

# 建設現場が無人化する日に向けて

土木研究所 技術推進本部 岩見吉輝

# 遠隔操作による無人化施工



# 建設機械オペレータを必要としない自律施工

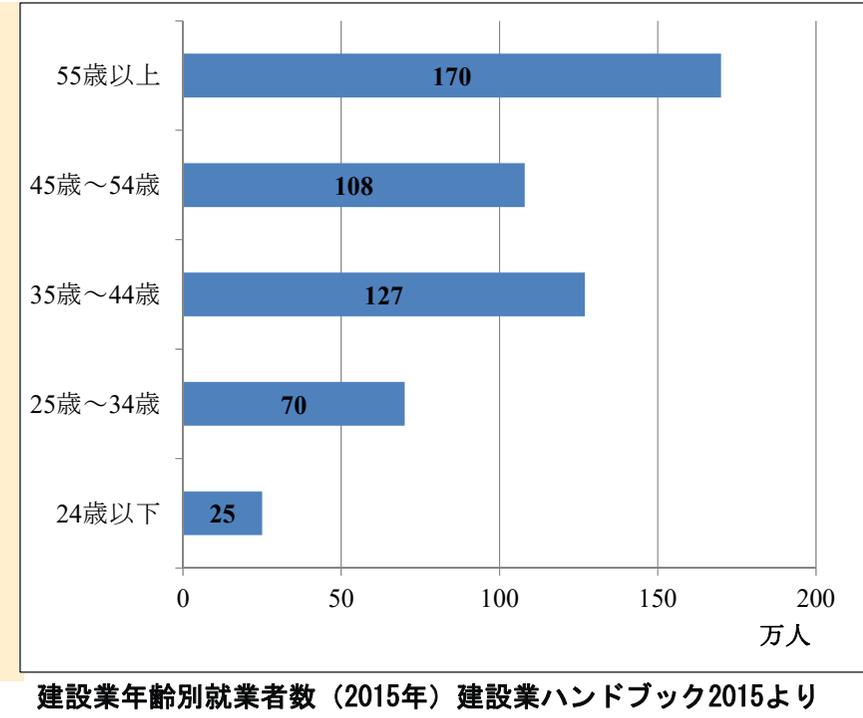
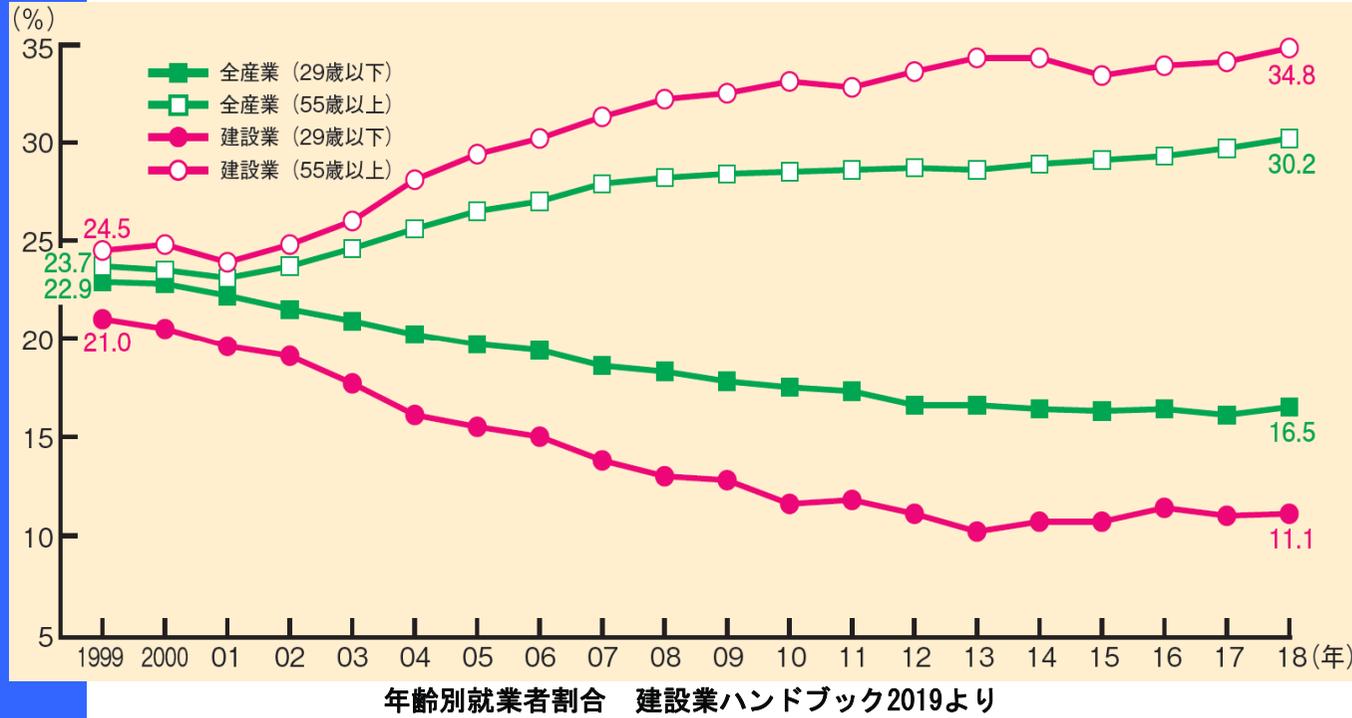


