授業において教示内容を正しく理解できていなかったとしても、試験時間中に探索学習を行い、試行錯誤を繰り返すうちに制限時間終了間際に作図を終えた場合も見受けられた。そのため、授業内容の理解という意味では、実験時の点数には現れない、より大きな差が生じているのではないかと推測される。

また、本章における有効性の検証とは別に、SZKITの副次的な利便性も明らかとなった。SZKITはリアルタイム教示に用いながら、教示内容を動画キャプチャすることで、字幕付き教材化にも応用することができる。通常、字幕付き教材を準備する場合、はじめに教員の操作を記録し、その後動画編集ソフトウェアを用いて操作内容を記述した字幕を挿入、編集する必要がある。教示支援ソフトウェアSZKITを用いた教材化では、このような編集作業を必要としない。事前入力あるいは実習中に入力された説明テキストが逐次該当画面に表示されるため、画面を動画キャプチャするだけで字幕付き教材を準備できる。教材化することで、学生自身で自己の習得段階や理解度に合わせて学ぶことができるなど、開発当初に予定しなかった効果を得ることもできた。



## 第3章

# 卓上リアルタイム教示支援システム SZTAP

### 3.1 本章の目的

本章では、聴覚障害学生に対し、第2章でSZKITの開発と検証により得られた知見を用い、絵画・彫刻・工芸などの実技演習に応用した結果を述べる。SZKITはPC上の実技演習を対象としており、PCを用いない従来のやり方の実技演習には適用できない。芸術・工芸・デザインの教育において、PCやソフトウェアを用いた造形技術習得の機会が増す一方、画具や工具を用い、様々な素材に直接手で触れる芸術実技演習は依然として重要であり、多数のカリキュラムが存在している。そこで、短焦点プロジェクター、ポインティングペンデバイス、フットスイッチ、USBカメラをPCに接続し、SZKITを用いて机の上に教員の実演と同期した字幕を表示するシステムを開発した。開発したシステムをSZTAP (SynchroniZed Tabletop Projection System) と名付け、授業に導入し、聴覚障害学生からの評価を得た。

### 3.2 SZTAPの開発

SZKITを用いることで、PC環境における実技演習に限定すれば、聴覚から得られる情報を視覚的な情報に置き換え、教示する内容との遅延を解消することができた。しかしながら、絵画・彫刻・工芸などのPC操作を伴わない従来からの実技演習にはSZKITを使用することはできない。芸術・工芸・デザインの教育現場では、画具、工具を使用して様々な素材を直接手で扱う実技演習は現在も多く行われている。

そういった机で行われる実技演習においても、PC上のグラフィックソフトウェアの実技教示時と同様の問題が発生している。聴覚障害学生に対して描画などを実演しながら同時に音声による補助説明を加えることが困難な問題である。この実演と補助説明の隔りについて図3.1で示す。

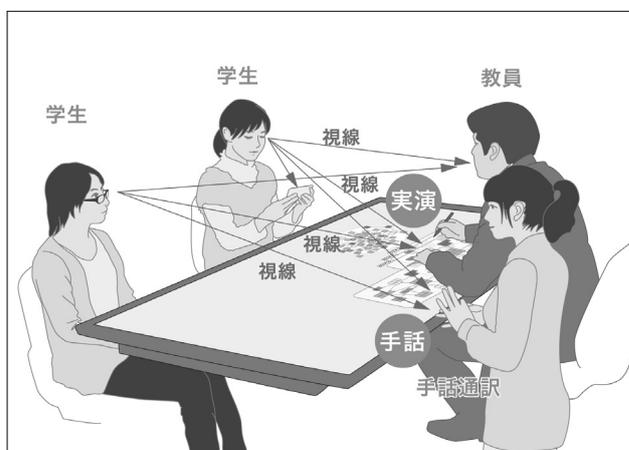


図 3.1 実演と補助説明の隔り

Figure 3.1 Distance with operation and assisting explanation



図 3.2 実演と補助説明の同期

Figure 3.2 Synchronization of operation and assisting explanation

上記の問題を解決するため、教員の実演の直ぐ近くに補助説明を投影することで、実演と情報保障とのタイミングの遅延を解消することを目指した(図 3.2)。

同様の聴覚障害学生に対する机上投影型の学習支援システムとして、若月らの研究[28]が挙げられる。若月らはマイクロプロジェクターを用いて学生の机の上に講師や提示資料の映像などの情報保障のための映像を投影し、講義における有効性を検証している。質問紙調査の結果から講義受講支援に役立つことが示唆されている。一方で、当学習支援システムは講師自らが補助説明の表示位置や表示タイミングを操作するものではない。そこで本章では教員自らが操作し、机の上に教員の実演と同期した補助説明を提示するシステムを開発した。

### 3.2.1 SZTAP の構成

図 3.3 は教員の実演に同期した教示内容字幕表示システム SZTAP の外観である。このシステムは短焦点プロジェクター、アノト方式のシート及びポインティングペンデバイス、フットスイッチを PC に接続し、SZKIT v1.2 を用いて机の上に教員の実演と同期した字幕を表示するシステムである。

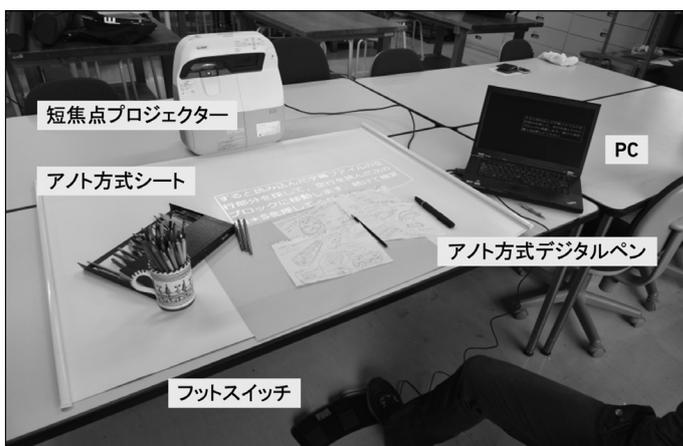


図 3.3 SZTAP の外観

Figure 3.3 Appearance of SZTAP

教員はSZKIT同様に予め用意したファイルの文章を1行ごとに教員自らの操作によって切り替えて表示する。教員の両手を自由にするため、表示の切り替えは足元に設置したフットスイッチによって行う。フットスイッチは三つボタンのモデルを用い、右ボタンを押したら字幕を進め、左ボタンを押したら字幕を戻し、中央ボタンは字幕の表示・非表示をトグルで切り替えられるようにした。アノト方式のシートとポインティングペンを用いることで、字幕の表示位置をPCを用いることなく容易に移動できるようにした。アノト方式のシートはホワイトボード機能も兼ねており、マーカーなどを用いて補助的に手書きすることもできる。また、字幕内容を授業途中にPC上で容易に編集できるようにした。

### 3.3 SZTAPの実用と評価

#### 3.3.1 模擬授業と評価

SZTAPの有効性を検証するため、筑波技術大学産業技術学部総合デザイン学科において、模擬授業を実施した。

模擬授業は総合デザイン学科のプロダクトデザイン学領域の教員に依頼し、同学科に所属する7名の聴覚障害学生に対して実施した。図3.4の様に、学生は教員の後ろに立ち、教員と同じ方向から教示を受ける形式で行った。模擬授業後、質問紙調査を実施した。

授業内容理解に本システムが役に立ったかどうか確認した質問では、7名中5人が「とても役立った」と回答し、残り2名も「役に立った」と回答した。「どちらでもない」「役に立たなかった」「全く役に立たなかった」と回答した学生はいなかった。

また、自由回答においても実演の直ぐ近くに説明を提示する本システムの有用性を示す意見が多数得られた。具体的な回答を以下に示す。

- ・理解度が増した。
- ・視線を動かす必要が無い
- ・教示内容を教員と同じ方向で見る事ができた

一方で、教員と同じ方向から教示を受けることから、教員の表情や口の動きを全く確認できない欠点も示された。



図 3.4 SZTAP を用いた模擬授業の様子

Figure 3.4 Scene of mock lecture using SZTAP

また、模擬授業を担当した教員から、以下の意見を得ることができた。

- ・操作に迷うことはなかった。
- ・テキストを用意するだけであり、事前準備のストレスは低かった。
- ・今回の模擬授業の内容はレンダリングにおける陰影の描き方を教える内容であり、上下左右の方向が重要であった。実演と描画方向の指示を同期できたメリットは大きいと思われた。

### 3.3.2 SZTAP の改良

模擬授業後の質問紙調査で聴覚障害学生から示された欠点を改善するため、USBカメラをシステムに加え、教員の顔を提示するようにした。

### 3.3.3 外部講師による特別演習と評価

次に、改良したシステムの有効性を検証するため、再度授業への導入を試みた。専門家として活動している漫画家に依頼し、筑波技術大学産業技術学部総合デザイン学科の学生 10 名に対して、キャラクターデザインに関する特別演習を実施した。教示者である漫画家は聴覚障害学生への教示は初めてであり、教示経験自体も皆無である。特別演習の様子を図 3.5 に示す。

特別演習実施後、授業に参加した 10 名全員に対し、質問紙評価を実施した。結果、模擬試験同様に高い評価を得られた。

授業内容理解に本システムが役に立ったかどうか確認した質問では、10 名中 7 人が「とても役立った」と回答し、残り 3 名についても「役に立った」と回答した。「どちらでもない」「役に立たなかった」「全く役に立たなかった」と回答した学生はいなかった。

また、SZTAP の利点と欠点を自由回答形式で質問し、それぞれ以下の回答が得られた。

#### SZTAP の利点

- ・視線を動かす必要が無く、解説内容を漏れなく得やすい
- ・実演と文字情報が近くに表示されるため、文字情報を確認している間に実演が進んでしまうことがない



図 3.5 漫画家による SZTAP を用いた特別演習

Figure 3.5 Scene of mock lecture by cartoonist using SZTAP

- ・手話と比較し、専門用語などを正確に理解できる
- ・要約筆記と違い、タイムラグがなく、先生が教えている内容に集中できる。

#### SZTAP の欠点

- ・授業中、教示内容を変更したくなった場合に対応できないのではないか

欠点については半数の学生が回答せず、指摘された授業中のテキスト変更についても、システムの機能としては容易に変更可能な仕組みとなっている。今回の特別演習において教示を依頼した漫画家は、追加したい内容がある場合には直接文字を書いていたため、授業中に字幕の内容を変更することがなかったため、一部の学生はシステム上、字幕を編集できないと勘違いしたと思われる。授業中の教示内容変更については、単にテキストデータを変更するだけでよく、欠点とされた本指摘は運用時に克服可能であると考えられる。

特別演習後に教示を担当した漫画家にヒアリングを実施したところ、以下の意見が得られた。

- ・事前に授業内容をテキスト化する必要はあるが、準備は簡便だった。
- ・操作を迷うことはなかった。
- ・使用においてストレスはなかった。
- ・授業途中で字幕表示内容を追加したいことはあったが、多少であればシートに手書きすればよいので問題ではなかった。

### 3.4 まとめ

SZTAP は要約筆記等の既存のシステムとは異なり、実演内容と解説内容を完全に同期させ、教示者の意図するタイミングで、実演に対して遅延することなく文字情報を提示することを目的に開発した。模擬演習及び特別演習とそれぞれの質問紙調査の結果より、聴覚障害学生にとって、実演内容と情報保障の同期性が重要であるとの回答を得ることができた。障害当事者の主観的評価ではあるが、教員聴覚障害学生に対する実技演習における本システムの有用性について、一定の評価が得られたと思われる。

本研究で実施した特別演習の教示者は漫画やイラストレーションが専門であり、教示経験はなく、聴覚障害学生への実技演習も初めてである。しかし、特に問題なく演習を終えている。フットスイッチの操作は三つのボタンを踏み分けるだけでよく、字幕表示部分の移動はアノト方式デジタルペンを用いて直感的な移動が可能であり、演習中のトラブルや誤操作等も皆無であった。



## 第4章

# 字幕を中心とした情報保障の問題点

### 4.1 本章の目的

第2章において開発したSZKIT、および第3章において開発したSZTAPを活用することで、教員による実演と説明との距離や時間の差を解消することができた。その結果、従来にくらべ円滑な教示が可能となった。第2章で述べたように、SZKITはリアルタイム教示に用いながら、教示内容を動画キャプチャすることで、字幕付き教材化にも応用することができる。これらの工夫の結果、多くの学生に細やかな対応ができるようになった。

しかし教示経験を重ねる中で、ごく少数ではあるが、SZKITを用いても理解を得るまでの時間を短縮できない学生が存在することに気が付いた。SZKITを用いて作成した字幕付き動画教材を用いることで、学生は重要な箇所を止めたり、反復しながら学ぶことができる。一方で字幕付き教材は学生に操作を委ねるため、重要箇所を見逃すなど、教材が教員の意図通りに使われない可能性が考えられた。

また、先に述べた同時性とは別の聴覚障害学生固有の問題が生じている可能性もある。聴覚障害学生向けの教材は視覚への依存度が高くならざるを得ないため、必然的に視覚情報が多くなりがちである。実演内容の他に説明文を字幕で表示する必要があり、聴覚から得られる情報を視覚に置き換えた分、視覚から認識しなければならない情報が増大する。

上記のように、教材化による理解度の低下には複数の可能性が考えられる。そこで本章では、このような複数の視覚情報を使用した学習課程における学生の行動を詳細に調査し、理解に至らない原因や、字幕を中心とした手法の改良につながるような知見を得るための分析を行う。

### 4.2 SZKITによる字幕付き教材を用いた自習調査

#### 4.2.1 調査・実験の概要

グラフィックスソフトウェアを学ぶ聴覚障害学生にとって、理解の妨げとなっている原因を特定するため、SZKITを用いて作成した字幕付き動画教材を用い、グラフィックスソフトウェアの操作を習得するまでの過程を調査した。聴覚障害学生に依頼し、SZKITを用いて作成した字幕付き動画教材を用いた実験協力者実験を実施した。被検者実験はグラフィックスソフトウェアの使い方を学ぶ模擬自習として実施した。教員は一切関与せずに動画教材のみを用いて自習してもらった。

実験は2015年時点での筑波技術大学における聴覚障害学生に対する授業環境に近づけ、マルチスクリーン環境を設定した。右に動画教材を表示する教示画面を、左にグラフィックスソフトウェアの操作を試すことができる作業画面を配置した。どちらも24インチモニター、解像度は1920×1200で統一した。教示及び作業に用いたグラフィックスソフトウェアはAdobe Illustratorである。

教示画面と操作画面との間で、聴覚障害学生がどのようなプロセスで自習を進めるのかを計測するため、模擬自習の間、実験協力者の教示画面上の視線の動きをTobii TX300アイトラッカーを用いて記録



図 4.1 評価実験の様子

Figure 4.1 The conditions of experiments

した。操作画面については動画キャプチャソフトウェアによって記録した。また、自習後に内容理解度を測るため、試験を受けてもらった。評価実験の様子を図 4.1 に示す。

#### 4.2.2 調査・実験の詳細

模擬自習及び自習後の試験の詳細は以下の通りである。

□実施日時：2015 年 10 月、2016 年 10 月

□実験協力者：筑波技術大学産業技術学部学生（聴覚障害学生）19 名：両耳の聴力レベル 60 デシベル以上

□教示対象ソフトウェアの過去の学習状況：質問紙調査で 3 名が経験ありと回答したが、うち 2 名は本実験における作図方法は習得しておらず、実験協力者として問題ないと判断した。残り 1 名は既に本実験における作図方法を習得していた。そのため、集計は行ったが、解析時に除外した。

□模擬自習の内容

基礎タスク、応用タスク A、応用タスク B の三種類の模擬自習を設定した。各タスクにおける作図内容は以下の通りである。

- ・基礎タスク：学習対象グラフィックスソフトウェアの説明、基本図形と線の作図
- ・応用タスク A：ベジェ曲線を用いた作図
- ・応用タスク B：基本図形の組み合わせによる作図

基礎タスクについて、冒頭で学習対象グラフィックスソフトウェアのメニューやパレットといった基礎的な知識や、四角形や円・直線・ベジェ曲線などの基本的な図形作成について学習してもらった。基礎タスクにおける作図内容を図 4.2 で示す。

応用タスク A 及び応用タスク B では、基礎タスクで学習した作図方法を組み合わせ、やや複雑な形状の作図方法を学習した。応用タスク A 及び応用タスク B については、第 2 章において実施した

SZKIT に関する評価実験（2012 年 9 月）と同様とした。

3 つのタスクの難易度は、基礎タスクを最も容易な内容とし、応用タスク A と応用タスク B はやや発展的な内容、応用タスク A と応用タスク B の比較では、応用タスク A の方が難しい作図となっている。

基礎タスクの作図内容を図 4.2 で、応用タスク A 及び B の作図内容を図 4.3 で示す。

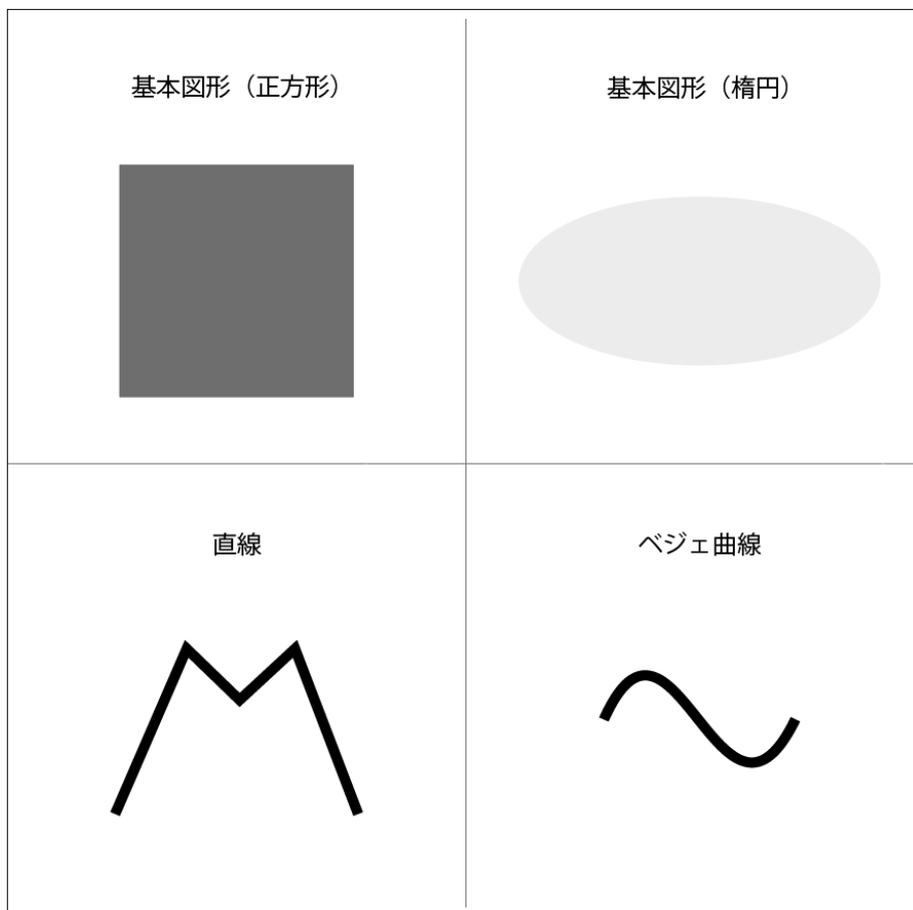


図 4.2 基礎タスクに用いた図形

Figure 4.2 Shapes to be learnt how to make in the Basic tasks

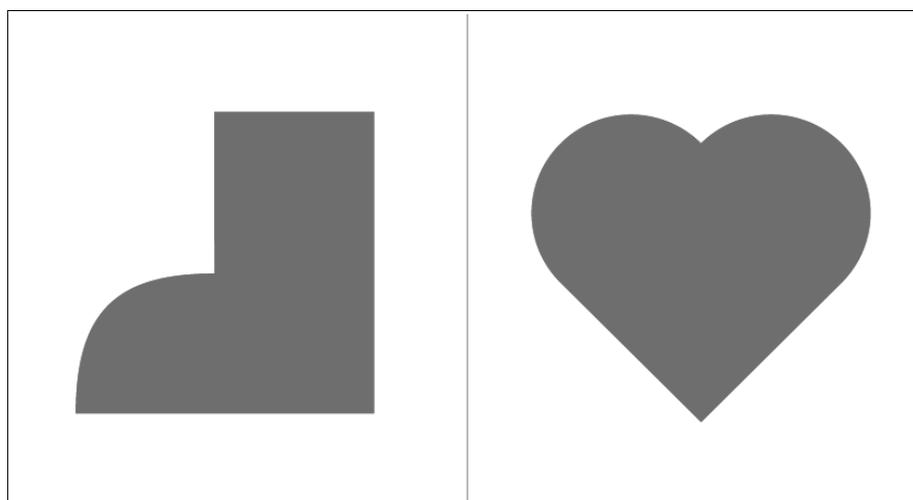


図 4.3 応用タスク A（左）、応用タスク B（右）で作図方法を学んだ図形

Figure 4.3 Shapes to be learnt how to make in the taskA(left) and in the taskB(right)

詳細な実験のスケジュールは以下の通りである。

途中の確認や休憩を含め、全体として90分程度となるように計画した。90分という時間は筑波技術大学で行われている演習1コマ分に相当する時間である。

### 4.2.3 実験の流れ

各実験協力者には実験に先立ち、円滑な自習が可能となるように、はじめに画面操作や動画操作などのPCの基本操作を確認した。その後、三つのタスクを実施してもらった。

各タスクにおいて、はじめに教示動画教材を一切操作せずに連続して自習してもらった（以下、初期自習）。初期自習の間は教示画面を一切操作させず、通して連続して自習してもらった。

