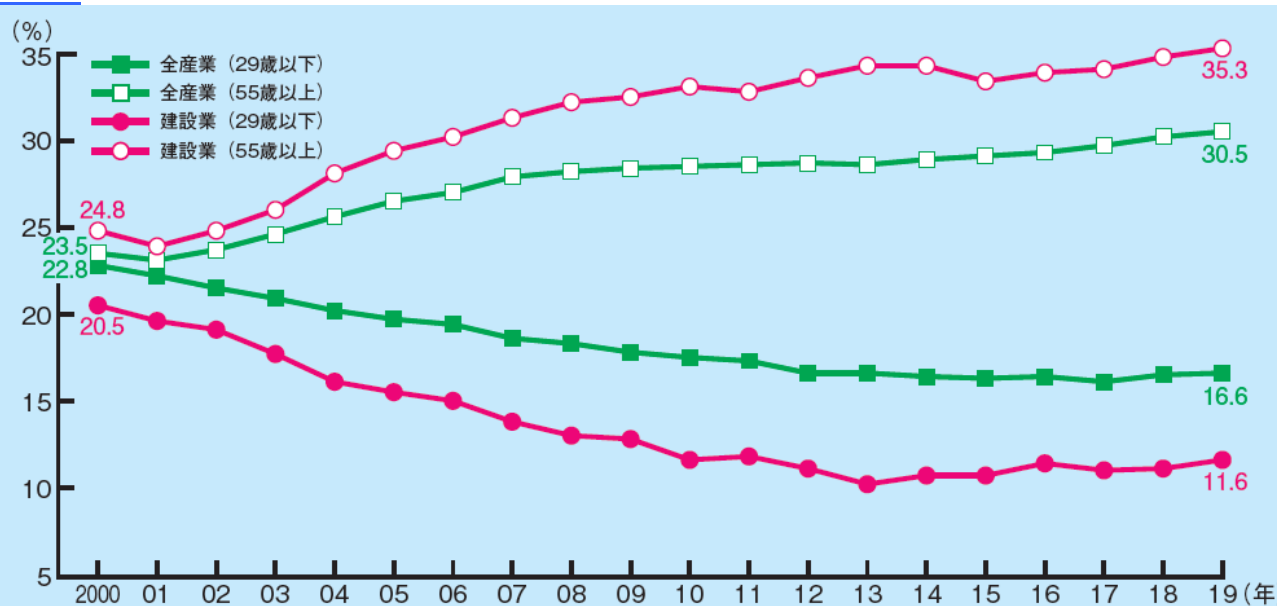


建設現場の自律施工と施工データを活用した品質管理の推進 ～RT、ICT等による建設現場の働き方の革新を目指して～

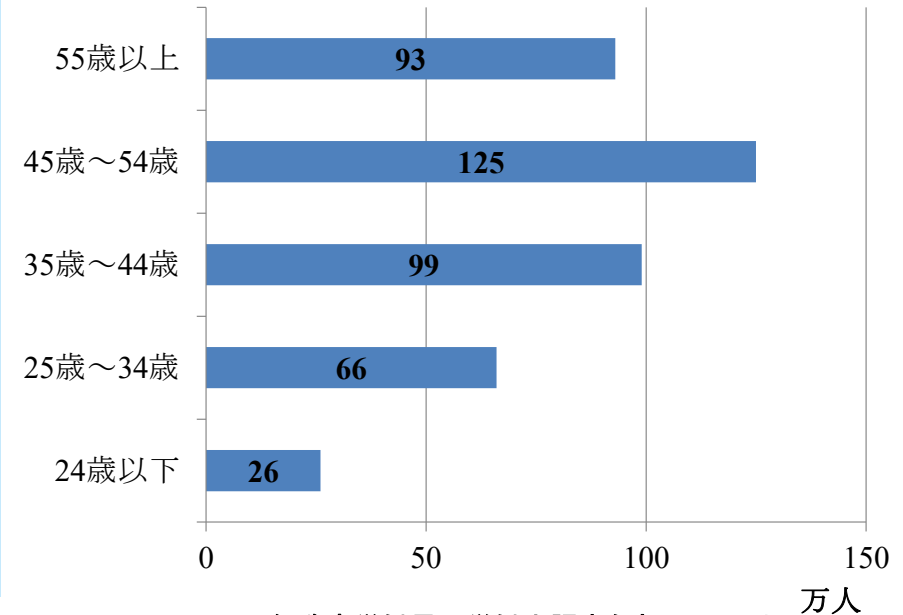
土木研究所 技術推進本部 前田 陽一

建設業における課題

少子高齢化に伴い加速する建設産業就労者の減少



年齢別就業者割合 建設業ハンドブック2020より



