

現場管理システム「T-iDigital[®] Field」の開発

トンネル工事における標準アプリケーション導入後の効果検証

片山 三郎*¹・石井 喬之*¹・三谷 一貴*²・宮本 真吾*³・千葉 勇也*⁴

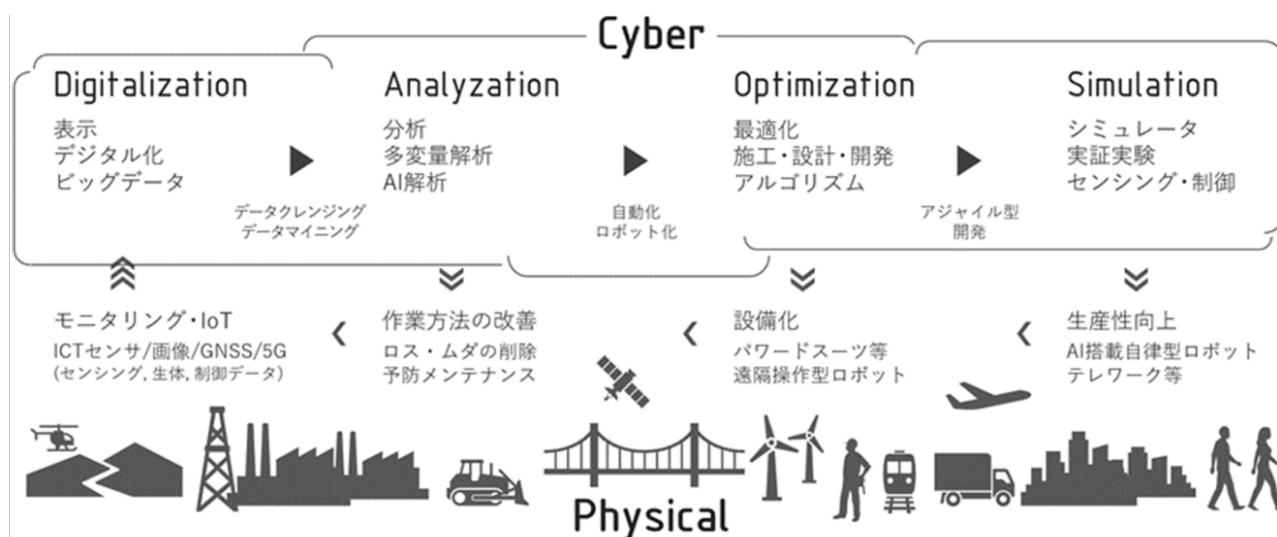
Keywords : DX, digital twin, CPS, tunnel construction management

DX, デジタルツイン, CPS, トンネル施工管理

1. はじめに

当社は、DXにより生産システムの変革と働き方改革を実現することを重点課題とし、国土交通省が推進する BIM/CIM, i-Construction, インフラ分野の DX 推進関連技術を基盤に、遠隔化・自動化・データ連携等の技術開発を進めている。T-iDigital Field はその土木 DX 施策の一環として開発中のデータ利活用型の現場管理システムである。図-1 に CPS^{注1}を活用した場合の T-iDigital Field の概念図を示す。本システムは CPS の概念に基づくシステム開発手法を用いて、建設現場内に点在するヒト・モノ・コトのあらゆるデジタル情報を取

得して分析を行い相互連携させるプラットフォームによりデジタルツインを形成している。そして建設に関わる諸問題を予見し、これらを解決・回避するための支援策を施すことでミス・ロス・無駄を防ぎ、生産性や安全性を向上させることを目的としている。本システムは 2020 年度までに開発・現場検証を完了しており、引き続き当社土木の全現場への実装を目標に拡張開発を行っている。また 2020 年度まではダム現場を中心に開発を進めてきたが、2021 年度よりダム以外の工種にも導入展開を進めている。そこで本稿では、トンネル工事向けの標準アプリケーションの概要及び実現場でのシステム効果検証結果について報告する。



CPS (Cyber-Physical System) : 現実 (Physical) 空間の各種データを仮想 (Cyber) 空間に収集し、分析・解析を行い、その結果を現実空間にフィードバックすることで、産業システムの全過程を効率化するものです

