

IFC モデルサーバを用いた BIM 向け Web ビューワの実装

古田 悟¹ 中里 仁¹ 塚田 学¹ 江崎 浩¹

概要: 近年注目されるデジタルツイン技術とは、物理的な物体やシステムを仮想的に表現し、シミュレーションや最適化を行う技術である。建築・エンジニアリング・建設 (AEC) 業界では、Building Information Modeling (BIM) を用いたデジタルツインが検討されており、施設管理の効率化や建物内を動くロボットのフィールドマップなどへの活用が期待されている。しかし、リアルタイムの状況に合わせてデジタルツインデータを更新させることが難しいことや、BIM を手軽に扱うことのできるソフトウェアが不足していることなどが課題で、BIM を用いた屋内デジタルツインの運用・保守管理への導入は未だ十分に進んでいない。筆者らは連携グループと共に開発した、BIM データに簡易にアクセスできるサーバを活用し、Web ブラウザで動く BIM のビューア・3D エディタを開発した。

Implementation of 3D Web Viewer for BIM using IFC Model Server

Satoru Furuta¹ Jin Nakazato¹ Manabu Tsukada¹ Hiroshi Esaki¹

1. はじめに

近年、デジタルツインという概念がさまざまな業界で注目を集めている。デジタルツインとは、物理的な物体やシステム、プロセスを仮想的に表現し、それを使って現実世界の対応するものをシミュレーション、監視、最適化する技術である。建築・エンジニアリング・建設 (AEC) 業界では、建物のデジタルツインが設計、建設、施設管理の効率化や、建物内を動くロボットのフィールドマップとして経路計画などの基盤に活用されることが期待されている。AEC 業界では建物の情報をデジタル管理するために Building Information Modeling (BIM) を用いる流れが加速しており [1]、BIM がデジタルツインのデータ基盤として用いられることが多い。BIM とは、建築物やインフラの設計、建設、運用に関する情報をデジタルモデルに統合し、管理・共有するための手法である。BIM では従来の 3D CAD のように図面上の線分表現として図形を保存するのではなく、実際の構成要素 (壁・柱・窓・ドア・階段など) 毎に 3D データと属性情報を持たせる形で管理する。BIM を使用した建物のライフサイクル全体に渡る情報管理は、ISO 19650 [2] として国際規格となっており、データ形式として最も一般的なものが IFC ファイルである。IFC ファイルで

は各要素の・ジオメトリ・材質や色・他のオブジェクトとの関係・階層構造などさまざまな意味情報を扱うことができる。IFC は建築市産業界に関する標準化されたデジタル記述のオープンな国際規格となっており、buildingSMART International が策定している [3]。

BIM を用いた屋内デジタルツインには、保守・運用フェーズにおけるデータ更新が難しい点と、データに手軽にアクセスすることが難しい点の 2 つの課題が存在している。BIM はこれまで建物の設計・施工・内装のフェーズで主に用いられてきたため、内装まで完成した建物のデータは静的なデータとして保存され、保守・運用フェーズにおいての更新は想定されていない。リアルタイムのデータが必要な IoT データ連携などは、BIM の各オブジェクトに付与された ID と IoT 管理システムの ID などを直接対応させることで、BIM に紐づけることを可能にしている実装が主である。建物の運用・保守フェーズにおいて BIM を更新することができないため、屋内の家具の 3D データなど BIM のデータを直接参照する必要があるデータは、リアルタイムの屋内状況とは異なるデータを扱わざるを得なくなっている。これにより施設利用の最適化やロボットの経路計画など、屋内デジタルツインを利用するユースケースにおいてデジタルツインが本来の価値を発揮できない状態が課題として挙げられる。BIM に関するもう一つの課題がデータ

