

山岳トンネルにおけるコンクリート吹付けナビゲーション



コンクリート吹付け

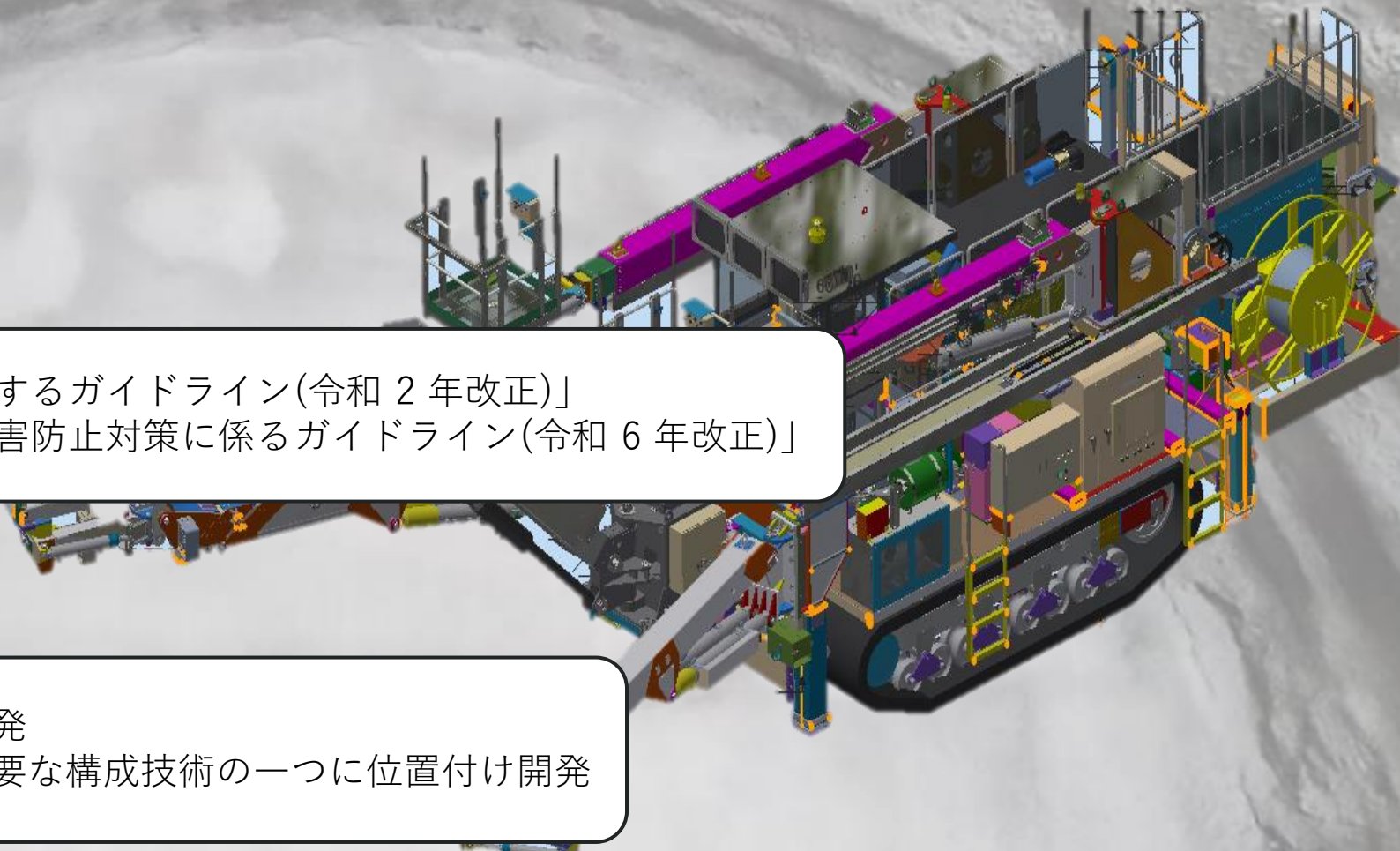
切羽近傍の高粉じん下で過酷な環境にて
吹付けロボット操作が必要

厚生労働省法令

「ずい道等建設工事における粉じん対策に関するガイドライン(令和 2 年改正)」
「山岳トンネル工事の切羽における肌落ち災害防止対策に係るガイドライン(令和 6 年改正)」

