

複数作業者を対象とした遠隔地間作業指示支援システムにおける 指導者側負担の軽減手法の検討

大多和均^{†1} 堀川真平^{†2} 佐野良樹^{†2} 長沼晶子^{†2} 渡邊貴之^{†1}

従来、我々が開発してきた遠隔地間作業指示支援システム SPRInTx は、作業側から送られてきた画像に指導者側がアノテーション（マーカや書き込みなど）を重ねて表示し、指導するシステムである。これにより、作業側に対して音声のみでなく視覚的な情報を用いた指導ができる。また、指導者1人に対し作業側が複数人の場合にも対応している。しかしその一方で、作業側の人数分だけ指導者がアノテーションを設定する必要があるため、作業側が多人数になると指導者の操作負担が増大するという問題点がある。本研究では、作業側から指導者に送信される映像に、事前に指導者のためのアノテーションを重ね合わせることで、指導者の負担を軽減する手法について検討する。

A Method for Reducing the Instructor's Workload of Operating the Remote Instruction Support System for Multiple Workers

HITOSHI OOTAWA^{†1} SHINPEI HORIKAWA^{†2}
YOSHIKI SANO^{†2} AKIKO NAGANUMA^{†2} TAKAYUKI WATANABE^{†1}

The SPRInTx is a remote instruction support system developed in our previous researches. In this system, an instructor checks live images taken by worker's smart-phones, and superimposes a marker in an important position on the image. Therefore, the instructor can guide workers using visual information as well as speech information. While the SPRInTx is ready to guide multiple workers, increased number of workers means increased the instructor's workload of operating the system. In this paper, a method for reducing the instructor's workload of operating the system with multiple workers is proposed. In this method, visual information such as the numbered grid or the numbered markers is automatically superimposed on live images taken by workers before sending images to the instructor. As a result, the instructor does not have to write the marker into the images.

1. はじめに

コンピュータや産業機械の操作、物品の並べ替え等、特定の作業を非熟練者が行う際、指導者の指示なしに作業を行うことは難しい。しかし、仮に指導者が遠隔地にしかいない場合、指導者の移動には時間的・金銭的成本がかかり、効率的ではない。そこで、遠隔地にいる指導者が作業の現場に出向くことなく指示ができる遠隔地間作業指示支援システムの研究が従来から行われており、作業の効率化やコストの削減が期待されている[1]-[12]。

遠隔地間作業指示では、指導者は何らかの手段を用いて作業側の状態を把握し、その状況に合わせて的確な指示を作業側に伝える必要がある。特に近年、インターネットの普及と広帯域化に伴い、Skype やテレビ会議システムなどを用いた、遠隔地間での映像・音声を使った双方向のコミュニケーションの手段が普及してきている。これらを用いることにより、インターネット経由で、作業側の状態を映像で確認し、遠隔地から音声で指示を行うことが可能である。しかし、現場での指示では指さしなどで作業対象を指定するなど非言語的な動作による指示も行われているのに

対して、音声のみの指示ではそれらの指示が難しいといった限界がある。そのため、音声以外の方法も活用した遠隔地間作業指示支援システムの研究が行われている。

例えば、プラント内を移動しながらの作業や、屋外での作業では、作業場所や作業対象物とその都度変化するため、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[1][2]やWSLP[3]、NaviCam[4][5]などがある。これらのシステムは、主に作業側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等の複数の装置を用いて構成されている。これらのシステムでは、複数のデバイスを組み合わせることで大がかりなシステムを構成していたため、誰もが手軽に利用できるシステムとはなっていない。

このような中、ハンドヘルド型インタフェースの代表的な機器である携帯電話が驚くべき速度で進化してきている。2000年代後半からはいわゆる、スマートフォンと呼ばれる高機能な携帯電話端末が普及し始めた。携帯電話は2011年12月現在、日本で1億台以上契約されており、最も身近なハンドヘルド型情報端末である。スマートフォンには、カメラ、タッチパネル付きディスプレイ、各種センサなどがコンパクトに集積されているため、遠隔地間作業指示支

^{†1} 静岡県立大学大学院経営情報イノベーション研究科
Graduate School of Management and Information of Innovation, University of Shizuoka.

^{†2} 静岡県立大学経営情報学部
School of Management and Information of Innovation, University of Shizuoka.