¹ 東京大学

へのアクセス性である。BIMの代表的なファイル形式であるIFCファイルは人間の目で読み解くことは難しいため、IFCファイルを構文解析するソフトウェアなどを通して可視化を行う必要がある。BIMはこれまで設計・施工などに用いられてきており、扱う人も限られていたため、BIMの可視化を行えるのはAutodesk RevitやArchiCADなどの専用ソフトウェアのみであった。これらのソフトウェアはいずれも高価であり、運用・保守の場面で多くの人が手軽に使うユースケースには活用しづらい。以上のような背景から、BIMを基盤とした屋内デジタルツインは、運用・保守フェーズにおいて大きな効果を生むことが期待されているものの、社会実装に至るまでには未だ多くの課題が残されている。

筆者らは東大グリーンICTプロジェクト(GUTP)^{*1}のBIM基盤WGと連携し、BIMの2次活用促進を目標としたオープンソースの開発プロジェクトを進めている。GUTPでの取り組みで、IFCから抽出したメタデータとジオメトリを格納したサーバ(IFCモデルサーバとIFCジオメトリサーバ)を開発・運用中である。このサーバはIFCファイルのアップロードや各種データ取得のためのAPIエンドポイントを備えている。API経由で建物内の各オブジェクトの3Dデータや属性情報などに簡単にアクセスすることが可能になっている。筆者らは、このサーバをデータ基盤として、Webブラウザ上で動作するBIMの3Dビューアを開発した。さらにこのブラウザアプリケーション上に3Dエディット機能を追加し、IFCモデルサーバも更新された3Dデータを格納できるように拡張した。本研究の貢献は、リアルタイムの屋内状況に合わせてデジタルツインを更新することに着目し、これを目的とした簡易にアクセスできるアプリケーションシステムを提案した点である。

本稿は以下のような構成になっている。まず第2章では本研究と関連するデジタルツインの概況やBIMに関するアプリケーション研究を紹介する。次に3章にて、本研究の目的のために実装したアプリケーションについて詳細に説明する。4章では本稿のまとめを行う。最後に5章にて、今後の課題を述べる。

2. 関連研究

本章では、デジタルツインに関する調査結果や、BIMに関するアプリケーションについての研究について述べる。

2.1 デジタルツインとその課題

2012年に米国航空宇宙局(NASA)は、デジタルツインの概念を再検討し、デジタルツインを物理モデルやセンシング、それらの過去データを利用し、対応した現実世界の対象のライフサイクルを反映するマルチフィジックスかつマ

ルチスケールな統合システムと定義した[4]。デジタルツインとは、実空間における対象のツインを仮想空間上に用意し、そのライフサイクルを仮想空間上に反映させ、ツインの現在や過去のデータから対象をリアルタイムに監視することができるシステムである。そして、これら取得データから実空間の対象にフィードバックを行うことで、ライフサイクルや作業工程の最適化を図ることも目的とされる。BojeらはBIMとデジタルツインの状況について196の学術出版物をレビューすることで、静的で他のデータモデルとの連携を前提としていないBIMをデジタルツインの世界観に拡張させることで、AEC業界に大きな利益をもたらすと主張した[5]。

デジタルツインの運用についてはいくつかの課題が指摘されている。Leiらは専門家を対象としたデルファイ法による調査を行い、デジタルツインの運用における14の技術的課題と9の非技術的課題を特定した[6]。彼らが指摘した技術的課題の中でも特に専門家の問題意識が強かった課題として、データの相互運用性、ソフトウェアの入手困難性、データの更新とバージョンングなどが挙げられる。

2.2 BIM関連アプリケーション

BIMの可視化や編集を目的としたアプリケーションについては、商用のもののみならず、学術界でもいくつか実装例が存在する。ZhaoらはIFCモデルを意味属性に関連付けられたJSONファイルと幾何学的情報を持つ3Dデータに再編成することで、Webサイト上でBIMモデルを素早く読み込むことができるアプリケーションを開発した[7]。この研究では、ブラウザを介して直接3Dモデルを編集することはできないという技術的な制約を今後に向けた課題の一つとして述べている。Liらは大規模なBIMシーンをWebブラウザ上で効率的に表示するための手法を考案した[8]。伝送スケジューリング、キャッシュ管理、および最適な初期ロードを単一のシステムアーキテクチャに統合し、大規模シーンの可視化効果を向上させながらシーンのロード時間とネットワーク遅延を効果的に削減できることを示した。Silvaらは[7]で指摘された今後の課題を解決し、Webブラウザ上でIFCの3Dモデルを編集し、他のユーザからの閲覧を可能とした、クライアント-サーバ型のBIM編集プラットフォームを作成した[9]。

