

自律施工の技術開発促進に向けた 取り組みについて

～ 土研OPERAの紹介 ～

令和4年6月

土木研究所 技術推進本部 山口 崇



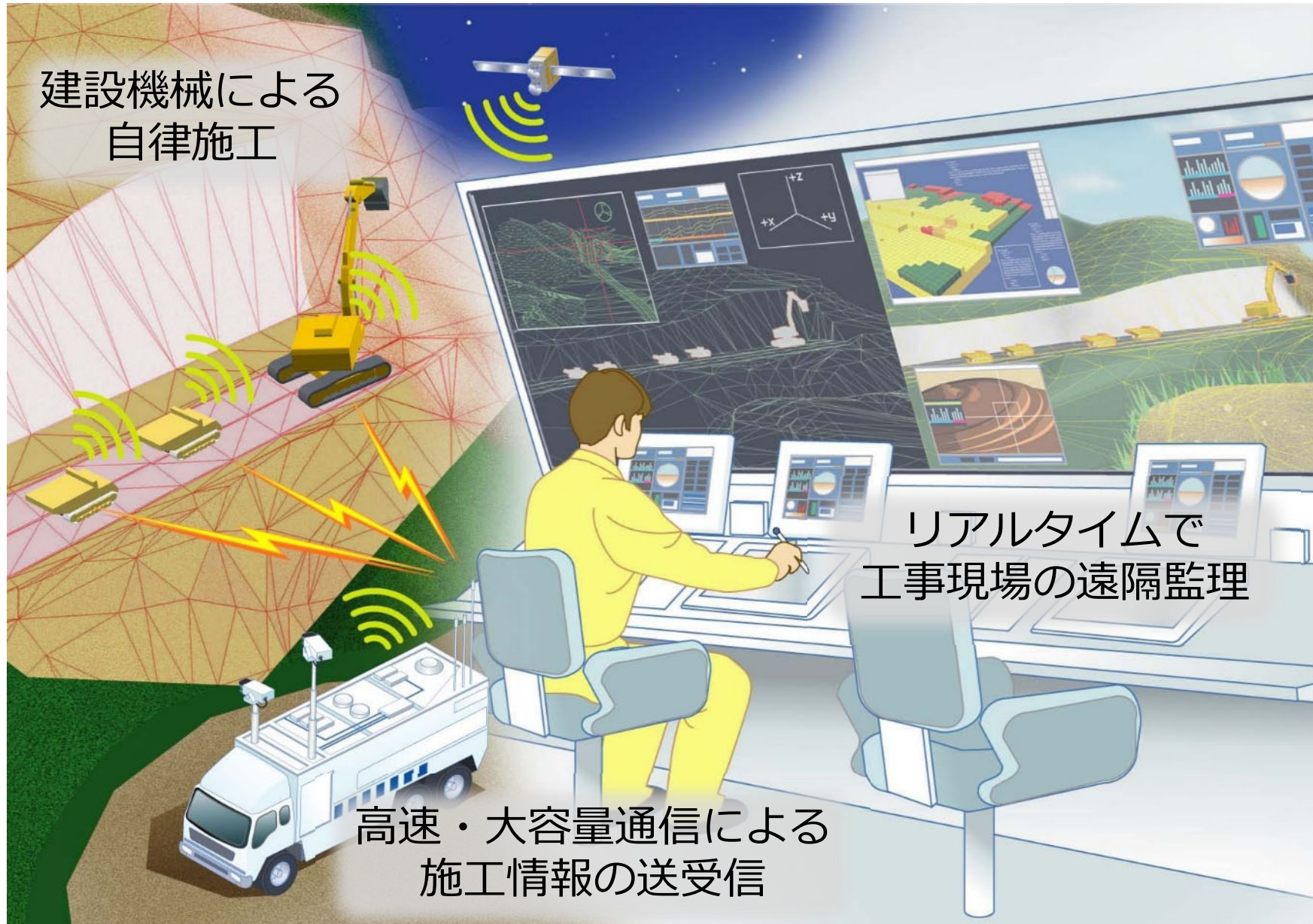
遠隔操作による無人化施工



遠隔操作による無人化施工



1人で複数台の建設機械の運用を可能とする自律施工

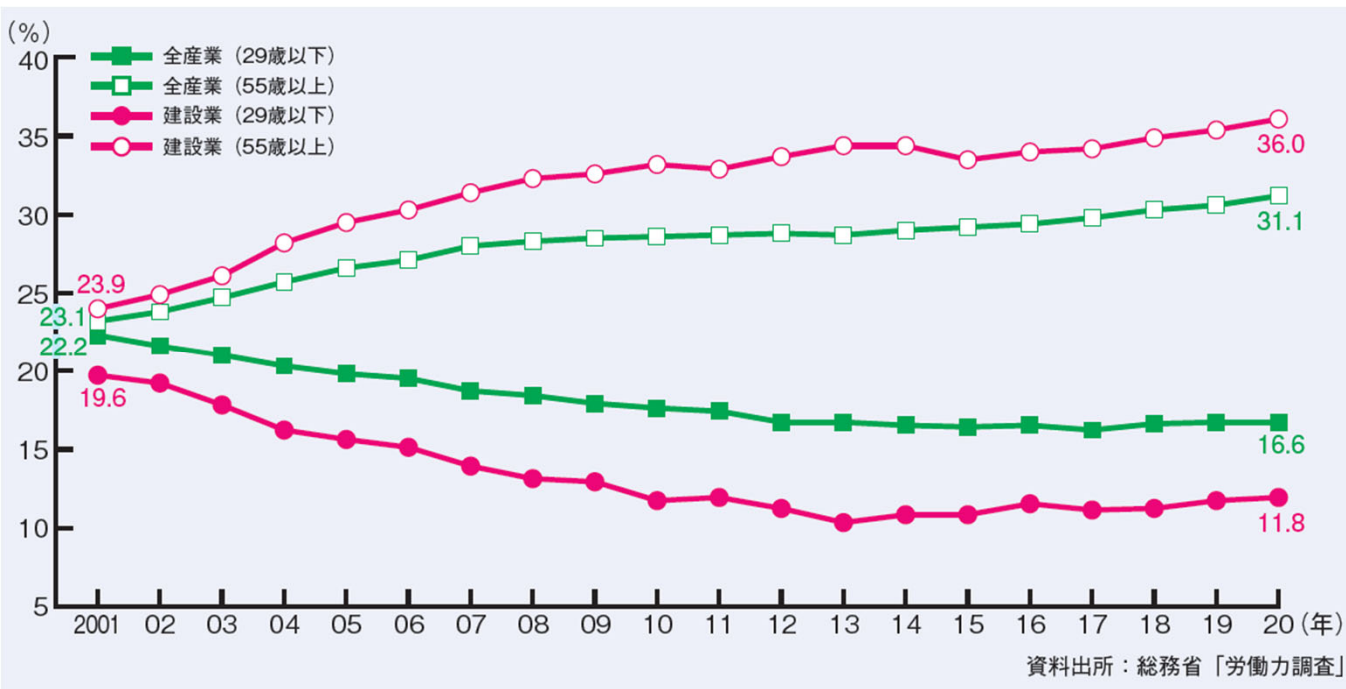


1. 建設現場の無人化は遠い将来のことではない
2. 自律施工の技術開発促進に向けた取り組み
3. 自律施工の実現後の建設現場

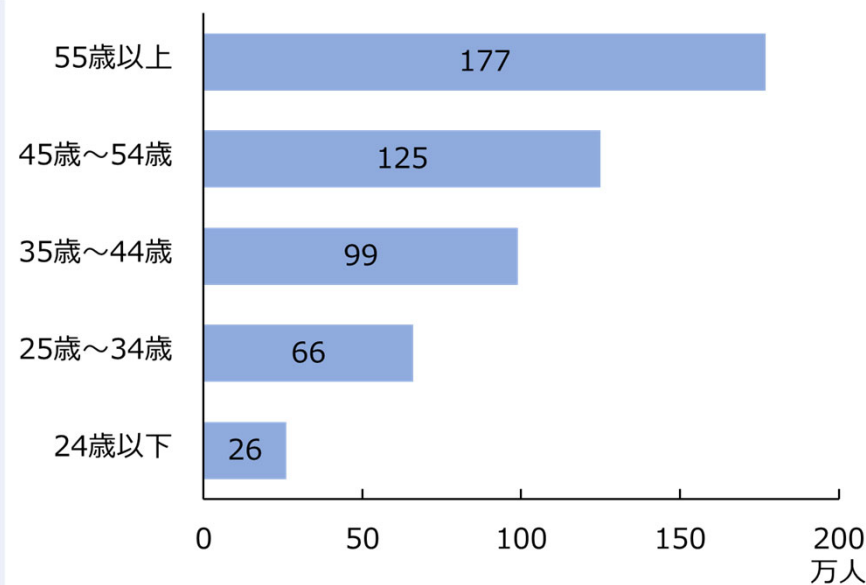
1. 建設現場の無人化は遠い将来のことではない

建設業における課題

少子高齢化に伴い加速する建設業就業者数の減少



年齢別就業者割合
(建設業ハンドブック2021より)



