

屋内外のパーソナルモビリティ自律走行の実現に向けデジタルツインの構築と実証

小林 哲雄・鈴木 真太郎・秋田 亮平

国土交通省の取組み「Project PLATEAU (プラトー)」では、現実空間をサイバー空間で再現する「3D 都市モデル」をデジタル・インフラとして位置づけ、整備・活用・オープンデータ化を進めている。今回我々のグループの実証実験では、3D 都市モデルをベースに、BIM モデルと点群データを統合したデジタルツインを構築し、パーソナルモビリティの運行などをテストした。データ統合の方法について整理・比較検討し、標準的な統合手法を開発。統合されたデータを用いてパーソナルモビリティの自律走行を行い、統合 3D データの評価を行った。

キーワード：まちづくり、3D、サイバー空間、PLATEAU (プラトー)

1. はじめに

パーソナルモビリティなど移動支援機器は、人の移動の支援など行う新しい移動体であるが、利用には移動に伴う環境負荷の低減だけでなく交通弱者への支援なども求められる。パーソナルモビリティは公道などの都市空間だけではなく、建物内、地下空間内も移動の経路として使われることもあり、特に自律走行を行うために壁位置や素材の情報や、障害物などの位置情報などの空間の様々な情報を得た上で移動経路を構成することでより安全で最適な移動が可能となる。

デジタルツインの社会実装を進める国土交通省の取組み「Project PLATEAU (プラトー)」では、現実の都市空間をサイバー空間で再現する「3D 都市モデル」をこれからの社会のデジタル・インフラとして位置づけ、全国でその整備・活用・オープンデータ化を進めている。

このデータを活用し仮想空間上で移動経路を生成することにより実空間で安全な自律走行を行うことが可能になると考える。このような移動を目的としたデジタルツインを社会実装していくためには、空間データを精度良くまた容易に入手できることが必要で、都市、建物、設備等の様々なオブジェクトを再現する点群、CG、BIM モデル等の様々な 3D データを準備統合し、相互運用性を確保することが必要である。

今回の我々グループ（竹中工務店、日立製作所、gluon）が実施した実証実験では、3D 都市モデルをベースに、BIM モデルと点群モデルを統合したデジタル

ツインを構築し、パーソナルモビリティ自律走行や AR ナビゲーションの運用をテストした。

本稿ではパーソナルモビリティ自律走行についての報告を行う。

2. 目指す世界

現実空間のヒト・ロボット・建物・都市などをつなぎサイバー空間上に表現するデジタルツインは、その空間上で現実空間のデータを分析したり、未来予測などのシミュレーションを実行し、現実空間に最適手法や行動をフィードバックすることで、利用者の快適性の向上や制御の効率性の改善が可能となる。多種多様なヒトが移動する空間には様々な障害や制約が存在するが、ロボットなどのモビリティ機器にもその状態は影響する。そのため壁位置や素材の情報や、障害物などの位置情報など予め情報として提供されていることが望ましい。またそれらは、現実空間の情報として 3D 都市モデルや建物情報としての BIM データや点群データなどの様々な 3D データから、アプリケーション利用に向けて 3D データ統合することで屋内から屋外まで現実の空間でシームレスに扱うことができるようになる。

3. 実証実験の概要

(1) 取り扱うデータと統合手法

3D 都市モデル、BIM モデル、点群データなどの複

数の異なる 3D データを統合したデジタルツインを構築するため、各データの異なる詳細度 (LOD)、位置正確度、座標系、原点等を調整し、統合するための手法開発を行った。さらに、これらの手法によって統合されたデジタルツインデータが実用的な精度を有するかを検証するため、ゲームエンジン Unreal Engine (以下 UE) をベースとしたパーソナルモビリティ (電動車いす) 運行システムを検証した。

