

14:05-14:35

第3回土木建設ロボットの総括

立命館大学特別招聘研究教授
チトセロボティクス副社長
川村貞夫

日時 1月22日13:00～15:00 オンライン

「土木建設分野」各発表20分 質疑15分 全体質疑 10分

13:00-13:05 オープニング 川村貞夫

**13:05-13:40 「建設ロボットを活用した自動施工の現状と今後の研究開発動向」
国立研究開発法人 土木研究所 技術推進本部 上席研究員 橋本 毅**

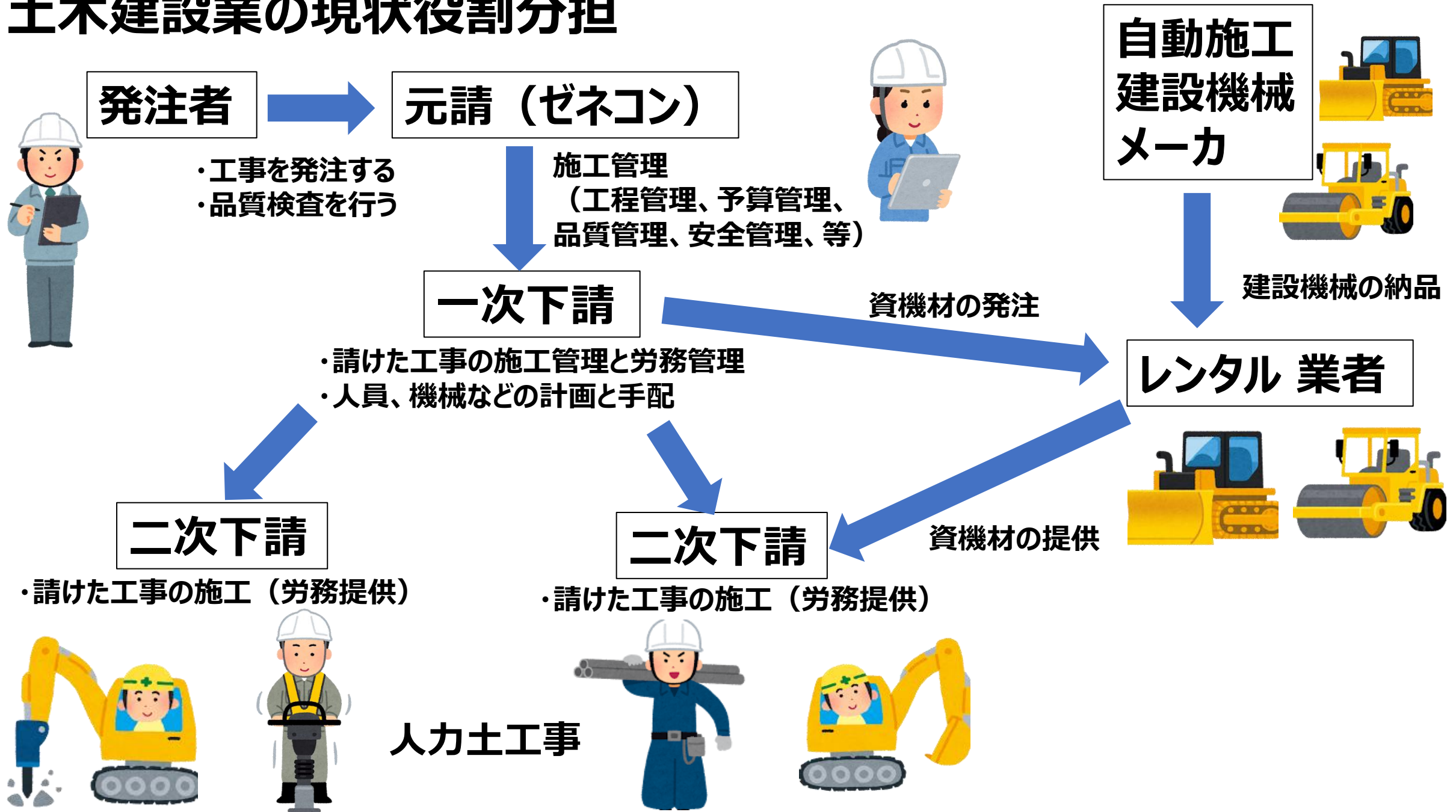
**13:40-14:15 「自動施工機械開発の現状と課題」
株式会社フジタ 技術センターDX推進研究部長 千葉拓史**

