

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE
OF
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No.1065

December 2003

相似形入力装置を用いた遠隔操作型バックホウの操作効率

平 林 丈 嗣
山 本 恭
酒 井 浩
秋 園 純 一
内 海 真

独立行政法人 港湾空港技術研究所

Independent Administrative Institution,
Port and Airport Research Institute, Japan



目 次

要 旨	3
1. まえがき	4
2. 研究の背景	4
2.1 潜水士搭乗型水中バックホウ	4
2.2 超音波映像装置を用いた遠隔操作型水中バックホウ	4
2.3 ARを用いた遠隔操作型バックホウ	5
2.4 操作装置比較の必要性	5
3. 操作効率の評価対象とした操作装置と操作条件	5
4. 操作効率評価手法	6
4.1 ポインティングの採用	6
4.2 ポインティング実験での評価手法	6
5. 実験装置	6
5.1 実験用バックホウ	6
5.2 アタッチメント型反力センサ	7
5.3 油圧制御	7
5.4 相似形入力装置	8
5.5 リモコン装置	8
5.6 TVカメラ設置	9
5.7 遠隔制御プログラム	9
6. ポインティング実験	10
6.1 平面指示動作実験	10
6.2 立体指示動作実験	13
6.3 ポインティング実験のまとめ	16
7. 考察	16
7.1 平面指示動作実験	16
7.2 立体指示動作実験	16
7.3 作業音の影響	16
7.4 反力呈示の影響	17
7.5 改良点の抽出	17
7.6 TVカメラアングルの利用	17
8. 結論	17
9. あとがき	17
謝辞	18
参考文献	18

Operation Efficiency of Similar-Figure-Interface for Remote-Controlled Backhoe

Taketsugu HIRABAYASHI*

Takashi YAMAMOTO**

Hiroshi SAKAI***

Junichi AKIZONO****

Makoto UTSUMI*****

Synopsis

This research aims to evaluate the operation efficiency of a remote-controlled backhoe with a similar-figure-interface to confirm the effectiveness of the similar-figure-interface.

This paper describes the results of the experiment of the pointing action in the horizontal experiment field and the 3-dimensional experiment field to compare the operation efficiency of the operation device of the standard operation method and the similar-figure-interface.

In this pointing experiment, the operation efficiency was evaluated by the speed and the accuracy of the operation. In the case of remote control with a TV camera in which visual information is deteriorated compared with the boarding operation, the result of the pointing experiment in the horizontal field shows that the similar-figure-interface confirmed 40% ameliorable in the operation speed and 45% in accuracy compared with the standard type remote control device. It is considered that the decrease in the operation efficiency due to deterioration of visual information was able to be compensated with the input device. In the pointing experiment in vertical field, the operation speed is the same level as the remote control device with a TV camera, and the accuracy is the same level as the boarding operation. It indicates that the operation efficiency will be improved if 3-dimensional recognition performance is supplied with CG etc.

It was able to be confirmed that the similar type input device was effectiveness from the above-mentioned in the environment to which sight information was deteriorated. In addition, the points which have to be improved are clarified.

Key Word : Bilateral Control, Similar-Figure-Interface, Underwater Backhoe, Remote Control, Evaluation Method

* Researcher of Control Systems Division

** Trainee of Control Systems Division (SAEKI KENSETSU KOGYO CO.,LTD.)

*** Head of Control Systems Division

**** Research Coordinator for Advanced Technology

*****Special Researcher of Control Systems Division

3-1-1,NAGASE, YOKOSUKA, 239-0826, JAPAN

Phone : +81-46-844-5062 Fax : +81-46-844-0575 e-mail : hirabayashi@pari.go.jp

相似形入力装置を用いた遠隔操作型バックホウの操作効率

平林 丈嗣*
山本 恭**
酒井 浩***
秋園 純****
内海 真*****

要 旨

バックホウの操作装置は、標準操作方式である搭乗操作とリモコン操作装置があり、実際の施工や遠隔操作の試験施工が行われている。当研究所では、水中バックホウの遠隔操作装置として、相似形入力装置を用いた Bilateral 制御と触覚情報の視覚化による遠隔操作システムを開発し、施工精度などについて実験を実施している。このうち、操作装置自体の操作効率を明らかにすることは、相似形入力装置の性能の改善だけでなく、全体システムの効率向上において重要であると考えられる。

本研究は、相似形入力装置を用いた遠隔操作型バックホウの操作効率を評価することを目的として、標準操作方式の操作装置と操作効率を比較するために、平面実験フィールドと立体実験フィールドでポインティング実験を行い、相似形入力装置の有効性を確認するものである。

このポインティング実験では、操作効率を操作のスピードと正確性で評価した。ポインティング実験の結果から、搭乗操作と比較して視覚情報が劣化する TV カメラを用いた遠隔操作の場合、平面指示動作実験において、相似形入力装置はリモコン装置よりも、操作のスピードで45%、正確性で40%向上できることを確認した。これは、視覚情報の劣化による操作効率の低下を、入力方式により補うことができたためと考えられる。立体指示動作実験において、操作スピードは TV カメラを用いたリモコン装置と同程度であり、正確性は搭乗操作と同程度であった。ここで、立体的な認識能力を CG などで補うことができれば、操作効率が改善されることが考えられる。

以上のことから、視覚情報が劣化した環境において、遠隔操作型バックホウの操作効率改善には、相似形入力装置が有効であることを確認できた。

キーワード：Bilateral 制御，相似形入力装置，水中バックホウ，遠隔操作，評価手法

* 制御技術研究室

** 制御技術研究室 研修生（佐伯建設工業株式会社）

*** 制御技術研究室長

**** 新技術研究官

***** 制御技術研究室 特別研究員

〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 独立行政法人港湾空港技術研究所

電話：046-844-5062 Fax：046-844-0575 e-mail: hirabayashi@pari.go.jp

1. まえがき

海上空港や廃棄物埋立護岸、大水深岸壁など海域の利用は、今後ますますその要請は高まる。それに伴い港湾構造物の建設・維持管理は、安全にかつ効率的に実施することが求められている。

その解決手段の一つとして潜水土搭乗型水中バックホウなどに代表される機械化施工が導入され始めており、さらに遠隔操作化の研究が進められている。

2. 研究の背景

2.1 潜水土搭乗型水中バックホウ

潜水土搭乗型水中バックホウの施工能力は、潜水土による人力施工に比べると約8倍²⁾となっている。

潜水土による人力施工では、石に指を挟むことや潜水器具の故障、潮流により流されるなどの危険があるが、潜水土搭乗型水中バックホウは石を直接手で触ることがないことや非常用ポンペを搭載していることから安全性が高い。また、水中バックホウは、水中への投入揚取作業はクレーン1台で行うことができることから利便性も高い。そして、掘削・盛土・転圧などの作業が可能であり、アタッチメントを取り替えることにより破砕や把持といった作業も行えることから汎用性も高い。

しかし、潜水土が搭乗して操作することから、工事中に発生する濁水や海域の透明度が低いなどの条件により視覚が遮られた場合、操作が困難となっている。また、大水深での作業となると潜水時間の制約があり、長時間の作業には潜水土の交代要員が必要となることから、施工効率は低下する。

2.2 超音波映像装置を用いた遠隔操作型水中バックホウ

濁水中での視認技術は現在までに数多く開発されており、一般には超音波による映像化³⁾が有効とされている。超音波の映像化技術を利用して水中バックホウ遠隔操作の試験施工が、平成12年度に常陸那珂港において行われた⁴⁾。

この試験施工は、遠隔操作型水中バックホウを開発し、ケーソンマウンドを築造する実験工事である。作業内容は、施工水深16m、施工精度 $\pm 30\text{cm}$ の荒均し作業である。ただし、 $\pm 70\text{cm}$ に投入管理された後での均し作業となっている。

この遠隔操作型水中バックホウの操作は、超音波を映像化するナローマルチビームソナー⁵⁾を用いて海底地形

状況の確認をしており、GPSとSBLを用いて水中バックホウの位置と方向を常時測量している。機体の傾斜は傾斜計により認識しており、フロント装置(ブーム・アーム・バケット)の各油圧シリンダと旋回体に角度を検出する装置を取り付けて、バケット先端の三次元位置座標が演算される機構となっている。また、バケットへの接触や負荷といった反力情報は、油圧ポンプに取り付けた油圧ゲージにより数値でモニタに表示する機構となっている。

操作装置は、2本のレバーでフロント装置と旋回を操作することができる標準操作方式⁶⁾のリモコン装置を使用している。出来形管理は、水中遠隔操作を監視するソフトを開発し使用している。これらを組み合わせて使用することにより、遠隔操作型水中バックホウの水中での位置と姿勢、出来形の状況をComputer-Graphics(以後、CGと表記する)で表示されたモニタにより確認している。