建設機械による自律施工

高速・大容量通信による  
施工情報の送受信

リアルタイムでの工事現場の遠隔監視

# 少子高齢化に伴い加速する建設産業就労者の減少



- ・ 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ヤ (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)

# 建設現場における各建設技術の現状



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

(ごく限定された一部の工事現場で試行)

## Contents

1. i-Construction
2. 無人化施工
3. 建設施工自動化
4. おわりに

# 1. i-Construction

# 直轄工事におけるICT施工の実施状況



国土交通省



○ ICT施工の対象工種を年々拡大。直轄工事のICT施工の実施件数、公告件数に対する割合とも増加しており、2019年度は公告件数の約8割で実施。

2020.8.4  
i-Construction推進  
コンソーシアム  
企画委員会資料

## <ICT施工の実施状況>

単位：件

工種	2016年度		2017年度		2018年度		2019年度	
	公告 件数	うちICT 実施	公告 件数	うちICT 実施	公告 件数	うちICT 実施	公告 件数	うちICT 実施
土工	1,625	584	1,952	815	1,675	960	2,246	1,799
舗装工	—	—	201	79	203	80	340	233
浚渫工	—	—	28	24	62	57	63	57
浚渫工(河川)	—	—	—	—	8	8	39	34
地盤改良工	—	—	—	—	—	—	22	9
合計	1,625	584	2,175	912	1,947	1,104	2,397	1,890
実施率	36%		42%		57%		79%	

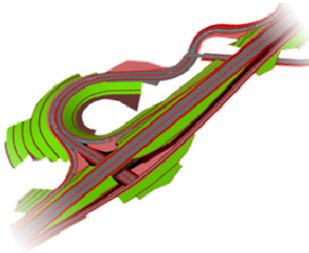
「実施件数」は、契約済工事におけるICTの取組予定(協議中)を含む件数を集計。  
複数工種を含む工事が存在するため、合計欄には重複を除いた工事件数を記載。

