



建設分野の生産性向上ならびに災害対応を目指した  
ロボット技術の現在と未来

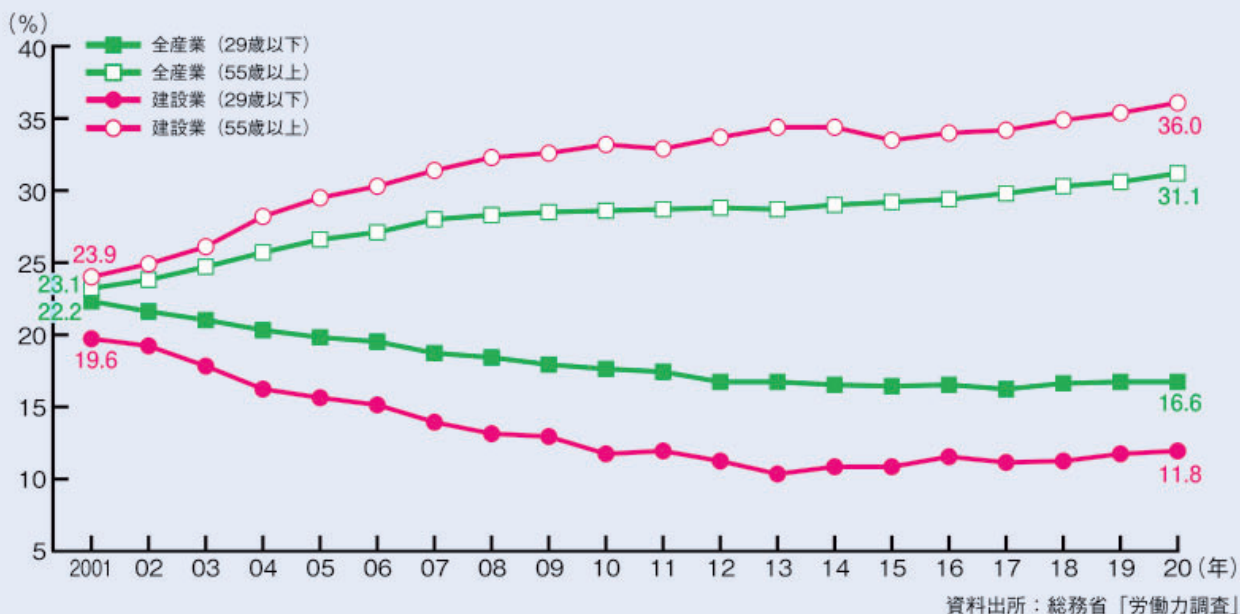
東京大学 大学院 工学系研究科  
i-Constructionシステム学寄付講座  
特任教授 永谷圭司



- 1968年 誕生
- 1982年 林間学校で台風直撃→孤立
- 1988年 筑波大学入学
- 1991年 知能ロボット研究室に所属
- 1997年 博士（工学）取得
- 1997年 Carnegie Mellon Univ.（ポスドク）
- 1999年 岡山大学 講師
- 2001年 9月11日 @サンフランシスコ空港
- 2005年 東北大学 大学院 工学研究科 准教授
- 2011年 3月11日 @仙台
- 2015年 未来科学技術共同研究センター 准教授
- 2016年 土木研との共同研究スタート
- 2017年 東京大学 客員大講座 准教授（併任）
- 2019年 東京大学 i-Conシステム学寄付講座 特任教授



## 》建設業就業者の年齢別構成比の推移



建設業就業者は、2020年には55歳以上が36%、29歳以下が約12%と他産業と比べ高齢化が著しく高くなっている。建設業の生産体制を将来にわたって維持していくためには、若年者の入職促進と定着による円滑な世代交代が不可欠である。



