

デジタルツインによるロボット運用シナリオ検証技術の構築

その1

著者 石沢 治^{*1}・大黒 雅之^{*2}・森田 尚^{*3}・福山 牧男^{*4}・高城 純平^{*1}・土居 慎太郎^{*1}

Keywords : digital twin, robot, location information, signage, XR, IoT

デジタルツイン, ロボット, 位置情報, サイネージ, XR, IoT

1. はじめに

技術センターにおいて見学者の案内等を行うサービスロボットの構内での現在位置とステータスをリアルタイム表示するライブVRサイネージシステムが稼働している(図-1)。現状はリアル世界の状況をバーチャル世界に伝達表示するシステムであるが、バーチャル世界からリアル世界への指示伝達が可能な双方向システムに拡張し、ロボット運用のシナリオ作成の省力化を図る予定である。現状と今後の構想について報告する。

2. 技術センターのロボット位置表示の特徴

現在、技術センターのサービスロボットの現在位置表示システムはBIMモデルの3D空間内にロボットを3Dモデルで表示し、各施設の各フロアの多層的構成の中のロボットの現在位置が立体的に表示され把握できる状況である。多層間・多棟間・屋外・屋内に渡り構内施設全体を移動する異なるメーカーを含めた全てのロボットの現在位置を3Dマップ1画面に統合し、リアルタイム表示で全ロボットの全体配置を一望できるライブVRサイネージシステムである(図-1)。



図-1 ロボット位置情報管理システム

Fig.1 Robot location information management system

*1 技術センター 先進技術開発部 次世代建設技術開発室
*2 技術センター 先進技術開発部

*3 技術センター 技術企画部
*4 技術センター 技術企画部 企画室

3. システムの開発方針と主な項目

3.1 システム開発方針

技術センターの見学者の案内等を行うサービスロボットの運用ニーズに対し、低コストかつ柔軟でスピーディーな対応をするために必要な拡張性・汎用性の向上を図る。それらの開発結果を他の敷地・施設へ適用し展開することを目指して主に以下の開発を進める。

3.2 各種パラメータを外部ファイル化し汎用性獲得

本システムは中央管制サーバーと可視化アプリなどの組み合わせで動作している。中央管制と各アプリの整合性の取れた連携動作は中央管制サーバーの各種パラメータ設定を基盤とする。それら各種パラメータ設定を外部ファイルとしてオープン化し運用中の設定変更を容易にし柔軟性を高める。同時に将来同システムを他の施設で構築する際に必要な汎用性・展開性を高めシステム再構築所要時間の短縮を図る（図-2）。

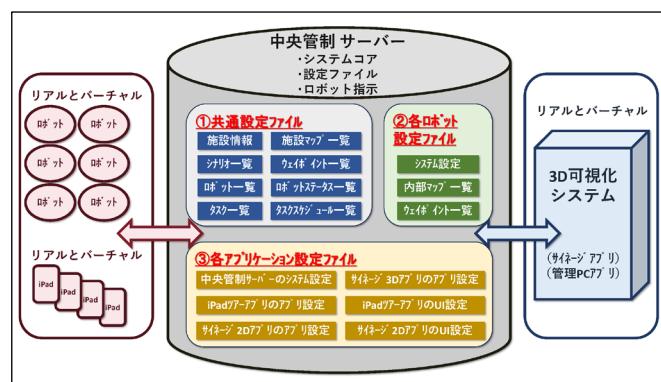


図-2 各種パラメータを外部ファイル化し汎用性獲得
Fig.2 Externalize various parameters to achieve versatility

3.3 異なるメーカーのロボットへの対応を広げる

2024年度は3メーカー計6台のロボットで稼働実績済みである。今後はさらに異なるメーカーのロボットへ対応を広げて全てのロボットの現在位置を一望表示する本システムでの稼働実績を蓄積する予定である。

