

建設施工段階における汎用デジタルツインの構築とその実務利用

湯 浅 知 英・山 中 哲 志

建設業では、直面する担い手不足や長時間労働問題への対応として、生産性向上と働き方改革の実現が最重要課題となっており、筆者らは、その課題解決の手段として、「誰でも、どこでも、すぐに」デジタルツインを構築できる「デジタルツインアプリ」を開発し、現場試行を進めてきた。本稿ではシステム構築時の課題や特徴、本アプリを活用した業務プロセスの省力化・効率化のためのステップ、各ステップを実現する機能を紹介する。最後に建設DXの将来展望について述べる。

キーワード：デジタルツイン、生産性向上、DX、ゲームエンジン、リアルタイム

1. はじめに

日本の建設業は、就業者数の減少と高齢化の進行による担い手不足、2024年に適用される改正労働基準法に伴う時間外労働時間上限制限の施行、また長時間労働や過酷な労働環境といった問題に直面している。労働生産性に関して、国土交通省は2025年までに生産性を2割向上させるi-Construction施策を打ち出し改善傾向にあるとはいえ、マクロでは他産業に比べて数十年に渡り低い状態が続いている。従って「働き方改革」と「生産性向上」を同時に達成することが、現時点で我々に求められている最重要課題といえる。

こうした状況を打破するには、建設生産プロセスを変革するデジタルトランスフォーメーション（以下、建設DX）こそ有効な手段と考える。建設DX実現には、現状のデジタル化、言い換えれば実空間とサイバー空間を相互に連携させリアルタイムに現場状況を再現する「デジタルツイン」の構築が必要不可欠である。

筆者らは、特に施工（生産）段階に着目し、施工段階の「デジタルツイン」により主に2点の実現を通じて「働き方改革」と「生産性向上」を達成したいと考えている。1つ目は、遠隔・自動自律運転等によるロボティクスの更なる活用である。2つ目は、デジタルツインを活用した業務プロセスの省力化・効率化による生産性向上である。本稿では主に2つ目の生産性向上に着目して議論を進める。

2. デジタルツイン構築における課題

従来も、建設現場におけるデジタルツイン構築事例は散見されたが、主に大規模な構造物構築を行う現場へ試験的に導入されてきた傾向がある。例えば、現場内に高性能なPCなどを備え、専門スタッフが3次元モデルを編集、変換、読込といった事前準備を行い、オンプレミス環境で稼働するものが多い。しかし今後は、高性能なPCが無く、規模も大きくない現場でも、数時間でデジタルツインが構築でき、現場や遠隔地から操作できる次世代の利用環境が求められる。またその利活用でも、BIMソフトに代表される3DCAD類の取扱いに長けた一部職員または専門スタッフによる限定的な利活用ではなく、一般の現場職員が、最小限のトレーニングで簡便に操作できるものでなくてはならない。総じて、「誰でも、どこでも、すぐに」デジタルツインを構築でき、“デジタルツインがあつて当たり前”を実現することが必要である。その上で、一般の現場職員が定常業務の省力化や効率化のため、デジタルツインを道具として日常から使いこなせる状態をつくる必要がある。

3. 汎用的なデジタルツイン構築とその特徴

以後、筆者らが開発したデジタルツインを利用するアプリケーションを「デジタルツインアプリ（以下、DTアプリ）」と呼称する。前述の課題に対応したDTアプリの主な特徴は以下の通りである。

データ保存とその管理をAmazonWebService（以

下、AWS) のクラウド環境で構築しつつ、3次元描写自体はゲームエンジンのUnityをベースとしたPCにインストールして使用するクライアント(ネイティブ)アプリとした。これは、クラウドの良いところと、ネイティブアプリの良いところを合わせたような仕掛けであり、即座にデジタルツイン環境を利用できる汎用性を担保しつつ、一般的なブラウザベースのシステムと比較して、大規模・大容量の3次元モデルを軽快に操作することが可能となる。デジタルツイン実現には、建機やヒトに装着されたセンサー情報をリアルタイムに描写させる必要があるが、本DTアプリでは、市販のSaaSシステムとのAPI連携によりそれが実現できるため、特殊な通信設定や環境構築が必要なく、より容易に建機やヒトの状況を迅速かつ俯瞰的に把握できるようになった(図-1)。