総務省労働局：労働力調査年報2020より

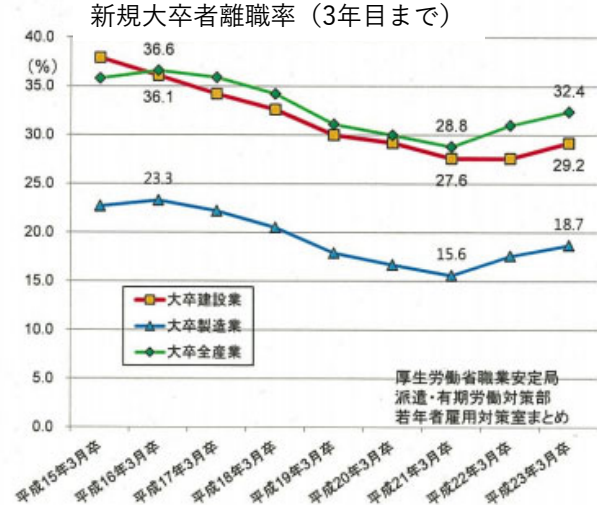
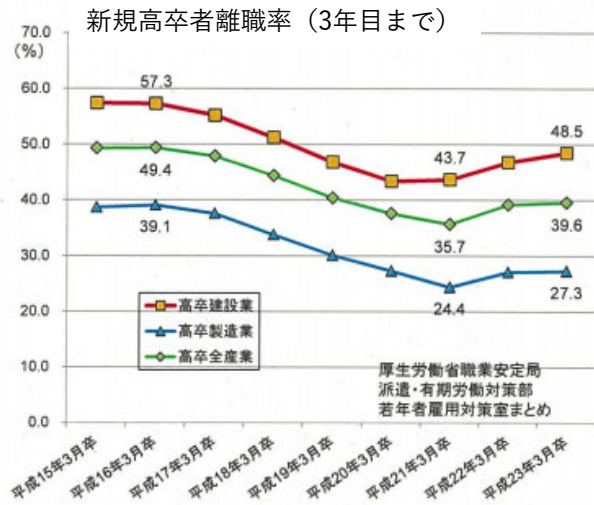
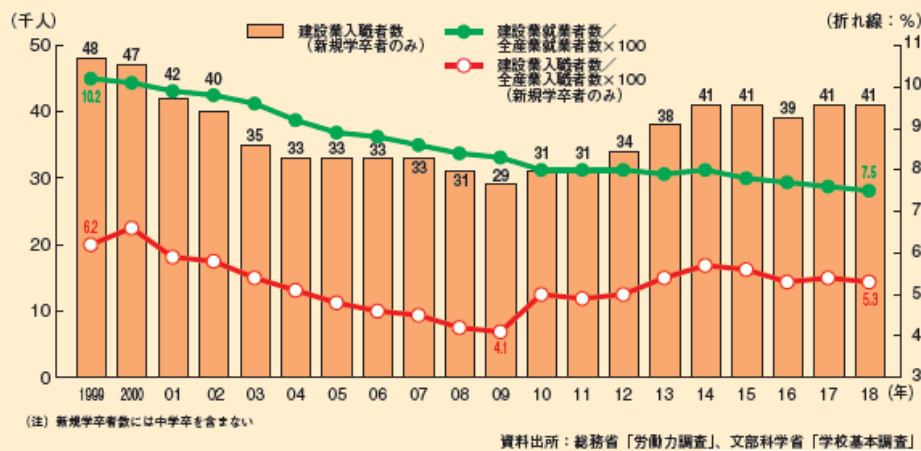
- ・ 高度経済成長期を支えてきた熟練技能者が近年中に大量リタイア（現就労者の大幅減少）
- ・ 少子高齢化に伴い次世代の建設産業を担う人材確保が困難（新規就労者の減少）

