Kobe University Repository : Kernel

PDF issue: 2026-11-29

視線計測と光学シースルー型拡張現実感を用いた遠隔作業支援システムの開発(商船・理工学)

長松, 隆
志波, 栄也
井川, 博雅
大辻, 友雄

(Citation)
神戸大学海事科学部紀要,2:87-94

(Issue Date)
2005-07-31

(Resource Type)
departmental bulletin paper

(Version)
Version of Record

(JaLCDOI)
https://doi.org/10.24546/00422394

(URL)
https://hdl.handle.net/20.500.14094/00422394

KOBE UNIVERSITY

視線計測と光学シースルー型拡張現実感を用いた遠隔作業支援システムの開発

Development of a Remote Support System Using Eye Tracking and Optical See-through Augmented Reality

長松　隆，志波栄也*，
Takashi NAGAMATSU, Shigenari SHIBA *,
井川博雅，大辻友雄
Hiromasa IKAWA, Tomoo OTSUJI

（平成17年4月7日 受付）

Abstract

A remote work support system has been developed aiming at utilizing an expert's experience and knowledge. By using the system, an expert supports the work of an unskilled worker from a remote place. The features of the system are measuring the viewpoint of the unskilled worker and showing the expert it, and showing the worker the support information from the expert using Augmented Reality (AR), so both sides collaborate smoothly. The experiment in which an unskilled worker performs operation of a boiling thermal-hydraulic test loop with remote support by an expert was conducted to evaluate the usefulness of the system by subjective evaluation. The result shows that there are following effects. The instruction information from the expert by AR technology is useful compared to the case where work is supported only with voice communication. A worker's viewpoint information is also useful so that an expert may know a worker's situation. There is a merit that the expert can concentrate on thinking of an essential sequence required for work compared to the case where the expert instructs only with a sound.

(Received April 7, 2005)

1. はじめに

近年，計算機が小型化し，高速ネットワーク環境が整備されたことにより，ウェアラブルコンピュータでネットワークを活用し，離れた場所で移動しながら様々な情報のやりとりができるようになってきた．一方，プラントや工場等においては，特別な仕事・作業は，特別な経験・知識を必要とし，これらは熟練した者のみが有するものとなっている．

そこで，本研究では，熟練者が非熟練者の作業を効果的に遠隔地から支援することにより，熟練者の経験・知識を活用するシステムの構築を目的とする．その際，双方の情報伝達を円滑に行うために，非熟練者の視線を計測し熟練者にそれを提示する。また，熟練者による支援情報は，計算機で作成した情報を現実環境に重畳して表示する拡張現実感(Augmented Reality: AR)技術[1]を利用して非熟練者に提示するものとする．

2. 遠隔作業支援システム

原子力発電の分野では，原子力プラントの継続的な信頼性や安全性の向上が求められ，運転・保守の高度化・効率化が重要な課題となっている．その解決策として，複数プラントの運

*神戸商船大学,現コベルコ建機株式会社

転保守機能を集約するオフサイトの運転保守支援センターが提案されている[2,3]. このセンターの機能の一つとして, 遠隔地から現場作業を支援することがあげられる. この支援機能により, 個人の能力を多くの現場で活かす, 現場に行く時間がかからない, 危険な現場に行く人数を減らすなどのことが実現できると考えられる. 例えば, 立会い検査, 非熟練者への作業支援・OJT(On the Job Training)等を遠隔地から複数の現場に対して行うことができる. トラブル発生時には, 同種のトラブルの経験者に指示を仰ぐこともできる. また, 管理区域作業, 高所作業, 狭い場所での作業等, 多人数が行きにくい場所での作業を支援することも可能となる.

本研究では, このような遠隔作業支援システムの開発の第一段階として, 「遠隔地にいる熟練した監督者」1 名と「現場の作業員」1 名で構成されるプロトタイプシステムの開発を行う. 最終的には, 小型で携帯可能なシステム構成とする予定であるが, 本論文で述べるプロトタイプシステムの実験研究の範囲では, 提案する遠隔作業支援システムの概念の有用性を評価することに限定し, 小型化, 無線化の実現は将来課題とし, 本研究で提起する機能の実現を現有設備の組み合わせ, 制約の中で検討して開発する.