以下、DTアプリの具体的な構成を述べる。

(1) クラウドサーバの構成

システムとしての拡張性・保守性・冗長性を確保する目的で、データ保存や管理を行うサーバには、AWSのクラウドサービスを採用した。利用者は通常のWEBブラウザからデータの登録や閲覧、削除などを簡単に実施できる(図-2)。以下に主な実装機能を列挙する。

- ・ログイン、認証認可・多要素認証機能
- ・プロジェクト管理機能(登録、変更、削除、プロジェクトメンバー管理)
- ・座標管理機能
- ・ユーザ管理機能(登録、変更、削除、権限管理)
- ・点群データ管理機能(登録、変更、削除)
- ・建機・デバイスデータ管理機能(登録、変更、削除、データインポート)
- ・ヒト・デバイス管理機能(登録、変更、削除、人・デバイスデータインポート)

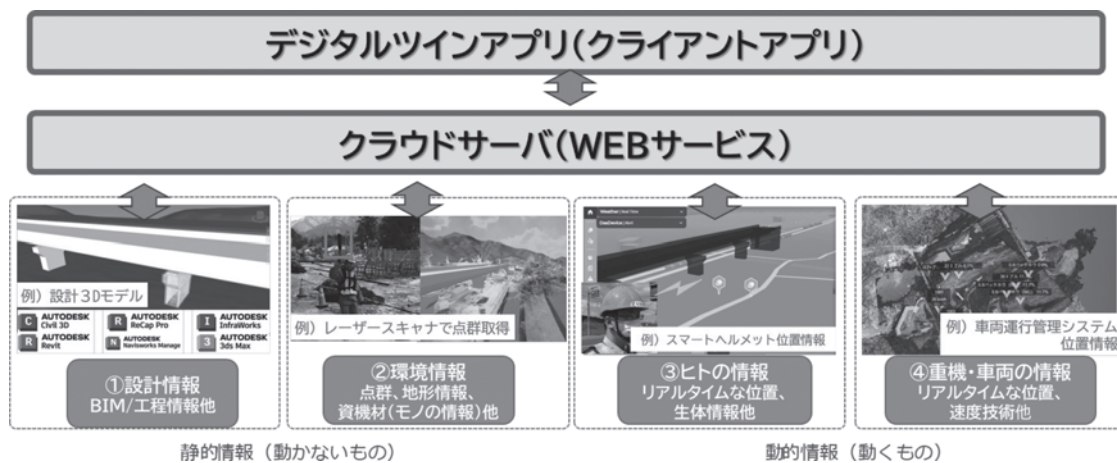


図-1 DTアプリ構築の概念図

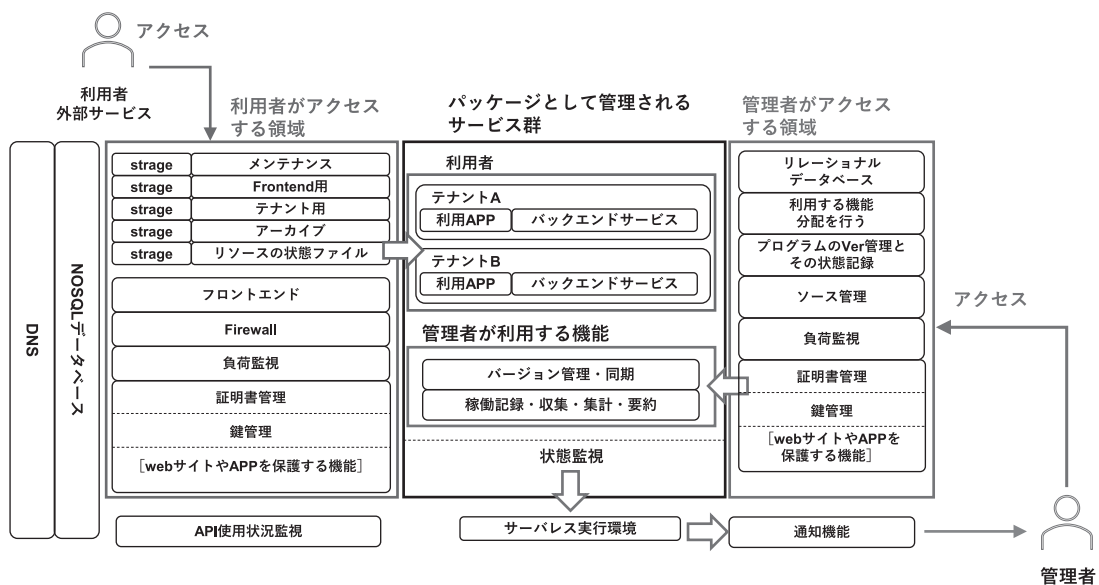


図-2 サーバの構成図

- ・3次元描写の各時点での状態を保存するためのシーン管理機能（参照，削除，建機とヒトの状態）
- ・アノテーション管理機能（参照，削除）
- ・タイムライン管理機能（工程データインポート）
- ・リアルタイム管理機能（建機，ヒト）
- ・API連携機能他
- ・データの中継機能（基盤と各種アプリケーションサーバでデータ仕様を変換する機能を有するサーバ）

(2) クライアントアプリの構築