このように、BIMの可視化や編集を目的としたWebブラウザで動作するアプリケーションはいくつか実装されているものの、リアルタイムの屋内状況と整合させ、3Dモデルを更新することを目的としたアプリケーションについての試みはまだ少ない。

3. 実装

本研究の目的は、リアルタイムの屋内状況に合わせた屋内デジタルツインの更新を、ユーザからのアクセス性の高

^{*1} <https://www.gutp.jp/>

い Web ブラウザで動作するアプリケーションとして実装することである。この目的を踏まえて、本研究では、図1のようにバックエンドサーバ、フロントエンドアプリケーション、データベースの3つのコンポーネントからなるシステムを構築した。

3.1 バックエンドサーバ

バックエンドサーバとしては、GUTP の BIM 基盤 WG と連携して開発した IFC モデルサーバと IFC ジオメトリサーバを用いた。IFC モデルサーバでは、IFC データを構文解析し、各インスタンスをドキュメント化、ドキュメント同士の参照・逆参照をエッジで表現する形でグラフデータベースにストアするようにしている。これにより、データの検索処理をデータベースのマネジメントシステム側に任せることを可能にしている。3D データについては別途 IFC ジオメトリサーバで管理している。モデルサーバのデータと ID 接続を行うことにより、相互にデータ連携することが可能になっている。これらのサーバは Microsoft Azure のクラウド上に動作させている。データのアップロードや削除、アクセスなどは API 経由で行う。

本実装では、この IFC ジオメトリサーバの 3D データベースに、タイムスタンプの情報を追加した新たなテーブルを追加した。フロントエンドアプリケーションで更新した 3D データを、更新した日時のタイムスタンプと共に保存するための API エンドポイントを実装し、更新した日時と併せて新たな 3D データがストアできるようになっている。

3.2 フロントエンドアプリケーション

アプリケーションの外観図を図に示した。本アプリケーションの構築には、Javascript フレームワークの React、ブラウザ上での 3D 表現用ライブラリの Three.js を用いている。利用するデータは全て、前述のバックエンドサーバから取得している。

ユーザはまず、図のようなモデル選択画面から、表示・編集する IFC モデルの ID と更新日時バージョンを選択できる。なお、編集できる更新日時バージョンは最新のもののみとしている。モデル選択画面ではこの他に、モデルのアップロードや削除を行うこともできる。モデルの表示選択を行うと、バックエンドの IFC モデルサーバからメタデータを、IFC ジオメトリサーバから 3D データをそれぞれ取得してくることで、図2のような IFC の表示画面に遷移する。IFC 表示画面は、ツリービュー・3D ビュー・オブジェクト詳細表示の大きく3つの要素からなる。IFC データは階層構造になっており、オブジェクト同士やオブジェクトと空間の間がどのような関係で定義されているのかを把握することで、データをより深く理解することができる。この目的のためにツリービューを実装した。ツリービュー

内の各オブジェクト名をクリックすることで、後述する 3D ビューにおける該当オブジェクト部分がハイライトされる機能も実装した。3D ビューはモデルサーバ内のジオメトリデータを RGBA 情報とあわせて可視化したものである。3D ビュー内の各オブジェクトも選択することが可能であり、選択によってツリービュー内の該当オブジェクト名のハイライトや、後述するオブジェクト詳細表示機能呼び出すことができる。3D ビュー内でオブジェクトを選択することで、該当オブジェクトの詳細情報を表示するウィンドウを 3D ビュー内に表示させることができる。

