

修士学位論文

論文題目 タンジブルユーザインタフェースを用いた

情報提示可能な作業機の開発

ふ り が な
氏 名

あ べ ひ で ゆ き
阿 部 秀 之

専 攻

機 械 工 学 専 攻

指 導 教 授

金 丸 隆 志 准 教 授

修 了 年 月 (西 暦)

2017年3月

工学院大学大学院

論文要旨

顧客価値観の多様化により、工場での生産は少品種多量生産から多品種少量生産に変化している。多品種少量生産に適した生産体制としてセル生産方式が注目されている。しかしセル生産方式では作業者が様々な技能を要すること、そして製品の品質が作業者の能力によって左右されてしまうことの2点のデメリットがある。そこでセル生産方式にITを取り入れることで効率化し、作業者の負担を減らす試みが進んでいる。

本研究では、タンジブルユーザインタフェースを用いた作業機を開発し、評価を行う。作業に習熟していない作業者に対して情報提示による作業支援を行い、作業の効率化を図る。タンジブルユーザインタフェースにはカメラとプロジェクターを用いたものを採用し、作業者の精神的な負担にならないように配慮をした。また評価方法にCSTLXを用いることで、開発したシステムによる精神的負担の評価を行った。

目次

目次	1
図目次	3
表目次	5
第1章 緒言	6
1.1 研究の背景	6
1.1.1 セル生産	6
1.1.2 セル生産方式の特徴	7
1.1.3 ITによる作業支援	9
1.1.4 新人育成と技術伝承	11
1.2 研究の目的	13
第2章 作業支援と TUI	14
2.1 作業支援	14
2.1.1 ITを用いた作業支援の例	14
2.2 TUI	17
2.2.1 TUIを用いた研究例	17
2.3 研究の方針	19
第3章 TUI 作業机システムの構成	20
3.1 TUI 作業机システムの概要	20
3.2 TUI 作業机システムの構成	21
3.3 設計コンセプト	22
3.4 TUI 作業机システムのハードウェア	23
3.4.1 プロジェクター	23
3.4.2 Web カメラ	24
3.4.3 Web カメラ設置のための器具	25
3.5 TUI 作業机システムのソフトウェア	28
3.5.1 仕様	28
3.5.2 作業検知方法	28
3.5.3 作業の開始と初期設定	31
3.5.4 作業画面	33
3.5.5 作業の終了	34
第4章 TUI 作業机システムの評価と考察	35
4.1 NASA-TLX	35
4.1.1 NASA-TLX	35

4.1.2	日本語版 NASA-TLX.....	37
4.2	評価	38
4.2.1	評価実験	38
4.2.2	評価結果	41
4.3	考察	43
第5章	結言.....	47
5.1	結論	47
5.2	今後の課題	48
	参考文献	51
	謝辞	53
	付録	54

図目次

図 1-1	セル生産方式とライン生産方式[1]	6
図 1-2	生産年齢人口の推移[2]	9
図 1-3	デジタル屋台[3]	10
図 1-4	自社の強み[5]	11
図 1-5	熟練技能の伝承に向けた取組[6]	12
図 1-6	製造業における新卒採用者を一人前と見なすまでの期間[6]	12
図 2-1	ロボットと人間の協調作業[7]	14
図 2-2	HMD[8]	15
図 2-3	水平型ディスプレイ(左)と立置型ディスプレイ(右)[9]	16
図 2-4	musicBottles[10]	17
図 2-5	Reactable[11]	18
図 3-1	TUI 作業机システムの概要	20
図 3-2	作業机システムの構成図	21
図 3-3	プロジェクタ EB-580[12]	23
図 3-4	Web カメラ C920R[13]	24
図 3-5	TUI 作業机システム	25
図 3-6	敷板	26
図 3-7	パイプスタンド	26
図 3-8	ふたまたジョイント	26
図 3-9	ジョイント	26
図 3-10	Φ28 パイプ(1500mm)	27
図 3-11	Φ28 パイプ(600mm)	27
図 3-12	自由雲台挟み込み型	27
図 3-13	作業検知のフローチャート	29
図 3-14	初期設定画面 1	31
図 3-15	初期設定画面 2	32
図 3-16	作業画面	33
図 3-17	電池の取得工程の作業画面	34
図 3-18	作業の終了画面	34
図 4-1	NASA-TLX の 6 項目[14]	36
図 4-2	評価実験の流れ	38
図 4-3	LED 表示タイマーキット	39
図 4-4	フルカラーLED 点灯・点滅キット	39
図 4-5	各回路における作業達成時間の平均	43

図 4-6	フルカラーLED.....	43
図 4-7	各パターン別の作業達成時間の平均	44
図 4-8	各パターン別の CSTLX の平均値の平均	46
図 5-1	アドバイスの位置.....	48

表目次

表 3-1	プロジェクター EB-580 の仕様.....	23
表 3-2	Web カメラ C920R の仕様.....	24
表 3-3	各ピクセル値.....	29
表 4-1	LED 表示タイマーセット	39
表 4-2	フルカラーLED 点灯・点滅セット	39
表 4-3	作業人数振り分け	40
表 4-4	使用するパーツ・工具	40
表 4-5	作業者の特性.....	41
表 4-6	評価結果.....	42

第 1 章 緒言

1. 1 研究の背景

1. 1. 1 セル生産

製造業の生産方式は、その時代のニーズによってあらゆる工夫がなされてきた。1900 年には、産業が発達し消費が急激に増加する傾向にあり、短時間に多くの製品をつくりあげることが必要であった。その必要性からアメリカのフォード社がライン生産方式を提唱した。ライン生産方式を導入することで、単一製品の大量生産により、消費者に低価格で製品を提供することが可能となった。1930 年代に入ると、消費者から製品の多様化に対する要求が出始め、生産品種が増え始める。生産品種が増え始めると、工場での品種切り替えが障害となる。品種切り替えを行っている間は、ライン全体が止まることにより、多くの作業者が生産に携われなくなり、製品ひとつあたりのコストが増加し採算がとれなくなっていく。そこでアメリカの GM 社が、FMS(Flexible Manufacturing System)を提唱する。FMS は、製品設計や工程設計を標準化させ、標準化された製品、工程の構成要素をフレキシブルに連結させる生産方式である。FMS には様々な方法があるが、その代表例がセル生産方式である。

セル生産方式をライン生産方式と対比させながら説明する(図 1-1)[1]。ライン生産方式とは、製品の組立工程、作業者の配置を一連化させ、ベルトコンベアにより流れてくる製品に部品の取り付けや加工を行う生産方式であった。作業者一人一人の作業は簡易であることが多く、均一の製品を安価に大量生産するのに適しているという特徴がある。対して、セル生産方式は 1 人または少人数で作業を行い、周囲に工具や部品、作業机を配置し、製品の組立工程を完成させる作業方式である。作業者一人一人の作業負担は増すが、多品種少量生産に優れ、また生産量や品種数の変動に適用しやすいという特徴がある。本研究では作業者が手作業で行うセル生産方式の効率を作業支援により高めることを目指す。

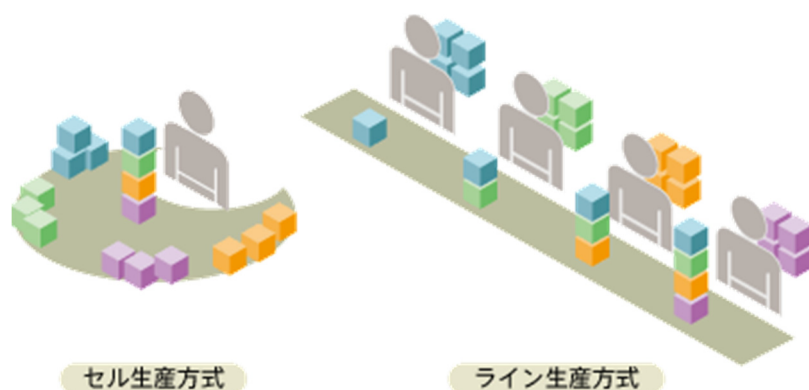


図 1-1 セル生産方式とライン生産方式[1]

1.1.2 セル生産方式の特徴

高度経済成長期には大量生産による安価で同一な製品が広がった。大量生産大量消費の時代では単一種類の商品を低価格で流通することができた。しかし時代の変化とともに同一な製品は以前ほど買われなくなり、その結果過剰在庫となり、長期的に保管せざるを得なくなることがある。現代は需要が変動しやすいため、生産数を予測しにくい面がある。それは消費者が自らの感性・個性にあわせた製品を購入するようになったためである。そこで製造業では同一種類の製品に対して、価格・機能・デザイン・品質に関する選択の幅を広げるようになった。その結果、大量生産による製品の作りすぎの解消と消費者の多様化するニーズにあわせるため、セル生産方式の需要が高まっている。セル生産方式では、需要を受けてから生産数を変化させやすいため、製品の作りすぎが起きないという特徴がある。セル生産方式のメリットとして以下の4点があげられる。

- ・多品種少量生産に適している

各作業員や作業員チームを独立したラインとみなすことができる。それぞれが異なる品種を製作することで、多品種少量生産にうまく対応できる。

- ・在庫を削減できる

ライン生産方式のような品種切り替えがないため、常時在庫補充が可能である。またセル生産方式では各工程間が完全に連結しているため、製品になる前の途中段階にある在庫品である仕掛け在庫が少なくてすむ。

- ・生産変動へ対応力が高い

ある製品の需要が高ければ、その製品を製作する作業員を増やすことで、生産数の増減に対応しやすい。

- ・作業員に責任感が生まれ、士気が高揚する

完成までを受け持つことから、消費者に渡す商品を実感しやすくなり、自身のスキルアップによる作業量、品質の向上につながりやすい。

また、セル生産方式の課題として以下の点があげられる。

- ・作業習熟まで時間がかかる

一人が複数の作業工程を受け持つため、ライン生産方式に比べ作業に習熟するまでの時間がかかる。

- ・生産性・品質に差が出る

作業者が手作業で作業を行うことが多く、そのため作業者の能力により生産性・品質に差が生じてしまう。

- ・作業者の確保が困難である

近年、製造業において、若年層の就職者数は減少傾向にある。これは、長年の国際競争の激化による、厳しい経営状況が続いたためである。

- ・高度な教育が必要である

セル生産方式では、一人の作業者が製作過程の大部分を占めるため、高度な教育が必要である。

本研究では、以上の課題の中から、「生産性・品質に差が出る」こと、「作業者の確保が困難である」こと、「高度な教育が必要である」ことに注目し、それらの問題を改善する提案を行う。

1.1.3 ITによる作業支援

製造業の課題の一つとして、生産年齢人口の減少があげられる。生産年齢人口とは年齢別人口のうち、労働力の中核をなす15歳以上から65歳未満の人口層のことをいう。昨今の急激な少子高齢化の進行に伴い、今後もさらなる減少が見込まれる(図1-2)[2]。既に述べたように、製造業の生産年齢人口の減少が避けられないと考えたとき、製品の生産量を拡大させるためには、何らかの作業支援が不可欠であると考えられる。ライン生産方式では、作業が単純であることが多いため、ロボットの導入により、省人化に成功した。しかしセル生産方式では、作業が複雑であることが多いため、ロボットに一つ一つの製品のデータを教え込むだけで、莫大な時間と資金を使ってしまう。そのためセル生産方式では、作業者を支援する形で、発展したものが多い。

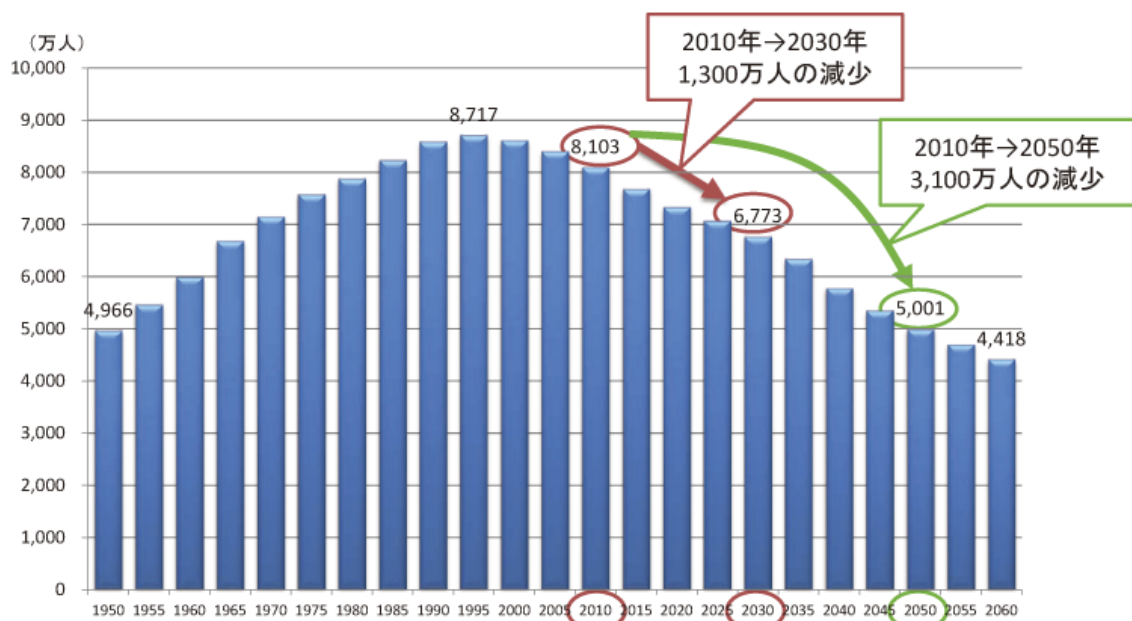


図 1-2 生産年齢人口の推移[2]

