

## 複数作業員に対応した 遠隔地間作業指示支援システム SPRInTx

阪本敦哉† 鈴木直義† 湯瀬裕昭† 渡邊貴之†

著者らは、これまでにスマートフォンを用いた遠隔地間作業指示支援システム「SPRInT」を開発し、評価実験を実施済みである。その結果、システムを使用することによって作業時間が短縮され、システムの有効性を確認した。ここで、「SPRInT」は単独作業員に対し作業指示を支援するシステムとなっていた。一方、同種の製品を大量に組み立てるような作業の場合には、作業時間の短縮化のため一名ではなく複数の作業員で同時並行的に作業を行うこともある。このような場合に、遠隔地から作業指示を行うためには、複数作業員へ対応した支援システムを用いる必要がある。

本研究では、「SPRInT」を複数作業員への作業指示に拡張したシステム「SPRInTx」を開発した。開発したシステムを用いて評価実験を行い、作業員数が増加するにつれて作業効率や指導者への負担がどのように変化するかについて考察した。

## The Remote Instruction Supporting System for Multiple Workers: SPRInTx

Atsuya Sakamoto†, Naoyoshi Suzuki†,  
Hiroaki Yuze† and Takayuki Watanabe†

In the author's previous researches, the SPRInT, which is useful supporting system for remote instructions on consumer smart-phones, has been presented. As a result, this system enables to reduce operation time. The original SPRInT was developed in order to support a single worker. Sometimes however, it is necessary to instruct multiple workers at the same time.

In this paper, we develop the SPRInTx, which enables to support multiple workers. Using the SPRInTx, the effects to the leader's burden are verified by increasing the number of workers.

† 静岡県立大学大学院経営情報学研究科  
Graduate School of Management and Information, University of Shizuoka

### 1. はじめに

コンピュータや産業機械などの操作、物品の並べ替え、設置設定作業など、特定の作業を行う作業員に対して、指導者が遠隔地から作業の指示を行う遠隔地間作業指示では、熟練した指導者が作業の現場まで出向く必要がないため、業務の効率化やコストの削減が可能となる。

一般に、作業場所や作業対象物が固定されない作業に対して、遠隔地から作業の指示を行う場合には、作業員側は据置型でなく、ウェアラブル型やハンドヘルド型のインタフェースを採用したシステムが適している。

既存のウェアラブル型やハンドヘルド型インタフェースに対応した遠隔地間作業指示支援システムに関する研究としては、WACL[4][5]や WSLP[6], NaviCam[7][8]などがある。これらのシステムは、主に作業員に視覚情報を提示する装置、作業対象を撮影するカメラ、ネットワークに接続されたコンピュータから構成されている。また、作業員が目視している作業対象の映像や、対象物そのものに対して、指導者が入力した指示を重ね合わせて作業員に提示している。しかし、このようなシステムを使用するには、専用の装置を用い、その使用にも習熟が必要であるため、個人での使用には適していない。

一方、近年普及してきているスマートフォンやタブレット端末は、カメラ、タッチパネル、ディスプレイ等の遠隔地間作業指示支援に必要な様々な機能やセンサがコンパクトに集積されている。そのため、遠隔地間作業指示支援のプラットフォームとしての活用が期待できる。また、スマートフォンやタブレット端末は、日常手にする機会が多いため、スマートフォンを使用したことがあれば、習熟を必要とせず、直感的にシステムを使用することが可能である。

著者らは既に、スマートフォンを用いた遠隔地間作業指示支援システム SPRInT(Smart Phone based Remote Instructional Training system)を開発し、評価を行ってきた。このシステムを用いて評価実験を行った結果、作業効率の向上を確認した[1][2]。このシステムでは、単独作業員に対する作業指示のみを対象としていたが、作業内容によっては、複数作業員に対し同時に作業指示が必要な場合も考えられる。そこで文献[3]では、SPRInT を複数作業員への指示に拡張した SPRInTx のプロトタイプを開発し、基本的な動作を確認した。プロトタイプでは作業員数が増加することによって、指導者側の負担が増加することを考慮し、システムの利用に必要な操作の一部を作業員自身が行う方式とした。しかし、作業以外の操作が余計に必要となったため、作業員がシステムの操作に戸惑う場面が見られた。

