

重機遠隔操作における 3D スキャナーの活用 ～3D 無人化施工支援システムの開発～

清水建設株式会社 正会員 ○藤吉 卓也
清水建設株式会社 正会員 竹内 啓五

1. はじめに

無人化施工とは、危険区域内での作業において、安全な場所からリモコンにより重機の遠隔操作を行うことにより、オペレーターの安全を確保しながら施工を行うものであり、様々な社会的背景により、ニーズの増加と共に、さらなる高度化が求められている。無人化施工においては、運転手はおもに作業重機に取り付けたカメラからの映像情報をもとに周囲状況や作業対象の位置を把握する。しかし、重機搭載カメラから取得する映像だけでは、作業対象への距離や奥行きを把握することが困難であるため、奥行き情報を補完するカメラ車両が別途必要となる（図-1）。

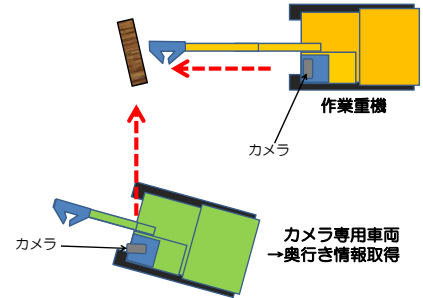


図-1 カメラ車両による奥行き情報取得

カメラ専用車両の運用における課題を以下に示す。

- ① コストアップ：直接実作業を行う重機以外に別途、カメラ専用車両及びオペレーターが必要である。
- ② 配置位置の制約：カメラ専用車両自体の大きさにより、狭隘箇所での最適なアングル確保は困難である。
- ③ 電波の干渉：カメラ専用車両の無線操作回線により、電波干渉の可能性が高くなる。
- ④ オペレーターのストレス：重機操作に必要な映像のやり取りがうまくいかない場合がある。

これらの課題解決にむけて、今回 3D スキャナーの活用により、カメラ専用車両がなくても奥行き情報を取得できる「3D 無人化施工支援システム」を開発した。

2. 3D 無人化施工支援システムの概要

3D スキャナーは、物体の 3 次元位置情報を大量の“点群データ”として短時間で取得する機器である。本システムは“奥行き情報をオペレーターに伝える”という、従来カメラ専用車両が担ってきた役割を、リアルタイム性に優れた 3D スキャナーを活用することにより代替するものである。

本システムでは、作業重機に 3D スキャナーを搭載し、重機搭載カメラからの運転手視点の 2 次元映像とは別途に、3D スキャナーから 3 次元映像を取得し重機操作を行う。

3 次元映像は、自由に視点を変更することができるので、

重機操作に必要な奥行き情報を、あらゆる角度の視点から取得することが可能である（図-2）。

一方、カメラ映像は画像の鮮明さ、リアルタイム性に優れているので、直感的な操作に対しての情報取得に適している。それぞれの優位性を活かして、大半の操作は運転席付近に設置した重機搭載カメラから得られるオペレーター視点の映像情報を用いて行い、カメラ映像では得られにくい奥行き方向の情報が必要な操作を、3D スキャナーによる 3 次元映像を用いて行う。本システムは、この映像取得方式を用いることにより、奥行き情報を取得するため配置していたカメラ専用車両を不要とするものである。

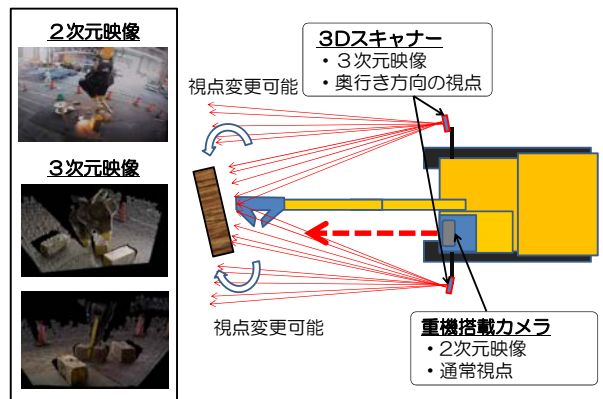


図-2 本システムにおける映像取得方式

キーワード 無人化施工、カメラ車両、3D スキャナー、奥行き情報

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋二丁目 16-1 清水建設株式会社土木技術本部技術開発部 TEL 03-3561-3886

