

山岳トンネル施工管理システム 「Hi-Res」の開発

安藤ハザマ 建設本部機電部

副島幸也

JCMAトンネル機械技術委員会
技術講演会
2025.01.22

Be a ChangeBuilder.
 安藤ハザマ

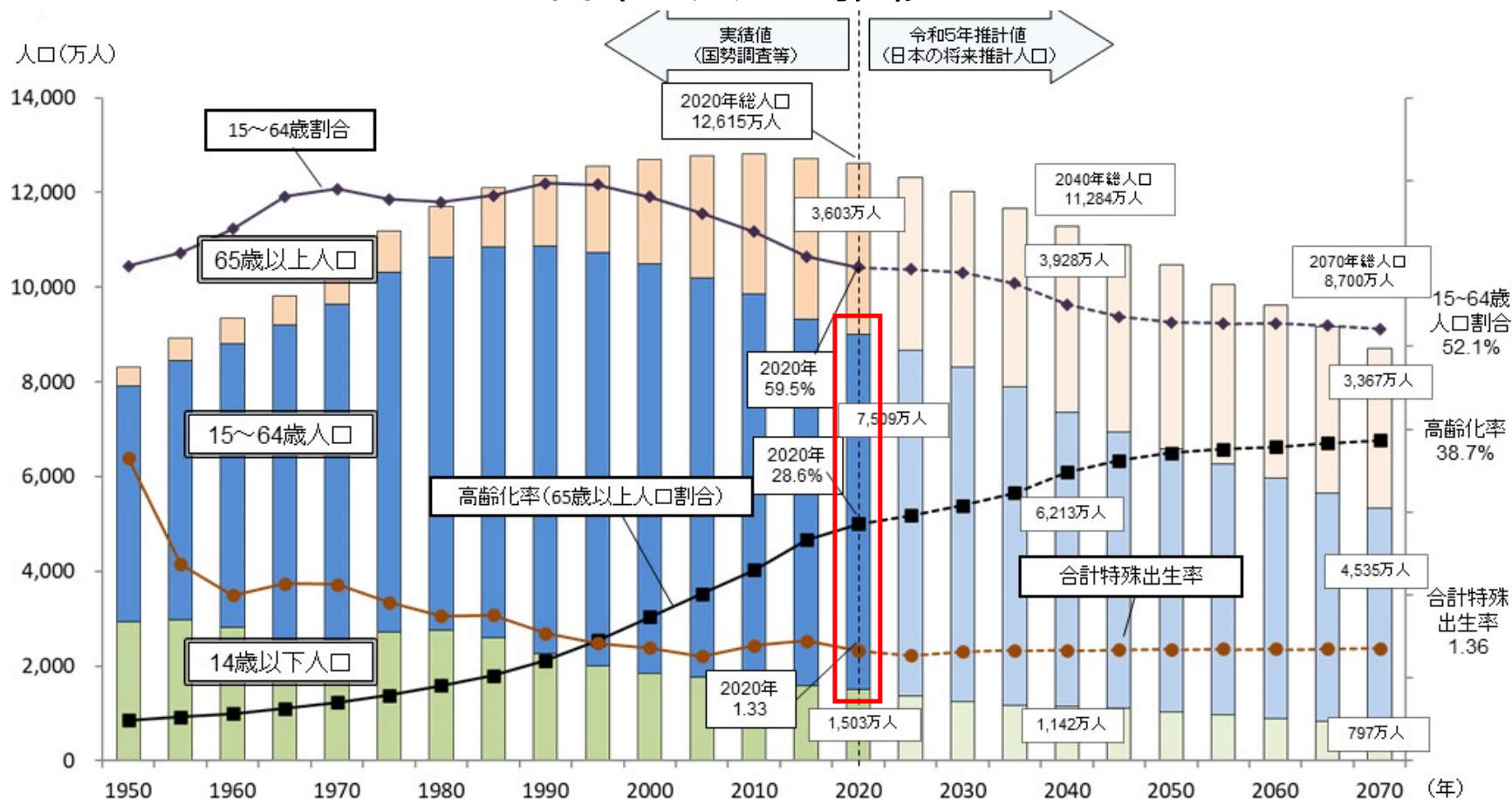
-
1. 開発の背景
 2. Hi-Resの概要
 3. 各種機能
 4. 運用効果
 5. 今後の展開（まとめ）



