

修士学位論文

論文題目 作業動作に応じて

情報提供可能なインタフェースの開発

ふ り が な
氏 名 す だ うしお
須 多 潮

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) 2018年 3月

工 学 院 大 学 大 学 院

論文要旨

近年，生産年齢人口の減少による人材不足により，日本国内の工場ではITの導入に力を入れ始めている．例えば，作業者の負担が大きくなる中，ITを取り入れた作業支援によって，作業者の負担を軽減させることが現在注目されている．また，ITを取り入れた作業支援で若い作業者に技術の継承を行おうとする取り組みも見受けられる．そのような取り組みの例として，作業者の傍で動作できる協働ロボットや，作業者がタッチパネルから指示される案内に従うことで部品を加工できるシステムなどがある．これらはそれぞれ作業者の負担軽減と技術継承を目的としたIT活用の例である．

それに対し，我々は先行研究として情報提示可能な作業机システムの開発を行った．このシステムでは，作業者が半田付けなどの回路製作作業をする際，机上に支援情報を提示することで作業者の負担を軽減できる．しかし，認識範囲が机上の平面領域のみであるという制約があり，机上の高さを利用した作業に対して情報を提示することができない．

そこで，本研究では机上の高さの活用も含めた様々な作業を行う作業者の動きに合わせた作業支援システム(Worker Assistance System, 以下WAS)の提案をする．また，先行研究のシステムにはない新たな支援情報の一つとして，お手本となる熟練者が作業を行っている様子を画面で確認できる仕組みを実装する．

そして，開発したWASと紙面の作業書とのそれぞれで作業を行い，評価を比較する．それにより，WASの作業効率を調べる．WASの評価方法は，主観的評価のためのCSTLXと客観的評価のための作業達成時間を用いた．

WASの評価実験の結果，WASは作業達成時間では作業書に勝ることはできなかった．これは誤認識による時間のロスが原因であることが考えられ，改良する必要がある．また，WASの精神的負荷評価では，作業書と比較して，作業者が感じるタイムプレッシャーが大きくなった．これは，WASの作業完了の判定の仕様によるものと考えられ，こちらも改良する必要がある．この二つの課題を解決することで，WASが紙の作業書と比べて作業達成時間と精神的負荷評価において勝ることが期待できる．

目次

論文要旨	1
第1章 緒言	4
1.1 研究背景	4
1.1.1 生産現場の現状	4
1.1.2 IT による作業支援	7
1.2 TUI 作業机システム	9
1.2.1 TUI 作業机システムの概要	9
1.2.2 TUI 作業机システムの問題点	12
1.3 新システムを実現するために	13
1.4 本研究の目的	15
第2章 WAS について	16
2.1 WAS の概要	16
2.2 WAS の構成	17
2.3 WAS のハードウェア	18
2.3.1 Kinect for Windows v2	18
2.3.2 プロジェクタ	19
2.3.3 ディスプレイ	20
2.3.4 PC	21
2.4 作業の流れに沿った WAS の働き	22
2.4.1 仕様	22
2.4.2 情報提示機能	23
2.4.3 作業検知機能	28
2.4.4 音声支援機能	31
2.4.5 支援動画再生機能	32
2.5 本システムの機能の実装	33
2.5.1 作業検知機能の実装	34
2.5.2 支援動画再生機能の実装	35
第3章 WAS の評価と考察	36
3.1 WAS の評価方法	36
3.2 評価	38
3.2.1 評価実験	38
3.2.2 評価結果	42
3.3 考察	46

第 4 章 結言	50
4.1 結論	50
4.2 課題に対する解決法	51
参考文献	54
謝辞	56
付録	57

第1章 緒言

1.1 研究背景

1.1.1 生産現場の現状

現在、日本では、生産年齢人口の減少に伴い、人手不足が各業界で深刻化している。生産年齢人口とは、生産活動の中核をなす15歳以上65歳未満の層の人口のことを指す。図1-1は内閣府が提供する高齢化の推移と将来推計のグラフである。このグラフから、生産年齢人口(棒グラフの赤色の年齢層)が2000年を境に減少傾向にあると読みとれる。生産年齢人口が減少するということは、働き手が少なくなるということである。

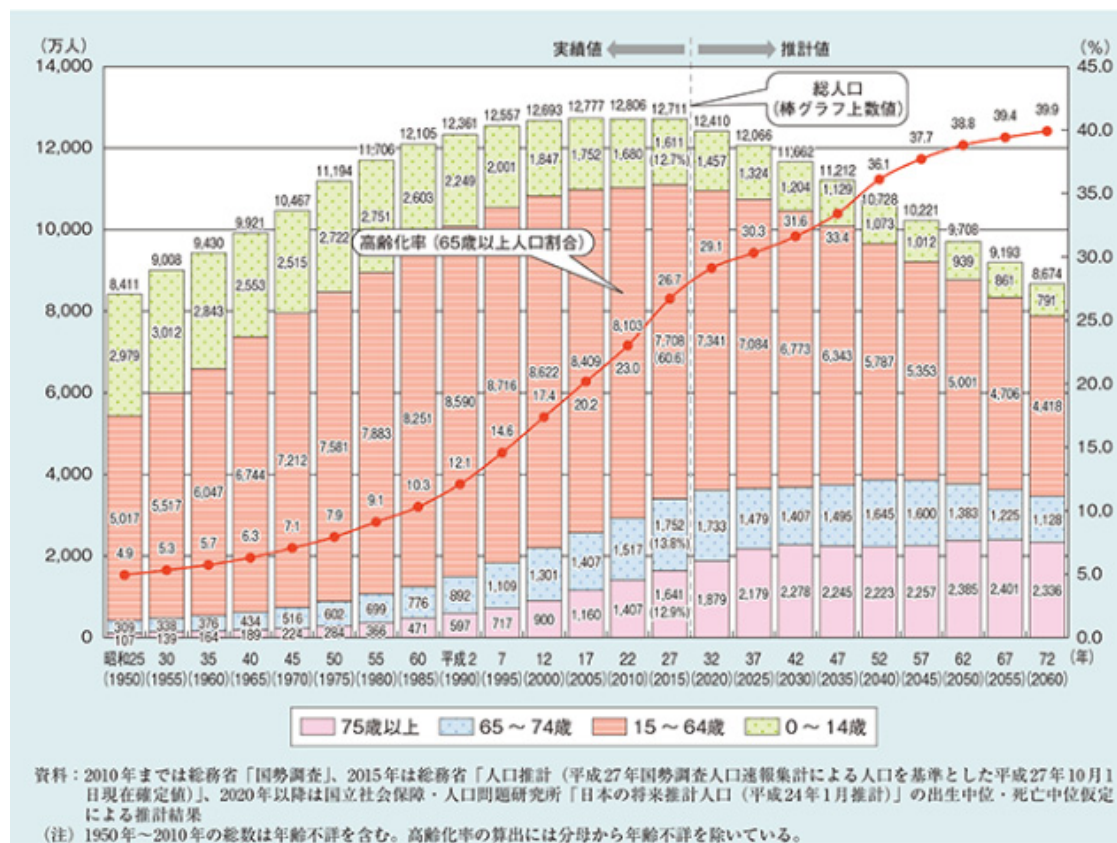


図 1-1 高齢化の推移と将来推計[1]

特に、製造業への人手不足の影響が大きい。図 1-2はパーソル総合研究所による、産業別就業者数の推移を示したグラフである。製造業と建設業の就業者数が、1995年から減少傾向の一途にあり、2025年には1995年の就業者数から4割近く減少すると推計されていることがわかる。

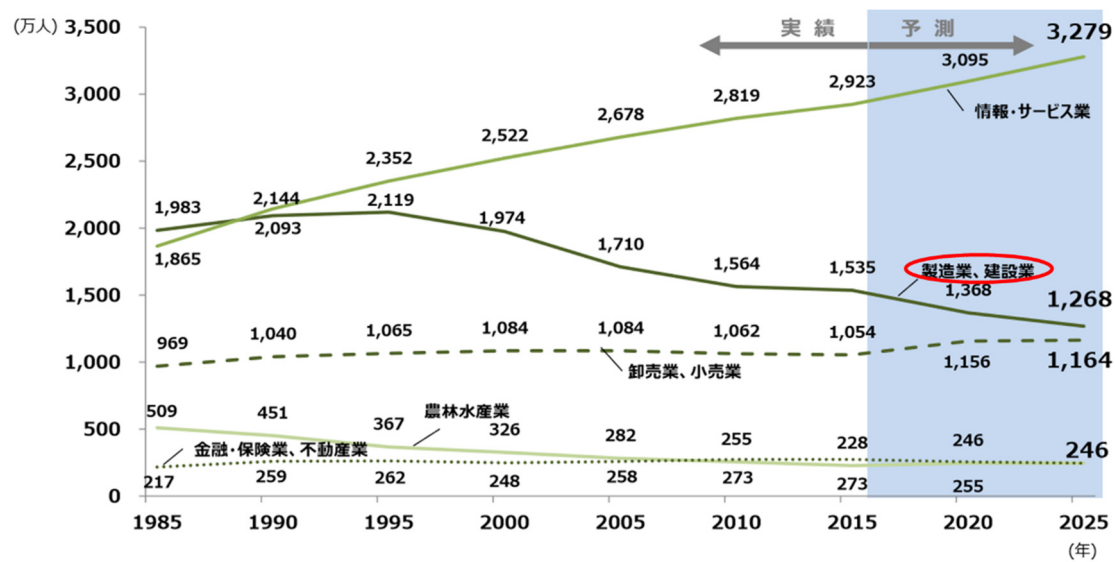


図 1-2 産業別就業者数の推移[2]

製造業の人手不足の要因としては、①工場に対するイメージの悪化[3]，②熟練作業者の平均年齢の上昇[4]が挙げられる。①は、若い労働者が工場に対して「力仕事で、サービス残業が多い」というイメージを持つことを指す。②は、団塊世代の労働者が定年を迎えて、多く引退するために起こる。

この製造業の人手不足に伴い、国内の工場では、以下の二つが生産力低下の問題になっている。

1. 作業者の負担が増加すること
2. 技術継承がされないこと

一つ目は、一人一人における作業者の負担が増加していることである。特に中小企業では、発注の短納期化に伴い、仕事の繁閑の格差が多くなっている。そのために、最低限度以上の固定人員を抱えることが難しく、残業等に対応せざるを得ない状況と言われている[5]。その他に、多品種少量生産の製造方法が主流のため、作業者は多くの種類の製造方法を覚える必要があるという問題がある。それによりさらに人手が減ると、作業者一人の覚えるべき製造方法が増えてしまうという悪循環が起こる。

二つ目は、若い世代に技術の継承がされないことである。技術継承とは、熟練者がもつ高度な技能やノウハウを次世代の若手技術者に継承することである。技術継承がされないと、元々生産できた製品は生産が不可能になる。そのため、元々生産できた製品をベースにした、新しい製品が誕生しにくいだろう。

1.1.2 IT による作業支援

1.1.1で解説した日本国内の工場における生産力低下をITの導入により解決しようという試みが始まっている。それにより労働環境が変わりつつある。作業者の負担が大きくなる中、ITを取り入れた作業支援によって、作業者の負担を軽減させることが現在注目されている。

作業者の負担を軽減させることを目的とした、ファナック社製の「CR-55iA」という協働ロボットがある。このロボットは、作業者の傍で動作する。このロボットと女性作業員と一緒に作業している様子を図 1-3に示す。この図は、協働ロボットが約13kgもあるボールねじを台車から圧入機にセットし、女性作業員がセットされたボールねじの軸の上からベアリングや圧入用の治具をセットしているところを表している。この作業は、元々男性作業員が二人で行っていたが、協働ロボットの導入により女性作業員一人でも作業が可能になった。



図 1-3 ロボットと人の協働作業[6]

また，ITを取り入れた作業支援で若い作業者に技術の継承を行おうとする取り組みも見受けられる．

図 1-4は技術継承を目的に開発された，ワールド山内製の部品加工システムである．このシステムを使うと誰でも熟練者並の金属加工ができる．このシステムを使って若い作業者が金属加工している様子が図 1-4に示されている．タッチパネルから指示される案内に従い，若い作業者が機械に金属の板を差し込むことで，寸分の狂いもなく，金属の板を曲げ合わせることができる．この作業は，元々10年以上の経験が必要な職人技だったが，10万通りに及ぶ金属加工方法をデータ化することにより，若い作業者でも熟練者並みの金属加工が可能になった．



図 1-4 部品加工システムによる金属加工[7]

1.2 TUI 作業机システム

1.2.1 TUI 作業机システムの概要

1.1で紹介した問題を解決する目的で、我々は先行研究で情報提示可能な作業机システムを開発した。このシステムは、座位状態の作業者が半田付けやねじの取り付けなどの軽作業を行う状況を想定している。以後、このシステムをTUI作業机システムと呼ぶ。TUIとはTangible User Interfaceの略であり、本システムが、半田ごてやニッパなどをシステムのインターフェースとして利用することを意味している。TUI作業机システムの構成を図1-5に示す。



図 1-5 TUI 作業机システム[8]

TUI作業机システムは、プロジェクタを使って作業支援情報を机に投影することで、作業者に指示を与えることができる。回路製作作業の支援の場合に、プロジェクタから机に投影される作業支援情報を図 1-6に示す。回路に取り付ける電子部品の指示やはんだ付けする場所が机上に写真で表示されているのがわかる。この作業支援情報をもとに、作業者は回路製作作業を行う。

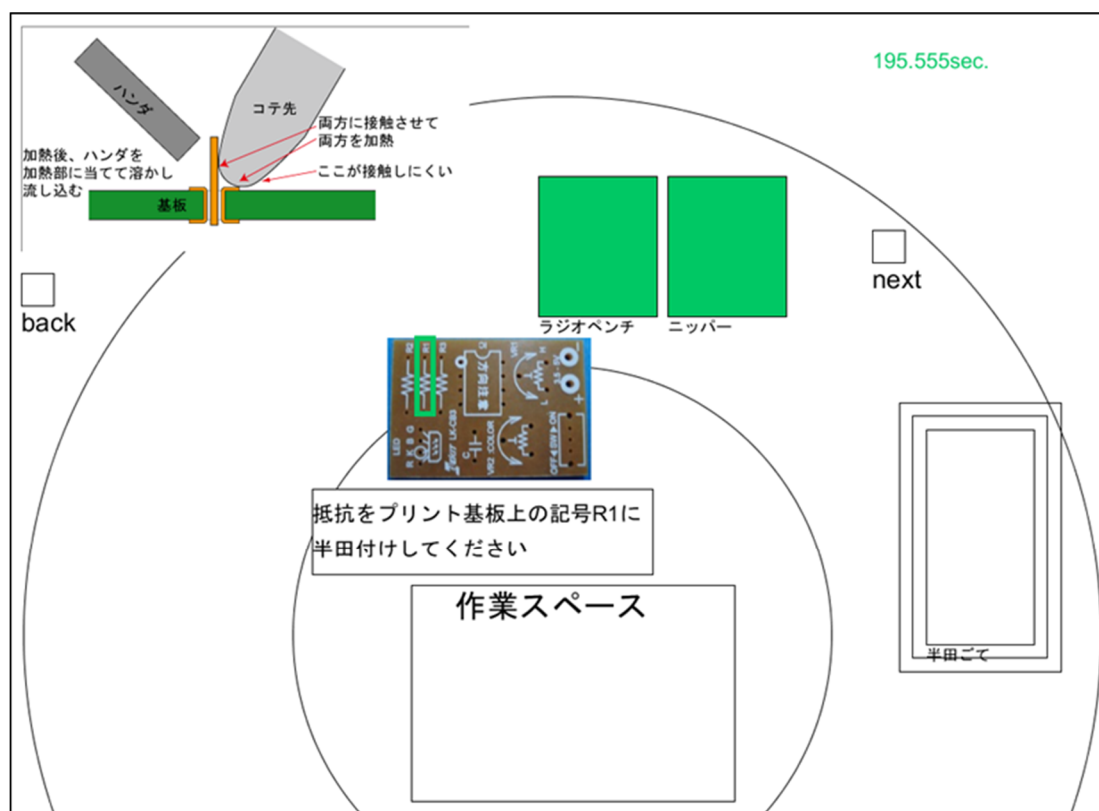


図 1-6 机に投影される作業支援情報

TUI作業机システムは、机の上に設置されたWebカメラを使い、作業者の作業状態の検知を行う。このシステムが作業状態を検知している様子を図 1-7に示す。作業者がシステムから指示された抵抗を取ると、抵抗が置いてある位置のピクセル値の変化をWebカメラが読み取る。読み取ったピクセル値の変化が一定以上かつ一定時間経った時に、TUI作業机システムは作業者が抵抗を取ったとみなす。そして、TUI作業机システムは、プロジェクタから次の作業情報を机に投影させる。このように支援を受けながら、作業者は作業を進めることができる。これにより、作業者が多くの製品の製造方法を覚える必要がなくなる。そのため、作業者の負担が軽減できると考えられる。また、熟練者の習得した技術を写真や文章で画面に投影することで、技術の継承ができることも考えられる。