①3次元起工測量



UAV等による写真測量等により、短時間で面的(高精度)な3次元測量を実施

②3次元設計データ作成



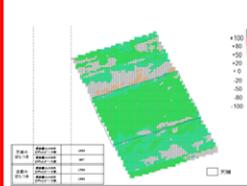
施工段階の一連の利用の前提として、施工前に契約図書を3次元化

③ICT建機による施工



3次元設計データ等により、ICT建設機械を自動制御し、建設現場のIoTを実施

④3次元出来形管理等の施工管理

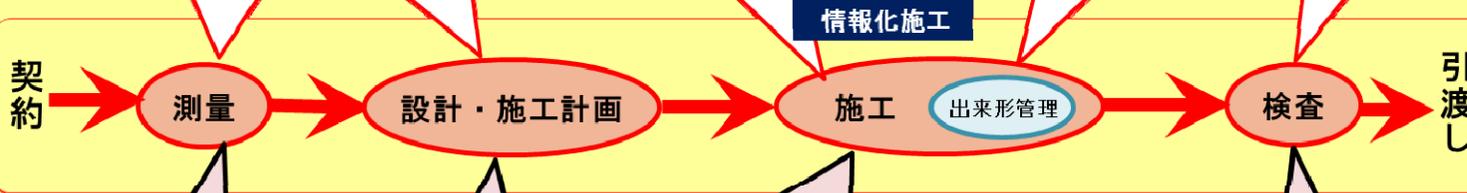


多点観測を前提とした面的な施工管理基準の設定

⑤3次元データの納品



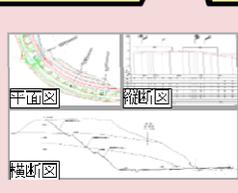
電子納品等運用ガイドラインに基づき、3次元データを納品



従来方法



測量の実施



設計図から施工土量を算出



設計図に合わせて丁張り設置



丁張りに合わせて施工



検測と施工を繰り返して整形



書類による検査

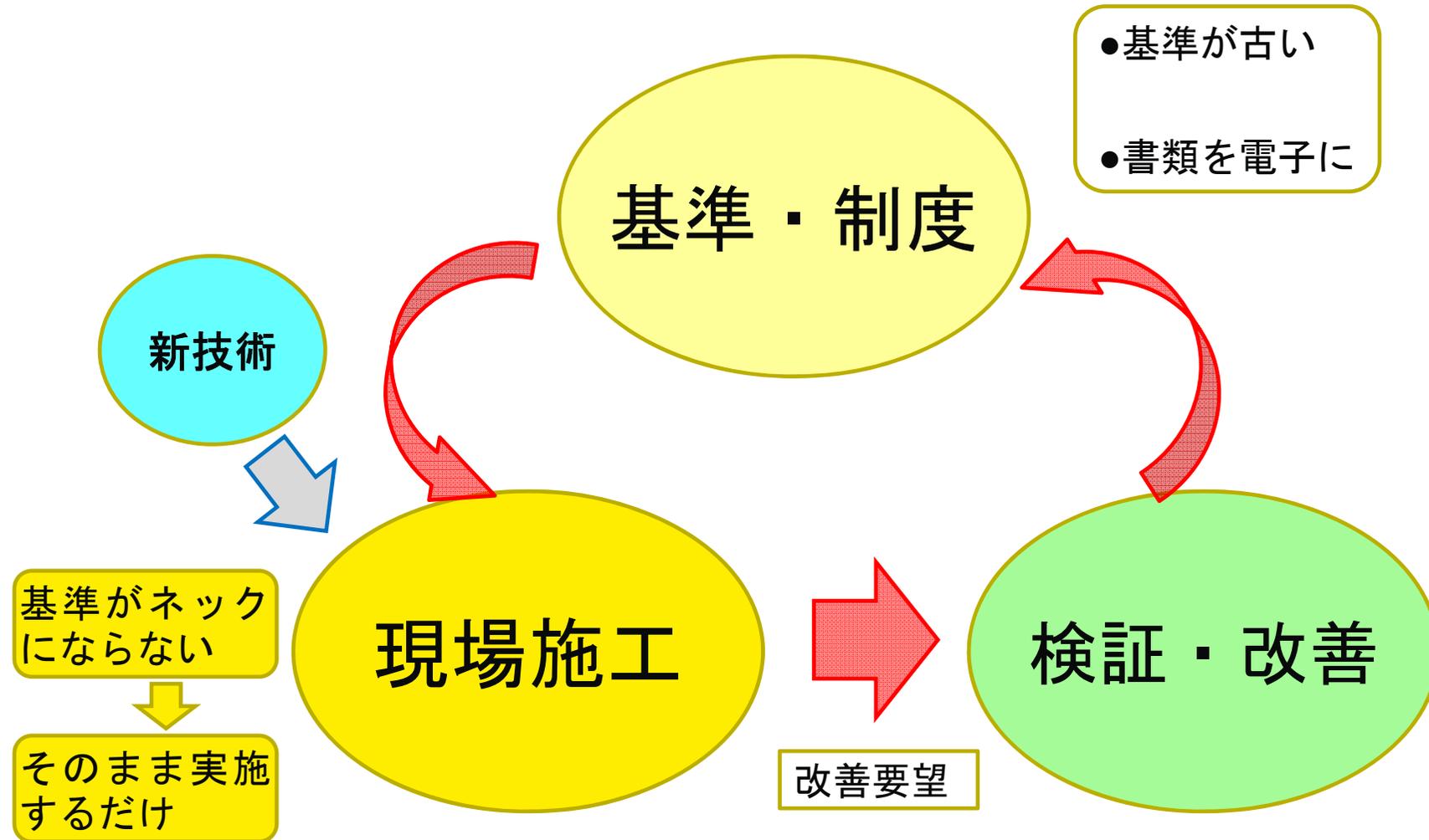
《メリット》

- ①起工測量の日数が大幅に短縮
- ③丁張りが不要、効率向上  
不慣れな人でも施工が可能
- ④重機との接触軽減で安全性が向上

など

→ 今後は新たな応用（やり方，技術）により，生産性の向上

# ICT施工の基準・制度の改善サイクル



## 2. 無人化施工

# 無人化施工とは



オペレータが立ち入ることができない，危険地域での作業を行うための施工手法。  
主に災害現場における復旧事業に適用された。

日本で開発された独自の技術であり，国内でこれまで200件近くの実績がある

# 無人化施工事例



雲仙普賢岳 1991～



遠隔操作型建設機械  
(救助隊のためのアクセス路造成)

自動車  
(被災者)

