

博士論文

初等中等教育における ICT を活用した実習を行うための
画面操作インターフェースに関する研究

狭間 浩史

2019年9月11日

奈良先端科学技術大学院大学
情報科学研究科

本論文は奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科に
博士(工学)授与の要件として提出した博士論文である。

狭間 浩史

審査委員：

小笠原 司 教授 (推薦教員)

加藤 博一 教授

高松 淳 准教授

初等中等教育における ICT を活用した実習を行うための画面操作作用インタフェースに関する研究*

狹間 浩史

内容梗概

初等中等教育の ICT を活用した実習では、教員はコンピュータ等の操作に集中しなければならない一方で、生徒の席に移動することが難しい。その結果、従来の実習より生徒との、コミュニケーションを行う機会が減少し、双方向で意見、質問が交わされる実習ができなくなる問題が生じる。結果として、教員は実習中の生徒の様子や実習の理解度の把握が困難になり、実習の進行に支障をきたすことになる。また、実習では危険を伴う作業もあり、実習を行う際、またはその実習の説明をする時には、両手を使用して行うことが基本とされる。しかし、実習中において、コンピュータを使った電子資料による実習内容の説明から実物を使った実習の説明に切り替わる際、両手を自由に使えるようにするために、手に持っているインタフェース機器を一旦どこかに置く必要がある。加えて、インタフェース機器の置き忘れが生じることもあり、実習の進行に支障をきたすケースが多い。

以上の問題を受けて、手首に装着可能な「画面操作作用インタフェース（第1世代）」を提案し、設計及び実装を行い、実際の実習での使用を試みた。その結果、従来の実習よりも教員と生徒間でコミュニケーションを行うことが増えて、実習の進行に効果があり、有効性があることを示した。しかし、実習では説明時間が長くなることが多く、常にインタフェース機器を意識することになり、肉体的、精神的においても疲労感を伴う。これら問題に対して、片手に装着可能な「ナチュラルアームアルゴリズム」を用いた「画面操作作用インタフェース（第2世代）」を設計及び実装した。

*奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 博士論文, 2019年9月11日.

さらに、「画面操作用インタフェース（第1世代）」、「画面操作用インタフェース（第2世代）」と指輪マウスを用いて、現場の教員による模擬実習を実際に行い、模擬実習終了後の教員によるアンケートの評価結果を基に、「画面操作用インタフェース（第2世代）」と指輪マウスが与える実習への効果やその有効性について検証を行った。その結果、ロボット制御、ロボット製作およびロボットプログラミング演習などの実習内容において、長時間使用した際も、「画面操作用インタフェース」は、他のインタフェースより、疲労感を軽減できる可能性が高いことがわかった。

また、長時間使用した際にも、他のインタフェースより実習において、疲労感を軽減できる可能性が高いことがわかっている。しかし、感覚のずれによる違和感から、疲労感を覚えることがあるため、「ナチュラルアームアルゴリズム」を用いたプログラム等の改善により、「画面操作用インタフェース（第3世代）」を設計及び実装した。さらに、現場の教員による模擬実習を実際に行い、模擬実習終了後の教員によるアンケートを行った。これらの評価結果から、「画面操作用インタフェース」は、従来のインタフェース装置よりも疲労感が軽減し、実習における有効性が高いことを示した。

キーワード

初等中等教育，ウェアラブルインタフェース，コミュニケーション，ICT，実習，自然な腕の状態

Research on Interface for Screen Operation to perform practical training using ICT in elementary and secondary education*

Hiroshi Hazama

Abstract

In practical training using ICT in elementary and secondary education, teachers have to concentrate on an operation of computers, in that state it is difficult to move to student's seats. As a result, there are fewer opportunities to communicate with students than with conventional practical training, and there is a problem that it is not possible to perform practical training in which opinions and questions are exchanged in both directions. As a result, it becomes difficult for teachers to understand state of students during practical training and level of understanding of practical training, which hinders progress of practical training. Also, there are dangerous tasks in practical training, and it is basically done with both hands when conducting practical training or explaining practical training. However, during practical training, when switching from explanation of practical training contents using electronic materials using a computer to explanation of practical training using an actual thing, we put an interface device that we have in our hand so that we can use both hands. In addition, misplacement of interface devices may occur, we often hindering a progress of practical training.

*Doctoral Dissertation, Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology, September 11, 2019.

In response to these problems, we proposed “Interface for Screen Operation(first generation)” that can be worn on the wrist, we designed and implemented, and tried to use it in actual practical training. As a result, communication between teachers and students increased compared to conventional practical training, which showed that practical training was effective. In practical training, however, explanation time is often long, and we are always conscious of an interface device, and are physically and mentally tired. To address these problems, we designed and implemented “Interface for Screen Operation(second generation)” using “Natural Arm Algorithm” that can be worn with one hand.

In addition, we will conduct a simulation practical training by teachers at the site using “Interface for Screen Operation(first generation)”, “Interface for Screen Operation(second generation)”. Based on results of questionnaire surveys by teachers, we verified an effectiveness of “Interface for Screen Operation(second generation)” and Ring Mouse. As a result, it was found that “Interface for Screen Operation” is more likely to reduce tiredness than other interfaces when used for a long time in practical training such as robot control, robot production, and robot programming exercises.

Also, it has been found that “Interface for Screen Operation” is more likely to reduce tiredness in practical training than other interfaces when used for a long time. However, because a sense of discomfort caused by a difference in sensation can cause tiredness, we designed and implemented “Interface for Screen Operation(third generation)” by improving a program using “Natural Arm Algorithm”. In addition, we conducted a simulation practical training by teachers in a field and conducted a questionnaire by teachers after a simulation practical training. From these evaluation results, we have shown that “Interface for Screen Operation” reduces tiredness and is more effective in practical training than a conventional interface device.

Keywords:

elementary and secondary education, wearable interface, communication, ICT,
practical training, tiredness, natural arm condition

目次

1. 序論	1
1.1 はじめに	1
1.2 研究の背景と動機	1
1.3 本論文の構成	4
2. 初等中等教育における ICT を活用した教育	5
2.1 はじめに	5
2.2 初等中等教育における ICT を活用した教育の背景	5
2.3 初等中等教育における ICT を活用した実習の課題	9
2.4 初等中等教育における ICT を活用した授業形態別の教育方法と インタフェースの要件	12
3. ICT を活用した実習を行うための「画面操作作用インタフェース」	15
3.1 はじめに	15
3.2 関連研究	17
3.3 「画面操作作用インタフェース」の提案	20
3.4 「画面操作作用インタフェース（第1世代）」の設計及び実装	22
3.5 「画面操作作用インタフェース」と他のインタフェースの操作時に おけるコミュニケーションの比較に関する評価及び考察	26
3.5.1 評価方法	26
3.5.2 評価結果及び考察	29
3.5.3 教員と生徒のコミュニケーションの円滑化に関する効果に ついて	35
3.6 まとめ	37
4. 画面操作による疲労感を軽減させる「ナチュラルアームアルゴリズム」	38
4.1 はじめに	38
4.2 関連研究	39
4.3 「ナチュラルアームアルゴリズム」の提案	41

4.4	「画面操作作用インタフェース（第2世代）」の設計及び実装	47
4.5	「画面操作作用インタフェース」と指輪マウスの操作時の疲労感の 比較に関する評価及び考察1	54
4.5.1	評価方法	54
4.5.2	評価結果及び考察	56
4.6	まとめ	66
5.	教員の試用による「画面操作作用インタフェース」と他のインタフェースの 疲労感の比較	67
5.1	はじめに	67
5.2	「画面操作作用インタフェース（第3世代）」の設計及び実装	68
5.3	「画面操作作用インタフェース」と指輪マウスの操作時の疲労感の 比較に関する評価及び考察2	70
5.3.1	評価方法	70
5.3.2	評価結果及び考察	71
5.4	まとめ	76
6.	結論	77
6.1	おわりに	77
6.2	展望	79
	参考文献	81
	謝辞	88

目 次

3.1	装着した指釦の様子 ^[30]	17
3.2	操作している指釦の様子 ^[30]	17
3.3	装着した <i>Ubi – Finger</i> の様子 ^[31]	18
3.4	操作している <i>Ubi – Finger</i> の様子 ^[31]	18
3.5	空中マウス (400 – MA049) ^[33]	19
3.6	手に持った <i>WIRELESS PRESENTER R400</i> の状態 ^[34]	19
3.7	「画面操作用インタフェース (第1世代)」の構成	22
3.8	「画面操作用インタフェース (第1世代)」	23
3.9	ポインタの移動操作「画面操作用インタフェース (第1世代)」	25
3.10	「画面操作用インタフェース (第1世代)」使用時の実習の様子	28
3.11	教員の視線の比較	29
3.12	教員の存在感 (距離感) の比較	30
3.13	理解度の向上の比較	31
3.14	理解度の向上の比較 (「画面操作用インタフェース (第1世代)」を 使用)	31
3.15	理解度の向上の比較 (「画面操作用インタフェース (第1世代)」を 使用しない)	32
3.16	「画面操作用インタフェース (第1世代)」の印象	33
3.17	「画面操作用インタフェース (第1世代)」の興味	33
3.18	「画面操作用インタフェース (第1世代)」の印象と興味の関連性	34
3.19	コンピュータ実習室の配置図	35
3.20	各エリアに対する教員の滞在時間の割合	36
4.1	黒曜石 (<i>ELA – FP1</i>) ^[47]	39
4.2	指輪マウス (400 – MA077) ^[48]	39
4.3	ポインタの移動操作「画面操作用インタフェース (第1世代)」	42
4.4	不自然な腕の状態「画面操作用インタフェース (第1世代)」	43
4.5	自然な腕 (ナチュラルアーム) の状態	44
4.6	ポインティング操作	45

4.7	「画面操作作用インタフェース（第2世代）」の構成	48
4.8	「画面操作作用インタフェース（第2世代）」	48
4.9	「画面操作作用インタフェース（第2世代）」の回路図	49
4.10	マウスボタン操作	50
4.11	アルゴリズムの概要	52
4.12	コンピュータ実習室の配置図	54
4.13	「画面操作作用インタフェース（第2世代）」使用時の模擬実習の様子	55
4.14	評価結果（各インタフェースの装着感）	57
4.15	評価結果（各インタフェースの作業感）	58
4.16	各部位における「画面操作作用インタフェース（第1世代）」と「画面操作作用インタフェース（第2世代）」の比較結果	59
4.17	「画面操作作用インタフェース」使用時における疲労感（肘）の比較結果	60
4.18	「画面操作作用インタフェース」使用時における疲労感（肩）の比較結果	61
4.19	各部位における「画面操作作用インタフェース（第2世代）」と指輪マウスの比較結果	62
4.20	「画面操作作用インタフェース（第2世代）」と指輪マウス使用時における疲労感（親指）の比較結果	63
4.21	「画面操作作用インタフェース（第2世代）」と指輪マウス使用時における疲労感（手首）の比較結果	64
4.22	「画面操作作用インタフェース（第2世代）」と指輪マウス使用時における疲労感（肘）の比較結果	65
5.1	インタフェース操作時の作業感	71
5.2	インタフェース装着時の作業感	72
5.3	各部位における「画面操作作用インタフェース（第3世代）」と指輪マウスの比較結果	73
5.4	インタフェース使用時の疲労感（親指）	74

表 目 次

2.1	ICT を活用した授業形態別の教育方法とインタフェースの要件 . . .	14
3.1	「画面操作作用インタフェース（第1世代）」の主な構成部品と開発 環境	23
3.2	「画面操作作用インタフェース（第1世代）」の仕様	23
3.3	本実習の概要	26
3.4	本実習の指導の流れ	27
3.5	使用するインタフェースの概要	29
4.1	「画面操作作用インタフェース（第2世代）」の主な構成部品と開発 環境	49
4.2	「画面操作作用インタフェース（第2世代）」の仕様	49
4.3	プログラムに使用した主な関数	51
4.4	模擬実習の概要	55
4.5	模擬実習の指導の流れ	56
4.6	使用するインタフェースの概要	56
4.7	項目とアンケート内容	57
5.1	模擬実習の概要	70
5.2	模擬実習の指導の流れ	70

1. 序論

1.1 はじめに

本論文の主題は、第3章に示す「画面操作用インタフェース」の提案、設計及び実装、並びに第4章に示す「画面操作用インタフェース」の疲労感を軽減させるための「ナチュラルアームアルゴリズム」である。

さらに、第4章及び第5章では、「ナチュラルアームアルゴリズム」を用いた「画面操作用インタフェース」を、現場教員の試用による模擬実習を行い、「画面操作用インタフェース」と他のインタフェースとの比較を行い、疲労感について評価を行う。

本研究を始めた頃、初等中等教育において、高等学校では教科「情報」が発足し、情報教育の在り方をどうすべきか議論が活発化した時期であった。そこで、第3章以降の研究が必要になった経緯を明確に定義づけるため、本章と第2章でこれらを示す。

1.2 研究の背景と動機

2000年当初、“自ら考え学ぶ力などの「生きる力」を育むこと”、“「情報教育」は、「生きる力」の重要な要素として、教科学習だけでなく、教育活動全体を通じて「情報活用能力」をバランス良く、総合的に育成すること”に共感し、新教科「情報」の教職免許取得のための教員免許を持つ現職教員に対しての認定講習会に参加し、「情報」の免許を取得した。

情報教育は、工業高校や商業高校等の専門教育としての情報処理教育から始まったが、「情報」という新教科が設置されたことにより、文部科学省は学習指導要領の中で、工業高校と商業高校の指導内容に対して差別化を行った。その際、工業高校の情報教育の指導内容としては、ハードウェアを中心とした情報技術教育を行い、商業高校の情報教育の指導内容としては、ソフトウェアを中心とした情報処理教育を行うように線引きを図った。経験上、情報教育はハードウェアと

ソフトウェアの両面からバランスの良い教育をする必要があり，現場で情報処理技術者として従事するためには，再教育する必要があると考えられる。

工業高校の生徒たちにも，ソフトウェアも含むバランスの良い教育を行い，「わかる授業」や主体的な学習を実現するために電子資料（Power Point 等）や視聴覚教材などの ICT を活用すれば，コンピュータのマルチメディア機能や大きなプロジェクタースクリーンなどを活用することにより，絵や動画，音等で生徒たちの感覚に訴えることができる。また，抽象的な概念や思考の過程などを可視化し，理解の促進を図ることが可能である。これらのことは，工業高校の生徒たちの興味や関心を引き出す手助けとなると考えた。

しかし，電子資料や視聴覚教材などの ICT を活用した工業の基礎・基本を学ぶ実習（以下，実習）の際，教員はコンピュータ画面を見ながらキーボードやマウスを下目使いに操作しながら実習を進める場合が多い。さらに，実習内容を生徒のコンピュータ画面に表示させ，教員は生徒にコンピュータ画面を見るように指示をすることが多い。したがって，初等中等教育における対面形式による従来からの実習形態において，電子資料や聴覚教材などの ICT を活用した実習は，実習室の黒板を用いた説明による従来の実習より，教員と生徒の間で face to face¹ [1] が減少する。

また，初等中等教育における対面形式による従来からの実習形態において，教員と生徒が円滑なコミュニケーションを図るために，face to face は，教育の基本であり，教員が生徒と顔を合わさず実習を進めても，コミュニケーションは図れず，双方向で意見，質問が交わされる実習はできない。さらに，電子資料や視聴覚教材などの ICT を活用した実習を行う場合，機器操作に神経を奪われる傾向が高い点で，実習の説明をし，機器操作がスムーズに行えない場合，実習の進行に支障をきたす。また，機器操作に集中するため，説明し，机間巡視をするなど生徒の席の方まで移動することが難しい点である [2]。これにより，教員は実習中の生徒の様子や実習の理解度の把握が困難になり，実習の進行に支障をきたすことになる。

さらに，実習では危険を伴う作業もあり，安全教育に力を入れている。その中

¹遠隔授業システムを使用せず，実際に生徒と顔を合わせ，目を見て意思の疎通を図ること。

でも、部品、工具、装置やコンピュータ等の実物の教材を使った実習を行う際、またはその実習の説明をする時には、両手を使用して行うことが基本とされる [3]. しかし、実習中において、コンピュータを使った電子資料による実習内容の説明から実物を使った実習の説明に切り替わる際、両手を自由に使えるようにするために、手に持って操作するインタフェース機器の場合、一旦どこかに置く必要がある。加えて、インタフェース機器の置き忘れが生じることもあり、実習の進行に支障をきたすケースが多い。

一方、電子資料や視聴覚教材などの ICT を活用した実習を行うための教材データおよび実習コンテンツは、研究指定などにより特別に作成するか企業に作成依頼する機会がなければ、高価な学習コンテンツを購入するか教員のオリジナルによるものである。初等中等教育に従事している教員は、学校週5日制実施後、授業時間数は現状維持、校務分掌、ボランティア活動等に拘束されるため、教材研究を行う時間に余裕がない。その上、電子資料や視聴覚教材の教材研究は、従来よりも手間と時間がかかる [4].

さらに、電子資料や視聴覚教材などの ICT を活用した実習を行えば、教員の負担は重くなり、現場の状況から推測すると、初等中等教育に従事している高度な専門知識や技術をもった教員数は、専門学科のある学校を除けば、一つの学校に数名しかいない。また、財源不足もあり、公費による研修や企業のボランティアによる技術研修も少なく、経済的にも高額な企業研修にたびたび参加することも難しい。これらのことより、教員のスキルアップする環境は悪化していると考えられる。情報教育の現状は、著しく社会情勢が変化中、機器不足、教員不足や教員の労働環境の悪化など、必ずしも良い教育環境にあるとは言えない状況である。

したがって、指導内容の変化に対応し、教員と生徒間のコミュニケーションを図りながら、楽しく学ぶことができる実習を目指すために、電子資料や視聴覚教材などの ICT を活用して実習を行う場合の身近な問題を指摘し、改善を試みた [5-7]. さらに、ライントレースロボット [8] の製作や全日本ロボット相撲大会出場ロボットの製作を説明するためのインタフェースが必要になり、教員と生徒間でコミュニケーションを図りながら、電子資料や視聴覚教材などの ICT を活用して実習を行うための「画面操作用インタフェース」について研究を行うに至った。

1.3 本論文の構成

次章以降を、上述した内容に従って、以下の5つの章で構成する。

第2章では、初等中等教育におけるICTを活用した教育に関する研究の現状を分析し、課題を明らかにする。

第3章では、初等中等教育における電子資料や視聴覚教材などのICTを活用した実習における課題を指摘し、それを解決するために「画面操作用インタフェース（第1世代）」を提案し、設計及び実装を行った。さらに、「画面操作用インタフェース（第1世代）」を用いて電子資料や視聴覚教材などのICTを活用した実習を行い、実習中における教員と生徒とのコミュニケーションの円滑化への効果について述べる。

第4章では、「ナチュラルアームアルゴリズム」の提案を行い、「ナチュラルアームアルゴリズム」によるICTを活用した実習における疲労感を軽減するための「画面操作用インタフェース（第2世代）」の設計及び実装を行った。さらに、「画面操作用インタフェース（第2世代）」と他のインタフェースを用いて、現場の教員による模擬実習を実際に行い、模擬実習終了後の教員によるアンケートの評価結果を基に、「画面操作用インタフェース（第2世代）」と他のインタフェースが与える実習への効果やその有効性について述べる。

第5章では、第4章で検証した結果より、「ナチュラルアームアルゴリズム」を用いたプログラム等の改善により、「画面操作用インタフェース（第2世代）」から「画面操作用インタフェース（第3世代）」に移行した。さらに、「画面操作用インタフェース（第3世代）」と他のインタフェースを用いて、現場の教員による模擬実習を実際に行い、模擬実習終了後の教員によるアンケートの評価結果を基に、「画面操作用インタフェース（第3世代）」と他のインタフェースが与える実習への効果やその有効性について述べる。

第6章で、全体を通じての結論を述べる。

2. 初等中等教育における ICT を活用した教育

2.1 はじめに

本章では、これまでの初等中等教育における情報通信技術 (ICT) を活用した教育について分析し、それらの背景及び課題を整理する。

2.2 初等中等教育における ICT を活用した教育の背景

初等中等教育における情報教育は、1960年代中頃に工業高校や商業高校等の専門教育としての情報処理教育から始まり、1984年に臨時教育審議会、1985年に教育課程審議会が発足した。これらが専門教育ではない情報教育の検討の始まりである。

さらに、臨時教育審議会は、1986年の第二次答申 [9] において「情報活用能力」として情報及び情報手段を主体的に選択し活用していくための個人の基礎的な資質を、読み・書き・算盤に並ぶ基礎・基本と位置付け、1987年の教育課程審議会答申 [10] では、社会の情報化に主体的に対応できる基礎的な資質を養う観点から、情報の理解、選択、整理、処理、創造などに必要な能力及びコンピュータ等の情報手段を活用する能力と態度の育成が図られるよう配慮することが提言され、1989年公示の学習指導要領 [11] となった。

また、1989年に告示された学習指導要領において、中学校の技術・家庭科の技術分野に「情報基礎」が選択領域として新設され、義務教育段階に初めてコンピュータ等に関連する教育内容が導入された。また、中学校・高等学校の数学科、理科、社会科や家庭科等にも情報に関する内容が一部取り入れられた。小学校学習指導要領の総則には「コンピュータ等に慣れ親しませる」という文言が記述され、これらによって、児童・生徒による情報活用能力の育成が教育内容として教育課程に正式に位置付くこととなった。したがって、そのための教育環境としての ICT を活用するための整備が、中学校のコンピュータ教室を中心に進められ、この学習指導要領における情報教育に関わる教育内容や教育環境の変化を学校現場にわかりやすく整理して示すための文書として、文部省は1990年に「情報教

育に関する手引」(2002年改訂)[12]を発行した[13][14].

