



# 災害発生時の対応に ロボット技術を適用する上での 課題と展望

技術推進本部  
有田幸司

はじめに

災害用ロボットの遠隔操作と自律制御

無線通信システムの技術規格

災害発生時のロボット技術運用上の課題

これまでの研究の概要と今後の展望

おわりに

## 災害対応のロボット技術をとりにまく状況

- 災害発生時の危険環境下で調査や作業を遂行できるロボットや遠隔操作機器の実用機の開発投入が進められてきた。
- 災害発生頻度は高くなく、市場も限定的であることから、民間の努力だけでは技術の開発・維持、社会実装を進めることが困難
- 国は「**ロボット新戦略**」で、ロボット技術の開発や新産業の創出を推進
- センサー、知能・制御系、特にAI技術、IoT等の**先端技術が進展**
- 2020年から**次世代通信規格「5G」**のサービス開始が見込まれる。



土木研究所において、2016年度から「災害発生時におけるロボット技術適用に関する研究」に取り組んでいる。

**本発表では「5G」への期待も含め、遠隔操作技術を中心にロボット技術を適用する上での課題と展望を紹介**

はじめに

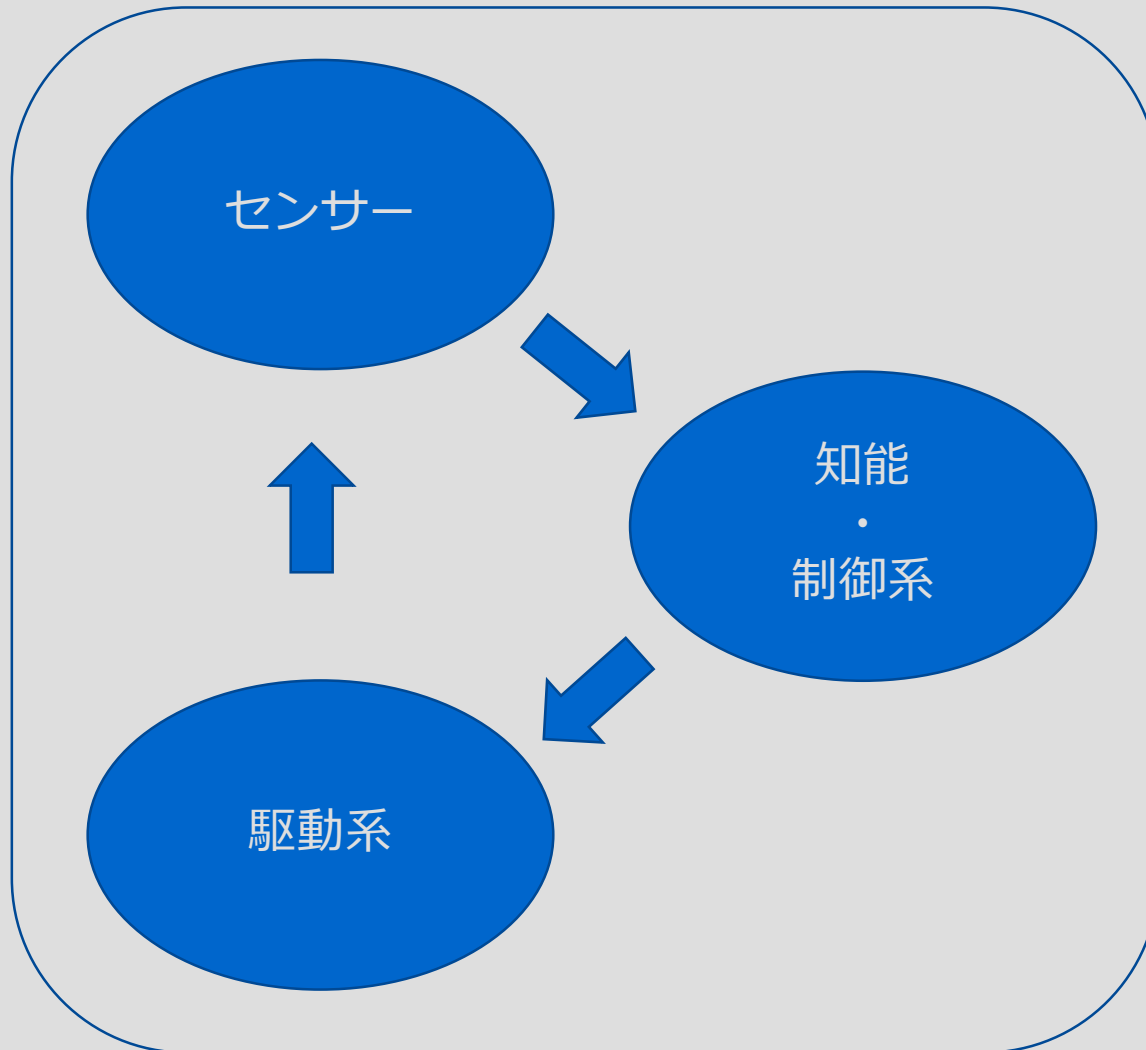
災害用ロボットの遠隔操作と自律制御

無線通信システムの技術規格

災害発生時のロボット技術運用上の課題

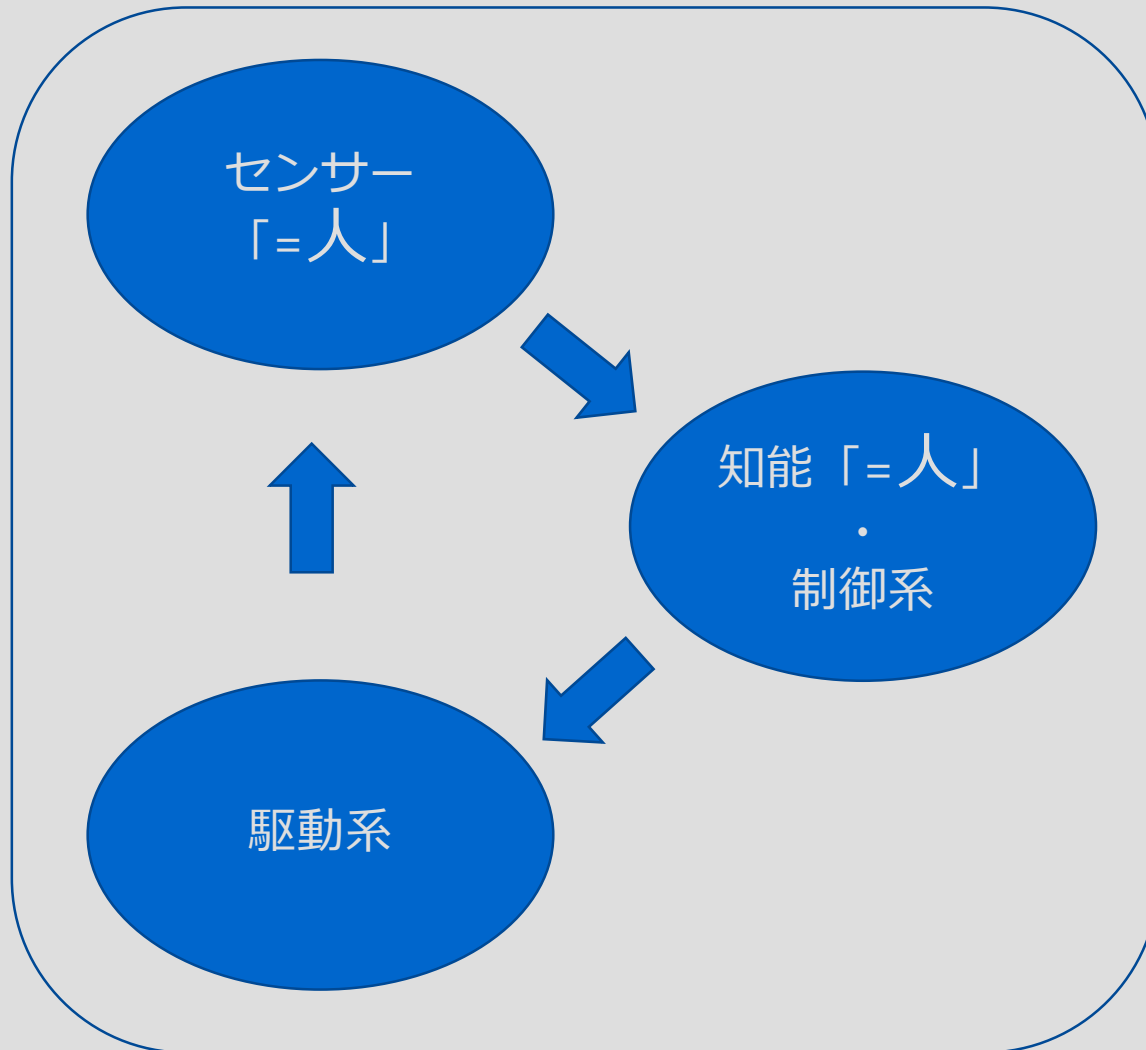
これまでの研究の概要と今後の展望

おわりに