3次元描写を担うクライアントアプリは，施工現場で構築する構造物等のモデル，点群データおよびヒトや建機・車両等のモデル，リアルタイムな移動体情報などを一つの統合された画面上で表示する。表示情報は，BIMのように高頻度には形状や位置の変更を行わない「静的な情報」と，移動体のようにリアルタイムに位置が変化する「動的な情報」に分類される。静的な情報は，主に施工計画や施工検討に活用する。動的な情報は，時々刻々と変化する現場の“今”を捉え，現場のプロジェクトマネジメントに必要な，ヒトやモノ（建機や車両等）の状況を迅速かつ俯瞰的に把握することに活用する。現場で求められる迅速な意思決定のためには，動作遅延がないことに加えて，スムーズな可視化性能が必要である。スムーズな描写には，描画の更新頻度であるフレームレートfps（fpsとは，1秒間の動画が何枚の画像で構成されているかを示す単位で，スムーズな動作かどうかの指標となる）が30fps以上を確保する必要がある。そこでクライアントアプリには，ゲーミングエンジンプラットフォームを採用することとし，世界的に広く展開するUnity社が提供している「Unity Reflect」をベースとした開発を進めた。結果，大規模・大容量のモデルでも30fps

を超える性能を発揮し，複数のメンバーからなるチームでの共有・可視化にも対応できる。

以下に主な機能を列挙する。

- ・二段階認証を備えたログイン機能
- ・プロジェクトの一覧表示，選択機能
- ・BIMモデルの取り込み，描写，カテゴリ，属性情報の表示機能
- ・点群データの配置と描写機能
- ・建機やヒト，カラーコーンなどを好きな場所に配置できる機能
- ・付箋（コメント）付与や寸法の計測，表示機能
- ・計画または，実績の日時に合わせてモデルを表示させる4Dタイムライナー機能
- ・画面で表示されている任意のシーンを保存・読み込みし，スクリーンショットが撮影できる機能
- ・複数ユーザでの同時閲覧と個別ユーザの視点を共有できる機能
- ・ボイスチャット機能