図 1-3 はデジタル屋台と言いい、セル生産方式において IT により作業を支援する仕組みである[3]。デジタル屋台の導入によって、作業を効率化し、作業者の負担を軽減することができる。作業者は 3DCAD のデータを活用し、わかりやすい画面の立体イメージを表示することができる。またデジタル化したドライバーにより、ねじの締め忘れを検知し、締め忘れを作業者に注意することができる。作業支援を受けることで、熟練した作業者と同じように高品質な製品の組み立てを行うことができる。デジタル屋台を導入した企業では、導入前は、新人技術者は約 30 台の製品を組み立てることで作業に習熟し、標準的な作業時間内に組み立てられるようになっていたが、導入後は 6 台の組み立て後に標準的な作業時間内で作業できるようになったという。また作業時間のムラもなくなり、作業効率も 60%向上したという[4]。

本研究もこれに習い、セル生産方式の IT を用いた作業支援システムの開発及び評価を行う。



図 1-3 デジタル屋台[3]

1.1.4 新人育成と技術伝承

少品種大量生産のライン生産方式では、一つ一つの作業が単純化されているため、自動化が容易である。しかし多品種多量生産のセル生産方式では一つの製品に対する製作過程の大部分を作業者が作業するため自動化が困難である。そのためセル生産方式では作業者が手作業で作業を行うことが多く、新人作業者は手作業についての教育を受けることが不可欠である。製造業において高度な技能を持っていることは重要度が高い。2015年版ものづくり白書によると、自社の強みに「高度な熟練技能を持っている」を挙げる企業が最も多いことがわかる(図 1-4) [5]。しかし、熟練作業者が退職すると、熟練技能の衰退が懸念される。今後も高付加価値製品を製造するためには、熟練作業者がもつ熟練技能の伝承が必要となるが、熟練技能を伝承することは難しく、企業によって様々な方法が試みられている(図 1-5) [6]。

例えば新人教育の方法の一つに、OJT(On the Job Training)がある。OJTとは作業に習熟した作業員が、新人作業員と実際に作業することを通して、作業に必要な知識・技術を計画的に指導し、習得させる教育方法である。しかしOJTでは、作業に習熟した作業者を長時間拘束するため、拘束している期間のマンパワー、人件費の損失も問題となっている。

一般的に新人作業者を一人前と見なすまでの期間は2～3年程度である(図 1-6) [6]。特に、セル生産方式のような様々な作業を含む場合は、より高度な教育を長期間行うことが必要になる。

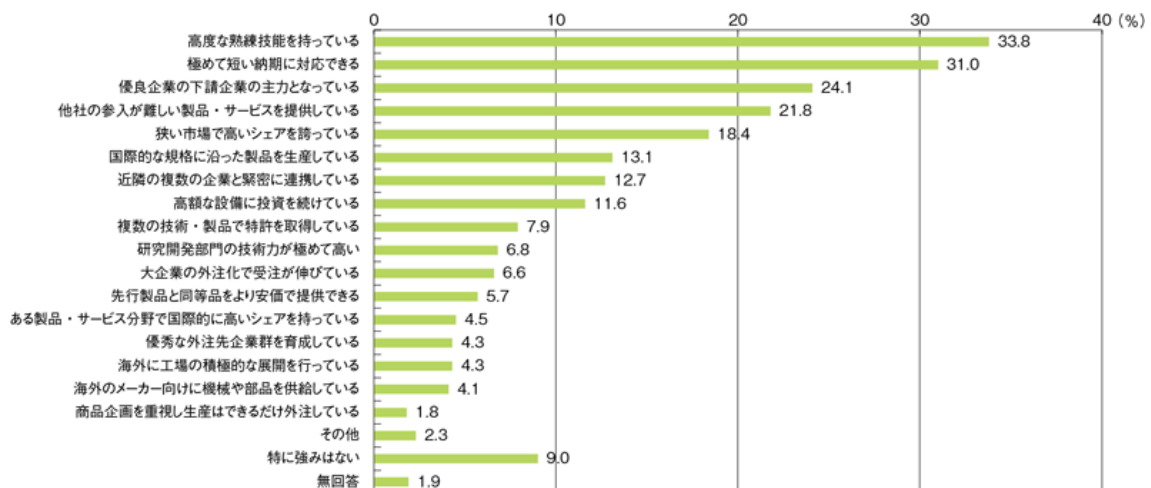


図 1-4 自社の強み[5]

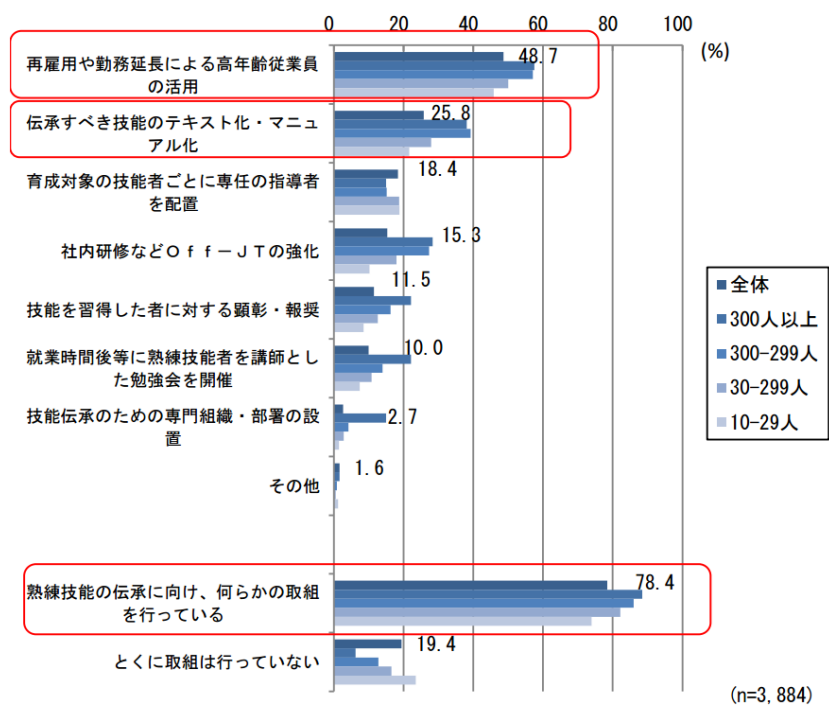


図 1-5 熟練技能の伝承に向けた取組[6]

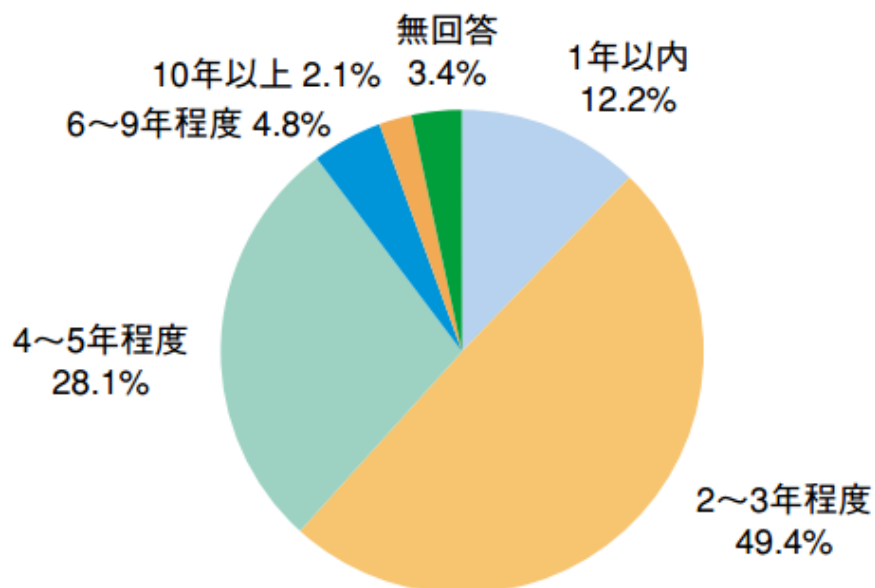


図 1-6 製造業における新卒採用者を一人前と見なすまでの期間[6]

1.2 研究の目的

以上から本研究の目的を以下の3点に定める.

1. セル生産方式に適した IT による作業支援システムを開発すること
2. 製作した作業支援システムを評価すること
3. 製作した作業支援システムが作業者に与える精神的負担を評価すること

第1の目的は,セル生産方式に適した作業支援システム開発である.これは,新しいシステムを開発することで,既存のシステムにはない技術を取り入れるためである.

第2の目的は,製作した作業支援システムが,紙のマニュアルに比べて効率的になっているか評価することである.

第3の目的は,ITを用いた作業支援では精神的負担が増すことがあり,その負担が少ないシステムを開発することである.

第2章 作業支援と TUI

2.1 作業支援

2.1.1 IT を用いた作業支援の例

既に述べたように、作業者の負担を軽減する目的で、様々な作業支援がなされてきた。IT による作業支援の一例としてロボットを用いた作業支援がある(図 2-1)[7]。ロボットは人間に持てない重たいものを持つことや、正確無比な作業ができる点で、人間と共に作業を行う利点が多い。しかし、ロボットの導入は、コストの問題と共に、人間と作業する上での安全性の問題が大きい。人間と協調作業する上で、解決しなければならない問題がまだまだあると考えられる。



図 2-1 ロボットと人間の協調作業[7]

IT を用いた作業支援の別の例として、HMD(Head Mounted Display)を用いた作業支援がある。HMD とは、頭部に装着するディスプレイ装置のことである。HMD を用いた研究の一例として日本工業大学の中野真弓氏らの研究がある[8]。これは PC の組立作業における作業効率を単眼透過型 HMD(図 2-2)上にマニュアルを表示することにより高める研究である。通常の HMD は視覚を覆ってしまうが、透過型の HMD は、外界の様子がわかるように作られた HMD である。しかし、HMD を用いた作業支援では、表示される情報と作業空間を視点や焦点を変えてみる必要があるため目が疲れるという問題が報告されている。

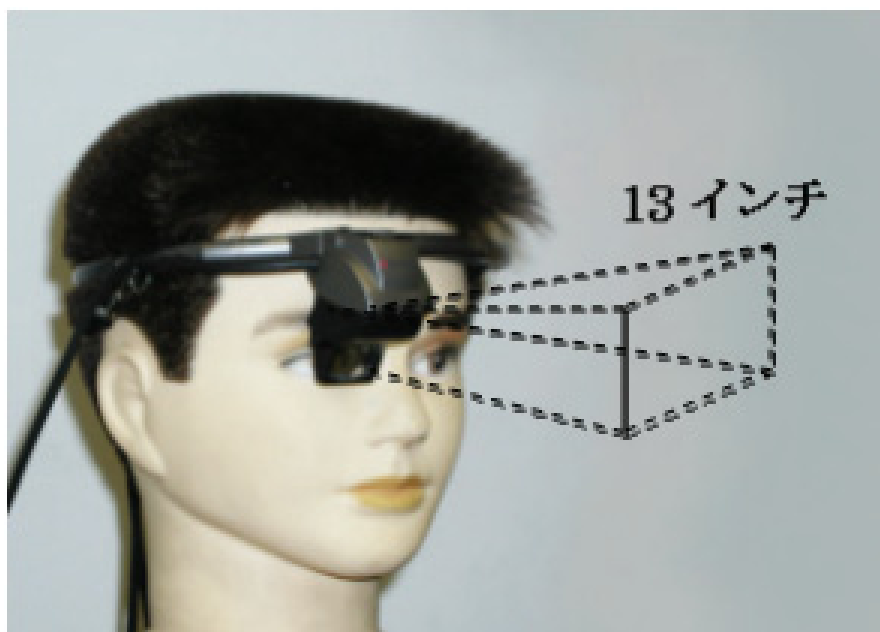


図 2-2 HMD[8]

作業者にデバイスを装着させない作業支援の研究の例として、電気通信大学の武田研恒氏らの研究がある[9]。武田氏らの研究では、ペグ挿入作業中の作業者への作業情報として、穴の番号と径が提示される。作業者は提示された順番ごとにペグを挿入していくが、次の手順に移るには足元のフットスイッチを押すことで行われる。情報の提示する位置の違いが作業者に与える影響の調査として水平型ディスプレイと立置型ディスプレイを比較している(図 2-3)。比較した結果、水平型ディスプレイは、立置型ディスプレイに比べ、作業対象物の付近に電子マニュアルなどの情報を提示できるため、視点の移動距離が短く、精神的負担が小さいことがわかっている。

