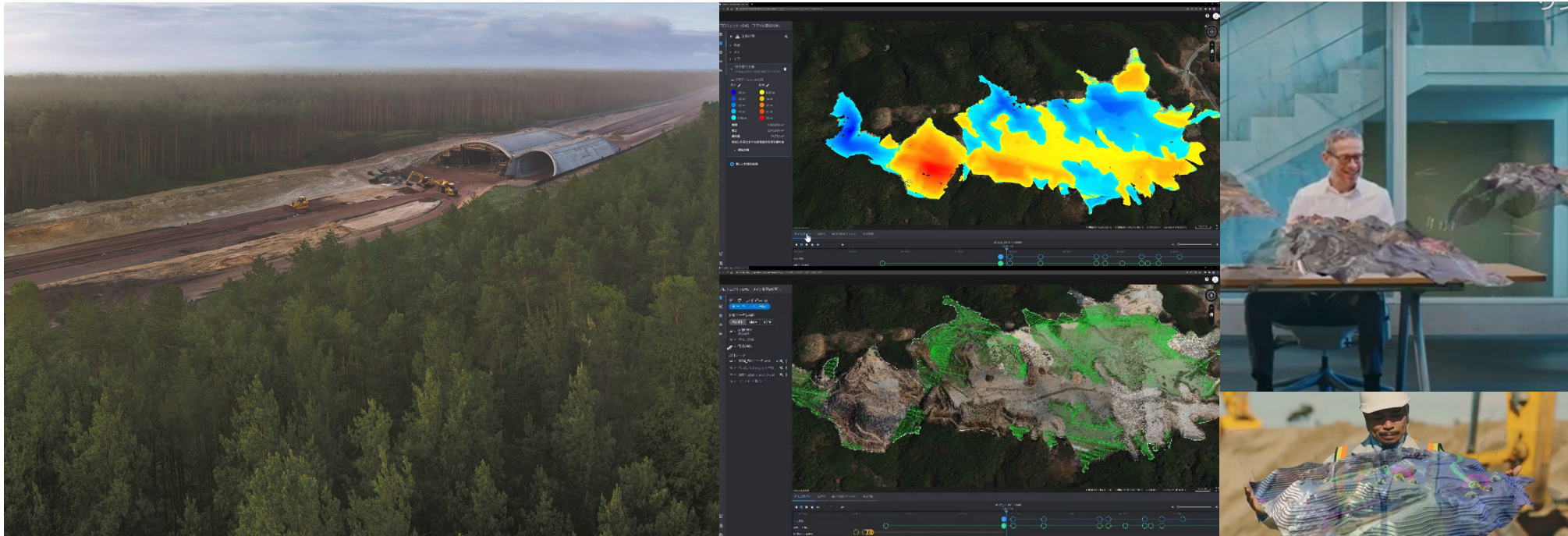




スマートコンストラクション®とその関連技術



山元 弘
コマツ CTO室 技監
令和6年8月29日

コンテンツ

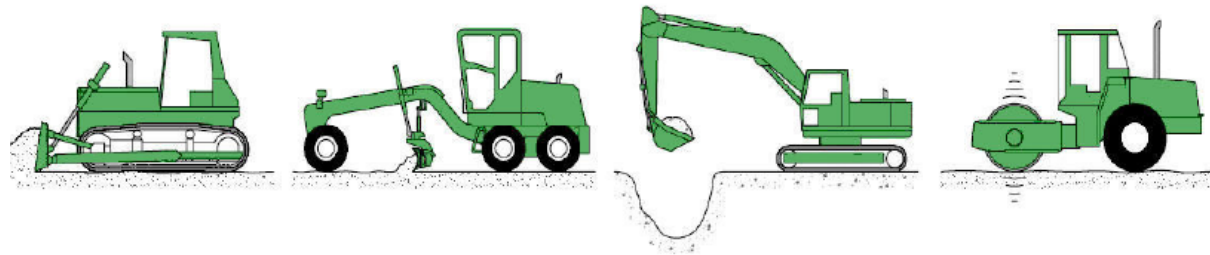
- 自己紹介
- 土工と情報化施工
- スマートコンストラクション®
 - 施工現場のデジタル化
 - 施工全体のDXへ
 - 施工中の課題発見
 - 施工計画
 - デジタルツイン
 - 遠隔建機
 - 自動化施工
- その他のコンテンツ

自己紹介

- 昭和57年、建設省(現国土交通省)入省。
- ダム・道路・河川・下水道等事務所、道路部・企画部等地方整備局、大臣官房・建設経済局・総合政策局等本省、技術事務所・土研等試験研究機関に在籍。
- 河川・道路関係土木機械設備、建設機械(除雪機械、災害対策機械、**建設ロボット技術（無人化施工含む）**等)、機械施工、**情報化施工**、施工調査、工事環境等の専門。
- ダム堆砂対策、橋梁点検診断、路面下空洞調査、路面性状調査、研究評価、知財等を経験。
- ISO15143(現場**データ交換**)、国交省総プロ「ロボット等によるIT**施工システム**の開発」(2003～07)を担当。
- 2016年9月より現職
- 博士(工学)、技術士(総合技術管理、建設－河川、砂防及び海岸・海洋)
- 大学 専攻生産工学 FMS(フレキシブル・マニファクチャリング・システム)の運用
- 大学 その他 6800マイコンによる五目並べ

土工と情報化施工

土工と主な建設機械



ブルドーザ

- ・地山粗掘削
- ・盛土材粗均し
- ・路盤材粗均し

モータグレーダ

- ・仕上げ掘削整形
- ・路盤材仕上げ均し

油圧ショベル

- ・掘削作業
- ・地山整形
- ・盛土整形

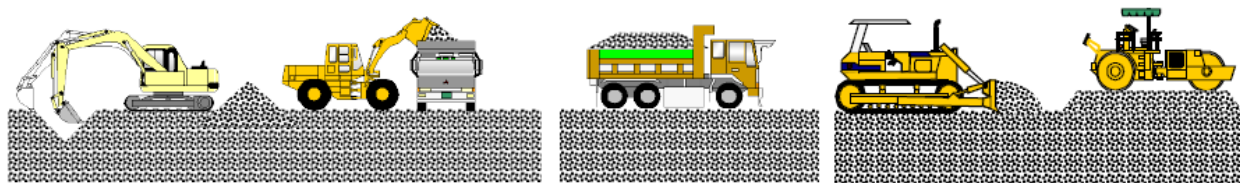
振動ローラ

- ・盛土転圧作業

土工は、土構造の工作物を作ったり、他の工作物の土台を作ったりするものである。

土構造は、大地と一体となり安定的で、安価な材料で安価に施工できるものとして、土木構造物の基本となっている。

土工は、主に、掘削、積込み、運搬、敷均し、締固めの工程からなり、これを行う汎用の建設機械として、油圧ショベル、トラクタショベル、ブルドーザ、モータグレーダ、ロードローラ等がある。



(a)土の掘削 → (b) 積込み → (c) 運搬 → (d) 敷きならし → (e) 締固め

油圧ショベル
ブルドーザ

油圧ショベル
ホイールローダ

ダンプトラック
クローラダンプ

ブルドーザ
油圧ショベル

タイヤローラ
振動ローラ

土工の手順は、概ね以下の通りである。

- (a) 切土現場において土を掘削し、
- (b) 掘削した土を運搬車両に積み込み、
- (c) 盛土現場まで運搬し、
- (d) 所定の厚さに土を敷き均して、
- (e) その土を機械で密に締め固めていく

土工の課題の例



丁張り

丁張は現場の原寸図に相当し、人が計測して設置する。

これを目安として、オペレータが機械を操作して施工し、精度の必要に応じて検測を行って、さらに修正作業を繰り返すことになる。

(計測・設置、検測・修正)

ここでは、時間(工程)と人手がかかっている

測量機械やテープを使って丁張りをかける



出典 「建設現場の課題解決とスマートコンストラクション」計測と制御、Vol58、No9、2019.9

土工の課題(生産性と安全性)の例から解決策へ

3次元情報を用いた作業支援のイメージ

・現場に設置された作業の目安を見て、目的の形状を確認しながら、掘削作業

作業が進むと印が消えるから、また測って印を付けなきゃ

・作業の目安の設置
オペレータが目で見えて掘る深さが分かる様に、深さを測って印を付ける。

・省力化・効率化が可能
・重機近傍での危険作業を改善

現状の掘削作業

・設計や現況の3次元情報をオペレータにわかりやすく提示することで、現場に直接目安を設置する必要が無い

掘る幅は？
掘る深さは？

safety

・作業の目安の設置
オペレータが目で見えて掘る形が分かる様に、測量して印を付ける。

Simulate close work
(by PWRI2003) For example.
Why is he there
He should not be there
A hydraulic excavator is nearby.
He should not measure the
depth of the ditch.
The depth of the ditch should
be measured by the hydraulic
excavator.

—— 設計の3次元情報

3次元情報の提示

Source : PWRI2003

図は、建築基礎掘削の深さを計測して、修正作業を行う近接作業の模擬。

時間がかかる。

人が溝の中に棒を持って入り、オペレータが所定の掘削深さとの差分がわかるようにする。溝のふちがどこなのか、白線を引き直している。

機械近傍での検測作業は危険である。

建設機械自体で計測ができるのであれば、この検測作業は不要となり、人が機械の近くにいる危険性もなくなる。

これはICT活用で、可能となる(図右下)

安全の解決策の例

It is now possible to measure the depth of the ditch using machine control or guidance technology. -for example



Depth setting MC (Komatsu)

Autonomous 3D excavator (PWRI 2007)

The basic idea is to solve by technology.

The technical points to be pursued are as follows.

1. Substitute by machine
2. Machine/person separation
3. AI avoidance, etc.

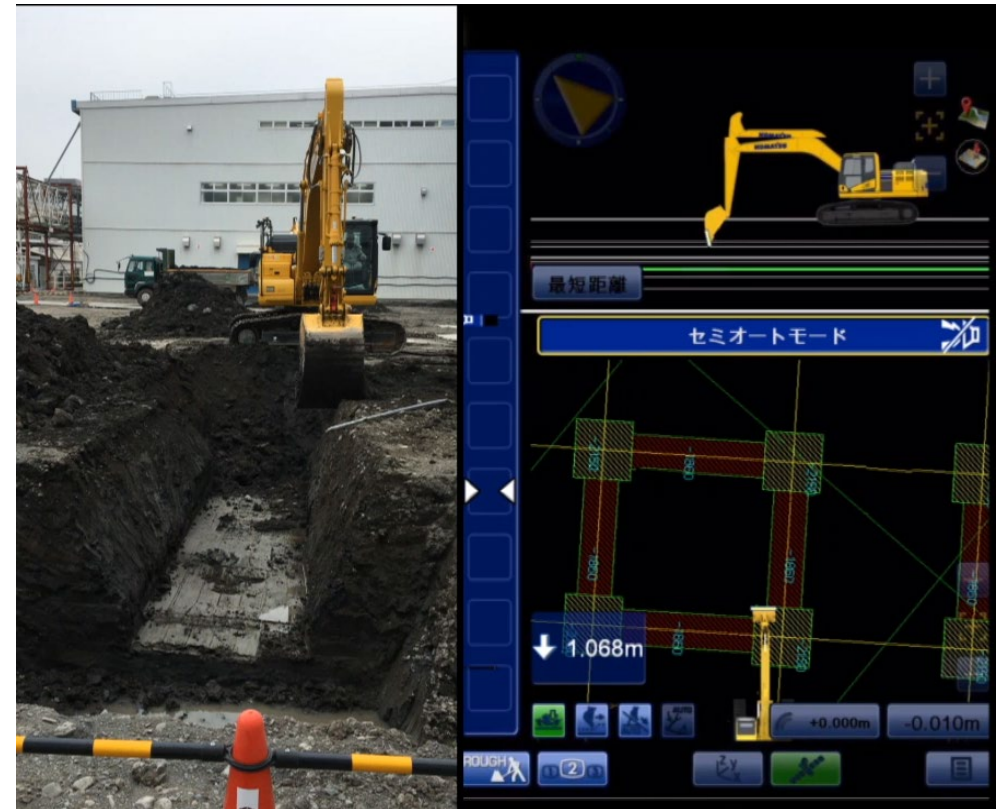
出典 : 「建設生産とロボット技術活用の展望」
国際建設ロボットシンポジウム2020

In the future, it is expected that in many situations, people will achieve what they do not need do.

機械で深さがわかる。
技術で解決する。

マシンガイダンス(MG) 位置だけ表示
マシンコントロール(MC) 制御も行う

デジタル化された建機だけでも、事故リスクを大幅に軽減します



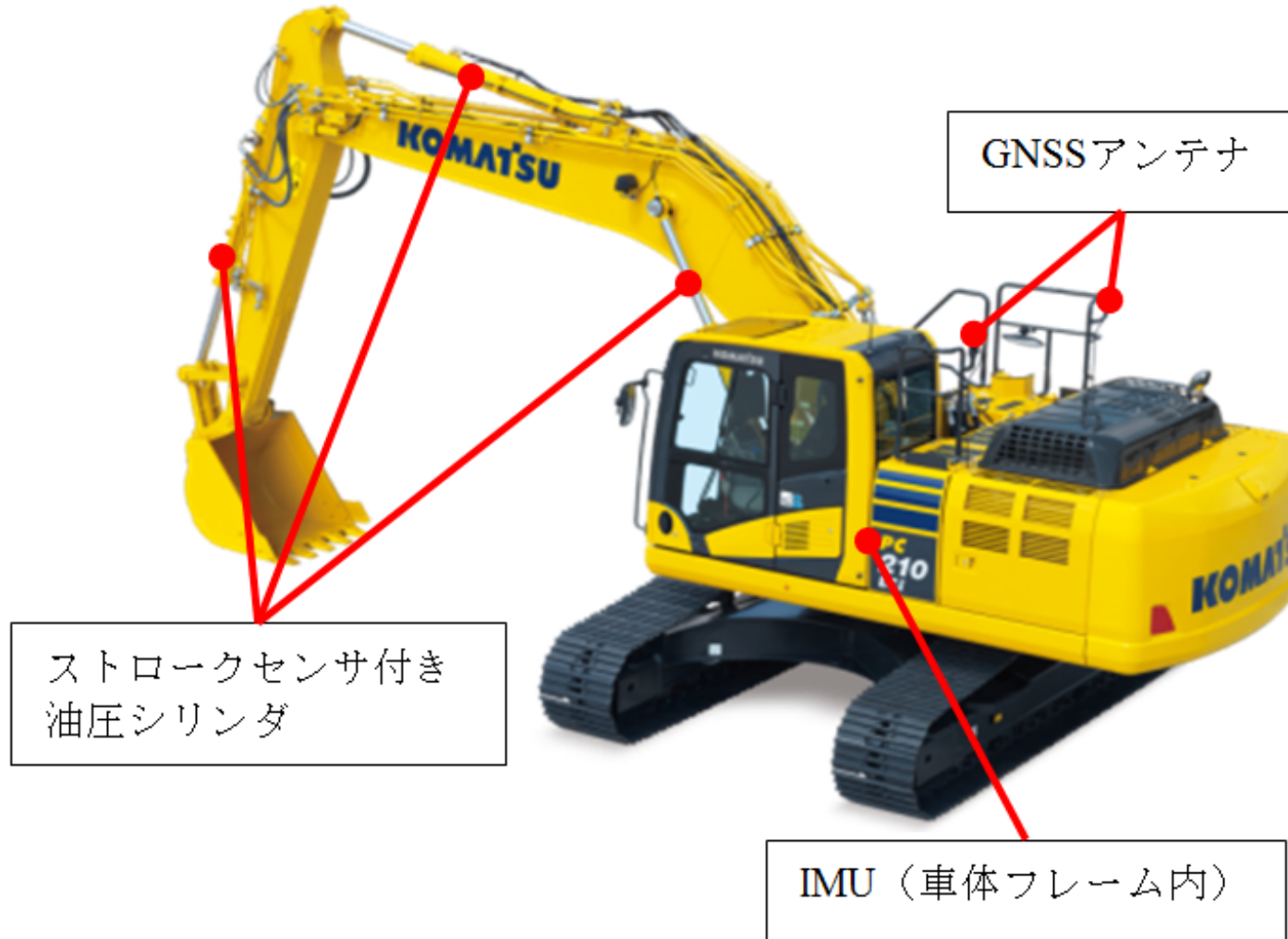
3次元での設計図面データなしで、簡単に、安全に掘削作業ができます
「クイックスマートコンストラクション」



排土板を自動制御するためには、排土板の位置と、排土板のあるべき位置がわかる必要がある。（走行は手動）

車体は、ネットワーク型RTK-GNSS（リアルタイムで、補正データは携帯電話回線経由）で位置がわかり、IMU（慣性センサ）で姿勢（傾き）がわかる。排土板は、油圧シリンダのストロークセンサで位置がわかる。

敷均しの設計施工データがあれば、排土板の平面位置がわかった時、その場所での排土板両端各々のあるべき高さ位置が決まる。排土板がこの高さ位置になるように、油圧シリンダを制御する。



IMUとストロークセンサでバケットの位置がわかる.

上部旋回体が旋回するので, GNSSアンテナが2つで向きがわかる.

制御は, 領域制限機能であり, バケット(刃先)が, 設定された面(例えば設計面)を越えないように, 滑らかに制御される. (自動でなく手動との協調)

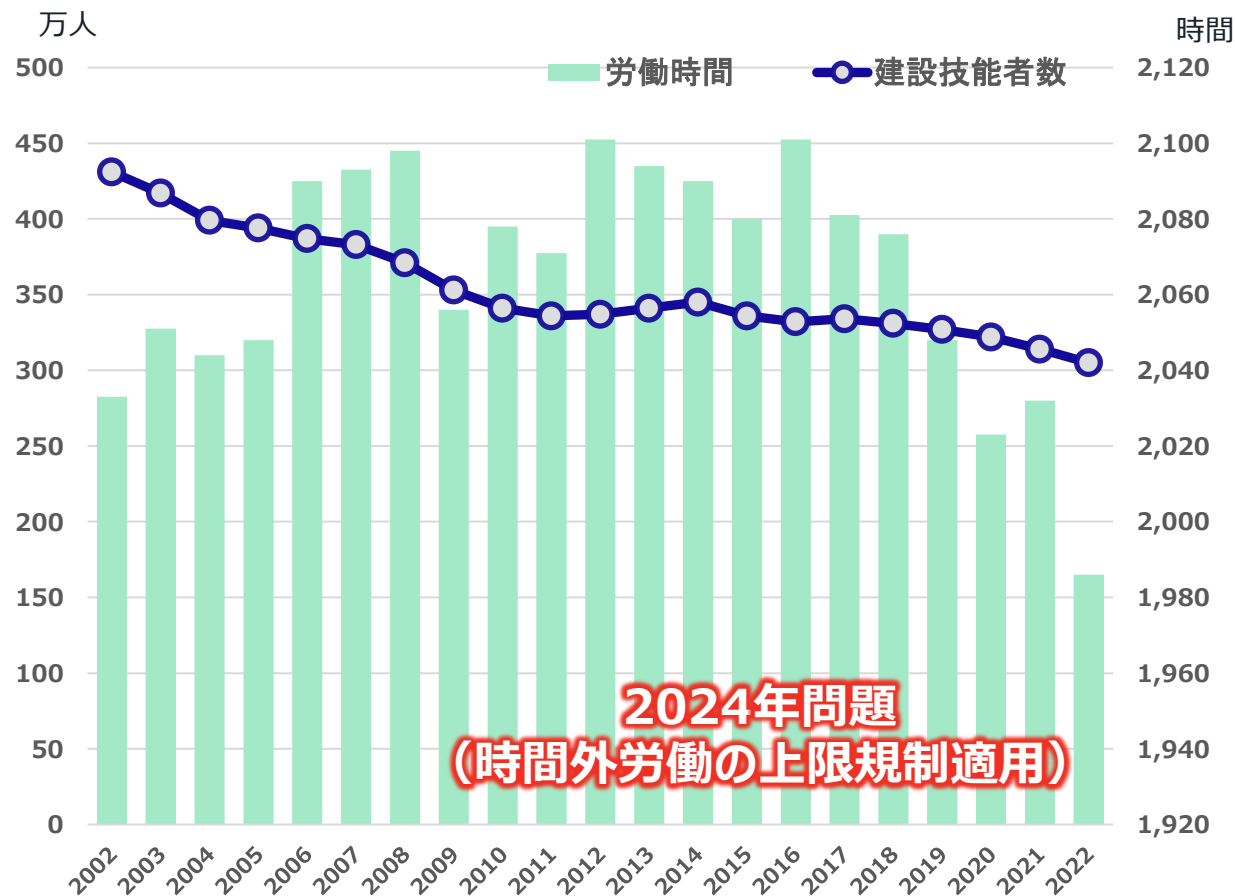
情報化施工の進展

- 「情報化施工」とは、施工や関連する課題をICT活用により改善しようとするもの。
- 狭義にはICT建機を活用する施工である。
- 時間短縮(生産性向上)を生かす施工計画や柔軟な段取り替え、周辺・関連工事やその発注内容・時期への的確な反映があれば、さらに効果が期待できる。
- ICT建機が稼動するのは、施工全体の一部である。
- ICT建機の実産性向上(狭い範囲の部分最適)だけでなく、これを生かす施工全体の生産性向上を考える必要がある。
- このためには、現場の機械土工を含む施工を一貫した(3次元)データで取扱える仕組みが望まれた。