3D データ統合にはオープンソースの 3D CG ソフトウェアの Blender を利用した。Blender で扱う fbx/obj 形式に変換するためのツールとして、FME Desktop (3D 都市モデルのデータ形式変換ツール)、CloudCompare (点群のデータ形式およびメッシュ変換ツール)、MetaShape(点群のメッシュ変換ツール)、ARCHICAD (BIM の編集・変換ツール) を用いた。これら書き出したデータを Blender にてデータ統合を行い、Unity や UE といったゲームエンジンで利用可能で、3DCG とシミュレーションの双方に適するファイル形式の USD (Universal Scene Description) で出力を行った。

3D データの統合は 4 つの手法で行い、それぞれの手法についてユースケースを通して精度検証を行った (図-1)。

(2) パーソナルモビリティ自律走行の実証概要

統合した 3D データの実用性を評価するため、日立製作所が開発を進めているパーソナルモビリティ運行管理システムをアプリケーション事例として、誤差評

価を実施した。

パーソナルモビリティ運行管理システムは、デジタルツインの 3D 空間上でモビリティの走行経路を生成し、モビリティ位置をリアルタイムで可視化しながら目的地までの自律走行を実現する (写真-1)。特徴的なのは、従来の自律モビリティと異なり、モビリティ側にカメラや LiDAR のような周囲を認識するセンサを持たない点である。これらセンサに代わり 3D データに基づいて走行経路の生成を行い、モビリティや障害物の位置は施設側に設置された LiDAR センサを用いて取得する。これによりモビリティ側のコストや計算資源を抑えつつ、自律走行を実現する。本実証では、統合した 3D モデルを用いてこのようなモビリティ運行が実現可能であるかを検証した。

パーソナルモビリティ運行管理システムの構成を図-2 に示す。3D データはゲームエンジン UE 上に取り込まれ、経路生成のためのナビゲーションメッシュ生成に使用される。ナビゲーションメッシュとは、ゲームエンジン上においてゲームキャラクタなどの移動可能な領域を表す情報である。建物等の 3D データの形状やキャラクタの通り抜けられる幅、乗り越えられる段差などの情報に基づいて、ナビゲーションメッシュはゲームエンジンによって自動的に生成される。本システムでは、このナビゲーションメッシュをモビリティが走行可能な領域とみなす。写真-2 は統合した 3D モデルに対するナビゲーションメッシュの生成結果である。壁などを避けつつ、走行可能な領域がひとつつながりのナビゲーションメッシュによって表現さ

