

建設業を取り巻く課題に対する生産プロセスの変革による 鹿島建設の取り組み



企業レポート

高田 悦久*

Kajima Corporation's Approach to
Construction Industry Issues by Reforming Production Processes

Key Words : A⁴CSEL, Automate, Autonomous, AI, JAXA

はじめに

鹿島建設株式会社（以下、「当社」）では、建設業や当社を取り巻く諸々の課題解決を目指して、全社でデジタルトランスフォーメーション（DX）に取り組んでいる。

中核事業である建設分野では、建設生産プロセスの変革を通じた生産性向上や建設業の魅力向上などを目指しており、これら目的のため、建設機械の自動運転と、生産計画・管理の最適化を核とした「A⁴CSEL」¹⁾²⁾ クワッドアクセル：Automate/Autonomous/Advanced/Accelerated Construction system for Safety, Efficiency and Liability の開発を進めている。今回はこの A⁴CSEL による生産プロセスの変革の概要を紹介する。

建設業の課題

・減少する建設労働者

図-1、図-2に示すように、建設業の就労人口は建設投資額に関係なく減少傾向にあり、55歳以上の高齢労働者が全体の約1/3を占めており10年後にはその大半が引退するものと推察される。

・低い労働生産性

図-3に示すように、建設業と製造業の労働生産性は1990年代後半までは大きな差がなかったが、現在では建設業の労働生産性は製造業の約1/2と

なり、この20年間で大きな差がつく結果となっている。

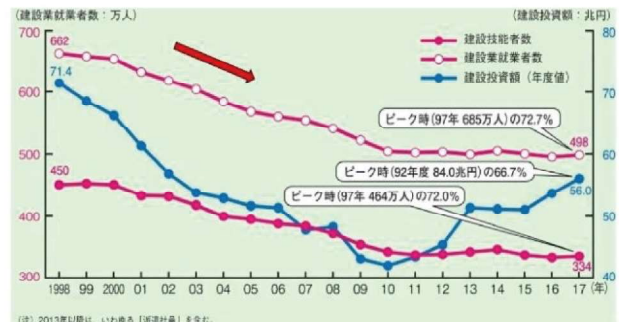


図-1 建設技能者数，建設就業者数の推移³⁾

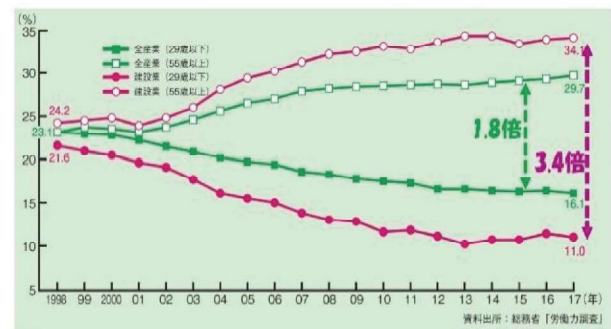


図-2 建設業と全産業の就労人口の推移⁴⁾



図-3 労働生産性の推移⁵⁾



* Yoshihisa TAKADA

1953年2月生まれ
大阪大学 工学部 土木工学科
(1976年)

現在、鹿島建設株式会社 専務執行役員
土木管理本部 副本部長

TEL : 03-6735-1302

FAX : 03-6735-9242

E-mail : takadayo@kajima.com

・多い労働災害

図-4に示すように、建設業における死亡災害は全産業の1/3を占め、2009年以降のそれは年間300~400人であり下げ止まりの傾向を示している。

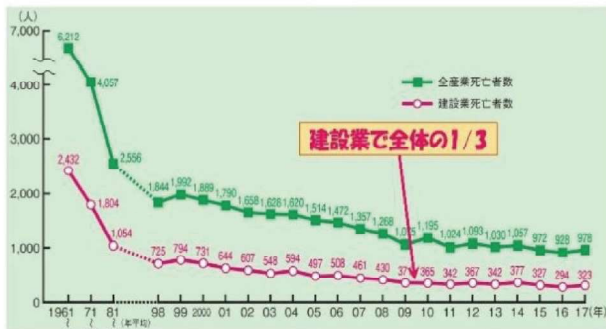


図-4 労働災害による死亡者数の推移⁶⁾

以上のように建設業は他産業がデジタル革命により生産性を大幅に伸ばしているにもかかわらず、その波に乗れず低い生産性と多い労働災害に甘んじ、業界としての魅力をなくし、若者の入職が低くなり、その結果、就労者数の減少につながっているものと考えられる。