本研究では、プロトタイプで問題となった指導者側及び作業員側システムのユーザインタフェースについて改良を行う。また、システムの利用で必要となる画像の切り替えなどの操作を、指導者側ですべて行った場合と作業員自身が行った場合とを比較

し、作業員数の増加が指導者への負担や作業時間に対してどのような影響を与えるかを検証する。

## 2. 関連研究

単独作業員に対する既存の作業指示支援システムとしては、WACL、WSLP、NaviCam などがある。

WACL (Wearable Active Camera/Laser) [4][5]では、作業員が肩上にウェアラブルなカメラとレーザポインタユニットを装着する。遠隔地の指導者は、レーザポインタを使って作業の対象物体を強調することができる。また、音声や映像、カメラやレーザポインタのパン・チルト制御データなどは無線 LAN で送信されるため、作業範囲を机上に限定せず、より広い空間での自由度の高い作業を可能としている。また、作業員が送信したカメラ映像に、指導者側で線画を書き込み、その映像が作業員の HMD もしくは、CWD (Chest Worn Display) に表示される機能を持つ。文献[7]では、HMD よりも CWD の方が作業員にとって身につけた際の違和感が少なく、作業効率にも差がないことが報告されている。

また、WSLP (Wearable Scanning Laser Projector) [6]では、作業対象となる物体に指導者からの指示情報をレーザースキャン方式で直接投影するシステムを提案している。

一方、NaviCam[7]は、遠隔地間作業指示支援を主眼に開発されたシステムではなく、初期の AR 用端末として試作されたものであり、ハンドヘルドディスプレイを有する PDA(Personal Digital Assistant)の背面にカメラを接続した形態をとる。また、映像処理は据置型のワークステーションで行い、PDA とは有線で接続されている。文献[8]では、NaviCamの幾つかの応用事例が示されており、その一つとして指導者が遠隔地から映像に書き込んだスケッチが作業員側のハンドヘルドディスプレイに表示される遠隔地間作業支援指示について紹介されている。

次に、複数作業員に対する作業指示支援システムでは、WACL を用いたタンジブルテーブルトップ (TTT) インタフェースがある[9]。TTT は、WACL を装着した複数の作業員に対し、効率よく作業指示を行うことができるシステムである。指導者はタッチパネル式のテーブル型ディスプレイに作業タグ (タンジブルアバタ) やツールタグ (クリップボードやマニュアル等) のような物理タグを組み合わせたり、複数の作業員が撮影したカメラ映像をキャプチャし、線画などを書き込んで作業員に対してマニュアルなどと共に適宜提示することができる。しかし、全ての作業指示や資料提示を 1 人の指導者が行っているため、作業員の人数が増加していくことで、指導者側の負担が増加することが考えられる。

また、商用化された複数作業員に対する遠隔地間作業指示支援システムとしては次のようなものがある。まず、作業員のヘルメットに埋め込まれたカメラの映像を指導者側に中継し、音声により作業員に指示を行うシステムがある[10]。このシステムでは、複数の作業員から中継された映像を 1 つの画面の中に並べて表示することができる。次に、PC の Web カメラを用いた複数作業員に対応した作業指示支援システムとしては文献[11]がある。このシステムでは、動作環境として Flash を用いているため、Flash に対応した一部のスマートフォンで利用することが可能である。

しかし、既存のシステムでは、システムのユーザインタフェースの違いや作業員数の増加が、指導者の負担や作業時間に対してどのような影響を与えるかの検討は行われていない。

## 3. SPRInT 及び SPRInTx プロトタイプ

本章では、著者らが開発した「SPRInT」及び「SPRInTx プロトタイプ」についてその概要を述べる。

既存の遠隔地間作業指示支援システムでは、視覚情報を提示する方式に合わせて専用装置を開発したり、複数のセンサやデバイスを組み合わせたりしたりすることで装置を実現する例が多く、誰もが手軽に利用できるシステムとはなっていなかった。