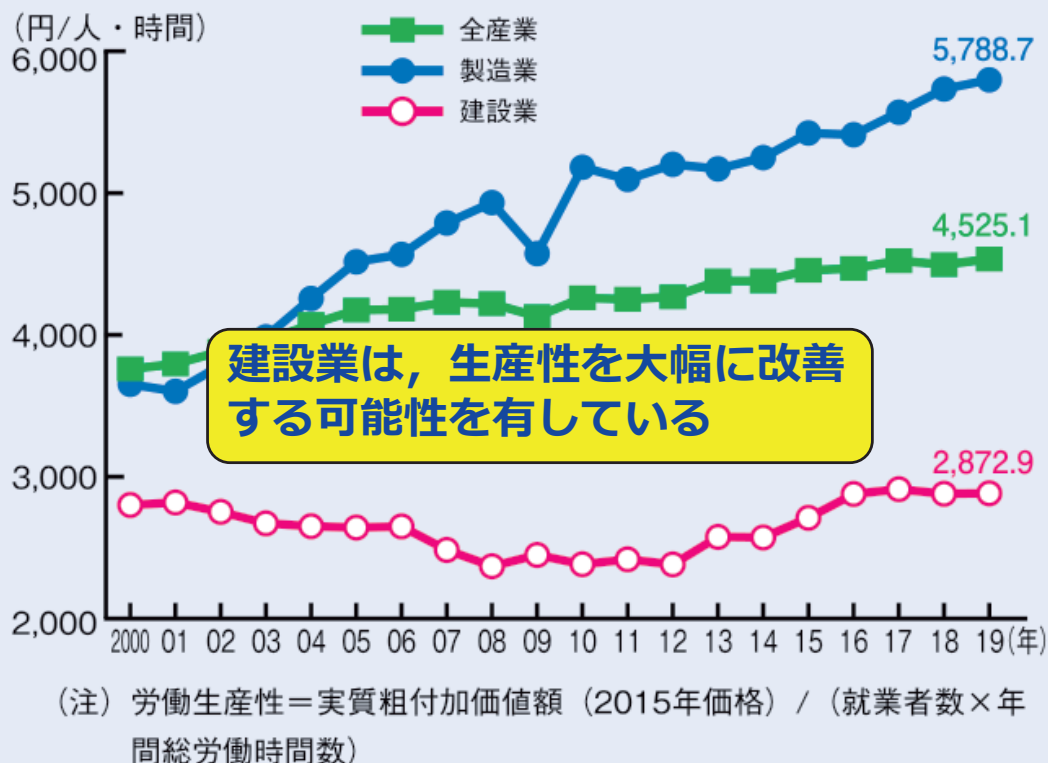
建設業ハンドブック2021より

建設分野：ロボット技術の現在と未来

2022/6/14

(22)

## 付加価値労働生産性



建設業ハンドブック2021より

建設分野：ロボット技術の現在と未来

2022/6/14

(23)



## DXの3段階

DXとは、2004年の情報処理国際連合の会議でエリック・ストルターマン教授が提案したWord。この提案では、「デジタル技術を浸透させることで人々の生活をより良いものへと変革するもの」と定義。