図-1 CPS 概念図

Fig.1 Conceptual diagram of CPS

*1 技術センター 生産技術開発部 スマート技術開発室
*2 東京支店 土木工事業務所

*3 土木本部 土木技術部 トンネル技術室
*4 土木本部 土木技術部 ICT推進室

2. T-iDigital Field 概要

本システムの全体概要を図-2 に示す。本システムのアーキテクチャ（構造）は三層構造となっており、下層はデータを取得する層で、IoT デバイスから取得する現場の生データに相当する部分である。次に下層で取得したデータをネットワークを介してクラウド上に集積させる部分が中間層の基盤クラウドである。そして最上位のアプリケーション層は中間層で集積された様々なデータを工事関係者の判断できる情報に加工・統合し、可視化する層である。このアプリケーション層も同じクラウド内で開発しており、リアル現場とユーザーとをクラウドを介して繋ぐユーザーインターフェースの部分となっている。そのため当該部分が最も重要であり、如何に見やすく、使いやすくするかで情報の齟齬を低減し、情報共有の円滑化につながり、汎用性の面においても有効となる。また、アプリケーション層では様々なニーズに適合したアプリケーションを複数データの加工・統合により、順次追加することができる。更に、開発済みのその他アプリケーション間との連携も可能である。

3. トンネル工事への適用

3.1 トンネル標準ダッシュボード

従来の ICT システムは統一性がなく、全てバラバラで運用されていたため、一元的に集約されておらず、各現場に割り当てられたシステム担当者しか閲覧でき

ない状況であったため情報が属人化されやすかった。そこで T-iDigital Field では必要なアプリケーションを一元的に集約するためのダッシュボードを構築した。

図-3 にトンネル工事における標準ダッシュボードを示す。図に示すように、ダッシュボードは各工事に必要なアプリケーションを配置しており、必要な情報はここからアクセスできるので、当該ダッシュボードはデジタル現場の入り口の役割を果たしている。

3.2 トンネル工事標準アプリ

主にトンネル工事において、標準的に搭載するアプリケーションを下記に示す。

- ① マップアプリ
- ② トンネルサイクル
- ③ 入坑管理
- ④ CO₂ 排出量管理
- ⑤ 運行マップ（ダンプ運行ダイアグラム）
- ⑥ 濁水モニタリング
- ⑦ その他アプリケーション連携

以下にこれらのアプリケーションについて紹介する。

3.2.1 マップアプリ

本アプリケーションは建設機械と人の位置情報および稼働情報を集約する基盤アプリケーションであり、工事現場のどこでどの建設機械が稼働しているかをすべて記録することができる（図-4 参照）。また、この記録されたデータを加工・分析等に活用することで、トンネルのサイクルタイム可視化などの施工情報の可視化が可能となる。