中越地震 2004

東京電力・熊谷組資料より



福島第一原子力発電所 2011



熊本地震 2016

雲仙普賢岳噴火災害対策（1991年）から本格的に導入され、技術の進歩が見られる

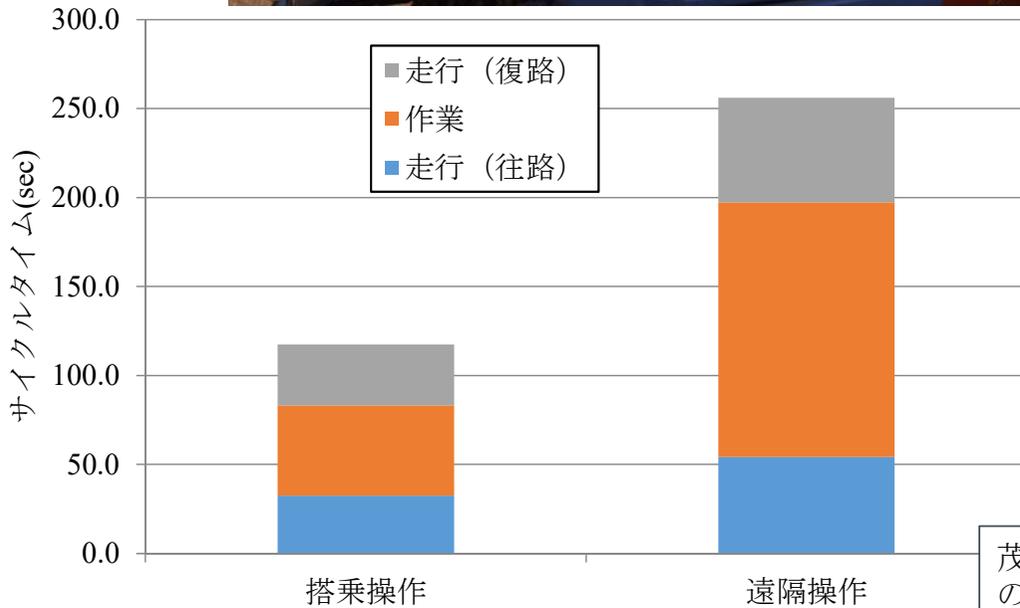
# 無人化施工の課題



搭乗操作



遠隔操作



土木研究所での効率把握実験の結果、油圧ショベルで同様の掘削作業を行った場合の時間は、遠隔操作は搭乗操作の約2.2倍かかった。

**施工効率は約45%**

**施工効率の向上（生産性の向上）が急務**

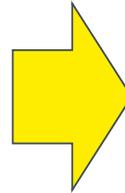
茂木ら，油圧ショベルの遠隔操作による作業の効率評価のためのモデルタスクの提案，建設機械施工，2014.

# 生産性向上へ向けた取り組み例 1

運転席型コントローラ

土木研究所

ジョイスティック型コントローラは操作が困難  
使い慣れている運転席型コントローラを提案



## 生産性向上へ向けた取り組み例 2

VR（高臨場感映像）

大成建設－土木研究所 共同研究

建設機械運転席に設置したステレオ魚眼カメラの映像を遠隔オペレータのHMDに投影。  
 あたかも運転席に座っているような仮想空間を実現。  
 （ステレオ立体視+360°空間）

ステレオ魚眼  
カメラ



建設機械

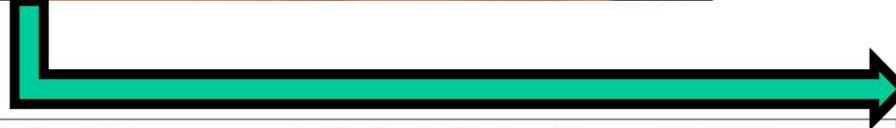


運転室



# 生産性向上へ向けた取り組み例 3

アラウンドビューシステム      フジター土木研究所      共同研究



建設機械の4方に取り付けられた魚眼カメラの映像を変換処理し、仮想的に上空から見た映像を生成する。**(外部カメラなしで周辺状況を確認できる)**  
 ※佐藤貴亮ら: 無人化施工用俯瞰映像提示システムの開発, 日本機械学会論文集, vol.81, No.823, pp14-31, 2015.