そこで著者らは、一般に普及しているスマートフォン等のタブレット端末をプラットフォームとして、単独作業員に対し指示を行うことができる SPRInT を開発した。また、複数作業員に対し作業指示ができる SPRInTx プロトタイプを開発した。

### 3.1 SPRInT

SPRInT では作業員が撮影している映像、または撮影した静止画を指導者に送信する。作業員側のスマートフォンで撮影されている画像を指導者に送信することにより、作業員と指導者で画像を共有することができる。

また指導者は、その映像または画像の任意の点を指定することにより、作業員側の画像の同一の位置にマーカを表示することができる。これにより、作業員は視覚的フィードバックを得ることが可能である。

さらに指導者は、下部に設置したボタンを使い、指導に必要な静止画を 5 枚まで撮りためることができ、作業員が撮影している映像を使用するライブモードと、撮りためた静止画を使用するスチルモードを切り替えることができる。これにより、画像を任意のタイミングで、作業員に提示することが可能となっている。

指導者側の GUI として図 1 に示すライブ・スチル切り替えボタンと、スチル画像のキャプチャを実行するボタンを計 5 つ下部に配置している。

次に、システム利用のフローについて説明する。作業側側のアプリケーションは、ライブ映像を撮影し指導者へ送信するライブモードとして起動する。一方、指導者はライブモード時に任意のタイミングで1～5のボタンを押すことで、作業側へ与えたい画像を最大5つまでキャプチャすることができる。また、その画像を対応しているボタンの背景として表示させている。

指導者がスチルボタンを押すと、作業側側のアプリケーションはスチルモードに移行し、指導者によって選択されたキャプチャ画像を中継サーバからダウンロードし画面に表示する。スチルモードでは、指導者が1～5の任意のボタンを押すことで、作業側側に提示するキャプチャ画像を適宜切り替えることができる。作業側か指導者のどちらかが、スチルモード時にライブボタンを押すことで、ライブモードに復帰することが可能である。また、ライブモード、スチルモードの別にかかわらず、指導者はタッチパネルを用いたマーカのオーバーレイ表示による位置(座標)の指示が可能である。

しかし、SPRInTは単独作業側側に対する作業指示支援システムであり、複数作業側側に対する指示は考慮していない。そこで、著者らは次節で述べる複数作業側側への指示に対応したSPRInTxプロトタイプを開発した。



図1. アプリケーション使用例 (指導者側)

### 3.2 複数作業側側への指示に対応したSPRInTxプロトタイプ

SPRInTでは単独作業側側への作業指示を想定していたのに対し、SPRInTxプロトタイプでは、複数作業側側への作業指示を想定してシステムを構築した(図2)。

SPRInTxプロトタイプでは、指導者は、Webアプリケーション(図3)を使用することで複数作業側側の状況を確認し、指示を行うことができる。Webアプリケーシ

ョンはHTML5のCanvas要素を用い、JavaScriptとjQueryによるAjax指向のアプリケーションとして構築している。Webアプリケーション上では、画像上の任意の点をクリックすることにより、マーカを表示させることができる。

図3に示すように、SPRInTxプロトタイプでは、スチルモードであっても指導者側の画面上にスチル画像だけではなく、作業側側のライブ映像を画面隅に表示している。これは、SPRInTではスチルモード時に作業側側の映像を指導者へ配信していなかったため、指導者が作業側の状況を映像として把握できず、作業側側に対し呼びかける場面が度々見受けられたためである。

また、SPRInTxプロトタイプでは、作業側側はスマートフォン等のタブレット端末の使用を想定している。作業側側は作業の妨げとならないように端末の向きを自由に持つことができる。そのため、撮影された映像を指導者側で表示する際に適切に回転させる必要がある。一般に、スマートフォン等で撮影した映像の縦横比は1対1ではない。そのため、複数の作業側側の映像を並べて表示した場合に、映像の回転が発生すると指導者側の画面レイアウトが崩れることが想定された。そこで、SPRInTxプロトタイプでは、送信する映像を正方形にすることで、回転によるレイアウトの乱れを回避した。