A⁴CSELによる生産プロセスの変革

・開発コンセプト

製造業は1970年頃から産業用ロボットやNC工作機を導入することにより生産性、安全性を飛躍的に伸ばしてきた。一方、建設業は労働集約型産業から抜け出せず、未だに作業の多くを作業員やオペレータの技量と勘に頼っている。そのため、上掲したような課題が山積し、製造業と比較しそのほとんどの面で見劣りすることとなった。

建設業はこれらの原因を一品生産、屋外生産等の理由にし、受注産業という安定しない仕事量のリスク回避のため、重層下請けという建設業独特の産業構造を作り、元請けが生産性向上のための技術開発や投資に消極的であった。これら課題の解決と生産性を自らの手に取り戻すことを目的とし、生産プロセスの改革のために2009年から取り組んできたのがA⁴CSELの開発である。

確実に進む現場作業員不足と高齢化の状況下で、作業員の安全確保と生産性向上のため、まずは近年変革し続けている製造業の生産システムに注目した。製造業では、1980年代から作業ミスの削減、作業効率、人間に対する安全性の向上を図ることを目的

として、作業の自動化が進められてきた。工場では産業用ロボットを多用して、従来人間によって行われていた多くの作業を自動で行い、少ない人員で安全に生産性を上げてきた。このような生産システムの仕組みを参考に「現場の工場化」の実現を目指している。

すなわち、施工機械の自動化を進めるとともに、施工計画、作業手順、方法を分析して施工計画、作業手順の最適化を図る。これらの作業を自動化した機械によって行い、自動化できない部分については遠隔化により1か所で集中オペレーションを行う。この考えを基に創出した開発コンセプトを図-5に示す。



図-5 A⁴CSEL 開発コンセプト

A⁴CSELは単一作業に特化した自動化ではなく、製造業における産業用ロボットやCNC(Computerized Numerical Control)加工機のように多様の作業が可能な自動化システムを目指している。そして、多数の現場の稼働データによって作業効率、自動化率を向上させることにより、真に熟練の技が必要なものだけを人が担当し、それ以外は自動機械が分担する新しい建設生産システムが実現する。その結果、建設業が他産業と同様、労働集約型産業からの脱却を図り、即ちそれがA⁴CSELが最終目標としている「現場の工場化」であると考えている。

・A⁴CSELの概要

A⁴CSELは、①汎用建設機械を自動運転仕様に改造する技術、②自動運転の制御にAIで分析した最適操作データを取り入れることで、常に最適な作業をさせる技術、③多数の機械を連携させ、最も生産性の高い最適施工計画に基づいて稼働させる施工マネジメント技術で構成されている。これらによって、建設機械の配置や作業順序などを最適化した計

画の下、全ての機械が自律・自動運転で作業を行うことが可能となっている。これまでに振動ローラ、ブルドーザ、ダンプトラックの3種類の建設機械を中心に建設機械の自動化とそれらによって行う作業の自動化を進め、実工事に順次適用している状況である。

・A⁴CSEL 全体システム構成

図-6に示すように、A⁴CSELは「施工マネジメントシステム」と「建設機械の自律化自動運転システム」で構成されている。「自動化」というと、これまではほとんど後者のシステムを指していたが、A⁴CSELの目的である施工プロセスの変革のための施工の自動化を実現するためには、「施工マネジメントシステム」が必須の技術要素となっている。「施工マネジメントシステム」には、「施工計画/施工管制システム」と「重機管理システム」がある。