**14:15-14:50 「近代化が遅れている人カ土工事」
玉石重機株式会社 代表取締役社長 玉石修介**

14:50-15:00 全体討議

[1] 全体像と研究開発動向

土木建設業の現状役割分担



日本・世界における自動施工の研究開発状況

①建設機械単体の部分自動化

オペレータ搭乗 マシンガイダンス・マシンコントロール 運転支援

②建設機械単体の全体自動化

オペレータ搭乗なし 一部市販化

建設機械単体の一連動作（油圧ショベルであれば、掘削・旋回・放土など）を自動化

③複数建機による施工の自動化

オペレータ搭乗なし

複数の機械により、一つの施工現場全体の自動化

日本の大手ゼネコン（鹿島建設、大成建設，大林組）などがダム現場等に限定して実現

社会実装レベル (SIL)

		レベル1: 研究開発	レベル2: 試験施工現場での実証	レベル3: 技術の上市	レベル4: 市場シェア5%以上	レベル5: 市場シェア20%以上
自動施工レベル (ACL)	レベル0: 非自動運転			遠隔施工		
	レベル1: 作業補助				油圧ショベルMG	振動ローラMG
	レベル2: 機械単独の部分自動化			油圧ショベルMC		ブルドーザMC
	レベル2.9: 機械単独の全体自動化	自動運転油圧ショベル		自動運転ダンプトラック		
	レベル3: 複数自動機械による自動施工 作業指示：人 適用現場：限定的な現場			複数機械による自動施工 (試験施工やダム建設工事等)		
	レベル3.5 複数自動機械による自動施工 作業指示：人 適用現場：一般土木施工現場					
	レベル4: 複数自動機械による自動施工 作業指示：システム 適用現場：一般土木施工現場					
レベル5: 複数自動機械による自動施工 ODD等のすべての限定が解除						

土木研究所の取り組み

1. 自動施工技術基盤OPERA
2. 協調領域としての共通言語の提案

1. 自動施工技術基盤OPERAの整備

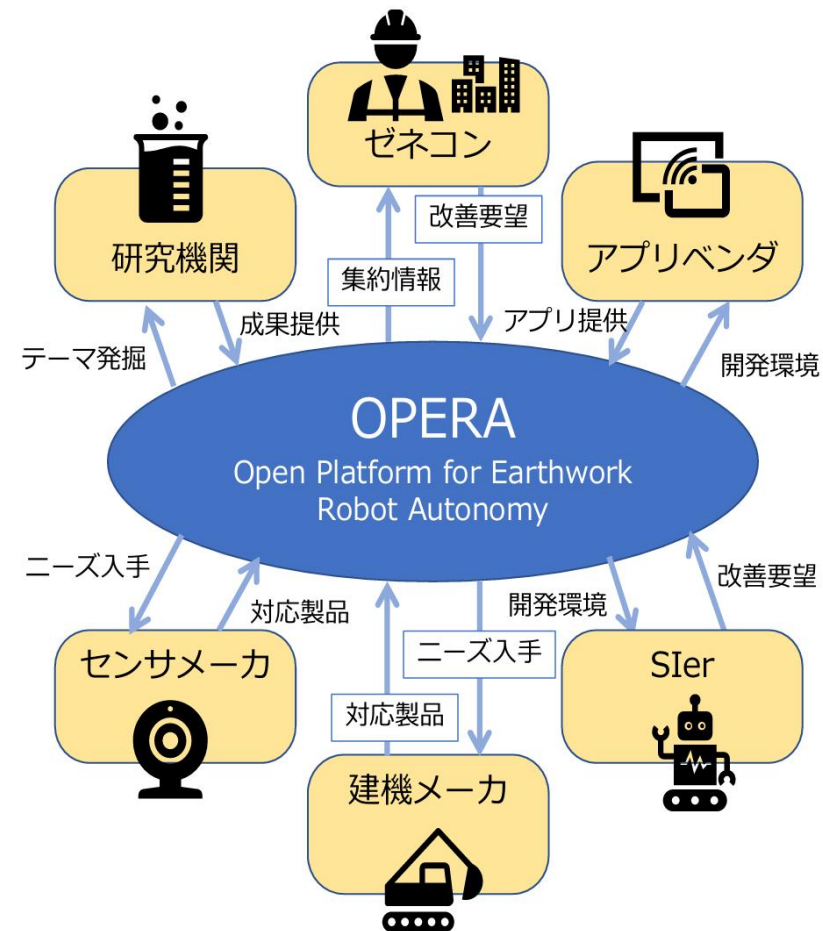
OPERA Open Platform for Earthwork with Robotics and Autonomy