開発の背景

開発の背景

日本の人口の推移

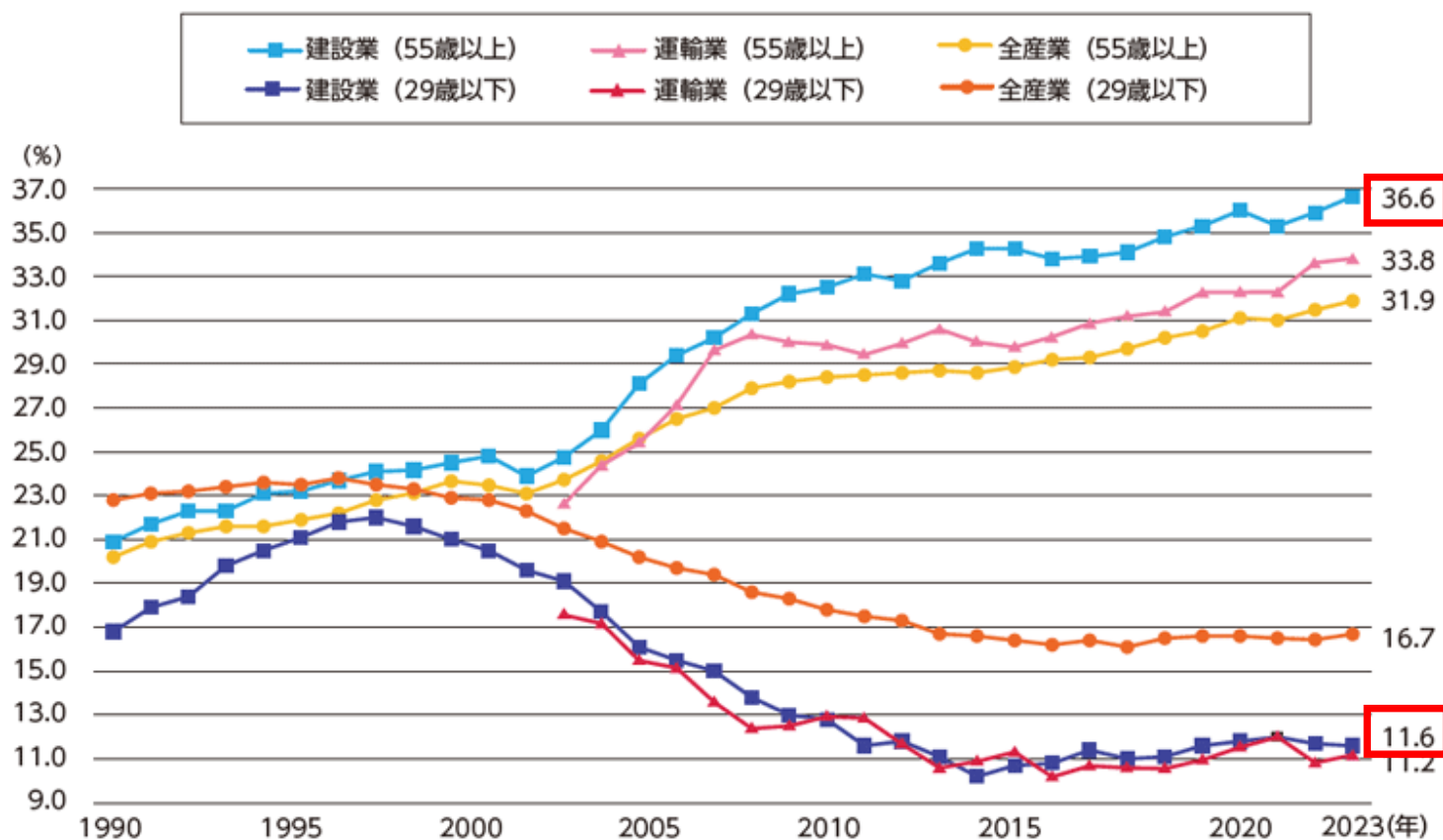


(出所) 2020年までの人口は総務省「国勢調査」、合計特殊出生率は厚生労働省「人口動態統計」、2025年以降は国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口(令和5年推計)」「出生中位(死亡中位)推計」

出典：厚生労働省ウェブサイト
 (https://www.mhlw.go.jp/stf/newpage_21481.html)

日本の人口は減少局面を迎えており、2020年時の生産年齢人口（15歳～64才）は全人口の60%を割り込んでいる。

産業別就業者の年齢構成の推移



資料) 総務省統計局「労働力調査 (基本集計)」より国土交通省において作成

出典: 国土交通省ウェブサイト

(<https://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/r05/hakusho/r06/html/n1111000.html>)

建設業は全産業平均に比べ、55歳以上の割合は高く、29歳以下の割合は低く推移しており、高齢化が進行している。

少子高齢化 ⇒ 生産性向上が重要

開発の背景

山岳トンネルにおける「生産性向上」

トンネル掘削作業の基本は繰り返し作業であり、サイクルタイムの中のロスを抑制することが重要

削孔発破



ロックボルト



ズリ出し



	掘削区分			
サイクルタイム	16	17	18	19
削孔準備 (削孔・ブレーカー)				
装薬・発破				
ズリ出し				
浮石除去・当取り				
一次吹付				
支保工建込				
二次吹付				
三次吹付				
ロックボルト				

手書きの日報
詳細情報や正確さへの懸念



AIによる作業状況把握
教師データによる学習が必要

サイクルタイムのロス低減⇒効率的な情報収集技術が求められる

開発の背景

持続可能な社会への貢献

経済・社会・環境に多大な影響を及ぼす建設分野は、持続可能な社会の構築のために大きな責任を担っている。

SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS



施工段階におけるCO₂排出量を2030年度に40%削減（2013年度比）することを目指す（日建連目標）

脱炭素への方策
・効率化による省エネ
・CO₂排出量の把握

開発の背景

山岳トンネルにおける「脱炭素」

トンネル施工機械は大出力のものが多く、CO₂排出量を把握することは環境に関する意識付けに重要。

換気設備は一般にトンネル最大延長時において必要な換気量を賄える設備設計となっており、必要な換気量は作業内容によって異なるため、状況に合わせた運転を行うことが重要となる。

山岳トンネルで使用する電動機械設備の出力（例）

機械設備	用途	出力	備考
ドリルジャンボ	削孔・ロックボルト	180kW	
吹付けロボット	吹付・支保工	171kW	
送風機	坑内換気	320kW	常時運転
集塵機	坑内換気	160kW	常時運転