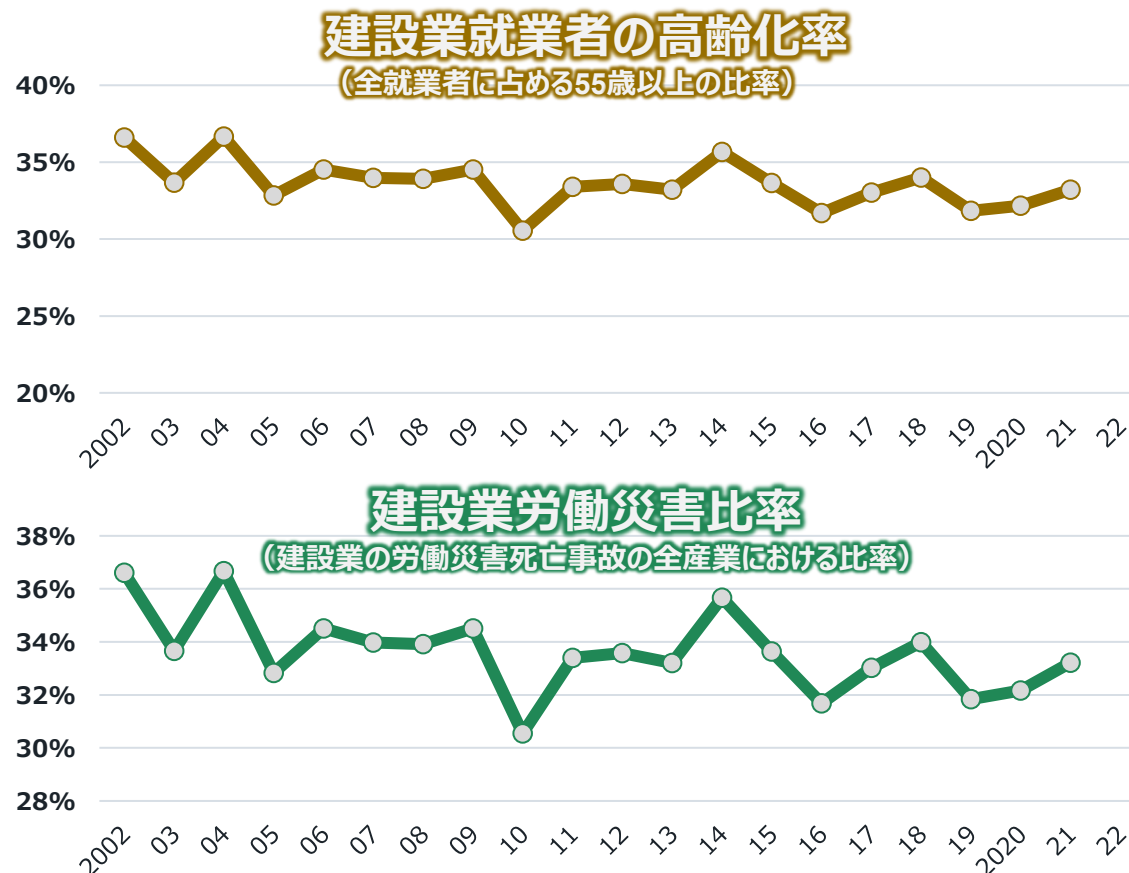
スマートコンストラクション®

お客様が直面されている課題

建設技能労働者数は減少、
総労働時間も大きく減少している



建設業就業者の高齢化率が高まり、
また労働災害率も高いレベルにある



お客様のありたい姿へ、課題解決のお手伝いをしたい

人手不足、技能者の高齢化
危険度が高い労働環境



お客様の現状



お客さまのありたい姿

安全で、生産性が高い
スマートでクリーンな未来の現場

お客様の課題解決には、部分的ではなく、施工全体での課題解決が不可欠

自社の製品が関与するのは、“**施工の一部プロセス**”の一部のみ

計画

設計

施工準備

施工中

施工完成

維持
管理

掘削

積込

運土

盛土

転圧

法面

舗装



施工中の一部プロセスのみに使用



ICT建機
(3Dマシンコントロール)



“安全で、生産性高い、スマートでクリーンな未来現場”の実現を目指して



**お客様の現場の課題を、
お客様と一緒に現場に立ち、
一つ、一つ解決していく**



これまでに無い現場を、これからも現場とともに

SMART CONSTRUCTION®

**2015年2月
「スマートコンストラクション®」をスタート**

“モノ”と“コト”でお客様課題を解決し、新たな価値を創造する

“モノ”



建設機械



“コト”



建設機械を使用した施工

(スマートコンストラクションの場合)

顧客価値の最大化

レベル5
施工タスク生成・指示

レベル4
施工計画の最適化

レベル3
データ・モニタリング

レベル2
地形・現場の可視化

レベル1
現場のデジタル化

コト【顧客プロセス全体の最適化レベル】

従来施工

モノ【機械の自動化・自律化レベル】

レベル1
運転支援
限定

レベル2
運転支援
範囲拡大

レベル3
高度化
単独自動

レベル4
高度化
協調自律

レベル5
高度化
判断自律

モノ【機械の効率化/低排出カーボン化レベル】

レベル1
内燃機関

レベル2
エネルギー
回生

レベル3
水素混焼
エネ回生

レベル4
フル電動
有線/電池

レベル5
燃料電池

◆ カーボンニュートラル

◆ 安全で生産性の高い
スマートでクリーンな
未来の現場

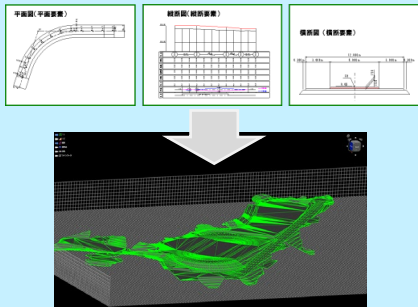
スマートコンストラクション®は施工プロセスの3D化・デジタル化を実現する

施工準備

3次元 起工測量



3次元 設計データ



施工中

ICT建機による施工 (3次元MG/MC)



3Dマシンコントロール 油圧ショベル・ブルドーザ



3Dマシンガイダンス レトロフィットキット

施工計画作成・手配

施工管理

「進捗管理」 出来高・出来形管理
「コスト管理」 機・労・材管理など

完工・検査

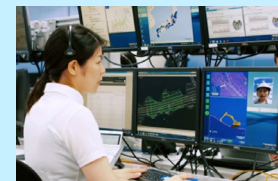
3次元 出来形管理



スマコン アプリ



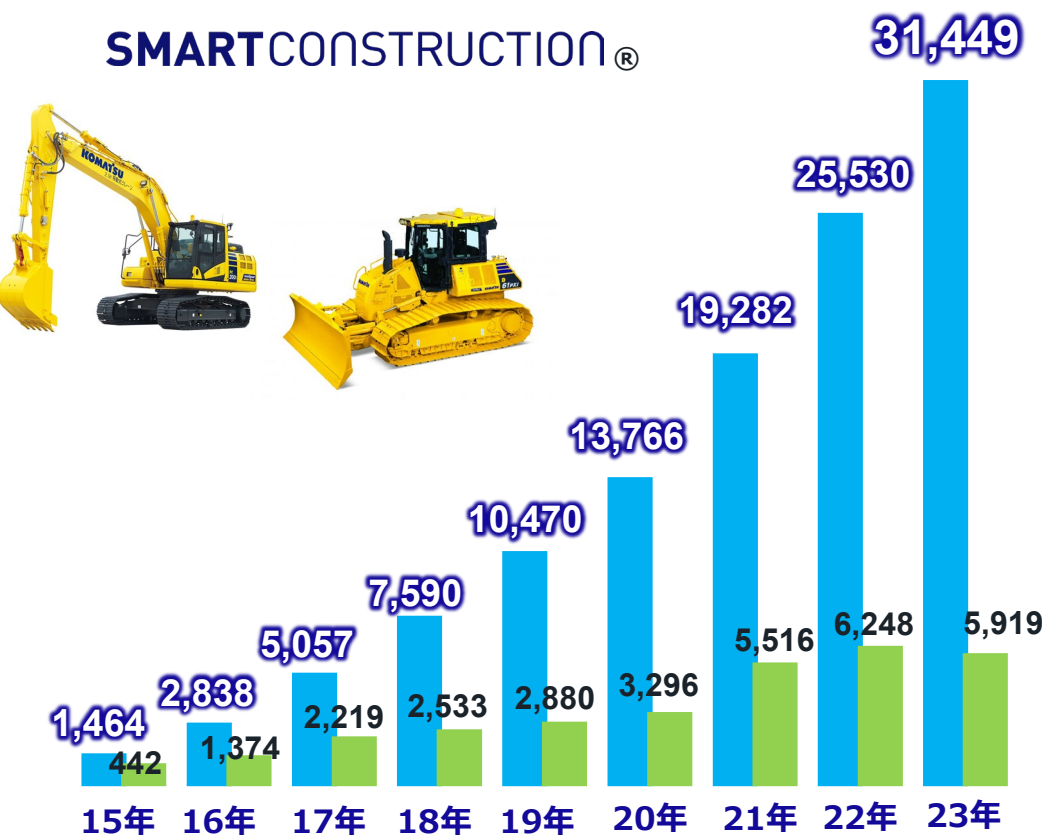
現場サポート



サポートセンタ

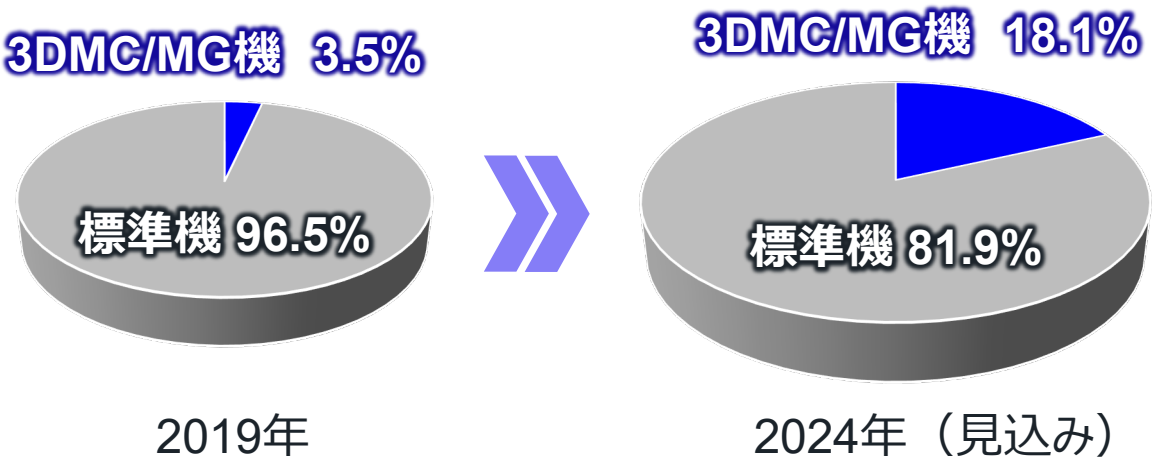
スタートから10年目に入るスマートコンストラクション®

スマートコンストラクション導入現場数は、
累計で3万現場を超えた（日本国内のみ）



油圧ショベルの3DMC/MG率は、
稼働台数ベースで18%まで高まった（コマツ製のみ）

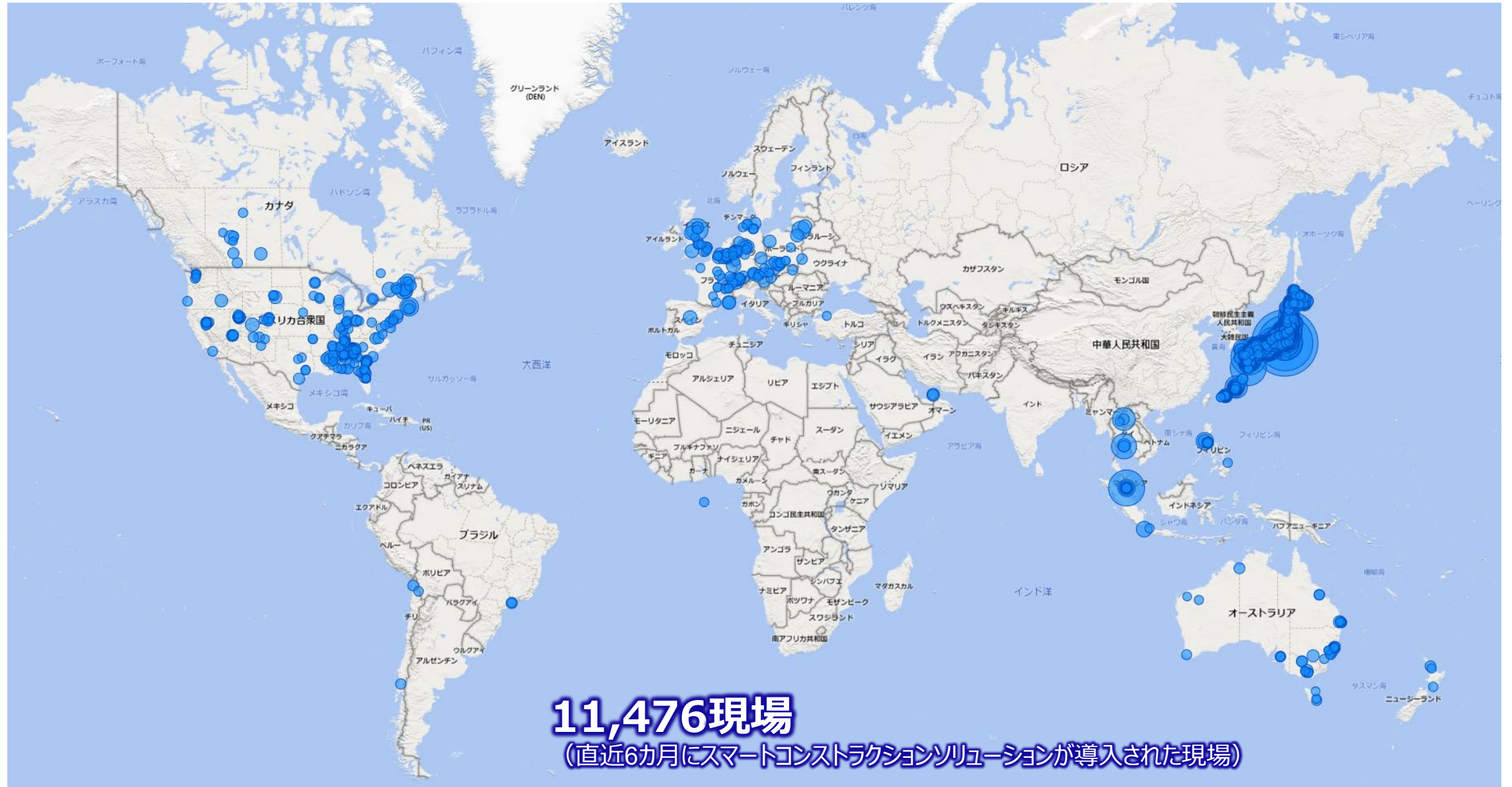
コマツ製油圧ショベル稼働台数における3DMC/MG比率



※当社推定値



スマートコンストラクション®は、日本から世界に広がる

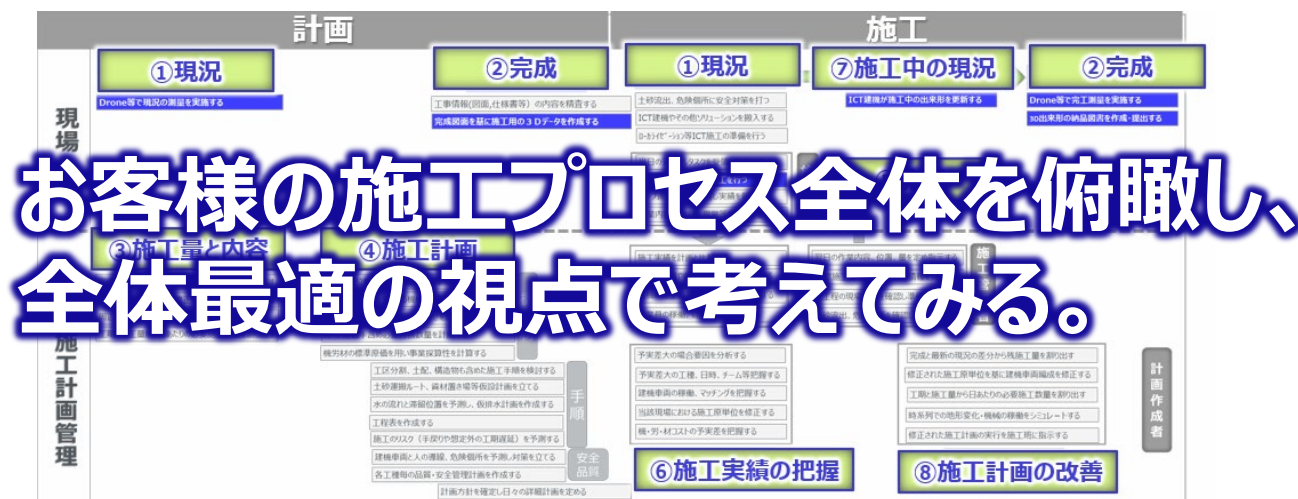


施工現場のデジタル化から、いよいよ**施工全体のDXへ**
i-construction 2.0へ

スマートコンストラクションを一度、立ち止まり考える

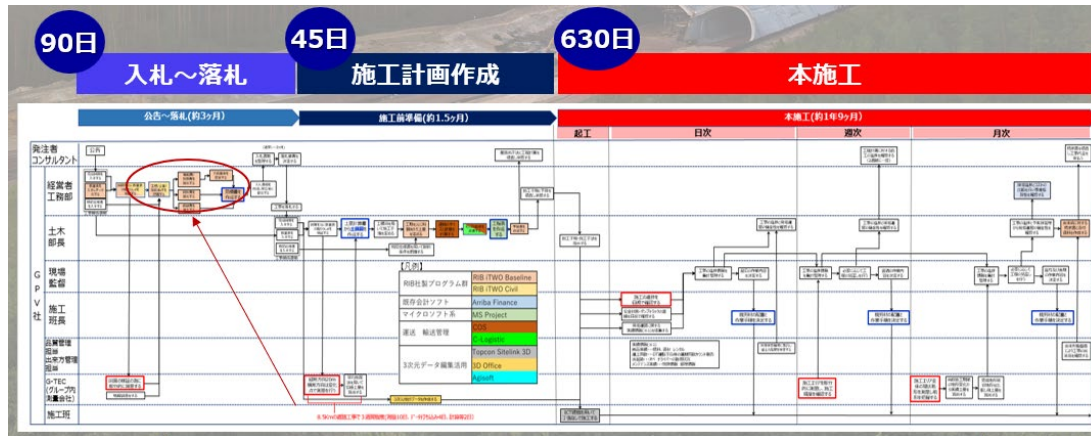


2015年から、多くの現場で
様々な課題を理解し、
お客様と一緒に解決してきた。

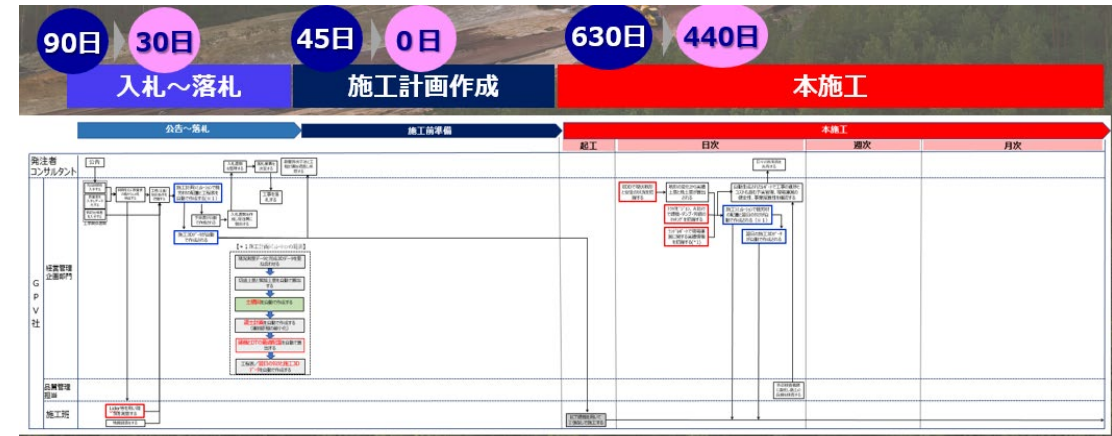


施工のプロセスが大きく変革する DXスマートコンストラクション

施工前から施工中まで、デジタル上に忠実再現できたら、課題を事前に把握でき解消できる、最適な施工計画を作成・実行できる。



ドイツの高速道路工事での施工プロセス



デジタルツインで最適化されたプロセス
土木施工のDX

地形、機械、技術者、材料全てがデジタル空間につながる

①施工のオートメーション化

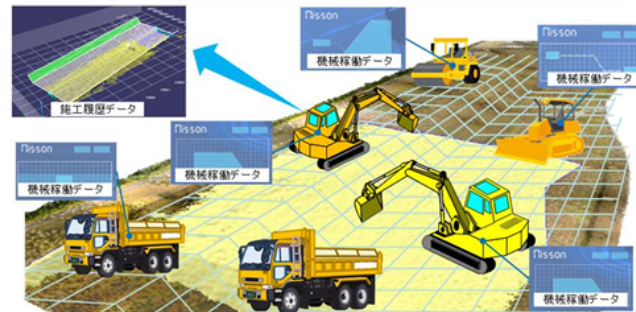
- 建設現場をデジタル化・見える化し、建設現場の作業効率の向上を目指すとともに、現場取得データを建設機械にフィードバックするなど双方向のリアルタイムデータを活用し、施工の自動化に向けた取組を推進する。