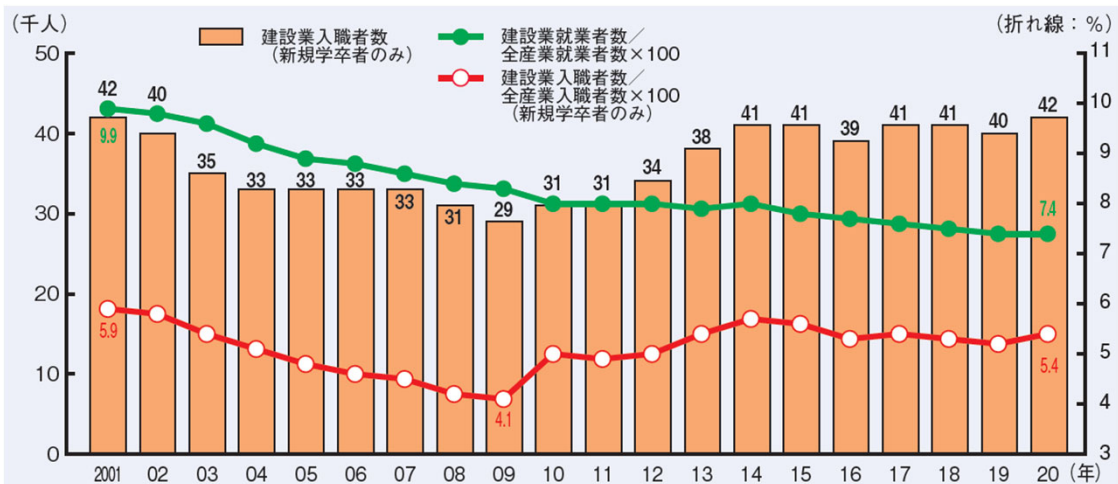
年齢階層別の建設業就業者数(2020)
(「令和2年労働力調査結果」(総務省統計局)より作成)

- ・ 高度経済成長期を支えてきた熟練技能者が近年中に大量リタイア (現就業者の大幅減少 📉)
- ・ 少子高齢化に伴い次世代の建設業を担う人材確保が困難 (新規就業者の減少 📉)

建設現場における徹底的な生産性向上が必要

建設業における課題

若年就業者数の減少 (少ない入職者と多い離職者)

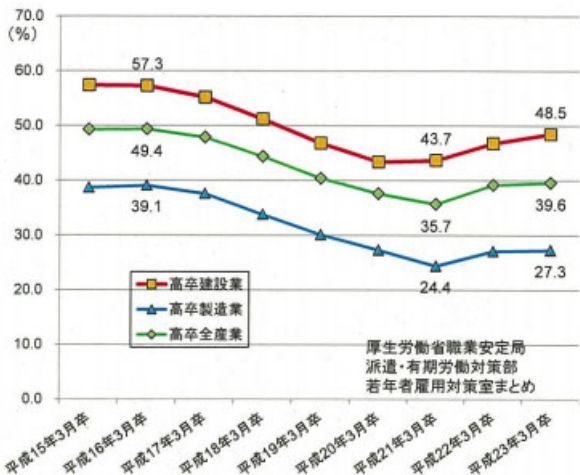


(注) 新規学卒者数には中学卒を含まない

資料出所: 総務省「労働力調査」、文部科学省「学校基本調査」

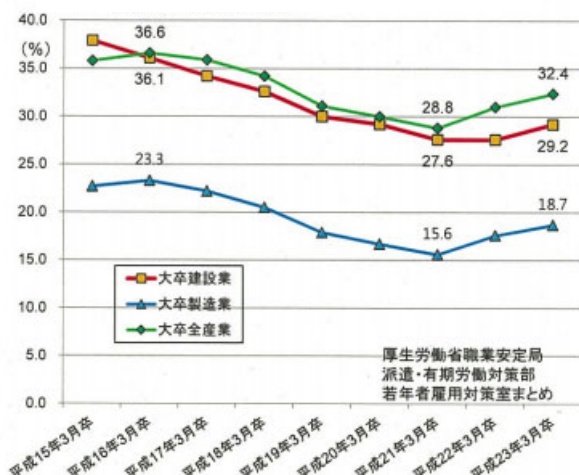
新規学卒者の入職状況(建設業ハンドブック2021より)

新規高卒者離職率 (3年目まで)



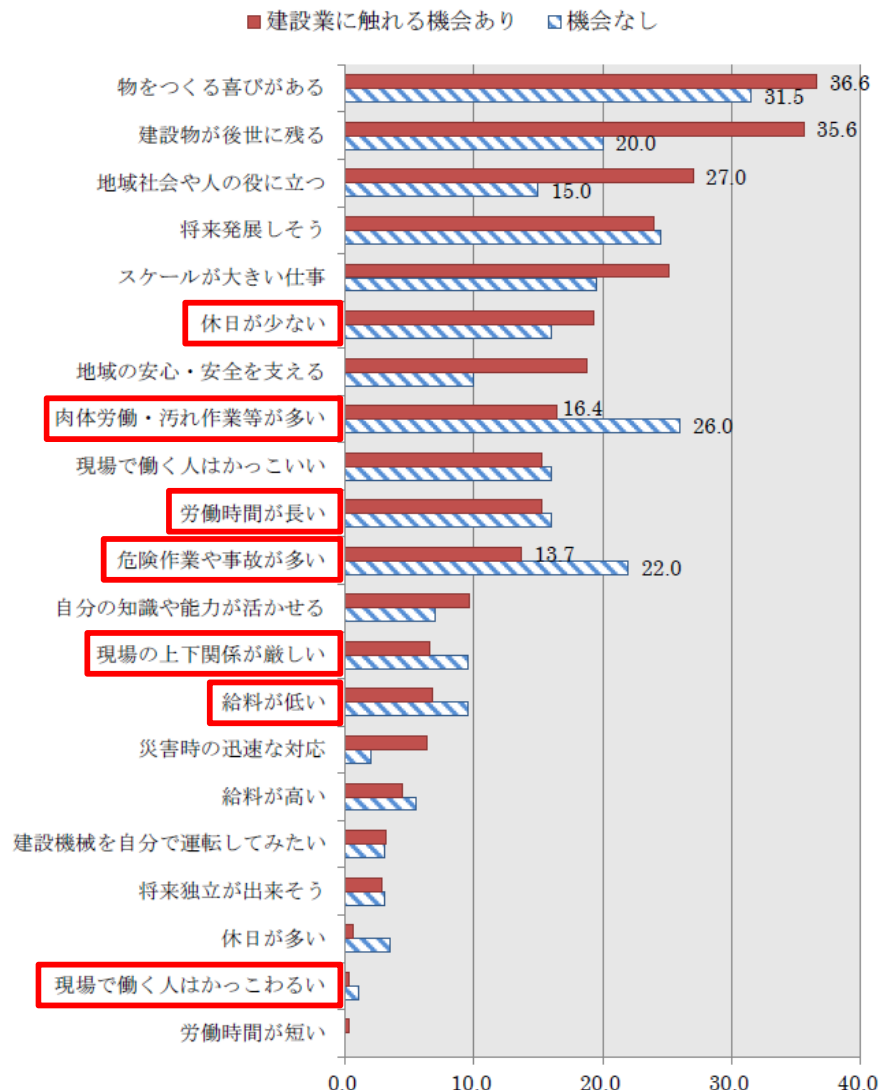
厚生労働省職業安定局
派遣・有期労働対策部
若年者雇用対策室まとめ

新規大卒者離職率 (3年目まで)