3. システム実証実験

1) **実験概要**：実用に向けて課題抽出および性能面での有用性の確認を行うため、実証実験を行った。無人化施工現場にて稼働している重機に3Dスキャナー及び付帯機器類を搭載して、重機の無線遠隔操作を行った。

2) **システムの構成**：実験時の設備構成を図-3に示す。重機搭載カメラは、従来システムと同位置に配置し、機体の左右に張り出す位置に1台ずつ、計2台の3Dスキャナーを搭載した。2台の3Dスキャナーから得られた3次元映像は、それぞれ遠隔操作席に設置した2台のパソコン画面に出力するものとして（写真-1）、視点変更は2台が独立して操作可能なものとした。

3) **実験結果**：各実験結果を以下に示す。

①**視認性**：作業対象物の姿勢、形状、大きさ等を含めた点群データの視認性が、重機操作に及ぼす影響を確認した。実験では、様々な大きさ・形状の作業対象物に対して把持動作等を行い、その施工特性についての基本データを取得した。

②**映像遅延時間**：カメラ映像および3次元映像の遅延が小さく、かつそれぞれが同調して出力されることが重要である。重機搭載カメラは、遅延時間が短く全体的に安定した計測値を示した。3Dスキャナーの映像においては、カメラ映像に比べ若干の遅延は生じるが、カメラ映像に対しての平均遅延時間は約0.2秒程度であり、重機操作において、その時間差によるストレスは感じなかった。

③**奥行き情報取得機能**：3Dスキャナーによる3次元映像が奥行き方向の情報取得に有効に機能することが重要である。3Dスキャナーの配置について試行錯誤を行い、レーザーの照射範囲と反射強度の関係から、最適な位置を設定した。機能確認の方法として、作業対象の正確な位置情報を必要とする角材等を積み上げる作業、上方からの視点の有効なベッセルへの投入作業（図-4）を行い、その有効性を確認した。

④**性能評価実験結果**：予め設定した作業A、B、Cについて、従来システムとの所要時間の比較を行った。いずれにおいても、最も作業時間が短かったのは、本システムによるものであり、平均時間においても作業時間の短縮が確認できた（表-1）。

4. おわりに

無人化施工は、建設就業者の減少、技術者不足といった課題に対しての機械化・省力化技術として、老朽化したインフラのモニタリングといった分野のニーズも高まってきている。新技術を積極的に活用し、無人化施工特有の問題を解決し、より幅広いニーズに無人化施工が適用できるよう、今後とも取り組んでいきたいと考える。



図-3 実験時のシステム構成



写真-1 3次元映像出力画面



図-4 実証実験状況

表-1 性能評価試験結果

	内容	条件他
作業A	尺角を把持→ベッセル投入	尺角一つ
作業B	尺角を把持→ケーブルドラムに積上げ	尺角一つ、ドラム径550mm
作業C	尺角を把持→ベッセル投入	尺角三つ、投入順序は自由

3D無人化施工支援システム

	各作業ごとの所要時間		
	作業A	作業B	作業C
1回目	1:15	1:26	3:54
2回目	1:30	1:25	3:14
3回目	1:06	1:02	3:49
4回目	1:21	1:30	2:59
5回目	1:07	1:22	3:13
平均時間	1:15	1:21	3:25

従来システム

	各作業ごとの所要時間		
	作業A	作業B	作業C
1回目	1:26	1:25	3:55
2回目	1:11	1:14	3:53
3回目	1:30	2:39	3:14
平均時間	1:22	1:46	3:40