援システムのプラットフォームとして適していると考えられる。また、スマートフォンやタブレット端末は、日常的に手にする機会が多いため、習熟が容易であり直感的にシステムを使用することが可能であると考えられる。

上述の理由から、これまでに我々は遠隔地間作業指示支援システム **SPRInT** を開発している[6][7]。また、**SPRInT** は指導者と作業者が1対1のシステムであるのに対して、1対多の指導に対応した**SPRInTx**についても開発を行っている[8][9]。これらのシステムでは、指導者が作業者に対して音声だけでなく、作業者が撮影している動画像にアノテーション（マーカと呼ぶ目印や線画）を重ね合わせて作業指示を行う。しかし、作業者が多人数の場合、指導者が作業者全員分のアノテーションを設定する操作が必要なため、指導者の負担が増大するという問題点がある。

本研究では、作業者が多人数の場合に指導者の負担を軽減する手法を検討する。従来システムでは指導者の指示を作業者に正確に伝えるために、指導者自身がアノテーションを書き込んでいた。一方、本研究では指導者から作業者へのアノテーションの伝送だけではなく、作業者が撮影した動画像にあらかじめ指導者を支援するアノテーションを自動的に重ね合わせることを考える。本報告では、指導者を支援する簡易なアノテーションとして、作業者が撮影した動画像にグリッド線を表示し、各グリッドに番号を表示する。これにより、指導者が作業者のためのアノテーションを設定することなく、作業対象の大まかな位置情報を音声のみで指示することができると考えられる。この手法を実装した改良型**SPRInTx**を用いて、改良前のシステムとの比較実験を行い、提案手法の有用性を考察する。さらに、指導者に与えるアノテーションとして、静的情報であるグリッド線ではなく、コンテキストアウェアなアノテーションの動的表示手法について考察する。

2. 関連研究

指導者が遠隔地にいながら視覚情報や音声情報を用いて作業の指示を行う遠隔地間作業指示支援に関する研究は、これまでに様々に報告されている。

WACL (Wearable Active Camera/Laser) [1][2]では、作業者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、作業者が送信したカメラ映像に、指導者側で線画を書き込み、その映像が作業者の **HMD** もしくは、**CWD** (Chest Worn Display) に表示される機能を持つ。文献[2]では、**HMD** よりも **CWD** の方が作業者にとって身につ

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) [3]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**[4][5]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[5]では、**NaviCam** の幾つかの応用例が示されており、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側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指示支援について紹介されている。

次に、**SPRInTx** と同様にスマートフォンやタブレット端末をプラットフォームとして開発された遠隔地間作業指示支援システムとしては、文献[10][11]がある。また、作業側側の端末としてメガネ型ヘッドマウンドディスプレイと目線カメラを組み合わせたウェアラブル端末を用いたシステムとして文献[12]がある。これらのシステムでは、**SPRInTx** と同様、作業者が撮影した動画像が指導者の端末に送信される。また、指導者から作業側へのアノテーションの伝送も可能である。

一方、本研究では指導者から作業側へのアノテーションの伝送だけではなく、作業者が撮影した動画像にあらかじめ指導者を支援するアノテーションを自動的に重ね合わせる。つまり、従来システムでは指導者の指示を作業側に正確に伝えるためのアノテーションに特化していたのに対し、本研究ではアノテーションを指導者の指示容易性を向上させるために用いるといった違いがある。

3. SPRInTx システム

3.1 システム概要

従来我々が開発してきた **SPRInTx** の概要を図1に示す。本システムでは、複数の作業側側に対し1人の指導者が作業指示を与えることを想定している。

作業側側は、スマートフォンにインストールした **SPRInTx** アプリケーションを起動し、作業対象の撮影を行いながら作業を行う。指導側側は、タブレット端末や **PC** を用いて、複数の作業側側から受信した動画像を確認しながら作業指示を行う。

指導側側が指示に用いるアプリケーションは、**Web** ブラウザ上で動作する **Web** アプリケーションとして実装されている。そのため、パソコンに限らず、**iOS** や **Android** を搭載したタブレット端末上の **Web** ブラウザでも動作する。指導側側 **Web** アプリケーションの画面イメージを図2に示す。