# 生産性向上へ向けた取り組み例 4

## 力触覚フィードバックシステム

建設機械に働く反力や接触間隔を，遠隔操作オペレータにフィードバックするシステム

- ・ 神戸大学など (ImPACT)
- ・ 大林組など
- ・ その他

動作指令

推定手先負荷力

外力推定  
アルゴリズム

シリンダ圧, シリンダ長情報

力覚フィードバック

動作指令



ハプティックデバイス

手先負荷力

指令動作の再現



建設ロボット

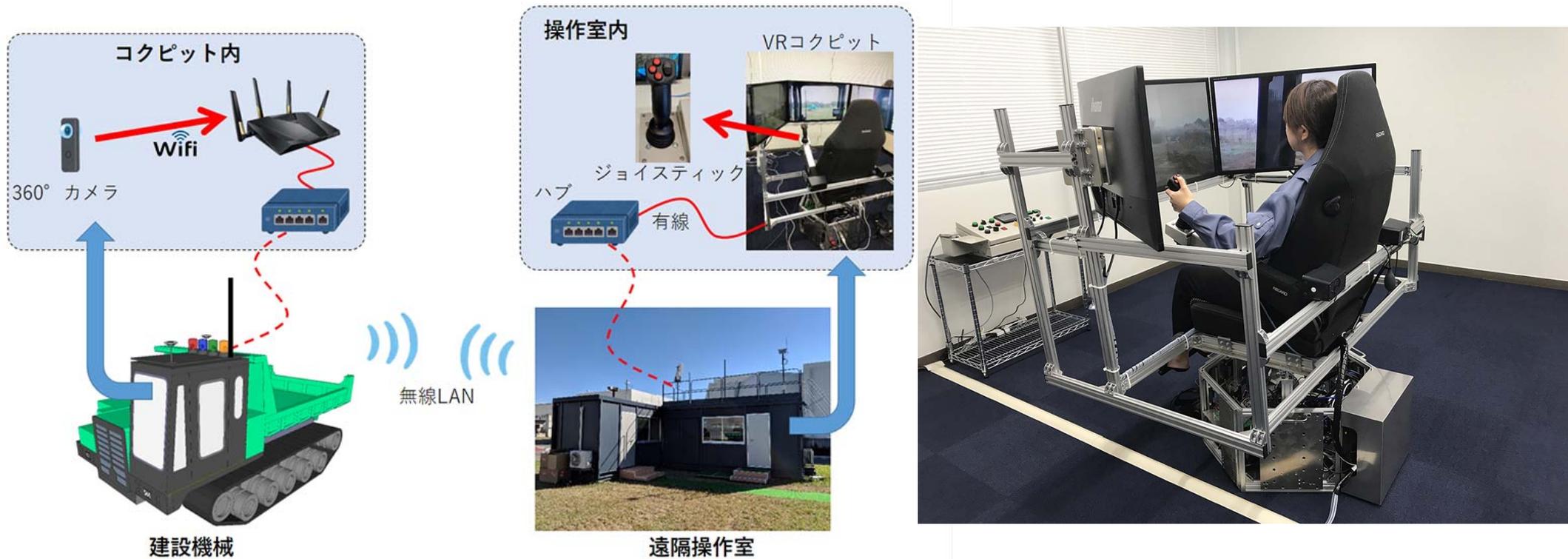
実際にレバーに重量を感じることができる

# 生産性向上へ向けた取り組み例 5

## 運搬機VRシステム

## 熊谷組+東京高専

不整地運搬車運転席に設置した360°カメラの映像を遠隔操作オペレータに表示。  
 加えて、遠隔運転席を不整地運搬車の傾きと同様に变化させ、運転席に座っているような臨場感を再現