開発取組み

吹付け作業の無人化, 自動化に関する技術開発
その中で「リアルタイム厚さ測定」を最も重要な構成技術の一つに位置付け開発



開発技術の概要

吹付けコンクリートの厚さをリアルタイムに表示する「吹付けナビゲーションシステム」および「吹付けノズルの誘導技術」を用いた吹付け作業の自動化を見据えた厚さ測定技術

①吹付けナビゲーションシステム

- ・吹付けノズル部に取付けたミリ波レーダを使い吹付け中のノズルから壁面までの距離をリアルタイムに測定
- ・機体後方に設置したプリズム3点から機体位置座標・姿勢を取得する
- ・吹付けロボット可動部に角度計・伸縮計を搭載しノズル先端の位置座標を算出
- ・ロボット可動部のたわみや吹付け中の揺れに起因するノズル部の位置座標誤差が発生するためLEDマーカを測定する事で位置補正するモーションキャプチャカメラ技術

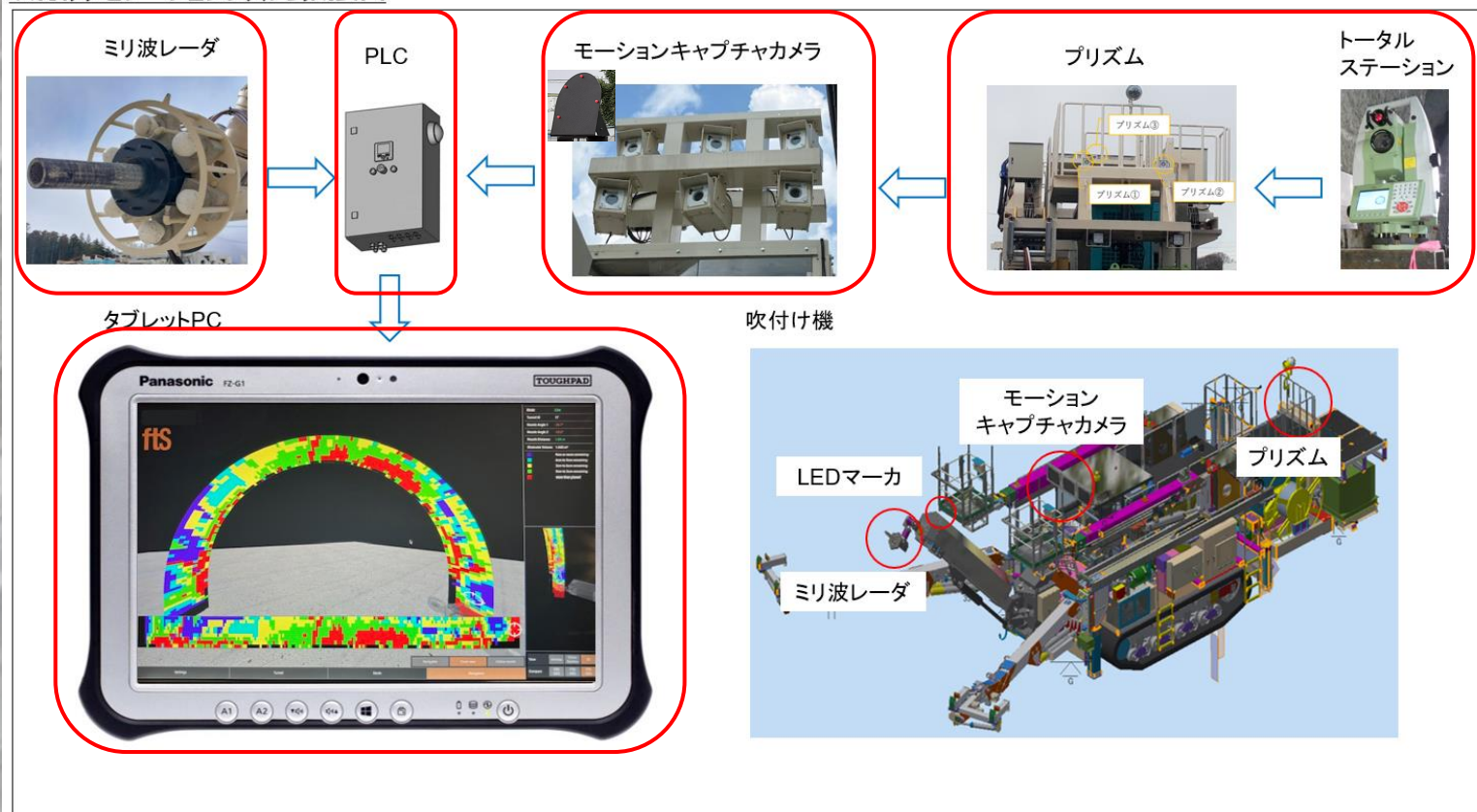
②吹付けノズル誘導技術

ノズルを誘導する操作はタブレットPCの画面を見ながら所望する周長位置番号を選択することで操作する。

山岳トンネルにおけるコンクリート吹付けナビゲーション

①吹付けナビゲーションシステム概要

吹付けナビゲーションシステム概要図



測定手順

吹付け機後方に搭載したプリズム
3点から機体位置測定

機体座標よりモーションカメラ座
標をトンネル座標系に変換

ノズル部のLEDマーカを測定しミ
リ波取付け部までの座標を算出
(エンコーダ・伸縮計データも有)