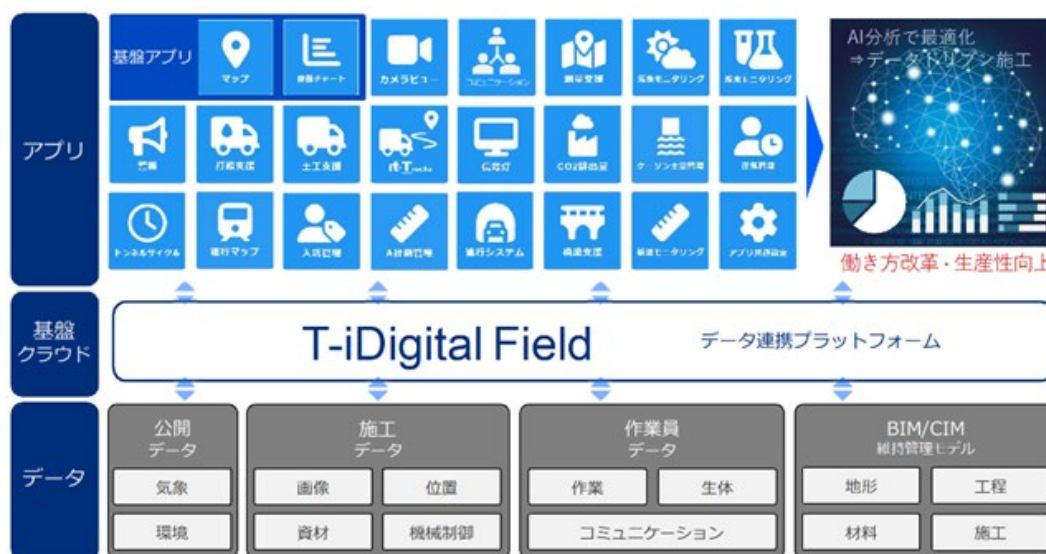


図-2 T-iDigital Field 全体概要図
Fig.2 Overview of T-iDigital Field

3.2.2 トンネルサイクル

建設機械の位置と稼働データを加工・分析することで、トンネル工事の切羽（トンネル最先端の掘削箇所）における各作業のデータ化が可能である。例えば「ダンプとホイールローダーが稼働していれば掘削作業中」、「コンクリート吹付機が稼働していれば吹付作業中」の様に推定することができる。一方、トンネル工事は大別すると掘削→ズリ出し→支保の作業を繰り返すことで掘り進めていく。各作業で使用する機械からその作業を特定し、時系列的に集計することで作業の1サイクルの所要時間を可視化することが可能となる。この様に取得される各サイクルタイムのデータは各々を比較することでムダ・ロスを顕在化させ、対策を講じる事で生産性を改善させるための重要な手掛かりとなる。図-5にサイクルタイムデータの一例を示す。

3.2.3 入坑管理

トンネル工事では労働安全衛生規則により、トンネルの坑口に入坑札を掲示し、誰が坑内で作業しているかを管理しなければいけない。近年ではこれらの入坑札をデジタル化したシステムが使用され始めている。一部自動化させているシステムも存在するが、多くはタッチパネルで操作する仕組みのシステムで自動化され

ているわけではない。そこでT-iDigital Fieldに集積されている人に関する位置情報を抽出し、坑内にいる人と坑外にいる人とを判別することで入坑札を自動化することができる。図-6に入坑管理アプリケーションの画面を示す。トンネル工事の主流はダンプや連絡車等の車両に乗ってトンネル内に入るタイヤ工法である。このタイヤ工法の場合、入坑札を反転させるために一旦停車し、車から降りて行うため時間をロスしていたが、本アプリケーションにより自動化されることで入坑がスムーズに行われ、作業が円滑になるだけでなく、車両を止める必要がないため、追突事故等の防止にも繋がり、安全性向上にも寄与する。

3.2.4 ダンプ運行ダイヤグラム

トンネル工事では工事が進捗し、トンネル延長が長くなる事でサイクルタイムに影響する作業としてズリ出し作業がある。これはダンプトラックを使ってトンネル切羽から掘削ズリを搬出するが、延長が長くなればなるほどダンプトラックの運搬距離が長くなることに起因する。通常は延長に応じてダンプトラックの台数を増やして対応するが、この台数決定は管理者の主観的な判断で行われる。本アプリケーションはダンプトラックのトンネル内の運行ダイヤグラムを描画するものであり、切羽での積込の所要時間、坑内の移動時



図-3 トンネル工事標準ダッシュボード
Fig.3 Standard Dashboard for Tunnel Construction



図-4 マップ
Fig.4 Map



図-5 トンネルサイクルタイム
Fig.5 Tunnel Construction Cycle Time

間、坑口でのズリ排出の所要時間を可視化することができる。図-7 にアプリケーションの画面を示す。この様に、切羽にダンプが待機していない状態になると積込機械のホイールローダーに待ち時間が発生していることが可視化され、ダンプの台数が不足している事がデータで示される。これによって客観的な判断でダンプトラックの増やすタイミングや対策をする事が可能となる。

3.2.5 CO₂ 排出量管理

建設現場では施工段階においてダンプトラックや油圧ショベルなど多くの建設機械を使って施工するため、待機時間中の無駄なアイドルングやエンジンの切り忘れは CO₂ 総排出量の増加に繋がる。しかしながら、現状の施工現場ではリアルタイムに建設機械の稼働状況を把握できておらず、毎月の給油実績の集計により燃料消費量を把握するしかなく、稼働情報の即時性に欠如していた。一方で T-iDigital Field には時々刻々と建設機械の稼働データが蓄積され、その稼働時間データをもとに原単位の燃料消費量(L/h)と軽油 CO₂ 排出係数(2.58kg/L)を乗じて CO₂ 排出量を推定することができる。算定した CO₂ 排出量を可視化したグラフを図-8 に示す。本グラフでは月毎に各日の建設機械別の CO₂ 排出量の合計値を示しており、これらの数値はリアルタイムに更新される。この様にリアルタイムに CO₂ 排出量を確認できることから、不必要な建設機械が稼働している場合は即座に使用をとりやめるなどの対応が可能で、CO₂ 発生抑制に寄与することができる。