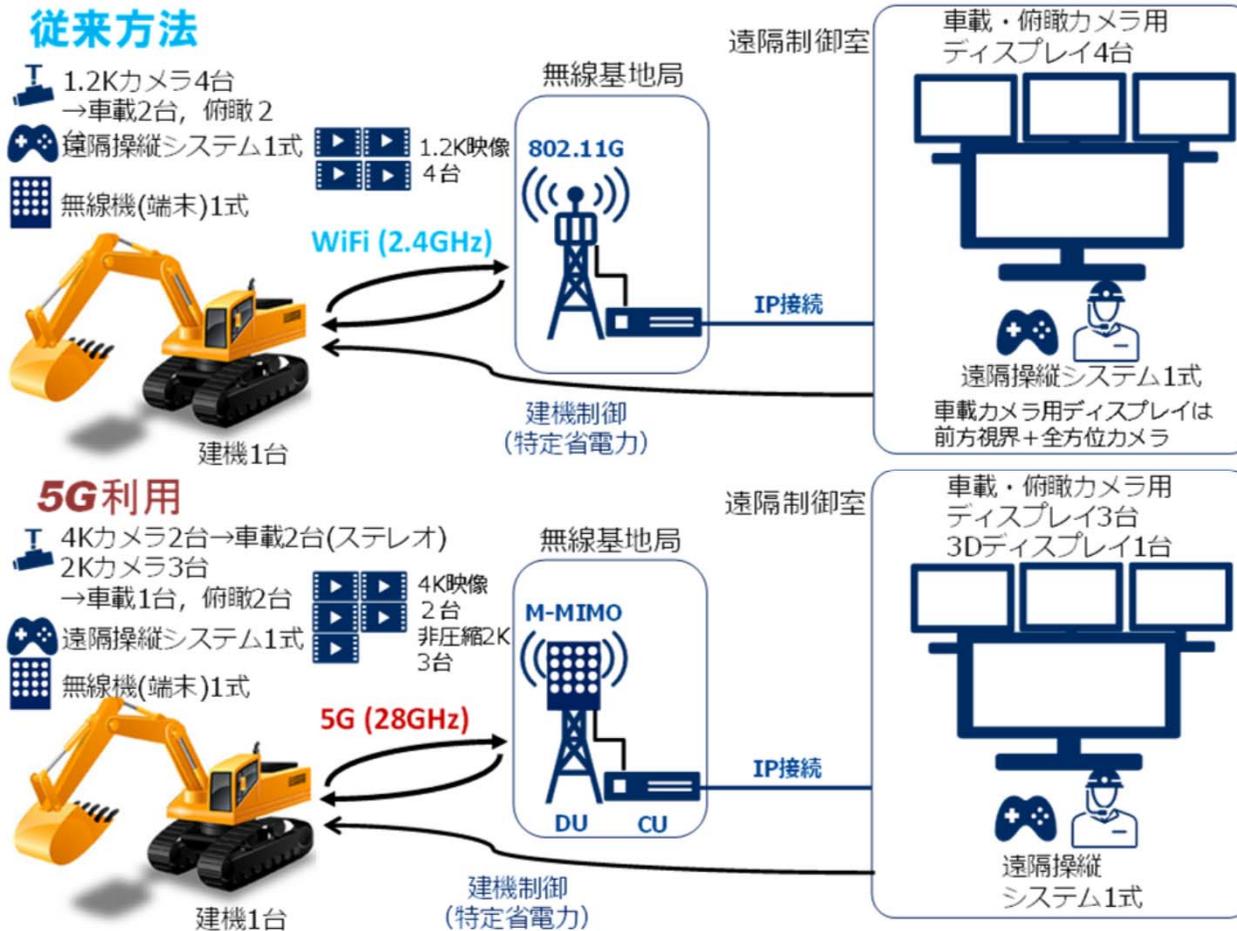


# 生産性向上へ向けた取り組み例 6

5Gによる高速・大容量通信システム

大林組, NEC, KDDI

遠隔操作時に必要な映像情報を伝送する無線に5Gを採用し, 高画質・低遅延な映像表示を実現する



古屋ら, 次世代高速通信 5Gを用いた重機の遠隔操縦試験, 大林組技術研究所報, Vol.82, 2018.

# 生産性向上へ向けた取り組み例7

UAVを用いたシステム 東北大学ー土木研究所 共同研究

有線給電UAV（飛行時間を大幅に延ばすことが可能）を用い，遠隔操作建設機械を周辺情報を取得する．これにより外部カメラを省略することが可能となる



カメラ搭載  
有線給電UAV



建設機械



運転室

## これまでの成果と課題



### これまでの成果と課題

- 無人化施工の施工効率は様々な技術開発によって約60%程度まで向上。しかし未だ不十分。
- 無人化施工現場では、オペレーターのみでなく無人化施工全体に長じたマネージャ人材が必要。
- オペレーターやマネージャ育成のためのマニュアルなどが必要

## 無人化施工の今後の展開

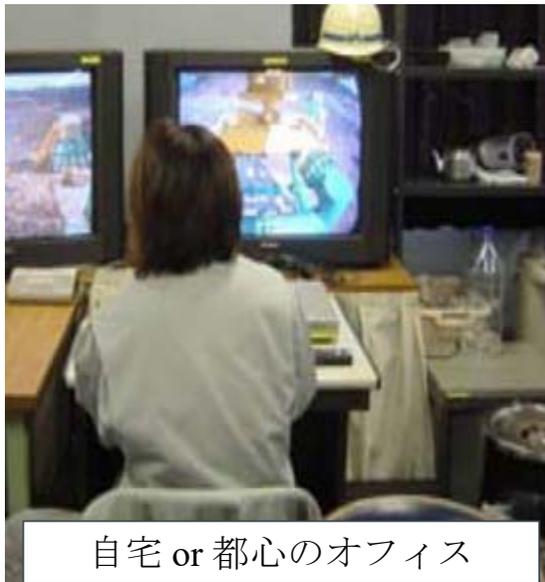
- ・ 少子高齢化および熟練技能者リタイヤによる現場におけるオペレータ不足
- ・ 無人化施工を災害対応に限定しては、技術の伝承，さらなる投資が困難（ビジネスになりにくい）



### 無人化施工技術の通常現場への導入が必要

そのために解決すべき課題

- ・ 施工効率のさらなる向上（現在までの研究成果では未だ60%程度）
- ・ 無人化施工に対応した安全規格，監督検査要領などの作成
- ・ 無人化施工導入による働き方改革効果など，考慮したビジネスモデルの作成と発注者による環境整備



自宅 or 都心のオフィス



建設現場

# 無人化施工の目標ロードマップ (案)

現在

5年後 (目標)

- 無人化施工の施工効率向上
- 無人化施工の通常工事への課題整理

- 5G等を活用した稼働台数の増加
- 超長距離通信による国内外オペレータの活用

- 監督検査方法の提案
- 安全規格の提案

自律施工と無人化施工の組み合わせ

アウトプット

無人化施工の新しい施工方法の提案  
時差を活用した24時間施工の実証

無人化施工の通常現場への試行的導入

# 先端建設機械実験フィールドの整備

研究所敷地内に5G通信設備などを装備した「先端建設機械実験フィールド」を構築し，無人化施工研究の促進を図る

- 新フィールド概要（案）
- ・ 約20000m<sup>2</sup>
  - ・ ローカル5Gによる移動体無線通信
  - ・ 土砂材料の常設（約20000m<sup>3</sup>）
  - ・ 遠隔操作型建設機械および遠隔操作室