ミリ波により吹付け面までの距離
をリアルタイム測定

全データを統合し吹付け前・設計
データと比較し吹付け厚さを
リアルタイムに表示

山岳トンネルにおけるコンクリート吹付けナビゲーション

①ミリ波レーダー

吹付け中の粉じんの中で距離を測定する事は得意だが吹付けコンクリートの付着が最大の課題



項目	技術スペック
ミリ波レーダー 使用周波数	76.5Hz (76-77GHz)
波長	3.94mm
占有周波数	1GHz



対策無



対策①



対策②



回転

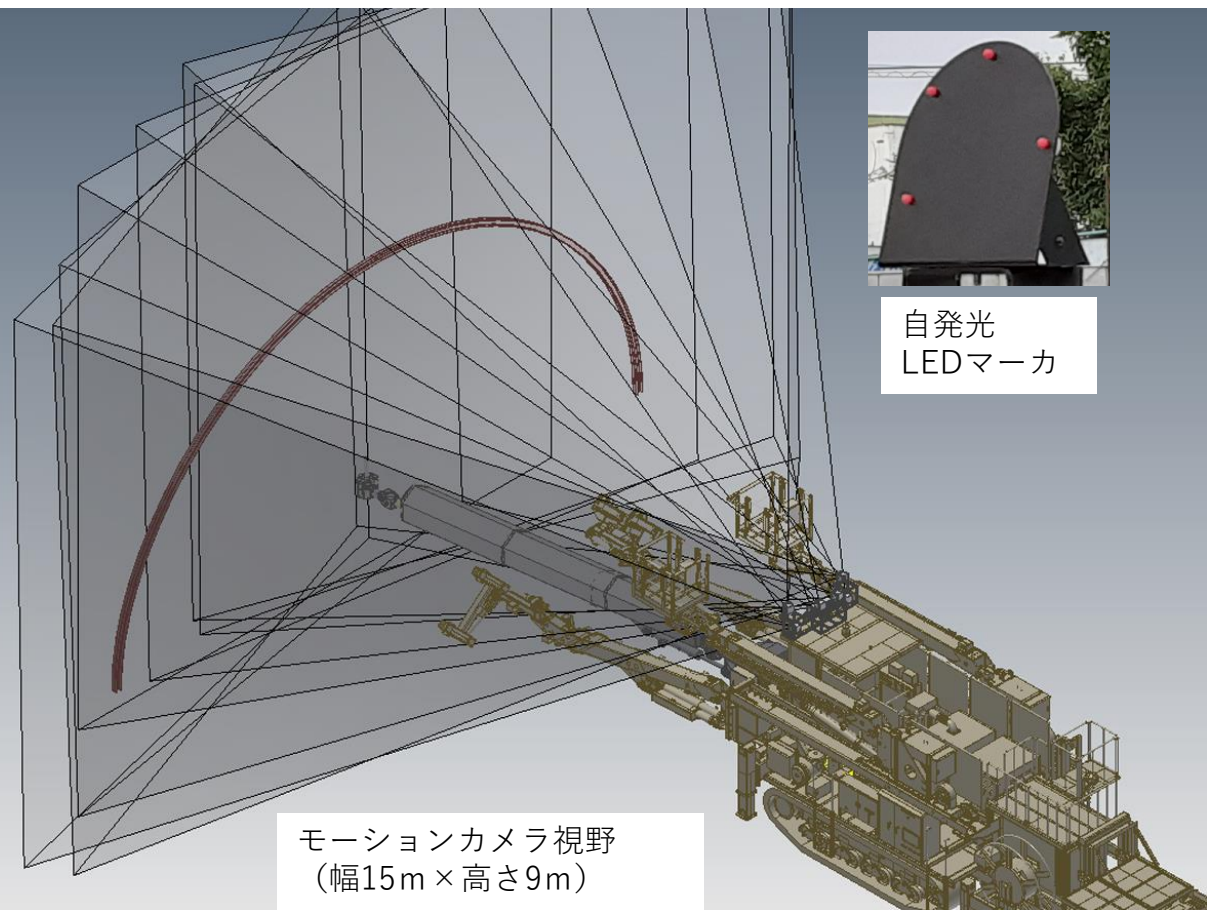
吹付けコンクリートの除去
洗浄装置

山岳トンネルにおけるコンクリート吹付けナビゲーション

① モーションカメラ

吹付け中のロボットノズル部をリアルタイムに位置計測する事が可能

吹付けロボットノズル部を3ヶ以上のカメラで捕捉が必要



自発光
LEDマーカ



モーションカメラユニット

モーションカメラ視野
(幅15m × 高さ9m)