SZKITを用いて作成した動画教材が表示されている教示画面の様子を図4.4で示す。

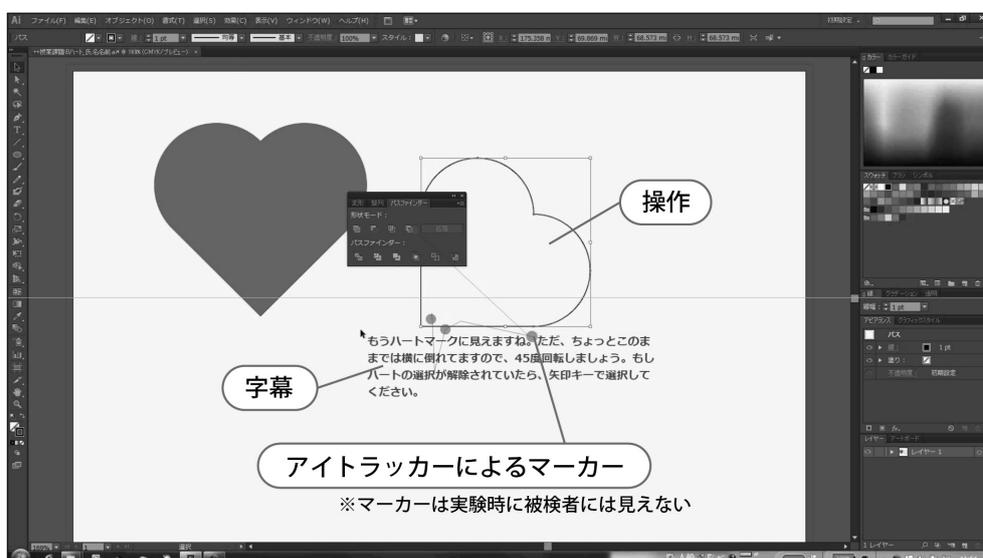


図 4.4 教示画面の詳細

Figure 4.4 Captured image of a screen of a teaching material video

初期自習後、理解度を確認する試験を実施し、理解不十分な箇所が認められた場合には、学び直し（以下再自習）を実施した。初期自習後の試験において、理解が十分であると認められた場合には、再自習は行わないこととした。再自習時には、理解不十分箇所を実験協力者が任意に繰り返し学習可能とし、十分に理解したと実験協力者が判断するまで、自由に学習してもらい、終了のタイミングは実験協力者自身の判断に委ねた。

理解度を確認する試験は全てのタスクで模擬自習後に直ちに実施した。再自習後に各1回ずつそれぞれ8分を制限とし、作図完了の意思が実験協力者から示された時点で、制限時間内でも終了とした。

試験では自習時に学習した形状と同じ形状を作図してもらった。作図の達成度の評価は2章において実施した評価実験（2012年9月実施）と同様とし、100点を満点として採点した。

各項目の配点は、単に図形の正しさに影響を与える部分の配点を高めるのではなく、操作内容の理解が難しい箇所の配点を他よりも高くした。多少の操作ミスはあっても概ね正しく理解した場合に80点程度となる様に設定した。各タスクで達成度を確認してから、次のタスクに進むこととした。

実験フローは以下の通りである。

1. 実験前の説明やインフォームドコンセント、PCの基本的操作の確認：15分
2. タスク：基礎タスク
  - 2.1 初期自習（基礎）：10分
  - 2.2 初期自習（基礎）の理解度を確認する試験：8分
  - 2.3 再自習：2.2の結果、理解不十分と判断した場合に実施
  - 2.4 追試験：再自習の結果、理解できたかどうかを確認：8分
3. タスク：応用タスクA
  - 3.1 初期自習（応用タスクA）：4分35秒
  - 3.2 初期自習（応用タスクA）の理解度を確認する試験：8分
  - 3.3 再自習：3.2の結果、理解不十分と判断した場合に実施
  - 3.4 追試験：再自習の結果、理解できたかどうかを確認：8分
4. タスク：応用タスクB
  - 4.1 初期自習（応用タスクB）：3分55秒
  - 4.2 初期自習（応用タスクB）の理解度を確認する試験：8分
  - 4.3 再自習：4.2の結果、理解不十分と判断した場合に実施
  - 4.4 追試験：再自習の結果、理解できたかどうかを確認：8分

## 4.3 実験結果

### 4.3.1 実験結果の概要

19名中18名の聴覚障害学生が三つのタスクを全て達成した。1名の学生は各再自習過程が長時間となり、実験全体でも長時間に及んだ。同じ誤操作を繰り返すなどしており、負担に配慮し、応用タスクAは途中で打ち切った。当該学生は応用タスクBについては完遂した。

各タスクにおける初期自習の理解度を確認する試験について、試験時間を8分と設定していたため、仮に理解不十分であっても、試験中に試行錯誤し、探索学習することで、試験中に理解に至った実験協力者も見受けられた。また、再自習時に理解できたかどうかの判断は実験協力者に委ねたため、再学習時に本当に理解できていたかどうか不明瞭である。しかし、再学習後の追試験において、再学習時の理解が十分であることを確認しているため、再学習に要した時間は、理解に至るまでに要した時間と解釈して差し支えないと判断した。

実験協力者の内、一名はアンケートやヒアリングにおいて本実験における作図内容を事前に知りえていたことが分かっている。実験の結果、どのタスクについても再学習を必要とせず、初期自習の理解度を確認する試験において、最短で作図を終えている。そのため、技術の習得までのプロセスを検証するための本実験の協力者としては不適合であると判断し、結果から除外することとした。

上記の一名を除いた18名分の各タスクの学習に要した時間を図4.5で示す。各タスクの初期自習、再自習に要した時間を区別し、積み上げ横棒グラフとした。

### 各タスクの自習時間

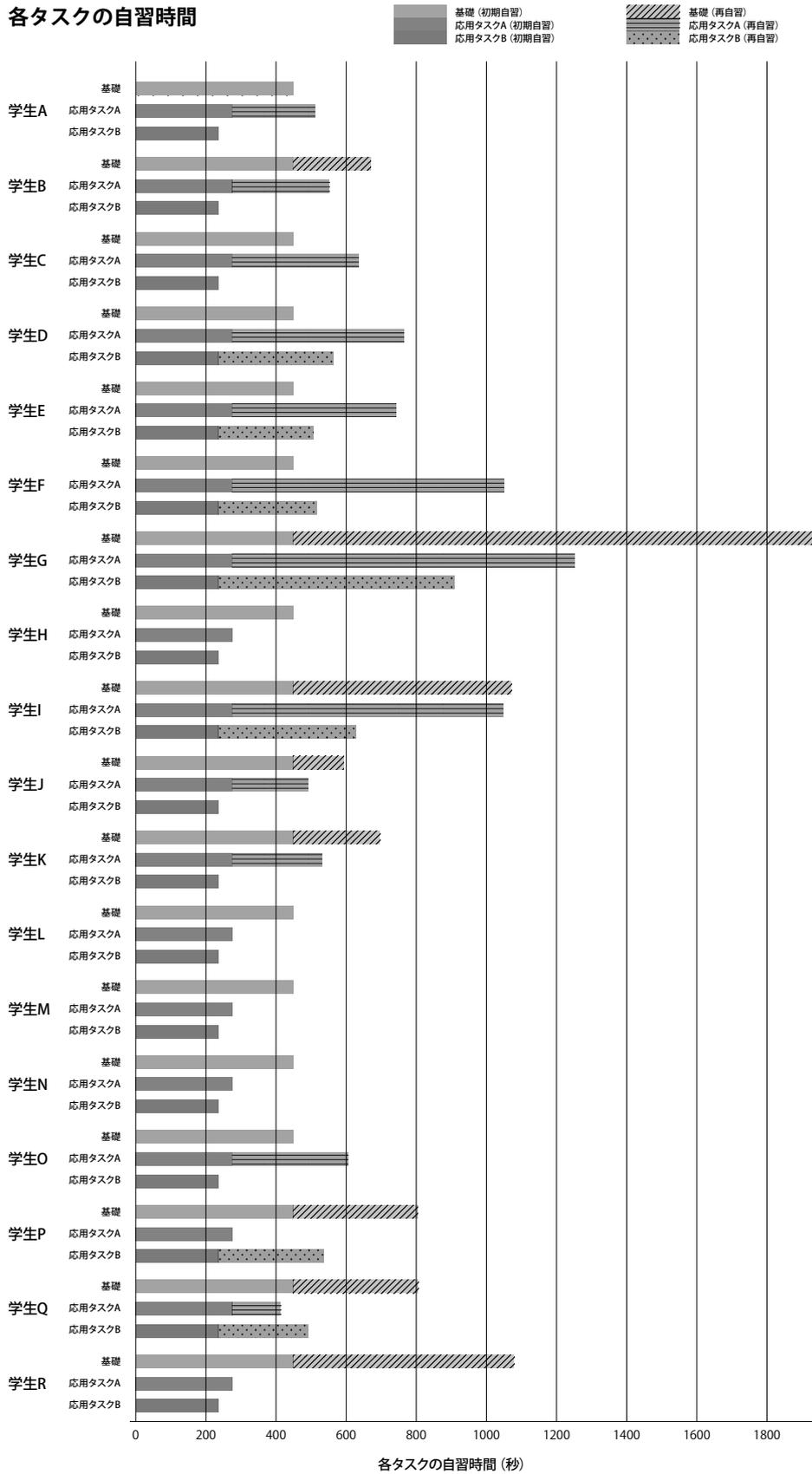


図 4.5 各タスクの自習時間  
Figure 4.5 Study time of each task

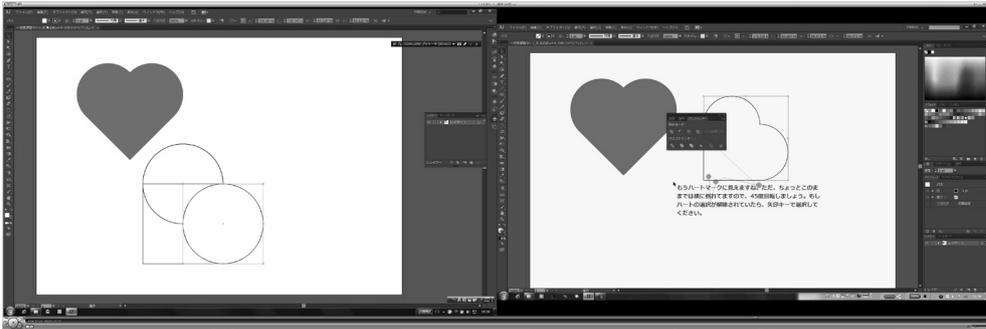


図 4.6 操作画面（左）と教示画面（右）を連結した記録動画の一場面

Figure 4.6 Captured image of a screen of a student(left) and a teaching material video(right)

### 4.3.2 自習時の行動分類

続けて実験協力者の行動を詳細に分類した。分類にあたり、先ず教示画面の視線計測及び操作画面を動画キャプチャした動画を連結し、一つの動画とした。連結した記録動画の一場面を図 4.6 に示す。

連結した動画をもとに、アノテーションツール ANVIL を用いてフレーム単位で行動を分類した。

行動は大きく「操作画面による作図」と、「教示画面の注視」との二つに分けた。更にそれぞれを細分化することで、最終的に以下の行動に分類した。

1. 操作画面による作図
  - 1.1 正操作：一連の正しい操作
  - 1.2 部分的正操作：部分的に正しい操作
  - 1.3 誤操作：誤った操作
  - 1.4 補助操作：ツールの切り替えなどの補助動作
2. 教示画面の注視
  - 2.1 実演注視：教示画面の内、実演部分を注視
    - 2.1.1 実演注視（初回）：教示画面の内、実演部分を初めて注視
    - 2.1.2 実演注視（反復）：教示画面の内、実演部分を反復して注視
  - 2.2 字幕注視：教示画面の内、説明字幕を注視
    - 2.2.1 字幕注視（初回）：教示画面の内、説明字幕を初めて注視
    - 2.2.2 字幕注視（反復）：教示画面の内、説明部分を反復して注視
  - 2.3 教示画面操作：動画操作などの補助動作

## 4.4 考察

図 4.5 より、実験協力者 G は、他の協力者と比べ、すべてのタスクにおいて理解に至るまで極端に長い時間を要していることがわかる。また、実験協力者 I もどのタスクにおいても比較的長い時間を要していることが分かる。筆者の担当する実技演習において、SZKIT を用いても理解に極端に長い時間を要す学生が 15 名中 1～2 名発生しており、本実験の結果は、筆者の主観的な感覚と近い結果となっている。

一部の学生が他の学生と比較し、理解に至るまでに極端な差が生じる原因として、聴覚障害学生固有の二次的障害が原因である可能性がある。先行する聴覚障害学生の認知能力の特徴や発達に関する研究

[29][30]によれば、聴覚障害学生は健聴者と思の仕方や知識の質と量が異なることが言われている。また、二次的障害に関する要因として言語力や思考様式が異なる点も研究されている [31]。今回の実験に用いた教材は、聴覚障害学生固有の二次的障害に配慮しており、操作部分を見れば理解可能と推測できる内容は操作部分の映像に任せ、冗長な表現は避け、できるだけ理解が容易となるよう配慮した。対策していたこともあり、二次的障害が原因である可能性は低いと考えている。二次的障害の影響を完全に否定することはできないが、実験協力者 G の学力は他の実験協力者と比較して劣ってはならず、また、本実験から得られたデータだけでは、二次的障害が原因である可能性については十分な検証をできないため、別の可能性を考察する。

そこで次に、理解の妨げとなっている要因を明らかとするため、学習時の行動を詳細に考察することとした。

先ず、理解に時間を要した実験協力者として、全タスクにおいて理解に至るまで最も長い自習時間を要し、応用タスク A については理解に至ることのできなかつた実験協力者 G の行動を詳細に分析する。実験協力者 G は他の実験協力者と比べ、全てのタスクの再自習時について、極端に長い時間を要している。基礎タスクの平均 747 秒に対し 1,484 秒、応用タスク A の平均 568 秒に対し、976 秒、応用タスク B の平均 374 秒に対し 674 秒と、極端に長い時間を要している。応用タスク B については完遂でき、追試験の結果は 100 点となったが、応用タスク A については 976 秒時点で習得をあきらめ、実験協力者中、唯一再自習を途中で中止している。

図 4.7 は、4.3.2 で定義した行動分類の内、2.1 実演注視と 2.2 字幕注視のみを抜き出し、実験協力者 G の応用タスク A 再自習時の教示画面内での視線の位置を、自習時間の経過に対応させて分類した時系列分布である。実験協力者 G の応用タスク A 再自習時間は途中で習得をあきらめるまで 976 秒だが、840 秒以降には教示画面の注視が含まれていないため、840 秒までを掲載した。赤いマーカーは、対象箇所には視線があり、対象箇所を見ていたことを意味している。実演注視は黄色の背景（上の行）で示し、実演を見ていたことを意味している。字幕注視は水色の背景（下の行）で示しており、字幕を見ていたことを意味している。

次に実験協力者 G の学習行動が他の実験協力者とのように異なるのかを明らかとするため、応用タスク A について、全実験協力者の自習時間の平均値に最も近い実験協力者 B を選び、実験協力者の平均的な行動を比較することとした。図 4.8 は実験協力者 B の応用タスク A についての行動分類である。G の再自習時間は 276 秒だが、240 秒以降には教示画面の注視が含まれていないため、240 秒までを掲載した。

学生 G の二重丸 (◎) 部分は同じ箇所を繰り返して閲覧した箇所を示している。ここはベジェ曲線の習得における方向線の転換操作に関する部分である。キーボードの複数の特殊キーの押下げとマウス操作を同時に連続して一連の操作として行う部分であり、他の数人の学生もつまづいたポイントである。該当箇所では連続して複数の複雑な操作を行う必要があり、やや難易度が高い。

図 4.7 の二重丸部分では、実演注視には殆どマーカーがない、すなわち実験協力者 G はこの部分の学習において実演を殆ど見ていないことが分かる。この部分での実験協力者 G の学習形態は、いったん動画を止めて、字幕のみを読むという行動を取っていた。字幕を何度も読み返してはいたが、操作の映像を殆ど見ていなかった。

図 4.7 と図 4.8 を比較しながら考察を加える。実験協力者 G は教示画面を見ていた割合は全行動の 16.9% しかなく、実験協力者 B の 41.3% と比べて極端に少ない。割合から判断した場合、実験協力者 G は教示画面をあまり確認していない。しかし再自習時間自体が極端に長いと、割合としては低くとも、

実験協力者 G：応用タスク A 再自習

- 2.1 実演注視
- 2.2 字幕注視

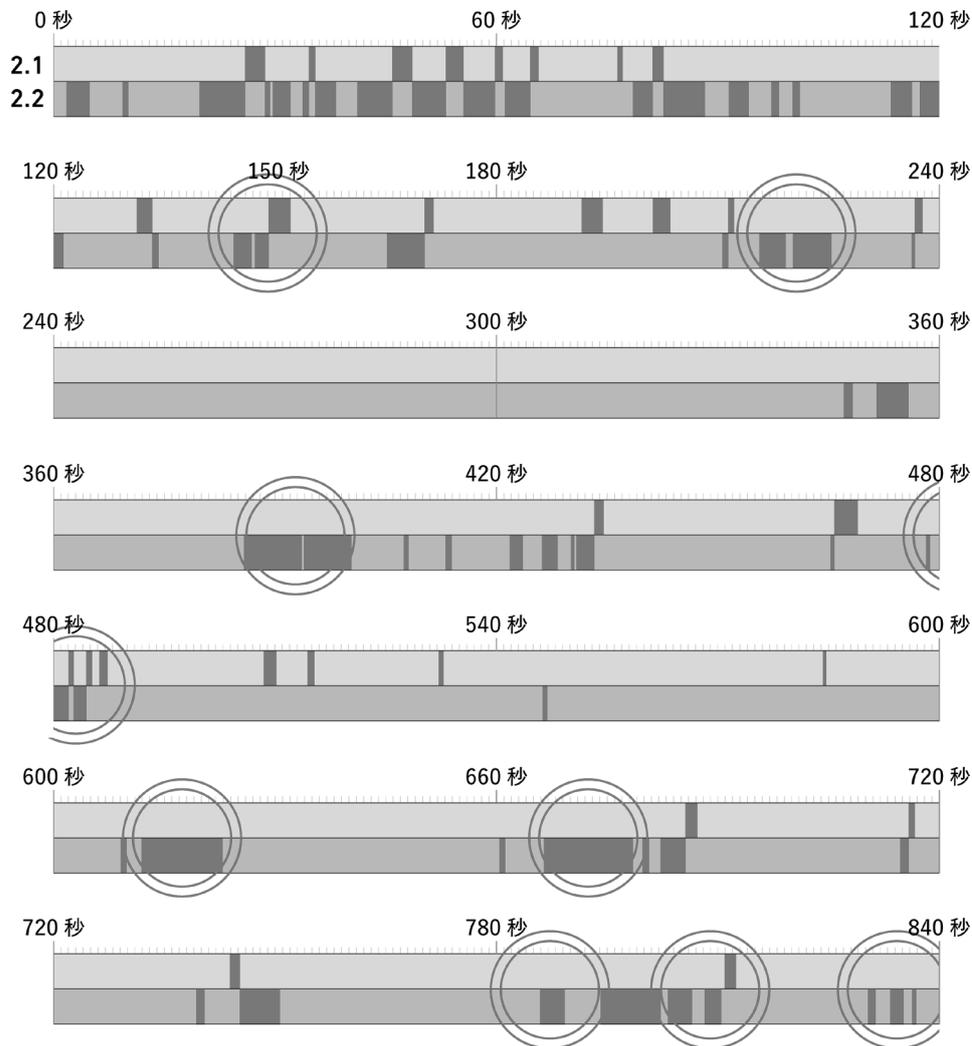


図 4.7 実験協力者 G の応用タスク A 再自習時の行動分類結果の時系列分布

Figure 4.7 Time series distribution of classified behavior of subjects in the learning process of taskA

実験協力者 B：応用タスク A 再自習

- 2.1 実演注視
- 2.2 字幕注視

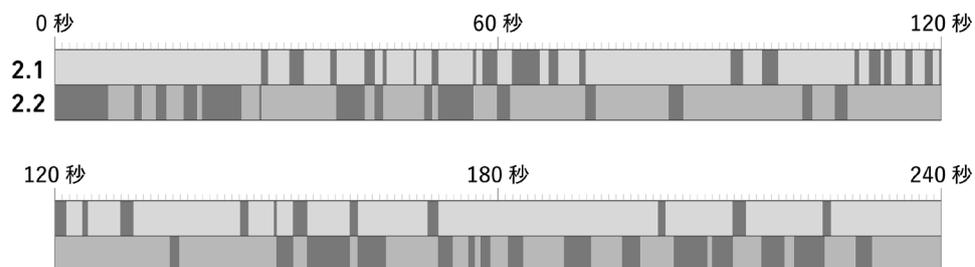


図 4.8 実験協力者 B の応用タスク A 再自習時の行動分類結果の時系列分布

Figure 4.8 Time series distribution of classified behavior of subjects in the learning process of taskA

教示画面を見ていた絶対的な時間は短くはない。二重丸で示した部分で動画を止め、何度も同じ説明字幕を繰り返し確認し、操作を試みていた。実験協力者IもGと同様の傾向を示していたが、反復回数はGの方が多く、全てのタスクで最も長い再自習時間を要していた。