デジカメを例にとると・・・

**第一段階**：Digitization（局所的にアナログをデジタル化）  
フィルムカメラが**デジタルカメラ**に置き換わった。

**第二段階**：Digitalization（プロセス全体をデジタル化）  
スマホにカメラがつき、オンラインで**写真データを送受信**可能となった。

**第三段階**：Digital Transformation（社会的な影響を生み出す）  
SNSを中心に、**人々が写真データをシェア**するようになった。



## インフラDXの3段階の例

**第一段階**：Digitization  
（局所的にアナログをデジタル化）

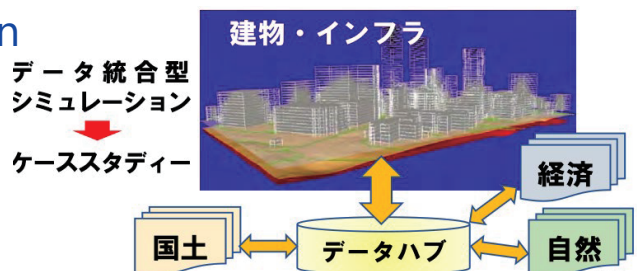


**第二段階**：Digitalization  
（プロセス全体をデジタル化）

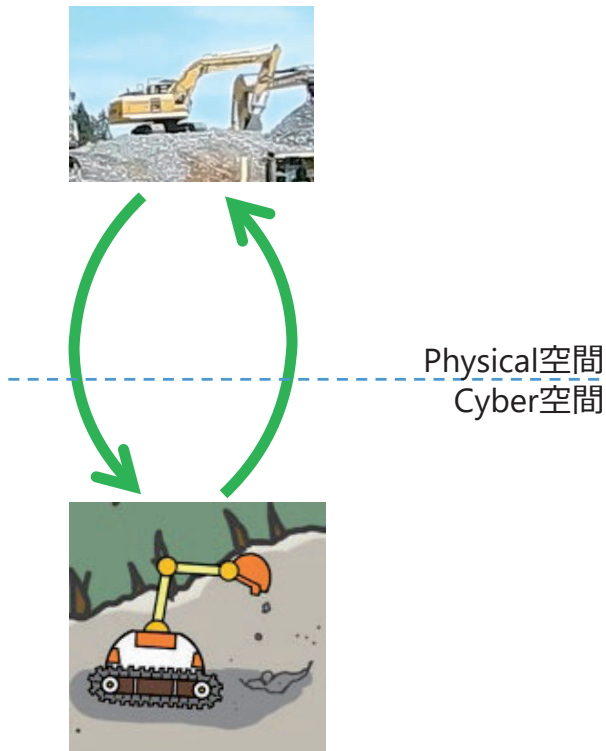


**第三段階**：Digital Transformation  
（社会的な影響を生み出す）

**ここがDXのゴール。**



## 建機の自動化とDXとDigital Twin



### DX第一段階：局所的デジタル化

- リアル（物理）空間にあるデータを収集し，送信されたデータを元にサイバー（仮想）空間でリアル空間を再現.
- データとしては，**リアルタイムに変化**するものも扱う。（土など）

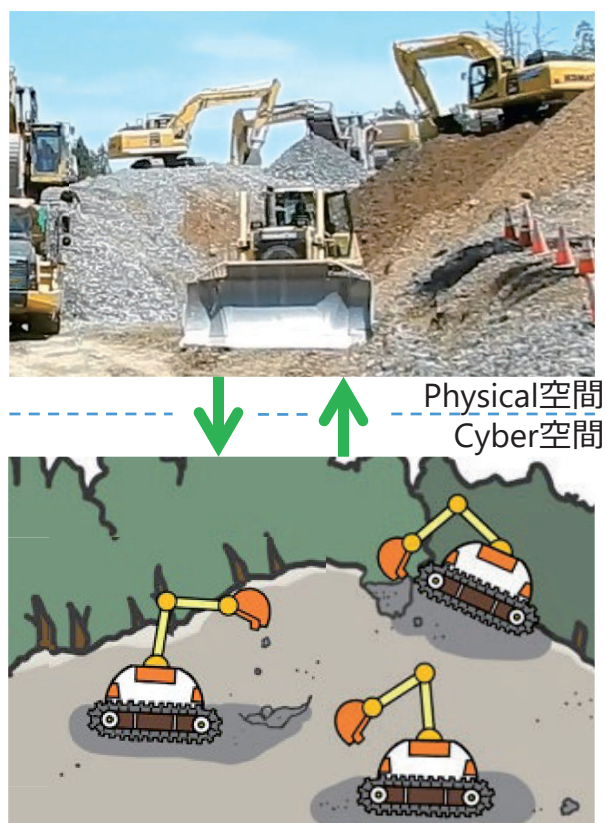
- 環境に大きく左右される
- センシング能力の不足
- 不確実性が存在



熟練技術者の対応



## 建機の自動化とDXとDigital Twin



### DX第二段階：プロセス全体

- リアル（物理）空間にあるデータを収集し，送信されたデータを元にサイバー（仮想）空間でリアル空間を再現.
- データとしては，**リアルタイムに変化**するものも扱う。（土など）
- 再現されたデータは，**リアルタイムにロボットと共有**.
- 共有されるデータは，静的なものだけでなく，**ロボットの位置・姿勢情報，移動軌跡や動作計画**.

### Digital Twin の拡張が必要

第三段階：Digital Transformation  
(社会的な影響を生み出す)