山岳トンネルにおけるコンクリート吹付けナビゲーション

ミリ波レーダー

吹付け中の粉じんの中で距離を測定する事は得意だが吹付けコンクリートの付着が最大の課題

水噴射



山岳トンネルにおけるコンクリート吹付けナビゲーション

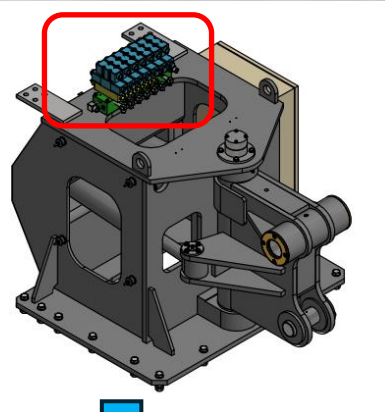
②吹付けノズル誘導技術

タブレットPC操作で所望するノズル位置を周長位置の番号選択でロボットをスムーズに操作する事が出来る

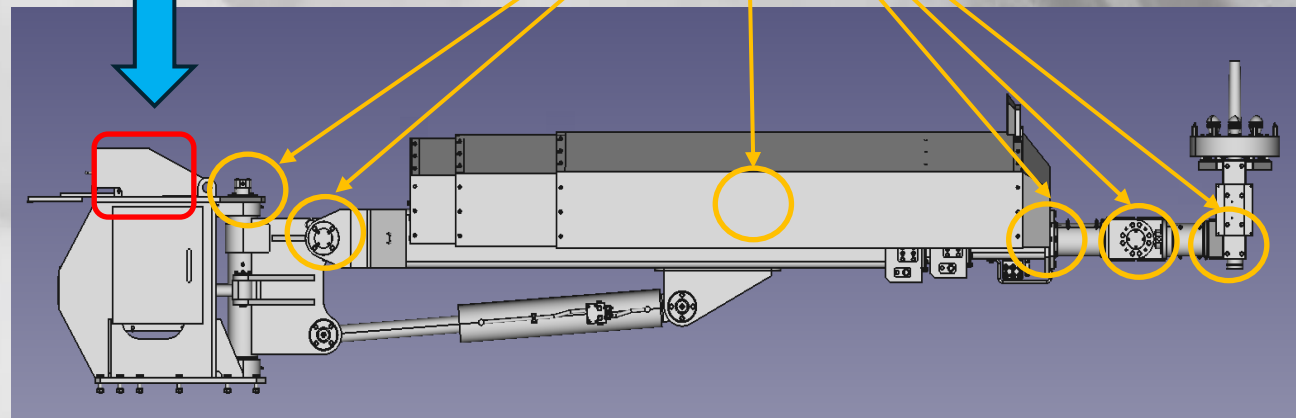


油圧をスムーズに調整し吹付けロボットを制御する

タッチ操作により吹付けロボットをガイダンスする



