

機関番号：82707

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009 年度～2010 年度

課題番号：21760349

研究課題名（和文）水中作業機械用高度遠隔操作インタフェースに関する研究

研究課題名（英文）Research on Teleoperation Interface for Excavator to Unmanned Underwater Construction

研究代表者

平林 文嗣（HIRABAYASHI TAKETSUGU）

独立行政法人港湾空港技術研究所 新技術研究領域 計測・システム研究チーム研究官

研究者番号：80392976

研究成果の概要（和文）：

港湾工事における水中作業は潜水士に依存している．そこで重量物を把持固定し同時に加工する作業を想定し，精密な動作を行える電動アームをフォーククラブアタッチメントに追加することとした．新たに左手用のインタフェースを製作し，その機構や作業性についてミニシヨベルによる実験を行ない，鋼材把持と溶断の同時作業を実現した．本技術を活用することで，水中での安全で効率的な機械化作業が期待できる．

研究成果の概要（英文）：Mechanization of diving operations is necessary for safer and more efficient underwater construction works in port areas. Operation of the man-machine interface should be easy and intuitive for efficient works when using a remote-controlled underwater excavator. The mechanization of the heavy work for underwater can be expected by the result of this research.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	900,000	270,000	1,170,000
2010 年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,000,000	600,000	2,600,000

研究分野：工学（機械）

科研費の分科・細目：土木工学・土木材料・施工・建設マネジメント

キーワード：水中建設機械，遠隔操作，港湾工事，マニピュレータ，操作インタフェース

1. 研究開始当初の背景

港湾施設はその大部分が水面下に構築されるため，その整備や点検・診断，維持・補修の多くは水中での作業となるが，現状ではこれらの作業について潜水士に依存している（図-1）．このような水中作業を一層安全で効率的に行うことができる技術の確立が急がれている．本研究所では，過年度の水中バックホウ遠隔操作に関する成果（図-2）を基に，点検診断・維持補修を目的とした重作業用ロボットアームとして利用することを提

案しており，2007 年度よりマニピュレータ化に関する研究を行っている．バックホウはバケットの代わりにアタッチメントを取り付けることで，把持，カッター，ブレードなど様々な作業に適応することができる汎用作業機械であり，水中維持補修作業においてもその汎用性は期待できる．そこで，水中作業における機械化の基礎技術として，フォーククラブアタッチメントを搭載し，ハンドリングマニピュレータ作業機械システムを構築した．これは将来的な維持補修作業や大水

深での工事に潜水士の手作業の代替となる技術として期待できる。



図-1 潜水士による水中均し作業



図-2 水中建設機械の遠隔操作作業実験

しかし、フォークグラブを取付けた水中バックホウではエンドエフェクタが1つであるため、重量物の把持・移設など単純な作業しか行う事ができない。また、一部の建設機械メーカーが開発している双腕型建設機械では大掛かりな初期投資・改造費が必要であり、すべての関節が油圧駆動であるため、高精度な位置決めには適していない。

そこで本研究では、フォークグラブアタッチメント部分に電動の補助アームを設置することで、簡易的な双腕型建設機械を提案した。

アタッチメントに設置することにより、本体側に改造を必要とせず、既存のバックホウにも適応可能なほか、電動アームの追加による高精度位置決めが可能な軽作業（溶接・溶断・掘孔など）と従来のフォークグラブアタッチメントによる重作業を同時に作業することが可能となる。

このような水中バックホウの多機能化により、水中作業における安全で効率的な機械化・無人化に繋ぐものである。

2. 研究の目的

本研究では、フォークグラブアタッチメン

トに軽作業用電動アームを取り付け、水中で重量物を把持しながら、溶断・孔開け等の作業が行える作業機械システムを提案した。

しかし従来のバックホウの操作系について考えると、ブーム・アーム・バケット・旋回の自由度は独立して両手のレバーにより制御する。またフォークグラブの開閉・回転はフットペダルで制御する。

このため新たに設置する軽作業用電動アームを制御するためには、従来の入力方式を見直す必要がある。

当所における過去の研究として、水中バックホウのマニピュレータ化に関する研究を実施していた。これは各自由度を独立して入力する従来の入力ではエンドエフェクタの座標が円弧運動の複合となり、マニピュレーション作業中の直線的な軌跡をとることが困難な問題について、油圧バルブ開度の補償値をアームの重心位置に応じてあらかじめマップ化し、制御系に組み込むことで解決を試みている。(図-3)

その際の入力方式はエンドエフェクタの位置を直接指示するため、USBのジョイスティックを横置きにして操作しており、さらにフォークグラブの制御はボタンに割り振っているため、建設機械本体の制御については既に片手での操作を実現している。