図-6 入坑管理

Fig.6 Tunnel Entry Management

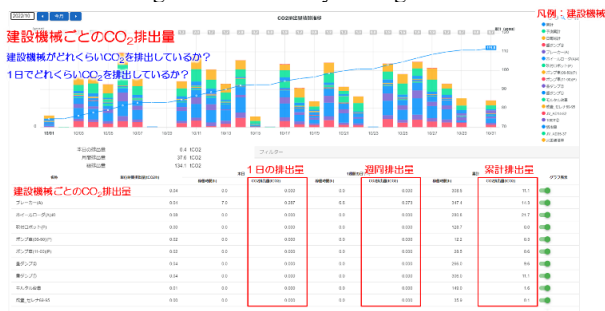


図-8 CO₂ 排出管理

Fig.8 CO₂ Emission Management

3.2.6 濁水モニタリング

トンネル工事では工事用水が濁ったり、コンクリートの影響でアルカリ性に水質変化するため、濁度と中和処理を行い河川等に還流させるのが一般的である。しかしながら濁水処理プラントは処理水の急変や薬剤量の低下などの対応を即座に適正に対応しないと環境事故を引き起こしてしまうため、非常に神経を使う繊細な設備である。しかしながら常時監視するには労力がかかるため、遠隔で運転状態をモニタリング監視し、プラント異常時に即座に対応出来る仕組みが求められていた。このようなニーズの中で T-iDigital Field 上に濁水プラントの状態をセンサーで取得し、集積しておくことでリアルタイムな濁水プラントの運転管理を可能とし、処理水管理の効率化を図ることができる。図-9 に濁水モニタリングの画面を示す。

3.2.7 その他アプリケーション連携

□T-iDigital Field は既存の ICT システムと連携することが可能である。その利便性を向上させるため、既開発のトンネル専門技術のシステムである A 計測管理システムと進行システムを連携し、同一のダッシュボードからアクセス可能にした。これにより、専用 PC 等を使うことなくインターネット環境があるだけでどこからでもアクセス可能となり、遠隔で現場状況を管理することができる。(図-10 参照)

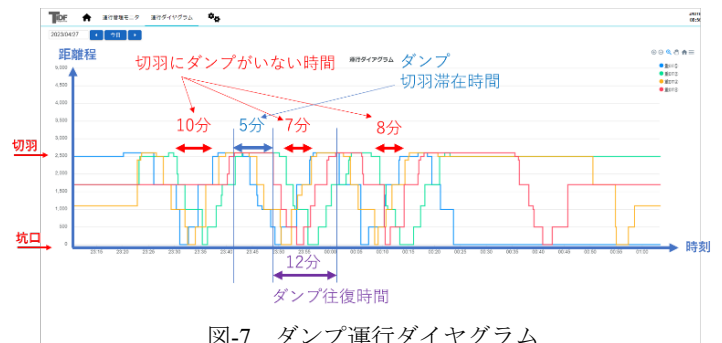


図-7 ダンプ運行ダイアグラム

Fig.7 Dump navigation diagram



図-9 濁水モニタリング

Fig.9 Turbid Water Monitoring

4. 導入効果検証

4.1 検証条件

本システムの有効性を検証するため（仮称）上曾トンネル本体工事（桜川工区）（茨城県・桜川市）において効果検証をおこなった。

本検証はシステム導入前後でのトンネル掘削1サイクルの平均時間で実施した。その際、施工条件が同じになるように支保パターンが同一で掘削延長が近い場所でおこなった。図-11に導入検証箇所を示す。また、検証期間は導入前と導入後ともに3か月間とした。

4.2 検証結果

表-1にシステム導入前後の結果を示す。システム導入前（2021.10-12）はサイクルタイムの平均は417分でこの期間の延べ掘削長は314.2mだった。これに対してシステム導入後はサイクルタイムの平均は375分で、延べ掘削長は336mであった。その結果、向上率としてはサイクルタイム平均では11%、延べ掘削長では7%向

