

修士学位論文

論文題目 複数人の作業支援を目的とした情報提供可能な

教育インターフェースの開発

ふりがな
氏名

いしばし ともひろ
石橋 知大

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)

2019年3月

工学院大学大学院

論文要旨

近年、工場における生産活動において、作業者の負担を減らす為のシステムの導入が行われている。作業には複数人で行うものも多い。

また、日本には狭い住宅が多いため、家までは運びやすい組立式家具の需要が高い。組立式家具の中には、複数人で組立を行う必要のあるものが多い。

このように、複数人で何かを組み立てる必要のある場面は増加している。

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ている。そのシステムは、作業者が半田付けや製品組立などの作業を行う際に利用でき、プロジェクタを通して机上に組立の情報等を提示する事で作業者の負担を軽減することを狙ったシステムである。このシステムは机上の平面だけではなく、机上の高さをも利用した三次元的な作業へも拡張されている。

しかし、このシステムは「机上における作業にしか対応していないこと」および「1人で行う作業にしか対応していないこと」の2つの欠点があった。自動車部品の組立や家具等の大きな製品の組立では机上以外で行われることが多い。更に、大きな組立作業では1人でなく複数の作業者が組み立てる場合もある。

そこで、本研究では床上における作業に対応した作業支援システムを開発する。これまで作業員1人の認識しか出来なかったが、複数人の作業員の動作を認識出来るようにシステムを改良した。

目次

論文要旨	1
第1章 緒言	4
1.1 研究背景	4
1.1.1 生産現場における作業支援システムの導入	5
1.1.2 組立式家具のメリット	6
1.1.3 組立式家具のデメリット	7
1.1.4 複数人の家具の組立	9
1.2 先行研究について	10
1.2.1 タンジブルユーザインタフェースを用いた情報提供可能な作業機の開発	10
1.2.2 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	12
1.2.3 開発するシステムに必要な要素	15
第2章 システムについて	16
2.1 システム概要	16
2.1.1 組立支援対象	17
2.2 システム構成	18
2.3 使用機器	20
2.3.1 Kinect for Windows v2	20
2.3.2 プロジェクタ	21
2.3.3 PC	22
2.4 機能	23
2.4.1 作業支援情報の提示方法	23
2.4.2 作業者の検知方法	24
2.4.3 音声支援機能	26
第3章 評価と考察	27
3.1 評価方法	27
3.2 評価	29
3.2.1 評価実験	29
3.2.2 評価結果	30
3.3 考察	38
第4章 結言	40
4.1 結論	40
4.2 課題と解決法	41
参考文献	43

謝辞.....	44
付録.....	45

第 1 章 緒言

1.1 研究背景

近年、日本は少子高齢化による生産年齢人口の減少に伴い、労働人口の不足が問題となっている。それに対処するために海外からの労働者の受け入れも盛んに行われているが、それだけでは解決には至らない為、少ない労働者の負担を減らす方法を取る事が求められている。

本研究は工場における生産活動及び組立式家具の組立を想定した作業支援システムを作成する事を目標としている。ここでは、工場等の生産現場において導入されている支援システムの例を挙げ、その現状から本研究にどの様に役立てる事が可能かを考察する。また、平成 26 年度に東京都が実施し纏めた『組み立て式家具の安全性に関する調査報告書』[1][2]の結果を解説する。

1.1.1 生産現場における作業支援システムの導入

近年、工場等の生産現場においては、組立や製造の時間短縮や初心者への支援を目的とした作業支援のツールやシステムの導入が盛んである。中でも特に注目を集めているのが、ウェアラブル端末のスマートグラスである。スマートグラスは手を塞ぐ事無く眼鏡の様にかけるだけで支援を行うことが可能な点が評価されている。例えば、Microsoft 社開発の HoloLens は建築鉄骨業で製造支援の実証実験が行われている[3][4]。その結果、作業の熟練工でも 50 分かかる複雑な製造作業を 15 分まで短縮することができた事が確認されている。

しかし、スマートグラスはウェアラブル端末であり、『身につけなければ使えない』という制約がある。また、スマートグラスは身につけると重さが煩わしいと感じる人も少なからず存在する[5]。現在、本物の眼鏡の様に軽いスマートグラスの開発も進められているが、まだ実用段階では無い。

その為、本研究では何も身につける事無く支援を行うことの出来るシステムの完成を目指す。



図 1-1 HoloLens[3]

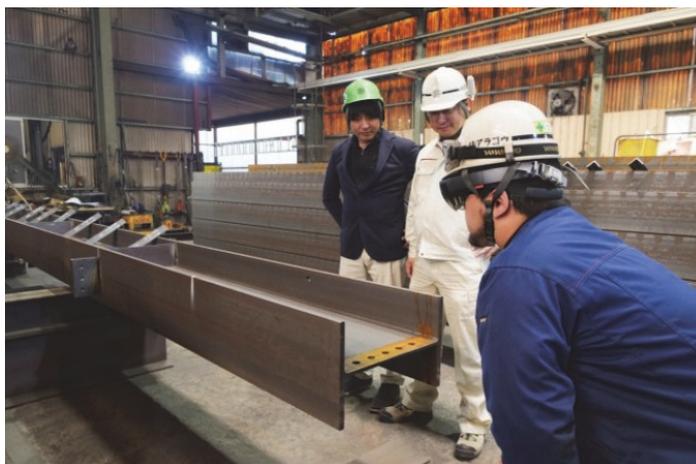


図 1-2 HoloLens を使用した作業支援実験[4]

1.1.2 組立式家具のメリット

近年、日本では組立式家具が多く販売されている。組立式家具の需要が上がっている原因の一例として、『普通の家具よりも安価である』という点が挙げられる。図 1-3 のグラフにある通り、購入者の回答 10314 票の 50%近くは、価格を購入の第一理由に組立式家具を選んでいる。

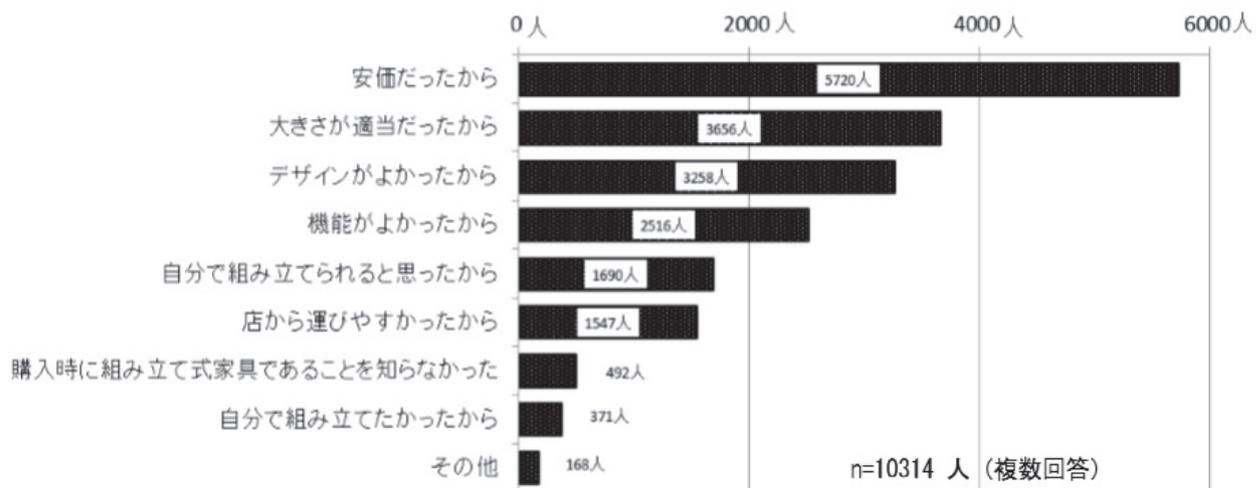


図 1-3 組み立て式家具の購入理由[2]

1.1.3 組立式家具のデメリット

一方で、組立式家具にはデメリットも存在する。

東京くらし WEB が組立式家具を組み立てた経験者に向けてアンケート調査を行ったところ、内 41.6%の人数が組立式家具をスムーズに組み立てることが出来なかったと解答している（図 1-4 の円グラフ[2]参照）。スムーズに行えなかった主な原因は図 1-5 に示されている通りである。

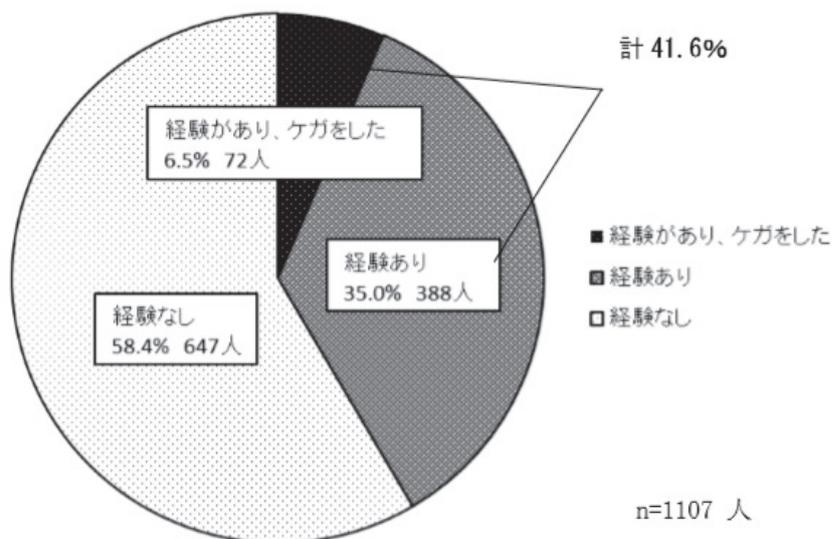


図 1-4 家具の組み立てがスムーズに行えなかった経験の有無[2]

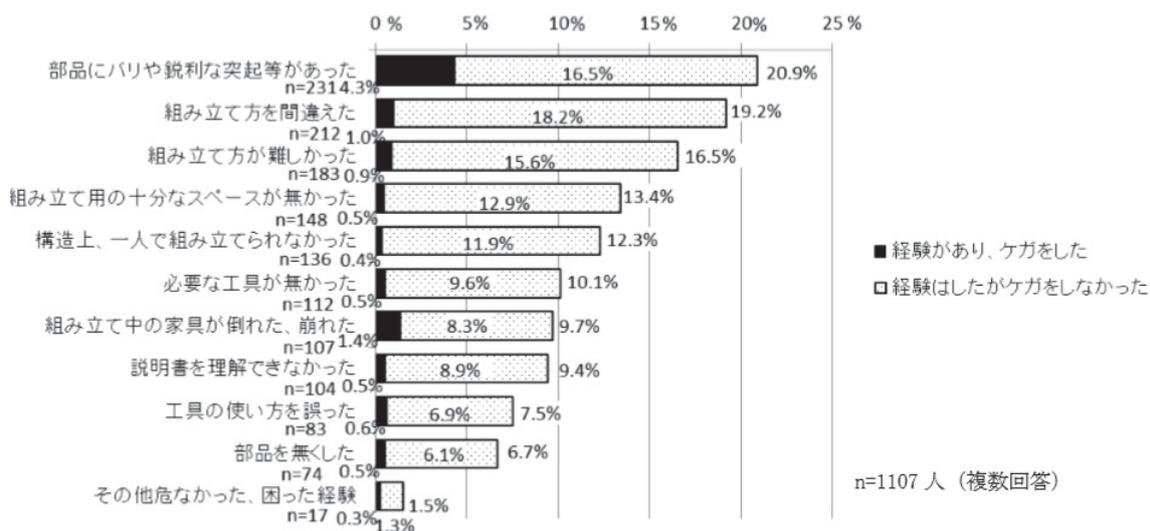


図 1-5 組み立てがスムーズに行えなかった原因[2]