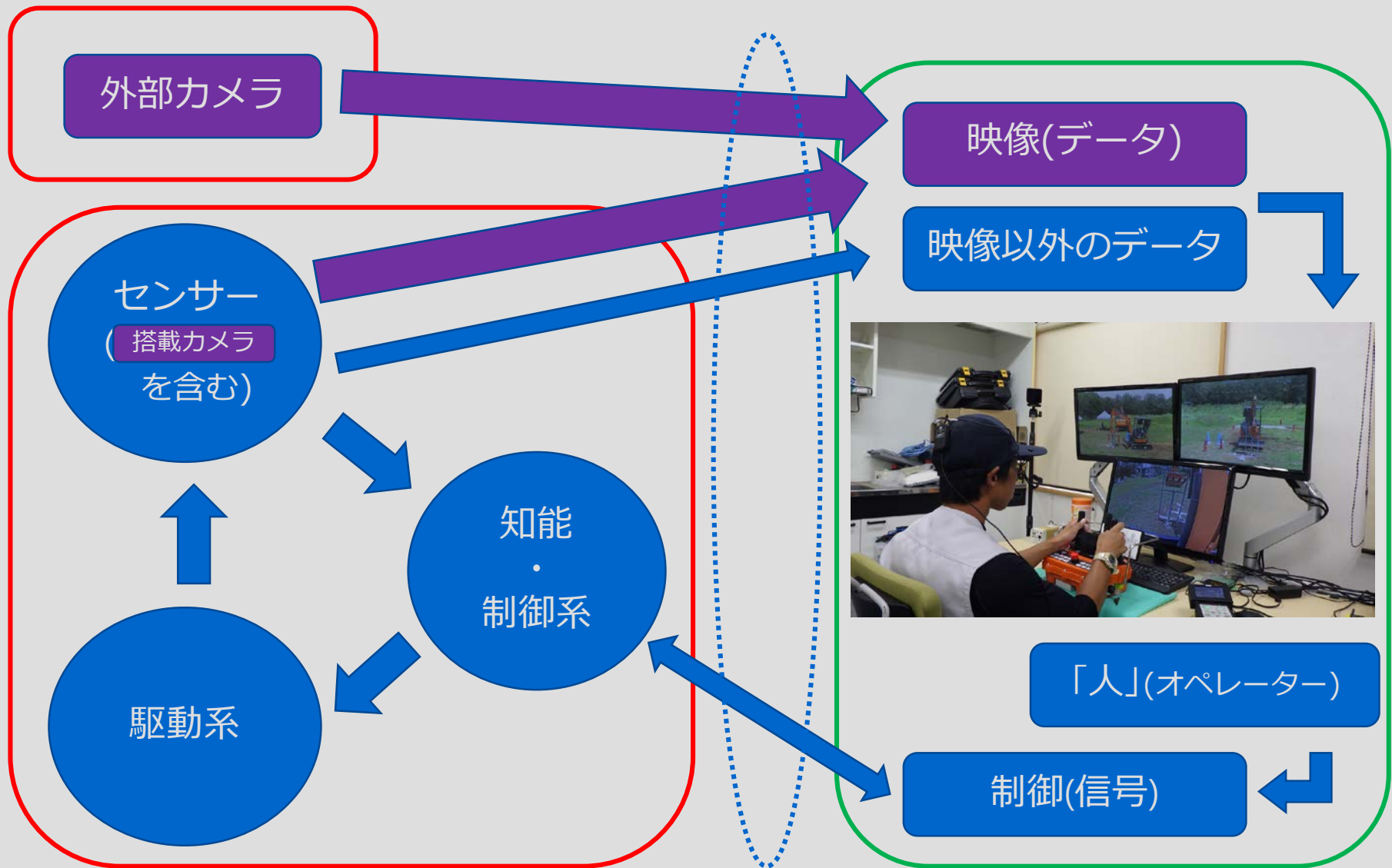
「ロボット」の3つの要素技術

- 「**ロボット**」の完全に一般性をもった**定義は存在しない**.
- とりあえず、「**3つの要素技術**を有する、**知能化した機械システム**」と矛盾しない程度に「**ロボット**」あるいは**ロボット技術**を取り入れたシステムとしての**ロボット**や**ロボット化された装置**として捉える.
- **3要素の全てを兼ね備えた機械のみ**を**ロボット**と定義することでは、**実態を捉えきれなくなる可能性**がある.



建設機械における「ロボット」の3つの要素技術

- 元々、建設機械の制御や作業効率は、建設機械の操作に従事する「人」(オペレーター)の熟練技能に大きく依存
- センサーや知能系に係る技術も徐々に搭載
- 高精度で位置や出来型の確認、姿勢と動作の制御ができる装置やプログラムの活用も増加
- AI技術で熟練技能を有するオペレーターの暗黙知を継承させる研究開発も進められている。



<危険環境下>「ロボット」側の自律制御

無線通信システム

<安全環境下>「人」が遠隔操作

## 災害や事故現場はほとんどが想定外の環境

- **突発的なミッション**に対応できる自律制御はきわめて難しい。
- 災害用ロボットの活用が期待される現場は、地質・地盤の条件をはじめ、姿勢や動作を制御するために必要な**即地情報**が典型的な情報セットとして想定しづらく自律制御させることが難しい。
- 災害用ロボット側で姿勢や動作の**全てを自律制御**を行うまでの技術は実用化されていない。