建設現場における生産性向上が必要

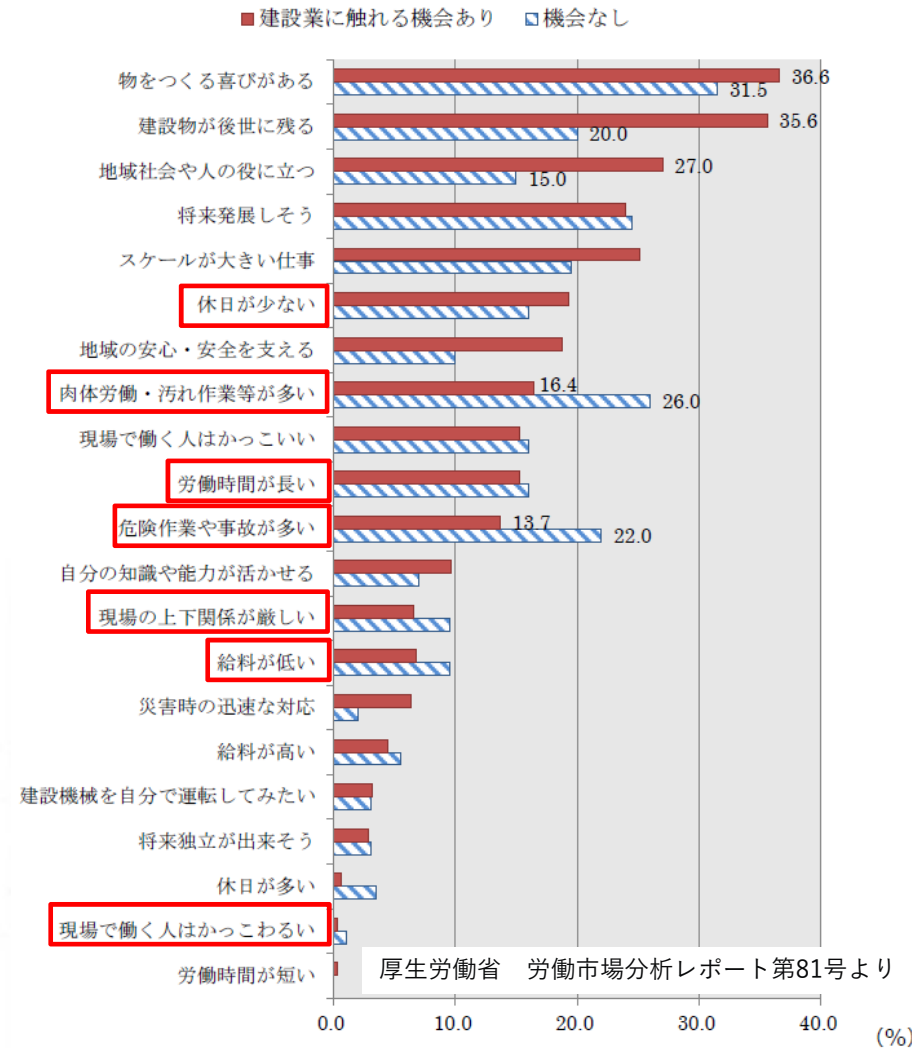
建設業における課題

若手就労者の減少（少ない入職者と多い離職者）

新規学卒者の入職状況

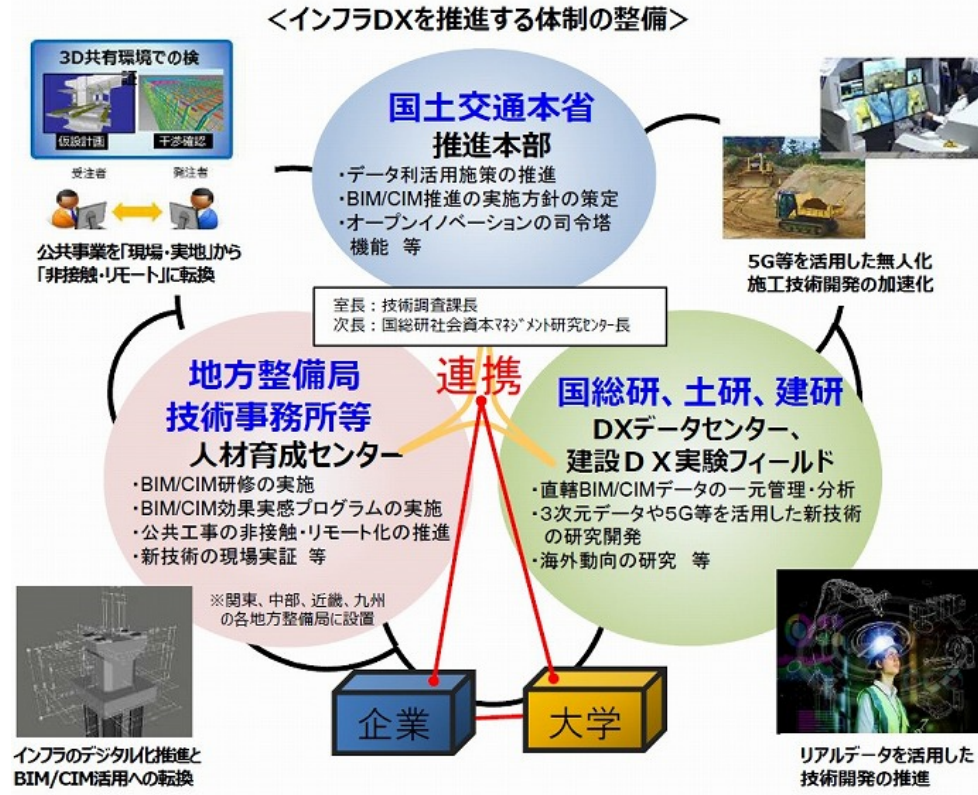


工業高校3年生の建設業に対するイメージ



魅力ある建設産業の整備が必要

上記課題に対応するため、国土交通省では「インフラ分野におけるDX」を推進している



土木研究所技術推進本部においても、ICTを活用した次世代建設システムとして、「建設自律施工」や「施工データを活用した品質管理」について研究を進めている。本稿では、この二つの取組について紹介する。

