

中国地方建設技術開発交流会（2024.10.29）



トンネル掘削全般にわたる無人化・自動化技術 『T u n n e l R e m O S 』



西松建設(株) 技術研究所 山本 悟

■社会・業界

- ✓我が国における高齢化に伴う労働人口の減少傾向の加速
- ✓建設就業者の減少・高齢化
- ✓建設業における労働環境の大幅な改善や労働生産性の向上が不可欠

2040年の生産年齢人口は
現在より2割減

国交省

10年後にはトンネル作業
員が現在より2割減

日建連

■将来の社会イメージ（建設現場）

－2040～2050年頃－

- ✓人手不足の状況下でも生産性・安全性が最大限高まるような建設施工の
自律化・遠隔化などが実現する社会

【第5期 国土交通省 技術基本計画(2022)】

※2021年度：建設機械施工の自動化・自律化協議会発足（国土交通省）

- ✓施工のオートメーション化（遠隔・自動施工）の普及

【i-Construction 2.0 (2024)】

2040年度までに2023年度比3割の
省人化・1.5倍の生産性向上を目指す

山岳トンネル工事においては...

狭隘な地下空間において、多種の特殊機械を使用した複雑な作業が必要であり
無人化・自動化技術の導入が進んでいない

2018年度より、

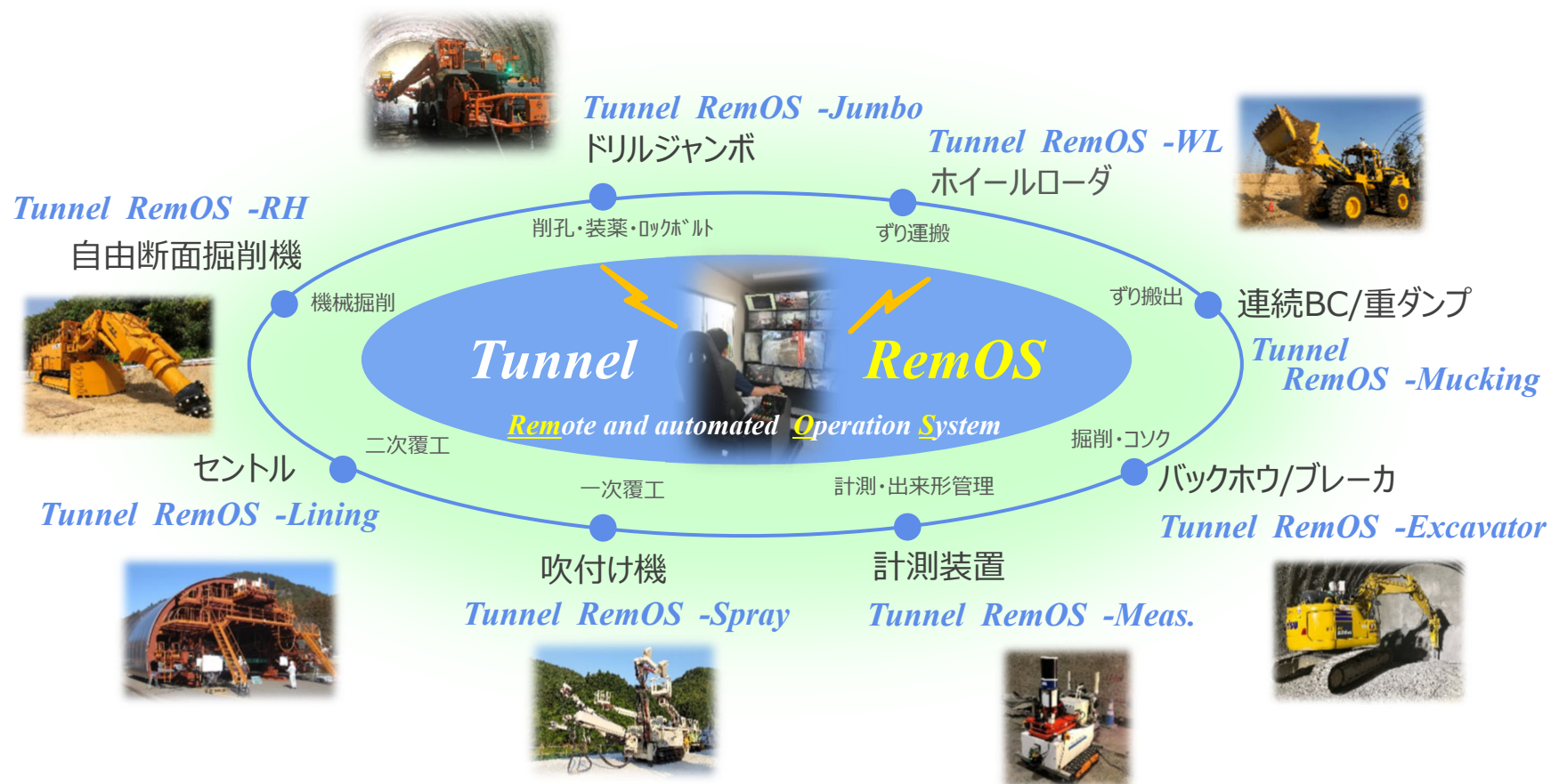
山岳トンネル工事における無人化・自動化施工技術の開発を開始

山岳トンネルの無人化・自動化施工システムの構成

➤ Tunnel RemOS (トンネル・リモス)