指導者側のユーザインタフェースでは、個々の作業者の動画像を個別のウィンドウに表示し、指導者が指導しやすい位置に自由にウィンドウを配置できる。

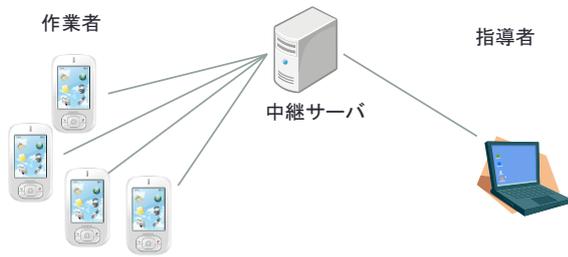


図 1 SPRInTx の構成

指導者は、個々の作業者のウィンドウ下部に表示されているカメラ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ィ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者に配信することができる。さらに、画面内の指示したい位置をダブルクリック（もしくはタップ）することで、その座標にアノテーションとしてマーカを表示させることができる。



図 2 SPRInTx 指導者側 Web アプリケーション



図 3 SPRInTx 作業側専用アプリケーション

次に、作業側側のスマートフォンで動作する専用アプリケーションの画面イメージを図 3 示す。スマートフォンを用いた撮影では、個々の作業者が様々な持ち方で撮影を行うことが想定される。そこで、指導者側 Web アプリケーシ

ョンでは作業側側から送信された回転情報を基に、作業側側が撮影している角度に合わせて動画像を適宜回転させて表示している。このとき、回転によって動画像の表示レイアウトが頻繁に変動することを防ぐため、作業側側が撮影する動画像は正方形としている。

3.2 問題点

SPRInTx で挙げられる問題点として、作業側側が多数の場合に、指導側側にかかる負担が増大するということが考えられる。具体的には、指導側側は作業側側全員にアノテーションを設定しなければならない。そのことで、作業側側の人数が多いほど、指導側側が行う設定回数が増え、全員に指示を出し終えるまでに多くの時間が必要になると考えられる。実際に文献[9]では、作業側側の人数を 1 名から 4 名まで変化させて、作業側側にかかる負担の増加を明らかにした。

4. 指導側側の負担軽減手法

4.1 負担軽減の概要

図 4 に示すように、従来のシステムでは作業側側は作業側側対象を写すだけで他の操作をすることはないが、指導側側は作業側側が撮影した動画像を確認し、作業側側のためのアノテーションを設定する。そのため、作業側側の人数が増えるほど指導側側にかかる負担が増加する。

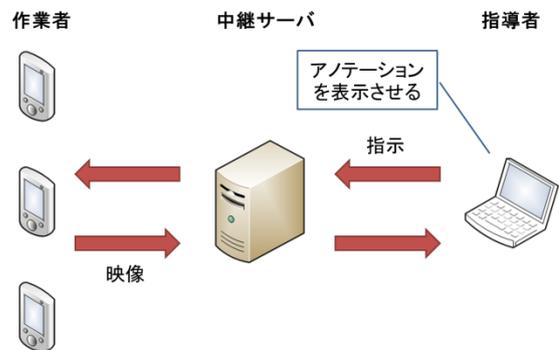


図 4 従来のシステムの簡易概要

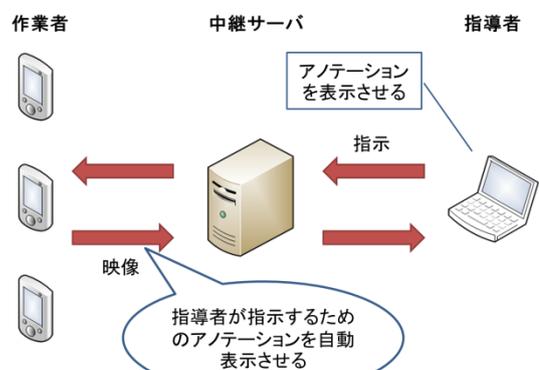


図 5 本研究での負担軽減手法の概要

本研究で検討する指導者の負担軽減手法の概要を、図5に示す。従来のシステムと同様に、作業者は作業対象を撮影する。その際、撮影した動画像に対して作業側スマートフォン内で自動的に指導者のためのアノテーションを設定する。結果として指導者に送られる動画像には、あらかじめ作業対象物の位置情報を表すアノテーションが設定されているため、指導者は音声のみを用いて作業者に対して作業対象の場所を指示することができる。

4.2 グリッド線表示による指導者の負担軽減

提案手法の実現には様々なバリエーションが考えられる。特に、グリッド線表示は提案手法の実現方法として最も基本的かつ容易に実装が可能な方法と言える。グリッド線表示とは、撮影した動画像に $n \times n$ のグリッド線を描画することで画面を等分し、各グリッドに番号を付ける方法である。これにより、指導者はマーカなどのアノテーションを自ら作業者に設定することなしに、グリッド番号を伝えることで、対象物の大まかな位置を指示できる。本研究では、図6に示すように画面を16等分するケースと、画面を9等分にするケースについて比較を行った。