土木研究所が整備し公開する、自動施工に関する研究を行う「場」

- 構成要素であるハードウェア、シミュレータ、共通制御信号、ミドルウェア、一部のアプリケーションを土木研究所が用意し、民間企業や研究機関等が自由に研究を行うことができる。
- ステークホルダー間をつなぐオープンプラットフォームであり、オープンイノベーションを生む土壌となる。また、異業種からの新規参入拡大も期待できる



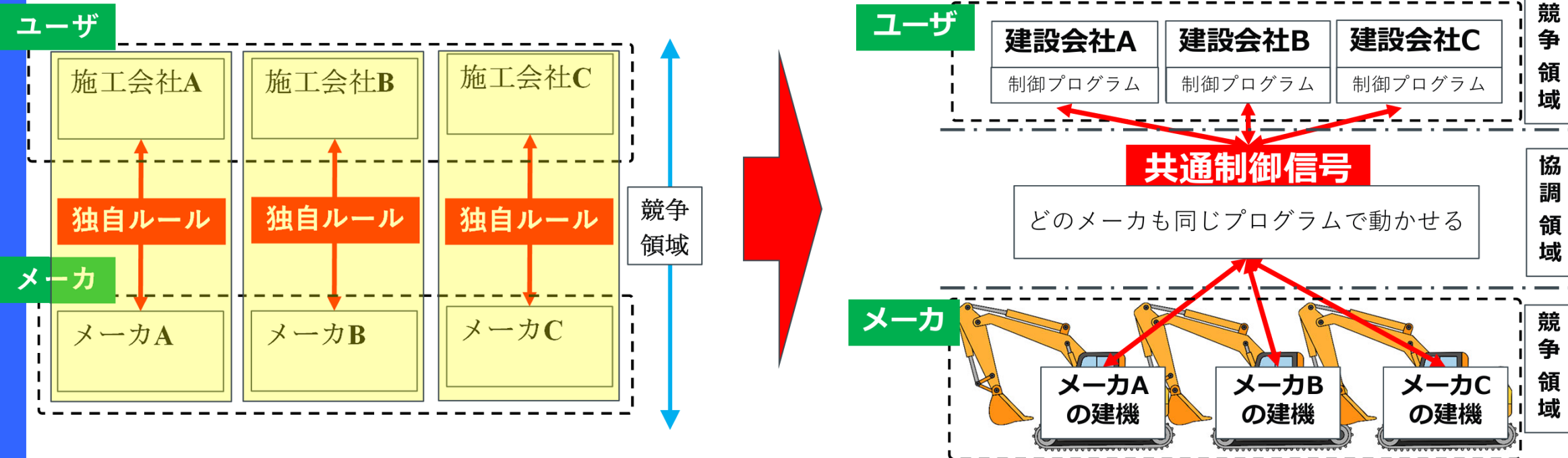
自律施工技術基盤OPERAの構成図



2. 協調領域として「共通制御信号」の提案

共通制御信号（協調領域）とは

建機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**建設機械を動作させる**通信I/Fを統一化したもの**



- 信号部分の検討を省略して研究開発を行うことが可能
- 現場やメーカーが異なっても開発成果の再利用が容易
- メーカーが異なる機械間の相互連携が容易

- OPERAには必須のもので土研独自案として既に関済されている（多種多様な建設機械を運用するため）
- ユーザやメーカーが協調すべき領域と土研では考えており，業界全体のルールにできれば研究開発がさらに加速される
- 土研独自案をベースとして建機メーカーとメーカーが同意できる共通制御信号案を構築中。