また、組立がうまく行えずに怪我をしたという事例もある。表 1-1 はスムーズに組立が行えなかった経験とその時の危害事例である。この表によると、怪我をした原因として『組立を間違えた』、『説明書が分かりにくくて理解できなかった』、『説明書を読まなかった』などが主な怪我の原因として挙げられる。また、『部品のバリや鋭利な突起が原因で怪我をした』、『組み立て方を間違えた、難しかった』という意見もある。

組立式家具の組立が難しいという声は多く、近年では家具組立代行サービスというサービス業が存在しているほどである [6]。

表 1-1 家具の組み立てがスムーズに行えなかった経験と危害事例[2]

<事例>

家具の組み立てがスムーズに行えなかった経験と危害事例		回答者の性別/年齢
組み立て方を間違えた	食器棚の組み立て中に、ガラスの扉を間違えて取り付けて直そうと思い、外したら割れた。	男性 40 歳代
組み立て方が難しかった	テレビ台の脚と台をくっつけているときに上手くできなくて指を挟んだ。	女性 20 歳代
部品にバリや鋭利な突起等があった	本棚を組み立て中、部材にバリがあり、とげが刺さって出血した。	男性 40 歳代
組み立て用の十分なスペースがなかった	ラックを組み立てる際十分なスペースがない上に、部品が重かったので組み立てるのにとても時間がかかった。	女性 50 歳代
説明書を理解できなかった	ワゴンを組み立てた時に説明書の記載がよくわからず、ワゴンを壊してしまいそうになった。	男性 40 歳代
説明書を読まなかった	ステンレスの切りっ放しのパイプを組み立てる時、説明書を読まずに組み立てたら切り口で掌を切った。後で説明書を読んだらちゃんと切り口に注意と記載されていた。	女性 60 歳代
一人で組み立てられなかった	本棚を組み立てた際、家具が重たくて一人で支えるのがしんどかった。向きを変えるとき、思ったより勢いよく倒れてきたので足が下敷きになりそうになった。	女性 20 歳代
部品を無くした	食器棚を組み立てた時にねじが多く、何度も無くした。	女性 30 歳代
組み立て中の家具が倒れた、崩れた	机を組み立てていた時、仮組しておいた部品を立てて置いておいたところ、バランスを崩して倒れそばにいた母親に当たり打撲を負わせてしまった。	男性 40 歳代
必要な工具がなかった	机を組み立てた時、必要な工具がなく、難航した。	男性 20 歳代
工具の使い方を誤った	付属の工具の使用法が分からなかった。	男性 50 歳代

1.1.4 複数人の家具の組立

組立式家具を複数人で組み立てた購入者の人数は図 1-6 のグラフから見ると 16.2%と少ない。しかし、図 1-7 の『家具を二人以上で組み立てる理由』のグラフから『組み立て時間の短縮』、『難しい組立の補助』というメリットがある事が分かる為、複数人で組立を行う作業を支援するシステムに需要はあると考えられる。

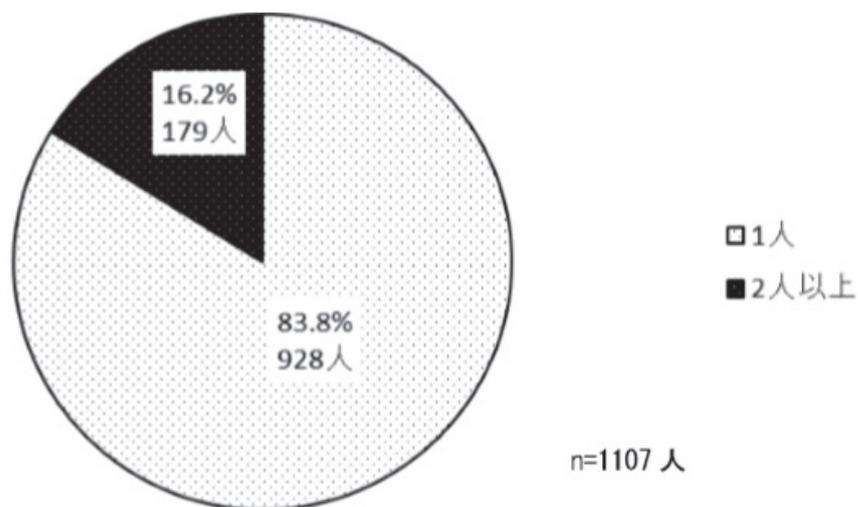


図 1-6 組み立てた家具の組立人数[2]

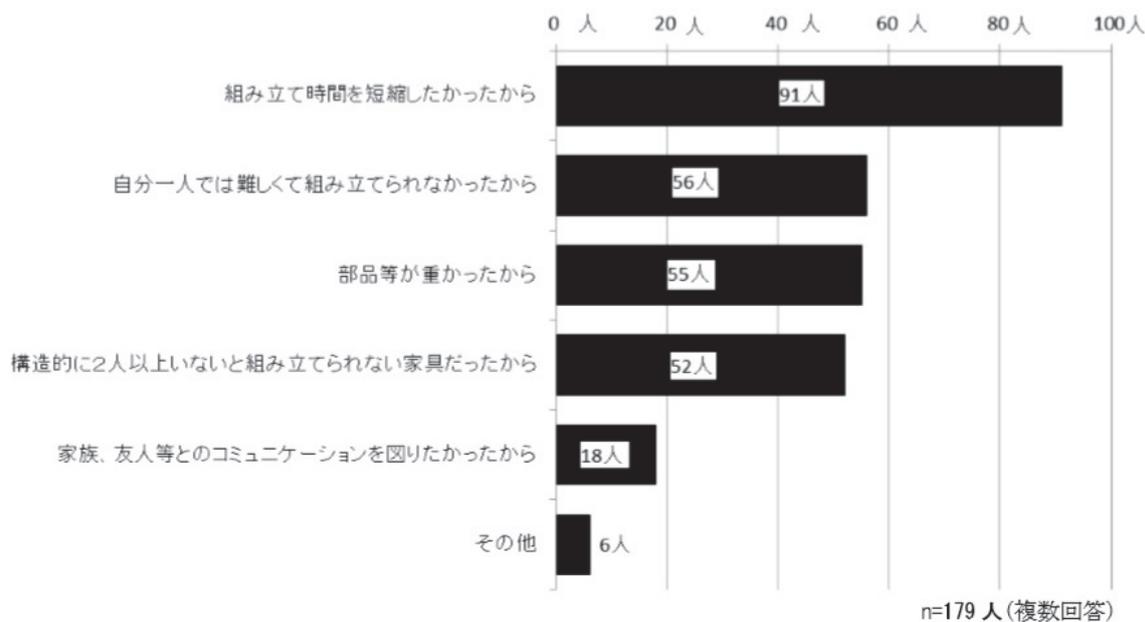


図 1-7 家具を二人以上で組み立てた理由[2]

1.2 先行研究について

我々は、労働者の負担を減らすためのシステムとして、過去に2つのシステムを開発した。本項目ではそれらの概要を解説する。

1.2.1 タンジブルユーザインタフェースを用いた情報提供可能な作業機の開発

先行研究の一つ目は、情報提供可能な作業機のシステムである。このシステムは、着席した状態の作業者が部品の半田付けやねじの取り付けなどの軽作業の支援を行うことを目的としている。

以下、このシステムをTUI作業機と呼称する。TUIはTangible User Interfaceの略称であり、本システムが、半田ごてやニッパをシステムのインタフェースとして利用することを意味している。図1-8がTUI作業機の実際の使用の様子である。

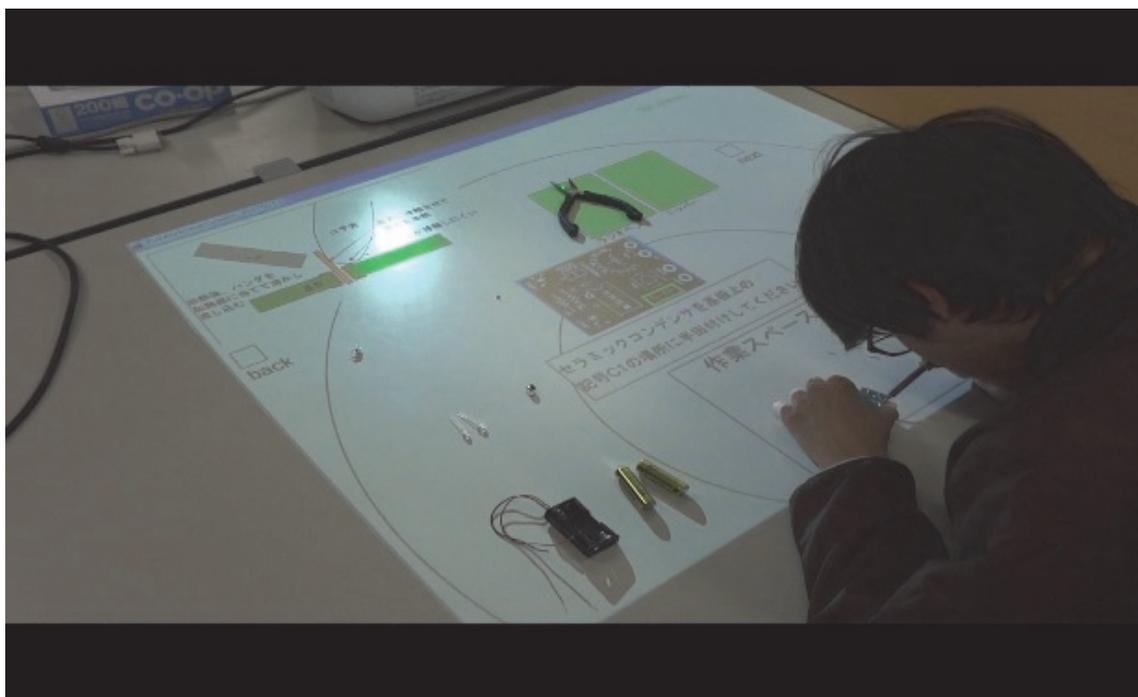


図 1-8 タンジブルユーザインタフェースを用いた情報提示可能な作業機の開発

プロジェクタを使用して作業支援情報、主に組立方法を机に投影する。投影される情報の例が図 1-9 である。回路に取り付ける部品の順序や使用する工具などが写真や文章で提示されるようになっている。この作業支援情報をもとに作業者は回路を組み立てる。