厚生労働省職業安定局
派遣・有期労働対策部
若年者雇用対策室まとめ

工業高校3年生の建設業に対するイメージ



厚生労働省 労働市場分析レポート第81号より

魅力ある建設業の整備が必要

工事現場における各施工技術の現状

限定された工事現場

一般的な工事現場



各種要領を公開し、適用範囲を拡大中

各工種のi-Construction大賞を毎年選定・発表

出典：i-Construction推進コンソーシアム



無人化施工

人が入れない災害危険箇所での工事実施

熊本地震による阿蘇大橋地区の大規模斜面崩壊対策でも無人化施工を実施

出典：平成29年度国土交通白書



自律施工

現段階は、ごく限定された一部の工事現場に適用

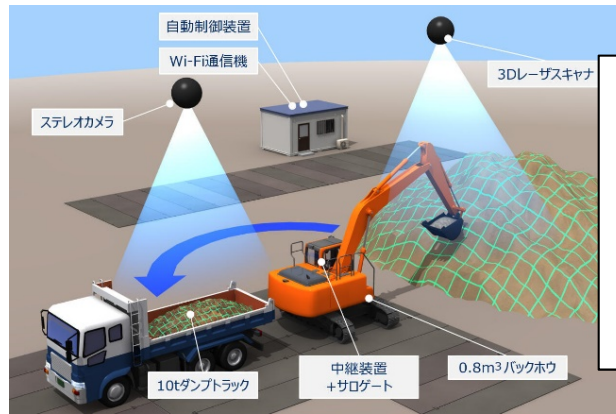
自律施工技術の例

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)



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

大林組WebSiteより (2019年～)

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～)



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

大成建設WebSiteより (2021年～)

今後は単独の建設機械による作業だけではなく、複数の機械による組合せ作業、全体の施工計画、施工管理、監督検査などの自動化・自律化・無人化も必要

民間企業・大学などにおける研究開発の加速化が必要！！

「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。

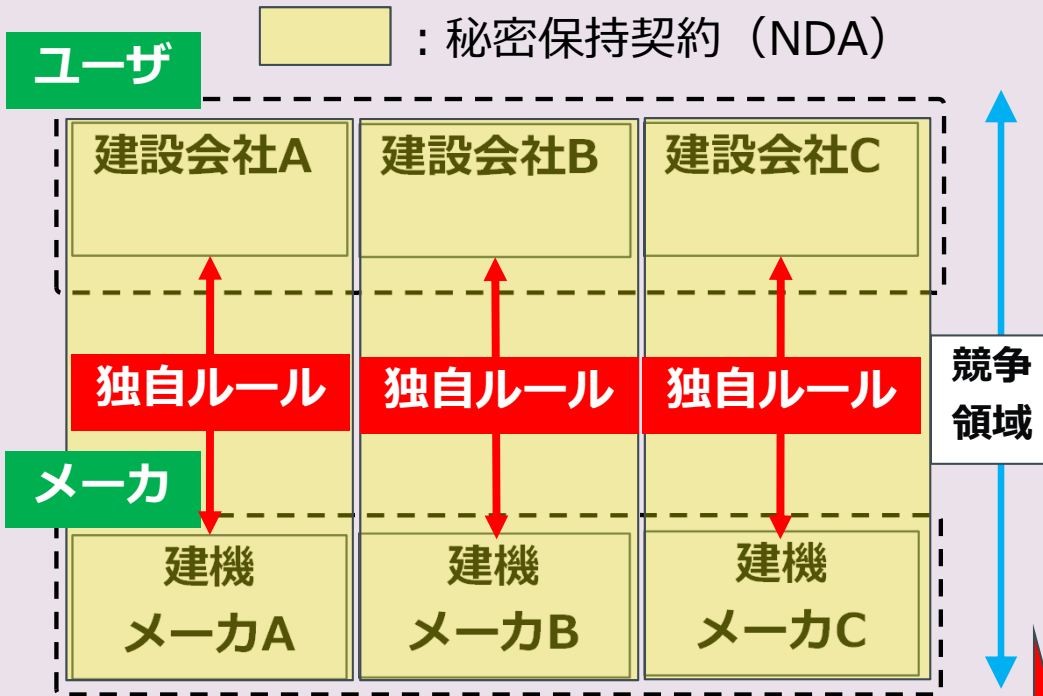
② 自動化を念頭においた法令・規制の整備

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

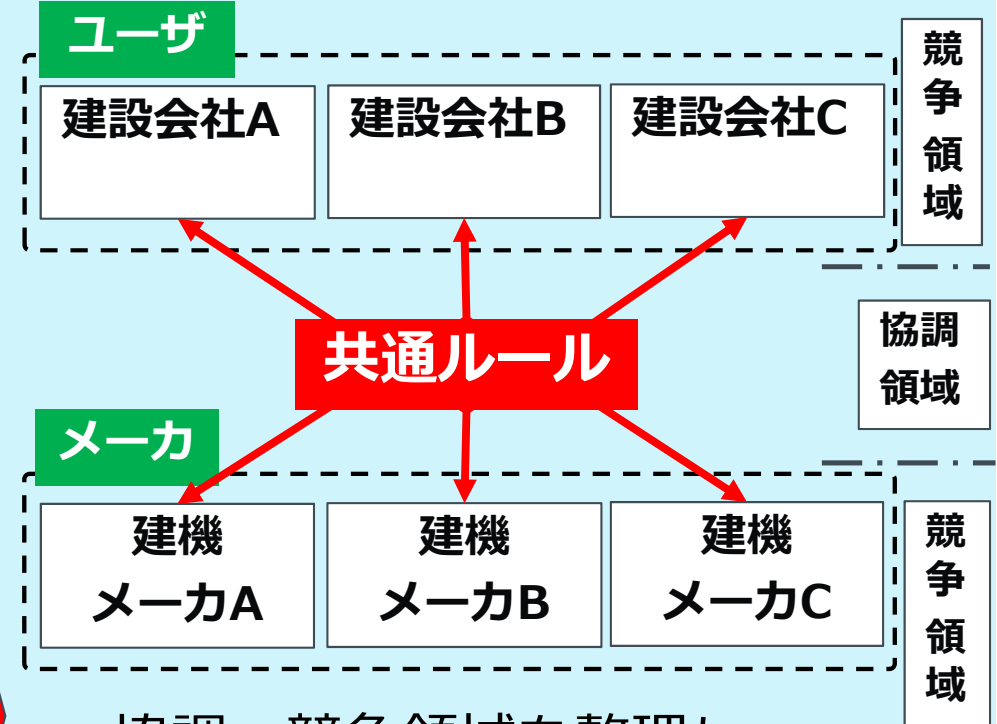
建設業界においては個社での技術開発が目立つため、研究の重複が起こっており費用対効果を得ることが難しくなっている。協調領域を明確にして、同業者による共同開発を含めた産学官連携による技術開発体制を整備し、技術の標準化・共通化による開発・運用コストの削減が必要である。