このため、軽作業用電動アームは左手のみで行うこととし、左手による効率的な操作のためのインターフェース(図-4)について、その機構や制御系について研究を行なう必要があった。

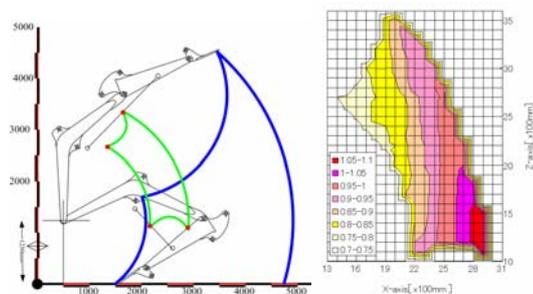


図-3 アーム重心位置と補償値

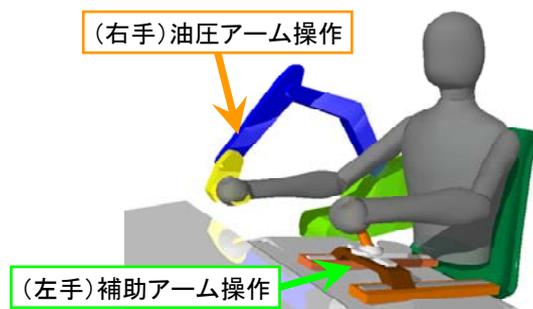


図-4 操作インターフェースイメージ

3. 研究の方法

2009 年度はベースとなる左手インタフェースを開発し、複数の制御方法についてスタンドアロンでの実験を行なうこととした。

人間がハンドドリルなど手持ち工具を使って作業する場合、工具位置の位置決めは当然ながら、作業中の反力は状況把握に対し重要な情報となる。特に遠隔操作の場合、目視による状況把握だけでなく、作業反力の呈示は有効であると考えられる。

しかし一般に利き手ではない左手では、複雑な操作入力は効率低下に繋がるため、工具の位置決めと奥行き方向の入力を分けることとし、位置決めにはジョイスティックを、奥行き方向の入力を直動スライダとするインタフェースを開発した。さらに負荷力を呈示するためのエンコーダー付き DC モータを設置し、呈示反力を計測するためのフォースセンサを左手首部分に設置した。(図-5, 6)

本実験装置により、入力方法と電動アーム機構(自由度)の検討、および情報呈示に関する実験を行なった。

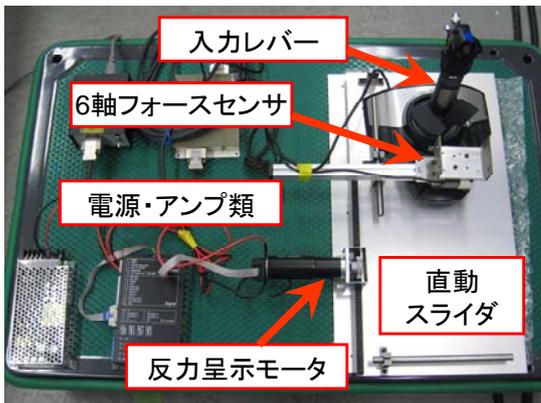


図-5 左手インタフェース



図-6 フォースセンサ位置

左手の場合、過度な情報呈示は不必要であり前後の位置情報のみ呈示することとした。そのため本システムでは前後方向の力を左手首より感知し、Slave 側を速度制御させ、その位置情報を Master で提示させる、力逆

送型の Master-Slave を反転させた制御系について構築した。しかしこの方式では Slave の挙動に遅延がある場合、Master であるスライダも遅れて移動してしまい、左手首の力の入力が抜けるなど、不安定な挙動になることが確認された。

そこで、応答性の高い Master の速度を左手首フォースセンサにより制御し、スライダの位置情報を Slave に送る位置対称型バイラテラル制御を構築した。しかし、この方式では Slave の情報が呈示できないため、Slave 側にも力の検出機構をもうけ、Slave に一定以上の負荷があった場合に、力帰還型制御に移行する手法とした。図-7 は Master の位置とフォースセンサ入力、Master モータ出力を示した図である。無負荷状態では、フォースセンサに応じ、入力と同方向に動くように Master モータを駆動する。左軸で 10,000 の位置で Slave 側に負荷が生じたすると、Slave の反力を呈示するように Master モータを駆動する。ただし本図では Slave が存在しないため、左手首フォースセンサの値の逆値を反力とした。さらに Slave 側の負荷が減少し設定した閾値以下になった場合、通常的位置対象型に戻る。