作業者の机の天井に設置された Web カメラが作業者の作業状態の検知を行う。例えば、作業者がシステムから LED を取るように指示されたとする。作業者が LED を取ると、システムは LED が置いてある位置のピクセル値の変化をカメラで読み取る。その値の一定以上の変化が一定時間以上続いた場合に、システムは LED が取られたとみなし、次の作業手順を表示する。このようなプロセスを繰り返しながら作業を進めていく。このシステムにより、作業者は手順を覚える事無く組み立て作業を行うことが可能となる。

しかし、このシステムは机上の平面領域しか認識出来ない為、立体的な機器を組み立てる事が出来ないという問題があった。

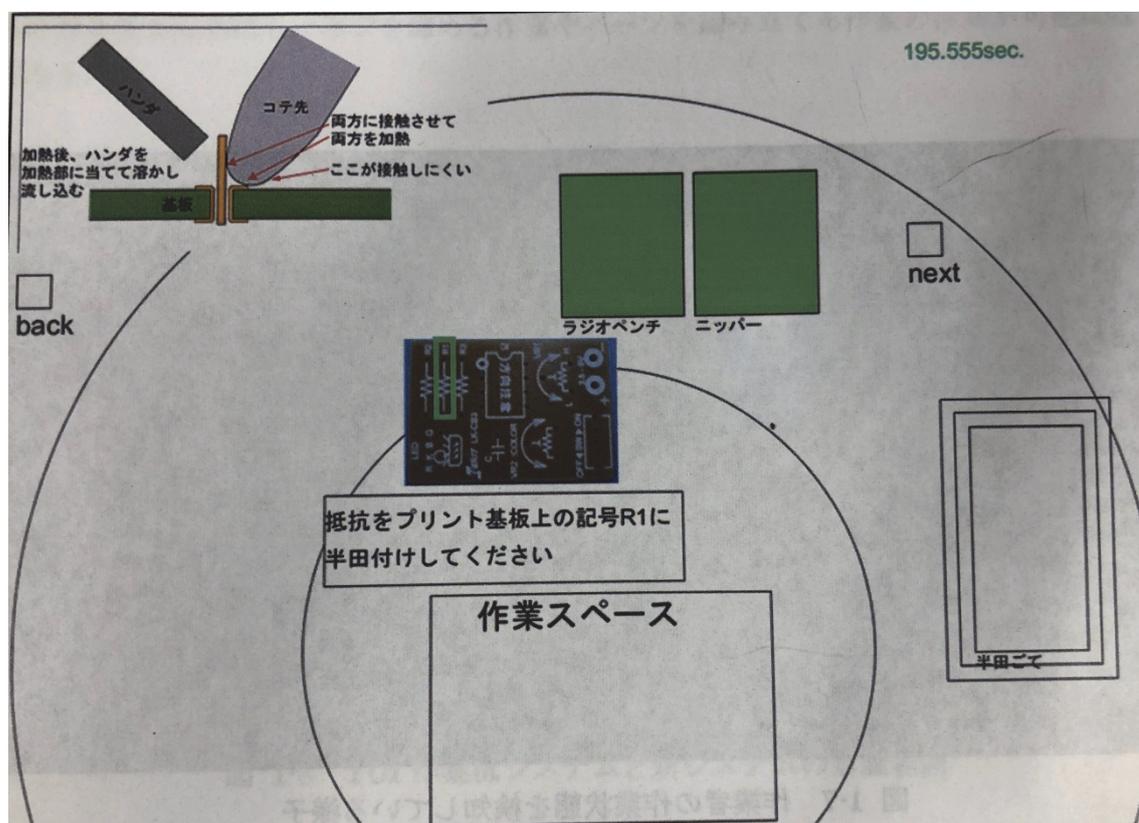


図 1-9 TUI 作業机でシステムにおいて投影される画像の一例

1.2.2 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

我々が実施した二つ目の先行研究を紹介する。こちらの支援システムは、作業者が起立した状態で行う作業の支援を想定している。先行研究とは異なり、三次元的な物体の組立に対応している。図 1-10 にこの支援システムの概要を示す。これは、このシステムを使用して作業支援情報を投影し、3D プリンタの制作を行っている様子である。



図 1-10 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

このシステムは、作業情報の提示をプロジェクタとディスプレイの二種類を使用して行う。図 1-11 に投影される情報の一例を載せる。それぞれ①作業準備画面、②取得工程画面、③作業工程画面、④作業終了画面を示している。

作業は、まず作業準備画面の指示に従って部品や工具を指定の場所に置いて行く。『作業開始』と書かれた箇所に手をかざすと、部品や工具を取る指示を表示する取得工程画面が表示される。その指示に従って指定された部品や工具を取ると、システムのセンサ (Kinect) が部品を取得した事を認識し、作業工程画面に遷移する。それらを繰り返し、最終的に支援対象の品 (3D プリンタ) を完成させて作業終了画面が表示されるまで作業を行う。

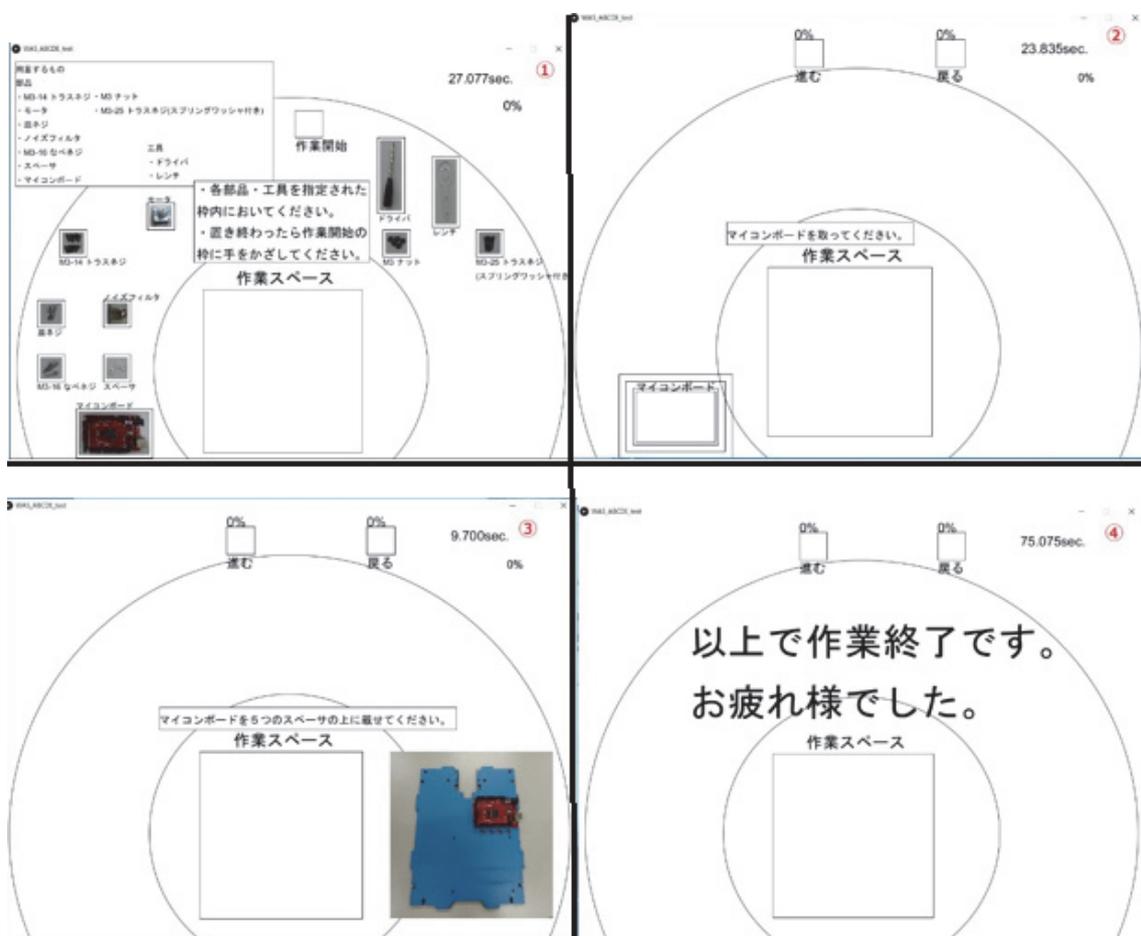


図 1-11 先行研究の作業支援システムにおいて投影される画像

このシステムでは、作業者が起立した状態で行うことを想定している。

更に、ディスプレイに作業熟練者の動画が作業者の動作に重なるようにして表示される為、作業者は自身の作業が適切であるかどうかを比較しながら作業に取り組む事が可能である。

しかし、先行研究のシステムの評価実験を行ったところ、作業者の大半が作業に集中するあまり熟練者の動きの確認をしていなかった。

1.2.3 開発するシステムに必要な要素

1.1の研究背景及び1.2の先行研究から、本研究では複数人で行う作業の支援システムを開発する事にした。開発にあたって、必要な要素を以下の通りに定める。

- 何かを身に着ける事無く行われる支援
- 分かりやすく、見やすい組立情報の提供
- 複数人で行う組立作業にも対応可能なシステムの開発
- 熟練者の動画を表示する機能は、文字や写真だけでは伝わりにくい作業工程の時のみ使用する

これらの条件を満たす、新しい作業支援システムを開発する。

第2章 システムについて

2.1 システム概要

本研究では、床上で作業を行う複数人の作業者の動きに合わせて作業支援情報の提供を行うシステムを開発する。以後、この作業支援システムを CWAS (Cooperation Workers Assistance System) と呼称する。CWAS が動作している様子を図 2-1 に示す。

CWAS は、複数人の作業者が床上において大きな部品や家具を組み立てる状況を想定している。今回のシステムでは、対応する作業者の人数は2人とし、金属製のスチールラックの組立を支援する事を想定する。



図 2-1 CWAS が動作している様子

2.1.1 組立支援対象

組立支援を行う対象のスチールラックを図 2-2 に表した。表 2-1 にこのスチールラックの仕様を記載する。

このスチールラックは、本来は四段だが、今回は作業工程の簡略化の為に棚一段のみを組み立てることとした。



図 2-2 支援対象の組立式スチールラック

表 2-1 スチールラックの仕様

商品名	ルミナスレギュラー ホームラック
大きさ	幅 91.5×奥行 46×高さ 126cm
型番	NLH9012-4

2.2 システム構成

CWAS の主な構成要素は Kinect v2, プロジェクタ, PC の 3 つである. それらの位置づけは図 2-3 の通りである.

まず, 作業員 2 人が指定された位置に立って作業を行っている様子を正面に設置された Kinect v2 が取得する. 作業員の動作を解析し, プロジェクタで投影している作業支援情報を随時描画, 更新する. プロジェクタから描画される情報は, 先行研究と同じく図 2-4 に示された作業準備画面, 取得工程画面, 作業工程画面, 作業終了画面の 4 つである. 作業支援情報については後述する.

