

自律施工技術基盤 OPERA

～ 自律施工の普及へ向けた取組み ～

土木研究所 技術推進本部 遠藤 大輔

1

自律施工とは



設計データとセンシングした現場状況とを基に、建機含めたシステムが自律的に機能する施工。一人の監視者によって複数台の建機オペレーションを可能とする。

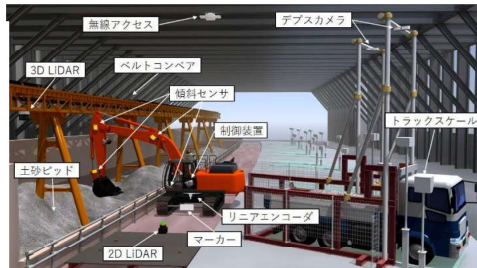
2

現在の自律施工技術例

- 研究所内実験施設にて、
- 油圧ショベルによる掘削、旋回、積込の自動化
 - クローラダンプによる運搬は遠隔操縦
 - 単一機械の個別動作自動化を実現



自動運転油圧ショベル 土木研究所 (2007年)



大林組WebSiteより (2019年～)

- 研究施設にて、
- 油圧ショベルによる掘削、旋回、積込の自動化
 - ダンプトラックによる運搬は搭乗操縦
 - 単一機械の個別動作自動化を実現

- ダム現場にて、
- ダンプによる土砂運搬、荷降ろしの自動化
 - ブルドーザによるまき出しの自動化
 - ローラによる転圧の自動化
 - 限定的なユースケースの中で、複数機械の組み合わせ作業を実現



鹿島建設提供 (2017年～)



大成建設WebSiteより (2021年～)

- 実証施設にて、
- 油圧ショベルによる掘削、積込みの自動化
 - ダンプによる土砂運搬、荷降ろしの自動化
 - ブルドーザによるまき出しの自動化
 - ローラによる転圧の自動化
 - 限定的なユースケースの中で、複数機械の組み合わせ作業を実現

今後は、適用現場の拡充，機種種の拡充，全体の施工計画・施工管理の自動化などが必要。

民間企業・大学などにおける研究開発の加速化が必要

Contents

1. 自律施工の技術開発促進に向けた課題

2. 課題解決に向けた土木研究所の取り組み

1. 自律施工の技術開発促進に向けた課題

自律施工の技術開発促進に向けた課題

「建設業のためのロボットに関する調査報告書」（日建連：2020）
による建設ロボット開発での課題点

① 多種多様な建設現場環境や作業内容に対応できる柔軟な建設ロボットの開発

多様な建設現場環境や作業内容でも利用可能な作業性を有した、全天候型ロボット技術の確立が求められる。

② 自動化を念頭においた法令・規制の整備

産業用ロボットを参考に、建設業界においても人間とロボットの協働に向けた法整備を進めていく必要がある。

③ 協調領域の明確化と技術の標準化による研究開発体制の整備、それによる開発コスト削減

建設業界においては個社での技術開発が目立つため、研究の重複が起こっており費用対効果を得ることが難しくなっている。協調領域を明確にして、同業者による共同開発を含めた産学官連携による技術開発体制を整備し、技術の標準化・共通化による開発・運用コストの削減が必要である。

③をもう少し説明しますと...