再自習の前半、両者はやや異なった行動を取っている。実験協力者Bは動画の流れに忠実に従って再自習しているが、Gは再自習が必要な箇所動画を移動させ、冒頭の内容を省略している。実験協力者Bは276秒で学習を終えており、これは初期自習時とほぼ同じ長さである。実験協力者Bは教材を殆ど操作することなく、再生されている動画に忠実に再自習していた。一方実験協力者Gは理解できなかった箇所を中心に反復学習しており、前半部分を省略して学習している。150秒前後まで順調に学習していたが、この後、同じ行動を繰り返していた。

今回実験に用いた教材は、教員の実演による操作に加え、健聴者であれば聴覚から得られる説明を字幕情報によって置き換えたもので、SZKITの特殊キー表示機能により、映像を見れば理解できると推測できる内容については映像に任せている。先に述べたように、聴覚障害学生の二次的障害に配慮し、字幕が冗長にならないよう、できるだけ理解が容易となるように内容を調整しているためである。

ところが今回の実験において、実験協力者Gが理解に至ることができなかった背景には、この字幕に原因がある可能性が考えられる。教材作成者である筆者が意図していない箇所で動画を停止させ、重要な実演を確認しないまま字幕だけを確認していた。実験協力者Gが動画を静止させた位置は一連の実演の途中であり、その時点で実演映像を停止させた状態で字幕を確認したとしても、操作上重要な内容が得られない。字幕が表示されるタイミングは一連の操作の初動であるため、字幕を読んで理解するために、字幕が表示されて直ぐに動画を停止してしまったことが原因と考えられる。実験協力者Gの実演注視時間は行動全体の4.4%しかなく、殆ど実演を確認していない。また、図4.7から、実演と説明との間の視線の移動も少ないことが分かる。対して実験協力者Bの操作注視時間は行動全体の13.6%であり、操作と説明のどちらもバランス良く確認している。図4.8からも操作と字幕とを細かく頻繁に視線移動させていることが分かる。

一方で実験協力者Gが前半部分を飛ばして学習していたことが影響している可能性もある。習得できなかった箇所は、前半部分で説明した基礎的内容を複合的に用いている。前半を省略して学習していたことで、積み上げ学習ができていなかった可能性もある。実験協力者B以外の協力者として、再自習時間が比較的短かった実験協力者Aも、Gと同様の箇所を反復学習していたが、Gとは異なり、実験協力者Aは前半の基礎的内容を中心に反復学習していた。実験協力者Aは自分が理解していない内容を認識できており、一方実験協力者Gは作図のための基礎知識を欠いたまま、課題となっている作図の完成を優先しようとした可能性が高い。この傾向は実験協力者Gの次に再自習時間を要した実験協力者Iにも同様の傾向が見られた。実験協力者Iも同様に前半の基礎的内容を省略し、後半の作図部分のみを反復して学習しており、結果として理解まで時間を要していた。

これは教材側の問題というよりも、教材の使われ方の問題である可能性もある。今回は教材を用いた自習であったが、リアルタイム教示時においても同様に、教示上重要なタイミングで聴覚障害学生の視線が実演部分に来ていないことは、筆者も頻繁に認識している。健聴学生に対し、重要箇所を音声で協調するように、教示上重要な箇所への注視タイミングを誘導することで、改善できる可能性がある。手法としては、教示画面の激しい明滅などの視覚的な効果の追加や、あるいは蝕刺激など、視覚以外の代替感覚を用いた誘導などが考えられる。

## 4.5 まとめ

本章では、自習時の聴覚障害学生の行動を詳細に調査し、理解を得るまでの過程や、理解の妨げとなっている要因について調べた。理解に至らなかったケースを行動分析した結果、字幕と実演内容とが同じ画面上に同時に表示される場合に発生することが分かった。字幕を優先することで、視線が操作の注視から逸れてしまい、重要な操作が見落とされたり、認識が遅れるなど、視覚情報過多による問題が考えられた。

この問題に対し、例えば健聴学生に対して声かけにより重要箇所へ注意喚起するように、聴覚障害学生に対しても、教示上、重要な箇所への注視タイミングを誘導するか、あるいは視覚に情報が集中して見て見ることが多すぎて見きれない、見逃しているという状態を改善できれば、授業理解が高まるのではないかと考えた。

次章では、視覚以外の情報保障について述べる。視覚への負荷軽減、注視タイミングの誘導などにより、理解の向上が図れるのではないかと推測し、視覚以外の手法による情報保障を開発し、有効性を検証した。



## 第5章

# 触覚によるマウス操作伝達システム SZCAT

### 5.1 本章の目的

4章で得られた知見より、SZKIT を用いた場合に操作内容の理解に至ることができなかった原因として、比較的長い文章が入ることもある字幕と実演内容とが同じ画面上に同時に表示されるような視覚情報過多による見落としや認識の遅れが推測された。そこで本章では、情報保障を視覚以外の伝達手段に分散することで、負荷が軽減され、理解の向上が図れるのではないかと考え、視覚以外の手段で教員の実演を伝達するデバイスを開発し、有効性を検証した。

開発した伝達システムは聴覚障害学生を対象とすることから振動等触覚情報により伝わるものとし、情報の一部を視覚以外で提示できるようにした。開発したシステムを用いた実験では、伝達システムが聴覚障害学生の視覚からの情報取得の負荷を低減し、総合的な学習成果の向上に寄与できうるかどうかを検証した。

本章においては、伝達システムの有効性を検証する第一段階として、提示情報への気づきの誘発、視覚以外の情報提示補助による精神的負荷の低減に対しての触覚伝達手段の有効性を検証する。これは、実際の授業での操作学習において、情報伝達手段が視覚に集中することによる精神的負荷が情報の見落としにつながると考えられることによる。

### 5.2 触覚情報提示デバイス SZCAT の開発

デザインの実技演習において提示しているソフトウェア操作内容として、キーボード操作とマウス操作とがある。マウス操作はキーボード操作に比べ、ボタンも少なく、伝達すべき情報が限定的である。一方で、マウスボタンを押し下げるタイミングや長さ、キーボード操作とのコンビネーションなどを字幕で説明しようとした場合、説明内容が冗長となる場合が多い。これらの理由から、マウス操作については触覚による伝達が有効であると予測し、触覚情報によって教員の操作を伝達するためのデバイスを開発した。開発するデバイスはマウス操作、具体的には、左クリック右クリック、左ドラッグ右ドラッグの指示を伝達できるものとした。

#### 5.2.1 触覚情報提示手法の検討

ここでは、教員の実演内容を触覚情報によって再現するための手法について検討を行った。はじめに既存のデバイスについて調査した。CyberGlove社のCyberForceやDexta Robotics社のDexmoF2など、触覚フィードバックデバイスが存在する。しかし、これらのデバイスは反力を生成できるものの、マウス操作の指示には不向きである。次に、例えば日本バイナリー株式会社の超軽量多関節ロボットアームJACO/MICOなどのロボットアームでは、機能的には利用可能であるが、非常に高価な上に設置スペースも必要であり、手軽に利用できず、実習での実用性に欠ける。

そこでここでは設置スペースを必要としない装着型のデバイスを用いることとし、利用者にとって重量等の負荷の低い小型軽量の触覚情報による情報提示デバイスの開発を行うものとした。

## 5.2.2 触覚情報提示システム SZCAT の機能

5.2.1 で述べた要件に従い、触覚情報提示デバイスの開発を行った。

触覚情報提示デバイスの開発については、操作の妨げにならないよう、小型軽量であることを前提とし、以下の二点について優先的に検討した。

### 1) 応答性

グラフィックスソフトウェアの操作ではマウスクリックやドラッグを連続して複雑に行う必要があり、クリックやドラッグのタイミングを正確にフィードバックするためにはデバイスの応答性が重要である。

### 2) 触刺激の強度

触覚情報提示デバイスは指に着用するためになんらかの装着具を介することになり、確実な刺激を提示できることが重要である。

これらの条件を満たす触刺激素子を検討した。圧電素子や小型電極は応答性に問題はないが刺激強度が低く、振動モータは刺激強度を上げられるが応答性が悪く残効が生じる場合もある。空気圧は装置を小型軽量化することが難しい。そこで本研究では、撃力表現が可能であり、動作の立ち上がりが早く、収まるのも早いソレノイドを触刺激素子として採用した。

ソレノイドは Sparkfan 社製の ROB-11015 を用いた。これをプラスチックの小型ケースに収め、指の太さに応じて調整可能なようにマジックテープを用い、マウス操作を指示できるよう左右クリック・ドラッグ操作を行う人差指と中指にそれぞれ装着する仕様とした。指に触れた小型ケースごとソレノイドが振動することにより、指に刺激を伝える仕組みである。

ソレノイドを Arduino Nano 互換機 (ATMEGA328P) に接続、USB インタフェースを経由して PC と接続する仕様とした。ソレノイドを収めたプラスチックケースの外形寸法は 19.5mm × 29.5mm (ソレノイド突出部分 +4.5mm) × 17.5mm、重量は約 18g である。

ソレノイドの具体的な制御方法を以下に示す。

- 1) ソレノイドを約 100Hz で動作させるよう Arduino 制御プログラムを記述する。
- 2) マウスクリックのイベントをフックし、作成したソフトウェア自身にメッセージを送る。
- 3) メッセージを受け取ったソフトウェアは Arduino が接続されたポートに信号を送る。
- 4) 信号を受け取った Arduino はソレノイドを動作させる。

上記仕様により、小型軽量の触覚情報提示デバイスを開発した。また、デバイスを制御するためのソフトウェアを開発した。触覚情報提示デバイスは教員のマウスボタンの押し下げに同期して振動し、ドラッグ中は振動しつづける。これにより教員のマウスクリックのタイミングや回数、ドラッグを伝達することが可能となる。教員のマウス操作に同期して伝達するという意味で、開発したシステムを、SynchroniZed Click Action Transmitter (以下略称 SZCAT) と呼ぶ。

SZCAT の振動部分の詳細を図 5.1 に、外観と各部の説明を図 5.2 に、SZCAT を指に装着している様子を図 5.3 に示す。

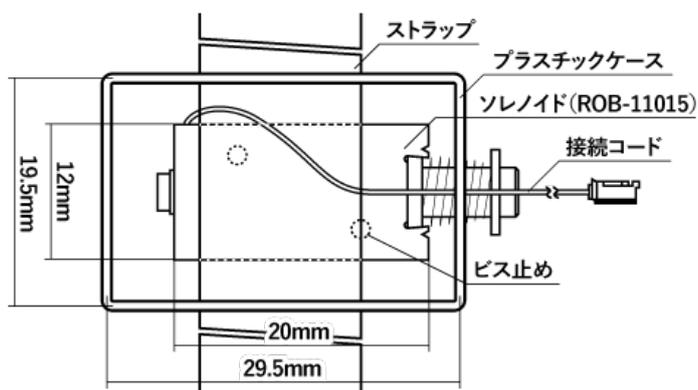


図 5.1 SZCAT の振動部分の詳細  
 Figure. 5.1 The Detail of SZCAT's vibratory equipment

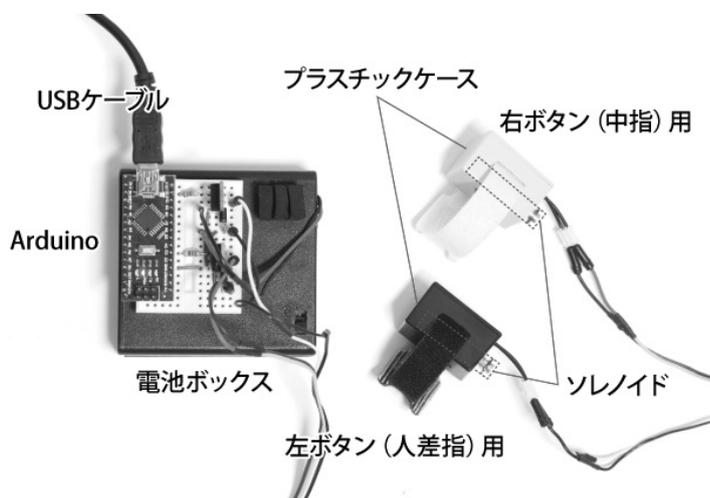


図 5.2 SZCAT の外観と各部の説明  
 Figure. 5.2 Appearance and mechanism of SZCAT



図 5.3 SZCAT を着用してマウス操作を行っている様子  
 Figure.5.3 Image of operating mouse using SZCAT

## 5.3 触覚情報提示による精神的負荷の軽減と情報取得漏れを防ぐ効果の検証

ここでは、既存の SZKIT のみを用いた場合と触覚情報を追加した場合とを比較し、効果の比較検証を行う。評価は与えられた条件に従って PC を操作するタスク実験と質問紙調査によって行った。

### 5.3.1 実験の目的

SZKIT を用いた実技演習では、聴覚障害学生は、図形やベジェ曲線など、教員が描画している実演を閲覧しながら、同時に補助的に表示されるインジケータや字幕を確認して操作を理解している。これにより、健聴者が目で実演を閲覧しながら、同時に音声から補助説明を聞いている状況に近い環境を提供している。

しかし、健聴学生が実演を視覚で、補助説明を同時並行的に聴覚から受信できるのに対し、聴覚障害学生は両方を視覚から受信しなければならない。このために、視線移動量が増え、実演を重視した結果、補助説明を見逃す、あるいはその逆など、複数のタスクを処理する場合に情報の取得漏れが生じている可能性が考えられた。

そこで、視覚に偏重して提供している情報保障の一部を触覚情報によって提示し、学習時の視線移動量の減少効果や、情報の取得漏れを防ぐ効果を検証した。

### 5.3.2 実験の概要

本論文において開発した触覚情報提示システム SZCAT は最終的に授業への導入を目的とし、従来は視覚によって提示していた教員のマウスの押し下げ状態を振動によっても伝達することが可能となるように開発した。SZCAT は左右ボタンの押し下げ状態を区別して提示できるが、本論文の実験においては、触覚情報による視線移動量の減少など精神的負荷の軽減効果や情報の取得漏れを防ぐ効果を検証する目的として、振動による触覚情報を提示するためのデバイスとして利用した。

触覚情報を追加した効果を確認するため、聴覚障害学生に対して、二重タスク実験を実施した。課したタスクは計算タスクと確認タスクである。実験では、SZKIT のみを用いた場合と特殊キーの押し下げ時に触覚情報を追加した場合のそれぞれにおいてタスクの達成度を計測し、その後質問紙調査を行った。実験時の画面の様子を図 5.4 に示す。なお、図 5.4 において、確認タスクの表示部分を点線で囲い、二倍に拡大しているが、実験時にはこの拡大は行っていない。

計算タスクと確認タスクは画面の異なる位置に提示され、計算タスクを注視している状況で確認タスクで表示される特殊キーを認識できるかを検証した。これは実際の実技演習教示の際、SZKIT の字幕を読みながら操作インジケータを確認することを模擬している。計算タスクは字幕に、確認タスクは操作インジケータに該当する。触覚情報を追加した場合には、確認タスクにおいて振動が加わる。

この状況において、キューとして振動を加えることで確認タスクの正答率が上がれば、振動による触覚情報の提示によって、操作インジケータへの注視タイミングをうまく導出できていることが示されていると考えられる。計算タスクの正答率は、字幕の注視が行われているかどうかの指標や、振動を加えることによる影響を計測する指標となる。

#### (a) 計算タスク

計算タスクでは、SZKIT の字幕表示機能を用い、画面下部に一桁の整数による加算、減算、乗算を

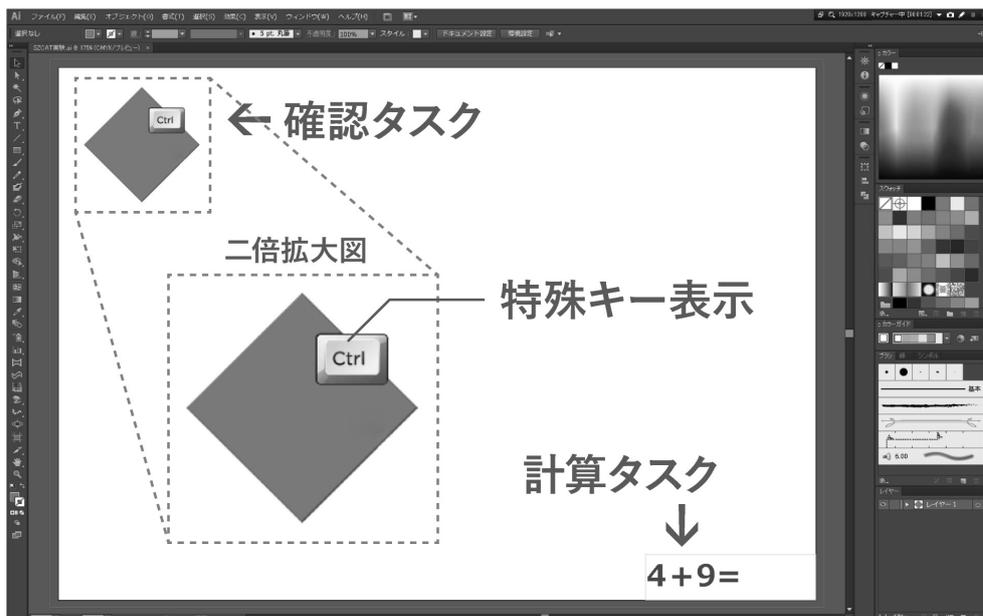


図 5.4 実験時の画面

Figure 5.4 The sample screen of experiment

表示し、その結果に対応した入力を行うように要求した。

結果の数値が 10 以上の場合は、[ 上矢印キー ] を、9 以下の場合は、[ 下矢印キー ] を押す。誤回答に気づいた場合は、計算問題が表示されている間に限り、正回答を押して修正する。計算問題は 3 秒に 1 問が順次表示される。5 分間で合計 100 問を回答する。

SZKIT の初期仕様では、字幕と操作インジケータは全てポインタ表示近くにあったが、マウス移動の多い作図の教示時には、字幕が操作に連動して細かく動いて字幕が読みづらい、また、操作部分を字幕が隠してしまうという指摘があり、字幕表示部分のみ任意の位置に表示できるよう改良を行った。以降は、マウス移動の少ない作図教示時は字幕を追従させ、マウス移動が多い作図教示時は字幕をやや離れた位置に固定するなど、教示内容に応じて追従と固定を切り替えて使用している。Adobe Illustrator での作図教示時は字幕をやや離れた位置に固定することが多いことから、本実験では、字幕を模した計算タスクを実演の妨げとならないやや離れた位置に固定し、注視タイミングの誘導効果や視線移動量の減少効果について検証することとした。実習において字幕には主に文章が提示されるが、字幕の内容を判断できていたかどうかを定量的に計測するため、本実験では計算タスクとし、計算結果の正誤により内容を判断できたかどうかを検証している。

## (b) 確認タスク

確認タスクでは、グラフィックソフトウェアで良く用いられる特殊キーである Ctrl キー及び Alt キーを表示し、表示内容に応じてキーボード操作を行うように要求した。特殊キーの表示には SZKIT のインジケータ表示機能を用い、Ctrl キー及び Alt キーを示すインジケータが設定したタイミングで表示される。表示されるインジケータを確認し、その結果に対応した入力を行う。

表示されたインジケータが Ctrl キーであった場合には [ 左矢印キー ] を、Alt キーであった場合には [ 右矢印キー ] を押す。実際の演習時には、実験時よりも複雑な操作を理解し、習得する必要がある。そこで、今回の実験では、対応するキーをそのまま押すのではなく、左右矢印に対応させることとした。

誤回答に気づいた場合は、インジケータが表示されている間に限り、正回答を押して修正する。特殊キーを示すインジケータは計算問題同様に3秒間、それぞれ10回ずつ、合計20回表示される。従って計算タスク5回に対し、1回の割合で確認タスクを行う。確認タスクと確認タスクの間隔は最短6秒、最長15秒で変化させており、一定ではない。

確認タスクについて、SZKITを用いた場合にはキーコンビネーションを示すインジケータのみが表示される。触覚情報を追加した場合には、SZKITによるインジケータが表示されている間、人差し指に取り付けたデバイスが振動し続ける。Ctrlキー及びAltキーのいずれが表示されていた場合も人差し指上の装置が振動する。振動の強さや震え方は同じである。実験協力者は振動のみによって、表示されているインジケータがCtrlキーかAltキーかを判断できず、インジケータを確認し、CtrlキーかAltキーかを判断する必要がある。

### 5.3.3 実験環境

使用機材は、デスクトップPC (CPU Intel Core i7、メモリ 8GB、Windows 10)、24inch 液晶ディスプレイ (1920 × 1200pixel)、標準的なUSBマウス、標準的な109日本語USBキーボードにより構成される。

実験時には、実験画面及び実験協力者が行った操作内容をTobii Pro Studioソフトウェアで記録した。

### 5.3.4 実験手順

- 1) 実験内容・手順の説明・インフォームドコンセント・手順が理解できているかの確認 (20分程度)
- 2) タスク実験 (5分25秒) 2種類
- 3) アンケート回答・ヒアリング (40～60分程度)

タスク実験の所要時間は5分である。タスク実験開始前のカウントダウン、終了告知などを含んだ全体5分25秒となっている。タスク実験に用いる動画は、自動化した操作を画面キャプチャソフトで録画した動画データを用いた。実験協力者は動画を閲覧しながら、計算タスクに対する操作と、確認タスクに対する操作を平行して行う。

### 5.3.5 実験協力者

筑波技術大学産業技術学部総合デザイン学科に所属する聴覚障害学生21名に対し、実験協力を依頼した。実験協力者は全員が成人しており、実験前に個人情報の破棄や、実験を断る権利などのインフォームドコンセントを実施した。対象とした学生は全員が過去の授業において従来のSZKITを用いた演習を受講している。