一方、1996年に中央教育審議会は、「21世紀を展望した我が国の教育の在り方について」[15][16]と題した、“国際化、情報化、科学技術の発展等社会の変化に対応する教育の在り方”について論じる中で、“情報化と教育”に関し、

- (1) 情報教育の体系的な実施
- (2) 情報機器、情報通信ネットワークの活用による学校教育の質的改善
- (3) 高度情報通信社会に対応する「新しい学校」の構築
- (4) 情報社会の「影」の部分への対応

の上記4点について、指摘した。これらは、児童・生徒が情報を主体的に選択・活用できるようにして、情報の発信・受信の基本的ルールを身に付けるなど情報活用能力を培うことが目的である。

さらに、1998年に「情報化の進展に対応した教育環境の実現に向けて」[17][18]という最終報告書を提出した。この報告書は、教育の情報化に関する考え方の明確化を図ったものであり、情報活用能力と情報教育の関係が規定され、情報活用能力は小・中・高の各教科等を通じて育成させるものであるとされた。その中で、情報活用能力の定義として以下の3つの観点が示された。

- (1) 情報活用の実践力
- (2) 情報の科学的な理解
- (3) 情報社会に参画する態度

である。

(1) は、課題や目的に応じて情報手段を適切に活用することを含めて、必要な情報を主体的に収集・判断・表現・処理・創造し、受け手の状況などを踏まえて発信・伝達できる能力である。

(2) は、情報活用の基礎となる情報手段の特性の理解と、情報を適切に扱ったり、自らの情報活用を評価・改善するための基礎的な理論や方法の理解である。

(3) は、社会生活の中で情報や情報技術が果たしている役割や及ぼしている影響を理解し、情報モラルの必要性や情報に対する責任について考え、望ましい情報社会の創造に参画しようとする態度である。

これらの3つの観点は相互に関連を図りながらバランスよく指導することが重要であるとされ、さらに、社会の変化や初等中等教育における目標の変化などを受けて、1998年度公示の学習指導要領 [19] において、教科「情報」として新設された。「情報」は、身のまわりの課題などを実際に情報機器を活用して効果的に解決し、収集した事例を用いて情報社会についての認識を深めたりする活動を通して、情報社会の一員として大量の情報に押し流されることなく適正な活動が行えるような能力と態度を育成するための教科である。単に、コンピュータや情報通信ネットワークの操作方法やそれらに関する理論の基礎を習得させるだけの教科ではなく、情報教育の目標の3つの観点は生涯学習を通して高めていく必要がある、そのための自ら学び自ら考える力の育成にも配慮する必要がある。また、1998年度の学習指導要領の全体的特徴として、

(1) 基礎・基本を確実に身に付けさせること

(2) 自ら学び自ら考える力などの「生きる力」を育成すること

(3) 教育内容の厳選

(4) 「総合的な学習の時間」の新設

(5) 学校の完全週休2日制の導入

などが行われた。また、施行前から基礎学力の低下について、指摘された学習指導要領であった [20]。

2.3 初等中等教育における ICT を活用した実習の課題

2000 年代初頭、国際化、情報化、科学技術の進展、環境問題への関心の高まり、少子・高齢化など社会の様々な面で激しい変化が予想される社会において、次代を担う生徒がこうした社会の変化に主体的、創造的に対応するために、自ら考え学ぶ力などの「生きる力」を育むことを重視していた。初等中等教育における「情報教育」は、「生きる力」の重要な要素として、教科学習だけでなく、教育活動全体を通じて「情報活用能力」をバランス良く、総合的に育成することを目標としていた [12]。このことは、「情報」という教科が新設されたことにより、考えられるようになったことである [20]。

しかし、「情報」という新教科を設置する際、多くの課題があった。最初の課題は、担当教員の養成であった。基本的に高校生全員が履修する教科であり、新教科「情報」の教職免許を取得させるため、教員を至急養成する必要がある。文部省は、9,000 人の教員が必要であると推計し、数学や理科等の教員免許を持つ現職教員に対しての認定講習会を行った。2000 年度からの 3 年間、夏休みなどの 15 日間を用いて開催され、合計約 14,200 人が情報科の教員免許を取得した [20]。

さらに、2002 年度から中学校の技術・家庭科の「情報とコンピュータ」が、2003 年度から高等学校の「情報」が、必修科目として扱われるようになった。それに伴って、全国の学校に教育用コンピュータの整備が進められていたが、2018 年度の「学校における教育の情報化の実態等に関する調査結果【速報値】について」 [21] において、教育用コンピュータ 1 台当たりの児童生徒数は 5.6 人程度であり、現在も教育用コンピュータの台数は不足している。

また、前節で述べたように、情報教育は工業高校や商業高校等の専門教育としての情報処理教育から始まったが、「情報」という新教科が設置されたことにより、文部科学省は学習指導要領の中で、工業高校と商業高校の指導内容に対して差別化を行った。大別すると、工業高校の情報教育の指導内容としては、ハードウェアを中心とした情報技術教育を行い、商業高校の情報教育の指導内容としては、ソフトウェアを中心とした情報処理教育を行うように線引きを図った。経験上、情報教育はハードウェアとソフトウェアの両面からバランスの良い教育をしなければ、現場で情報処理技術者として活躍するためには、再教育する必要があると

考えられる。

一方、生徒に「わかる授業」や生徒の主体的な学習を実現するために電子資料や視聴覚教材などのICTを活用すれば、コンピュータのマルチメディア機能や大きなプロジェクタースクリーンなどを活用することにより、絵や動画、音等で生徒たちの感覚に訴えることができる。また、抽象的な概念や思考の過程などを可視化し、理解の促進を図ることが可能である。これらのことは、生徒の興味や関心を引き出す手助けとなり、これらも「情報」という教科が新設されたことにより、考えられるようになったことである。

しかし、電子資料や視聴覚教材などのICTを活用した実習を行えば、教員の負担は重くなる。さらに、現場の状況から推測すると、初等中等教育に従事している高度な専門知識や技術をもった教員数は、専門学科のある学校を除けば、一つの学校に数名しかいない。また、財源不足もあり、公費による研修や企業のボランティアによる技術研修も少なく、経済的にも高額な企業研修にたびたび参加することも難しい。これらのことより、教員のスキルアップする環境は悪化していると考えられる。

さらに、電子資料や視聴覚教材などのICTを活用した実習を行うための教材データおよび実習コンテンツは、研究指定などにより特別に作成するか企業に作成依頼する機会がなければ、高価な学習コンテンツを購入するか教員のオリジナルによるものである。初等中等教育に従事している教員は、学校週5日制実施後、授業時間数は現状維持、校務分掌、ボランティア活動等に拘束されるため、教材研究をする時間に余裕がない。その上、電子資料や視聴覚教材の教材研究は、従来よりも手間と時間がかかる [4]。

また、身近な課題として、電子資料や視聴覚教材などのICTを活用した工業の基礎・基本を学ぶ実習（以下、実習）の際、教員はコンピュータ画面を見ながらキーボードやマウスを下目使いに操作しながら実習を進める場合が多い。一方、実習内容を生徒のコンピュータ画面に表示させ、教員は生徒にコンピュータ画面を見るように指示をすることが多い。したがって、電子資料や聴覚教材などのICTを活用した実習は、黒板を用いた説明による従来の実習より、教員と生徒の間で face to face が減少する。これにより、教員は実習中の生徒の様子や実習

の理解度の把握が困難になり，実習の進行に支障をきたすことになる。

以上より，情報教育の現状は，著しく社会情勢が変化中，機器不足，教員不足や教員の労働環境の悪化など，必ずしも良い教育環境にあるとは言えない状況である。一方，本研究は上記のような身近な課題に着目して，現在の教育現場で現実感のある提案を行ってきた。例えば，指差しハンドジェスチャーによるポインティングの画面操作技術を提案する場合，Kinect の深度カメラなど用いたポインティングシステムは，教室に固定設置する必要がある [22]。しかし，加速度センサや赤外線センサなどを用いたワンチップマイコンによる組み込み制御システムでは，既存の環境に USB や無線で接続が可能であり，環境の影響も受け難くいため，現実感がある。

上記の身近な課題について，初等中等教育における ICT を活用した授業形態別の教育方法を明確にし，さらに，インタフェースの要件について次節で述べる。

2.4 初等中等教育における ICT を活用した授業形態別の教育方法 とインタフェースの要件

高等教育における授業形態（講義，演習及び実習等）のように，初等中等教育では定義されていないため，座学（高等教育の講義に相当），演習及び実習等を各教科の科目に取り入れて授業を実施している．表 2.1 に ICT を活用した授業形態別の教育方法とインタフェースの要件について示す．

座学においては，電子黒板及び大型スクリーンを用いて，スライド形式の電子資料による説明のみであれば，片手に持った状態で画面操作することが可能なインタフェースがあれば，授業の進行に問題はない．しかし，片手に説明に必要な教材を持つ場合など，作業のような動作がある場合，インタフェースを一時的にどこかに置いて，両手を使用して説明した方が，精神的にも肉体的にも疲労感は軽減すると考えられる．

また，演習においては，座学で学習した内容により，コンピュータなどを用いて演習を行う場合，児童・生徒が個人で学習するため，机間巡視²の際，個人指導の機会が多くなる．その際，生徒側から生徒用コンピュータにより学習指導する場合も，同様にインタフェースを一時的にどこかに置いて，両手を使用して説明した方が，精神的にも肉体的にも疲労感は軽減すると考えられる．

さらに，実習においても，機器操作などのために，両手を必ず使用することが基本とされているため，同様にインタフェースを一時的にどこかに置いて，両手を使用して説明した方が，精神的にも肉体的にも疲労感は軽減すると考えられる．しかし，一時的に片手に持って画面操作するインタフェースを置くことで，置き忘れをすることもある．さらに，持つ作業または置く作業が頻繁に継続する場合は，精神的にも肉体的にも疲労感は軽減すると考えられる．したがって，作業がある場合は，片手に装着することで，一時的にどこかに置く必要がなくなり，結果的に精神的にも肉体的にも疲労感は軽減すると考えられる．

一方，新学習指導要領より小学生がプログラミング学習を行う時代となる．したがって，専門学科以外の普通科の各教科においても，スライド形式の電子資料

²授業中，教員が児童または生徒の座席を順次巡回して，学習状況の観察，学習指導及び助言などを行うこと．

を提示するだけでなく、プログラミング学習などのICTを活用した実習を通して、生活に役に立つ教材を取り入れ、活きた学習指導を行うことが重要であり、これからの授業では、実習形式が重要になってゆくと考えられる。そこで、指導内容の変化に対応し、教員と生徒間のコミュニケーションを図りながら、楽しく学ぶことができる実習を目指すために、本研究ではスライド形式の電子資料及びプログラミング学習を行う統合開発環境³などのICTを活用した実習を行う場合の身近な課題を指摘し、改善を試みた [5-8, 23].

まず、第3章において、教員と生徒間でコミュニケーションを図りながら、電子資料や視聴覚教材などのICTを活用して実習を行うための「画面操作用インタフェース」について述べる。

³ソフトウェアの開発において用いられるエディタ、コンパイラ、リンカ、デバッガ及びその他の支援ツールなどを統合・統一化した開発環境のこと。

表 2.1 ICT を活用した授業形態別の教育方法とインタフェースの要件

授業形態	教育方法	インタフェースの要件
共通	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電子黒板または大型スクリーンを使用 ・ スライド形式の電子資料による説明 ・ アプリケーションによる作業 ・ 机間巡視 	なし
座学	<ul style="list-style-type: none"> ・ 教室 ・ 教科書を用いた机上の学習 (C 言語等) ・ 教科書を用いた机上の学習 (制御等) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 片手に持った状態で操作 ・ 片手で作業が可能 ・ インタフェースを置けば、両手で作業が可能
演習	<ul style="list-style-type: none"> ・ 教室または実習室 ・ 課題による机上の学習 (C 言語等) ・ 課題による統合開発環境を用いた実習 (C 言語等) 	同上
実習	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実習室 ・ 統合開発環境を用いた実習 (C 言語等) ・ 統合開発環境を用いた実習 (制御等) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 片手に装着した状態で操作 ・ 両手で作業が可能

3. ICT を活用した実習を行うための「画面操作用インタフェース」

3.1 はじめに

コンピュータを操作する際、コンピュータ画面を下目使いに見ながらキーボードやマウスを操作しなければならない点である。教員が生徒と顔を合わさず実習を進めても、コミュニケーションは図れず、双方向で意見、質問が交わされる実習はできない。さらに、電子資料や視聴覚教材などの ICT を活用した実習を行う場合、機器操作に神経を奪われる傾向が高い点で、実習の説明をし、機器操作がスムーズに行えない場合、実習の進行に支障をきたす。また、機器操作に集中するため、説明し、机間巡視をするなど生徒の席の方まで移動することが難しい点である [2]。

また、初等中等教育において、教員と生徒が円滑なコミュニケーションを図るために、face to face は、教育の基本である [1]。したがって、電子資料や視聴覚教材などの ICT を使用した実習中においても、face to face によって、共に学ぶ中で信頼関係をもつ機会が生まれる。さらに、このインタフェースを用いることで、教員に対し興味・関心をもつようになり、学習そのものに対し興味・関心をもつことが期待できる [2]。

これらの結果を踏まえて、大型スクリーンや教員用コンピュータの前だけで実習を展開するだけでなく、実習室内の生徒側で実習をしながら、片手（利き手と反対の手）に装着することにより、板書や身振り手振りのジェスチャーが可能な状態となる画面操作のインタフェースが必要であり、さらに、実習における説明の際に、両手で作業が可能であり、操作が簡単、かつ長時間装着しても疲れず操作できることが重要な要素と考える [2]。

一方、近年の初等中等教育における工業教育では、産業界における著しい技術の進展と高度化に対応するため、各科目において、それぞれの専門分野の技術の高度化を目指した学習内容の見直しが進められている。それを受けて、スライド形式の電子資料を大型スクリーンや生徒の説明用画面に投影するなどの ICT を活用した実習が増加している。我が国の初等中等教育における工業教育では、将来

のスペシャリストの育成に必要な専門分野に関する基礎的な知識、技術及び技能の定着を図ることで、有能な人材を社会に輩出してきた。特に、実習において、機械加工、電気工事、電子回路製作やコンピュータ制御等の体験的学習を通して、実践力を育み、さらに、安全かつ安心なものづくりを創造する能力を身に付けさせることで、即戦力となる技能を合わせもった工業技術者を育成していると考えられる。その中でも、情報技術の関係科目において、コンピュータシステムに関する学習内容の充実のために、コンピュータなどの ICT (Information Communication Technology) の有効活用を推進している [24–27]。しかし、実習においては、ICT を活用した事例は非常に少ない。そのため、実習においても、効果的な ICT 活用を推進するために、様々な取り組みを行っている。

また、実習では危険を伴う作業もあり、安全教育に力を入れている。その中でも、部品、工具、装置やコンピュータ等の実物の教材を使った実習を行う際、またはその実習の説明をする時には、両手を使用して行うことが基本とされる [3]。しかし、実習中において、コンピュータを使った電子資料による実習内容の説明から実物を使った実習の説明に切り替わる際、両手を自由に使えるようにするために、手に持っているインタフェース機器を一旦どこかに置く必要がある。加えて、インタフェース機器の置き忘れが生じることもあり、実習の進行に支障をきたすケースが多い。

本章では、以上の要素を満たす初等中等教育における ICT を活用した実習を行うための「画面操作用インタフェース」を提案し、設計及び実装を行った。また、コンピュータの画面中の位置を下目使いせずにポインティングすることが可能であり、電子資料や視聴覚教材などの ICT を活用した実習の問題点の改善を試み、実習の円滑化に向けての効果について検討する。さらに、「画面操作用インタフェース」を用いて、ICT を活用した実習を実際に行い、実習終了後の生徒によるアンケートの評価結果を基に、「画面操作用インタフェース」が与える実習への効果やその有効性について検証を行う [28, 29]。

3.2 関連研究

机などの支持物体が存在しない場合でも，親指やその他の指先をタッチすることにより操作が可能な「指釦」と呼ばれるブレスレット型のウェアラブルインタフェースが提案されている [30]. 図 3.1 に「指釦」を装着した様子を，図 3.2 に「指釦」を操作している様子を示す.

また, 手指のジェスチャーを用いてモバイルコンピュータや情報家電を直感的に操作することができる「Ubi-Finger」と呼ばれるモバイル環境におけるウェアラブルインタフェースが提案されている [31] [32]. 図 3.3 に装着した「Ubi-Finger」



図 3.1 装着した指釦の様子^[30]



図 3.2 操作している指釦の様子^[30]

を、図 3.4 に操作している「Ubi-Finger」の様子を示す。

例えば、指釦や Ubi-Finger のようなインタフェースを作成が可能な場合、教員は大画面を用いて操作しながら、実習室の生徒側で実習を行うことが可能である。しかし、指釦は、机等の上であれば、タイピング動作が可能であり、「指パチ」入力は、机等の上でなくても数種類のコマンド入力は可能であるが、PC 画面上で、マウスのように直感的なポインティング操作は難しい。また、Ubi-Finger は、机等の上であれば、タイピングの支援が可能である。また、ジェスチャ入力は、机等の上でなくても数種類の入力が可能であるが、指釦と同様に PC 画面上で、直感的なポインティング操作が難しい。そのため、教員がコンピュータなどで ICT を活用した実習を行いたい場合、これらの ICT を活用した実習を行うことが可能なインタフェースを作成する必要があると考える。

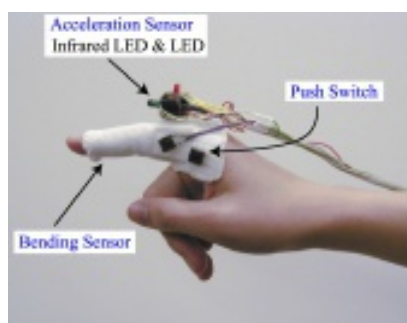
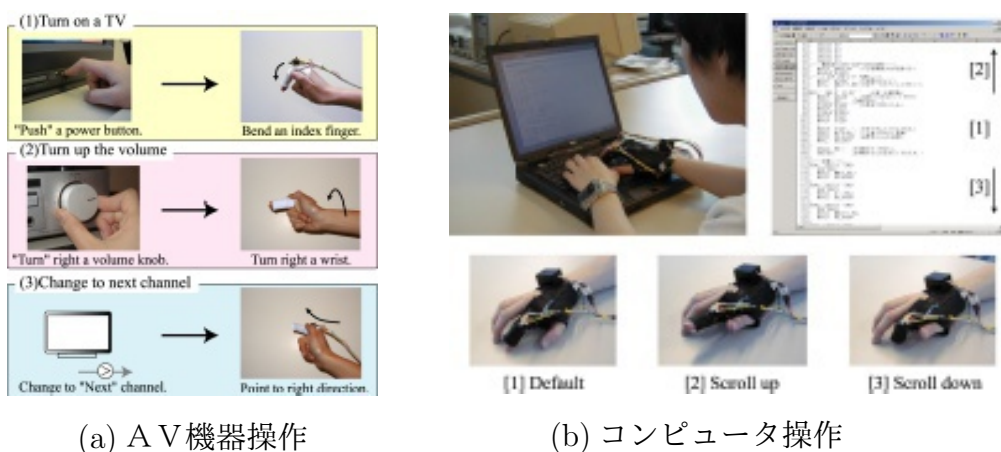


図 3.3 装着した Ubi-Finger の様子^[31]



(a) AV 機器操作

(b) コンピュータ操作

図 3.4 操作している Ubi-Finger の様子^[31]

また、スライド形式の電子資料をコンピュータ画面や大型スクリーンに投影する際、効率よく画面操作を行うための専用のインタフェース機器が提案されている。例えば、ボタン操作によりスライドを切り替えることが可能で、コンピュータの画面上の位置をポインティングする空中マウス [33,34] が製品として販売されている。図 3.5(a) に手に持った状態の「空中マウス (400-MA049)」を、図 3.5(b) に操作している「空中マウス (400-MA049)」を、図 3.6 に手に持った「WIRELESS PRESENTER R400」の状態を示す。



(a) 手に持った状態



(b) 操作している状態

図 3.5 空中マウス (400 - MA049)^[33]



図 3.6 手に持った WIRELESS PRESENTER R400 の状態^[34]

しかし、これらの機器は、手に持って操作しなければならないため、身振り手振りなどのジェスチャーをする際に支障が生じる。さらに、片手で手のひらに置くように持つため、操作時、手首が固定され、自然な手首の位置で操作できず、長時間使用すると疲れやすくなる。さらに、東芝より、ハンドジェスチャリモコン [35] が商品化されているが、コンピュータ画面の操作のために長時間握った姿勢を保ちながら手を動かさなければならず、疲労感が大きかったと報告されている [36]。また、実習中において、コンピュータを使った電子資料による実習内容の説明から実物を使った実習の説明に切り替わる際、両手を自由に使えるようにするために、手に持っているインタフェース機器を一旦どこかに置く必要があり、加えて、インタフェース機器の置き忘れが生じることもあり、実習の指導には困難が生じると考えられる。