図-1にこの試験施工での遠隔操作方式水中バックホウの全体システム概略図を示す。

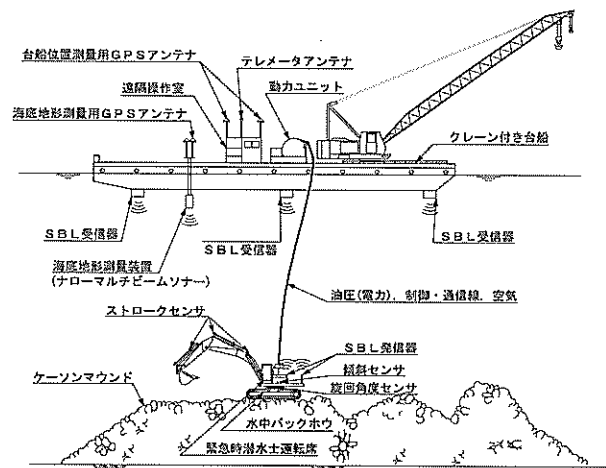


図-1 水中遠隔操作試験施工 全体システム図

試験施工の結果、施工能力は水深16m程度で人力施工の2.26倍、潜水土搭乗型水中バックホウ施工の34.6%の能力であったと公表されている。

施工能力が低いことの原因としては、ナローマルチビームソナーの海底地形更新にリアルタイム性がないことと、機体周囲が超音波の影になり海底地形を確認することができないことが挙げられる。このように、水中の作業状況を超音波の映像化だけで、把握することは難しい。

また、油圧の数値表示だけでは、バケットの負荷情報を認識することは難しい。

2.3 ARを用いた遠隔操作型バックホウ

TVカメラや超音波の映像化といった映像の信頼性が低い場合の操作方法として、触像を用いた遠隔操作技術がある。これは、ロボットアームなどの操作に用いられるBi-lateral制御⁷⁾を用いた相似形インタフェースで遠隔操作を行う方法である。当研究所では、この技術を用いた相似形入力装置を開発し、施工実験⁸⁾を行っている。この施工実験は、相似形入力装置を用いて遠隔操作型に改造した小型バックホウ⁹⁾を遠隔操作し、未知の形状をした石山を、触覚の映像化を行うAR¹⁰⁾を用いて形状を認識し、掘削や切り崩し、転圧を行い、任意の高さに均すものである。施工実験の結果±5cmの精度で均すことができ、触像の映像化を用いた方法での相似形入力装置による遠隔操作の有効性を確認している。この施工実験では、均し作業にかかった時間は計測していないが、視覚を用いた方法での均し作業よりも長い時間がかかることが考えられる。これは、視覚と触覚を比較すると、得られる情報量は視覚の方が圧倒的に多いために、操作が容易になることが考えられるからである。

2.4 操作装置比較の必要性

超音波の映像化を用いた試験施工と触像を用いた施工実験では、超音波の映像化や相似形入力装置、Bi-lateral制御、ARなどの技術を組み合わせて作業を行っており、試験施工では施工能力、施工実験では均し精度を公表しているが、操作装置自体の操作効率についての評価は行われていない。

これは、現状では操作装置の操作効率を比較する適切な評価手法が存在しないためである。

本研究は、相似形入力装置を用いた遠隔操作型バックホウの操作効率を評価し、標準操作方式の操作装置と比較することで、相似形入力装置の有効性を確認するものである。

3. 操作効率の評価対象とした操作装置と操作条件

本研究では、施工が可能である条件を前提として、操作装置を選択し、操作効率の評価を行い比較する。また、操作装置の操作効率を評価するためには、基本となる操作装置を選択する必要がある。現在の最も基本的なバックホウの操作装置は、標準操作方式の操作装置で、搭乗して行う方法である。この操作方法での操作状態を操作効率評価を比較する基準とすることとした。

比較対象として、陸上で実用化されている遠隔操作型バックホウ¹¹⁾の場合を考える。陸上での遠隔操作は、

直視やTVカメラといった視覚情報を用いた遠隔操作となっている。陸上での遠隔操作に用いられる操作装置は、オペレータがバックホウ近傍での操作が可能である場合は、小型化した操作装置を首からぶら下げて操作ができる携帯型操作装置、オペレータが作業区域に近づくことができない場合などには、TVカメラの映像を用いて作業状況を確認するために、操作室に専用の操作装置とTVモニタを設置して遠隔操作を行う固定式の操作装置がある。操作方式はどちらも標準操作方式となっている。写真-1と写真-2に遠隔操作状況の例を示し、写真-3に陸上遠隔操作事例を示す。



写真-1 携帯型操作装置の操作状況

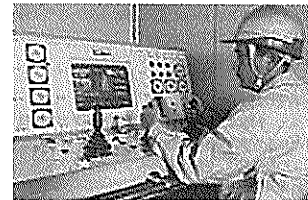


写真-2 作業監視モニター一体型操作装置の操作状況

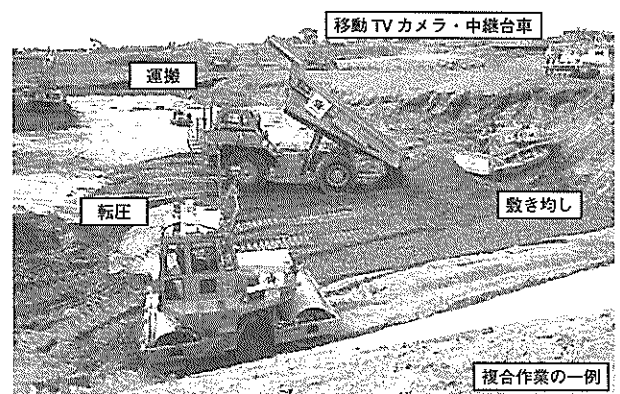


写真-3 陸上遠隔操作事例

また別の操作方式として、まだ実用化されていないが当研究所が開発した、触像による均し実験で用いた相似形入力装置がある。この施工実験は、視覚情報がない場

合を想定して行われているが、視覚情報がない場合の動作には、バックホウのバケット位置を正確に検出し、コンピュータで演算してモニタに表示させる必要がある。しかし、触像による均し実験で用いたバックホウは旋回角度を検出する装置が装備されていなかったことなどから、旋回した場合にバケットの位置を認識することはできない。このことから視覚情報がない場合の相似形入力装置での遠隔操作は、現状では施工には使用できない。また前述したように相似形入力装置で視覚情報がある場合は、容易に操作を行うことが可能であると考えられるが、現状の相似形入力装置はイスに固定されているため、視点を変えるために移動することが難しい。よって、この場合も施工には使用できない。これに対して、TVカメラを用いた相似形入力装置による遠隔操作では、視覚の数・向き・視野を任意に変えることで、作業状況を確認することができることから、施工を行うことが可能である。

以上のことから、バックホウで施工を行うことが可能であるのは、当研究所が開発した装置を含めて、現状では以下の4種類であることが考えられる。

- a) 搭乗操作（標準操作方式）
- b) 直視によるリモコン操作（標準操作方式）
- c) TVカメラを用いたリモコン操作（標準操作方式）
- d) TVカメラを用いた相似形入力装置操作

よって、この4種類を操作効率の評価対象とした。

4. 操作効率評価手法

4.1 ポインティングの採用

バックホウの操作装置の操作効率を評価するためには、実際に施工を行うことが、最も正確かつ適切であると考えられるが、実物の施工現場を準備するのは非現実的であり、施工を構成するパラメータが多いために計測に手間と時間がかかる。また、操作効率の評価を行うために、施工内容の標準化を行うことは困難である。

ここで、バックホウの作業は、掘削や転圧、切り崩しなど、どのような作業でもバケットを目標とする位置に移動させたあとに、所要の動作を行う基本動作がある。

そこで、この基本動作の初期動作にあたるバックホウを操作して目標点にバケット先端を一致させる動作を、操作効率の評価対象として採用することにした。この初期動作をポインティングと呼ぶことにする。

指定された目標点を順次ポインティングすることでバックホウは連続した動作となり、実際の施工状態に近い動作での操作効率を評価することができると考えられる。

これをポインティング実験と名付けて、操作装置の操作効率を評価する手法とした。

4.2 ポインティング実験での評価手法

実際の施工では、機械の操作にはスピードと正確性の両方が求められる。このことから、本研究では操作効率をスピードと正確性の2つの要素で示すことにした。そして、スピードを示す指標として指示時間、正確性を示す指標として調整回数を採用した。

指示時間とは、ある目標点をポインティングしたあとに次の目標点をポインティングするのに要する時間である。調整回数とは、目標点を正確にポインティングするまでに調整を行った回数であり、目標点のポインティングも含めた地面に接触した回数の合計である。

ここで、指示時間が短いと操作のスピードが速いことになり、操作効率は良いことになる。また調整回数が少ないと正確にポインティングができたことになり、操作効率は良いことになる。

ここで、指示時間が短くても調整回数が多い場合を想定すると、そのポインティングは粗雑な操作と見なすことができ、実際の現場では、出来形を損傷することになり、できればの悪い施工となる。その結果、損傷した部分を修正する作業が発生し、施工効率はかえって悪くなる。

正確性を示す指標としては、位置精度も考えられる。しかし、実際の施工では個々の作業ごとに位置精度を測定しているわけではないことと、一定水準以上の技能を有するオペレータであれば、問題のない範囲の位置精度で作業を行うことができることから、目標とする位置からバケットが外れることがないので、精度を数値的に計測することにあまり意味はない。このことから、バケット先端が指定された目標点に移動できたかどうかの判断はオペレータに任せることとし、位置精度は正確性を示す指標として採用しないこととした。

5. 実験装置

5.1 実験用バックホウ

実験機のベースマシンとしてバケット容量0.09m³の小型バックホウを用いた。この実験用バックホウは、フロント装置の各軸に角度を検出するためのポテンシオメータを取り付け、フロント装置の姿勢を検出できる機構としている⁹⁾。写真-4に実験用バックホウの全景を示す。表-1にベースマシンの仕様を、図-2にベースマシンの側面図を示す。