トンネル施工に使用される各機械・設備の遠隔操作 (無人化) 技術・自動化技術を組合わせて構築される無人化施工システム

Tunnel RemOSを構成する遠隔操作技術 = 機体移動 (走行) + 機体動作(作業) + 計測・ガイダンス



Tunnel RemOS のシステム構成

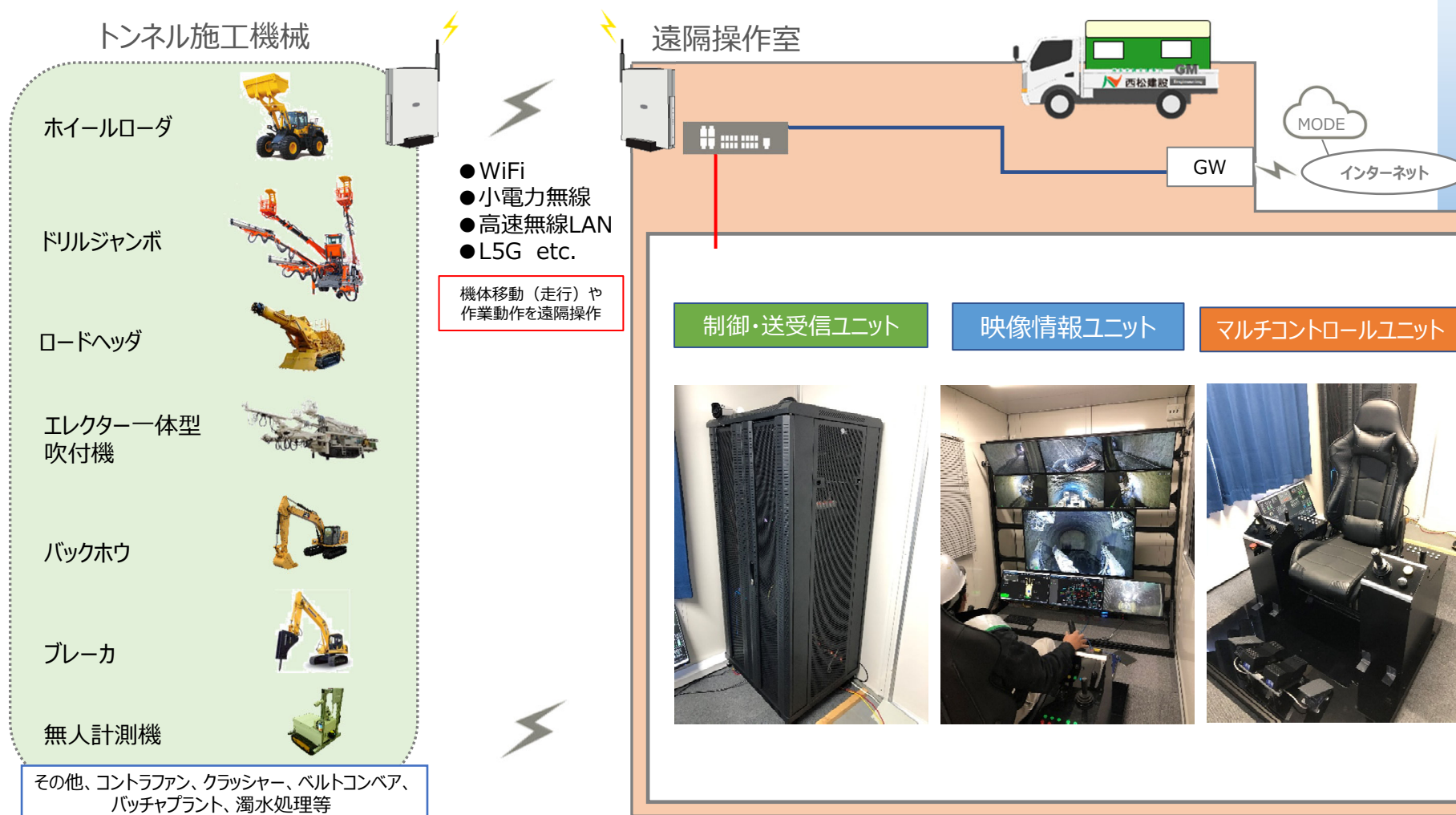
■ 遠隔操作システムの基本構成



遠隔操作用共通コクピット 【マルチオペレーションシステム (MOS)】

■ 遠隔操作室_マルチオペレーションシステム (MOS)の概要

➤ 共通仕様のコクピットで異なる重機の遠隔操作が可能（同一現場における複数重機の遠隔操作を念頭に開発）



現場試行状況

- : 試行実績
- ★ : 試行中 (予定)



吹付け機
Tunnel RemOS -Spray
道路トンネルにて2024.10より試行開始予定



吹付け機
Tunnel RemOS -Spray
筑穂トンネル
2022.9終了

自由断面掘削機
Tunnel RemOS -RH
松浦1号トンネル
2023.9終了