遠隔操作する側で、**センサー(主に映像カメラ)からの情報を頼りに**姿勢や動作を**制御する**ことが**未だ主流**となっている。



## 限られた情報に基づき、「人」(オペレーター)が制御

- 今、観察しているものは全て**過去の痕跡**。過去の痕跡から現在、将来における危険やリスクをどう感じ取りどう対処するかが重要
- 頭を振れば視野に入ってくる情報、搭乗していれば体感で理解できる機体の傾き、揺れ、振動、加速度が**伝わらない**
- セットされたカメラからの**限られた映像情報**等を頼りに制御。



現在のICT技術環境の下では、作業効率は搭乗時と比して良くても**60%程度**にまで低下

**より低遅延、高精細な多数の映像情報**が利用できる**ICT技術環境**が整えば作業効率の上昇に期待できるのか?

はじめに

災害用ロボットの遠隔操作と自律制御

無線通信システムの技術規格

災害発生時のロボット技術運用上の課題

これまでの研究の概要と今後の展望

おわりに

## 遅延時間についてのイメージ(単位はミリ秒)


- 1 0ms 建設機械の前方からの対面目視
- 2 70ms カメラとモニターの直結
- 3 300ms 伝送容量の大きい無線LAN環境
- 4 700ms 伝送容量の小さい無線LAN環境
- 5 1,000ms 公共BB等の無線通信環境
- 6 2,000ms 人工衛星経由の通信

200ms程度までの遅延時間  
現在の無線LAN技術における最速?