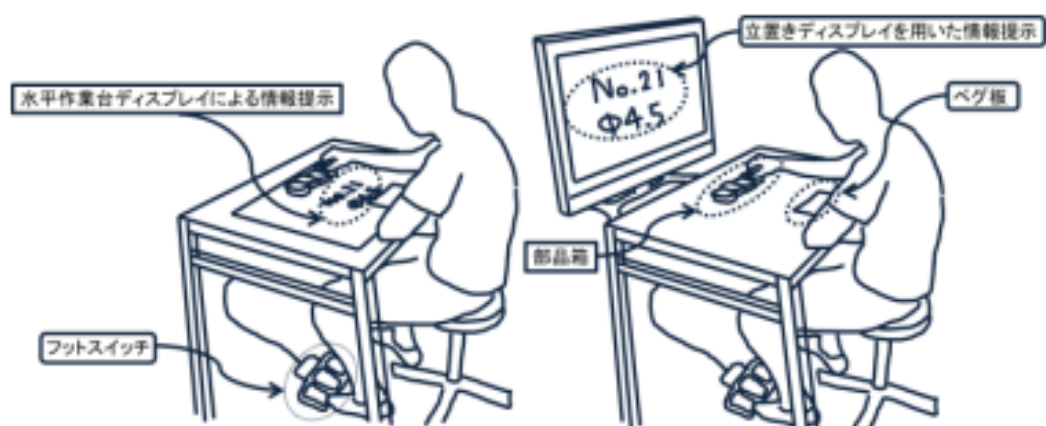


図 2-3 水平型ディスプレイ(左)と立置型ディスプレイ(右)[9]

2. 2 TUI

2. 2. 1 TUI を用いた研究例

TUI(Tangible User Interface)とは、マサチューセッツ工科大学の石井裕教授が提唱したユーザインタフェースの1つの形態であり、情報に直接触れることで、より直感的な操作を可能としたものである。TUI と類似の技術に、「現実空間をベースに、空間及び空間上に存在するものの持つ意味を拡張して、そこにはないものや情報を付加する」という拡張現実があるが、TUI は拡張現実の一種と言える。さらに前述のHMD も拡張現実の一種である。マウス等のポインティングデバイスを用いて間接的な操作を行うGUI(Graphical User Interface)とは異なった着眼点の元、TUI は世界中で様々な研究が進んでいる。1999年に石井裕氏が開発したmusicBottlesの写真が図 2-4 である[10]。これはテーブル型の装置の上に特殊な専用のビンを乗せることで音楽の操作を行うものである。ビンには磁気タグが埋め込まれておりそれによって認識が行われる。またビンの存在だけではなく、ビンのボトルの開閉も検出が可能である。このボトルを開けることで、開けたビンに応じて音楽が流れる仕組みになっており、ビンの中に液体ではなく音楽が入っているような感覚を作り出している。現在使用しているビンの蓋を閉め、他のビンテーブルに置いて、蓋を開けることで再生する音楽を変更することができる。またビンは1つだけでなく複数配置することが可能であり、同時に複数のビンを開けることでそれぞれの音楽同士のセッションを行うことができる。このインタフェースの操作はビンを開けるという日常生活において慣れ親しんでいる操作のみなため、特殊な操作や訓練を必要とせず誰にでも使用が可能であり、その操作が実際に情報を手で触るという感覚を作り出している。



図 2-4 musicBottles[10]

musicBottles のようなテーブル型の TUI では、入力と出力がテーブル上の同一の平面で行われるという特徴がある。マウス等の従来のポインティングデバイスを用いたインタフェースの場合、画面内に表示された物の移動を行う際、まずマウス等のポインティングデバイスを手に取ることから工程が始まる。続いて画面上のポインタを見ながらポインタを移動させたい対象物の場所まで操作する。その後、ポインタを対象物に重ねた状態でマウスのボタンを押し、ドラッグしながら任意の移動先までポインタを操作する。そして最後にポインタを離すという工程を行うことで、対象物の移動を行う。これに対してテーブル型 TUI では、元々操作デバイス自体に、対象物としての役割が設定されており、対象物を移動させたい場合、操作デバイスを手でつかみ、移動させたい場所まで操作デバイスを移動させれば、対象物の移動が可能となる。このように TUI はポインティングデバイスを介すことなく、直感的に操作することが可能なインタフェースである。

テーブル型の TUI の研究として他には、ポンペウファブラ大学のミュージックテクノロジーグループの Reactable がある（図 2-5）[11]。Reactable はテーブル上にオブジェクトを置き、オブジェクトを移動、回転させることでシンセサイザーのように音の編集が可能な、直感的で操作のしやすいユーザインタフェースを持っている。



図 2-5 Reactable[11]

2.3 研究の方針

本研究では、作業の効率化を「作業者の負担を減らし、作業のパフォーマンスをあげる」と捉え、以下の3点に注目した。

- ・特別な機器によって、作業者の負担とならないこと
- ・作業において、必要な動作を減らすこと
- ・作業における、注意点やアドバイスを提示すること

1点目は、ロボットによる作業支援ではロボットと人間の協調作業における安全性の問題があること、またHMDのよる作業支援では目が疲れる問題が報告されていることから着想した。そのため本研究では、ロボットやHMDを使用しない作業支援を行う。

2点目は、一連の作業において、作業の動作を減らすことができれば、作業の達成時間が短くなることから着想した。そこで本研究では作業における、視線の移動距離を短くすることのできる水平型ディスプレイを用いる。これは、電子情報で作業手順を提示する場合、水平型ディスプレイは立置型ディスプレイと比べて、顔を上げる動作をなくす効果があると期待できるからである。また、次の作業手順に移る方法として、紙面の作業手順書においては、「ページをめくる」、電子情報においては、「次の工程に移るボタンやフットスイッチを押す」などの動作が考えられる。本研究では、TUIを用いることで、一つ一つのパーツ・工具をインタフェース化し、これらの動きを検知することで、次の作業手順に自動的に移ることを目指す。

3点目は、作業における、注意点やアドバイスを提示することで、作業対象物の品質をあげることを期待している。

第3章 TUI 作業机システムの構成

3.1 TUI 作業机システムの概要

本研究では，タンジブルインターフェースを用いた作業机を開発する．以後，この作業机を TUI 作業机システムと呼ぶ(図 3-1)．TUI 作業机システムは座位状態の作業者が半田付けなどの回路製作作業を行うことを想定する．プロジェクターを使って，作業支援情報を作業机に投影し，作業者はその上で作業を行う．TUI 作業机の上に設置された Web カメラを使い，作業の解析を行う．作業者の作業を阻害せず，なおかつ作業者が効率的に作業を行えるように作業支援を行うことが目標である．

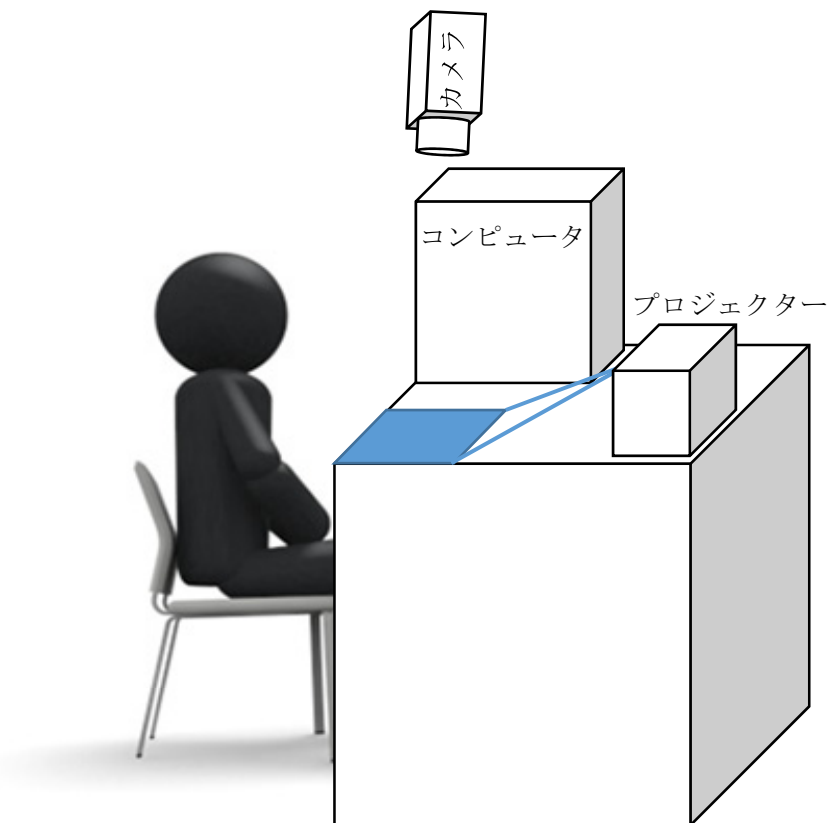


図 3-1 TUI 作業机システムの概要

3.2 TUI 作業机システムの構成

TUI 作業机システムの構成は以下の図 3-2 のようになっている。作業者が作業机に向かって作業している様子を、机に向かって設置された Web カメラによって取得し、その解析結果によって、作業支援を視覚情報として描画する。描画した情報はプロジェクターによって作業机に向かって投影される。作業の解析の際、パーツ・工具の色と、作業者の手の色を比較して、どのパーツ・工具が使用されているか検知する。視覚情報描画は、解析された作業の内容に応じて、現在の作業の手順と共にアドバイスがプロジェクターによって作業者の手元に投写される。それらの情報をもとに、作業者は作業を行う。

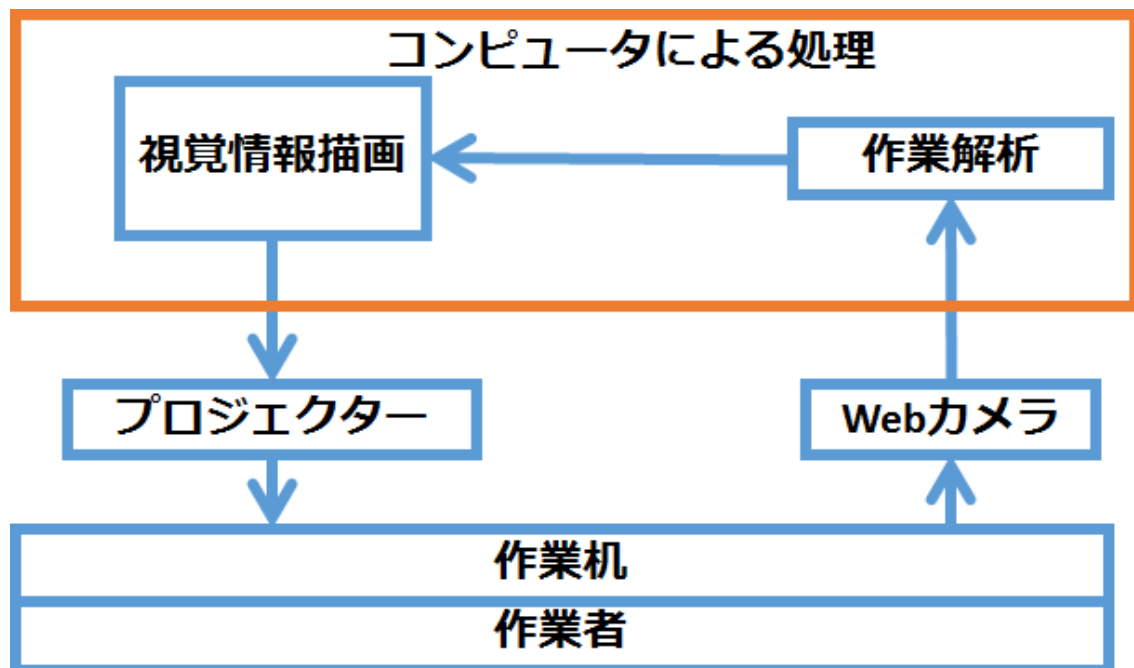


図 3-2 作業机システムの構成図

3.3 設計コンセプト

本研究で開発する TUI 作業机システムは以下の点を設計のコンセプトとしている.

1. 作業者にわかりやすいシステムであること
2. 開発するシステムによって, 作業者にとって新たな作業が増えないこと
3. 開発するシステムによって, 作業者が精神的負担を受けないこと

第1コンセプトは, システムの操作などの教育に膨大な時間が必要とならないよう作業者にとってわかりやすく, 操作しやすいシステムとすることを意図している.

第2コンセプトは, 本研究では作業者の作業効率の向上を目指しており, 新たな作業が生まれては本末転倒であるため追加した.

第3コンセプトは, 作業者が通常の作業以上の精神的負担を受けては, 作業の効率化ができたといえないと考えたため追加した.

3.4 TUI 作業机システムのハードウェア

3.4.1 プロジェクター

本研究で使用するプロジェクターは、EPSON 社のビジネスプロジェクターEB-580 である(図 3-3)[12]。投影距離が超短焦点であるため、プロジェクターと投影面との距離が短いという特徴がある。また縦置きができるため、机上に設置し、机上に投影面を投影することから、TUI 作業机システムに適している。



図 3-3 プロジェクタ EB-580[12]

表 3-1 プロジェクター EB-580 の仕様

解像度	XGA
方式	3LCD 方式
明るさ	3200lm
色再現性	フルカラー

3.4.2 Web カメラ

本研究で使用する Web カメラは, Logicoool 社の HD PRO WEBCAM C920R である(図 3-4) [13].