3.4 異なるロボット間をつなぐ共通言語の汎用化

中央管制および異なるメーカーのロボット間をつなぐ共通言語の汎用化へと対応の幅を広げていく。運用段階でロボットへ指示命令を与える共通言語の汎用化を行う。一般的にロボットへの指示命令用の言語は簡易性のために定型化・固定化されることが多く運用上の柔軟性・拡張性が失われてしまう。本システムでは一般的で普及率の高い言語をベースにして共通単語を増やし、必要に応じて上位レイヤーで簡易化・AI化する仕組みで運用時の柔軟性・拡張性の確保を目指す。

3.5 敷地内の統一XY座標系による位置情報サービス

全てのロボットの各々の位置座標はサーバーに送信されサーバー上で一つの緯度経度座標系に統合されている。サイネージやiPadコントローラなどのエッジ端末アプリではXY座標系で制御されているためサーバーから受信した緯度経度をエッジ側でXY座標に変換して利用していた。2025年度からは緯度経度を含めてサーバー側で一つに統合された全体共通XY座標による位置情報サービスを開始する。これにより日常のコミュニケーション時に座標が分かり易くなり且つエッジ側各種アプリで発生する変換不一致を防ぐ（図-3）。

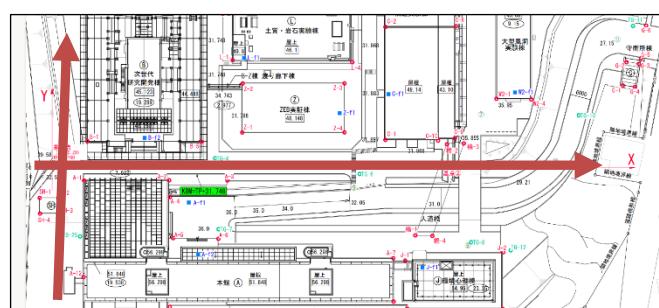


図-3 敷地内に統一XY座標系による位置情報を追加
Fig.3 Location information based on a unified XY coordinate

3.6 BIMモデルからロボット用参照マップを生成

デジタルツインのBIMモデルを活用し3Dモデルからロボット用の参照マップを生成する機能を開発する。広域マップ作成時の累積誤差への対応及びリアル作業の省力化・負荷軽減が図れるよう目指す（図-4）。

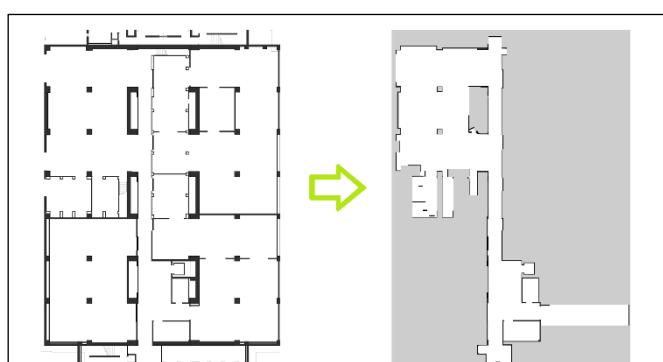


図-4 BIMモデルからロボット用参照マップを生成
Fig.4 Generate a reference map from the BIM model

3.7 モバイル・フィールドワークへの対応

3Dサイネージなど高負荷の3D可視化アプリのバージョンアップをPC版優先で開発し、開発後はBIMモデルの軽量化などを行いiPadなどのモバイル端末でフィールドワークニーズへ対応する予定である。

3.8 バーチャル化で運用シナリオ業務を省力化

本システムを運用した経験からロボットの走行ルートなどのシナリオを設定する作業にかかる労務を軽減すべきである。実物に加えデジタルツインのバーチャル空間での作業を可能とすることで労務の省力化を図る。ウェイポイント（マーカー）や走行ルート及びタスクなどもバーチャルで設定可能であればリアル作業に比べ省力化・効率化・安全性の向上が図れる。さらに運用シナリオの事前検証・プレゼンテーションも可能となり設計施工中での意思決定・フロントローディングによりロボット運用開始までの所要時間の短縮効果も期待できる（図-5）。