また, 先行研究で使用されていた熟練者の作業動画の重ね合わせは, 先行研究においては使われる事が少なく, 動画で見る必要がある程の複雑な作業も無かった為, 今回は機能を削除した.

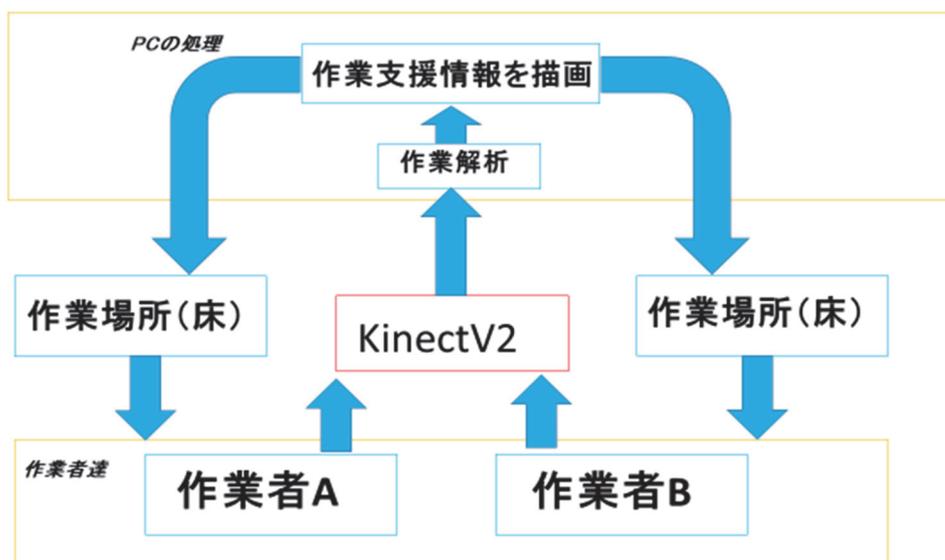


図 2-3 CWAS のシステム構成



図 2-4 CWAS において投影される画像

2.3 使用機器

2.3.1 Kinect for Windows v2

本研究で使用するセンサは、Microsoft 社製の Kinect v2 である。詳しい仕様を表 2-2 に示す。人物を最大 6 人まで検出可能であるが、先行研究では 1 人しか認識していなかった。本研究では、この機能を活かして複数人の作業者の検知を行う。

床に支援情報が投影される床上の作業場所全体を映す事が出来るように、高さ 70 cm の机の上に三脚を用いて机から 83 cm の高さに Kinect を固定して使用する事とした。



図 2-5 Kinect for Windows v2

表 2-2 Kinect for Windows v2 の仕様

色 (Color)	解像度	1920×1080
	fps	30fps
深度 (Depth)	解像度	512×424
	fps	30fps
人物姿勢 (Skelton)		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

本研究で使用するプロジェクタは、EPSON 社製ビジネスプロジェクタ EB-580 である。仕様を表 2-3 に示す。スチールラックの脚や棚等の大きい部品を置く為の作業スペースを確保する為、床上より 40cm の高さの台に乗せて作業支援情報を投影する。



図 2-6 プロジェクタ EB-580

表 2-3 プロジェクタ EB-580 の仕様

解像度	XGA(1024×768)
色再現性	フルカラー(10億7800万色)
本体サイズ(W×D×H)	367×375×155 (mm)
質量	約 5.3 kg

2.3.3 PC

本研究で使用する PC (図 2-7) は Windows 10 Enterprise が OS として搭載された一般的な PC である。その仕様を表 2-4 に示す。



図 2-7 PC

表 2-4 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

2.4 機能

2.4.1 作業支援情報の提示方法

作業支援情報の提示方法について説明する。図 2-8 は、実際に CWAS において作業者に提示される作業支援情報の一覧である。図 2-8 の左上から右下まで、それぞれ作業準備画面、取得工程画面、作業工程画面、作業終了画面を示している。

プロジェクトによりこれらの画像を床上に投影し、作業者の動作、作業の進捗に合わせて提示情報を随時更新する。



図 2-8 CWAS で投影される作業支援情報の例

2.4.2 作業者の検知方法

本研究のCWASで使用される作業検知機能について説明する。

今回使用したソフトウェアの開発に用いた言語はProcessingである。グラフィック機能のライブラリが充実しており、Kinect v2を用いるためのKinect PV2というライブラリを備えている為である。

図2-9は、作業者二人を検知するプログラムの一部である。このプログラム上では、作業対象のx座標、y座標、z座標をそれぞれ $right_x$ 、 $right_y$ 、 $right_z$ とした。一人目の作業者の右手の座標はそれぞれ $rightHandTip_x$ 、 $rightHandTip_y$ 、 $rightHandTip_z$ 、二人目の作業者の右手の座標はそれぞれ $rightHandTip_x2$ 、 $rightHandTip_y2$ 、 $rightHandTip_z2$ である。作業対象の各座標と二人の作業者の右手の各座標との差の絶対値が dx 、 dy 、 dz に格納される。これら dx 、 dy 、 dz の値が全て閾値 d より小さい場合は作業中であると見なし、作業時間を計測し続ける。作業の時間が作業完了時間 CP より大きくなった時点で作業は完了したものと見なし、次の作業指示画面に移行する。

```

void detect()
{
    target_x = workPointX[work_process]; //作業対象のX座標を格納
    target_y = workPointY[work_process]; //作業対象のY座標を格納
    target_z = workPointZ[work_process]; //作業対象のZ座標を格納

    // target_x2 = workPointX2[work_process];
    // target_y2 = workPointY2[work_process];
    // target_z2 = workPointZ2[work_process];

    right_dx = abs(target_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
    right_dy = abs(target_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
    right_dz = abs(target_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

    left_dx = abs(target_x - leftHandTip_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
    left_dy = abs(target_y - leftHandTip_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
    left_dz = abs(target_z - leftHandTip_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

    right_dx2 = abs(target_x - rightHandTip_X2); //2人目の右手の指先のX座標と作業対象のX座標との差の絶対値を格納
    right_dy2 = abs(target_y - rightHandTip_Y2); //2人目の右手の指先のY座標と作業対象のY座標との差の絶対値を格納
    right_dz2 = abs(target_z - rightHandTip_Z2); //2人目の右手の指先のZ座標と作業対象のZ座標との差の絶対値を格納

    left_dx2 = abs(target_x - leftHandTip_X2); //2人目の左手の指先のX座標と作業対象のX座標との差の絶対値を格納
    left_dy2 = abs(target_y - leftHandTip_Y2); //2人目の左手の指先のY座標と作業対象のY座標との差の絶対値を格納
    left_dz2 = abs(target_z - leftHandTip_Z2); //2人目の左手の指先のZ座標と作業対象のZ座標との差の絶対値を格納

    //0番目の人の判定
    if ( (right_dx < d && right_dy < d && right_dz < d) ||
        (left_dx < d && left_dy < d && left_dz < d)
        )
    { //距離の差が一定未満の間、時間を計る。
        working++;
    }

    //1番目の人の判定
    if ( (right_dx2 < d && right_dy2 < d && right_dz2 < d) ||
        (left_dx2 < d && left_dy2 < d && left_dz2 < 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;

        dtTows[work_process] = workStartTime[work_process] - displayTime[work_process];
    }

    if (working > CP) { //一定時間以上経った時に、次の作業に移る

        work_process += 1;

        println(work_process);
        working = 0; //時間を初期化

        Sw=0;
        Rw=0;
        recordTime= true;
        startTime = true;
        SpF[work_process] = true;
    }
}

```

図 2-9 作業者検知プログラム

2.4.3 音声支援機能

作業支援の補助機能として、組立情報を読み上げる音声支援機能を追加する。今回のCWASの音声支援機能は、先行研究同様にMicrosoft Harukaを使用している。Microsoft Harukaとは、Microsoft社が提供するMicrosoft Speech Platformの日本語音声合成エンジンの事である。組立の作業内容をこのHarukaに喋らせる事で、投影画像を見るだけでなく、より作業内容を素早く理解する事が出来ると考えられる。

図2-10が、今回の支援対象となる作業でHarukaが喋る作業内容の全てである。



図 2-10 Microsoft Haruka が喋る内容

第3章 評価と考察

3.1 評価方法

本研究の有用性を示すための主観的評価方法として、先行研究と同様に NASA-TLX (Task Load Index) を採用する [8]。NASA-TLX は宇宙飛行士のメンタルロードワーク測定を目的としたもので、図 3-1 に示されている精神的欲求、身体的欲求、タイムプレッシャー、作業成績、努力、フラストレーションの 6 項目を計測する。これら 6 つの項目から、低い/高いまたは良い/悪いの両極を持つ 12 cm 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 項目ずつ一対比較し、より MWL への寄与が高いと判断された項目の回数を数えることによって算出する。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り、重み付けされたワークロードの平均値 (WWL: weighted workload) を得ることが出来る。

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 [7]

NASA - TLX の重み付け係数の決定法は複雑なため、今回は NASA - TLX の簡易版である日本語版 NASA-TLX を用いて精神的負荷の数値化を行う。日本語版 NASA-TLX は前述の 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、1~6 位の順位をつける（同順位も可とする）。その各重みを係数として、それぞれの素点にかけ合わせ、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 [8]。本研究では、この CSTLX 得点を用いて評価を行う。また、客観的評価方法として、作業開始から終了までにかかった時間（以下、達成時間と呼称）を用いた評価方法も用いる。CWAS を利用して家具を組み立てた時間が紙面の組み立て時間よりも短かった場合、作業の効率化が為されたと考えられる。

3.2 評価

3.2.1 評価実験

今回開発した CWAS を使用した作業と、紙面の作業書を使用した作業を、20 人の作業者を 2 人 1 組に分けた 10 組の作業者達に行ってもらおう。作業終了後には紙面によるアンケートを記入してもらい、それらの評価等を検証・考察する。

今回の実験では、

- (1) 紙面の説明書を用いた組立
- (2) 本システム CWAS を用いた組立

の 2 種類の方法でそれぞれ行ってもらおう。また、様々なパターンを検証する為に、

- ① (1) 紙面 → (2) CWAS
- ② (2) CWAS → (1) 紙面

の 2 パターンの組立を、計 10 組にそれぞれ 5 組ずつに分かれて行ってもらった。

3.2.2 評価結果

作業者の評価結果を表 3-1～表 3-5 に示す。

表 3-1 評価結果 1

作業者		A チーム				B チーム				
性別		男		男		男		男		
年齢		22		21		21		25		
利き手		右		右		右		右		
パターン		①				①				
作業達成時間		3 分 58 秒 56		3 分 24 秒 64		3 分 58 秒 58		3 分 24 秒 61		
		1 回 目	2 回 目							
CSTLX	順位	知的・知覚的	3	5	6	6	6	5	3	6
		身体的	2	6	4	5	1	6	2	5
		タイムプレッシャー	6	1	5	1	4	4	4	1
		作業成績	5	2	3	3	2	1	1	3
		努力	1	4	2	2	3	3	6	4
		フラストレーション	4	3	1	4	5	2	5	2
	各素点	知的・知覚的	30	70	80	90	65	60	30	60
		身体的	100	100	45	75	35	75	100	60
		タイムプレッシャー	85	50	60	45	35	85	83	50
		作業成績	100	15	20	65	5	25	50	25
		努力	50	5	45	95	25	20	85	50
		フラストレーション	83	60	50	65	15	70	100	50
	WWL		59.7	27.4	30.5	72.2	25.0	52.6	76.2	33.8