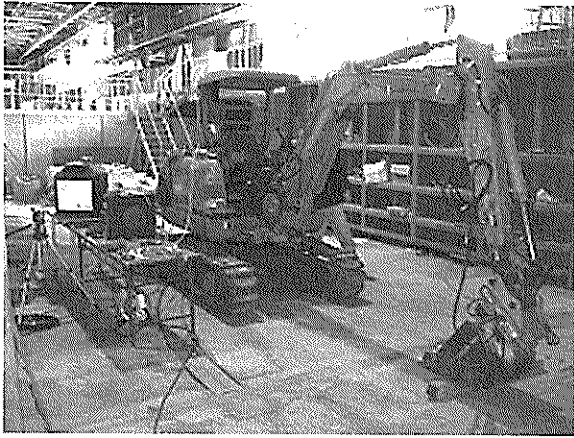


写真-4 実験用バックホウ

表-1 ベースマシンの仕様

機械質量 (kg)	2,750
機体質量 (kg)	2,140
標準バケット 容量 (m ³)	0.09
標準バケット 幅 (mm)	520
旋回速度 (km/h)	9
走行速度 (rpm)	4.5
登坂能力 (度)	30
最大掘削力 (kN)	22.4
エンジン 形式	ディーゼル 水冷 4 気筒渦流室式
定格出力 (kW)	17.3
油圧装置 油圧ポンプ形式	可変容量型ピストン式×2 歯車式×1
主リリーフ弁セット圧 (MPa)	20.6
旋回油圧モータ形式	定容量型ピストン式×1
走行油圧モータ形式	可変容量型ピストン式×2
足回り 標準シュー幅 (mm)	300
接地圧 (kPa)	25.7

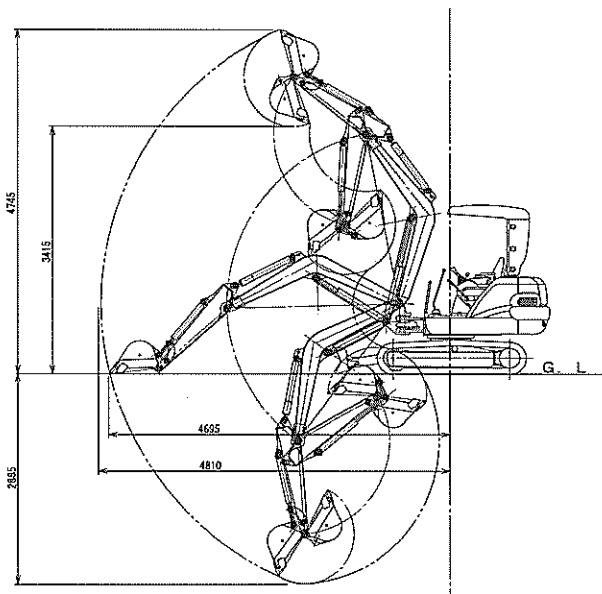


図-2 ベースマシンの側面図

5.2 アタッチメント型反力センサ

バケットの接触判断を行うためのセンサ機構を製作した。4個のロードセルを平面に配置した単純な構造とした。さらに取り付けを容易にするため、バケットとアームの間にとりつけるアタッチメント方式としている。写真-5 にアタッチメント型反力センサの取り付け状態を示し、表-2 にロードセル仕様を示す。

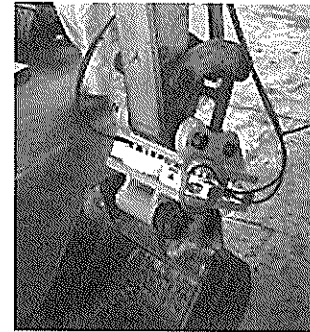


写真-5 アタッチメント型反力センサ取り付け状態

表-2 ロードセル仕様

定格容量	±50kN
許容モーメント	150N・m
許容横分力	2.5kN
寸法	φ130×H50
質量	約 4.3kg

5.3 油圧制御

バックホウの動力は油圧であるため、制御は油圧バルブを操作することで行う。実験用バックホウには電気信号により油圧バルブ開閉の制御を行う比例電磁バルブを運転席下に設置した。制御対象はブーム・アーム・バケット・旋回の4系統であり、各系統で正逆方向の油圧バルブが独立しているため計8個の比例電磁バルブを設置している。比例電磁バルブを駆動するためのドライバボードを運転席後方に設置している。また、リモコンによる有線無線遠隔操作を行うためのドライバも運転席後方に設置している。

リモコン装置ドライバと比例電磁バルブ、比例電磁バルブドライバボードを設置することにより、この実験用バックホウは、搭乗操作とリモコンによる有線無線遠隔操作、相似形入力装置による有線遠隔操作ができる機構としている。操作方式の切り替えは運転席左側のスナップスイッチで切り替えることができる。写真-6 に操作方式切り替えスイッチを示す。

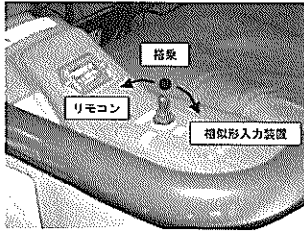


写真-6 操作方式切り替えスイッチ

ただし、走行装置の操作方法は、運転席の操作レバーを用いて直接油圧バルブの操作を行い、履帯を回転させる方式である。現状では走行装置は、遠隔操作には対応していない。

また、安全対策として、有線方式による非常停止スイッチをエンジンキルスイッチと比例電磁バルブドライバボードキルスイッチの2系統用意した。

5.4 相似形入力装置

相似形入力装置の形状は、今回実験に用いるバックホウのフロント装置と相似の関係を持っており、さらに各関節が独立に姿勢拘束力及び力覚フィードバックを出力するアクチュエータを有することで Bi-lateral 制御が可能となっている。

制御に関しては、バックホウの関節角度から先端座標を演算し指令値として出力する。また、アタッチメント型反力センサで検出された反力情報をオペレータに力覚として表示する機構としている。

操作の容易さとパケットの可動範囲を考慮し、グリップ部分はペン型とした。

旋回操作は、操作イスを左右に旋回させることで行う。旋回速度は、操作イスの振り角の大きさに比例して速くなる制御としている。



写真-7 バックホウ用相似形入力装置

さらに姿勢情報や接触点を表示するタッチパネルディスプレイを取り付けている。写真-7にバックホウ用相似形入力装置を示す。

5.5 リモコン装置

リモコン装置の送信機は、バックホウの操作卓をそのまま小型化した形状をしている。操作方法は、搭乗した場合と同じ標準操作方式である。写真-8にリモコン装置の送信機を示し、表-3にリモコン装置の送受信機とバルブドライバの仕様をそれぞれ示す。リモコン装置送信機の概略図を図-3に示す。

遠隔操作は、リモコン装置の送信機側操作レバーの操作に応じて、機体側の比例電磁バルブドライバボードに指令が送信され、比例電磁バルブを遠隔操作する機構となっている。

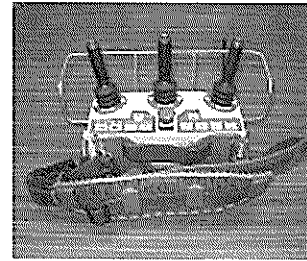
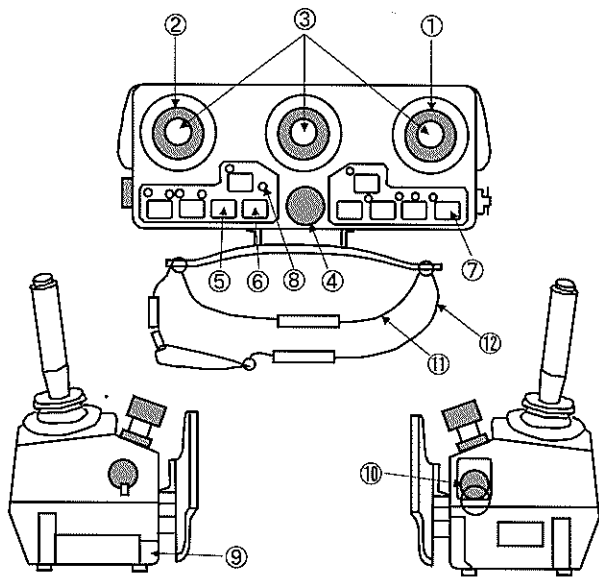


写真-8 リモコン装置送信機

表-3 リモコン装置送受信機とバルブドライバの仕様

送 受 信 機	無線局	特定小電力無線局
	無線周波数	429MHz 帯 40波
	送信出力	10mW
	通達距離	約100m(使用条件により異なる)
	受信出力信号	制御信号出力 シリアル信号
	制御器電池	連続使用時間 8時間
	受信装置電源	DC18~36V 1A
寸法・質量	制御器	W290×H110×D113mm
	受信装置	W200×H70×D150mm
ド ラ イ バ	ハードウェア機能仕様	スイッチ入力 6
		リレー・電磁バルブ出力 9
		比例電磁バルブ出力 16
		P/A 出力 1
		シリアル入出力(RS422) 2
		シリアル入出力(Dr.EX 用) 1
	構造	アルミダイキャスト
	質量	約1.0kg
	仕様温度範囲	-30~+70℃
	保存温度	-40~+85℃
作動電圧範囲	DC20~36V	



- | | |
|-----------------|------------------|
| ① ブーム・バケット操作レバー | ⑦ リモコン運転スイッチと表示灯 |
| ② アーム・旋回操作レバー | ⑧ 電源/電池動作表示灯 |
| ③ ホーンスイッチ | ⑨ 電池パック |
| ④ 非常停止スイッチ | ⑩ キースイッチ |
| ⑤ エンジン始動スイッチ | ⑪ 腰ベルト |
| ⑥ エンジン停止スイッチ | ⑫ 肩ベルト |

