

(70) 3次元モデルを用いたARシステムの 鉄道関連施工計画への活用

田原 孝¹・矢吹 信喜²

¹正会員 大阪大学 大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻 博士後期課程
(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)
E-mail : u032066b@ecs.osaka-u.ac.jp

²フェロー会員 大阪大学教授 大学院工学研究科 環境・エネルギー工学専攻
(〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)
E-mail : yabuki@see.eng.osaka-u.ac.jp

現場での設計・施工の見直しを防ぐため、建設構造物の計画および施工段階では、構造物の形状や施工箇所の状況を予測して把握することが重要である。拡張現実技術を用いることで、3次元モデルの設計図を監視カメラの画像上に投影するシステムを開発し、施工前の構造物のイメージ把握を可能にした。このシステムを計画および施工段階の現場で使用し、構造物の位置関係やスケールが明確になること、計画の打合せ内容が具体化することを確認した。また、現地状況と設計図を重畳することで、施工時の支障物が明らかになり、支障物移転計画を円滑に決定することができた。これらの結果から、提案した手法は、計画段階での建設構造物の視覚化に有効であり、また、施工前に計画を理解できるため、計画策定実務に有用なシステムであることを示した。

Key Words : *augmented reality, construction planning, visualization, three-dimensional model, industrial television*

1. はじめに

鉄道事業における建設・改良プロジェクトでは、企画・計画段階から調査・設計、工事施工、維持管理の各業務プロセス段階に至るまで、多くの系統、部署・担当者が関係し、プロジェクトの進捗に伴う業務プロセス段階ごとの情報の交換は、主に紙媒体により行われるため、部署ごとに情報が分散しやすく、必要とされる情報が十分に流通しないケースもある。不十分な情報の流通により、図面の不整合や施工段階での手戻りを発生することがある。一方、施工の計画は、2次元の設計図をもとに構造をイメージして策定するため、情報の量と技術者の技術力に応じて、アウトプットにバラつきが生じる可能性がある。

このような問題点などを解消し、併せて業務の効率化、構造物の品質の向上を図るためには、情報蓄積の方法の見直しと誰にでもわかりやすい計画を策定することが必要であり、新たな情報の共有と活用手法の構築をめざして研究を行っている¹⁾。その手法とは、プロジェクトの情報を一元化した上で、業務プロセス段階を跨いだ複数

の関係者間での利用を可能とすることで生産性の向上を図り、また地形と構造物の設計を可視化し、これらを各業務プロセス段階で共有する(図-1)ことで、完成形の全体イメージを視覚的に持つことが可能となり、工事着手前の段階で設計・施工の問題点の把握を容易にするものである。

これらの取り組みの中で、構造物を可視化する媒体として3次元モデルに着目した。現在、3次元モデルは主に

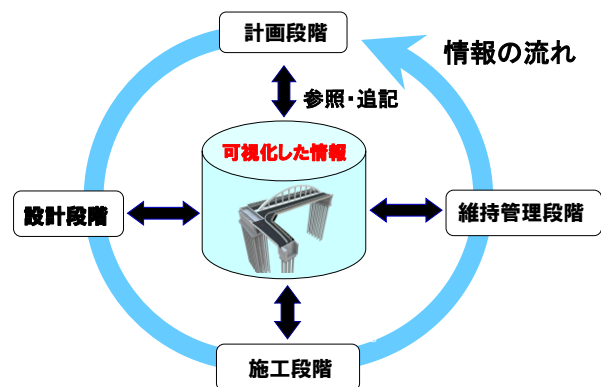


図-1 可視化した情報の共有イメージ

設計の検討に利用されているが、設計段階で作成した3次元モデルをVR（Virtual Reality）としてそのまま施工にも活用する。工事施工の現場空間に設計3次元モデルを映し出すことを可能とすれば、建設構造物のイメージの明確化、スケールの可視化ができるようになり、視覚を通して施工の計画を理解することができるとともに、設計を現場の状況を通して確認できることから、設計精度が向上すると考えた。

そこで、現場空間を現す媒体として、建設工事現場の施工状況確認のために設置しているITV（Industrial Television：監視カメラ）を用い、その映像にAR（Augmented Reality）技術を用いて設計3次元モデルを重ねるシステムを開発した²⁾。このシステムを工事現場での施工計画に用いることで、その実用性を示す。なお、本システムは定置式のカメラの使用を主眼としているが、可搬式のカメラ（動画、静止画）にも対応している。