- ・角度計を5ヶ所
 - ・伸縮計を2ヶ所に搭載
- ロボット各部位の状況を把握



山岳トンネルにおけるコンクリート吹付けナビゲーション

検 証

模擬トンネル（約66m² 幅11m×高さ7m）にて実吹付けを実施し検証

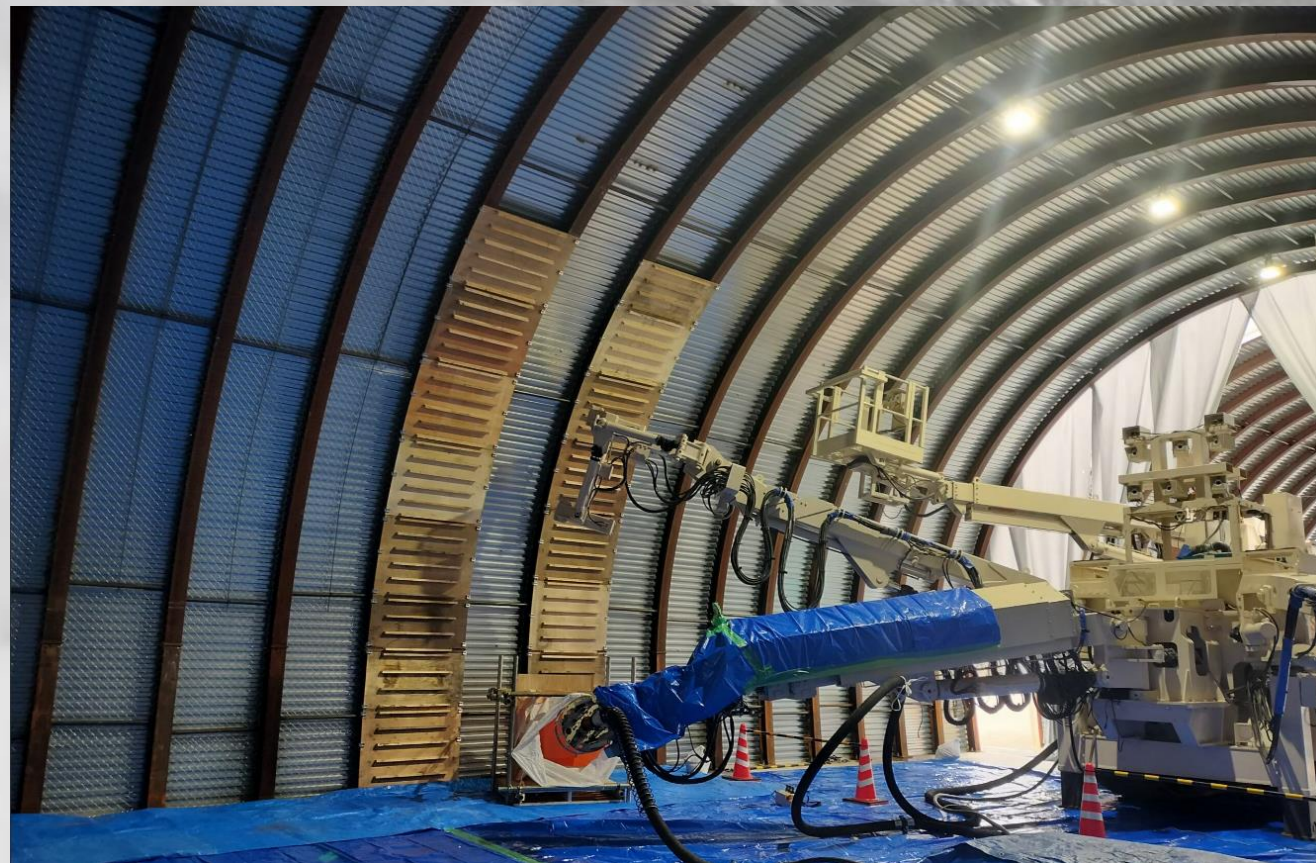


内容

その①：ノズル誘導システム

その②：吹付けナビゲーション

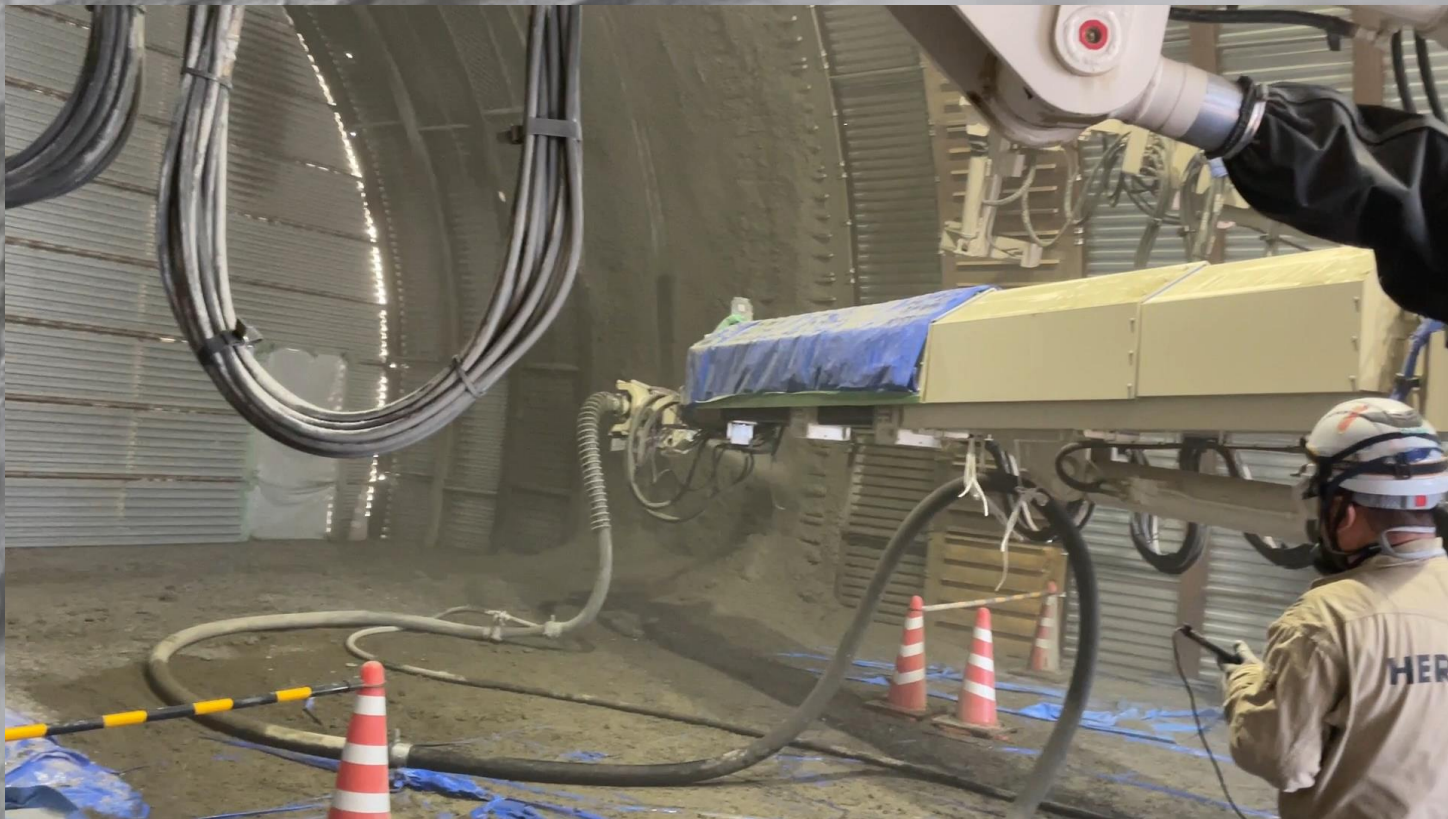
その③：厚さ測定データ結果検証



山岳トンネルにおけるコンクリート吹付けナビゲーション

検 証

その①：ノズル誘導システム



吹付けコンクリート配合表

呼 び 方	コンクリートの種類による記号		呼び強度	スランブ又はスランブフロー cm	粗骨材の最大寸法 mm	セメントの種類による記号	
		普通		18	15	15	N
配 合 表 (kg/m ³)	セメント	混和材	水	細骨材①	細骨材②	細骨材③	
	360	-	180	743	318	-	
	粗骨材①	粗骨材②	粗骨材③	混和剤①	混和剤②		
	724	-	-	3.60	-		
水セメント比	50 %	水結合材比	- %	細骨材率	60 %	スラッジ固形率	- %
回収骨材置換率	細骨材	-	粗骨材	-	安定化スラッジ水の使用の有・無		