図-3 リモコン装置送信機の概略図

5.6 TVカメラ設置

リモコン操作と相似形入力装置で遠隔操作するためにTVカメラを設置した。

陸上での遠隔操作事例を参考に全景や側面、バケット部を撮影するTVカメラを任意の場所に設置し、様々なカメラアングルからの映像を取得できるようにした。TVカメラ設置位置と映像は6.で示す。

5.7 遠隔制御プログラム

本システムでは入力装置及び陸上実験用バックホウの制御に関して通信ケーブルで接続した2台の制御用コンピュータを用いている。以下、入力装置を制御するコンピュータをMaster-PC、陸上実験用バックホウを制御するコンピュータをSlave-PCとする。ネットワークを構築するにあたり考慮した点は、暴走に対する安全対策であり、本システムでは通信環境の状態把握と急激な動作を抑止する機能をSlave-PCにおいて持たせている。これにより通信ケーブル等の異常によりネットワークが切断された場合でも、Slave-PCがスタンドアロンで動作し安全を確保するものとした。

Slave-PCは常に起動しており、Master-PCからCALLコマンドを受けるまで待機する。CALLコマンドを受け付けた後はNETWORK Checkフェイズに移行する。このフェイズでは、Master-PC、Slave-PCが一つの変数に

ついて交互に通信を行いカウントアップすることで通信環境をチェックする。

通信環境に問題が無ければSYNCROフェイズへ移行し、バックホウ機体姿勢をMaster-PCに送信する。その姿勢はMaster-PCにおいて描画され、オペレータはその画面上に描画された陸上実験用バックホウの姿勢と相似形入力装置の姿勢を同調させる。両者の姿勢が同調するとMaster-PCからSYNCコマンドを送信し、Slave-PCが受信した時点で遠隔操作が開始される。このSYNCROフェイズによりバックホウの急激な動作を抑止している。

相似形入力インタフェースにおいて入力された関節角度はMaster-PCで演算され、バケット先端座標、バケット角度、旋回速度を指令値として渡される。指令値を受け取ったSlave-PCは先端座標を各関節の角度へ逆演算し、機体姿勢との差分を0にするように比例電磁バルブを制御する。機体の関節角度、バケット先端座標は常に計測しておりMaster-PCへ機体姿勢情報として送信される。またバケットにかかるピッチングトルクを計測しており、機体情報と共に送信される。このピッチングトルクには振動やガタによる接触以外の力も含まれるため、Master-PCにおいてデータを監視し、一定以上の力が同じ方向に0.3sec以上継続した場合、接触として判断している。

Slave-PCでは演算・制御ルーチンのほかに、通信の監視やエラー判定を行うスレッドを独立して持っている。

これは0.3sec以上通信が停止した場合にバックホウの油圧バルブの制御を停止し、安全を確保する。また、Masterからの指令値についても監視しており、実可動範囲を超えた場合はエラーをMasterに送信する。それ以外にも前述したように非常停止スイッチを準備しているが、Slave-PCにも比例電磁バルブドライバキルスイッチを用意した。写真-9にSlave-PCに用意した非常停止スイッチを示す。

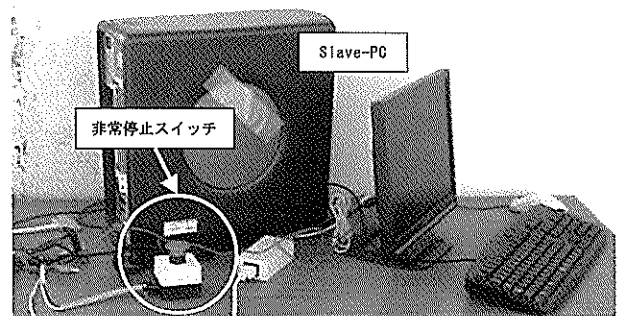


写真-9 Slave-PC側非常停止スイッチ

6. ポインティング実験

操作効率の評価実験として、小型バックホウを用いたポインティング実験を陸上で行った。これは、実験フィールドに任意の目標点を複数配置してバケット先端で順次目標点をポインティングし、指示時間と調整回数を計測して、操作装置と操作条件の違いによる操作効率を比較するものである。

指示時間の計測は、スタート位置からバケットを動かした時点から、最終の目標点の指示を完了した時点までの時間を計測した。調整回数は、目標点を指示する過程でバケットが地面に接触した回数を計測した。

各実験項目においてポインティングを3回ずつ2人で行い、計6回分の結果から目標点別平均値と1点当たりの平均値を求めた。

操作方法は、3.で述べたように、以下の4種類である。

- 搭乗操作（標準操作方式）
- 直視によるリモコン操作（標準操作方式）
- TVカメラを用いたリモコン操作（標準操作方式）
- TVカメラを用いた相似形入力装置操作

5.3で述べたように現状では走行装置が遠隔操作に対応していないことから実験機の位置を固定として、旋回とフロント装置でのポインティングを行った。

表-4に実験の種類と計測データを示す。表中にあるCG描画とはMaster-Slave両方の動作をCGでモニター画面に表示することを示している。

表-4 指示動作実験の実験種類と計測データ

操作方式	視認方法	反力呈示	CG描画	作業音	計測データ			
					平面指示		立体指示	
					指示時間	調整回数	指示時間	調整回数
搭乗	直視	-	-	有	○	○	○	○
無線リモコン	直視	-	-	有	○	○	○	○
	TVカメラ	-	-	有	○	○	○	○
相似形入力装置	TVカメラ	-	-	無	-	-	○	○
	TVカメラ	有	有	有	○	○	○	○
		無	無	有	○	○	○	○

実験フィールドは、水平なコンクリート盤の水平面フィールドと、割り栗石を積み上げて水平面と斜面を組み合わせた形状に造り、実際の地盤状況に近い状態とした立体フィールドの2種類とした。

熟練度による影響を考慮し、被験者はバックホウの操作が初心者である2名とした。これは、操作装置により熟練度が変化すると、その操作装置の結果に影響すると考えられ、厳密な比較とならないためである。

図-4にCGモニター画面を示す。図中で、青色で塗りつぶされて表示されているバックホウのフロント部が入力姿勢を表し、白色のワイヤフレームで表示されているのが実機姿勢を表している。バケット部が赤色に変色しているのは地盤との接触状態を示し、反力を検出した場合に变色する表示としている。

ただし、実験用バックホウには旋回角度を検出するセンサが設置されていないことから、旋回角度を認識することができない。このため、モニター画面は、側面のみの表示としている。

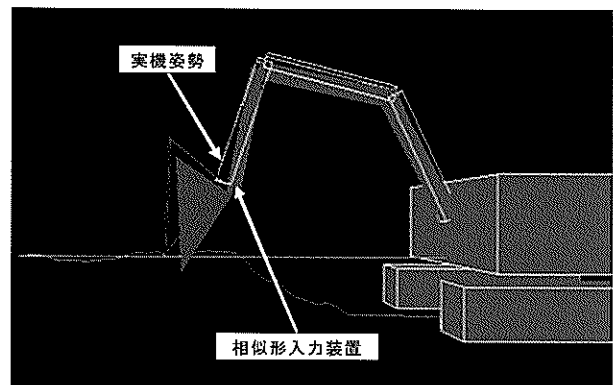


図-4 CGモニター画面

6.1 平面指示動作実験

(1) 実験方法

平面実験フィールドに格子状に目標点を1m間隔で17点配置して、ポインティングを行ったときに要した時間と調整回数を計測して操作効率を比較した。図-5に平面実験フィールドの目標点配置と実験機位置を示す。

ポインティングは番号順に行い、それぞれの目標点をポインティングするのに要した指示時間と調整回数は、全景を撮影録画したビデオから計測した。

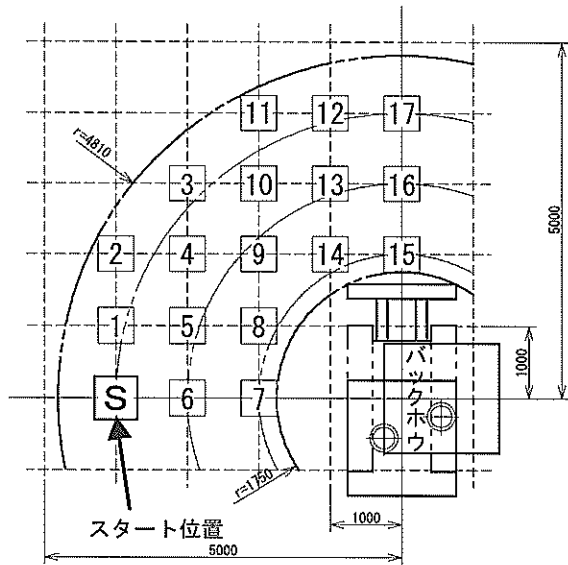


図-5 平面実験フィールドの目標点配置と実験機位置

実験種類は、操作方式・視認方法・反力呈示の有無・動作のCG描画について分類した。各分類の種別は、操作方式については搭乗操作とリモコン操作、相似形入力装置操作の3種類、視認方法については直視とTVカメラ映像の2種類とした。反力呈示とCG描画については相似形入力装置を用いた場合にのみ付加できるので、相似形入力装置を使用した実験に反力呈示の有無と動作のCG描画の条件を付加した。写真-10から写真-12に各操作方式での操作状況を示す。