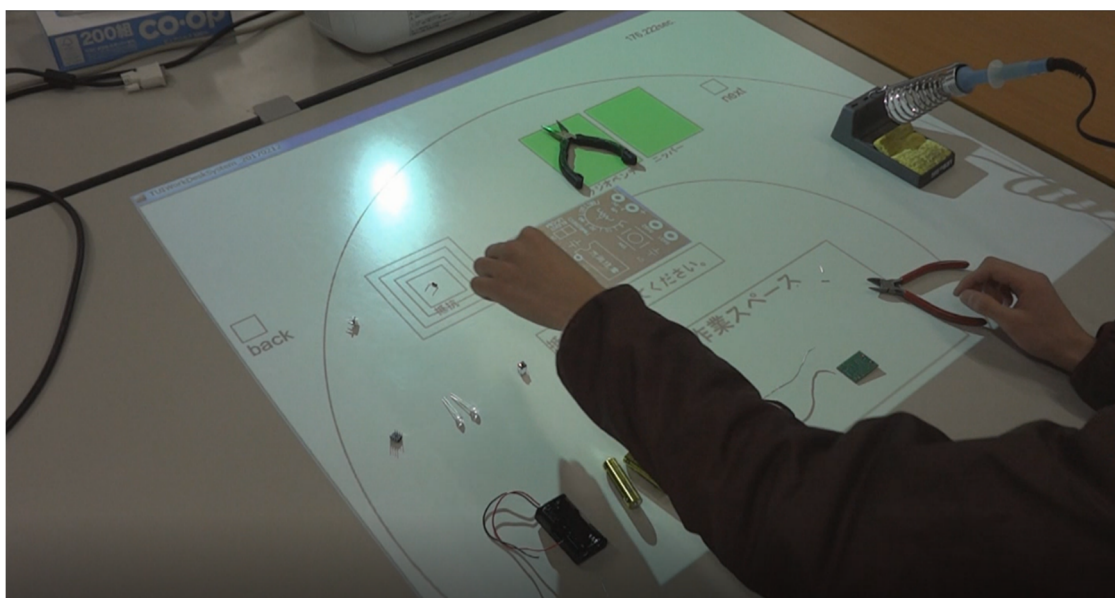


図 1-7 作業者の作業状態を検知している様子

1.2.2 TUI 作業机システムの問題点

このTUI作業机システムの問題点は、図 1-8(左)に示した机上の平面領域しか認識できないことである。それはTUI作業机システムが、Webカメラで作業を検知しているためである。そのため、机上にあるパーツや道具の取得検知は可能である。しかし、例えば、机上で機械を組み立てる際に、ネジを締める場所の高さが違う作業が存在した場合、TUI作業机システムでは高さの異なる2つの位置を区別することができない。

そのため、新システムでは、図 1-8(右)のように認識範囲を立体領域に拡張する。それにより、机上から高さのある作業状態を検知することができるようになる。その結果、道具の取得検知以外にも、ネジを締める作業やパーツを組み立てる作業の検知が可能になるだろう。

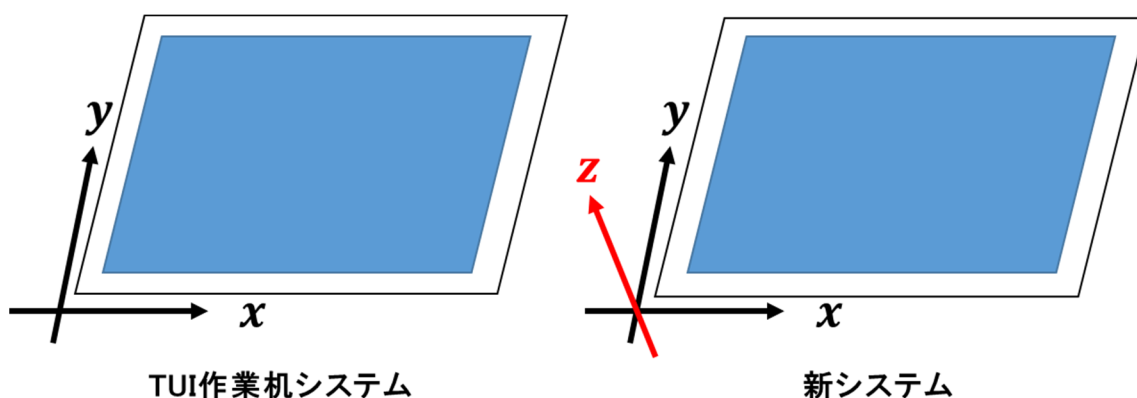


図 1-8 TUI 作業机システムと新システムの認識範囲

1.3 新システムを実現するために

1.2.2で説明した，認識範囲の立体領域への拡張を実現するために，新システムでは Kinect v2を用いる．Kinect v2には，カメラの他に赤外線センサが搭載されている．この赤外線センサは対象物との距離を測ることができるため，カメラと赤外線センサを組み合わせることで，立体領域を認識することが可能となる．これにより，新システムの認識範囲を立体領域に拡張できる．

このKinect v2を用いることで，作業を行っている作業者の動きの把握が可能となる．Kinectv2の標準機能には，図 1-9のような人の関節の位置を取得する機能がある．人の関節の位置が分かることで，例えばネジを締めている作業者の動きが把握できるだろう．これにより，本研究では，作業者の動きに合わせた作業支援を行っていく．



図 1-9 Kinect v2 による人の関節位置取得

また、新システムには、「作業者の動きを把握して支援情報を提示する機能」以外に、「作業者に熟練者の動いている様子を提示する機能」を取り入れる。作業者に熟練者の動いている様子を提示することで、文章や写真を提示したときと比べて、より直感的に作業内容を伝えることができるだろう。

「作業者に熟練者の動いている様子を提示する機能」の参考として、慶応義塾大学の後藤らが提案したAR支援システム[9]がある。このAR支援システムは、作業者の視点映像に教師ビデオがそれぞれ半透明で重畳表示された図 1-10(左)のような映像を、作業者に提示するシステムである。作業者は、この重畳表示された映像をディスプレイで見て、折り紙を折る作業を行う。また、作業者は、輪郭線情報を表示させること(図 1-10(中央))や教師ビデオをずらすこと(図 1-10(右))などを、必要に応じて設定できる。このように、映像を見ることで、作業者が効率の良い作業を行うことができる。

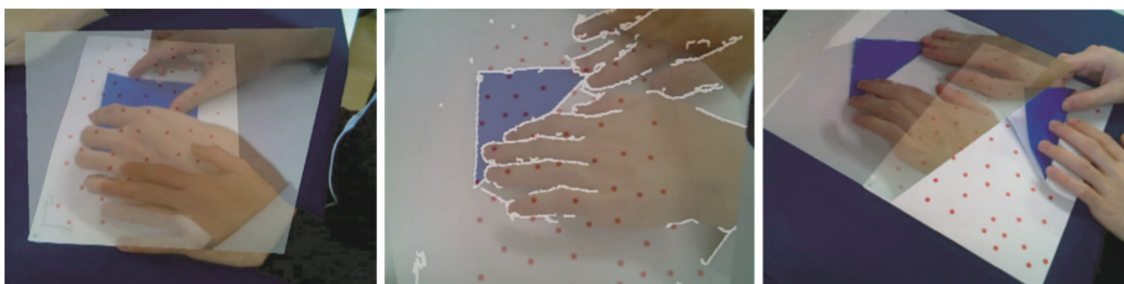


図 1-10 作業者に提示される情報[9]

そこで、本研究では、熟練者の動きを保存し、画面に表示する機能を開発する。今回は、作業者が机の周りを必要に応じて動き回る。そのため、熟練者の手元の動きだけではなく、熟練者の体全体の動きが画面に表示されるようにする。熟練者の体全体の動きを作業者が見て真似することで、作業者が熟練者の技術をより早く習得できるように促す。それにより、技術の継承ができると考えられる。

1.4 本研究の目的

以上から本研究の目的を以下のように定める．

1. 作業を行っている作業者の動きに合わせた作業支援システムを開発すること
2. 熟練者の動きを保存し，画面に表示すること
3. 開発した作業支援システムを評価すること
4. 開発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，TUI作業机システムと比べて，より作業者の動きに合わせた作業支援システムを開発することである．特に，立って作業を行う作業者に支援情報を提供することを目指す．

第2の目的は，作業者が熟練者の作業を見ることで，より作業の効率を向上させることである．

第3の目的は，開発した作業支援システムが，紙の作業書と比べて効率的になっているかを評価することである．

第4の目的は，ITを用いた作業支援システムでは精神的負担が増すことがあるため[10]，その負担が少ないシステムを開発できたかを評価することである．

第2章 WAS について

2.1 WAS の概要

本研究では、立って作業を行っている作業者の動きに合わせた情報提供可能な作業支援システムを開発する。以後、この作業支援システムをWAS(Worker Assistance System)と呼ぶ(図 2-1)。

WASでは、立位状態の作業者が機械の組み立てや薬液の調合などの軽作業を行う状況を想定している。そのうち今回は、3Dプリンタの組み立て作業を想定する。机上有る3Dプリンタに対して、立っている作業者が必要に応じて機の周りを動き、モータや機械のパーツの取り付け、ドライバなどでネジをしめる作業などを行う。その際に本システムで、作業者に支援情報として作業すべき内容を写真と文章で指示し、使用する道具やパーツを提示する。

作業者に作業情報を提示する方法として、作業者にプロジェクタとディスプレイの2種を用いる。作業者はプロジェクタから机上に投影された作業の指示に従って作業を行う。また、ディスプレイにはKinect v2から出力される作業者の作業の様子の上に、事前に用意された熟練者の作業の風景を重ねて表示する。

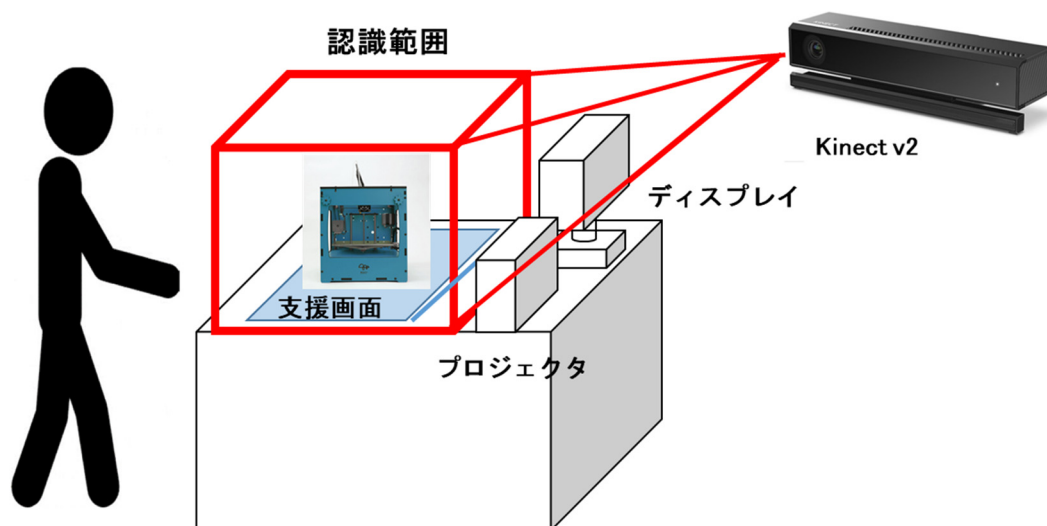


図 2-1 WAS の概要

2.2 WAS の構成

WASは、Kinect v2、プロジェクタ、ディスプレイ、PCの4つで主に構成される。それらのWASにおける位置付けを図 2-2で示す。まず、作業者が作業机の前で立って作業を行っている様子を、作業者に向かって机上に設置されたKinect v2によって取得し、その解析結果によって、作業者支援情報などを描画する。描画対象はプロジェクタを通した作業机とディスプレイの二つある。プロジェクタによって作業机に向かって投影されるのは部品位置や作業順序などの支援情報である。また、ディスプレイにはKinect v2から出力される作業者の作業の様子の上に、熟練者の作業の風景を重ねて表示する。次節からはWASで用いるハードウェアについて詳しく説明する。

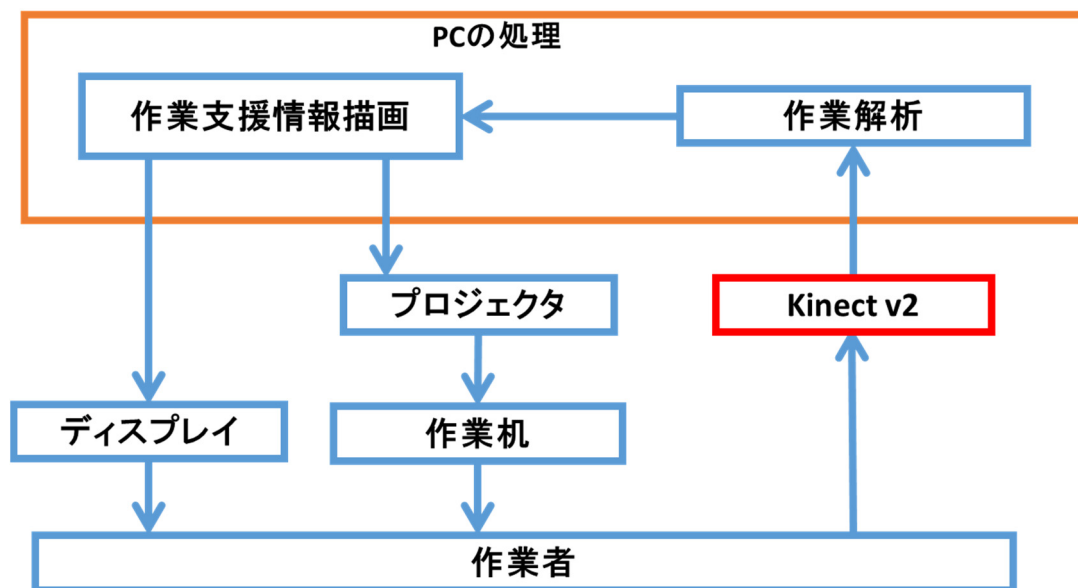


図 2-2 WAS の構成

2.3 WAS のハードウェア

2.3.1 Kinect for Windows v2

本研究で使用するMicrosoft社製のKinect v2を図 2-3に示す．詳しい仕様は表 2-1に示されており，解像度は1920×1080（FHD），人物の検出範囲が0.5～4.5m，最大6人まで検出可能である．



図 2-3 Kinect for Windows v2[11]