作業状況の把握によるCO₂発生量の見える化
消費電力量が大きな換気設備運転の最適化

山岳トンネル工事における課題

- ・少子高齢化 : 生産性向上、サイクルタイムの把握
- ・脱炭素 : 省電力（節電）、CO₂排出量の見える化

課題解決を支援するシステム

High-grade ICT Remote-System

Hi-Res

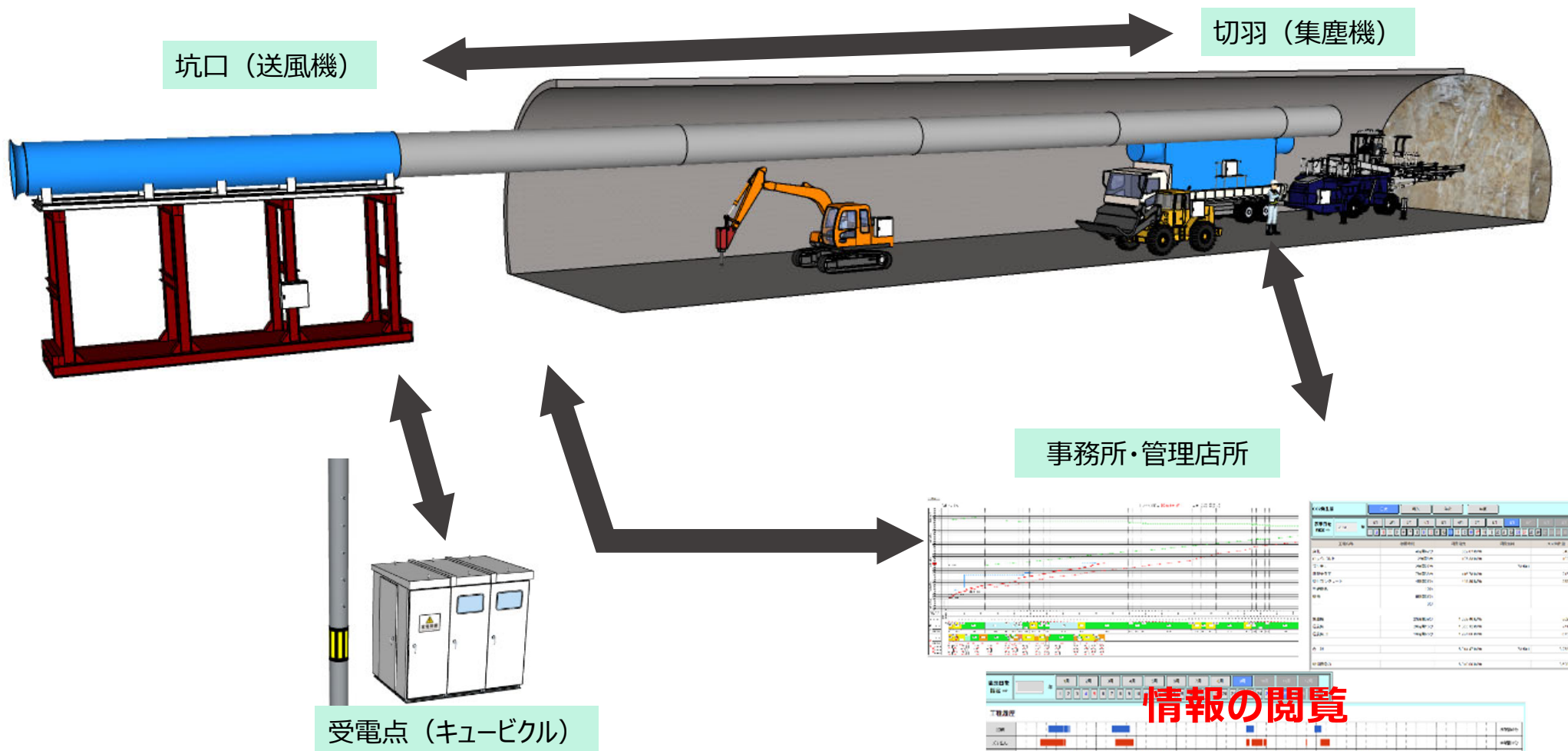
(NETIS登録 No.KK-240049-A)

工事施工において得られる数々のデータを統合し
ICTを活用して最適な施工を支援する
高機能な遠隔管理システム



Hi-Resの概要

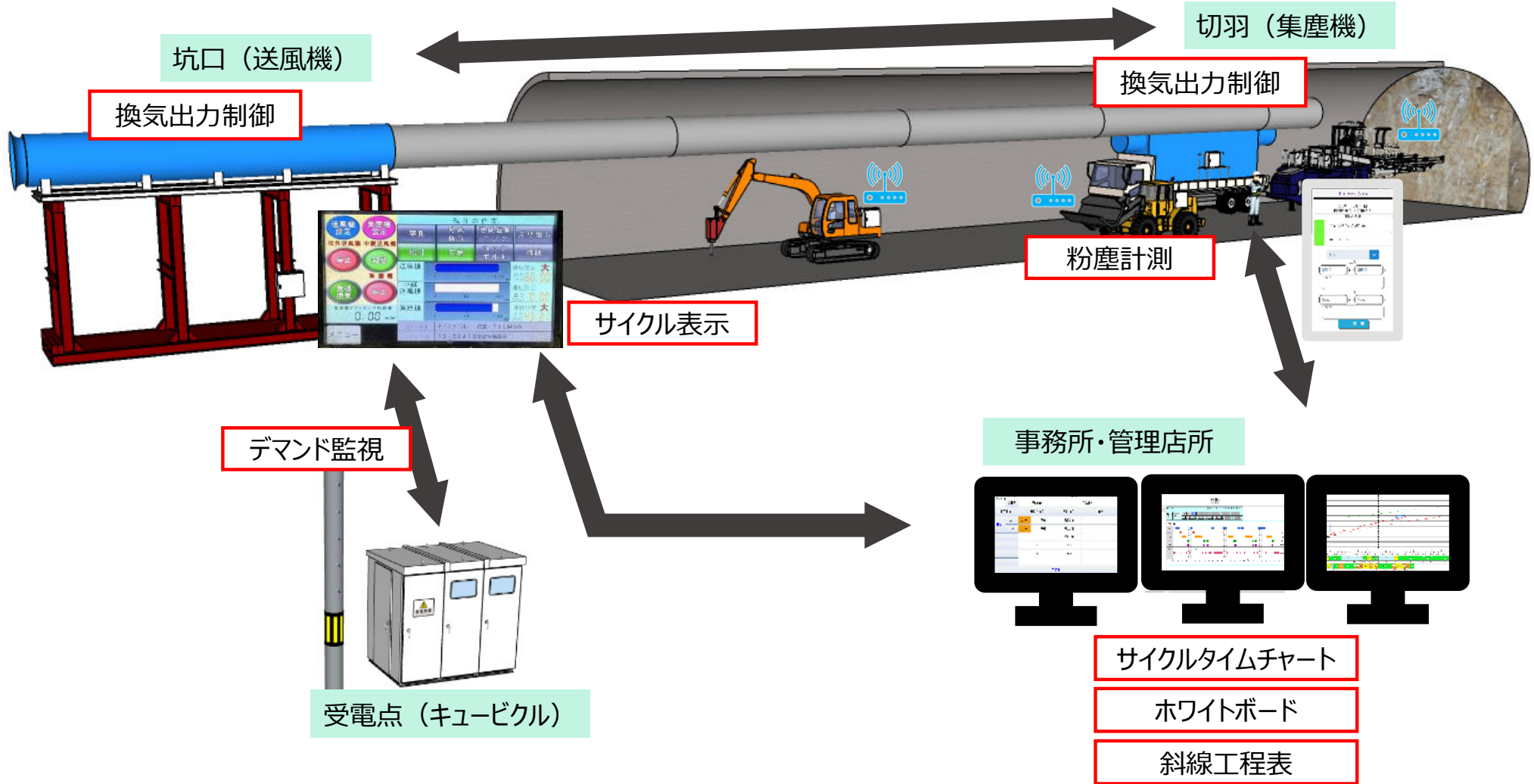
Hi-Resの概要



各所に設置される、制御・操作・
工種判定・電力計測等の役割別
の盤により構成される

工事種別		実績トータル		2023年10月2日(木) 現在	
区間	総延長	日進率 (m)	累計 (m)	割合	備考
掘削	上巻	6.8 m	1072.3 m		
	下巻	6.8 m	1069.7 m		
	---		1969.0 m		
	---		---		
	---		---		
コメント					