表 3-2 評価結果 2

作業者		C チーム				D チーム				
性別		男		男		男		男		
年齢		22		25		21		21		
利き手		右		右		右		右		
パターン		②				②				
作業達成時間		3 分 24 秒 09		3 分 09 秒 31		3 分 25 秒 02		3 分 14 秒 02		
		1 回 目	2 回 目	1 回 目	2 回 目	1 回 目	2 回 目	1 回 目	2 回 目	
CSTLX	順位	知的・知 覚的	5	3	6	6	1	6	1	6
		身体的	4	4	1	4	6	2	2	2
		タイムプ レッシヤ ー	1	5	3	1	2	1	5	1
		作業成績	6	2	2	5	4	5	6	3
		努力	3	1	4	2	5	3	4	5
		フラスト レーショ ン	2	6	5	3	3	4	3	4
	各 素 点	知的・知 覚的	60	43	75	75	90	90	55	80
		身体的	85	54	10	60	65	70	80	85
		タイムプ レッシヤ ー	25	58	35	70	60	30	65	0
		作業成績	75	14	30	100	70	85	90	50
		努力	20	58	40	50	50	100	45	20
		フラスト レーショ ン	70	13	75	60	65	75	60	0
WWL		52.6	28.3	33.4	56.2	49.8	67.4	51.9	31.4	

表 3-3 評価結果 3

作業者		E チーム				F チーム				
性別		男		男		男		男		
年齢		22		25		22		23		
利き手		右		右		右		右		
パターン		①				②				
作業達成時間		4分33秒58		4分11秒85		2分54秒64		2分38秒74		
		1回 目	2回 目	1回 目	2回 目	1回 目	2回 目	1回 目	2回 目	
CSTLX	順位	知的・ 知覚的	3	1	5	5	5	4	6	4
		身体的	6	5	6	4	1	3	1	5
		タイム プレッ シャー	5	2	3	1	4	2	5	1
		作業成 績	4	3	4	2	6	6	2	6
		努力	2	4	2	6	3	5	3	2
		フラス トレー ション	1	6	1	3	2	1	4	3
	各 素 点	知的・ 知覚的	65	10	90	60	60	50	98	30
		身体的	90	100	80	85	50	60	78	90
		タイム プレッ シャー	75	10	30	25	50	75	58	10
		作業成 績	65	75	30	70	60	0	3	80
		努力	95	85	20	75	25	40	14	20
		フラス トレー ション	45	100	10	20	50	50	68	30
	WWL		72.2	51.2	48.6	52.6	33.8	41.9	60.5	48.6

表 3-4 評価結果 4

作業者		G チーム				H チーム				
性別		男		男		男		男		
年齢		22		23		23		23		
利き手		右		右		右		右		
パターン		①				②				
作業達成時間		3 分 32 秒 79		3 分 28 秒 49		2 分 56 秒 66		3 分 05 秒 70		
		1 回 目	2 回 目	1 回 目	2 回 目	1 回 目	2 回 目	1 回 目	2 回 目	
CSTLX	順位	知的・知 覚的	5	6	5	5	5	6	5	6
		身体的	4	2	4	6	6	2	6	5
		タイムプ レッシュャ ー	3	3	6	3	1	1	4	2
		作業成績	6	4	3	2	4	3	2	3
		努力	2	5	1	1	2	4	1	4
		フラスト レーショ ン	1	1	2	4	3	5	3	1
	各 素 点	知的・知 覚的	20	0	15	65	20	55	50	55
		身体的	85	0	35	85	35	50	75	0
		タイムプ レッシュャ ー	50	0	65	55	30	65	100	50
		作業成績	80	0	25	75	30	70	100	0
		努力	0	0	35	65	50	55	75	30
		フラスト レーショ ン	0	20	5	65	55	50	0	0
WWL		31.4	4.8	25.0	56.0	34.5	56.0	65.5	26.2	

表 3-5 評価結果 5

作業者		I チーム				J チーム				
性別		男		男		男		男		
年齢		25		23		25		22		
利き手		右		右		右		右		
パターン		①				②				
作業達成時間		3分03秒17		2分48秒22		4分30秒18		4分02秒35		
		1回 目	2回 目	1回 目	2回 目	1回 目	2回 目	1回 目	2回 目	
C S T L X	順位	知的・知覚的	6	5	5	4	5	2	5	6
		身体的	5	4	6	6	6	4	1	5
		タイムプレッシャー	3	1	4	5	2	3	4	1
		作業成績	1	6	1	1	1	6	2	2
		努力	2	2	2	3	4	5	3	4
		フラストレーション	4	3	3	2	3	1	6	3
	各素点	知的・知覚的	60	70	20	55	58	9	70	0
		身体的	60	70	35	55	13	28	30	0
		タイムプレッシャー	50	60	30	50	14	33	10	0
		作業成績	70	60	30	65	58	68	5	0
		努力	75	85	50	70	54	18	10	10
		フラストレーション	60	80	55	50	43	18	35	0
WWL		60.5	74.3	34.5	56.0	28.3	17.8	31.9	1.9	

それぞれの組が組立にかかった時間のみをまとめたものが表 3-6 である。その結果、

- パターン①紙→システム：システムを使った方が速い
- パターン②システム→紙：紙面の説明書の方が速い

という結果となり、2 回目の組立にかかる時間が速くなる傾向にあることを示している。これは、組立に慣れたためと推測出来る。

表 3-6 各作業で組立にかかった時間

チーム	パターン	時間	
A	①	紙	3 分 58 秒 56
		シ	3 分 24 秒 64
B	①	紙	3 分 58 秒 58
		シ	3 分 24 秒 61
C	②	シ	3 分 24 秒 09
		紙	3 分 09 秒 31
D	②	シ	3 分 25 秒 02
		紙	3 分 14 秒 02
E	①	紙	4 分 33 秒 58
		シ	4 分 11 秒 85
F	②	シ	2 分 54 秒 64
		紙	2 分 38 秒 74
G	①	紙	3 分 32 秒 79
		シ	3 分 28 秒 49
H	②	シ	2 分 56 秒 66
		紙	3 分 05 秒 70
I	①	紙	3 分 03 秒 17
		シ	2 分 48 秒 22
J	②	シ	4 分 30 秒 18
		紙	4 分 02 秒 35

また、1回目と2回目に行った作業の達成時間の平均を、それぞれ図3-2と図3-3に示した。1回目の作業達成時間の平均で比較すると、CWASを用いた組立の方が20秒以上早く作業が終わっている事がわかる。これは、本システムは作業者が初見で組立を行う場合に有用であることを示していると考えられる。

しかし、2回目の作業の場合はシステムよりも紙の方が10秒以上早いという結果となっている。このことから、2回目に同じ組立作業を行う場合においては、作業に慣れた分CWASによって作業が制限されているのではないかと推測される。

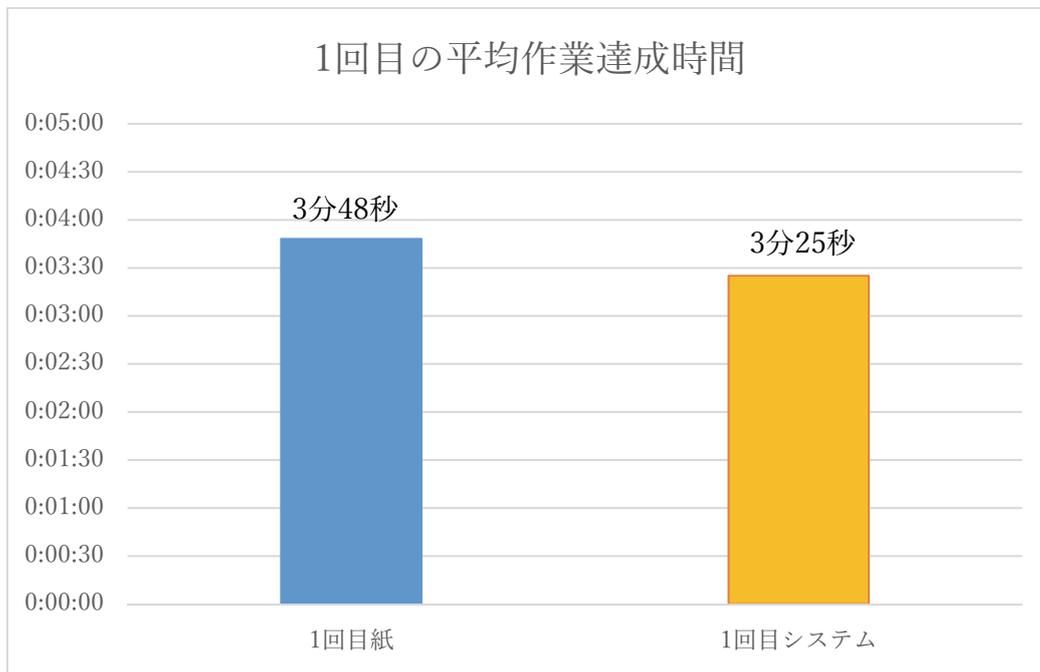


図 3-2 1 回目の作業の平均達成時間

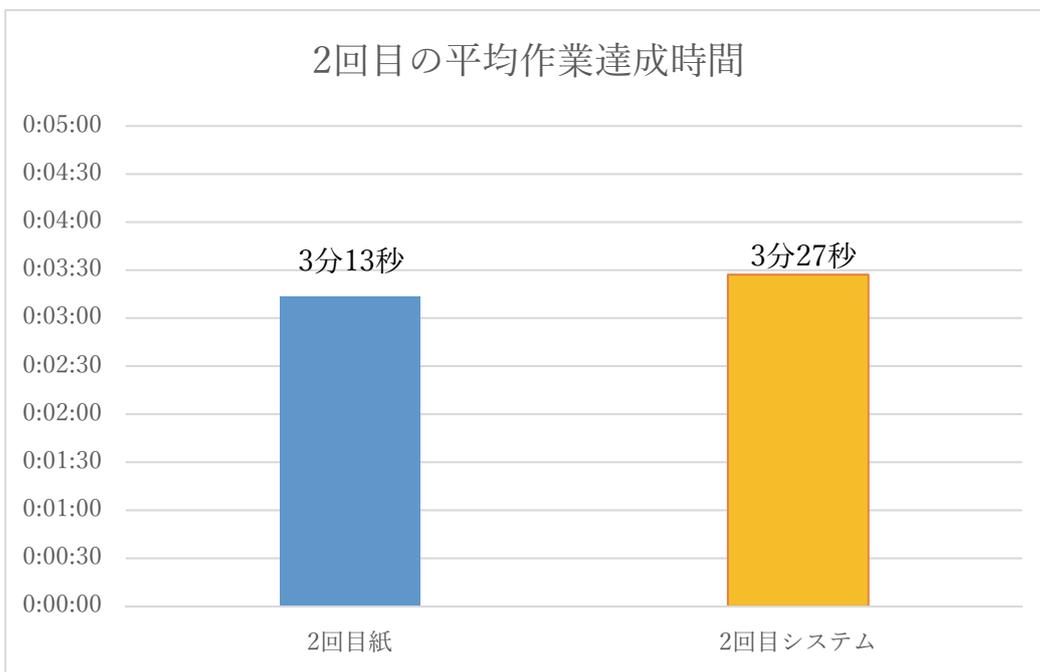


図 3-3 2 回目の作業の平均達成時間

3.3 考察

CWAS の主観的評価として、CWAS と紙の作業書の WWL 値の平均を図 3-4 に示す。二つの平均値を比較すると、CWAS の方で WWL 値が大きくなっている。WWL 値が大きいうことは、作業員への精神的負荷が大きいうことである。CWAS によって作業員にかかる精神的負荷を軽減される事を期待したが、かえって負荷が強まってしまうという結果となった。