## 位置推定 GNSSのマルチパスの解決案（研究段階）

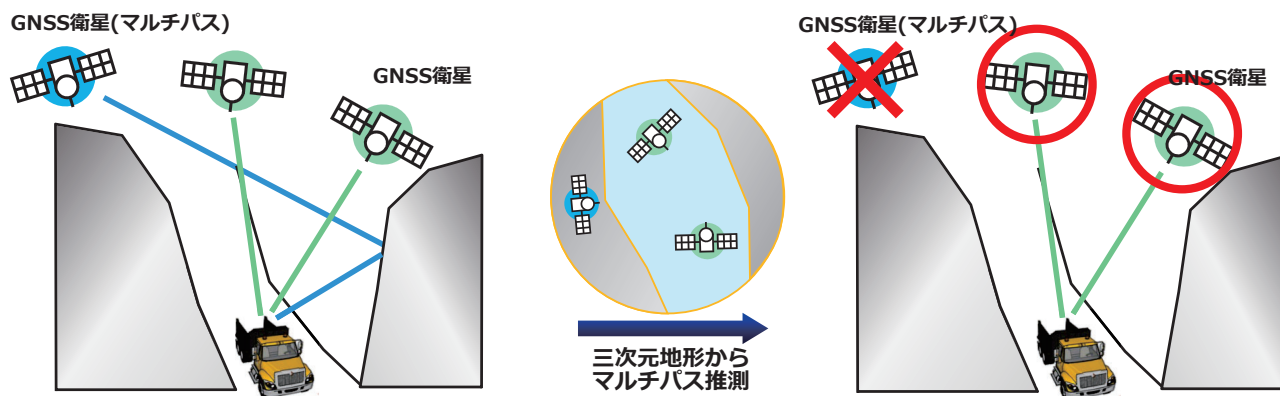


衛星の電波の遮蔽・反射により測位誤差が増大（マルチパス）



三次元地形情報を利用することでマルチパスの影響を推測し、位置推定精度を向上させる

### 提案手法概要



➡ 事前に取得した地形情報から**可視衛星**のみを用いた測位  
(千葉工大 鈴木太郎先生)



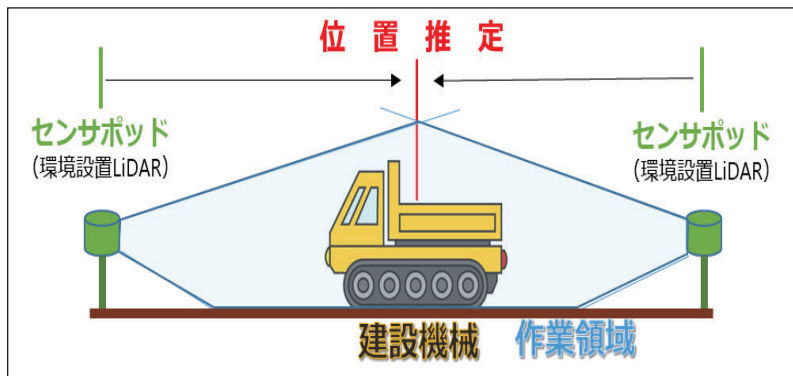
## SLAM（Simultaneous Localization and Mapping）について

SLAM/建設現場でググると・・・

- トンネル坑内で建機の自動運転実現／SLAM技術で位置情報把握
- AR技術を用いた大規模建設現場での3次元位置情報の取得に成功
- **地図がある場合，厳密にはSLAMとは呼ばない。**  
→ 多くの場合，SLAM技術と述べられている。



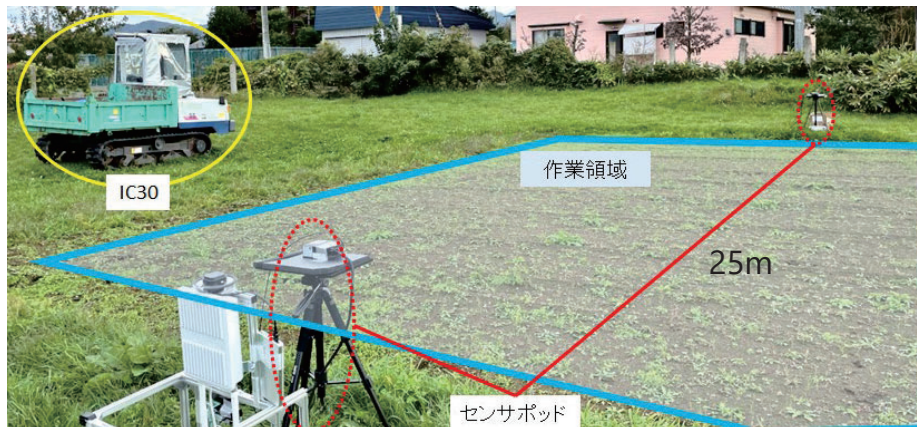
# センサポッドを活用したロボットの位置推定（担当：弘前大学）



概念図

圃場でのセンサポッド配置

CAFE Project  
で行っている  
研究開発



建設分野：ロボット技術の現在と未来

2022/6/14

(53)