約300ms程度までの遅延時間  
作業効率やオペレーターの体感においては問題の少ない受容範囲であることを確認

## 伝送容量の資源配分が遠隔操作技術の重要事項

- 現場で利用可能な無線通信システムの伝送容量の範囲内(制約要件)
- 遅延を抑制(優先要求)
- 複数のカメラ映像から可能な限り多くの情報量を遠隔操作側の複数のモニター画面に伝送(最適配分)



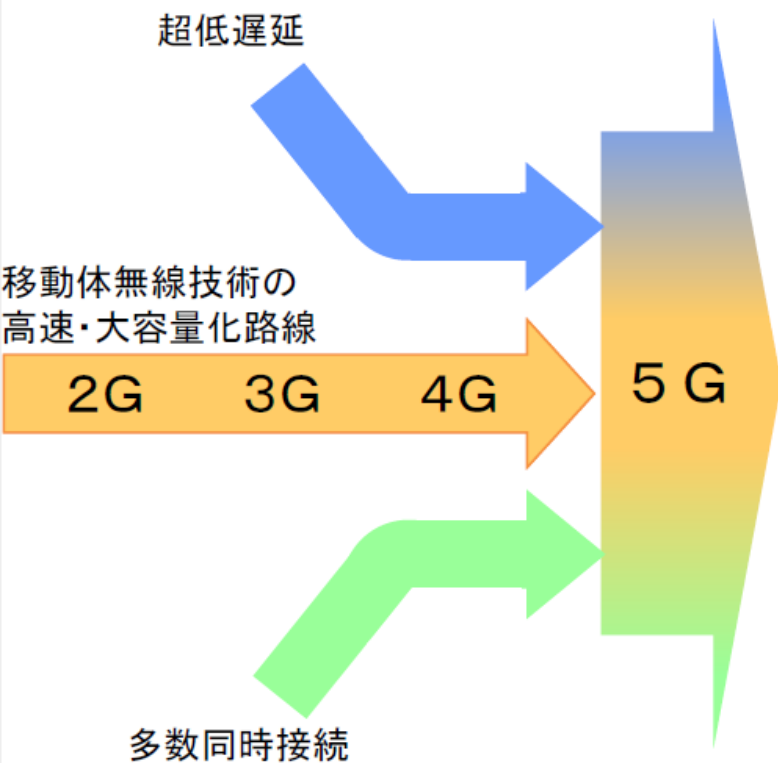
無線通信システムの伝送容量を大きく上げ、高速・大容量通信、超低遅延、同時接続数の増加を可能とする通信規格として期待されているのが次世代通信規格「5G」

<建設分野で期待されている社会実装イメージ>

- ① 高精細画像を伝送するための高速通信回線、
- ② 遠隔操作のオペレーターの疲労問題から200ms以内の低遅延、
- ③ 多数の重機の同時制御

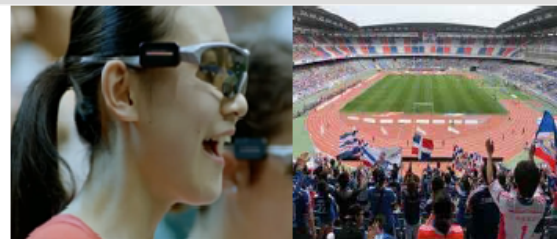
## 5Gの実用化で期待されている効果のイメージ

### 5Gは、IoT時代のICT基盤



#### 超高速

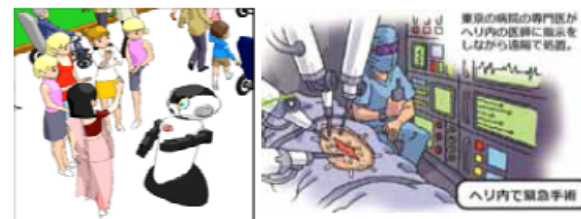
現在の移動通信システムより100倍速いブロードバンドサービスを提供



⇒ 2時間の映画を3秒でダウンロード

#### 超低遅延

利用者が遅延(タイムラグ)を意識することなく、リアルタイムに遠隔地のロボット等を操作・制御



ロボットを遠隔制御

ヘリ内で緊急手術

⇒ ロボット等の精緻な操作をリアルタイム通信で実現

#### 多数同時接続

スマホ、PCをはじめ、身の回りのあらゆる機器がネットに接続



膨大な数の  
センサー端末

カメラ

スマートメーター

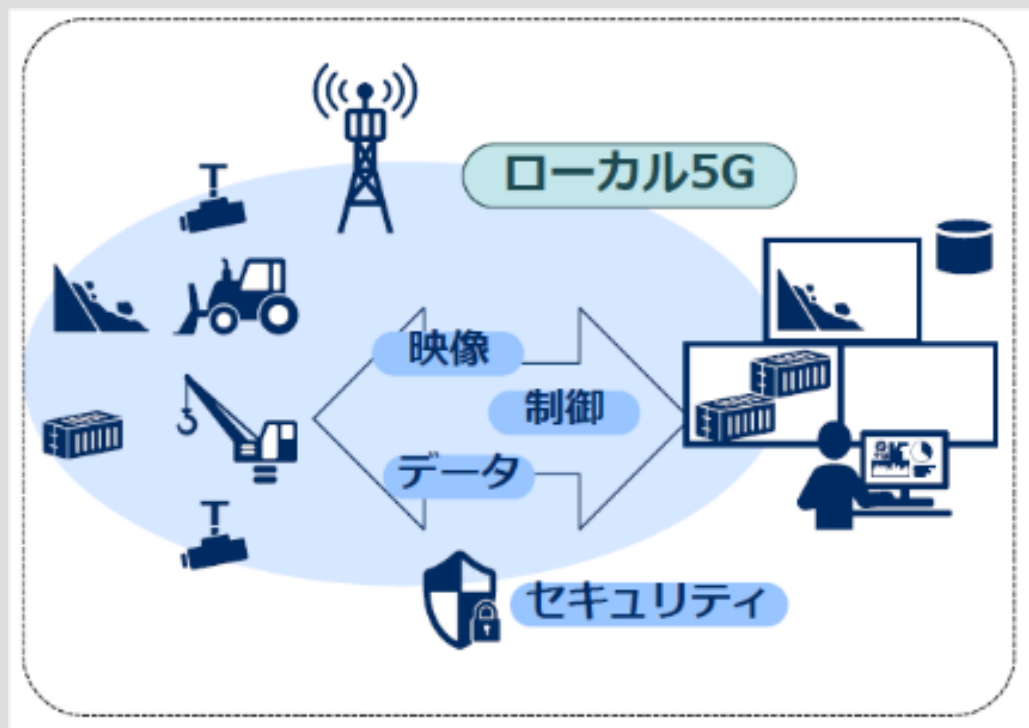
⇒ 自宅屋内の約100個の端末・センサーがネットに接続  
(現行技術では、スマホ、PCなど数個)