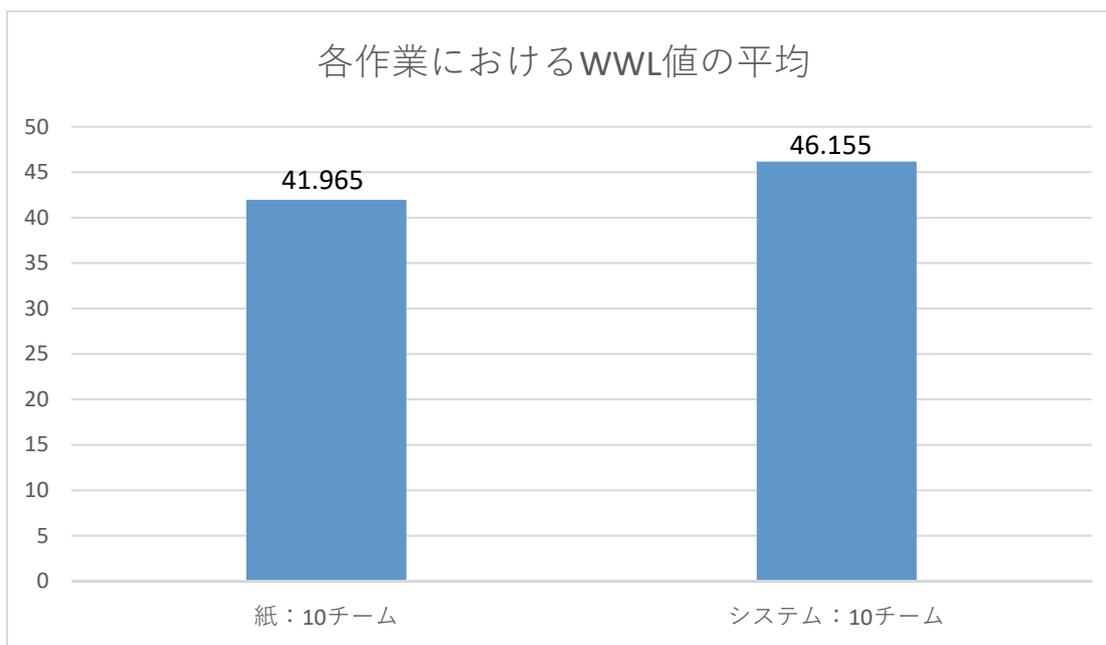


図 3-4 各作業における WWL 値の平均の比較

図 3-3 の結果をより詳細に確認するため、WWL 値を計算する前の NASA-TLX の要素それぞれの平均値を算出し、図 3-5 にグラフとして示した。

このグラフを見ると、全体的に CWAS の値の方が高めである。一番目立つ点は、フラストレーションの値が CWAS のシステムが紙の作業書と比べると倍近く高くなっている点である。アンケートに原因として、まず「部品を取ったか取っていないかの判定がおかしくなる時がある」という意見がある。これは、ある作業時の作業者の動作認識の判定を行う座標が、その直前の座標に近い位置に設定されている為であると考えられる。他には「投影された画像が見にくい」という意見があった。これに関しては、プロジェクタを床に置いて画像を投影すると、プロジェクタ本体から遠くなった部分の映像がぼやけてしまうのが原因であると推測される。

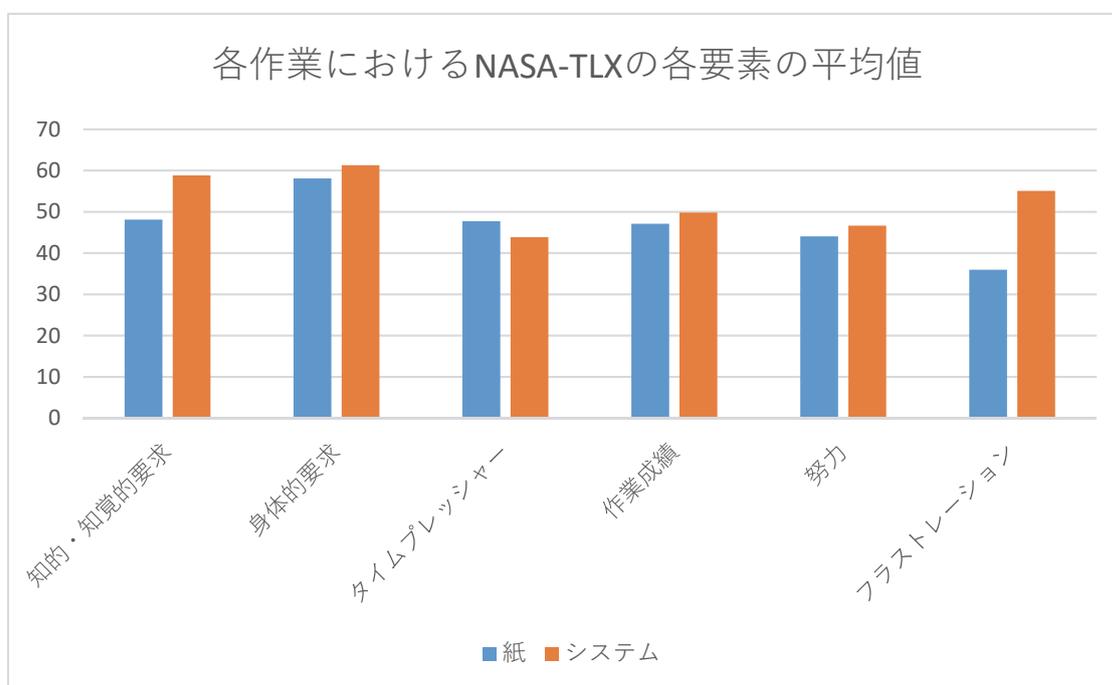


図 3-5 各作業における NASA-TLX の各要素の平均値

第4章 結言

4.1 結論

今回の研究は、下記の条件を満たす作業支援システムの開発を目的とした。

- 何かを身に着ける事無く行われる支援
- 分かりやすく、見やすい組立情報の提供
- 複数人で行う組立作業にも対応可能なシステムの開発
- 熟練者の動画を表示する機能は、文字や写真だけでは伝わりにくい作業工程の時のみ使用する

まず一つ目と二つ目の「何かを身に着ける事無く行われる支援」と「分かりやすく、見やすい組立情報の提供」という点については、何も身に着けず音声と画像で作業の指示を出し、見やすく部品が取りやすい作業スペースを作ること意識した。しかし、評価実験後のアンケートには「投影された画像が見にくい」という意見が多数あった。これに関しては、プロジェクタからの投影範囲が広すぎた為に、投影された画像の端がぼやけてしまった事が原因と考えられる。

三つ目の「複数人で行う組立作業にも対応可能なシステムの開発」については、当初の目標通り達成できたと考えられる。しかし、作業移行の座標点が重なった為か、次の作業指示が飛ばされる場面も見られた。

そして、四つ目の「熟練者の動画を表示する機能は、文字や写真だけでは伝わりにくい作業工程の時のみ使用する」に関しては、今回は作業が単純だった為に機能を省いた。しかし、より複雑な家具の組立に対応させる為には、作業動画が必要となる場面も予想される。しかし、作業者が床上で作業を行っている為、先行研究で使用されていたPC用ディスプレイでは小さすぎると考えられる。その対策として、より大きなディスプレイを使用するか、もう一つプロジェクタを用意してそこに画像を投影させるかという二つの方法が考えられる。

4.2 課題と解決法

今回の評価実験によって、本システムは

- 部品を取ったか取っていないかの判定がおかしくなる時がある
- 投影された画像が見にくい

という課題が浮かび上がって来た。これらの課題が、作業者への精神的負担に繋がった大きな要因であると考えられる。

まず一つ目の課題の解決方法は、部品を取った動作を判定する座標を、直前の作業の判定座標から遠い位置に設定する事が考えられる。

特に、今回のシステムの組立支援対象であった棚のポールはそれだけで大きい部品である為、座標が近い位置に設定されがちである。『一度組み立てたポール等の大きい部品は作業スペースの投影画像の範囲外に置き、作業者の手を振るなどの動作で作業指示の移行を判定する』等の工夫をする必要があると思われる。

二つ目の『投影された画像が見にくい』という課題について考察する。

今回使用したプロジェクタ『EPSON EB-580』の本来の用途の一つに、天井から吊るして投影するという方法がある。だが、これは、本来は図 4-1 の様に壁に投影する為の方法である為、今回のシステムの様様に床に投影する手法には向かない。



図 4-1 プロジェクタを上から吊るし投影する方法の一例[9][10]

そこで、この課題の解決方法として、プロジェクタ変更する事が考えられる。調査した結果、図 4-2 の様に床に向けて画像を投影出来るようにプロジェクタを吊る為の器具が存在する事が分かった[11].