研究者

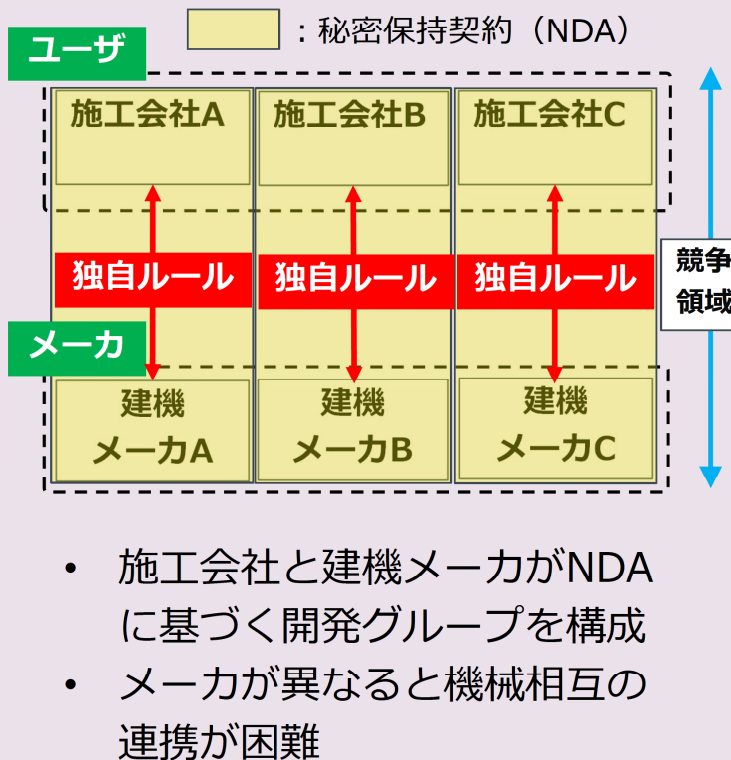
建設機械を自律化する
研究をしたい！

研究を始めるための課題

1. **建設機械の電子制御化**
最新型を除くと現在ほとんどの機械は電子制御化されていない
2. **建設機械へのセンサ類の搭載**
必要なセンサ類が付いていない
3. **建設機械をコンピュータにて制御可能にする.**
センサ類をコンピュータに接続する

まず機械の改造から始めなくてはならない
研究者が全てを準備することは困難

建設機械改造時の枠組み



個社での開発・研究の重複
新規希望者・異業種参入が困難

7

2. 課題解決に向けた土木研究所の取り組み

8

自律施工の技術開発促進に向けた土木研究所の取組



以下の2点へ取り組んでいる

1. 建設機械制御信号の共通化（協調領域の設定）
2. 自律施工技術基盤（プラットフォーム）の整備

9

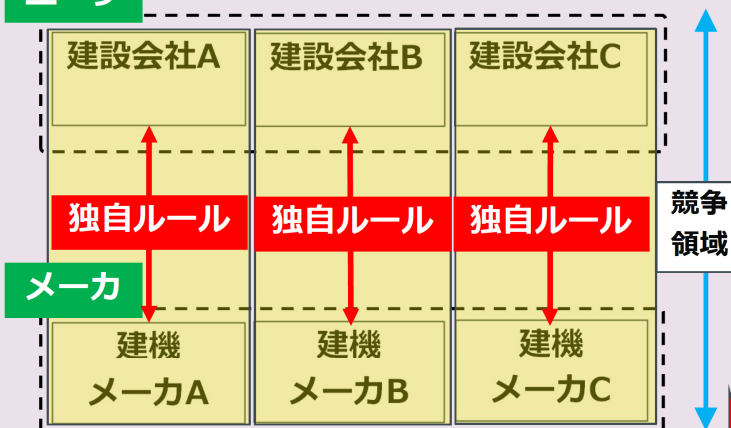
土木研究所における取組1：建設機械制御信号の共通化

概要

自律施工の研究開発を加速させるために、建設機械とユーザ（施工会社やソフトウェアベンダなど）間の制御信号に関する（必要最低限の）ルールを作成する。

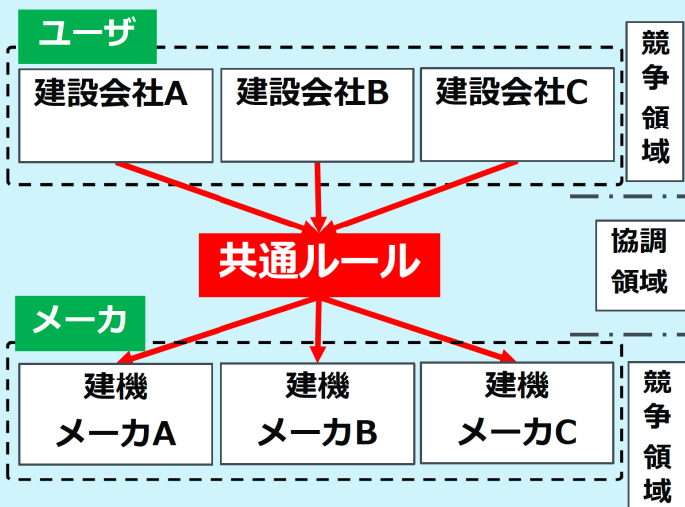
従来の自律施工技術開発の枠組み

ユーザ : 秘密保持契約 (NDA)



