

クレーン作業による災害を未然に防止する 次世代運転システム（ORCISMTM）の取り組みと活用

永 嶋 充・佐 藤 圭 吾・仲 安 陸

建設業界では少子高齢化と労働力の減少が深刻化しており、生産性向上と安全性確保が喫緊の課題となっている。この状況を打開するため、現場の省人化や技能補完を可能にする次世代クレーン運転システム「ORCISM」（以下、次世代クレーン運転システム）を開発した。

次世代クレーン運転システムはデジタルツイン技術を核に、ガイダンス、コントロール、マネジメントの3機能を統合し、生産性向上と安全性向上を同時に実現するとともに、危険な作業を未然に防ぎ、省人化、技能補完が可能になる。さらに、単なる生産性や安全性だけでなく、作業員がより快適に働ける建設現場の環境構築にも貢献している。建設現場の未来を支える重要な開発技術である次世代クレーン運転システムについて、国内外での導入実績とともに紹介する。

キーワード：クレーン技術、デジタルツイン、自動化施工、運転支援、安全管理技術、技能補完、技能継承

1. はじめに

建設業の働く人の数は、2023年度時点でピーク時の1997年と比較して30%減少している。また、全体の約36%が56歳以上であるのに対し、29歳以下は約11%と、他業種と比較して高齢者の引退と若年者の不足により、業界全体の少子高齢化の進行が加速している。こうした労働力の減少は、工期の遅れをもたらす可能性がある。また、技能継承が上手くいかず、今まで起こらなかった操作ミスなどのヒューマンエラーの発生による災害が懸念される。こうした操作ミスは、一旦起きれば重大災害につながりかねない。このような背景から、生産性の向上、高齢者の作業の負担軽減を目的とした快適な環境の構築と、未熟練者に対する技能補完、安全性の確保が課題となっている。

このような建設業の課題に対して、国土交通省では2016年にi-Construction、2024年にi-Construction 2.0を策定している。i-Construction 2.0では、2040年度までに建設現場の省人化を少なくとも3割、すなわち生産性を1.5倍向上することを目指し、「施工のオートメーション化」、「データ連携のオートメーション化」、「施工管理のオートメーション化」を3本の柱として、建設現場で働く一人ひとりが生み出す価値を向上し、少ない人数で、安全に、快適な環境で生産性の高い建設現場の実現を目指して、建設現場のオートメーション化に取り組む方向性が示された¹⁾。

