

【災害復旧・危険個所／無人化施工】

技 術 名	簡易遠隔操縦ロボット
番 号	No. 6. 1-10
発 注 者	長崎県
施 設 名	水無川地区火山地域
所 在 地	長崎県島原市
工 事 名 称	水無川（赤松谷 1 工区）地区火山地域総合治山工事
施 工 期 間	1998 年 10 月～2000 年 6 月
施 工 者	(株)フジタ
キーワード	搭載型ロボット、映像伝送、無線操縦
<p>(1) 概 要</p> <p>1) 工事概要</p> <p>1990年に発生した雲仙普賢岳の噴火に伴う火砕流災害では、無線による遠隔操縦型の特殊なバックホウやブルドーザー等が用いられ、災害復旧に多大な貢献を果たした。しかし災害対策では、台数の制約・道路搬送上の規制・現場映像情報の把握など課題を残している。そこで、土砂災害における復旧を念頭に、汎用の建設機械に簡易に搭載可能な遠隔操作ロボットの開発を行った。</p> <p>2) 技術概要</p> <p>遠隔操作ロボットは、汎用バックホウにロボットを固定するフレームユニット、空圧シリンダー及びモータに対しサーボバルブにより空圧を制御するサーボユニット、空気圧制御等を実施するコントロールユニット、バックホウレバーを動かすアクチュエーションユニット、映像伝送のためのモニタリングユニット等から構成される。</p> <p>(2) 技術の詳細</p> <p>1) 開発のコンセプト</p> <p>① 可搬性：緊急時を想定し、手軽に人力で運搬ができること。多少の距離の移動に不都合を伴わない。</p> <p>② 装着性：ロボットを構成するユニットの取り扱いが簡潔で、確実にシステムを組み立てることができる。</p> <p>③ 適用性：汎用バックホウの操作に機能に合致し、機種は問わない。</p> <p>④ 操作性：違和感の無い操作感覚を有し、操作精度に優れている。</p> <p>各ユニットはケースに収納し簡単に運搬でき、シートの取り外しを含めても 2～3 時間程度で組み立てられる。総重量は 180kg であるが、数 10kg 程度に分割した各ユニットは人力により運搬・移動が容易である。</p> <p>搭載カメラには、作業中に発生する建設機械の振動・衝撃を考慮して小型化されている。</p>	

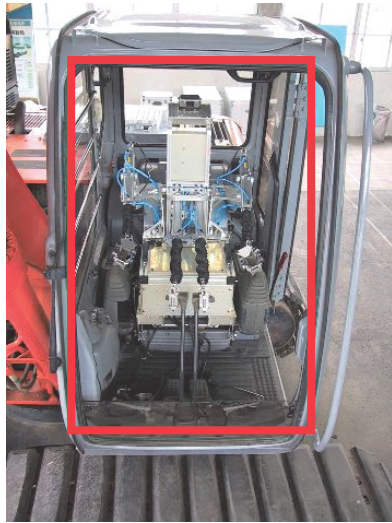


写真-1 ロボット装着風景

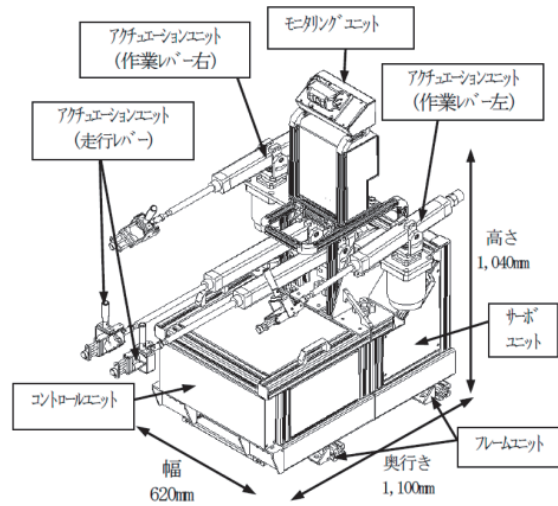


図-1 遠隔操作ロボット

## 2) 映像伝送

運転席のモニターユニットに設置したカメラ映像は、映像伝送装置によりオペレータまで送信し、ヘッドマウントディスプレイ（HMD）に映し出され、オペレータは映像を見て、ロボットを操作する。