SPRInTでは、静止画の撮りためや、ライブモードとスチルモードの切り替えを指導者が行っていたが、作業側側数が増加すると指導者側の負担が増える事が考えられる。そこでSPRInTxプロトタイプでは、指導者の負担を軽減するために、作業側側自身が静止画の撮りためやモード切り替えを行う方式とした。しかし、作業以外の操作が余計に必要となったため、作業側側がシステムの操作に戸惑う場面が見られた。

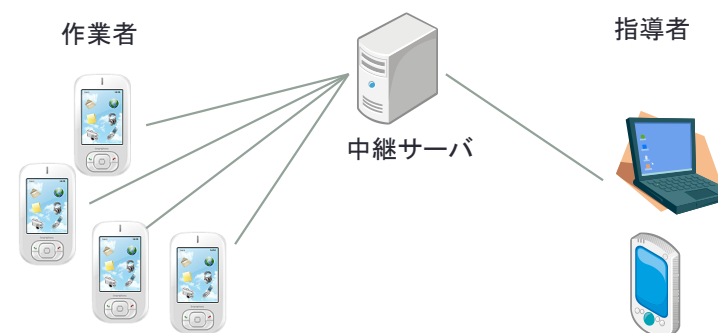


図2: システムの構成



図3：SPRInTx プロトタイプ の Web アプリケーション (指導者側)

#### 4. システム改良

本章では、SPRInTx プロトタイプについてユーザインタフェースの改良を検討する。

##### 4.1 作業側ユーザインタフェースの改良

3章で述べたように、SPRInTx プロトタイプでは指導者の負荷軽減のため、ライブ・スチルモードの切り替え等の操作を作業側自身が行う方式とした。しかし、作業側がシステムの操作を誤ったり操作方法を考えることに時間をとられ、本来の作業に集中できない様子が見られた。そのため、本研究では作業側アプリケーションのユーザインタフェースを検証し、作業側にとってより直感的で操作ミスを防止できるユーザインタフェースに改良を行った。

##### (a) 撮影ボタンと送信ボタンの分離

図4(a)に示すように、SPRInTx プロトタイプの作業側ユーザインタフェースでは、ライブモード時に下部にある1～5のボタンを押す事により静止画のキャプチャを行う。また、左端の「静止画へ」ボタンを押す事によりスチルモードに切り替えを行うことができる。スチルモード時には、下部の画像のセットされているボタンを押す事により、指導者側に静止画を送信することができる。しかしこのユーザインタフェースでは、静止画の撮影と送信を同じボタンで操作するため、作業側に混乱を与えてしまう可能性があった。例えば、作業側が静止画を指導者側に送信しようとして、ライブモード時に誤って下部のボタンを押すと意図せずに画像のキャプチャを行ってしまう。

そこで改良後のシステムでは、図4(b)に示すように撮影ボタンと送信ボタンを分離し、撮影のみを行うボタンを新たに配置した。

##### (b) ライブモード・スチルモード切り替えのシームレス化

SPRInTx プロトタイプでは、作業側が指導者側に静止画を送信しようとした場合に、まず画面左下の「静止画へ」ボタンを押してスチルモードへ変更してから画像ボタンを押して静止画を選択する必要がある。そのため、作業側は常に現在のモードを意識しながら操作をする必要がある。また、スチルモードとライブモードとを切り替えるボタンは同じボタンを使用し、押すたびにモードが切り替わる。そのため、どちらのモードに切り替わる状態なのかを常に意識しておく必要がある。

そこで改良後のシステムでは、図5(b)に示すように画面下部の1～5の画像ボタンを押すと自動的にスチルモードに移行し、画像を送信する方式とした。また、従来はスチルモード時に画面左上に表示されていたライブ映像のプレビュー画面を、常に画面左下に表示し、プレビュー画面を押すことでライブモードに移行できる方式とした。これによって、作業側から指導者へ送信できる動画・静止画のソースをモードの違いによらずシームレスに選択できるため、操作ミスを防止してより直感的な操作を行うことが期待できる。