上した。その主な要因としては、客観的なデータをもとに施工サイクルを可視化することで、無駄な部分の改善やトラブルの早期発見、各施工班毎での得意作業と不得意作業の抽出による苦手作業の教育実施などが挙げられる。

5. まとめ

T-iDigital Fieldの導入により、従来の現場管理事項をデジタルデータとして蓄積・活用してアプリケーションを構築することで、現場状況の可視化に有効であることがわかった。また今回のトンネル工事現場での適用事例により、当初ダム工事で開発したシステムをトンネル工事にも適用でき汎用性の高いシステムであることが確認できた。よって建設現場のあらゆるモノがデジタルデータとして取り扱われることでCPSは好循環を生み、データドリブンな施工管理に発展していくものと期待できる。そして土木DXコア技術として更なる開発・進化が求められているため、今後も改良・拡張を行いながら、本アプリケーションによる施工支援システムをその他工種の現場に適用を増やしていく予定である。

表-1 導入効果比較

Table 1 Comparison of benefits

項目	導入前 (2021.10-12)	導入後 (2022.1-3)	向上率
サイクルタイム平均 (分)	417	375	11%
掘削長 (m)	314.2	336.0	7%

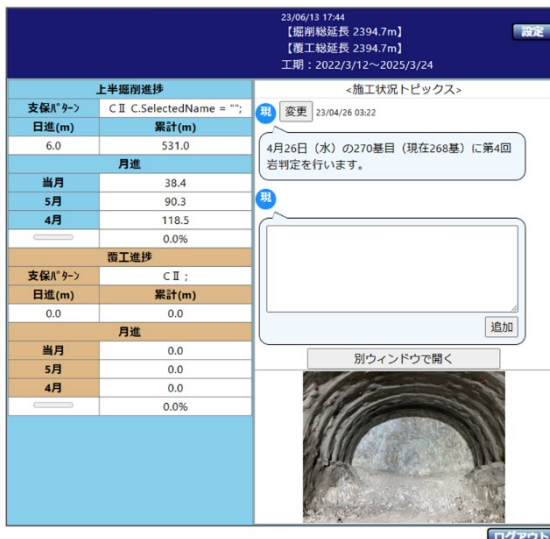
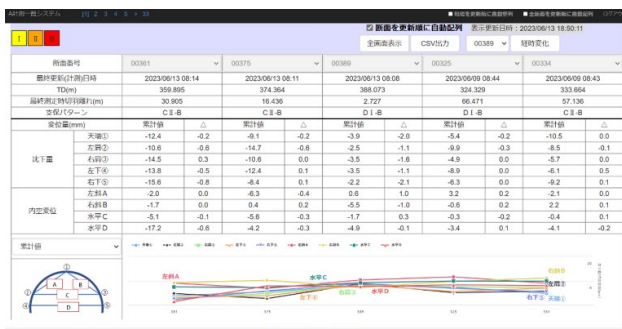


図-10 その他アプリケーション連携
(上：A計測管理，下：進行システム)

Fig.10 Other application linkage

(Upper: A measurement management, Lower: progression system)

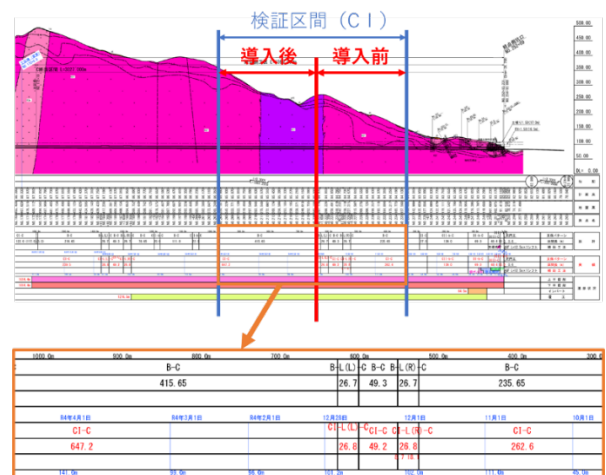


図-11 導入検証掘削箇所

Fig.11 Excavation site of introduced and verified

注

注1) CPS (Cyber-Physical System) : 現実 (Physical) 空間の各種データを仮想 (Cyber) 空間に収集し、分析・解析を行い、その結果を現実空間にフィードバックすることで、産業システムの全過程を効率化するもの