従来の自律施工技術開発の枠組み



- 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

2. 自律施工の技術開発促進に向けた取り組み

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

③その他

安全等、建設DX実験フィールドの活用、今後のすすめ方

1人で複数台の建設機械の運用を可能とする自律施工



自律施工の技術開発促進に向けて、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

①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）ルールを作成する。

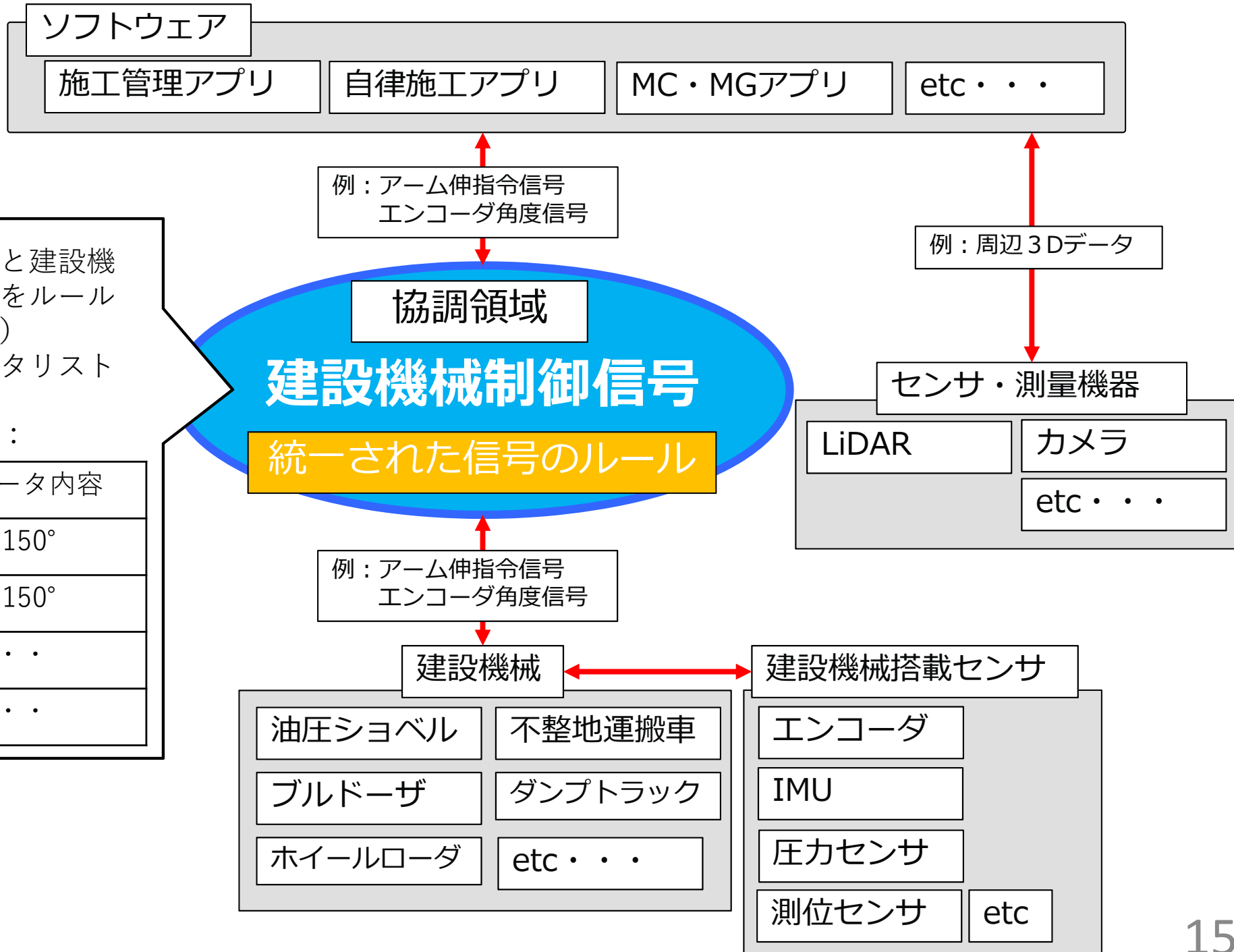
- ・ 協調領域の設定

協調領域



建設機械制御信号

①建設機械制御信号の共通化（協調領域の設定）

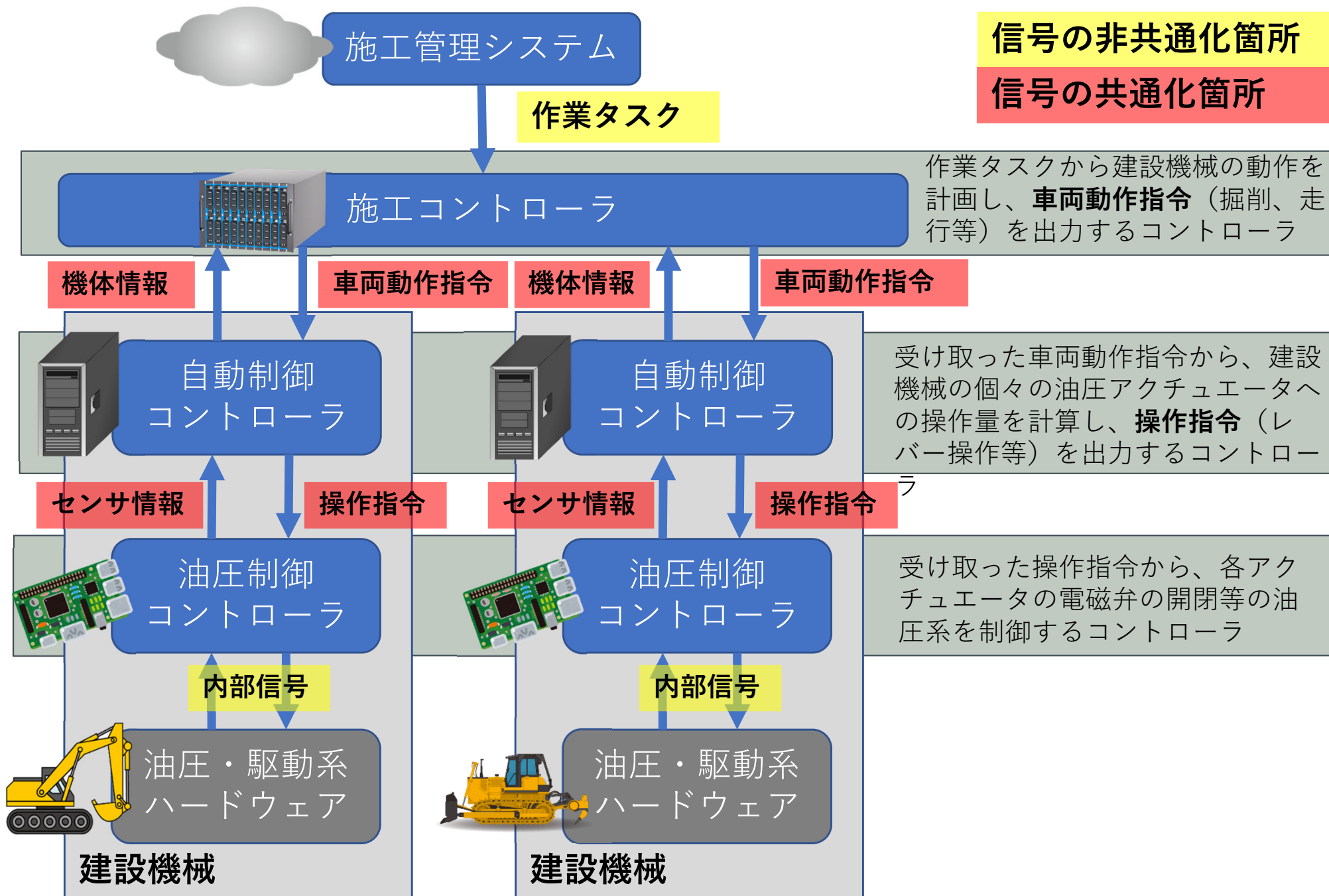


協調領域：アプリと建設機械間をつなぐ信号をルール化（統一・共通化）
 具体的には、データリスト

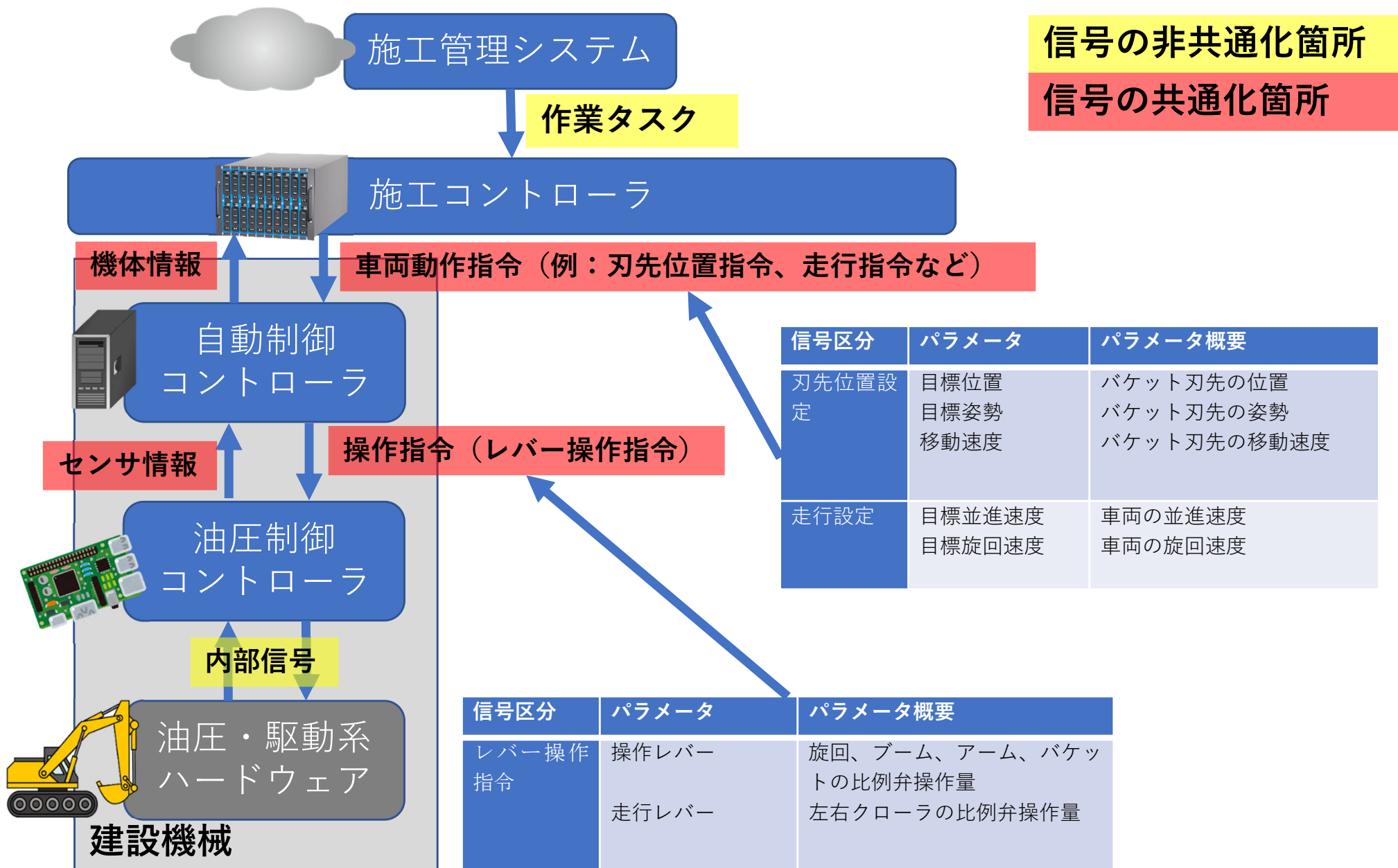
データリストの例：

データの種類	データ内容
アーム角度	0~150°
ブーム角度	0~150°
...	...
...	...

