

自律施工技術基盤（土研 OPERA） の整備状況について

国立研究開発法人土木研究所 技術推進本部 上席研究員（特命事項担当） はしもと たけし 橋本 毅

1. はじめに

近年日本が直面している人口減少・少子高齢化の影響を受け、建設業においても熟練技能者の高齢化と若年労働者の減少による人材不足の深刻化、そこからくる生産能力の大幅な低下が危惧されています。この建設業の生産能力低下により、安全・安心な暮らしを支える社会資本の整備は今後滞る可能性を有しており、抜本的な解決が求められています。

この問題を解決するためには、建設業における生産能力の飛躍的な向上や、中長期的な担い手確保に向けた魅力ある建設業の構築が必要です。そのための技術革新の一つとして、建設機械が周辺環境を把握し、与えられた指示に従い自ら判断して作業を行う自律施工が挙げられます。

国立研究開発法人土木研究所（以下、「土研」という）では、大学や民間企業等における自律施工の研究開発を促進させるため、自律施工技術基盤（OPERA）の整備を2021年度から開始しています。このOPERAについては昨年度の本誌（2022年9月号 p.13～18）でも紹介しましたが、本稿では今一度OPERAとは何かということと、現状の整備状況および今後の計画などについて紹介します。

2. OPERA とは何か

自律施工技術基盤(OPERA)とは、Open Platform for Earthwork with Robotics and Autonomy の頭文字を取ったもので、土研が整備している自律施工（Earthwork with Robotics and Autonomy）に関する研究開発を行う場（Platform）のことです。

このOPERAは図-1に示すように、①自動運転対応型に改造した建設機械とフィールドからなるハードウェア、②ハードウェアを仮想空間上に再現したシミュレータ、③アプリケーションとハードウェア・シミュレータをつなぐミドルウェアと、共通制御信号、④基本的なアプリケーション、から構成されています。

OPERAの特徴は、その名前にあるように「オープン（Open）」であること（オープン性）と、図-1の中心にある「共通制御信号」を含んでいることの2点です。以下、それらについて説明します。

特徴(1) オープン性

OPERAでは、「オープン」を「研究開発に必要なツールや情報が公開されている」こと、「簡単に使用することができるようにしている」と定義しています。

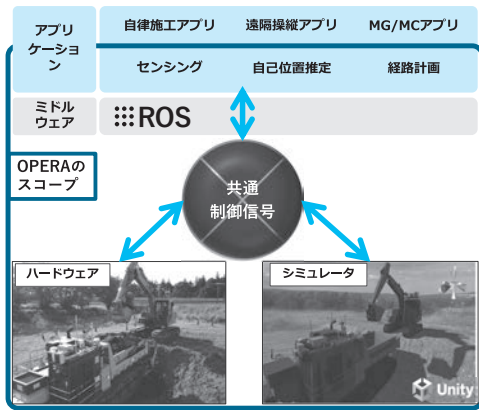


図-1 自律施工技術基盤 (OPERA) 構成図

すなわち、前述した①～④の構成要素と研究開発に必要な技術情報に、簡単にアクセスできるようにすることです。これにより、OPERAを活用した自律施工研究を誰でも容易に開始することが可能となります。

特徴(2) 共通制御信号

共通制御信号とは、図-2に示すように、建設機械のメーカーや機種が異なる場合でも、同一のプログラム等で制御が可能となるように制御信号を統一したものです。

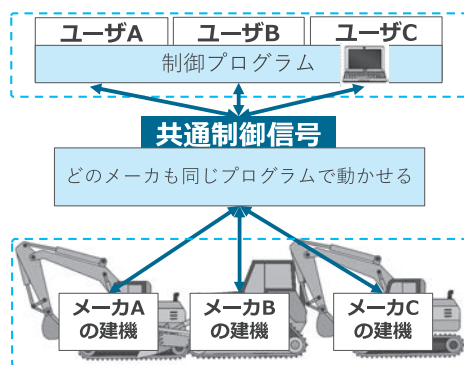


図-2 共通制御信号概要

OPERAは現実の施工現場と同様に、特定メーカーの建設機械のみでは構成されません。そこで、共通制御信号を作成し組み込むことで、制御プログラムの再利用や、様々な建設機械の相互連携が容易となり、研究開発の効率化が図れます。