効率的な無人化施工研究の加速



### 3. 建設施工自動化

## 建設施工自動化の必要性

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）



## 建設機械自動化レベル（案）

※人による動作指示の範囲に着目したレベル分け

自動化レベル	定義	備考	1人で管理可能な建設機械台数
Level 0	自動化なし		1
Level 1	個別動作自動化	油圧ショベルならば、「移動」「掘削」「旋回」「放土」の各動作個別の自動化 最適動作は人が指示する	1
Level 2	Level 1 + 一連動作自動化	油圧ショベルならば、「移動」「掘削」「旋回」「放土」の一連動作の自動化 最適動作は人が指示する	少
Level 3	Level 2 + 検知と判断の自動化	周辺状況を検知し、最適動作を自動で判断し実行する	中
Level 4	Level 3 + トラブル対応の自動化	トラブル対応を自動で実行する	多
Level 5	Level 4 + 現場条件限定の解放	地形、地盤、天候、材料などに限定されない自動化システム	多



橋本ら：建設機械自動化レベル策定にむけて，建設ロボットシンポジウム，O4-1，2019.

# 建設機械自動運転技術の例



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



鹿島建設殿提供 (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
- ブルドーサ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、BIM/CIMや施工データ、AIを活用した全体の施工計画、施工後の検査などの自動化も必要

## 建設施工自動化の実現に向けた課題

- ① 協調領域の明確化と研究開発用プラットフォームの整備.
- ② 自動化を念頭においた法令・規制類の整備

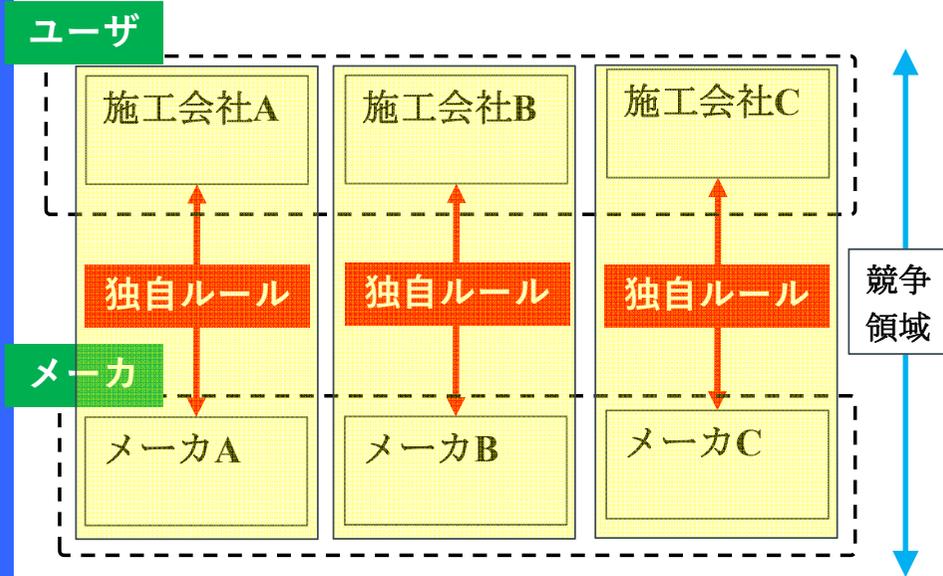
また、「建設業のためのロボットに関する調査報告書 2020. (日建連)」によると