ドリルジャンボ
Tunnel RemOS -Jumbo
道路トンネルにて2024.11より試行開始予定

自動化セントル
Tunnel RemOS -Lining
①南湖トンネル
2021終了
②西大島トンネル
2023終了

ホイールローダ 実用機 (2号機)
Tunnel RemOS -WL
不破原トンネル



ホイールローダ
Tunnel RemOS -WL
新稲穂トンネル
2021.3終了

ドリルジャンボ
Tunnel RemOS -Jumbo
磐石トンネル
2024.3終了



計測台車
Tunnel RemOS -Meas.



バックホウ/ブレーカ
Tunnel RemOS -Excavator



那須塩原
N-フィールド (模擬トンネル)



取組み状況 *Tunnel RemOS-RH*

■ 自由断面掘削機遠隔操作システム (*Tunnel RemOS-RH*)

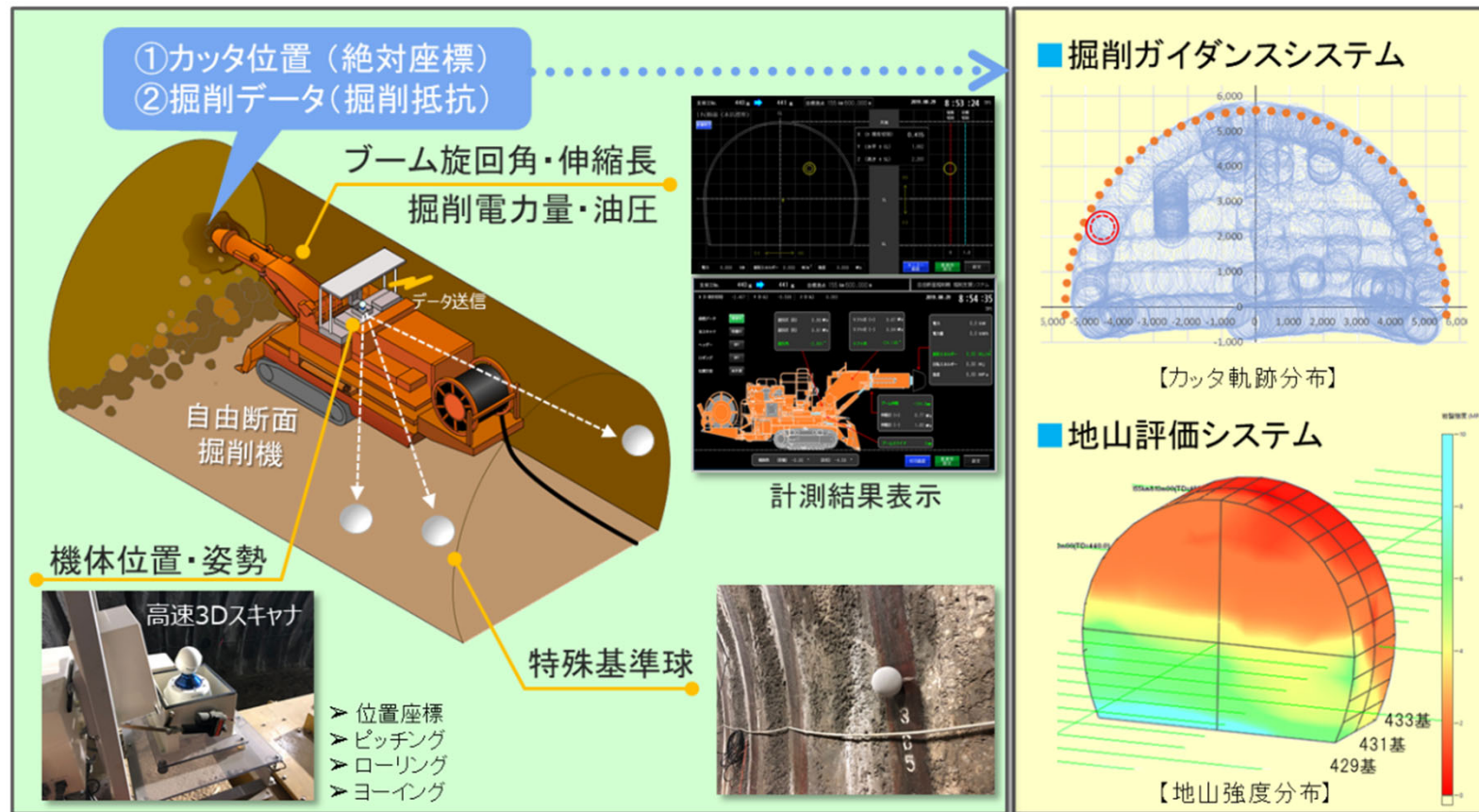
- 自由断面掘削機の走行・ブーム操作を遠隔で可能とするシステムを開発
→ 松浦1号トンネル（長崎）にて試行



