

JCMA 報告

平成 30 年度 日本建設機械施工大賞 受賞業績 (その 3)

大賞部門 最優秀賞

建設機械の自動化による次世代建設生産システム (A⁴CSEL: クワッドアクセル)

鹿島建設(株), (株)小松製作所

1. 業務内容

本業績の行われた背景として、确实視される作業員の減少と高齢化の進行が挙げられる。建設業就業者数は 1997 年の 685 万人をピークに、年 10 万人の勢いで減少している。現在 500 万人を割るところまで減少し、10 年後には 300 万人台に突入することが予想される。そして高齢者 (55 歳以上) と若年層 (29 歳以下) の割合は、1996 年ではともに約 22% であったのが 2012 年では 33.6% と 11.1% となり、他産業と比べて著しく高齢化が進んでいる。これは経験を積むことによって育まれてきた熟練技能が確実に不足することを示唆している。これに続き建設業の生産性の低さも問題として挙げられる。例えば、製造業等では 1990 年代以降ほぼ一貫して上昇したのに対し、建設業は横ばいで製造業の約半分に留まっている。建設業は労働集約型産業であることから、上記に示す作業員の減少と高齢化は生産性の低さと密接していて、両者を解決しない限り衰退産業として、国家基盤の維持に支障を来すことになりかねない事態である。一方、我が国の死亡災害は全体的に減少しているものの、産業別では常に建設業がトップで、死亡災害数は例年全産業の 1/3 を占める状況である。工事現場は依然として危険な職場となっている。

本業績によって開発した次世代建設生産システム、A⁴CSEL (クワッドアクセル: Automated/Autonomous/Advanced/Accelerated Construction system for Safety, Efficiency, and Liability) は、建設機械の自動化を核としたシステムであり、定型な作業、繰り返し作業は自動化した機械によって行い、機械が不得意な作業の計画、手順は人が指示することにより、必要最小限の人員によって多数の自動化機械を稼働させることをコンセプトとしている (図-1 参照)。



図-1 A⁴CSEL のコンセプト

(1) 自動化振動ローラによる自動転圧システム

汎用振動ローラに GPS、慣性装置をはじめとする計測機器と、ハンドル駆動装置及び前後進・エンジンスロットルをコントロールする電子回路に制御信号を送るインターフェース、及び計測データを基に操舵、前後進・走行速度を制御する制御用コンピュータ (制御 PC) を設置して、制御 PC の信号によって動作する自動振動ローラに改造し (図-2 参照)、タブレットコンピュータ (タブレット PC) から作業データを制御 PC に送ると自動で作業を行うシステムを開発した。



図-2 振動ローラの自動化システム

このシステムの特徴は次の通りである。

- ①実工事から取得した熟練オペレータの操作データに基づく自動制御法を確立。
- ②障害物検知や走路安全性などを認識し、自動停止するなどの安全性確保機能を保有。
- ③土質条件に応じて制御パラメータを自動調整する自律性を保有。
- ④1 台のタブレット PC によって複数振動ローラを同時運転させることが可能。

現場適用状況を写真-1, 2 に示す。

(2) 自動化ブルドーザ自動まき出しシステム

情報化施工用 ICT ブルドーザに GPS、慣性装置をはじめとする計測機器、ブルドーザ各動作を司る本体コントローラに制御信号を送るインターフェース、及び計測データを基に走行、旋回、ブレード操作等のブルドーザの動作を制御する制御 PC を設置して、制御 PC の信号によって



写真一 五ヶ山ダム適用状況



写真二 大分川ダム適用状況



写真三 五ヶ山ダム適用状況



図一 ブルドーザの自動化システム

動作する自動ブルドーザに改造し（図一参照）、タブレットPCから作業内容データを制御PCに送信すると自動的に作業を行うシステムを開発した。

このシステムの特徴は次の通りである。

- ①熟練オペレータのまき出し作業時の操作データ、及び機体データを取得、分析し、ブルドーザの制御法を確立。
- ②ブルドーザのまき出し作業時の土質材料の拡がり形状を予測するコンピュータシミュレータを開発し、まき出し作業の基本運転モデルを生成。
- ③作業状況（まき出し材の種類、量、位置）によって運転モデル、制御パラメータを自動調整する自律性を保有。

- ④ブルドーザの周辺（8～12m）への作業者の侵入を検知（電磁誘導+無線方式）し、自動停止するなど、安全性確保機能を保有。
 - ⑤1台のタブレットPCによって複数のブルドーザを同時運転することが可能。
- 現場適用状況を写真一3、4に示す。



写真四 大分川ダム適用状況

(3) 自動化ダンプトラックによる自動運搬・荷下ろしシステム

55t積級ダンプトラックに、GPS、慣性装置などの計測機器、ダンプトラックのコントローラに制御信号を送るインターフェース、及び走行・操舵・ベッセル操作等のダンプトラックの動作を制御する制御用PCを設置し、制御PCの信号によって動作する自動ダンプトラックを開発した。これにより、走行路データを基にタブレットPCから荷積み位置、荷下ろし位置を制御PCに送信することでダンプの自動作業が可能となる（図一参照）。

このシステムの特長は次の通りである。

- ①オペレータ運転時の操作データ、及び機体データを取得、分析し、ダンプトラックの基本運転モデル、自動運転制御法を開発。
- ②基本運転モデルを基に、自己位置及び工事用走行路データから指示された荷積み、荷下ろし位置までの走行ルート、切り返し動作手順を自動的に計画する自律