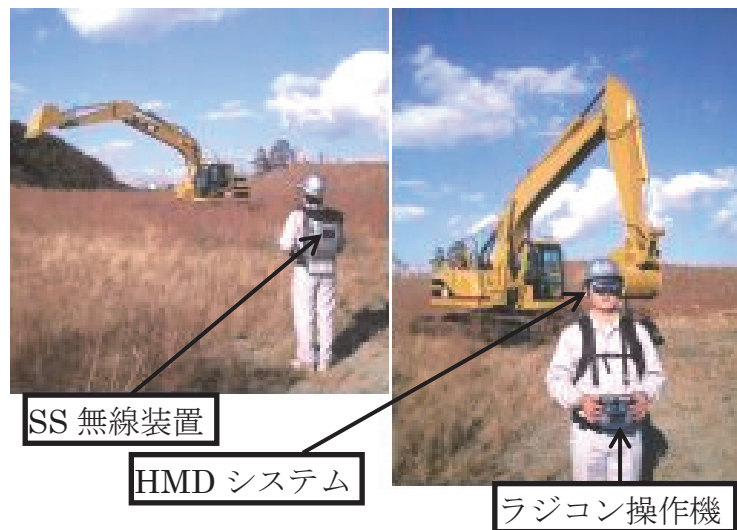


写真-2 HMD システム

## 3) 無線

無線による制御信号は電圧に変換されエアーバルブ制御を行い、ラジコン操作に追従するようにバックホウ操作レバーを駆動する。

制御用としては、指向性がなく移動体の通信に適した特定小電力無線を使用しており、遠隔操作距離は 150m～200m 程度である。映像用としては動画の伝送に適した SS 無線を使用。

### (3) 結果

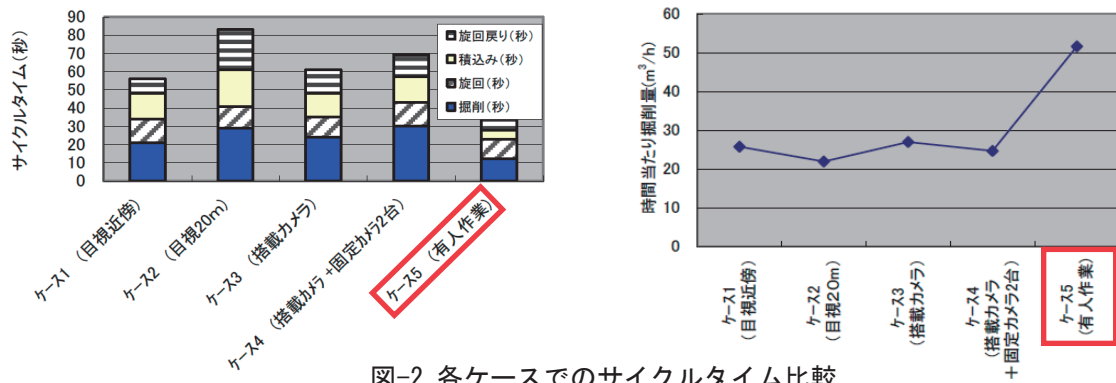


図-2 各ケースでのサイクルタイム比較

- ① 遠隔操作未経験者が、6時間程度行えば、ほぼ操作に慣れると判断できる。
- ② 掘削・積込等は有人に対して2倍程度の時間を要するが、旋回はほとんど差異がない。
- ③ 施工能力は有人作業に対して43%～55%程度である。
- ④ 遠隔操作は、搭載カメラによる視覚情報で可能になり、緊急時や危険区域での作業には対応できる。精度を必要とするような作業については、搭載カメラの台数、設置位置を考慮して2方向以上からの資格情報を提供することが有効である。



写真-3 現場全景

#### 災害活動事例

2000年6月大分県別府市朝見川上流において、右岸斜面の土砂約2000m<sup>3</sup>が崩落した。延長25mにわたり河道を閉塞し、崩落面は直立して天端にはクラックが発生したため、二次災害の危険から有人施工は極めて危険な状況にあったため遠隔操作ロボットが出動した。

取付調整員3名により遠隔操作ロボットの組立・装着に要した時間は延べ3時間。遠隔作業段階に応じて規格の異なるバックホウにロボットを載せ替え、効率的に施工を行った。

除去作業は12日間行われ、土砂除去作業の施工能力は約31.2m<sup>3</sup>/hであった。一方で、有人作業(計算値)は47.7m<sup>3</sup>/hとなる。従って、遠隔操作ロボット操作による施工能力は有人作業の65.5%となった。



