

自律施工の技術開発促進に向けた取り組み 自律施工技術基盤「OPERA」の紹介

国立研究開発法人土木研究所 技術推進本部 先端技術チーム 上席研究員 やまぐち たかし 山口 崇

1. はじめに

国内の少子高齢化の進展に伴い、他産業と比べ高齢化が進んでいる建設分野においては、今後、深刻な人手不足が発生することが懸念されます。2021年の年齢階層別の建設業就業者数¹⁾は、55歳以上の階層に属する就業者数が最も多く、年齢階層が低下するごとに少なくなる逆ピラミッド型となっており（図-1）、近い将来に100万人以上の熟練技能者が一斉にリタイアしていくことが推測されます。

このような中で、国内の経済と安全・安心な暮らしを支える社会資本の整備、維持管理、災害復旧などを担う建設業において、必要な生産力を将来にわたり維持していくためには、建設現場の生

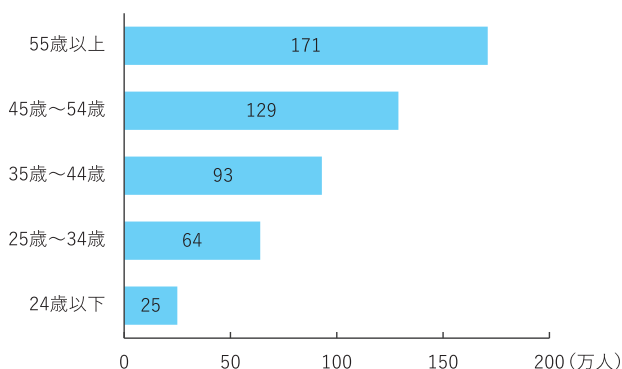


図-1 年齢階層別の建設業就業者数（2021）

産性を向上し、また魅力ある産業として将来の担い手を確保していく必要があります。そのため、i-Construction やインフラ DX をはじめとした建設現場の生産性向上や働き方の改革を目指した取り組みが進められています。

建設機械が周辺環境などを計測して把握し、前もって与えられた指示に従って自ら判断して作業を行い、人は遠隔地から1人で複数の建設機械の作業状況などを把握しながら施工を進めることを可能とする自律施工（図-2）は、大幅な省力化と作業環境の改善による新しい働き方の実現が期待できる技術であり、将来の建設現場の基盤となる技術と考えています。

本稿では、オープンイノベーション化を図ることで国内の自律施工の技術開発を加速し、施工現場に革新的な技術を早期に社会実装することを目



図-2 自律施工の将来イメージ

指して、国立研究開発法人土木研究所(以下、「土研」という)が進めている取り組みを紹介します。

2. 自律施工の技術開発促進に向けた取り組み

自律施工の技術開発促進に向けて、土研では主に以下の2点の取り組みを行っています。

●建設機械制御信号の共通化(協調領域の設定)

自律施工の技術開発を促進させるため、建設機械とユーザ(施工会社やソフトウェアベンダなど)側システムとの間でやり取りする制御信号に関する(必要最低限の)ルールを作成します。

●自律施工技術基盤(プラットフォーム)の整備

誰でも容易に活用できる自律施工用オープンプラットフォームを整備することで、オープンイノベーションを図り、自律施工の技術開発の促進を図ります。

なお、実際の施工現場に自律施工を導入していくには、建設機械や施工全体の自律化を踏まえた実効性のある事故防止技術や安全ガイドライン、施工管理や監督・検査の手法などの整備も必要であり、国土交通本省と方針をすり合わせながら、国土技術政策総合研究所(以下、「国総研」という)とも連携・協働しながら、検討を進めていく予定です。

(1) 建設機械制御信号の共通化(協調領域の設定)