本稿では、このような課題を解決するために開発したクレーン作業による災害を未然に防止する次世代運転システムについて紹介する。

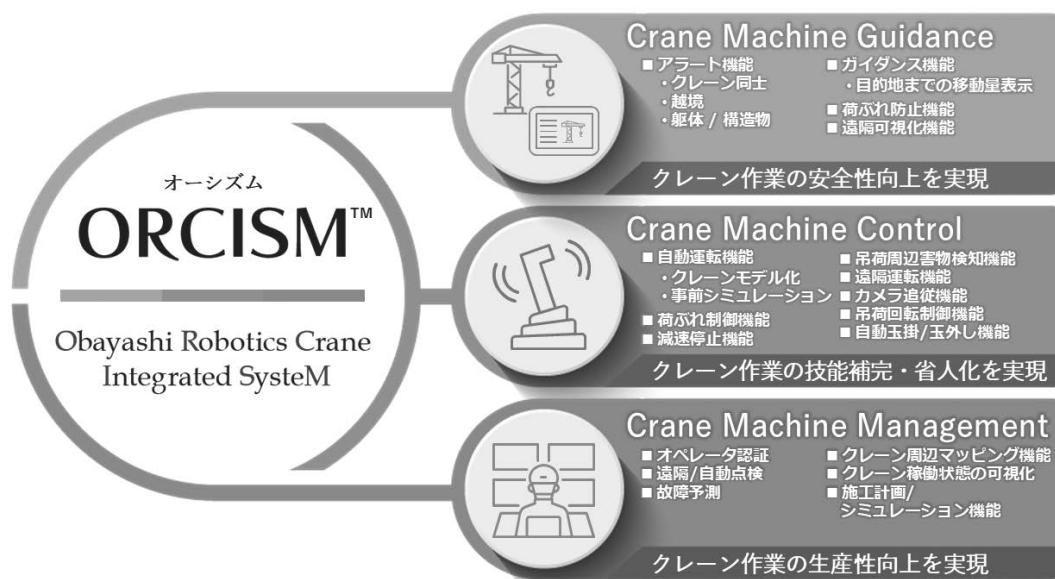
2. 次世代クレーン運転システムについて

次世代クレーン運転システムは、「危険作業ができないクレーン」を目指して開発したシステムである。

本システムは、クレーン作業を支援し安全性の向上を実現するクレーンマシンガイダンス、技能補完・省人化を実現するクレーンマシンコントロール、生産性向上とセキュリティの確保を実現するクレーンマシンマネジメントの3つの技術で構成されている（図—1）。これらは、単一で適用するよりも、組み合わせで適用することで、大きな効果が得られる。そのため、3つの技術をデジタルツイン上で統合し、管理・制御することで、現実空間で「危険な作業ができないクレーン」を実現することができる。

本システムでは、施工現場におけるヒト・モノ・コト情報を収集し、現場のあらゆる情報をデジタル化したうえで、現実空間と同期させたデジタルツインを活用している（図—2）。

デジタルツインの構築には、最新のセンシング技術を用いて、クレーンの位置や動作、吊荷の種類、姿勢など、クレーンとその周辺環境をデジタル空間に正確かつリアルタイムに再現する必要がある。本システム

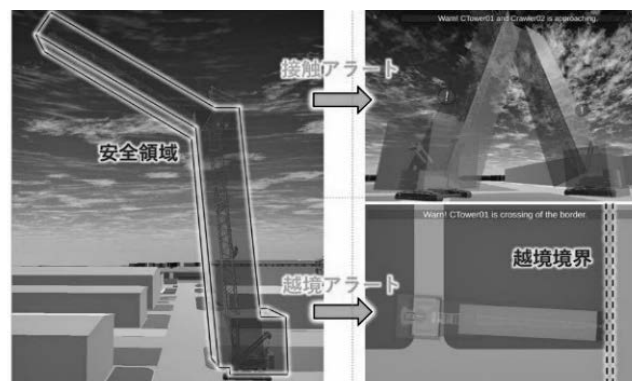


図ー1 次世代クレーン運転システム概念図



図ー2 デジタルツイン（現実空間（上）とデジタル空間（下））

では、高精度な各種センサと GNSS 測位情報に補正情報を加える技術（RTK 測位方式）を活用することにより、デジタルツインを構築する（図ー2）。これにより、計画から設計、施工計画・管理、完成後の維持管理を含めて、一気通貫で活用することができる。加えて、さまざまなアプリケーションを操作し、施工の安全や品質、生産性の管理まで多岐にわたる業務を効率化することができる。



図ー3 衝突・越境防止エリア設定

（1）クレーンマシンガイダンス

現実空間と同期するデジタル空間内では、クレーン同士や障害物との衝突防止や越境防止エリアの設定、目に見えない電波干渉防止区域の設定などもデジタルツイン上に可視化することが可能である（図ー3）。クレーンマシンガイダンスは、デジタル空間内ではこれらのエリアの接触を検知してアラートを発することで、接触・衝突事故を防止する。また、デジタル空間上には位置情報を持った BIM などの 3D モデルも反映可能であり、指定部材をデジタル空間上で選択することで目的地までの操作指示値を表示することも可能である（図ー4）。これらの情報は汎用パソコンやタブレット端末で何処でも容易に確認し共有することができるため（遠隔可視化機能）、工事関係者がリアルタイムに現場の状況を把握することができ、迅速な意思決定や安全管理が可能となる。



図一四 作業半径・旋回指示値表示

(2) クレーンマシンコントロール

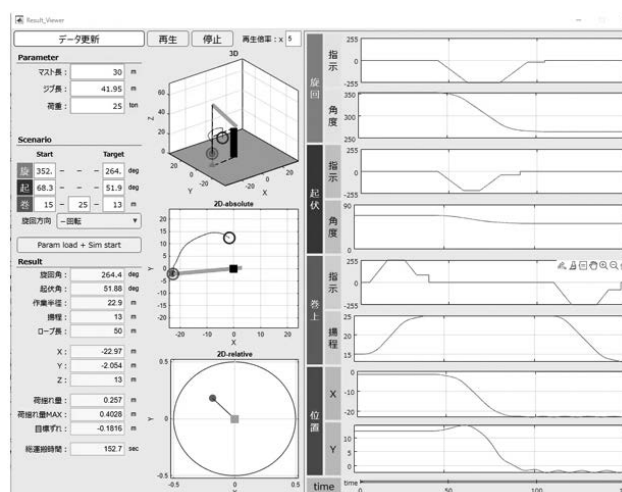
デジタルツインは、現実空間の情報をリアルタイムにデジタル空間に反映するだけでなく、デジタル空間上のクレーンモデルの動きを現実空間に反映させることも可能である。