SZKITのみの場合と触覚情報を追加した場合の実験順序による学習効果の影響が出ないように、実験協力者を分けた。SZKITのみの場合と触覚情報を追加した場合の前後を入れ替えたもの、及び計算問題や実演表示の表示順を変更したものをA、B二種類準備し、これらを組み合わせ、以下の4グループに分けて実験を行った。

グループ1: SZKIT (A) → SZKIT+ 触覚情報提示 (B)

グループ2: SZKIT (B) → SZKIT+ 触覚情報提示 (A)

グループ3: SZKIT+ 触覚情報提示 (A) → SZKIT (B)

グループ4: SZKIT+ 触覚情報提示 (B) → SZKIT (A)

A, B 二種類の違いについては、計算問題や特殊キーの表示順を変更したのみであり、計算問題や特殊キーの表示回数など、内容は同一である。

### 5.3.6 課題の評価点数設定

計算タスクと確認タスクを別途に集計した。

#### (a) 計算タスクの評価点数設定

計算問題が表示されている時間内に 1 問正解するごとに、1 点とした。誤回答、無回答については 0 点とした。計算問題表示時間内に誤回答したが、同じ問題が表示されている時間内に正解を修正して入力した場合は 0.5 点とした。以上の評価基準により、100 点満点で採点した。

#### (b) 確認タスクの集計

計算タスクと異なり、点数化しない。

確認タスクでは、誤認識の発生回数を単純集計する。確認タスクでは誤認識の種類を以下の 4 種類に分けて定義し、誤認識の発生回数を集計する。

- 1) 見逃し：インジケータ表示時間内に無操作の場合
- 2) 誤入力：入力すべき矢印キーと反対の矢印キーを入力した場合
- 3) 誤入力後修正：入力すべき矢印キーと反対のキーを入力後、インジケータが表示されている間に正しい矢印キーを修正して入力した場合。

集計の結果、1 名は確認タスク実行中に計算タスクを殆ど行っていないため、結果から除外し、20 名分を集計した。質問紙調査については問題がないため、21 名分を集計した。

### 5.3.7 視線計測

実験中の協力者の視線の動きについて、Tobii Pro TX300 アイトラッカーを用い、Tobii Pro Studio ソフトウェアを用いて記録した。

### 5.3.8 質問紙調査

以下の 4 つの質問に回答してもらった。

質問 1:「SZKIT のみの場合と、SZCAT を併用して用いた場合のどちらがタスクを行いやすかったか」についていずれかを二者択一で回答してもらい、その理由を自由回答してもらった。

質問 2:「SZCAT の付け心地や重量、着用に伴うストレス」について自由回答してもらった。質問 3:「SZCAT は教員のマウス操作を学生に伝達するのに有効と思うか」という質問について、「全く有効とは思えない」「有効とは思えない」「どちらとも言えない」「有効だと思う」「とても有効だと思う」の 5 段階で評価してもらい、理由を自由回答してもらった。

質問 4:「SZKIT に SZCAT を併用することは実演内容の理解に有効と思うか」という質問について、「全く有効とは思えない」「有効とは思えない」「どちらとも言えない」「有効だと思う」「とても有効だと思う」の 5 段階で評価してもらい、理由を自由回答してもらった。

質問 3、4 について、実験時には SZCAT のマウス左右ボタンの押し下げ状態を再現せず、振動による触覚情報を提示したのみであるが、質問紙調査時には実験協力者に SZCAT を装着してもらい、実際のグラフィックソフトウェアを用いて授業を模擬し、教員の操作に連動した左右ボタンの押し下げ状態の再現を体験してもらった後に回答してもらった。

## 5.4 評価結果

### 5.4.1 各タスク実験結果

計算タスクについて、3.6 (a) の採点基準に基づいて採点した結果を表 5.1 で示す。

また、確認タスクについて、3.6 (b) で定義した誤認識の発生回数を図 5.5 で示す。20 名分を合計している。

### 5.4.2 視線計測結果

計算タスク周辺 400 ピクセル四方、確認タスク周辺 400 ピクセル四方で計測範囲を設定し、計測範囲内の視線停留時間、及び視線移動回数を計測した。視線計測の精度には個人差が大きいため、Tobii Pro Studio ソフトウェアの視線計測精度を示す値の数値が 50% を下回った 7 名の実験協力者のデータを除外し、21 名中、14 名を対象として解析した。計測結果を表 5.2 に示す。

### 5.4.3 質問紙調査結果

質問紙調査の結果は以下の通りである。

質問 1:「SZKIT のみの場合と、SZCAT を併用して用いた場合のどちらがタスクを行いやすかったか」という質問に対し、21 名中 1 名が SZKIT のみの場合を、20 名が SZCAT を併用して用いた場合の方がタスクを行いやすかったと回答した。また、自由回答として以下の回答が得られた（重複含む）。

- ・タスクに集中できる利点：13 名
- ・視線移動の減少、疲労が減少する利点：7 名
- ・気づきの誘発や見逃しを防ぐ利点：10 名

質問 2:「SZCAT の付け心地や重量、着用に伴うストレス」に関する質問に対し、21 名の内、13 名が何らかのストレスがあると回答し、残り 8 名はストレスを感じない又は無視できると回答した。ストレスに関する回答を以下に分類する（重複含む）。

- ・ソレノイドと Arduino 基盤とをつなぐ接続コードに対する要望：4 名
- ・重量に関する要望：2 名
- ・重量に関する肯定的な回答：9 名
- ・ストラップや装着しにくさに関する要望：9 名
- ・指輪型の提案など、形状やデザインに対する要望、提案：5 名
- ・長時間着用時のストレスの可能性に関する言及：3 名
- ・動作音に関する意見：2 名

動作音に関する意見について、1 名は人工内耳を装着している。1 名は聴覚障害者特有の音の感じ方について言及した。原文のまま掲載する。「音が気になった。聞こえる人は小さい音から大きい音までの差が広いが、重い人の場合にはその幅が狭いので、うるさく感じる場合もある。自分は左側は良いが、右側は長時間使っているとうるさく感じるかもしれない。」

質問 3:「SZCAT は教員のマウス操作を学生に伝達するのに有効と思うか」という質問について、以下の回答を得られた。

- とても有効だと思う：11 名
- 有効だと思う：8 名
- どちらとも言えない：2 名

表 5.1 計算タスクの採点結果

Table 5.1 The scores on the numerical calculation task

	中央値	平均点	標準偏差
SZKIT のみ	99.0	98.3	1.70
触覚情報を追加	98.5	98.1	1.86

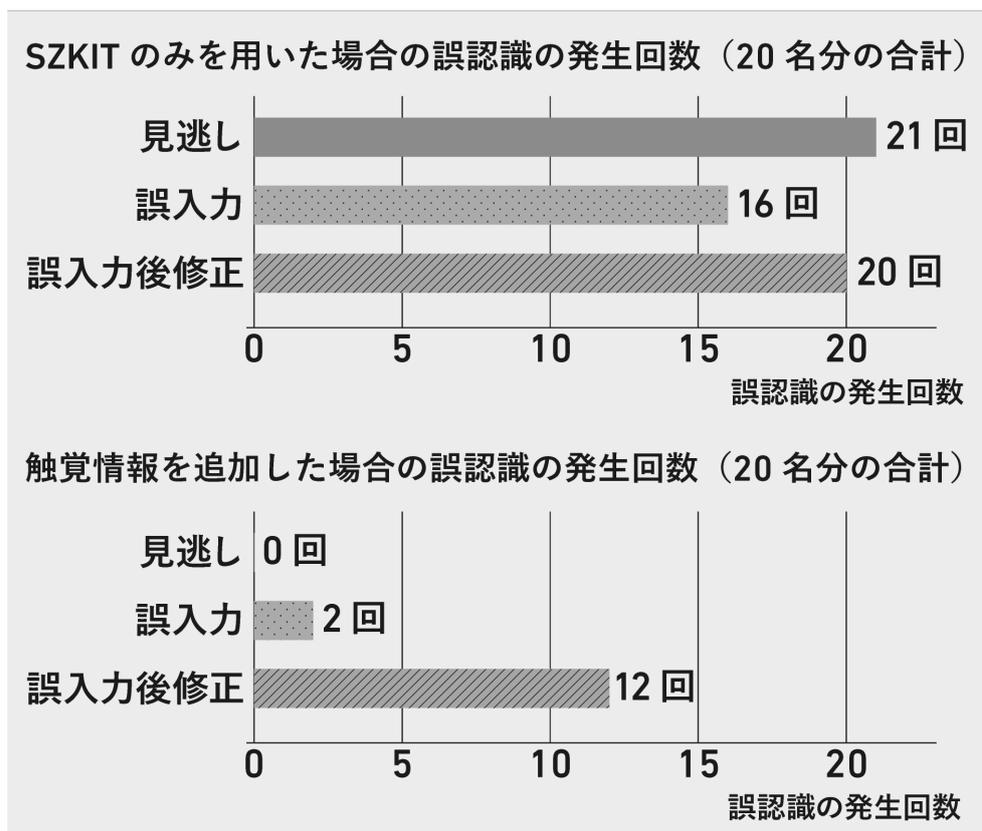


図 5.5 誤認識の要因の集計結果

Figure 5.5 The causes of failure

表 5.2 視線計測結果

Table 5.2 The measurement results of gazing behavior

	中央値	平均点
計算タスクに対する視線の停留時間	210.4 秒	234.7 秒
確認タスクに対する視線の停留時間	33.0 秒	13.4 秒
計算タスクに対する視線の移動回数	81.5 回	45.4 回
確認タスクに対する視線の移動回数	69.5 回	26.9 回

「有効とは思えない」以下の回答はなかった。また、自由回答として以下の回答が得られた。

- ・視覚に偏重しない利点：2名
- ・直感的な理解に役立つ利点：5名
- ・振動だけではなく動作音も役立つ点：1名
- ・操作が認識しやすくなる利点：7名

質問4：「SZKITにSZCATを併用することは実演内容の理解に有効と思うか」という質問について、以下の回答を得られた。

とても有効だと思う：10名

有効だと思う：10名

どちらとも言えない：1名

「有効とは思えない」以下の回答はなかった。また、自由回答として、11名が併用することの利点について回答した。個人差や個人の希望によって振動の有無を選べた方が良いとする回答が3名からあった。また、気づきを誘発する効果や、注意を引く効果についての回答がそれぞれ1名からあった。これら肯定的な意見に対し、否定的な意見が1名からあった。振動を有効と回答しつつ、現状のデバイスではデザインやストラップにストレスがあると回答した。

## 5.5 考察

### 5.5.1 計算タスクの正確性について

表5.2の結果より、計算タスクについて、SZKITのみを用いた場合と触覚情報を追加した場合との間に差は見られなかった。20名の内、9名はSZKITのみの方が高得点であり、8名はSZCATを併用した方が高得点だった。どちらの場合も点数差や分散の傾向は似ている。3名は同じ点数だった。中央値、平均点、標準偏差の差は誤差範囲であり、計算タスクの正確性について、両者に差はないと判断した。

### 5.5.2 確認タスクの正確性について

確認タスクについて、図5.5から判断し、SZKITのみの場合に比べ、触覚情報を追加した場合には誤認識が大幅に減少していることが分かる。従来手法に対し、振動による触覚情報提示を追加した手法の方が、確認タスクで表示された内容をより正しく認識できていると判断できる。特に見逃しと誤入力への減少効果が大きい。また、質問1の自由回答において気づきの誘発や見逃しを防ぐ効果について多くの回答が得られた。以上より触覚情報を追加した手法はSZKITのみの場合に比べ、誤認識を減少させる効果が高いと判断した。

### 5.5.3 視線移動量について

表5.2から、触覚情報を追加した場合には、SZKITのみの場合と比べ、確認タスクに対する視線の停留時間、移動回数ともに大幅に減少していることが分かる。また、質問1の自由回答において視線移動が少なくなる利点について多くの回答が得られた。SZCATを併用した手法はSZKITのみの場合に比べ、視線移動を減少させる効果があると判断した。

### 5.5.4 SZCATの付け心地や重量、着用に伴うストレスについて

質問2、SZCATの付け心地や重量、着用に伴うストレスに関する質問に対し、半数以上の実験協力

者が何らかのストレスを回答した。ソレノイドを収めたボックスを指に固定するためのストラップに対する改善要求が9名と多く、次いで形状やデザインに関する改善要求が5名、接続コードに関する改善要求が4名からあった。デザインやストラップの改善が必要であると考えられる。

一方、重量に関する要望は2名と少なく、反対に肯定的又は許容範囲内とする回答が9名からあった。重量については現状で概ね問題ないと判断した。

また、動作音について意見が2名からあった。ただし、質問3のマウス操作の伝達に有効かどうかという質問に対し、1名が振動だけでなく動作音も役立つと回答している。動作音については長短所があると思われるが、改善すべきかどうか、ここでは判断できない。

### 5.5.5 SZKIT と触覚情報を追加した効果について

質問4において、自由回答で1名はストレスを繰り返して回答したものの、20名が「有効だと思う」以上で回答した。自由回答においても触覚情報をSZKITに追加した利点が多く回答されていた。

また、触覚情報を追加することで、触覚情報の追加による情報過多が考えられたが、5.5.1の計算タスクの正確性に関する考察から判断し、触覚情報の計算タスクへの影響はないと考えられる。また、表5.2より視線移動量が大幅に減少しており、注視タイミングの導出に効果があることが分かる。質問1の自由回答や実験後のヒアリングにおいても視線移動の減少効果やタスクに集中できる効果について、多くの回答が得られた。

SZKIT のみの場合、計算タスクを行いながら、確認タスクで表示されるインジケータに気を配り続ける必要がある。触覚情報が加えられることで、注視タイミングを導出でき、見逃しや誤認識を減少させることができたと判断できる。また、質問紙調査質問1において、タスクに集中できる利点や視線移動量の減少、疲労の減少、気づきの誘発や見逃しを防ぐ効果について多くの回答を得ている。また、表5.2より視線移動量も大幅に減少していることが分かる。これらは触覚情報が加わったことにより、確認タスクの見逃しの恐れが減ること、確認タスクを注視し続ける必要がなく視線移動の負荷が減じたことなど、精神的負荷の減少効果によるものと思われる。

これらの結果から判断し、触覚情報の追加は情報過多による悪影響は無く、教示内容の誤認識を減らす効果や、注視タイミングの導出、視線移動量の減少等の精神的負荷軽減に効果があると判断した。

## 5.6 まとめ

本章では、聴覚障害学生向け実技演習における支援手法について、従来の手法SZKITに加えて新たに触覚情報を提示する手法を提案した。触覚で直感的に理解できることを目的として小型軽量で実用可能な演習支援システムSZCATとして開発した。そして、開発したシステムの効果に関する基礎的研究として、触覚情報を使用する方法論の有効性を、タスク実験による定量的評価及び質問紙調査やヒアリングなどの定性的評価により、検証した。

これらの検証により、SZKIT のみの場合にくらべ、触覚情報を追加した場合には、教示内容の誤認識を大幅に減少させる効果があることが分かった。また、視線移動量を減少させることができ、注視タイミングの導出に効果があることが分かった。

質問紙調査からは、触覚情報提示デバイスの問題点や改善提案を得た。

本章においては精神的負荷の軽減効果を確認するため、触覚情報の有効性についての検証に留まった。次章においては、マウス操作に加え、キーボード操作を触覚によって伝達する手法を開発し、有効性を

検証する。

SZCAT はクリックやドラッグといったマウスの基本操作を振動による触覚情報によって直感的に提示することを目的に開発している。例えばCADソフトのマウス操作では、オブジェクトの移動や視点の移動など、クリックされたタイミングや、左右クリックの区別、クリックとドラッグの区別を視覚的に提示しても、どの操作がどの結果に結びつくか、わかりにくい場合がある。このように、SZCATはグラフィックソフトの教示に限定せず、マウスを使用する操作の教示に広く適用できる可能性があると考えている。今後、このような可能性についても追及し、教員のマウス操作内容を触覚によって聴覚障害学生に伝達する手法の有効性について検証したい。

## 第6章

# 触覚による PC 教示支援システム SZFOX

### 6.1 本章の目的

5章において、触覚を用いて教員のマウス操作内容を聴覚障害学生に伝達するシステム SZCAT を開発した。SZCAT を用い、触覚を用いた手法の有効性を検証し、視線移動量の減少効果や誤認識抑制効果、実演への注視タイミングの導出に効果があることが分かった。

そこで本章では、触覚を用いた手法を用いて「教員が学生の両手に被せて教える動作」を模擬すべく、マウス操作の伝達のみであった SZCAT を改良し、キーボード操作とマウス操作を振動による触覚情報によって学生に提示するシステムを開発した。開発後、既存の SZKIT を単独で用いた場合と、提案する触覚情報提示システムとを併用した場合との有効性を検証した。本章では上記実験の結果と得られた知見について述べる。

### 6.2 触覚情報提示デバイス SZFOX の開発

5章において開発し、触覚を用いた伝達システムである SZCAT はマウス操作（クリック・ドラッグ）のタイミングの伝達を目的としたシステムであり、キーボード操作のタイミングを触覚情報で伝達するシステムではない。5章において、触覚を用いた方法論について、成果が得られたことから、本章ではキーボード操作とマウス操作のタイミングを、SZCAT を改良することによって伝達する手法を提案し、有効性を検証した。

グラフィックスソフトウェアの実技演習では、キーボード操作とマウス操作のコンビネーションやタイミングが重要な場面が多い。そこで、本章において開発したシステムは、教員がマウス左ボタンを押下げた場合には、学生の右手人差指に装着したデバイスが振動し、教員がキーボードのいずれかのキーを押下げた場合には、学生の左手人差指に装着したデバイスが振動するシステムとした。本システムの提案にあたり、SZCAT において右手人差指（マウス右ボタンを押す指）に装着していた振動デバイスを、左手人差指（キーボード側の手の人差指）に装着し、キーボードのいずれかのキーが押し下げられた状態の時にソレノイドが振動するように Arduino のファームウェア、及び制御ソフトウェアを変更し、開発した。

開発後、本システムを「教員の操作に同期して強調する振動デバイス」という趣旨で SZFOX (SynchroniZed Focused Operation eXaggerator) と名付けた。SZFOX は前述のようにキーボードとマウス左ボタンの押し下げに同期して振動し、押し下げ中は振動しつづける。これによりマウスクリックとマウスドラッグの差や、キーボードを押し下げるタイミングと離すタイミングを表現できるようになっている。

SZFOX を装着してキーボード、マウス操作を行っている様子を図 6.1 で示す。



図 6.1 SZFOX を装着して操作している様子

Fig 6.1 Image of operating a computer using SZFOX

## 6.3 SZFOX の有効性の検証

ここでは、既存の SZKIT のみを用いた場合と、提案した SZFOX を併用した場合との有効性の評価を行う。評価は与えられた条件に従って PC を操作するタスク実験と質問紙調査によって行う。

### 6.3.1 評価方法

SZKIT を用いた実技演習では、聴覚障害学生は図形やベジェ曲線など、教員が描画している実演を閲覧しながら、同時に補助的に表示されるインジケータや字幕を確認して操作を理解している。これにより、健聴者が目で実演を閲覧しながら、同時に音声から補助説明を聞いている状況に近い環境を提供している。

しかし、健聴学生が実演を視覚で、補助説明を同時並行的に聴覚から受信できるのに対し、聴覚障害学生は両方を視覚から受信しなければならない。このために、視線移動量が増え、実演を重視した結果、補助説明を見逃す、あるいはその逆など、複数のタスクを処理する場合に情報の取得漏れや誤認識が生じている可能性があった。

そこで、視覚に偏重して提供している情報の一部を触覚によって提示することで、学習時の視線移動量の減少効果や、情報の取得漏れ、誤認識を防ぐ効果を検証する。

これらの効果を確認するため、聴覚障害学生に対して、二重タスクを設定した。この二重タスクを用いて SZKIT と SZFOX のそれぞれにおいてタスクの達成度を定量的に計測し、その後質問紙調査を行う。

### 6.3.2 二重タスクの内容

二重タスク実験ではグラフィックスソフトウェア上で、以下の二つのタスクを平行して行う。二重タスク実験で課した二つのタスクは計算タスクと確認タスクである。



図 6.2 実験時の画面例

Fig 6.2 An example of screen image during the experiment

計算タスクと確認タスクは画面の異なる位置に提示され、計算タスクを注視している状況で確認タスクを正しく認識できるかを検証した。これは実際の実技演習教示の際、SZKIT の字幕を読みながら操作インジケータを確認することを模擬している。計算タスクは字幕を、確認タスクは操作インジケータを模している。計算タスクの正答率は、字幕の注視が行われているかどうかの指標や、振動を加えることによる影響を計測する指標となる。

実験時の画面の様子を図 6.2 で示す。なお、図 6.2 において、確認タスクの表示部分を点線で囲い、二倍に拡大しているが、実験時にはこの拡大は行っていない。

実験では、SZKIT のみを用いた場合と、SZFOX を併用して特殊キーの押し下げ時に、触覚情報を追加した場合のそれぞれにおいてタスクの達成度を計測し、その後質問紙調査を行った。

計算タスクと確認タスクの詳細を以下で説明する。

### (a) 計算タスク

計算タスクでは、SZKIT の字幕表示機能を用い、画面下部に一桁の整数による加算、減算、乗算を表示し、その結果に対応した入力を行うように要求した。

結果の数値が 10 以上の場合には、上矢印キーを、9 以下の場合には、下矢印キーを押す。誤回答に気づいた場合は、計算問題が表示されている間に限り、正回答を押して修正する。計算問題は 3 秒に 1 問が順次表示される。5 分間で合計 100 問を回答する。