3. システムの開発

3.1.システムの設計

作業員は, 実際に現場にいるので現場の環境については詳細まで知ることができる. また, 作業員としては, 日常点検業務に従事している者や定期点検時に一時的に従事している者がいるが, ここでは, 監督者と比較して知識に乏しい者と想定する. そして, 動き回り行動することを考え, 持ち運べるマニュアル類は少ないものとする. 監督者は, 本システム利用の前提上, 遠隔地に存在するため, 現場の詳細は知ることができない. しかし, 全体的・理論的知識, 経験が多い者と想定する. 以上を表 1 にまとめる.

表 1. 作業員・監督者の判断材料とその特徴

判断材料	現場（作業員）	遠隔地（監督者）
現場環境	詳細まで知ることができる	詳細は知ることができない
自らの知識	少ない	全体的, 理論的知識, 経験は多い
ドキュメント(マニュアル類)	少ない	多い

円滑なやりとりを実現するには, 表 1 においてそれぞれに足りない情報を獲得するための「相手を理解する機能」, また, それを踏まえて「相手に指示・依頼を出す機能」が必要である. これらは情報伝達の双方向性を考慮して以下の 4 つの機能として整理できる.

(1)現場の状況を遠隔地で理解する機能
(2)遠隔地から現場に指示・依頼する機能
(3)現場から遠隔地に指示・依頼する機能
(4)遠隔地の状況を現場で理解する機能

(1)に関しては, 作業員の前方方向の映像, 作業員の視線(どこを見ているか), 音声を遠隔地に送信することで実現することとする.

(2)に関しては, 拡張現実感 (Augmented Reality: AR) 技術を利用して, 現実環境に重ね合わせて「○」を表示し, 現場作業員に注目させる. さらに, 監督者からの音声を送信する機能, 文字情報を表示する機能も付加する.

(3)に関しては, 作業員は作業時に両手がふさがっていることを考え, 音声によるものとする. また, 視線が遠隔地でモニターできることを利用すればそれにより, 場所の指示もできる.

(4)に関しては, 音声を利用することとする. また, 監督者が意図して指示を出しているのか理解するために, 監督者が出した指示が出たままにならない機能も追加するものとする. 例えば, 監督者端末でマウスを押した状態でないと指示が出せない等の工夫を行う.

以上を実現するために他方に送信する情報を表 2 にまとめる. これらを考慮した遠隔作業支援システムの概念図を図 1 に示す.

表 2 他方に送信する情報

現場（作業員）	遠隔地（監督者）
前方方向画像	指示（図, 文字 etc.）
視線情報	音声
音声	

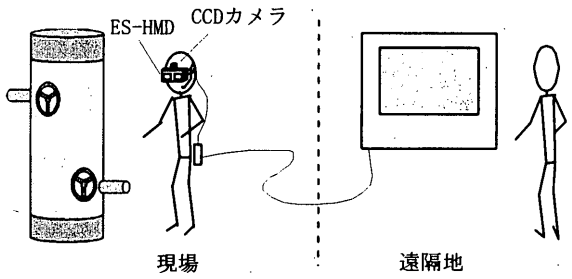


図 1　システム概要

3.2 システムの構築

本研究では，遠隔作業支援システムの概念の有効性を評価するため機能実現を優先し，小型化・無線化は行わず，それらによって生ずる計算速度の低下や情報伝達の遅延，情報伝送容量の問題が発生しない理想的な場合での評価用プロトタイプの開発を行う．