# 環境理解：センサポッドの開発（担当：九州大学）



振動センサ

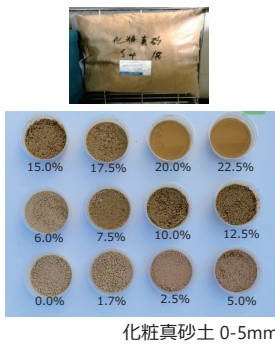
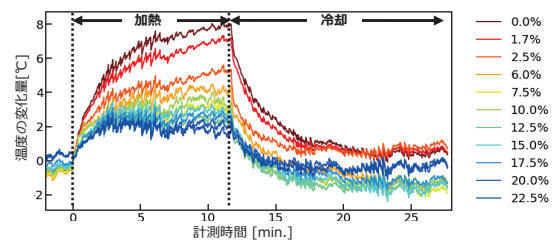
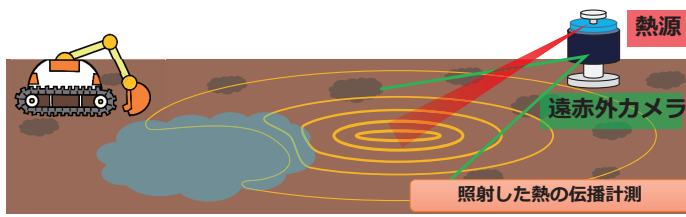


建設分野：ロボット技術の現在と未来

2022/6/14

(62)