図 4-2 床に画像を投影する為にプロジェクタを吊る器具の一例[11]

しかし、この方法も、『投影場所が天井である為作業者の影がこれまでのシステム以上に邪魔に感じられる』、『設置する為に天井を改装する手間がかかる為、工場だけでなく家庭でも使用出来る簡便性が無くなる』というデメリットが発生する事が予想される。

最善の解決方法としては、床に置いて使用するプロジェクタを投影する事で投影画像に生じるぼやけを減らす事であると考えられる。

参考文献

- [1] 「組み立て式家具」安全性に関する調査
<https://www.shouhiseikatu.metro.tokyo.jp/anzen/test/kumitatekagu.html>
- [2] 平成26年度調査報告書 組み立て式家具の安全性に関する調査報告書
<https://www.shouhiseikatu.metro.tokyo.jp/anzen/test/documents/houkokusyo.pdf>
- [3] 15 amazing HoloLens projects that show how computers can change in a few years
<https://haptic.al/hat-is-hololens-mixed-reality-c01198c5bbb>
- [4] 未経験でも作業時間を70%削減、HoloLensで製造支援 Mogura VR編集部
<https://www.moguravr.com/miyamuratech-hololens/>
- [5] スマートグラスの弱点
<https://securitysoft.asia/wearable/smartglass/demerit.php>
- [6] 家具組み立て代行サービスとは
<https://reform-market.com/shelf/contents/furniture-setup-basic>
- [7] 三宅晋司 神代雅晴, “メンタルワークロードの主観的評価方法 - 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
- [8] 三宅晋司 “特集③人間工学のための計測手法 第3部: 心理計測と解析(6) メンタルワークロードの計測と解析 - NASA-TLX 再考- ”, 人間工学, 51 (6), 391-398, 2015
- [9] エプソン EB-580 (液晶方式 3200lm XGA)
<https://shopping.yahoo.co.jp/products/bc74c0de94>
- [10] ビジネスプロジェクター ELPCB03
<https://www.epson.jp/products/bizprojector/supply/elpcb03/>
- [11] 『プロジェクターを床に向けて映す』 プロジェクタースクリーンの専門店 シアターハウス
<https://theaterhouse.co.jp/13.html>

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、多くの助言をして下さった修士の先輩方、実験に協力してくれた皆様に心より感謝致します。

特に、金丸先生には毎週のミーティングや学会発表、学内発表の時に至らぬ部分をフォローして下さったり等、大変お世話になりました。最後の最後までご迷惑をおかけしてしまい申し訳ありませんでした。

これをもって謝辞とかえさせていただきます。

付録



① 紙 03.58.56

130+ 238
130+ 204

② システム 03.24.64

アンケート

・年齢 22 才

・性別 女

・利き手 左

・作業を行ってみて、どちらの作業がやりやすかったですか？

紙の作業	作業支援システム <input checked="" type="radio"/> システムの作業
------	---------------------------------------------------

・作業支援システムを使った作業はどの点が紙の作業よりも優れていると感じましたか？

紙をいちいちめくなくてよかった。また、音での説明が早いので
分かりやすかった。

・作業支援システムではどの部分が一番使いにくかったですか？

反応が悪いところが多かった。音声が少し早いため、
聞き取れなかった。

・システムに対する改善案などがあれば記入をお願いします

音声がもう少し遅くしてほしいです。

(A)

① 紙 03.58.58

298

② シェア 03.24.61

209

アンケート

・年齢 21

・性別 男・女

・利き手 右・左

・作業を行って見て、どちらの作業がやりやすかったですか？

紙の作業	作業支援システムの作業
------	-------------

・作業支援システムを使った作業にどの点が紙の作業よりも優れていると感じましたか？

紙よりも必要がなかった。
音配画像が出てきたので分かりやすく組込られた。

・作業支援システムでどの部分が一番使いにくかったですか？

作業範囲が狭いと感じました。

・システムに対する改善などあれば御記入をお願いします

作業する場所が広いと良いと思います

アンケート

(B)

① 紙 03.58.58 238
② 泓私 07.24.61 204

- ・年齢 25 才
- ・性別 (男) 女
- ・利き手 (右) 左

・作業を行ってみて、どちらの作業がやりやすかったですか？

紙の作業	作業支援システムの作業
------	-------------

・作業支援システムを使った作業はどの点が後の作業よりも優れていると感じましたか？

・音で説明が入る点

・作業支援システムではどの部分が一番使いにくかったですか？

・反応が悪い点
・指示通りに動くと動きが悪い点

・システムに対する改善案などがあれば記入をお願いします

・本泓私では完成品が完成しても横れやすく感じた。
・横れにくい製品の作り方が良かったと思う。

アンケート

(B)

② 姓 03.58.58 270
③ 2276 03.29.69 224

・年齢 25 才

・性別 (男) 女

・利き手 (右) 左

・作業を行って見て、どちらの作業がやりやすかったですか？

<input checked="" type="checkbox"/> 紙の作業	<input type="checkbox"/> 作業支援システムの作業
------------------------------------------	--------------------------------------

・作業支援システムを使った作業はどの点が紙の作業よりも優れていると感じましたか？

紙をめくらずに作業出来るのが良かった。
音声も入る音が良い。

・作業支援システムではどの部分が一番使いにくかったですか？

画像が見にくく、音声も早く聞き逃した時はどうしたら良いのが分からなかった。

・システムに対する改善案などがあれば記入をお願いします

画像がぼけてはまりと隙り、音声も繰り返し流れると嬉しい。

(C)

① 2274 03.24.09 204

② 紙 03.09.31 189

アンケート

・年齢 22才

・性別 男 女

・利き手 右 左

・作業を行ってみて、どちらの作業がやりやすかったですか？

<input checked="" type="radio"/> 紙の作業	<input type="radio"/> 作業支援システムの作業
---------------------------------------	-----------------------------------

・作業支援システムを使った作業はどの点が紙の作業よりも優れていると感じましたか？

紙・紙をめくらずとも良い点 ・音声が流れてくる点

・作業支援システムではどの部分が一番使いにくかったですか？

指定された範囲で作業を動かさなければいけない点 ・指示ばかりに動かさなくてはならない点

・システムに対する改善などがあれば記入をお願いします

最初の完成画面などがあれば、作業がイメージしやすいと感じました

① 2024.03.24.09
② 紙 03.09.31

アンケート

・年齢 25 才

・性別 男 女

・利き手 右 左

・作業を行って来て、どちらの作業がやりやすかったですか？

紙の作業 作業支援システムの作業

・作業支援システムを使った作業はどの点が紙の作業よりも優れていると感じましたか？

音声が流れてくる点。

・作業支援システムでほどの部分が一番使いにくかったですか？

途中でよく作動しない・踏がある点。
画像が見にくい。

・システムに対する改善案などがあれば記入をお願いします

もっと画像が見やすいと思う。

①

~~②~~

②紙 03.14.19 194

①紙 03.29.02 205

アンケート

・年齢 21才

・性別 男・女

・利き手 右・左

紙平均 35.57.25

紙平均 35.24.06

・作業を行って見て、どちらの作業がやりやすかったですか?

紙の作業	作業支援システムの作業
------	-------------

・作業支援システムを使った作業はどの点が紙の作業よりも優れていると感じましたか?

音声が分かりやすい。

・作業支援システムではどの部分が一番使いにくかったですか?

味による画像が見にくい。

・システムに対する改善案などがあれば記入をお願いします

画像がぼんやり見える。

② 紙 03.14.19 100/f
③ 276 03.25.0.2 205

アンケート

- ・年齢 21才
- ・性別 男・女
- ・利き手 右・左

・作業を行って来て、どちらの作業がやりやすかったですか？

紙の作業	作業支援システムの作業
------	-------------

・作業支援システムを使った作業はどの点が紙の作業よりも優れていると感じましたか？

音声が聞こえる点。

・作業支援システムではどの部分が一番使いにくかったですか？

音声が少し聞き取りにくい点。

・システムに対する改善案などがあれば記入をお願いします

音声がもう少し中、くりにして欲しいです。

(E)

① 紙 04.33.81
③ 紙 04.11.85

アンケート

・年齢 22 才

・性別 (女)

・利き手 (左)

・作業を行って来て、どちらの作業がやりやすかったですか？

紙の作業	作業支援システムの作業
------	-------------

・作業支援システムを使った作業はどの方が紙の作業よりも優れていると感じましたか？

紙を多く読む作業等の、紙の作業を調べる動作が、作業支援システムによって作業に集中できる。

・作業支援システムではどの部分が一番使いにくかったですか？

たとえば、色合いの判定が難しい箇所が多いため、色の不具合

・システムに対する改善案などがあれば記入をお願いします

紙の作業は自動であるのは、紙の加工ページをめくる必要がないため有益であるが作業スペースの外に自動で戻る窓を小さく加工した方がよい部分もあるようでした。(特に小窓部分)
例: マウスカーソルを取った直後の部分に手をかかす

(E) ① 紙 09.04.33.51
② シ 09.11.85

アンケート

・年齢 25才

・性別 (男) 女

・利き手 (右) 左

・作業を行って見て、どちらの作業がやりやすかったですか？

紙の作業	作業支援システムの作業
------	-------------

・作業支援システムを使った作業はどの点が紙の作業よりも優れていると感じましたか？

部品がまとまっているので、かなり早い

・作業支援システムではどの部分が一番使いにくかったですか？

矢印の動きが早すぎる

・システムに対する改善案などがあれば記入をお願いします

作業が終わるまで、矢印の動きを止めたい。

12

① 02.54.6f
② 紙 02.38.74

アンケート

・年齢 22 才

・性別 男・女

・利き手 右 左

・作業を行って来て、どちらの作業がやりやすかったですか？

紙の作業	作業支援システムの作業
------	-------------

・作業支援システムを使った作業はどの点が紙の作業よりも優れていると感じましたか？

次に示すように、手帳のやり取り

・作業支援システムではどの部分が一番使いにくかったですか？

早く紙に送れること。

・システムに対する改善案などがあれば記入をお願いします

送れること、
手帳の、最初送るに手帳のやり取り

(F)