この前提で設計したプロトタイプのシステム構成を図 2 に示す．現場作業員は眼球画像を撮影できるヘッドマウントディスプレイ(HMD)，前方方向の画像を撮影できる視野カメラ，前方を照らすヘッドライト，ヘッドフォン，マイクを装着する．これらに附属する機材（ダウンコンバータ，ビデオ分配器，HMD 表示用パソコン等）は，作業員が携帯することは困難であったので，一部はワゴンに載せ，残りは固定して実験室に設置するものとする．一方，遠隔地の監督者用端末は，パソコンで構成されており，作業員の視野カメラで撮影した画像がビデオ信号で取り込まれ，視線の情報は LAN 経由で受信される．

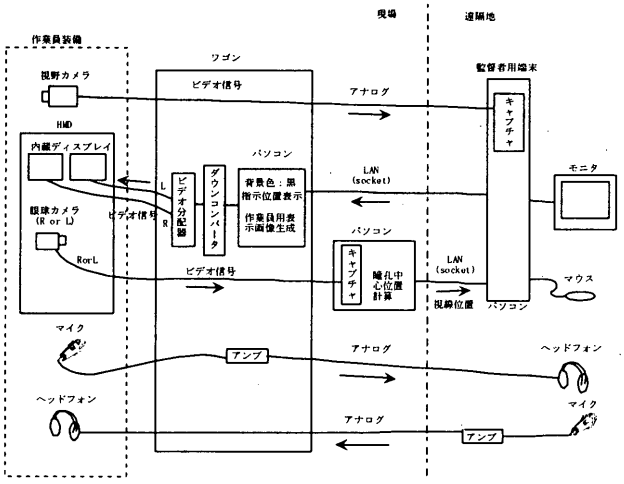


図 2　システム構成

3.2.1 Eye-Sensing HMD

AR を実現する装置には，携帯型のもの，HMD を用いたもの等があるが，現場作業での安全性を考慮し両手が使え現実世界をそのまま見ることができる光学シースルー型の HMD を利用することとした．福島らは眼球を撮影することが可能な HMD（Eye Sensing Head Mounted Display: ES-HMD）[4,5]を開発しており，視線の検出のためにこれを利用することとした．

選択した ES-HMD[5]は，HMD に両眼を撮影できる赤外線用 CMOS カメラ(眼球カメラ)を取り付けたデバイスであり，両眼に別々の映像を提示すると同時に，両眼の眼球の映像を撮影できる機能を持つ．具体的には，小型液晶パネル(LCD)を用いた映像表示系に加えて，眼球に照射するための赤外線 LED と撮影用の赤外線モノクロカメラ等により成る．この ES-HMD は通常の眼鏡と同様に装着でき，本体重量は 95g で，装着しても外景が見えるシースルー機能を有する．また，眼球側の右上，左上，右下，左下の 4 ヶ所に赤外線 LED が取り付けられており，これで赤外光を照射することにより常に安定して眼球を撮影することができる．眼球表面の反射光は，ビームスプリッタにより 100%反射され，CMOS イメージセンサに取り込まれる．一方，表示系は，LCD に表示された画像がビームスプリッタで反射され凹面鏡を経由して，装着者の目に入るようになっている．これにより 1m 先にディスプレイがあるように見える．

3.2.2 外景と HMD に表示する情報との位置合わせの方法

光学シースルー方式の AR を用いたシステムでは，外景と HMD に表示する情報との位置合わせ(レジストレーション)が不可欠である．ここでは，視野カメラが取得した画像の座標系を視野カメラ座標系，HMD に表示する座標系を HMD 座標系と呼ぶこととする．

外景と HMD に表示する情報との位置合わせは，図 3 に示すように，基準となる長方形を描いたレジストレーション板を用いて行う．作業員用の HMD には，ディスプレイの外周に沿った基準長方形(図中 a)を表示し，これとレジストレーション板上の長方形(図中 b)が重なるように頭の位置を調整する．この時，監督者用端末(図中 c)では，視野カメラで捉えたレジストレーション用基準長方形が見えるが，この長方形の範囲が作業員に情報を提示できる範囲となる．そして，長方形の角を基準として，監督者