社会的なインパクト大

## 「ローカル5G」の制度導入

- 地域や産業の個別のニーズに応じて、**地域の企業**や**自治体等**の様々な主体が**自前で免許を取得**し、柔軟に5Gシステムが構築できる仕組み
- 通信事業者による**エリア展開**がすぐに**進まない地域**でも、独自に5Gシステムを構築・利用することが可能となり、**災害時の現場**においてもその利用が考えられる。

重機遠隔操作にローカル5Gを利用しているイメージ



はじめに

災害用ロボットの遠隔操作と自律制御

無線通信システムの技術規格

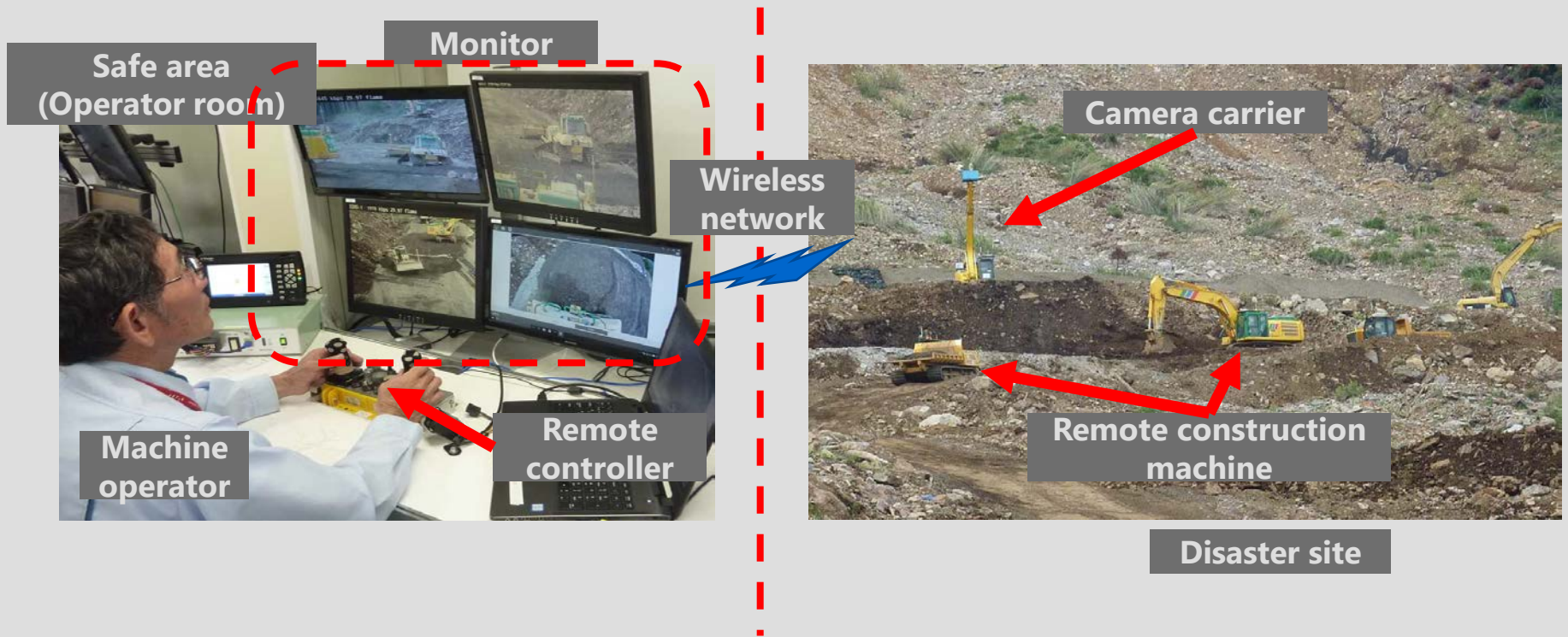
災害発生時のロボット技術運用上の課題

これまでの研究の概要と今後の展望

おわりに

## 無人化施工技術

オペレーターが建設機械に搭乗することなく、無線通信を介した遠隔操作によって工事を行う技術





## 導入経緯と災害用ロボット技術としての評価

1991年 雲仙普賢岳の火山爆発後の工事を契機に導入

以降、継続的に工事に使用することで常に使える状態を保つ  
(施工実績 約200件)