【短期目標】現場取得データをリアルタイムに活用する施工の実現

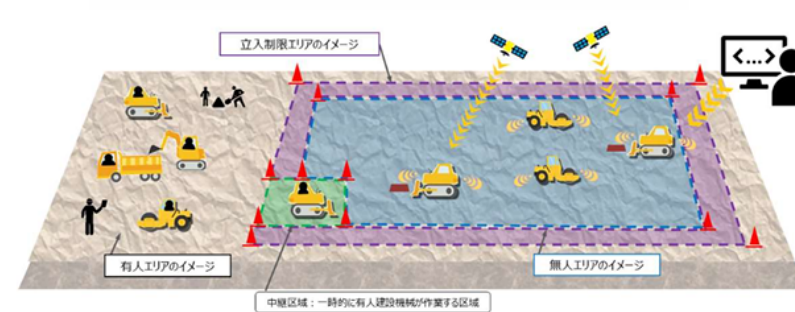
【中期目標】大規模土工等の一定の工種・条件下での自動施工の標準化

【長期目標】大規模現場での自動施工・最適施工の実現

現場↔建機の双方向でリアルタイムデータ活用



自動施工の導入拡大に向けた基準類の策定



<ロードマップ>

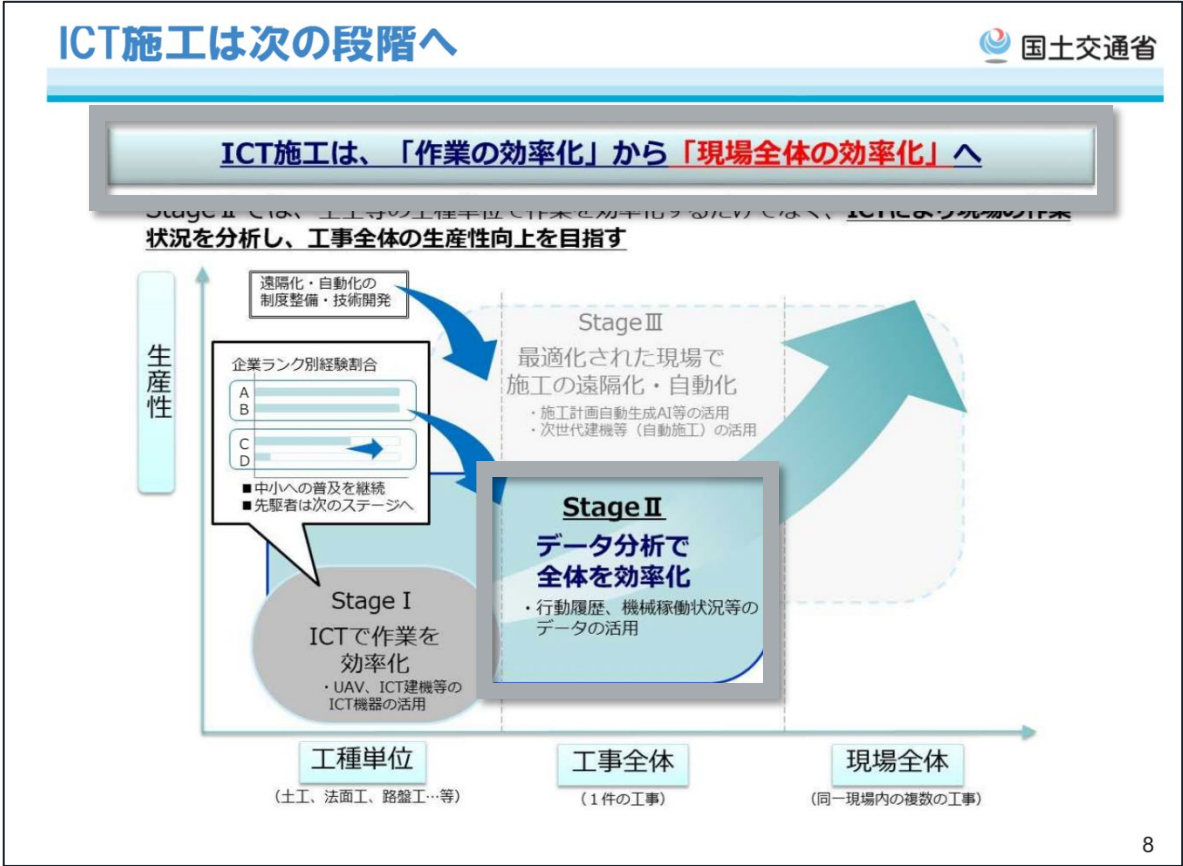
	短期（今後5年程度）	中期（6～10年後程度）	長期（11～15年後程度）	実現
自動施工	安全ルール、施工管理要領等の技術基準類の策定 ダム施工現場等での導入拡大	大規模土工現場での導入試行	導入工種の順次拡大	大規模現場での自動施工の実現
遠隔施工	砂防現場における活用拡大	通常工事における活用拡大		最適施工の実現
施工データの活用	データ共有基盤の整備（土砂運搬など建機効率化）	施工データを活用した施工の最適化	AIを活用した建設現場の最適化	最適施工の実現

※今後の技術開発状況等に応じて適宜更新

国土交通省の施策 データは「作る」から「使いこなす」時代へ

● 工事全体の効率化へ

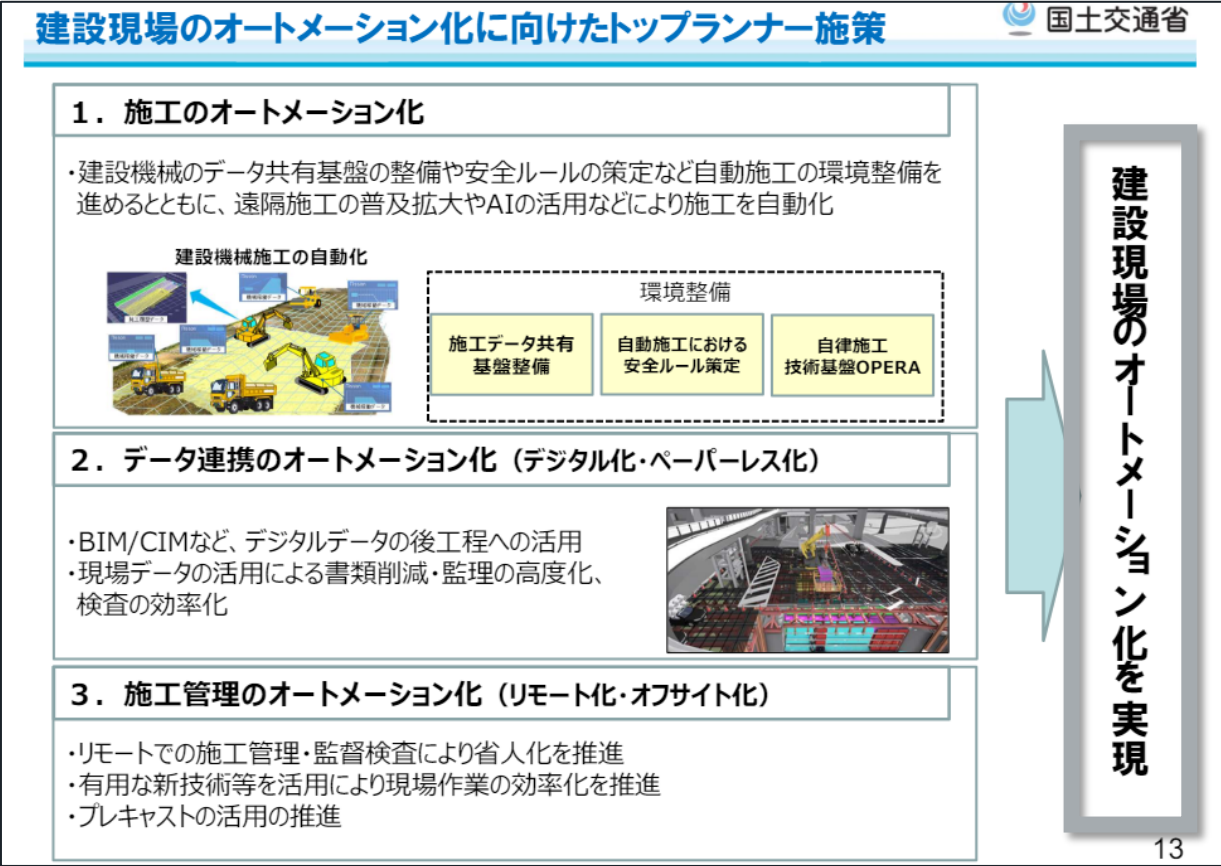
2023年3月発表



出典：ICT施工の普及拡大に向けた取組（国土交通省）

■ i-Construction 2.0の発表

2024年4月発表



出典：i-Construction 2.0 ～建設現場のオートメーション化～（国土交通省）

DXスマートコンストラクションの実現したい、ありたい姿

施工現場のデジタルツインで可視化



PDCAを回し施工計画を最適化



施工現場の完全デジタル化
出来形・機労材の実績データ
IoTでつながる

手戻りのない見直しされた施工手順
機械、車両、人にガイダンスされ、
一部は遠隔化、無人化で施工される



DXスマートコンストラクションのソリューション



DXスマートコンストラクション®は、3D化・デジタル化されたプロセスをつなぐ活用する

施工準備

施工中

完工・検査

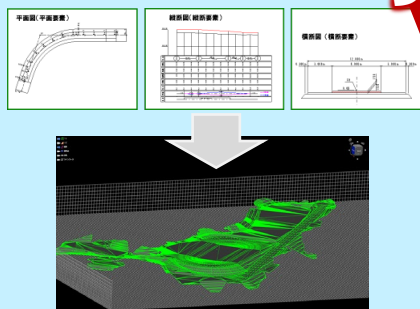
3次元 起工測量

つなげる



3次元 設計データ

つなげる



施工計画

ICT建機による施工 (3次元MG/MC)