モデルの 3D 編集選択を行うと、図3のような編集画面に遷移する。この画面では最新の更新バージョンの 3D モデルと現場の点群データを重ねて表示できるようになっており、3D モデルの方をドラッグ操作によって動かすことができる。点群データの表示には Potree を使用した。3D モデルと点群が重ねて表示されているため、どちらかが見づらくなる場合がある。そのため、画面左上の選択タブから、どちらかを透明にすることでもう一方を見やすくすることができる選択機能を搭載した。動く可能性の低いオブジェクト（床や壁など）を誤って動かすことのないよう、動かすことのできるオブジェクトの IFC クラスを事前に選択するような仕様としている。ユーザは動かしたいオブジェクトの IFC クラスを選択した後、そのオブジェクトをダブルクリックすることで、同一平面上を自由に動かすことができる。この状態から右クリックで、回転するモードに変換する機能も搭載している。編集が終了したら Save ボタンを押すことで、IFC ジオメトリサーバに該当編集を保存するための API を呼び出す。

4. まとめ

本稿では、BIM を基にした屋内デジタルツインの可視化と、デジタルツインをリアルタイムの屋内状況に合わせて更新していくためのブラウザアプリケーションについて報告した。我々は BIM から生成される屋内デジタルツインの現状の課題として、リアルタイムの状況に合わせて更新する手段が不足していることと、手軽に扱えるソフトウェアが不足していることの2つを取り上げた。これらの問題を解決するため、ユーザが手軽に扱える Web ブラウザで動作するソフトウェアアプリケーションを実装し、そのアプリケーション上で IFC の可視化と、点群データとの重ね合わせ、3D モデルの更新などを行えるようにした。評価を行うにあたって、本来ならばユーザビリティテストなどを行うのが適切であったが、本アプリケーションは実証段階であり、現場への導入が行えていないため、使用感の評価は今後の課題とすることとした。