図-5 バーチャル化で運用シナリオ業務を省力化
Fig.5 Creating operational scenarios in virtual reality

3.9 バーチャル世界とリアル世界の双方向運用

現在はリアルロボットに指示命令を送りそのロボット位置とステータスを表示するサイネージシステムが稼働中である。リアル世界が元でバーチャル世界は表示という一方通行の関係性である。今後は上記3.8のバーチャル世界からリアル世界へ命令を送り実物を動作させる仕組みを開発しデジタルツインの双方向性を活用し省力化・効率化・安全性の向上を目指す（図-6）。

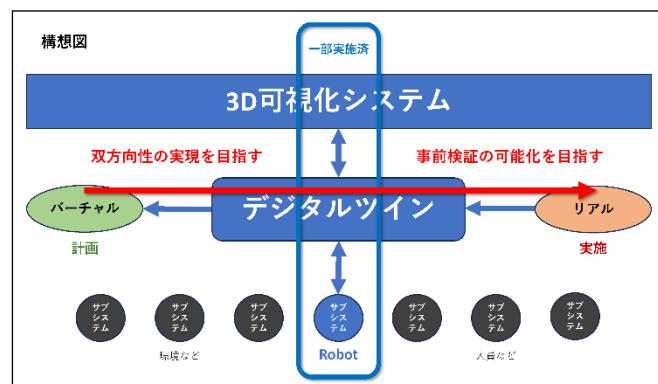


図-6 バーチャル世界とリアル世界の双方向運用
Fig.6 Two-way operation between the virtual and real worlds

3.10 バーチャル世界のダミーロボットプログラム

現状の中央管制からリアル世界のロボットへ命令を送る伝達ライン中のロボットの直前に複数世界への切替え分岐を追加実装する。中央管制から分岐までの伝達経路はリアル世界もバーチャル世界も上りも下りも区別なく共有の1本とする。命令のターゲットがリアルロボットなのかダミーバーチャルロボットなのかの区別はチャンネル番号で区別する。ダミーバーチャルロボットは簡易プログラムであり、デジタルツインのバーチャル世界の中を指示命令されたルートと速度で走行・回転・停止し、位置情報とステータスを返答する仕様とする。バーチャル世界のダミーロボットで運用シナリオの事前検証を繰返し、その後チャンネル番号を変えて再送することでリアルロボットが同じシナリオを行う計画である（図-7）。

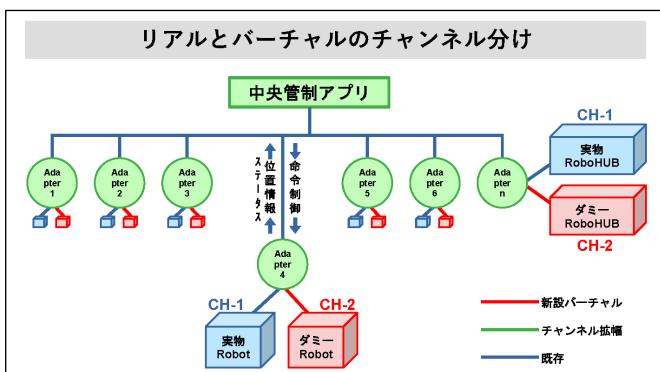


図-7 バーチャル世界のダミーロボットプログラム
Fig.7 Virtual World Dummy Robot Program

4. まとめ

半導体・センサー・AI等の進歩を背景にデジタルツインの有効活用が期待されている。デジタルツインはバーチャル世界からリアル世界を予測する技術であり、建築の設計施工分野にとどまらず、施設と人間とロボットが共存協働する次世代の建物の計画・運用としても重要な技術である。ロボットを対象とした双方向デジタルツインの構築を通じて、デジタルツインの基盤技術の確立を目指したい（図-8, 図-9）。

参考文献

- 1) 石沢治ら：ロボット位置情報管理システムの構築 その1 システム概要,
日本建築学会大会学術講演梗概集, 2024
- 2) 石沢治ら：ロボット位置情報管理システムの構築 その2 デジタルツインに向けて,
日本建築学会大会学術講演梗概集, 2025