従来の枠組みでは、民間企業が自律施工の技術開発を進める場合、多くのケースで施工会社と建設機械メーカーが個別に開発グループを形成することになります。このような開発グループが複数存在し、秘密保持などの制約のために、互いに連携・協働することが困難となっており、研究開発投資の重複が起こっています。また、メーカーが異なると建設機械の相互連携が難しく、特定のメーカーの建設機械しか使えない自律施工のシス

テムとなりがちです。そのため、協調領域を設定することで、研究開発投資の重複を回避し、複数のメーカーの建設機械を相互に連携して使える自律施工の実現が必要となります(図-3)。

そこで、土研では、建設機械と自律施工等のシステムとの間でやり取りする信号の統一化されたルールを、協調領域として設定することを考えています。まずは、油圧ショベルの協調領域原案(データ辞書の一覧表)を提示し、原案を基に建設機械メーカー等の関係者と意見交換を行い、成案に向けて、すり合わせを実施する予定で検討を進めています。そして順次、他の機種についても同様に進めていく予定です。また、この協調領域については、ISO等の規格化を見据えて取り組みを進めていく予定です。また、信号の妥当性、機種拡充、規格化の是非といった議論を行う会議体を発足する準備を進めています。

協調領域として設定する建設機械の制御信号の共通ルール(共通信号)は、自律施工システムを機能ブロックに分割し、その機能ブロック間でやり取りする信号のうち、共通信号とする箇所を図-4のように整理しています。機能ブロックは、施工管理システム、施工コントローラ、自動制御コントローラ、油圧制御コントローラからなり、各コントローラ間をつなぐ青色部分の信号を共通化するべきと考えています。例えば、油圧ショベルの車両動作指令には、バケット刃先の位置指令や走行指令などが含まれます。操作指令には、作業や走行のレバー操作量に相当する信号などが含まれます(図-4)。

なお、この考えによる油圧ショベルの共通信号の原案を土研先端技術チームのホームページで公開しています。この原案は、施工現場のデータ交換標準を定めたISO15143 Part 1とPart 2に基づいて検討しており、Part 2に規定されているデータ辞書に相当するデータ一覧表を整理しています。これらのデータ一覧表を用いた実装例も併せて公開しています(図-5)。