①建設機械制御信号の共通化（協調領域の設定）



①建設機械制御信号の共通化（協調領域の設定）



信号の非共通化箇所
信号の共通化箇所

共通制御信号の原案をHPで提示

①建設機械制御信号の共通化（協調領域の設定）

油圧シヨ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。

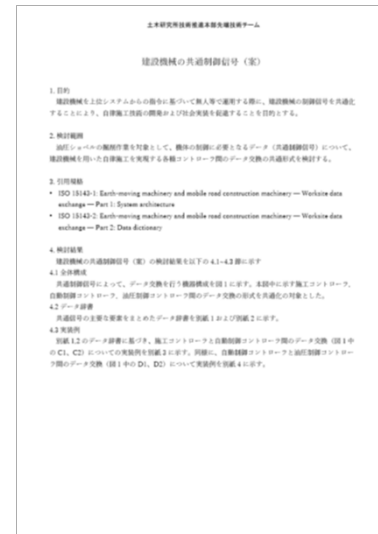
● 公開資料

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機動作動画	2021年11月	



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

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



土木研究所技術推進本部先端技術チーム

建設機械の共通制御信号（案）

項目	項目名	データ型	単位	説明	ISO15143-1	ISO15143-2	備考
共通制御信号	油圧シヨベル	boolean		油圧シヨベルの動作状態	ISO15143-1	ISO15143-2	ISO15143-1
	油圧シヨベル	boolean		油圧シヨベルの動作状態	ISO15143-1	ISO15143-2	ISO15143-1
	油圧シヨベル	boolean		油圧シヨベルの動作状態	ISO15143-1	ISO15143-2	ISO15143-1
	油圧シヨベル	boolean		油圧シヨベルの動作状態	ISO15143-1	ISO15143-2	ISO15143-1
	油圧シヨベル	boolean		油圧シヨベルの動作状態	ISO15143-1	ISO15143-2	ISO15143-1
	油圧シヨベル	boolean		油圧シヨベルの動作状態	ISO15143-1	ISO15143-2	ISO15143-1
	油圧シヨベル	boolean		油圧シヨベルの動作状態	ISO15143-1	ISO15143-2	ISO15143-1
	油圧シヨベル	boolean		油圧シヨベルの動作状態	ISO15143-1	ISO15143-2	ISO15143-1
	油圧シヨベル	boolean		油圧シヨベルの動作状態	ISO15143-1	ISO15143-2	ISO15143-1
	油圧シヨベル	boolean		油圧シヨベルの動作状態	ISO15143-1	ISO15143-2	ISO15143-1
油圧シヨベル	boolean		油圧シヨベルの動作状態	ISO15143-1	ISO15143-2	ISO15143-1	

土木研究所技術推進本部先端技術チーム

建設機械の共通制御信号（案）

XML辞書

項目名	項目値	項目型	項目単位	項目説明	ISO15143-1	ISO15143-2	備考
油圧シヨベル	boolean			油圧シヨベルの動作状態	ISO15143-1	ISO15143-2	ISO15143-1
油圧シヨベル	boolean			油圧シヨベルの動作状態	ISO15143-1	ISO15143-2	ISO15143-1
油圧シヨベル	boolean			油圧シヨベルの動作状態	ISO15143-1	ISO15143-2	ISO15143-1
油圧シヨベル	boolean			油圧シヨベルの動作状態	ISO15143-1	ISO15143-2	ISO15143-1
油圧シヨベル	boolean			油圧シヨベルの動作状態	ISO15143-1	ISO15143-2	ISO15143-1
油圧シヨベル	boolean			油圧シヨベルの動作状態	ISO15143-1	ISO15143-2	ISO15143-1
油圧シヨベル	boolean			油圧シヨベルの動作状態	ISO15143-1	ISO15143-2	ISO15143-1
油圧シヨベル	boolean			油圧シヨベルの動作状態	ISO15143-1	ISO15143-2	ISO15143-1
油圧シヨベル	boolean			油圧シヨベルの動作状態	ISO15143-1	ISO15143-2	ISO15143-1
油圧シヨベル	boolean			油圧シヨベルの動作状態	ISO15143-1	ISO15143-2	ISO15143-1

取り組み状況と今後

令和3年11月：油圧ショベルの原案（信号リスト）を提示
（公開デモンストレーション [11/24-26開催] で提示）

令和3年11月以降：①原案（信号リスト）を基に、関係企業へ意見照会やヒアリングを行い、共通化に向けすり合わせを実施、あわせて会議体の発足に向けた検討・準備を開始
②順次、他機種（不整地運搬車、ブルドーザなど）の原案作成や調整等も開始