Hi-Resの概要



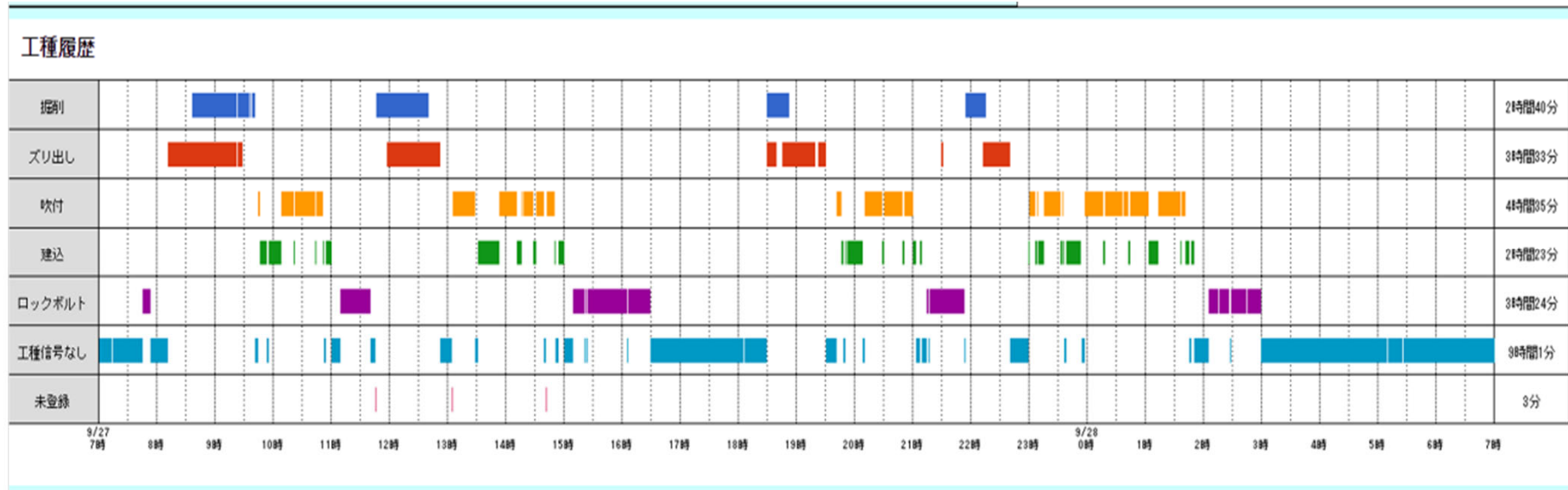
坑内で進捗確認を行う職員がスマホで情報を入力すると、Web上のホワイトボードにて事務所で共有され、また斜線工程表が作成される



各種機能

Hi-Resの機能

- サイクルタイムチャート表示



- 1分毎、リアルタイムでサイクルを判定しクラウド上に表示
- 同時作業も判定可能
- サイクル外作業（例：インバート掘削など）についても判別トリガーの設定により対応可能
- 作業種別毎の累積時間を集計するため、各々の負荷や遊休時間が把握できる

Hi-Resの機能

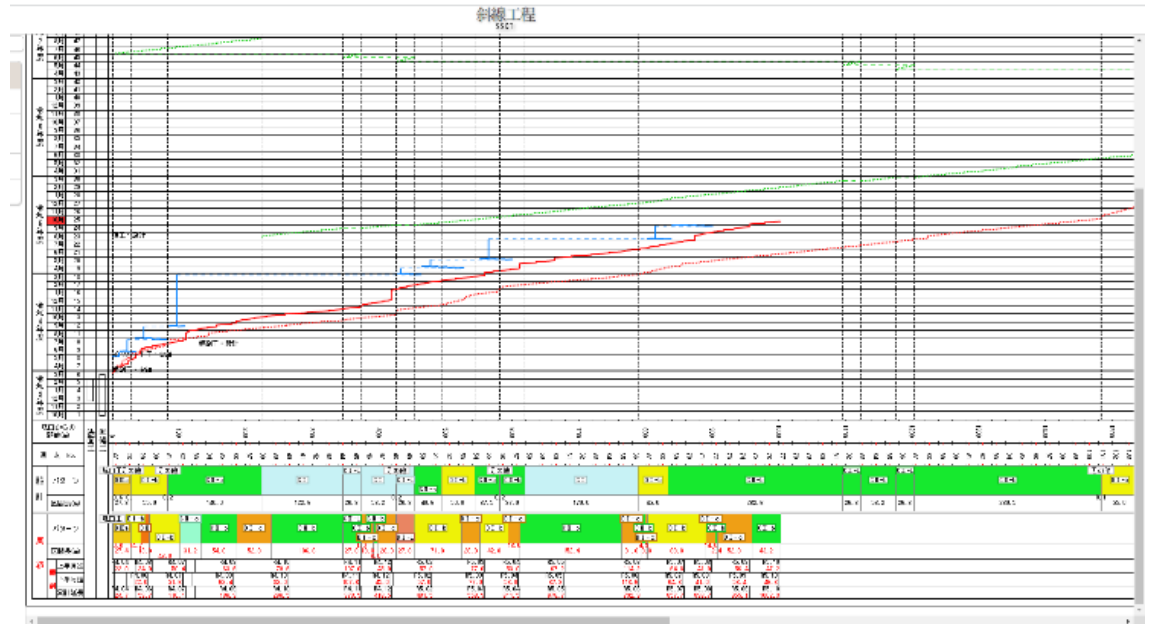
- 負荷設備制御機能



- 作業内容、ダストセンサ（粉塵計）、デマンドの3つの基準から最適な換気設備出力を判断、制御する
- 送風機2台・集塵機1台の合計3台まで制御可能
- デマンド超過の注意・警報信号により、換気設備以外の負荷設備への命令出力が可能