2011年 福島第一原子力発電所事故直後に迅速に投入



現場で活用可能なレベルに達した技術であるとの評価

## 運用上の問題点 (地方整備局等へのヒアリング結果)

- 1 低い作業効率
- 2 作業開始までの時間短縮(機器セットアップ時間の短縮)
- 3 既存機種での限界(初動時の制約)
- 4 非常時の手続きに関するルールが不明確
- 5 遠隔操作に精通したオペレーター、作業管理者が不足

はじめに

災害用ロボットの遠隔操作と自律制御

無線通信システムの技術規格

災害発生時のロボット技術運用上の課題

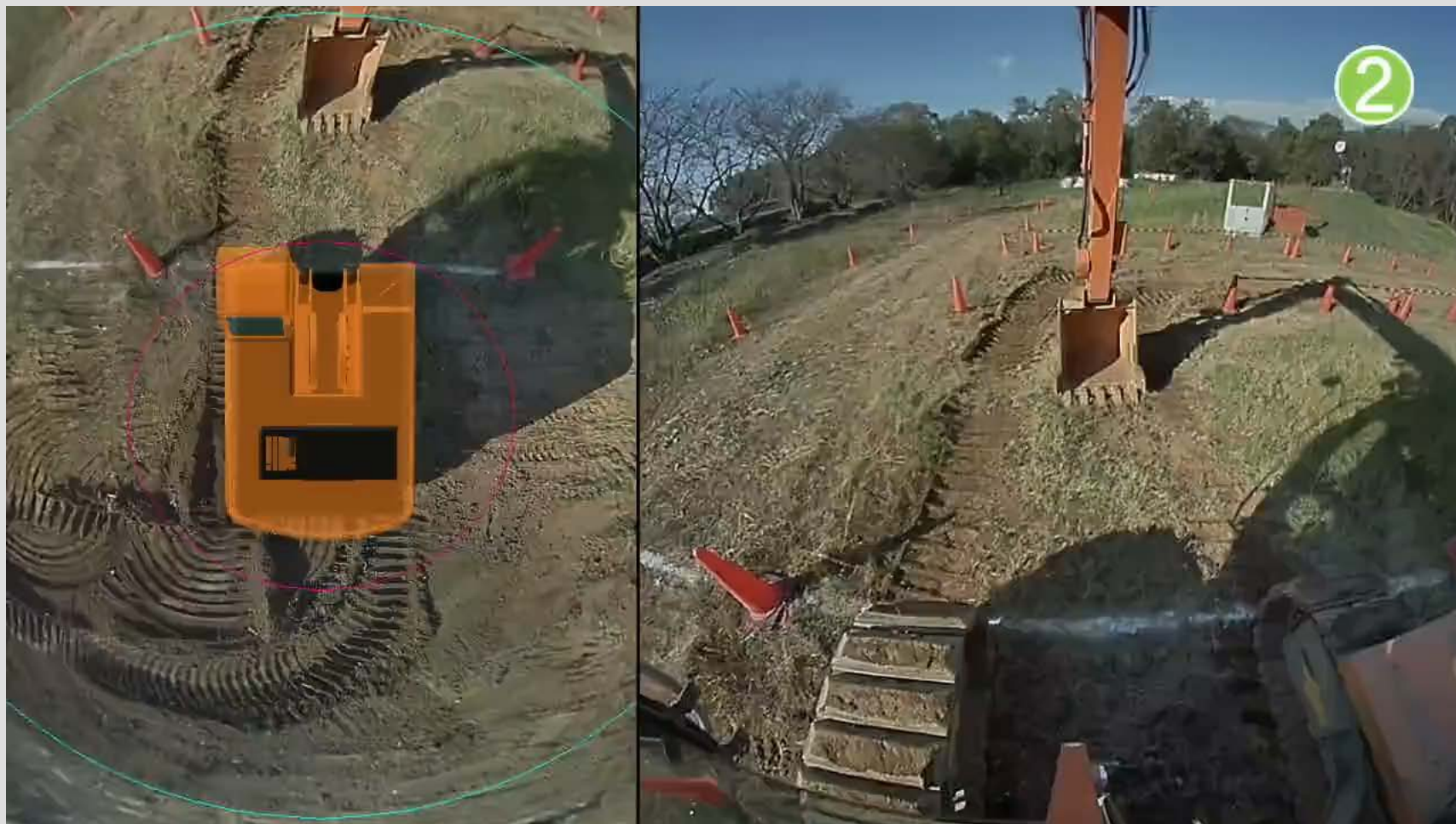
これまでの研究の概要と今後の展望

おわりに

## 災害発生時におけるロボット技術適用に関する研究

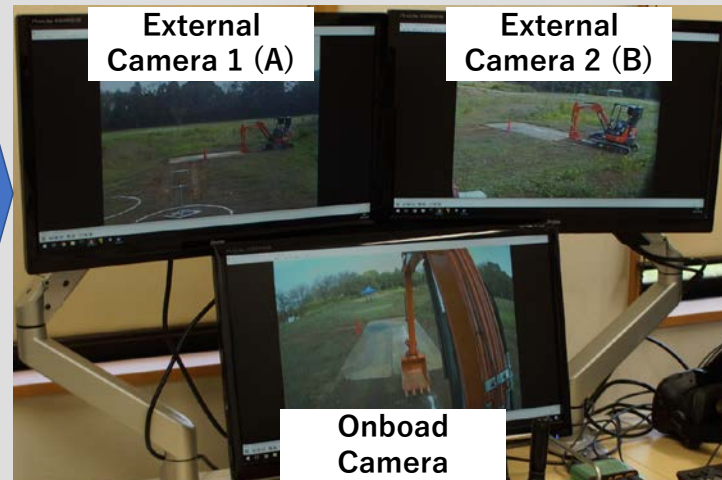
- 1 作業効率の向上
- 2 迅速なセットアップ
- 3 様々な遠隔操作機器の用意
- 4 非常時のルールの明確化
- 5 技術の伝承(未対応、今後実施を検討)