3Dマシンコントロール
油圧ショベル・ブルドーザ



3Dマシンガイダンス
レトロフィットキット

つなげる

3次元 出来形管理



つなげる

施工管理

デジタルツインを活用



現場サポート



サポートセンタ

施工の見える化 施工中の課題発見

施工現場の機械、人、材料のデジタル化・IoT化

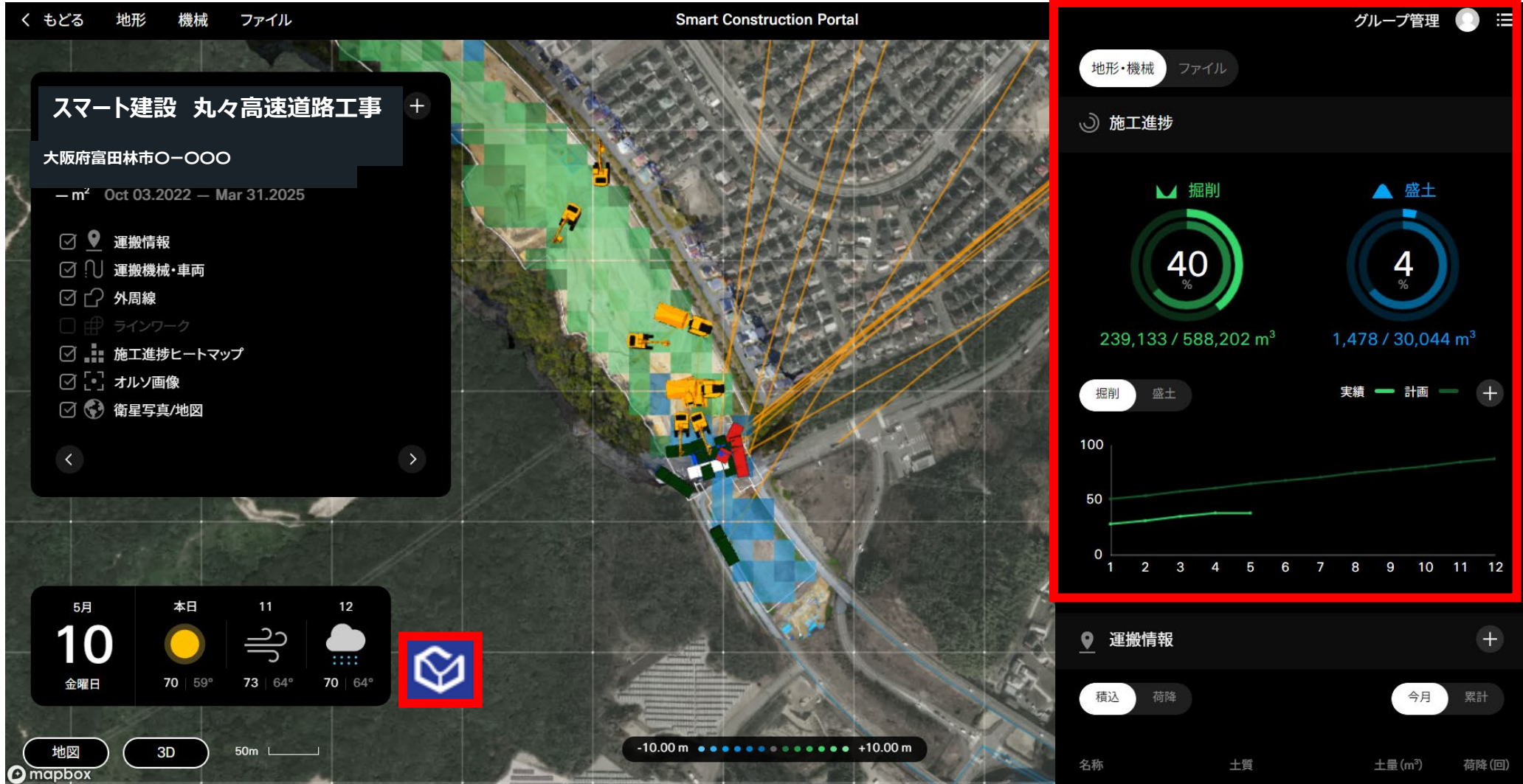
可視化は、様々なレベルから可能になる



可視化は、各プロセスのソリューションがつながり、深化していく

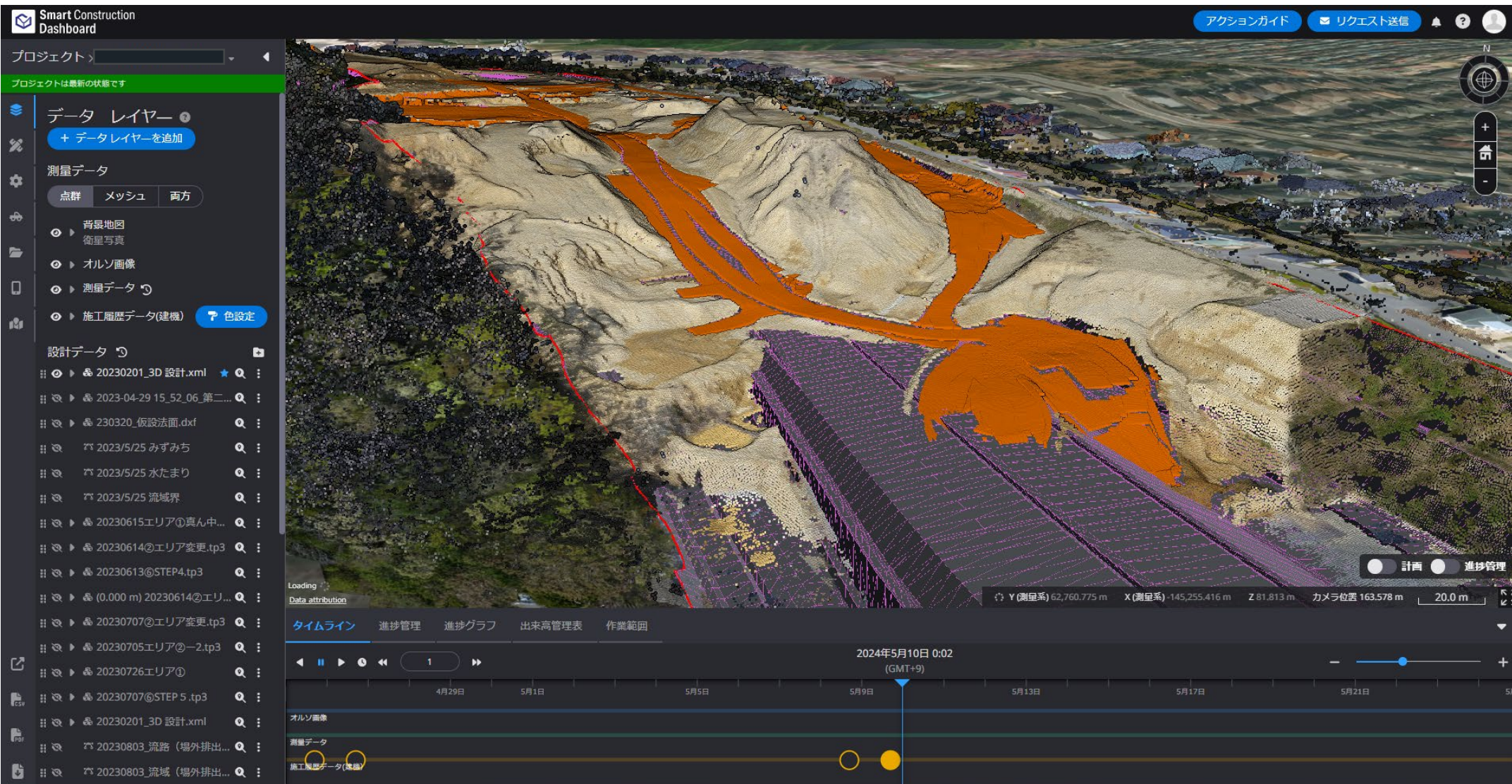


Smart Construction
3D Machine Guidance

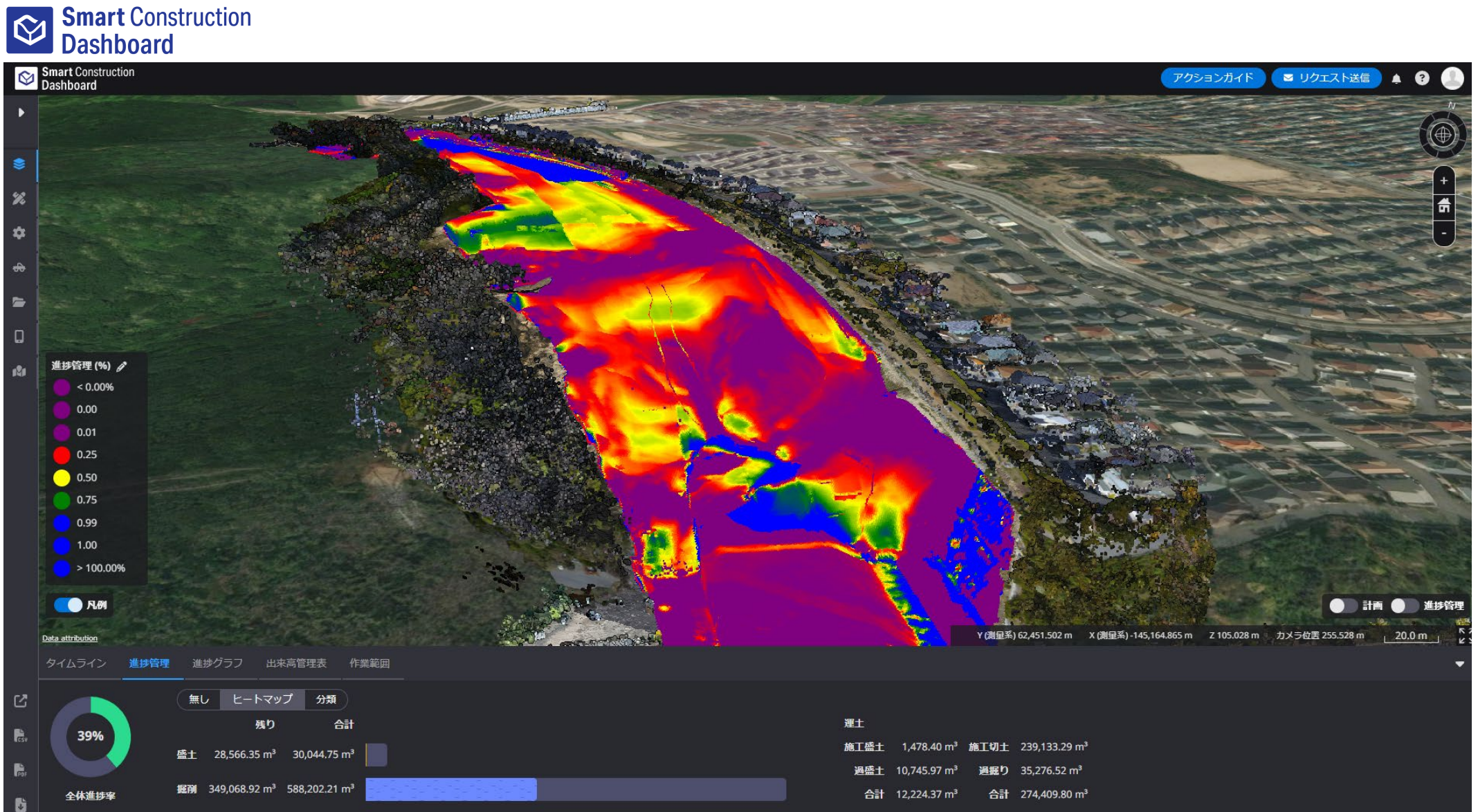

**Smart Construction
Dashboard**

施工現場のデジタルツインで時系列で可視化が可能、課題の発見もできる

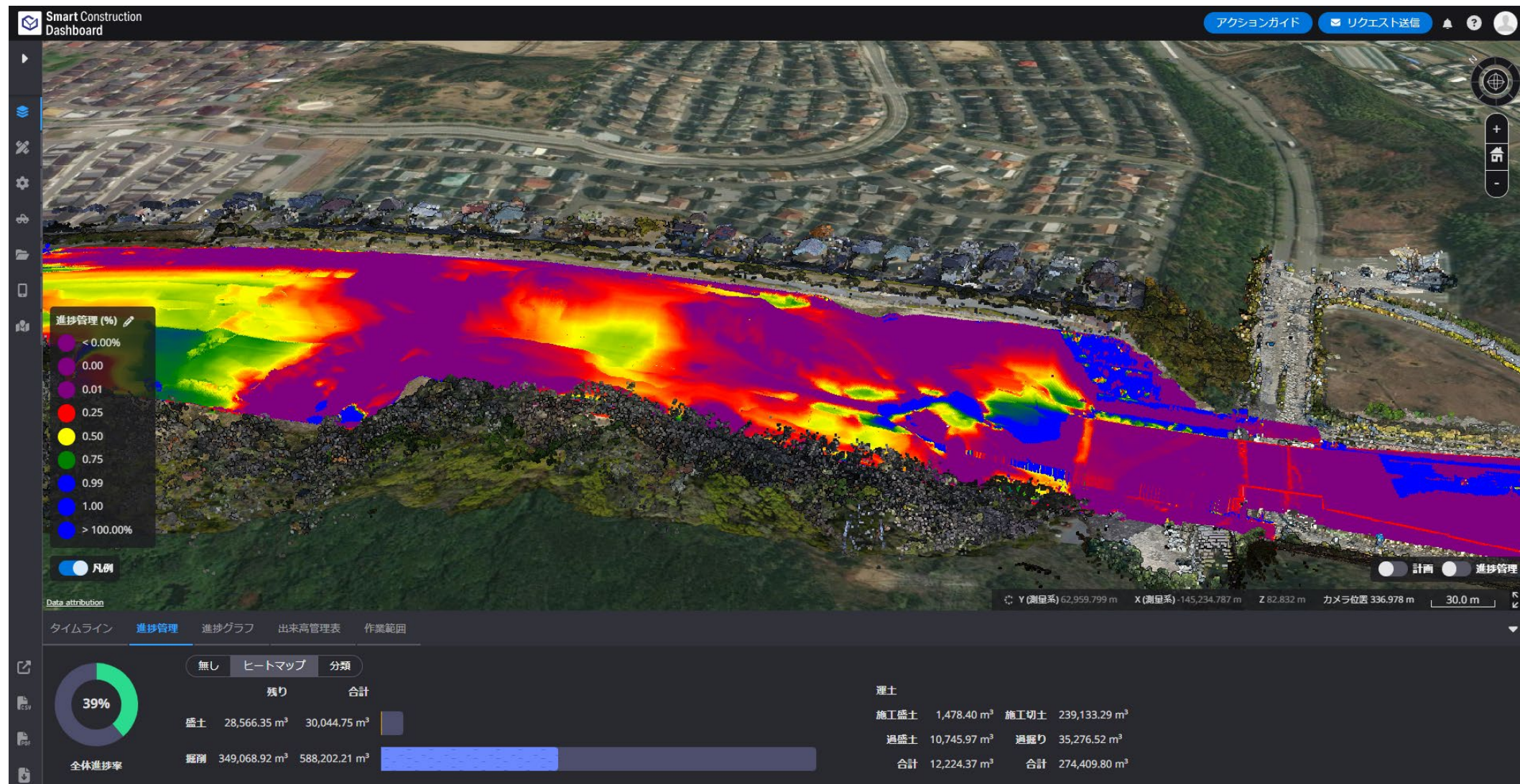
Smart Construction Dashboard



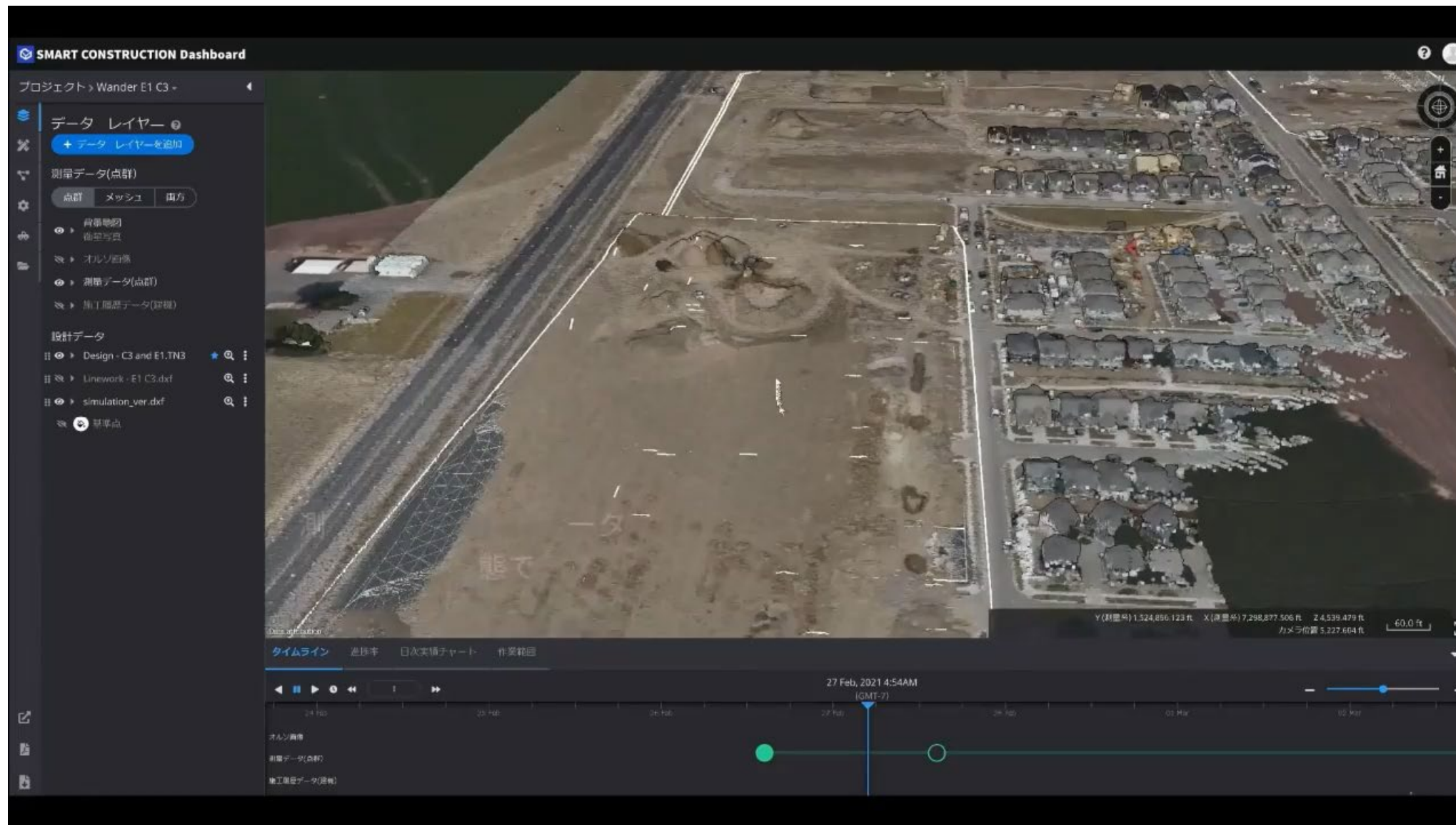
施工現場のデジタルツインで時系列で可視化が可能、課題の発見もできる



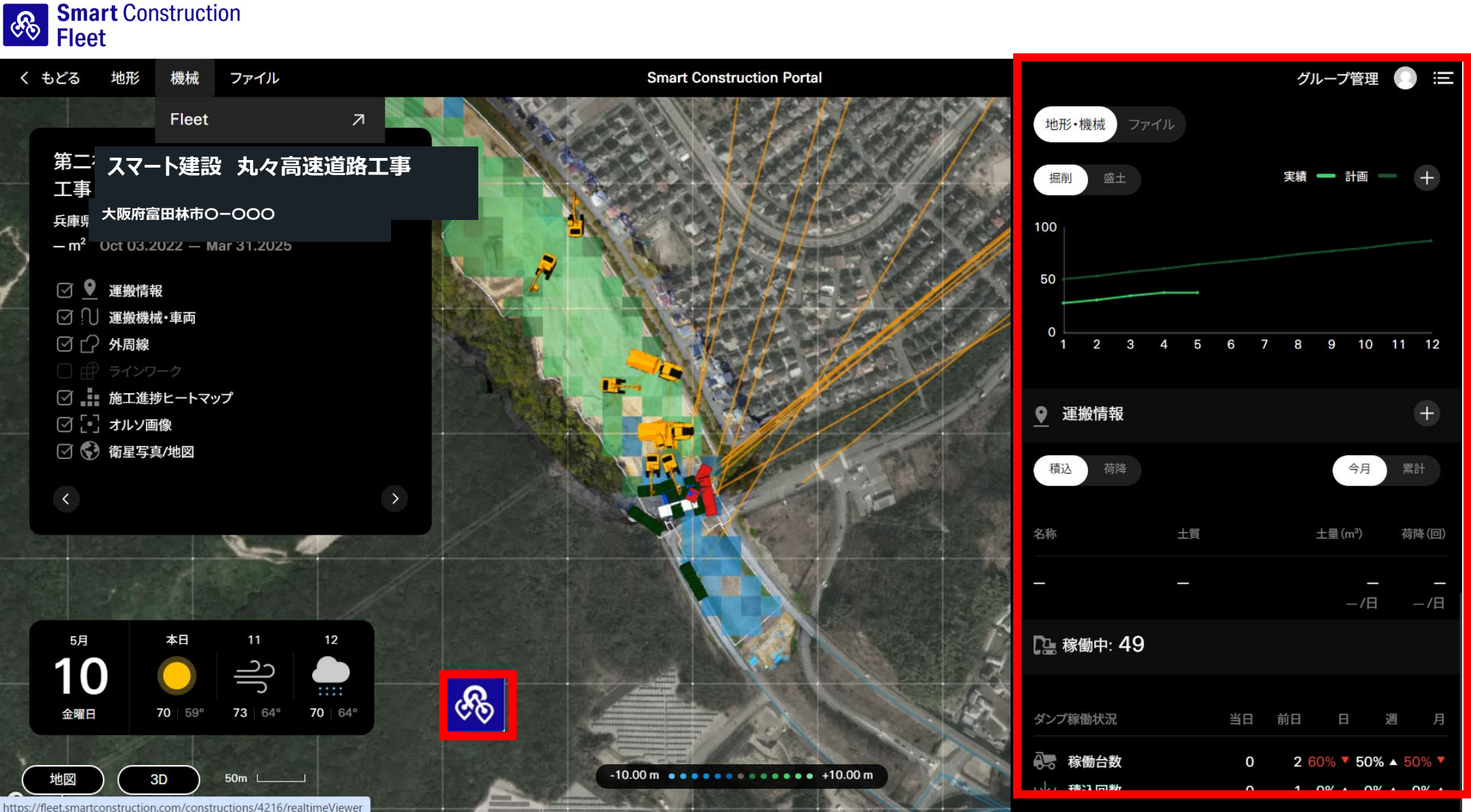
施工現場のデジタルツインで時系列で可視化が可能、課題の発見もできる



施工現場のデジタルツインで時系列で可視化が可能、課題の発見もできる



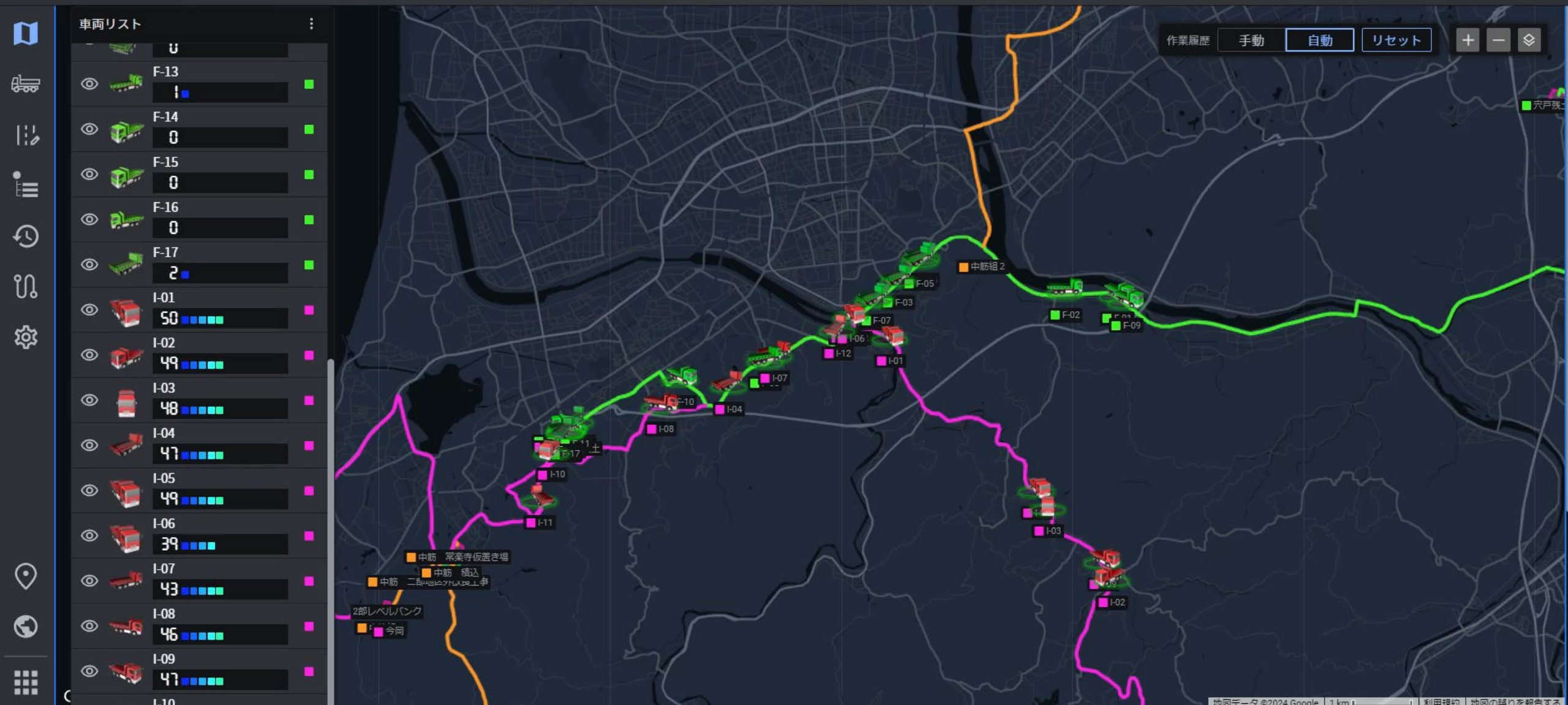
施工現場の機械・車両をリアルタイムで可視化できる



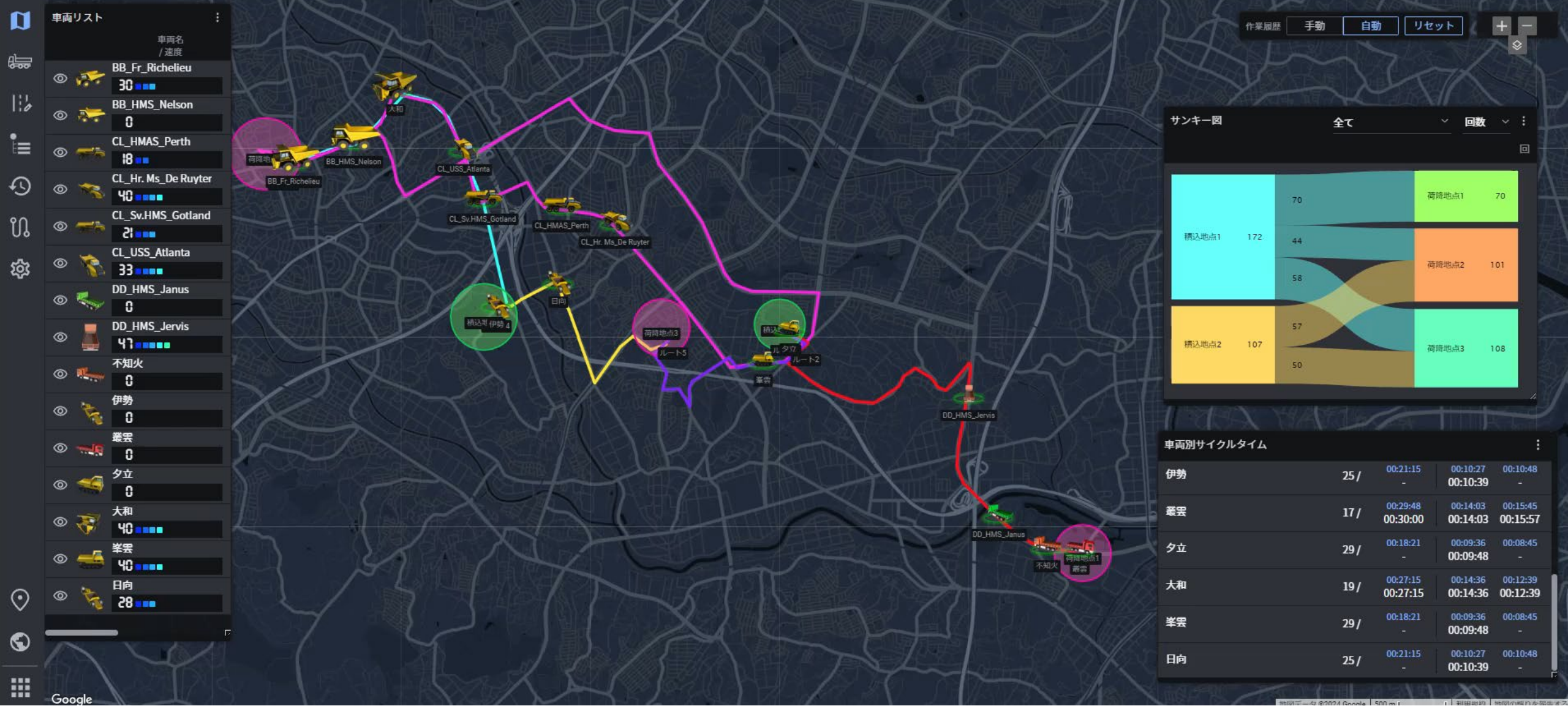
施工現場の機械・車両をリアルタイムで可視化できる



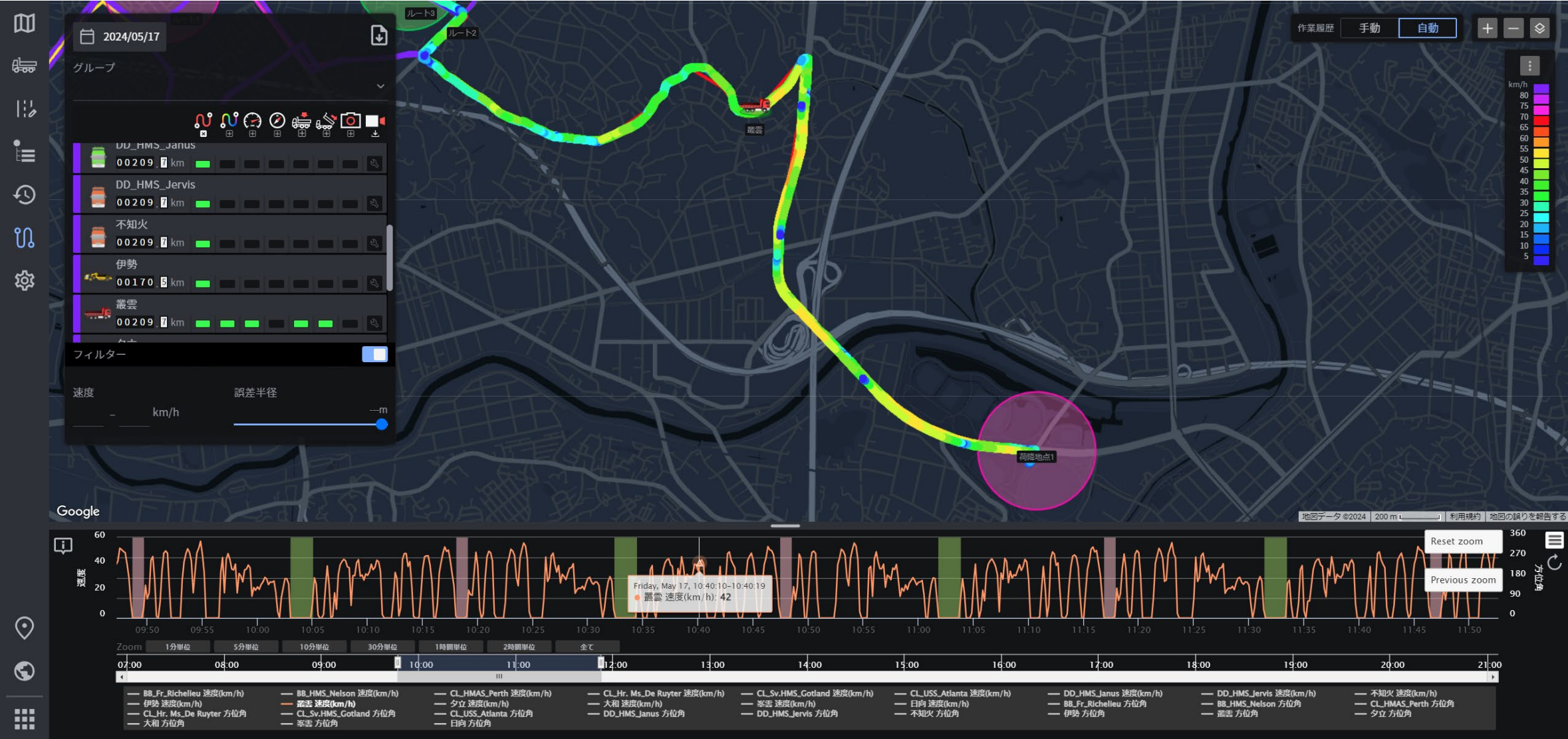
土砂運搬車両をリアルタイムで可視化



積み込み、荷降ろし状況もリアルタイムで可視化



運搬車両の安全運行も管理可能



建機の稼働と合わせて、映像で作業確認ができる録画機能



車両の稼働と合わせて、映像を確認できる録画機能

The screenshot displays the 'stgリアルタイムビュー: ja' (STG Real-time View: ja) interface. At the top, the title bar shows '20240520_高速道路テスト(V5 STG)' and navigation icons. The main area is a map with a red pin labeled 'DT01' and a blue line indicating the vehicle's path. Two side panels are visible: '車両リスト' (Vehicle List) on the left and '車両別撮影画像' (Vehicle-specific Shooting Image) on the right. The '車両リスト' panel shows a table with columns for '車両名 / 速度' (Vehicle Name / Speed) and a list of vehicles, including 'DT01' with a speed of 81. The '車両別撮影画像' panel shows a video frame of the vehicle 'DT01' at 10:39:39. The map includes labels for '青葉台⇄泉ガーデン' and '泉ガーデン⇄美浜'. The bottom right corner shows the Google logo and a scale bar.