令和4年4月以降：ISO等の規格化も見据えた取り組みを開始

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を促進させる。

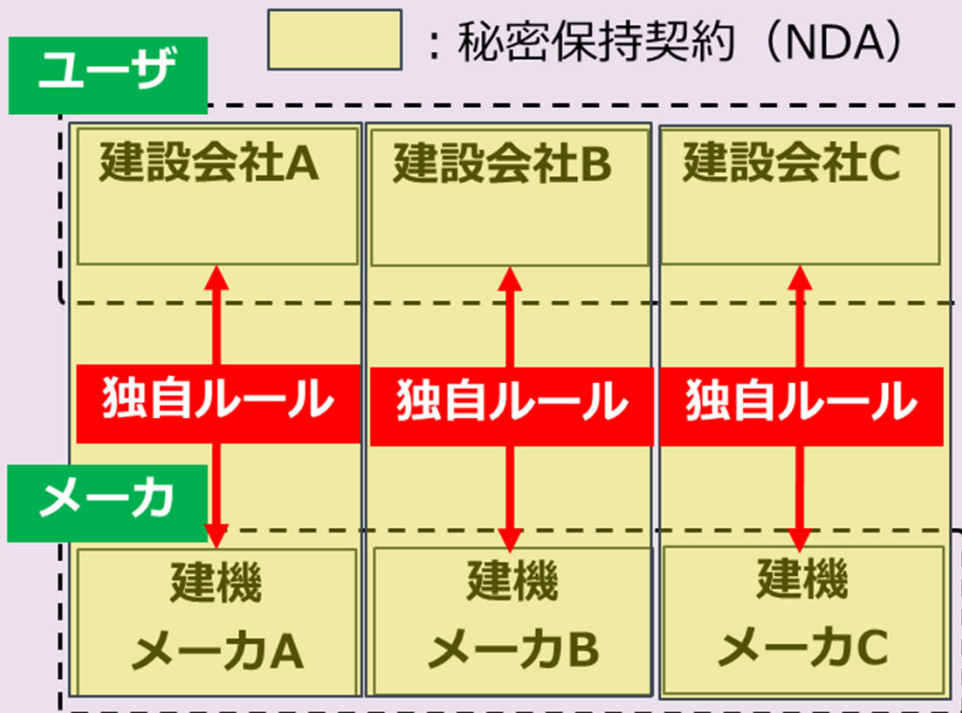
- ・自律施工用オープンプラットフォーム

OPERA

Open Platform for Earthwork with Robotics and Autonomy

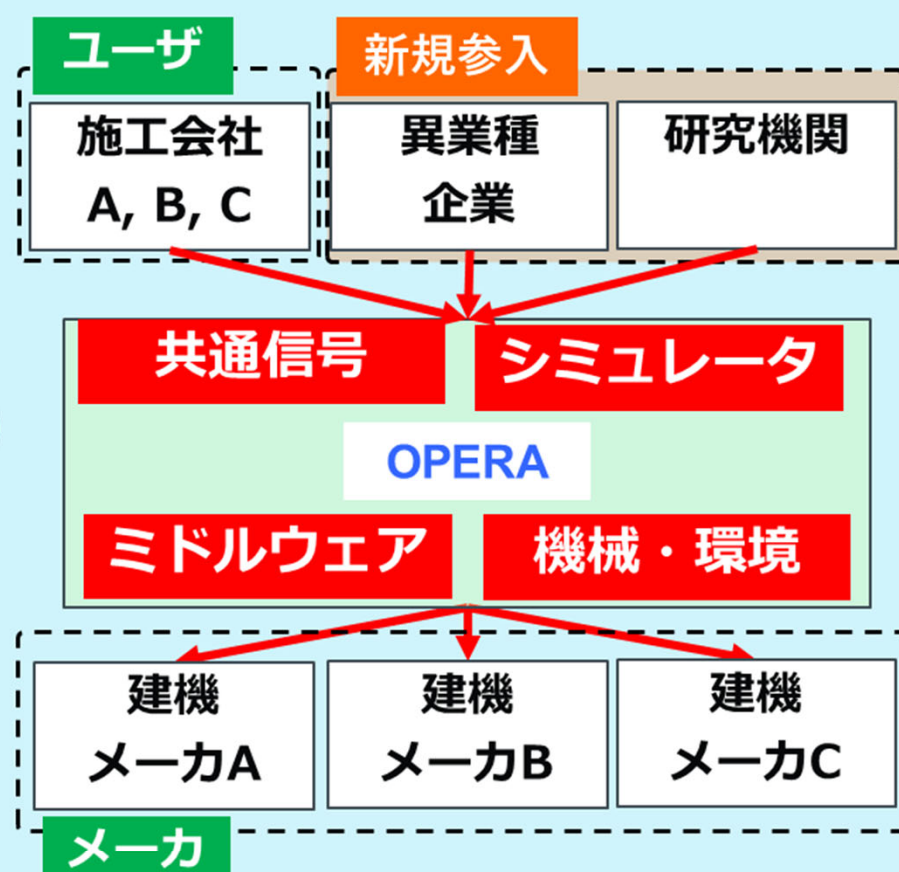
②自律施工技術基盤（プラットフォーム）の整備

従来の枠組み



- 各グループに所属しないと研究開発に参画できない
- 独自ルールに最適化していくと開発成果物の横展開が難しい

提案する自律施工技術基盤OPERA



- 研究機関や異業種の参画が容易となるため新技術導入が進む
- 開発成果物の再利用性が向上する

共通信号をコアにしたオープンプラットフォームにより新技術導入を加速する

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 OPERA

オープ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



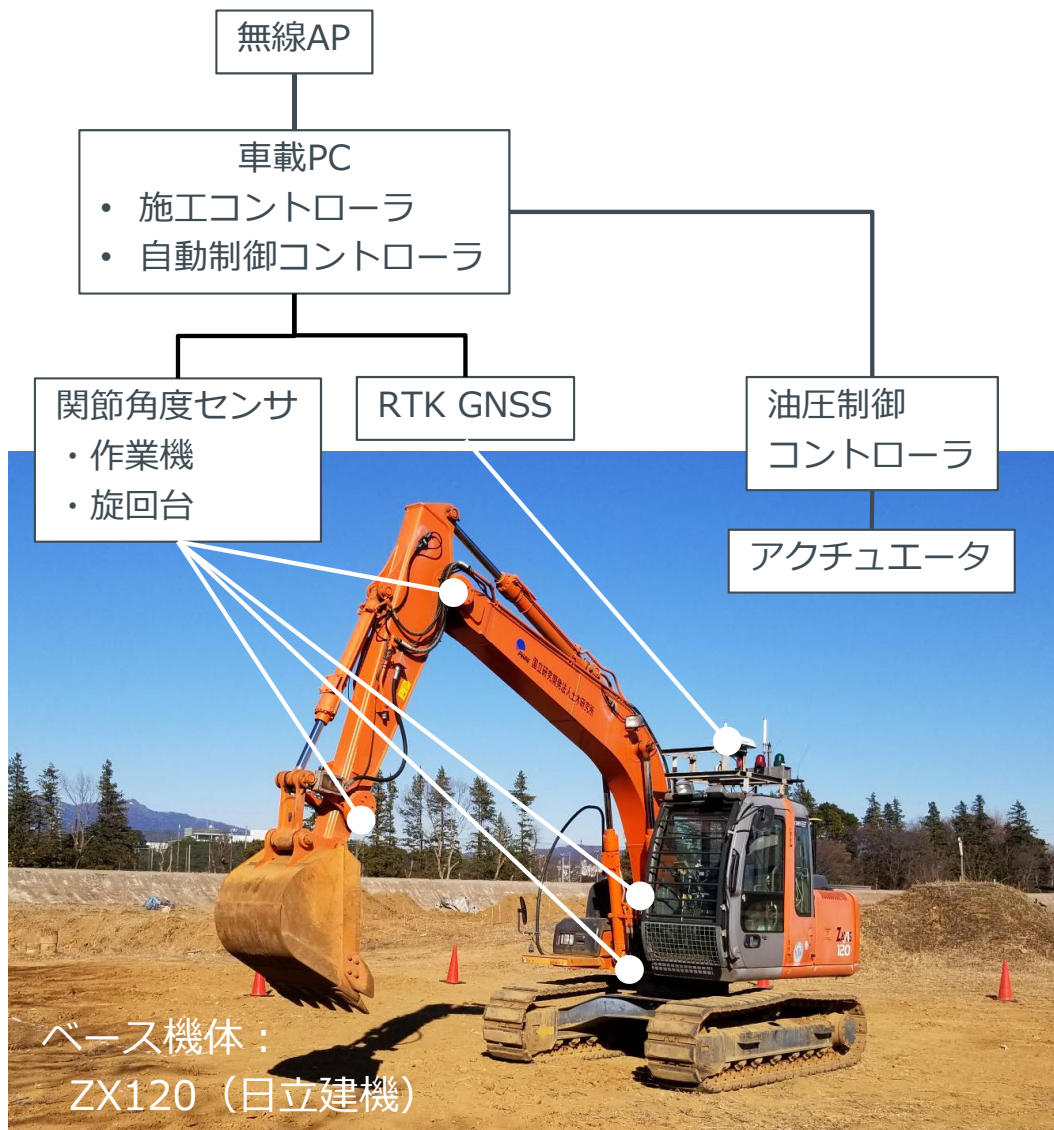
OPERAのスコープ

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

②自律施工技術基盤（プラットフォーム）の整備

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

②自律施工技術基盤（プラットフォーム）の整備

ハードウェア：建設DX実験フィールド

- 敷地面積2.6万m²(国総研保有敷地2万m²含む)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
- フィールド全域でローカル5G(4.8~4.9GHz帯)による無線通信を提供



- ① ローカル5G基地局
- ② スtockヤード：実験用土砂（1,500m³）
- ③ 遠隔操作/監視室

▲ 国総研試験走路北ループ内を南側から見た俯瞰図
国土技術政策総合研究所提供



【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

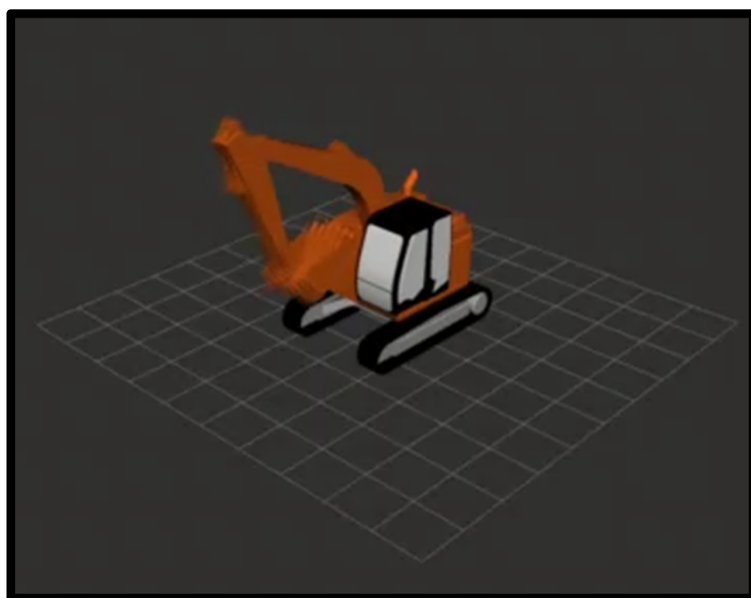
②自律施工技術基盤（プラットフォーム）の整備

シミュレータ

繰り返し試行

シミュレータ検証

自律施工用のプログラム
(=開発対象)



実機検証



フィードバック

Powered by **VMC** Motion Technologies,

MID
Academic Promotions

シミュレータを活用し繰り返し試行が容易
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

②自律施工技術基盤（プラットフォーム）の整備

シミュレータ

vtc_unity(https://github.com/Field-Robotics-Japan/vtc_unity)を参考に構築

建設機械モデル



環境モデル

- ・地形データ
- ・土砂モデル

センサモデル

- ・ Lidar
- ・ GNSS(未実装)
- ・ IMU (未実装)
- ・ . . .