クレーンマシンコントロールは、デジタル空間の情報を活用し、現実空間のクレーン動作に反映させることで、クレーン作業の操作補助・支援と省人化を実現する。

クレーンマシンコントロールでは、デジタルツイン上の任意点（指定部材）を選択することで、任意点間の自動運転が可能である。この自動運転では、機械の特性を踏まえたうえで、クレーンをモデル化し事前にシミュレーションしたデジタル空間上の動きを現実空間に反映させることで、吊り荷の振れ防止とクレーン動作を最適化することが可能である（図一五）。

これらの自動制御技術を応用し開発を進めることで、操作中に吊り荷の振れが生じた場合に自動で荷振れを小さくする制御が可能となる。加えて、デジタルツイン上でクレーンと周辺の障害物との接近を検知した場合に、接触しないように安全な減速停止制御を実現する。このように、この荷振れ防止と安全な減速停止技術は、自動運転だけでなく搭乗運転や遠隔運転にも適用することが可能であり、未熟者の操作技能を補完することで、安全性を向上させ、施工品質を維持することができる。

クレーンにフックを常に追従するカメラや3Dライダーを搭載することによる吊荷の方向・形状の把握、AI画像認識技術による人検知技術を組み合わせ、吊荷周辺の障害物を検知し吊り荷との接触を防止する。これらの技術は、自動運転の安全技術として利用できるだけでなく、搭乗運転や遠隔運転におけるオペレータへの技能補完として活用することも可能である。



図一五 クレーンモデルによる事前シミュレーション



図一六 クレーン稼働状況可視化例

(3) クレーンマシンマネジメント

クレーンマシンマネジメントは、稼働状況の可視化、自動点検及び故障予測、オペレータ認証機能、周辺環境のマッピング、施工計画のシミュレーションを有する技術である。

クレーンの稼働データをリアルタイムで取得し、可視化することが可能である。この機能により、クレーンの稼働状況を監視し、効率的な運用管理が可能となる（図一六）。また、熟練者の運転技術をデジタル化することにより、データを蓄積し分析することで、クレーンマシンコントロールの技能補完技術の向上につながる。

クレーンマシンマネジメントでは、自動運転技術を活用し、クレーンの日常点検を実施する自動点検機能がある。自動で点検を行うことで、オペレータは点検のためにクレーン運転席に行く必要がなくなる。また、同じ動作で定量的に点検を行うことで、従来の目視点検において生じていたオペレータの技量によるばらつきを防止できる。点検結果はデジタル上で承認・保管され、施工管理がデジタル化される。また、日常点検に加え、重要な点検項目に関しては常に状態監視

を実施している。定量的に行われた日常点検のデータを蓄積・分析することで、異常・故障を早期に検知する故障予測につなげる。

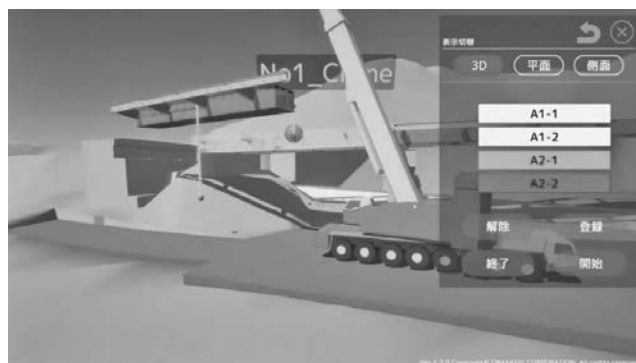
施工計画のシミュレーションは、デジタルツイン上で事前にクレーンの設置位置や軌跡を設定することで、施工計画上のクレーン動作をデジタルツイン上で再現する機能である。シミュレーションした軌跡はマーカーでデジタルツイン上に表示することが可能であり、自動運転のルート指定や遠隔・搭乗運転時の安全管理として使用することが可能である。また、クレーン能力による設置計画や出来高管理システムと連携することで、設置計画から事前シミュレーション、施工管理、出来高管理までが可能となり、技術者の煩雑な業務負荷を軽減し、安全や品質に関して創造的な課題解決に集中することができる。