Hi-Resの機能

- 電子ホワイトボード、斜線工程表



【電子ホワイトボード】

- 日々の工事進捗をスマホアプリで入力することでクラウド上のホワイトボードに反映され、事務所・管理店所などで共有可能
- 実際のホワイトボード同様に、連絡事項などのコメント記載が可能

【斜線工程表】

- 電子ホワイトボードの記録から斜線工程表を自動作成

Hi-Resの機能

CO₂排出量演算機能

Hi-Res
Hi-Res

CO2管理					
工機番号	工種名称	CO2演算	動力	時間消費電力	時間消費燃料
1	穿孔	<input checked="" type="radio"/> 計上する <input type="radio"/> 計上しない	<input checked="" type="radio"/> 電力 <input type="radio"/> 燃料 <input type="radio"/> 無し	168.75 kWh	0.00 L/h
2	ロックボルト	<input checked="" type="radio"/> 計上する <input type="radio"/> 計上しない	<input checked="" type="radio"/> 電力 <input type="radio"/> 燃料 <input type="radio"/> 無し	112.50 kWh	0.00 L/h
3	ズリ出し	<input checked="" type="radio"/> 計上する <input type="radio"/> 計上しない	<input checked="" type="radio"/> 電力 <input type="radio"/> 燃料 <input type="radio"/> 無し	180.00 kWh	0.00 L/h
4	支保	<input checked="" type="radio"/> 計上する <input type="radio"/> 計上しない	<input checked="" type="radio"/> 電力 <input type="radio"/> 燃料 <input type="radio"/> 無し	86.00 kWh	0.00 L/h
5	吹付	<input checked="" type="radio"/> 計上する <input type="radio"/> 計上しない	<input checked="" type="radio"/> 電力 <input type="radio"/> 燃料 <input type="radio"/> 無し	63.50 kWh	0.00 L/h
7	異域換気	<input checked="" type="radio"/> 計上する <input checked="" type="radio"/> 計上しない	<input type="radio"/> 電力 <input type="radio"/> 燃料 <input checked="" type="radio"/> 無し	0.00 kWh	0.00 L/h
8	待機	<input type="radio"/> 計上する <input checked="" type="radio"/> 計上しない	<input type="radio"/> 電力 <input type="radio"/> 燃料 <input checked="" type="radio"/> 無し	0.00 kWh	0.00 L/h
0	---	<input type="radio"/> 計上する <input checked="" type="radio"/> 計上しない	<input type="radio"/> 電力 <input type="radio"/> 燃料 <input checked="" type="radio"/> 無し	0.00 kWh	0.00 L/h

更新

CO2排出係数			
年度	電気	燃料	
2023	0.549 kg-CO2/kWh	2.619 kg-CO2/L	更新
2022	0.000 kg-CO2/kWh	0.000 kg-CO2/L	
2021	0.000 kg-CO2/kWh	0.000 kg-CO2/L	

CO2発生量											
<input type="button" value="日次"/> <input type="button" value="月次"/> <input type="button" value="年次"/> <input type="button" value="年度"/>											
表示日を指定 → 2023 年 <input type="button" value="1月"/> <input type="button" value="2月"/> <input type="button" value="3月"/> <input type="button" value="4月"/> <input type="button" value="5月"/> <input type="button" value="6月"/> <input type="button" value="7月"/> <input type="button" value="8月"/> <input type="button" value="9月"/> <input type="button" value="10月"/> <input checked="" type="button" value="11月"/> <input type="button" value="12月"/>											
工機名称	稼働時間	消費電力	消費燃料	CO2排出量							
穿孔	7時間21分	909.56 kWh		318.35 kg							
ロックボルト	0分	0.00 kWh		0.00 kg							
ズリ出し	14時間47分	2,934.49 kWh		1,027.07 kg							
支保	33分	28.05 kWh		9.82 kg							
吹付	2時間45分	257.13 kWh		89.99 kg							
機械潤滑・コンク	0分										
異域換気	32分										
待機	5時間48分										
---	1分										
集塵機	15時間12分	911.91 kWh		319.17 kg							
送風機	12時間39分	1,442.02 kWh		504.71 kg							
合計		6,483.16 kWh	0.00 L	2,269.11 kg							
総消費電力		9,392.28 kWh		3,287.30 kg							

- 電気による稼働、エンジンによる稼働に関わらず、サイクルタイムチャートによる稼働時間から演算し、CO₂排出量の見える化を実現
- 設定により複数台重機の合算値で計上することが可能
- 月次、年次などでの集計が可能