## (b) 確認タスク

計算タスクと平行し、グラフィックスソフトウェアで良く用いられる特殊キーである Alt キーと、マウス左ボタンを提示し、提示内容に応じてキーボード操作を行うように要求した。表示には SZKIT のインジケータ表示機能を用い、Alt キー及びマウス左ボタンを示すインジケータが設定したタイミングで表示される。実験協力者は表示されるインジケータを確認し、その結果に対応した入力を行う。このタスクをここでは確認タスクと呼ぶ。

代表的なグラフィックスソフトウェアである Adobe Illustrator において、最も重要な作画機能にベジェ曲線がある。ベジェ曲線の描画にはマウス操作と特殊キーのコンビネーションを用いることが多い。ベジェ曲線描画時のマウス操作とキーボード操作の押し下げのタイミングを習得することは、Adobe Illustrator の習得において重要な基礎的ステップである。特にマウスドラッグと Alt キーのコンビネーションによるベジェ曲線の方向転換の習得は最初の難関であり、この操作の習得に時間を要する学生が多い。

これらの理由から、本実験において標示されるインジケータは、ベジェ曲線の正しい方向転換操作と、聴覚障害学生が頻繁に間違える操作を加え、以下の四種類の提示パターン P1 ~ P4 を設定した。

P1) 左ドラッグ開始 0.5 秒後に、左ドラッグを続けたまま Alt キーを押した場合

P2) 左ドラッグ開始 0.5 秒後に、左ドラッグを解除し、Alt キーを押した場合

P3) Alt キー押下げ 0.5 秒後に、Alt キーを押下げたまま左ドラッグを開始した場合

P4) Alt キー押下げ 0.5 秒後に、Alt キー押下げを解除し、左ドラッグを開始した場合

上記パターンを図 6.3 で示す。

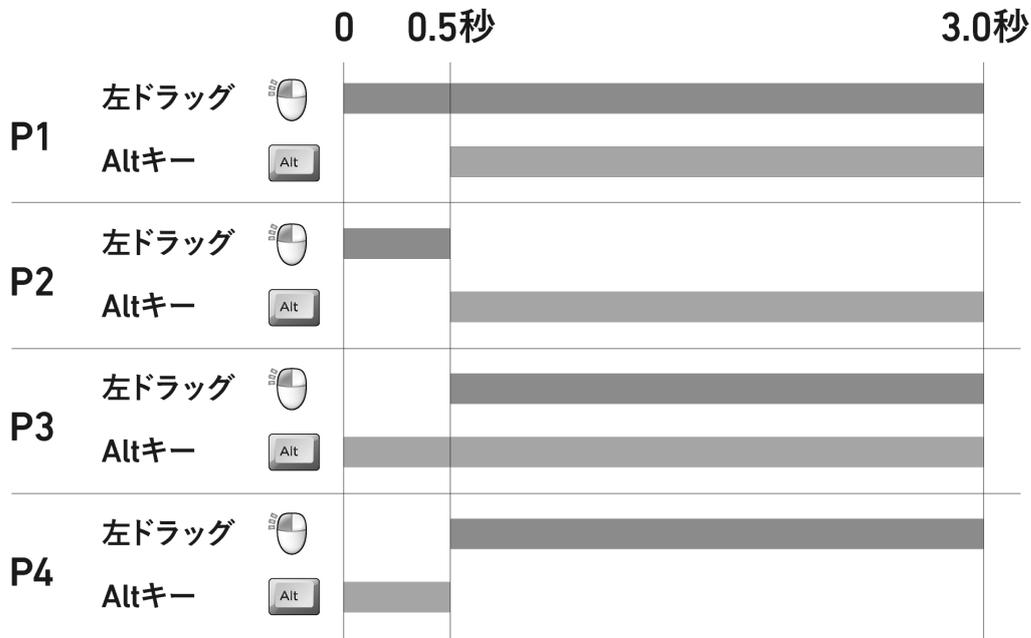


図 6.3 確認タスクにおける提示パターン

Fig 6.3 An example of screen image during the experiment

上記のインジケータ提示の内、P1の提示を正操作と定義し、P1を確認できた場合にスペースキーを押すように要求した。P1を正操作と設定したのは、ベジェ曲線の描画における正しい方向転換の操作がP1であることに起因している。ベジェ曲線描画中にP2～P4の操作を行った場合、アラート画面が出て、方向線を正しく転換することができない。方向線の転換を習得する過程で、誤ってP2、P3の操作を繰り返す学生が多いことは、著者の担当する授業で頻繁に確認されている。P4の誤操作を授業で確認することは無いが、本実験においても同様に発生しないか、確認する。

インジケータは計算問題同様に3秒間、P1～P4それぞれ10回ずつ、合計40回、順不同で提示される。従って計算タスク2.5回に対し、1回の割合で確認タスクを行う。確認タスクと確認タスクの間隔は最短3秒、最長9秒で変化させており、一定ではない。

確認タスクについて、SZKITを用いた場合にはキーコンビネーションを示すインジケータのみが表示される。SZFOXを併用した場合には、SZKITによるインジケータが表示されている間、振動による触覚情報も与えられる。左ドラッグ時に右手人差指に着用したデバイスが振動し、Altキーが押下げられている時に左手人差指に着用したデバイスが振動する。

### 6.3.3 実験環境

使用機材は、デスクトップPC (CPU Intel Corei7、メモリ 8GB、Windows 7)、23inch液晶ディスプレイ (1920 × 1080pixel)、標準的なUSBマウス、標準的な109日本語USBキーボードにより構成される。

実験時には、実験画面及び実験協力者が行った操作内容をTobii Pro Studioソフトウェアで記録した。

### 6.3.4 実験手順

- 1) 実験内容・手順の説明・インフォームドコンセント・手順が理解できているかの確認 (20分程度)
- 2) タスク実験 (5分25秒) 2種類
- 3) アンケート回答・ヒアリング (40～60分程度)

タスク実験の所要時間は5分である。タスク実験開始前のカウントダウン、終了告知などを含んだ全体5分25秒となっている。タスク実験に用いる動画は、自動化した操作を画面キャプチャソフトで録画した動画データを用いた。実験協力者は動画を閲覧しながら、計算タスクに対する操作と、確認タスクに対する操作を平行して行う。

### 6.3.5 実験協力者

筑波技術大学産業技術学部総合デザイン学科に所属する聴覚障害学生20名に対し、実験協力を依頼した。実験協力者は全員が成人しており、実験前に個人情報の破棄や、実験を断る権利などのインフォームドコンセントを実施した。実験は筑波技術大学倫理委員会の許可を得ている。

次にSZKITのみの場合とSZFOXを併用した場合の実験順序による学習効果の影響が出ないように、実験協力者を分けた。SZKITとSZFOXの前後、及び計算問題や実演表示の表示順が全く同じにならないよう、表示順を変更したものをA、B二種類準備し、これらを組み合わせ、以下の4グループに5人ずつ均等に分けて実験を行った。

グループ1：SZKIT (A) → SZKIT+SZCAT (B)：5人

グループ2：SZKIT (B) → SZKIT+SZCAT (A)：5人

グループ3：SZKIT+SZCAT (A) → SZKIT (B)：5人

グループ4：SZKIT+SZCAT (B) → SZKIT (A)：5人

A, B二種類の違いについては、計算問題や特殊キーの表示順を変更したのみであり、計算問題や特殊キーの表示回数など、内容は同一である。

### 6.3.6 課題の評価点数設定

計算タスクと確認タスクを別途に集計した。

#### (a) 計算タスクの評価点数設定

計算問題が表示されている時間内に1問正解するごとに、1点とした。誤回答、無回答については0点とした。計算問題表示時間内に誤回答したが、同じ問題が表示されている時間内に正解を修正して入力した場合は0.5点とした。以上の評価基準により、採点した。採点時にAの計算問題で3問、Bの計算問題で1問について、正常に表示されていないことが確認されたため、Aは97点満点、Bは99点満点として正答率を算定した。

#### (b) 確認タスクの集計

計算タスクと異なり、点数化しない。

確認タスクでは、6.3.2(b)において設定した4つの提示パターンの内、正操作の見逃し回数、及びP2～P3を正操作と誤認した回数を単純集計する。

### 6.3.7 視線計測

実験中の協力者の視線の動きについて、Tobii Pro TX300 アイトラッカーを用い、Tobii Pro Studio ソフトウェアを用いて記録した。

### 6.3.8 質問紙調査

以下の4つの質問に回答してもらった。

質問1：「SZFOXの振動のパターンや強さはキーボード操作やマウス操作の雰囲気を再現できていたか」について自由回答してもらった。

質問2：「SZFOXの付け心地や着用に伴うストレス」について自由回答してもらった。

質問3：「SZFOXは教員のキーボード、マウス操作を学生に伝達するのに有効と思うか」という質問について、5段階で評価してもらい、理由を自由回答してもらった。

質問4：「SZKITにSZFOXを併用することは実演内容の理解に有効と思うか」という質問について、5段階で評価してもらい、理由を自由回答してもらった。

質問5：「SZFOX、操作の順番（キーボードとマウスを交互に使うような操作）や操作のタイミングを理解するのに有効と思うか」についてという質問について、5段階で評価してもらい、理由を自由回答してもらった。

質問3～5における五段階評価は、「全く有効とは思えない」「有効とは思えない」「どちらとも言えない」「有効だと思う」「とても有効だと思う」の中から選んでもらった。

## 6.4 評価結果

実験協力者について、1名が実験を辞退し、1名が6.3.2 (b) のP3の場合を正操作として回答してお

り、1名は機器の不具合によりデータが正常に保存されていなかったため、17名分のデータを採点した。  
6.3.5のグループ分けによる採用人数は以下の通りである。

尚、以下の実験結果において、各実験グループ間に差異はほとんど観察されなかったため、順序効果による影響は生じていないと判断した。

グループ1：SZKIT (A) → SZKIT+SZFOX (B)：4人

グループ2：SZKIT (B) → SZKIT+SZFOX (A)：5人

グループ3：SZKIT+SZFOX (A) → SZKIT (B)：4人

グループ4：SZKIT+SZFOX (B) → SZKIT (A)：4人

#### 6.4.1 各タスクの実験結果

計算タスクについて、6.3.6 (a) の採点基準に基づいて採点した正答率を表 6.1 で示す。

表 6.1 計算タスクの採点結果

Table 6.1 The scores on the numerical calculation task

	中央値	平均点	標準偏差
SZKIT のみ	99.0	98.3	1.70
触覚情報を追加	98.5	98.1	1.86

確認タスクについて、6.3.6 (b) で定義した誤認識発生率を表 6.2 で示す。表 6.2 の「P1 (正操作) 見逃し発生率」とは、正操作を見逃してスペースキーを押さなかった発生率を、P2～P4 における「誤認識発生率」とは、正操作と誤認し、スペースキーを押した発生率を示している。

表 6.2 確認タスクの各パターンの誤認識発生率

Table 6.2 Incidence rate of false recognition in the confirmation

	SZKIT のみ	SZKIT+SZFOX
P1 (正操作) 見逃し発生率	3.53%	1.76%
P2 誤認識発生率	2.35%	11.76%
P3 誤認識発生率	3.53%	3.53%
P4 誤認識発生率	0%	0%

#### 6.4.2 視線計測結果

計算タスクの提示位置を中心として縦 400 × 横 400 pixel、確認タスクの提示範囲は計算タスクの提示範囲に比べて横長であるため、確認タスクの表示位置を中心として縦 400pixel × 横 600pixel ピクセルを計測範囲として設定した。計測範囲内の視線停留時間、及び視線移動回数を計測した結果を表 6.3 に示す。二重タスク試験で採用した 17 名分のデータの内、グループ 1 の 1 名分の視線データが正常に記録されていなかったため除外し、16 名分のデータを集計し、一人あたりの平均を算出した。

表 6.3 視線の停留時間と移動回数

Table 6.3 Average of stationary time and number of movement in the eye-gaze measurement

	SZKIT のみ	SZKIT+SZFOX
計算タスクに対する視線の停留時間の平均	238.1 秒	257.7 秒
確認タスクに対する視線の停留時間の平均平均	24.9 秒	6.4 秒
計算タスクに対する視線の移動回数の平均平均	57.6 回	19.4 回
確認タスクに対する視線の移動回数の平均	48.9 回	13.1 回

### 6.4.3 質問紙調査結果

質問紙調査の結果は以下の通りである。質問紙調査については19名分全てを採用している。

質問1：「SZFOXの振動のパターンや強さはキーボード操作やマウス操作の雰囲気を再現できていたか、違和感は無かったか」という質問に対し以下の回答が得られた（重複含む）。

- ・キーボード側とマウス側の振動の区別が分かり難いという意見：4名
- ・キーボード側の振動を不要とするなど、キーボード側の振動に関する否定的意見や要望：3名
- ・慣れが必要とする意見：3名
- ・振動の強さの調整に関する意見：2名
- ・動作音に関する意見：1名
- ・ゲーム感覚で楽しんで操作できたという意見：1名
- ・小型化、コードレス化の要求：1名

質問2：「SZFOXの付け心地や重量、着用に伴うストレス」に関する質問に対し、19名の内、10名が肯定的に回答した。8名は何らかの改善点を回答し、1名は未回答だった。以下に要約する（重複含む）。

- ・違和感はない、気にならないなど肯定的意見：5名
- ・重量についてやや重いとする意見：2名
- ・重量について軽い、丁度良いなど肯定的意見：4名
- ・接続コードに関する改善要望：2名
- ・長時間着用時のストレスの可能性に関する言及：1名
- ・着用位置についての意見：1名
- ・違和感なく集中できるという意見：1名
- ・ストラップが自分で調整できる利点：1名
- ・ストラップがかゆいという意見：2名
- ・ストラップの材料に関する意見：1名
- ・振動パターンや強さが同じで分かりにくいという意見：1名

質問3「SZFOXは教員のキーボード、マウス操作を学生に伝達するのに有効と思うか」という質問について、以下の回答を得られた。

とても有効だと思う：4名

有効だと思う：13名

どちらとも言えない：2名

「有効とは思えない」以下の回答はなかった。また、自由回答として以下の回答が得られた。

・視覚に偏重しない利点：4名

・タスクに集中しやすい利点：3名

・キーボード側とマウス側のどちらの振動か分からない、混乱するという意見：3名

・今回の実験では振動と特殊キーが一对一对応しているが、特殊キーは他にもあるので、振動パターンの違いで区別してはどうかという提案：1名

質問4：「SZKITにSZFOXを併用することは実演内容の理解に有効と思うか」という質問について、以下の回答を得られた。

とても有効だと思う：4名

有効だと思う：9名

どちらとも言えない：5名

有効とは思えない：1名

全く有効とは思えない：0名

また、自由回答として以下の回答が得られた。

・タスクに集中しやすい利点：1名

・視覚で確認しなくて済む利点：1名

・振動が追加されることでタイミングがつかみやすい利点：1名

・振動はタイミングを把握し、視覚による情報で理解するという意見：1名

・気付きを誘発する利点：1名

・文章だけでは理解しにくい人の補助になるという意見：1名

・振動については慣れが必要という意見：2名

・確認すべき情報が増えるという意見：1名

・キーボード側とマウス側のどちらの振動か分からないという意見：1名

振動の残効があり、混乱するという欠点：1名

質問5：「SZFOX、操作の順番（キーボードとマウスを交互に使うような操作）や操作のタイミングを理解するのに有効と思うか」という質問について、以下の回答を得られた。

とても有効だと思う：6名

有効だと思う：7名

どちらとも言えない：4名

有効とは思えない：2名

全く有効とは思えない：0名

また、自由回答として以下の回答が得られた。

・操作のタイミングがつかみやすい利点：3名

・目が疲れない利点：1名

・システムの理解・慣れに時間が必要という意見：5名

・キーボード側とマウス側のどちらの振動か分からない、混乱するという意見：3名

## 6.5 考察

### 6.5.1 計算タスクの正確性について

表 6.2 の結果より、計算タスクについて、SZKIT のみを用いた場合と触覚情報を追加した場合との間に差は見られなかった。中央値、平均点、標準偏差はほぼ同じであり、計算タスクの正確性について、両者に差はないと判断した。

### 6.5.2 確認タスクの正確性について

確認タスクについて、SZKIT のみの場合と SZKIT+SZFOX の場合とで、正確性を比較する。表 6.2 より、正操作の見逃しは、SZKIT のみでは 3.53% 発生していたのに対し、SZKIT+SZFOX では 1.76% に半減している。この結果は SZKIT に振動による触刺激を追加することで見逃しを防ぐ効果を示唆している。しかし、サンプル数が少ないため、本実験の結果のみでは統計的には明確に言えない。

次に誤認識の傾向について考察する。

P2 の誤認識の発生回数は SZKIT のみに比べ、SZKIT+SZFOX の方が大幅に増加している。17 人中 8 人が触刺激を追加した場合に誤認識が増加している。一方、触刺激を追加したことにより、誤認識が減少した実験協力者は 1 名のみであった。残る 8 人の誤認識は、全くないか、等しい。P2 の誤認識の発生率について、SZKIT のみと SZKIT+SZFOX とで、t 検定を実施したところ、 $p=0.03<0.05$  となり、両者に有意差が認められた。これらから、P2 の誤認識は SZKIT のみに比べ、SZKIT+SZFOX の方がより多く発生すると判断した。

P3 の誤認識は SZKIT のみと SZKIT+SZFOX のどちらも同じ発生率であり、発生の傾向も似ており、両者に差は無いと判断した。

P4 の誤認識は SZKIT のみと SZKIT+SZFOX のどちらも全く発生しておらず、両者に差はないと判断した。授業においても P4 の誤操作を行う学生は確認しておらず、本実験でも同様の結果となった。

P2 の誤認識について、SZFOX による触刺激を追加した場合の誤認識の増加について考察を加える。P2 で提示される操作は、マウス左ドラッグを解除した瞬間に Alt キーを押し始める操作である。触覚情報の提示順序は、最初にマウス側（右手人差指）が振動し、0.5 秒後に停止する。この停止と同時にキーボード側（左手人差指）のが振動を始める。

これに対し、正操作はマウス左ドラッグを解除せず、ドラッグを続けたまま Alt キーを押し始める操作である。正操作では、触覚情報として最初にマウス側（右手人差指）が振動し、0.5 秒後にそのままマウス側の振動は停止せずにキーボード側（左手人差指）が振動を始める。

P2 を正操作と誤認識したことは、右手人差指側の振動が停止しているにも関わらず、振動し続けていると錯覚したことを意味している。質問紙調査においても、キーボード側とマウス側の振動の区別をしにくいという回答を数多く確認している。また、振動に差をつけて分かりやすくしてほしい、又は振動の残効があり混乱するなどの意見を得ている。これらから判断し、確認タスクでは、右手人差指の振動が停止した場合も、振動の残効があり、振動し続けていると錯覚されたことが、P2 の誤認識を多く発生させた原因と判断した。

### 6.5.3 視線移動量について

表 6.2 から、触覚情報を追加した場合には、SZKIT のみの場合と比べ、確認タスクに対する視線の停留時間、移動回数ともに大幅に減少していることが分かる。また、質問 1 の自由回答において視線移動

が少なくなる利点について多くの回答が得られた。SZFOX を併用した手法はSZKIT のみの場合にくらべ、視線移動を減少させる効果があると判断した。

#### 6.5.4 SZFOX の付け心地や重量、着用に伴うストレスについて

質問 2、SZCAT の付け心地や重量、着用に伴うストレスに関する質問に対し、概ね肯定的な回答であったが、8 名の実験協力者が何らかのストレスや改善要求を回答した。ソレノイドを取めたボックスを指に固定するためのストラップに対する改善要求が 2 名、ストラップの材料に関する言及が 1 名、接続コードに関する改善要求が 2 名からあった。また、長時間着用時にストレスが生じる可能性について 1 名が回答した。

重量についてはやや重いという回答が 2 名からあったが、反対に肯定的な回答が 4 名からあった。重量については現状で概ね問題ないと判断した。

形状やデザインには改善の余地があるが、10 名は肯定的に回答しており、ストレスについては問題ないと判断した。

## 6.6 まとめ

本論文では、聴覚障害学生向け実技演習における支援手法について、従来の手法 SZKIT に加え、新たにキーボードとマウス操作を触覚情報で提示する手法 SZFOX を提案し、有効性を検証した。また、タスク実験による定量的評価、及び質問紙調査やヒアリングなどの定性的な検証を行った。

検証により、SZKIT のみの場合にくらべ、SZFOX を併用した場合には、振動による正誤判定は不正確な場合があり、特に二つの振動がほぼ同時に発生した場合には残効が生じ、一方の振動が停止しても振動が続いていると錯覚されてしまう場合があることが分かった。

一方、SZFOX を併用した場合には、視線移動量を大幅に減少させる効果が認められた。従って、振動提示により、操作タイミングを適切に受け取り、精神的負荷を減少させることが期待できる。

また、質問紙調査の結果から、触覚情報提示の方法論の問題点や改善提案を得ることもできた。

SZFOX は、キーボード側の操作を示す触刺激を Alt キーと一対一で対応させおり、判断すべき内容が限定的である。グラフィックスソフトウェアでは Alt キー以外にも Shift キーや Ctrl キーを組み合わせた操作も多用する。授業において実用するためには、複数のキーを区別して伝達する必要がある。本章における実験では、キーボード側の操作を示す触刺激が限定的であったにも関わらず、正確性については問題があった。伝達すべき情報が限定的だったとしても、触覚による伝達では視覚に比べて正確性に問題があることから、従来からの SZKIT による視覚情報を活かすなどの必要があると考えられる。