図 3-4 Web カメラ C920R[13]

表 3-2 Web カメラ C920R の仕様

レンズ画角	77°
フレームレート	最大 30 フレーム/秒
解像度	フル HD 1080p(1920×1080)

3.4.3 Web カメラ設置のための器具

TUI 作業机システムでは，作業者の作業を解析するために，机の上から机に向かって Web カメラを設置している(図 3-5)．設置のために使用した器具は以下のとおりである(図 3-6 ～図 3-12)．パイプとその周辺パーツは矢崎化工社のイレクターパイプを使用し，Web カメラの固定には MyArmor 社の自由雲台を使用した．

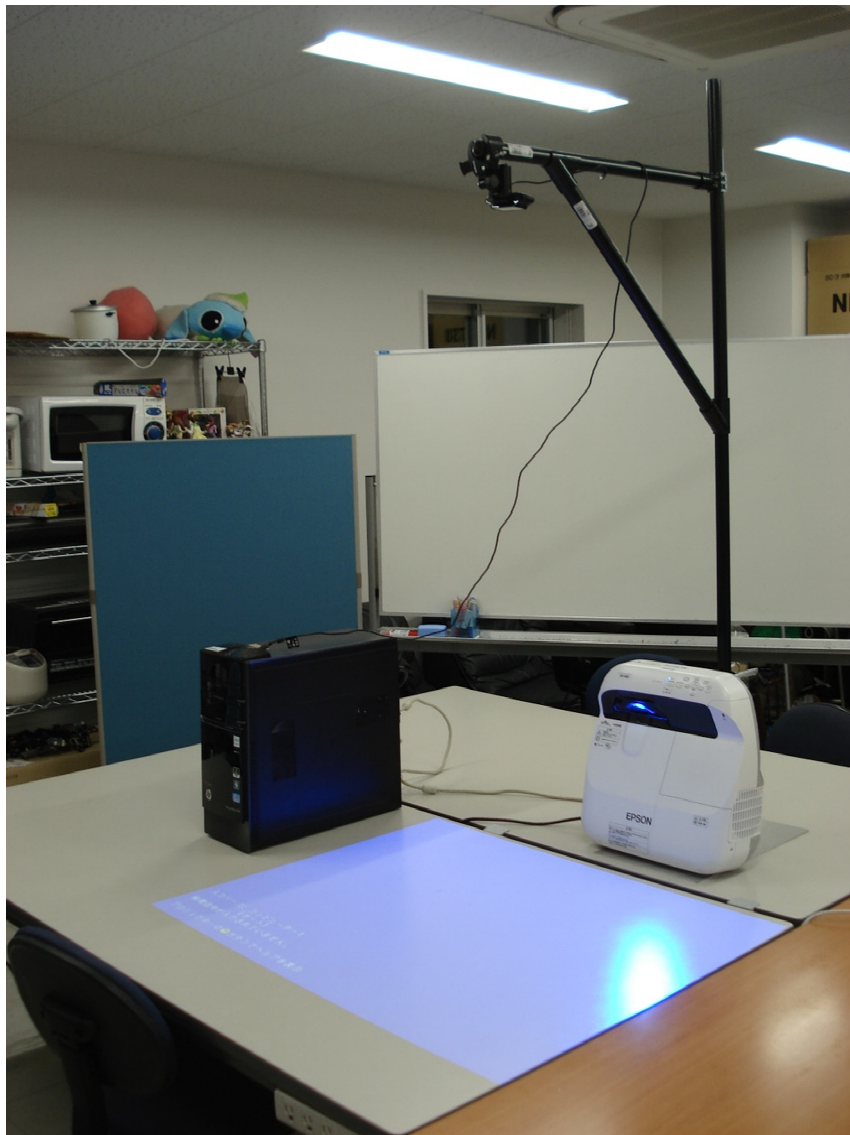


図 3-5 TUI 作業机システム

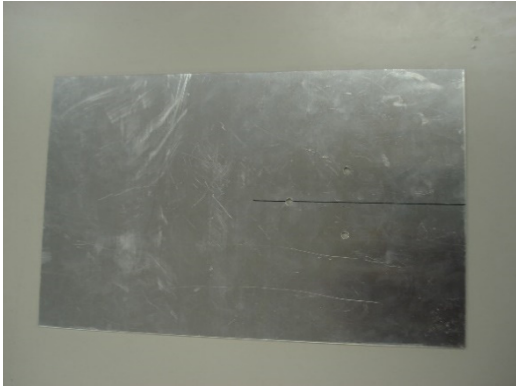


図 3-6 敷板



図 3-7 パイプスタンド



図 3-8 ふたまたジョイント



図 3-9 ジョイント



図 3-10 Φ28 パイプ(1500mm)



図 3-11 Φ28 パイプ(600mm)



図 3-12 自由雲台挟み込み型

3.5 TUI 作業机システムのソフトウェア

3.5.1 仕様

TUI 作業机システムは、作業で使われるパーツ・工具の利用状況を Web カメラで取得し、解析を行う。解析の結果、現在の作業に必要な手順やアドバイスをプロジェクターで投影する。作業者は投影された画面上で作業を行う。そのため、作業者が作業をする位置と、パーツ・工具の位置、さらに手順やアドバイスの表示位置が重ならないように調整が必要である。

また、TUI 作業机システムでは、それぞれの工程の達成時間を記録している。達成時間を記録することで、新人作業者が本システムを使って作業を行ったとき、熟練作業者が達成時間の確認、比較でき、新人教育の一助とすることができる。

3.5.2 作業検知方法

ソフトウェアの開発環境として Processing を用いた。Processing はグラフィック機能に特化した視覚的フィードバックが容易に得られる言語である。TUI 作業机システムでは、図を多く用いることやパーツや工具を取得する際に強調効果を表現したいことを考慮して Processing を用いた。

作業で使われるパーツ・工具の利用状況の取得には、Web カメラを用いる。得られた画像を解析することで、現在の作業状況を検知したい。そのため、本研究ではパーツ・工具を作業者が取得したことを検知する。それにより、作業者が現在持っているパーツ・工具がわかり、さらに、作業工程中のどの段階にいるのかがわかる。それを実現するために、得られた画像から、パーツ・工具が置かれた位置のピクセル値を読み込む。その位置が人の手によって覆われたとき、画像のピクセル値は、人の手の値に変わるので、その変化を見ることによってパーツや工具が取得されたことを検知できる。検知状態が 10 フレーム分続くと取得が検知されたと判定する。取得検知のフローチャートを図 3-13 に示す。

作業検知の実装のため、参考として作業机、作業者の手、各パーツや工具のピクセル値を事前に調査した。これは作業者の手の色と似たピクセル値があるか調べるためである。TUI 作業机システムを使用する環境で調べた作業机、作業者の手、各パーツや工具のピクセル値を表 3-3 に示す。抵抗とセラミックコンデンサについては、パーツ自体が小さく、カメラから離れているため TUI 作業机の環境では作業机の色と重なり調べることはできなかった。この表を元に、RGB の値が全て 100～200 の範囲に収まっていれば手であると判定することにした。

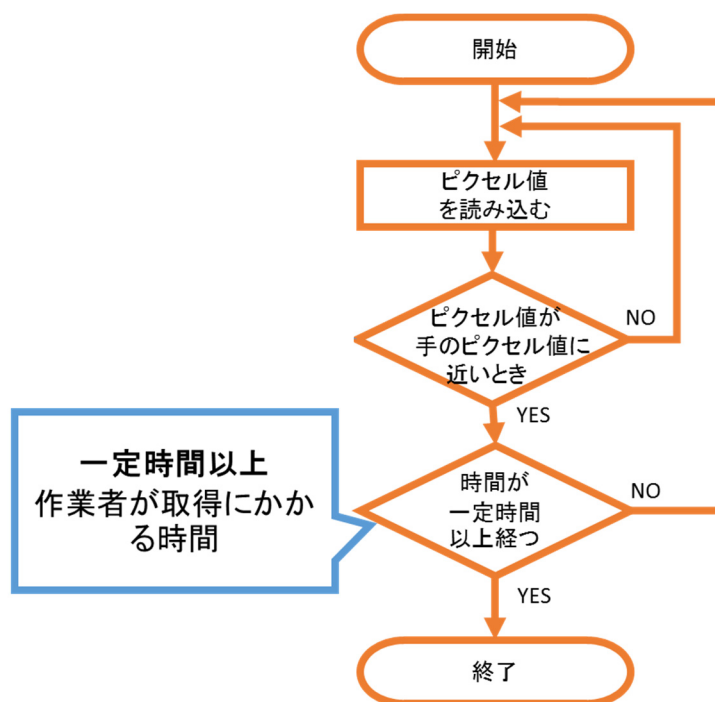


図 3-13 作業検知のフローチャート

表 3-3 各ピクセル値

名称	ピクセル値		
	R	G	B
作業機	169	245	255
作業者の手	102	122	154
抵抗	－	－	－
プリント基板	91	119	139
ボリューム	160	247	255
LED	158	222	255
フルカラーLED	165	239	255
IC	14	101	156
タクトスイッチ	3	77	125
スライドスイッチ	127	190	239
セラミックコンデンサ	－	－	－
電池	73	79	129
電池ボックス	14	40	74
半田ごて	48	133	202
ラジオペンチ	7	44	93
ニッパー	81	82	120

作業検知を以下のプログラムのように実装した。パーツ・工具が置かれる場所を枠としてクラスを使って実装し、このクラスについて作業検知のための関数 `Decision()` を設けた。枠の中の起点の x 座標, y 座標を `ReadPointX`, `ReadPointY` とし、その部分からピクセルを読み込む。RGB の値をそれぞれ読み込み、それぞれ `Field_change_red`, `Field_change_green`, `Field_change_blue` とした。事前に調べた各ピクセル値を参考に、`Field_change_red`, `Field_change_green`, `Field_change_blue` それぞれのピクセル値が 100 より大きく、200 より小さいときなおかつ `circuitbox_time` で設定した時間が 10 フレーム分経過したときに枠が手で覆われ、パーツ・工具が取得されたと判定される。それにより、次の作業工程の処理に移る。

PROCESSING

```
void Decision()
{
    loadPixels();
    o = red(video.pixels[ReadPointY*WindowSizeX+ReadPointX]);
    p = blue(video.pixels[ReadPointY*WindowSizeX+ReadPointX]);
    q = green(video.pixels[ReadPointY*WindowSizeX+ReadPointX]);
    updatePixels();
    float Field_change_red = o;
    float Field_change_green = p;
    float Field_change_blue = q;

    if (abs(Field_change_red) < 100 || abs(Field_change_red) > 200 ||
        abs(Field_change_green) < 100 || abs(Field_change_green) > 200 ||
        abs(Field_change_blue) < 100 || abs(Field_change_blue) > 200)
        //RGBそれぞれの値が100以下200以上のとき作業検知しない
    {
        s = "認識中";
        circuitbox_time = 0;
    }
    else if (abs(Field_change_red) > 100 || abs(Field_change_red) < 200 ||
        abs(Field_change_green) > 100 || abs(Field_change_green) < 200 ||
        abs(Field_change_blue) > 100 || abs(Field_change_blue) < 200)
        //RGBそれぞれの値が100以上200以下のとき作業検知する
    {
        circuitbox_time++; //作業検知後言って時間経過後作業検知が完了する
        s = "認識成功";
        if (circuitbox_time > 10){
            if (first_process_1 != 3){
                first_process_1++;
                writer.println(t);
                writer.flush();
            }
            else if (first_process_1 >= 3 || first_process_2 == 1){
                work_process_1++;
                writer.println(t);
                writer.flush();
            }
        }
    }
}
```


3.5.3 作業の開始と初期設定

ここからは，TUI 作業机システムの利用の流れを解説する．TUI 作業机システムの立ち上げと共に，図 3-1 4が表示される．この初期設定画面 1では，作業机のピクセル値を確認し，パーツ・工具の取得検知に誤作動を起こさないようにしている．

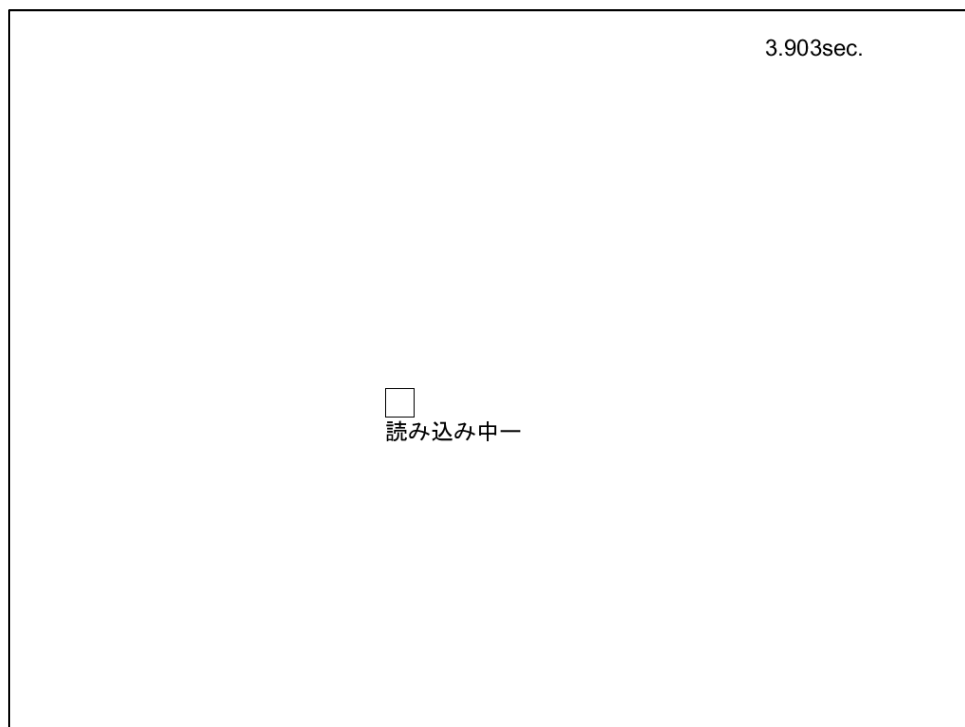


図 3-1 4 初期設定画面 1

初期設定画面 2 を図 3-1 5に示す．この初期設定画面 2 は，作業者が初めて TUI 作業机システムに触れる場面であり，「ボタン等を押さずに次の工程に進む」という特徴を作業前に体験させる目的がある．指示どおり手形に手をかざし，手のピクセル値を検知することで次の工程に進む．