- 建設会社と建機メーカーがNDAに基づく開発グループを構成
- メーカーが異なると機械相互の連携が困難

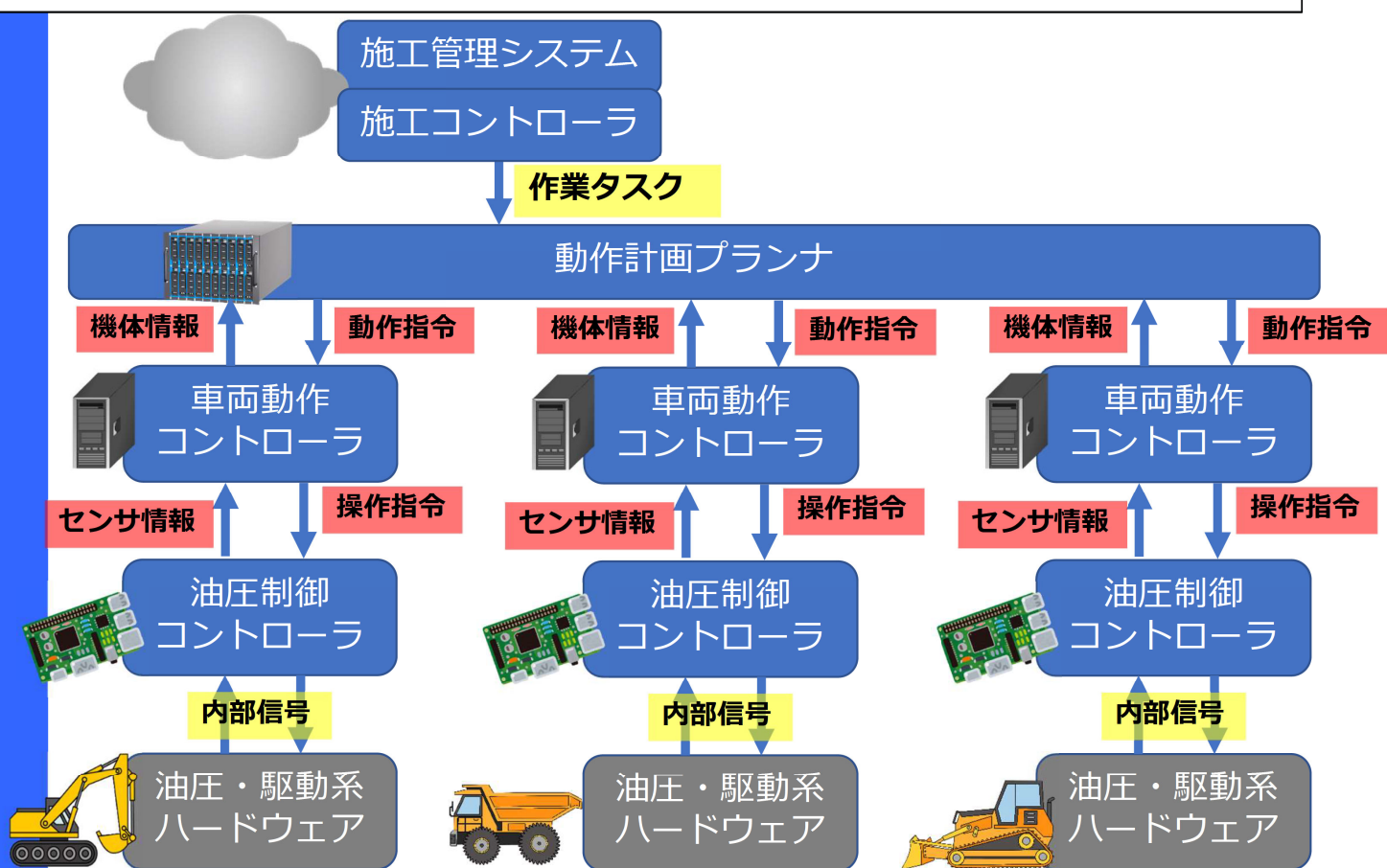