写真-4 遠隔操作ロボットを装着したバックホウ

<p>参 考 文 献</p>	<p>「遠隔操作ロボットの開発と実用化」、フジタ(株) 茶山、藤岡、五ノ井、国交省九州地整 藤本、久保田、吉永、土木学会誌技術レポート Vol. 88(No. 1). pp. 75-77、2003. 1</p>
<p>備 考</p>	<p>大分県別府市朝見川上流土砂災害復旧工事          受賞歴：『全建賞』（社）全日本建設技術協会、2000. 6          『実用化技術省』日本ロボット学会、2002. 1          『今年のロボット大賞・優秀賞』経産省・日機連、2006. 12</p>

技術名	無人化施工ロボット
番号	No. 6. 1-11
発注者	建設省九州地方整備局
施設名	水無川2号砂防ダム
所在地	長崎県島原市
工事名称	水無川2号砂防ダム越流部Ⅱ期建設工事
施工期間	1998年9月～1999年9月
施工者	(株)フジタ
キーワード	自律分散型制御、ルート計画モジュール、自律走行モジュール、ファジー推論制御

(1) 概要

雲仙普賢岳は、1990年に噴火活動を開始した。災害復旧工事・対策工事のように、工事者の人命に関わる危険に対する安全性の確保が現実問題として主たる目的となり、労働者の高齢化・省力化対策としての無人化施工技術を実用化させることが急務となった。

自律分散型制御システムは工事のトータルコストで大きな割合を占めるオペレータの労務費を削減することでコスト縮減を図る目的がある。ダンプトラックやブルドーザ、振動ローラといった重機の動きは、所定の場所を行き来するような作業となるため、省人化の対象として無人締固めロボットの開発に至った。

無人化施工による砂防ダム建設工事は、堤長約500m、堤高約15mをRCC工法(Roller Compacted Concrete)により築造。

実質稼働総合時間：約34時間 実質総転圧面積：約4700m<sup>2</sup>

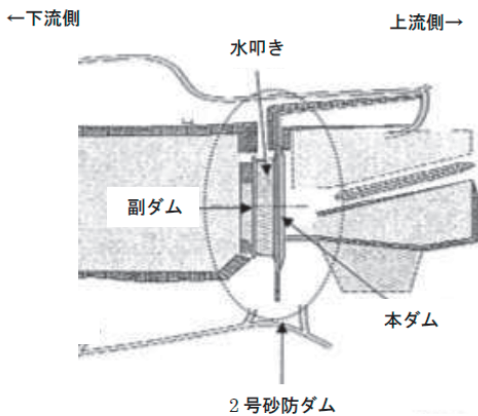


図-1 水無川2号砂防ダム平面図

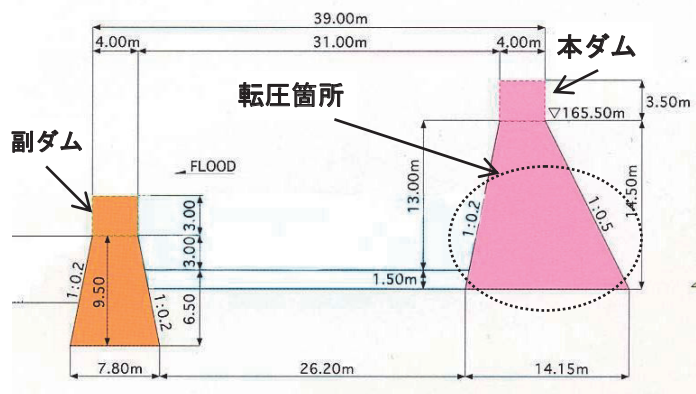


図-2 水無川2号砂防ダム断面図

(2) 技術詳細

1) システムの利点

- ① 1人のオペレータが複数の無人重機を群管理することが可能であり省人化につながる。
- ② オペレータ無しで夜間作業が可能のため、現場技術者の時間的制約が少なくなる。
- ③ 夜間作業が可能になり、1日の作業量を向上させることから、工期短縮につながる。