1.建設自律施工

建設自律施工の必要性

熟練技能者の大量退職による建設現場の生産性低下



建設施工の自動化を図り

- 非熟練技能者を短期間で熟練技能者並みに
- 1人当たりの生産性向上



将来的な目標：建設現場の自動化（遠隔地から少人数で施工を管理する）



国土交通省WebSiteより

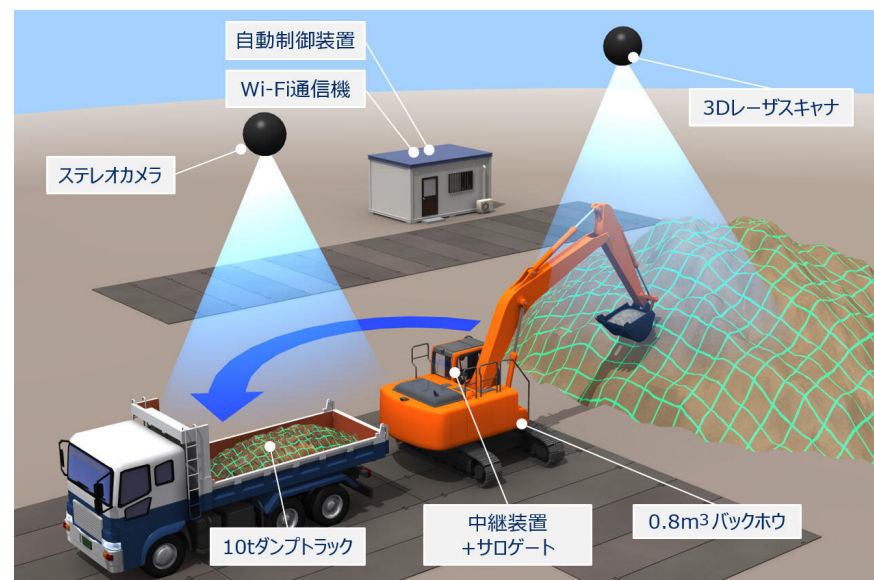
建設自律施工技術の例



自動運転油圧ショベル 土木研究所 (2007年)

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



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

建設自律施工技術の例



鹿島建設提供 (2017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



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

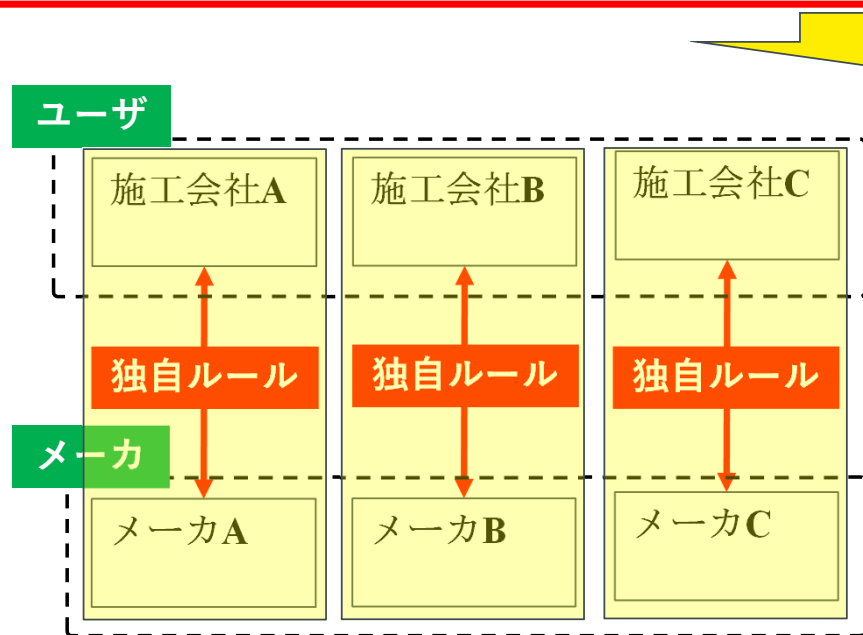
今後は単独の建設機械による作業だけではなく、複数の機械の組合せ作業、全体の施工計画、施工後の検査などの自動化も必要

民間企業・大学などにおける研究開発の加速化が必要！！

建設自律施工研究開発における課題

「建設業のためのロボットに関する調査報告書 2020. (日建連)」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

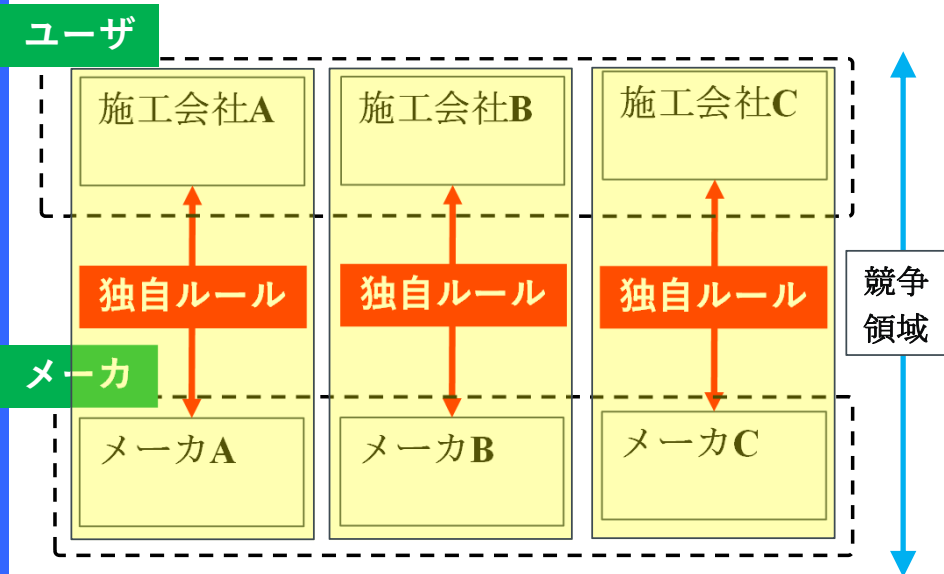


- 施工会社と建設機械メーカーが1対1で開発グループを構成
- 互いに連携・協働することが困難となっており、研究開発投資の重複が起こっている。
- メーカーが異なると機械相互の連携が困難