現在、A⁴CSELを適用しているダム建設工事のCSG (Cemented Sand and Gravel) 打設作業では、多数の建設機械を同時稼働させている。簡単に言えば、A⁴CSELでは、各々の自動建設機械を稼働させるための施工計画、及び作業データを作成し、その作業データを自動化重機に伝送して自動運転によって作業をするというシステムである。それを実行するためには自動運転状況、機体状況をリアルタイムでモニタリングしつつ、自動化機械への指示を継続的に発信する必要がある。

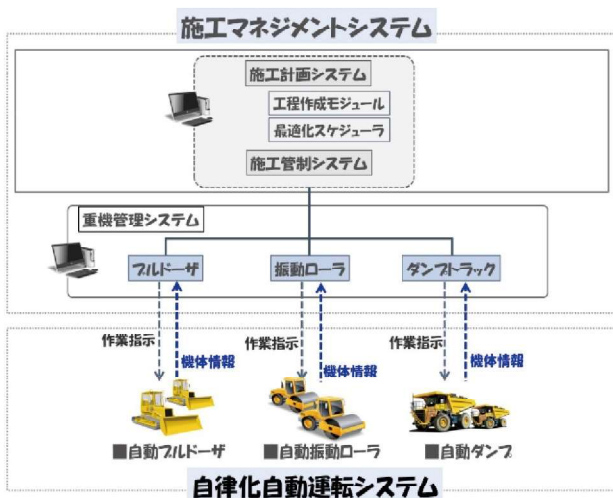


図-6 A⁴CSEL 主要構成

・施工計画システム

自動化機械を稼働させるためにはすべての作業を

数値で指示する必要がある。例えば、ダム建設工事で約30台の重機を稼働させるには12時間あたり約1,500の作業データ(施工計画)が必要となる。人手により約1,500の作業の施工計画を30分で作成することはまず不可能であるが、A⁴CSELでは、これらの施工計画の作成を迅速に行う技術開発を進め、現状では30分以内に作成できるシステムとなっている。具体的には、作業エリアの情報(位置や形状)、機械の情報(台数や仕様)や作業種類などの基本情報を人が入力すると、自動的に施工計画が作成される仕組みになっている。



図-7 施工計画システム

さらに、工程作成機能にAI手法などの最適化機能を備え、施工計画を作業時間やコスト、安全性などのさまざまな評価軸で初期計画を向上させるため、製造工場の製造計画立案で使用されている生産スケジューラをベースに施工計画の最適化を行うスケジューラを開発している。

・施工管制システム

施工管制システムは、施工計画システムで計画された各作業を、各建設機械が的確に連携して遂行できるように全体の進捗を管制する。施工計画システムにおいて各作業の前後関係の関連付けが行われているので、施工管制システムは、それに沿って作業進捗を重機管理システムと情報共有し、自動的に次工程を開始する指示を出す。その他、作業全体の開始指示や、一時的な作業中断や、再開もこのシステムを用いて行う。

・重機管理システム

重機管理システムは、施工計画・管制システムと次項の自律化自動運転システムの仲介を行うシステムである。

施工管制システムからの指示を建設機械の作業デ

ータとして、いわば翻訳して自動建設機械に送ると同時に建設機械の作業進捗や動作状態を管制システムに伝える役割を担っている。作業が計画通りに進まない場合には、その状態を施工管制システムに伝えるとともに、状況に応じて自動化機械の動作を変更する機能を持っている。

・自律化自動運転システム

このシステムは管制からの指示で重機を動かし機体の状況を管制システムに伝えるシステムである。A⁴CSEL では専用機械を使用せずに汎用の建設機械にセンサや自動制御装置を後付けして自動化し、それを様々な作業に応じた制御プログラムで自動運転させることを開発コンセプトとしている。これまでに重ダンプトラック、ブルドーザや振動ローラ、また小型のバックホウやクローラダンプの自動化を行っている。