# 環境理解：含水率検知の研究開発（担当：奈良先端）



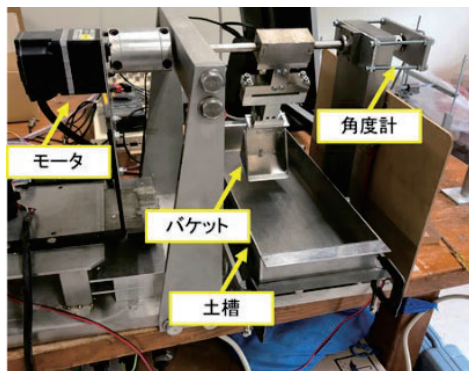
表面の状況だけでなくある程度の深さにおける含水率が推定できる可能性がある。



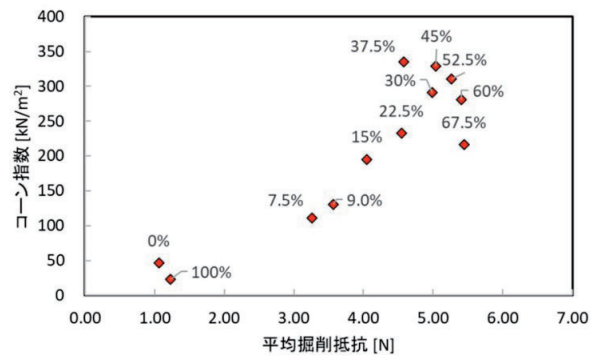
# 環境理解：作業反力情報から地盤強度取得（担当：東北大学）



## 作業反力情報から地盤強度をセンシング（担当：東北大学）



力覚センサを用いた反力測定



掘削抵抗とコーン指数の分布



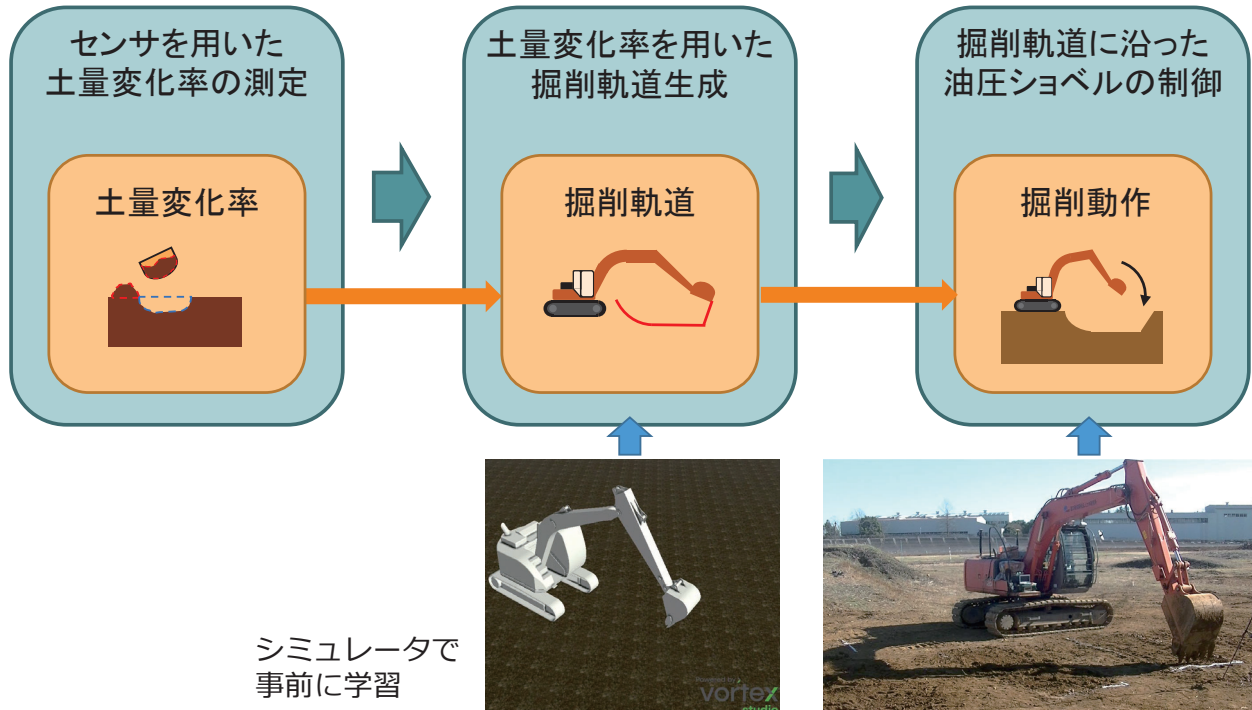
油圧センサを用いた反力測定

真砂土を対象とした、建設ロボット（バックホウ）の作業反力と地盤のコーン指数計測の関係を定量的に測定。



# 土の状態を考慮した油圧ショベルによる自動掘削

## 未知の土砂に対しても効率的な掘削を行うことが可能な油圧ショベルによる自動掘削手法の提案



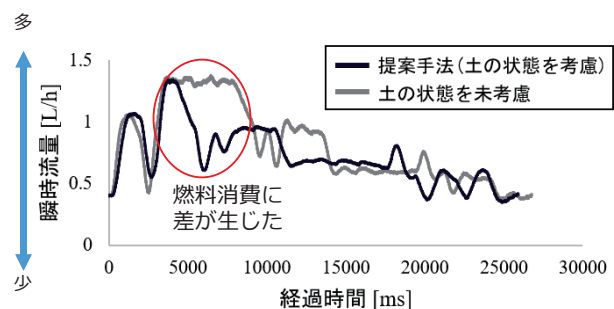
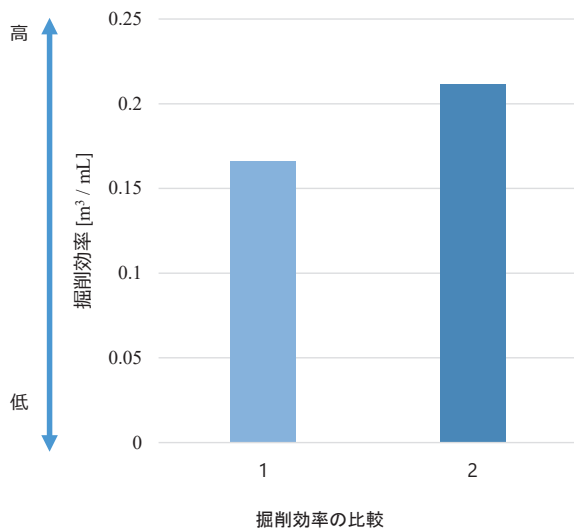
# 土の状態を考慮した油圧ショベルによる自動掘削

### ・ 実験結果

- 提案手法の場合に掘削効率が向上
- ▶ 実機実験で提案手法の有効性を確認

### ・ 考察

- 提案手法の掘削動作は短い
- ▶ エネルギー消費の多いプロセスを短縮





# フィールドロボットシステム構築の難しさ

現在主流のアプローチ：

← 閉じた設計

- **場面**を想定してロボットハードウェアを設計
- **場面**を想定してソフトウェアを設計
- 現場では、**場面**に応じた最適作業計画を立案
- 状況をセンシングし、**ロボスト**に作業を実施