(a) SPRInTx プロトタイプ

(b) 改良後

図4：ライブモードの変更点

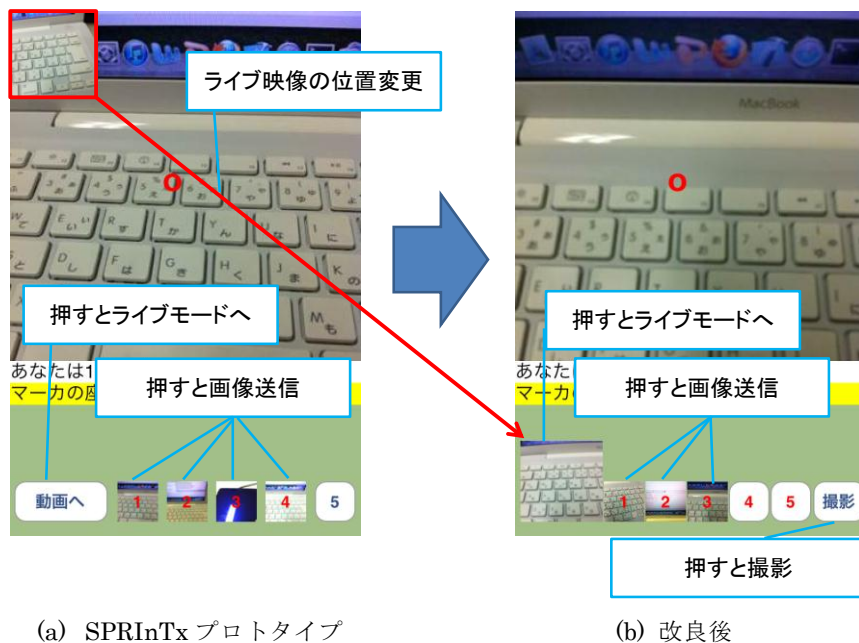


図5：スチルモードの変更点

#### 4.2 指導者側ユーザインタフェースの改良

4.1 節で述べたように、作業側側のユーザインタフェースを改良することで、ある程度は作業側自身によるモード切り替え等の操作の煩わしさを軽減できることが期待される。しかし、本来はこのような操作は指導者側が行った方が、作業側は作業に専念できるため、作業側にとっては望ましい。また、一般的にスマートフォンの画面サイズには制約があるため、画面上に配置するボタンのサイズは小さくせざるを得ない。しかし、作業側が作業を行いながら操作をする事を考えた場合、あまりにも小さいサイズのボタンは操作性の低下を招く。また、作業側が少人数の場合には指導者側の負荷がそれほど高くないと考えられるため、画面サイズの制約がない指導者側でこれらの操作を行った方が作業効率は良いと考えられる。そこで本研究では、指導者側においてもモードの切り替えや静止画のキャプチャ及び選択等を行うことができるユーザインタフェースを実装した。

改良後の指導者側のユーザインタフェースを図6に示す。アプリケーションはプロ

トタイプと同様に HTML5 と JavaScript を用いた Web アプリケーションとした。改良後のユーザインタフェースでは、ウインドウをドラッグして移動させることにより、作業側側の映像を指導者が指導しやすい位置にブラウザ内で自由に配置できるようにした。

指導者は、カメラマークのボタンをクリックすることにより、静止画の撮影を行うことができる。撮影された静止画はウインドウ右側に表示され、5枚まで撮りためることができる。撮りためた静止画をクリックするとその静止画を作業側に配信することができる。このとき、ライブモードであれば自動的にスチルモードへ切り替わる。また、作業側が撮影しているライブ映像はウインドウ右上にプレビュー表示され、スチルモード時にクリックすることにより自動的にライブモードへ切り替わる。さらに、画面内の指示したい箇所をダブルクリックすることで、その位置にマーカを表示させることができる。