提案する枠組み



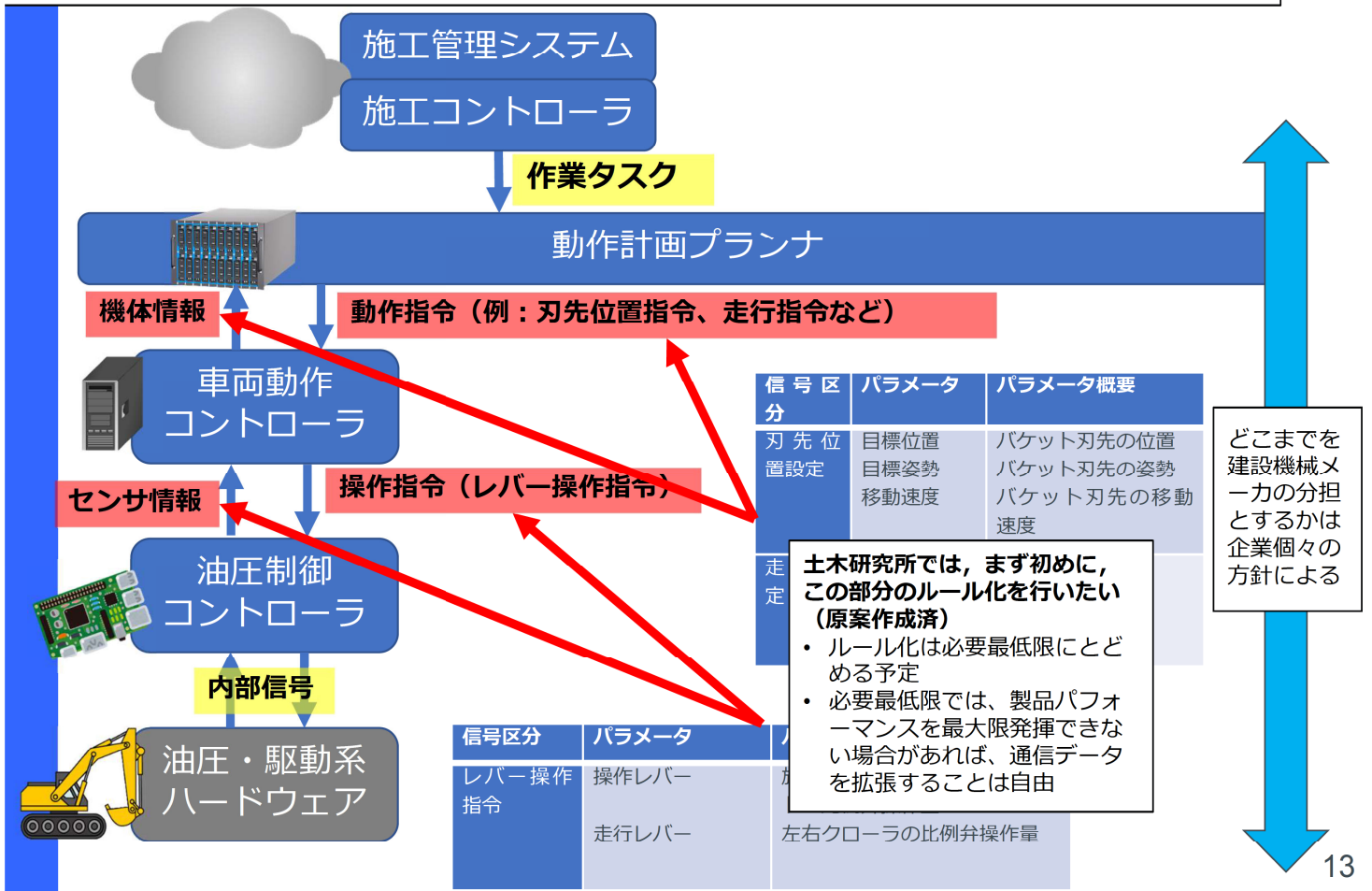
- 協調、競争領域を整理し 研究開発の重複を防ぐ
- 同一現場で複数メーカーの連携が容易