## 2) 特徴

本システムには通信のバックボーンにインターネット技術を導入していることで、構築されたネットワーク内に効率よくインテリジェンス機能を分散配置している。

以下①～③が分散処理の各モジュールである。

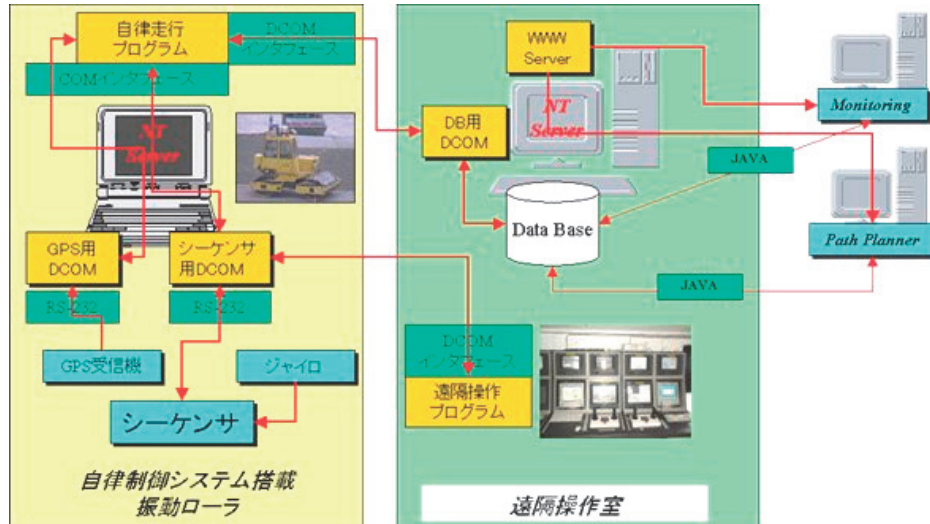


図-3 分散処理技術を利用したシステム系統図

### ① ルート計画モジュール

『Path Planner』と呼ぶソフトウェア上でどのような走行をさせるかを計画し、パラメータを入力する。この情報はデータベースに蓄積される。このソフトウェアは JAVA 言語でコーディングされているので、JAVA 対応ブラウザがインストールされていれば、世界中どこからでもダウンロードして操作が可能。

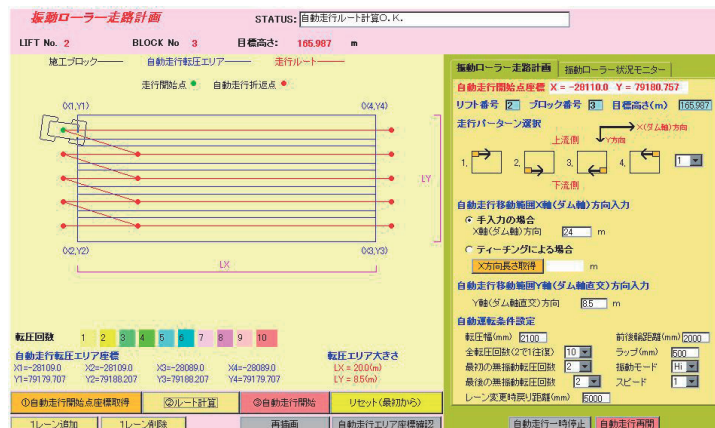


図-4 ルート計画モジュール画面

### ② 自律走行演算制御モジュール

RTK-GPS 受信機と光ファイバージャイロから得られる座標・方向データを演算し、ロボットの位置をリアルタイムにミリ単位で求める。その後、自己位置が計画線からどの程度離れているかを計算し、それに応じてステアリング制御を行う。