研究開発を加速するための土木研究所における取組 1

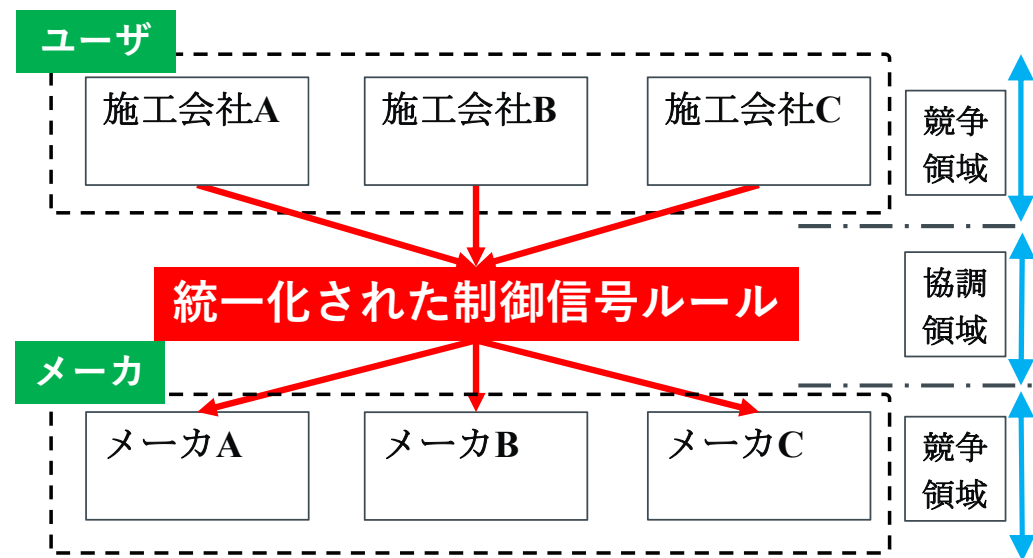
協調領域の提案

従来の枠組み



- 施工会社と建設機械メーカーが1対1で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
- 同一現場での複数メーカーの連携が容易

研究開発を加速するための土木研究所における取組 2

自律施工技術基盤（プラットフォーム）の整備

プラットフォームは①協調領域+②電気制御化された建設機械と実フィールド+③バーチャル建機とバーチャルフィールド+④ミドルウェアにて構成される

保有する建設機械，実験フィールドを活用し，「土木研究所プラットフォーム」の整備を行う

- 施工会社，大学などが本プラットフォームを活用することにより，**研究の重複（重複投資）が回避され**，研究開発が加速される
- 本プラットフォームの構築ノウハウを公開することにより，民間企業などが同様のプラットフォーム構築が容易となる



※ミドルウェアとして土木研究所ではROSを採用予定

土木研究所プラットフォームをベースに利用者（企業や大学）による追加・修正が可能

研究開発を加速するための土木研究所における取組 3

自律化を考慮に入れた安全ガイドライン，監督検査手法の提案

自動建設機械および施工全体の自動化をふまえた安全ガイドライン，監督検査手法の提案を行い，各基準整備の促進を図る



参考：産業用ロボットの安全規格体系

土木研究所では基準類策定に資する基礎研究を行い，基準類策定に関しては国総研のサポートを行う

研究開発を加速するための土木研究所における取組 4

土木研究所チャレンジの開催

土木研究所内プラットフォームを活用し、遠隔・自動技術のチャレンジ（技術競技会）を開催。さらに開発された技術の評価などを行う。



参考：DARPA Robotics Challenge

建設機械自動化の目標ロードマップ (案)

現在

6年後 (目標)

30年後 (目標)