2. 画像の重畳の手法とシステムの概要

本研究では、3次元モデルの設計図により作成された仮想空間に現実空間上での座標値を付与し、座標系を合致させることにより重畳する手法を導入した。仮想空間は、現場に設置されているITVのレンズ中心の座標を座標系の原点として構成し、図-2に示すようにITVのレンズの画角により視界が設定され、カメラのPan・Tilt・Zoom（以下、PTZ）動作による視線の方向移動に応じて、この領域内での3次元モデルの見え方を変化させる。

システムの構成は、現場作業所などに常設されているITVのカメラとモニタの間に画像処理のためのPCを挿入し、構造物の3次元モデルの設計図と施工手順の情報、カメラの制御情報を合わせてモニタに出力する（図-3）。Autodesk AutoCADで作成した構造物の3次元モデルと位置情報、Microsoft Excelで作成した構造物の構築手順データをAutodesk Navisworks Manageを使用してデータの統合を行うことで4次元でのVRの描写を可能にしている。

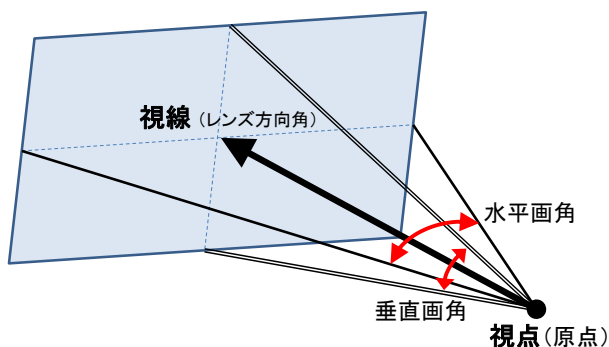


図-2 仮想空間の画角イメージ

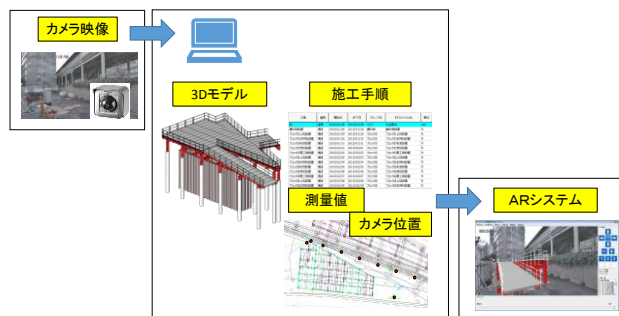


図-3 システムのイメージ

3. 現場での確認試験

(1) レイアウト検討での使用

鉄道駅におけるホームドアの設置の検討に本システムを使用した。計画段階では、ホームドアを設置した時のイメージを得るために、プラットホームにホームドアをイメージした模型を配置するなどの様々な試みが行われている。しかし、乗客の安全性と列車の運行を確保するため、これらの取り組みは電車の運行が終わった後にしか行うことができないという問題点がある。

このシステムは、駅に現在設置されているカメラを使用するため、乗客と列車の運行を妨げないだけでなく、実際に設置をする状態により近い環境で検討することができる。さらに、このシステムは、3次元モデルの種類や設置位置をシステム上で簡単に変更することができるため、シミュレーションが容易に行える。図-4は、ある駅でのホームドアの重畳を試験した時のカメラのモニタの状態を示している。この図により、周囲の設備との空間的な位置関係と構造物の大きさが明確に提示されている。図-5は、ホームドアの種類と位置を変えて検討した一例で、可視化が比較に有用であることを示している。

現場で3次元モデルの重畳を行った場合、図-6(a)に示すように、本来は奥にある構造物（ホームドア）が手前にあるように見え、位置関係に相違を生じるなどの不整合が発生することがある。その場合、オクルージョンの



図-4 ホームドアの重畳状況

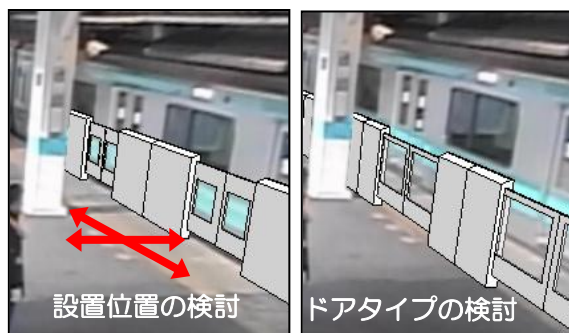


図-5 ホームドアの設置計画検討

処理を行う必要があるが、本システムでは、図-6(b)に示すように不整合となる範囲をインターフェイス上で選択するだけで簡単に3次元モデルを非表示(図-6(c))にするマスク機能を整備した。これにより、現場での簡単な計画検討を実現している。