stgリアルタイムビュー: ja

20240520_高速道路テスト(V5 STG) ▾

作業履歴 手動 自動 リセット + -

車両リスト

車両名 / 速度

DT01 81

車両別撮影画像

DT01 10:39:39

青葉台⇄泉ガーデン

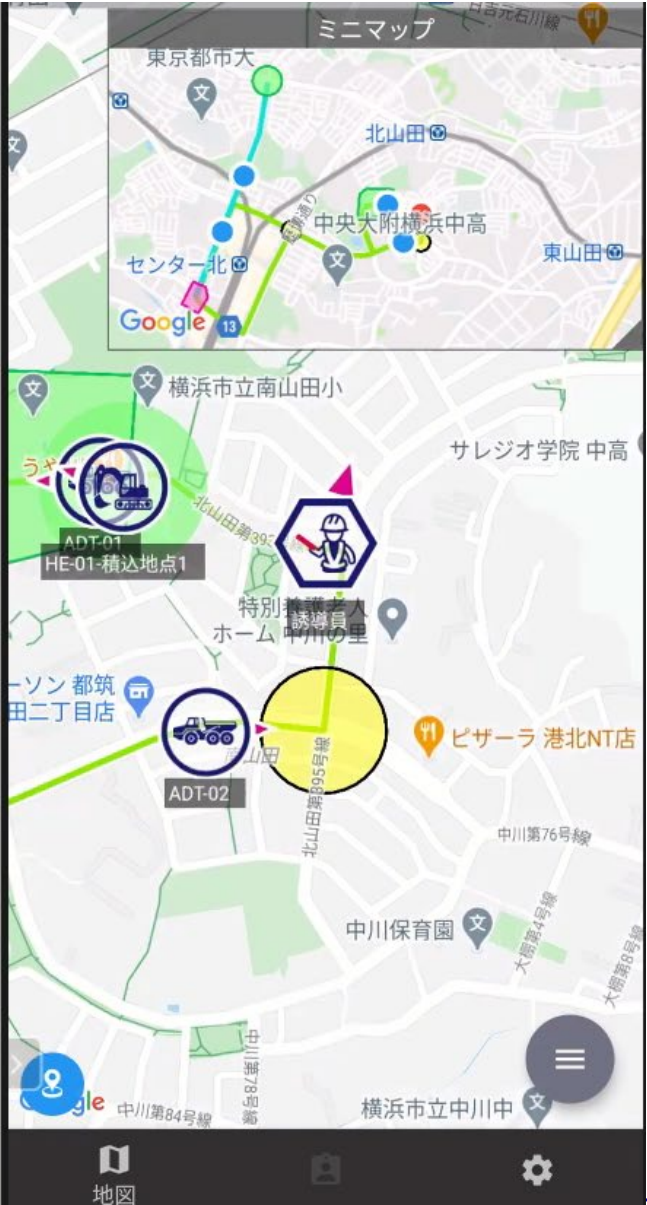
泉ガーデン⇄美浜

Google

積み込み作業をしているオペレータにダンプ接近を通知、作業効率化

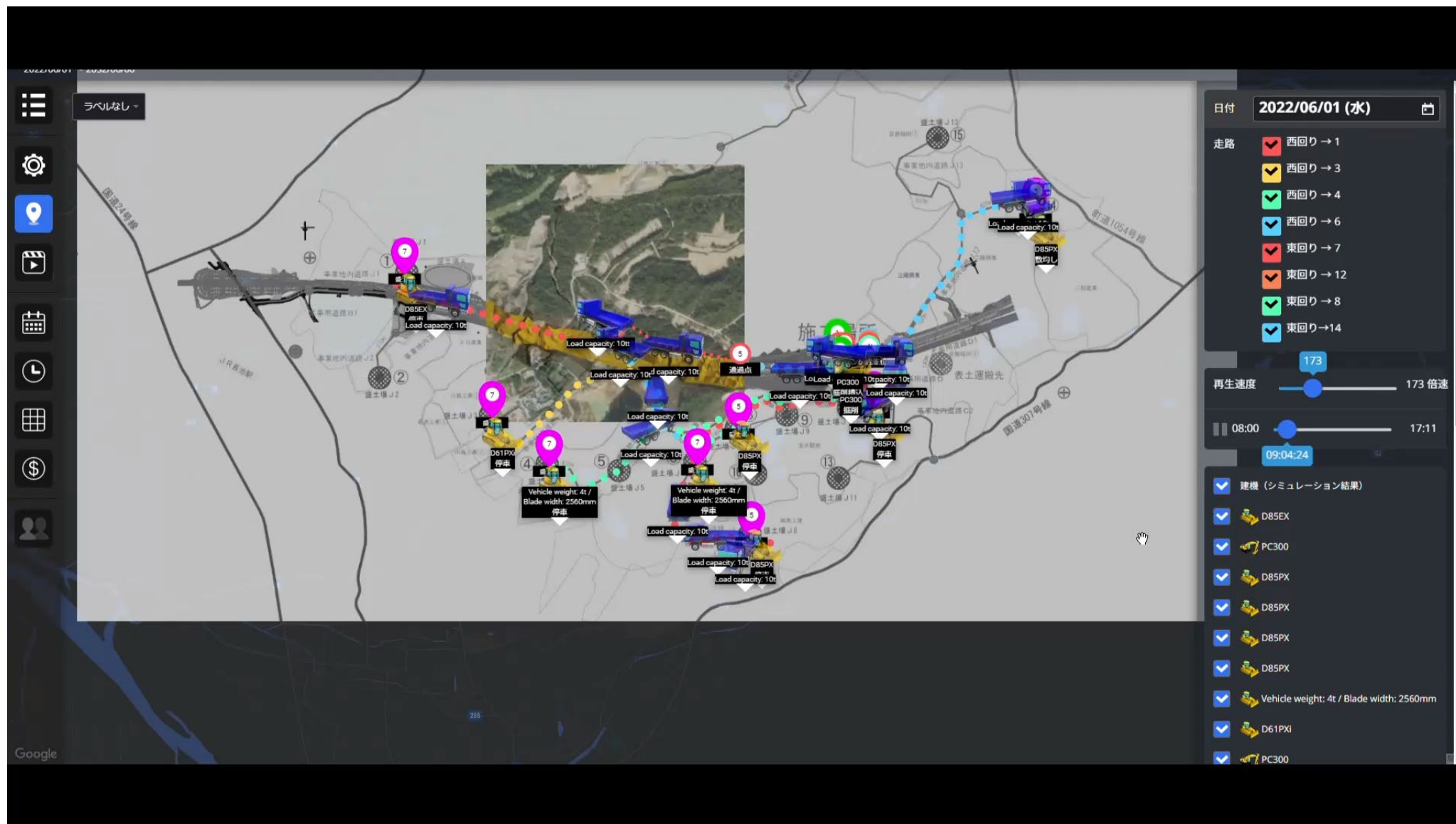


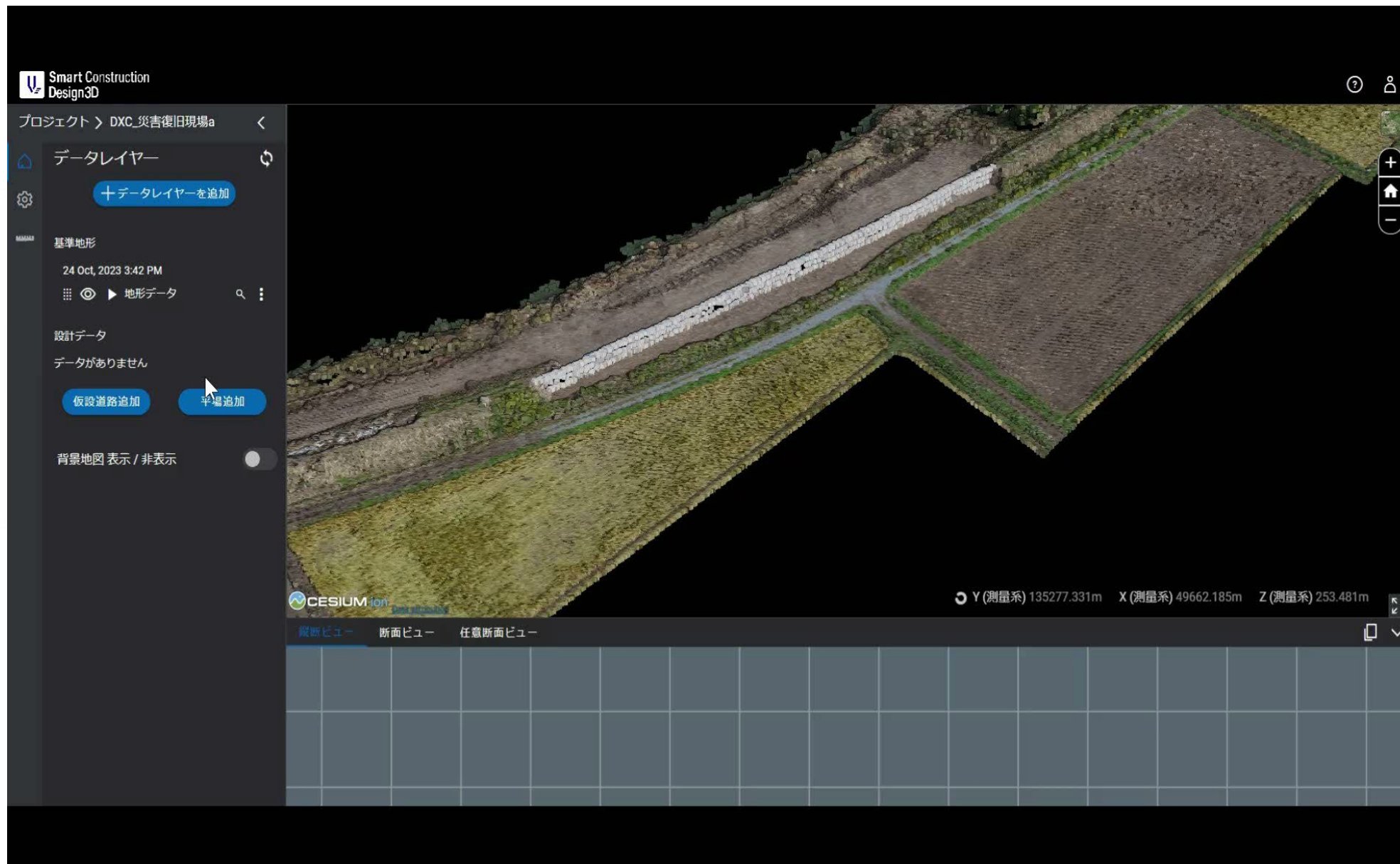
車両と人・車両と車両の接近に対し警告発報し安全を向上



施工計画の見直し、新たな施工計画の作成

Smart construction Simulation / Design 3D





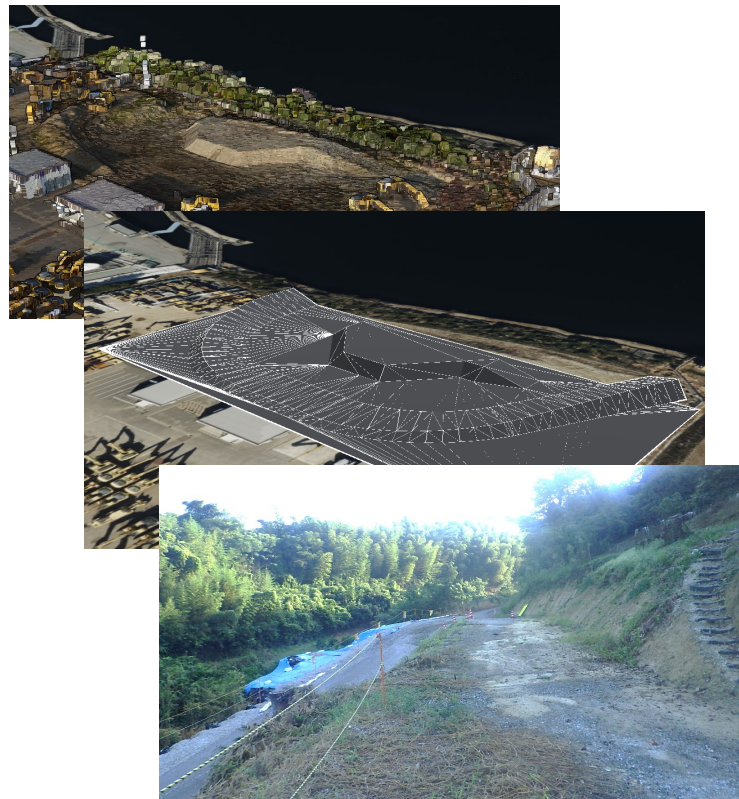
デジタルツインは課題を乗り越えされに進化、デジタルで建設業界を革命する

**刻一刻と変化する施工現場で、普段使いできる
デジタルツインを使いやすく、分かりやすく、シンプルに**

現在のデジタルツインの課題

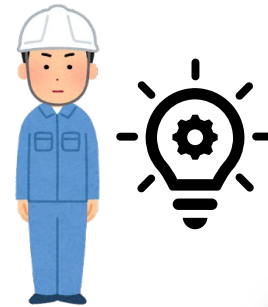
- 今のデジタルツインは、未来の姿を具体的に描けるか？

現場の「今」



現場の「少し先」

経験豊富な
技術者



アクション
[次の一手]