図6：改良後 SPRInTx の Web アプリケーション

## 5. 評価実験

本章では、改良した「SPRInTx」を用いて、システムの利用で必要となる画像の切り替えなどの操作を指導者側ですべて行った場合と、作業者自身が行った場合とを比較し、作業者数の増加が指導者への負担や作業時間に対してどのような影響を与えるかを検証する。作業者側ユーザインタフェースの改良によって、プロトタイプシステムに比較して作業者側の操作性が向上したことは明らかである。一方で、モード切り替え等の操作を作業者側で行うべきか、指導者側で行うべきかについては、作業者の人数の違いによってその得失は異なることが予想される。

### 5.1 実験概要

本研究では、図7に示すような形、大きさ、色が様々に異なるビーズやスパンコールを容器の中に指導者の指示通りに入れる実験を行った。実験は以下の4種類の条件について行った。なお、指導者は全ての条件においてマーカによる指示を与えた。

- G1. 単独作業者・・・作業者が静止画撮影・切り替え等の操作
- G2. 単独作業者・・・指導者が静止画撮影・切り替え等の操作
- G3. 複数作業者（4人）・・・作業者が静止画撮影・切り替え等の操作
- G4. 複数作業者（4人）・・・指導者が静止画撮影・切り替え等の操作

上記の4つの条件について各1グループに対して実験を行い、作業時間や被験者の聞き取り調査を基に評価及び考察を行った。



図7：実験で用いた作業環境

本研究では、スマートフォンに類似した機能を持つ Apple 社の iPod touch 4G を用いて実験を行った。通信方式は無線 LAN を用い、映像は秒間 4 コマの jpeg 画像とし、1 コマあたりの jpeg 画像の品質を 40% とした。このとき、1 画像あたりの画像サイズは約 16KB となっている。

次に、実験の流れについて説明する。G1 と G3 のグループについては、作業者自身が静止画の撮影やモード切り替え等の操作を行う。実験開始後、指導者は作業者に対して図7中央の容器全体が写るように静止画の撮影を指示した。同様に、左右のビーズとスパンコールについても全体が写るように静止画の撮影を指示した。その後、ビーズの静止画を指導者側に送信するように指示した。指導者は、作業者から送られてきた静止画の任意のビーズの位置にマーカを表示させ、そのビーズを手取るように指示した。次に、指導者は作業者に対して、容器の静止画を指導者側に送信するように指示した。指導者は、作業者から送られてきた静止画の任意の容器内の仕切りの位置をマーカで指示し、その位置にビーズを入れるように指示した。この操作を2回繰り返した後、指導者は作業者にライブモードへの切り替えを指示し、現在の作業進捗を映像として確認した。これらの操作を1セットとし、計3セット繰り返し、実験終了とした。

G2 と G4 のグループについては、G1 と G3 のグループで作業者自身が行っていた静止画の撮影やモード切り替えを指導者側ですべて行った。

### 5.2 実験結果

表1：実験結果

	単独作業者		複数作業者（4人）	
	G1 作業者操作	G2 指導者操作	G3 作業者操作	G4 指導者操作
作業時間	251sec	171sec	348sec	329sec

本実験の結果を表1に示す。

表1より、いずれも指導者が静止画撮影や切り替え等の作業を行った方が、作業時間が短くなっていることがわかる。しかし、単独作業者では、指導者が操作を行う G2の方が作業者が操作を行う G1 に比べ 68% 程度の時間で作業を終えているのに対し、複数作業者の場合は、G3 に比べ G4 は 95% 程度の時間で作業を終えており、ほとんど差がないことがわかる。

また、作業を終えた被験者に聞き取り調査を行ったところ、作業者自身が操作を行

うことに関しては、「少し面倒だが操作に迷うことはなく、特に問題はない」という回答が得られた。本実験では、一般的なスマートフォンと同程度の端末を用いていたため、ディスプレイの大きさに制約があり、「ボタン類の大きさが十分ではなく少し押しづらく感じた」という回答も得られた。

## 6. 考察とまとめ

本研究では、複数作業員に対応した遠隔地間作業指示支援システムである SPRInTx のユーザインタフェースの改良について検討した。改良した SPRInTx を用いて作業員数が増加することによる指導者の負担への影響の変化を検討した。その結果、いずれの実験でも指導者が静止画の撮影やモード切り替え等の操作を行った方が、作業員自身が操作を行うよりも短い作業時間となる結果が得られた。しかし図8に示す通り、作業員が増加することによりその差が縮まっていることがわかった。この理由として、作業員が増加すると指導者が作業員1人1人に対し静止画を選び、マーカを表示させる作業が発生することにより、指導者への負担が増え時間がより掛かっていることが考えられる。