3.3 「画面操作用インタフェース」の提案

以上の点から、実習における説明の際には、大型スクリーン等の前だけでなく、生徒側でも説明することが可能、かつ装着した状態で、作業が可能であり、また機器操作が簡単であり、長時間装着しても疲れずに操作できることが重要とされる。我々は、初等中等教育におけるスライド形式の電子資料を大型スクリーンや生徒の説明用画面に投影するなどの ICT を活用した実習を円滑に支援するための「画面操作用インタフェース」として、以下に示す要件が必要と考える。

- (1) 実習室内の生徒側で実習が可能である。
- (2) 片手に装着でき、軽量でコンパクトである。
- (3) 装着した状態で、作業が可能である。
- (4) 操作が簡単である。
- (5) 長時間使用しても疲れしない。

本研究では、これらの要件を考慮した「画面操作用インタフェース」を提案し、設計及び実装を行った。

3.4 「画面操作用インタフェース（第1世代）」の設計及び実装

本研究で設計及び実装を行った「画面操作用インタフェース（第1世代）」の構成を図3.7に示す。図3.8(a)にインタフェース本体を、図3.8(b)にインタフェース装着時の様子を示す。表3.1に「画面操作用インタフェース（第1世代）」の主な構成部品と開発環境、表3.2に「画面操作用インタフェース（第1世代）」の仕様を示す。

図3.8(b)に示すように、この「画面操作用インタフェース（第1世代）」では、片手の手首にブレスレットを、親指と人差し指に指輪を装着し、リング上に反射型の非接触式センサの Infrared sensor を取り付た。これらの指を曲げた際に、手のひらに Infrared sensor の発光部が接触し、手のひらに赤外線が反射して、Infrared sensor の受光部に入光するとき、On となる。また、これらの指を伸ばした際に、Infrared sensor の受光部に赤外線が入光しなくなり、Off となる。これらの On/Off の2値信号により画面操作を行う。On/Off Button は、電源を On 状態のまま、画面操作用インタフェースの動作を一時的に On/Off するため、インタフェースを見ずに、触った感覚のみで押せるように配慮した。人差し指のリングに付いて

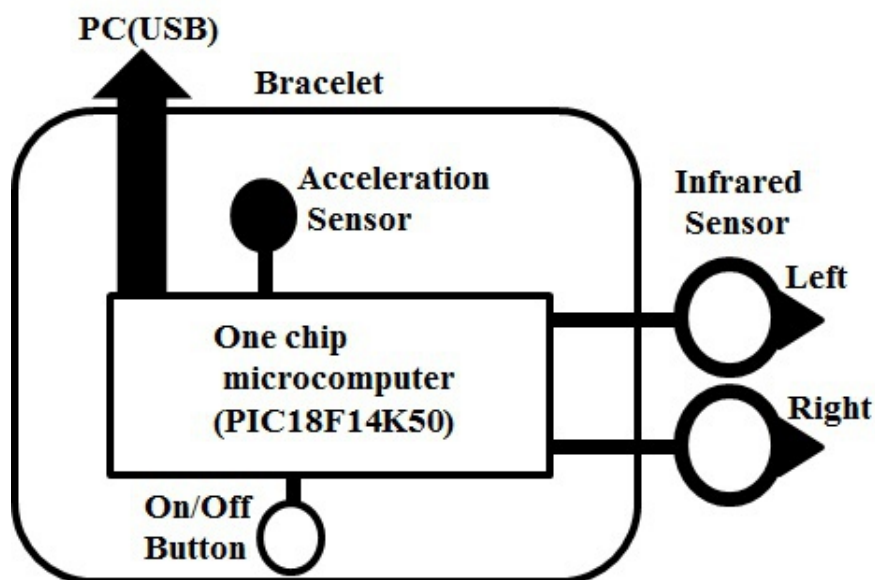
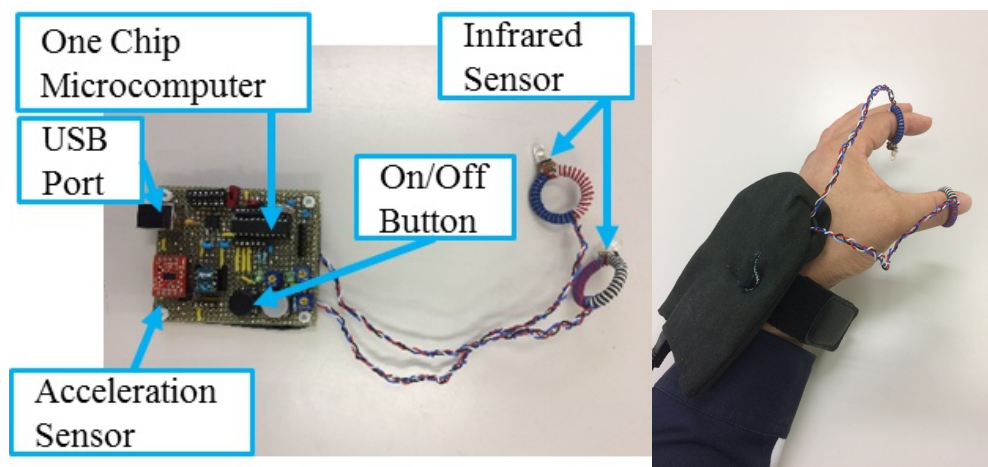


図 3.7 「画面操作用インタフェース（第1世代）」の構成



(a) インタフェース本体

(b) インタフェース装着時

図 3.8 「画面操作作用インタフェース（第1世代）」

表 3.1 「画面操作作用インタフェース（第1世代）」の主な構成部品と開発環境

One chip microcomputer	PIC18F14K50 (Microchip Tech.)
Accelerometer	ADXL345 (Analog Devices)
Infrared Sensor (発光部)	OSI5LA5113A (OptoSupply)
Infrared Sensor (受光部)	S7136 (浜松ホトニクス)
On/Off button	タクトイルスイッチ
統合開発環境	Microchip MPLAB X IDE v3.20
C コンパイラ	Microchip MPLAB-XC8 v1.32
プログラム書き込み用アプリケーション	Microchip PICKIT3

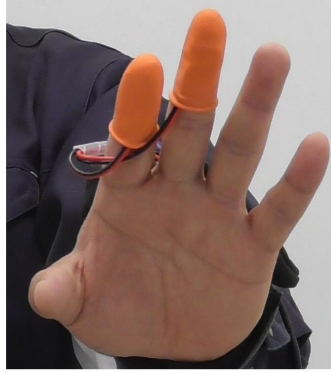
表 3.2 「画面操作作用インタフェース（第1世代）」の仕様

対応 OS	Windows10/ 8.1/ 7, Linux
PC 接続	USB Port via repeater cable
移動範囲	20m
本体サイズ	80mm × 65mm × 15mm
本体質量	100g

いる Left Infrared Sensor が左マウスボタン，親指のリングに付いている Right Infrared Sensor が右マウスボタンと同様の機能を有する。「画面操作インタフェース」は，十分な長さ（20m）のリピータケーブルを経由して USB（Universal Serial Bus）でパーソナルコンピュータ（PC）に接続されており，教室内を机間巡視することや大型スクリーンの前でインタフェースを操作しながら，実習を行うことを可能としている．これにより，画面操作のためにコンピュータの前で機器操作する機会が減少するとともに，生徒と円滑なコミュニケーションを図ることが可能である．さらに，教室を歩き回り，両手を使用して実習を行い，大画面の前でインタフェースを操作することが可能になる [37-43]．

図 3.9 にポインタの移動操作「画面操作用インタフェース（第 1 世代）」⁴を示す．「画面操作用インタフェース（第 1 世代）」は，図 3.9(a)(e) のように，手の甲を上にして，手を上下すること，ポインタは画面上下方向に移動する．また，図 3.9(b)(d) のように，手の甲を上にして，手を左右に傾けることで，ポインタは画面の左右方向に移動する．また，図 3.9(c) のように，手の甲を上にした状態で，手を床と水平状態にすると画面上のマウスポインタが静止する．

⁴図 3.8 に示す Infrared Sensor は，2004 年に実装したものを再利用していたが，2017 年に動作不良になったことを機会に，誤作動防止のため，非接触型の Infrared Sensor から接触型のタクトイルスイッチに変更した．



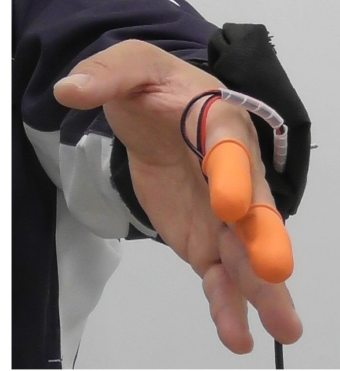
(a) Up



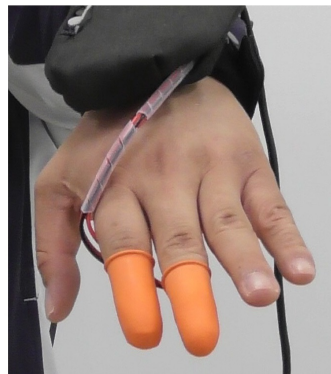
(b) Right



(c) Stop



(d) Left



(e) Down

図 3.9 ポインタの移動操作「画面操作用インタフェース（第1世代）」

3.5 「画面操作作用インタフェース」と他のインタフェースの操作時におけるコミュニケーションの比較に関する評価及び考察

3.5.1 評価方法

本研究で設計及び実装した「画面操作作用インタフェース（第1世代）」が与える実習への効果やその有効性について、実習による評価を行う。評価方法として、著者が所属する星翔高等学校のコンピュータ実習室で行う実習において、「画面操作作用インタフェース（第1世代）」を実際使用する。実習終了後に生徒に対してアンケートを行い、その結果を基に、実習における教員と生徒とのコミュニケーションの円滑化に関する効果について検証する。表3.3に本実習の概要を、表3.4に本実習の指導の流れを示す。

本評価に選んだマイコン制御実習はロボットの制御及びプログラミングに関する内容の実習である。実習は生徒をA, Bの2班に分けて、同じ内容で行う。尚、両班の生徒の学力はほぼ同程度である。A班の実習では、「画面操作作用インタフェース（第1世代）」を使用し、B班では、「画面操作作用インタフェース（第1世代）」を使用せずにマウスとキーボードを用いて画面操作を行う。それぞれの実習終了後に、以下の(1)～(5)の項目について、実習を受けた生徒に対して、5段階評価によるアンケートを行った。

表 3.3 本実習の概要

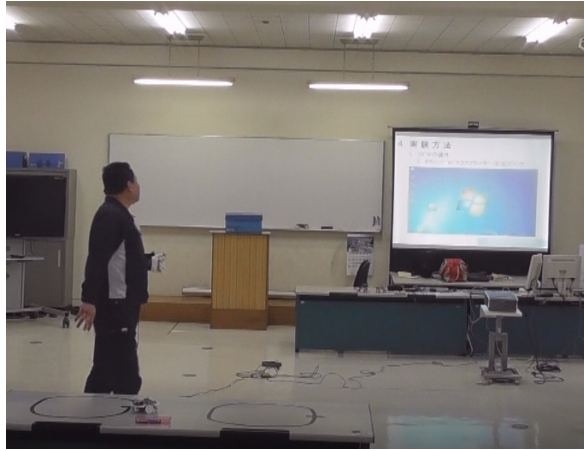
場 所	星翔高校 電子工学科 コンピュータ実習室 A
日 時	2017年1月16日 10:40-12:30 (B班: 10人)
	2017年1月23日 10:40-12:30 (A班: 7人)
	2017年1月30日 10:40-12:30 (A班: 6人)
学科・学年・実習内容	電子工学科・2年・マイコン制御実習

表 3.4 本実習の指導の流れ

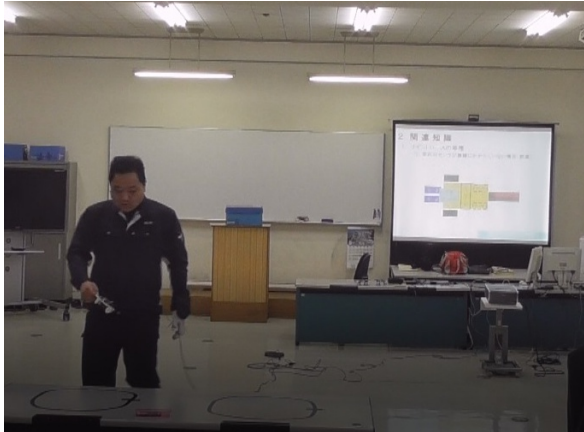
指導の流れ	学 習 活 動
- 目的	プロジェクタを用いた説明
- 説明	実習方法の説明と実演
- 関連知識	生徒全体で例題演習
- 使用機器	
- 実習方法	
(約 60 分)	
- 実習	課題演習の方法を説明
(約 35 分)	生徒個別で課題演習
- まとめ	考察
(約 5 分)	レポート指導

- (1) 教員の視線
- (2) 教員の存在感（遠近感）
- (3) 実習内容の理解度の向上
- (4) 「画面操作用インタフェース（第1世代）」に対する印象
- (5) 「画面操作用インタフェース（第1世代）」に対する興味

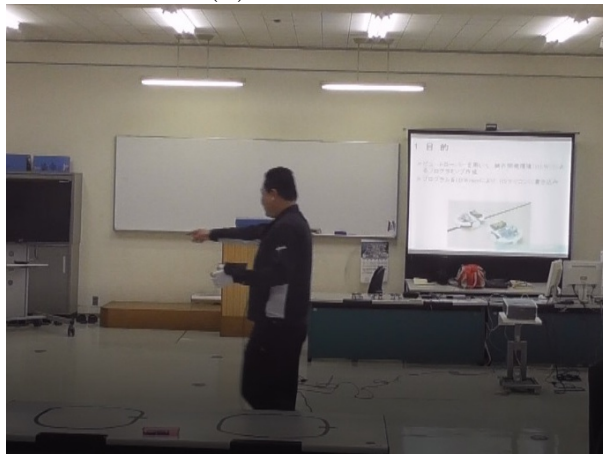
図 3.10 にコンピュータ実習室において、「画面操作用インタフェース（第1世代）」使用時の実習の様子を示す。



(a) 実習の説明



(b) 実習の指導



(c) 生徒へ実習の指導

図 3.10 「画面操作インターフェース (第1世代)」使用時の実習の様子

3.5.2 評価結果及び考察

図 3.11～3.17 に (1)～(5) の項目について、実習終了後の生徒に対するアンケートによる評価結果を示す。評価結果として、各結果の 5 段階評価の平均値と割合を示している。また、表 3.5 に示すように、(1)～(3) については、各図の (a) が「画面操作インタフェース（第 1 世代）」を使用した場合で、(b) が「画面操作インタフェース（第 1 世代）」を使用しない場合である。

教員の視線（図 3.11）については、「画面操作インタフェース（第 1 世代）」を使用した場合の方が平均値は高くなっており、さらに使用しない場合の結果との間に有意差（有意水準 1%）が認められた。「画面操作インタフェース（第 1 世

表 3.5 使用するインタフェースの概要

インタフェース	使用するインタフェースの概要
(a)	「画面操作インタフェース（第 1 世代）」を使用
(b)	「画面操作インタフェース（第 1 世代）」を使用しない

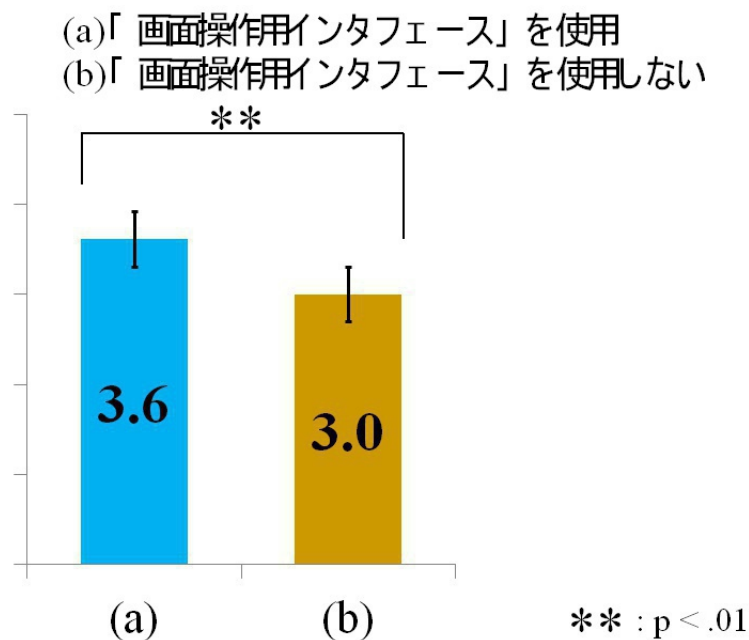


図 3.11 教員の視線の比較

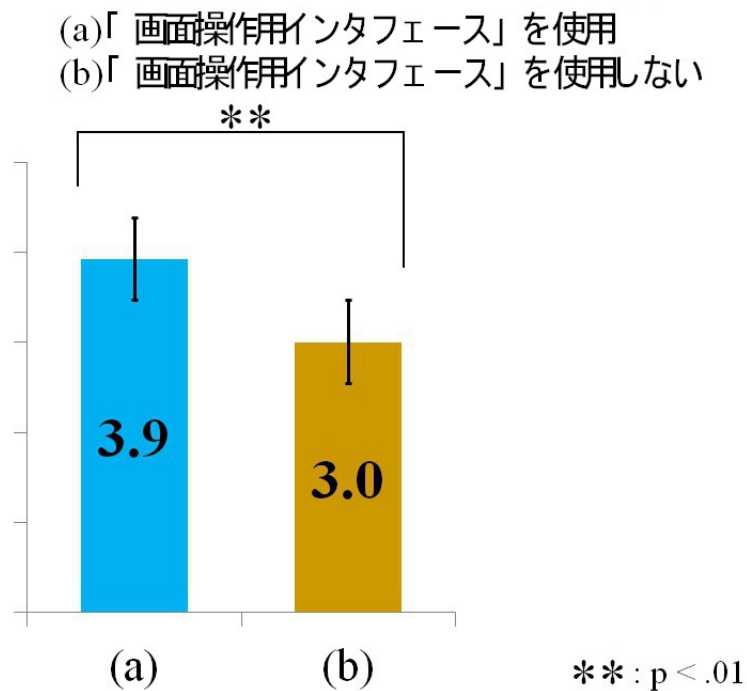


図 3.12 教員の存在感（距離感）の比較

代)」を使用することにより、教員がコンピュータ操作にとらわれずに教室内を自由に歩き回れるようになったことから、教員と生徒が face to face のコミュニケーションする機会が増加し、半数以上の生徒が教員の視線を通常の実習よりも感じると回答したことが考えられる。

教員の存在感（距離感）（図 3.12）についても、「画面操作インタフェース（第 1 世代）」を使用した場合の方が平均値は高くなっており、使用しない場合の結果との間に有意差（有意水準 1%）が認められた。「画面操作インタフェース（第 1 世代）」を装着したままで、教員が教室を移動しやすい状況になっていることが、7 割以上の生徒が教員との距離感を近くに感じると回答した要因になったといえる。

実習内容の理解度の向上（図 3.13, 図 3.14, 図 3.15）については、「画面操作インタフェース（第 1 世代）」を使用した方が平均値は高いが、有意差は認められなかった。しかし、「画面操作インタフェース（第 1 世代）」を使用したときは、とても理解できたと回答した生徒の割合が高く、理解できなかつたと回答し