この制御により、リニアな操作感と位置情報・反力情報の呈示を実現した。

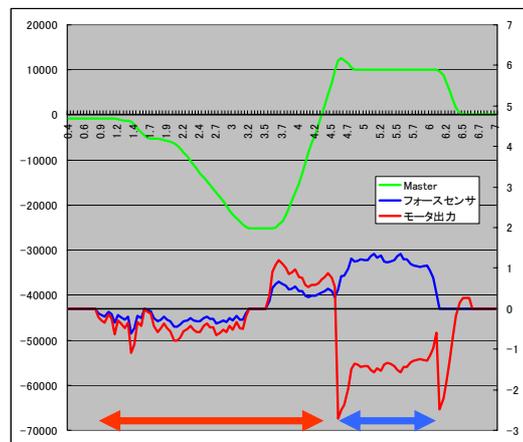


図-7 制御時の出力図

2010 年度は 3 軸自由度の電動アームを製作しバックホウフォークグラブに設置した(図-8)。さらに平成 21 年度成果の左手インタフェースを既存のバックホウ遠隔操作システムに組み込んだ。

ただし機構的な問題から、Slave 側の反力センサが設置できず、前年度の制御方法について、Master-Slave 間の位置差分が押し付け方向に一定以上の値となった場合に負荷として感知する方法とした。そのため本システムにより動作試験を行ったところ、押し付け方向についての力の再現や反力の呈示について課題が残ったが、接触の判断については

十分可能であった。

上下左右の制御については、ジョイスティックで行っており、任意の位置への位置決めと、等速運動が可能であった。

次に本軽作業電動アームの先端部にエアプラズマ溶断器のハンドトーチを設置し、把持鋼材の溶断作業試験を行なった。(図-9)

タスクとして、1mm厚の鉄板で突起をつけたワーク(H鋼)を把持し、その突起部分の一部を溶断することとした。作業は遠隔操作で行い、作業中は直接目視が可能な距離から行なった。

実験中、エアプラズマ溶断機のアークが発生した瞬間に誤動作が発生することがあり、危険回避のため溶断作業中はバックホウの油圧動力源は停止させた。

使用したエアプラズマ溶断機がポータブル型であったため出力が低く、切断には複数回の横行運動を行なう必要があったものの、当初の目的であった重量物把持と複雑な軽作業を同時に実現可能な、建設機械のマニピュレータが実現できたと考える。



図-8 軽作業用電動アーム設置状況

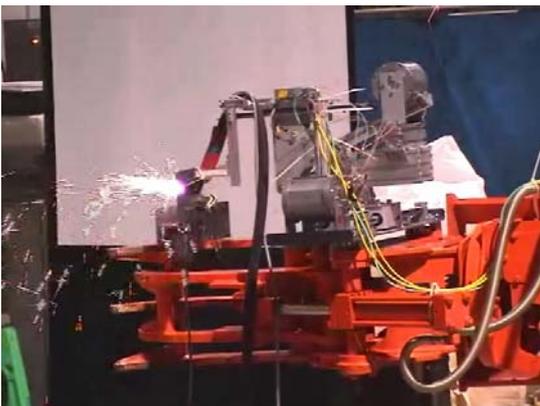


図-9 エアプラズマ溶断作業

4. 研究成果

利き手ではない側での操作の場合、複雑な操作入力や情報呈示は混乱を招く恐れがある。そこで直動スライダにより位置情報を呈

示、押付け力を入力とする操作インタフェースを製作した。

本インタフェースによりバックホウに新たに設置した電動アームを制御し、重量物を把持しつつ溶断など複雑な作業を実現した。

本成果により、いままで潜水士の手作業に依存してきた水中作業において、安全で効率的な機械化作業が期待できる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計3件)

- 1) 平林丈嗣，田中敏成，“水中建設機械を対象とした操作インタフェースの研究”，第28回ロボット学会学術講演会，2010年9月22日，名古屋工業大学
- 2) 平林丈嗣，吉江宗生，白石哲也“水中用建設機械のマニピュレータ化に関する研究”，第12回建設ロボットシンポジウム，2010年9月7日，早稲田大学
- 3) 平林丈嗣，田中，“水中バックホウのマニピュレータ化に関する研究”，平成21年度建設施工と建設機械シンポジウム，2009年11月10日，機械振興会館

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1)研究代表者

平林 丈嗣 (HIRABAYASHI TAKESTUGU)

研究者番号：80392976

(2)研究分担者

()

研究者番号：

(3)連携研究者

()

研究者番号：