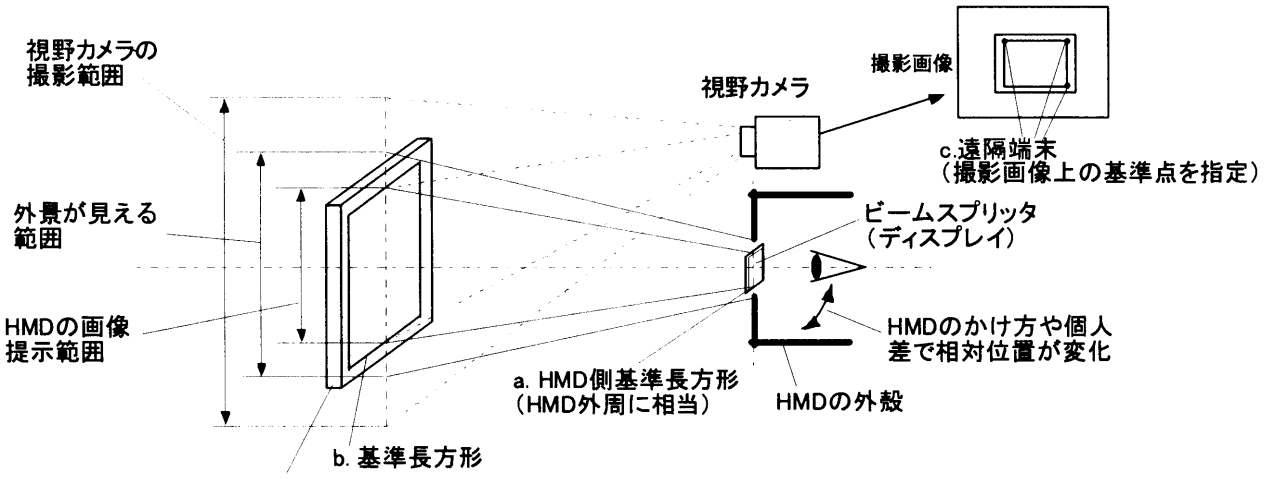


図 3. 外景と HMD に表示する情報との位置合わせ

用端末で 3 点を指定する. これにより, 視野カメラ座標系の中で, HMD 座標系と対応する範囲(HMD に情報を表示できる範囲)を設定できる.

3.2.3 視線の推定の方法

眼球カメラが取得した画像の座標系を眼球カメラ座標系と呼ぶこととする. 視線の計算とは, 眼球カメラ座標系の瞳孔中心位置から, それに対応する視野カメラ座標系の点を推定することである. 視線の計算を行うためには, 以下の 2 つの処理を行う必要がある. 以下にその概要を述べる.

(1)眼球カメラ座標系における瞳孔中心座標の算出

これには, 米田らの方法[6]を利用することとした. この方法では, 眼球カメラで撮影された画像から瞳孔の輪郭形状を抽出するが, その瞳孔形状データからノイズを除去し, 安定して瞳孔中心位置を求めるために, 以下の手順を行っている.

(i) 瞳孔の輪郭線上から無作為に 3 点を抽出する.
(ii) その 3 点から決定される円の中心座標を求める.
(iii) (i)と(ii)の処理を n 回繰り返し, 円の中心座標の分布を求める.
(iv) (iii)で求めた円の中心座標の分布のうち, 水平方向の両端から n/5 個ずつを削除する.
(v) (iv)で残った円の中心座標の分布のうち, さらに垂直方向の両端から n/5 ずつを削除する.
(vi) 最終的に残った n/5 の座標群の重心座標を, 眼球カメラ座標上での瞳孔中心座標とする.

本システムでは, 計算回数 n=100 としている.

(2)眼球カメラ座標系における瞳孔中心座標の HMD 座標系への座標変換(視線位置計算)

眼球カメラ座標系における瞳孔中心座標の HMD 座標系への座標変換については, 青竹らの方法[7]を用いた.