表 2-1 Kinect for Windows v2 の仕様

色 (Color)	解像度 (Resolution)	1920×1080
	fps	30fps
深度 (Depth)	解像度 (Resolution)	512×424
	fps	30fps
人物姿勢 (Skeleton)		6人
関節 (Joint)		25関節／人
手の開閉状態 (Hand State)		○ (SDK)
深度の取得範囲 (Range of Depth)		0.5～8.0m
人物の検出範囲 (Range of Detection)		0.5～4.5m

2.3.2 プロジェクタ

本研究で使用するEPSON社製ビジネスプロジェクタEB-580を図 2-4に示した。その仕様を表 2-2に示す。このプロジェクタは、机上に縦置きで設置することで机上に投影面を投影でき、WASに適している。



図 2-4 プロジェクタ EB-580

表 2-2 プロジェクタ EB-580 の仕様[12]

解像度	XGA (1024×768)
色再現性	フルカラー (10億7000万色)
本体サイズ (W×D×H)	367×375×155 (mm)
質量	約5.3kg

2.3.3 ディスプレイ

本研究で使用するディスプレイは、東芝製RDT233WLM(BK)である(図 2-5)．表 2-3に示すように、解像度が1920×1080 (FHD) であり、Kinect v2の解像度と同じであるため、作業者が熟練者の動きを確認するのに適している．



図 2-5 ディスプレイ RDT233WLM(BK)

表 2-3 ディスプレイ RDT233WLM(BK)の仕様[13]

解像度	1920×1080
表示サイズ	23型 (58. 4cm)
本体サイズ(W×D×H)	546×61×338 (mm)
質量	約3. 8kg

2.3.4 PC

本研究で使用するPC(図 2-6)の仕様を表 2-4に示す。重要なことは、プロジェクタから投射される作業画面と、ディスプレイに表示する熟練者の様子の動画を同時に描画するため、高性能なGPUを搭載したグラフィックボードを使用することである。そのため、本研究では、NVIDIA GeForce GTX 1070が搭載されたPCを用いて、支援情報の描画を行う。



図 2-6 本研究で使用する PC

表 2-4 本研究で使用する PC の仕様

OS	Windows 10 Enterprise
CPU	Intel® CORE™ i7-3770K @ 3.50GHz
RAM	8GB
GPU	NVIDIA GeForce GTX 1070
本体サイズ(W×D×H)	85×400×360 (mm)

2.4 作業の流れに沿った WAS の働き

2.4.1 仕様

WASは、情報提示機能、作業検知機能、音声支援機能、支援動画再生機能の4つの機能で成り立っている。この4つの機能について、2.4.2から2.4.5で詳しく説明する。WASが動作している様子を図 2-7に示す。

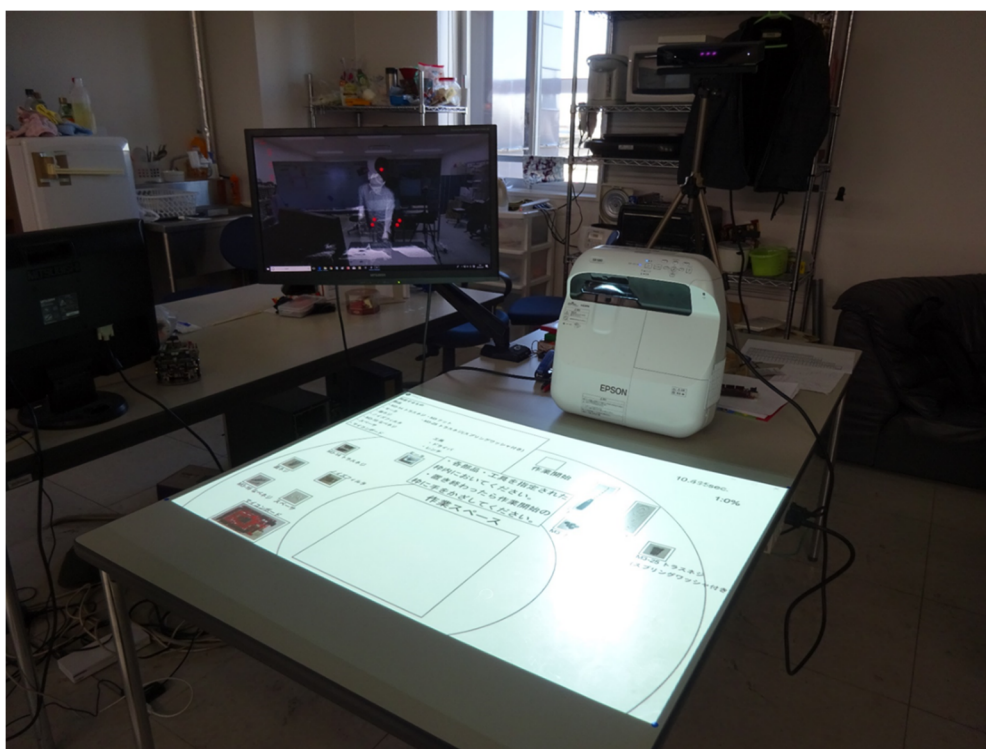


図 2-7 WAS が動作している様子

2.4.2 情報提示機能

WASの情報提示機能は、プロジェクタから作業画面を机に投影することで実現される。作業画面を机に投影した様子を図 2-8に示す。机の前に立っている作業者は、この作業画面を見て、組み立て作業を行う。

実際にWASがプロジェクトから提示する作業画面は以下の四つに分類できる。

1. 作業準備画面
2. 取得工程画面
3. 作業工程画面
4. 作業終了画面

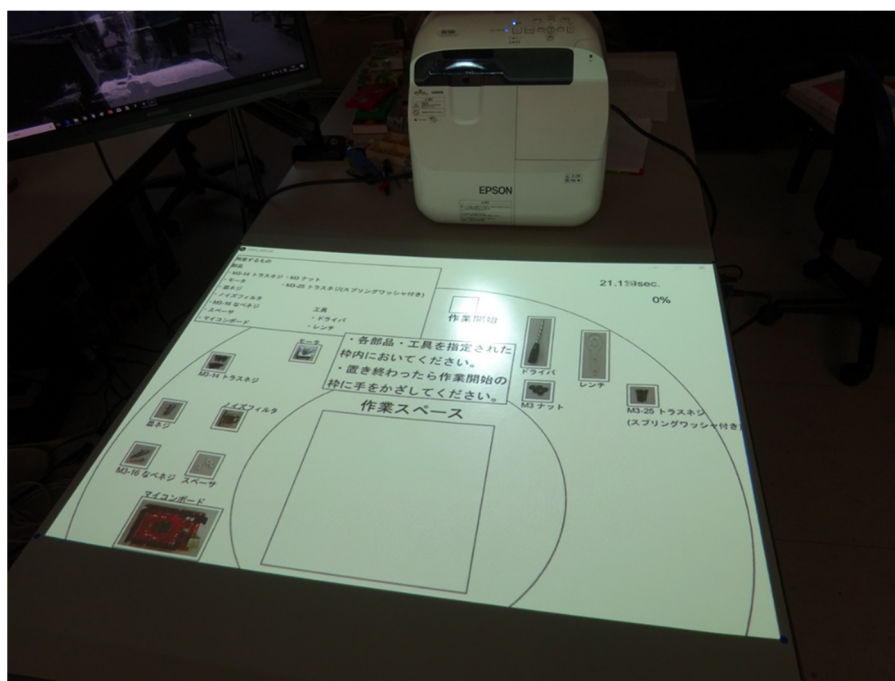


図 2-8 プロジェクタから机に投影した作業画面

一つ目の作業準備画面は、WASの立ち上げと共に表示される図 2-9のような画面である。この画面は、3Dプリンタを組み立てる際に必要なパーツや工具を、名前と枠の中の写真で表している。画面に表示されているパーツや工具の名前と写真を見て、作業者はそれぞれの枠に物を置いていく。パーツや工具の名前と写真を画面に表示することで、作業者がパーツや工具を覚えていなくても3Dプリンタの組み立て作業の準備が可能となる。これにより、作業者の精神的負荷を少なくするメリットもある。作業者が必要なパーツや工具を置き終えたら、作業開始の枠に手をかざすことで、WASが作業の準備が完了したと検知する。そして、画面が切り替わり、作業が開始される。

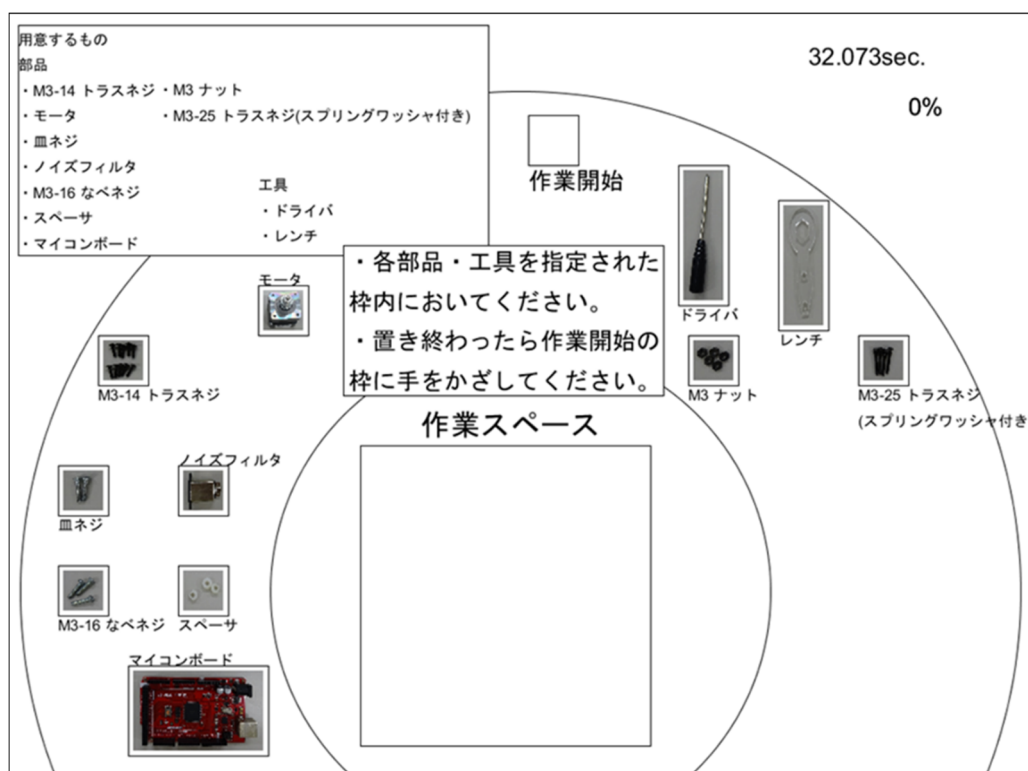


図 2-9 作業準備の画面

二つ目の取得工程画面は、作業開始後に作業者が必要なパーツや工具を取得するための画面である。マイコンボードの取得工程画面を図 2-10に示す。画面中部には、作業内容が示されている。さらに、作業対象であるパーツは枠で提示され、図中のマイコンボード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や工具を一目でわかりやすくしている。次の工程に移ると、強調効果が消され、取得したパーツや工具を使う作業工程画面が提示される。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、「進む」・「戻る」の枠がある。「進む」の枠に手をかざすと作業が進み、「戻る」の枠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、作業者が時間を意識して作業に取り組むことができる。

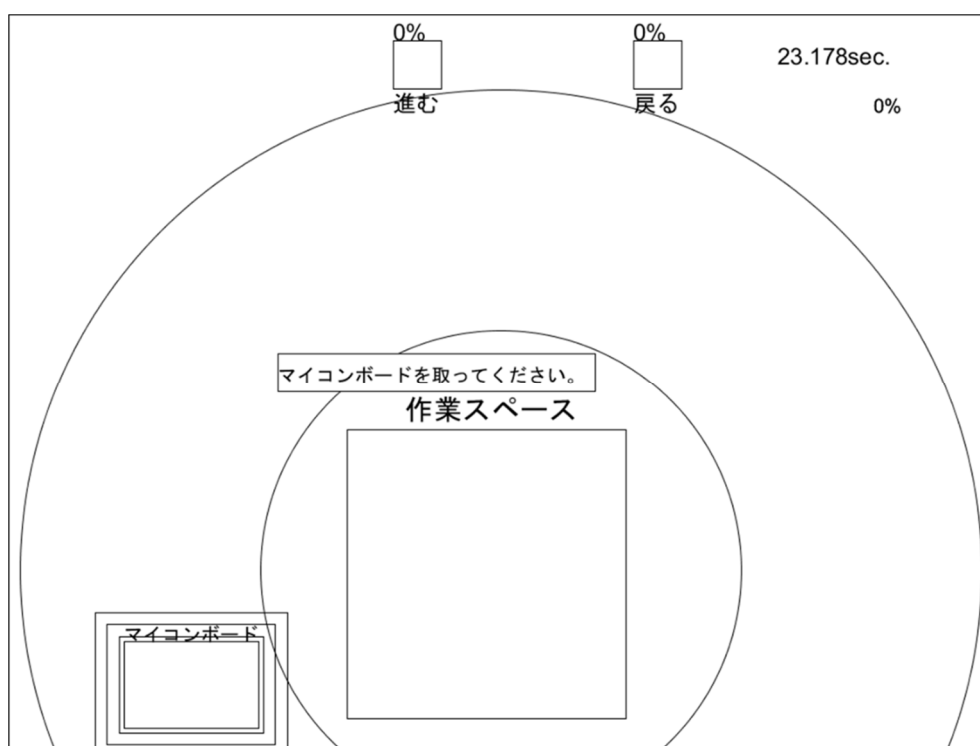


図 2-10 取得工程画面

三つ目の作業工程画面は、前工程で取得したパーツや工具を使う作業のための画面である。マイコンボードを取り付ける作業の工程画面を図 2-11に示す。パーツの取り付け作業やネジを締める作業は画面下部の作業スペースで行う。作業スペースの上部には、取得工程画面と同様に、作業内容が示されている。作業工程画面では、作業スペースの右に、作業の写真を表示している。これには、作業スペースの近くに作業の写真を配置することで、パーツを取り付ける場所やネジを締める場所を作業者が確認しやすくなるというメリットがある。作業者は、この画面で指示される作業を一定時間行うことで、次の工程に移ることができる。図 2-11のような画面が投影される場面では、作業者が作業スペース内にある3Dプリンタの底面の板上にマイコンボードを1秒間載せることで、次の工程に移ることになる。次の工程に移ると、表示されていた作業の写真が消され、次に取得すべきパーツや工具の取得工程画面が提示される。