## 作業効率の向上 (アラウンドビューシステム)



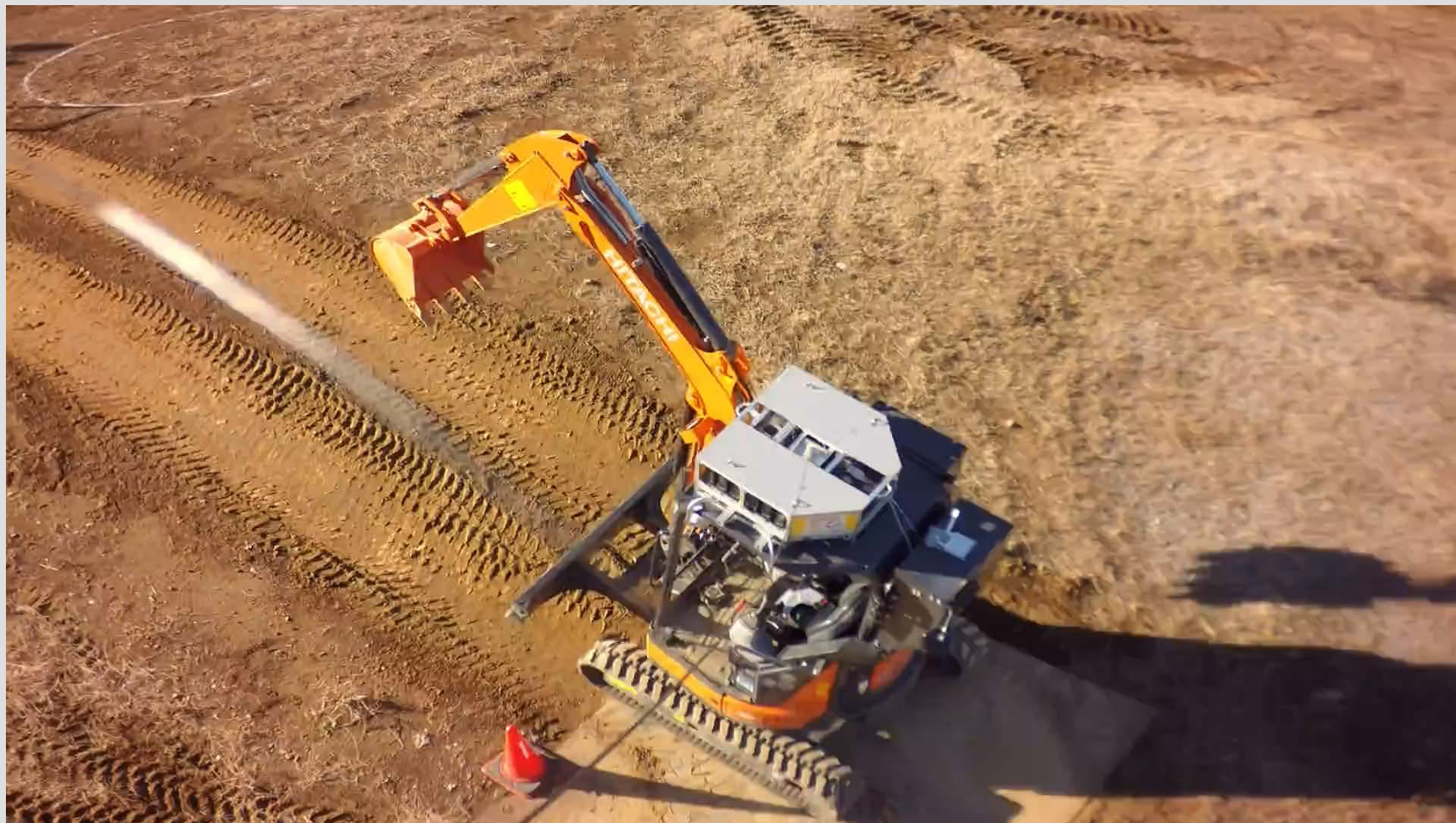
アラウンドビューシステム：フジタとの共同研究

## 迅速なセットアップ (HMD利用)



HMDを用いたシステム：大型モニタ，運転室の省略が可能

## 迅速なセットアップ (UAV利用)



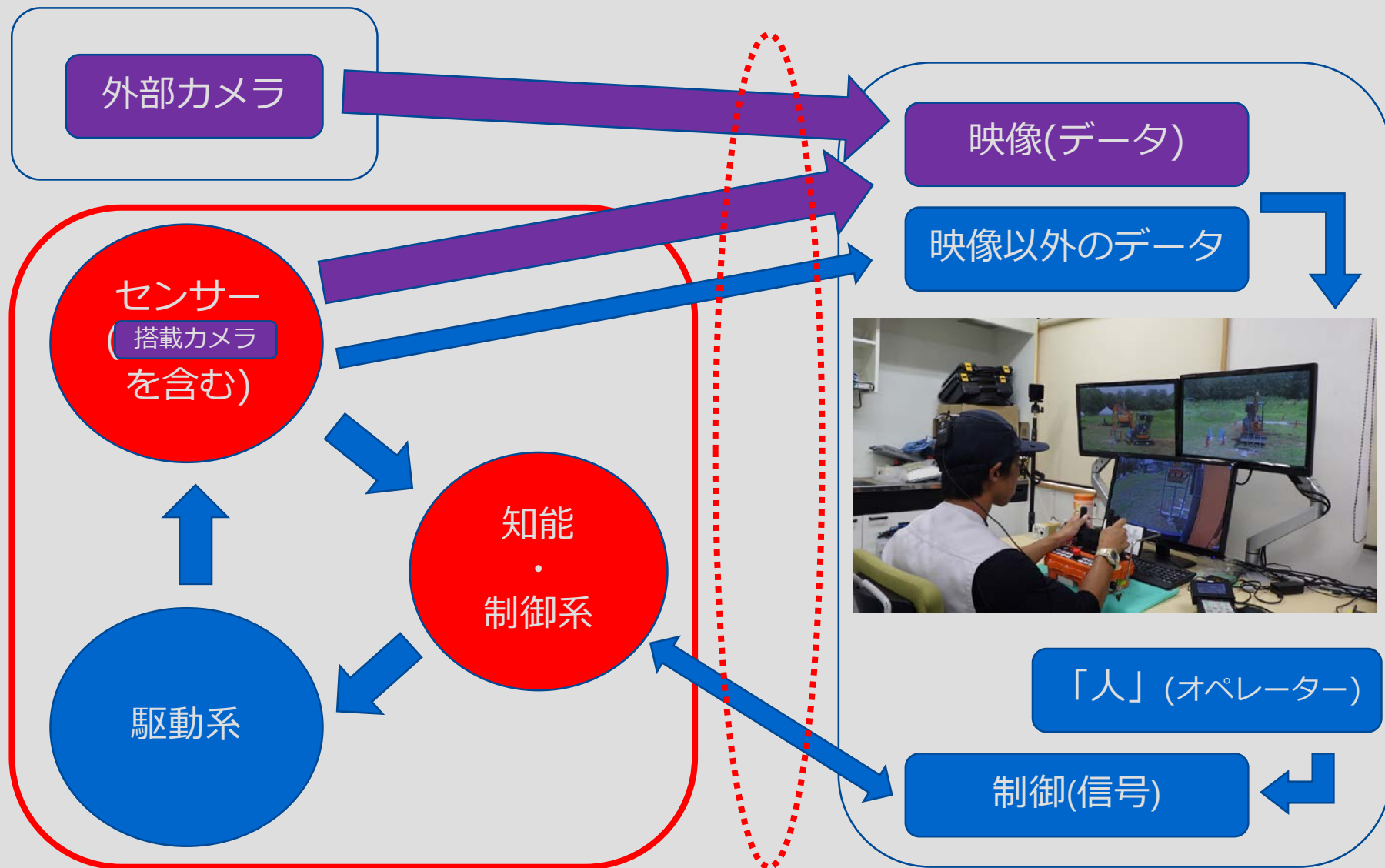
UAVを用いたシステム：外部カメラの省略が可能(東北大学との共同研究)

## 様々な遠隔操作機器の用意



遠隔操作による半水中作業システムの開発 UC-TEC (SIP)





「ロボット」の②自律制御

①5G,無線LAN

「人」による遠隔操作

「5G」について、様々な関係者が異業種連携を行うなどして建設機械の遠隔操作、自動化に係る研究開発、実証試験の取り組みを進めている。



- 土木研究所としては「5G」の具体的なユースケースについてその技術的効果を評価検証していきたい。
- 現場において現行の無線LANシステム構築の場合と比較して、どの程度迅速に「5G」の利用環境の設営ができるかなど「5G」の導入効果について調査し評価していきたい。

ロボット技術に関わるセンサー、AI技術や高速処理可能なICT基盤技術などが近年著しく進展し、これまで自律制御化されていなかった動作・システムの自律制御化が進むものと考えている。