### ③ ファジィ推論による制御

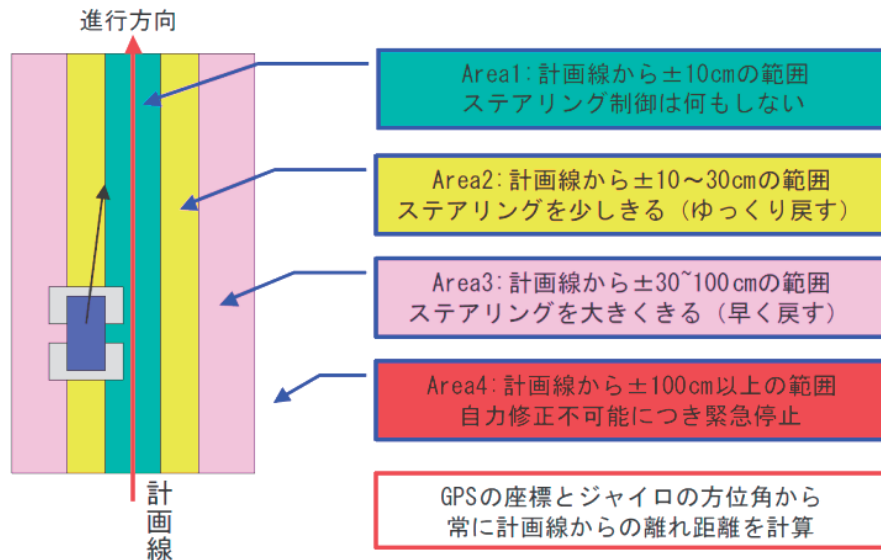


図-5 自律制御ロジック

無人化施工において、オペレータに依らず自律制御させるためには、より人間に近いファジィ推論に基づいた制御が必要となる。

本モジュールは、『計画線から位置がずれている』または『計画線に対して進行方向の角度がずれている』ならば『ステアリングをきる』という推論条件で制御を行う。

### (3) 結果

無人締固めロボットの走行実験は、スタート時に計画線から約 300mm 離れた位置から出発し、自律制御により徐々に計画線に近付けることを目的として行なったものである。図-6 から

- ① 操舵を行なって進行方向を計画線に向ける
  - ② その方向に進むようにステアリングを戻す
- という制御を繰り返しながら計画線に近づけていることがわかる。

また、位置情報データは、1~3 秒の間で確実に記録されており無人締固めロボットの自律制御がリアルタイムに実行されていることを確認した。

これは、無人締固めロボットのステアリング制御にファジィ推論を採用したことと、通信システムが問題

なく稼働できたためである。市販のパソコン等だけで初期導入ができ、設備費の縮減、オペレータ兼務による省人化の効果も確認。日中コンクリートの打設に 5 時間、転圧作業に 4 時間かかっていたとすると、転圧作業を時間外に実施することで打設を 9 時間実施することができる。工期短縮約 40%、コスト縮減約 25%が可能である。

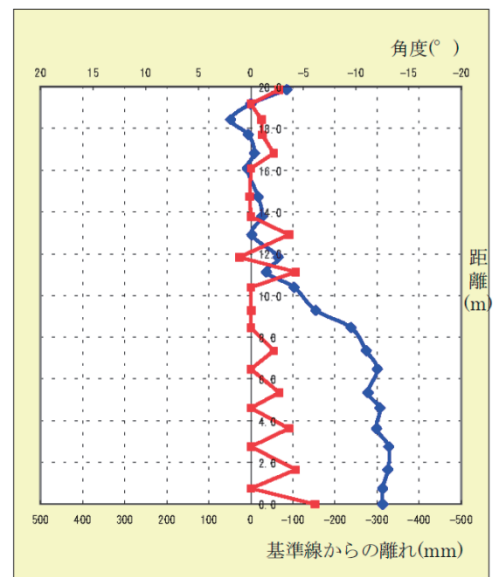


図-6 走行実験結果



図-7 無人締め固めロボットによる走行実験結果

### 1) 課題

- ① オペレータ全員がパソコンに精通している状況ではないためオペレータのレベルに差が生じる。
- ② システム自体がGPSを前提に開発されているため、現状では24時間常に測位可能な状態にカバーされているわけではないので、システムを実行できない時間帯が存在する。
- ③ 無人締め固めロボットでは転圧時に振動走行するため、地面に接していない時間があり、このような時間が多ければステアリング操作を行っても方向が変わらず、地表面が傾斜している場合では低い方へと走行するケースがあり、復帰に時間を要する。

参考文献	<ul style="list-style-type: none"> <li>・『建設機械自律分散型制御システムの開発』、フジタ(株) 茶山、小田、松尾 第8回建設ロボットシンポジウム講演集、P9～14、1999.4</li> <li>・『土木無人化施工ロボット』、フジタ(株) 小田、小幡、藤岡 日本ロボット学会誌 18 卷 7 号、P21～25、2000.11</li> </ul>
備考	特許名 無人作業システム、登録番号：4270725