5 章と 6 章を通じ、SZCAT や SZFOX によって触覚による伝達を検討したが、次章では、SZKIT を用いても理解に至らないケースに対応するため、再度、視覚による情報保障を検討する。視覚情報過多による見落としや認識の遅れを解消するために、視覚以外の伝達手段に分散させるのではなく、視覚を用いつつ、負荷を軽減する別の方法を検討する。



## 第7章

# 実演履歴提示システム SZKISS

### 7.1 本章の目的

聴覚障害学生に対するデザイン実技演習において、第5章では触刺激を用いた方法論の有効性を調査し、第6章では触刺激を用いた手法の正確性についてを検証した。SZCAT及びSZFOXの開発、検証によって、視線移動量を減少させる効果など、視覚に集中している負荷を軽減させる効果を得ることができた。一方で触覚による伝達は、視覚による伝達に比べ、不正確に認識される場合もあるなど、問題点も明らかとなった。そこで本章では、視覚情報過多による見落としや認識の遅れを解消するには、視覚以外の伝達手段に分散させるのではなく、視覚を用いつつ、負荷を軽減する別の方法を検討した。

本章では、視覚による教示支援ソフトウェアであるSZKITを改良し、教員の実演履歴を一定時間提示する手法を開発し、有効性を検証した。

### 7.2 実演履歴提示ソフトウェアの開発

グラフィックスソフトウェア上に実演履歴を残す場合、画面が履歴情報で溢れ、本来のソフトウェアの教示の妨げになりやすい。ここでは、実演履歴をどのように履歴として提示するかについて検討し、検討の結果、実演履歴を教員の実演に同期して高精度で提示しつつ、一定時間後に順次消える手法を開発することとした。

#### 7.2.1 実演履歴提示手法の検討

本研究では、はじめに教員の実演内容をどのように履歴として提示するかについて検討した。

まず画面下部や画面左右端に履歴字幕表示領域を確保し、そこに字幕を順次提示する手法を考案した(図7.1)。

しかしながら、教示対象となるグラフィックスソフトウェアは、ツールバーやパレット等で画面が圧迫されがちであり、専用の字幕領域を追加することで操作画面を余計に狭めない方が良いことは、1章で述べた通りである。また、字幕を操作部分から離れた位置に表示したままにすることで、視線移動が煩雑となり、返って実演内容の見逃しが多く発生してしまう可能性があることから、この手法の採用は見送った。

次に教員の実演内容の直ぐ近くに、履歴を文字情報として一定時間表示しておき、時間経過と共に段々と消えていく手法を検討した(図7.2)。この手法では画面を圧迫することはないが、カーソル周辺に大量の文字が表示されたまま、しばらくの時間残り続けるため、実演の妨げとなる可能性が高く、採用は見送った。

これらの採用を見送った手法には、共通して実演内容の履歴を文字情報として提示するという特徴があり、履歴を「見る」のではなく「読む」必要があるという問題がある。これらの手法は直感的な理解

を妨げ、読解の苦手な学生に対する解決策とならないばかりか、4章で述べたように、返って履歴をたどるために文字情報を読ませることで、実演の見逃しをより多く発生させてしまうという悪循環を生じさせる可能性がある。

そこで、文字情報以外の履歴提示手法を検討することとした。従来のSZKITはカーソル周辺に特殊キーの押し下げ状態をインジケーターとして可視化しており、実演内容の伝達に効果が高いことが2章で述べたSZKITの検証結果から分かっている。そこで、履歴を文章ではなく、同様のインジケーター



図 7.1 字幕表示領域を確保し、画面下部から上部に向かって字幕を順次提示する手法  
Figure 7.1 The system captions flow from bottom to top in the display zone dedicated to subtitle only



図 7.2 実演内容の直ぐ近くに、履歴を文字情報として一定時間表示しておく手法  
Figure 7.2 The system the log texts are displayed at the point closest to the zone shows operating movement for a certain period of time

によって提示し、教員の実演内容を履歴提示することとした。

まず、SZKIT と全く同じインジケータを、履歴字幕について検討した時と同様に画面下部や画面左右端に履歴提示領域を確保し、その領域の中で画面下部から上部に向かって順次提示する手法を考えた (図 7.3)。しかし履歴字幕を検討した時同様、この手法ではやはり操作画面が圧迫されるため、別の手法を検討することとした。

次に領域を確保せず、操作の邪魔にならない画面の空いている位置に、教員の実演操作に応じて順次



図 7.3 履歴提示領域を確保し、画面下部から画面上部に向かって操作履歴インジケータを順次提示する手法  
Figure 7.3 The system operation logs flow from bottom to top in the display zone dedicated to operation log only

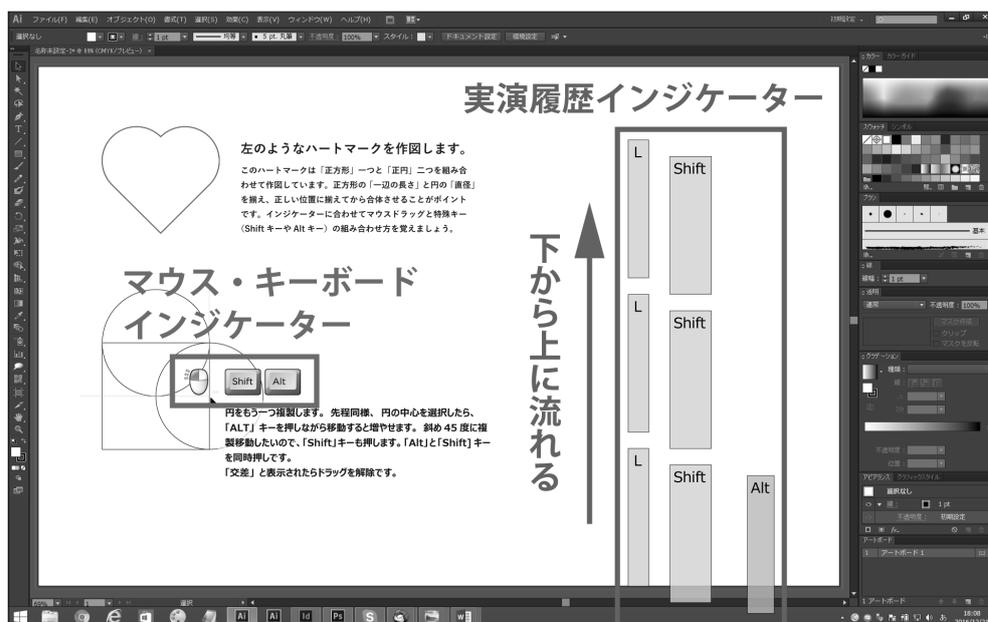


図 7.4 画面の任意の位置に、画面下部から画面上部に向かって操作履歴インジケータを順次提示する手法  
Figure 7.4 The system operation logs flow from bottom to top on the row arbitrarily chosen

インジケータを表示する手法を考案した(図7.4)。この場合、インジケータは操作画面に重なることになるが、インジケータは操作時に伴い現れ、一定時間後に消えるため、専用の領域を確保するよりも、操作画面への圧迫が少ないと推測できる。

また、この手法であれば、操作部分にある程度近づけてインジケータを表示することもでき、視線移動量が抑えられる利点もあると判断した。

次に履歴を提示するためのインジケータの仕様について検討した。SZKITで提示されるインジケータは、キーボードやマウスボタンが押し下げられている間は表示され、離すと消える仕組みのため、操作が行われたタイミングと押し下げ時間の長さをリアルタイムで提示できる。一方、履歴提示については、押し下げられた時間の長さを何らかの表現を用いて提示する必要がある。そこで、キーボードやマウスボタンが押されたタイミングで、画面下部より棒状のインジケータが出現し、画面上部に向かって移動を始め、押し下げられていた時間の分だけ、プログレスバーの様な棒状のインジケータが縦に延長され、キーボードやマウスの押し下げを解除した瞬間に棒状のインジケータが途絶え、そのまま上にスクロールし、10数秒程度の時間を掛けてゆっくりと画面上部に到達次第、そのまま消える仕様とした。本研究では、この棒状のインジケータを「操作履歴インジケータ」と呼称する。操作履歴インジケータは、実演の障害にならないよう、不必要となった場合には、一括で消去できる仕様とした。また、注視しなくても認識できるよう、インジケータは目立つ色とし、形状も単純化した。また、押し下げられるキーやボタンによってインジケータの色を変えることとした。SZKITに実演履歴インジケータを追加して開発したシステムを、操作履歴インジケータの特徴を踏まえてSZKISS(SynchlOniZed Key points Indicator with Scrolling Sign)と名付けた。

## 7.2.2 実演履歴提示ソフトウェア SZKISS の仕様

7.2.1 で述べた要件をまとめ、SZKISS の仕様を以下に示す。

### (a) SZKIT 同等機能の実装

- (a-1) マウスの左右ボタンの押し下げ状態を表示する。
- (a-2) マウスポインター周辺に Alt、Shift、Ctrl キーやアルファベットキーの押し下げ状態を表示する。複数キーの同時押し時には並べて表示する。
- (a-3) マウスポインター周辺に別途に準備したテキストデータに基づいた字幕を表示。
- (a-4) 一回の字幕表示分に区切られた字幕文書を読み込み、教員の操作に応じて画面に表示する。字幕の送り戻しは無変換+s(送る)、無変換+w(戻す)で行う。

### (b) 実演履歴提示機能の実装

- (b-1) マウスの左右ボタンの押し下げ状態の履歴を表示する。
- (b-2) Shift、Ctrl、Alt キーやアルファベットキーの押し下げ状態の履歴を表示する。インジケータは予め設定した X 座標位置から流れ始める。インジケータの色は個別に設定可能とする。
- (b-3) キーやボタンを押し下げた時間に応じて実演履歴インジケータの長さが変化する。
- (b-4) 実演履歴インジケータの表示・非表示を切り替えられるようにする。
- (b-5) 実演を妨げないよう、不必要となった場合には、無変換+Esc キーで実演履歴インジケータを一括消去できるようにする。

上記仕様を満たす Windows 上で動作するアプリケーションとして SZKISS を開発した。実演履歴提示ソフトウェアの動作環境は以下の通りである。

- ・動作確認 OS: Windows7、8.1、10

・必要ランタイム：.NET Framework

ソフトウェアの動作について、CPU の性能、メモリや HDD、グラフィックボードの違いによる表示品質の劣化、表示の遅延などは認められず、処理能力の低い PC 環境（Celeron 1.6GHz/メモリ 2G/CPU 内臓グラフィックス /Win10）であっても問題なく動作することを確認している。

上記表示機能の内、左右マウスボタン及びキーボードの押し下げ状態の表示は SZKIT と全く同じデザイン・仕様とした。

### 7.2.3 SZKISS の実演履歴インジケータの速度調整

SZKISS 上で表示される実演履歴インジケータの移動速度を検討した。速度は任意の値に設定可能である。速度を遅くすれば確認時間を長く確保できるものの、その分、画面に操作内容が暫く残り続け、作図の邪魔になる。早いと逆に作図の邪魔にはなりにくいものの、確認時間を十分に取ることができない。そこで、画面下部にインジケータが現れてから画面上部に到達するまでの移動速度を 85 pixel / 秒に設定した。この速度は実験時の環境である WUXGA 画面（縦 1200pixel）の場合、インジケータが現れてから消失するまで 14 秒間に相当する。

この速度が適切かどうかについては、実験時の質問紙調査及びヒアリングにおいて、実験協力者全員に対して質問する。

## 7.3 実演履歴提示ソフトウェアの評価

ここでは、既存の SZKIT を用いた場合と、新たに開発した SZKISS を併用した場合とのそれぞれにおいて、提示された情報の理解度を検証する。評価は、与えられた条件に従って PC を操作するタスク実験と質問紙調査によって行う。

### 7.3.1 実験の目的

SZKIT を用いた実技演習では、聴覚障害学生は図形やベジェ曲線など、教員が実際に描画している実演を閲覧しながら、同時に補助的に表示されるインジケータや字幕を確認して理解している。これにより、健聴者が目で実演を閲覧しながら、同時に音声から補助説明を聞いているのと同等の環境を提供している。

しかし、健聴学生が実演を視覚で、補助説明を同時並行的に聴覚から受信できるのに対し、聴覚障害学生は両方を視覚から受信しなければならない。このために、実演を重視した結果、補助説明を見逃す、あるいはその逆など、複数のタスク実施時に生じる問題について確認する必要がある。

そこで、聴覚障害学生に対して、二重タスクを設定する。この二重タスクを用いて SZKIT と SZKISS のそれぞれにおいて達成度を定量的に計測し、質問紙調査を加えて調査することで、両者の違いを考察する。

### 7.3.2 二重タスクの内容

実験で行う二重タスクでは以下の二つのタスクを平行して行う。

#### (a) 計算タスク

計算タスクでは、計算問題を行う。視線を一点に集中させることを目的とし、一桁の整数による加算、

減算、乗算を表示し、その結果に対応した入力を行うように要求した。計算問題の提示位置は固定し、計算問題の左上の座標が、画面左上を原点とした場合に、右方向 400pixel、下方向 400pixel の位置に提示した。計算問題の提示位置を図 4 で示す。結果の数値が 10 以上の場合は、[ 上矢印キー ] を、10 未満(9 以下) の場合は、[ 下矢印キー ] を押す。誤回答に気づいた場合は、計算問題が表示されている間に限り、正回答を押して修正する。計算問題は 3 秒に 1 問が順次表示される。5 分間で合計 100 問を回答する。

## (b) 確認タスク

計算タスクと平行し、計算式の近辺に、グラフィックスソフトウェアで良く用いられるキーコンビネーションを表示し、表示内容に応じてキーボード操作を行う。計算問題表示中に、計算問題の上に、グラフィックスソフトウェアで頻繁に用いられるキーコンビネーションを示すインジケータが設定したタイミングで表示される。表示されるインジケータを確認し、その結果に対応した入力を行う。このタスクをここでは確認タスクと呼ぶ。確認タスクで表示されるインジケータの種類及び表示される回数を表 7.1 で示す。

表 7.1 の内、1 番目の表示を確認した時のみ、[ スペースキー ] を押すように要求した。この 1 番目の表示をここでは正解表示と呼ぶ。

正解表示として設定した操作内容は、代表的なグラフィックスソフトウェアの一つである Adobe Illustrator でベジェ曲線の描き方を学ぶ時に、実際に習得する操作の一つである。6 章でも述べた通り、この操作の習得でつまずく学生が多いことや、操作順を逆に間違える学生が多いことは著者の担当する実技演習で繰り返し経験している。正解表示に対し、操作順が逆となる誤表示は表 7.1 の 2 番目の表示である。

表 7.1 表示されるインジケータの種類及び表示される回数

Table 7.1 The list of the indicators and quantity of their appearance

	表示されるインジケータの種類	回数
1	[ 左ドラッグ ] 中に [ Alt キー ]	10 回
2	[ Alt キー ] 押し下げ後に [ 左ドラッグ ]	3 回
3	[ 左ドラッグ ] 中に [ Shift キー ]	3 回
4	[ Shift キー ] 押し下げ後に [ 左ドラッグ ]	3 回
5	[ 左ドラッグ ] 中に [ Ctrl キー ]	3 回
6	[ Ctrl キー ] 押し下げ後に [ 左ドラッグ ]	3 回
7	[ Alt キー ] と [ Shift キー ] 同時押し	3 回
8	[ Shift キー ] と [ Ctrl キー ] 同時押し	3 回
9	[ Alt キー ] と [ Ctrl キー ] 同時押し	3 回
10	[ Alt キー ] 単独	3 回
11	[ Shift キー ] 単独	3 回
12	[ Ctrl キー ] 単独	3 回

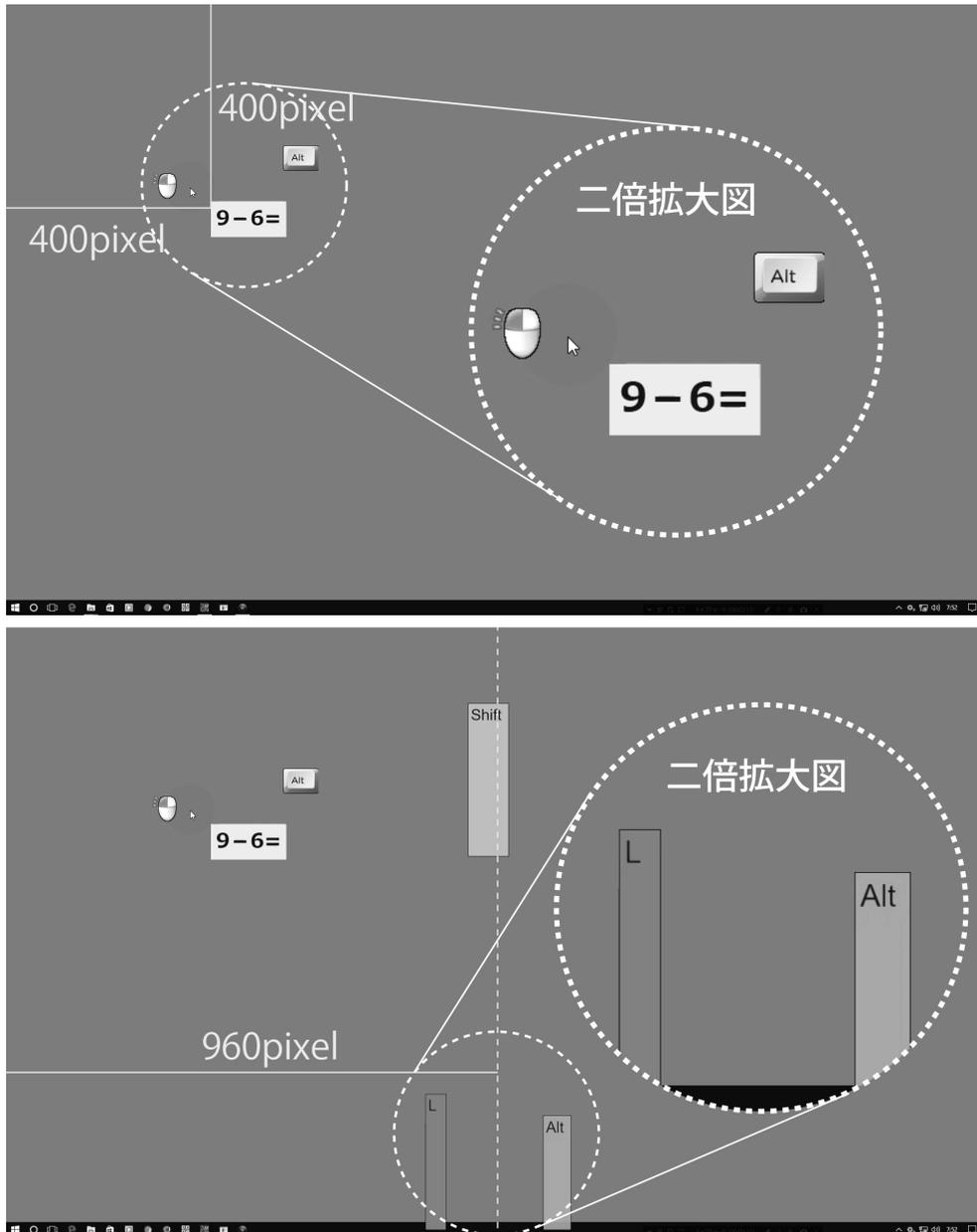


図 7.5 上：SZKIT のみを用いた実験の画面、下：SZKISS を併用した実験画面

Figure 7.5 Above: The sample screen of experiment with SZKIT, Below: The sample screen of experiment with SZKISS

確認タスクについて、SZKIT を用いた場合には計算問題の近辺にキーコンビネーションを示すインジケータのみが表示される。SZKISS を用いた場合には SZKIT で表示されるインジケータに加え、実演履歴インジケータが追加して表示される。実演履歴インジケータは、画面左右の中央となるよう、WUXGA 画面（横 1920pixel）左端から、右方向 960pixel の位置が実演履歴インジケータの中心となるように設定した。SZKIT を用いた場合と SZKISS を用いた場合の違いについて、図 7.5 で示す。

図 7.5 では、約 10 秒前に“Shift”キーが押され、現在”左ドラッグ”と”Alt”キーを押している状況を示している。

なお、図 7.5 において、インジケータ表示位置の位置情報や、図中の一部を点線で円囲いして二倍

に拡大しているが、実験時にはこの拡大は行っていない。

### 7.3.3 実験環境

使用機材：デスクトップ PC (CPU Intel Corei7、メモリ 8GB、Windows 10)、24inch 液晶ディスプレイ (1920 × 1200pixel)、標準的な USB マウス、標準的な 109 日本語 USB キーボード

実験時には、実験画面を動画キャプチャにて記録し、実験協力者が行った操作内容を動画キャプチャと同期して記録した。

### 7.3.4 実験手順

- 1) 実験内容・手順の説明・インフォームドコンセント・手順が理解できているかの確認 (20 分程度)
- 2) 実験 (5 分 25 秒) 2 種類
- 3) アンケート回答・ヒアリング (40 ~ 60 分程度)

実験の所要時間は 5 分 (実験開始前のカウントダウン、終了告知などを含んだ全体 5 分 25 秒)。実験では二重タスクを行う。実験に用いる動画は、正確性を期すためにマウス・キーボード入力の記録再生ソフトウェアである UWSC(注 1)を用いて自動化した操作を画面キャプチャソフトで録画した動画データを用了。実験協力者は動画を閲覧しながら、計算タスクに対する操作と、確認タスクに対する操作を平行して行う。