取組み状況 **【Tunnel RemOS-RH】**

■ 自由断面掘削機掘削支援システム（遠隔操作のための計測・ガイダンス技術）

- カッタ位置座標等の掘削データを計測し、その情報をリアルタイムに3Dモニタ表示させる掘削ガイダンスシステム
- 機体に設置されたモニタや遠隔操作室モニタに表示可能
- 掘削データから地山性状（地山強度）を定量評価する機能も有する



自由断面掘削機掘削支援システムの概要

取組み状況 【Tunnel RemOS-RH】

■ 遠隔操作システム試験導入（試行）状況



取組み状況 **【Tunnel RemOS-Jumbo】**

■ ドリルジャンボ遠隔施工システム(**Tunnel RemOS-Jumbo**)

- 遠隔車体走行技術とフルオートジャンボ（古河ロックドリル社製），DRISS-3D_Monitorを組合わせてシステム構築
→ 磐石トンネル（北海道）にて試行



システム導入状況

取組み状況 *【Tunnel RemOS-Jumbo】*

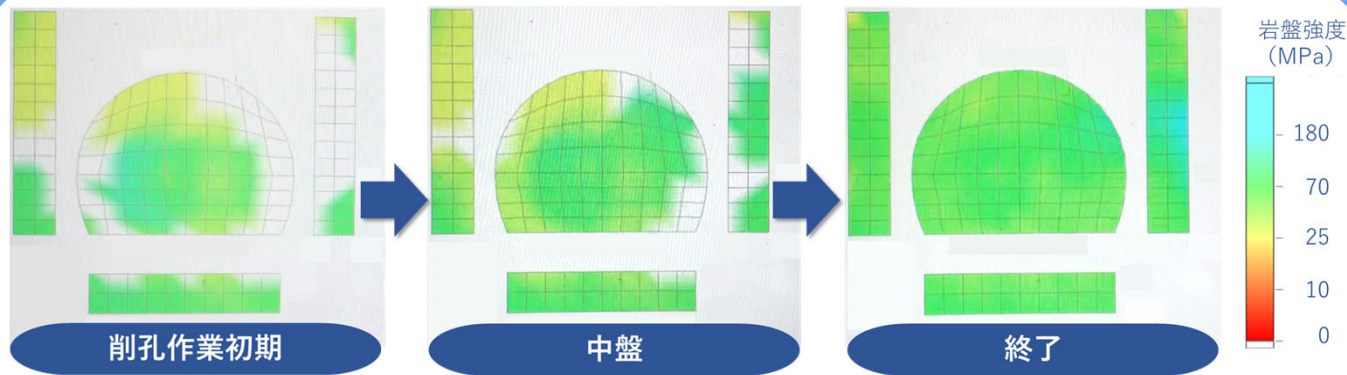
■ 遠隔操作システム試験導入（試行）状況



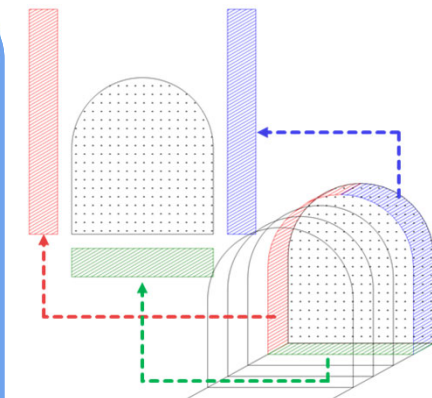
取組み状況 【Tunnel RemOS-Jumbo】

■『DRISS-3D_Monitor』による地山評価（遠隔作業のための計測・ガイダンス技術）

- 削岩機の油圧や削孔速度を基に、リアルタイムに地山評価（10秒ごとに更新）
- 空間補間技術により、切羽周辺地山全体を評価



モニタ用PCの表示の遷移



分布図の見方



運転席

削孔したその場で地山評価結果を更新（10秒間隔）

⇒作業員らの感覚だけに頼らない客観的な評価

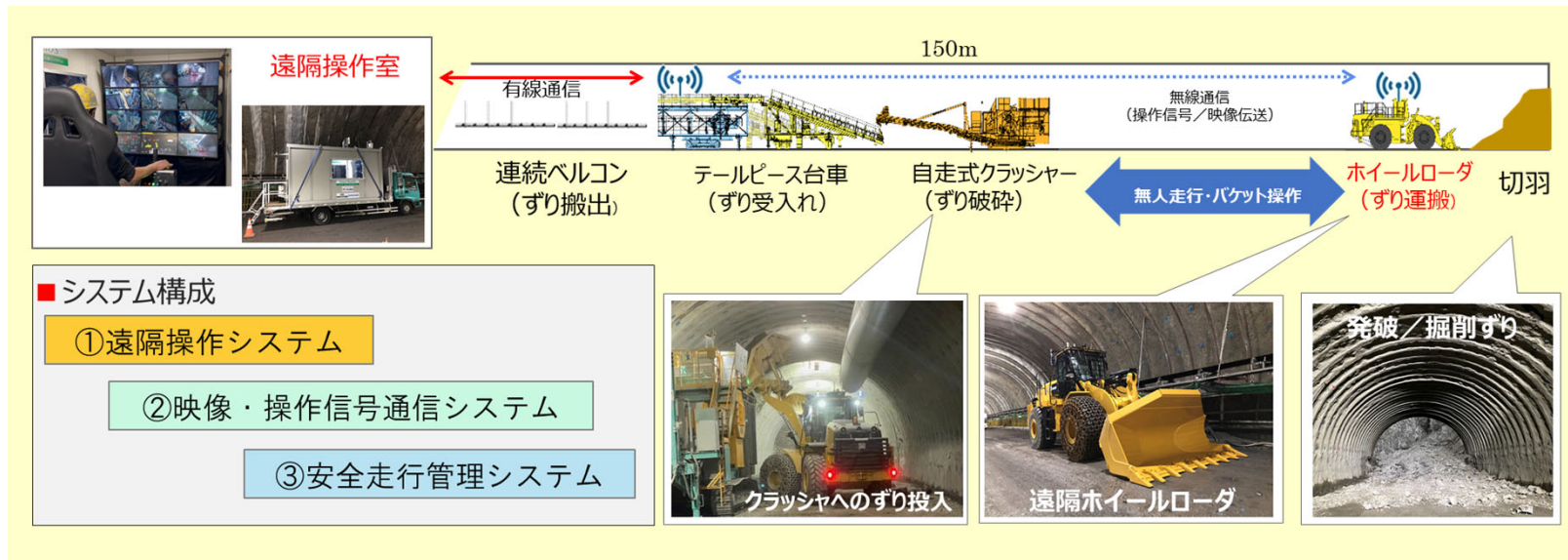
⇒現場での説明資料としても活用

取組み状況 【Tunnel RemOS-WL】

■ ホイールローダ遠隔操作システム(Tunnel RemOS-WL)