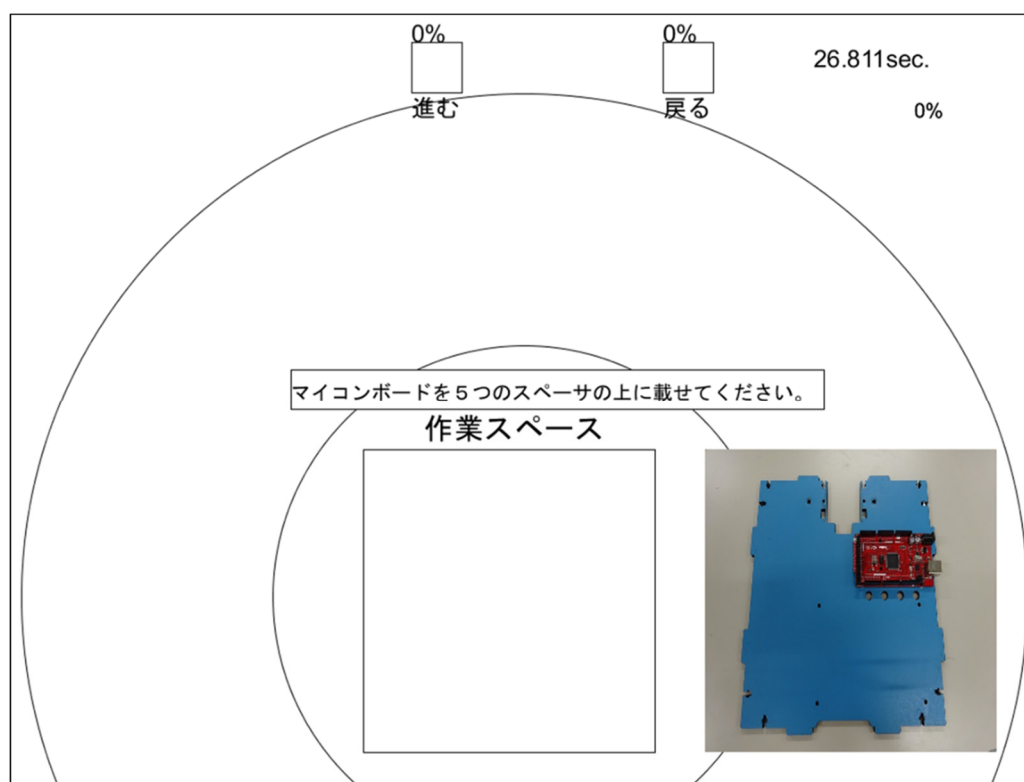


図 2-11 作業工程画面

四つ目の作業終了画面は、すべての作業が終了したことを知らせる画面である。3Dプリンタの組み立て作業は筐体のネジ締めを行い、図 2-12で指示されている場所にドライバを置くことで終了する。ドライバを置いたことを検知した時点で図 2-13のように、WASは全ての作業を終了したこと知らせる。そして、WASは作業者の作業成績データを保存する。作業成績のデータには、経過時間、各作業の時間、「進む」・「戻る」の使用回数が記載されている。

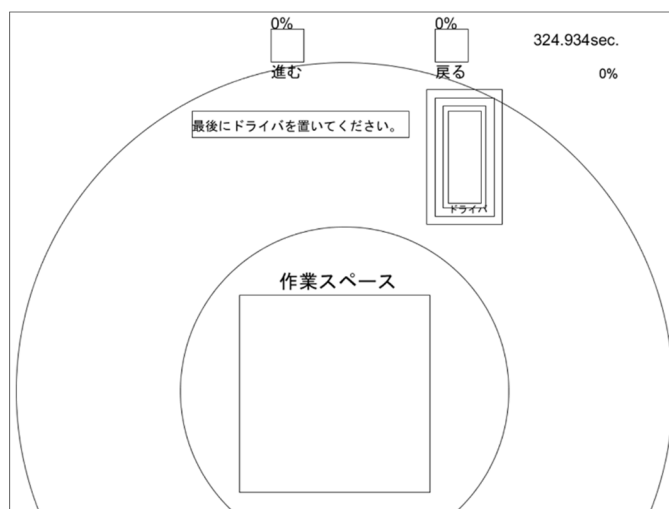


図 2-12 ドライバの配置作業の画面

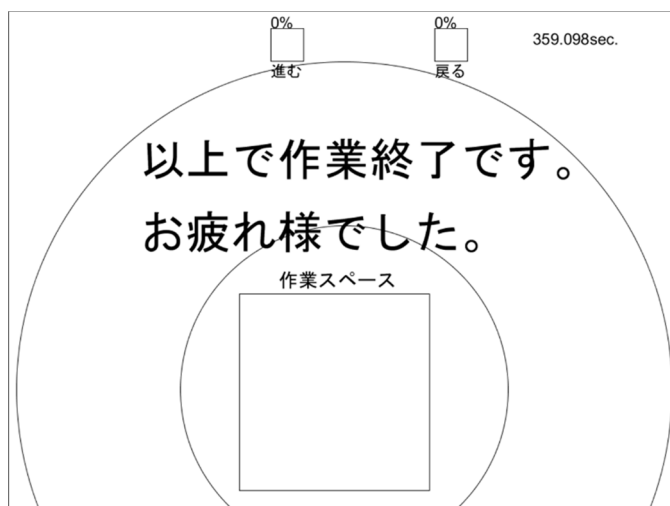


図 2-13 作業終了画面

2.4.3 作業検知機能

WASの作業検知機能は、作業者の作業の状態を検知する機能である。2.4.2で解説した4つの画面での情報提示機能全てで、この作業検知機能が用いられる。この機能は、Kinect v2から作業者の手の座標を取得することで実現される。Kinect v2で手の座標を取得している様子を図 2-14に示す。Kinect v2は、25個の人の関節の座標を取得することができる。それらの関節の座標から作業者の指先の座標を取り出す。指先の座標(X, Y, Z)が、作業対象の座標(x, y, z)に対して、一定時間以上、 $|X-x|<d$ 、 $|Y-y|<d$ 、 $|Z-z|<d$ の三つの条件が満たされた時に、作業者が作業を行ったとみなす。「一定時間」は、作業によって設定を変えるものとする。

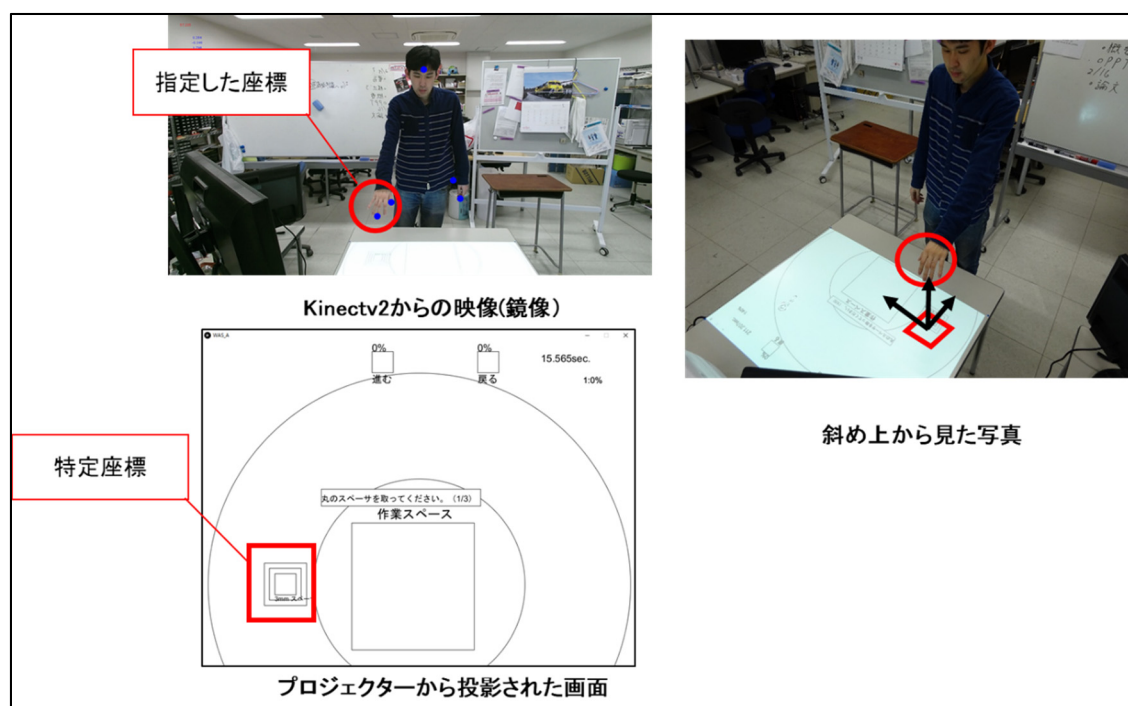


図 2-14 手の座標を取得している様子

ここで、WASにおける「作業」とは、作業者が取り得る行動の一つずつを指す。例えば、ドライバでネジを締める作業がある。ドライバでネジをしめるには、「ドライバを取る」、「ドライバでネジを締める」、「ドライバを置く」という三つの行動に分けられる。この三つの行動一つずつをWASでは、「作業」と定義する。

これらの作業を状態遷移図で示すと図 2-15のようになる。青い丸に囲まれている部分がWASの「作業状態」、赤い矢印の部分がWASの「遷移」を表している。まず、WASは作業者に対して、「ドライバを取ってください。」という指示が書かれた画面を提示する。作業者は、この画面で提示されたドライバ部に手をかざし、ドライバを取る。その時、手がドライバ部に約0.5秒以上存在することで、WASは作業者がドライバを「取得した」と判定する。次に、WASは作業者に対して、「ドライバでネジを締めてください。」という指示の書かれた画面を提示する。作業者は、画面の写真を見て、指定された部分のネジをドライバで締める。このとき、締めるべきネジの位置に手が約5秒以上存在することで、WASは作業者がネジを「締めた」と判定する。最後に、WASは作業者に対して、「ドライバを置いてください。」という指示が書かれた画面を提示する。ドライバを置いたことの判定は、ドライバの取得と同様に行う。

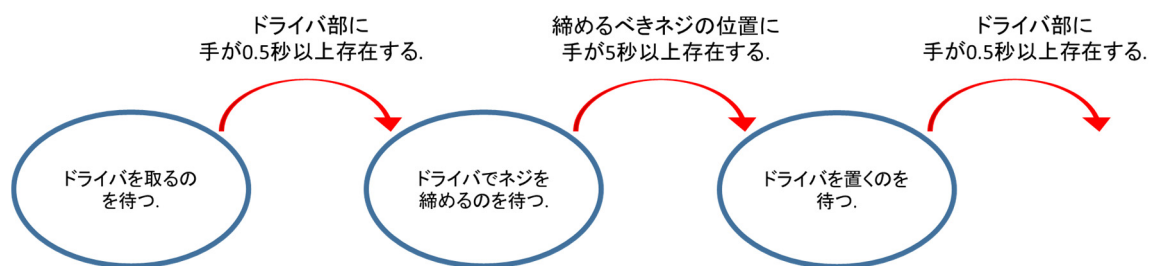


図 2-15 WAS の状態遷移図

作業検知を以上のような仕様にしたのは、以下の二つの理由がある。

1. 作業者が作業を行っているかを認識するため
2. 作業者に作業の切り替わりを知らせるため

一つ目は、作業者がしっかり作業を行っているかを認識するためである。先行研究であるTUI作業机システムでは、道具の取得検知のみで、作業の認識を行っていた。つまり、作業者がドライバを取得したことでドライバを置いたことのみを検知し、その間の時間に、ネジを締める作業が行われたと判断していた。そこには、実際に作業者がネジを締めているという作業の認識はない。今回は、作業が行われるべき位置に認識を付け加えることにした。それにより、作業者が実際にネジを締めていることをWASが理解できるようにしている。

二つ目は、作業者に作業の切り替わりをはっきりと知らせるためである。図 2-15に示した「作業状態」一つにつき、作業者に提示される画面が一つある。また、画面が切り替わるのは、作業者の手が作業対象の座標に一定時間以上近くにあった時である。時間で判断しているため、作業者によっては作業が終わっていない状態で、次の画面が提示されることがあるだろう。しかし、時間で画面が切り替わることで、作業の切り替わりが分かりやすいと考える。また、「本来、この作業にかかる時間は約〇秒間なのか」と作業者に伝える狙いもある。

2.4.4 音声支援機能

WASの音声支援機能は、音声合成であるMicrosoft Harukaに作業内容を喋らせることで実現される。Microsoft Harukaとは、Microsoftが提供しているMicrosoft Speech Platformの日本語音声合成エンジンである。正式にサポートされているOSは、Windows 8以降である。WASでは、プロジェクタから投影される作業画面と共に、Microsoft Harukaが図 2-16に示すような作業内容を喋る。作業者が作業の内容を聞くことで、より作業を理解することができ、作業者の精神的負荷が少なくなるメリットがあると考えている。

こんにちは。
作業スペースの枠に合わせて、底面の板を置いてください。
マイコンボードを取ってください。
マイコンボードを5つのスペーサーの上に載せてください。
丸のスペーサーを取ってください。
丸のスペーサーを写真の位置に載せてください。
三角錐のスペーサーを取ってください。
スペーサーを写真の位置に載せてください。
三角錐のスペーサーを取ってください。
スペーサーを写真の位置に載せてください。
M3-16 なベネジを取ってください。
M3-16 なベネジを写真の位置に差し込んでください。

M3-14 トラスネジを取ってください。
右に回り込み、背面の穴にネジをドライバーで締めてください。
M3-14 トラスネジを取ってください。
背面の穴にネジをドライバーで締めてください。
M3-14 トラスネジを取ってください。
背面の穴にネジをドライバーで締めてください。
最後にドライバーを置いてください。
お疲れ様でした。

図 2-16 Microsoft Haruka が喋る内容

2.4.5 支援動画再生機能

WASの支援動画再生機能は、Kinect v2の赤外線センサから得られた距離情報を利用することで実現される。図 2-17に、ネジをしめている熟練者の姿が白い点群で描かれている画面を示す。これはPCL (Point Cloud Library) というKinect v2の機能を利用している。この映像をmp4形式の動画で保存する。作業者の作業の様子の上にこの映像を重ねて表示すると図 2-18のようになる。この白い点群で表された熟練者の動作を確認しながら作業することによって、熟練者が行っている効率の良い作業の仕方を作業者が習得することができる。



図 2-17 熟練者の作業の様子



図 2-18 実際のディスプレイに出力される画面

2.5 本システムの機能の実装

2.4で紹介した機能のうち、本システムにおいて重要な作業検知機能と支援動画再生機能の二つを本節で説明する。

ソフトウェアの開発環境としてProcessingを用いた。Processingを用いた理由は2点ある。グラフィック機能のライブラリが豊富であることと、Kinect v2を使用できる環境が存在することである。Processingは、元々アーティスト向けの開発環境であるため、図を強調させるなどのグラフィック機能が強化されている。また、KinectPV2というライブラリを導入することで、ProcessingでKinect v2を使用できるようになる。KinectPV2には、人の骨格を表示させる機能や、顔の表情を読み取る機能などが備わっている。

2.5.1 作業検知機能の実装

WASの作業検知機能をプログラム 2-1のように実装した。作業の進行状態を作業画面に表示させるものをクラスで実装し、このクラスに作業検知のためのメンバ関数detect()を設けた。detect()を呼び出すときに、距離の閾値dと作業完了時間に対応するCPを設定する。このdとCPの二つは作業ごとに異なる。作業対象のx座標、y座標、z座標をright_x, right_y, right_zとした。作業対象の各座標は、2.4.3の「作業状態」に対応するwork_processによって値が変わる。rightHandTip_x, rightHandTip_y, rightHandTip_zには、Kinect v2から取得した、作業者の右手の指先のx座標、y座標、z座標が格納されている。そして、作業対象の各座標と右手の指先の各座標との差の絶対値がdx, dy, dzに格納される。dx, dy, dzが全て閾値dより小さいときに作業が継続中であると見なし、時間を計る。作業の時間が作業完了時間CPより大きくなった時に作業が完了したとみなす。その時に、work_processが一つ増えて、次の「作業状態」に遷移する。それにより、次の作業工程の処理に移る。

```
Processing
void detect()
{
    right_x = workPointX[work_process]; //作業対象のX座標を格納
    right_y = workPointY[work_process]; //作業対象のY座標を格納
    right_z = workPointZ[work_process]; //作業対象のZ座標を格納

    dx = abs(right_x - rightHandTip_X); //右手の指先のX座標と作業対象のX座標との差の絶対値を格納
    dy = abs(right_y - rightHandTip_Y); //右手の指先のY座標と作業対象のY座標との差の絶対値を格納
    dz = abs(right_z - rightHandTip_Z); //右手の指先のZ座標と作業対象のZ座標との差の絶対値を格納

    if(dx < d && dy < d && dz < d)
    { //距離の差が一定未満の間、時間を計る。
        working++;
    }

    if(w[0] > 10 && startTime == true)
    {
        workStartTime[work_process] = t;
        startTime = false;
    }

    if (working > CP) { //一定時間以上経った時に、次の作業に移る
        work_process += 1;
        working = 0; //時間を初期化
    }
}
```