4. DTアプリを用いた業務フローと各種機能

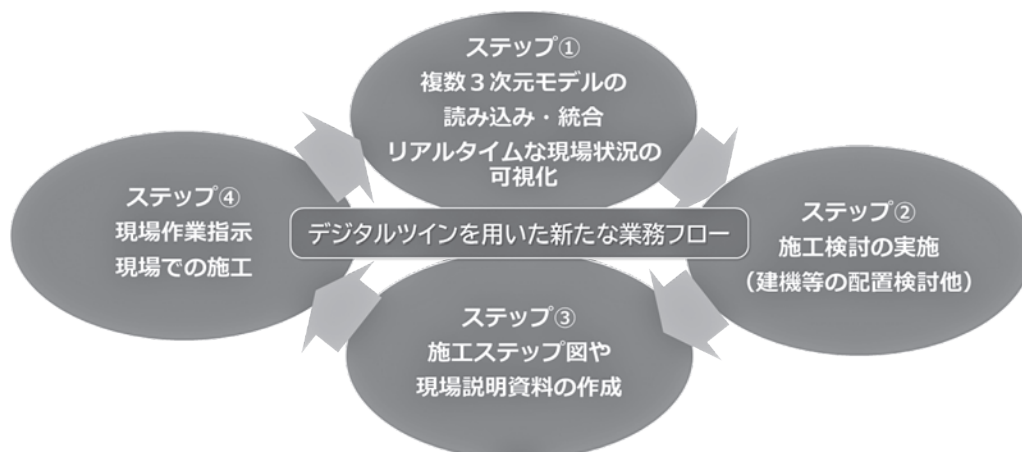
DTアプリにより，汎用的なデジタルツインの構築が現実となった今，この新しい道具を使って，いかに業務プロセスの省力化・効率化させ生産性向上ができるかの議論に集中できる。筆者らはDTアプリを用いた新たな業務フローを，以下4ステップにより説明できると考えている（図—3）。

・ステップ1

複数の3次元モデルの読み込み・統合を行う。建機や車両等のリアルタイムな現場状況の可視化も含む。

・ステップ2

デジタルツインにより再現されるサイバー空間上で事前に施工上の問題点や解決策を検討する。



図—3 デジタルツインを用いた新たな業務フロー

・ステップ3

複数の検討状態を保存・管理し、施工計画で利用する「施工ステップ図」や「現場状況図」を作成する。これにより、現場説明資料や実現場での作業内容伝達に用いることができる。

・ステップ4

ステップ2、ステップ3に基づき、実際に現場施工を実施するステップ。なお、実施中は各種センサーにより実施状況が記録されるため、ステップ1に戻って、状況の更新が行われる。

以下、各ステップにおいて活用される機能について説明する。

(1) ステップ1

(a) 3次元モデルの読み込み・統合、属性表示機能
従来2次元図面に代わり、本アプリでは、連携する3DCADソフトからインポートするだけで、DTアプリ上で、容易に3次元モデルを操作できるようになる。この際、3次元モデルはDTアプリで操作可能なデータ形式への変換と最適化が実行されるため前述の通りスムーズな描写が可能となる。取り込んだ3次元モデルは形状だけでなく属性情報も欠落なく引継ぐことが可能である。

(b) 座標変換機能

BIM や点群を含む複数の3次元モデルをアプリ内の同一空間上に統合するためには、モデルを配置する座標系を統一する必要がある。本アプリでは、国土交通省「BIM/CIMモデル等電子納品要領（案）及び同解説」（令和4年3月）に準拠し「日本測地系2011（JGD2011）」に適合する座標系を採用した。本アプリ内で利用する座標系の仕様を表-1に示す。

表-1 アプリ内で利用する座標系の仕様

項目	基準
測地系	日本測地系2011
投影法	平面直角座標系
基準水準面	T.P.（東京湾平均海面）を基準として標高0mとする
構造物モデルの精度	mm
モデルの単位	m

3次元モデル全般を取り扱うサーバの中では、対象とする建設プロジェクト毎に、基準点高度（m）、基準点位置（平面直角座標系のx及びy座標）、平面直角座標系の原点（第1系～第19系）を選択できる機能を実装している。また、工事原点と独自に設けたロー

カル座標しか持たないデータや、GNSSから得る位置情報のデータ様式で採用されている「WGS84系（WGS1984）」の情報を持つデータが混在するため、座標系を統一する座標変換機能も実装している。

(c) 建機や車両、ヒトのリアルタイムな位置情報の描写機能

従来、稼働する建機位置等を3次元空間上でリアルタイムに把握することは困難であり、ホワイトボードにマグネットを使って情報共有したり、目視確認を行っていた。本アプリでは、センサ情報を直接取得するのではなく、位置情報等を取得・管理する別システムから、API経由で必要なデータだけを取得し統合する。これにより、複数のシステムで管理されている場合であっても情報の統合と、同一空間上での描写が実現できる（図-4）。