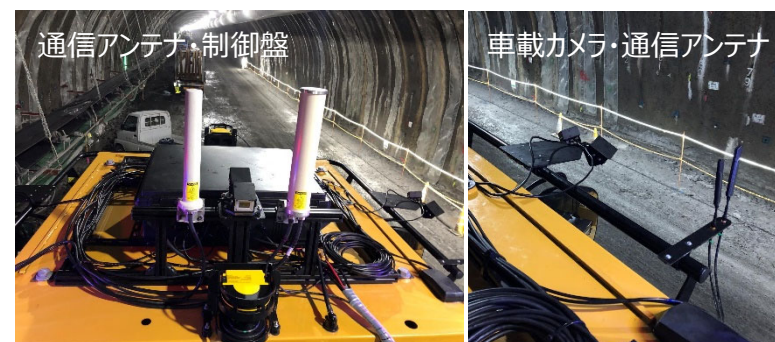
- ホイールローダの高速走行・バケット操作を遠隔で可能とするシステムを開発
→新稲穂トンネル（北海道）、不破原トンネル（高知）にて試行

※国土交通省「建設現場の生産性を向上する革新的技術の試行技術（PRISM）」に採択（2020年度）



取組み状況 【Tunnel RemOS-WL】

■ 不破原トンネルにおける実用システム（2号機）導入状況



無線通信



取組み状況 **【Tunnel RemOS-WL】**

■ 遠隔操作試行状況動画（不破原トンネル）

【遠隔操作室】



【ホイールローダ運転席（無人）】



取組み状況 【Tunnel RemOS-WL】

◆ 実施工に向けた取組み

- 現場施行にて遠隔WLによるずり出し施工効率を検証
- 遠隔での施工効率：平均約60～70%前後
 - 遠隔操作の熟練者（操作者B）では最大92%
 - オペレータの習熟度が施工効率へ大きく影響する

実施工での本格的な実用化には、
より高い施工効率と安定性が必要

施工効率検証状況



* 施工効率の検証

- ・遠隔操作オペレータ2名のサイクルタイムを計測
- ・有人の搭乗操作とのサイクルタイムと比較

	搭乗操作	遠隔操作者A (非熟練者)	遠隔操作者B (熟練者)	
WL走行距離	約85 m (ずり位置～クラッシャー位置)			
サイクルタイム	平均	平均	平均	最短
	54 秒	95 秒	75 秒	59 秒
施工効率	100%	57%	72%	92%

取組み状況 【Tunnel RemOS-WL】

◆実施工に向けた取組み

➤遠隔操作オペレータの視線解析



アイトラッキンググラス

✓オペレータのモニタ視線に差はない

より操作しやすい最適なモニタ配置に改良し、
施工効率の向上が期待できる

➤WL遠隔走行操作装置の改良

→従来のレバー操作に加えてステアリング
による操作も選択可能な仕様へ変更

WL運転時のみのオプション機能



取組み状況 【Tunnel RemOS-Excavator】

■ ブレーカ遠隔操作システム(Tunnel RemOS-Excavator)

令和6年度 日本建設機械施工大賞
選考委員会賞受賞
2024年度ENAA
エンジニアリング奨励特別賞

- 既開発のガイダンスシステムに遠隔操作機能を付加したブレーカ遠隔操作システムを開発
→ 磐石トンネル（北海道）にて試行

遠隔操作室
(MOS)

映像・制御信号伝送システム

機体制御システム

【遠隔操作室】

【電源台車（基地局）】



無線通信



【ブレーカ無人操作】



【遠隔操作室内の操作コクピット】

取組み状況 【Tunnel RemOS-Excavator】

■ 掘削形状モニタリングシステム（遠隔作業のための計測・ガイダンス技術）

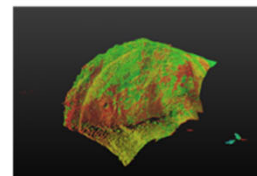
令和3年度 日本建設機械施工大賞
選考委員会賞受賞

- ブレーカに搭載した高速3Dスキャナを用いて切羽の掘削形状を高速計測
- 掘削形状の3Dデータと設計断面を比較することで、“あたり箇所”を重機キャビン内のモニタまたは遠隔操作室にヒートマップとして迅速表示させることが可能