[2] 複数台建機による自動施工技術開発

SIP第3期 サブ課題 A (a-1) 建設生産プロセス全体の最適化を実現する自動施工技術の開発

筑波大学・九州大学・土木研究所・フジタ

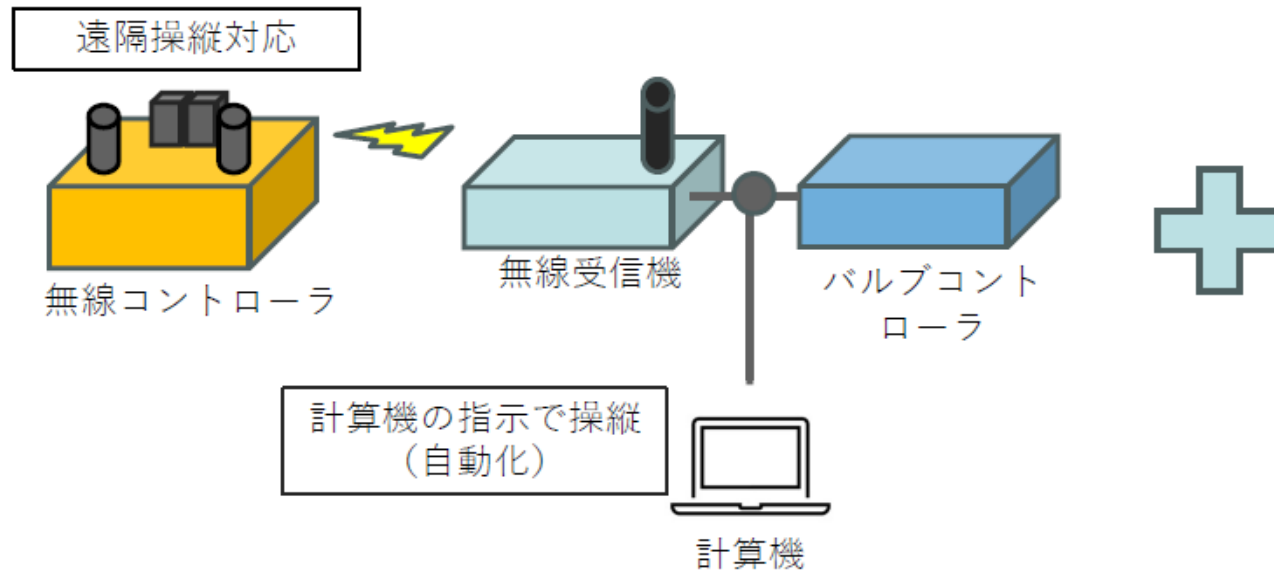


試験ヤードでの模擬施工

【ダンプ自動化】レトロフィット

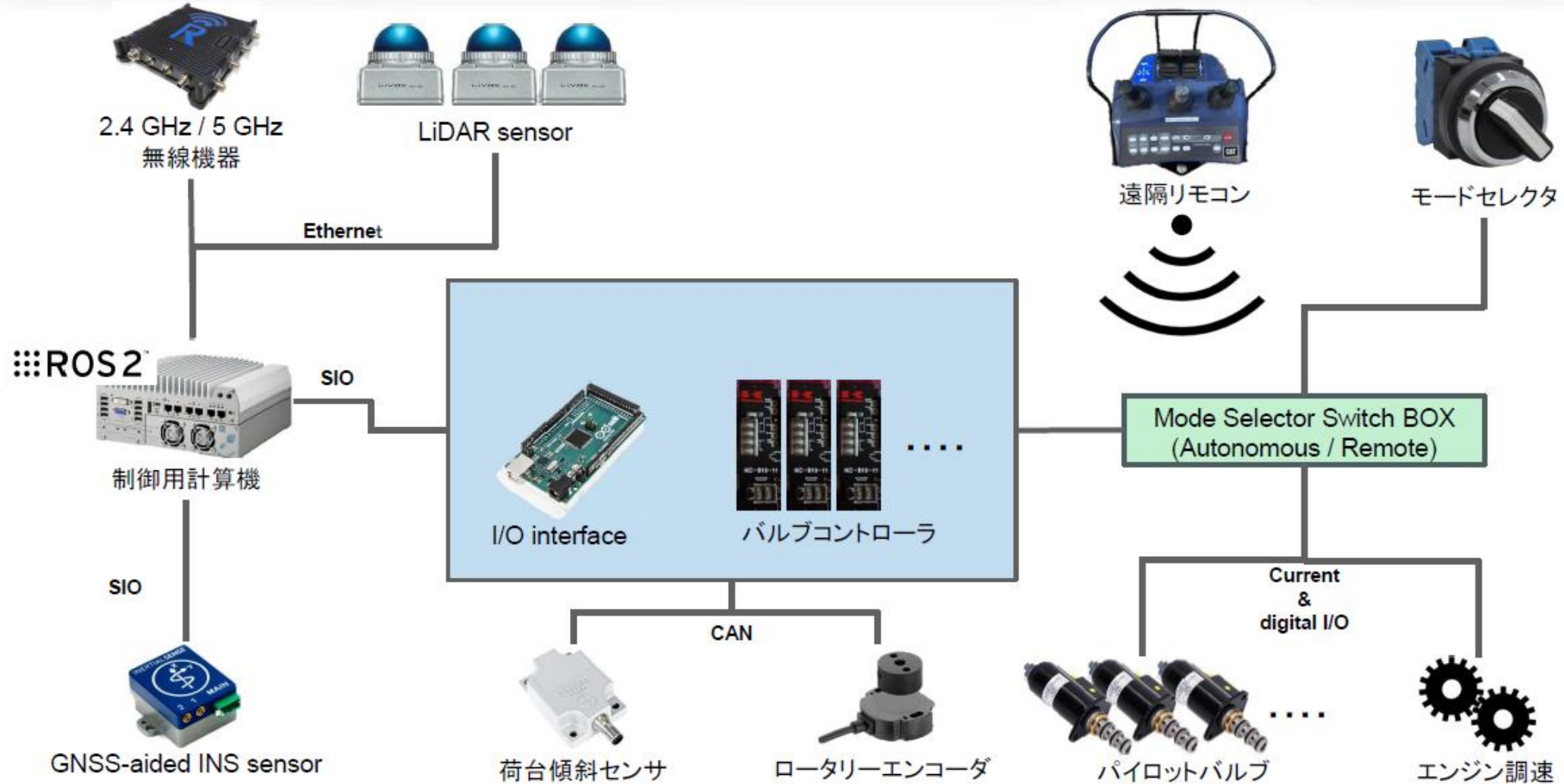
一般的なクローラダンプに後付けで遠隔操縦機能を付加

1. 油圧制御を外部から行えるよう機能追加（無線による遠隔操縦対応）
2. 計算機からの信号でバルブ制御する機能を付加



レトロフィット（概略）

【ダンプ自動化】 機器構成



【ダンプ自動化】後付け機器 周囲環境認識

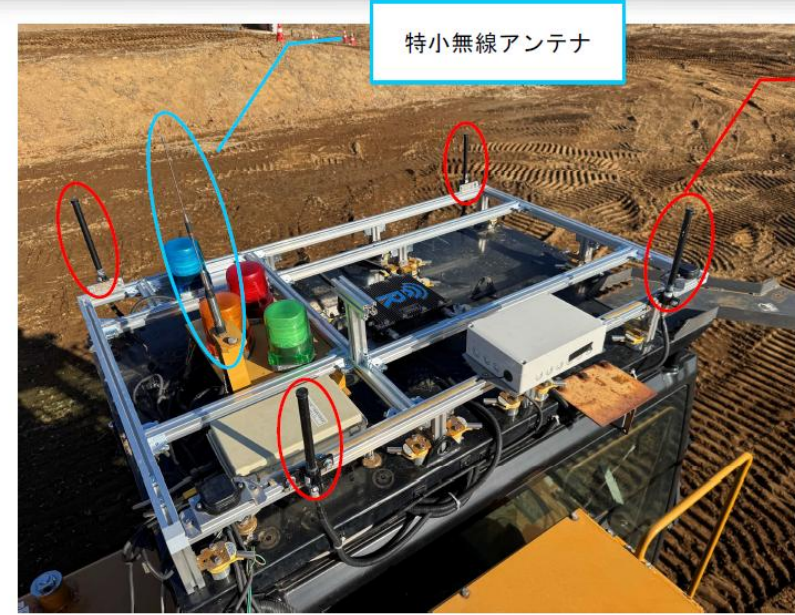
千葉拓史氏の講演資料引用



周囲環境認識用 LIDAR

【ダンプ自動化】後付け機器 無線機器

千葉拓史氏の講演資料引用

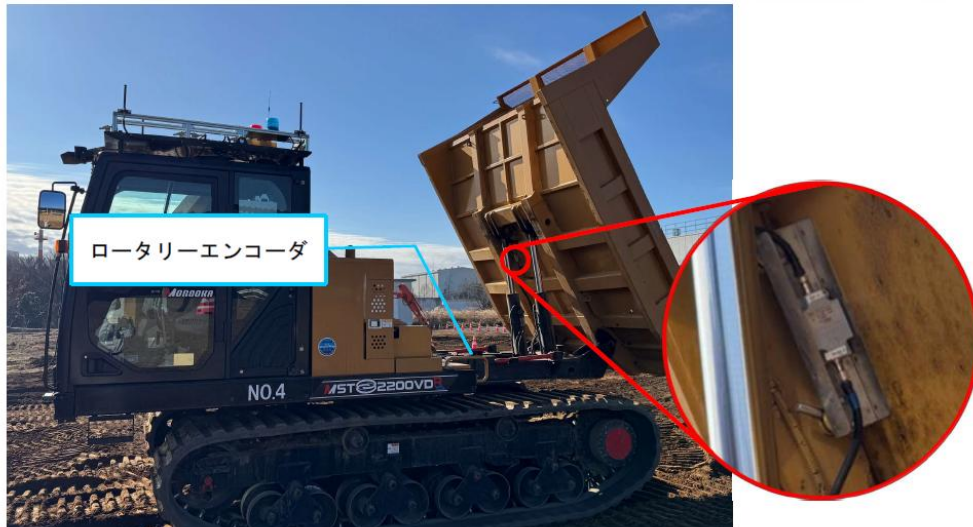


特小無線アンテナ

2.4 GHz / 5 GHz
メッシュWiFiアンテナ

【ダンプ自動化】後付け機器 姿勢推定

千葉拓史氏の講演資料引用

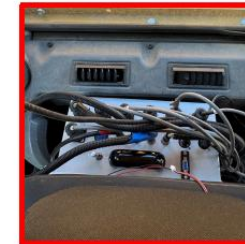