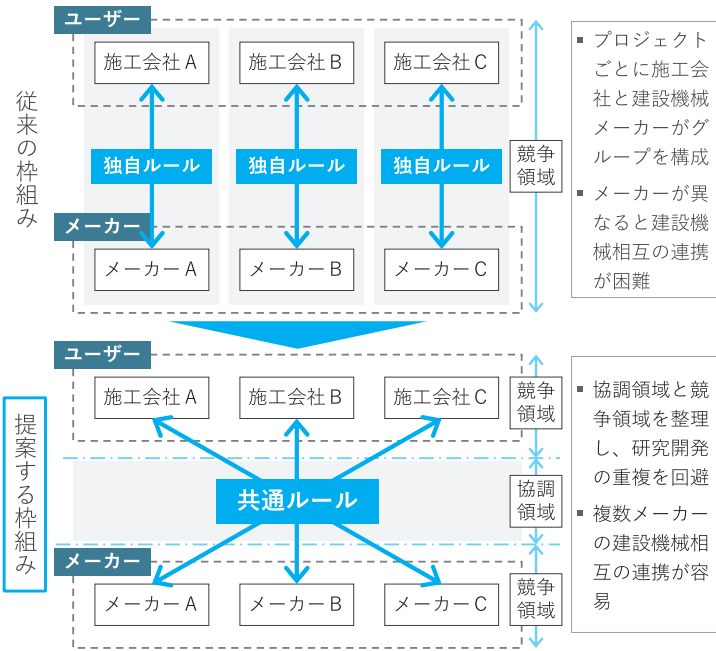


図-3 協調領域の必要性

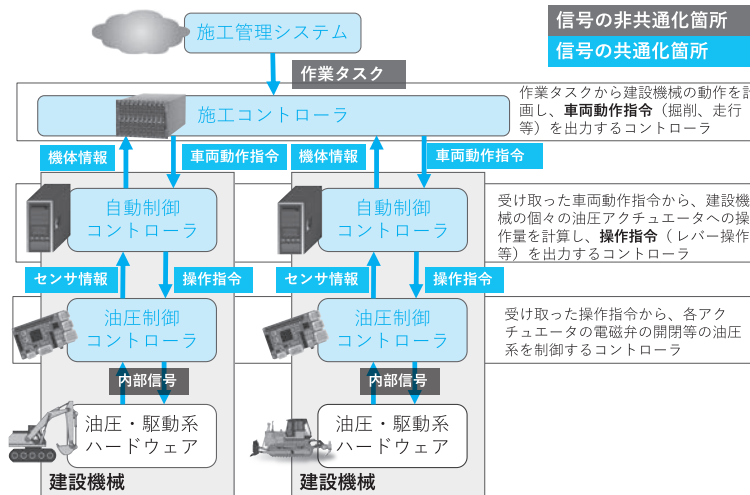


図-4 建設機械制御信号の共通化箇所

油圧ショベルを対象とした共通信号（案）をHPで公開

図-5 共通信号（案）の公開

(2) 自律施工技術基盤（プラットフォーム）の整備

自律施工技術基盤は、OPERA (Open Platform for Earthwork with Robotics and Autonomy) という名称で開発を進めています。その構成は、図-6に示すように、共通信号（建設機械制御信号）、実環境（電子制御化された建設機械と実験フィールド）、シミュレータ（バーチャル建設機械とバーチャル実験フィールド）、ミドルウェア（ROS：ロボット用に開発されるオープンソースのソフトウェアプラットフォーム）、センシングや自己位置推定などの一部のアプリケーションからなります。このOPERA上に、実際の施工で利用する自律施工のアプリケーションを構築することを想定しています。

実環境の電子制御化された建設機械としては、図-7に示すように、現時点では油圧ショベルとクローラダンプの利用が可能であり、今後、対象機種を拡張していく予定です。また、実環境の実験フィールドとして、令和3年4月につくば市内の国総研と土研にある試験走路北ループ内に整備され、利用を開始した建設DX実験フィールドの土工フィールドを活用します。

シミュレータは、図-8に示すように、建設機械の3Dモデルと環境モデル（地形データと土砂モデル）とセンサモデルからなり、これらを自由に選択、組み合わせてシミュレータを構築でき、モデルごとに独立して開発することも可能です。また、OPERAを用いて開発したアプリを変更せずに、シミュレータと実環境上の建設機械を動かすことができる仕様となっています。