これらのことから、OPERAとは「オープンであること」、「共通制御信号を含んでいること」という二つの特徴を持ち、土研が整備する、自律施工研究を行う「場」のことになります。

3. なぜ土研は OPERA 整備することにしたのか

自律施工については、これまでに施工会社などが主体の研究がいくつか行われています^{1)~3)}が、一般的に使用されるような実用化はまだまだされていません。自律施工を実用化するために今後必要な事項は何かを検討したところ、①自律施工に対応した法令、基準等の整備、②施工効率の向上や工種拡大などさらなる研究開発の加速、の2点が必要ではないかと推察しました。

そこで、特に②を実現することを目的にさらに検討を行い、研究開発を加速するためには、次に示す二つの課題を解決することが有効ではないかと考えました。

課題(1) 異業種・大学などの参入を拡大する

自律施工を実現するためには、これまでの建設業界のプレイヤーだけではなく、ロボット、制御、ソフトウェア、システムなどの異業種や、大学など研究機関の新規参入が有効であると思われます。しかしながら、これらの方々にヒアリングを行った結果、次のような障壁が存在していることが判明しました。

- ・ 建設機械が高価で購入できない
- ・ 建設機械を自前で改造することが難しい
- ・ 広いフィールドを持っていない
- ・ (外から見ると) 建設業界は閉鎖的であり、新規参入が難しい

課題(2) 協調領域を明確にし、研究の重複を防ぐ 研究開発体制を整備する

現在の自律施工に関する研究開発は、図-3に示すように、施工会社と建設機械メーカーなどがチームを組んで行っており、その際に秘密保持契約を結んでいることが多くなっています。その場合、研究内容や成果は外部には公表されず、各チームでの研究の重複や、研究成果を別の現場で再利用できないなどの問題が発生している可能性が考えられます。同様の課題は、一般社団法人日本建

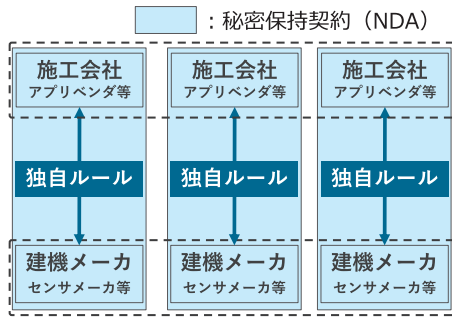


図-3 現状の研究開発体制

設業連合会による文献4)でも指摘されています。

そこで、土研では、これら二つの課題を解決する理想的な研究開発の場の一例として OPERA を整備することにしました。すなわち、2章で述べた OPERA の特徴(1)オープン性は、課題(1)の解決に有効であり、また、特徴(2)共通制御信号を施工会社や建設機械メーカーが手を取り合うべき協調領域とする(図-4)ことで、課題(2)の解決が図れると考えています。

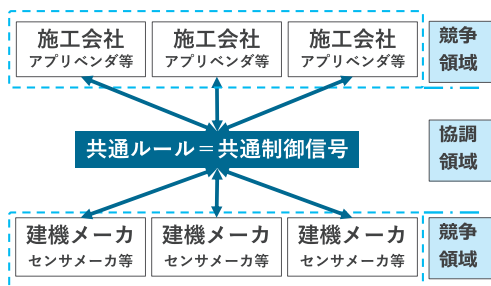


図-4 理想とする研究開発体制

そして、この OPERA を多くの研究開発者に活用してもらうことでその有効性を検証し、自律施工研究開発の加速化に貢献することを、土研の最終的な目標としています。

4. 研究開発者が OPERA でできること

図-5に OPERA の活用イメージを示します。この図に示すように、研究開発者はそれぞれの立場で OPERA 全体、あるいは一部分だけを活用して、研究開発を行うことが可能です。具体的な事例を次に示します。