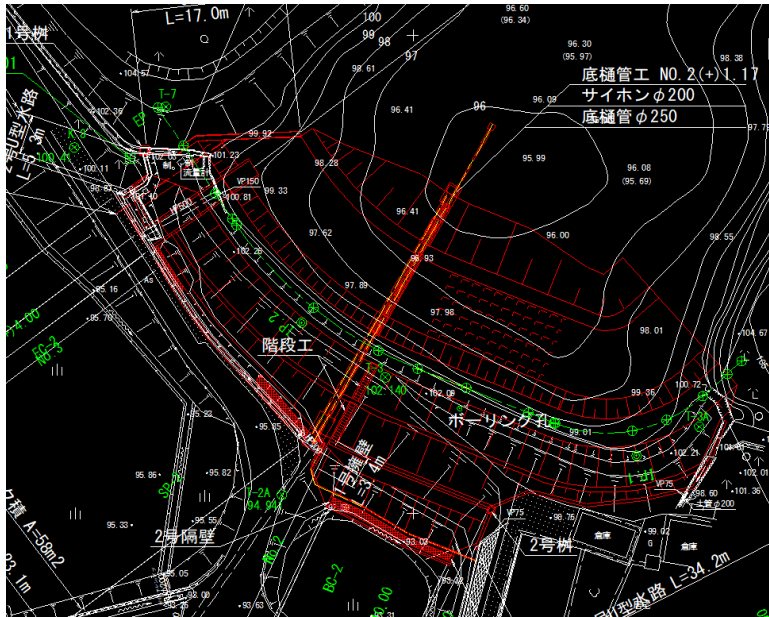
若手技術者
現場作業者



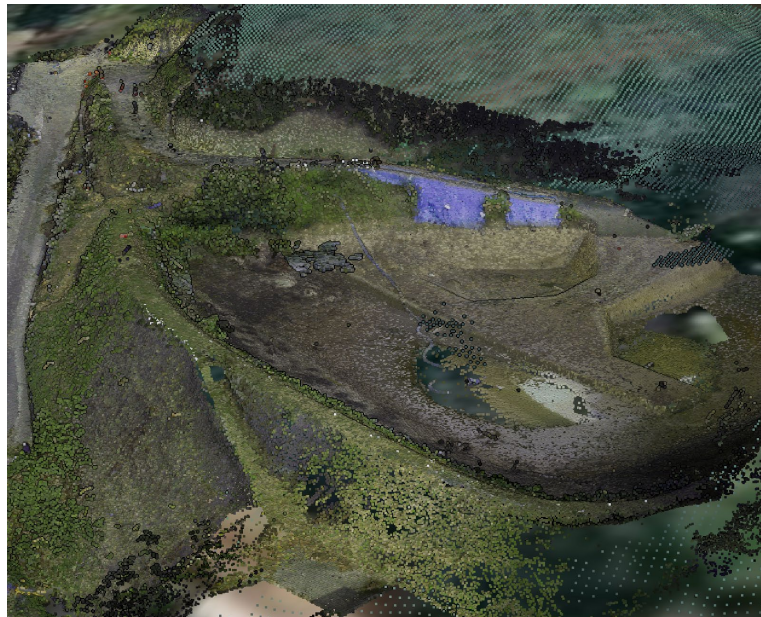
認識違い・手戻りの原因の一つ？

デジタルツインは次のフェーズへ

2次元図面



点群



次世代の表現



次世代デジタルツインの開発

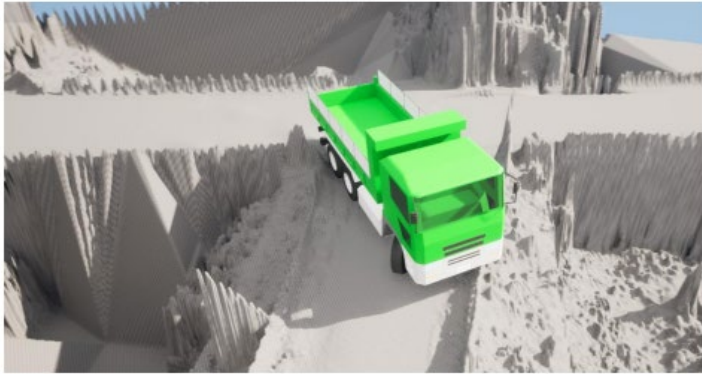
「使いやすく」「リアル」に「次の一手」を検討できる



次世代デジタルツインの開発

「リアル」かつ「豊富な情報」ゆえに様々な検討に活用

走行性



安全性



運転者視点



構造物



施工性検討



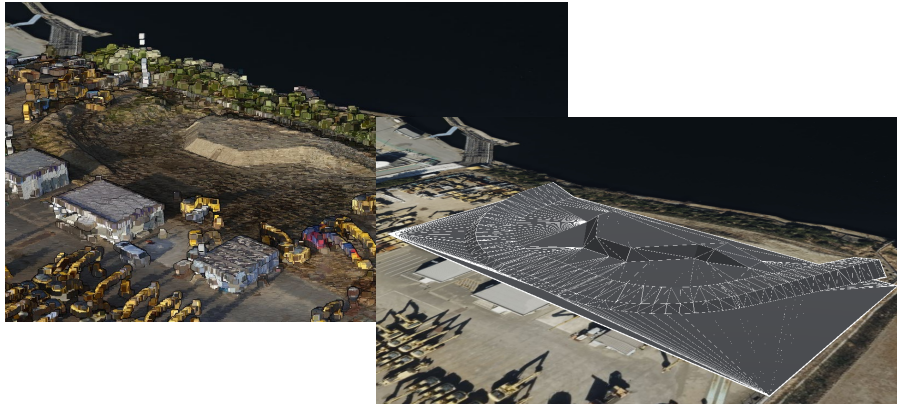
クレーン操作



次世代デジタルツイン作成と活用の流れ

点群データをもとに、施工現場をリアルなコンピュータグラフィックスで再現

工事用の情報



次世代デジタルツイン

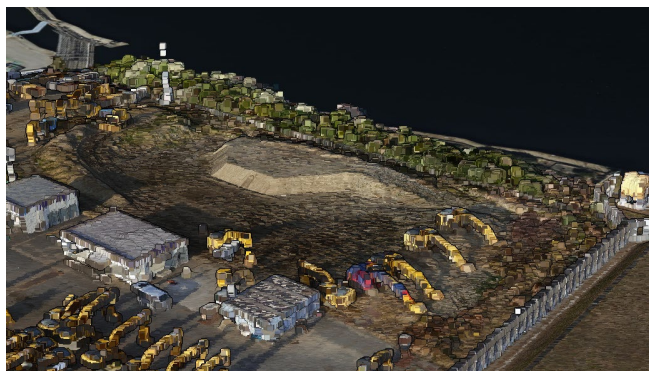


従来と次世代のデジタルツインの比較

日々移り変わる施工現場を、次世代デジタルツインが描く

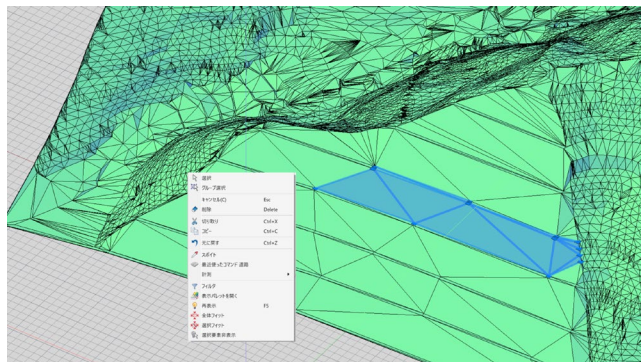
ビュー

俯瞰的



地形編集

数値入力, CAD



環境情報

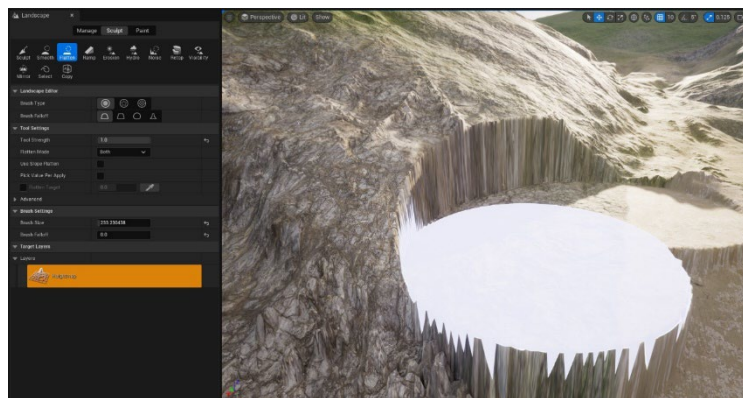
図的



没入的でリアル



直観編集



動的



従来の
表現

次世代
デジタル
ツイン

施工での活用事例

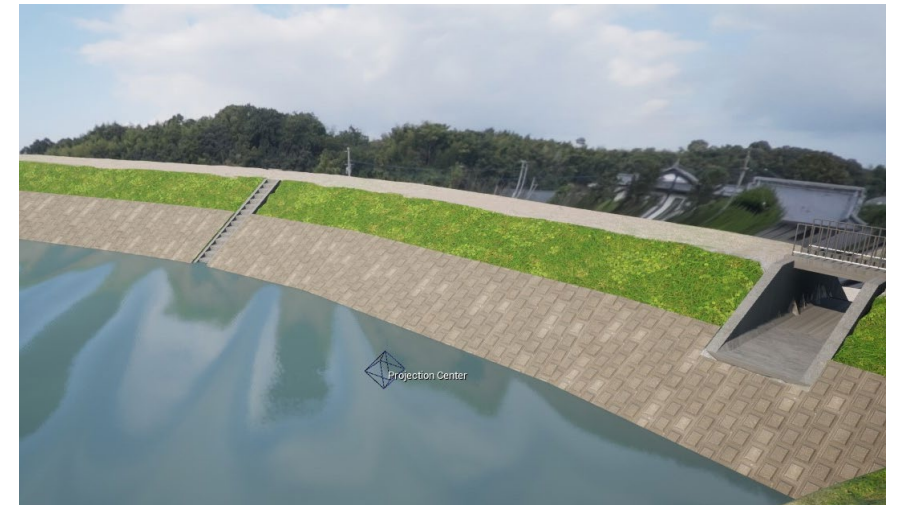
- A社様 ため池工事

工事特徴

- ・ 工事目的：
- ・ 工事概要：ため池改修工事
- ・ 施工内容：堤体工、取水施設工、洪水吐工

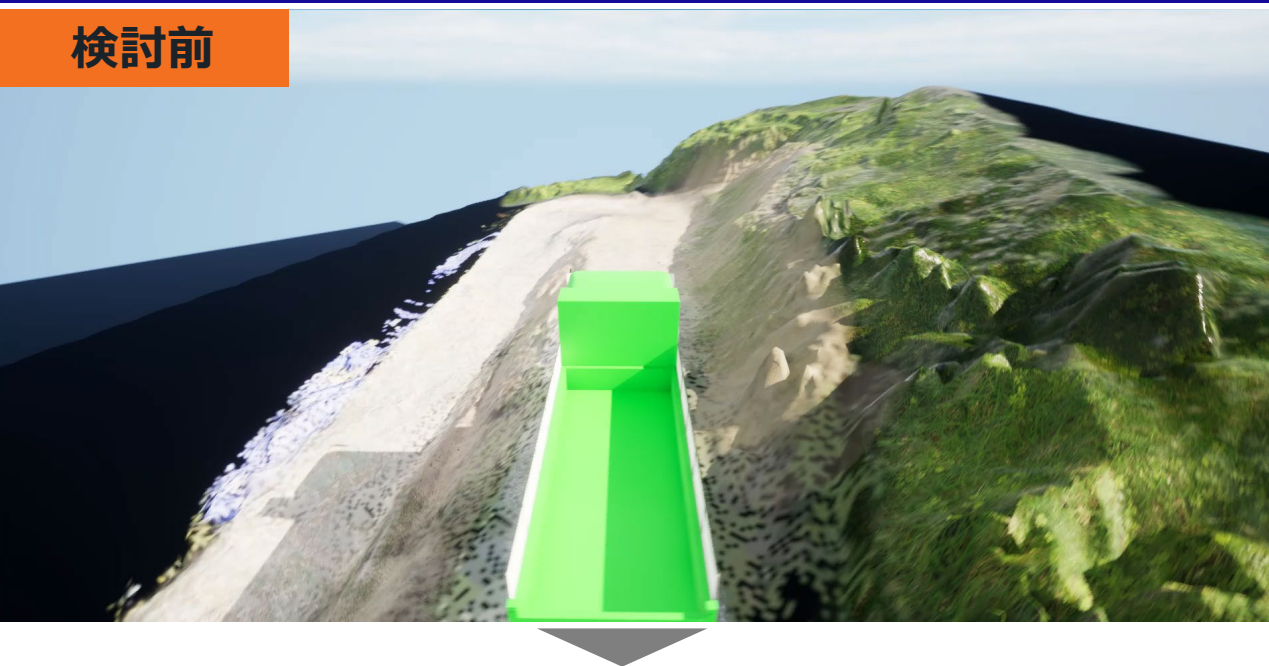
課題

- ・ 仮設道路：既存仮設ではダンプが通れないかもしれない
- ・ 構造物工：クレーン吊りがどこまで届くのか？
- ・ 堤体掘削工：施工手順、段取りをどうするか？
- ・ 発注者、地権者とのコミュニケーション：



仮設道路の検討

検討前



検討前 現況



検討後



実際の様子



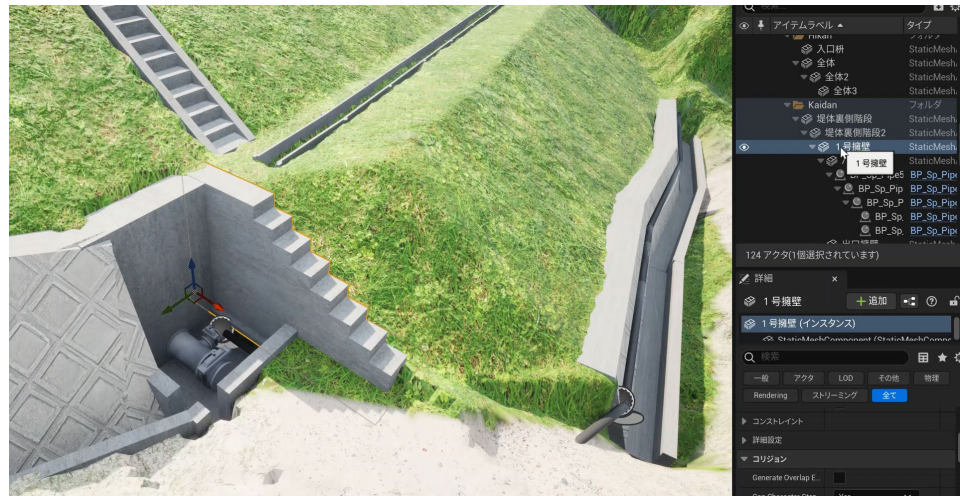
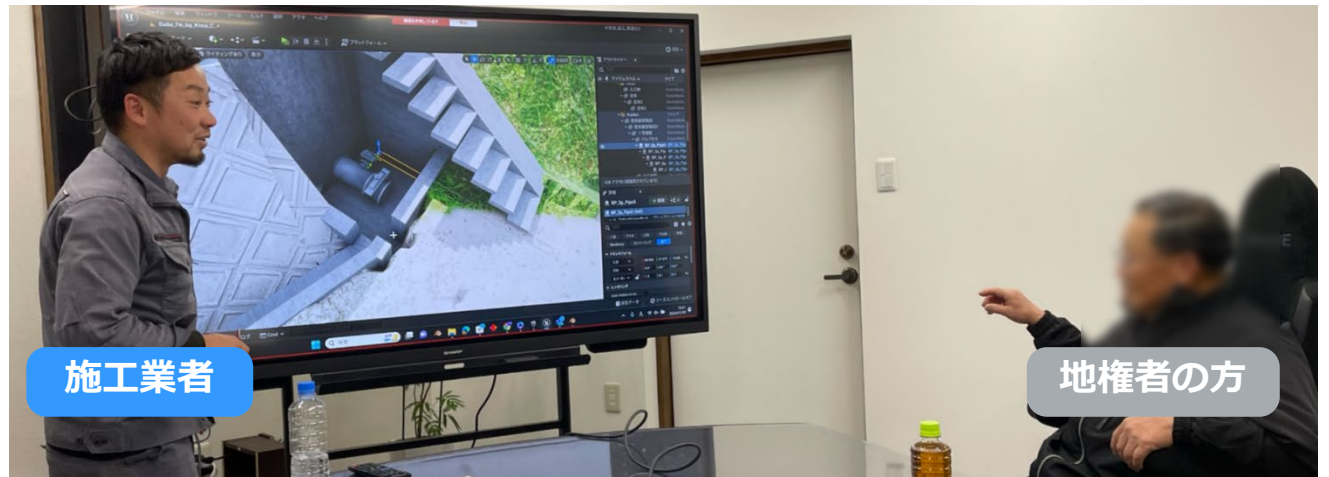
構造物工の検討

ひかん構造物コンクリート打設におけるクレーンの作業性検討



発注者 地権者とのコミュニケーション

齟齬の無い意思疎通、クレームも生じず、3者納得の施工検討を実現



階段の位置、バルブ開閉の作業性など平面図では想像しきれない部分の検討

デジタルの世界から、現実の世界へ

完成後、すでに懐かしい風景が立ち上がる



自動施工・遠隔施工ソリューション 実現の取り組み

人手不足の深刻化
技能労働者の高齢化
2024年問題

省人化

● 遠隔操作～商品化～



● 自動化・自律化～開発中～
(管制システム)



安全で生産性が高く
スマートな
現場の実現

究極の安全

①施工のオートメーション化

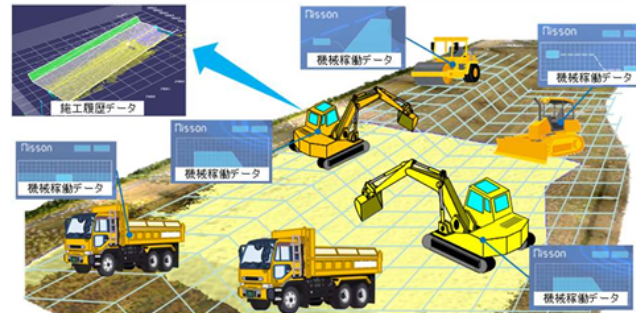
- 建設現場をデジタル化・見える化し、建設現場の作業効率の向上を目指すとともに、現場取得データを建設機械にフィードバックするなど双方向のリアルタイムデータを活用し、施工の自動化に向けた取組を推進する。

【短期目標】現場取得データをリアルタイムに活用する施工の実現

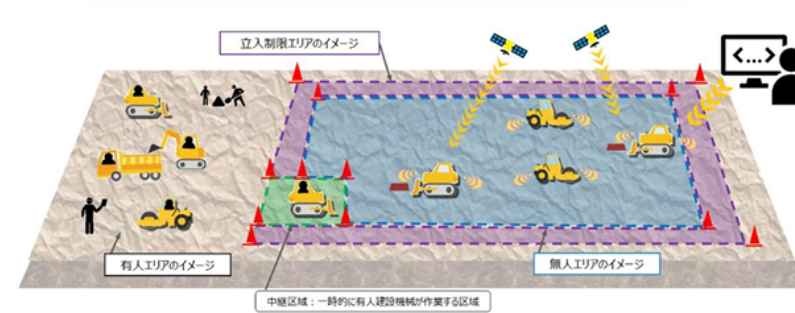
【中期目標】大規模土工等の一定の工種・条件下での自動施工の標準化

【長期目標】大規模現場での自動施工・最適施工の実現

現場⇄建機の双方向でリアルタイムデータ活用



自動施工の導入拡大に向けた基準類の策定



<ロードマップ>

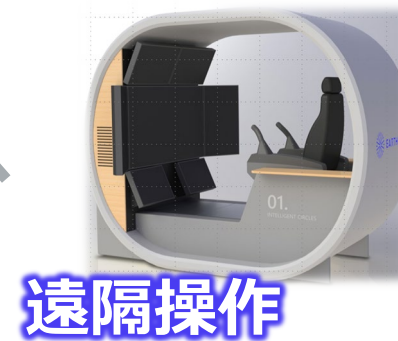
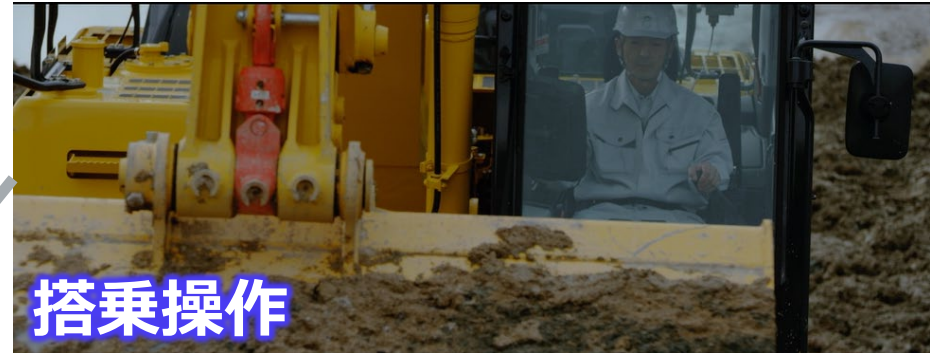
	短期（今後5年程度）	中期（6～10年後程度）	長期（11～15年後程度）	実現
自動施工	安全ルール、施工管理要領等の技術基準類の策定 ダム施工現場等での導入拡大	大規模土工現場での導入試行	導入工種の順次拡大	大規模現場での自動施工の実現
遠隔施工	砂防現場における活用拡大	通常工事における活用拡大		
施工データの活用	データ共有基盤の整備（土砂運搬など建機効率化）	施工データを活用した施工の最適化	AIを活用した建設現場の最適化	最適施工の実現

Smartconstruction Tele-Operation

遠隔建機ソリューション



3通りの利用形態に対応



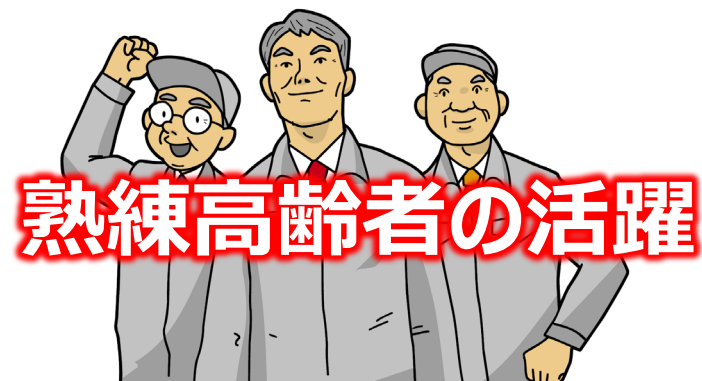
■ 労働生産性向上：低稼働率の現場・建機を一人のオペレーターが複数台動かす



■ 労働環境改善：危険な現場、過酷な現場での作業を快適にする



■ 労働環境・条件の改革：きれいで快適なオフィスで、建設機械を操作する。



市場ニーズに対応した遠隔操作システムのラインアップ

プレミアムモデル (リアリティー追求型)



スタンダードモデル (簡易型・デスクトップタイプ)