協調領域を定めることで開発投資の重複を防ぎ、企業間の連携/競争がしやすくなる

土木研究所が考える建設機械制御構成（機種やメーカーによってはこの通りではない）



土木研究所が考える建設機械制御構成（機種やメーカーによってはこの通りではない）



油圧ショベルを対象とした共通制御信号（案）をHPで公開

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

PWRI ホーム メンバー 研究成果 研究紹介 施設紹介 OPERA

自律施工技術基盤OPERAホームページ

- 自律施工技術基盤OPERAとは
建設機械の高度な遠隔操縦支援技術や、自動・自律技術は土木業界の生産性を飛躍的に向上させると期待されています。しかしこのような新技術開発には、高度なシステムが必要です。OPERAは、この新技術開発を行う上で必要となる建設機械、実験フィールド、無線通信システム、シミュレータおよびミドルウェアを公開・提供する研究開発プラットフォームです。OPERAは、茨城県つくば市の土木研究所にて開発・整備されており、機械機械の新技術開発にどなたでもご利用いただけます。
 - OPERAの運用方針
 - シミュレータおよびミドルウェアの公開
GitHubにて、シミュレータおよびミドルウェアを公開しております。
 - 公開資料
- | タイトル | 発行年月 | ファイル |
|-------------------------------------|----------|------|
| 自律施工技術開発促進に向けた土木研究所の取組およびデモンストレーション | 2021年11月 | |
| 建設機械の共通制御信号（案） | 2021年11月 | |
| 自律施工デモンストレーション実機動作動画 | 2021年11月 | |

- ・ ISO15143-1、2に準拠したデータ辞書
- ・ XMLとCANによる実装例



項目	説明	単位	範囲	備考
目標位置	バケット刃先の目標位置	m	0.000000 ~ 10.000000	
目標姿勢	バケット刃先の目標姿勢	deg	0.000000 ~ 360.000000	
移動速度	バケット刃先の目標移動速度	m/s	0.000000 ~ 1.000000	

項目	説明	単位	範囲	備考
左右クローラの比例弁操作量	左右クローラの比例弁操作量		0.000000 ~ 1.000000	

土研 OPERA



概要

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化を図り自律施工の研究開発を加速させる。

OPERAの活用イメージ

● 開発成果物の実検証



● 意見交換用の掲示板



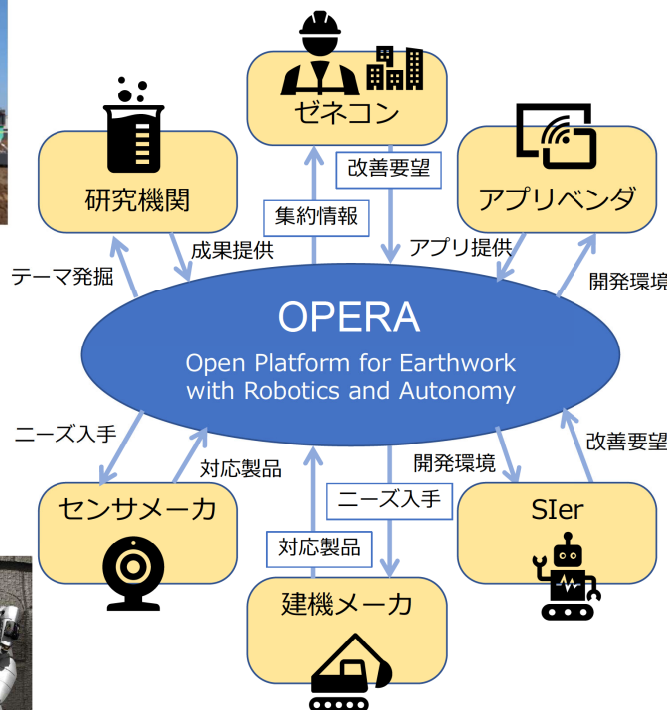
● 自律施工チャレンジ



出典: DARPA 「DARPA Robotics Challenge」
<https://www.darpa.mil/program/darpa-robotics-challenge>