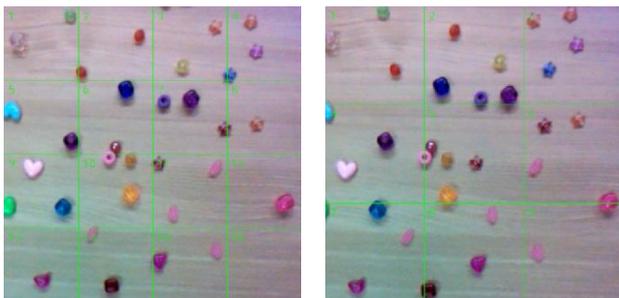


図6 画面を4×4分割(左)と3×3分割(右)した映像



図7 実験で用いた作業環境

5. 評価実験

5.1 評価実験の概要

提案手法の有効性を検証するため、下記の4つのケースについて評価実験を行った。

- ① 画面を4×4分割するグリッド線を指導者に提示
- ② 画面を3×3分割するグリッド線を指導者に提示

- ③ グリッド線無し
- ④ 従来のSPRInTxと同様に指導者へのアノテーション提示をせず、指導者自身が作業者へアノテーション(マーカ)を設定

実験環境としては、図7に示すような形、大きさ、色が様々な異なるビーズを容器の中に指導者の指示通りに入れる実験を行った。実験の流れとしては、指導者1人と作業者3人を1つのグループとし、2つのグループで実験を行った。ここでは、この2つのグループをG1とG2とする。どちらのグループも、①～④の順に4つのケースを用いて実験を行った。実験開始後、指導者は作業者に対して図7の左にある複数のビーズ全体の撮影を指示する。その後、特定のビーズ1つを指定し、作業者3人に手に取るように指示する。次に容器全体を写るように指示し、指定した場所にビーズを入れるように指示する。1つのケースにつき、この作業を4回繰り返すこととした。

5.2 結果と考察

作業を完了するまでに要した平均時間を表1に示す。表1より、従来システムである「指導者がマーカを設定」によるケースで作業時間が最も短いことがわかる。他の3つのケースについては、G1は作業時間にあまり差が見られなかったが、G2では映像のみの作業時間が短い。グリッド線表示のケースにおいて作業時間の増加が観測された理由を、指導者と作業者の会話から分析したところ、グリッド線は作業対象物の大まかな位置を示すだけで、最終的に対象物を正確に指定するにはグリッド内での位置(上下左右中央)をさらに指示しなければならなかったためと推察した。

表1 作業に要した時間

	G1	G2
4×4グリッド線	468.2s	404.5s
3×3グリッド線	470.7s	379.1s
映像のみ	455.1s	327.2s
指導者がマーカを設定	335.2s	273.4s

次に、評価実験終了後に被験者に対して行ったアンケートを表2から表5に示す。表2、表3では、システムの使いやすさについて5段階評価の平均を算出している。また、値が小さいほど評価が低く、値が大きいほど評価が良いことを表している。表4、表5では、指導者と作業者が各システムを比較し、各項目に対して順位付けした結果をもとに平均順位を算出している。

表2から、いずれの項目も、「指導者がマーカを設定」、「4×4グリッド線」、「3×3グリッド線」、「映像のみ」の順番で評価が高くなっている。使いやすさや作業のスムーズ

さという点では、「指導者がマーカを設定」だけがかかなり高い評価となっているが、指導者の指示の分かりやすさでは、「指導者がマーカを設定」と「4×4 グリッド線」では大差がない。しかし、表 3 から、指導者にとってはいずれの項目も「指導者がマーカを設定」の評価だけがかかなり高く、「4×4 グリッド線」と「3×3 グリッド線」ではほとんど差がなく、評価も平均程度となっている。また、表 4、表 5 から、いずれの項目の順位も「指導者がマーカを設定」、「4×4 グリッド線」、「3×3 グリッド線」、「映像のみ」の順番になっている。以上の結果から、指導者の指示の分かりやすさという点では、提案手法である「グリッド線表示」と従来システムである「指導者がマーカを設定」ではあまり差がないが、システムの使いやすさや作業のスムーズさという点では、「指導者がマーカを設定」が最も適していたと考えられる。