- 土木研究所としては、人が遠隔操作する際の人、ロボット双方に対する制御や作業効率などの評価検証に引き続き取り組んでいく一方、**ロボット(建設機械)の自律制御化についても調査し評価していきたい。**
- まずは**ロボット(建設機械)の自動化レベルの定義を提起**し、具体的な自律制御の共通イメージについて関心を持つ者同士の情報交換を促進していきたい。

はじめに

災害用ロボットの遠隔操作と自律制御

無線通信システムの技術規格

災害発生時のロボット技術運用上の課題

これまでの研究の概要と今後の展望

おわりに

- 危険環境下におけるロボット技術は、まず現場に安定した**無線通信環境**を確立し、その**無線通信能力の制約**に応じて、ロボットに対する**遠隔操作と自律制御の分担**が図られてくる。
- **次世代通信規格「5G」**は、これまでより高い周波数と広い帯域を利用した**低遅延、大容量の通信**を目標とした**無線通信システム**であり、サービス導入に合わせて遠隔操作技術の大いなる進展が期待される。
- 災害発生時のロボット技術に適用が可能な**諸技術はそれぞれ跛行的に進捗**している。今後とも**遠隔操作と自律制御**の両方の面から柔軟に**最良の分担組み合わせ**となることを意識して、**市場性、装備・運用面も考慮**に入れた研究開発を進めてまいりたい。

ご清聴ありがとうございました