ロータリーエンコーダ

荷台姿勢センサ・上部旋回姿勢センサ

【ダンプ自動化】後付け機器 計算機他

千葉拓史氏の講演資料引用



制御ボックス



制御用計算機 他

運転席内

[3] 自動化が切望される人土工事

**土工事
土等の自然材料による造作形状の安定が最も重要**

人土工(小構造物)
主な使用機材
<ul style="list-style-type: none">・ミニバックホウ・小型ダンプ・ランマ（締固め機）・スコップ・バール・電動ブレーカ
等

機械土工(大量土量)
主な使用機材
<ul style="list-style-type: none">・ブルドーザ・バックホウ・振動ローラ・ダンプトラック・クローラダンプ・油圧ブレーカ
等

人カ土工の作業例

- U字溝敷設, U字溝周りのコンクリート張り
- 法面縦排水溝敷設
- 集水マス設置, 用排水管敷設
- 法尻防草コンクリート張り
- ブロック積み, 石積み, ブロック張り
- コンクリート打設, 均し, 表面仕上げ
- インターロッキングブロック敷設
- 上水道・下水道 敷設・更新
- 法面保護工(吹付工, 法枠工, アンカー工など)
- 地下埋設物掘削(地表から2m程度は手掘り作業)
等

人力士作業環境アンケート

一社) 日本機械土工協会2025年調査 ←

建設現場人力作業環境の現状
— 人力作業アンケート結果から —