次に、指導者に対して自由回答形式で収集した実験に対する意見や感想を分析する。グリッド線表示の実験に対する指導者の意見の中に、

- ・ グリッド線が表示されていると、その情報を使う必要がない場合でも使ってしまう。
- ・ グリッドがない方が全員に同時に指示できるが、グリッドがあると対象物の写っている番号が違うので、1人1人に指示することになる。

といった意見があった。グリッド表示は指導者に提示される動画像にメタデータが付与された状態となっている。従って、動画像のみよりも画面内に含まれる情報が多くなり、指導者がどの情報を使って指示すべきか自分で選択しなければならぬため、戸惑っていることがわかる。

表 2 作業側アンケート結果 (5段階平均)

	4×4 グリッド線	3×3 グリッド線	映像のみ	を 設定 指導 者が マー カ
指導者の指示は分かりやすかったか	4.5	4	3.6	4.8
システムは使いやすかったか	3.6	3.1	3	4.8
作業はスムーズに行えたか	3.8	3.3	3.1	4.6
システムが日常生活で役立つと思うか	3.3	3	2.5	4.5

表 4 作業側による各システムへの順位付け

	4×4 グリッド線	3×3 グリッド線	映像のみ	を 設定 指導 者が マー カ
指導者の指示は分かりやすかったか	2.1	3.3	3.5	1
システムは使いやすかったか	2	2.8	3.8	1.1
作業はスムーズに行えたか	2.1	3.1	3.5	1.1
システムが日常生活で役立つと思うか	2	3	3.8	1

表 3 指導者側アンケート結果 (5段階平均)

	4×4 グリッド線	3×3 グリッド線	映像のみ	を 設定 指導 者が マー カ
複数人の作業側へ指示を出しやすかったか	3.5	3	3	4.5
システムは使いやすかったか	3.5	3.5	2.5	4
作業側はスムーズに作業を行えたと思うか	3	3	2	5
作業側の人数が増えても指示を出しやすと思うか	3	3	2	4

表 5 指導者側による各システムへの順位付け

	4×4 グリッド線	3×3 グリッド線	映像のみ	を 設定 指導 者が マー カ
複数人の作業側へ指示は出しやすかったか	2.5	3.5	3	1
システムは使いやすかったか	2	3	4	1
作業側はスムーズに作業を行えたと思うか	2	3	4	1
作業側の人数が増えても指示を出しやすと思うか	2	3	4	1

また、「指導者がマーカを設定」のケースに対する指導者の意見の中に、

- ・ マーカを設定すれば、指示を出す言葉を深く考えなくて済む。
- ・ 複数の作業員に対して対象物に合わせてマーカを設定することが負担だった。

といった意見があった。このことから、「指導者がマーカを設定」のケースでは、音声による指示の手間は軽減されているが、アノテーションの設定操作（マウスのダブルクリックやタップ）は負担になっていると考えられる。

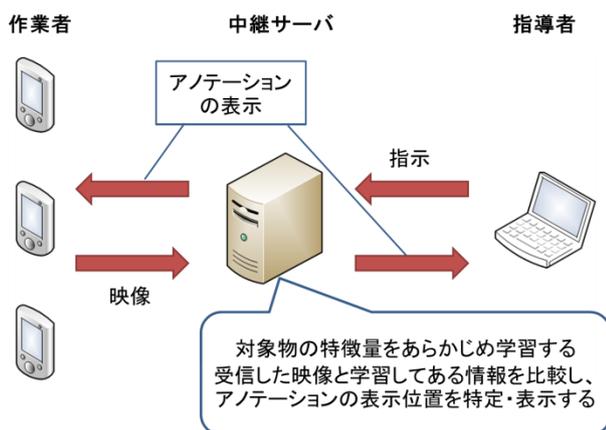


図 8 アノテーション自動表示手法の概要

6. 提案手法のその他の実装方法

前章の結果から、グリッド線を事前に表示することで、指導者がアノテーションを自ら設定する必要がないため負担を軽減できたと考えられる。しかし、指導者に提示されるグリッド線は作業対象物の位置や属性とは無関係に表示される静的な情報である。そのため、作業対象物の大まかな位置を指示することはできるが、正確な位置情報を指示するためには追加の音声による指示が必要であり、作業時間の短縮には結びつかなかった。これらの結果を踏まえ、指導者への自動的なアノテーション提示という本手法の、異なる実装方法について考察する。