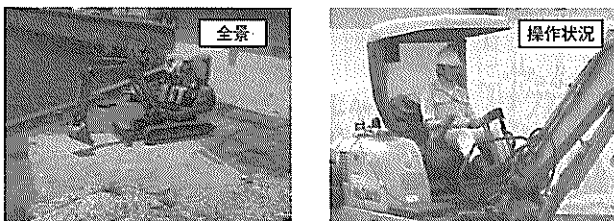


写真-10 平面指示動作実験 搭乗操作状況

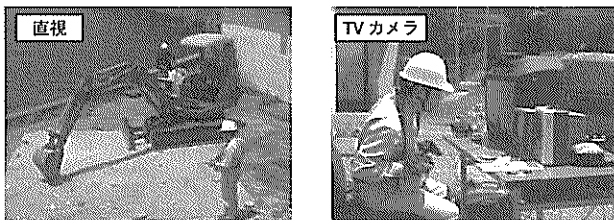


写真-11 平面指示動作実験 無線リモコン操作状況

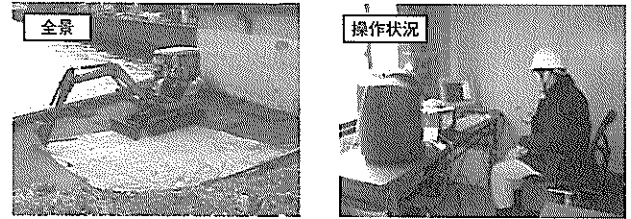


写真-12 平面指示動作実験 相似形入力装置操作状況

また、直視によるリモコン遠隔操作時に操作者の位置とカメラアングルから、視認性の良いアングルについての調査を行った。

遠隔操作時のTVカメラの配置は、全景を撮影するTVカメラを実験機の前上方位置に、バケット部を撮影するTVカメラを運転席とアームに設置した。また、操作者の操作状況を別のTVカメラで撮影した。写真-13から写真-15にTVカメラ設置位置と静止画像を示す。

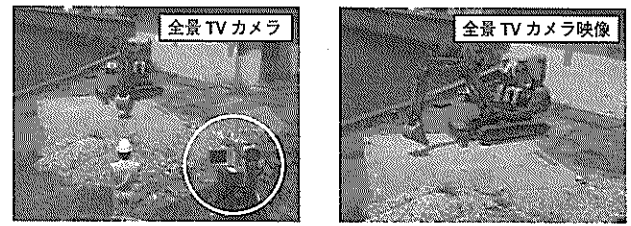


写真-13 全景TVカメラ設置位置と映像

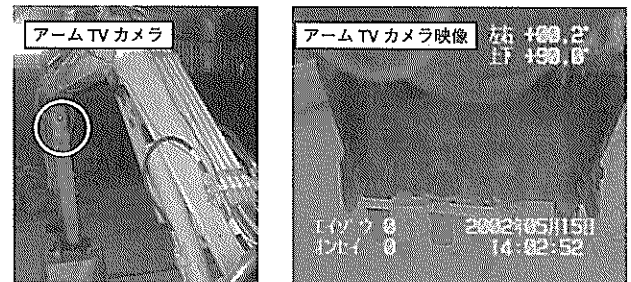


写真-14 アームTVカメラ設置状態と映像

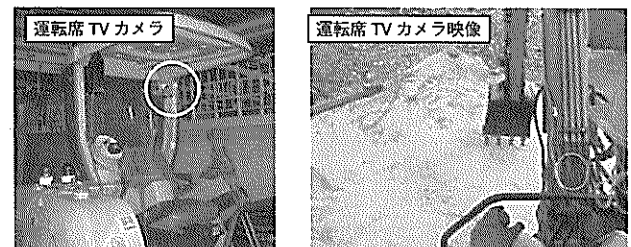


写真-15 運転席TVカメラ設置状態と映像

(2) 実験結果

それぞれの被験者から得られた実験結果のデータを、実験項目別に指示時間と調整回数について目標点別平均値を算出した。

また、全点合計から1点当たりの平均値と操作装置別の平均値を算出した。指示時間の平均値を算出した表を表-5に示し、調整回数の平均値を算出した表を表-6に示す。その結果をグラフ化したものを図-6に示す。

表-5 平面指示動作実験 指示時間の平均値 [sec]

操作方式	搭乗		無線リモコン		相似形入力装置	
	直視	TVカメラ	直視	TVカメラ	有	無
視認方法	-	-	-	-	有	無
反力呈示	-	-	-	-	有	無
CG描画	-	-	-	-	有	無
作業音	有	有	有	有	有	有
1	12.67	17.41	38.03	14.88	20.69	
2	16.64	18.83	26.06	19.44	19.06	
3	15.72	22.21	34.73	15.43	18.43	
4	17.53	17.63	31.90	19.01	13.67	
5	14.78	18.08	24.66	15.87	19.23	
6	13.49	17.56	23.22	13.54	13.88	
7	18.83	14.55	34.84	14.05	13.15	
8	14.68	20.92	32.98	16.10	16.37	
9	17.53	20.41	29.67	12.35	16.32	
10	14.88	17.72	28.32	15.60	18.86	
11	14.81	15.53	34.57	12.95	12.11	
12	14.80	20.73	17.66	14.21	22.50	
13	14.10	13.27	20.19	19.14	17.38	
14	15.32	18.89	23.01	12.50	13.34	
15	14.63	21.28	25.88	16.73	15.02	
16	13.95	18.68	28.36	13.78	12.14	
17	13.02	14.52	20.04	14.34	11.45	
合計	4:17.37	5:08.22	7:54.12	4:19.92	4:33.62	
平均	15.14	18.13	27.89	15.29	16.10	
操作別平均	15.1	18.1	27.9	15.7		

表-6 平面指示動作実験 調整回数の平均値 [回]

操作方式	搭乗		無線リモコン		相似形入力装置	
	直視	TVカメラ	直視	TVカメラ	有	無
視認方法	-	-	-	-	有	無
反力呈示	-	-	-	-	有	無
CG描画	-	-	-	-	有	無
作業音	有	有	有	有	有	有
1	1.3	1.3	1.7	1.2	1.0	
2	2.0	1.3	1.5	1.2	1.0	
3	1.3	1.5	2.2	1.0	1.0	
4	1.2	1.2	1.7	1.4	1.2	
5	1.2	1.0	1.3	1.4	1.0	
6	1.3	1.5	1.7	1.0	1.4	
7	1.7	1.0	2.8	1.0	1.0	
8	1.0	1.5	2.5	1.3	1.0	
9	1.3	1.7	2.0	1.0	1.0	
10	1.7	1.0	1.8	1.5	1.0	
11	1.3	1.3	2.7	1.3	1.0	
12	1.2	1.7	1.7	1.2	1.2	
13	1.3	1.2	1.8	1.2	1.0	
14	1.2	1.0	2.3	1.0	1.0	
15	1.3	1.5	2.8	1.4	1.0	
16	1.2	1.3	1.7	1.9	1.0	
17	1.3	1.5	1.7	1.3	1.2	
合計	22.8	22.5	33.7	21.1	17.9	
平均	1.3	1.3	2.0	1.2	1.1	
操作別平均	1.3	1.3	2.0	1.1		