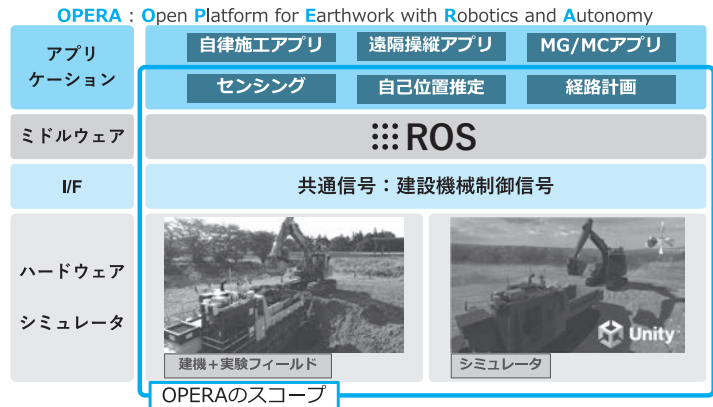


図-6 OPERAのシステム構成

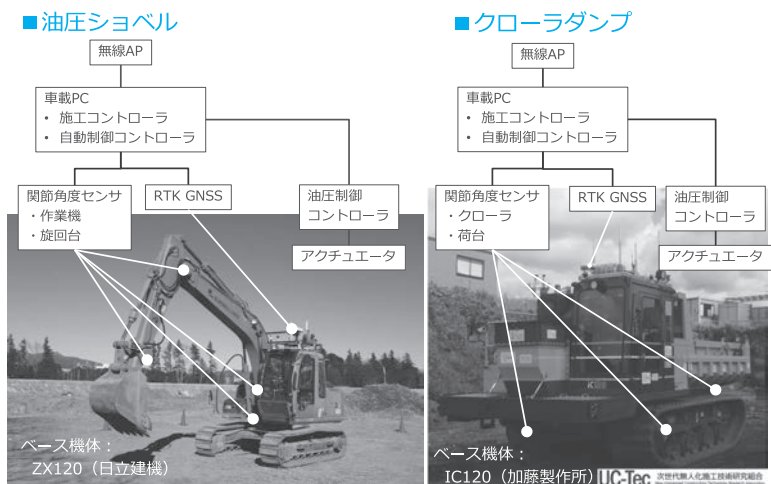


図-7 電子制御化された建設機械

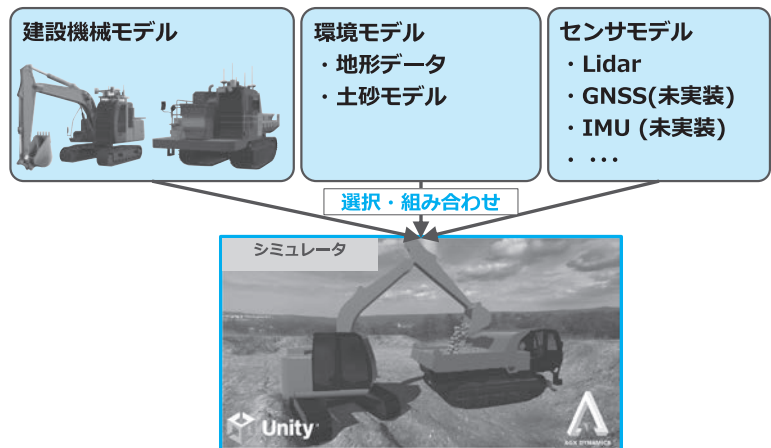


図-8 シミュレータのモデル構成

自律施工の技術開発を効率的に進める上で、シミュレータは有効です。コンピュータ上で建設機械の最適な動作をシミュレーションして導き出し、そのとおりに建設機械が動作するかを実環境で実験して検証することができます。シミュレータと実環境を用いて、試行錯誤を繰り返しながら

自律施工技術を最適化できる開発環境を整備します。

OPERA は、誰でも容易に使用できるオープンな開発環境として整備を進めており、オープンイノベーション化を図り、国内の自律施工の技術開発を加速することを目的としています。OPERA の整備・活用により、意欲と技術力はあるが実際の施工を模擬した開発環境を自ら準備することが難しいスタートアップ、異業種企業、中小企業、大学などの新規参入も容易となり、AI などの新たな技術の導入が加速し、また成果の再利用がしやすくなることを期待しています。

令和 4 年度からは、民間企業等との共同研究による OPERA を活用した自律施工の技術開発を本格的に開始しています。また、土研では、OPERA を活用して、技術の検証・評価や技術競技会などを行っていくことも考えています。図-9 に OPERA の活用イメージを示します。