土研取組

- 協調領域の提案
- 研究開発プラットフォーム整備

土研取組

- 自律化を考慮に入れた安全ガイドライン, 監督検査手法の提案

土研取組

- 土研チャレンジの開催

国・企業・大学などと協議会の設置

自動化技術の開発推進

- 自動化レベルの向上
- 機種拡大
- 工種拡大



アウトプット

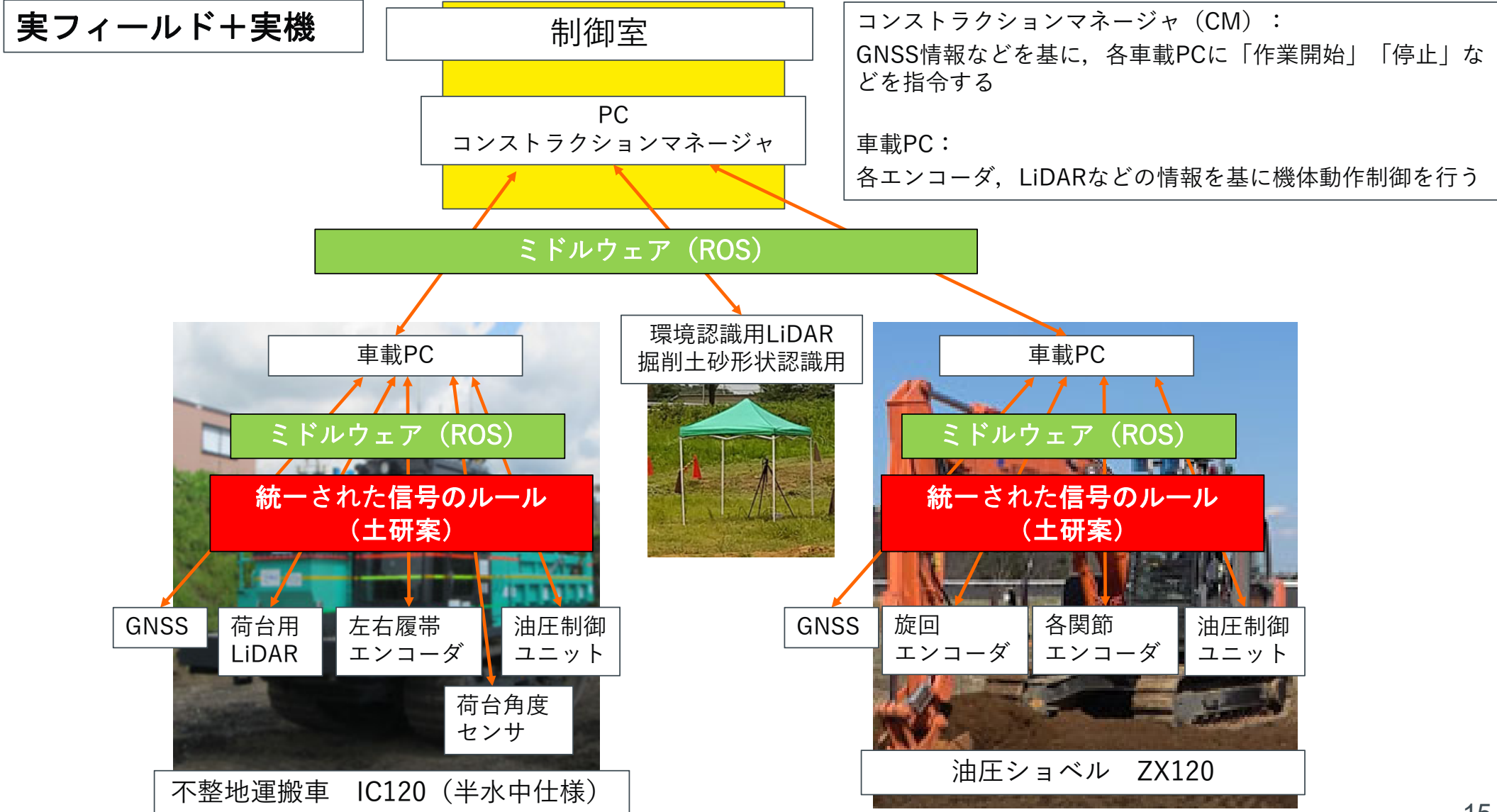
研究開発
プラットフォーム公開

協調領域の提案
ISO等標準化策定

自律施工の試行的導入

自律施工の
標準化

土研プラットフォーム開発概要（2021.8.30現在）



土研プラットフォーム開発概要（2021.8.30現在）

シミュレータ

制御室

PC
 コンストラクションマネージャ

コンストラクションマネージャ（CM）：
 GNSS情報などを基に、各車載PCに「作業開始」「停止」などを指令する

車載PC：
 各エンコーダ、LiDARなどの情報を基に、機体動作制御を行う

ミドルウェア（ROS）

車載PC

ミドルウェア（ROS）

統一された信号のルール
 （土研案）

バーチャル
 不整地運搬車

不整地運搬車 IC120（半水中仕様）

環境情報

車載PC

ミドルウェア（ROS）

統一された信号のルール
 （土研案）

バーチャル
 油圧ショベル

油圧ショベル ZX120

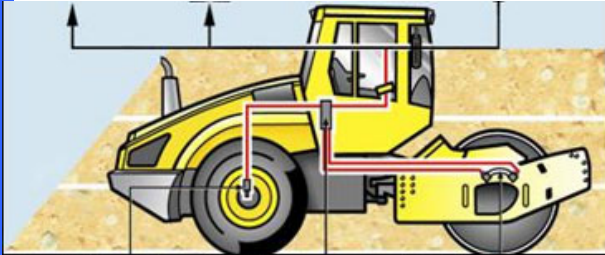
10倍速



2.施工データを活用した品質管理

近年ICT技術の発達により施工工程データ（多点データ）の取得が可能となっている

例：



速度(距離) センサ	計算 モジュール	加速度 センサ
---------------	-------------	------------

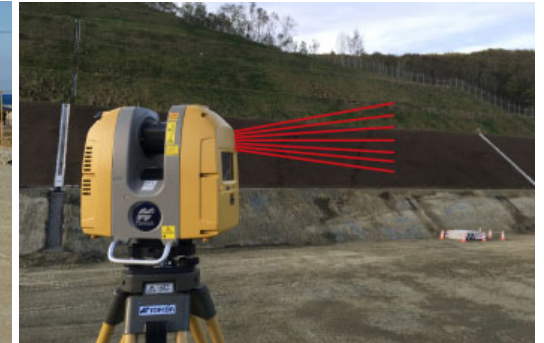
加速度応答システム



衝撃加速度測定装置



自動RI試験ロボット