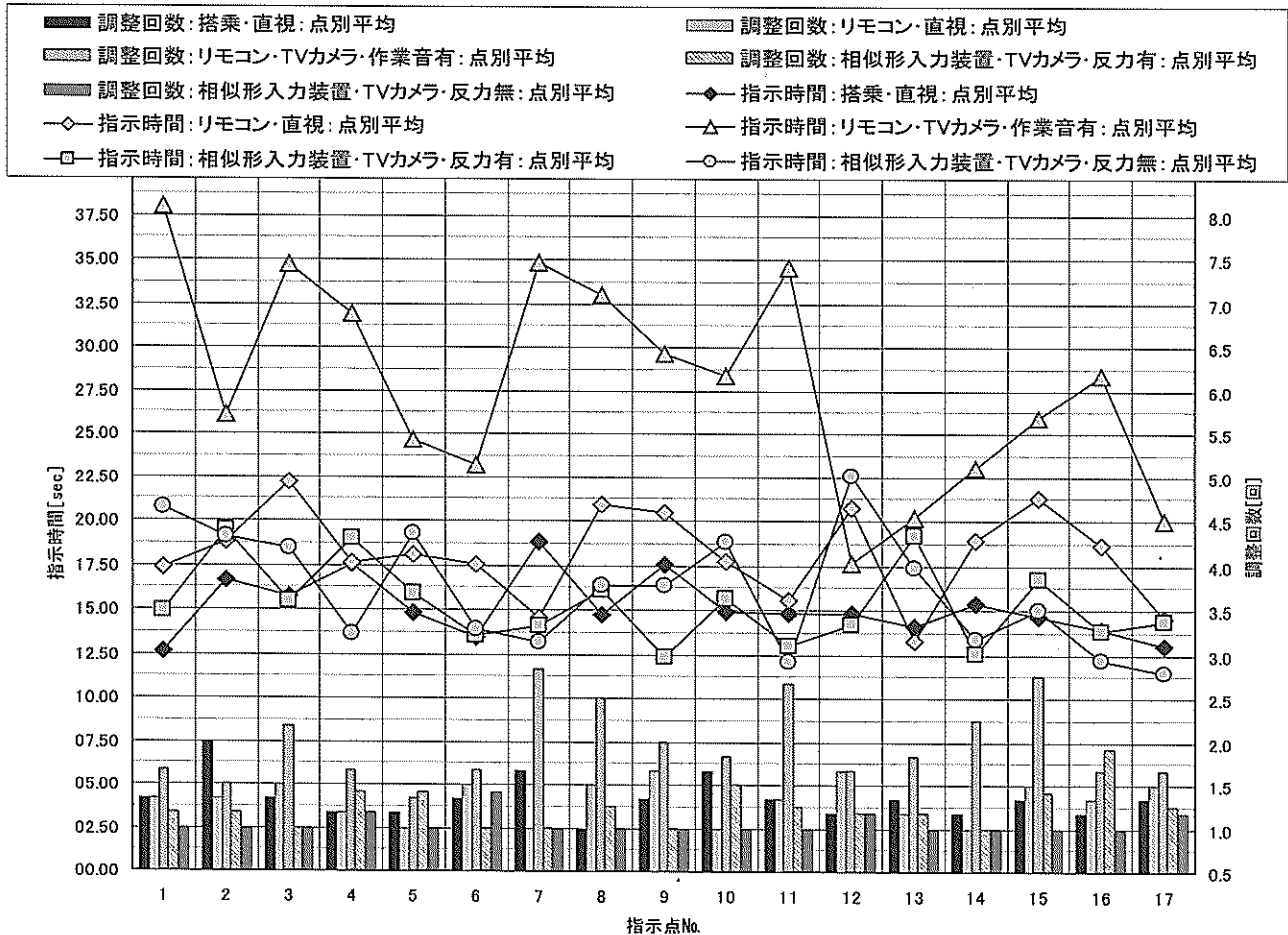


図-6 平面指示動作実験 実験結果グラフ

表一五と表一六、図一六から、搭乗操作と直視によるリモコン操作は、指示時間と調整回数に大きな違いはない。しかしTVカメラを用いたリモコン操作では、指示時間が増加し調整回数も多くなっている。

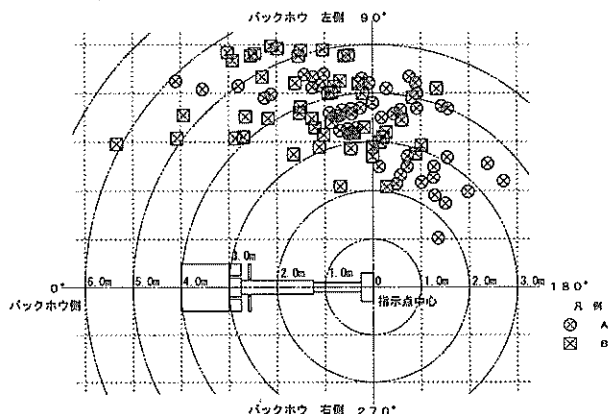
これは、両方とも操作装置が標準操作方式であることから、操作装置による操作効率の低下ではなく、視覚情報の劣化によるものと考えられる。

ここで、搭乗操作と相似形入力装置での操作は、ほぼ同じ指示時間・調整回数でポインティングできていることから、TVカメラで発生した視覚情報の劣化による操作効率の低下を相似形入力装置で補うことができたと考えられる。また、相似形入力装置での操作では、反力の呈示がある方が若干速く指示できている。

操作方法別で1点あたりに要した指示時間を比較すると、搭乗操作：15.1s、直視によるリモコン操作：18.1s、TVカメラを用いたリモコン操作：27.9s、相似形入力装置操作：15.7sとなった。調整回数を比較すると、搭乗操作：1.3回、直視によるリモコン操作：1.3回、TVカメラを用いたリモコン操作：2.0回、相似形入力装置操作：1.1回となった。

このことから指示時間は、搭乗操作、相似形入力装置操作、直視によるリモコン操作の順に良い結果となり、調整回数は、相似形入力装置操作、搭乗操作、リモコン操作、TVカメラを用いたリモコン操作の順に良い結果となった。

次に、直視によるリモコン装置での遠隔操作時に目標点をバケットで指示した時に、実験機の位置と向きに対してオペレータが操作を行っていた場所をプロットしたものを図一七に示す。



図一七 無線リモコン操作時オペレータ操作位置図

図一七で、0度が機体側を示しており、プロット位置が0度に近いほど運転席に近いことを示している。凡例

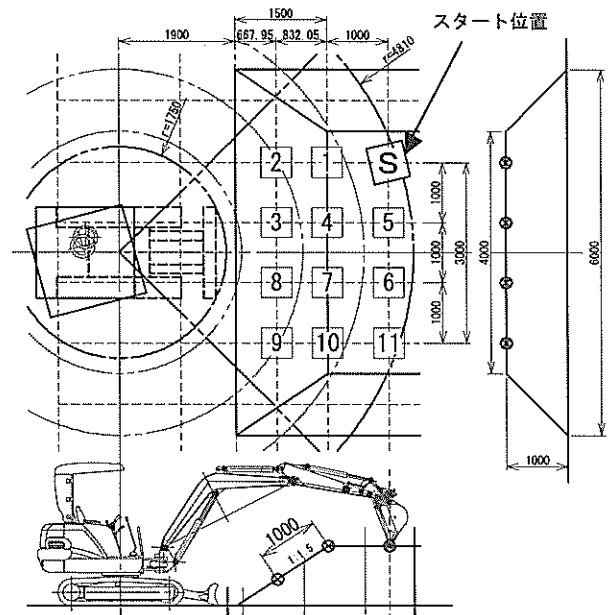
のAとBはオペレータの区別である。

オペレータはバケットの横方向から遠隔操作を行っており、主にバケットの左側や後方に立って目標点を見て操作を行っていたことがわかる。

6.2 立体指示動作実験

(1) 実験方法

立体実験フィールドの各平面に沿って格子状に目標点を1m間隔で11点配置して、ポインティングを行ったときに要した指示時間と調整回数を計測して操作効率を比較した。図一八に立体実験フィールドの目標点配置と実験機位置を示す。



図一八 立体実験フィールドの目標点配置と実験機位置

ポインティングは番号順に行い、それぞれの目標点をポインティングするのに要した指示時間と調整回数は、全景を撮影したビデオから計測した。

実験の種類は、6.1に対し追加した。追加した実験の種類は、TVカメラを用いたリモコン操作時にオペレータを隔離して、作業音が聞こえない環境でポインティングを行うものである。この実験から、作業音の有無による操作効率への影響を調査した。

写真一六から写真一八に各操作方式での操作状況を示す。

TVカメラの配置は、全景を撮影するTVカメラを実験機左後方の位置に、バケット部を撮影するTVカメラを運転席・実験機側面の2箇所を設置した。写真一九から写真二一にTVカメラの設置位置と静止映像を示す。



写真-16 立体指示動作実験 搭乗操作状況

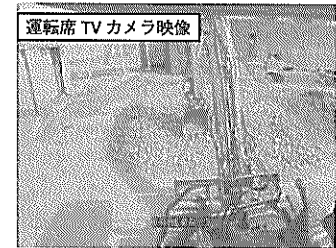
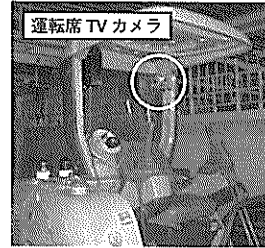


写真-21 運転席 TV カメラ設置位置と映像

(2) 実験結果

6.1と同様の方法で算出した結果を表-7と表-8に示し、グラフ化したものを図-9に示す。



写真-17 立体指示動作実験 無線リモコン操作状況

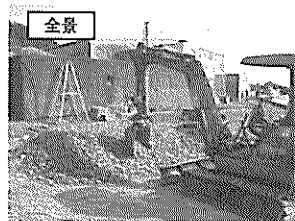
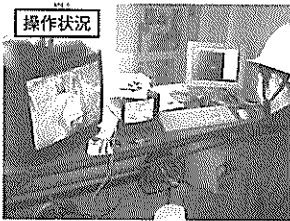


写真-18 立体指示動作実験 相似形入力装置操作状況

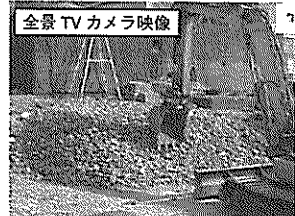
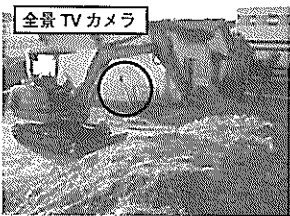


写真-19 全景 TV カメラ設置位置と映像

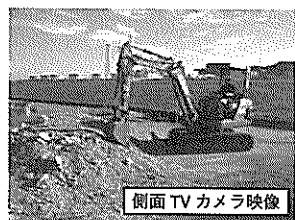
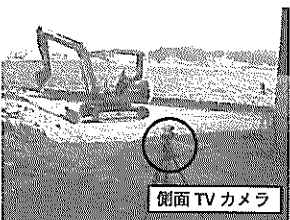


写真-20 側面 TV カメラ設置位置と映像

表-7 立体指示動作実験 指示時間の平均値 [sec]

操作方式	搭乗	無線リモコン		相似形入力装置		
		直視	TVカメラ	TVカメラ	TVカメラ	
視認方法	-	-	-	有	無	
反力呈示	-	-	-	有	無	
CG 描画	-	-	-	有	無	
作業音	有	有	有	無	有	
1	07.78	08.07	15.99	14.18	21.39	16.52
2	07.36	09.18	17.48	17.65	18.09	16.28
3	07.31	11.27	18.43	18.78	16.12	17.34
4	05.42	07.89	14.86	12.46	14.03	13.07
5	06.43	07.95	13.25	14.39	12.37	11.27
6	05.12	06.88	08.29	16.01	14.96	15.36
7	07.12	07.38	12.63	18.00	18.46	20.07
8	07.85	09.72	14.81	21.79	15.69	17.62
9	05.94	09.78	15.54	17.42	14.71	12.80
10	06.62	07.31	13.36	13.96	17.42	15.32
11	07.55	10.77	15.39	18.67	13.34	14.14
合計	1:14.50	1:36.20	2:40.05	3:03.31	2:56.58	2:49.79
平均	06.77	08.75	14.55	16.66	16.05	15.44
操作別平均	6.8	8.8	15.6		15.7	