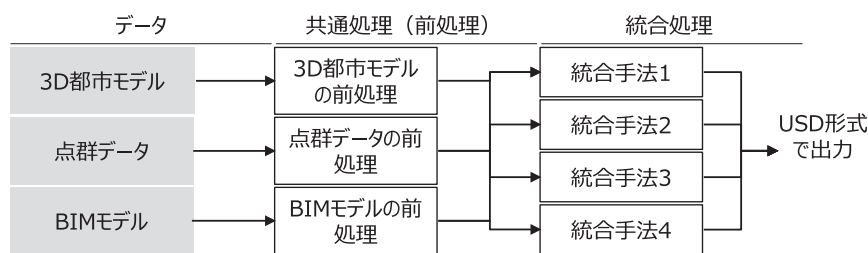
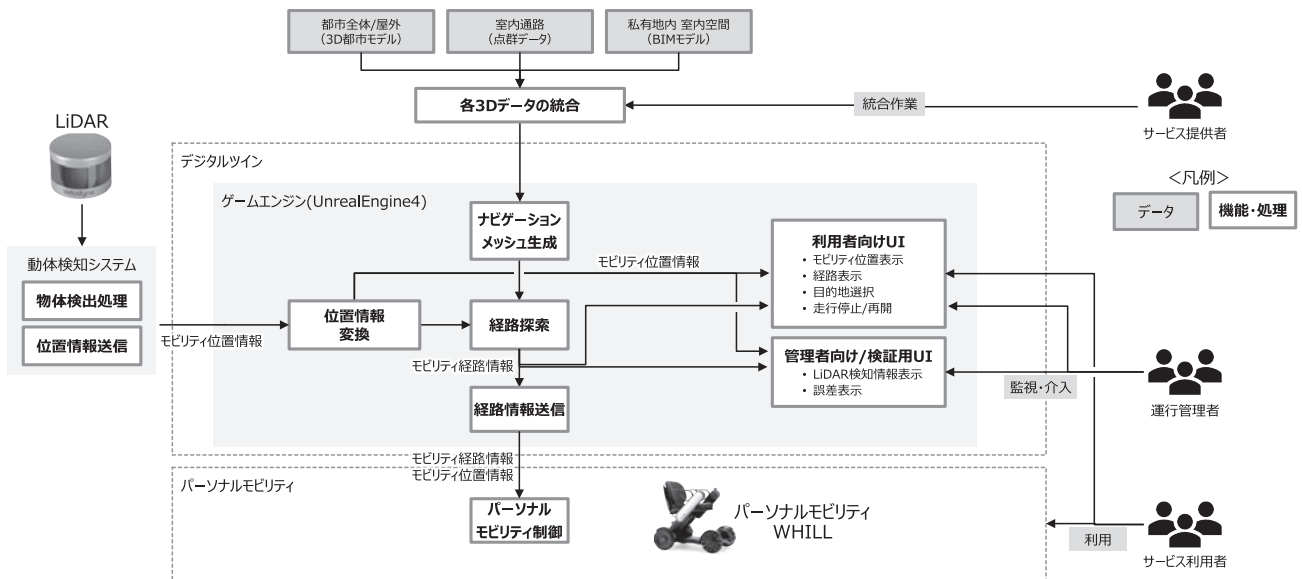


図-1 データ統合の流れ



写真-1 モビリティ自律走行の様子



図一 2 パーソナルモビリティ運用システムの構成



写真一 2 ナビゲーションメッシュ生成例 (屋内通路部分)

れている。続いてナビゲーションメッシュに基づいて経路探索を行う。経路探索もゲームエンジンの機能を利用して実現しており、ナビゲーションメッシュ上においてモビリティの現在位置から目的地までの最短経路を生成する。モビリティの位置は、施設側に固定設置されたLiDARの情報をもとに動体検知システムによって取得し、デジタルツイン上へ反映する。モビリティの現在位置と目標経路の情報はパーソナルモビリティに送信され、モビリティは受信した自己位置と目標経路に基づいて経路追従走行を行う。以上により、壁や柱などの固定障害物、人などの移動障害物の位置はそれぞれ3DデータやLiDARによる動体検知で把握することができ、これらを回避する経路が生成され、モビリティは指示された経路どおりに走行することで、モビリティ自身が周囲を認識するセンサ類を持たずとも、障害物を避けながら走行することができる。

4. 実証実験の実施と結果

(1) データ統合

目的に合わせた3Dモデルを適切なデータ統合手法で実施するためには、統合手法ごとのジオメトリ精度と統合工数を比較検証し、各手法に適するシチュエーションを検討する必要がある。本実証では位置合わせの基準となる参照点の設定の仕方を変えた3つの手法とズレが生じた場合の修正方法を加えた計4つの手法の検証を行った。

手法1

原点と参照点を一つずつ設定して位置合わせを行う統合手法。最も単純なため工数が極小化されるが、参照点から離れる程誤差が拡大する。少ないモデルの統合で、求められる統合の許容誤差が大きい場合には最も手軽な手法といえる。一方、手作業に頼る割合が大きく、作業する人によって結果が異なる。

手法2

複数の参照点で誤差が小さくなるように位置合わせを行いながら統合を行うため、作業工数が増加する一方でズレの大きさは3Dモデル全体で平均化される。

複数の参照点の誤差が小さくなるように合わせるため、モデル間の境界面に形状誤差がある場合、境界が不連続となってしまう。

手法3

点群データをエリアごとに分割し、それぞれ原点を設定の上、それぞれの参照点を利用し統合する手法で、複数の原点と参照点を調整して誤差を極小化させられる一方で工数は増加する。モデル間での重なり