プログラム 2-1 作業検知機能のプログラム

2.5.2 支援動画再生機能の実装

WASの支援動画再生機能をプログラム 2-2のように実装した。Kinect v2から取得される映像上に熟練者の動きの動画を重ね表示する画面をKinectWindowというクラスで実装した。このクラスは、settings(), setup(), draw()のprocessingの標準関数3つで構成されている。まず関数settings()内では、重畳表示するための画面のサイズを指定する。次に関数setup()では、熟練者の動きの映像の読み込みとKinect v2の映像を呼び出すための準備の二つを行う。熟練者の動きの映像の読み込みでは、mp4形式のSkilledWorker.mp4という名前の動画を読み込んで変数movieに格納する。また、Kinectの映像を呼び出すための準備では、Kinect v2を利用するためのライブラリKinectPV2のオブジェクトを変数kinectに格納する。そして関数draw()では、実際にKinect v2から取得される映像上に熟練者の動きの動画を重ね表示することを繰り返し行っている。最初に、画面にKinect v2から取得される映像を表示させる。次に、熟練者の動きの動画の透過度を上げる。そして、熟練者の動きの動画を表示させる。最後に、関数draw()内は繰り返されるので、影響のないように、透過度を元に戻す。それらにより、Kinect v2から取得される映像上に熟練者の動きの動画を重畳表示している。

```
Processing
class KinectWindow extends PApplet
{
  void settings()
  {
    size(1920, 1080, P3D); //Kinectの映像を表示させるための画面作成
  }

  void setup()
  {
    //熟練者の動きの映像の読み込み
    movie = new Movie(parent, "SkilledWorker.mp4");
    movie.loop();
    //Kinectの映像を呼び出すための準備
    kinect = new KinectPV2(this);
    kinect.enableSkeletonColorMap(true);
    kinect.enableColoring(true);
    kinect.enableSkeleton3DMap(true);
    kinect.init();
  }

  void draw()
  {
    background(0); //画面の初期化

    image(kinect.getColorImage(), 0, 0, width, height); //Kinectの映像表示

    tint(255, 150); //透過度を上げる
    image(movie, 0, 0); //熟練者の動きの映像の表示
    tint(255, 255); //透過度を戻す

    movNow = movie.time(); //現在の再生時間を取得
    //再生時間を表示
    text(nf(movNow, 1, 3) + " / " + getLength(), 10, 30);

    //映像の巻き戻し
    if (movNow > mT[scene]) {
      if (scene == 0) {
        movie.jump(0);
      } else {
        movie.jump(mT[scene - 1]);
      }
    }

    //映像の切り替え
    if (scene > 0) {
      if (movNow < mT[scene - 1]) {
        movie.jump(mT[scene - 1] + 0.01);
      }
    }
  }
}
```

プログラム 2-2 支援動画再生機能のプログラム

第3章 WAS の評価と考察

3.1 WAS の評価方法

本研究では作業者本人による主観的評価方法として、NASA-TLX(Task Load Index)を採用した。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[14]。精神的要求、身体的要求、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 3-1)。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)を算出するために、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 3-1 NASA-TLX の 6 項目[15]

NASA-TLX の重み付け係数の決定法は複雑であるため、本研究では、NASA-TLX の簡便法にあたる日本語版 NASA-TLX を用いて精神的負荷の数値化を行う。日本語版 NASA-TLX は芳賀らが提案したものである[16]。日本語版 NASA-TLX では上記の 6 項目を、ワークロードに寄与が高いと思う順に事前に並べてもらい、1 位から順に 6~1 の重みをつける。その際、どちらかの順位を決めかねた時のために同順位も認める。その各重みを係数とし、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、この CSTLX 得点を用いる。

さらに、本研究では客観的評価方法として、作業の達成時間を用いた評価方法も用いる。作業の達成時間とは、作業の開始から全ての作業が完了するまでの時間である。紙の作業書と比較して WAS の作業の達成時間が短くなった場合、作業者に対して WAS がより良い支援情報を提示できていると言えるだろう。またその場合、WAS における作業の方が、作業効率が高いとも言える。これらを検証するために、本研究では作業の達成時間を用いる。

3.2 評価

3.2.1 評価実験

開発したWASと紙面の作業書とのそれぞれで作業を行い，評価を比較する．それにより，WASの作業効率を調べる．WASの評価方法は，主観的評価のためのCSTLXと客観的評価のための作業達成時間を用いた．

評価実験の流れを，図 3-2に示す．評価実験中に，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，WASでの作業，作業書での作業の合計2回の作業を行う．また評価実験の流れには2通りあり，WAS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WASでの作業を行う作業者の2通りがある．前者を①パターン，後者を②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．

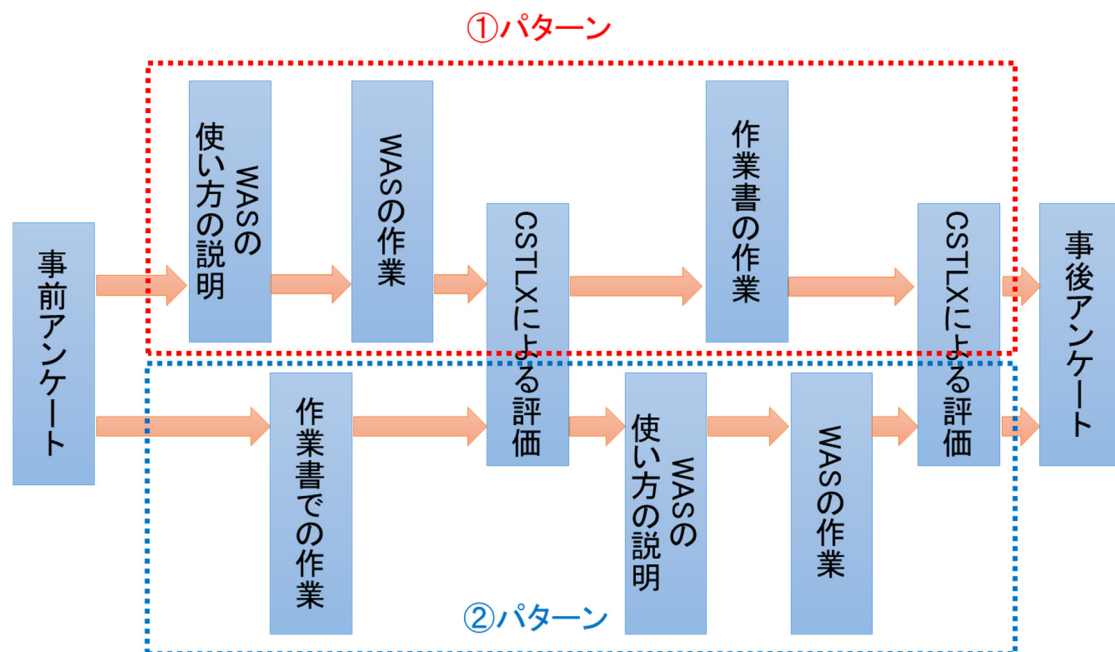


図 3-2 評価実験の流れ

図 3-2の二つのパターンのそれぞれ当たり、2回の作業を行うことになる。そのために、2種類の組み立て作業を用意する。2種類の組み立て作業を用意した理由は、まったく同じ作業を行うと1回目より2回目の作業のほうが、作業達成時間も作業が終了したときの質も高くなってしまう可能性があるためである。また同じ作業を行うと2回目の新鮮味がなくなり退屈を感じ、主観的評価への影響する可能性もある。

この2種類の組み立て作業を以後、作業A、作業Bと呼ぶ。作業Aと作業Bとは、3Dプリンタに取り付けるパーツやネジの締める位置の違いがある。作業Aを図 3-3に、作業Bを図 3-4に示す。それぞれの組み立て作業のパーツ数、推定製作時間を表 3-1、表 3-2に示す。

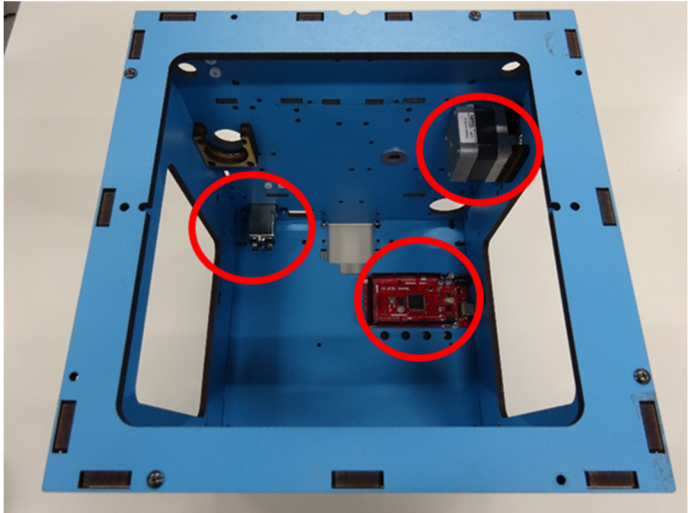


図 3-3 作業 A

表 3-1 作業 A の内容

パーツ数	30パーツ
推定製作時間	15分

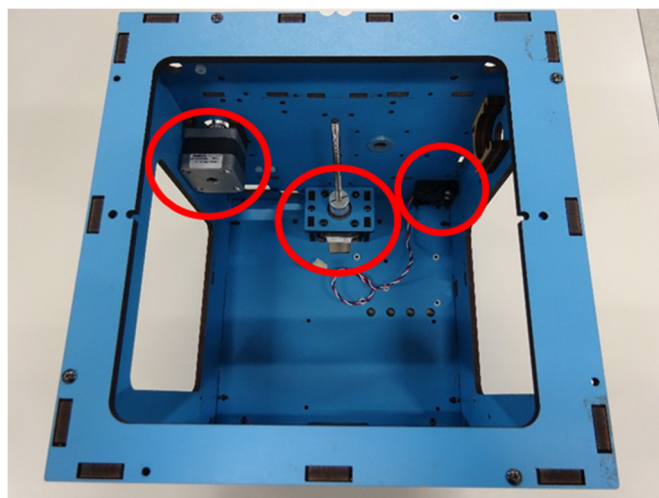


図 3-4 作業 B

表 3-2 作業 B の内容

パーツ数	34パーツ
推定製作時間	15分

図 3-2に示したように，評価実験ではCSTLXの評価を含めて4回のアンケートを行う．事前アンケートでは，性別，年齢，利き手の聞き取りを行う．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．さらにそれぞれの作業で6項目の順位付けを行う．本来のCSTLX得点の算出方法では，作業をする前に6項目の順位付けを1回のみ行うべきである．しかし，CSTLXの利用法についての誤解から今回の評価実験では，作業後に6項目の順位付けを2回行ってしまった．すべての作業終了後，事後アンケートを行い，WASと作業書どちらのほうが作業しやすかったか，WASが作業書より良いと感じた点やWASでの作業で使いにくかった点はないかの意見を聞いた．

作業の目標を、「15分間で3Dプリンタを組み立てる」とした．表 3-3のように16人を4グループに分けて評価実験を実施してもらった．

表 3-3 作業者の割り振り

パターン	1回目の 手順表示方法	1回目の作業	2回目の 手順表示方法	2回目の作業	人数
①-1	WAS	作業A	作業書	作業B	4
①-2		作業B		作業A	4
②-1	作業書	作業A	WAS	作業B	4
②-2		作業B		作業A	4

3.2.2 評価結果

作業者の評価結果を表 3-4, 表 3-5, 表 3-6, 表 3-7に示す.

表 3-4 評価結果 1

作業者			No. 1		No. 2		No. 3		No. 4	
性別			男		男		男		男	
年齢			20		21		22		25	
利き手			右		左		左		左	
パターン			①-1		①-2		②-1		②-2	
			1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目
作業達成時間			13分 47秒	11分 03秒	16分 27秒	12分 23秒	12分 44秒	16分 16秒	17分 48秒	18分 17秒
C S T L X	順位	知的・知覚的	3	4	1	1	3	1	3	3
		身体的	4	1	3	2	6	5	2	4
		タイムプレッ シャー	6	6	4	3	5	3	6	6
		作業成績	2	2	6	6	4	2	1	5
		努力	1	3	2	4	2	4	4	2
		フラストレー ション	5	5	5	5	1	6	5	1
	各素点	知的・知覚的	55	50	30	0	65	10	30	55
		身体的	55	40	0	25	90	100	100	78
		タイムプレッ シャー	40	0	50	25	75	75	85	100
		作業成績	80	75	5	0	65	10	50	90
		努力	60	60	20	50	95	85	83	83
		フラストレー ション	50	50	25	25	45	100	100	100
	WWL		46.5	41.9	16.2	22.6	72.2	51.2	59.7	85.2

表 3-5 評価結果 2

作業者			No. 5		No. 6		No. 7		No. 8	
性別			男		女		男		男	
年齢			22		23		24		23	
利き手			右		右		右		右	
パターン			①-1		①-2		②-1		②-2	
			1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目
作業達成時間			15分 25秒	11分 46秒	19分 41秒	14分 52秒	10分 07秒	12分 04秒	20分 53秒	11分 59秒
C S T L X	順位	知的・知覚的	2	3	2	5	2	1	5	5
		身体的	4	2	4	1	4	2	3	1
		タイムプレッ シャー	6	6	6	2	3	6	1	6
		作業成績	5	4	1	4	1	3	6	3
		努力	1	5	3	6	5	4	2	2
		フラストレー ション	3	1	5	3	6	5	4	4
	各素点	知的・知覚的	0	0	30	100	60	30	50	60
		身体的	85	0	40	70	70	70	50	50
		タイムプレッ シャー	80	0	75	50	65	90	75	60
		作業成績	20	0	10	60	90	100	75	25
		努力	0	0	35	75	50	75	75	50
		フラストレー ション	50	20	75	60	65	85	55	50
	WWL		31.4	4.8	33.4	56.2	49.8	67.4	52.9	33.8

表 3-6 評価結果 3

作業者			No. 9		No. 10		No. 11		No. 12	
性別			女		女		男		男	
年齢			22		22		24		25	
利き手			右		右		右		右	
パターン			①-1		①-2		②-1		②-2	
			1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目
作業達成時間			18分 12秒	17分 07秒	18分 16秒	16分 27秒	13分 01秒	13分 04秒	13分 51秒	10分 27秒
C S T L X	順位	知的・知覚的	1	6	3	6	5	4	5	1
		身体的	2	3	4	3	3	5	4	2
		タイムブレッ シャー	6	2	5	4	4	6	6	5
		作業成績	4	1	2	2	2	3	3	3
		努力	5	5	1	1	1	2	2	6
		フラストレー ション	3	4	6	5	6	1	1	4
	各素点	知的・知覚的	55	80	43	68	70	30	60	30
		身体的	80	20	54	33	60	90	85	40
		タイムブレッ シャー	90	45	58	28	5	80	75	50
		作業成績	45	50	14	9	15	30	20	50
		努力	65	60	58	18	50	20	70	60
		フラストレー ション	60	45	13	18	100	10	25	50
	WWL		51.9	30.5	28.3	17.8	27.4	48.6	52.6	41.4