運用効果

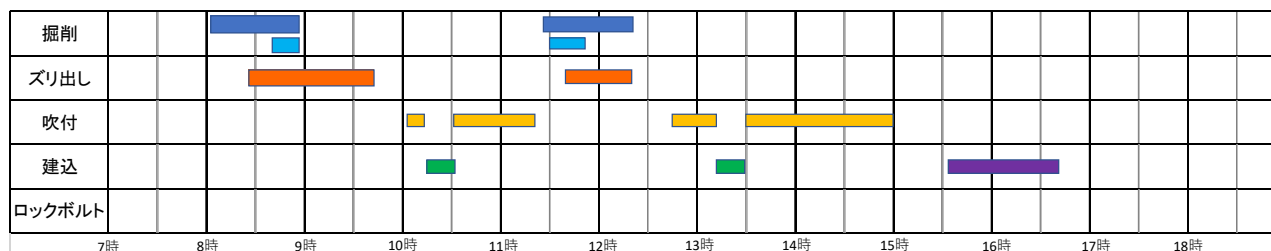
Hi-Resの運用効果

- 生産性向上に関する評価（精度検証）

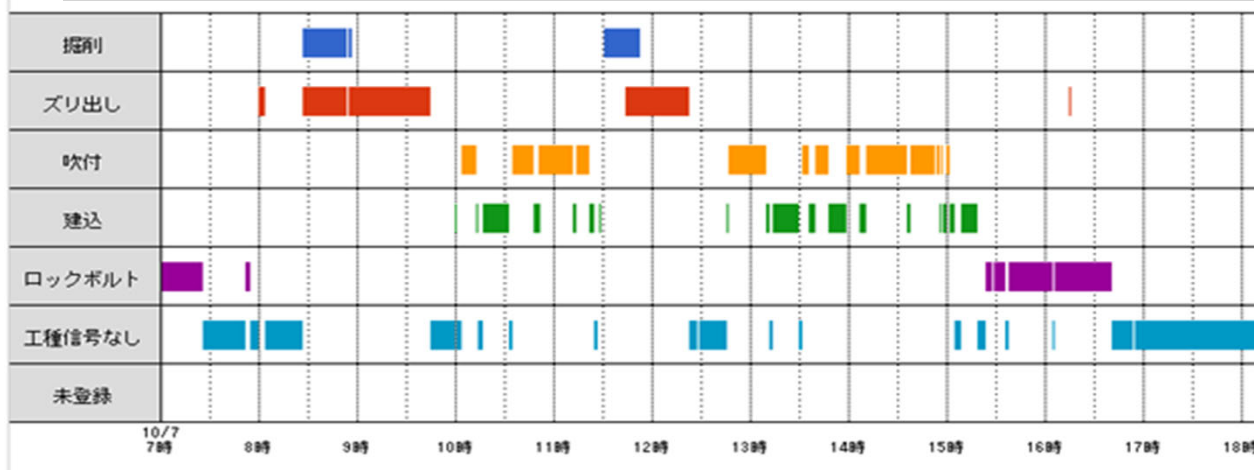
Hi-Resが作成するサイクルチャートを、切羽カメラ映像からの人力による解析結果と比較し、ほぼ同一の結果となった