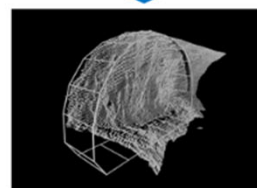
※国土交通省「建設現場の生産性を向上する革新的技術の試行技術（PRISM）」に採択（2019年度）



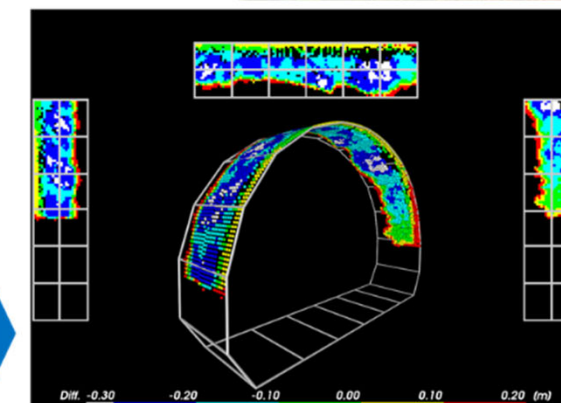
切羽あたり箇所の可視化



トンネル切羽掘削形状の
3次元点群データの取得



3次元点群データと掘削
形状の比較



差分計算により切羽あたり箇所
をコンター図により可視化

掘削形状モニタリングシステム

取組み状況 【Tunnel RemOS-Excavator】

- 磐石トンネルにおける遠隔操作実験動画（遠隔コソク作業）



取組み状況 【Tunnel RemOS-Spray】

■ 吹付け機遠隔操作システム（Tunnel RemOS-Spray）

- ガイダンスシステムに遠隔車体移動技術を付加した吹付け機遠隔操作システムを開発
→ 筑穂トンネル（福岡）にて試行

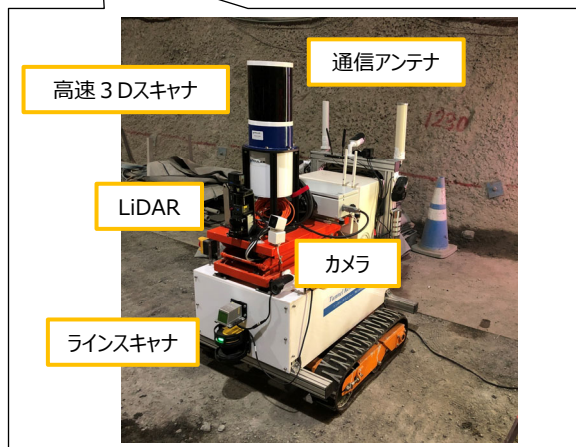
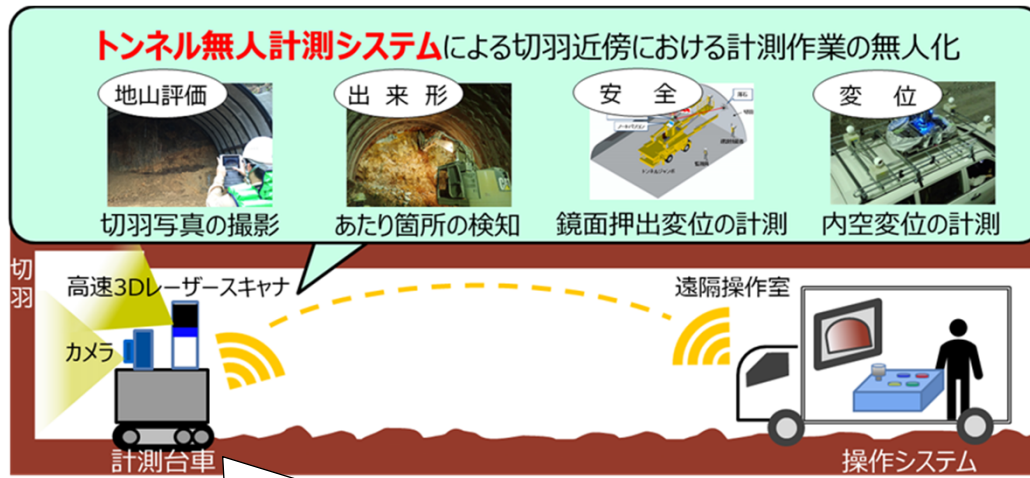
（西松・戸田・清水・前田・FTS共同開発）



取組み状況 *Tunnel RemOS-Meas.*

■ 遠隔計測台車(*Tunnel RemOS-Meas.*)