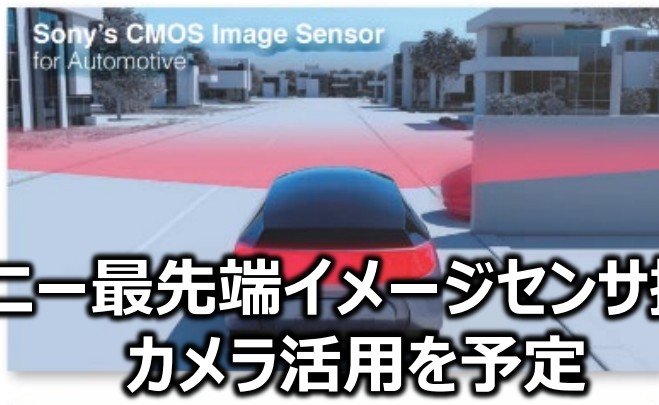
違和感の軽減 高画質/高視認性カメラシステム



想定課題

正面に
西日

SONY



想定課題

粉塵
作業

IMX490

1/1.55-type 5.44megapixels CMOS image sensor



■ 車載用広DレンジイメージセンサーIMX490搭載
西日など、**逆光のシーン**でも視認性を向上できる



■ 高視認性 画像信号処理技術“IPC”搭載
粉塵などで見にくいシーンもクリアに



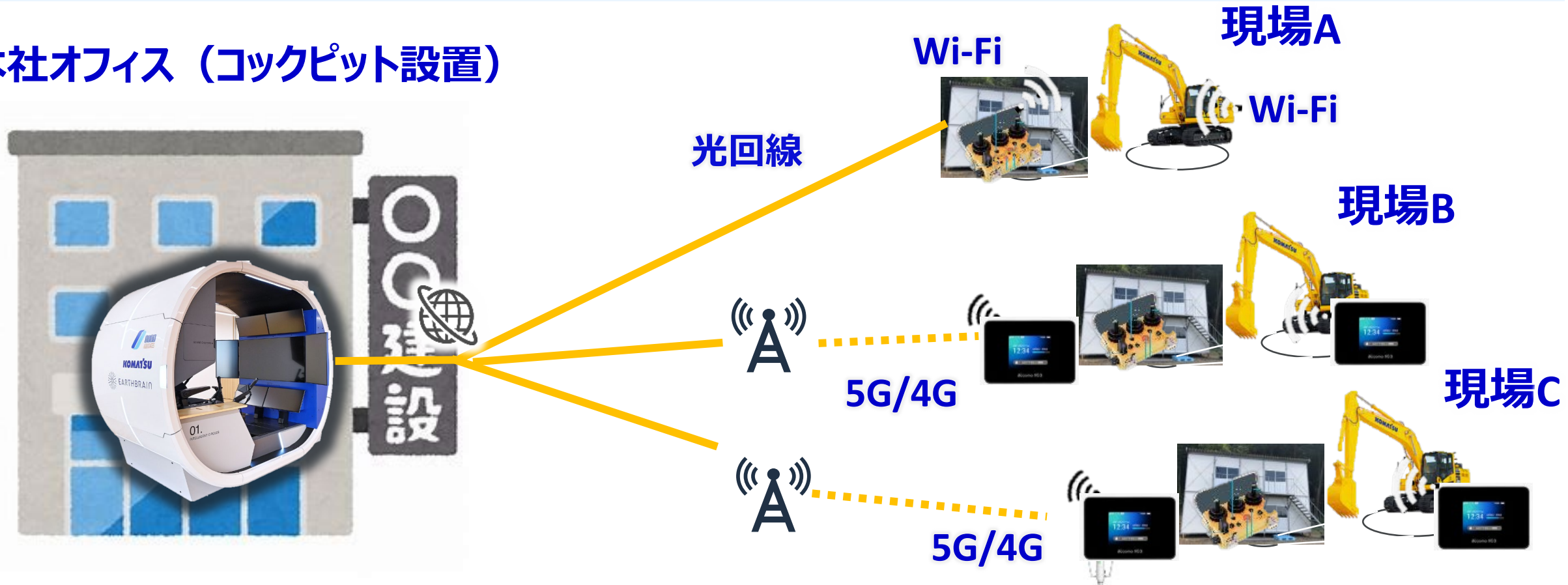
データを活用し、現場全体での利便性・効率化を高める



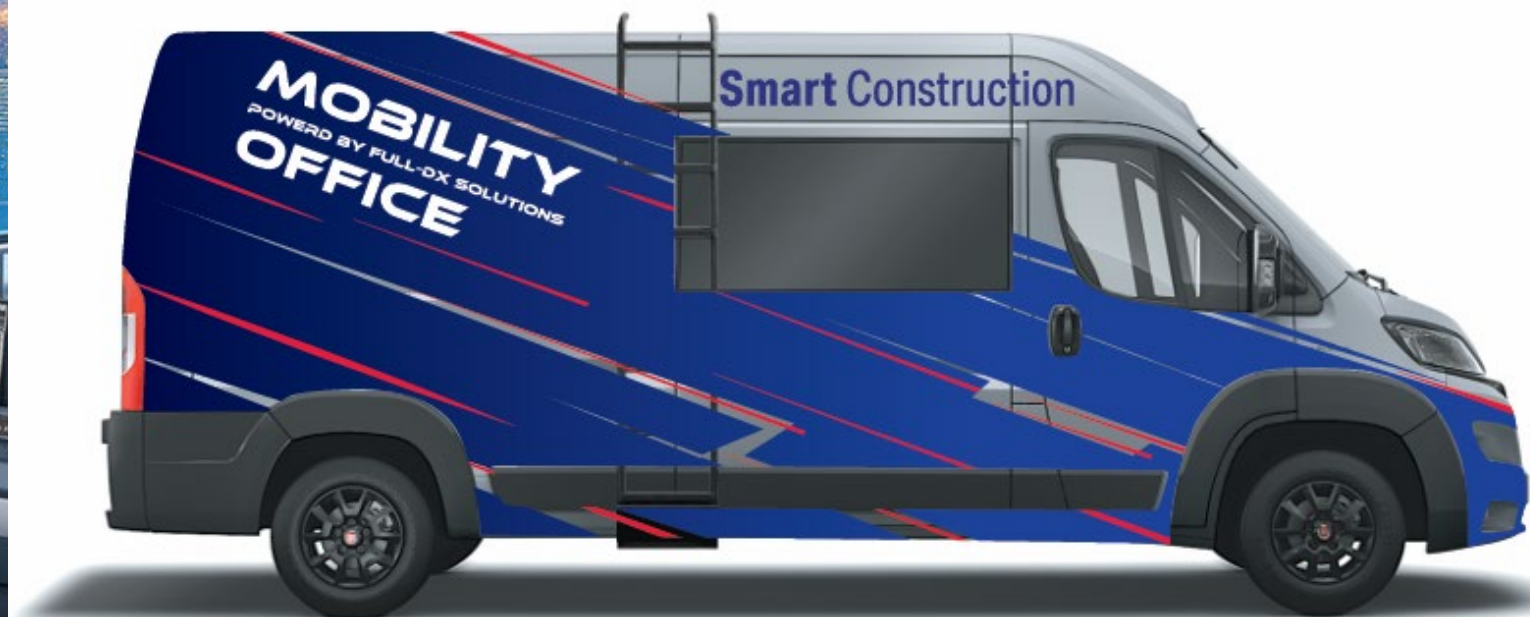
適応可能現場を増やすべく、多様な通信環境対応へ対応

- **複数台の建機**をコックピット側から繋ぎ替えて稼働させ、稼働率UP
- コックピットを本社に配置で、本社から**複数現場**の建機を操作可能に

本社オフィス（コックピット設置）



**デジタルで武装された建設会社が
ネットワークを形成して
災害復旧を迅速に実行する**



2025のデジタルでフルに武装された**災害復旧現場**

未来の建設会社オフィス

本社オフィスですべてが見える
DXセンター

未来の災害復旧現場

高いスキルを生かす**有人**施工

災害現場踏査・デジタル中継基地
リモート オフィス

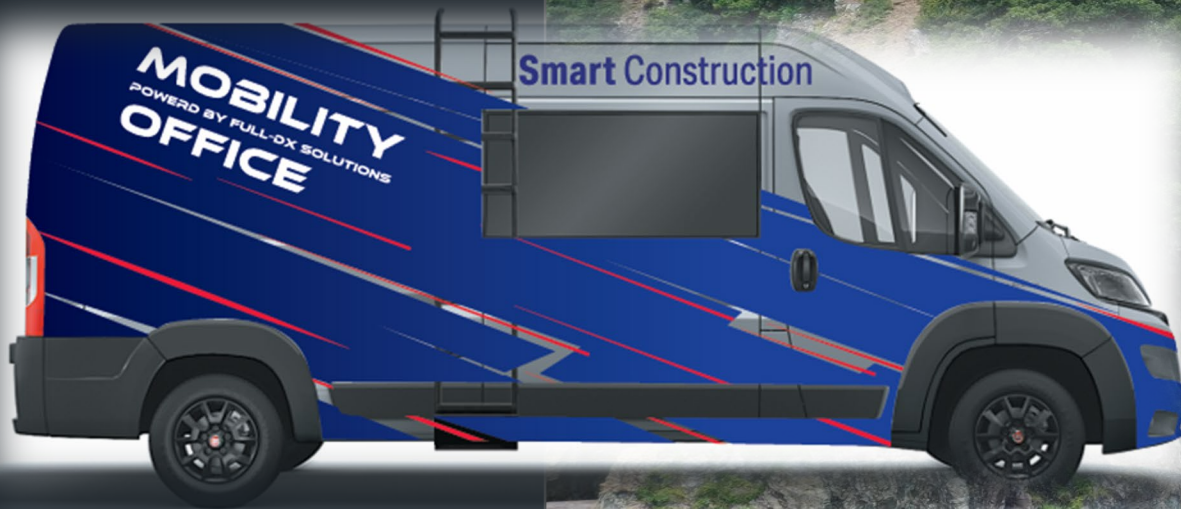
スマートで快適なオフィス

危険な初動復旧作業：**無人**施工

③現場は極めて危険

危険な初動作業を無人化施工

遠隔建機

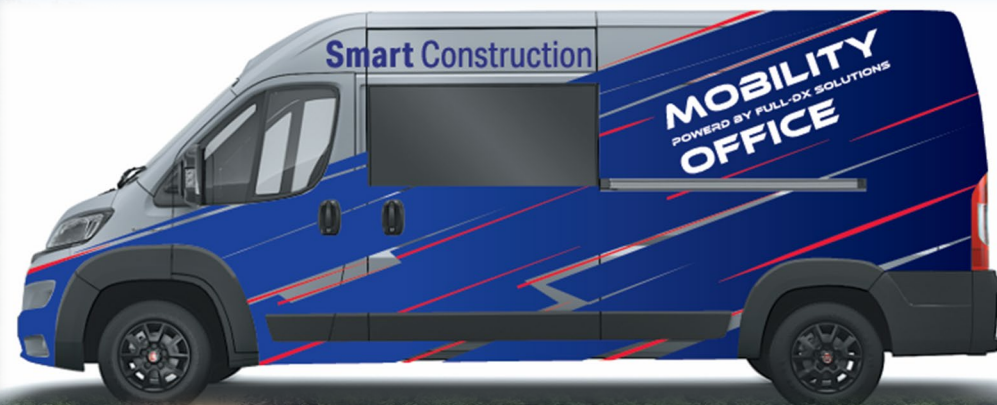


✓ WiFi
✓ 5G + LTE(4G)

遠隔・自動ダンプ

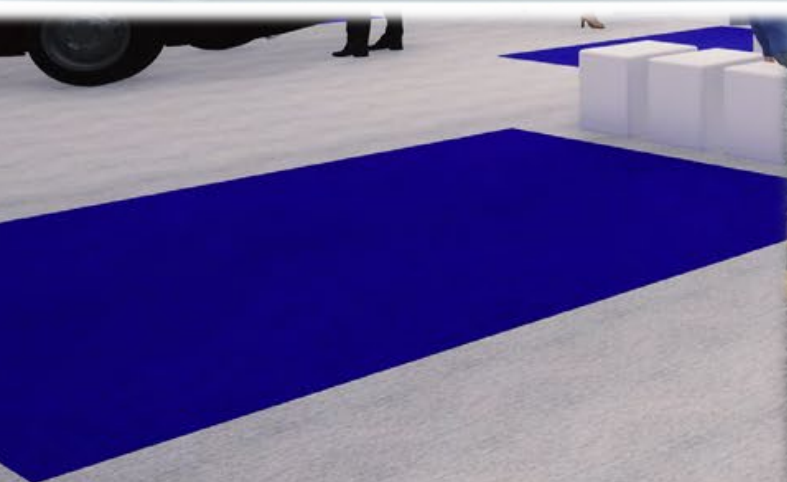
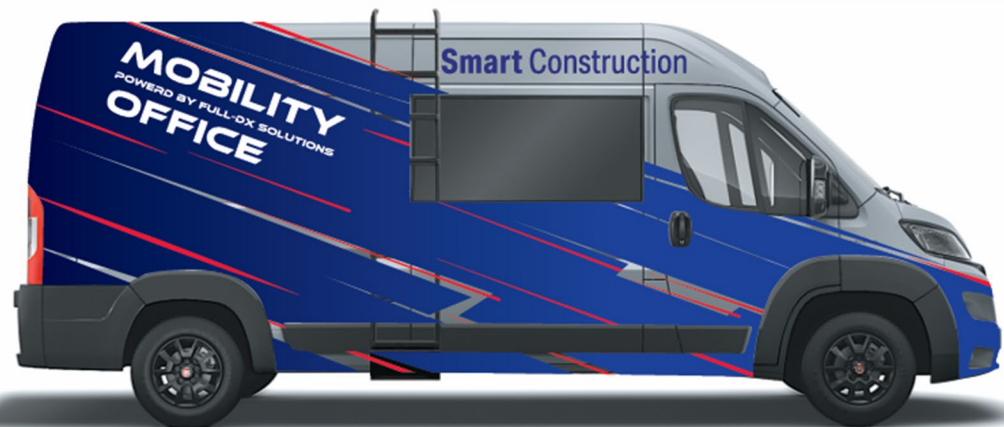


Smart Construction **Mobility Office** Powered by Full-DX solutions



- ✓ Smart Construction®ソリューションをフル実装
- ✓ 建設機械向け遠隔操作システム用コックピット
- ✓ ダンプ自動走行（施工現場内）操作機能
- ✓ ドローン測量機器
- ✓ 衛星通信機器（Starlink）、一般通信機器（4G/5G）
- ✓ 長距離Wi-Fiネットワーク通信機器
- ✓ 簡易会議機能

メッセ内のモビリティオフィスから、 現場を模したフィールドで遠隔・自動施工を実施



遠隔建機 1



遠隔建機 2



自動ダンプ

この位置に土砂崩れ
を模擬した土盛をおこなう

2024.04.05 10:30:00

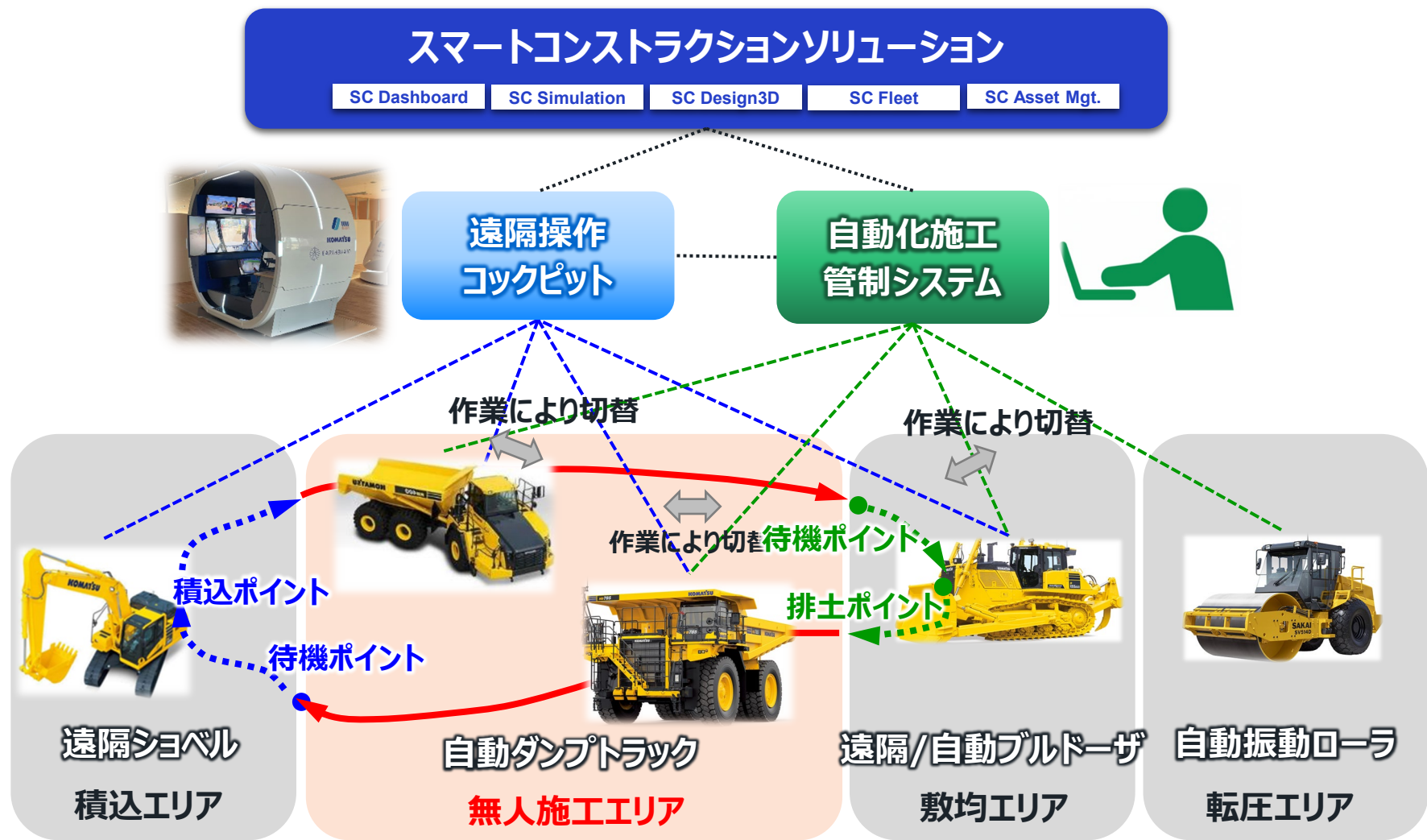
Smartconstruction Unmanned-Operation
自動化施工ソリューション



2:36

自動・遠隔（無人化施工）ソリューション全体像

建設機械を遠隔・自動で稼働させ、省人化、生産性・安全性を向上するソリューションを構想中



スマートコンストラクション[®]2030



その他のコンテンツ

国交省総プロ「IT施工システムの開発」(写真左が実験機) スライド8の再掲

スライド8の再掲

It is now possible to measure the depth of the ditch using machine control or guidance technology. -for example

機械で深さがわかる。
技術で解決する。



Depth setting MC (Komatsu)

マシンガイダンス(MG) 位置だけ表示
マシンコントロール(MC) 制御も行う

Autonomous 3D excavator (PWRI 2007)

The basic idea is to solve by technology.

The technical points to be pursued are as follows.

1. Substitute by machine
2. Machine/person separation
3. AI avoidance, etc.

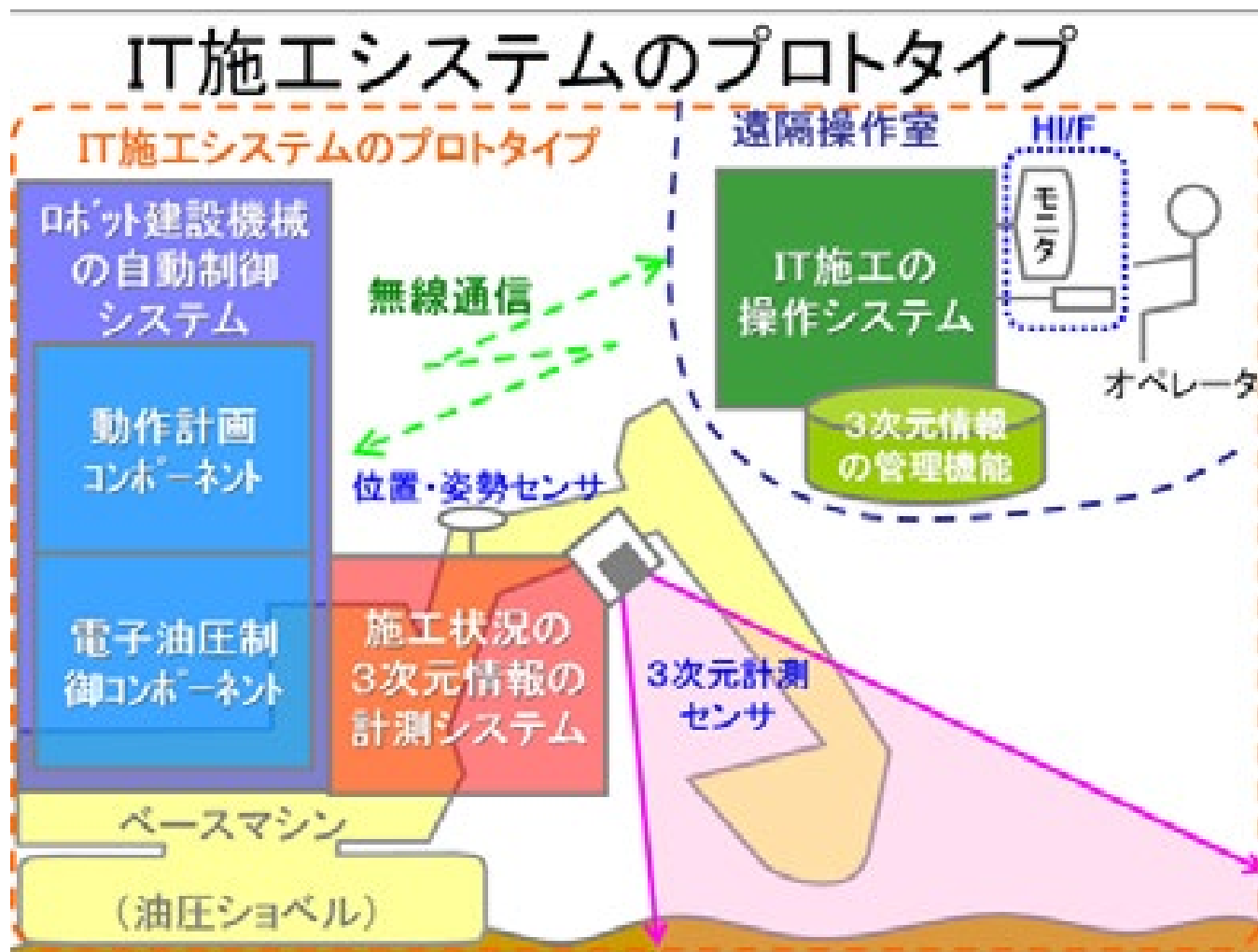
出典：「建設生産とロボット技術活用の展望」
国際建設ロボットシンポジウム2020

In the future, it is expected that in many situations, people will achieve what they do not need do.