切羽監視カメラからの人力による解析



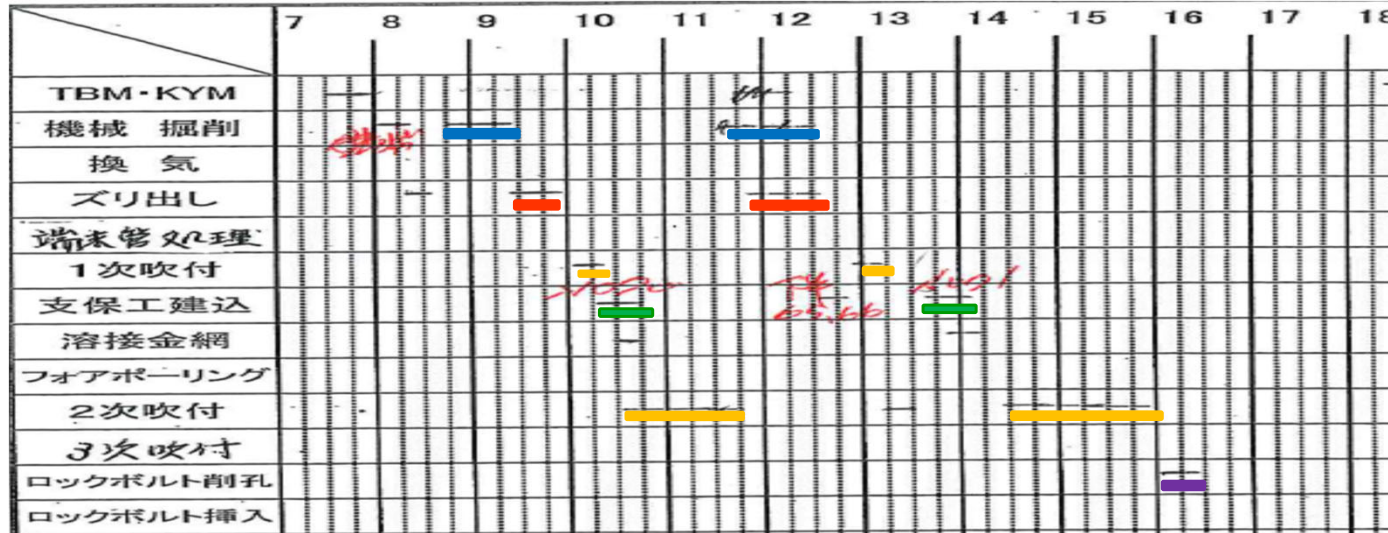
Hi-Res



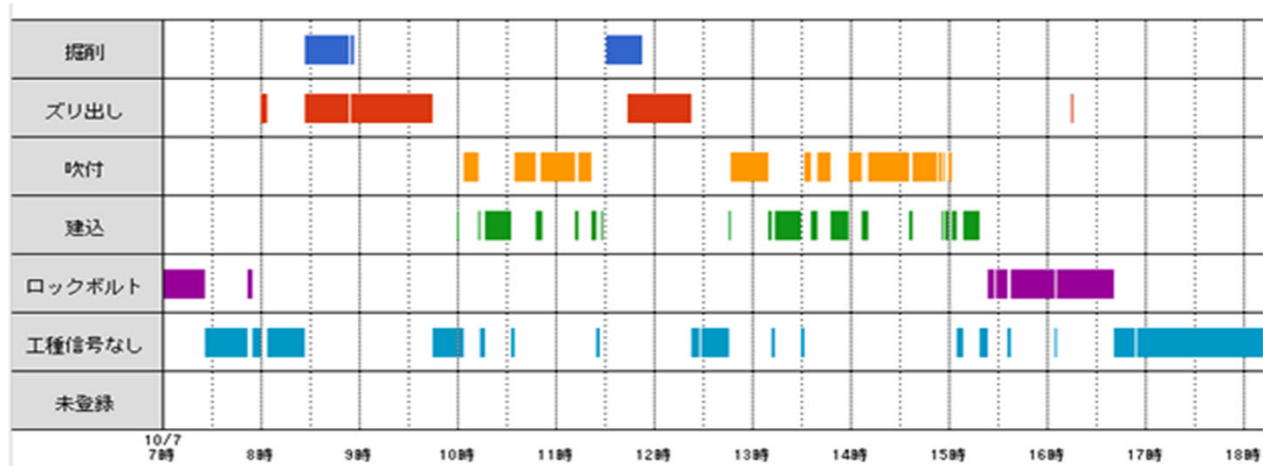
Hi-Resの運用効果

- 生産性向上に関する評価（精度検証）

作業員が作成する日報（鉛筆部分を配色）



Hi-Res



作業の流れは同一だが、開始終了時刻、要した時間などに差異がある

Hi-Resの運用効果

- 生産性向上に関する評価（ヒアリング）

- 1) 職員のロスタイム削減

作業開始時、サイクルタイムチャートを確認することで、どのタイミングで坑内へ向かえば良いかわかるので、無駄な待機時間が削減された。

ホワイトボードでの情報共有がラク。

- 2) サイクルタイムチャート分析の効果

日々の各サイクルの時間や機械入替の時間を詳細に確認し、連続BC工法におけるコンベヤ延伸作業をできるだけ手空きの時間帯で行うように工程調整した。

実態を示しているため、作業の違和感に気付きやすくなり、作業員への確認・指導がスムーズになった。

概ね好意的な評価を得ている。

今後のデータ蓄積と共に、「ズリ出し時のダンプ台数最適化」「連続BCの稼働時間の実態把握」など、様々な活用が期待される。

Hi-Resの運用効果

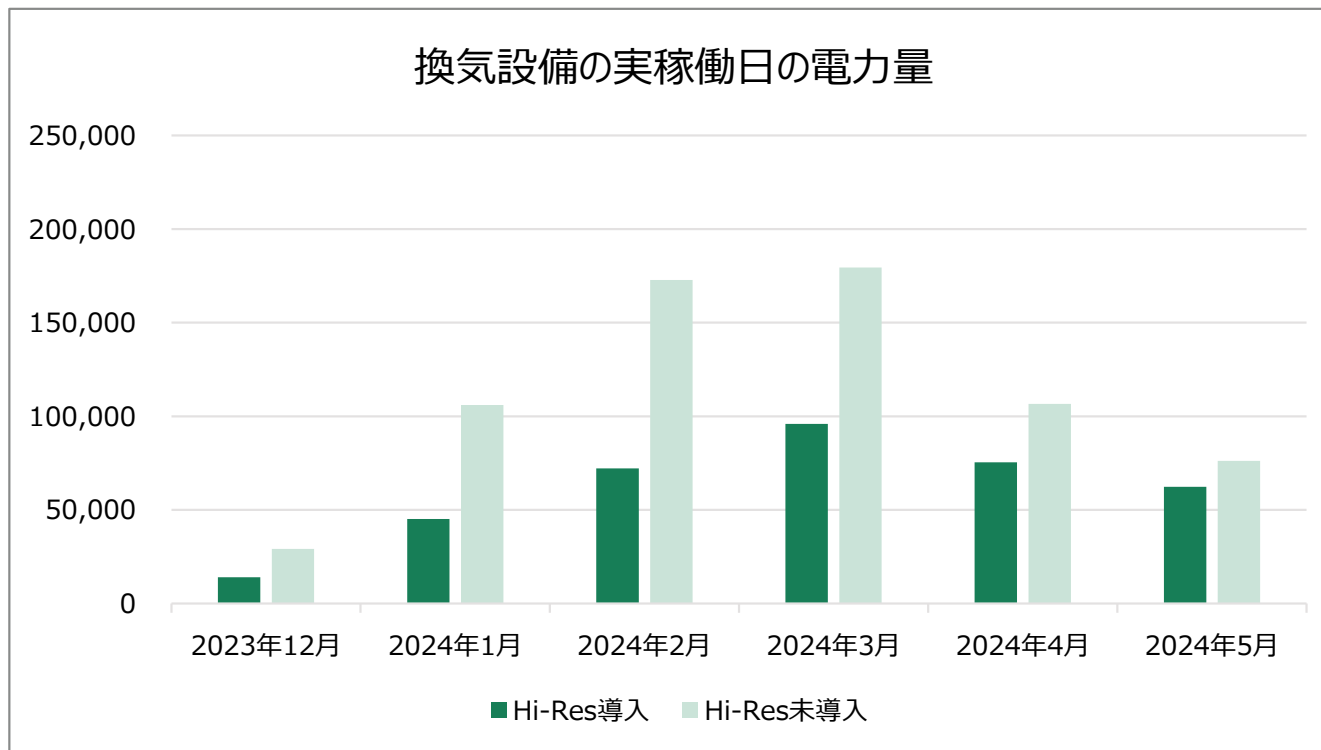
省エネに関する評価

サンプルNo	調査距離 /全長[m]	掘削方法	切羽作業実施日の 総電力量[kWh]		切羽作業実施日の 総電気料金[円]		削減効果	調査時期
			想定	実績	想定	実績		
トンネル①	404~659 /1,185	機械掘削	247,613	150,015	¥6,816,795	¥4,129,914	42%	2022年7月 ~2022年12月
トンネル②	899~1154 /2,609	発破掘削	408,218	312,691	¥12,622,601	¥8,608,393	27%	2023年8月 ~2024年1月
トンネル③	132~553 /1,632	発破掘削	670,225	365,026	¥14,416,539	¥7,851,717	45%	2023年12月 ~2024年5月

比較対象とする机上計算での一般現場の運用想定

- ・切羽作業員の昼夜交替時は換気設備出力を抑制したとする
- ・想定上の換気設備出力（大・中・小）は、当該月実データと同等とする
- ・切羽作業を休止した日は換気設備も作業に即した出力にしている（Hi-Resによる削減効果無し）とする

Hi-Resの運用効果



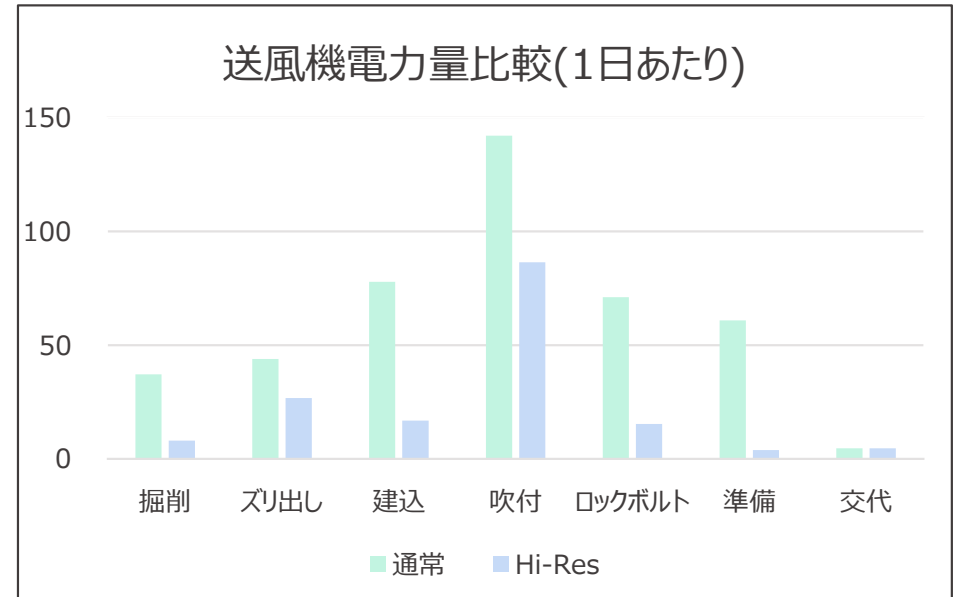
月	実稼働日 [日]	月進 [m/月]	備考
12月	7	51	
1月	14	47	・1/25～発破掘削開始
2月	21	121	
3月	20	108	・インバート工:21m
4月	13	78	・インバート工:63m
5月	12	67	・インバート工:90m