図-4 リアルタイムな位置情報の描写

(2) ステップ2

(a) 建機や車両等のライブラリーとその配置機能

都市部での工事に代表される狭い空間での施工では、施工方法や使用できる建機の高さ等に制限が生じるため、綿密な施工検討が必要である。従来は、平面図と断面図を見ながら、頭の中で複雑な3次元空間をイメージして施工計画書等を作成していた。また、3DCADソフト等を使えば3次元での検討は可能であるが、扱えるオペレータが限られているため、結果として効率的で迅速な施工検討は困難であった。

本アプリでは、予めメーカーごとに整理された複数の3次元建機や車両モデルをライブラリーとして用意しているため、適切なモデルを選択し、任意の場所に配置するだけで、建機等の配置計画や施工検討が可能となる（図-5）。また、特殊な建機や設備等の検討が必要となった場合でも、ユーザー自身がライブラリーを追加できるため汎用性も高い。なお、クレーンのブーム角度等を自由に編集する機能も実装予定である。

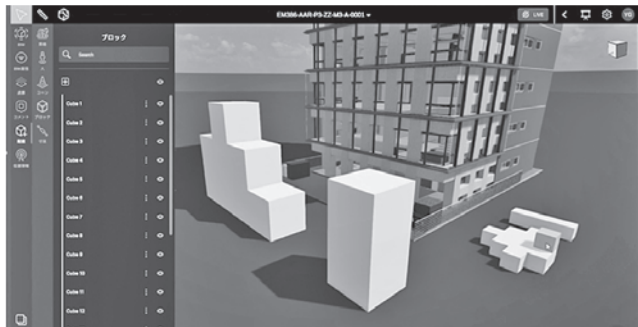
(b) ヒト、敷鉄板、任意サイズブロックの配置機能

本アプリでは、ヒトのモデルの配置機能のほか、カラーコーンを一筆書で設置できる機能、敷鉄板の敷設



図一五 建機等の配置状況

機能とその数量のカウント機能を備える。また、BIMモデルを作成する程ではない簡易な検討に備えて、任意にサイズ変更可能なブロックモデルを自由配置できる機能を備えた。例えば、ある作業に付属して必要な水槽や発電機、コンテナ、資機材の束などをブロックで代替表現し配置することで、ヤード計画等に活用が可能である（図一六）。



図一六 任意サイズのブロックモデル自由配置機能

(3) ステップ 3

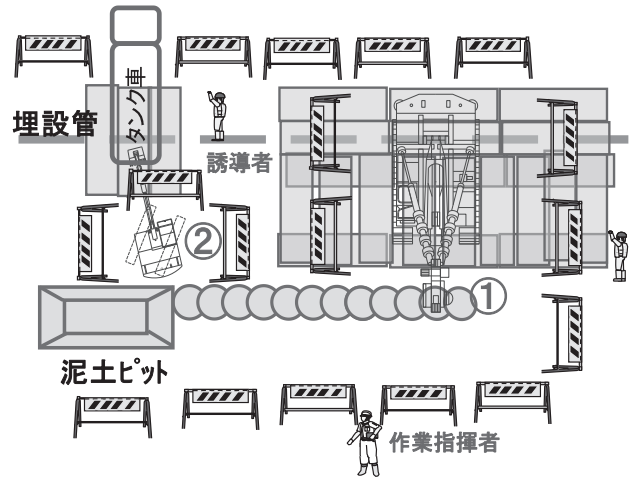
従来、図一七に示すような車両系やクレーンの作業指示書等に添付する配置図は、CADにより2次元図面を作成しコピーしたのち、作業員やカラーコーン等のイラストを追加、画像ファイルにして必要書類に貼付けるなどの煩雑な作業が発生していた。

本アプリでは、ステップ2の機能等で図一八に示すような3次元配置図を短時間で作成できる。さらに、画像化機能や検討時の配置状況等をシーンとして保存できる機能により、アプリ上での情報共有だけでなく、施工計画書等に添付する図の切り出しを容易に行うことが可能である。またシーン群をまとめて管理する機能により従来の施工ステップ図と同様、3次元でもステップ図として管理し作業員への説明に活用できる。