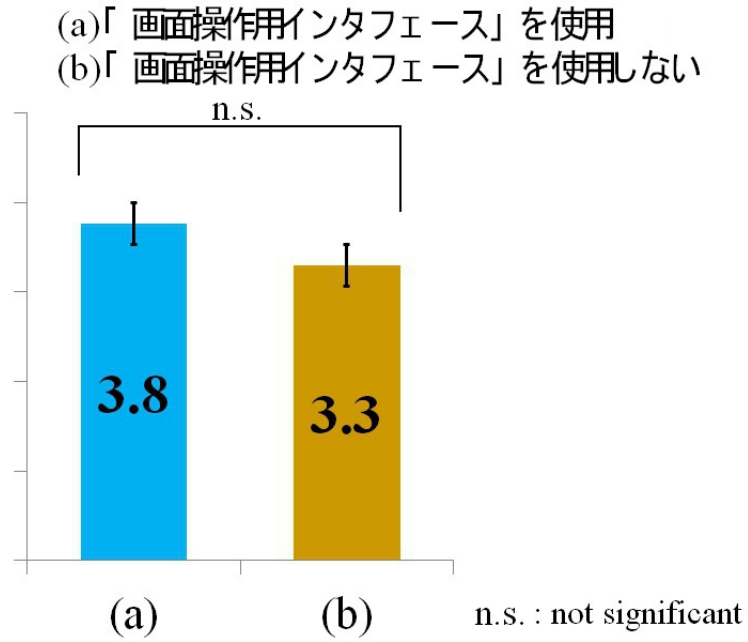


図 3.13 理解度の向上の比較

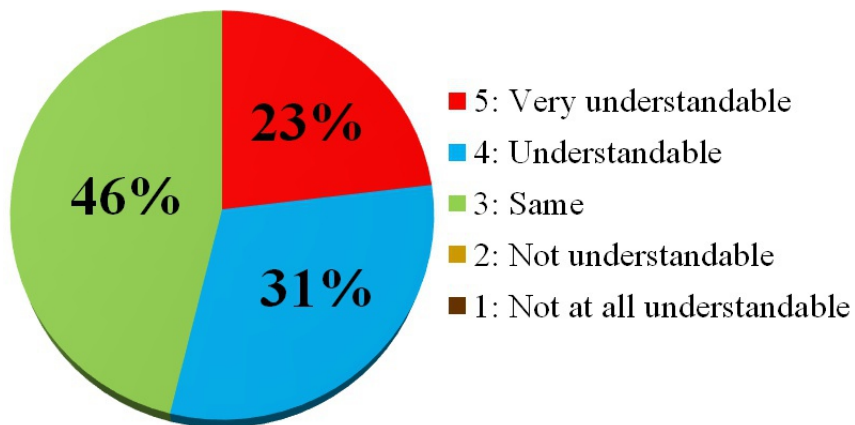


図 3.14 理解度の向上の比較（「画面操作インターフェース（第1世代）」を使用）

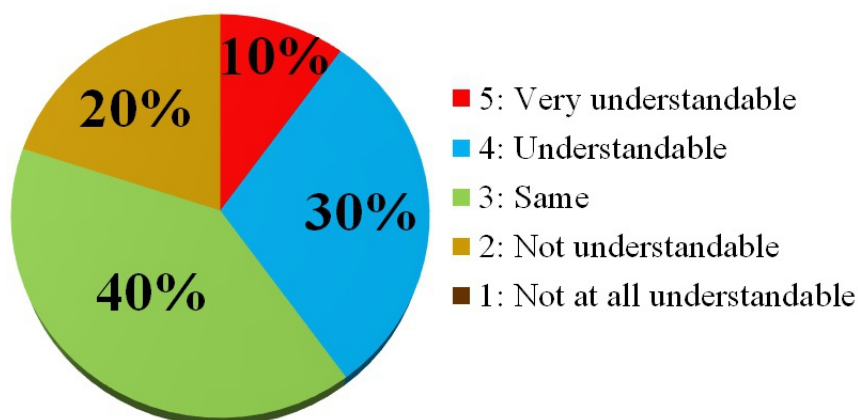


図 3.15 理解度の向上の比較（「画面操作作用インタフェース（第1世代）」を使用しない）

た生徒はいなかった。これは、実習中に教員と生徒の距離感を近くに感じること
で教員の存在感が大きくなり、従来の実習より face to face のコミュニケーション
をとりやすくなったことが、生徒の理解度が向上した要因と考えられる。

次に、「画面操作作用インタフェース（第1世代）」を使用して実習を行った A 班
の生徒による「画面操作作用インタフェース（第1世代）」に対する印象（図 3.16）
と興味（図 3.17）について、5段階評価の割合を示す。これらのアンケートの目
的は、実習中に「画面操作作用インタフェース（第1世代）」を用いることに、違
和感、嫌悪感をもつ生徒及び実習内容に集中力を欠如する生徒の存在を確認する
ための調査である。

図 3.16 より、「画面操作作用インタフェース（第1世代）」を“とても意識した”
生徒（23%）及び“意識した生徒”（15%）を合わせた 38%の生徒は、「画面操作作用
インタフェース（第1世代）」の操作に対する意識が高くなっている。また、こ
れらの回答を行った生徒は、図 3.17 に示す「画面操作作用インタフェース（第1世
代）」に“興味がある”及び“少し興味がある”の回答を行っている。つまり、図
3.17 の“興味がある”生徒（23%）及び“少し興味がある”生徒（69%）中の 15%
は、「画面操作作用インタフェース（第1世代）」の印象を“とても意識した”生徒
（23%）及び“意識した生徒”（15%）を合わせた 38%の生徒と一致している。し

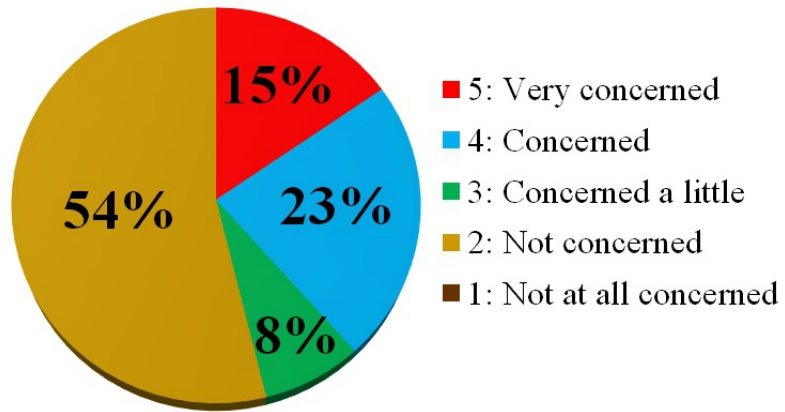


図 3.16 「画面操作インターフェース（第1世代）」の印象

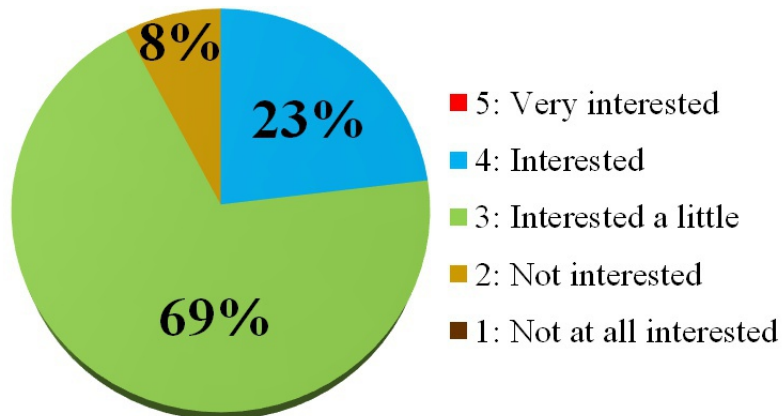


図 3.17 「画面操作インターフェース（第1世代）」の興味

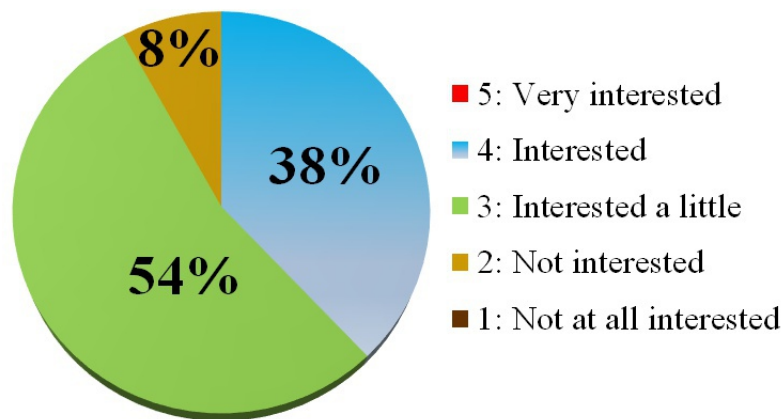


図 3.18 「画面操作作用インタフェース（第1世代）」の印象と興味の関連性

かし、インタフェース機器に意識や興味をもつことは、実習内容に集中できない要因として考えられたが、図 3.12 に示す実習内容の理解度の向上において、有意差は認められなかったものの、平均値は「画面操作作用インタフェース（第1世代）」を用いたほうが高い。さらに、「画面操作作用インタフェース（第1世代）」の“原理が知りたい”，“製作したい”など、好意的でポジティブな意見が多く、また、face to face のコミュニケーションをとりやすくしていることが好意的でポジティブな意見に繋がっていると考えられる。以上の結果より、図 3.16 の“とても意識した”生徒（23%）及び“意識した生徒”（15%）を合わせた 38% の生徒と図 3.17 の“興味がある”生徒（23%）及び“少し興味がある”生徒（69%）中の 15% を合わせた 38% の生徒は、「画面操作作用インタフェース（第1世代）」を用いることによって、違和感、嫌悪感をもった生徒及び実習中に集中力を欠如した生徒ではなく、実習に対する悪影響は少ないと考えられる。

3.5.3 教員と生徒のコミュニケーションの円滑化に関する効果について

次に、授業中における教員の教室内での移動の傾向について評価を行う。今回授業を行った教室は、面積 $100m^2$ 程度の広さを有し、生徒用コンピュータが10数台程度の小規模なコンピュータ実習室である。図 3.19 にコンピュータ実習室の機器等の配置図を示す。本評価を行うに当たって、教室を説明・机間巡視エリア (Area1)，説明・教員用機器操作エリア (Area2) の2つのエリアに分けている。

本評価では授業の様子を撮影したビデオ映像を基に、教員の各エリアの滞在時間を秒単位で計測し、授業時間全体との割合を算出した。これらを (a) 画面操作用インタフェースを使用して授業を行った場合と (b) 使用しないで授業を行った場合について、それぞれ計測し、結果の比較を行った。図 3.20(a) が「画面操作用インタフェース (第1世代)」を使用して授業を行った場合、図 3.20(b) が使用しないで授業を行った場合の各エリアに対する教員の滞在時間の割合を示す。

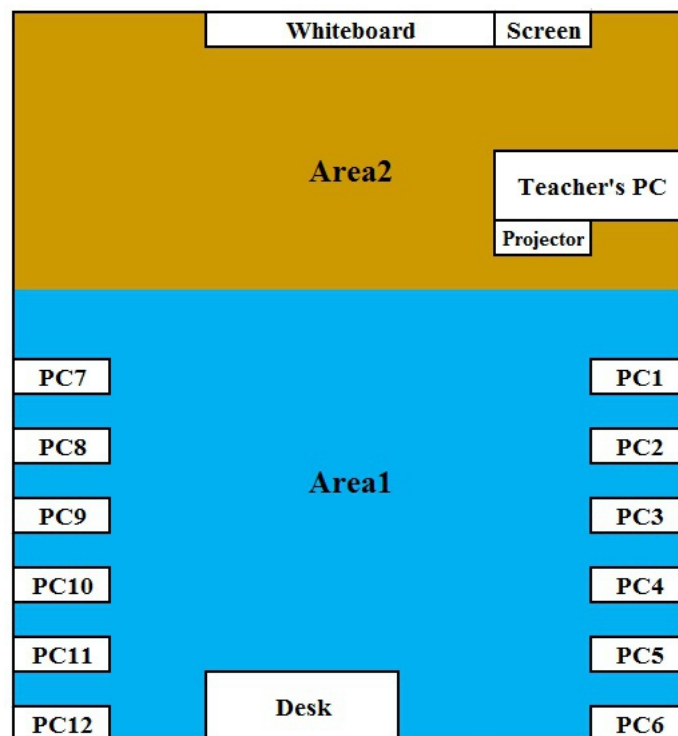


図 3.19 コンピュータ実習室の配置図

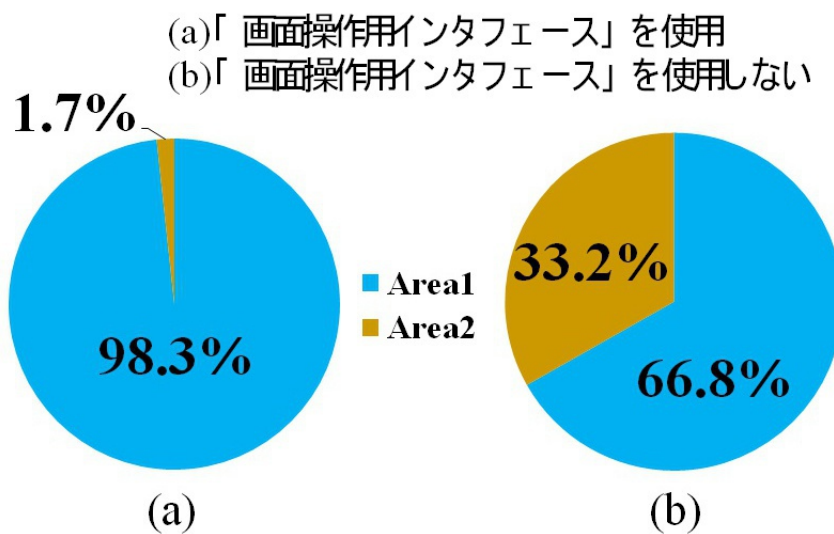


図 3.20 各エリアに対する教員の滞在時間の割合

これより、「画面操作作用インタフェース（第1世代）」を使用して実習を行った方が生徒側で実習を行っていることがわかった。また、生徒の自由回答による記述の中に、“「画面操作作用インタフェース（第1世代）」を使用して実習を行った場合、教員と生徒の距離が近いため、実習以外のことができず、実習に集中できた”ことから、「画面操作作用インタフェース（第1世代）」の利用によって、生徒は実習に集中しており、実習内容の理解を導く効果を与えていると考えられる。以上の評価結果より、従来の実習よりも教員と生徒間での face to face によるコミュニケーションを行うことが増えて、円滑な実習の進行に効果があることがわかり、本研究で提案した「画面操作作用インタフェース（第1世代）」の有効性を示せたと考える。

3.6 まとめ

本章では，初等中等教育における電子資料や視聴覚教材などのICTを活用した実習における問題点を指摘し，それを解決するために「画面操作用インタフェース（第1世代）」を提案し，設計及び実装を行った．さらに，「画面操作用インタフェース（第1世代）」を用いて電子資料や視聴覚教材などのICTを活用した実習を行い，実習中における教員と生徒とのコミュニケーションの円滑化への効果について評価を行った．本評価結果より，従来の実習よりも教員と生徒間の face to face が増加して，円滑な実習の進行に効果があることを示した．しかし，長時間の実習のため，画面操作により腕，肘や手首に疲労感を感じ，常にインタフェース機器を意識することになり，肉体的，精神的においても疲労感を伴うことがわかった．

そこで，第4章では，長時間の実習であっても，画面操作による腕，肘や手首の疲労感を軽減させるために提案した「ナチュラルアームアルゴリズム」を用いて，提案，設計及び実装した「画面操作用インタフェース（第2世代）」について述べる [29, 44-46]．

4. 画面操作による疲労感を軽減させる「ナチュラルアームアルゴリズム」

4.1 はじめに

前章でも述べたように、実習では部品、工具や装置等の実物の教材を使った実習時、また実習の概要説明時には、必ず両手を使用して行うことが基本とされる [3]。しかし、実習中にコンピュータを使って電子資料による実習の概要説明から実物を使った実習の説明に切り替わる際、両手を自由に使えるようにするために、手に持っているインタフェース機器を一旦どこかに置く必要がある。その動作により、実習の説明画面と実物の教材を生徒に交互に見せながら、生徒の集中力を切らさないように指導をする際、重要な説明のタイミングを逸することがある。加えて、インタフェース機器の置き忘れが生じることもあり、実習の進行に支障をきたすケースが多い。

これらの問題を受けて、これまでに手の甲に装着可能な「画面操作用インタフェース（第1世代）」を提案、設計及び実装を行い、実際の実習での使用を試みた [2]。しかし、実習では説明時間が長くなることが多く、「画面操作用インタフェース（第1世代）」で操作しながら説明を続ける際に、手首の位置が自然な状態ではないため、操作が困難になる。さらに、「画面操作用インタフェース（第1世代）」を手の甲に装着して使用することで、ポインティング操作において、肘から動作しなければならないため、「画面操作用インタフェース（第1世代）」を意識することになり、肉体的、精神的にも疲労感を伴うといった問題も明らかになっている [45]。したがって、実習における説明の際に、「画面操作用インタフェース」を装着した状態で両手で作業し、画面操作が可能となり、かつ長時間装着しても疲労感を感じずに操作できることが重要と考える。

本章では、以上の要素を満たす ICT を活用した実習における疲労感を軽減するための「ナチュラルアームアルゴリズム」を提案し、このアルゴリズムを用いて、「画面操作用インタフェース（第2世代）」の提案、設計及び実装を行う。

4.2 関連研究

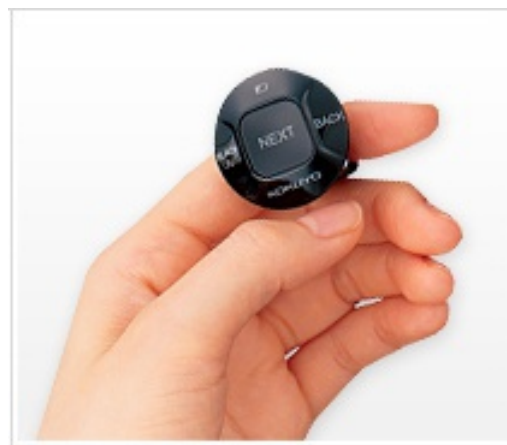
現在、コンピュータ画面や大型スクリーンに投影する電子資料などを効果的に操作するために、様々な専用のインタフェース機器が提案されている。

一方、図 4.1 に示す人差指に装着して親指のみで操作する黒曜石 [47] が、図 4.2 に示す指輪マウス [48] が製品として販売されている。

しかし、実習では、説明する時間が長くなることが多く、親指のみを駆使する



(a) 黒曜石本体

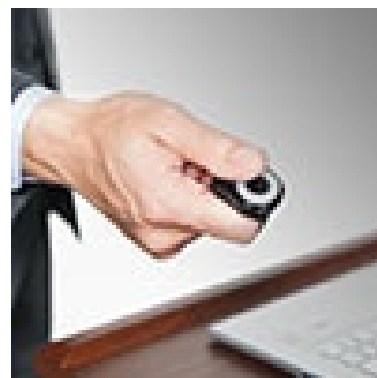


(b) 装着している状態

図 4.1 黒曜石 (ELA - FP1)^[47]



(a) 指輪マウス本体



(b) 操作している状態

図 4.2 指輪マウス (400 - MA077)^[48]

ことで操作時の疲労感が蓄積され、長時間使用することが困難とされる。加えて、一本の指で操作する場合より、複数本の指など各部位全体で操作を行った方が疲労感の蓄積が軽減されると報告されている [49]。

さらに、コンピュータ画面上や大型スクリーン上に対して、ジョイスティックやボタンを押しながらポインティング操作するインタフェースは、長時間使用すると親指の疲労感が大きい。また、様々なセンサ等を用いて、ポインティング操作するインタフェースは、画面を見ずにポインティング操作をした際、ポインタを見失う場合がある。したがって、ポインティング動作をボタンで一時的にオン・オフさせるか、ボタンを押しているときのみポインティング動作させる必要がある。

以上の点から、「ナチュラルアームアルゴリズム」を用いて、ICTを活用した実習における疲労感を軽減するための「画面操作用インタフェース（第2世代）」は、装着した状態で、両手で作業し、コンピュータ等の機器操作が手全体でバランス良く行えて、ポインタの移動が可能であることが重要とされる。また、長時間使用した際、常にインタフェース機器を意識することなく、肉体的、精神的にも疲労感を伴わないことも必要と考える。次節では、複数の教員による「画面操作用インタフェース（第2世代）」を試用した模擬実習を行い、評価を行った。

4.3 「ナチュラルアームアルゴリズム」の提案

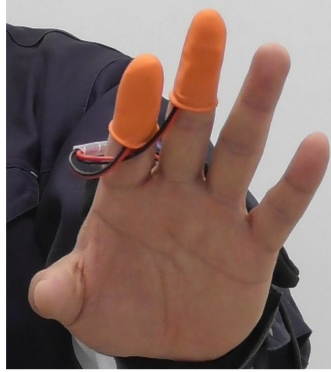
これまでに手の甲に装着可能な「画面操作用インタフェース（第1世代）」の設計及び実装を行い、実際の実習での使用を試みることで効果的な活用について検討を進めてきた [2, 28, 29]. しかし、実習では説明時間が長くなることが多く、「画面操作用インタフェース（第1世代）」で操作しながら説明を続けることで、肉体的、精神的にも疲労感を伴うといった問題が明らかになった.

「画面操作用インタフェース（第1世代）」は、図 4.3(a)(e) のように、手の甲を上にして、手を上下すること、ポインターは画面上下方向に移動する. また、図 4.3(b)(d) のように、手の甲を上にして、手を左右に傾けることで、ポインターは画面の左右方向に移動する. また、図 4.3(c) のように、手の甲を上にした状態で、手を床と水平状態にすると画面上のマウスポインターが静止する.

以上のことから、「画面操作用インタフェース（第1世代）」は、常に手の甲を上に向けた状態でポインティング操作をする必要がある. 上下左右のポインティング操作において、手の甲を上にする動作は、図 4.4(a), 図 4.4(b) に示す不自然な腕の状態となり、肘や肩を支点に動作させる必要があるため、長時間、肘や肩を常時動作させる場合、自然な手首の状態や自然な腕の状態にあるものと比較して、疲労が蓄積されると考えられる [50]. そこで、ポインティング動作による疲労感を軽減するためには、肘や肩を出来る限り動作させず、指、手、手首や肘を最小限の動作で画面操作する必要があると考える.

したがって、本研究における疲労感は、ポインティング操作が可能なインタフェースを実習で使用することで生じる親指、人差し指、手首、肘および肩の局所疲労について、使用者の主観的な評価値として定義し、この値を基に疲労感に関する比較評価を行う.