(一社)日本機械土工協会 技術委員会
人力作業環境改善ワーキンググループ

人力作業者の苦渋作業

中腰作業,手掘り作業,狭所作業,材料運搬,片付け,
コンクリート打設作業,手戻り作業,夜間作業

人体の苦渋部位

(疲れ・痛み)腰,背中,首,肩,腕
(原因)同じ姿勢が続く,重量物の扱い

作業環境の悪影響

雨天・多湿作業,暑さ寒さ,指示の悪さ,急な作業変更

人力作業の扱える一般的な重量 (最近の傾向)

- ・ 持ち上げ : 25 kg 程度を上限 (セメント1袋: 25 kg)
- ・ 継続作業 : 15 kg 程度を上限 (灯油18ℓ: 15 kg程)

{人力による運搬作業が苦渋評価となる : 重いものは手持ちで運べない}

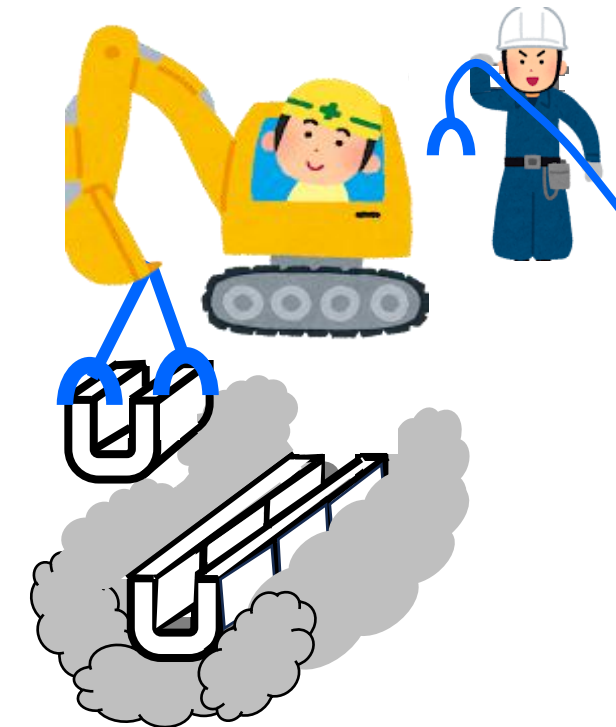
U字溝敷設の作業フロー例

玉石修介氏の講演資料引用
川村図加筆

- 1)測量作業：U字溝敷設位置・掘削深さ・掘削幅・勾配
集水マス位置・大きさ・深さ・流入出方向合わせ
- 2)床掘り作業：丁張り合わせバックホウ掘削、バカ棒検測
- 3)床付け作業：U字溝部材の設置高さ、勾配等調整
- 4)U字溝部材設置作業：玉掛けで部材吊り降ろし・位置合わせ・設置
前設置部材との密着確保
- 5)部材周り埋め戻し作業：設置場所掘削土砂の一部再利用
- 6)U字溝周り張りコン作業：厚さ5cm程度に打設・慣らし