図 3-1 5 初期設定画面 2

3.5.4 作業画面

TUI 作業機システムの作業画面を図 3-16 に示す。半田付け作業や部品の挿入作業は作業画面下部の作業スペースで行う。作業スペースの上部に工程の手順が示されている。視線を大きく移動しなくてもすぐに手順を確認でき、作業効率の向上が見込まれる。視線の移動距離を減らすことで、作業効率の向上を図っている。手順の上には製作する回路のプリント基板が示されている。このプリント基板上でパーツをどこに挿入するかを緑の枠で囲むことで、作業者がパーツの挿入ミスを減らす効果を狙っている。また作業スペースからも遠くないことから、作業しながら挿入位置を確認できるというメリットがある。また、現在の作業についてのアドバイスが図中の左上に示されている。さらに使用するパーツ・工具は枠で提示され、図中の半田ごての枠のように波打った強調効果で示すことで、次に取得すべきパーツ・工具を一目でわかりやすくしている。次の工程に進むと提示されていた枠は消され、次の工程で使用するパーツ・工具が枠で提示される。ラジオペンチ、ニッパーは使う頻度が比較的に多いため、作業中は常に枠を表示してある。作業が誤検知によって意図せずに進んでしまった場合、または検知できず作業が進まなかった場合に備えて、next・back の枠がある。next に手をかざすと次の作業に進み、back に手をかざすと作業が戻る。右上には経過時間が表示されており、時間を意識しながら作業を進めることができる。

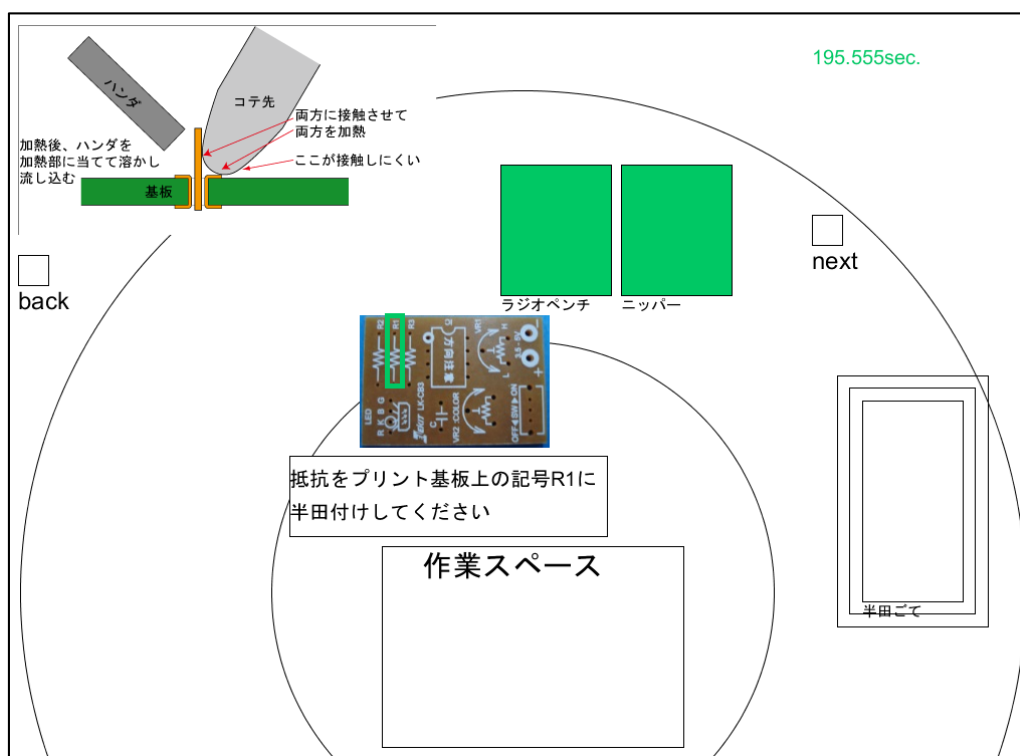


図 3-16 作業画面

3.5.5 作業の終了

作業は電池ボックスの半田付けを行い、図 3-17 で指示されている電池をセットするまで行われる。電池の取得を検知した時点で図 3-18 のように TUI 作業机システムは作業の終了を知らせ全工程が終了する。

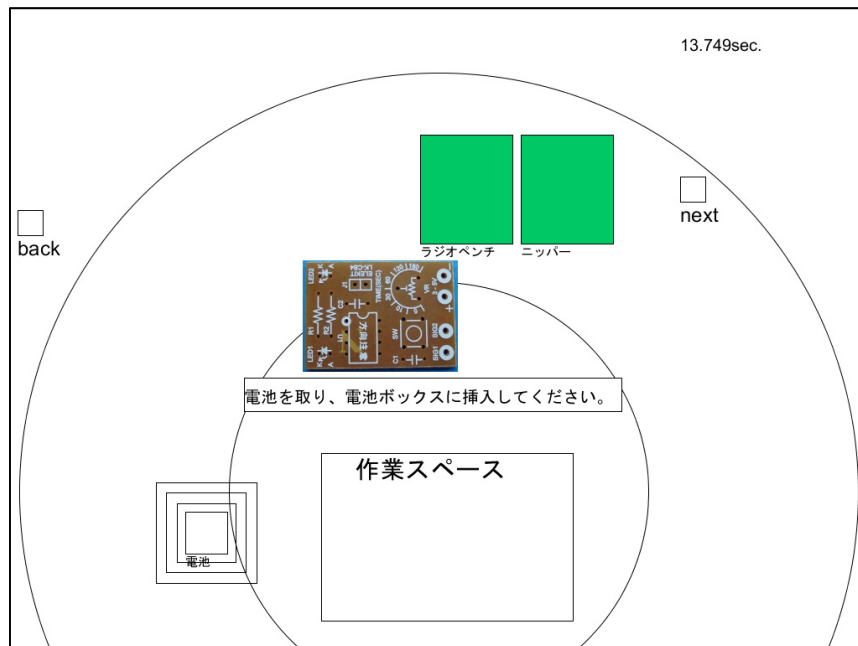


図 3-17 電池の取得工程の作業画面

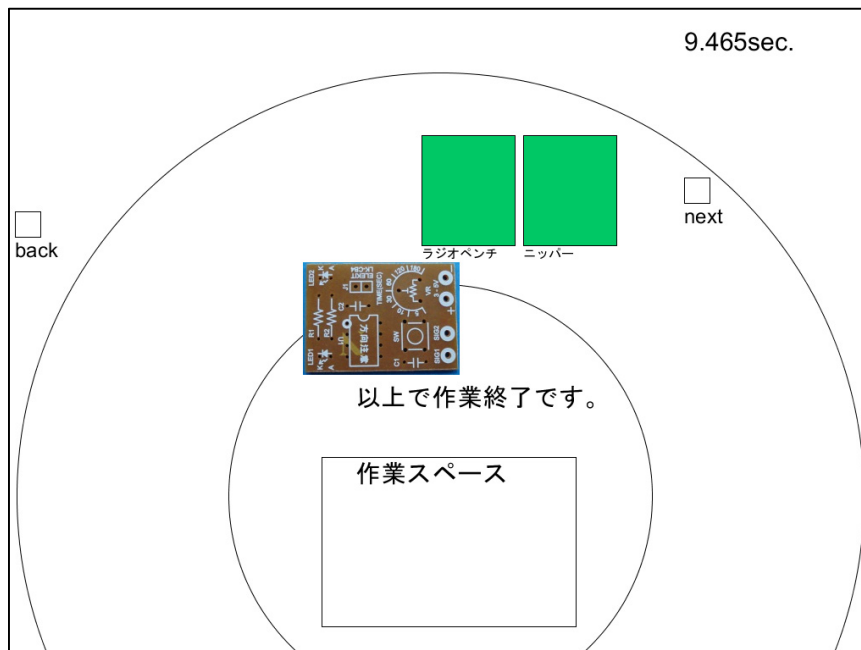


図 3-18 作業の終了画面

第4章 TUI 作業机システムの評価と考察

4.1 NASA-TLX

4.1.1 NASA-TLX

MWL(Mental WorkLoad)とは、作業における作業者の精神的負荷・負担を指し、精神的負荷、精神的負荷は以下のように定義されている(ISO10075)。

- ・精神的負荷:外部から人間に対して及ぼし、かつ精神的に作用する評価可能な影響の全体

- ・精神的負担:精神的負荷によって個人の内部に直ちに起こる影響であって、個人の習慣及びその時の条件に依存するもの

MWL の評価への関心は高く、多くの研究者によって研究されている。メンタルワークロードの評価には生理的評価、他覚的評価、主観的評価の3つの側面から多角的アプローチが必要あるといわれている[14]。生理的評価は、作業者の生理的反応、精神的反応を測定することで、外見上のとらえにくい反応を客観的かつ定量的なデータとして得るためのものである。生理的評価には、心拍変動やフリッカー値を検査する方法がある。他覚的評価とは、作業におけるパフォーマンスの評価のことで、作業に応じて作業時間や作業の達成度が指標として使われる。主観的評価とは、作業者本人または第三者による、ある作業における自分の行動や心理状態に対する評価である。作業者本人への聞き取りや、アンケートをとることで評価するのが一般的である。本研究では、他覚的評価と主観的評価を用いる。

本研究ではメンタルワークロードの主観的評価方法として、作業者本人による評価方法を採用し、NASA-TLX(Task Load Index)を用いた。NASA-TLXは宇宙飛行士のメンタルワークロードの測定を目的としてHartらが開発したものである[15]。精神的欲求、身体的欲求、時間的圧迫感、作業達成度、努力及び不満の6項目から構成されている(図4-1)。これら6つの項目について、低い/高いまたは良い/悪いの両極をもつ12cmの長さの線分上に印をつけさせ、その位置を0~100の数値として読み取り素点とする。これら6つの素点から1つの総合値(平均値)を算出するのに、個人ごとに算出された重み付け係数を用いる。重み付け係数は、上記6項目を2項目ずつ一対比較する。よりMWLへの寄与が高いと判断された項目を選択し、その回数を数えることによって算出される。この重み付け係数に各素点をかけたものの総和をとり、最後に重み付け係数の総和で割ることによって、重み付けされたワークロードの平均値(WWL: weighted workload)を得られる。

Title	Endpoints	Descriptions
MENTAL DEMAND	<i>Low/High</i>	How much mental and perceptual activity was required (e. g., thinking, deciding, calculating, remembering, looking, searching, etc.)? Was the task easy or demanding, simple or complex, exacting or forgiving?
PHYSICAL DEMAND	<i>Low/High</i>	How much physical activity was required (e. g., pushing, pulling, turning, controlling, activating, etc.)? Was the task easy or demanding, slow or brisk, slack or strenuous, restful or laborious?
TEMPORAL DEMAND	<i>Low/High</i>	How much time pressure did you feel due to the rate or pace at which the tasks or task elements occurred? Was the pace slow and leisurely or rapid and frantic?
PERFORMANCE	<i>good/poor</i>	How successful do you think you were in accomplishing the goals of the task set by the experimenter (or yourself)? How satisfied were you with your performance in accomplishing these goals?
EFFORT	<i>Low/High</i>	How hard did you have to work (mentally and physically) to accomplish your level of performance?
FRUSTRATION LEVEL	<i>Low/High</i>	How insecure, discouraged, irritated, stressed and annoyed versus secure, gratified, content, relaxed and complacent did you feel during the task?