Hi-Resの運用効果

- 省エネに関する評価

Hi-Resで取得された工種履歴を用いて、Hi-Resによる使用電力量の削減効果を確認
 ※トンネル掘削初期のため、送風機のみ運転

工種		掘削	ズリ出し	吹付	建込	ロックボルト	準備	交代
風量設定	Hi-Resなし	大	大	大	大	大	大	小
	Hi-Resあり	中	大・中	大・中	中	中	小	小



調査対象

- ・工法 : NATM工法 (機械掘削)
- ・換気方法 : 希釈・封じ込め方式
- ・使用機械
 - 掘削 : ツインヘッド・バックホウ
 - ズリ出し : サイドダンプ・バックホウ
 - 吹付・建込 : エレクター付き吹付機
 - ロックボルト : ジャンボ

- ・ 1日の使用電力量は、Hi-Res導入により約7割削減
- ・ 発生する粉じんが少ない工種（建込・ロックボルト）や準備時間の削減量が大きく、全体の使用電力量削減に貢献している

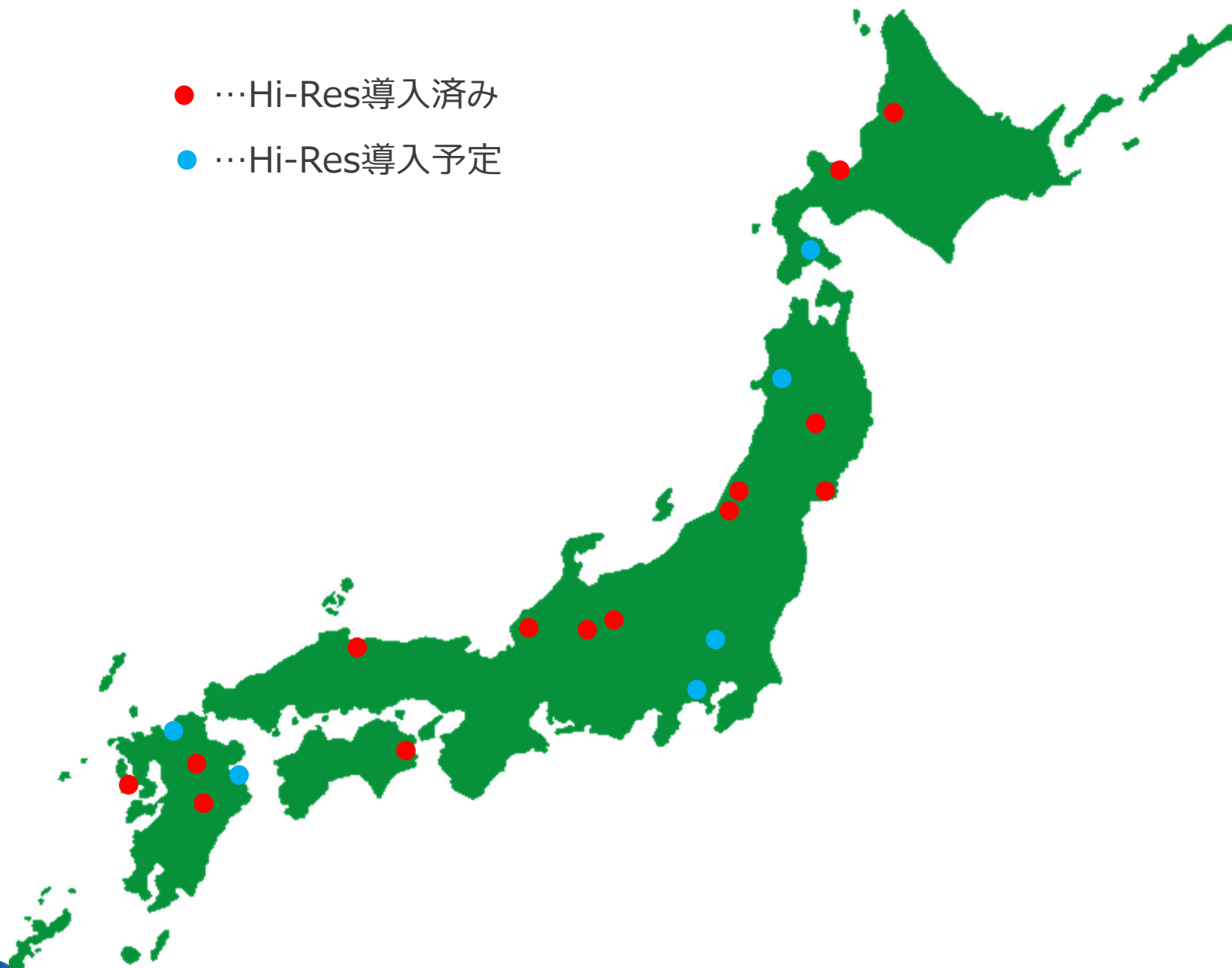


今後の展開（まとめ）

今後の展開

● …Hi-Res導入済み

● …Hi-Res導入予定



まとめ

- Hi-Resは山岳トンネル工事において生産性向上、SDGs対応（脱炭素への取り組み）のどちらにおいてもその効果を確認することが出来た
- 当社を含む全国のトンネル現場にてHi-Resの活用が進んでいる（共同開発先である菅機械工業（株）より、他ゼネコンへ提供）

課題・目標

- 現場の運用方針により、省エネ効果には大きな差が生まれている
⇒局所送風機による暑中対策など、効率的な運用を検討していく
- 現場の詳細な電力データの収集が可能になったが、活かせていない
⇒データ解析による省エネ策の検討、サイクルタイムデータを利用した新たな機能増設など、設備の拡張性を高めていく



ご清聴 有難うございました