なお、OPERA のシミュレータとミドルウェアは、誰でも自由にカスタマイズして利用できるように、GitHub 上で公開しています(図-10)。

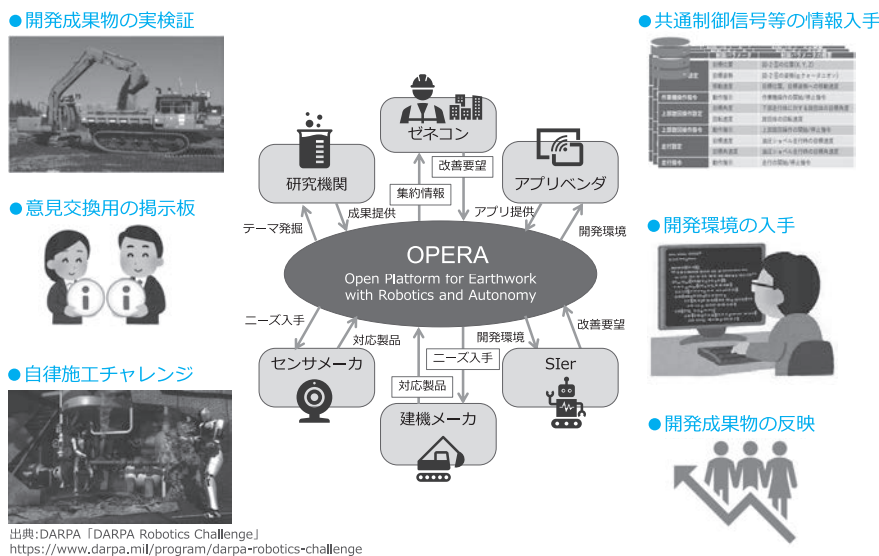


図-9 OPERA の活用イメージ

シミュレータとミドルウェアは、GitHubを利用して公開

- OPERAに関する仕様や技術に関わる情報
- OPERAに関する問い合わせへの回答
- OPERA利用者間の情報交換

図-10 シミュレータとミドルウェアの公開

3. おわりに

自律施工は、大幅な省力化と作業環境の改善による新しい働き方の実現が期待できる技術であり、建設現場のデジタル化、見える化によるリアルタイムできめ細やかな施工管理や効率的な施工計画シミュレーションも可能となる、次のステージの生産性向上を進める技術であり、将来の施工技術の基盤となる技術です。

土研では、①建設機械制御信号の共通化（協調領域の設定）や②自律施工技術基盤（プラットフォーム）の整備、それらを用いた自律施工技術の研究・開発など、国内の自律施工の技術開発を加速する取り組みを、これからも産学官の多岐にわたる多くの方と連携・協力しながら進めていく計画です。近い将来、国内の施工現場で革新的な自律施工技術が広く活用されていくことを期待しています。

最後に、本誌 2021 年 11 月号の「国総研、土研の建設 DX 実験フィールド（土工フィールド）の整備及び活用について」⁴⁾の中で、実施する計画

とお知らせしていた「自律施工の公開デモンストラーション」を、昨年の 11 月 24～26 日に開催することができ、延べ 150 名を超える方に参加をいただきました。この場を借りてお礼申し上げます。

公開デモの配布資料や動画、OPERA に関する情報は、土研先端技術チームの「自律施工技術基盤 OPERA ホームページ」に掲載していますので、ぜひご覧下さい。

【参考文献】

- 1) 総務省統計局：令和 3 年労働力調査年報，2022.5
- 2) 岩見吉輝：自律施工技術の今後の展望，土木技術資料 63-9 (2021)，pp.5-7，2021.9
- 3) 山内元貴ほか：建設機械施工における標準プラットフォームの提案，ロボティクス・メカトロニクス講演会 2020 in Kanazawa，2P1-A08，2020.5
- 4) 山下尚ほか：国総研，土研の建設 DX 実験フィールド（土工フィールド）の整備及び活用について，建設マネジメント技術 522 号，pp.19-25，2021.11
- 5) 山内元貴ほか：自律施工における協調領域の提案と自律施工技術基盤の開発，令和 3 年度建設施工と建設機械シンポジウム，42，2021.12
- 6) 遠藤大輔ほか：自律施工を実現する建設ロボット開発のためのオープンプラットフォーム，第 22 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会，3H3-12，2021.12



自律施工技術基盤 OPERA ホームページ

<https://www.pwri.go.jp/team/advanced/opera.html>