選択・組み合わせ



自由にモデルを組み合わせて、シミュレータを構成可能
シミュレータのモデルごとに独立に開発が可能

②自律施工技術基盤（プラットフォーム）の整備

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機動作動画	2021年11月	



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

- 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

pwri-opera

Overview Repositories Projects Packages People

README.md

土木研究所が運用するGitHub Organization pwri-operaを通じた情報発信にあたり、運用方針を以下のとおりおさだめます。

1 投稿内容

土木研究所が公開する自律施工技術開発基盤OPERA（Open Platform for Earthwork with Robotics and Autonomy）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

2 GitHubリポジトリの運用者

土木研究所 技術推進本部 先端技術チーム

3 注意事項

当リポジトリにあるIssueやDiscussion、Pull Requestについては、必要に応じて回答いたします。

リポジトリで公開しているシステムに関係のないコメントや、以下の事項に該当すると判断したIssueやDiscussion、Pull Request、及びコメントは、その投稿者に断りなく、全部又は一部を削除する場合があります。

- 法令等に違反するもの
- 公序良俗に反するもの
- 犯罪行為を助長するもの
- 特定の個人、企業、団体等を誹謗中傷し、又は名誉若しくは信用を傷つけるもの
- 本人の承諾なく個人情報を開示・漏えいする等のプライバシーを侵害するもの
- 第三者の特許権、著作権、商標権、肖像権などを侵害するもの
- ある特定の個人、企業、団体の悪意を目的としたもの
- 記載された内容が偽り又は著しく虚実と異なるものをGitHub利用規約に反するもの

People

This organization has no public members. You must be a member to see who's a part of this organization.

Top languages

● C# ● C++ ● Python ● CMake

②自律施工技術基盤（プラットフォーム）の整備



OPERAの活用例

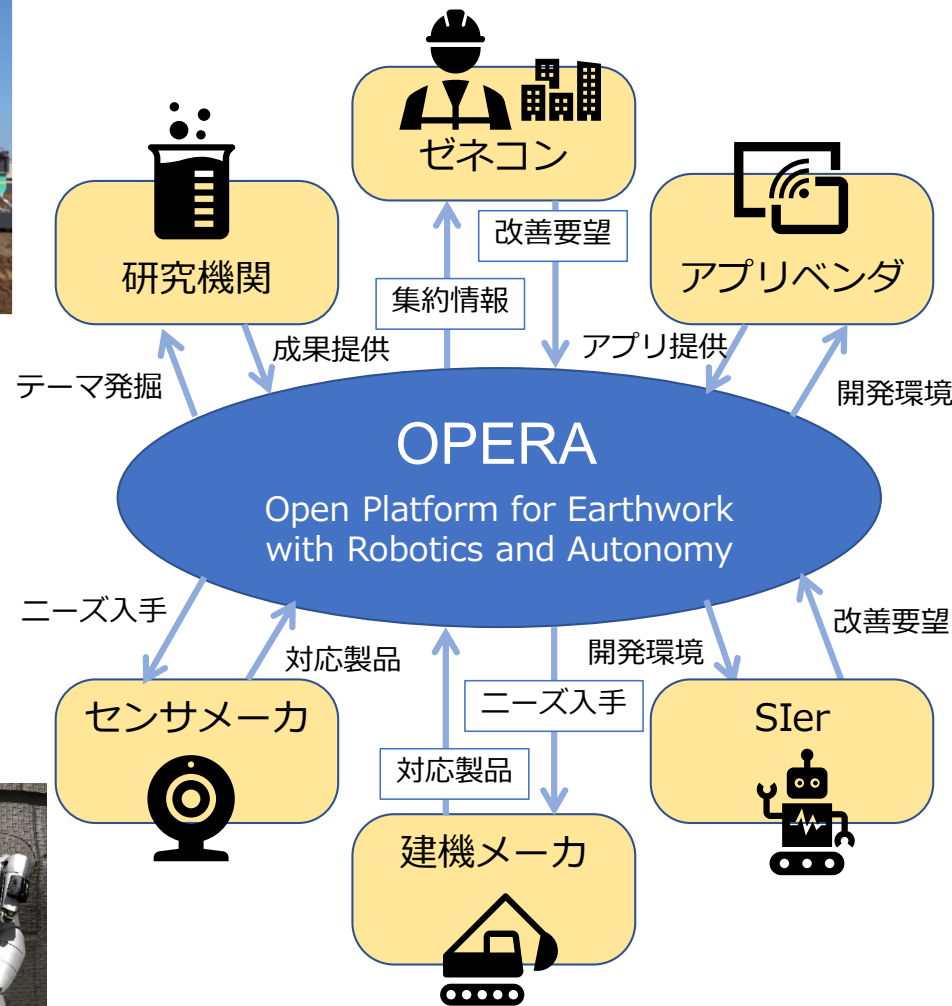
● 共通制御信号等の情報入手

● 開発成果物の実検証



	制御パラメータ	制御パラメータの概要
位置・姿勢	目標位置	図-2 ⑤の位置(X, Y, Z)
	目標姿勢	図-2 ④の姿勢(q: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	回転速度	旋回体の回転速度
	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	油圧ショベル走行時の目標速度
	目標角速度	油圧ショベル走行時の目標角速度
走行指令	動作指示	走行の開始/停止指令

● 意見交換用の掲示板



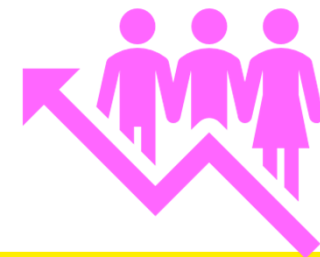
● 開発環境の入手



● 自律施工チャレンジ



● 開発成果物の反映



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

利用者が必要な周辺の技術/情報を適宜流用することで開発対象にリソースを集約できる

取り組み状況と今後

令和3年11月：「土木研究所プラットフォーム OPERA」を提示
（公開デモンストレーション [11/24-26開催] で提示）

令和3年11月以降：①今後も継続して、OPERAの機能や対象機種
の拡充などの改良を実施
②OPERAを構成するシミュレータやミドルウェア
を一般公開（GitHubで公開中）

令和4年以降：OPERAを活用した自律施工技術等を開発する共同研究
を開始（準備中）

安全、施工管理、監督・検査

実現場に自律施工技術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、事故防止技術や安全ガイドライン、施工管理や監督・検査の手法の検討なども必要