竹中土木WebSiteより



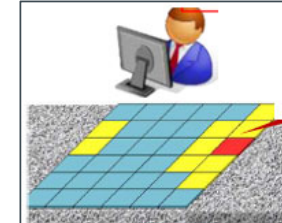
3Dレーザスキャナ

これら施工工程データ（多点データ）の活用により品質管理の効率化が期待できる

例：



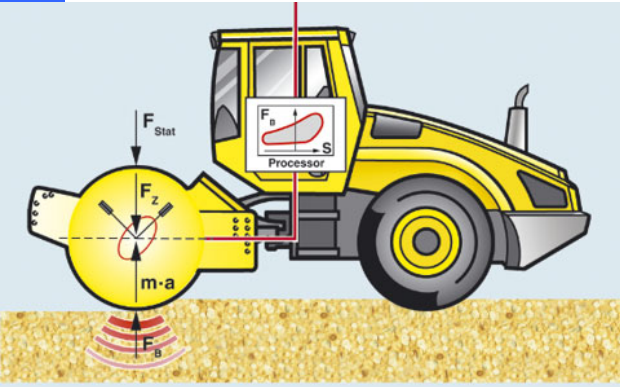
従来手法：
掘り起こしによる密度管理
〇〇m²に1か所の抜き取り検査



新手法：
施工工程（多点）データによる効率的な品質管理
施工後の維持管理にも活用可能

土木研究所では、次期中長期研究プロジェクトにおいて新技術等で取得される施工工程データの活用による、新たな品質管理手法の検討を行い、高度な生産性向上手法について提案する予定である

土木研究所における研究事例： 振動締固め機械加速度応答システムを用いた締固め管理手法の検証



加速度応答システム

振動締固め機械に加速度計を搭載し施工と同時に地盤の硬さを測定することが可能

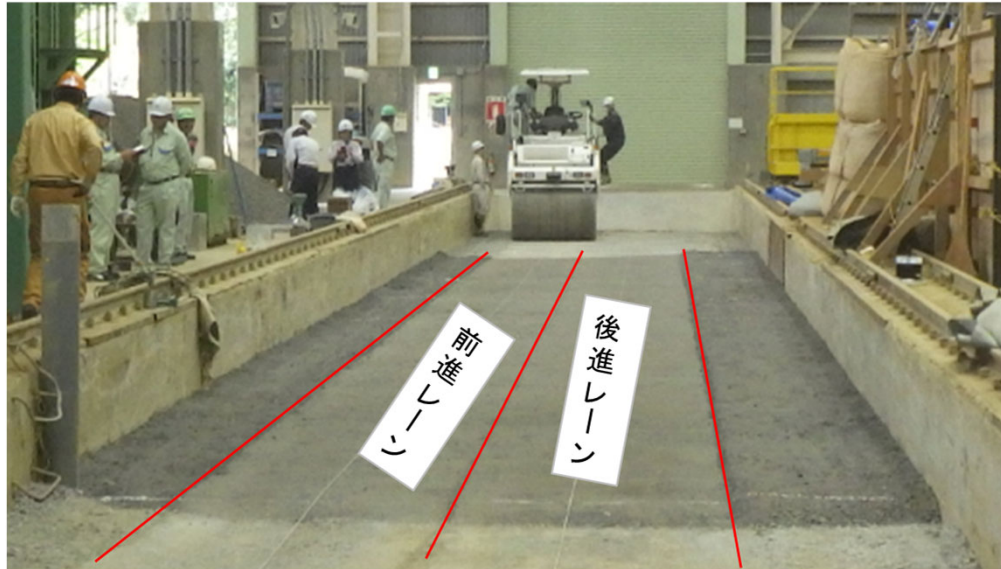
- 品質管理を面的にリアルタイムで行うことが可能
- 締固めの品質管理を合理化できる手法

土木研究所では民間企業10社と共同で、砂質土系材料における基礎研究を平成23年度～25年度にかけて実施
その結果、**砂質土系材料では**含水比(飽和度)が結果に大きく影響することが判明
品質管理要領化は困難であった

路盤材料を用いて同様の研究を、民間企業9社と平成29年度～令和2年度にかけて実施。
その結果、**路盤材料では**加速度応答システムと従来の品質管理基準である密度との間に良好な相関があり、**新たな品質間要領化の可能性**があることが判明した
以下本実験を紹介



土研における検証実験状況



締固め機械：4種類
 路盤材料：3種類
 材料含水比：3種類
 加速度応答システム：5種類

以上の条件にて実験を実施

データ測定

0, 1, 2, 3, 4, 5回転圧後の前進レーンのみ測定



乾燥密度計測状況
(RI密度計)