☆この工種作業に考慮すべきこと

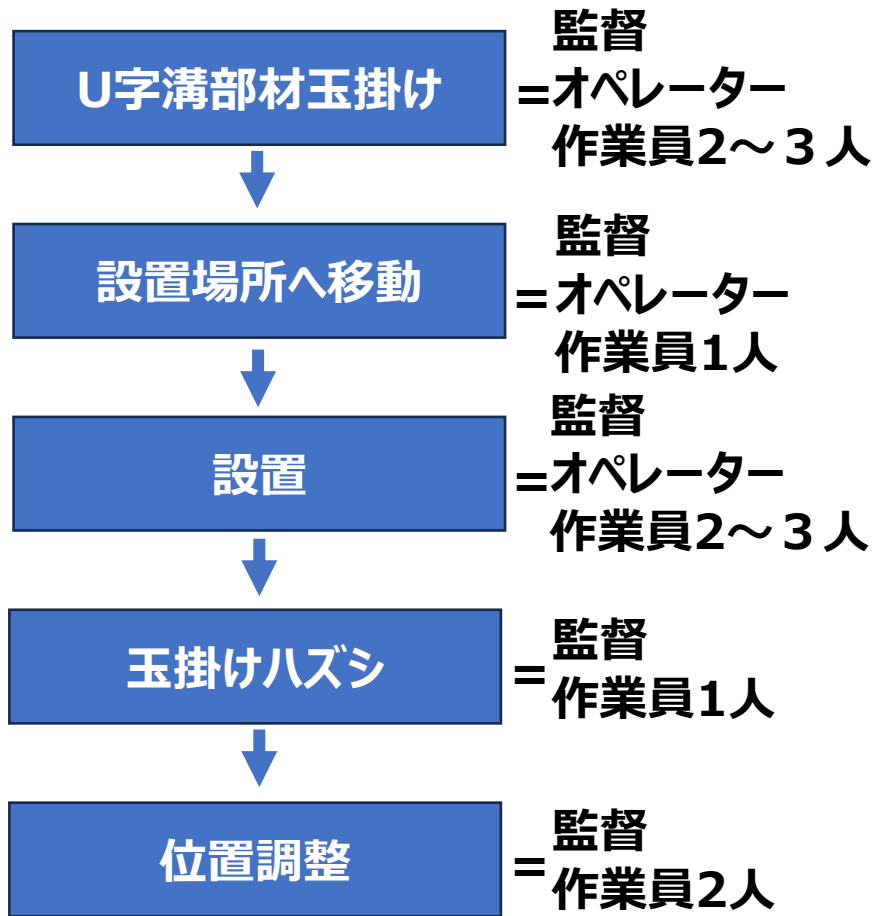
- 1)作業ごとの段取りと片付け、使用資材の運搬
- 2)作業経験が進捗に影響する
- 3)力仕事も多い(昔は50kg持てたが、今は25kg以下が推奨)
☆土工工事・都市土木ともに共通



機材による作業変化例(U字溝設置)

玉石修介氏の講演資料引用
川村図加筆

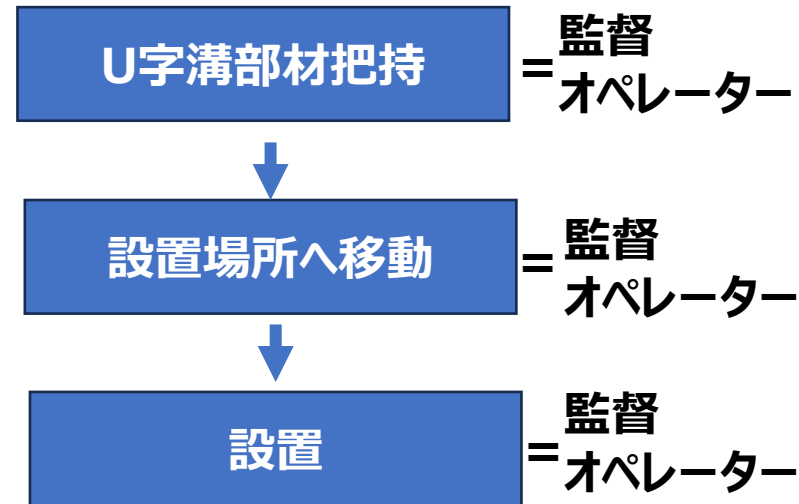
従来工法(吊り作業)