図8に異なる実装方法の模式図を示す。まず、作業対象物の位置を正確にアノテーションするために、作業員が撮影した動画を画像処理し、あらかじめ学習しておいた作業対象物の位置を認識し、マーカなどのアノテーションを自動的に表示する(図9)。また、指導者の発話内容から作業対象物の種類を認識し、学習データを切り替えることで、マーカを表示する対象物を動的に切り替えることも考えられる。これらの処理は、現在のスマートフォンでは性能の不足により困難であることも想定されるが、その際にはアノテーションの自動表示処理を中継サーバで行えばよい。これらにより、指導者に与えるアノテーションとして、静

的情報であるグリッド線ではなく、動画像の内容や指導者の発話などを用いたコンテキストウェアなアノテーションの動的が可能になると考えられる。

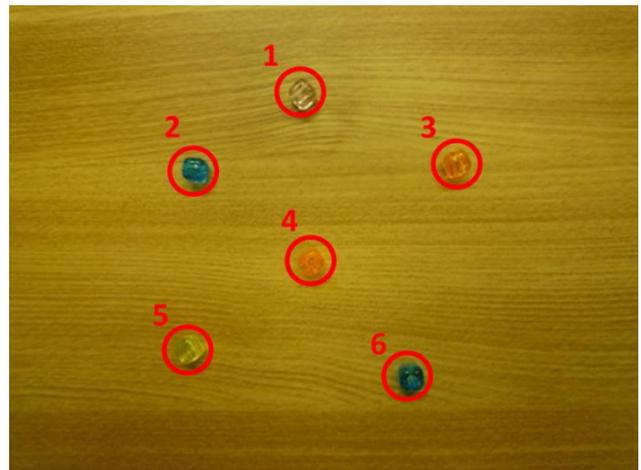


図 9 アノテーション自動表示後のイメージ図

7. まとめ

本研究では、遠隔地間作業指示支援システムにおいて、作業員が多数の場合の指導者の負担軽減手法について提案した。負担軽減手法については、アノテーションを自動表示することで、指導者の負担が軽減すると考えた。「グリッド線を表示」、「映像のみ」、「指導者がマーカを設定」のケースで評価実験を行ったところ、「グリッド線を表示」して指示するケースは「映像のみ」に比較して、作業員にとって指示の分かりやすさを向上させる効果があることが分かった。一方で、指導者にとっての使いやすさや指示の出しやすさでは「指導者がマーカを設定」の評価が最も高くなった。一方で、「指導者がマーカを設定」では、対象物に合わせて指導者がアノテーションを設定する操作が負担になるという意見があり、作業員の人数が多いほど指導者に負担がかかると考えられる。

評価実験の結果を踏まえ、本報告で実装したグリッド線の事前表示では、作業対象物の大まかな位置を指示することはできるが、正確な位置情報を指示するためには追加の音声による指示が必要であり、作業時間の短縮には結びつかなかったと考えられる。そのため、提案手法の異なる実装方法について考察した。今後、この実装方法が有効であるかを調査する予定である。

参考文献

- [1]. 酒井, 蔵田, 葛岡”遠隔強調作業のためのレーザポイント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.233-235, 2005 年 9 月.
- [2]. 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.
- [3]. 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.
- [4]. 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.
- [5]. 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.
- [6]. 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, マルチメディア通信と分散処理 Vol.2010-DPS-142 No.47, 2010 年 3 月.
- [7]. 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”, 情報処理学会 マルチメディア・分散・協調とモバイル (DICOMO2010) シンポジウム, 2010 年 7 月.
- [8]. 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観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.
- [9]. 阪本, 鈴木, 湯瀬, 渡邊, “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”, 情報処理学会 マルチメディア・分散・協調とモバイル (DICOMO2011) シンポジウム, 2011 年 7 月.
- [10]. G.Burnett, T.Wischgoll, V.Finomore, and C.Washington, “Initial Design of a Multimodal Collaborative Mobile Application for Real Time Decision Making,” 16th International Conference on Computer Graphics and Virtual Reality (CGVR'12), July 2012.
- [11]. 構造計画研究所, “Remote Guideware”, <http://www4.kke.co.jp/guideware/> (2012 年 10 月 19 日確認)
- [12]. NEC, “Tele Scouter”, <http://www.nec.co.jp/solution/telescouter/> (2012 年 10 月 19 日確認)