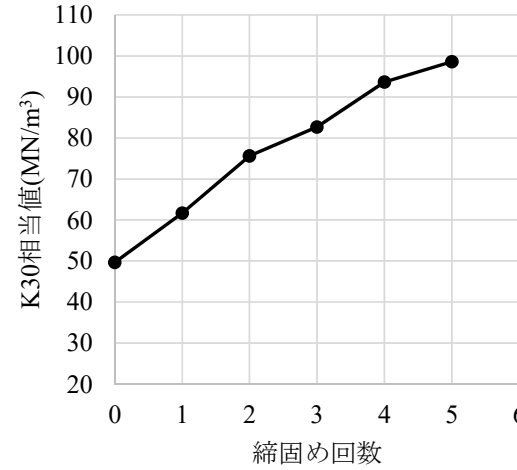
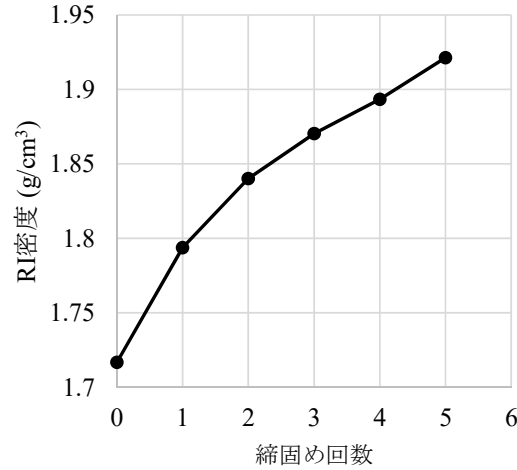
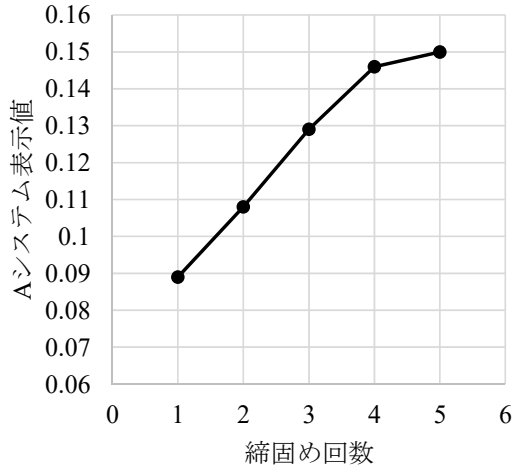


地盤反力係数計測状況
(小型FWD)

測定項目	測定方法
密度	RI密度計 10カ所
地盤反力係数	小型FWD 3カ所
加速度システム	αシステム CCVシステム Evibシステム COMPASS ECONOMIZER

実験結果

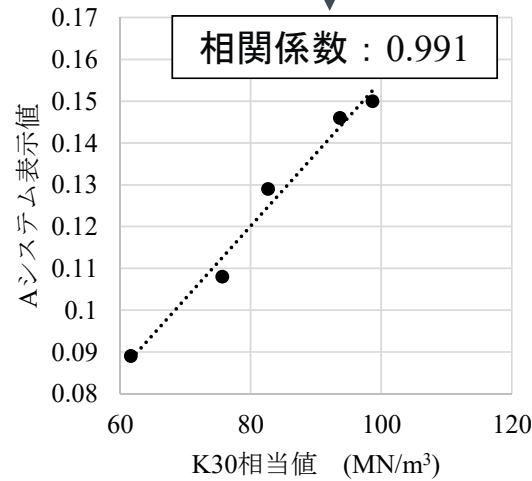
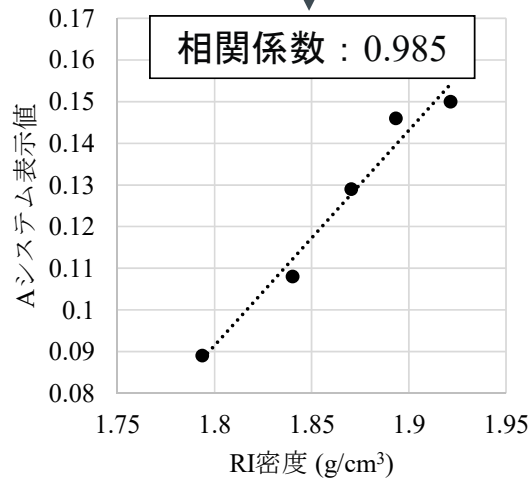
例：BW141, C40, α システム, 湿潤含水比



締固め回数-加速度システム

締固め回数-RI密度

締固め回数-小型FWD



本結果を含む全ての条件において、良好な相関があることが判明した

本実験結果を国土交通省へ提出。
 国土交通省では新たな品質管理基準として追加することを検討中

現在の国土交通省品質間基準

表3.4.1品質管理基準及び規格値（関東地方整備局・下層路盤部抜粋）

工 種	種別	試験区分	試験項目	試験方法	規格値
7下層路盤	施工	必須	現場密度の測定	舗装調査・試験法便覧[4]-256 砂置換法（JIS A1214） 砂置換法は、最大粒径が53mm以下の場合のみ適用できる	最大乾燥密度の93%以上 X10 95%以上 X6 96%以上 X3 97%以上 歩道箇所：設計図書による

表3.4.2品質管理基準及び規格値（関東地方整備局・上層路盤部抜粋）

工 種	種別	試験区分	試験項目	試験方法	規格値
8上層路盤	施工	必須	現場密度の測定	舗装調査・試験法便覧[4]-256 砂置換法（JIS A1214） 砂置換法は、最大粒径が53mm以下の場合のみ適用できる	最大乾燥密度の93%以上 X10 95%以上 X6 95.5%以上 X3 96.5%以上

ご清聴ありがとうございました