表 3-7 評価結果 4

作業者			No. 13		No. 14		No. 15		No. 16	
性別			男		男		男		男	
年齢			24		23		23		22	
利き手			右		右		右		右	
パターン			①-1		①-2		②-1		②-2	
			1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目
作業達成時間			15分 14秒	10分 37秒	13分 30秒	14分 10秒	13分 16秒	12分 45秒	13分 40秒	13分 42秒
C S T L X	順位	知的・知覚的	3	6	5	3	1	3	4	1
		身体的	5	3	2	5	4	1	5	2
		タイムプレッ シャー	6	1	3	6	6	6	1	6
		作業成績	1	5	6	1	5	5	2	3
		努力	2	2	1	2	3	2	3	4
		フラストレー ション	4	4	4	4	2	4	6	5
	各素点	知的・知覚的	14	98	10	10	35	55	45	10
		身体的	58	38	55	20	35	65	65	20
		タイムプレッ シャー	98	22	55	10	65	85	25	60
		作業成績	78	98	5	50	15	65	50	30
		努力	3	31	50	75	25	75	50	30
		フラストレー ション	68	58	5	50	5	65	67	40
	WWL		60.5	31.6	33.6	27.9	25.0	56.0	35.1	27.1

3.3 考察

WASの客観的評価として、WASと作業書の作業達成時間の平均を図 3-5に示す。二つの平均値を見ると、WASの方で作業達成時間が約1分多くなっている。しかし、t検定を行うと、p値が0.34となっており、2つの作業時間の間には統計的な有意差がないことが分かった。WASにより、作業時間が軽減されることを期待したが、そうはならなかった。

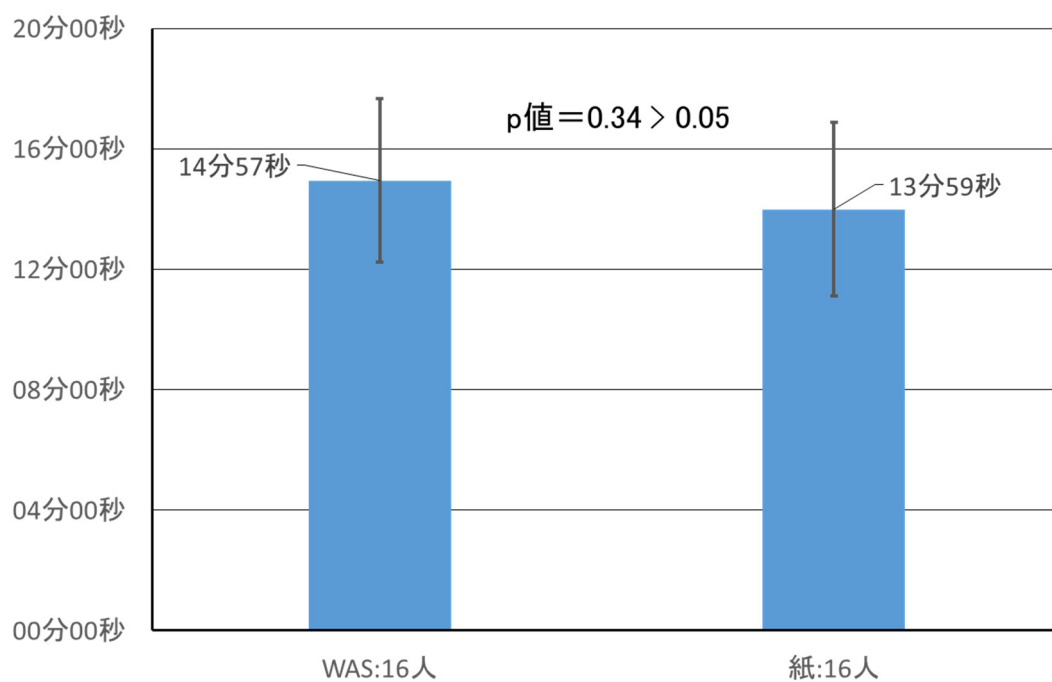


図 3-5 WAS と作業書における作業達成時間の平均

そこで、図 3-5の左のグラフから、WASの誤認識の時間を除いた作業達成時間の平均を図 3-6に示す。WASの誤認識時間とは、作業者が作業を行ったにも関わらず認識しなかった時間と、「進む」・「戻る」ボタンを使用していた時間を録画された作業映像から手動で計測したものである。グラフからわかる通り誤認識時間の平均が3分15秒となった。この誤認識時間を除いた時間と作業書の時間とでt検定を行った結果、p値が0.015となり、WASと紙の作業書との間に統計的な有意差ができることが分かった。すなわち、WASの認識精度を上げ、誤認識の軽減を減らすことで、作業時間の軽減が実現されることが期待できる。

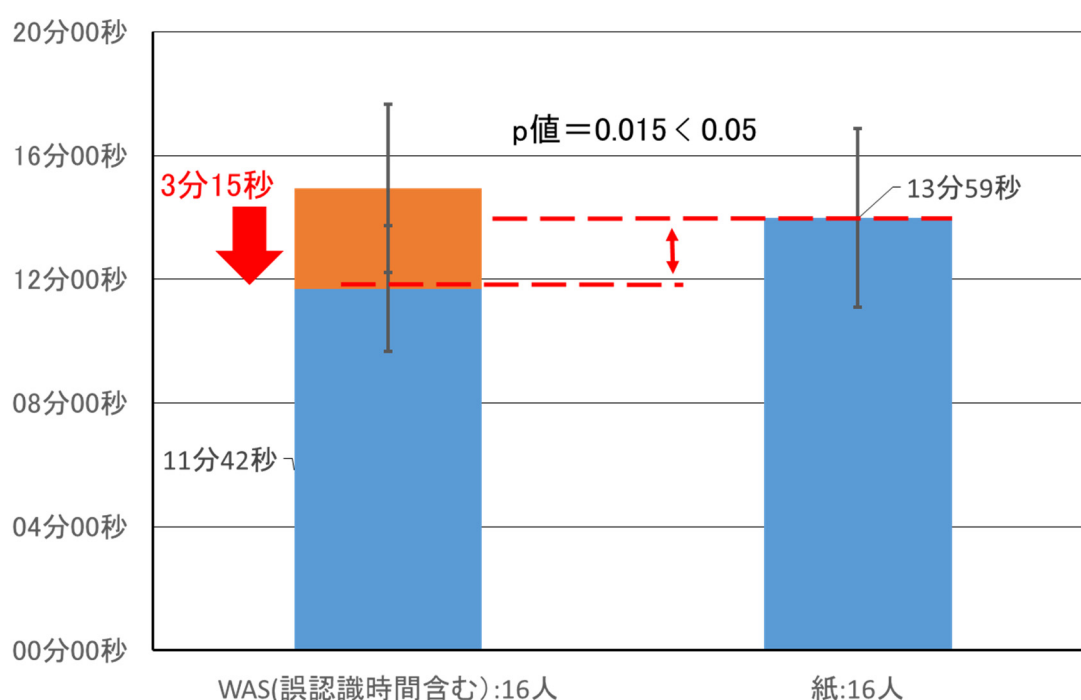


図 3-6 WAS と作業書における作業達成時間の平均(誤認識時間含む)

WASの主観的評価として、WASと作業書のWWL値の平均を図 3-7に示す。二つの平均値を見ると、WASの方でWWL値が大きくなっている。WWL値が大きいと、作業者の精神的負荷が大きくなる。しかし、t検定を行うと、p値が0.37となり、WASと紙の作業書との間には統計的な有意差がないことが分かった。WASにより、作業者にかかる精神的負荷が軽減されることを期待したが、そうはならなかった。

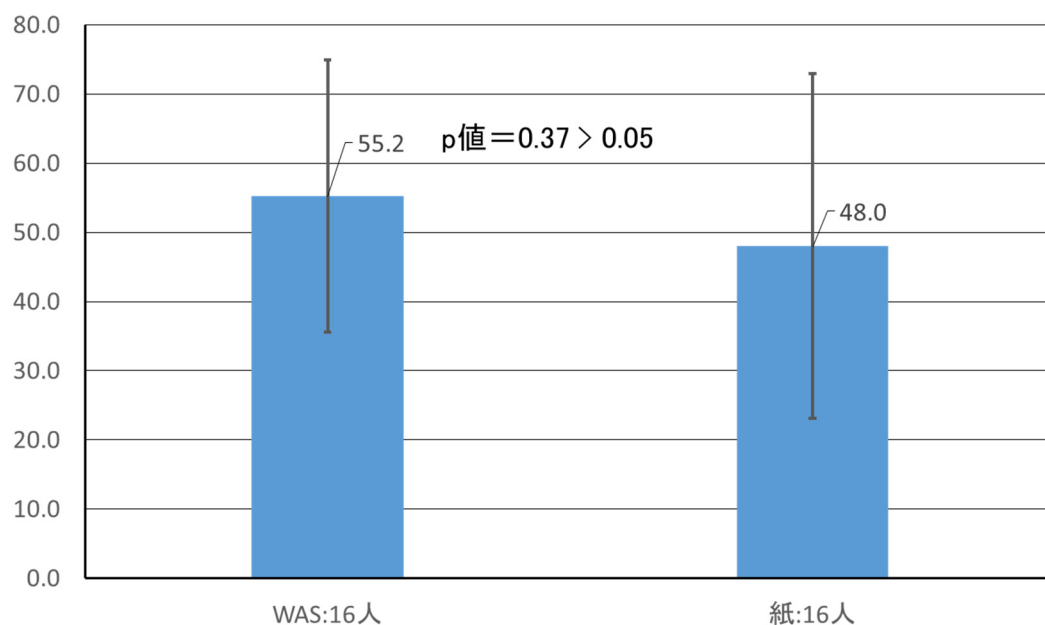


図 3-7 WAS と作業書における WWL 値の平均の比較

図 3-7の結果をより詳しく調べるため、WWL値を計算する前のNASA-TLXの各要素のそれぞれの平均を図 3-8に示す。このグラフから、二つのことが分かる。まず、タイムプレッシャーが、WASが作業書と比べて2倍近く高くなっていることが分かる。逆に、知的・知覚的要求の項目で、WASが作業書と比べて半分近い低い値を取っていることが分かる。それらの項目でt検定を行った結果、タイムプレッシャーでp値が0.002、知的・知覚的要求でp値が0.047となった。すなわち、タイムプレッシャーと知的・知覚的要求の両方で、WASと紙の作業書との間に統計的な有意差があることが分かった。

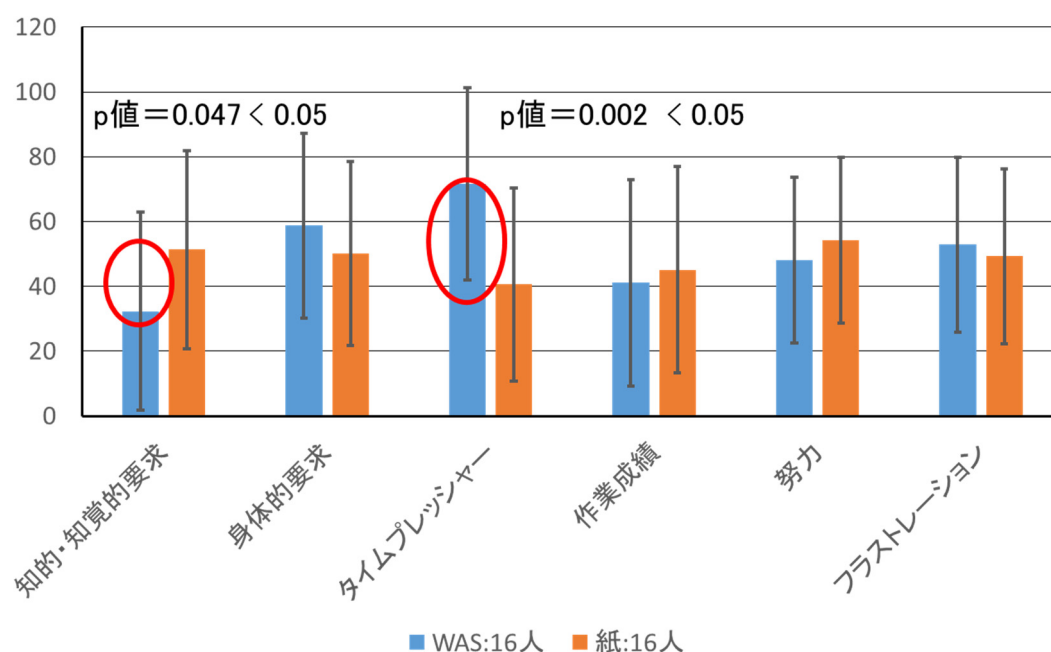


図 3-8 WAS と作業書における NASA-TLX の各要素の平均

WASのタイムプレッシャーが高くなってしまった原因として、2.4.3で述べたようにWASが作業完了の判定を時間で判断していることが挙げられる。作業者の作業が終わっていないにも関わらず、次の作業を提示しているため、作業者が感じるタイムプレッシャーに影響を及ぼしたと考えられる。

また、WASの知的・知覚的要求の項目が低くなった理由として、WASが作業者に対して細かく指示をしてくれるため、精神的負荷が下がったことが挙げられる。紙の作業書では使用する部品を指示できないが、WASでは使用する部品をグラフィカルに指示してくれる。また、WASでは作業者が作業内容の文章を読まなくても、音声合成による作業内容の読み上げ機能もある。これらにより、作業者は何も考えず指示に従うことで作業を達成できるため、知的・知覚的要求の項目が低くなったと考えられる。

第4章 結言

4.1 結論

本研究では，以下の4点を目的として研究を進めた．

1. 作業を行っている作業者の動きに合わせた作業支援システムを開発すること
2. 熟練者の動きを保存し，画面に表示すること
3. 開発した作業支援システムを評価すること
4. 開発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

1.については，立って作業を行っている作業者の動きに合わせた作業支援システムを開発できた．先行研究では認識できなかった机上で高さのある作業に対しても，WASは作業者に作業情報を提示することが可能である．

2.については，熟練者の動きの風景を保存し，ディスプレイの画面に表示する機能を実現することができた．しかし，評価実験を行った際，この機能を活用している作業者は少なかった．よって，この機能を利用する状況を再考する必要がある．例えば，文字や写真だけでは伝わりづらい作業の時にだけ，熟練者の動きの動画を流すなどが考えられる．

3, 4.については，WASの評価実験の結果，WASは作業達成時間では作業書に勝ることはできなかった．これは誤認識による時間のロスが原因であることが考えられ，改良する必要がある．また，WASの精神的負荷評価では，作業書と比較して，作業者が感じるタイムプレッシャーが大きくなった．これは，WASの作業完了の判定の仕様によるものと考えられ，こちらも改良する必要がある．

4.2 課題に対する解決法

評価実験のデータやアンケートから分かった問題点とその解決法を以下に示す。

・評価実験のデータから分かった問題点とその解決法

まず、「進む」・「戻る」ボタンの認識率が低いという問題がある。この問題は、WASの誤認識時間を大きくした一因でもある。これは、「進む」・「戻る」ボタンが図 4-1(左)のような画面上部に配置されているためである。ボタンが画面上部に配置されていたことにより、プロジェクタで作業者の手が隠れてしまい、認識が上手くできないことが多かった。この解決方法として、図 4-1(右)のように、画面の両端に「進む」・「戻る」ボタンに配置することが考えられる。これにより、プロジェクタで手が隠れることがなくなり、ボタンの認識率が上昇するだろう。そして、WASでの誤認識時間を短くできると考えられる。