この方法では, まず, HMD のディスプレイの中心および左右上下の 4 辺の中点(計 5 点)にキャリブレーションのための基準点を表示し, 基準点を見ているときの, 眼球カメラ座標系での瞳孔中心座標を計測し, 眼球の水平方向および垂直方向の回転半径および回転角度をそれぞれ求める. 次いで, これらを用いて, 基準点以外を見ているときに, 計測した眼球カメラ座標系の瞳孔中心座標をもとに, HMD 座標系でそれに対応する座標(見ている場所)を推定する.

以上に述べてきた方法により, ES-HMD の装着者に光学シースルー方式で画像の提示をするとともに, どこを見ているか(視線)を計測することが可能となる.



図 4 HMD 等を装着した作業員

3.3 監督者端末

監督者用端末のインタフェースは, Microsoft の Windows 上で動作するアプリケーションと

して Microsoft Visual C++を用いて構築した．監督者用端末は，パソコン，モニタ，マウス，マイク，スピーカーで構成される．アプリケーションの画面を図5に示す．

表示される景色は作業員の HMD に取り付けた視野カメラで撮影した画像をキャプチャしたものである．四角い枠は作業員の視界のうち情報の提示が可能な範囲を，「＋」印は作業員の視線を，「○」印は監督者の指示を示す．監督者が四角い枠内でマウスをクリックすると押している間その景色に重畳される形で作業員の HMD に「○」が表示される．

監督者は作業員がどこを見ているかを見て，注視している場所が正しければそのままマイクで指示を出すなどし，また，関係ない場所を注視している場合は「○」を作業員の視界に重畳表示することにより見るべき場所を示し，同時に音声により指示をする．図 5 では，「＋」のところにある作業員の視線を見て，監督者が「○」で操作すべき弁を示し，音声でも「赤のバルブをしめろ」と指示している．また，図に示すようにテキストデータも送信可能となっている．



図 5　監督者用端末のインタフェース

4. 評価実験

4.1 目的

開発したシステムを用いて，模擬プラント(二相流熱流体ループ)を操作し，提案した概念のシステムの有用性を評価する．

4.2 方法

4.2.1 実験環境

遠隔地と現場を想定した実験環境として，1 階の現場に二相流熱流体ループがあり，2 階の制御室に制御盤がある二相流熱流体ループ実験室を利用した．この実験設備では，現場で流量，圧力等の調整をしなければならないが，メータ類は 2 階の制御盤にある．各場所で行うことをまとめると以下の通りである．

・現場：バルブの開閉，コンプレッサーの起動，メータチェック
・制御室：計測値のチェック，ポンプの起動

4.2.2 実験方法概要

被験者は，作業員役には実験ループの操作に慣れてない学生(以下作業員と呼ぶ)を，熟練した監督者役にはこの実験ループを普段から使用している大学教官(以下監督者と呼ぶ)とした．

作業員は HMD 等一式を装備し，現場で作業を行う．作業員用の機材は台車等を用い作業の邪魔にならないように設置し，作業中は，HMD と台車の配線が作業の邪魔にならないように補助者が台車を適宜動かす．監督者は二階の制御室から監督者用端末を利用しマイクを通して指示を行い，作業員はヘッドフォンでそれを聞き作業を行う．

実験では，現場から離れた制御室にいる監督者から指示を出し，作業員に実験ループを操作させ，今回開発したシステムを用いた場合の有用性を評価した．視線情報・指示情報の活用の効果を調べるために，視線情報・指示情報を用いた場合，指示情報のみ用いた場合，両方とも用いない場合の 3 通りの実験を行った．作業員役の各被験者には 3 回の試験終了後に，システムに関するアンケートを実施した．アンケートは，作業のし易さ，指示の分かり易さ，意思の伝え易さ，全体についての 5 段階評価と自由記述によるものとした．監督者役の被験者には，3 人の実験の終了時に，作業員役とほぼ同じアンケートを実施し，さらに各被験者毎に正しく作業をしたかどうかを評価するアンケートも実施した．

4.2.3 実験用作業課題

作業課題は，実験装置への流体の注入手順，ポンプの起動および流調，実験装置の流体の抜取手順の 3 つであり，これらを続けて行った．

4.3 結果

実験場所の明るさは，約 120ルックスであり，ライト照射場所は約 1m 離れて約 1000 ルックスであった．また，HMD への指示は両目に表示可能であったが，両目に表示すると特定の距離