- 切羽撮影（AI評価）や3Dスキャナによる掘削形状モニタリングを遠隔で実施するための計測台車を開発
→ 磐石トンネル（北海道）にて試行



システム適用イメージ

計測台車（試作機）



開発システム試行状況（磐石トンネル）

取組み状況 【Tunnel RemOS-Lining】

■ 覆工コンクリート自動化施工システム(Tunnel RemOS-Lining)

➢ 自動セット、自動打設、脱型・移動システムで構成

→ 五郎窪トンネル（福島）、西大島トンネル（岡山）へ導入

覆工コンクリートの施工作業を自動化

(セントル据付 → コンクリート打設 → 脱型・移動)

令和3年度「みちのくi-Construction
奨励賞（民間企業部門）」受賞

令和4年度 日本建設機械施工大賞
優秀賞受賞



取組み状況 【N-フィールド】

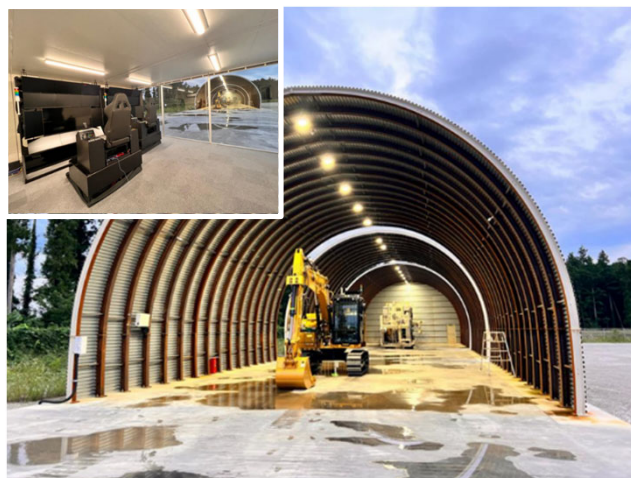
■ 遠隔操作システム実験施設 （栃木県那須塩原市）



模擬トンネル全景



実験用掘削ずり



遠隔操作コクピット



展示会デモ状況

取組み状況 【N-フィールド】

■ ずり出し作業の無人化施工実験状況



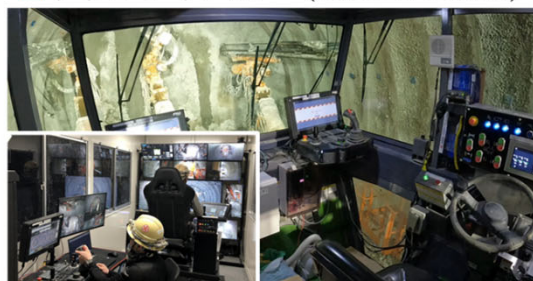
複数重機（ホイールローダ・バックホウ）の同時遠隔稼働実験状況

今後の取り組み

【これまでの開発成果】 Phase1 (2018～2023年度)

- システムを構成する各要素技術の試作機を作成し現場へ試験適用
→ **各要素技術完成**

■ ドリルジャンボ (RemOS-Jumbo)



■ ブレーカ (RemOS-Excavator)



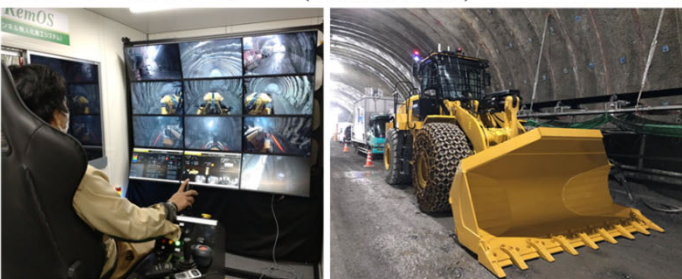
■ 自由断面掘削機 (RemOS-RH)



■ 吹付け機 (RemOS-Spray)



■ ホイールローダ (RemOS-WL)



■ 計測台車 (RemOS-Meas.)



【今後の開発計画】 Phase2・3 (2024～2027年度)

- 現場や実験フィールドへの適用を通じて、各要素技術の更なる改良
- 複数機械を効果的に集中制御させるシステムの構築
- 自動・自律制御システムの開発

ご清聴ありがとうございました



お問合せ先：西松建設(株) 技術研究所

E-mail：giken@nishimatsu.co.jp

※右のQ Rから、最新のより詳しい「お問合せ先」をご確認頂けます。