図 4-1 NASA-TLX の 6 項目[14]

4.1.2 日本語版 NASA-TLX

NASA-TLX には、WWL を指標として用いる上で問題がある。6 項目の一対比較法で、1 つの項目に対し一度も選択しなかった場合、重み付け係数は 0 となってしまう。作業者にとってワークロードの要素として最も寄与が低いとしても、その項目の素点が 0 とは限らない。素点が 0 になると、WWL 算出の上で、その項目は全く関与しないことになる。これは、6 項目のうち 5 項目だけで平均値を算出することになり、線形モデルの効率を減少させ、作業者間のばらつきを増加させる要因となってしまう。

この問題の解決案として、三宅らが提案する NASA-TLX の簡便法がある[14]。NASA-TLX の簡便法では、一対比較を行わない代わりに、6 項目で素点の一番大きい項目から順に 1~6 位の順位づけを行い、この順位をそのまま重み付け係数とする。このようにすれば最低順位は 0 ではなく 1 となり、6 項目の欠落がなくなる。最後に、重み付け総和を係数の総和である 21 で割って平均値を求める。このような重み付け平均値は適応 WWL (AWWL: Adaptive WWL) と呼ばれる。

しかし NASA-TLX の重み付けとは、作業者が経験するワークロードの構成要素と、各構成要素がトータルな主観的ワークロードに寄与する程度が、作業間や個人間で異なっていることを考慮して考案されたものであるため、評価した素点から決めてしまうと何のために重み付けを行うかわからなくなってしまう。そこで、芳賀らが提案する日本語版 NASA-TLX がある[16]。日本語版 NASA-TLX では 6 項目に関して、ワークロードに寄与が高い順に並べてもらい、1 位から順に 6~1 の重みをつける。各重みを係数とし、それぞれの素点に掛け合わせ、合計の重み付け総和を係数の総和である 21 で割って平均値を求める。このような方法で算出した得点は CSTLX (card-sort TLX) 得点と呼ばれる。本研究では、CSTLX 得点を用いる。

4.2 評価

4.2.1 評価実験

本研究では評価実験として製作した TUI 作業机システムと紙面の作業書で作業を行い、評価を比較した。それにより、TUI 作業机システムの作業効率を調べた。メンタルワークロードの評価方法は、他覚的評価のための作業達成時間と主観的評価のための CSTLX を用いた。

評価実験の流れを、図 4-2 に示す。評価実験は、事前アンケート、メンタルワークロード評価 2 回、事後アンケートの合計 4 回のアンケートを行う。パーツ・工具を使う作業は、事前の半田付け作業の練習、TUI 作業机システムでの作業、作業書での作業の合計 3 回の作業を行う。また評価実験の流れには 2 通りあり、TUI 作業机システムでの作業を一回目に行い、次に作業書での作業を行う作業者と、作業書での作業を一回目に行い、次に TUI 作業机システムでの作業を行う作業者の 2 通りがある。前者を A パターン、後者を B パターンとした。これら評価実験の流れを作業者に説明し、評価実験を行う。

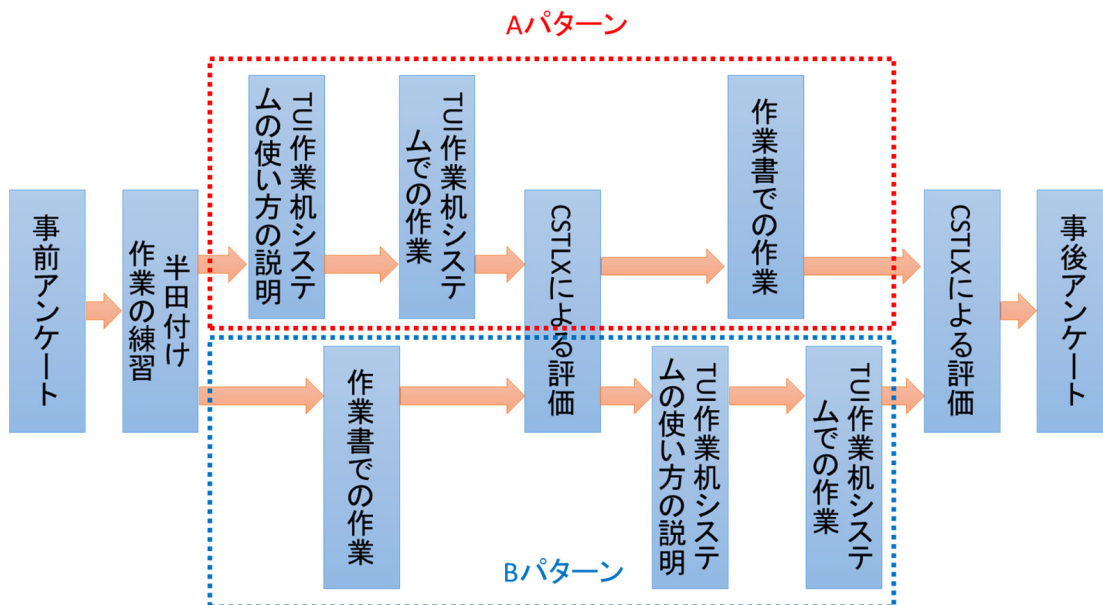


図 4-2 評価実験の流れ

評価実験では、2種類の回路を作る。これは、同じ回路を作ると1回目より2回目作ったほうが、作業達成時間も完成したときの質も高くなってしまいう懸念があったためである。また同じ回路を作ると2回目の新鮮味がなくなり退屈を感じてしまった結果、メンタルワークロード評価への影響する可能性もある。

2種類の回路は、LED表示タイマーキットとフルカラーLED点灯・点滅キットである。LED表示タイマーキットを図4-3に、フルカラーLED点灯・点滅キットを図4-4に示す。それぞれの回路の型番、パーツ数、推定製作時間を表4-1、表4-2に示す。

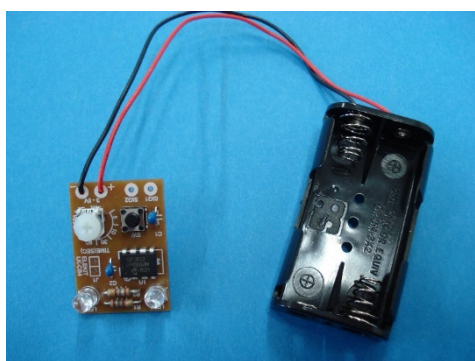


図 4-3 LED 表示タイマーキット

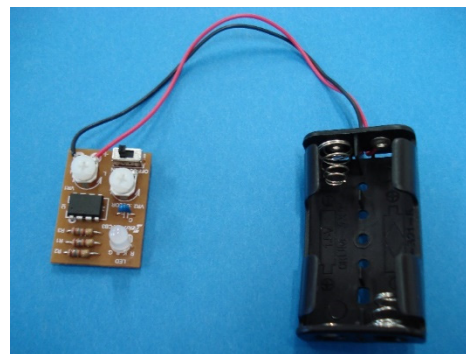


図 4-4 フルカラーLED 点灯・点滅キット

表 4-1 LED 表示タイマーセット

型番	LK-CB4
パーツ数	12 パーツ
推定製作時間	20 分

表 4-2 フルカラーLED 点灯・点滅セット

型番	LK-CB3
パーツ数	11 パーツ
推定製作時間	20 分

評価実験では4回のアンケートを行う。事前アンケートでは、性別、年代、回路製作経験を聞く。それぞれの作業後に行う主観的評価は、CSTLXの6項目について説明を行い、その後線分にそれぞれ印をつけてもらう。次に6項目の順位付けを行う。すべての作業終了後、事後アンケートを行い、TUI作業机システムと作業書どちらのほうが作業しやすかったか、TUI作業机システムが作業書より良いと感じた点やTUI作業机システムでの作業で使いにくかった点はないかを調べる。

作業の目標を、「20 分間で正常に動作する回路を製作する」とした．評価実験を 8 人に実施してもらい，表 4-3 のように振り分けを行った．

表 4-3 作業者人数振り分け

パターン	1 回目:製作 手順表示方法	1 回目: 製作回路	2 回目:製作 手順表示方法	2 回目: 製作回路	人数
A	TUI 作業机 システム	LED 表示 タイマーセット	作業書	フルカラーLED 点灯・点滅キット	2
		フルカラーLED 点灯・点滅キット		LED 表示 タイマーセット	2
B	作業書	LED 表示 タイマーセット	TUI 作業机 システム	フルカラーLED 点灯・点滅キット	2
		フルカラーLED 点灯・点滅キット		LED 表示 タイマーセット	2

作業実験で使われるパーツ・工具は表 4-4 のようになっている．

表 4-4 使用するパーツ・工具

工具	パーツ	
半田ごて	抵抗	タクトスイッチ
半田線	LED	スライドスイッチ
半田台	フルカラーLED	電池ボックス
ニッパー	セラミックコンデンサ	電池
ラジオペンチ	IC	
半田付けスタンド	ボリューム(半固定抵抗)	

4.2.2 評価結果

それぞれの作業者の特性，使用したパターン，製作した回路の順番を表 4-5 に示す．

表 4-5 作業者の特性

作業者	A	B	C	D	E	F	G	H
性別	男	男	男	男	男	男	男	男
年代	20 代	20 代	20 代	20 代	20 代	20 代	20 代	20 代
経験 回路	×	×	○	×	×	○	×	○
パターン	一回目	TUI 作業機 システム	作業書	TUI 作業機 システム	作業書	TUI 作業機 システム	作業書	TUI 作業機 システム
	二回目	作業書	TUI 作業機 システム	作業書	TUI 作業機 システム	作業書	TUI 作業機 システム	作業書
製作回路の順番	一回目	フルカラーLED 点灯・点滅キット	LED 表示 タイマーセット	LED 表示 タイマーセット	フルカラーLED 点灯・点滅キット	フルカラーLED 点灯・点滅キット	LED 表示 タイマーセット	フルカラーLED 点灯・点滅キット
	二回目	LED 表示 タイマーセット	フルカラーLED 点灯・点滅キット	フルカラーLED 点灯・点滅キット	LED 表示 タイマーセット	フルカラーLED 点灯・点滅キット	LED 表示 タイマーセット	フルカラーLED 点灯・点滅キット

作業者の評価結果を表 4-6 に示す.

表 4-6 評価結果

作業者			A	B	C	D	E	F	G	H
作業 達成 時間		一回目	24	27	13	15	10	12	22	17
			分	分	分	分	分	分	分	分
			36	09	33	59	40	26	24	19
			秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒
		二回目	15	29	12	14	15	11	18	14
			分	分	分	分	分	分	分	分
			55	38	55	47	28	52	40	52
			秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒	秒
CS TLX	順位	知的・知覚的欲求	6	4	5	3	6	1	3	6
		身体的欲求	5	5	1	1	1	6	5	1
		タイムプレッシャー	1	2	2	5	4	3	2	3
		努力	3	1	6	2	2	5	4	2
		フラストレーション	2	6	3	4	3	4	6	5
		作業成績の悪さ	4	3	4	6	5	2	1	4
	一回目	知的・知覚的欲求	50	60	20	10	60	50	0	35
		身体的欲求	70	60	30	85	75	30	50	30
		タイムプレッシャー	15	75	50	50	30	35	100	10
		努力	10	70	35	80	60	25	100	5
		フラストレーション	40	60	55	15	75	60	75	70
		作業成績の悪さ	70	50	30	0	15	15	75	10
		重み付け平均値	50. 24	60. 48	34. 52	27. 86	46. 43	36. 9	65. 48	31. 9
	二回目	知的・知覚的欲求	45	70	50	10	55	50	0	0
		身体的欲求	20	70	65	0	55	60	0	0
		タイムプレッシャー	20	60	50	0	95	35	50	0
		努力	12	60	55	0	95	25	30	0
		フラストレーション	70	85	70	0	70	50	55	0
		作業成績の悪さ	30	80	55	0	25	45	0	10
		重み付け平均値	32. 67	74. 29	55. 95	1.4 3	61. 43	44. 05	26. 19	1.9

4.3 考察

精神的負担の他覚的評価として、各回路の一回目と二回目の作業達成時間の平均を、図 4-5 に示す。2 つの回路作成の難易度を比較する目的のため、図 4-5 のグラフは TUI 作業机システムの結果と作業書の結果を全て合わせて計算したものである。さらに、同じ理由で「1 回目」と「2 回目」は異なる作業者の平均となっていることにも注意されたい。一回目と二回目の作業を比べると、どちらの回路とも二回目が一回目より早く達成できている。これは慣れていない回路作業に習熟し、より早く作業を進められたためであろう。

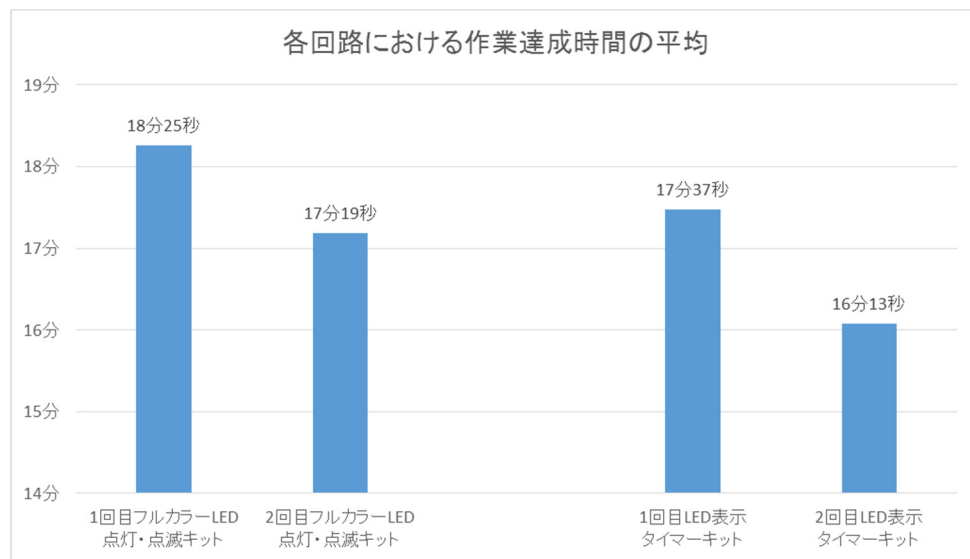


図 4-5 各回路における作業達成時間の平均

フルカラーLED 点灯・点滅キットと LED 表示タイマーキットの作業達成時間を比較すると、LED 表示タイマーキットが、一回目も二回目も 40 秒以上早い。これは LED 表示タイマーキットのほうがフルカラーLED 点灯・点滅キットより回路の製作が容易であることがわかる。フルカラーLED 点灯・点滅キットでは、フルカラーLED の足が 4 本あり、プリント基板への挿入のために、図 4-6 のように曲げる必要がある。この作業に手間をとる作業者が多く、LED 表示タイマーキットより難易度が高くなってしまった原因だと考えられる。