### 7.3.5 実験協力者

筑波技術大学産業技術学部総合デザイン学科に所属する聴覚障害学生 21 名に対し、実験協力を依頼した。実験協力者は全員が成人しており、実験前に個人情報の破棄や、実験を断る権利などのインフォームドコンセントを実施した。対象とした学生は全員が過去の授業において従来の SZKIT を用いた演習を受講している。

実験協力者の内、1 名についてはデータが正しく記録されなかったため除外し、20 名分のデータを用いた。質問紙調査については問題がないため、21 名分を用いた。

SZKIT と SZKISS の実験順序による学習効果の影響が出ないように、実験協力者を分けた。SZKIT と SZKISS の前後、及び計算問題や実演表示の表示順が全く同じにならないよう、表示順を変更したものを A, B 二種類準備し、これらを組み合わせた結果、以下の 4 グループに分けて実験を行った。

グループ 1 : SZKIT (A) → SZKISS (B) : 5 名

グループ 2 : SZKIT (B) → SZKISS (A) : 5 名

グループ 3 : SZKISS (A) → SZKIT (B) : 5 名

グループ 4 : SZKISS (B) → SZKIT (A) : 5 名

A, B の違いについては、計算問題や実演表示の順番を変更したのみであり、内容は同一である。

### 7.3.6 タスクの評価点数設定

計算タスクと確認タスクを別途に集計した。

---

注 1 : <http://www.uwsc.info/>

#### (a) 計算タスクの評価点数設定

計算問題が表示されている時間内に1問正解するごとに、1点とした。誤回答、無回答については0点とした。計算問題表示時間内に誤回答したが、同じ問題が表示されている時間内に正解を修正して入力した場合は0.5点とした。以上の評価基準により、100点満点で採点した。

#### (b) 確認タスクの集計

計算タスクと異なり、点数化しない。

確認タスクでは、誤認識の発生回数を単純集計する。確認タスクでは誤認識の種類を以下の4種類に分けて定義し、誤認識の発生回数を集計する。

- 1) 見逃し：正解表示時間内に無操作。
- 2) 誤入力（表示順）：誤表示の内、正解表示の表示順のみを逆にした場合（表1の2）にスペースキーを押した場合。
- 3) 誤入力（その他）：誤表示の内、上記の誤表示（表示順）を除いたその他の誤表示（表1の3～12）表示時にスペースキーを押した場合。
- 4) 遅延：正解表示時間直後に遅れてスペースキーを押した場合。

### 7.3.7 質問紙調査

以下の8つの質問を提示した。

- Q1：SZKITに追加した実演履歴インジケータの表示位置が適切かどうか
- Q2：実演履歴インジケータの移動速度は適切かどうか
- Q3：従来のSZKITに追加した実演履歴インジケータの色や形などが適切かどうか
- Q4：実演履歴提示機能は実演内容の理解向上に有効かどうか
- Q5：実演履歴提示は操作の順番やタイミングを理解するのに有効かどうか
- Q6：実演履歴提示は読解の苦手な学生にとって有効かどうか
- Q7：実演履歴提示がストレスになるかどうか
- Q8：長所/短所を総合的に判断し、実演履歴提示があった方が良いか、無い方が良いか

Q1は履歴提示インジケータの表示位置について「画面左端」「初期値よりもやや左側」「初期値の位置」「初期値よりもやや右側」「画面右端」その他で質問した。Q1とQ2は適切かどうかを「全く適切ではない」「適切とは思えない」「どちらとも言えない」「適切だと思う」「とても適切だと思う」の5段階評価で、質問した。Q3～Q6は履歴提示に関する有効性を「全く有効とは思えない」「有効とは思えない」「どちらとも言えない」「有効だと思う」「とても有効だと思う」の5段階評価で質問した。Q7はストレスかどうかを「かなりのストレス」「ストレス」「どちらとも言えない」「ストレスではない」「全くストレスではない」の5段階で質問した。Q8は「あった方が良い」「ないほうが良い」の2択で質問した。

## 7.4 評価結果

### 7.4.1 各タスクの結果

計算タスクについて、7.3.6(a)の採点基準に基づいて採点した結果を表7.2で示す。

表 7.2 計算タスクの採点結果

Table 7.2 The scores on the numerical calculation task

	中央値	平均点	標準偏差
SZKIT のみ	98.0	97.9	2.1
履歴情報を追加	98.0	97.9	1.9

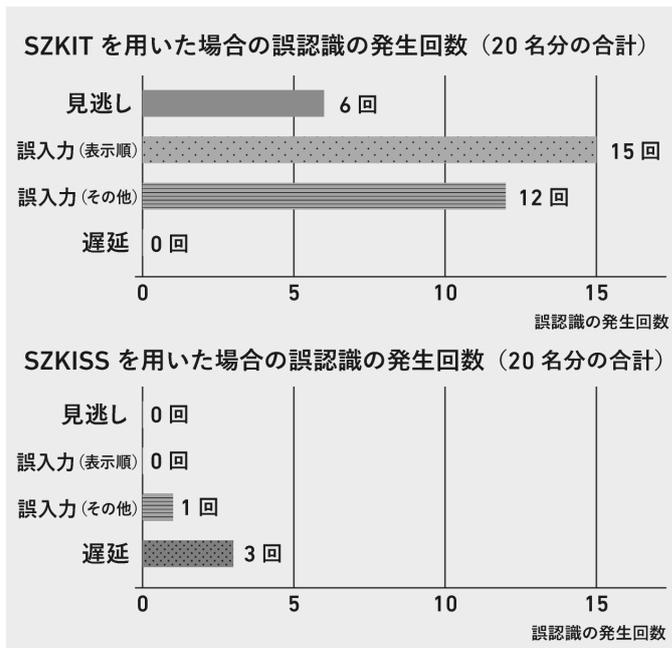


図 7.6 誤認識の要因の集計結果 (発生回数)

Figure 7.6 The causes of failure (occured number)

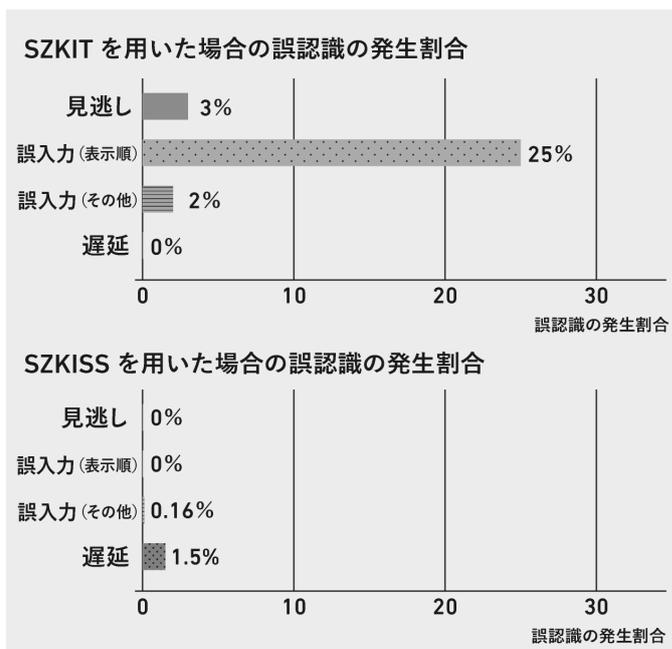


図 7.7 誤認識の要因の集計結果 (発生割合)

Figure 7.7 The causes of failure (incidence rate)

次に、確認タスクについて、7.3.6 (b) で定義した誤認識の発生回数を図 7.6 で示す。実験協力者 20 名分を合計している。図 7.6 は誤認識の発生回数を単純に集計し、20 名分を合計した結果である。しかし、確認タスクにおける各項目の表示回数は表 7.1 の通り、同じではない。正解表示は確認タスクにおいて 1 名に対し 10 回表示されるため、見逃しや遅延は 20 名分の合計 200 回の表示回数に対する発生回数となる。誤入力（表示順）は、1 名に対し 3 回表示されるため、20 名分の合計 60 回の表示回数に対する発生回数となる。同様に誤入力（その他）については、1 名に対し 30 回表示されるため、20 名分の合計 600 回に対する表示回数となる。表示回数が大幅に異なるため、表示回数を分母とし、誤認識の発生回数を分子とした発生割合を図 7.7 で示す。

#### 7.4.2 質問紙調査・ヒアリング結果

アンケート・ヒアリングの結果は以下の通りである。

Q1：SZKIT に追加した実演履歴インジケータの表示位置が適切かどうかという質問に対し、21 名中 1 名が「画面左端」と回答し、2 名が「初期値よりもやや左側」と回答し、9 名が「初期値の位置」と回答し、5 名が「初期値よりもやや右側」と回答し、残り 2 名が「画面右端」と回答し、残り 2 名が「その他」と回答した。

Q2：SZKIT に追加した実演履歴インジケータの移動速度が適切かどうかという質問に対し、21 名中 11 名が「とても適切だと思う」と回答し、5 名が「適切だと思う」と回答し、残り 5 名が「どちらとも言えない」と回答した。

Q3：SZKIT に追加した実演履歴インジケータの色や形などは適切かどうかという質問に対し、21 名中 11 名が「とても適切だと思う」と回答し、8 名が「適切だと思う」と回答し、残り 2 名が「どちらとも言えない」と回答した。

Q4：実演履歴提示機能は実演内容の理解向上に有効かどうかという質問に対し、21 名中 9 名が「とても有効だと思う」と回答し、9 名が「有効だと思う」と回答し、2 名が「どちらとも言えない」と回答し、1 名が「有効とは思えない」と回答した。

Q5：実演履歴提示は操作の順番やタイミングを理解するのに有効かどうかという質問に対し、21 名中 12 名が「とても有効だと思う」と回答し、6 名が「有効だと思う」と回答し、2 名が「どちらとも言えない」と回答し、1 名が「有効とは思えない」と回答した。

Q6：実演履歴提示は読解の苦手な学生にとって有効かどうかという質問に対し、21 名中 12 名が「とても有効だと思う」と回答し、8 名が「有効だと思う」と回答し、1 名が「どちらとも言えない」と回答した。

Q7：実演履歴提示がストレスになるかどうかという質問に対し、21 名中 3 名が「全くストレスではない」と回答し、10 名が「ストレスではない」と回答し、4 名が「どちらとも言えない」と回答し、2 名がストレスと回答し、1 名はかなりのストレスと回答した。1 名は未回答であった（ただし自由回答では肯定的に回答した）。

Q8：長所 / 短所を総合的に判断し、実演履歴提示があったほうが良いか、ないほうが良いかという質問に対し、20 名があったほうが良いと回答し、1 名がないほうが良いと回答した。

これら質問紙調査の結果を図 7.8 に示す。

## 7.5 考察

- Q1：実演履歴インジケータの表示位置が適切かどうか
- Q2：実演履歴インジケータの移動速度が適切かどうか
- Q3：実演履歴インジケータの色や形が適切かどうか
- Q4：実演履歴提示機能は実演内容の理解向上に有効かどうか
- Q5：実演履歴提示は操作の順番やタイミングを理解するのに有効かどうか
- Q6：実演履歴提示は読解の苦手な学生にとって有効かどうか
- Q7：実演履歴提示がストレスになるかどうか
- Q8：実演履歴提示があった方が良く、無い方が良いか



図 7.8 質問紙調査の集計  
 Figure 7.8 The summary of the answers from questionnaires

### 7.5.1 計算タスクの正確性について

計算タスクについて、SZKIT と SZKISS との間に差は見られなかった。どちらの場合も計算タスクにおける間違いは少なかった。SZKIT の場合の最低点は 93 点、最高点は 100 点である。SZKISS の場合の最低点は 94.5 点、最高得点は 100 点である。最低点で SZKISS は SZKIT に比べて僅かに点数が上回り、標準偏差も僅かに減少している。しかし差は誤差範囲であり、中央値や平均点は変わらない。また、t 検定を行ったところ、有意差は見られなかった (p=1)。これらの結果から両者に差はないといえる。

実演履歴インジケータを加えることで、視線移動が増えるなどし、計算タスクの認識力や判断力が低下する可能性が考えられたが、両者の比較において、差は認められなかった。

また、実験後のヒアリングにおいて、21 名中 20 名は実演履歴提示があった方が良いと回答し、自由

回答において教示画面が煩雑となる弊害よりも、得られる効果の方を重視している意見が多数みられた。

### 7.5.2 確認タスクの正確性について

確認タスクについて、SZKIT の場合には、全体的に誤認識が多い。図 7.6 の誤認識の発生回数、及び図 7.7 の誤認識の発生割合から判断し、SZKISS と比べて大きな差が生じているといえる。

従って従来手法に対し、実演履歴インジケータを追加した手法の方が、確認タスクで表示された内容をより正しく認識できていると判断できる。特に誤入力（表示順）の差が著しく、SZKISS は SZKIT に比べ、操作順に関する誤認識を減少させる効果が高いことが分かった。

また、質問紙調査 Q5 の操作順やタイミングの理解に関する質問において 21 名中 18 名が有効以上で回答した。このことから、定性的評価においても、定量的評価を裏付ける結果を得られたと判断した。実演履歴インジケータは、僅かな入力タイミングの違いまで正確に可視化するため、微妙な差異も含めて認識しやすくなっている。半数の学生が自由回答においてこの点に言及しており、意図した効果は十分に出ていると考えられる。

しかし、誤入力（表示順）の差を除けば、SZKIT と SZKISS の差は大幅に減少する。つまり、従来手法である SZKIT を用いた場合、誤認識はあるものの、正解表示の見逃しを防ぐ効果や、表示順以外の誤認識を防ぐ効果は、SZKISS に近い効果が出ていると判断できる。

また、Q4 及び Q5 において、それぞれ 1 名が「有効とは思えない」と回答し、自由回答において実演履歴提示の正確性が、逆に問題となる場合を指摘した。次項で考察する。

### 7.5.3 実演履歴インジケータの正確性に起因する問題点について

質問紙調査において回答のあった実演履歴提示の正確性が逆に問題となる場合について考察する。

実演履歴インジケータは、ほぼ同時に複数の操作が行われた場合でも、微妙な時間差をそのままピクセル単位で可視化している。このため、教員が同時に押したつもりでも、僅かな入力時間差が生じた場合、その時間差分が差となって表示されてしまう。

この問題に対して、なんらかの機能追加が必要であると判断した。具体的には、時間差の表現について閾値を設定し、閾値以下の場合には同時に操作がされたとみなしてインジケータの上端を揃えて表示するなどの改良が必要であると考えられる。

### 7.5.4 実演履歴インジケータの表示位置について

質問紙調査 Q1 の結果より、21 名中 9 名が初期値を選んだが、半数以上の学生は初期値を中心としてやや右側に偏りつつ、分散している。このことから、初期値を現状よりも僅かに右にずらし、また、聴覚障害学生個人の希望に応じて個別に表示位置を調整する必要があると考えられる。

### 7.5.5 実演履歴インジケータの移動速度について

質問紙調査 Q2 の結果より、21 名中 16 名が「適切だと思う」以上で回答しており、概ね初期値で問題ないと判断できる。自由回答においても否定的な意見は見られなかった。個人差に言及した協力者もいたが、本支援ソフトウェアは速度を簡単に調整できるため、インジケータの移動速度の初期設定値は実験時の表示時間 14 秒で問題ないと判断し、運用時に学生の希望に応じて調整する。

### 7.5.6 実演履歴インジケータの色や形について

質問紙調査 Q3 の結果より、21 名中 19 名が「適切だと思う」以上で回答しており、自由回答においても否定的な回答は殆ど見られなかった。インジケータの形状は、周辺視野でも判別できるように単純な長方形とし、色とアルファベット表記によってボタンの区別を行っただけのシンプルなものとした。考察 7.5.1 において実演履歴インジケータの有無は計算タスクに悪影響を与えておらず、この判断は適切だったと判断できる。

### 7.5.7 読解の苦手な学生に対する実演履歴インジケータの効果について

実演履歴提示は読解の苦手な学生にとって有効かどうかという質問に対しては、21 名中 20 名が「有効だと思う」以上で回答しており、読解の苦手な学生に対し、読ませるのではなく、見て認識させる効果が期待できる。自由回答においても否定的な意見は一切見られなかった。

### 7.5.8 実演履歴インジケータのストレスについて

履歴提示導入に伴うストレスについて、21 名中 13 名は肯定的に捉えているが、一部に否定的な意見も見られた。具体的なストレスの原因として、複数の学生が自由回答の中で以下のように言及していた。

- 1) 作業部分とインジケータの重なり
- 2) 画面内に確認すべき情報が増えることで、視線移動が煩雑になること

作業部分とインジケータの重なりについて、本研究では、画面のほぼ中間地点に実演履歴インジケータを提示し、作業部分に近すぎず、離れすぎない中間を初期値とした。Q1 の回答結果からも分かるように、半数以上の学生が初期値以外を選択していた。しかし、表示位置は設定で自由に簡単に調整できるため、個別指導時には個々の学生の希望に応じて表示位置を調整することで、ストレスを低減させることができると考えられる。

また、実演履歴インジケータを導入することで、返って視線移動量が多くなる問題について考察する。7.5.1 において計算タスクの正確性について考察した通り、SZKIT と SZKISS の計算問題の結果に差は生じておらず、質問紙調査で述べられた問題について、この実験においては、悪影響は出ていないと判断できる。ただし、今回の計算問題を用いた実験において悪影響は出なかったものの、今後、実際の授業において活用する場合には、教示内容によっては問題が生じる可能性も考えられる。また、実演履歴提示のストレスについて言及した学生や、総合的に判断して不要と判断した学生も少数存在する。履歴提示にストレスを感じる学生や、本機能を不要とする学生に対しては、従来の SZKIT の機能にとどめ、実演履歴インジケータを非表示とするなどの対応が運用時に必要になるとと思われる。実演履歴インジケータは、設定で表示・非表示を容易に切り替えることが可能である。

## 7.6 まとめ

本章では、聴覚障害学生向け実技演習における支援手法について、従来の手法 SZKIT に対して新たに履歴提示を追加する手法 SZKISS を開発した。文字情報を主体とした履歴提示ではなく、視覚で直感的に理解できる手法を採用し、実演履歴インジケータを用いて実用可能な演習支援ソフトウェアとして開発、有効性を検証した。実験による定量的評価、及び質問紙とその結果を元にしたヒアリングなどの定性的な検証を行った。実験の結果により、SZKIT にくらべ、履歴提示を加えた SZKISS の有効性が示せた。特に操作順に関する誤認識を減少させる効果が高いことが分かった。

今回の実験では、一桁の単純な計算タスクであったため、実技演習中に提示される字幕に比べ、少な

い情報しか提示されていない。しかし、実際の授業では文章の形式で字幕が提示され、今回の実験よりも内容の判断に必要な時間が増えると考えられる。実際の実技演習においては、より多くの誤認識が発生すると推測され、実演履歴提示機能のより高い効果が期待できると考えている。

また、考察7.5で述べたように、SZKISSの正確性が逆に問題を発生させる場合があることも発見できた。今後、これらの知見をフィードバックしてSZKISSを改修し、筆者の担当するPC上の実技演習において、従来のSZKITに代えて活用する予定である。



## 第8章

### 結論

本論文では、聴覚障害学生向け実技演習における教示支援手法を複数開発し、それぞれ有効性を検証した。筆者が担当する実技演習における教示経験を通じ、教員の実演と補助説明との時間的、空間的な隔たりが聴覚障害学生の理解を阻害している原因であると推測し、これらの隔たりを解消する手法を開発した。また、実演と補助説明との隔たりを解消するだけでなく、教員の実演をインジケータによって可視化し、どのような操作が行われているかを、補助説明に頼らずに直感的に理解できるようにした。そして、開発した教示支援ソフトウェアやシステムを用い、従来手法と比較し、有効性を証明した。

また、文字による字幕を中心とした手法では、一部の聴覚障害学生に有効ではない場合があることを発見し、原因を明らかにするため、聴覚障害学生の学習時の行動を調査した。調査の結果、字幕を読んで理解することを優先し、教員の実演を十分に確認できていない場合に、授業理解度が極端に低下する場合があることが分かった。そこで視覚に集中している情報保障について、触覚への代替を検討し、振動による触刺激によって教員の行っている操作を伝達するシステムを開発した。開発後、有効性を検証し、触覚を用いた手法の有効性や問題点を明らかにした。また、実演への視線の導出効果や視線移動量減少効果などの精神的負荷軽減効果を得ることができた。しかし、触覚を用いた手法では、情報が正確に伝達されない場合があることが分かり、視覚を用いた手法を再検討した。実演履歴提示手法を開発し、有効性を検証した。結果、当初に開発したソフトウェアや、触覚を用いた手法で見られた誤認識を大幅に減らすことができ、また、精神的負荷軽減の面でも効果があることが分かった。

第2章では、実演と補助説明との隔たりを解消するため、ソフトウェア教示支援システム SZKIT を開発し、有効性を検証した。従来の授業形態と、SZKIT を併用した手法とを比較し、SZKIT を併用した場合の、授業内容の理解度向上効果について示した。

第3章では、第2章で成果を得られた SZKIT を PC 環境から卓上環境、机上環境に拡張し、卓上リアルタイム教示支援システム SZTAP を開発し、模擬授業や外部講師による特別講義に導入し、実用を試した。

第4章では、SZKIT を用いても授業理解まで時間を要する場合があることに気が付き、理解に至るまでの聴覚障害学生の行動を分析した。その結果、情報取得が字幕に偏ったり、視覚情報過多になり、授業理解まで長時間を要する場合があることを発見した。

第5章では、第4章で発見した問題に対し、触覚情報によるマウス操作伝達システム SZCAT を開発し、触覚を用いる方法論の有効性を検証した。視線の導出効果や、視線移動量減少効果などを示すことができた。