以外の場所を見た場合，HMD に表示される像が二重に見えるため，片目のみの表示で実験を行った．

表 3 に実験時に実施した作業員のアンケート結果（選択理由，自由記述を除く）を，また，表 4 に監督者に実施したシステムに関するアンケート結果を示す．

4.4 考察

初めに作業員のアンケート結果に関して考察する．

指示の分かり易さに関して，指示情報である「○」を使用した場合，「視点の移動する方向が分かり易い」，「目標が分かり易かった」のように全員使い易かったと回答しており，どこに注目するべきか分かり易くなり効果があった．音声の使用に関しては，良い評価を得られているが，音声だけを用いて「それ」と指示した場合は「自信が持てない」との回答もあり，音声を用いて指示することは非常に有効であるが，それだけでは指示を受け取った作業員が確信を持って指示を理解することは難しいということが分かる．指示の分かり易さについての自由記述からは，「○使用と音声使用の両方があると良いが音声のみの場合は作業する正確な場所など少々わかり難い」，「○印の指示がないと厳しい，指示がないと不自由です」という意見が得られ，このシステムの有用性が裏付けられた．

意思の伝え易さに関しては，音声を使用することにより，「意思のやりとりができる」，「指示者がよく内容を理解していたので伝え易かった」と述べていたので，音声で十分伝わったと考えられる．視線位置を示す「+」を使用して意思を伝えたかに関しては，良い評価を得たにも関わらず，「特に意思をつたえたいという意識はない」，「特に意思を伝える必要がなかった」とコメントしている．あえて意識して伝えたわけではなく，「+」を利用した場合は意志が伝え易かったと感じた程度かもしれないので，確認するためにさらなる評価が必要である．

表 3 から，作業のし易さに関して，歩きやすさ，手の動かしやすさの項目について，良い評価を得た．その他が悪いのはアンケートに記入してもらった理由によれば，作業現場の見易さに関しては，「視界が狭い」，「HMD を通してみると液面が見えにくい」，首の動かし易さに関しては，「めがねのずれを気にした」，「頭に沢山ついているので動かしにくい」等，視界の明るさについては，「照明がないと少々見づらい」等と述べていた．これは，ハードウェア設計上の問題であるので，今後更に本体の小型化，視野の拡大等が達成できれば，解決できると考えられる．

次に全体についての回答に関して述べる．システムの有用性は 3 人中 2 人が最大の“+2”，一人が中間の“0”と評価している．自由記述でも，「作業内容などを正確に伝える事ができる」，「指示次第ではもたついて時間がかかってしまう事も・・・」，「とても便利なシステムである」との回答があり，高く評価されている．視線位置情報の有用性も，高い評価を得ており，「作業位置，操作する場所が分かり易い」，「ないとかなり不便です．」，「指示者に作業者がどこをみているかが分かる」という回答を得た．音声の有用性に関しても高い評価を得ており，「作業内容と意思の伝達が十分に分かり易かった」，「音声よりも丸印のほうが有効」，「音声がないと指示応答が困難である」との回答を得た．また，本システムでは，文字を監督者が入力することによる文字の指示も利用可能となっていたが，実験中監督者が文字による指示を行うことはなかった．これは音声や「○」を使った指示の方が素早く指示が出せるためであり，また，文字を使って言葉以上に正確に情報を伝達する必要が今回の実験課題ではなかったためと思われる．

次に監督者のアンケート結果に関して考察する．

作業のし易さに関して，操作のし易さは，「+」マークが明るい画像の部分で消える」という理由で，最良の評価は得られなかった．また，機能は不十分であると回答している．

指示の出し易さに関して，「○」を使用する場合，意図しない場合に「○」を表示し続けるのを防ぐため，表示する時はクリックした状態を保つようにしたが，「ドラッグしつづけるのは疲れる」という回答を得た．監督者の疲れない工夫が必要であるがこの機能は必須であると考える．