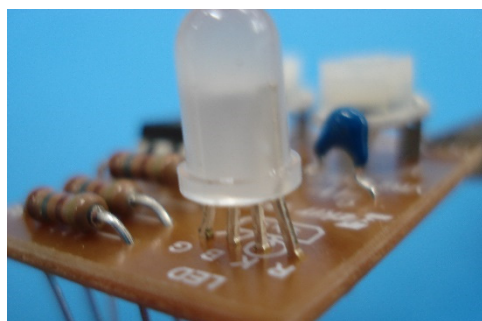


図 4-6 フルカラーLED

各パターン別の作業達成時間の平均を図 4-7 に示す。図のとおり、A パターンでは二回目により作業が早くなったことが確認できるが、B パターンでは確認できず、一回目の作業より二回目の作業は作業達成時間が長くなってしまっていることがわかる。これは TUI 作業機システムが作業達成時間では作業書に勝ることができなかったことを示している。

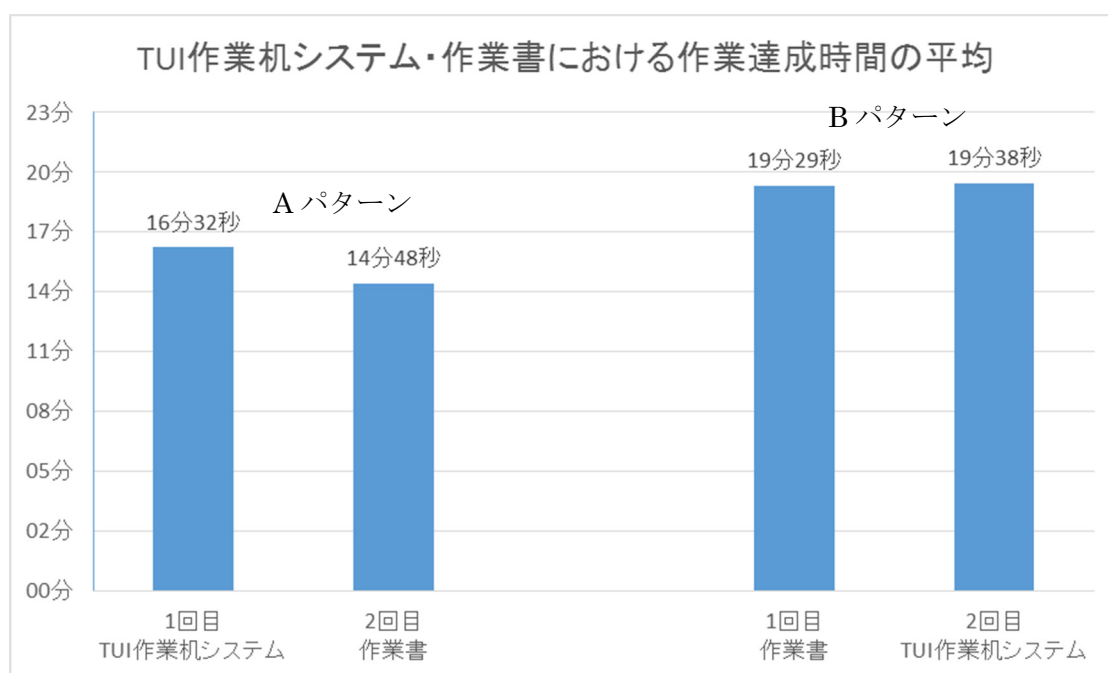


図 4-7 各パターン別の作業達成時間の平均

原因としては、TUI 作業機システムにあった問題が考えられる。TUI 作業機システムにあった問題を以下に示す。

- ・プロジェクターの光が作業機に反射し、まぶしく作業がやりにくかった点
- ・作業のアドバイスを左上に表示しているが、作業スペースから遠く見にくくなってしまった点
- ・作業検知の精度が悪かった点
- ・作業が勝手に進んでしまうことがある点

1 点目の問題は、プロジェクターの光によってまぶしさを感じ、作業書に比べ目が疲れてしまうことである。また角度によっては文字が見えなくなってしまうこともあり、作業を阻害されてしまうという問題もあった。

2 点目の問題は、座っている状態でアドバイスの表示位置を見ようとすると、中腰になれば詳細にみることができない点である。評価実験では作業者が何度か中腰になり、アドバイスを確認していた。アドバイスを確認しやすい位置に表示する必要がある。

3 点目の問題は、作業検知の精度である。パーツ・工具を取得しても次の作業に進まず、next に手をかざす必要がでてくる場面がいくつもあった。原因としては、プロジェクターの投影面とカメラの见ている画像のずれが生じていたことが考えられる。ずれの結果、検知したい位置のピクセルが検知できなかつたり、手ではなく服の裾を検知していたりということが起きたのであろう。

4 点目の問題は、作業中に作業が勝手に進んでしまうことによって、back を使って作業を戻する必要があったことである。これは、外乱光の影響が考えられる。外乱光によって、読んでいたピクセル値が想定した値から変動してしまい、誤検知が起きてしまったのであろう。

各パターン別の CSTLX の平均値の平均を図 4-8 に示す。CSTLX の平均値は、精神的負担の主観的評価を示すものであるため、平均値が低いほうが精神的負担は低い。図のとおり、一回目よりは二回目のほうが、平均値が下がっているのがわかる。前述のとおり、二回目のほうが一回目に比べ習熟しており、精神的負担が少なく作業が進められていることが両パターンに確認できる。ここで二回目の平均が B パターンでは A パターンに比べ明らかに下がっているのがわかる。これは TUI 作業机システムの影響と考えられる。TUI 作業机システムという新しいシステムに触ったときの興味・関心による部分もあると考えられるが、事後アンケートでは図での説明や使用するパーツ・工具が表示される事が作業書に比べると良いと感じたという意見があった。また、事後アンケートには、「作業を行ってどちらのほうが作業しやすかったか」を問うアンケートがあり、このアンケートでは、8 人中 6 人が TUI 作業机システムをあげていた。これらの結果から、精神的負担の主観的評価では TUI 作業机システムは作業書に勝ることができたことを示している。

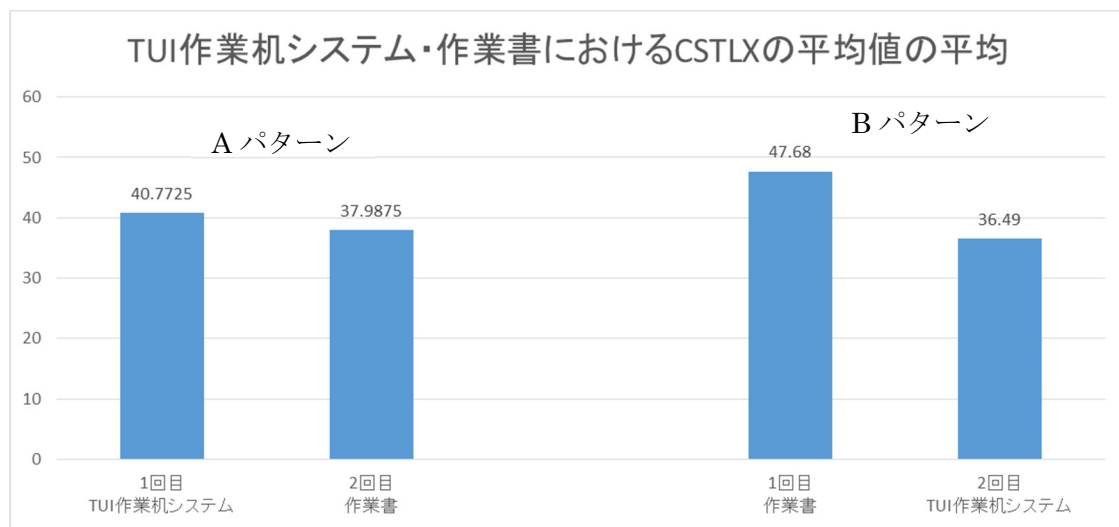


図 4-8 各パターン別の CSTLX の平均値の平均

第5章 結言

5.1 結論

本研究では、以下の3点を目的として研究を進めた。

1. セル生産方式に適した IT による作業支援システムを開発すること
2. 製作した作業支援システムを評価すること
3. 製作した作業支援システムが作業者に与える精神的負担を評価すること

セル生産方式のような一人で作業する環境を想定した作業支援システムを TUI で開発できた。本研究で想定した TUI 作業机システムはプロジェクターとカメラがあれば導入できるシステムである。システムは人の体に装着しないため、装着が必要なシステムに比べ精神的負担が少ない。

TUI 作業机システムの評価実験の結果、TUI 作業机システムは作業達成時間では作業書に勝ることはできなかった。これは TUI 作業机システムのインターフェースや認識率が原因であることが考えられ、改良する必要がある。また今回は評価実験として、少ないパーツ数の回路キットを用いたが、パーツ数の多い回路キットでは、どのような違いがでるか検証する必要がある。

評価実験後に行ったアンケートの結果、精神的負担の主観的評価では作業書と比較して TUI 作業机システムではより快適に作業が進められる可能性があることがわかった。これは、図を用いた説明や使用するパーツ・工具が強調されることが作業書に比べよいと感じた人が多かったためであろう。

また、TUI 作業机システムでは作業の手順をつくることに時間がかかり、実際の導入には手順の作成を補助する機能が必要である。

5.2 今後の課題

今後の課題として、評価実験でわかった問題とその解決方法や、実環境に導入するために必要な検証・機能を以下に示す。

・評価実験でわかった問題とその解決方法

まず、プロジェクターによる光が眩しく、作業がしにくかったという問題がある。これは実験環境の作業机が反射しやすい素材でできているためである。解決方法として、作業スペース以外のスペースを紙で覆う方法が考えられる。また作業机自体を換え、反射しにくい素材のものをを用いると良いだろう。

また、作業のアドバイスを左上に提示したため、見にくかったという問題がある。これは図の提示には、比較的大きなスペースが必要であり、なおかつパーツ・工具が置かれている位置に重ならないようにするためである。解決方法として、図 5-1 のように現在使用していないパーツの位置に投写することが考えられる。パーツの位置であれば作業スペースからも近く、見えやすい。しかし、パーツによっては大きく、背の高いパーツもあり図がしっかり投射されない可能性がある。特徴的なパーツの位置を調整する必要がある。

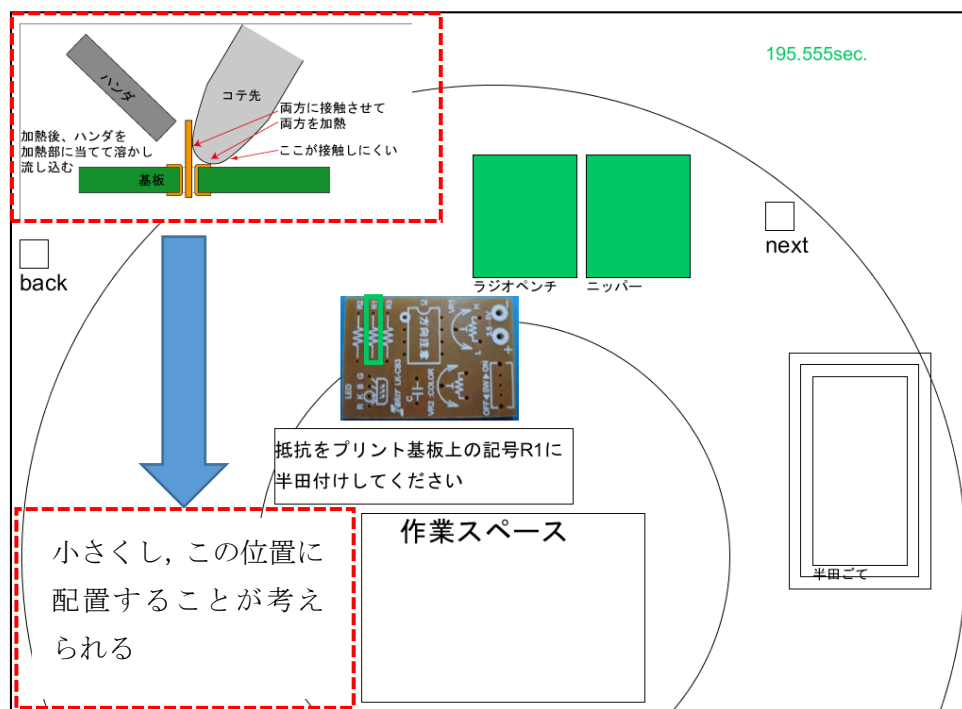


図 5-1 アドバイスの位置

次に、作業検知の精度が悪く、パーツ・工具を取得しても作業が進まなかったという問題がある。これは、プロジェクターの投影面とカメラの见ている画像のずれが生じていたためである。ずれの原因としてプロジェクターの投影面の座標系とカメラの见ている画像の座標系が一致していないことがあげられる。設置に使用した器具(図 3-5)によって高さでカメラの xy 平面の位置を物理的な補正によって調整できるため、大きなずれは発生していないが、座標系を一致させない限り正確な作業検知はできない。解決方法として、カメラの见ている画像をプロジェクターの投影面に合わせてアフィン変換する方法が考えられる。アフィン変換とは、平行移動と線形変換を組み合わせた変換である。アフィン変換によって、それぞれの座標系が一致し、正確な作業検知が行えると考えられる。