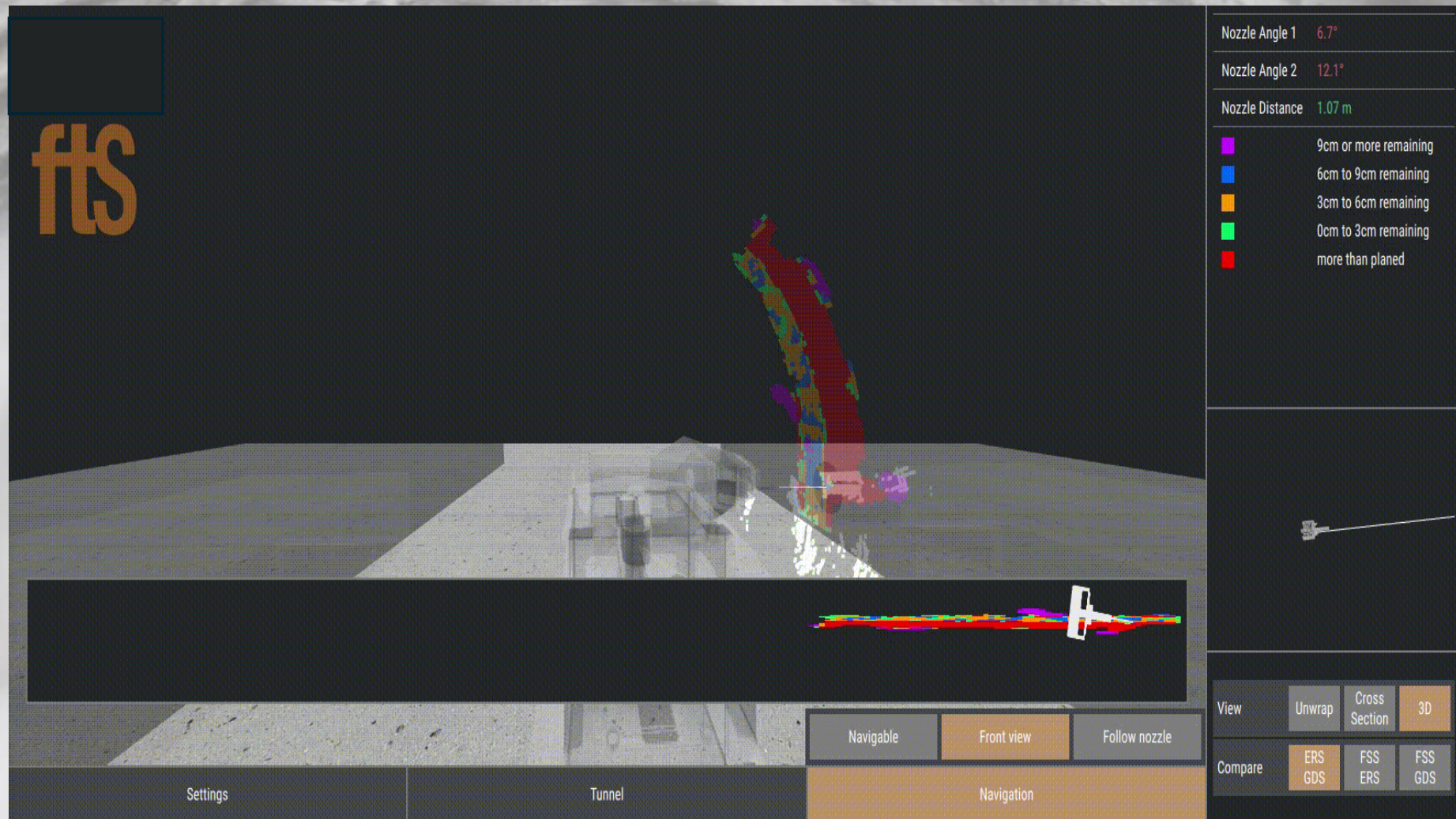
吐出量：10m³
急結材：粉体デンカタイプZ

山岳トンネルにおけるコンクリート吹付けナビゲーション

吹付けナビゲーション

その②：吹付けナビゲーション

- 吹付け中にタブレットPCにリアルタイムに吹付け厚さを表示
- 凡例の色に合わせて吹付け厚さを色付け
- 3D・2D表示



まとめ、展望、今後

- 吹付けナビゲーションとノズル誘導技術を使う事で滑らかな吹付けが可能となり一定の成果を得た。
- 既に現場導入している実機への展開、改良を行う。
- 自動化へのステップを検証作業と共に進める。
- 広く現場導入されるように普及を図る。

ご清聴ありがとうございました。
共同研究の各社様ご協力有難うございました。