作業員の状況の分かり易さという点では，音声使用では，「状況の把握がし易い」，「+」使用では，「液位の確認等の際に非常にわかり易かった」という回答を得た．また，カメラの画像に関しては，カメラの解像度で制約されてしまうのであるが，「細部になると見えない．」と回答している．しかし，それを視線位置の情報が補っていると実験中に述べていた．また，自由記述では，「全体が把握しづらい(作業員の視野情報しか得られない)このため，作業確認の見落としが出易い．」という回答を得ており，これは，カメラ一つでは，遠隔地から確認できる範囲が非常に狭い範囲に限られることに原因

がある．このため別に部屋の全体を撮影するカメラ等を利用するなどして，2 種類以上のカメラ映像を利用して作業を行う改良が望まれる．「○」なしの場合は，「○印なしの場合は特に思考が中断され指示があいまいになりがち」と回答しており，音声で指示をしなければならない場面が増え，重要な作業シーケンス以外にも，指示を出す回数が増加し監督者のミスを誘発する可能性がある．

全体については，システムの有用性として，視線情報・指示情報を利用した場合は，「音声のみに比べると指示が格段に楽」という回答を得た．視線位置情報の有用性は，特に「液位の確認等の際に非常にわかり易かった」という回答を得た．また，音声については，視線情報・指示情報に加えて「副情報として不可欠」との回答を得た．また，文字情報に関しては，指示ではなく「プロセス情報を表示出来れば有用」としている．全体について「○印不使用の場合，上下左右の指示のため思考が中断され，指示や確認のミスが多くなったと感じられた．また作業状況が作業員の視野のみの情報からしか得られないので全体の状況を把握しづらいが，閉所での単独作業の場合はそれほど問題ではないかもしれない．」と述べている．

以上，作業員と監督者の主観アンケート評価を基に考察したが，本研究で提案した視線情報と拡張現実感を利用した遠隔支援の概念は有用であると言える．また，アンケート結果からも分かるように作業のし易さの点で課題がある．

5. 結論と今後の展望

視線計測と光学シースルー型拡張現実感を用いた遠隔作業支援システムを開発した．開発したシステムは，視線位置検出技術と拡張現実感(AR)技術を組み合わせた遠隔作業支援システムであり，「遠隔地にいる熟練した監督者」1 名と「現場の作業員」1 名で利用するシステムである．これを評価するために，二相流熱流体ループを用いて，遠隔地にいる監督者が現場の非熟練作業員を支援する実験を行った．その結果，ハードウェアの大きさ・重量等の問題により，使い易さの点では改善の余地があるが，AR 技術による監督者からの指示情報は，音声だけにより作業を支援する場合に比べて有用であることが分かった．また，現場作業員の視線情報は，監督者が現場作業員の状況を知るために非常に有用であることが分かった．また，監督者側にも，指示を HMD に表示して注目してもらいたい場所を直接指示できるので，音声だけで指示してどこを注目してもらいたいか上手く伝わらない場合に比べて，作業に必要な本質的なシーケンスの思考に集中できるメリットがあることが分かった．

今回のプロトタイプの開発及び実験により，システムのコンセプトの有用性は示されたので，今後は実用化に向けて，より作業しやすくするための小型化，誤差の縮小などに努める必要がある．

謝辞

本研究は，文部科学省科学研究費補助金(若手研究(B))及び(財)エネルギー総合工学研究所の革新的実用原子力技術開発提案公募事業により支援を受け実施しました．深く感謝いたします．

参考文献

[1]Azuma, R. et al.: Recent Advances in Augmented Reality,IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.21, No.6, pp.34-47 (2001).

[2] 吉川榮和，大井忠: オフサイト運転保守支援センター，保全学 Vol.3, No.1(2004)

[3] 尾崎禎彦，吉川榮和，北村正晴，古田一雄，五福明夫，伊藤広二: 原子力発電所運用高度化のための次世代 HMS に関する技術開発,日本原子力学会，2002 年春の年会要旨集，H31, p.407(2002).