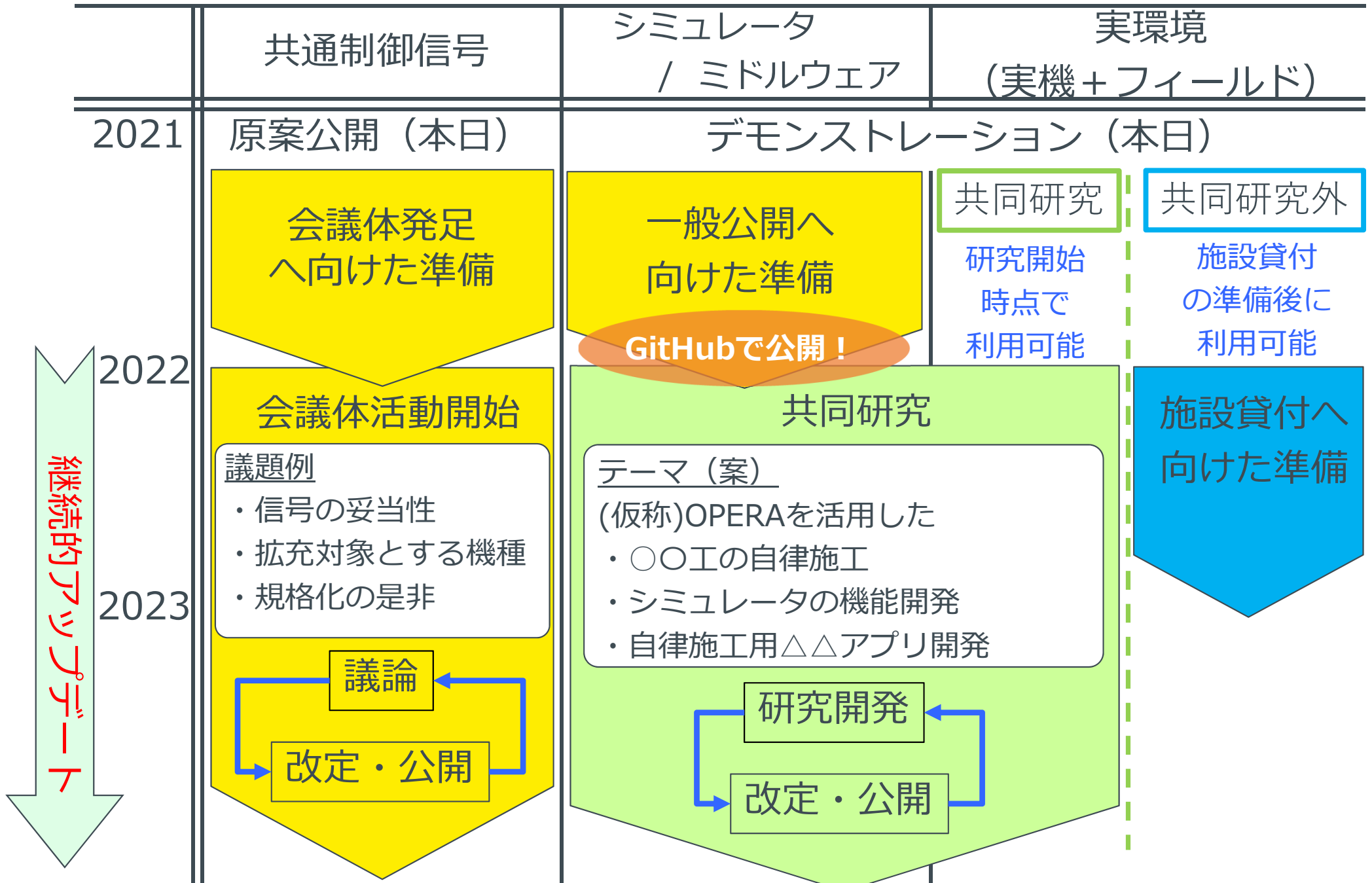
建設DX実験フィールドの活用

OPERAを活用して、自律施工技術などのチャレンジ（技術競技会）を開催し、開発された技術の評価などを実施



参考：DARPA Robotics Challenge

③その他 今後のすすめ方



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)

③その他 自律施工デモンストレーション

30倍速

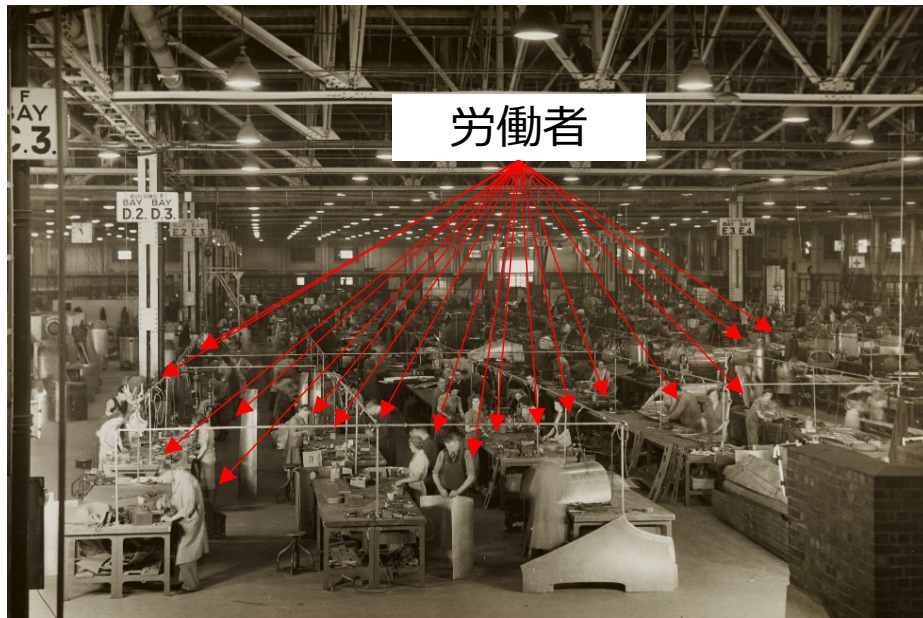


OPERAを活用した自律施工デモンストレーション 2021.11

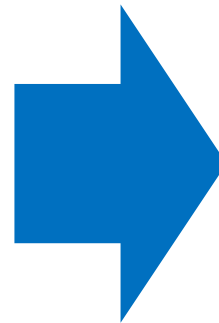
3. 自律施工実現後の建設現場

ロボットは製造業では当之无愧に活用

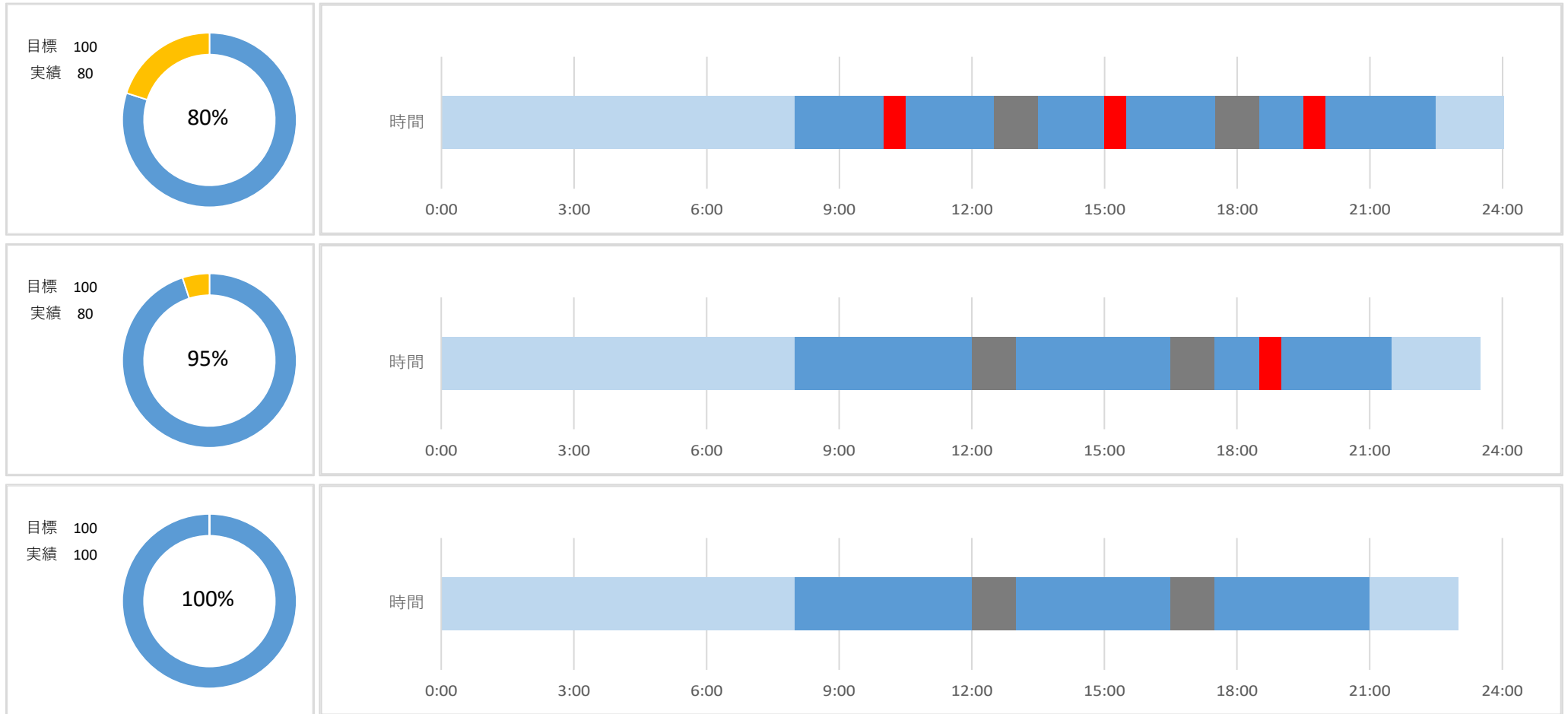
製造現場



建設現場



製造現場（工場）の生産管理



ロボット化を含め工場全体のデジタル化により、
工場の稼働状況・生産指標を見える化



製造工程全体の最適化、生産性向上を実現

施工管理ルーム

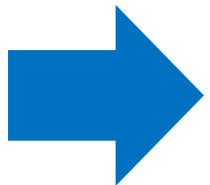


施工現場（ロボット化された建設機械群）



より精緻な施工管理が可能となる

- 常に施工のムダが「見える化」され、修正点を見つけやすく
- これから行う工事の施工計画のシミュレーションも可能となる



省人化だけでなく、さらなる生産性向上が可能

ご清聴ありがとうございました。