第6章では、SZCAT を改良し、マウス操作とキーボード操作を触覚情報によって伝達するシステム SZFOX を開発し、有効性を検証した。また、触覚情報による情報保障では、残効から誤認識が発生する場合があることが分かった。

第7章では、第6章において問題とされた誤認識を減らすため、視覚による支援手法を再検討し、実演履歴提示機能を追加した SZKISS を開発、有効性を検証した。履歴情報の提示により、誤認識を大幅に減らす効果を得ることができた。また、質問紙調査の結果から、実演履歴が一定時間残ることによる

精神的負荷の低減効果も認められた。

以上、5つのシステム・ソフトウェアの開発、およびこれらを用いた聴覚障害学生当事者による検証や分析により、以下の成果が得られた。

- 1) 聴覚障害学生に対する実技演習時において、教員の実演と補助説明との空間的、時間的な隔たりを解消することで、授業理解度を向上させることができた。
- 2) 聴覚障害学生に対する実技演習時において、字幕を中心とした方法では、視覚情報過多による見落としや認識の遅れがあり、触刺激を用いることで、提示情報への気づきの誘発や視線移動量減少などの負荷軽減効果を得られた。
- 3) 2の成果が得られた一方、触刺激を用いた手法では、視覚による伝達に比べ、不正確に認識される場合があることが分かった。
- 4) 視覚情報過多による見落としや認識の遅れに対して、実演履歴を一定時間提示する手法を開発し、検証した結果、誤認識改善効果が得られた。また、精神的負荷の軽減効果が得られた。

また、上記の成果以外に、本論文において最終的に開発したSZKISSは、既存の手法と比べ、以下の特徴を持つ。

- 1) PC要約筆記や字幕挿入システムと異なり、教示者自身の操作によって実演を補助する説明や、教示者の操作内容を提示することが可能である。インジケータ表示や字幕の付与、履歴提示などの可視化が、補助者による支援を受けることなく提示可能である。
- 2) 事前に教示内容をテキスト文書化する手法であるため、実演と字幕の表示タイミングを一致させることができる。本特徴から、リアルタイム字幕提示手法として用いることができるだけでなく、教示画面をキャプチャすることで、少ない工数で字幕付き動画教材を作成できる。
- 3) 専用のハードウェアを必要とせず、インストールも不要である。実行ファイルを起動するだけであり、簡便に利用できる。また、各種インジケータの表示位置や大きさなどの設定値も容易に変更できる。

以上が本論文の成果である。今後の課題としては以下のことが考えられる。

まず、今後の課題として、本論文において開発した複数の手法の評価や検証は、授業を受講する聴覚障害学生からの評価を受けたのみであり、教員からの評価を受けていないことが挙げられる。聴覚障害学生に依頼し、定量的、定性的な両面からそれぞれの手法の有効性を検証したものの、教員を対象とした検証は十分ではない。SZCATについて、教示を担当した教員や漫画家に対してヒアリングを実施したのみであり、その他は筆者の主観的評価に留まっている。今後は利用者を広げ、教示側に対する有効性を検証したいと考えている。

また、本論文における触覚情報の効果は、提示情報の気づきの誘発、視線移動量減少などの負荷軽減効果に留まった。触覚情報による情報提示については、視覚情報にくらべて正確性が劣ると判断し、授業にはSZKISSのみを導入している。SZKISSによる履歴情報提示は実技演習時の操作内容の伝達に非常に有効であり、触覚情報による提示は現時点では正確性の面で、視覚による履歴情報提示にくらべて劣っている。そのため、筆者の担当する実技演習には、SZCATやSZFOXを現時点では導入していない。しかしながら、SZFOXの検証において、不正確に認識された要因は残効によるものと推定できている。システムを改善することで、誤認識を減らせる可能性がある。

また、本論文においてSZCATは触刺激を提示するためのデバイスとして使用したが、開発本来の目的である教員のマウス操作の再現性を十分に検証できていない。SZCATはクリックやドラッグといったマウスの基本操作を振動による触覚情報によって直感的に提示することを目的に開発している。例え

ばCADソフトのマウス操作では、オブジェクトの移動や視点の移動など、クリックされたタイミングや、左右クリックの区別、クリックとドラッグの区別など、どの操作がどの結果に結びつくか、分かりにくい場合がある。SZFOXの検証によって、触覚情報による情報提示の正確性に問題がある場合があることが分かったが、伝達すべき内容をマウスに限定した場合には、教員の実演を正確に伝達できる可能性もある。今後の研究において、条件を限定して実験し直すなど、引き続き触覚を用いた情報提示の可能性について、追及したいと考えている。



# 謝辞

本論文は、筆者が筑波技術大学産業技術学部総合デザイン学科赴任後、工学院大学大学院工学研究科情報学専攻博士後期課程在籍中の研究結果をまとめたものです。博士論文というかたちにまとめることができたのは、多くの方々の支援とご指導をいただいたおかげです。ここに記して謝意を表します。

工学院大学大学院工学研究科教授、長嶋祐二先生には、指導教員として、根気強くご指導いただきました。論文の構成、分析の方法、文章表現に至るまで、私の稚拙な論文を細部まで丁寧に指導いただきました。深く感謝申し上げます。

また、副査をお受けいただいた、工学院大学大学院工学研究科教授、管村昇先生、ならびに教授、真鍋義文先生には、申請の不備に対応いただくと共に、ご多忙の中でご指導をいただきました。深く感謝いたします。工学院大学名誉教授、米澤宣義先生には、教育工学の分野から、有用な助言をいただきました。厳しくも的確な指導をありがとうございました。豊田工業大学教授、原大介先生には、お忙しい中、遠路お運びいただき、今後の研究につながる有用な助言をいただきました。感謝申し上げます。

筑波技術大学保健科学部准教授、小林真先生には研究の初期の段階から議論させていただき、ここまで導いていただきました。振り返ってみますと、聴覚障害学生の実技演習指導にたずさわようになってから、8年が経とうとしています。筑波技術大学赴任当時、どう研究を進めたらよいか分からず悩む私に、時には指導教員の様に、時には開発者として、そして良き同僚として、共に歩んでいただきました。今こうして博士論文に向き合っているのは、小林先生の導きがあったからです。本当にありがとうございました。

筑波技術大学産業技術学部教授、長島一道先生、ならびに准教授、若月大輔先生をはじめとした筑波技術大学の先生方には、論文執筆を尊重いただき、貴重な助言や配慮をいただきました。ありがとうございました。ここに謝意を表します。

また、フリーランスのプログラマーである住吉一浩様には、主にソフトウェア開発において、多大なる貢献をいただきました。仕事仲間として、古くからの友人として、昼夜を問わず対応をいただきました。共に開発したソフトウェアは、私の担当する実技演習で既に活用しています。住吉様との議論は、私にとってかけがえのない時間です。いつも本当にありがとうございます。そして、これからもよろしくお願います。

また、多くの皆様に集計や解析でお世話になりました。この度、博士論文として形にすることができたのは、協力してくださった皆様のおかげです。心から御礼を申し上げます。

最後に、実験に協力いただいた筑波技術大学産業技術学部の聴覚障害学生の皆様に感謝申し上げます。既に卒業して活躍している方も多数いらっしゃいます。私の研究の原点は、間違いなく学生の皆様との出会いにあります。ヒアリング時の歯に衣を着せない意見、学生という立場とは思えない有用な助言など、多くの刺激をいただきました。貴重な時間でした。授業や実験を通じ、皆様と過ごした時間は一生の財産です。実験協力、ありがとうございました。学生や卒業生の皆様が、社会の中で自分の立ち位置を見つけ、活躍されることを心から祈っています。

# 本論文に関する発表文献

## 審査付論文

1. 鈴木拓弥, 長嶋祐二: 聴覚障害学生向け触情報提示システム SZFOX の有効性について, ヒューマンインタフェース学会論文誌「楽しく・自分らしく」を支える「医療・健康・福祉・介護」のインタフェース, Vol.20 No.2, 2018.05, 採録決定
2. 鈴木拓弥, 小林真, 長嶋祐二: 聴覚障害学生向け実技演習を支援する触覚情報提示システム SZCAT の効果に関する基礎的研究, 電子情報通信学会論文誌 D (情報・システム), J101-D(3), pp.560-568, 2018.03
3. 鈴木拓弥, 長嶋祐二: 聴覚障害学生向け実技演習における実演履歴提示ソフトウェア SZKISS の開発と有効性の検証, 電子情報通信学会論文誌 D (情報・システム), J101-D(2), pp.359-368, 2018.02
4. 鈴木拓弥, 若月大輔, 小林真: 聴覚障害者にコンピュータ操作を視覚的に教示する支援ツール SZKIT の効果, 電子情報通信学会論文誌 D (情報・システム), J97-D(1), pp.108-116, 2014.01

## その他の研究論文

1. 鈴木拓弥: PBL を通じた聴覚障害学生の課題探究と解決力, 対話力を向上させる試み, 筑波技術大学テクノレポート, Vol.24 No.1, pp.59-61, 2016.12
2. 鈴木拓弥: つくば市プロモーション活動を通じた聴覚障害学生デザイン体験の支援, 筑波技術大学テクノレポート, Vol.23 No.1, pp.158-159, 2015.12
3. 鈴木拓弥: 障害当事者が直接参加可能な UD 環境評価システムの開発と評価, 筑波技術大学テクノレポート, Vol.22 No.1, pp.113-114, 2014.12
4. 鈴木拓弥, 山脇博紀: 当事者入力とデータベースとの即時連携を可能にするユニバーサルデザインワークショップのデータ入力アプリケーションの開発, 筑波技術大学テクノレポート, Vol.21 No.1, pp.120-121, 2013.12
5. 鈴木拓弥, 若月大輔, 小林真: 聴覚障害学生に対する演習支援ソフトウェアの検証, 筑波技術大学テクノレポート, Vol.21 No.1, pp.126-127, 2013.12
6. 鈴木拓弥: 聴覚障害学生を対象としたデザイン実技演習支援に関する研究, 筑波技術大学テクノレポート, Vol.18 No.2, pp.68-72, 2011.3

## 口頭研究発表 国外 (全て査読あり)

1. Takuya Suzuki, Makoto Kobayashi, Yuji Nagashima : Vibration Ring Device Which Supports Deaf Students to Learn How to Use Illustrator -SZCAT: Synchronized Click Action Transmitter-, 19th International Conference, HCI International 2017 Posters' Extended Abstracts, Part I, pp 192-197, Vancouver, Canada, 2017.7
2. Takuya Suzuki, Makoto Kobayashi, Yuji Nagashima : Eye Movements of Hearing Impaired Students

in Self-practice to Learn How to Use Graphic Software, HCI International 2016, 18th International Conference, HCI International 2017 Posters' Extended Abstracts, Part II, pp 277-281, Toronto, Canada, 2016.7

3. Takuya Suzuki, Makoto Kobayashi : A Support System for Teaching Practical Skills to Students with Hearing Impairment. SynchroniZed Tabletop Projection System: SZTAP, ICCHP 2014, 14th ICCHP Proceedings LNCS 8548 Part2, pp512-515, Paris, France, 2014.7
4. Takuya Suzuki, Daisuke Wakatsuki, Makoto Kobayashi : Effects of SZKIT in the designing software lecture for hearing impaired student, Universal Learning Design 2013, Proceedings of the Conference ULD, pp.57-63, Brno, Czech, 2013.2
5. Makoto Kobayashi, Takuya Suzuki, Daisuke Wakatsuki : Teaching Support Software for Hearing Impaired Students Who Study Computer Operation - SynchroniZed Key Points Indication Tool: SZKIT, ICCHP 2012, 13th ICCHP Proceedings LNCS 7382 Part1, pp10-17, Linz, Austria, 2012.7

## 口頭研究発表 国内

1. 鈴木拓弥, 長嶋祐二: 聴覚障害学生向け実技演習における教示履歴提示の有効性について, 情報処理学会ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) 研究会, 大瀧信泉記念館 (石垣市), 2017.1.24
2. 鈴木拓弥, 小林真, 長嶋祐二: 聴覚障害学生に対する実技演習を支援する触覚情報提示デバイス SZCAT(SynchroniZed Click Action Transmitter), ヒューマンインタフェースシンポジウム 2016, 東京農工大学 (小金井市), 2016.9.8
3. 鈴木拓弥, 長嶋祐二: 聴覚障害学生に対する効率的な実技学習を支援する教材の設計, 第 130 回ヒューマンインタフェース学会研究会, 京都工芸繊維大学 (京都市), 2016.3.28
4. 鈴木拓弥, 長嶋祐二: 実技演習時の聴覚障害学生に対する字幕表示位置と内容理解度の相関について, 電子情報通信学会 HCG シンポジウム 2015, I-1-10, 富山国際会議場 (富山市), 2015.12.16
5. 鈴木拓弥, 長嶋祐二: 聴覚障害者に対する字幕表示の内容理解度による評価, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2015, 公立はこだて未来大学 (函館市), 2015.9.3
6. 鈴木拓弥, 小林真: 聴覚障害学生向けソフトウェア操作教示ツール SZKIT 及び聴覚障害学生向け実技演習リアルタイム支援システム SZTAP, 放送大学国際シンポジウム (OJIS) 2015, 幕張メッセ国際会議場 (千葉市), 2015.2.13
7. 鈴木拓弥, 小林真: 教員の手元に実演と同期して字幕を表示する教示支援システム～ SynchroniZed Tabletop Projection system: SZTAP ～, 電子情報通信学会福祉情報工学会 (WIT), 筑波技術大学 (つくば市), 2015.3.13
8. 鈴木拓弥, 若月大輔, 小林真: 聴覚障害学生向けソフトウェア操作教示ツール: SZKIT, 第 10 回日本聴覚障害学生高等教育支援シンポジウム, つくば国際会議場 (つくば市), 2014.11.9
9. 鈴木拓弥, 若月大輔, 小林真: 聴覚障害学生向けソフトウェア操作教示ツール: SZKIT, 第 9 回日本聴覚障害学生高等教育支援シンポジウム, 群馬大学 (前橋市), 2013.12.8
10. 鈴木拓弥, 若月大輔, 小林真: 聴覚障害者にコンピュータ操作を視覚的に教示する支援ツール SZKIT の授業理解度による評価, 電子情報通信学会 HCG シンポジウム 2012, くまもと森都心

プラザ（熊本市），2012.12.10

11. 鈴木拓弥，若月大輔，小林 真：聴覚障害学生向けソフトウェア操作教示ツール：SZKIT，第8回日本聴覚障害学生高等教育支援シンポジウム，愛媛大学（松山市），2012.12.2
12. 鈴木拓弥，若月大輔，小林 真：聴覚障害者にコンピュータ操作を教示する支援ツール SZKIT の評価，電子情報通信学会福祉情報工学研究会（WIT），筑波技術大学（つくば市），2012.3.2
13. 鈴木拓弥，若月大輔，小林 真：聴覚障害学生向けソフトウェア操作教示ツール：SZKIT，ヒューマンインタフェースシンポジウム 2011，仙台国際センター（仙台市），2011.9.15

## 参考文献

- [1] 塩野目剛亮, 加藤伸子, 若月大輔, 河野純大, 西岡知之: 聴覚障害学生に対するエリアワンセグを用いた情報保障に関する一検討, 電子情報通信学会技術研究報告, WIT2010 18-31, pp.69-72, 2010.
- [2] 小林正幸, 三好茂樹, 石原保志, 西川敦, 東崎厚広: 障害者のためのワンセグを用いた逐次文字提示システム, 電子情報通信学会技術研究報告, 教育工学 111(141), pp.13-16, 2011.
- [3] S. Miyoshi, H. Kuroki, S. Kawano, M. Shirasawa, et al : Support Technique for Real-Time Captionist to Use Speech Recognition Software, ICCHP2008(2), pp.647-650, 2008.
- [4] Wald, M.: Captioning for Deaf and Hard of Hearing People by Editing Automatic Speech Recognition in Real Time. In: Miesenberger, K., Klaus, J., Zagler, W., Karshmer, A.I. (eds.) ICCHP 2006. LNCS, vol. 4061, pp. 683-690. Springer, Heidelberg , 2006.
- [5] 若月大輔: 聴覚障害者のための遠隔情報保障システムとその応用, 日本生活支援工学会誌, Vol.11(1), pp.8-13, 2011.
- [6] Cruse, E.: Using educational video in the classroom: Theory, research and practice,
- [7] Debevc, M., Peljhan, Z.: The role of video technology in on-line lectures for the deaf. Disability and Rehabilitation 26(17), pp.1048-1059, 2004.
- [8] 生田目美紀, 西岡知之: デザイン系聴覚障害学生のためのマルチメディア教材, ヒューマンインタフェース学会研究報告集 9(1), pp.33-36, 2007.
- [9] 村上裕史, 皆川洋喜: 聴覚障害者のためのマルチメディア教育システム, 電子情報通信学会技術研究報告, 教育工学 100(600), pp.143-148, 2001.
- [10] 徳永 聡, 藤田美有, 浅野 智, 岡本 明: 聴覚障害者のための教育コンテンツ制作を通じた情報デザインの研究, 電子情報通信学会, 福祉情報学 101 (73), pp.13-18, 2002.
- [11] 北島宗雄, 生田目美紀: 聴覚障害者を対象とした手続き的知識獲得のための e-Learning 教材の開発～視線計測と認知プロセスモデルに基づくデザインの検討～, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2011 (CD-ROM), pp.251-258, 2011.
- [12] 石原保志, 小林正幸, 内藤一郎, 村上裕史, 加藤伸子, 皆川洋喜: 大学等の講義における聴覚障害者を対象とした情報保障の方法論的検討: 手話通訳・リアルタイム文字呈示・要約解説の比較, 電子情報通信学会技術研究報告, 教育工学, 100(600), pp.7-13, 2001.
- [13] 加藤伸子, 河野純大, 黒木速人, 村上裕史, 西岡知之, 若月大輔, 皆川洋喜, 塩野目剛亮, 三好茂樹, 白澤麻弓, 石原保志, 内藤一郎: 聴覚障害学生のための講義におけるキーワード提示の基礎的検討, 電子情報通信学会技術研究報告, 教育工学 107(462), pp.71-76, 2008.
- [14] 加藤伸子, 河野純大, 若月大輔, 塩野目剛亮, 黒木速人, 村上裕史, 西岡知之, 皆川洋喜, 白澤麻弓, 三好茂樹, 内藤一郎: 講義の情報保障におけるキーワード提示タイミングに関する基礎的検討, 電子情報通信学会技術研究報告, 福祉情報工学 108(170), pp.51-56, 2008.
- [15] 金澤章, 磯野春雄: ニュース字幕の提示タイミングずれの主観評価と補正方法, 映像情報メディア学会年次大会講演予稿, pp.89-90, 2001.

- [16] 丸山一郎, 阿部芳春, 沢村英治, 三橋哲雄, 江原暉将, 白井克彦: ニュース字幕の提示タイミングずれに対する許容特性, 電子情報通信学会技術研究報告, ヒューマンコミュニケーション基礎 99(123), pp.21-28, 1999.
- [17] 下郡信宏, 池田朋男, 関矢陽子: 英語字幕による会議支援: 字幕の精度と表示タイミングが理解に及ぼす影響, 情報処理学会研究報告, Vol,2010-GN-75 No5, pp.1-6, 2010.
- [18] 黒木速人: 聴覚障害者のためのリアルタイム字幕システムにおける話者顔情報と誤認識字幕の呈示方法に関する研究, 宇都宮大学, 博士(工学)学位論文, 2012.
- [19] 鈴木喜久, 藤田晃, 川崎雅人: TV 字幕における字幕情報について, 東京工芸大学芸術学部紀要 Vol.5, pp67-71, 1999.
- [20] 高橋信雄, 橋岡紀代: 聴覚障害児を対象としたテレビアニメーション番組における字幕の挿入位置と大きさの効果, 愛媛大学教育学部紀要, 第 I 部, 教育科学 Vol.32, pp.87-94, 1986.
- [21] osdHotkey, <http://www.romeosa.com/osdHotkey/help.html>
- [22] Target, [http://download.cnet.com/Target/3000-2075\\_4-10915620.html](http://download.cnet.com/Target/3000-2075_4-10915620.html)
- [23] Orakuin, <http://orakuin.eksd.jp/>
- [24] IPtalk, [http://www.geocities.jp/shigeaki\\_kurita/](http://www.geocities.jp/shigeaki_kurita/)
- [25] ITBC2, [http://caption-sign.jp/?page\\_id=36](http://caption-sign.jp/?page_id=36)
- [26] 小林 真: 視野狭窄者用マウスカーソル探索支援ソフトウェア, 第 28 回感覚代行シンポジウム講演論文集, 28, pp.75-78, 2002.
- [27] 小林 真: マウスカーソル探索支援ソフトウェアの製作と評価, 弱視教育, 40, pp.16-19, 2003.
- [28] 若月大輔, 内藤一郎, 三宅太一, 元西洋平: マイクロプロジェクターを用いた聴覚障害者のための学習支援システムに関する基礎的検討, 電子情報通信学会技術研究報告, WIT2011 1-21, pp.19-24, 2011.
- [29] 長南浩人: 聴覚障害児の読解力を向上させるためのコミュニケーションのあり方ー認知心理学の視点からー, ろう教育科学 45 (3), pp.167-176, 2003.
- [30] 脇中起余子: 「9 歳の壁」を越えるためにー生活言語から学習言語への移行を考えるー, 北大路書房, 2013.
- [31] 長南浩人: 聴覚障害児の読み書き指導 (第 16 回)ー読みながら考える力と考えを書く力を育てるためにー 第 5 章 聴覚障害児の知的能力、言語、経験、指導法, 聾教育研究会, 聴覚障害 66 (724), pp.32-33, 2011.