● 共通制御信号等の情報入手

制御信号	制御信号の意味
目標位置	図-2④の位置(X, Y, Z)
目標姿勢	図-2④の姿勢(クォータニオン)
移動速度	目標位置、目標姿勢への移動速度
作業機操作指令	動作指示 作業機操作の開始/停止指令
上部旋回操作設定	目標角度 下部走行体に対する旋回体の目標角度
上部旋回操作指令	動作指示 旋回体の回転速度
下部旋回操作設定	目標角度 上部旋回操作の開始/停止指令
下部旋回操作指令	動作指示 上部旋回操作の開始/停止指令
走行設定	目標速度 掘削ショベル走行時の目標速度
走行指令	動作指示 掘削ショベル走行時の目標角度



● 開発環境の入手



● 開発成果物の反映



自律施工技術基盤 OPERA

オーブンプラットフォームは、OPERAという名称で開発を進めており、共通信号実環境（建機+実験フィールド）、シミュレータ、一部のアプリケーションから構成される。

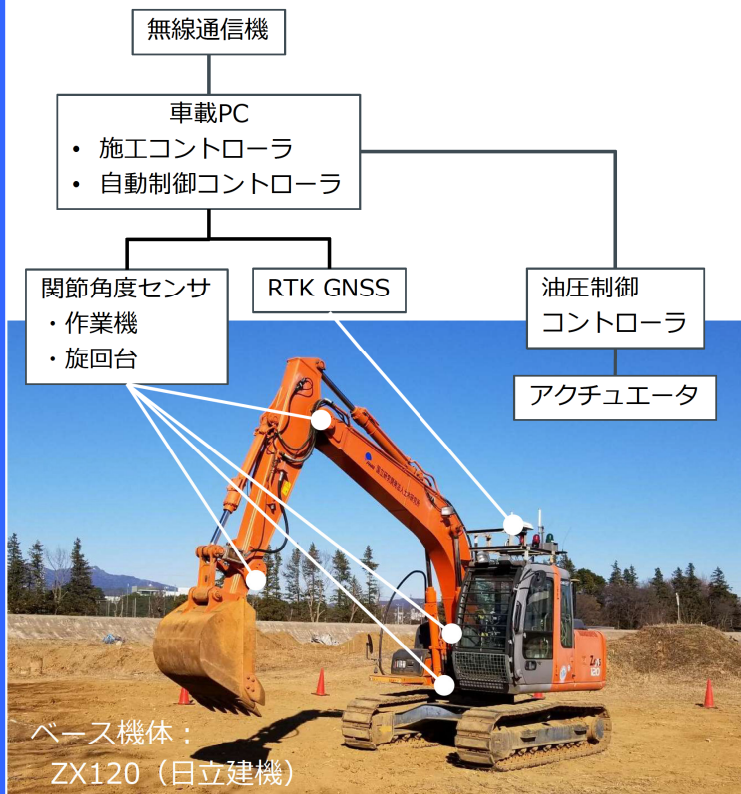
OPERA : **O**pen **P**latform for **E**arthwork with **R**obotics and **A**utonomy



OPERAとは共通信号をコアにしたOSSベースの研究開発プラットフォーム

ハードウェア：電子制御化された建設機械

■ 油圧ショベル



■ クローラダンプ



現時点では上記2機種を使用可 対応機種は今後拡張予定

ハードウェア：建設DX実験フィールド

- 敷地面積2.6万m²を有する建設DX実験フィールド（土工フィールド）を活用し、実機を使った施工技術の研究開発、実証試験が可能
- ローカル5G(4.8~4.9GHz帯)およびメッシュWiFiによる無線通信を提供



【主な想定用途】

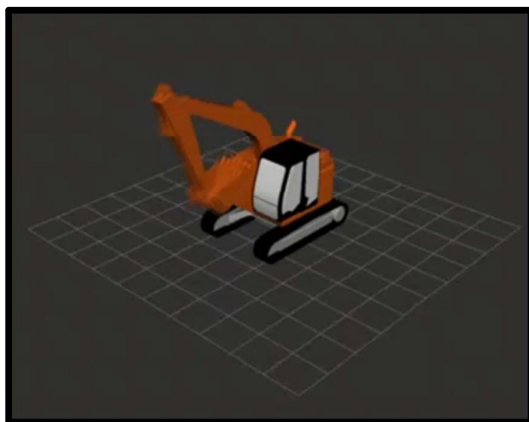
- [1] 自律施工技術の研究開発成果の検証
- [2] 先進的な通信環境（5G等）を活用した遠隔操作技術の検証
- [3] 民間企業，大学等が開発した最新技術の実大施工実験
- [4] 様々な地形条件下における施工機械の性能検証