- 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

# 土木研究所における取組 1

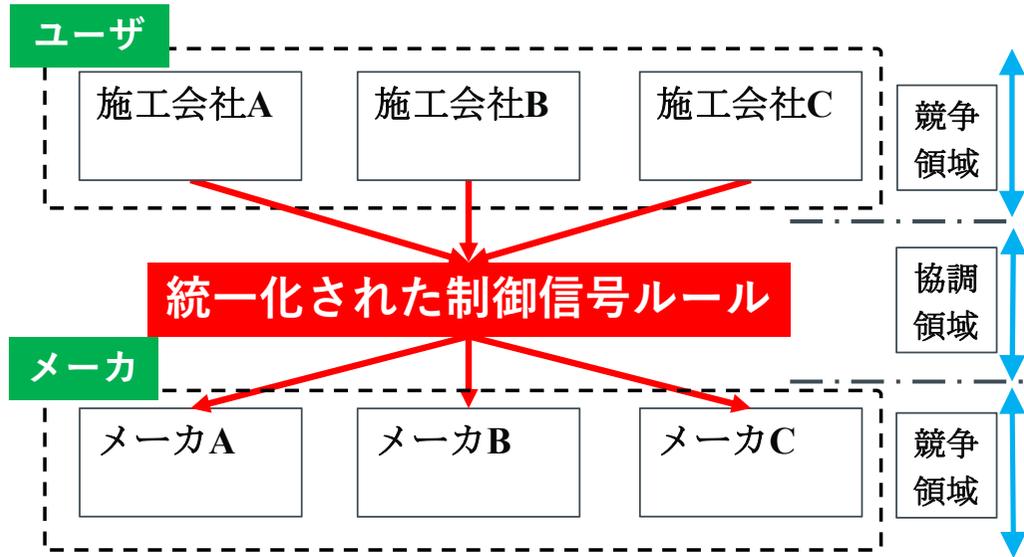
## 協調領域の提案

### 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

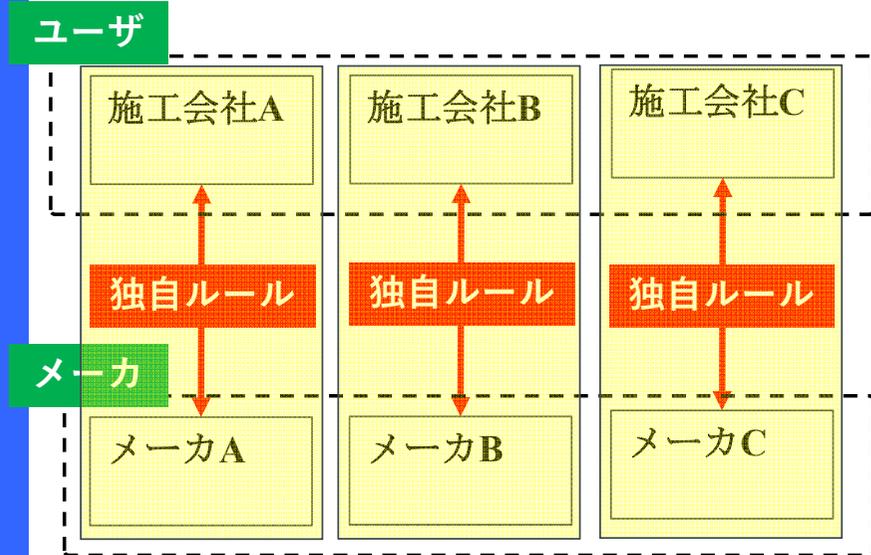
### 提案する枠組み



- 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

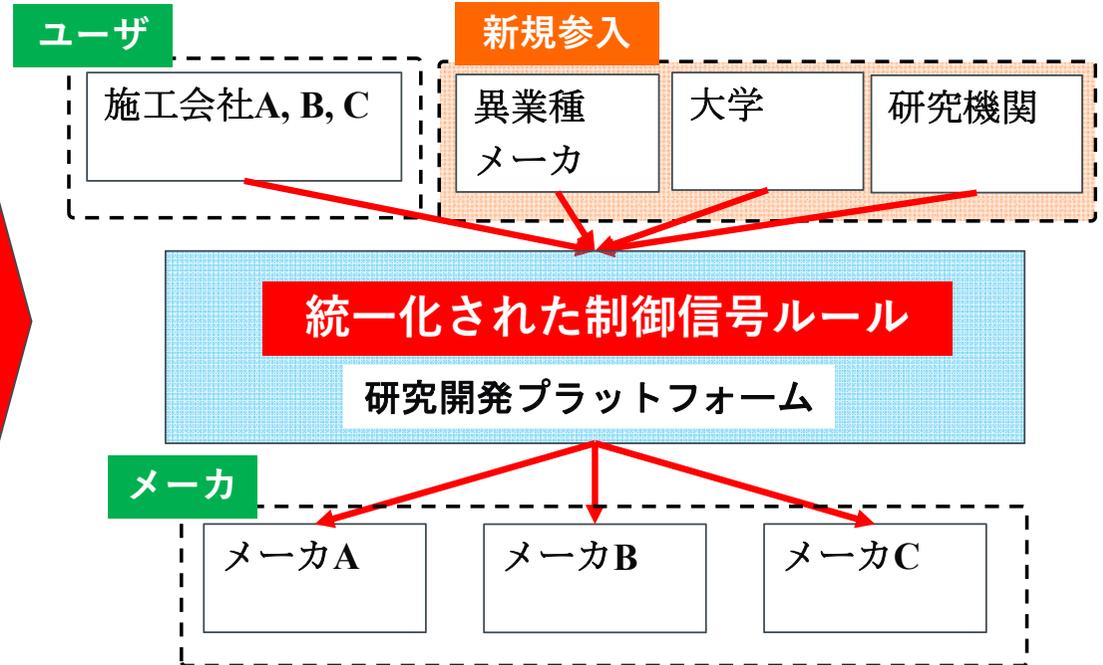
## 研究開発プラットフォームの整備

### 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
- 各グループの内部に入らないと情報を得られず、研究開発に参画できない

### 提案するプラットフォーム



- 大学、研究機関、異業種などの参画が容易となり、新技術導入を加速

「自律化を考慮に入れた施工方法， 監督検査方法， 安全規格の提案」

自動建設機械および施工全体の自動化をふまえた， 施工指針， 監督検査要領， 安全規格の提案を行い， 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

土木研究所における取組 3

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  
技術開発の促進を図る



参考：DARPA Robotics Challenge

# 建設機械自動化の目標ロードマップ (案)

現在

5年後 (目標)

30年後 (目標)

## 土研取組①

- 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③

- 土研チャレンジの開催

## 土研取組②

- 自律化を考慮に入れた施工方法の提案
- 監督検査方法の提案
- 安全規格の提案

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

協調領域に関する  
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