・A⁴CSEL の導入効果

成瀬ダムへの A⁴CSEL の導入により時間当たりの平均打設量がこれまでのオペレータによる打設に比べて約 35% 向上することができた。その結果、台形 CSG ダムと重力式コンクリートダムの違いはあるが、最大月間打設量において、これまでの最高記録である黒部ダムの 147,300 m³ を抜き 218,000 m³ を 2022 年 6 月に樹立することができた。今後はさらに伸びていくものと思われる。人間が長時間集中して作業することは不可能であるため、自動化により最大能力を長時間持続することによる当然の結果と考えており、A⁴CSEL の導入効果はこれまでにない革新的なものである。

A⁴CSEL のこれからの展開

・トンネル掘削への展開

トンネル工事は作業環境が厳しく慢性的にトンネル坑夫が不足している。そこで、岐阜県の神岡鉱業株式会社が所有する試験坑道で、図-8 のように A⁴CSEL 技術をトンネルにも適用し、トンネル坑夫に頼らない一連の掘削作業（火薬装薬作業を除く）の自動化に挑戦している。この実験においても余掘り低減、吹付作業の生産性向上等により生産性が飛躍的に上がることが期待されている。

・宇宙および複数現場の一極集中管理

A⁴CSEL の展開例として、JAXA との共同研究を紹介する。図-9 は月面有人拠点を無人（遠隔操



図-8 A⁴CSEL for TUNNEL⁷⁾

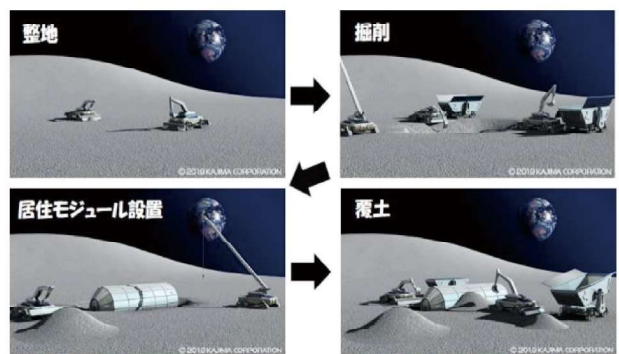


図-9 月面有人拠点建設イメージ⁸⁾



図-10 遠隔集中管制システムの実証状況

縦と自動運転) で建設するイメージである。

2021 年 10 月には複数の自動化施工現場を一箇所から集中管制するシステムを実証した。図-10 は、成瀬ダム (秋田県) と国交省赤谷 3 号堰堤工 (奈良県)、及び鹿島西湘実験フィールド (神奈川県) の 20 台の自動建機を東京都港区本社ビルから 4 人で管制している状況である。

終わりに

2019年4月に施行された改正労働基準法により2024年から建設業にも時間外労働の上限規制が適用されることになる。現在、課題で述べたように非常に厳しい労働環境を改善しようと業界としていろいろな取り組みを始めている。このような状況を大きく変えることができるのはA⁴CSELのような労働集約型から情報集約型の生産プロセスに切り替える技術であると確信し、当社はこの技術をさらに発展させトンネルをはじめあらゆる工種に展開し、建設業の課題解決に貢献していきたいと考えている。

参考文献

1) 鹿島建設プレスリリース：

建設機械の自動化による 次世代の建設生産システムを開発 (2015/05/14)

2) 鹿島建設プレスリリース：

小石原川ダム本体建設工事で次世代の建設生産システム「A⁴CSEL[®]」による本格盛立を実施 (2018/12/06)

3)～6) 総務省統計局 HP「労働力調査」

7) 鹿島建設プレスリリース：

山岳トンネル工事を対象とした自動化施工システム (2021/06/30)

8) 鹿島建設プレスリリース：

月面での建設機械の遠隔操作・自動運転を目指した遠隔施工実験の実施について～JAXAと鹿島A⁴CSEL[®]の共同研究～(2021/05/18)