3. 次世代クレーン運転システムの活用

(1) クレーンマシンガイダンス

これまでに、クレーンマシンガイダンスは63台の各種クレーンに導入されている。例えば、橋梁現場では下部工（アバット・ピア）および架設上部工のBIMによる施工データや、現場のクレーン、周辺環境をすべてデジタルツイン上でリアルタイムに再現し、オペレータへの補助と遠隔地からのクレーン作業監視を行った（図－7）。具体的には、吊荷の両端にGNSSを取り付け、吊荷の位置・方向を取得し、事前に計画した作業経路から閾値以上離れた場合にオペレータへ警告を出し、作業の安全性を確保した。この事前計画の際にはシミュレーションによって施工計画が行われ、安全かつ最適な架設計画の立案が可能となり、クレーン作業計画業務を4割短縮することができた。さらに、作業の様子をデジタル空間上でリアルタイムに反映し、シミュレーションによる架設計画を表示することで、遠隔地から現場作業の安全管理を行い、現場の越境防止監視員1人を削減し省人化を達成している。これにより、施工管理に加えて、施工計画から出来高管理まで3Dデータによるデジタルツインを用いて一気通貫で活用することができた。

そのほかにも、クレーンマシンガイダンスによってクレーン複数台のブームが干渉しないように監視することや、障害物との接近アラートを発報すること、さらにはAIカメラによるクレーン周辺や吊荷下の人検知など、多様なシチュエーションに対応した安全管理が可能となる。さらに、自動自律運転と組み合わせることで、さらなる生産性の向上が期待できる。



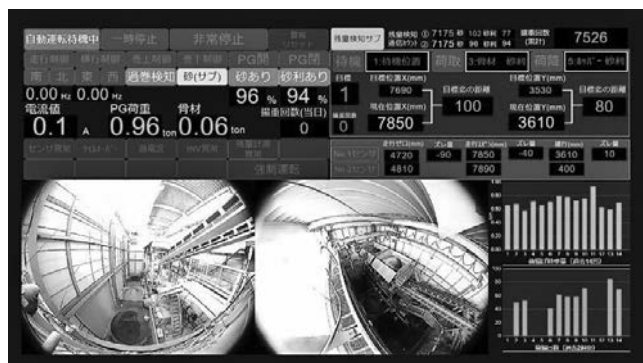
図－7 国交省発注の橋梁上部工架設現場

(2) カメラ追従による安全管理

次世代クレーン運転システムの安全管理技術の一つとして、カメラ追従機能がある。遠隔運転席や現場事務所から安全管理をする際、クレーンでの作業が常時カメラに映るようにPTZカメラを制御する。カメラはフックの位置情報やブーム先端の位置情報を基に制御される。さらに、クレーンマシンガイダンスで設定した越境防止ラインや障害物の位置情報とクレーンの位置情報が接近すると、カメラのズーム制御により危険な作業を明確に管理者に伝えることができ、安全性が向上する。本システムはすでに9現場で使用され、安全管理技術として普及を目指している。これにより、管理者の現場作業を省力化し、建設現場のリモート化・オフサイト化を推進している。

(3) 天井クレーンの自動化

山岳トンネル現場においては、バッチャープラントの荷揚げ作業を自動化した。バッチャープラントでは、吹付用生コンクリート材料である粗骨材・細骨材をプラント上部ホッパーへ天井クレーンを使用して荷揚げをし、計量後にミキサを用いて製造することが一般的である。このクレーン作業を自動化することにより、従来の方法に比べて1日3名の省人化を達成している。稼働実績は揚重回数累計2万回以上、運転時間は1,200時間以上に及ぶ。後付けのため、多くの既存天井クレーンに適用可能であり、現時点で14現場に