図 4.5 に示すように、片手に「画面操作用インタフェース（第2世代）」を装着して、重力に従って脱力した状態が自然な腕（ナチュラルアーム）の状態であり、この状態のときポインタは停止する. 図 4.6 は、「画面操作用インタフェース」のポインティング操作を示し、図 4.5 の自然な腕（ナチュラルアーム）の状態から、図 4.6(c) に示すように、胴体と平行に肘を 90 度に曲げ、手を握手の状態かつ床に平行な位置で手を静止すると、画面上のマウスポインタは停止する. さら



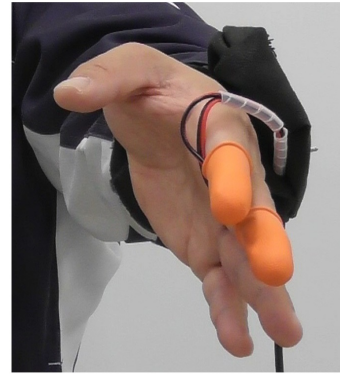
(a) Up



(b) Right



(c) Stop



(d) Left



(e) Down

図 4.3 ポインタの移動操作「画面操作用インタフェース（第1世代）」

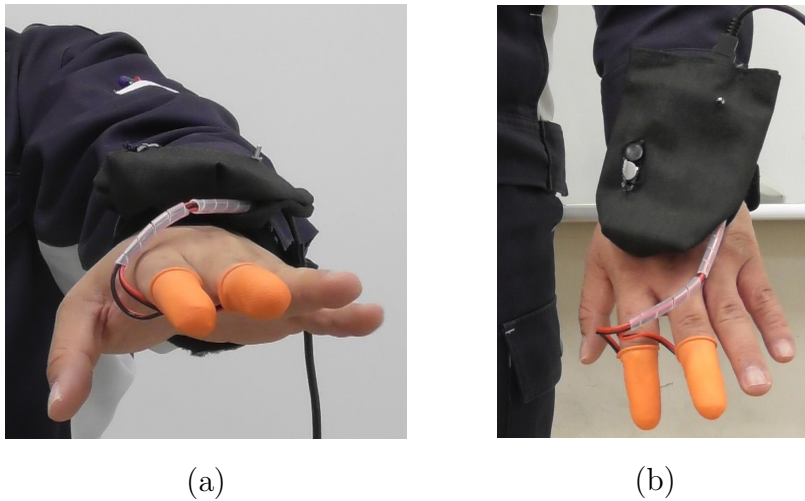


図 4.4 不自然な腕の状態「画面操作作用インタフェース（第1世代）」

に，図 4.6(a), (e) に示すように，手を握手の状態にして，かつ肘を支点として手を上下に傾けることで，画面上のマウスポインタを上下方向に移動させることが可能である．また，図 4.6(b), (d) に示すように，手を握手の状態にして，かつ手首を左右に傾けることで，画面上のマウスポインタを左右方向に移動させることが可能である．

「ナチュラルアームアルゴリズム」の定義としては，

- (1) 図 4.5 の状態（重力に従って脱力した状態である自然な腕（ナチュラルアーム）の状態をニュートラル状態とする．
- (2) 図 4.5 の状態より，胴体と平行に肘を 90 度に曲げ，手を握手の状態かつ床に平行な位置（図 4.6(c) の状態）で動作を停止させる．
- (3) 図 4.6(c) の位置で握手するような肘と手首の状態を基準状態とする．
- (4) (3) の状態で On/Off Button を押すと，ポインティング操作が可能となる．
- (5) 基準状態より左(右)に手首を傾けると左(右)にポインタが移動する．傾き



(a)



(b)

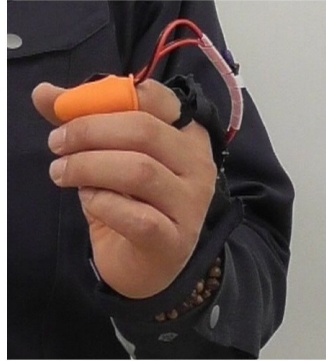
図 4.5 自然な腕（ナチュラルアーム）の状態

を大きくすれば、ポインタ速度が速くなるが、傾きを大きくし過ぎるとポインタが停止する。また、傾きを基準状態に戻せば、ポインタ速度が遅くなりながら、ポインタは、停止する。

(6) 基準状態より上(下)に手首を傾けると上(下)にポインタが移動する。傾きを大きくすれば、ポインタ速度が速くなるが、傾きを大きくし過ぎるとポインタが停止する。また、傾きを基準状態に戻せば、ポインタ速度が遅くなりながら、ポインタは、停止する。

(7) 基準状態より左上(右上)に手首を傾けると左上(右上)にポインタが移動する。傾きを大きくすれば、ポインタ速度が速くなるが、傾きを大きくし過ぎるとポインタが停止する。また、傾きを基準状態に戻せば、ポインタ速度が遅くなりながら、ポインタは、停止する。

(8) 基準状態より左下(右下)に手首を傾けると左下(右下)にポインタが移動する。傾きを大きくすれば、ポインタ速度が速くなるが、傾きを大きくし過ぎるとポインタが停止する。また、傾きを基準状態に戻せば、ポインタ速度が遅く



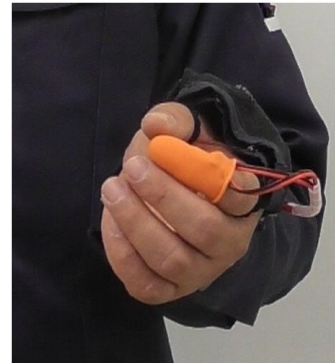
(a) Up



(b) Right



(c) Stop



(d) Left



(e) Down

図 4.6 ポインティング操作

なりながら，ポインタは，停止する．

(9) どの状態であっても，再び，On/Off Button を押せば，ポインタは，停止する．再び，On/Off Button を押せば，ポインタが始動する．とする．

4.4 「画面操作作用インタフェース（第2世代）」の設計及び実装

本研究では、これらの要件を考慮した「画面操作作用インタフェース（第2世代）」を提案し、設計及び実装を行った。本研究で設計及び実装を行った「画面操作作用インタフェース（第2世代）」の構成を図4.7に示す。図4.8(a)に「画面操作作用インタフェース（第2世代）」本体を、図4.8(b)に「画面操作作用インタフェース（第2世代）」装着時の様子を示す。また、図4.9に「画面操作作用インタフェース（第2世代）」の回路図を示す [51]。

画面操作作用インタフェース（第2世代）」の制御に16ビットマイクロコントローラユニットを使用し、コンピュータ画面のポインティング制御として、3軸デジタル加速度センサを採用した。画面操作作用インタフェースは、片方の手（利き手と反対の手）の手首にブレスレッド、人差し指の中節に左指ボタン、人差し指の末節に右指ボタンを装着する。また、ブレスレッドは3軸加速度センサにより、コンピュータ画面上の位置をポインティングする機能を有する。

さらに、マウスの左クリックの機能を有する左指ボタンとマウスの右クリックの機能を有する右指ボタンを押すことにより、オン/オフの二値信号による画面操作を行う。On/Off Buttonは、電源をオン状態のまま、「画面操作作用インタフェース（第2世代）」の動作を一時的にオン/オフするため、インタフェースを見ずに、触った感覚のみで押せるように配慮した。

また、「画面操作作用インタフェース（第2世代）」の回路図の電源回路やそれに伴う保護回路は省略し、左指ボタン回路、右指ボタンや左指ボタンと右指ボタン操作の際にOnで点灯し、Offで消灯する左LED回路と右LED回路も簡略化する。

表4.1にインタフェースの主な構成部品と開発環境を、表4.2に「画面操作作用インタフェース（第2世代）」の仕様を示す。また、「画面操作作用インタフェース（第2世代）」とパーソナルコンピュータ(PC)はUSB(Universal Serial Bus)でリピータケーブルを経由して接続されており、移動距離は20mである。したがって、大型スクリーン等の前だけでなく、生徒側で機器操作が可能、かつ両手で作業が可能であり、さらに、生徒と円滑なコミュニケーションを図りながら、実習方法の説明や機器操作が可能になると考える。

図4.5(b)に示すように、片手に「画面操作作用インタフェース（第2世代）」を

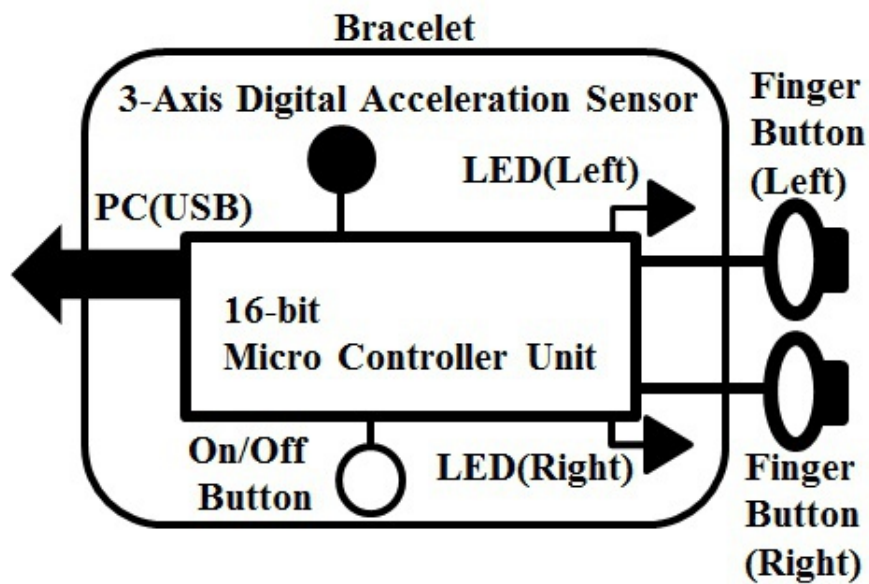
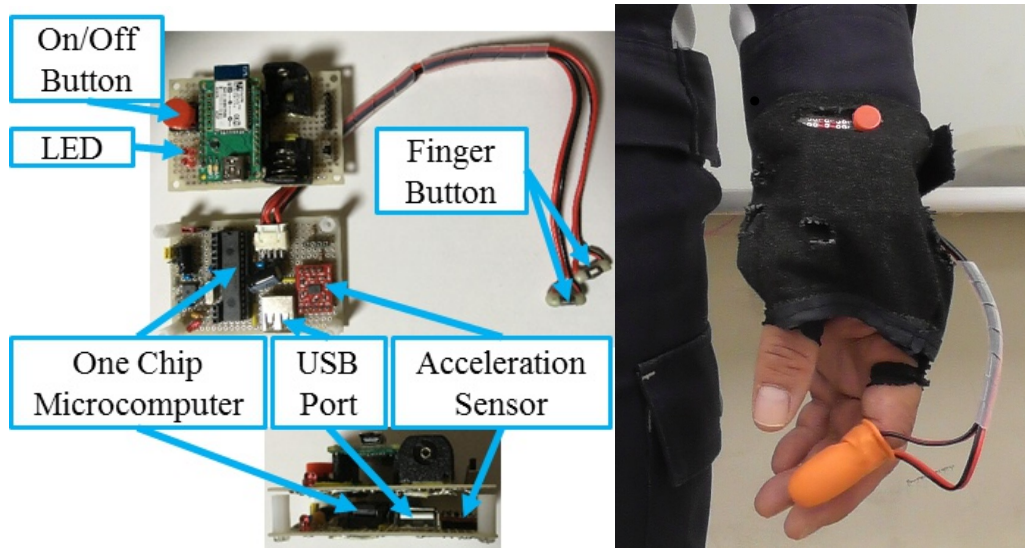


図 4.7 「画面操作作用インタフェース（第2世代）」の構成



(a) インタフェース本体

(b) インタフェース装着時の様子

図 4.8 「画面操作作用インタフェース（第2世代）」

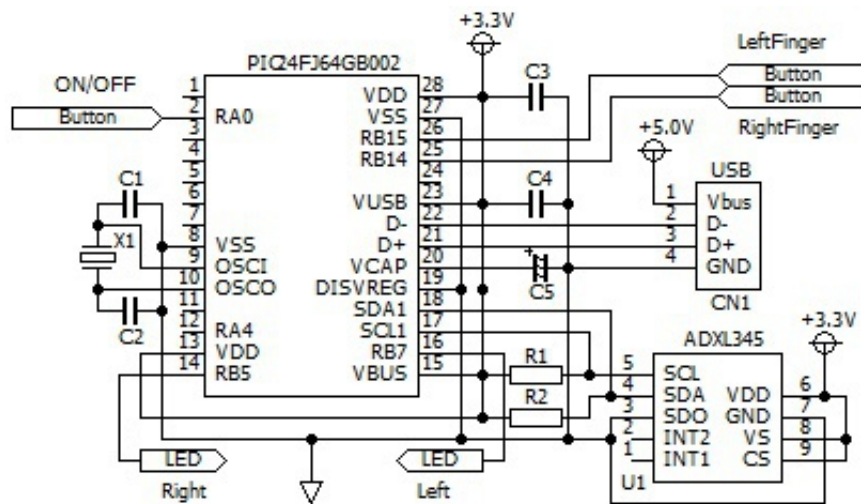


図 4.9 「画面操作作用インタフェース（第2世代）」の回路図

表 4.1 「画面操作作用インタフェース（第2世代）」の主な構成部品と開発環境

One chip microcomputer	PIC24FJ64GB002
Accelerometer	ADXL345
On/Off button	タクトイルスイッチ
Finger button	タクトイルスイッチ
統合開発環境	MPLAB X IDE v4.20
C コンパイラ	MPLAB-XC16 v1.32
プログラム書き込み用アプリケーション	PICKIT3

表 4.2 「画面操作作用インタフェース（第2世代）」の仕様

対応 OS	Windows10/ 8.1/ 7, Linux
PC 接続	USB Port via repeater cable
移動範囲	20m
本体サイズ	65mm × 50mm × 33mm
本体質量	64g

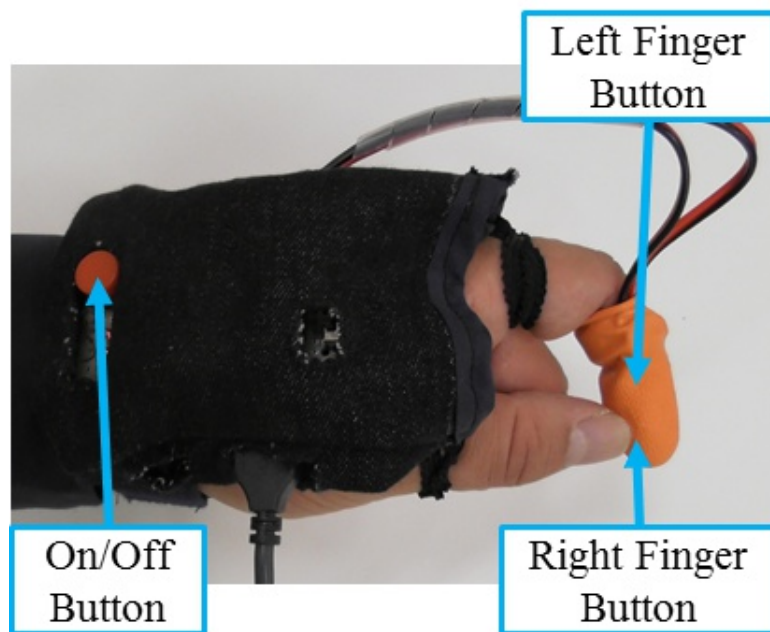


図 4.10 マウスボタン操作

装着して，重力に従って脱力した状態が自然な腕の状態であり，この状態のときポインタは停止する．また，図 4.10 に「画面操作用インタフェース（第 2 世代）」のマウスボタン操作を示す．マウスボタンの操作に関して，図 4.10 に示すように，人差し指の中節にある左指ボタンがマウスの左ボタン，人差し指の末節にある右指ボタンがマウスの右ボタンに対応させている．さらに，オン・オフボタンは，電源をオン状態のまま，「画面操作用インタフェース（第 2 世代）」の動作を一時的にオン・オフすることが可能である．また，図 3.8 に示す Infrared Sensor は，2004 年に実装したものを再利用していたが，2017 年に動作不良になったことを機会に，誤作動防止のため，非接触型の Infrared Sensor から接触型のタクトイルスイッチに変更した．

図 4.6 は，「画面操作用インタフェース（第 2 世代）」のポインティング操作を示し，図 4.5(b) の自然な腕の状態から，図 4.6(c) に示すように，胴体と平行に肘を 90 度に曲げ，手を握手の状態かつ床に平行な位置で手を静止すると，画面上のマウスポインタは停止する．さらに，図 4.6(a)，(e) に示すように，手を握手

の状態にして、かつ肘を支点として手を上下に傾けることで、画面上のマウスポインタを上下方向に移動させることが可能である。また、図 4.6(b), (d) に示すように、手を握手の状態にして、かつ手首を左右に傾けることで、画面上のマウスポインタを左右方向に移動させることが可能である。

表 4.3 にプログラムに使用した主な関数を、図 4.11 に「画面操作用インタフェース (第 2 世代)」のプログラムに関するアルゴリズムの概要を示す。図 4.11 に示すプログラムにおいて、PC の USB ポートに「画面操作用インタフェース (第 2 世代)」を接続すると、接続中は準備以外の処理を永久ループさせている。

一方、「画面操作用インタフェース (第 2 世代)」は、図 4.5(a) のように、握手するときの手首の位置で、ポインティング操作をすることができるように再設計した。前節で述べたように、この手首の状態は、図 4.5(b) のような脱力時に手が下がるときと同様である、自然な腕 (ナチュラルアーム) の状態にあるため、この状態でポインティング操作ができることで疲労感が軽減できると考える [52, 53]。

そこで、上下のポインティング操作については、握手するときの自然な状態から肘を支点に上下に動作させることで、上下の動作の大きさに応じて、直線的にポインティング操作が速く滑らかに動作するようにプログラムの修正を行った。

表 4.3 プログラムに使用した主な関数

adxl345_init ()	加速度センサ準備処理
system_init ()	マイコン準備準備処理
usb_device_init ()	USB ポート準備処理
usb_device_attach ()	
system_task ()	システム稼働のシステムレベル処理
usb_polling	PC からインタフェースへの問い合わせ
usb_device_tasks ()	USB デバイスレベル処理
app_device_mouse_tasks ()	ポインティング 操作
	マウスボタン操作
	LED 制御処理

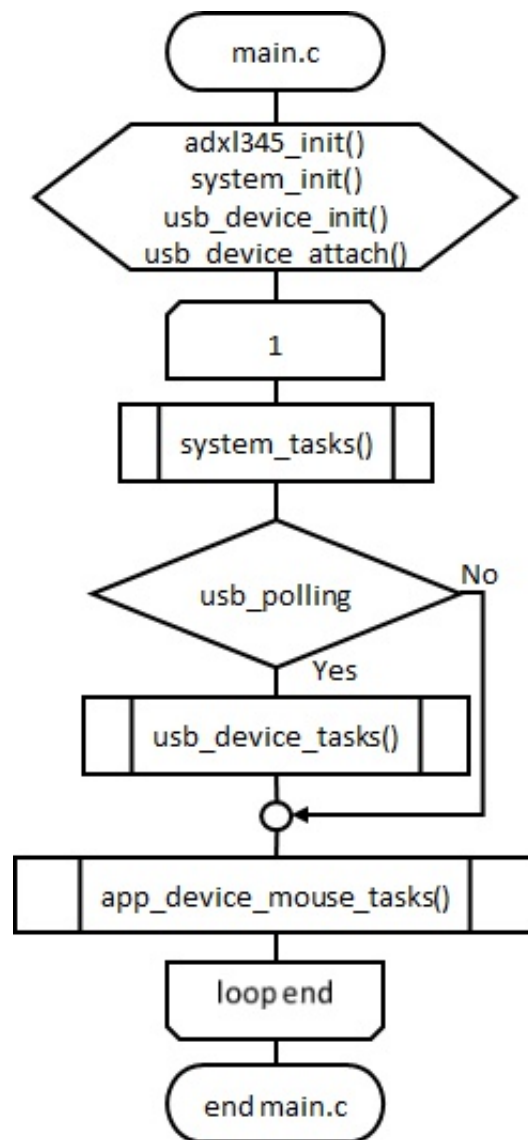


図 4.11 アルゴリズムの概要

また，左右のポインティング動作についても，握手するときの自然な状態から手首を左右に傾げることで，傾きの大きさに応じて，直線的に左右のポインティング動作が速く滑らかに動作するようにプログラムの修正を行った．さらに，上下左右の動作を組み合わせる斜めにポインティング動作をさせる際にも，階段状のポインティング動作にならず，上下左右の動作に応じて，直線的に速く滑らかに動作するようにプログラムの修正を行った．

4.5 「画面操作用インタフェース」と指輪マウスの操作時の疲労感の比較に関する評価及び考察 1

4.5.1 評価方法

本研究で設計及び実装した「画面操作用インタフェース（第2世代）」の使用時における疲労感の軽減に関する効果について、現場の教員に試用してもらうことで、他のインタフェースと比較評価を行う。評価方法として、著者が所属する星翔高等学校の複数の工業担当の教員が生徒がいない状況で、各インタフェースを使用しながらマイコン制御の模擬実習を行う。模擬実習終了後に教員に対して疲労感などに関するアンケートを行い、その結果を基に検証する。

表 4.4 に本模擬実習の概要を、表 4.5 に本模擬実習の流れを示す。本評価に選んだマイコン制御実習はロボットの制御及びプログラミングに関する実習である。模擬実習では、1人の教員が表 4.6 に示す3種類のインタフェース (a), (b), (c) をそれぞれ使用して、同じ内容の実習を合計3回行う。図 4.12 にコンピュータ実