設置完了

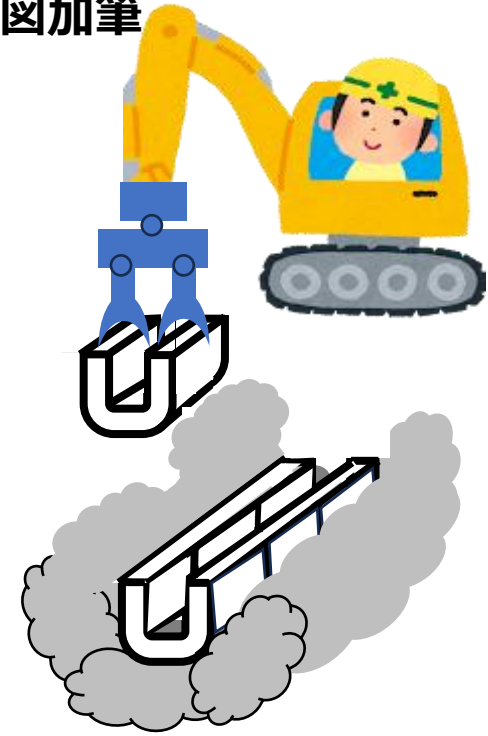
ミニバックホウはクレーンモード

提案工法(把持装置)



設置完了

ミニバックホウはアタッチメント装着
アタッチメントは部材把持機能に加え
位置合わせ機能付き(現存しない)



オペレータへの情報提供用
センサ付加

バックホウ 5自由度
U字溝位置姿勢制御6自由度
グリップ開閉 1自由度

不足2自由度をアクチュエータ
付加か? 機構的解決か?

[4] 研究開発の課題整理

	人操作搭乗型	人遠隔操縦型	自動制御型
機械土工 (大規模)	既存建機 ・ブルドーザ ・バックホウ ・振動ローラ ・ダンプトラック 機構化 情報化	センサetrofit 知能人依存 センサ内蔵 橋本様 千葉様 ご講演内容	センサetrofit AI駆動高度知能 橋本様 千葉様 ご講演内容
	機構アクチュエータetrofit ・エンドエフェクター (STEELWRIST)	今後の開発課題 大型建機から小型建機へ	
	新機構 ・双腕 (日立建機アスタコ)	小型建機から大型建機へ	
人土工 (小規模)	既存建機 ・ミニバックホウ ・小型ダンプ ・ランマ (締固め機) 機構化 情報化	センサetrofit 知能人依存 センサ内蔵	今後の開発課題
	機構アクチュエータetrofit 玉石様ご提案	今後の開発課題	
	新機構 ・小型双腕	今後の開発課題	

論点

(1) 機構アクチュエータのレトロフィット

- ・搭乗型と操縦型に新機構/アクチュエータの付加
- ・既存建機の5自由度で可能な作業は？
- ・アクチュエータのレトロフィット
- ・受動要素による把持動作機構利用による自由度問題解決
(例：メカのみによる把持動作)

(2) 操縦装置問題

- ・自由度の増大に伴って操縦が困難
- ・ゲームコントローラに慣れている人が多い ゲームコントローラは安価
- ・ゲームコントローラでは力感覚，接触感覚が無い
- ・高価な操縦装置では販売数が制約され大規模市場投入は困難
- ・産業用ロボットを含めて共通の操縦装置開発が有用
- ・軽量，小型，安価，簡単な機構の操縦装置開発が必要

論点

(3) 非既存建機（機構アクチュエータ付加/新機構）の自動化へのジャンプ

- ・機構アクチュエータ付加や新機構のとき，自由度が多く一般に操縦困難
- ・操縦型を追求せずに，はじめから自動化を目指す
- ・AIを活用して既存建機の操縦経験の無い人の利用想定

(4) 大型建機技術（遠隔操縦，自動化）は小型建機に導入可能か？

- ・基本技術開発により要素開発を共通化
- ・小型建機周辺の作業員の存在
- ・他の建設物など周辺環境の違い
- ・小型建機特有の問題

論点

(5) 建設用3Dプリンター利用

- ・現場現物での建設用3Dプリンターシステム
- ・AIによる現場地形の認識
- ・必要なセンサシステム搭載
- ・クラウド内の製造物データ利用
- ・現物と理想形状とのすり合わせ