表-8 立体指示動作実験 調整回数の平均値 [回]

操作方式	搭乗	無線リモコン		相似形入力装置		
		直視	TVカメラ	TVカメラ	TVカメラ	
視認方法	-	-	-	有	無	
反力呈示	-	-	-	有	無	
CG 描画	-	-	-	有	無	
作業音	有	有	有	無	有	
1	1.5	1.2	1.3	1.7	1.2	1.0
2	1.2	1.0	1.0	1.7	1.2	1.0
3	1.0	1.2	1.3	1.2	1.0	1.0
4	1.0	1.2	1.8	1.3	1.0	1.2
5	1.0	1.2	1.2	1.2	1.0	1.0
6	1.0	1.2	1.2	1.7	1.2	1.2
7	1.0	1.0	1.5	2.0	1.0	1.0
8	1.0	1.2	1.2	2.0	1.0	1.2
9	1.0	1.0	1.3	1.5	1.0	1.0
10	1.0	1.0	1.5	1.5	1.0	1.0
11	1.3	1.0	1.5	1.3	1.0	1.0
合計	12.0	12.0	14.8	17.0	11.5	11.5
平均	1.1	1.1	1.3	1.5	1.0	1.0
操作別平均	1.1	1.1	1.4		1.0	

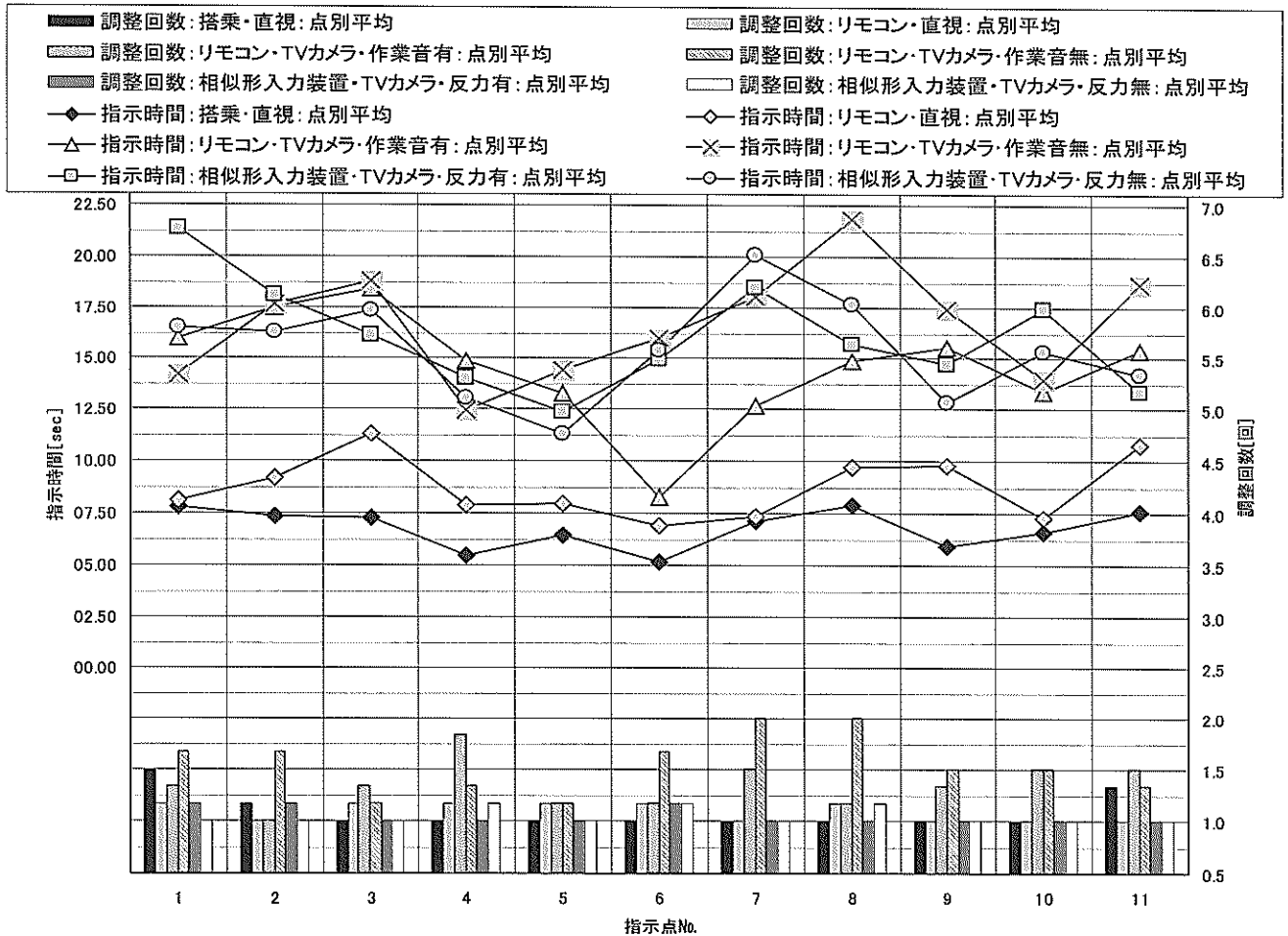


図-9 立体指示動作実験 実験結果グラフ

表-7と表-8，図-9から操作方式別で1点当たり
に要した指示時間を比較すると，搭乗操作：6.8s，直視
によるリモコン操作：8.8s，TVカメラを用いたリモ
コン操作：15.6s，相似形入力装置操作：15.7sとなつた。
調整回数を比較すると，搭乗操作：1.1回，直視による
リモコン操作：1.1回，TVカメラを用いたリモコン操
作：1.4回，相似形入力装置操作：1.0回となつた。

このことから指示時間は搭乗操作，直視によるリモ
コン操作，TVカメラを用いたリモコン操作，相似形入力
装置操作の順に良い結果となり，調整回数は相似形入力
装置操作，搭乗操作，直視によるリモコン操作，TVカ
メラを用いたリモコン操作の順に良い結果となつた。

点別に比較すると，どの操作形式でもグラフの山と谷
の位置がほぼ一致していることから，同じ目標点では，
同じような割合の時間がかかっていることがわかつた。

平面指示動作実験では，視覚情報の劣化による操作効
率の低下を相似形入力装置で改善できたが，立体指示動
作実験では，指示時間はTVカメラを用いたリモコン操
作と変わりなく，調整回数は搭乗操作と変わらなかった。

つまり，調整回数が少なくほぼ1回でポインティングで
きているにもかかわらず，指示時間が増加している。こ
れは，位置を認識することに時間を要していると考えら
れる。

ここで，各目標点の高さが一定であるコンクリート盤
の平面実験フィールドと違い，立体実験フィールドは割
り栗石を積み上げられ形成されていることから，各目標
点に高低差が生じている。

また，ポインティングとは，目標点とバケット先端を
一致させる動作であるが，目標点とバケット先端の立体的
な位置のズレを“0”にする動作と言い替えることが
できる。

これを実験フィールドの特性とポインティングの性質
から，考察すると次のようになる。

目標点の高さが一定である平面実験フィールドにおけ
るポインティングは，全ての目標点の高さは最初のポイ
ンティングで把握することができるが，目標点の平面的
な位置は，目標点ごとに認識する必要がある。このこと
から，高さのズレを認識するよりも，平面的なズレを認

識することが重要であった。以上より、平面実験フィールドでポインティングを行うには、TVカメラの映像をさほど相互に見返す必要がなかった。しかし、目標点の高さが一定ではない立体実験フィールドにおけるポインティングは、平面的な位置のズレに加えて高さのズレを目標点ごとに認識する必要がある。このことから、立体的な位置を認識するためには、TVカメラの映像を何度も相互に見返してズレを認識するために、指示時間を多く要したと考えられる。そして、平面指示動作実験の結果から、相似形入力装置の操作効率で高い正確性を確認しているため、ポインティングには調整回数を要しなかったと考えられる。

6.3 ポインティング実験のまとめ

基本となる操作装置の操作性を3.で、搭乗操作と定めた。ここで、搭乗操作の操作効率を示す指標である指示時間と調整回数の1点当たりの平均値を1.00として、これに対する各実験項目における指示時間と指示調整回数を算出した。表-9に各実験項目における操作効率比較を示す。

表-9 各実験項目における操作効率比較

操作方式	視認方法	反力呈示	CG描画	作業音	平面指示動作実験				立体指示動作実験			
					1点当たり平均指示時間比較		1点当たり平均調整回数比較		1点当たり平均指示時間比較		1点当たり平均調整回数比較	
					指示時間	対搭乗直視	調整回数	対搭乗直視	指示時間	対搭乗直視	調整回数	対搭乗直視
搭乗	直視	-	-	有	15.14	1.00	1.30	1.00	06.77	1.00	1.10	1.00
無線リモコン	直視	-	-	有	18.13	1.20	1.30	1.00	08.75	1.29	1.10	1.00
	TVカメラ	-	-	有	27.89	1.84	2.00	1.54	14.55	2.15	1.30	1.18
相似形入力装置	TVカメラ	-	-	無	-	-	-	-	16.66	2.46	1.50	1.36
	TVカメラ	有	有	有	15.29	1.01	1.20	0.92	16.05	2.37	1.00	0.91
		無	無	有	16.10	1.06	1.10	0.85	15.44	2.28	1.00	0.91