[4]福島省吾，新井豪，森川大輔，下田宏，吉川榮和: Eye-Sensing Head Mounted Display の開発，計測自動制御学会論文集，Vol.35, No.6, pp.699-707 (1999).

[5]福島省吾，鈴木健之，村上宗司，仲島了治: 映像表示機能を備えた軽量型瞳孔・眼球運動計測器の開発，ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol.3, No.2, pp.75-78 (2001).

[6]米田賀一，小澤尚久，青竹雄介，下田宏，福島省吾，吉川榮和: Eye-Sensing HMD による視線入力インタフェースの構築法の検討，ヒューマンインタフェースシンポジウム 2000 論文集, pp.239-242 (2000).

[7]青竹雄介，小澤尚久，下田宏，吉川榮和: 視点位置と発話のリアルタイム分析における思考過程推定システムの試作，計測自動制御学会システム情報部門シンポジウム 1999 講演論文集, pp.329-334 (1999).

表 3. 作業員のアンケート結果（悪い:-2, 良い:+2）

区分	項目	被験者 A	被験者 B	被験者 C	平均値
1. 作業のし易さ	(1)歩き易さ	1	-1	1	0.33
	(2)作業現場の見易さ	-1	2	-2	-0.33
	(3)手の動かし易さ	2	2	2	2
	(4)首の動かし易さ	0	-1	-1	-0.67
	(5)視界の制限について	-1	2	-1	0
	(6)視界の明るさ	-2	-1	-2	-1.67
	(7)着心地（HMD）について	0	-2	-2	-1.33
2. 指示の分かり易さ	(1)「○」使用	2	2	2	2
	(2)音声使用	2	2	-1	1
	(3)文字使用	未使用	未使用	未使用	
3. 意思の伝え易さ	(1)音声使用	2	2	1	1.67
	(2)「+」使用	0	2	2	1.33
4. 全体について	(1)システムの有用性	2	0	2	1.33
	(2)視線位置情報の有用性	2	2	1	1.67
	(3)音声の有用性	1	2	2	1.67
	(4)文字の有用性	未使用	未使用	未使用	

表.4 監督者へのアンケート結果（悪い:-2, 良い:+2）

区分	項目	評価	理由
1. 作業のし易さ	(1)画面配置の良さ	0	
	(2)操作のし易さ	1	+マークが明るい画像の部分で消える
	(3)機能が十分か	-1	
	(4)作業のし易さについて以下に自由に記述して下さい。		
2. 指示の出し易さ	(1)「○」使用	1	ドラッグしつづけるのは疲れる
	(2)音声使用	1	
	(3)文字使用	未使用	
	(4)指示の出し易さについて以下に自由に記述して下さい。	○印の緑は+マークがでると近くにある場合見辛くなる	
3. 作業員の状況の分かり易さ	(1)音声使用	1	状況の把握がし易い
	(2)「+」使用	1	液位の確認等の際に非常にわかり易かった
	(3)カメラの画像使用	0	細部になると見えない。（確認出来ない）解像度の問題
	(4)作業員の状況の分かり易さについて以下に自由に記述して下さい。	全体が把握し辛い(作業員の視野情報しか得られない)このため、作業確認の見落としが出易い。○印なしの場合は特に思考が中断され指示があいまいになりがち	
4. 全体について	(1)システムの有用性	2	音声のみに比べると指示が格段に楽
	(2)視線位置情報の有用性	2	液位の確認等の際に非常にわかり易かった
	(3)音声の有用性	1	副情報として不可欠
	(4)文字の有用性	未使用	プロセス情報を表示出来れば有用
	(5)全体について以下に自由に記述して下さい。	・○印不使用の場合、上下左右の指示のため思考が中断され、指示や確認のミスが多くなったと感じられた。 また作業状況が作業員の視野のみの情報からしか得られないので全体の状況を把握しづらいが、閉所での単独作業の場合はそれほど問題ではないかもしれない	