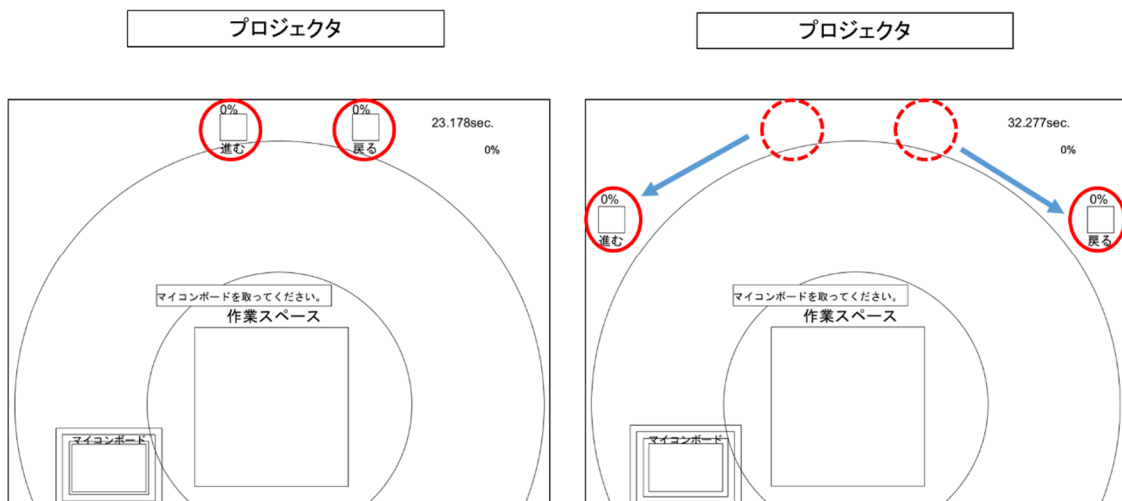


図 4-1 「進む」・「戻る」ボタンの配置

次に、作業完了の判定を時間で行っていたため、作業者のタイムプレッシャーが大きくなったという問題がある。これは、作業者の作業が終わっていないに関わらず、作業の時間で判断し、次の作業を提示していたためである。この問題の解決方法として、作業完了の判定の仕様を変更することが考えられる。例えば、作業完了の判定を「作業を一定時間行い、なおかつ、道具を置いた時」に変更することが考えられる。これにより、作業者が作業を終えたときに確実に次の作業に移ることができ、タイムプレッシャーの軽減につながるだろう。

・アンケートから分かった問題点とその解決法

まず、WASでの作業を行うと作業者の腰が痛くなるという問題点が挙げられた。これは、作業机の高さが70cmと低いためである(図 4-2(左))。この解決方法として、フットジャッキ等を使い、作業机の高さを高くすることが考えられる。作業机の高さを20cm高くすることで、170cmの作業者であれば、腰を曲げずにドライバを取ることができるだろう(図 4-2(右))。また、作業者の身長によって、自動で作業机の高さが変更できる機構を導入できれば、作業者の腰への負担が軽減できると考えられる。

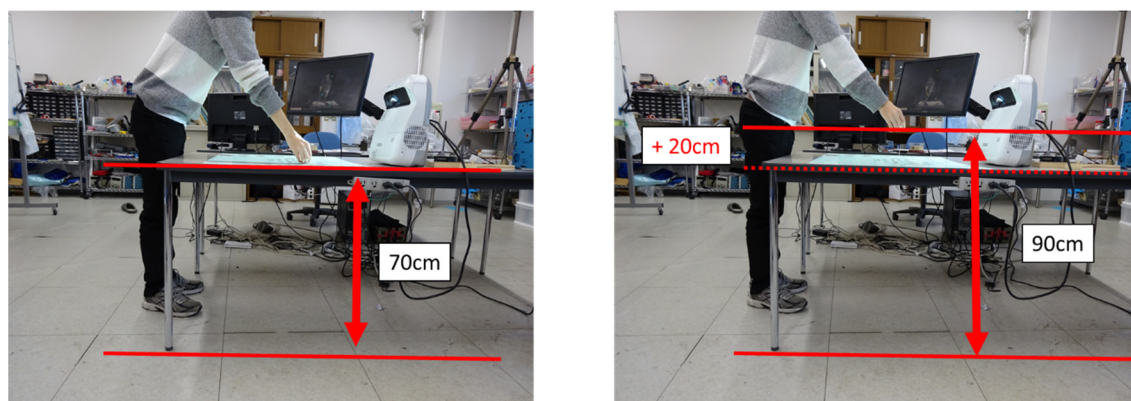


図 4-2 作業机の高さ

次に、作業者が全作業の進行状況を確認できないという問題がある。これは、提示する画面上に進行状況を示していないためである。紙の作業書では、紙の厚みで全作業の進行状況を作業者が確認できる。しかし、WASでは、進行状況を作業者が確認できない。この問題の解決方法として、図 4-3のような画面左上に進行状況を新たに追加することが考えられる。これにより、作業者は、現在どこまで作業が進んだのか、また、あとどの程度で終わるのが確認できるようになる。

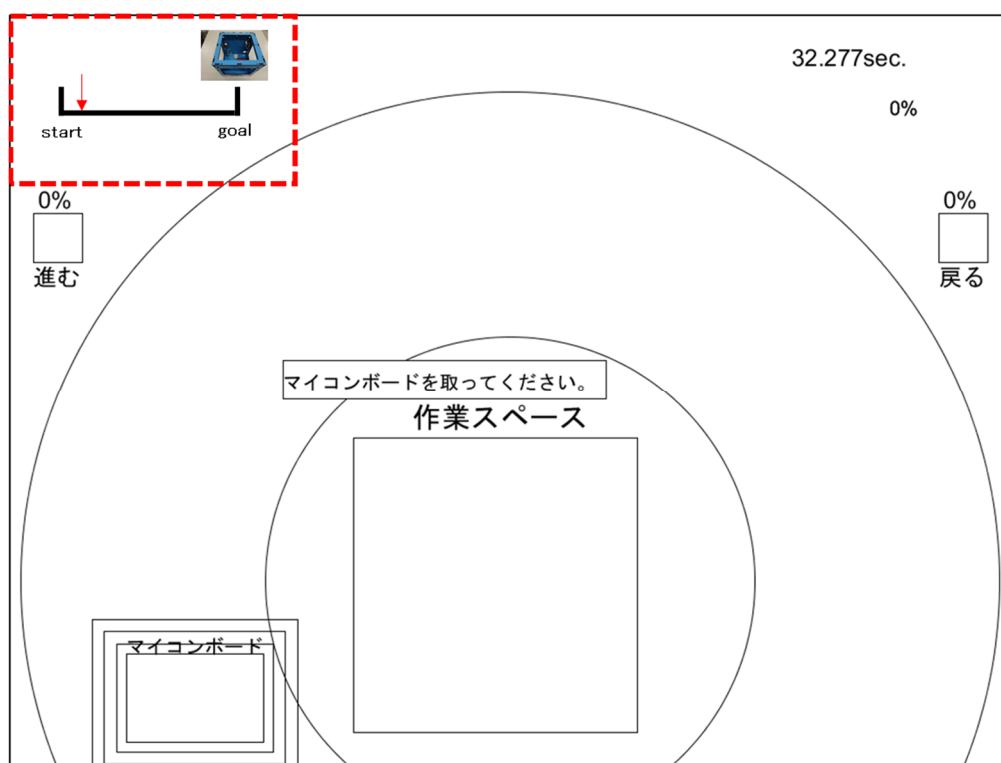


図 4-3 進行状況の追加

以上の問題点を解決することで、WASが紙の作業書と比べて作業達成時間と精神的負荷評価において勝ることが期待できる。

参考文献

[1] 高齢化の現状|内閣府

http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2016/html/zenbun/s1_1_1.html

[2] 労働市場の未来推計|パーソル総合研究所

http://rc.persol-group.co.jp/roudou2025/pdf/roudousijyou_miraisukei_2016.pdf

[3] 製造業は人手不足ってホント？これから解消するためには？|工場タイムズ

<https://04510.jp/factory-times/1369/>

[4] ものづくり人材育成環境の再構築|経済産業省

<http://www.meti.go.jp/report/downloadfiles/g70601a07j.pdf>

[5] 製造業をめぐる現状と課題への対応|経済産業省製造産業局

http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/seizou/pdf/002_01_00.pdf

[6] 野々村 洸, 吉田 勝, “人とロボット 二人三脚工場”, 日経ものづくり, 2017年5月号, pp. 37-61.

[7] ITで激変! 中小企業のモノづくり|NHK

<http://www.nhk.or.jp/ohayou/digest/2016/10/1024.html>

[8] 阿部 秀之, 金丸 隆志, “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”, 日本機械学会2016年次大会

[9] 後藤 道彦 植松 裕子, “作業空間への教師ビデオ重畳表示によるAR支援システム”, 画像電子学会誌, 第39巻, 第6号(2010),

[10] 人間工学-精神的作業負荷に関する原則-設計の原則|kikakurui.com

<http://kikakurui.com/z8/Z8503-1998-01.html>

[11] Kinect for Windows v2 Sensor|Microsoft

<https://news.microsoft.com/kinect-for-windows-v2-sensor-2/>

[12] ビジネスプロジェクター EB-580 | エプソン

<http://www.epson.jp/products/bizprojector/eb580/>

[13] RDT233WLM/RDT233WLM(BK) | 三菱電機 Mitsubishi Electric

<http://www.mitsubishielectric.co.jp/home/display/product/standard/rdt233wlm/spec.html>

[14] TLX | NASA Ames

<https://humansystems.arc.nasa.gov/groups/TLX/>

[15] 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

[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

最後に、この場をお借りして本研究を進めるにあたり、6年間ご指導ご鞭撻を頂きました金丸隆志准教授，副指導教員としてアドバイスを頂きました見崎大悟准教授，研究において親身になり多くの助言を頂いた修士の先輩方と同期の仲間，協力していただいた皆様に心より感謝致します。これをもって謝辞とさせていただきます。

付録

No.1 ① システム A
② 紙 B

アンケート

- ・年齢 20 才
- ・性別 ☒ 男 ☐ 女
- ・利き手 ☒ 右利き ☐ 左利き

実験後アンケート

- ・作業を行ってどちらのほうが作業しやすかったですか

紙での作業・作業支援システムでの作業

- ・作業支援システムでの作業ではどの部分が紙での作業より、
優れていると感じましたか

説明書を見ても要らない部品ミスがない

- ・作業支援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

フライヤーが多かった部分

- ・システム画面のレイアウトなど、アドバイスがあれば記述をお願いします
(写真が小さい、文字が見にくい、音声のスピードが遅いなど)

音声のスピードをゆいりにしてもよい

No2 ① システム B

② 紙 A

アンケート

- ・年齢 21 才
- ・性別 男・女
- ・利き手 右利き・左利き

実験後アンケート

- ・作業を行ってどちらのほうが作業しやすかったですか

紙での作業・作業支援システムでの作業

- ・作業支援システムでの作業ではどの部分が紙での作業より、
優れていると感じましたか

開くのがわかりやすかった

- ・作業支援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

反応の遅い時があった

- ・システム画面のレイアウトなど、アドバイスがあれば記述をお願いします
(写真が小さい、文字が見にくい、音声のスピードが遅いなど)

振る回数がわかりやすかった

No3. ① 紙 A

② システム B

アンケート

- ・年齢 22 才
- ・性別 ☒ 男 ・ 女
- ・利き手 右利き ・ ☒ 左利き

実験後アンケート

- ・作業を行ってどちらのほうが作業しやすかったですか

紙での作業 ・ 作業支援システムでの作業

- ・作業支援システムでの作業ではどの部分が紙での作業より、
優れていると感じましたか

説明がわかりやすい

- ・作業支援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

認識せず、これだと思ふと先にすぐ進んでしまふ点

- ・システム画面のレイアウトなど、アドバイスがあれば記述をお願いします
(写真が小さい、文字が見にくい、音声のスピードが遅いなど)

・音声のスピードがもう少し速く遅くなると良い。
・次の作業も今の作業中に見れると良い。

No4. ①紙B

②システムA

アンケート

- ・年齢 2? オ
- ・性別 (男)・女
- ・利き手 (右利き)・左利き

実験後アンケート

- ・作業を行ってどちらのほうが作業しやすかったですか

紙での作業・作業支援システムでの作業

- ・作業支援システムでの作業ではどの部分が紙での作業より、
優れていると感じましたか

部品 のめこんがきやすいと思いました。

- ・作業支援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

現在行っている作業内容の名称がほしかった。作業行程の全体マップがほしい、設定(長時間)に進む、戻るボタンがもっと活用しやすいと思いました。(紙だと自分のペースでできるので)

- ・システム画面のレイアウトなど、アドバイスがあれば記述をお願いします
(写真が小さい、文字が見にくい、音声のスピードが遅いなど)

作業の進みが固定されている。振も強制的にたたせとせらる、等。

No. 5 のシステム ^A

② 組 B

アンケート

- ・年齢 22 才
- ・性別 (男)・女
- ・利き手 (右利き)・左利き

実験後アンケート

- ・作業を行ってどちらのほうが作業しやすかったですか

紙での作業・作業支援システムでの作業

- ・作業支援システムでの作業ではどの部分が紙での作業より、
優れていると感じましたか

部品を覚えなくても作業できるところが優れている。

- ・作業支援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

作業が勝手に先に行ってしまうところ。反応の位置がわからなくなること。

↑
目とセンサーの位置がわかりやすいといいかも

- ・システム画面のレイアウトなど、アドバイスがあれば記述をお願いします
(写真が小さい、文字が見にくい、音声のスピードが遅いなど)

横に移動しないで正面から作業ができないうえ。やっていて横からの視度を感じた。

認識

No.6システムB
② 新 A

アンケート

- ・年齢 23 才
- ・性別 男・女
- ・利き手 右利き・左利き

実験後アンケート

- ・作業を行ってどちらのほうが作業しやすかったですか

紙での作業・作業支援システムでの作業

- ・作業支援システムでの作業ではどの部分が紙での作業より、
優れていると感じましたか

文字を読む必要がなく、絵と音だけで認識できたので、
部品まちがいがありませんでした。

- ・作業支援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

ねじをゆるめる時間が短かったです。

反応してもらえない。

- ・システム画面のレイアウトなど、アドバイスがあれば記述をお願いします
(写真が小さい、文字が見にくい、音声のスピードが遅いなど)

丁訳とが糸田かいものをなくしそうで ほうほう しました。

No.7 ①紙A
②コンパ

アンケート

- ・年齢 24 オ
- ・性別 (男) 女
- ・利き手 (右利き) 左利き

実験後アンケート

- ・作業を行ってどちらのほうが作業しやすかったですか

(紙での作業) 作業支援システムでの作業

- ・作業支援システムでの作業ではどの部分が紙での作業より、
優れていると感じましたか

~~その様な作業を行えなかったり、作業支援システムの方が分かりやすい~~
作業も一つ一つ細く ~~指~~ 指示してもらえるので分かりやすい。

- ・作業支援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

~~作業支援システム~~
・認識がきれいで、ことがたまにあり、~~次~~ 次々作業を進めたい時に進められ、時間が多すぎた。

- ・システム画面のレイアウトなど、アドバイスがあれば記述をお願いします
(写真が小さい、文字が見にくい、音声のスピードが遅いなど)

・表示される画像がたまに粗く、見にくいことがあった。
・音声のスピードが早く、せかされているように感じた。

No.8 ①紙B
②システムA

アンケート

- ・年齢 23 オ
- ・性別 ☒男・女
- ・利き手 ☒右利き・左利き

実験後アンケート

- ・作業を行ってどちらのほうが作業しやすかったですか

☒紙での作業・作業支援システムでの作業

- ・作業支援システムでの作業ではどの部分が紙での作業より、
優れていると感じましたか

・物を置く場所が視覚的にすぐに分かって作業がしやすい。

- ・作業支援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

・今の作業が終わらないまま、システムが次の作業に進んでしまうこと。

- ・システム画面のレイアウトなど、アドバイスがあれば記述をお願いします
(写真が小さい、文字が見にくい、音声のスピードが遅いなど)

・作業が終わったら、その作業が終わったことをシステムに知らせ、次の作業に移れる仕組みがあるといい。

- ・底面や背面など、どれがどの板を指しているのかわからなかった。部品リストに記載があると良かった。
- ・作業支援システムが勝手に進んでしまうため、作業の見直しなどは、紙での作業の方がしやすかった。