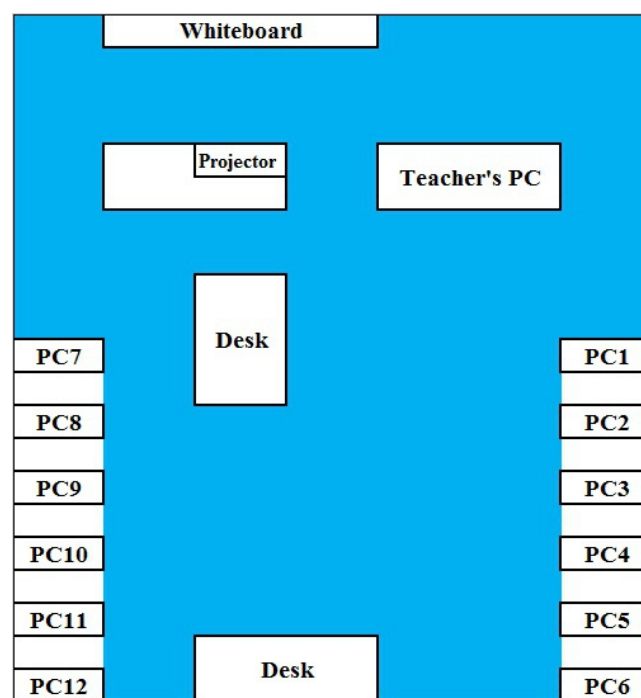


図 4.12 コンピュータ実習室の配置図

習室の配置図を、図 4.13 に「画面操作インターフェース（第 2 世代）」使用時の模擬実習の様子を示す。模擬実習終了後に、以下の(1)~(3)の項目について、模擬実習を行った教員に対して、7段階評価によるアンケートを行った。

- (1) インタフェースの装着感
- (2) インタフェース装着時の作業感
- (3) インタフェース使用時の疲労感

表 4.4 模擬実習の概要

場 所	星翔高校 電子工学科 コンピュータ実習室 A
実 施 日	2018 年 3 月 28 日 (電子工学科教員: 3 人) 2018 年 4 月 2 日 (機械工学科教員: 2 人)
対象・実習内容	工業技術系教員・模擬実習 (マイコン制御)



図 4.13 「画面操作インターフェース（第 2 世代）」使用時の模擬実習の様子

表 4.5 模擬実習の指導の流れ

指導の流れ	学 習 活 動
- 目的	プロジェクタを用いた説明
- 説明	実習方法の説明
- 関連知識	生徒なしで模擬演習
- 使用機器	
- 実習方法	
(約 4分)	
- 模擬実習	課題演習の方法を説明
(約 4分)	生徒なしで模擬演習
- まとめ	考察
(約 2分)	レポート指導

4.5.2 評価結果及び考察

図 4.14～図 4.22 は、表 5.4 の (1)～(3) の項目について、模擬実習終了後の教員に対するアンケートによる評価結果を示す。評価結果として、各結果の 7 段階評価の平均値と割合を示している。表 4.6 に使用するインタフェースの概要を、表 4.7 に項目とアンケート内容を示す。

図 4.14 に各インタフェースの装着感、図 4.15 に各インタフェースの作業感に関するアンケートによる 7 段階評価 (1:悪い～7:良い) の結果 (平均値) を示す。

各インタフェースの装着感については、「画面操作インタフェース (第 1 世代)」

表 4.6 使用するインタフェースの概要

インタフェース	使用するインタフェースの概要
(a)	「画面操作作用インタフェース (第 1 世代)」
(b)	「画面操作作用インタフェース (第 2 世代)」
(c)	指輪マウス (サンワサプライ株式会社)

表 4.7 項目とアンケート内容

項目	アンケート内容
(1)	各インタフェースの装着感について
(2)	各インタフェースの作業感について
(3)-1	各インタフェース使用時の親指の疲労感について
(3)-2	各インタフェース使用時の人差指の疲労感について
(3)-3	各インタフェース使用時の手首の疲労感について
(3)-4	各インタフェース使用時の肘の疲労感について
(3)-5	各インタフェース使用時の肩の疲労感について

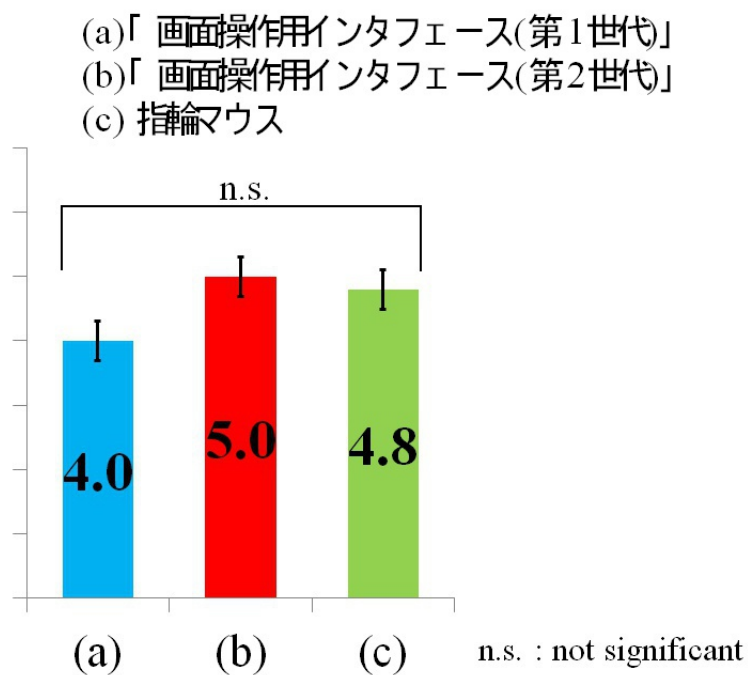


図 4.14 評価結果 (各インタフェースの装着感)

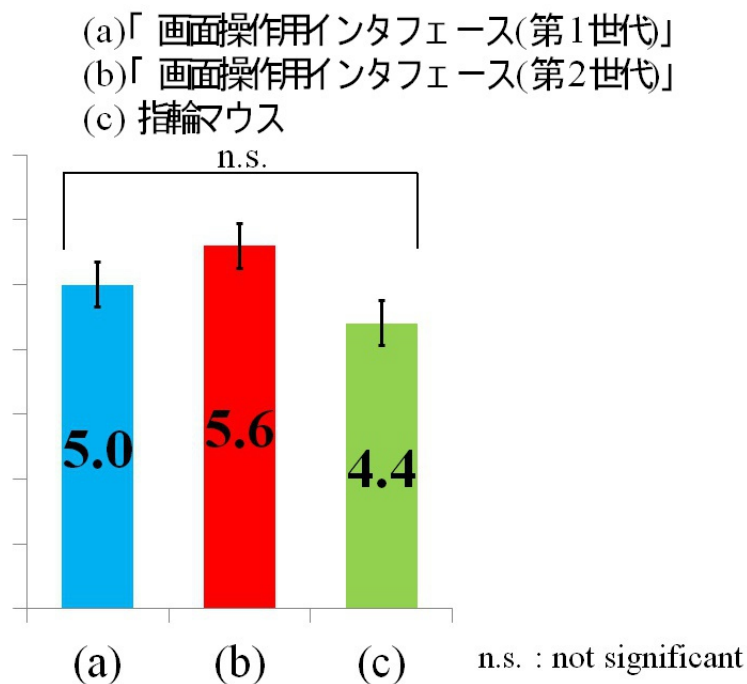


図 4.15 評価結果（各インタフェースの作業感）

及び指輪マウスの結果との間に有意差は認められなかったが、「画面操作インタフェース（第2世代）」が最も高い評価を得られた。模擬実習後の教員より，“「画面操作インタフェース（第2世代）」は、「画面操作インタフェース（第1世代）」を使用した場合と比較して違和感が少なく装着感が良い”といった回答コメントが得られている。これは、「画面操作インタフェース（第2世代）」の装着箇所が親指、人差指の根本と手首との間に変わったことで、手首を自然な位置で操作することが可能になったため、評価結果が高くなったと考えられる。

また、各インタフェースの作業感についても、「画面操作インタフェース（第1世代）」を使用した場合と指輪マウスを使用した場合との結果に有意差は認められなかった。しかし、「画面操作インタフェース（第1世代）」、「画面操作インタフェース（第2世代）」は、利き手と反対の手に装着するため、教員の中には，“板書は書き易い”，“作業もやり易い”と回答コメントがあった。一方、指輪マウスは親指でマウスパッドを触りながらポインターの操作しなければならないため、利き手で操作する必要がある。したがって，“少し大きめの指輪を装着した

- (a)「画面操作インタフェース(第1世代)」
- (b)「画面操作インタフェース(第2世代)」

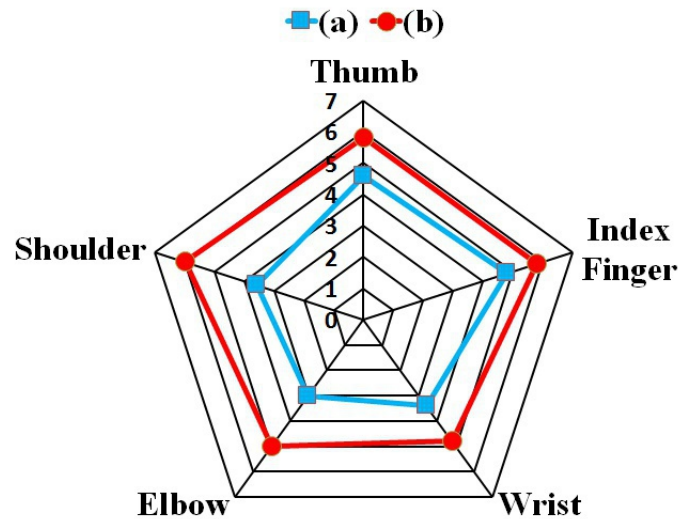


図 4.16 各部位における「画面操作インタフェース (第1世代)」と「画面操作インタフェース (第2世代)」の比較結果

状態で板書は少し難しい”という回答もあり、「画面操作インタフェース (第2世代)」を使用した場合が最も高い評価結果になったと考えられる。

図 4.16 にインタフェース使用時の身体の各部位における疲労感について、「画面操作インタフェース (第1世代)」と「画面操作インタフェース (第2世代)」の比較結果を示す。本結果は7段階評価で数値が上がるに従って、疲労感が低くなることを表している。これより、「画面操作インタフェース (第2世代)」を使用した場合の方が各平均値は高くなっており、疲労感が軽減されていることがわかる。特に、肘及び肩の疲労感に関しては評価値の間に有意差 (有意水準 5%) が認められた。

さらに、レーダーチャートの形状より、「画面操作インタフェース (第2世代)」を使用した場合の疲労感の各平均値は均一であるが、「画面操作インタフェース (第1世代)」を使用した場合の疲労感の平均値の中で、特に肘と肩の疲労感が高くなっている。これは、「画面操作インタフェース (第1世代)」の装着箇所が手の甲であるため、ポインターを静止させるとき、手の甲を上にして床と平行に

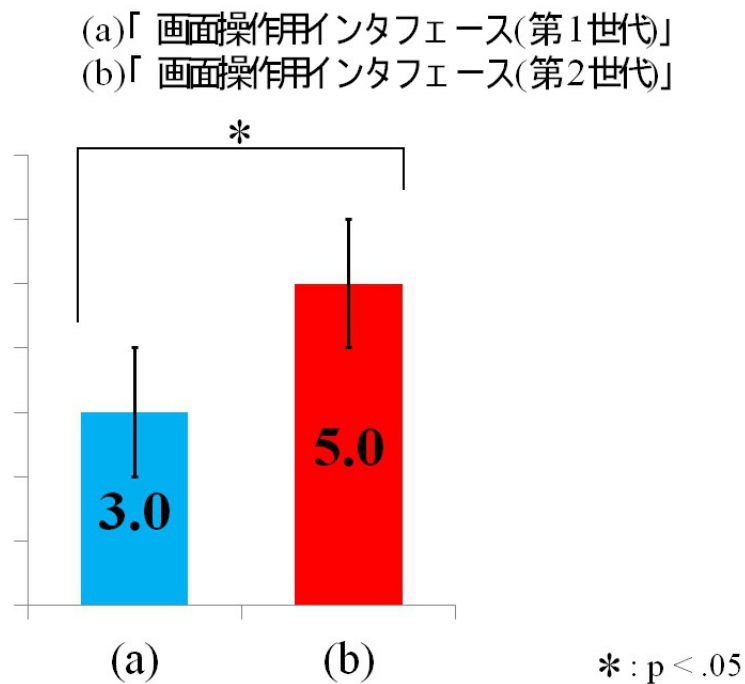


図 4.17 「画面操作用インタフェース」使用時における疲労感（肘）の比較結果

する必要がある。その状態からポインターを移動させるために、肘を支点として上下左右にインタフェースを操作しなければならないことが、肘や肩に疲労感を感じさせる要因になっていると考えられる。

同様に、図 4.19 に各部位における「画面操作用インタフェース（第 2 世代）」と指輪マウスの比較結果を、図 4.20 に「画面操作用インタフェース（第 2 世代）」と指輪マウス使用時における疲労感（親指）の比較結果を、図 4.21 に「画面操作用インタフェース（第 2 世代）」と指輪マウス使用時における疲労感（手首）の比較結果を、図 4.22 に「画面操作用インタフェース（第 2 世代）」と指輪マウス使用時における疲労感（肘）の比較結果を示す。

本結果より、親指については「画面操作用インタフェース（第 2 世代）」を使用した場合の方が疲労感は低くなっており、両者の間に有意差（有意水準 5%）が認められた。これは、指輪マウスのポインティング操作及びボタン操作も親指のみであるため、親指の疲労感が最も高くなったと考えられる。

さらに、教員の中には、“指輪マウスは、直線や円は操作しづらく、パッド操作

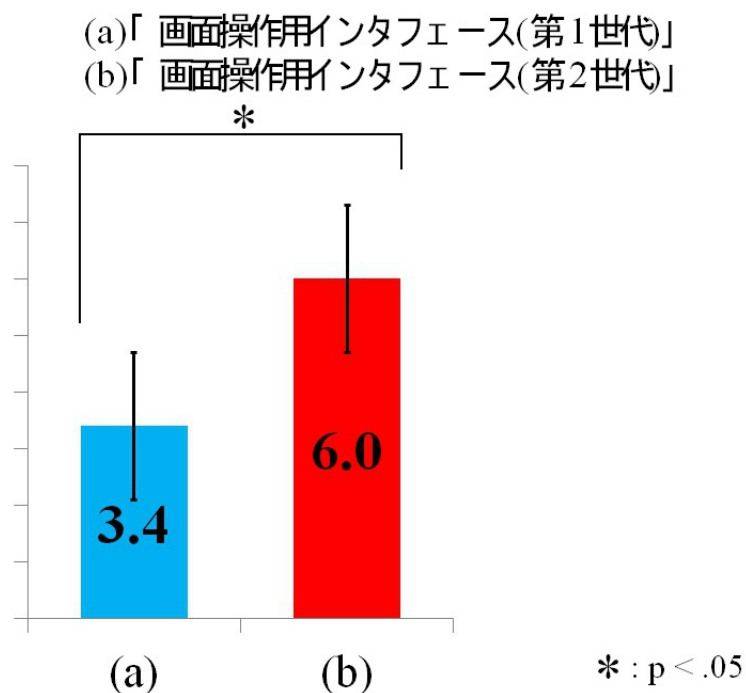


図 4.18 「画面操作インターフェース」使用時における疲労感（肩）の比較結果

時に他のボタンに触れることにより、誤動作するため、精神的に疲れる”，“評価実習の時間が10分程度であるため、「画面操作インターフェース（第2世代）」と指輪マウスの疲労感の差は出にくいですが、50分以上の通常の実習であれば指輪マウスは親指1本の操作であるため、疲労感は高くなる”と回答コメントがあった。しかし、一本の指で操作するよりも複数本の指や各部位で操作する方が疲労感の減少につながるという事例も報告もされており [49]，指輪マウスを実習時に長時間操作する場合、疲労感を感じる要因になると考えられる。

しかし、手首及び肘については「画面操作インターフェース（第2世代）」を使用した場合の方が疲労感が高く、両者の間に有意差（有意水準 5%）が認められた。さらに、「画面操作のインターフェース（第2世代）」のポインティング操作時、ポインタの移動及び停止させるときの手首や肘の状態において、感覚のずれによる違和感から、疲労感を覚えるといった現場の教員からの指摘があった。また、腕、肘及び手首に余計な力が入ることで、微妙なポインティング操作が難しいといった現場の教員からの指摘もあった。設計時、「画面操作のインター

(b)「画面操作インターフェース(第2世代)」
 (c) 指輪マウス

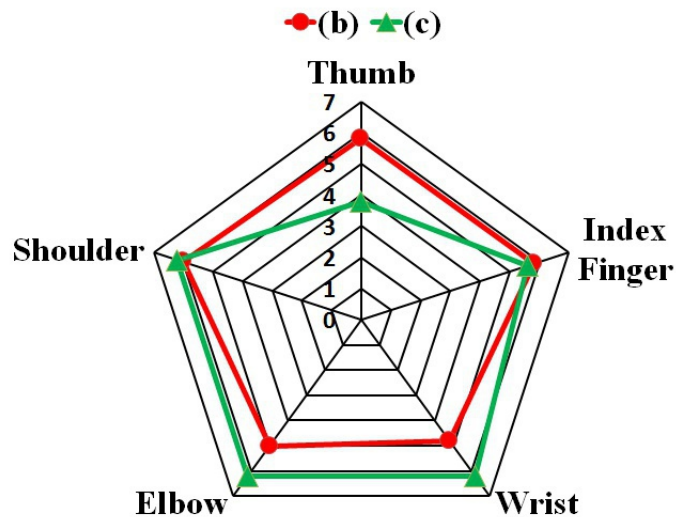


図 4.19 各部位における「画面操作インターフェース (第2世代)」と指輪マウスの比較結果

フェース (第2世代)」と「画面操作インターフェース (第1世代)」における加速度センサは、「画面操作インターフェース」装着時の位置が同じ状態であるため、どちらも同様の設定及びプログラムであった。また、不自然な腕の状態でのポインティング操作する場合は、肩、肘及び手首は自由に動作可能な状態である。しかし、自然な手首の状態でのポインティング操作する場合は、肩と肘が自然に固定された状態にある。そのため、自然な腕の状態は、手首のみで操作が可能であり、かつ手首の自由度が高く、不自然な腕の状態よりモーメントが増加するため、加速度が増加し、操作によるポインタの運動量は増加する傾向にある。したがって、自然な腕の状態での操作を行う「画面操作のインターフェース (第2世代)」は、「画面操作のインターフェース (第1世代)」と比較して、左右のポインタ移動時に、手首の加速度が増加したため、加速度が感覚よりも増加傾向であるにもかかわらず、加速度センサを制御するプログラムを修正しなかったことが、ポインティング操作において、疲労感を覚える要因になったと考えられる。