図一四 ダンプトラックの自動化システム



写真一五 大分川ダム適用状況

性を保有。

- ③障害物検知や走路安全性などを認識し、自動停止するなど、安全性確保機能を保有。
 - ④1台のタブレットPCによって複数ダンプトラックを同時運転させることが可能。
- 現場適用状況を写真一五に示す。

(4) 施工シミュレーション

自動化機械による個々の機械作業の生産性向上だけでなく、次世代の建設生産システムを確立するためには施工全体の最適化を図らなければならない。このためには、それぞれの機械を効率的、効果的に用いて施工のPDCAサイクルを最適に回すことが重要となる。そのため、建設機械

の自動化と並行して、機械配置や施工手順を最適な計画とするとともに、施工時の生産性を評価できるコンピュータシミュレーションを開発した(図一五参照)。

2. 技術的効果

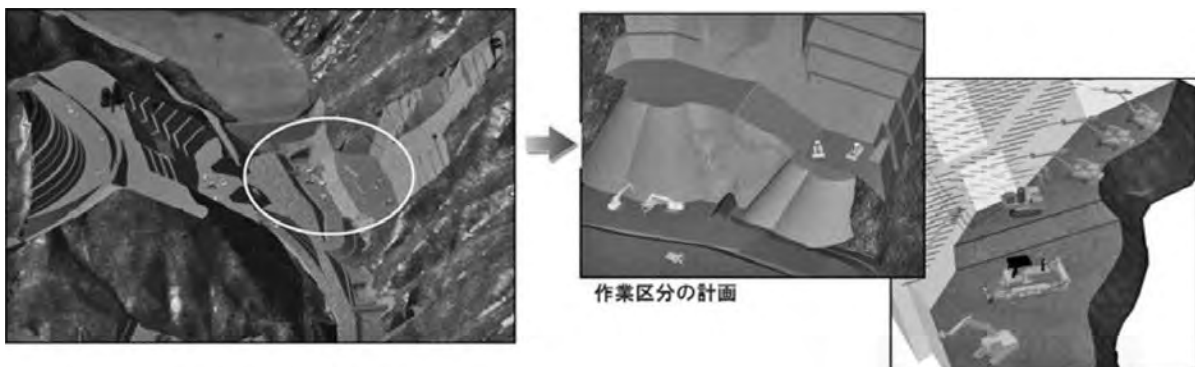
当該技術による技術的効果は次の通りである。

- ①人から人への伝承、若しくは長い時間をかけて習得される重機の操作技術は、AI手法も導入したプログラムに移植されることによって、定型的な作業に関しては熟練者と遜色ないレベルの自動運転能力を有することができる。
- ②自動機械はプログラムによって制作するためバラツキなく常に安定した性能を発揮することができる。
- ③従来は、操作者の経験と勘により、車幅間隔、車間距離、停止距離等を把握し、重機同士の衝突を避けて運転していたが、当該技術は自身の位置をGPSによって把握するとともに、周辺の重機の位置も把握できるよう管制的な役割を果たす機能も持ち合わせているため、接近して稼働することは問題にはならず衝突することも無い。
- ④必要最小限の人員によって多数の機械を稼働できるため、1人あたりの生産量は増え、大幅な省人化を可能とする。現状は1人で3～4台を稼働させることが可能である。
- ⑤自動化された重機は、休憩することもなく残業という概念はないため、昼夜問わず作業することが可能である。
- ⑥施工領域に立入る人員を大幅に減らすことができるため、事故は飛躍的に減少する。

3. 経済的効果

当該技術による経済的効果は次の通りである。

- ①従来の自動化・ロボットシステムのように特殊な専用機械を導入したのではなく、汎用建設機械に市販の機器を付加することによって自動化を達成したため、機



図一五 施工シミュレーションの例

械の開発費自体を低く抑えることができる。

- ②計測・制御のソフトウェアは他機械への応用が容易である。例えば、振動ローラとダンプトラックの操舵制御、走行経路の自動設定などは共通部分も多く開発費の抑制に貢献している。
- ③1人で複数の建設機械を稼働させることができるため、人件費の抑制効果によって、自動化費用の回収が可能である。例えば、通常のダム工事現場では大型のダンプトラックは数十台稼働するため、自動化を進めると大きな省人化効果と、それに応じた経済的メリットを得られる。
- ④従来の建設機械作業では必須だった工事箇所での墨出し作業（位置出し丁張）は不要となる。また、自動化ブルドーザのまき出し作業結果や、振動ローラの転圧結果を活用すれば、都度の測量が省けるなど生産性の向上が図れる。

4. 施工または生産性・販売実績

- ①福岡県・五ヶ山ダム堤体建設工事
システム導入期間：平成26年6月～平成28年5月
導入自動化機械：振動ローラ2台、ブルドーザ1台（18t級）
- ②国土交通省九州地方整備局・大分川ダム建設工事
システム導入期間：平成28年6月～平成29年4月
導入自動化機械：振動ローラ4台（10t級, 20t級）、ブルドーザ3台（18t級, 21t級, 40t級）、ダンプトラック1台（55t級）
- ③(独)水資源機構・小石原川ダム建設工事
システム導入期間：平成30年11月（予定）～
導入自動化機械：振動ローラ4台（10t級, 20t級）、ブルドーザ2台（21t級, 40t級）、ダンプトラック3台（55t級）（予定）

お断り

このJCMA報告は、受賞した原文とは一部異なる表現をしています。