国土技術政策総合研究所、土木研究所内に整備した建設DX実験フィールドを活用

土研シミュレータ

シミュレータ検証

自律施工用のプログラム
(=開発対象)



フィードバック



実機検証



Powered by **VMC** Motion Technologies, **MID** Academic Promotions

実機を動かす前にシミュレータを活用した試行が容易
開発したプログラムは変更せずに実機上で動かすことが可能

シミュレータとミドルウェアは、GitHubを利用して公開

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

PWRI ホーム メンバー 研究成果 研究紹介 施設紹介 OPERA

自律施工技術基盤OPERA ホームページ

・ 自律施工技術基盤OPERAとは

建設機械の高度な遠隔操縦支援技術や、自動・自律技術は土木業界の生産性を飛躍的に向上させると期待されています。しかしこのような新技術開発には、高度なシステムが必要で、OPERAは、この新技術開発を行う上で必要となる建設機械、実験フィールド、無線通信システム、シミュレータおよびミドルウェアを公開・提供する研究開発用プラットフォームです。OPERAは、茨城県つくば市の土木研究所にて開発・整備されており、機械機械の新技術開発にどなたでもご利用いただけます。

・ OPERAの運用方針

・ シミュレータおよびミドルウェアの公開

GitHubにて、シミュレータおよびミドルウェアを公開しております。

・ 公開資料

タイトル	発行年月	ファイル
自律施工技術開発促進に向けた土木研究所の取組およびデモンストレーション	2021年11月	
建設機械の共通制御信号 (案)	2021年11月	
自律施工デモンストレーション実験動作動画	2021年11月	