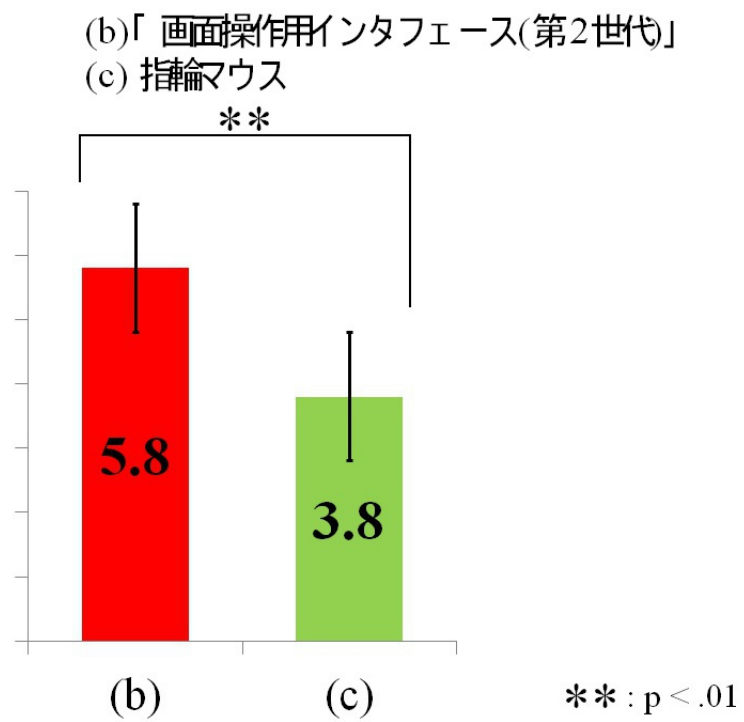


図 4.20 「画面操作インターフェイス (第2世代)」と指輪マウス使用時における疲労感 (親指) の比較結果

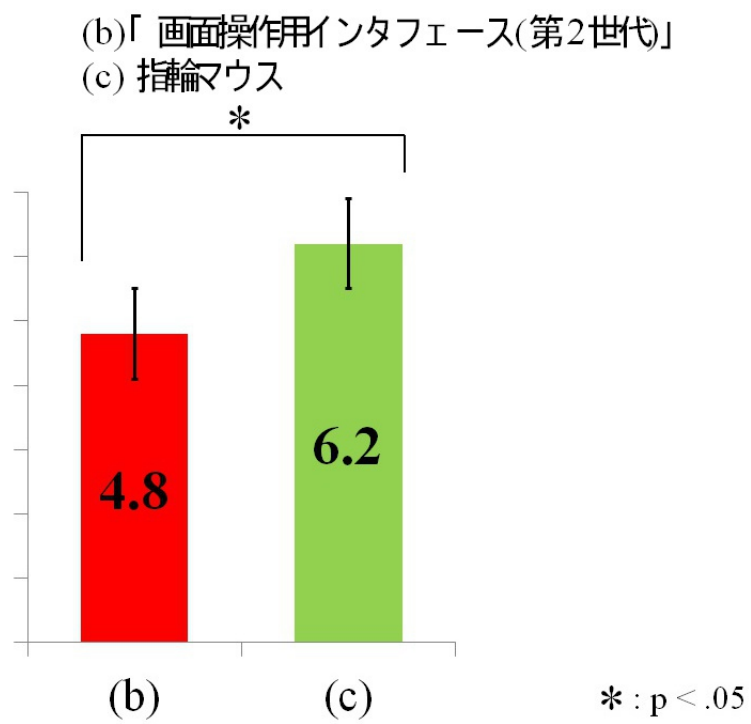


図 4.21 「画面操作インターフェイス (第2世代)」と指輪マウス使用時における疲労感(手首)の比較結果

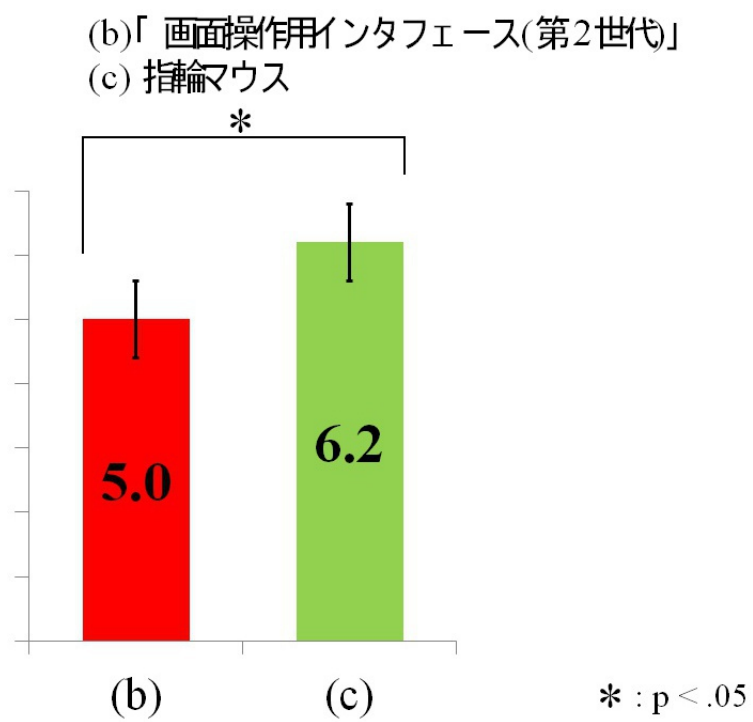


図 4.22 「画面操作インターフェイス (第2世代)」と指輪マウス使用時における疲労感(肘)の比較結果

4.6 まとめ

本章では、「ナチュラルアームアルゴリズム」の提案を行い、「ナチュラルアームアルゴリズム」によるICTを活用した実習における疲労感を軽減するための「画面操作作用インタフェース（第2世代）」の設計及び実装を行った。

さらに、「画面操作作用インタフェース（第1世代）」、「画面操作作用インタフェース（第2世代）」と指輪マウス [48] を用いて、現場の教員による模擬実習を実際に行い、模擬実習終了後の教員によるアンケートの評価結果を基に、「画面操作作用インタフェース（第2世代）」と指輪マウスが与える実習への効果やその有効性について検証を行った。評価結果から、提案した「画面操作作用インタフェース（第2世代）」は、疲労感が軽減されていることがわかり、従来のインタフェースよりも実習における有効性が高いことを示した。

しかし、手首及び肘については「画面操作作用インタフェース（第2世代）」を使用した場合の方が疲労感が高く、「画面操作作用のインターフェース（第2世代）」のポインティング操作時、ポインタの移動及び停止させるときの手首や肘の状態において、感覚のずれによる違和感から、疲労感を覚えるといった現場の教員からの指摘があった。要因として、自然な腕の状態で行う「画面操作作用のインターフェース（第2世代）」は、「画面操作作用のインターフェース（第1世代）」と比較して運動量が増加する傾向であるにもかかわらず、加速度センサを制御するプログラムを修正しなかったことが、ポインティング操作において、疲労感を覚える要因になったと考えられる。

次章では、自然な腕（ナチュラルアーム）の状態を認識させる「ナチュラルアームアルゴリズム」を用いたプログラム等の改善により、「画面操作作用インタフェース（第2世代）」から移行した「画面操作作用インタフェース（第3世代）」について述べる。

5. 教員の試用による「画面操作用インタフェース」と他のインタフェースの疲労感の比較

5.1 はじめに

近年の初等中等教育における工業教育では、情報技術の関係科目において、コンピュータシステムに関する学習内容の充実のために、コンピュータなどのICTの有効活用を推進している。

しかし、実習では説明時間が長くなることが多く、握力の消耗が大きく、インタフェース機器を手を持って操作しながら説明を行うことで、手のひらを上に向けた不自然な手首、肘や肩の位置での操作になる。さらに、インタフェース機器を持ち続けて使用することによって、常にインタフェース機器を意識することになり、肉体的、精神的においても疲労感を伴うといった問題も、現場では指摘されている [45]。

これら問題に対して、片手に装着可能な「画面操作用インタフェース（第2世代）」は、長時間使用した際にも、他のインタフェースより実習において、疲労感を軽減できる可能性が高いことがわかっている。しかし、ポインタを移動や停止させるときの手首や肘の状態において、感覚のずれによる違和感から、疲労感を覚えるといった現場の教員からの指摘もある。 [46]。

本章では、「自然な腕の状態を意識させる操作方法である「ナチュラルアームアルゴリズム」のプログラム等の改善により、性能を高め、作業等の円滑さを向上させた「画面操作用インタフェース（第3世代）」と指輪マウス(サンワサプライ株式会社 2016)を用いて、現場の教員による模擬実習を実際に行い、模擬実習終了後の教員によるアンケートを行う [29]。

5.2 「画面操作作用インタフェース（第3世代）」の設計及び実装

本研究では、これらの要件を考慮した「画面操作作用インタフェース（第3世代）」を提案し、設計及び実装を行った。本研究で設計及び実装を行った「画面操作作用インタフェース（第3世代）」の構成等は、「画面操作作用インタフェース（第2世代）」と同様である（第4章 「画面操作作用インタフェース（第2世代）」の設計及び実装参照）。

「画面操作作用インタフェース（第3世代）」のポインティング操作は、図4.6図に示す「画面操作作用インタフェース（第2世代）」のポインティング操作と同様であり、図4.6(c)に示すように、胴体と平行に肘を90度に曲げ、手を握手の状態かつ床に平行な位置で手を静止すると、画面上のマウスポインタは停止する。さらに、図4.6(a), (e)に示すように、手を握手の状態にして、かつ肘を支点として手を上下に傾けることで、画面上のマウスポインタを上下方向に移動させることが可能である。また、図4.6(b), (d)に示すように、手を握手の状態にして、かつ手首を左右に傾けることで、画面上のマウスポインタを左右方向に移動させることが可能である。

一方、図4.3のポインティング移動操作「画面操作作用インタフェース（第1世代）」も図4.6のポインティング移動操作「画面操作作用インタフェース（第2世代）」のどちらも、手首に装着されており、装着後の「画面操作作用インタフェース」の上下左右の位置は同様である。異なる点は、「画面操作作用インタフェース（第1世代）」は手首の甲に装着され、「画面操作作用インタフェース（第2世代）」は親指と人差し指と手首の三角部分に装着されている点である。しかし、手首及び肘については「画面操作作用インタフェース（第2世代）」を使用した場合の方が疲労感が高く、両者の間に有意差が認められた。さらに、「画面操作作用のインターフェース（第2世代）」のポインティング操作時、ポインタの移動及び停止させる時の手首や肘の状態において、感覚のずれによる違和感から、疲労感を覚えるといった現場の教員からの指摘があった。また、腕、肘及び手首に余計な力が入ることで、微妙なポインティング操作が難しいといった現場の教員からの指摘もあった。設計時、「画面操作作用のインターフェース（第2世代）」と「画面操作作用インタフェース（第1世代）」における加速度センサは、「画面操作作用インターフェー

ス」装着時の位置が同じ状態であるため、どちらも同様の設定及びプログラムであった。また、不自然な腕の状態でのポインティング操作する場合は、肩、肘及び手首は自由に動作可能な状態である。しかし、自然な手首の状態でのポインティング操作する場合は、肩と肘が自然に固定された状態にある。そのため、自然な腕の状態は、手首のみで操作が可能であり、かつ手首の自由度が高く、不自然な腕の状態よりモーメントが増加するため、加速度が増加し、操作によるポインタの運動量は増加する傾向にある。したがって、自然な腕の状態で行う「画面操作作用のインターフェース（第2世代）」は、「画面操作作用のインターフェース（第1世代）」と比較して、左右のポインタ移動時に、手首の加速度が増加したため、加速度が感覚よりも増加傾向であるにもかかわらず、加速度センサを制御するプログラムを修正しなかったことが、ポインティング操作において、疲労感を覚える要因になったと考えられる。前章の「ナチュラルアームアルゴリズム」の自然な腕の状態により、自然な手首の状態を意識して、プログラムの改善を行った。したがって、「画面操作作用インターフェース（第3世代）」は、ハードウェア部分は「画面操作作用インターフェース（第2世代）」と同様であり、ソフトウェア部分であるプログラムを改善して、実装を行った。

5.3 「画面操作インターフェース」と指輪マウスの操作時の疲労感の比較に関する評価及び考察 2

5.3.1 評価方法

前節で設計及び実装した「画面操作インターフェース（第3世代）」の試用による評価を行った。表 5.1 に本模擬実習の概要を、表 5.2 に本模擬実習の流れを示す。

評価方法として、著者が所属する高校の教員 7 名が「画面操作インターフェース（第3世代）」を操作しながら、生徒がいない状態で模擬実習を行った。実習内容とし

表 5.1 模擬実習の概要

場 所	星翔高校 電子工学科 コンピュータ実習室 A
実 施 日	2018 年 7 月 13 日 (電子工学科教員: 5 人) (機械工学科教員: 2 人)
対象・実習内容	工業技術系教員・模擬実習 (マイコン制御)

表 5.2 模擬実習の指導の流れ

指導の流れ	学 習 活 動
- 目的	プロジェクタを用いた説明
- 説明	実習方法の説明
- 関連知識	生徒なしで模擬演習
- 使用機器	
- 実習方法 (約 14 分)	
- 模擬実習 (約 14 分)	課題演習の方法を説明 生徒なしで模擬演習
- まとめ (約 2 分)	考察 レポート指導

て、本学で行っているマイコン制御実習の実習資料を使用した。さらに、インタフェースの比較対象として、指輪マウスを使用した場合で同様の模擬実習も行った。ただし、模擬実習の時間は、前回の模擬実習の3倍の約30分間であった。

5.3.2 評価結果及び考察

それぞれの模擬実習終了後に、以下の(1)~(3)の項目について、教員に対するアンケートによる評価結果を示す。評価結果として、各結果の7段階評価の平均値と割合を示している。また、各図の(a)が「画面操作用インタフェース(第3世代)」を使用した場合で、(b)が指輪マウスを使用した場合である。

- (1) インタフェース操作時の作業感
- (2) インタフェース装着時に板書する際の作業感
- (3) インタフェース使用時の疲労感

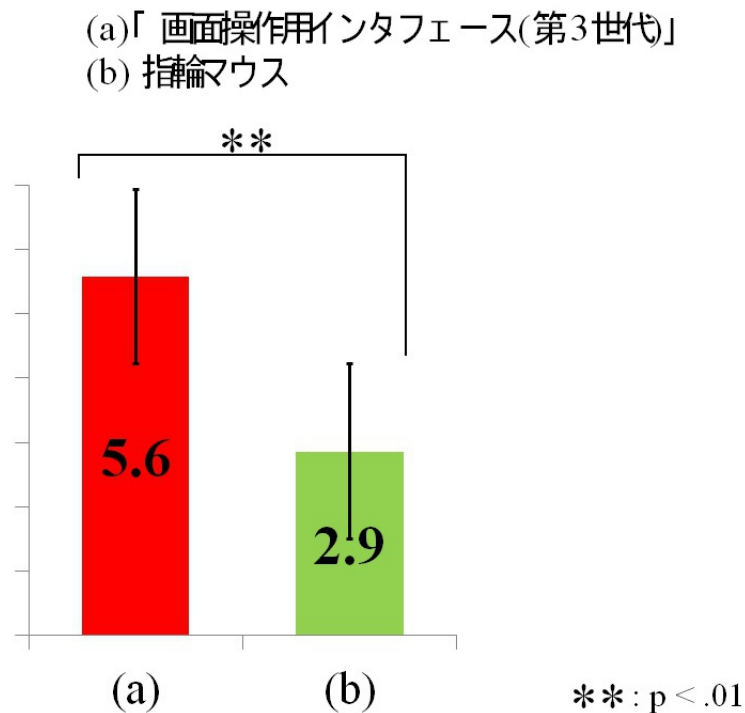


図 5.1 インタフェース操作時の作業感

(a)「画面操作インターフェース(第3世代)」
(b) 指輪マウス

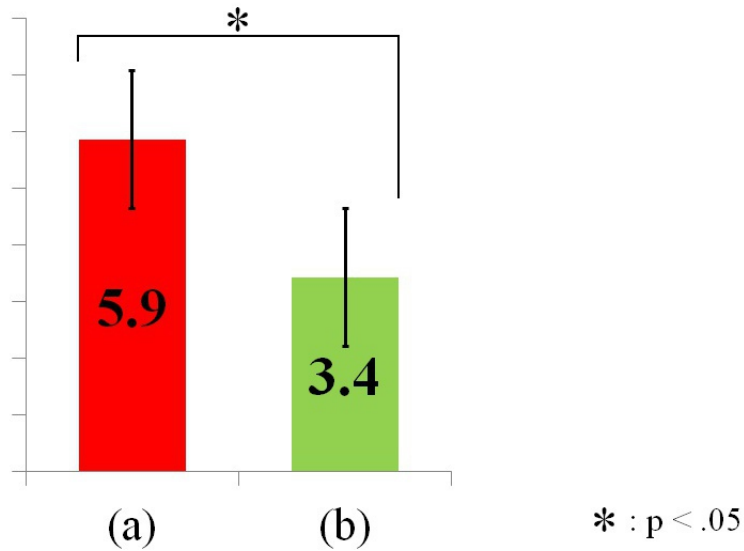


図 5.2 インタフェース装着時の作業感

インタフェース操作時の作業感(図5.1)については、「画面操作インターフェース(第3世代)」を使用した場合の方が平均値は高くなっており、指輪マウスを使用した場合の結果との間に有意差(有意水準1%)が認められた。前章で述べた、「画面操作インターフェース(第2世代)」を使用した場合の平均値の際は、有意差は認められなかったが、「ナチュラルアームアルゴリズム」を用いたプログラムの改善を行ったことや直感的に容易に操作できることが、「画面操作インターフェース(第3世代)」を使用した場合の平均値に有意差が認められた要因と考えられる。さらに、教員の意見の中で、“指輪マウスと比較して操作を容易にできるので使いやすい”、“指輪マウスは、初心者には良いが、慣れれば「画面操作インターフェース(第3世代)」の方が操作性はよくなる”など、実習中に生徒が感じた感覚と実際の操作感が同様であった。また、「画面操作インターフェース(第3世代)」に関しては、“脇を締めれば、ポインティング操作が容易になる”という意見があった。しかし、指輪マウスに関しては、“操作しづらい”、“パッド操作時に他の所に触れてしまい誤動作する”、“クリックをしたつもりでも、違

(a)「画面操作インタフェース(第3世代)」
 (b) 指輪マウス

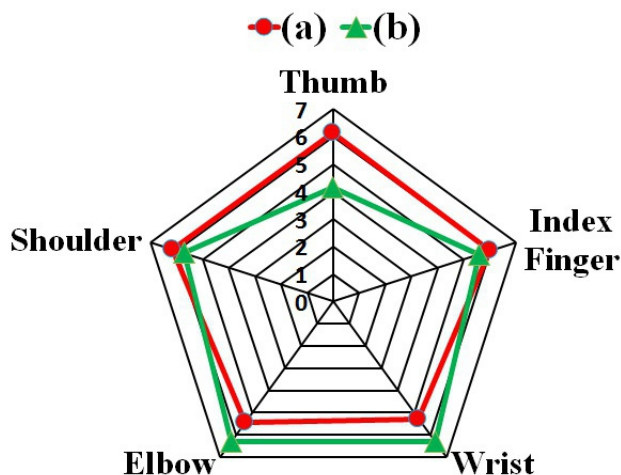


図 5.3 各部位における「画面操作インタフェース (第3世代)」と指輪マウスの比較結果

うボタンを押してしまうことがある”などの意見が多かった。

また、インタフェース装着時の作業感 (図 5.2) については、画面操作インタフェース (第3世代) を使用した場合の方が平均値は高くなっており、指輪マウスを使用した場合の結果との間に有意差 (有意水準 5%) が認められた。前章で述べた、「画面操作インタフェース (第2世代)」を使用した場合の平均値の際は、有意差は認められなかったが、「ナチュラルアームアルゴリズム」を用いたプログラムの改善を行ったことや直感的に容易に操作できることが、「画面操作インタフェース (第3世代)」を使用した場合の平均値に有意差が認められた要因と考えられる。教員の意見の中で、「画面操作インタフェース (第3世代)」に関しては、“利き手と反対の手首に装着するため、板書の際には特に問題はない”が、指輪マウスに関しては、“利き手の人差し指に装着しなければ、操作は難しく、利き手の人差し指に装着した状態では板書しづらい”との意見であった。

さらに、インタフェース使用時の疲労感 (親指) (図 5.4) については、「画面操作インタフェース (第3世代)」を使用した場合の方が平均値は高くなってお

(a)「画面操作用インタフェース(第3世代)」
(b) 指輪マウス

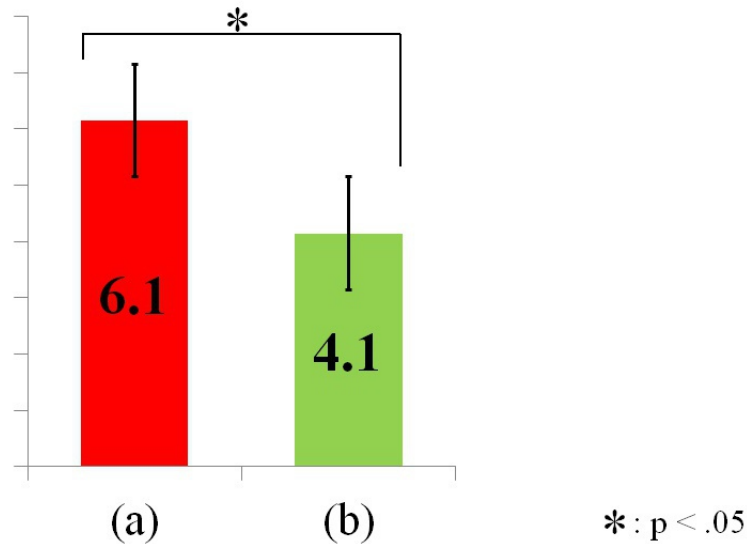


図 5.4 インタフェース使用時の疲労感（親指）

り、指輪マウスを使用した場合の結果との間に有意差（有意水準 5%）が認められた。前章で述べた、「画面操作用インタフェース（第 2 世代）」を使用した場合の平均値の際は、指輪マウスを使用した場合の平均値の方が高く、手首及び肘に有意差（有意水準 5%）が認められた。また、「ナチュラルアームアルゴリズム」を用いたプログラムの改善を行ったことや直感的に操作できることで、「画面操作用インタフェース（第 3 世代）」を使用した場合の平均値において、手首及び、肘も有意差が認められなくなった。さらに、教員の意見の中で、“「画面操作用インタフェース（第 3 世代）」は、ペンで線を引くとき、止まらず一気に引けて楽であり、全体的に疲労度が低かった”，“ 実習の時間が短ければ、「画面操作用インタフェース（第 3 世代）」と指輪マウスの疲労度の差は出ないが、120 分以上の実習であれば指輪マウスは親指 1 本の操作であるため疲労度は高くなる”，“ 指輪マウスは、ポインティング操作でカーソル移動させるために小刻みに何回も動かさないといけないので、長時間使用すると疲労する” など、試用によって疲労度が「画面操作用インタフェース（第 3 世代）」の方が低く感じられたことや実際の現

場で使用する場合の疲労度が予測可能なことが、疲労感に有意差が認められる要因になったと考えられる。

したがって、「画面操作用インタフェース（第3世代）」は、親指のみで操作を行う指輪マウスと比較し、親指の疲労感に有意差が認められ、それ以外の部位において疲労感に有意差が認められないため、疲労感の軽減に関して有用性があると考えられる。