④ 202.54.64

② 9A.02.38.74

アンケート

・年齢 23 才

・性別 男・女

・利き手 左

・作業を行ってみて、どちらの作業がやりやすかったですか？

紙の作業	作業支援システムの作業
------	-------------

・作業支援システムを使った作業はどの点が紙の作業よりも優れていると感じましたか？

紙をめる必要がない点。

・作業支援システムではどの部分が一番使いにくかったですか？

文字がぼやけている点。
作業の指元が次に進んじし場所。

・システムに対する改善案などがあれば記入をお願いします

見やすく、作業が終わるまで待つためのシステムにしてほしい。

⑤

① 紙 03.32.77
② シ 03.25.99

アンケート

・年齢 22才

・性別 女

・利き手 左

・作業を行ってみて、どちらの作業がやりやすかったですか？

紙の作業	<u>作業支援システムの作業</u>
------	--------------------

・作業支援システムを使った作業はどの点が紙の作業よりも優れていると感じましたか？

何を使うか随時に分かること

・作業支援システムではどの部分が一番使いにくかったですか？

足のパーツを付ける際の裏表

・システムに対する改善案などがあれば記入をお願いします

⑨ ①紙 : 03.3299
②シ : 03.2849

アンケート

・年齢 22才

・性別 男・女

・利き手 右・左

・作業を行ってみて、どちらの作業がやりやすかったですか？

紙の作業	作業支援システムの作業
------	-------------

・作業支援システムを使った作業はどの点が紙の作業よりも優れていると感じましたか？

音声の流れが分かりやすい。

・作業支援システムではどの部分が一番使いにくかったですか？

作業の~~操作~~が早すぎる。
指示

・システムに対する改善案などがあれば記入をお願いします

作業の指示をゆっくりしてほしい。

H

① 2023.03.06
② 2023.03.06

アンケート

・年齢 23才

・性別 女

・利き手 右

・作業を行ってみて、どちらの作業がやりやすかったですか？

紙の作業	作業支援システムの作業
------	-------------

・作業支援システムを使った作業はどの点が紙の作業よりも優れていると感じましたか？

線をめくる作業がなくて、組立てに集中できる。

・作業支援システムではどの部分が一番使いやすかったですか？

マシンの文字が大きい。
右と下をマシで体に入らなくて済む。

・システムに対する改善案などがあれば記入をお願いします

正面の説明の画面があるはずと下を見なくても済む。

(H) ①シ 02.56.86
 ②新 03.05.70

アンケート

・年齢 23 才

・性別 男・女

・利き手 右・左

・作業を行ってみて、どちらの作業がやりやすかったですか？

紙の作業	作業支援システムの作業
------	-------------

・作業支援システムを使った作業はどの点が紙の作業よりも優れていると感じましたか？

最初は何も知らなかったのか、
 教えてくれるのが分かりやすかったです。
 部分

・作業支援システムではどの部分が一番使いにくかったですか？

部品を取った後、両手が離れたり、作りの説明が飛んでしまうところが
 使いにくかったです。

・システムに対する改善案などがあれば記入をお願いします

・部品を取った瞬間に次の作業に切り替わる。
 ・作業が終わると次の工程に行かない
 ・両手を解放できるようにしてほしい。

I

①紙 03.03.17
②シ 02.48.22

アンケート

- ・年齢 23才
- ・性別 男/女
- ・風き手 付/付

・作業を行って来て、どちらの作業がやりやすかったですか？

紙の作業	作業支援システムの作業
------	-------------

・作業支援システムを使った作業はどの点が紙の作業よりも優れていると感じましたか？

作業が分かりやすく出来る

・作業支援システムではどの部分が一番使いにくかったですか？

少し音声で聞き取りにくい。また、作業が途中で飛んでしまい分からなくなる部分もありました。

・システムに対する改善案などがあれば記入をお願いします

- ・音声の再生速度をゆくりにする。
- ・作業が途中で飛ばない対策を取るようにお願いします

①

①紙 03.03.19

②シ 02.48.22

アンケート

・年齢 29才

・性別 男/女

・利き手 右/左

・作業を行って来て、どちらの作業がやりやすかったですか？

紙の作業	作業支援システムの作業
------	-------------

・作業支援システムを使った作業はどの点が紙の作業よりも優れていると感じましたか？

音があるので分かります。

・作業支援システムではどの部分が一番使いにくかったですか？

画面が見にくいです。

・システムに対する改善案などがあれば記入をお願いします。

プログラマーの位置を変えると良いと思います。

(J)

①シ 09.30.18

②紙 09.02.35

アンケート

本アンケートを利用した目的、およびお感のたされた点または精神的な苦痛を軽減できた点

を下記欄になるが、「～」の数量で記入してください。

性別

・性別 男・女

・利き手 右・左

・作業を行って、どちらの作業がやりやすかったですか？

紙の作業	作業支援システムの作業
------	-------------

・作業支援システムを使った作業はどの点が紙の作業よりも優れていると感じましたか？

次の作業で何をすれば良いかがわかりやすい所、
また作業の進捗を一目でわかる所、

・作業支援システムではどの部分が一番使いにくかったですか？

・作業がとびとびになる所、
・画像が見にくい所がある。

・システムに対する改善案などがあれば記入をお願いします

画像を見やすくする何らかの方法を教えると思います。

① J

② 04.30.18

③ 紙 04.02.35

アンケート

・年齢 25才

・性別 男 女

・利き手 右 左

・作業を行って来て、どちらの作業がやりやすかったですか？

<input checked="" type="radio"/> 紙の作業	<input type="radio"/> 作業支援システムの作業
---------------------------------------	-----------------------------------

・作業支援システムを使った作業はどの点で紙の作業よりも優れていると感じましたか？

こたつく事が無くなって毎がする。

・作業支援システムではどの部分が一番使いにくかったですか？

音が聞こえにくい。作業の指示が終わっていないのに先に進んでしまい、分からなくなる事がある。

・システムに対する改善案などがあれば記入をお願いします

音を音量として聞きやすくしてほしい。あと、作業がちゃんと表示されるようにしてほしい。

複数人の作業支援を目的とした情報提供可能な 教育インターフェースの開発

指導教員 金丸 隆志 准教授
AM-17005 石橋 知大

1. 緒言

近年、工場における生産活動において、作業者の負担を減らす為のシステムの導入が行われている。作業には複数人で行うものも多い。

また、日本には狭い住宅が多いため、家までは運びやすい組立式家具の需要が高い。組立式家具の中には、複数人で組立を行う必要のあるものが多い。

このように、複数人で何かを組み立てる必要のある場面は増加している。

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ている。そのシステムは、作業者が半田付けや製品組立などの作業を行う際に利用でき、プロジェクタを通して机上に組立の情報等を提示する事で作業者の負担を軽減することを狙ったシステムである。このシステムは机上の平面だけではなく、机上の高さをも利用した三次元的な作業へも拡張されている。

しかし、このシステムは「机上における作業にしか対応していないこと」および「1人で行う作業にしか対応していないこと」の2つの欠点があった。

自動車部品の組立や家具等の大きな製品の組立では机上以外で行われることが多い。更に、大きな組立作業では1人だけでなく複数の作業者が組み立てる場合もある。

そこで、本研究では床上における作業に対応した作業支援システムを開発する。これまでは作業員1人の認識しか出来なかったが、複数人の作業員の動作を認識出来るように改良したシステムである。

2. システムの概要について

本研究では、床上で作業を行う複数人の作業員の動きに合わせて作業支援情報の提供を行うシステムを開発する。以後、この作業支援システムをCWAS(Cooperating Workers Assistance System)と呼称する。CWAS利用時の様子を図1に示す。

CWASは、複数人の作業員が床上において大きな部品や家具を組み立てる状況を想定している。今回のシステムでは、対応する作業員の人数は2人とし、金属製のスチールラックの組立作業の支援を行うものとする。

3. システム構成

CWASを構成するのは主にKinect v2、プロジェクタ、PCの3つである。Kinect v2とプロジェクタを示したのが図2である。

まず、作業員2人が指定された位置に立って作業を行っている様子を正面に設置されたKinect v2が取得する。作業員の手の位置に基づいて、作業支援情報をプロジェクタで随時描画、更新していく。作業支援情報には、作業準備画面、取得工程画面、作業工程画面、作業終了画面の4種類がある。図3にその一覧を示す。

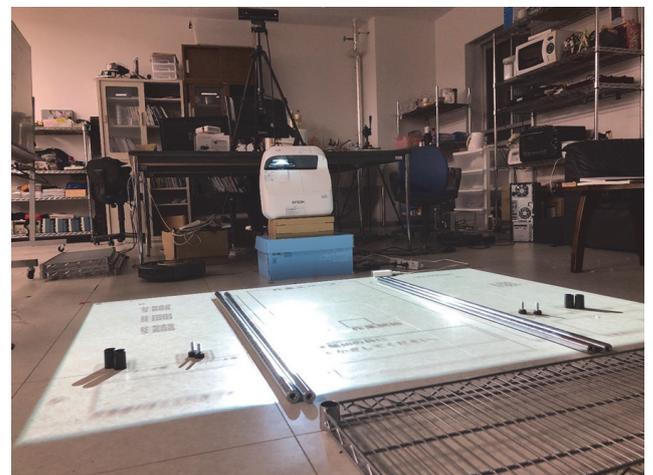


図1 CWAS 利用時の様子



図2 CWASを構成する機器
(右: Kinect v2, 左: プロジェクタ EPSON EB-580)

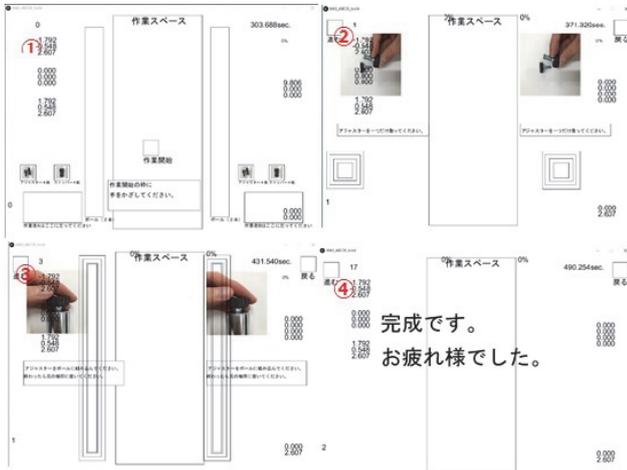


図3 CWASによる4種類の作業支援情報

4. 評価実験

本システムの有用性と実用性を数値化する為の評価実験を行った。

実際に、16人を2人1組でA~Hの計8組に分けて下記の2種類の組立作業を行ってもらった。

- (1) 紙面の説明書を用いた組立
- (2) 本システムCWASを用いた組立

このとき、8組の作業者の組をそれぞれ

- ① 紙面説明書の作業→システムを利用した作業
- ② システムを利用した作業→紙面説明書の作業

の2パターンを行う4組ずつに分け、作業に取り組んでもらった。

それぞれの組が組立にかかった時間は表1のとおりである。その結果、

- ・パターン①紙→システム：システムを使った方が速い
- ・パターン②システム→紙：紙面の説明書の方が速い

という結果となり、2回目の組立にかかる時間が速くなる傾向にあることを示している。これは、組立に慣れたためと推測出来る。

一方、1回目の組立にかかった時間のみで各グループを比較すると、CWASを用いた組立の方が速く作業が終わる傾向があることもわかる。これは、本システムは作業者が初見で組立を行う場合に有用であることを示していると考えられる。

表1 各チームが組立にかかった時間

チーム	パターン		時間
A	①	紙	3分58秒56
		シ	3分24秒64
B	①	紙	3分58秒58
		シ	3分24秒61
C	②	シ	3分24秒09
		紙	3分09秒31
D	②	シ	3分25秒02
		紙	3分14秒02
E	①	紙	4分33秒58
		シ	4分11秒85
F	②	シ	2分54秒64
		紙	2分38秒74
G	①	紙	3分32秒79
		シ	3分28秒49
H	②	シ	2分56秒66
		紙	3分05秒70

5. 結言

今回の研究は、

- ① 床上における作業に対応した作業支援システムを開発すること
- ② 複数人で行う組立作業にも対応可能なシステムを開発すること

の2点を目指して研究を行った。

①については、部品が手に取りやすく見やすい作業スペースを床上に作る事ができた。しかし、投影された画像の端がぼやけてしまうという欠点もあった。②については、当初の目標通り達成できたと考えられる。しかし、作業移行の座標点が重なった為か、次の作業指示を飛ばしてしまう場面も見られた。

今後、プログラムの改良により認識精度を高める必要がある。

<参考文献>

[1] 「組み立て式家具」安全性に関する調査
<https://www.shouhiseikatu.metro.tokyo.jp/anzen/test/kumitatekagu.html>

[2] 平成26年度調査報告書 組み立て式家具の安全性に関する調査報告書
<https://www.shouhiseikatu.metro.tokyo.jp/anzen/test/documents/houkokusyo.pdf>