合った部分は調整代とみなして統合することで連続的なモデルを構築できるが、各モデルと重なる点群のデータが必要となる。

手法4

モデルの精度が低い場合は、手法1や手法2では場所によってうまく接続できない場合がある。そのような場合に、接続部において局所的に変形を行うことで、モデル間の不連続を補正する。モデルを変形するため、影響の少ない場所を選択する必要がある。

パーソナルモビリティ自律走行実証では手法1, 2, 3を検証したが、各データの精度が高く、各モデルの統合誤差は30mm前後の精度で統合できていることが確認できた。単一ソフトで実施できる手法1が最も工数が少なく、グループごと位置合わせを行う手法3が最も時間がかかった。統合誤差はモデルの精度に影響するため、手法1からはじめて統合精度を検証後、必要に応じてその他の手法を選択する必要がある(図-3, 4)。

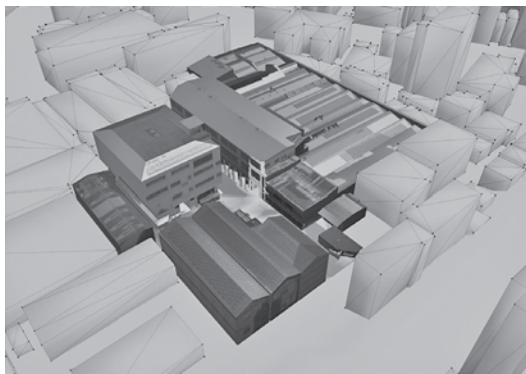


図-3 統合3Dデータの外観



図-4 統合3Dデータの構成

(2) パーソナルモビリティ自律走行

統合した3Dデータの実用性を評価するため、図-5に示す経路でパーソナルモビリティ自律走行の実証を行った。経路は、屋内の室内および通路、屋外(私有地)をまたぐエリアを往復し全長約200mである。最も狭い部分は、室内・屋内通路間の出入り口部分であり幅約2mである。3種類の手法によって統合された3Dデータそれぞれを使用し走行実証を行った結果、いずれにおいても、モビリティは統合3Dデータに基づいて生成された経路に従って壁や柱などの障害物を回避しつつ走行することができ、幅2mの最狭部も通過することができた(写真-3)。目標経路に対するモビリティ位置の誤差(3Dデータの誤差, モビリティ制御誤差, LiDARによるモビリティ位置測定誤差の合計)は、平均で約18cm, 最大で約53cmであり、3Dデータ統合手法の違いによる差はほとんどなかった。これは幅2mの最狭部に対しても余裕のある値である。以上より統合された3Dデータを用いて、周囲を認識するセンサを持たないモビリティの自律走行が実現可能である見込みが得られた。



図-5 実証実験におけるモビリティ走行経路



写真-3 モビリティの最狭部通過の様子

5. 今後の展望

本実証実験の結果を踏まえて、3D都市モデルとBIMモデル、点群データを統合した「3Dデータ統合の手法」の有用性が示された。

将来的には、3Dデータの統合手法の標準化を推し進め、ヒト・モノの移動支援情報として統合3Dデータを利用した統合型デジタルツインプラットフォームの提供を通じて、ヒト・モノの流れを効率化するだけでなく安全・安心を担保し高付加価値な都市空間づくりに寄与していく。



出典：国土交通省ホームページ <https://www.mlit.go.jp/plateau/>

【筆者紹介】

小林 哲雄（こばやし てつお）
㈱竹中工務店 情報エンジニアリング本部
副本部長



鈴木 真太郎（すずき しんたろう）
㈱日立製作所 研究開発グループ
デジタルサービスプラットフォーム
イノベーションセンタ
データマネジメント研究部
研究員



秋田 亮平（あきた りょうへい）
㈱ gluon
Architect