(4) ステップ 4

(a) アノテーションとチャット機能

本アプリは、施工段階での関係者間がコミュニケー



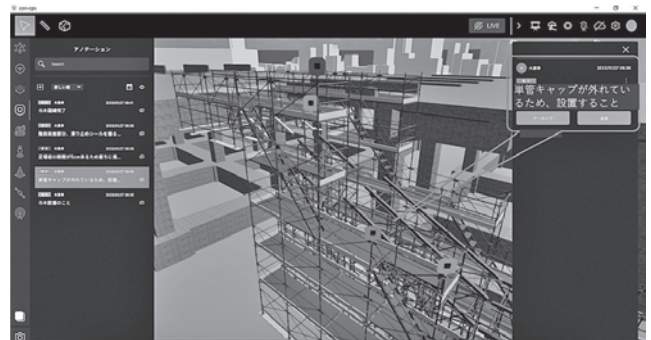
図一七 従来の作業計画書の配置図例



図一八 3次元アプリ上での配置検討の状況

ションを高度にする機能を有している。従来、現場巡視やパトロールでの指摘や是正は、口頭で場所を指示し、その内容をカメラ撮影するなどして、是正内容等が伝達されていた。また、その際、場所や記録を一元管理することが困難であった。

アノテーションとチャット機能では、①3次元上で任意場所を選択、②指示や是正内容を宛先付きで入力し、その際に写真や文章ファイルの添付も可能、③チャット機能のメッセージのやり取りにより状況の確認、の3ステップで場所を特定した指示や是正内容の一元管理ができる（図一九）。



図一九 アノテーション機能での通知状況

(b) 施工中のリアルタイム把握

プロジェクトマネジメントの観点では、現場のヒトとモノ（建機や車両等）の状況をいかに迅速かつ俯瞰的に把握できるかが重要となるが、DTアプリでは、場合によっては現地以上に迅速かつ俯瞰的に詳細状況の把握が可能である。こうした状況把握のうえで、是正や指示事項があれば、打ち合わせによる伝達といった通常の方法に加えて、アノテーション機能による関係者全員への迅速な指示を行ったり、安全管理上の確認が可能になる。

5. 将来展望

将来的には、今まで述べてきたようなデジタルツインの業務利用に留まらず、現場から取得した過去の累積データを分析・集計し、出面集計や労務管理、支払い業務等にも活用を拡大していきたい。また実績情報が蓄積されれば、施工管理におけるPDCAサイクルの実施サポートも可能になると考えている。現在、DTアプリは3次元モデルの描写が中心であるが、3次元に限らず、例えば入退場管理システム、作業日報管理システム等のシステム連携により、業務プロセスの省力化・効率化による生産性向上を更に進めていけるのではと考えている。そのためにも、連携できるアプリケーションの種類や数を増やすだけでなく、多岐にわたるデータ形式や変換機能、API仕様の充実を図っていきたい。

6. おわりに

本稿では、建設DX実現の手段の一つとして、筆者

らが開発したDTアプリについて、システムの構成、実務利用に向けた業務フローとそれを実現する各種機能、将来展望を紹介した。実現場への展開は、始まったばかりであるが、適用実績を積み重ねると同時に、その際のヒヤリング結果を適切にシステム開発に反映させることで、目標に掲げた業務プロセスの省力化・効率化による生産性向上を着実に達成させたい。また、デジタルツインによる新たな業務フローの実現により、建設業界全体の魅力向上にも資するものにしていきたい。

JICMA

《参考文献》

- 1) 小澤一雅, 東京大学 i-Construction システム学寄附講座:i-Construction システム学, pp5-6, 技報堂出版, 2021
- 2) 山中孝文, 湯浅知英, 小澤一雅:データ・システム連携基盤を活用した施工管理システムの開発と協調領域への展開, 第4回「i-Constructionの推進に関するシンポジウム」, pp21-24, 2022
- 3) 元村重紀, 湯浅知英, 小澤一雅:CPSを活用した施工管理のためのオープンプラットフォームの実装, 土木施工1月号 (VOL.63 No.1), pp82-85, 2022

【筆者紹介】

湯浅 知英 (ゆあさ ともひで)

(株)大林組
土木本部 先端技術推進室 技術開発部
副課長



山中 哲志 (やまなか さとし)

(株)大林組
土木本部 先端技術推進室 技術開発部
副課長