5.4 まとめ

本章では、「ナチュラルアームアルゴリズム」を用いたプログラム等の改善により、「画面操作作用インタフェース（第2世代）」から「画面操作作用インタフェース（第3世代）」に移行して、ポインティング操作等の円滑さを向上させた。現場の教員より、ポインタを移動や停止させるときの手首や肘の状態において、感覚のずれによる違和感から、疲労感を覚えるといった指摘があり、自然な腕の状態で行う「画面操作作用のインターフェース（第2世代）」は、「画面操作作用のインターフェース（第1世代）」と比較して、左右のポインタ移動時に、手首の加速度が増加したため、加速度が感覚よりも増加傾向にもかかわらず、加速度センサを制御するプログラムを修正しなかったことが、ポインティング操作において、疲労感を覚える要因になったと考えられる。そのため、自然な腕（ナチュラルアーム）の状態を認識させる「ナチュラルアームアルゴリズム」を用いたプログラム等の改善により、「画面操作作用インタフェース（第2世代）」から「画面操作作用インタフェース（第3世代）」に移行して、ポインティング操作等の円滑さを向上させた。その結果、「画面操作作用インタフェース（第3世代）」は、長時間使用しても他のインタフェースよりも実習における疲労感を軽減できる可能性が高く、有用性があると考えられる。

6. 結論

6.1 おわりに

本研究は、情報教育が直面する ICT の活用において、身近な課題の解決を研究動機とし、初等中等教育における ICT を活用した実習を行うための次世代インタフェースの確立を目指し、「画面操作用インタフェース」を提案した。

まず、初等中等教育における電子資料や視聴覚教材などの ICT を活用した実習における課題を指摘し、それを解決するために「画面操作用インタフェース（第1世代）」の設計及び実装を行った。

さらに、「画面操作用インタフェース（第1世代）」を用いて電子資料や視聴覚教材などの ICT を活用した実習を行い、実習中における教員と生徒とのコミュニケーションの円滑化への効果について評価を行った。本評価結果より、従来の実習よりも教員と生徒間の face to face が増加して、円滑な実習の進行に効果があることを示した。しかし、長時間の実習のため、画面操作により腕、肘や手首に疲労感を感じ、常にインタフェース機器を意識することになり、肉体的、精神的においても疲労感を伴うことがわかった。

一方、ICT を活用した実習は、一般的な授業と比較し、長時間行われるため、コンピュータの画面操作による疲労感を伴うことをつきとめ、疲労感を軽減する「ナチュラルアームアルゴリズム」を提案し、ICT を活用した実習における疲労感を軽減するための「画面操作用インタフェース（第2世代）」の設計及び実装を行った。

さらに、教員による模擬実習において、「画面操作用インタフェース（第2世代）」を試用して評価した。評価結果から、提案した「画面操作用インタフェース（第2世代）」は、疲労感が軽減されていることがわかり、従来のインタフェースよりも実習における有効性が高いことを示した。

しかし、自然な腕の状態で行う「画面操作用のインターフェース（第2世代）」は、「画面操作用のインターフェース（第1世代）」と比較して、左右のポインタ移動時に、手首の加速度が増加したため、加速度が感覚よりも増加傾向にもかかわらず、加速度センサを制御するプログラムを修正しなかったことが、ポ

インテュイティブ操作において、疲労感を覚える要因になったと考えられる。

そのため、自然な腕（ナチュラルアーム）の状態を認識させる「ナチュラルアームアルゴリズム」を用いたプログラム等の改善により、「画面操作用インタフェース（第2世代）」から「画面操作用インタフェース（第3世代）」に移行して、ポインティング操作等の円滑さを向上させた。その結果、「画面操作用インタフェース（第3世代）」は、長時間使用しても他のインタフェースよりも実習における疲労感を軽減できる可能性が高く、有用性があると考えられる。

本論文の主な成果として、ユーザインタフェース技術を考える上で、ユーザビリティの認知性及び操作性が重要視される傾向がある中で、ユーザビリティの快適性を重要視したことは提案性があると思われる。また、これからの授業は実習形式が重要になってゆくことを見据えて、一般的な授業と比較し、長時間行われる実習にフォーカスし、疲労感を軽減をアルゴリズム化し、インタフェースに実装して実体化に取り組んできた。

さらに、ICTの活用を考える上で、e-learningなどシステムを導入する際、コストパフォーマンスが原因で、初等中等教育においてはICTの活用が推進しない傾向にある。その中で、既存のシステムにおいて、ICTの活用を推進することが可能な「画面操作用インタフェース」を考案した点は提案性があると思われる。その際、実習室の生徒側からコンピュータの画面操作を行う点には独創性があり、教員と生徒間のコミュニケーションの円滑化及び疲労感を軽減に関して、現場の教員による試用により効果を確認していることから、有用性があると考えられる。

また、自然な腕の状態において、疲労感が軽減される可能性を見出した「ナチュラルアームアルゴリズム」は独創的であり、自然な腕の状態をアルゴリズム化し、例示したことには提案性があると考えられる。さらに、現場の教員による試用により、従来の手法との比較を実施していることで、有用性が確認できる。

6.2 展望

第1章の研究の背景と動機の節で述べたように、指導内容の変化に対応し、教員と生徒間のコミュニケーションを図りながら、楽しく学ぶことができる実習を目指すために、電子資料や視聴覚教材などのICTを活用して実習を行う場合の身近な問題点を指摘し、改善を試みた。さらに、ライントレースロボットの製作や全日本ロボット相撲大会出場ロボットの製作を説明するためのインタフェースが必要になり、教員と生徒間でコミュニケーションを図りながら、電子資料や視聴覚教材などのICTを活用して実習を行うための「画面操作作用インタフェース（第1世代）」について研究を行うに至った。

しかし、初等中等教育に従事している教員は、学校週5日制実施後、授業時間数は現状維持、校務分掌、ボランティア活動等に拘束されるため、時間に余裕がない。実際に、第5章の“教員の試用による「画面操作作用インタフェース（第2世代）」、「画面操作作用インタフェース（第3世代）」と他のインタフェースの疲労感の比較の節で評価を行ったが、試用の要請を依頼するのが困難であり、試用を承諾する教員も少ないのが現状である。

研究活動を継続するためには、「画面操作作用インタフェース（第3世代）」の試用を依頼する環境を構築する必要がある。例えば、一つの方法として、高等教育機関で教育者や研究者を目指す学生に「画面操作作用インタフェース（第3世代）」の試用を依頼し、小学生や中学生に対して、出前授業などでロボット製作の指導を行うことである。さらに試用以外では、新型「画面操作作用インタフェース（第4世代）」の設計及び実装や「画面操作作用インタフェース」専用アプリケーションの設計及び実装を行うことである [54-63]。

一方、ICTの活用を推進するため、新学習指導要領に従い、小学生にはプログラミング、中学生には技術・家庭科においてICTを活用した教育を行うことは必要である。しかし、ソフトウェアだけでなくハードウェアも取り入れバランスの取れた教育が必要であると思われる。つまり、ハードウェアとはものづくりのことであり、工作により手を動かすことで脳を活性化し、イメージ通りに手を動かせるように訓練する必要がある。長年に渡り工業高校の生徒を指導してきたが、ものづくりを経験する生徒が年々減少している。ゲームの台頭など趣味・娯楽の

増加は否めないが、経験する機会に恵まれない環境であることも否めない。負の連鎖により、ものづくりに興味・関心の無い生徒は減少し続けると考えられる。したがって、中身（ICT）を入れる器（ものづくり）をセットで教育するツールとして「画面操作インターフェース」を活用する方法を検討したい。

参考文献

- [1] 岡本敏雄, 生田孝至, 西之園晴夫, 永野和男, 近藤勲, 矢野米雄, 近藤喜美夫. インターネット時代の教育情報工学1 ニューパラダイム編. 森北出版, 2000.
- [2] 狭間浩史, 江原康生, 小笠原司. 画面操作用インタフェースによるPCを活用した授業の円滑化に関する研究. 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 116, No. 517, p. 167–172, 2017.
- [3] 文部科学省. 高等学校学習指導要領解説工業編. http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/__icsFiles/afiedfile/2019/04/11/1407073_14_1_1_2.pdf (2019/06/23 閲覧), 2019.
- [4] 文部科学省. eラーニングに関する実態調査. http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/giji/__icsFiles/afiedfile/2019/01/23/1412955_001.pdf (2019/06/27 閲覧), 2016.
- [5] 狭間浩史, 堀井洋, 江原康生, 小山田耕二, 金澤正憲. 画面操作用インタフェースによるpcを活用した授業の円滑化に関する研究. 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 103, No. 536, p. 71–75, 2003.
- [6] 狭間浩史, 堀井洋, 江原康生, 小山田耕二, 金澤正憲. 画面操作用インタフェースによるpcを活用した授業の円滑化について. 京都大学学術情報メディアセンターシンポジウム報告集, Vol. 1, No. 2, p. 82–87, 2004.
- [7] 狭間浩史, 久木元伸如, 堀井洋, 江原康生, 小山田耕二. 加速度センサを用いた装着型画面操作用インタフェース. 日本バーチャルリアリティ学会第9回大会論文集, p. 3–4, 2004.
- [8] 狭間浩史, 中峯浩. 総合的な学習の時間におけるライントレースロボットの製作. 日本産業技術教育学会第49回全国大会講演要旨集, p. 99, 2006.
- [9] 文部省. 臨時教育審議会「教育改革に関する第二次答申」(抄). http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/015/siryo/attach/1400407.htm (2019/06/26 閲覧), 1986.

- [10] 日本教育情報学会. 教育課程の基準の改善について 昭和62年12月29日教育課程審議会最終答申. 教育情報研究, Vol. 3, No. 4, p. 64-95, 1988.
- [11] 文部省. 平成元年告示学習指導要領. http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/old-cs/index.htm (2019/06/23 閲覧), 1989.
- [12] 文部科学省. 情報教育の実践と学校の情報化 新「情報教育に関する手引」～. http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/020706.htm (2019/06/26 閲覧), 2002.
- [13] 文部科学省. 文部科学省設置法. <https://www.kantei.go.jp/jp/cyuo-syocho/990427honbu/bunka-h.html> (2019/06/23 閲覧), 2015.
- [14] 堀田龍也. 初等中等教育における情報教育. 日本教育工学会論文誌, Vol. 40, No. 3, p. 131-142, 2016.
- [15] 日本教育情報学会. 21世紀を展望した我が国の教育の在り方について: 中央教育審議会第一次答申. 教育情報研究, Vol. 12, No. 1, p. 17-54, 1996.
- [16] 中央教育審議会. 21世紀を展望した我が国の教育の在り方について(第一次答申). http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chuuou/toushin/960701.htm (2019/06/23 閲覧), 1996.
- [17] 文部省. 体系的な情報教育の実施に向けて(第1次報告). http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/002/toushin/971001.htm (2019/06/23 閲覧), 1997.
- [18] 文部省. 情報化の進展に対応した教育環境の実現に向けて(情報化の進展に対応した初等中等教育における情報教育の推進等に関する調査研究協力者会議最終報告). http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/002/toushin/980801.htm (2019/06/26 閲覧), 1998.
- [19] 文部省. 平成10年告示学習指導要領. http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/old-cs/index.htm (2019/06/26 閲覧), 1998.

- [20] 藤間真. 情報教育の過去・現在・未来 マクロな視点から. 情報管理, Vol. 51, No. 9, p. 667–683, 2008.
- [21] 文部科学省. 学校における教育の情報化の実態等に関する調査結果【速報値】について. http://www.mext.go.jp/b_menu/houdou/30/08/1408598.htm (2019/06/27 閲覧), 2018.
- [22] 福井辰哉, 山本豪志朗, 武富貴史, Christian Sandor, 加藤博一. 複数大画面に対する絶対及び相対座標指定に基づくジェスチャ入力手法. 情報処理学会 インタラクション 2015, p. 691–696, 2015.
- [23] 狭間浩史, 江原康生. 初等中等教育における電子黒板とプロジェクターの併用を可能とする画面操作インターフェースの提案. 日本教育工学会第31回全国大会講演論文集, p. 485–486, 2015.
- [24] 文部科学省. 教育の情報化に関する手引. http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/1259413.htm (2019/06/23 閲覧), 2010.
- [25] 文部科学省. ICTの活用の推進. http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/hpab201801/1407992_018.pdf (2019/06/23 閲覧), 2018.
- [26] 文部科学省. 高等学校学習指導要領解説総則編. http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/__icsFiles/afieldfile/2019/03/28/1407073_01_1_1.pdf (2019/06/23 閲覧), 2019.
- [27] 文部科学省. 高等学校学習指導要領解説情報編. http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/__icsFiles/afieldfile/2019/03/28/1407073_11_1_1.pdf (2019/06/23 閲覧), 2019.
- [28] Hiroshi Hazama, Yasuo Ebara, Tsukasa Ogasawara. Development and evaluation of interface for screen operation for smooth practical training using ict in elementary and secondary education. *Proceedings 2018 International Symposium on Educational Technology (ISET2018)*, pp. 104–107, 2018.

- [29] Hiroshi Hazama, Yasuo Ebara, Tsukasa Ogasawara. Design and evaluation on interface for screen operation for supporting practical training using ict in elementary and secondary education. *International Journal of Innovation and Learning*, This paper was accepted on June 22, 2019.
- [30] 福本雅朗, 外村佳伸. “指釦”: 手首装着型コマンド入力機構. 情報処理学会論文誌, Vol. 40, No. 2, p. 389–398, 1999.
- [31] 塚田浩二, 安村通晃. Ubi-finger : モバイル指向ジェスチャ入力デバイスの研究. 情報処理学会論文誌, Vol. 43, No. 12, p. 3675–3684, 2002.
- [32] Kouji Tsukada, Michiaki Yasumura. Ubi-finger: A simple gesture input device for mobile and ubiquitous environment. *Journal of Asian Information Science and Life*, Vol. 2, No. 2, p. 111–120, 2004.
- [33] サンワサプライ株式会社. 空中マウス (400-ma049). <http://direct.sanwa.co.jp/ItemPage/400-MA049> (2019/06/30 閲覧), 2013.
- [34] 株式会社ロジクール. Wireless presenter r400. <https://www.logicool.co.jp/ja-jp/product/wireless-presenter-r400> (2019/06/30 閲覧), 2014.
- [35] 岡田隆三, 風間久, 鈴木孝子. PC向けユーザインタフェース「ハンドジェスチャリモコン」. 映像情報メディア学会誌, Vol. 64, No. 12, p. 1812–1815, 2010.
- [36] 池司, 中州俊信, 岡田隆三. 自然な手振りによるハンドジェスチャユーザーインタフェース. 東芝レビュー, Vol. 67, No. 6, p. 36–39, 2012.
- [37] 後閑哲也. 電子工作のためのPIC活用ガイドブック. 技術評論社, 2000.
- [38] 山岸誠仁. USBハード&ソフト開発のすべて. CQ出版, 2001.
- [39] 後閑哲也. 改訂版電子工作のためのPIC18F本格活用ガイド. 技術評論社, 2008.

- [40] 秦明宏. センサと計測で学ぶP I Cマイコン講座. C Q出版, 2008.
- [41] 鈴木哲哉. P I CとC言語の電子工作. ラトルズ, 2009.
- [42] 高田直人. 1 ランク上のP I Cマイコンプログラミング. 東京電機大学出版局, 2013.
- [43] 後閑哲也. P I Cではじめるアナログ回路. 技術評論社, 2014.
- [44] 狭間浩史, 江原康生, 小笠原司. 初等中等教育の ict を活用したものづくり実習における疲労感を軽減するための画面操作用インタフェースの開発. 日本教育工学研究報告集, Vol. 17, No. 5, p. 125–128, 2017.
- [45] Hiroshi Hazama, Yasuo Ebara, Tsukasa Ogasawara. A study on interface for screen operation to reduce tiredness at manufacturing training using ict in elementary and secondary education. *The Twenty-Third International Symposium on Artificial Life and Robotics(AROB 23rd 2018)*, p. 572–575, 2018.
- [46] Hiroshi Hazama, Yasuo Ebara, Tsukasa Ogasawara. Study on interface for screen operation to reduce tiredness at practical training using ict in elementary and secondary education. *Artificial Life and Robotics*, Vol. 24, No. 2, p. 262–269, 2019.
- [47] Kokuyo Co., Ltd. 黒曜石 (ela-fp1). <http://www.kokuyo-st.co.jp/stationery/fp/> (2019/06/30 閲覧), 2013.
- [48] サンワサプライ株式会社. 指輪マウス (400-ma077). <http://direct.sanwa.co.jp/ItemPage/400-MA077> (2019/06/30 閲覧), 2016.
- [49] 浅井智也, 田川善彦. 手指等尺性屈曲保持における負荷タイプの違いによる疲労差. 日本機械学会論文集 (C 編) , Vol. 78, No. 790, p. 217–226, 2014.
- [50] 満田隆, 田中伸治. 前腕圧迫による重量感提示時の上肢筋活動. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 19, No. 4, p. 449–456, 2014.

- [51] 後閑哲也. C言語ではじめるPIC24F活用ガイドブック. 技術評論社, 2007.
- [52] 太田俊介, 神代充, 山内仁, 渡辺富夫, 柴田論, 山本智規. 人間との握手接近動作を行う小型握手ロボットシステム. 日本機械学会論文集 (C編), Vol. 79, No. 803, p. 144–154, 2013.
- [53] 太田俊介, 神代充, 山内仁, 渡辺富夫. 接近を伴う握手要求動作を生成する握手ロボットシステム. 日本機械学会論文集, Vol. 81, No. 825, 2015. DOI: 10.1299/transjsme.14-00316.
- [54] 後閑哲也. 高速・多機能を実現するPIC32MX活用ガイドブック. 技術評論社, 2010.
- [55] 後閑哲也. 改訂新版PICで楽しむUSB機器自作のすすめ. 技術評論社, 2011.
- [56] 櫻木嘉典. 図解PICマイコンとネットワーク. オーム社, 2012.
- [57] 後閑哲也. PICで楽しむBluetooth・Wi-Fi機器自作. 技術評論社, 2013.
- [58] 寺前裕司. Bluetooth無線でワイヤレスI/O. CQ出版, 2015.
- [59] Hiroshi Hazama, Naohisa Sakamoto, Hiroshi Horii, Yasuo Ebara, Kouji Koyamada. Multi-viewpoint videos merging system using auto-stereoscopic display in tele-immersion. *The 4th IASTED International Conference on Visualization, Imaging, and Image Processing (VIIP2004)*, p. 719–724, 2004.
- [60] Jorji Nonaka, Nobuyuki Kukimoto, Naohisa Sakamoto, Hiroshi Hazama, Yasuhiro Watashiba, Xuezheng Liu, Masato Ogata, Masanori Kanazawa, Kouji Koyamada. Hybrid hardware-accelerated image composition for sort-last parallel rendering on graphics clusters with commodity image compositor. *IEEE/SIGGRAPH Symposium on Volume Visualization and Graphics 2004 (VolVis 2004)*, p. 17–24, 2004.

- [61] Takahisa Ando, Ken Mashitani, Masahiro Higashino, Hideyuki Kanayama, Haruhiko Murata, Yasuo Funazou, Naohisa Sakamoto, Hiroshi Hazama, Yasuo Ebara, Koji Koyamada. Multiview image integration system for glassless 3d display. *Proceedings of SPIE –Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems XII*, Vol. 5664, p. 158–166, 2005.
- [62] Yasuo Ebara, Hiroshi Hazama. A study on practical training with multiple large-scale displays in elementary and secondary education. *21st International Conference on Network-Based Information Systems*, p. 494–502, 2018.
- [63] Yasuo Ebara, Hiroshi Hazama. Study on effective practical training with multiple large-scale display systems in elementary and secondary education. *Int. J. Space-Based and Situated Computing*, Vol. 9, No. 1, p. 40–46, 2019.

謝辞

本研究を論文にまとめるにあたり、非常に多くの方々のご指導及びご協力を受け賜りましたことに心より感謝申し上げます。

推薦教員 奈良先端科学技術大学院大学 小笠原 司 教授には、社会人博士過程に入学させていただき、さらに、博士論文審査（論文博士）の機会を与えていただきました。その際、長きに渡り丁寧かつ適切なご指導をいただき感謝しております。

審査委員 同学 加藤 博一 教授，高松 淳 准教授には、丁寧かつ適切なご指導をいただき感謝しております。

本論文の基礎となる研究開発は、参考文献リストに列挙したとおり、共同研究者のご指導，ご支援及びご協力によるものです。共同研究先の教員，研究室スタッフ及び学生の皆様にお礼申し上げます。その中において，京都大学 学術情報メディアセンター 江原 康生 准教授には，長きに渡り熱心なご指導をいただき感謝しております。

同学ロボティクス研究室のスタッフ，OB，学生の皆様及び同学の皆様には研究会，授業及び公聴会ほか，様々な議論の機会を通じて重要な示唆をいただき感謝しております。

研究と仕事の両立のために，浪工学園 星翔高等学校の教職員及び生徒の皆様には，ご配慮及びご協力をいただき感謝しております。

研究と仕事の二足の草鞋で博士号取得を目指したため，自暴自棄になるときもありました。その際，恩人や友人より叱咤激励をいただいたことで，博士号取得を目指すことができることに感謝し，謙虚かつ素直な気持ちで，博士号取得に臨むことができました。精神面でご支援をいただいたことに感謝しております。

妻子の理解と協力を感謝します。