No. 9 システム A
の組 B

アンケート

- ・年齢 22 才
- ・性別 男・女
- ・利き手 右利き・左利き

実験後アンケート

- ・作業を行ってどちらのほうが作業しやすかったですか

紙での作業・作業支援システムでの作業

- ・作業支援システムでの作業ではどの部分が紙での作業より、
優れていると感じましたか

作業が終わり、たごとにすぐに次の作業を説明してくれたので分かりやす
かったです。

- ・作業支援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

戻る、の時に手をかざしてもすぐに反応していなかったことです。

- ・システム画面のレイアウトなど、アドバイスがあれば記述をお願いします
(写真が小さい、文字が見にくい、音声のスピードが遅いなど)

説明の速さが少し速かったです。

No.10 ①システム
②紙A

アンケート

- ・年齢 22 才
- ・性別 男・☒女
- ・利き手 ☒右利き・左利き

実験後アンケート

- ・作業を行ってどちらのほうが作業しやすかったですか

紙での作業・作業支援☒システムでの作業

- ・作業支援システムでの作業ではどの部分が紙での作業より、
優れていると感じましたか

・ネジをさぐす時に、システムでの作業の方が分かりやすく、やりやすいと感じました。
・システムがほじきると、それに集中できるので、やりやすいと感じました。

- ・作業支援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

・前後の作業を正確にできないことが多かった。
・進んでほしくない時に、次へ進んでしまうことが多かった。

- ・システム画面のレイアウトなど、アドバイスがあれば記述をお願いします
(写真が小さい、文字が見にくい、音声のスピードが遅いなど)

写真の中の重要な所が少し見づらかったように感じました。

No.11 ①紙A

②システムB

アンケート

- ・年齢 24 オ
- ・性別 (男)・女
- ・利き手 (右利き)・左利き

実験後アンケート

- ・作業を行ってどちらのほうが作業しやすかったですか

紙での作業・作業支援システムでの作業

- ・作業支援システムでの作業ではどの部分が紙での作業より、
優れていると感じましたか

組み立て時に、箱の固~~定~~方法や動きを指示してくれた
おかげで、紙の時ではわからなかった~~三~~情報を知らせてか
けてくれたから。

- ・作業支援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

- ・横に回すこと。
- ・作業台が低かった。(腰が痛い)

- ・システム画面のレイアウトなど、アドバイスがあれば記述をお願いします
(写真が小さい、文字が見にくい、音声のスピードが遅いなど)

- ・音声のトーンが早い(工場での場合、回りの音で聞きとれないと思います。)
- ・フリップポイントアドバイスがあるといいと思います。(フリップ開閉がたとえ。)
- ・板を立てる時~~は~~時に紙だとわかりにくいものがあつたので、
作業支援システムでは、解説動画などをスクリーンに出して見えてく
いいと思います。

No.12 ①組B
②システムA

アンケート

- ・年齢 25 才
- ・性別 ☒ 男 ☐ 女
- ・利き手 ☒ 右利き ☐ 左利き

実験後アンケート

- ・作業を行ってどちらのほうが作業しやすかったですか

紙での作業・作業支援システムでの作業

- ・作業支援システムでの作業ではどの部分が紙での作業より、
優れていると感じましたか

部品を取る ~~時~~ 効率が圧倒的に良かった。
ネジをいめる箇所の特定制もスムーズになった。

- ・作業支援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

認識されるコツがあった。
自分の腕が影になって、障害になった。
障

- ・システム画面のレイアウトなど、アドバイスがあれば記述をお願いします
(写真が小さい、文字が見にくい、音声のスピードが遅いなど)

写真が小さいなど、もっと見やすくなると思います。
作業スペース以外の照明具合も考慮する必要がある
と感じました。

No. 13 ① システム A

② 紙 B

アンケート

- ・年齢 24 才
- ・性別 (男)・女
- ・利き手 (右利き)・左利き

実験後アンケート

- ・作業を行ってどちらのほうが作業しやすかったですか

紙での作業・作業支援システムでの作業

- ・作業支援システムでの作業ではどの部分が紙での作業より、
優れていると感じましたか

部品の名前を覚えなくて済む部分。

- ・作業支援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

作業中に次の作業指示に進むとき、部品名。

- ・システム画面のレイアウトなど、アドバイスがあれば記述をお願いします
(写真が小さい、文字が見にくい、音声のスピードが遅いなど)

作業指示完了までの時間をもっと長くしたほうが良い。

No. 14 ^{システムB} ~~紙A~~
② 紙A

アンケート

- ・年齢 23 才
- ・性別 男・女
- ・利き手 右利き・左利き

実験後アンケート

- ・作業を行ってどちらのほうが作業しやすかったですか

紙での作業・作業支援システムでの作業

- ・作業支援システムでの作業ではどの部分が紙での作業より、
優れていると感じましたか

複雑な作業の際に、音声の場所を示してくれているため、変換良く作業
することができた。

- ・作業支援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

先か、わかず作業(例えば、ネン開め4本など)の時、1つづつ認識してはく
ため、作業のタイムロスに感じた。

- ・システム画面のレイアウトなど、アドバイスがあれば記述をお願いします
(写真が小さい、文字が見にくい、音声のスピードが遅いなど)

認識精度を上げれば、さらに複雑な作業もスムーズに行なえるように
したい。

No. 15 ①紙A
②システムB

アンケート

- ・年齢 23 才
- ・性別 ☒ 男・女
- ・利き手 ☒ 右利き・左利き

実験後アンケート

- ・作業を行ってどちらのほうが作業しやすかったですか

☒ 紙での作業・作業支援システムでの作業

- ・作業支援システムでの作業ではどの部分が紙での作業より、
優れていると感じましたか

次の動作が想像しやすい点

- ・作業支援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

背面等の板の反応が速すぎると混乱してしまう点

- ・システム画面のレイアウトなど、アドバイスがあれば記述をお願いします
(写真が小さい、文字が見にくい、音声のスピードが遅いなど)

進む、戻るボタンで100%になった時に、次のページが自動的に始まる
時間を置くようにするとより便利になると思います。

- ・回り込んで作業する際に自分の影やプロジェクタの投影が
邪魔な点を改善してほしいです。

No.16 の紙B
②システムA

アンケート

- ・年齢 22 才
- ・性別 男・女
- ・利き手 右利き・左利き

実験後アンケート

- ・作業を行ってどちらのほうが作業しやすかったですか

紙での作業・作業支援システムでの作業

- ・作業支援システムでの作業ではどの部分が紙での作業より、
優れていると感じましたか

使う部品、工具を説明書を見返さなくてもすぐに手に取れる点。

- ・作業支援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

取り込む作業の際にプロジェクターと体が被り、映像がかくれしまった点。

- ・システム画面のレイアウトなど、アドバイスがあれば記述をお願いします
(写真が小さい、文字が見にくい、音声のスピードが遅いなど)

作業動作に応じて 情報提供可能なインタフェースの開発

指導教員 金丸 隆志 准教授
AM-16036 須多 潮

1. 緒言

近年、生産年齢人口の減少による人材不足により、日本国内の工場では IT の導入に力を入れ始めている。例えば、多品種少量生産で作業者の負担が大きくなる中、IT を取り入れた作業支援によって、作業者の負担を軽減させることが現在注目されている。また、作業者の負担の軽減以外にも、熟練者の高齢化による技術者不足の対策として、IT を取り入れた作業支援で作業者に技術の継承を行おうとする取り組みが見受けられる。そのような取り組みの例として、作業者の傍で動作できる協働ロボットや、作業者がタッチパネルから指示される案内に従うことで部品を加工できるシステムなどがある。これらはそれぞれ作業者の負担軽減と技術継承を目的とした IT 活用の例である。

それに対し、我々は先行研究として情報提示可能な作業机システムの開発⁽¹⁾を行った。このシステムでは、作業者が半田付けなどの回路製作作業をする際、机上に支援情報を提示することで作業者の負担を軽減できる。しかし、認識範囲が机上の平面領域のみであるという制約があり、机上の高さを利用した作業に対して情報を提示することができない。

そこで、本研究では机上の高さの活用も含めた様々な作業を行う作業者の動きに合わせた作業支援システムの提案をする。また、先行研究のシステムにはない新たな支援情報の一つとして、お手本となる熟練者が作業を行っている様子を画面で確認できる仕組みを実装する。

2. 先行研究の紹介

我々の先行研究で開発された情報提示可能な作業机システムは、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状況が想定されている。このシステムの様子を図 1 に示す。プロジェクターを使って作業情報を机に投影し、作業者はその上で作業を行う。作業情報として、回路に取り付ける電子部品の指示やはんだ付けする場所を写真で机上に表示している。また、机の上に設置された Web カメラを使い、机上に置かれたパーツや工具の位置のピクセル値の変化で作業者の作業状態の検知を行い、その状態に適した作業情報を提示する。



図 1 TUI 作業机システム

3. WAS

本研究では、立って作業を行っている作業者の動きに合わせた作業支援システムを開発する。開発した作業支援システムを Worker Assistance System(以下、WAS)と名付ける。WAS を設置した様子を図 2 に示す。WAS は、プロジェクター、ディスプレイ、PC、Kinect v2 の 4 つで構成される。今回は、3D プリンタの組み立て作業を想定している。図 2 に示すような机上有る 300 (幅) × 300 (奥行) × 300 (高さ) mm 未満の 3D プリンタに対して、立っている作業者が必要に応じて机の周りを動き、モーターや 3D プリンタのパーツの取り付け、ドライバーなどでネジをしめる作業などを行う。その際に WAS で、作業者に支援情報として作業の内容を写真と文章で指示し、使用する道具やパーツを提示する。

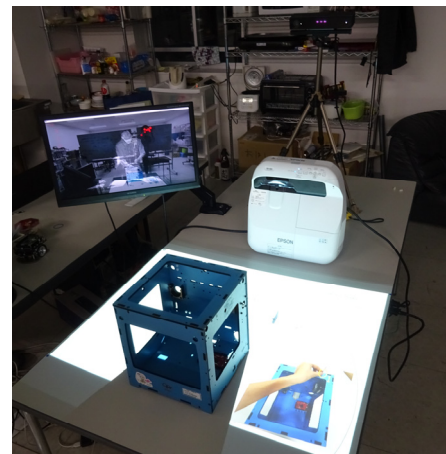


図 2 WAS

作業者への作業情報の提示方法として、プロジェクターとディスプレイの 2 種を用いる。作業者は、プロジェクターから机上に投影された図 3 のような作業の指示に従って作業を行う。

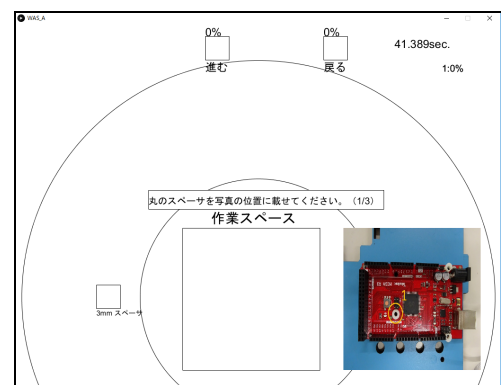


図 3 プロジェクターから投影される画面

また、ディスプレイには Kinect v2 から出力される作業者の作業の様子の上に、事前に用意された熟練者の作業の風景を重ねて表示する。作業者の作業の様子と、そこに熟練者の作業風景を重ねた様子を図 4 に示した。右の画面にネジをしめている熟練者の姿が白い点群で重ね描かれていることが確認できる。これは PCL (Point Cloud Library) という Kinect v2 の機能を利用している。ねじをしめている熟練者に対して、Kinect v2 の赤外線センサから得た距離情報を立体的に白い点で並べ、事前に動画で保存したものを重ね描きしている。この白い点群で表された熟練者の動作を作業者が確認することによって、熟練者が行っている効率の良い作業の仕方を作業者が習得することができる。さらに、図 4 では作業者の頭、指先、親指の位置に大きめの白い点を描画している。WAS では、これらの点の位置と、目標点の差が一定以下の値になったときに作業を次のステップに進める。それにより、パーツを取り付けるなどの指示がプロジェクターから机上に投影され、ディスプレイはその作業を行っている熟練者の映像に切り替わる。



図 4 熟練者の風景を重ね描いた画面

4. 評価実験

開発した WAS と紙面の作業書で、それぞれ別の組み立て作業を行い、作業達成時間と精神的負荷評価による比較を行った。作業者は 20 代の男女 16 名である。

まず、最初に事前アンケートを行い、作業者の年齢や利き手の聞き取りを行う。次に、作業を行う上での注意事項を伝え、組み立て作業に移る。組み立て作業には、はじめに WAS による作業を行い、後に作業書で作業を行う①のパターンと、はじめに作業書による作業を行い、後に WAS で作業を行う②のパターンに分けた。さらに、①のパターン、②のパターンのなかでも、はじめに作業 A を行い、後に作業 B を行う作業者と、はじめに作業 B を行い、後に作業 A の作業を行う作業者に分けた。作業 A と作業 B で、3D プリンタに取り付けるパーツやネジを締める位置の違いがある。二つのパターンと二つの作業の合計で 4 つに場合分けでき、それぞれの作業に 4 人ずつ割り振った。

評価実験の結果を、図 5 と図 6 に示す。作業達成時間に関しては、WAS と紙の作業書との間には統計的な有意差がなかった。しかし、WAS の認識精度を上げ、誤認識を減らせば、WAS と紙の作業書との間に統計的な有意差ができることが分かった。精神的負荷評価に関しては、WAS と紙の作業書でタイムプレッシャーの項目で統計的な有意差がみられた。原因の一つとして、WAS が作業完了の判定を時間で判断していることが挙げられる。作業者の作業が終わっていないにもかかわらず、次の作業を提示しているため、作業者が感じるタイムプレッシャーに影響を及ぼしたと考えられる。

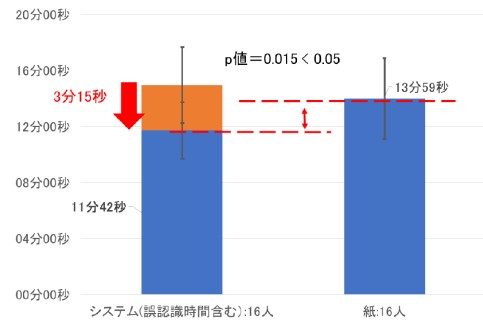


図 5 作業達成時間の比較

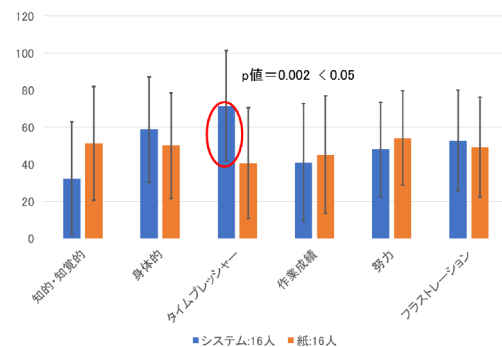


図 6 精神的負荷評価の内訳

5. 結言

- (1) 作業動作に応じた作業支援システムを開発することができた。
 - (2) WAS は作業書に作業達成時間で勝ることはできなかった。これは作業の解析における誤認識などの問題があると思われる。
 - (3) WAS の精神的負荷評価では、紙の作業書と比較して、作業者が感じるタイムプレッシャーが大きくなった。これは、WAS の作業完了の判定の仕様によるものと思われる。
- (2)と(3)の問題点を解決する方法として、WAS における誤認識の減少と作業完了の判定の仕様変更の二つが挙げられる。この二つの課題を解決することで、WAS が紙の作業書と比べて作業達成時間と精神的負荷評価において勝ることが期待できる。

<参考文献>

- (1) 阿部秀之, 金丸隆志, “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”, 日本機械学会 2016 年次大会 (S1210103)