同様に、作業が勝手に進んでしまうという問題がある。これは前述の座標系のずれによって、意図しないものを検知してしまっていたという原因も考えられるが、外乱光の変化によるものが大きいと考えられる。朝昼夜で外乱光の強さが変わり、それが作業検知時のピクセル値を変化させ誤動作が起こると考えられる。そのため外乱光の変化を許容できる補正をかける必要がある。具体的には、朝昼夜のどれか 1 つの時間帯の作業検知の閾値を設定する。TUI 作業机システムを使用する度に初期設定画面 1(図 3-14)でピクセル値をチェックし、そこで閾値に補正を加えることで外乱光の変化を許容できるようになると考えられる。

・実環境に導入するために必要な検証・機能

実環境での作業では、作業者が手袋をはめていることや、作業者の肌の色が想定したピクセル値と大きく違う可能性がある。そこで事前に手のピクセル値を取得することで、作業検知の閾値の補正をかける必要がある。

さらに、TUI 作業机システムでは、作業の手順をプログラマが事前に作成する必要がある。TUI 作業机システムでは作業手順の作成に時間がかかり、実環境で導入するには作業手順の作成を補助する機能が必要である。作業手順を作成するには「作業に必要なパーツの写真」、「パーツ・工具の位置配置」、「作業に関するアドバイスの図」、「作業の工程を指示する文字」、「現在の作業で使われるパーツを挿入するプリント基板上の場所の位置」などの情報が必要である。これらを容易に配置できるインタフェースをもった作業手順作成支援機能を導入する必要がある。

結論で述べたとおり，本研究ではパーツ数の少ない回路キットを使用して評価実験を行った．今後の課題として，パーツ数の多い回路キットにおいて TUI 作業机システムが有用であるかも検証しなければならない．

参考文献

- [1] 日経ソフトウェア 三井英樹. (平成 19 年 1 月 24 日公開). 第 37 回 ドキュメント作り
を活性化させる方法. セル生産方式とライン生産方式:
<http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/COLUMN/20070123/259307/>
- [2] 総務省. (平成 24 年 1 月推計). ICT 超高齢社会構想会議報告書(国立社会保障・人口問
題 日本の将来推計人口). 日本の生産年齢人口の推移:
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h25/html/nc123120.html>
- [3] 株式会社 HAITECH. デジタル屋台システム. 参照先: 株式会社 HAITECH
<https://www.haitex.hayatele.co.jp/product/deziya/>
- [4] 目次康男(2008 年). 特集 2 「デジタル屋台」が工場を変える IT と生産技術の融合で
逆風を跳ね返す. 日経 BP 社.
- [5] 経済産業省(2015 年). 第 1 部 ものづくり基盤技術の現状と課題 第 2 章 良質な雇用を
支えるものづくり人材の確保と育成 第 1 節 良質な雇用を支えるものづくり人材の確
保・育成の課題と対応. 製造基盤白書(ものづくり白書).
- [6] 経済産業省, 厚生労働省, 文部科学省(平成 27 年 6 月). 平成 26 年度ものづくり基盤技
術の振興施策(概要):
http://www.meti.go.jp/report/whitepaper/mono/2015/honbun_pdf/pdf/gaiyou.pdf
- [7] MONOist 三島一孝. (2015 年 05 月 07 日更新). インダストリー4. 0 は人間の仕事を奪
うのか. ABB が出展した人と共同で働くことができる双腕ロボット「YuMi」:
http://monoist.atmarkit.co.jp/mn/articles/1505/07/news020_2.html
- [8] 中島真弓, 他 3 名, “単眼透過型 HMD およびマニュアルを用いた PC 組立作業の比
較”, 日本人間工学会第 47 回大会, 2007
- [9] 西田大樹 ほか 3 名, “水平作業台ディスプレイを用いた卓上作業への情報支援に関
する基礎 研究-情報提示位置の差異が作業者に及ぼす影響の調査-”, 精密工学会春季
大会学術講演論文集, 2012, pp. 1069-1070
- [10] H. Ishii, A. Mazalek and J. Lee: “Bottles as a Minimal Interface to
Access Digital Information”, HCI Bibliography: Table of Contents: CHI01,
Vol. 2, pp. 187-188(Mar. 2001)
- [11] Jordi Jordà, Günter Geiger, Marcos Alonso, Martin Kaltenbrunner: ” The
reacTable: Exploring the Synergy between Live Music Performance and Tabletop
Tangible Interfaces”, HCI Bibliography: Table of Contents: TEI07, pp. 139-
146(Feb. 2007)
- [12] 株式会社 EPSON. ビジネスプロジェクター EB-580. 参照先: 株式会社 EPSON
<http://www.epson.jp/products/bizprojector/eb580/>
- [13] 株式会社 Logitech. HD PRO WEBCAM C920R. 参照先: 株式会社 Logitech
<https://www.logicool.co.jp/ja-jp/product/hd-pro-webcam-c920>

- [14] 三宅晋司 神代雅晴, “メンタルワークロードの主観的評価法-NASA-TLX と SWAT の紹介および簡便法の提案-”, 人間工学, 29(6), 339-408, 1993
- [15] S. G. Hart and L. E. Staveland. Development of NASA-TLX(Task Load Index):Results of empirical and theoretical research. In:P. A. Hancock and N. Meshkati(eds.): Human Mental Workload, 139~183, Elsevier Science Publishers B. V., Amsterdam, 1988
- [16] 芳賀繁, 水上直樹, ” 日本語版 NASA-TLX によるメンタルワークロード測定-各種室内実験課題の困難度に対するワークロード得点の感度-”, 人間工学, Vol. 32, No. 2, pp. 71-80, 1996.

謝辞

2年間、長い間ご指導いただいた金丸隆志先生ありがとうございます。様々な迷惑をかけてしまい申し訳ございませんでした。思えば大学院で研究室を選択する当初、面談していたときは、背が高くなんだか厳しそうな雰囲気の人だなと感じておりました。しかし研究室でのミーティングや飲み会などを通して、とてもユニークな先生であることがわかりました。おかげさまで、楽しく研究生生活を送ることができました。研究では最後の最後までお世話頂きありがとうございます。この2年間で培ったことを忘れず、社会でもがんばりたいと思います。

2年間、ともに研究を行った青木貴宏君ありがとうございます。支えて頂いたり、相談乗っていただいたりありがとうございます。一緒に飲み会やったり、遊んだり楽しかったですね。この記憶は社会人になっても色あせることなく私の思い出に残ることでしょう。いろいろと迷惑をおかけしてごめんなさい。お互い社会人になっても、がんばりましょう。

後輩の須多潮君、橋本将吾君ありがとうございます。徹夜の申請や研究室の清掃など様々なところで手伝っていただき助かりました。また飲み会では楽しませていただき励みになりました。ありがとうございます。力が足りずご迷惑をかけてしまった部分もあるかと思っています。ごめんなさい。

また、お世話になった先輩方、同じ学年の同期の仲間たち、そして後輩たちに感謝を述べます。様々な場面で力になっていただきありがとうございます。

最後に、暖かく見守って頂いたご両親に感謝を述べます。大学院への進学を許していただき、さらに生活面での様々なサポートありがとうございます。おかげさまで、無事に大学院を卒業できます。これからは社会人となり、立派に成長した姿を見せられたら幸いです。

長くなりましたが、謝辞は以上とさせていただきます。皆様ありがとうございます。

付録

作業者A.

聞き取りアンケート

A107-2

7ルから
↓
712-

・年齢 20代

・性別 男・女

・回路経験

数回触った事がある ある程度使う事ができる 日常的に使っていた事がある

実験後アンケート

作業

・作業を行ってどちらのほうが使いやすかったですか

紙での作業 ・ TUI 作業機システムでの作業

・TUI 作業機システムでの作業ではどの部分が紙での作業より良いと感じましたか

細かい説明がある
部品の位置を見失わない
安心感 (紙だと手順を飛ばしたか気になる)

・TUI 作業機システムでの作業ではどの部分が使いにくかったですか

先がわからぬ
まじしい
手順が変えられぬ、(不自由さ)

失敗したときのヘルプが欲しい

左上のナビゲーションは親界に入りづらい
(細かい作業のため手本を注視する)

作業員B.
Bにチー2

聞き取りアンケート

チー2
↓
7月19日

・年齢 20 代

・性別 (男)・女

・回路経験

数回触った事がある ある程度使う事ができる 日常的に使っていた事がある

実験後アンケート

・作業を行ってどちらのほうが使いやすかったですか

紙での作業 ・ TUI 作業機システムでの作業

・TUI 作業機システムでの作業ではどの部分が紙での作業より良いと感じましたか

指示がわかりやすかった

・TUI 作業機システムでの作業ではどの部分が使いにくかったですか

反応が少し遅い気がする

聞き取りアンケート

・年齢 20 代

・性別 (男)・女

・回路経験

数回触った事がある ある程度使う事ができる 日常的に使っていた事がある

実験後アンケート

・作業を行ってどちらのほうが使いやすかったですか

紙での作業

TUI 作業机システムでの作業

・TUI 作業机システムでの作業ではどの部分が紙での作業より良いと感じましたか

読む手間がはぶけた。

落ちついて作業出来る。

センサーの精度がよければ、効率的である。似た作業と連続
して出来る。

・TUI 作業机システムでの作業ではどの部分が使いにくかったですか

連く手を運動くともう一度手をかざる必要がある。
並べる(指定位置に)分少しめんどう。

作業机

AI(ロケーション

マニピュレーター

↓

フレキシブル

聞き取りアンケート

作業の

インター

フェイス

↓
タイム

・年齢 20 代

・性別 男・女

・回路経験

数回触った事がある ある程度使う事ができる 日常的に使っていた事がある

実験後アンケート

・作業を行ってどちらのほうが使いやすかったですか

紙での作業

・ TUI 作業机システムでの作業

・ TUI 作業机システムでの作業ではどの部分が紙での作業より良いと感じましたか

紙より 作業方法が大きく表示されるから。
作業のゴツなども書かれていたから。

・ TUI 作業机システムでの作業ではどの部分が使いにくかったですか

左上に表示される、注意点の画像が目見にくかった。

作業部

AIインターン

7月11日

↓

7月12日

聞き取りアンケート

・年齢 20 代

・性別 (男) ・女

・回路経験

数回触った事がある ☒ ある程度使う事ができる ☐ 日常的に使っていた事がある ☐

実験後アンケート

・作業を行ってどちらのほうが使いやすかったですか

紙での作業

・ TUI 作業机システムでの作業

・ TUI 作業机システムでの作業ではどの部分が紙での作業より良いと感じましたか

説明と図が複数あって分かりやすい。(紙の方はLEDの向きの説明が分かりにくい)

・ TUI 作業机システムでの作業ではどの部分が使いにくかったですか

backボタンの近くの部品を取ると手順が戻る。
誤検出多いです

聞き取りアンケート

・年齢 20 代

・性別 (男)・女

・回路経験

数回触った事がある ある程度使う事ができる 日常的に使っていた事がある

実験後アンケート

・作業を行ってどちらのほうが使いやすかったですか

紙での作業

・

TUI 作業机システムでの作業

・TUI 作業机システムでの作業ではどの部分が紙での作業より良いと感じましたか

図で示めてあるところ

・TUI 作業机システムでの作業ではどの部分が使いにくかったですか

・各パーツも初期位置に置かないといけない

・誤差動が多い

・ワークスペースが広すぎる

・読むべき場所がほとんど分らない

F

BIWA-2

7C2-

↓

7C1A-

聞き取りアンケート

・年齢 20 代

・性別 男・女

・回路経験

数回触った事がある ある程度使う事ができる 日常的に使っていた事がある

実験後アンケート

・作業を行ってどちらのほうが使いやすかったですか

紙での作業 ・ TUI 作業機システムでの作業

・TUI 作業機システムでの作業ではどの部分が紙での作業より良いと感じましたか

使用するハーツを提示してくれる所。

・TUI 作業機システムでの作業ではどの部分が使いにくかったですか

図が文字の ~~読み~~ はしゃびつかれる。

依頼書

B107-2

7月

↓

9月2 -

作業員 14

A109-2

412

↓

716

聞き取りアンケート

・年齢 20 代

・性別 (男)・女

・回路経験

数回触った事がある ある程度使う事ができる 日常的に使っていた事がある

実験後アンケート

・作業を行ってどちらのほうが使いやすかったですか

(紙)での作業 ・ TUI 作業机システムでの作業

・TUI 作業机システムでの作業ではどの部分が紙での作業より良いと感じましたか

「部品を取って下へ」という指示、録作動がなかったことも相俟って快適だった。

・TUI 作業机システムでの作業ではどの部分が使いにくかったですか

画面左上にフドビスがあたりは良いが、目線移動を要求されるために見る友になれなかった。画面がもう少し小さくても良いのではないかと感じた。