図—8 天井クレーン自動化

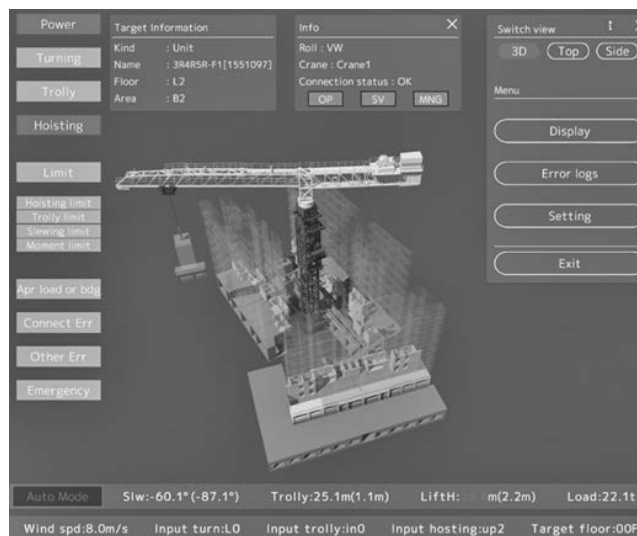
実装し、標準技術としての普及に向けて順次適用中である（図—8）。

（4）海外での活用事例

建築現場では、タワークレーンや移動式クレーンで次世代クレーン運転システムを活用している。シンガポールの現場では、各種センシング技術を用いてデジタルツインを構築し、デジタル空間上での安全管理、水平式タワークレーンの自動運転とスカイジャスター®（吊荷方向制御装置）の連携を行った。当時は、シンガポール国内において自動運転の安全ルールが定まっていなかった。そのため、関係省庁と議論を重ねて安全ルールを策定し、自動化施工の普及に貢献した。シンガポールでは広くユニット工法が用いられており、始点と終点の任意点間移動を自動運転で行い、スカイジャスターによりユニットを決められた方向に制御して積み上げていく工法で施工した（図—9）。ユニットには個別IDが付与されており、BIMの設計データとの整合性を判断でき、施工後の品質管理（トレーサビリティの確保）も可能となる。また、スカイジャスターにより、吊荷の方向・位置のリアルタイム情報がデジタルツイン上に表示される。このように、現場のリアルタイム情報を活用し、自動化施工に活用した。また、自動運転は事前シミュレーションにより最適な経路や制御量を算出し、作業効率、準備作業も含めると搭乗運転と同等レベルでの施工を実現した。これにより、約300日で462ユニットを自動運転で施工した。さらに、施工中はデジタルツインを活用し、日本国内から現場への遠隔監視サポートを実施し、安全品質を確保した。このタワークレーン自動運転は、国内外含め4箇所における業務で適用されており、今後も積極的に導入を進めていく。

（5）自社での実運用

門型クレーンを自動化し、タワークレーンのマスト



図—9 シンガポール現場

を積み上げて保管する作業を行っている。専用の把持装置とスカイジャスターも同時に適用し、従来はクレーンオペレータと玉掛技能者が必要だったが、自動化により1人の管理者のみで行うことが可能となり、4名の省人化を達成している。

また、タワークレーンによる作業は遠隔操作により行っている。敷地内に遠隔操作室を設けてオペレータがそこから2台のタワークレーンを切り替えながら作業することで、運転席までの移動時間を削減し、運転席まで梯子を登らなければならない多大な労働負荷を軽減した。2024年度から定常作業の完全遠隔化を実現し、従来の搭乗運転と同等の作業効率を維持しながら、オペレータが快適に業務に従事できる環境を整備した。

遠隔操作ができるだけでなく、タワークレーンの自動点検も行っている（図—10）。自動点検はすでに300回（1年分）の点検を実施しており、蓄積したデータは故障予測に活用される。自動点検により、遠隔操作オペレータは点検のためだけにクレーン運転席に行



図-10 自動点検

く必要がなくなり、完全な遠隔化を実現した。

4. 今後の取り組み

本稿では、クレーン作業による災害を未然に防止する次世代クレーン運転システムについて紹介した。デジタル空間を活用した技術により、現場従事者の負担軽減と労働環境の改善が期待される。また、熟練者の技能をデジタル化することで、未熟練者の技能を補完する制御を行い、次世代に継承することで、技術伝承と人材育成を促進し、品質を確保しつつ、クレーン作業による災害をなくし、安心・安全で持続可能な建設工事に貢献していく。

しかしながら、この目標を当社単独では早期に成し遂げることは困難であり、発注者、機械メーカー、レ

ンタル会社はもとより、スタートアップ企業など建設業界以外の力も借り、一体となって進める必要がある。これにより、自動化・自律化の開発が加速し、生産性のさらなる向上を通じて、持続可能な未来の実現につながると考えている。

JCMIA

《参考文献》

- 1) i-Construction 2.0 ～建設現場のオートメーション化～, URL: <https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/content/001738240.pdf>, 国土交通省

【筆者紹介】

永嶋 充 (ながしま みつる)

㈱大林組

東日本ロボティクスセンター運営管理部

メカトロニクス課

担当課長



佐藤 圭吾 (さとう けいご)

㈱大林組

東日本ロボティクスセンター運営管理部

メカトロニクス課

係長



仲安 陸 (なかやす りく)

㈱大林組

本社ロボティクス生産本部

技術開発部 実証実験計画課

職員