IT総プロ動画 (200803)



出典 土木研究所技術推進本部



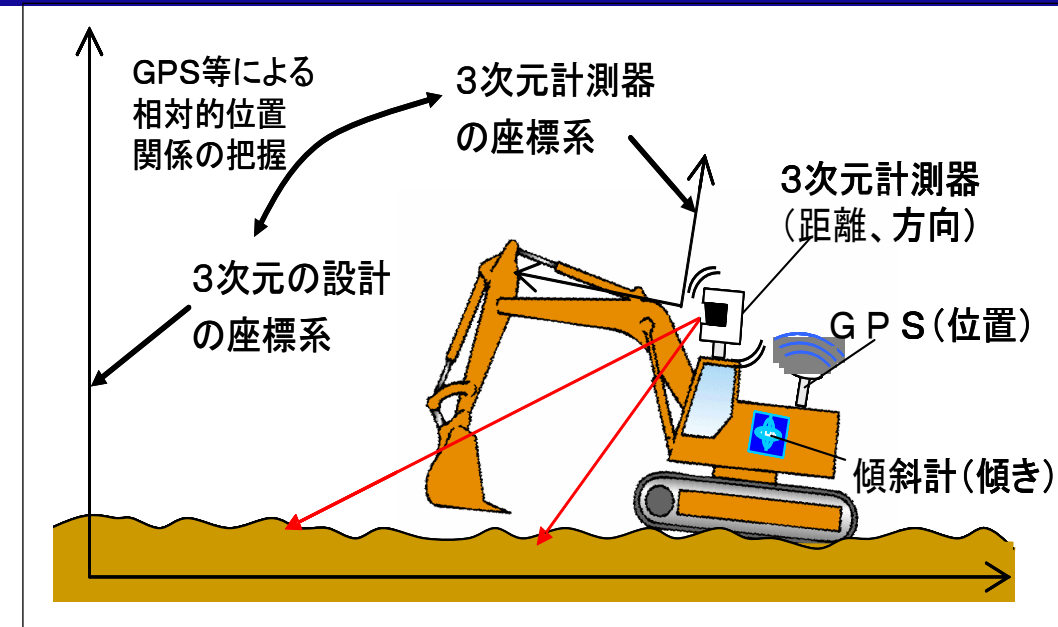
設計形状の3次元情報をもとに、作業中に変化する地形形状を計測し、これに応じた掘削積込動作を計画して機械を制御し、熟練オペレータの施工精度と速度と概ね同等の自律作業を目標

- ①自律施工に必要な3次元情報として周囲環境を認識する技術、
- ②操作に必要な3次元情報を表示する技術（マンマシンインターフェイス）、
- ③施工動作の自動化技術（制御技術）

要素技術は特別なものは用いず、なるべく枯れた技術で、なるべく安価になりうることを期待する構成



油圧ショベル外観とセンサ取付図



周囲環境を認識する技術のイメージ

センサ類は遅れ時間や計測周期が異なる。
基本的にタイムスタンプで管理。 * 若干遅れる
マトラブ・シムリンク
計測周期は100Hz、制御周期は10Hz

光ジャイロは静止時にGPS方位計でリセット
ステレオカメラはコマツ製

作業装置(バケット)は、位置・姿勢、操作方向、負荷により、
応答が異なる。

土木施工現場で、危険・苦渋作業を低減し、生産技術を改善する。

「これまで（過去）」

技術的な課題

製造業で進んだ生産技術（NCマシンやこれらを用いた多品種少量設計・生産システム）が土木施工で活かさない（労働集約型産業）



労働生産性が低い（建設業＝0.6×製造業）

危険・苦渋な施工現場で建設機械と一緒に作業をする作業員を減らすことが出来ない



労働災害が多い（1万人当たりの死亡者数：建設業＝3.9×全産業）

社会的技術

「これから（将来）」

計測技術、情報技術、ロボット技術の進展

高精度・高速・低価格化

空間情報を活用した施工技術の構築

- ・位置と周辺計測を統合する“周囲環境認識”（コンテキスト・アウェアネス）
- ・オペレータを支援する表示インターフェイス

例）設計と施工形状のプロダクトモデル
施工ナビ（オペレータ支援）技術

- ・人による丁張り（施工目標）設置を不要にする。
⇒準備作業を削減し、時間短縮
- ・人による作業中の計測を不要にする。
⇒建設機械周囲の省人化による安全確保
⇒作業中断・修正作業を無くし、時間短縮

補助作業員を減らす施工形態へ



次世代ロボット建設機械による施工技術

自動施工の基盤技術の構築

- ・土とマシンの相互作用を考慮した制御の基盤技術
- ・自動機能を活用する施工形態モデル

例）建設機械の自動制御技術
新たな施工形態モデル

- ・遠隔無人化施工での操作支援
⇒オペレータの負担軽減、作業効率の向上
- ・2台を1人で操作するマシンと施工形態モデル
⇒労働生産性の向上
- ・ロボット建機（ロボットマシンのバックホウ）の技術仕様や施工形態などをコンソーシアム等でオープンソース化し、展開

労働集約型から技術集約型の施工形態へ

効果

質の高い建設技能者による安全で品質確保された社会資本の提供

国際的な位置づけ

- ・世界最高水準の要素技術の統合（計測技術、情報技術、ロボット技術）

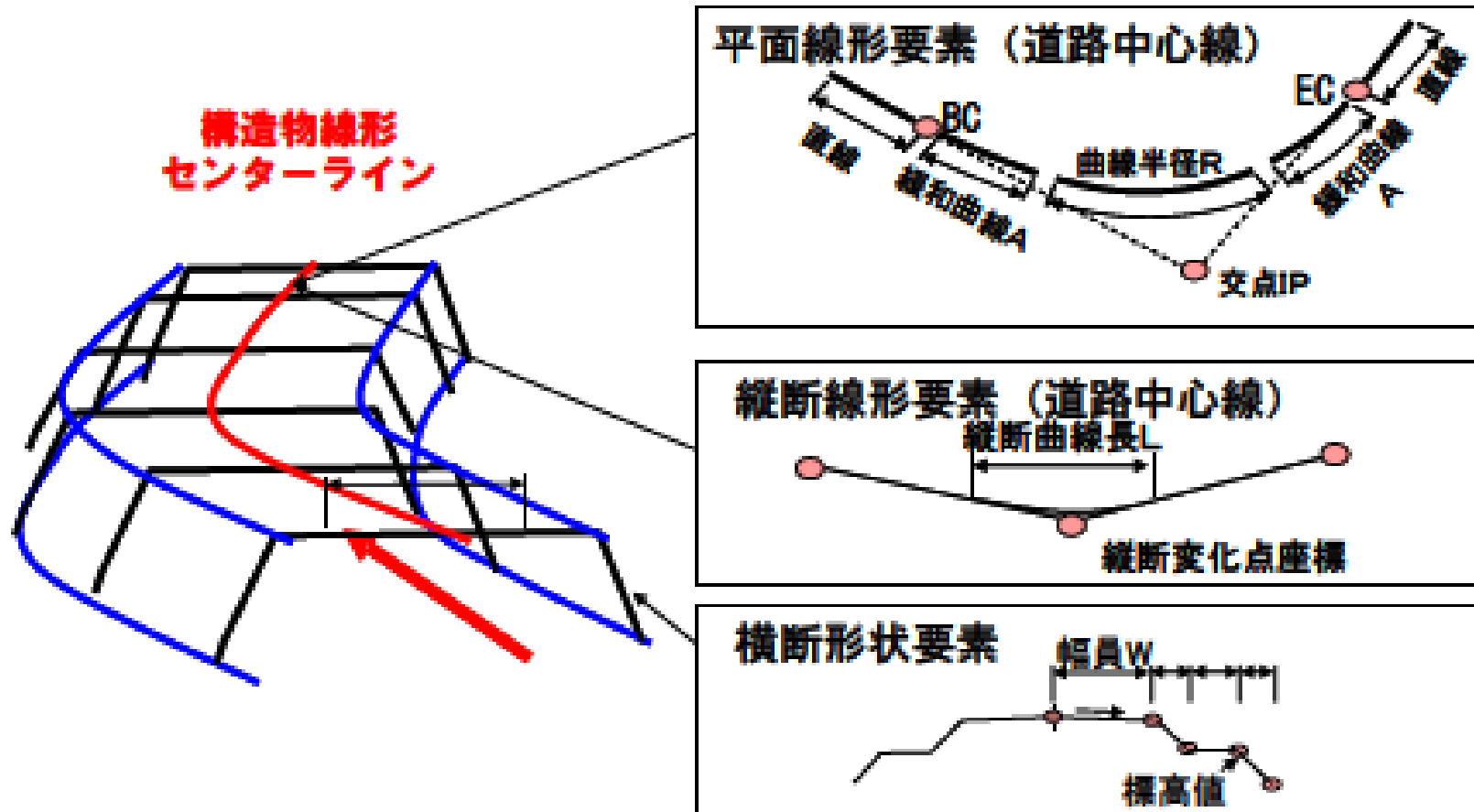
アジア諸国への還元

- ・国土開発の支援技術の提供

- 平成14年前後頃、建設不況による技術開発要員や投資は厳しい状況にあり、国のプロジェクトによる継続維持が期待された。平成15年～19年度に国土交通省技術開発総合プロジェクト（総プロ）「ロボット等によるIT施工システムの開発」が実施された。
- 当時のLandXMLを改善し、3Dの基本設計データの形を作って、TSによる出来形管理方法を作った。これは現在のLandXMLの基本となった。
- 車載の計測器で施工作業を進めることを可能とし、なるべく品質管理まで完結させる。自律機能を活用して、一人で複数台の機械を監視・操作する。枯れた技術で、機能ごとに独立性の高いものを、組合せて構成する。実際のプロトタイプでは、3D設計と周囲環境認識により、自律掘削・積込は、実験機としては実現された。

設計 3Dデータのイメージ

(仮の)中心線を引く。
断面を変化することに再定義。
これをXML記述





自律掘削積込機能を実装した油圧ショベルと、これを鳥瞰視点で見たCG(右下)を同じ画面内で撮影したものである。外が明るく、CGは暗く映っている。(日立建機のマークがあるが、ベースマシンとなっただけで、直接の関与はない。)

アームの傾斜角度の微妙な差が、実物に対するCGの遅れを示している。遅れは、センサ群のタイムスタンプによる同期遅れと描画遅れが主となる。データ量は少なく通信遅れは小さい。描画は1秒に15フレーム。

フォーラム8のウィンロードをベース

ビデオ画像はデジタル化すると遅れる。

ご清聴ありがとうございました



水陸両用ブルドーザD125-18B

無人化施工の歴史は、1969年（昭和44年）の常願寺川災害の応急復旧工事で、河口部に堆積した土砂の掘削、押土に水陸両用ブルドーザ（水深3m仕様）が導入されたのが始まりとされている。写真は建設省により神通川富山大橋付近と記録されている。その後量産機（水深7m仕様）が桜島野尻川の河口部に堆積した噴出物の掘削、押土に用いられたこと等が知られている。



遠隔水陸両用ブル初号機（関東技術事務所）

水陸両用ブル（昭和43年度小松製作所建設省共同開発）は、現在松戸市にある国交省関東技術事務所に保存展示されている。近年も量産機D155W1のオーバーホールが行われ、水際作業に今も5台が稼動しているという。初号機の近年の塗替えでは、青木あすなろやコマツの協力も得て、建設省グリーンをベースに当初のカラーリングの再現に努めたという。

出典：「基礎工」2018年7月号より



遠隔操作室とオペレータ(熊谷組提供)
*阿曾大橋地区斜面

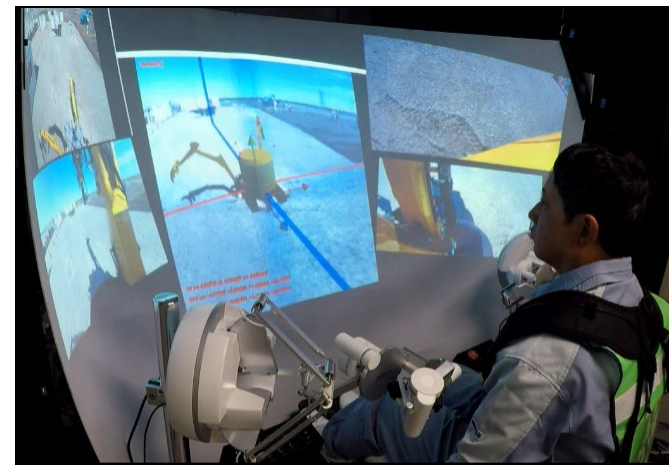
- ・無線LANを用いた遠隔操作系が一般的になってきているが、ここでは多数の機械を同時に動かすことにも、無線LANが有効な手段となったと考えられる。
- ・後付遠隔操作機械のロボQの新型開発も含め、国土交通省特に砂防部や九州地方整備局の継続的な取組姿勢が大きな貢献となっている。

今後に向けては、
「効率を搭乗の場合と近づけたい」、
「精度や工法で、できなかったことを可能としたい」、
「技術と体制のPDCAをしっかりと継続したい」
が課題として大別される。

- 雲仙でも、当初VRが試行されて、結果として現実的な複数のカメラ画像に落ち着いてきた経緯がある一方、VRの技術も進展して取組まれるようになってきた。
- 操作系インターフェイスと効率の関係の検討状況（視線解析含）であるが、評価には尺度が必要であり、土木研究所から「モデルタスク」が提案された。また近年のインフラ系のロボット評価でも、標準の評価方法の観点で、国をはじめとした取組が進められている。



土木研究所の操作系インターフェイス検討



ImPACT/TRCコクピット

出典：「省人化・省力化への無人化施工技術」「基礎工」2018年7月号

映像系

視線解析から必要画角を選択、
ハイビジョンより4Kの方が遠近感が得やすい、
ステレオヘッドマウントVRでも遅れがなくリフレッシュレートが高いと酔いにくい、
アラウンドビューへの変換がリアルタイムに可能、等々

遅延

人の認知ともかかわり重要。これまでの議論を列挙。

- ・遅れを0.1秒内に収めることが技術命題だ。
- ・放送技術では多少の遅延は許されるので、むしろ我々の課題だ。
- ・0.5秒の遅れに順応・適応し、遅れを前提とした操作を熟していくのが遠隔のオペさんの能力のひとつだ。
- ・遅れを前提とした操作は、アナログで遅れない時の操作より、さらにいつそう疲れるのではないか。
- ・遅れ時間が変動する場合に、オペさんはどこまで変動に適応するのか。むしろ、遅れ時間が遅めでも、変動が小さい方がよいのか。

「その時点で、調達・市場性のある、高価とならない、現実的な通信システム系を選択・構築する。」

2000年の有珠山噴火では、2km以上離れた箇所から操作する事例があったが、平成23年3月下旬には、長崎の事務所から雲仙普賢岳の建設機械の遠隔操作の検証が行われた。問題があるとすれば、光ケーブルの中継部での遅延が想定された。

電波について、土木現場自体やフィールドロボット系、災害現場の使用を担保する帯域確保は、VHF帯の変更以降の議論はあるが厳しい状況。

災害時の特例電波出力、公共ブロードバンド、ロボット向け帯域等と関係者の努力も進んでいるが、そもそも日本では（地政学的に）難しい課題である。

近年では、次世代の大容量高速携帯回線による遠隔操作を各社で公開されている。



5Gを用いた遠隔操作のイメージ(コマツ)

出典：「省人化・省力化への無人化施工技術」「基礎工」2018年7月号

管制・オペレーションと段取替え

ダンプの信頼性は前提として、有人操作のマシンと無人自動のマシンが同じ現場で運用される、オペレーション・管制が重要であるとされている。

クワッドアクセルでも、一人で複数台の機械を監視・操作する、施工指示のやり方、自動マシンが連携するオペレーション等の重要性が認識されていると思われる。

淡路の関空土取場では、意思決定情報（発破、土運搬、クラッシャの進捗等）を見える化し、日単位の段取替えにより大きな効果、の報告があった。

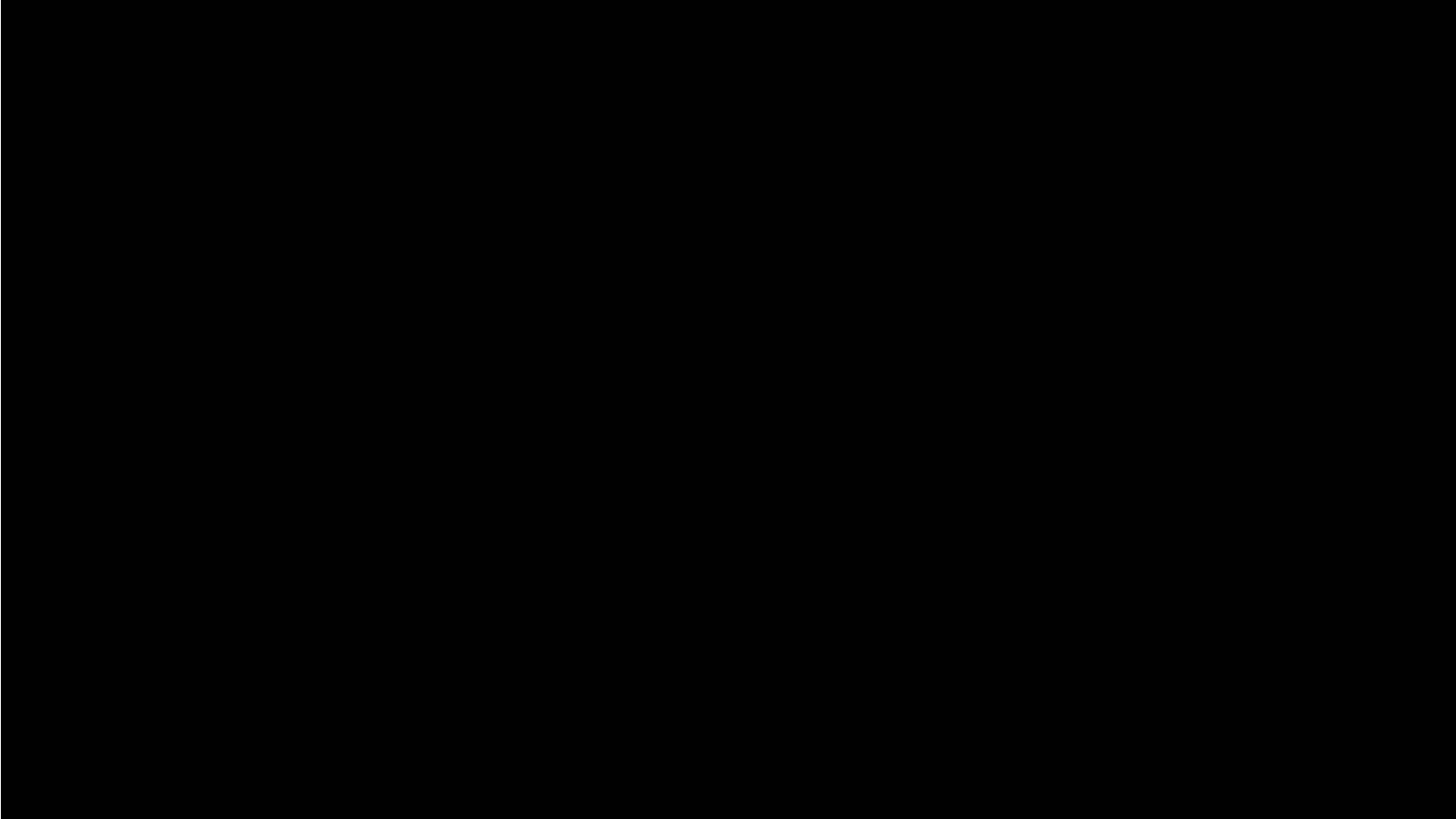


無人ダンプ運行システム(ケンケンキッキより)



自動ダンプ・ブルの協調作業(鹿島建設提供)

出典：「省人化・省力化への無人化施工技術」「基礎工」2018年7月号





無人ダンプトラック

AHS (Autonomous Haulage System)

鉱山オペレーション管理システム

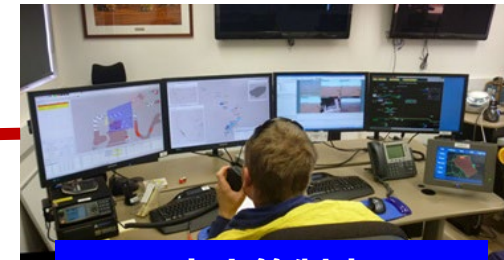
AHS Operation Overview



FEL Loading at Stock Pile



D375 Dozer Pushing

中央管制室
鉱山管理オペレーション

Crusher Dump



PC5500 Loading

1. ありたい未来の現場(目標)を共有したい。
2. 人間の、時間と安全と働き甲斐を、価値あるものに。
3. 建設技術のPDCAを現場・事業で継続する。
4. 段取替えや施工計画の変更の、ロバストな最適化を支援する。
5. 維持管理しやすさ、施工しやすさ、は最適化のキー指標。
6. ライフサイクルで、計測指標がある。(設計時の指標変更→設計体系からになる)
7. 実世界のデジタル化を進めよう。
8. 全体最適向けに、ルール、仕組み、制度設計する。
9. 工場生産を有効活用して、現場作業を減らす
10. 工場生産品は、現場で機械で扱い、人間は触らないようにできる。
11. プロセス管理により品質担保する。(事後検査計測とプロセス計測の関係把握)
12. ロジの最適化、例えば運土・発生土。この前提の見える化・トレーサビリティ。
13. 数量品質のデジタル計測自動化。レベル4契約単位で。(大系見直しも)
14. 施工計画～作業指示の状態の階層構造
15. 施工計画～作業指示のコマンド体系の階層構造。デジタルツインに向け。
16. 安全の思想の転換。「不安全は許されない。」技術で解決する。
17. オブジェクトオリエンテッドで施工オリエンテッドな施工計画
18. オブジェクトオリエンテッドで施工オリエンテッドなCAD
19. 作業標準の改善が、転用・再利用性がある。ビジネスモデル

出典「建設生産とロボット技術活用の展望」建設ロボットシンポジウム2019

○建設生産工学

ありたい現場、目指す現場のイメージ(目標)を共有する方向の議論・活動。
土木分野では、生産工学分野が、細分化・個別解・部分最適化の傾向。
多品種一品生産が解かれるべきだが、
まず大量生産次に多品種少量生産には何が必要であるか、わかっておくべき。
設計手法の改善について、維持管理段階、施工段階から、フィードバックする仕組み。
維持管理しやすさ、作りやすさ、が指標となる設計手法の改善、を行うためには。

○安全の思想の転換

「不安全は許されない。」技術で解決する。
人は、危険なこと、きついこと、はしない。機械がする。
危険は計画で回避される。危険は現場データで察知される。
人が不注意になること、ヒューマンエラーは、ふつうある。ことが前提。
基本機械だけで行う。人と機械を分離する。分離の担保はAI回避で。
*以下事例を2ページ

出典「建設生産とロボット技術活用の展望」建設ロボットシンポジウム2019