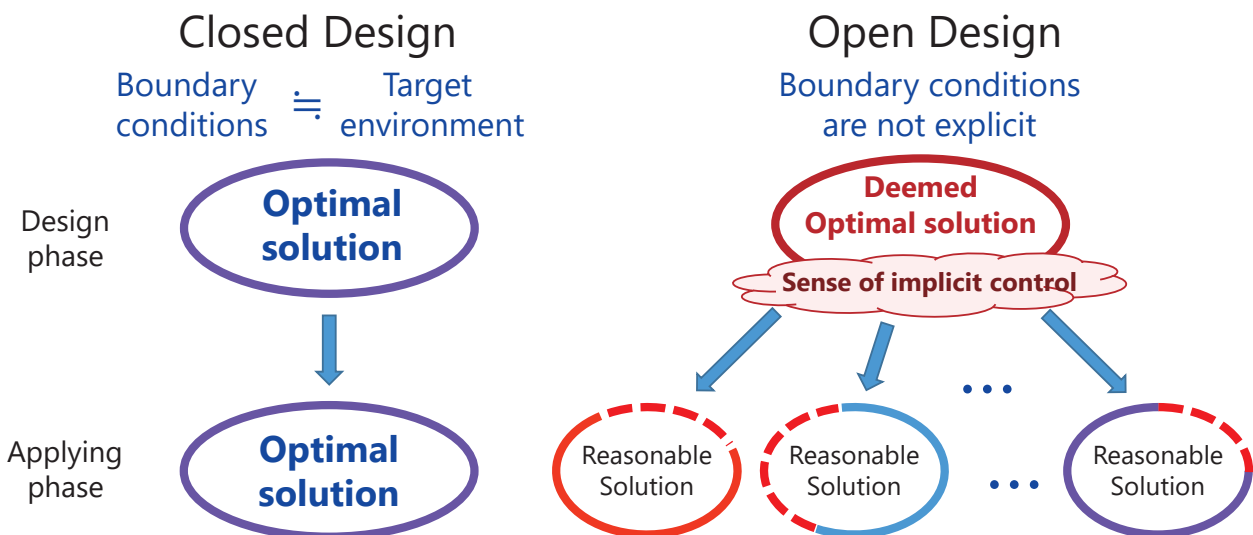
現在主流のアプローチで上手くいかない例：フィールドロボット

- **あらゆる場面**を想定してハードウェアを設計（大型化）
- **あらゆる場面**を想定したソフトウェアを設計（想定が発散）
- 現場では、**様々な状況**に応じた作業計画を立案（状況把握が鍵）
- 環境をセンシングし、**ロボスト**に作業を実施（センシング能力の限界）

← 閉じた設計では破綻



## 開いた設計による協働AIロボットの設計



ヘテロ, 軽量, 柔らかさ, 冗長, 複数台協調



## おわりに・・・DXに立ち返る：何が必要か？

**第一段階**：Digitization（局所的にアナログをデジタル化）

フィルムカメラが**デジタルカメラ**に置き換わった。

**第二段階**：Digitalization（プロセス全体をデジタル化）

スマホにカメラがつき、オンラインで**写真データを送受信**可能となった。

**第三段階**：Digital Transformation（社会的な影響を生み出す）

SNSを中心に、**人々が写真データをシェア**するようになった



**第三段階が重要**

**建設業には現場があり、最後はPhysical空間で評価**されることが多い。そのためCyber空間とPhysical空間を行き来する必要がある、実はこれが結構ややこしい。（**技術の程度を考えることが重要**）



## おわりに・・・ロボット技術にできていること・期待されること

**己を知ること（Position/Attitude）**

- ・位置推定（GNSS）
- ・SLAM技術／Scan Matching
- ・**Sensor-Podを用いた位置推定**

**環境を理解すること（Sensing & Mapping）**

- ・SfM（Structure from Motion）
- ・RGB-Dによる地盤形状取得
- ・地盤の調査技術（振動ローラ加速度応答法／RI測定）
- ・**Sensor-Podを用いた環境理解**
- ・**作業反力情報から地盤強度取得**

**動作を行うこと（Motion Planning & Control）**

- ・マシンコントロールについて
- ・地盤強度を考慮した掘削動作の生成
- ・**想定外の状況に対応すること（開いた設計）**
- ・安全について