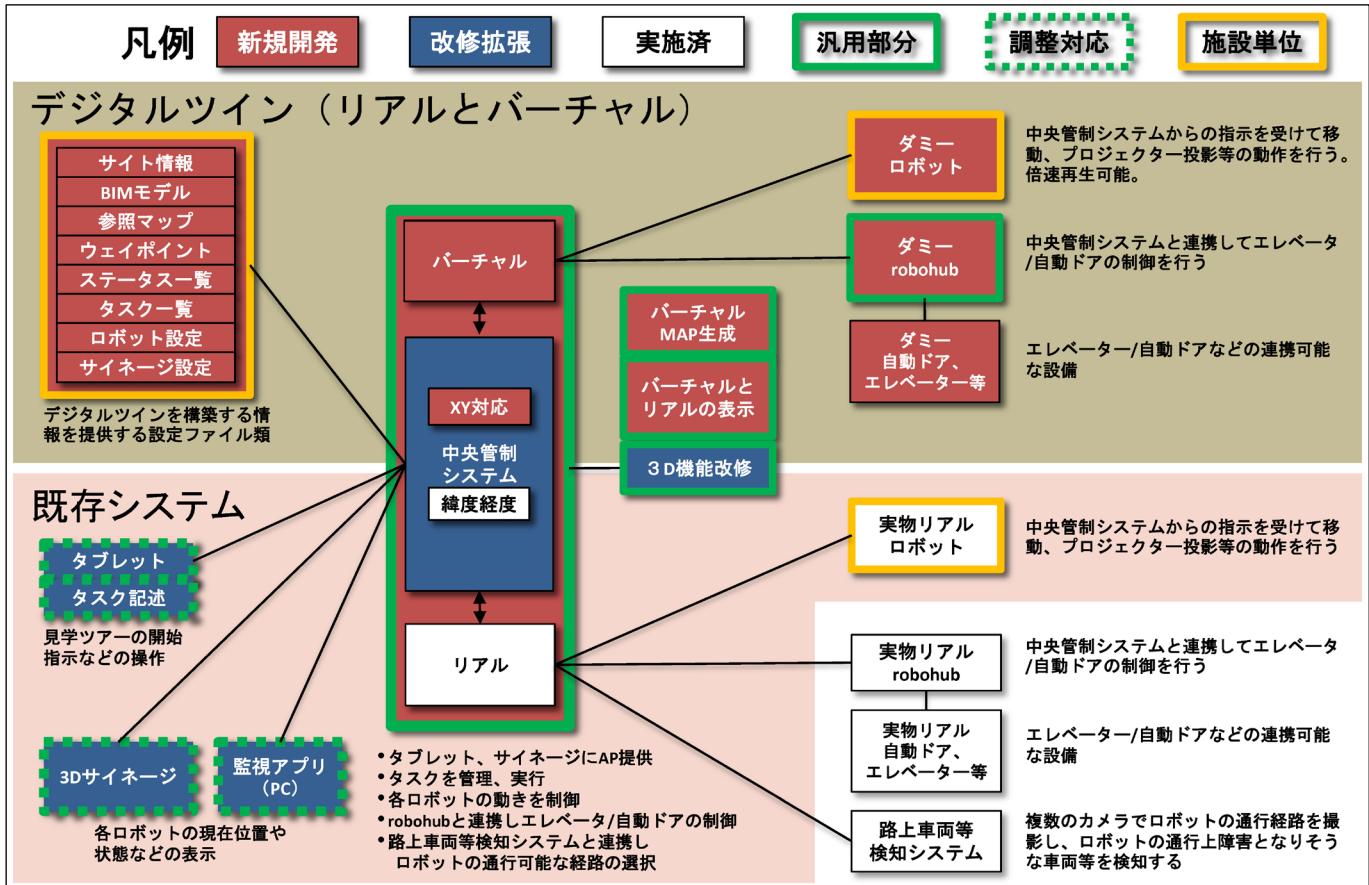


図-8 システムの開発改修の計画図

Fig.8 System development and improvement plan

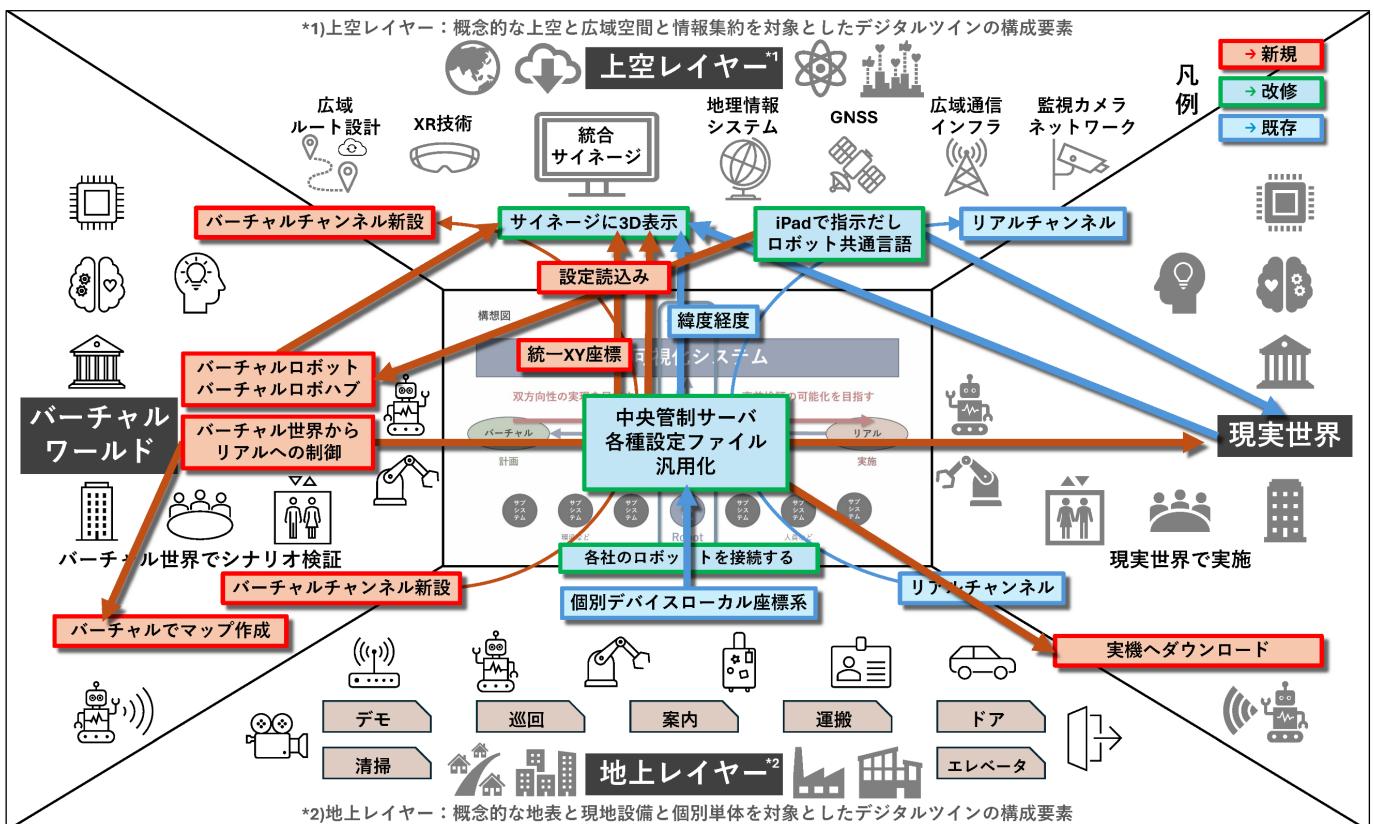


図-9 地上レイヤーと上空レイヤーの垂直軸とリアル世界とバーチャル世界の水平軸と開発項目の関連図

Fig.9 A diagram showing the relationship between development items on the vertical axis and the horizontal axis.