5. 今後の課題

本章では、今後の課題として、本アプリケーションの機

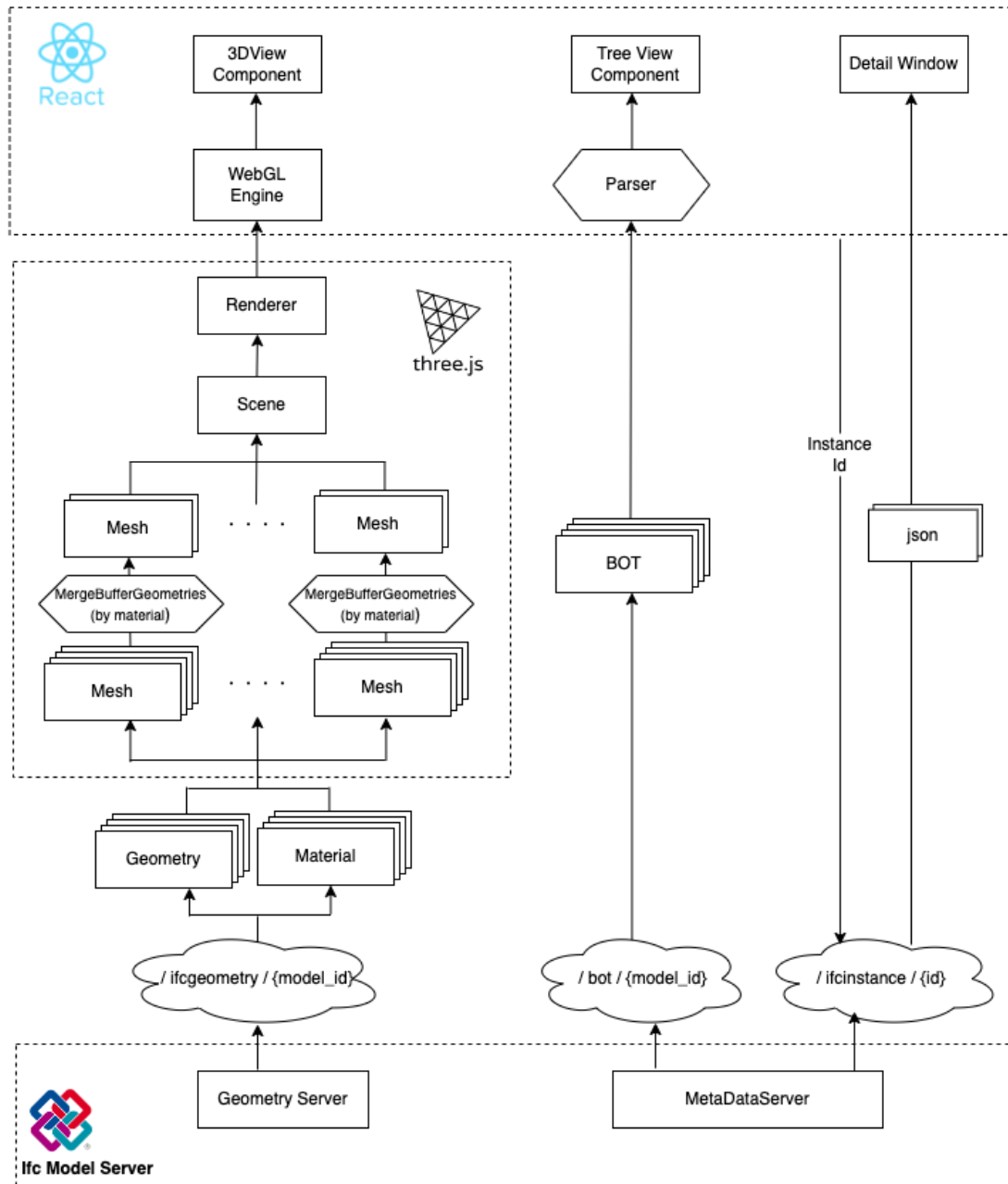


図 1 システム構成図

能面、評価面での改善点や、リアルタイムの状況に合わせてデジタルツインを更新していくにあたって解決すべき課題について述べる。

5.1 アプリケーションの機能改善

今回作成したアプリケーションを社会実装するにあたっては、以下のような機能の実装が必須になると考えている。

- 認証機能
- 3Dモデルのデータ圧縮
- リアルタイムデータの選択肢の多様化

本アプリケーションには認証機能を実装していないため、全てのユーザーがモデルサーバに入っている全てのIFCデー

タの参照・編集を行ってしまう。この状態では企業などへの導入を行うことはできないため、ユーザ認証機能と、どのリソースにどのような操作権限を与えるかを制御する管理画面などの実装が必要になる。次に、現在IFCジオメトリサーバに格納している3Dモデルデータはメッシュのデータとなっており、3Dモデルの読み込みには長い時間がかかっている。今後はIFCジオメトリサーバでglbなど軽量の3Dモデルに変換しておくことで、3Dデータへのアクセスをより高速にする必要がある。最後に、本研究ではリアルタイムデータとして点群を表示させているが、実際の現場においてはカメラしか利用できない場合なども考えられる。こうした場合に備えて、リアルタイムデータと

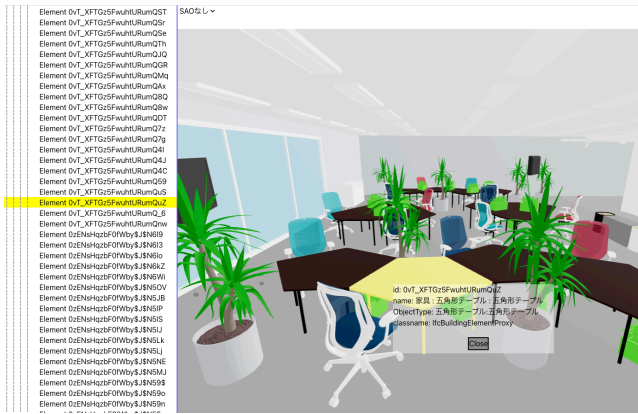


図 2 ビューワ全体画面



図 3 3D エディタ全体画面

して表示する入力として多様な選択肢を提示できるようにアプリケーションを拡張し、現場のリソースに合ったアプリケーションの使い方ができるようにしていくことが有用である。

5.2 評価手法の選定・実行について

本アプリケーションは、屋内デジタルツインをリアルタイムの屋内状況に合わせるための簡易にアクセスできるアプリケーションが存在していないことを課題とし、その解決のために作成されたものである。そのため、本アプリケーションの使用感や有用性をユーザに評価してもらい、今回の実装が研究目的に沿ったものであったかを定性的に測定する予定である。