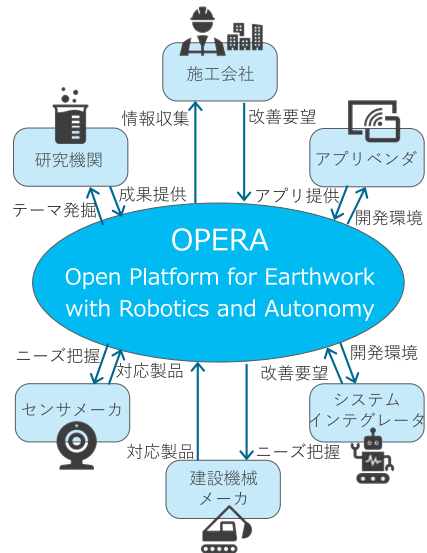


図-5 OPERA の活用イメージ

事例1：研究機関やアプリベンダなど

自律施工アプリケーションなどの開発を OPERA シミュレータ、建設機械を活用して実施できる。

事例2：施工会社など

OPERA と互換性のある施工現場を構築することで、OPERA の研究成果(建設機械、センサ、アプリケーションなど)をそのまま利用することができる。

事例3：建設機械メーカーやセンサメーカーなど

開発した製品を OPERA のハードウェア、シミュレータ、他研究者が開発したソフトウェアを用いて検証できる。また、事例2のような施工会社を顧客とすることができる。

事例4：すべての研究開発者

開発成果を持ち寄り、ビジネスパートナーを探すことができる。

5. OPERA の現状

OPERA は、土木施工で広く行われている、掘削・積込み・運搬・敷均し・締固めの一連の施工作業をターゲットとして、2021年度に整備を開始したものです。現在は次のような整備状況になっています(詳細は文献5)を参照)。

(1) 建設機械

自律施工対応型に改造した建設機械として、油圧ショベル（12t級：ZX120）1台、不整地運搬車（11t積：IC120）1台がそれぞれ用意されています（図-6）。



油圧ショベル（12t級） 不整地運搬車（11t積）

図-6 OPERA 整備済み建設機械

(2) フィールド

茨城県つくば市に土研と国土技術政策総合研究所が共同で整備した建設DX実験フィールドを用意しています。ここには、フィールド全体をカバーする無線設備、インターネット回線を有する二つの建屋、RTK-GNSSの基準局などが整備されています（図-7）。

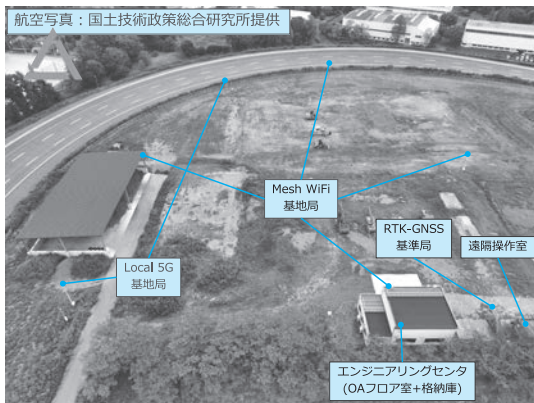


図-7 OPERA フィールド

(3) シミュレータ

シミュレータは、ゲーム開発に広く利用されるUnity上に、物理エンジンとしてPhysXを用いたものおよびAGX Dynamicsを用いたものの2種類を用意し、前述の油圧ショベルと不整地運搬車およびフィールド地盤を仮想空間上に再現しています。

(4) ミドルウェア、共通制御信号

研究開発が容易となるよう、ミドルウェアとしてROS（Robot Operating System）を採用しています。また、共通制御信号は前述の油圧ショベル、不整地運搬車用を土研で作成し、OPERAに組み込んでいます。

OPERAはいまだ整備途中ですが、様々な研究開発者による活用は既に始まっています。実績として、複数の大学にシミュレータやフィールドを利用していただいている他、土研が公募した「自律施工技術基盤OPERAを活用した機械土工の生産性向上に関する共同研究」に対し、個別の10団体（全14者）から応募があり、これらとの共同研究を2022年9月より開始しています。共同研究の参画者名および研究テーマの分類内訳を図-8に示します。

ID	共同研究者名（順不同）	業種
1	ハイテックインター株式会社	情報通信業
	株式会社ジツタ中国	卸売業・小売業
	株式会社中電工	建設業
2	ARAV株式会社	情報通信業
3	株式会社IHI	製造業
4	株式会社奥村組	建設業
5	酒井重工業株式会社	製造業
6	早稲田大学岩田研究室	大学
7	日立建機株式会社	製造業
8	株式会社フジタ	情報通信業
9	株式会社DeepX	建設業
9	清水建設株式会社	建設業
9	株式会社加藤組	建設業
10	ORAM株式会社	情報通信業