本研究では、作業員数が4人以上の実験は行っていないが、さらに作業員の人数を増加させていくことで、図8の2つの直線が交差することが予測される。また、本研究の実験では、サンプル数が少ないため、今後更にサンプル数を増やした実験を行う予定である。

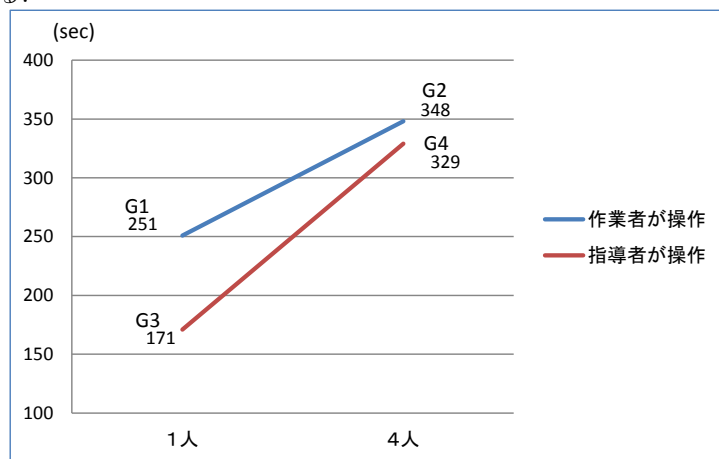


図8：実験結果

## 謝辞

本研究は科研費基盤研究(B) (課題番号：20300270) の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1]. 阪本, 鈴木, 湯瀬, 渡邊, “カメラ及びタッチパネルを有するスマートフォンを用いた遠隔地間作業指示支援”, 情報処理学会研究報告会, 2010年3月.
- [2]. 阪本, 鈴木, 湯瀬, 渡邊, “スマートフォンによる遠隔地間作業指示支援システムの実装とその評価”, DICOMO2010, 2010年7月.
- [3]. 阪本, 鈴木, 湯瀬, 渡邊, “スマートフォンを用いた複数作業員に対応した遠隔地間作業指示支援システム”, 情報処理学会第73回全国大会, 2011年3月.
- [4]. 酒井, 蔵田, 葛岡, “遠隔協調作業のためのレーザーポインタと装着型ディスプレイによる視覚的アシスト”, 日本バーチャルリアリティ学会第10回大会論文集, pp.233-236, 2005年9月.
- [5]. 蔵田, 酒井, 葛岡, 興梠, 大隈, 西村, “遠隔協調作業のためのウェアラブル・タンジブルインタフェース”, SICE 第69回パターン計測部会研究会, pp.11-18, 2006.
- [6]. 安藤, 雨宮, 前田, “ARにおける注釈表示のためのウェアラブル・スキャニング・レーザー・プロジェクター”, 日本VR学会論文誌, Vol.10, No. 2, pp. 191-200, 2005.
- [7]. J.Rekimoto, “Augmented Interaction: Toward a New Human-Computer Interaction Style Based on Situation Awareness”, Interactive Systems and Software II (WISS'94 Proceedings), pp.9-17, 1994.
- [8]. J.Rekimoto and K.Nagao, “The World through the Computer: Computer Augmented Interaction with Real World Environments”, User Interface Software and Technology (UIST '95), 1995.
- [9]. 蔵田, 酒田, 大藪, 興梠, 葛岡, “複数作業員への遠隔指示のためのタンジブルテーブルトップインタフェース”, 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2005), 2005年7月.
- [10]. 谷沢製作所 HP, “<http://www.tanizawa.co.jp/umet/>”, 2011年5月23日確認.
- [11]. 構造計画研究所 HP, “<http://www4.kke.co.jp/guideware/index.html>”, 2011年5月23日確認.