5.3 デジタルツインの更新に関する課題

本アプリケーションはデジタルツインの更新の課題に対して有用であると考えているが、一方でデジタルツインを更新していくためにはアプリケーション実装以外の課題解決も必要である。一つ目が更新の自動検出である。本アプリケーションではリアルタイムのデータと IFC の 3D モデルを重ねて表示し、異なる部分は手動でオブジェクトを動かすことで更新作業を行っていた。この手法では人間による手作業が必要になってしまうため、現場の負担が大き

くなってしまふ。屋内状況を監視し 3D モデルを自動で更新するための研究は、点群を入力とした研究 [10] やカメラを入力とした研究 [11] など存在している。こうした技術の精度を上げていくことによって、本アプリケーションに提案機能を実装することや、更新を完全に自動化することも期待できる。もう一つの課題が更新の差分抽出である。本実装では、更新したオブジェクトのみならず、全てのオブジェクトの 3D モデルを保存しているため、データ量が膨大になる。更新したバージョンと前回のバージョンの差分のみを抽出し管理することができれば、データ量や異なるバージョン間の差分理解に対して有用であると考えられる。

参考文献

- [1] Azhar Salman. Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *Leadership and Management in Engineering*, Vol. 11, No. 3, pp. 241–252, July 2011.
- [2] Iso - iso 19650-1:2018 - organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (bim) — information management using building information modelling — part 1: Concepts and principles. <https://www.iso.org/standard/68078.html>. (Accessed on 12/28/2022).
- [3] Industry foundation classes (ifc) - buildingsmart international. <https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes/>. (Accessed on 12/28/2022).
- [4] Edward Glaessgen and David Stargel. The digital twin paradigm for future NASA and U.S. air force vehicles. In *53rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics and Materials Conference, Structures, Structural Dynamics, and Materials and Collocated Conferences*. American Institute of Aeronautics and Astronautics, April 2012.
- [5] Calin Boje, Annie Guerriero, Sylvain Kubicki, and Yacine Rezugui. Towards a semantic construction digital twin: Directions for future research. *Autom. Constr.*, Vol. 114, p. 103179, June 2020.
- [6] Binyu Lei, Patrick Janssen, Jantien Stoter, and Filip Biljecki. Challenges of urban digital twins: A systematic review and a delphi expert survey. *Autom. Constr.*, Vol. 147, p. 104716, March 2023.
- [7] Zhao Xu, Lu Zhang, Heng Li, Yi-Hsin Lin, and Shi Yin. Combining IFC and 3D tiles to create 3D visualization for building information modeling. *Autom. Constr.*, Vol. 109, p. 102995, January 2020.
- [8] Ke Li, Hantao Zhao, Qian Zhang, and Jinyuan Jia. CE-BOW: A Cloud - Edge - Browser online Web3D approach for visualizing large BIM scenes. *Comput. Animat. Virtual Worlds*, January 2022.
- [9] J P Silva, J P Pereira, J Santos, Interdisciplinary Studies Research Center (ISRC), Institute of Engineering of Porto - Polytechnic of Porto (ISEP/P. PORTO), Porto, Portugal, and Portugal 3maps-Sistemas de Gestão, Estarreja. DIGITAL TWIN 3D PLATFORM FOR COLLABORATIVE REPRESENTATION AND EDITING OF IFC DOCUMENTS APPLIED TO THE BIM METHODOLOGY. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information*

Sciences; Gottingen, Vol. XLVIII-4/W1-2022, pp. 411–418, 2022.

- [10] Christopher Rausch and Carl Haas. Automated shape and pose updating of building information model elements from 3D point clouds. *Autom. Constr.*, Vol. 124, p. 103561, April 2021.
- [11] Xiaoping Zhou, Kaiyue Sun, Jia Wang, Jichao Zhao, Chiyuan Feng, Yalong Yang, and Wei Zhou. Computer vision enabled building digital twin using building information model. *IEEE Trans. Ind. Inf.*, Vol. 19, No. 3, pp. 2684–2692, March 2023.