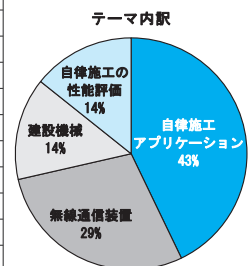


図-8 共同研究の参画者名、研究テーマの分類内訳

6. 今後の計画

土研によるOPERA整備に関する今後の計画としては、OPERAの拡充と拡散を考えています。

(1) OPERAの拡充

① 建設機械

油圧ショベル（20t級）、ブルドーザ（9t級）、土工用振動ローラ等を今後拡充する予定です。

② フィールド

無線機・監視カメラの増設、給油施設の設置などを今後行う予定です。

③ シミュレータ

先に述べた新機種モデルを拡充すると並行して、大規模なフィールドがシミュレート可能となるよう、シミュレータのスケラビリティを向上する予定です。

④ ミドルウェア、共通制御信号

ROSのサポートが終了することから、ROS2に順次変更していく予定です。また、新機種の共通制御信号も順次開発する予定です。

(2) OPERAの拡散

OPERAは理想的な研究開発の場の一例として土研が整備しているものです。しかし、4章で述べたとおり、土研のみが保有するのではなく、同様な研究開発の場が他の研究機関や企業で整備されることや、OPERAの成果をそのまま活用できるような施工現場が増えることで、自律施工の研究開発がさらに加速化されると考えています。

また、5章で述べたように、現状のOPERAは掘削・積込み・運搬・敷均し・締固めの一連の施工作業をターゲットとしていますが、研究開発者によってはターゲットが異なるため、同様の研究開発の場を自ら整備しなくてはならない場合もあります。そこで土研では、OPERA整備のノウハウを積極的に公開することで、同様の研究開発の場を広く拡散するよう働きかけたいと考えています。

また、特に共通制御信号は、建設業界全体の取り組みとすることで、自律施工の研究開発がさらに効率化されると考えています。そこで、OPERA整備と並行して、共通制御信号を業界全体の取り組みとできないか、まず建設機械メーカーと協議する場としての共同研究を2023年3月より開始しています。

7. おわりに

ここまで述べてきたように、OPERAとは「オ

ープンであること」、「共通制御信号を含んでいること」という二つの特徴を持つ自律施工研究を行う「場」のことです。土研ではこのOPERAが理想的な研究開発の場の一例であると考え、茨城県つくば市に掘削・積込み・運搬・敷均し・締固めの一連の施工作業をターゲットとして、2021年度から整備を開始しています。

土研の最終的な目標は、OPERAを多くの研究開発者に活用してもらうことで自律施工研究開発の加速化に貢献することであり、土研が単独で自律施工システムを開発することは現状計画していません。今後、研究機関や民間企業などと共同でOPERAを活用した自律施工システムの開発を行うとともに、OPERAの拡充と拡散を図っていきたいと考えています。

また、3章で述べた、自律施工を実用化するために必要な事項の一つである①自律施工に対応した法令、基準等の整備については、国土交通省「建設機械施工の自動化・自律化協議会⁶⁾」にて検討が行われています。今後、土研としても本協議会と連携を取り、自律施工の実用化に貢献していきたいと思えます。

【参考文献】

- 1) 鹿島クワッドアクセル, https://www.kajima.co.jp/tech/c_ict/automation/index.html#body_01, 2023/7/13 閲覧。
- 2) 協調運転制御システム, https://www.taisei.co.jp/about_us/wn/2021/210209_5072.html, 2023/7/13 閲覧。
- 3) バックホウ自律運転システム, https://www.obayashi.co.jp/solution_technology/detail/tech_d221.html, 2023/7/13 閲覧。
- 4) 一般社団法人日本建設業連合会 土木工事技術委員会 土木情報技術部会 情報利用技術専門部会：建設業のためのロボットに関する調査, 2020。
- 5) 遠藤大輔, 山内元貴, 鈴木裕敬, 橋本毅：自律施工を実現するためのオープンなプラットフォーム“OPERA”の現状と将来展望, 農業食料工学会誌, 第85巻 第2号, 73-78, 2023。
- 6) 国土交通省ウェブサイト, https://www.mlit.go.jp/tec/constplan/sosei_constplan_tk_000049.html, 2023/7/13 閲覧。