土研 OPERA



- ・ 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

GitHubの公開ページ

<https://github.com/pwri-opera>



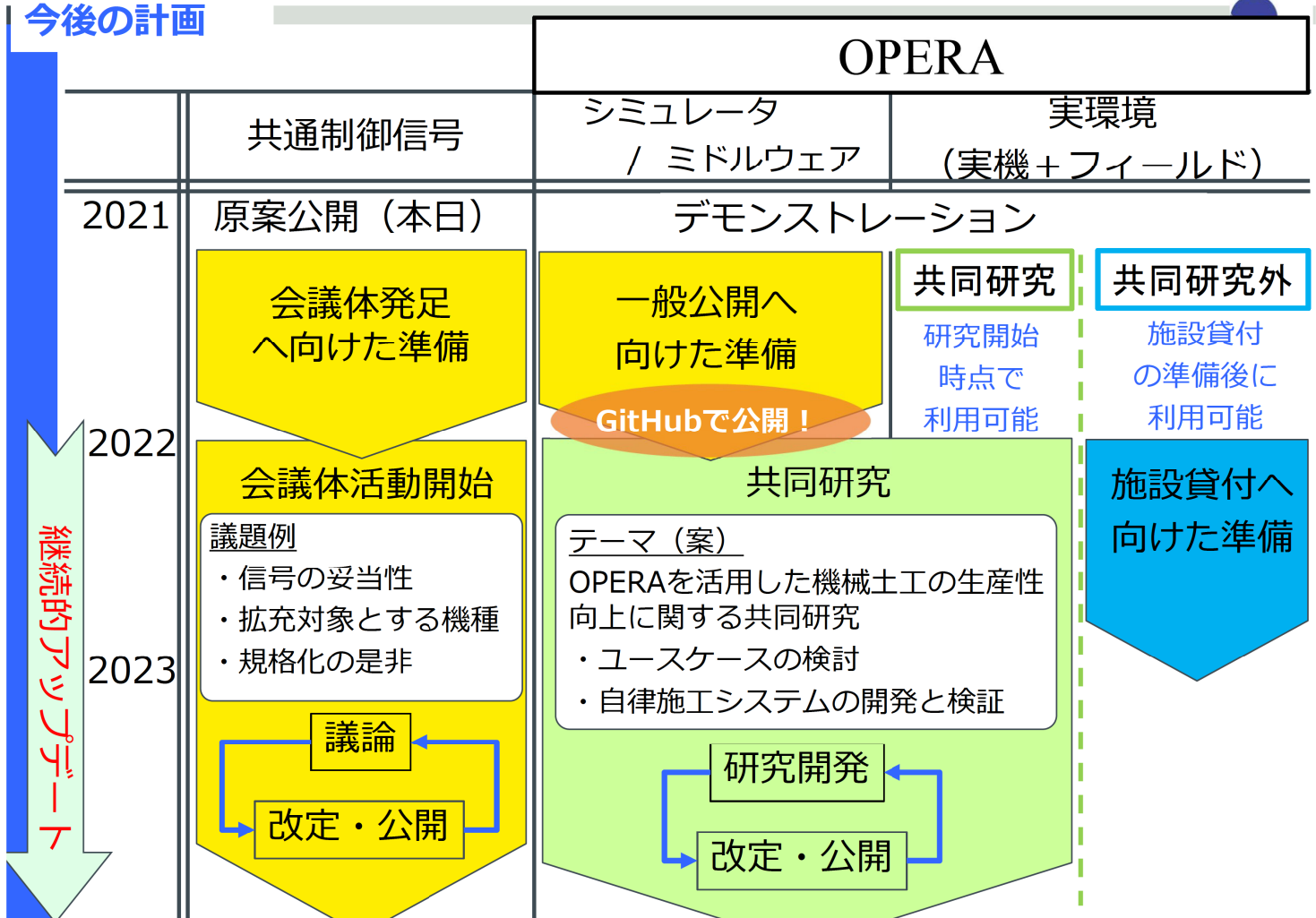
21

アプリケーション開発の事例

- ・ OPERAを用いて、油圧ショベルとクローラダンプを用いた土砂の掘削・積込み・運搬の自動化ソフトウェアを開発した
- ・ OPERAのデモンストレーション用として土研の職員2名が2ヶ月程度で開発



22



継続的アップデート

改定結果は逐次公開する (会議体や共同研究への参画はOPERAの利用要件ではない) 23

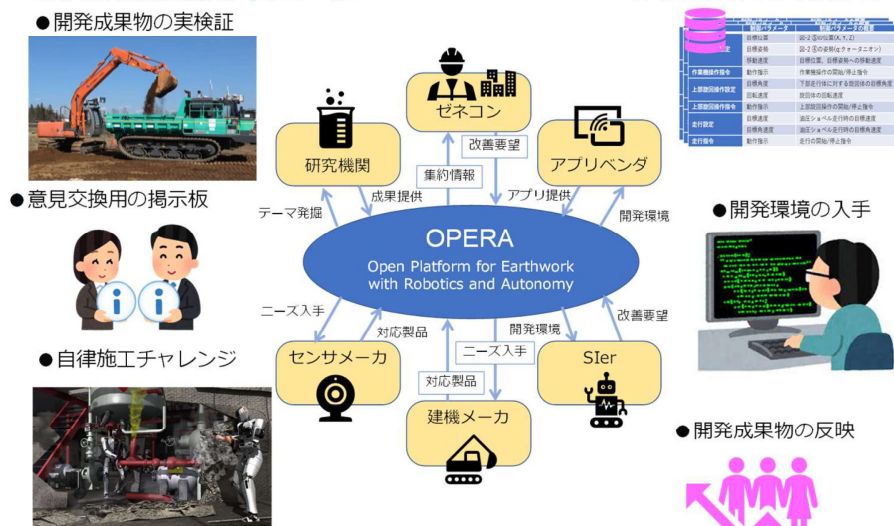
まとめ

土木研究所では自律施工の普及・拡大へ向け、以下の2つの取組を進めている

1. 建設機械制御信号の共通化 (協調領域の設定)
2. オープンプラットフォーム “OPERA”の整備

これらはOpen Innovationの為の Open Access かつ Open Source の取組であり、自律施工に携わる方々の共通言語・情報Hubとなることを目指している

OPERAの活用イメージ



出典: DARPA [DARPA Robotics Challenge]
<https://www.darpa.mil/program/darpa-robotics-challenge>