7. 考察

操作装置と操作条件による操作効率の比較を行い、ポインティング実験の結果である表-9を参考として、以下に考察する。

7.1 平面指示動作実験

平面指示動作実験結果から搭乗直視1.00に対して、リモコン操作にした場合の指示時間と調整回数はそれぞれ1.20, 1.00となり、視認方法を直視からTVカメラにすると1.84, 1.54となった。さらに操作装置を相似形入力

装置にすると1.01, 0.92となった。このことから、TVカメラを用いた遠隔操作で、リモコン装置を相似形入力装置に変更することによって、指示時間は45%減少し、調整回数も40%減少したので、操作効率が改善されたことになる。これは、搭乗操作とほぼ同程度の操作効率であり、操作の正確性を示す調整回数では、搭乗操作を上回る能力が確認できた。

この結果は、相似形入力装置の有効性を示している。標準操作方式操作装置である搭乗操作とリモコン操作は、ブーム・アーム・バケットをそれぞれ独立して作動させるために、どの部材を動かせば良いのかを考えながらの操作になる。それに対して相似形入力装置での操作はペン先を目標とする位置に持っていくだけで、ブーム・アーム・バケットが連動して作動するため、フロント部の姿勢を把握しにくいTVカメラの場合においても、直感的な操作が可能であると考えられる。

7.2 立体指示動作実験

立体指示動作実験の結果、操作方式を搭乗からリモコン操作にすると搭乗直視1.00に対して指示時間と調整回数は1.29, 1.00となり、視認方法を直視からTVカメラにすると2.15, 1.18となった。さらに操作装置を相似形入力装置にすると2.37, 0.91となった。このことからTVカメラを用いた遠隔操作でリモコン装置を相似形入力装置に変更することで、指示時間は10%増加し、調整回数は23%減少した。操作のスピードを示す指示時間では効率が低下したが、操作の正確性を示す調整回数では効率が向上した。

これは、平面指示動作実験で、相似形入力装置による操作効率の向上効果が確認されていることから、目標点とバケット先端の立体的な位置のズレの把握を、CGなどで短時間で補うことができれば、指示時間が短縮され操作効率が改善されると考えられる。

7.3 作業音の影響

操作環境情報呈示の比較として、作業音の有無による比較と反力呈示の有無による比較を行った。作業音の有無による比較は平面指示動作実験のTVカメラを用いたリモコン操作で行い、反力呈示の有無による比較は平面指示動作実験と立体指示動作実験のTVカメラによる相似形入力装置で行った。

作業音がある場合に対して作業音が無い場合は、指示時間と調整回数共に15%増加した。このことから作業音は有用と考えられる。

7.4 反力呈示の影響

反力呈示が有る場合に対して反力呈示が無い場合は、平面指示動作実験において指示時間で5%の増加、調整回数で8%の減少、立体指示動作実験において指示時間で4%の減少、調整回数では増減なしであり、反力呈示による操作効率に影響はない。

今回は陸上での実験であり、TVカメラの映像にはバックホウや周囲の状態が映っていた。しかし、このシステムの実用時には、バックホウは水中にあるので、機体や作業状況を直接映像で確認することはできず、AR用仮想映像が水中作業状況を認識する主な情報取得手段となる。これに加えて反力や作業音があれば、確実にバケットの接触情報や機体の異常などを聴覚と触覚で認識することができ、オペレータにとってより現実感のある遠隔操作が可能になると考えられる。

よって、陸上実験で操作効率に影響が無くとも、反力呈示や作業音といった情報を削除する必要はないと考える。

7.5 改良点の抽出

相似形入力装置の現状での特性から、以下に説明する2点の改良点を抽出した。

本実験では、旋回はイスを左右に回転する動作で行った。しかし、旋回を停止させる中立範囲が狭く、被験者は旋回を停止しているつもりでも機体が旋回していたことが多く見受けられ、これを修正するためにタイムロスが発生していた。また、この方法ではオペレータは足を床を踏ん張って体をひねる運動をすることになり、疲れることがわかった。このことから、旋回操作方法を改善することにより、相似形入力装置での指示時間を短縮できることが考えられる。

標準操作方式の操作装置では、オペレータは手首の動作だけで操作するので、疲労感をあまり感じずに操作することができたが、相似形入力装置では腕を持ち上げた状態で操作することと、現状では足の踏ん張りや体のひねりなど体全体での操作となり疲れやすく、長時間の操作に疲労度が大きいことがわかった。

また、相似形入力装置での遠隔操作における操作環境から、以下に説明する1点の改良点を抽出した。

立体指示動作実験において、指示時間で良好な結果が得られなかった、しかし問題点が立体的な位置のズレを早く認識することであることから、この問題を解決することにより、指示時間が短縮され、操作効率が改善されることが考えられる。

7.6 TVカメラアングルの利用

平面指示動作実験における直視によるリモコン操作で行ったオペレータの操作位置の調査では、オペレータの位置の変化は遠隔操作を行いやすいアングルが存在することを示しており、TVカメラの映像やCG映像など、どのようなモニタ画面においても、遠隔操作を行いやすいアングルが存在すると考えられる。この実験結果は、水中施工のAR用仮想映像の設計に反映できると考えられる。

8. 結論

操作効率を評価し比較できる手法であるポインティング実験を考案し、その実験から視認方法の違いと操作装置の違いによる操作効率を比較した。得られた実験結果を考察することで、以下の結論が得られた。

- ① 操作効率を比較する操作装置を選定した。
- ② バックホウの操作効率を評価するポインティング実験を考案した。
- ③ 平面指示動作実験において、遠隔操作時の視覚情報の劣化による操作効率低下を、相似形入力装置により補えることを確認した。
- ④ 相似形入力装置による操作で、反力呈示の有無による操作効率への影響はほとんどなかった。
- ⑤ 作業音は操作効率向上に有効である。
- ⑥ 現状の相似形入力装置では、長時間の操作には疲労度が大きい。

以上より、視覚情報が劣化した環境において、遠隔操作型バックホウの操作効率改善には、相似形入力装置が有効であることを確認できた。また、疲労度の改善、旋回指令方法など改良すべき点が明らかになった。

9. あとがき

今回実験に用いたバックホウは、GPSや旋回角度検出装置、機体の傾斜を検出する傾斜計を装備していなかった。

実用化を考えると、バックホウの一連の作業を可能にするために、バケット先端の三次元座標位置を、絶対座標で認識できるように、上記の装置を装備する改造の必要がある。また、履帯の遠隔制御を行う装置の開発は今後の課題である。

今後は、これらの改造と先に開発したARと相似形入力装置を組み合わせることにより、広範囲の均し作業について実験を行う予定である。

謝辞

本資料の執筆を行うにあたり、施工・制御技術部の方々はもとより、筑波大学の講師矢野博明氏、大学院生岩崎正揮氏からも日頃より有益なご助言やご示唆、ご指摘を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Masaki ISHII, Shinkichi OSHIRO and Takayoshi ITOH: The Development and Utilization of the "Underwater Backhoe," a Multifunctional Underwater Construction Machine, IEEE Proceedings of the 2000 International Symposium on Underwater Technology vol.22-26, May 2000, pp.319-322
- 2) 金山裕幸: 水中施工機械「水中バックホウ・ビッグクラブ」による施工コスト削減対策について, 第16回港湾技術報告会概要集
- 3) 白井一洋, 吉江宗生, 佐藤栄治: 超音波ホログラフィーによる水中視認技術の開発, 港湾空港技術研究所資料, No.1009, 2001年9月
- 4) 国土交通省関東地方整備局, 横浜港湾空港技術調査事務所, 社団法人日本作業船協会: 平成12年度水中ロボット技術開発調査, 2001年3月
- 5) 田淵郁男: ナローマルチビーム測定の現況と課題, 港湾空港技術研究所資料, No.1014, 2001年12月
- 6) 日本工業標準調査会: 土木機械-操縦装置, JIS A 8919, 2000年11月
- 7) 社団法人日本機会学界: 機械工学辞典, 社団法人日本機会学界, 1997年, pp1024-1025.
- 8) 平林丈嗣, 酒井浩, 秋園純一, 内海真, 山本恭: 触像を用いた油圧汎用施工機械の遠隔操作に関する研究, 港湾空港技術研究所報告書, 2003年
- 9) 平林丈嗣, 酒井浩, 秋園純一, 内海真, 山本恭: バイラテラル制御に対応した遠隔操作型バックホウの開発, 港湾空港技術研究所資料, 2003年
- 10) 平林丈嗣, 吉江宗生, 内海真: 水中施工ロボットにおけるARを用いたM-Mインターフェイスの構築, TECHNO OCEAN2000, 2000年, pp411-414.
- 11) 財団法人先端技術建設技術センター: 緊急時の無人化施工ガイドブック, 2001年7月

港湾空港技術研究所資料 No. 1065

2003.12

編集兼発行人 独立行政法人港湾空港技術研究所

発行所 独立行政法人港湾空港技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号
TEL.046(844)5040 URL.<http://www.pari.go.jp/>

印刷所 ニッセイエプロ株式会社

Copyright © (2003) by PARI

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of PARI.

この資料は、港湾空港技術研究所理事長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載、複写は港湾空港技術研究所理事長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。