(2) 視認性検証での使用

我が国で初めて本格導入された昇降バー式ホーム柵(以下、簡易ホーム柵)の設置計画の検討において、本システムを使用した。簡易ホーム柵は、従来のホーム柵に比べて筐体を軽量化することにより、ホーム基礎の改良工事を減少させるとともに、搬入と設置の労力を軽減

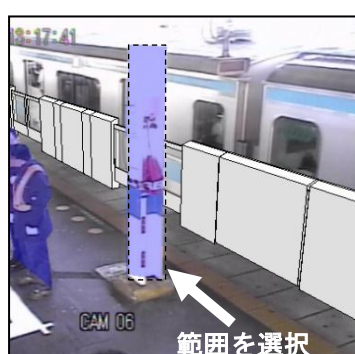
したものである。一方、従来型のホームドアは左右に開閉する構造であるのに対し、簡易ホーム柵はバーが昇降する構造のため、車掌およびお客様からの視認性が未知であるという課題があった。

そこで、本システムを用いて、車掌の目線による簡易ホーム柵の見通しを視覚化した。本検討では、様々な地点および高さからの眺めを検証する必要があるため、持ち運び可能なカメラを用いた。図-7にプラットフォーム上の車掌の立哨位置における身長ごとの眺めを示す。

図-7(a)は、プラットフォームの表面からカメラのレンズ中心までの高さが175cmで、185cm相当の身長の人々の眺めを表している。これらの結果、簡易ホーム柵の設置位置によって、プラットフォーム上の信号機が見えなくなることが明らかになった(図-8)。従来の計画手法は、筐体の模型、または現物を現地に仮設置し、関係者立会いのもと設置位置と視認を判定し、その結果、障害となるものがあれば設計の変更と移設を行っていた。本システムの活用により、立会いが不要となるとともに、速やかに設計の変更が実施できたため、コスト、時間的に大きな成果を得た。また、本システムの特徴である周辺状況を確認しながら、レイアウトを決定できるため、今回の検討では、ホーム柵の割付と点字ブロックの移設を容易に設計することができた。



(a)



(b)



(c)

図-6 オクルージョン処理のイメージ



(a) 高身長 (身長 185cm 相当)



(b) 標準身長 (身長 170cm 相当)



(c) 低身長 (身長 155cm 相当)

図-7 背丈に応じた視認性の検討



図-8 支障物の確認

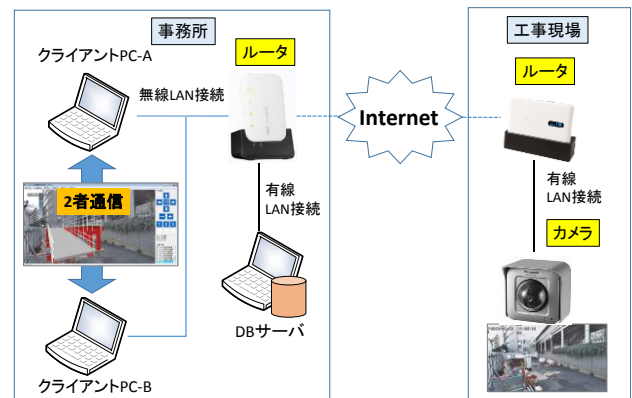


図-9 システムの構成

(3) 計画の打合せでの使用

本システムの開発目的は、施工計画を視覚的に表し、理解をしやすいことその他に、これを担当者間の打合せで用い、打合せ内容の具体化に繋げることである。打合せのための機能について、ある建設現場で使用して検証した。システムの構成は図-9に示すように、インターネット回線を介してカメラとDBサーバを接続し、DBに蓄積されるテキスト等の情報をユーザが共有することで打合せを行う。

このシステムの主な機能は、画面上への矢印等の記号の記入、コメントの書き込み・応答（図-10）、対話ログの記録などで、書き込みした画面のハードコピーを蓄積する機能を持たせることで、打合せ記録簿作成時の添付書類としての利用を可能にした。

ユーザヒアリングの結果、従来の打合せ業務に比べ、以下の項目が良化したことを確認した。

- ・ 現地の映像をもとに書き込みをするため、従来の打合せ資料に比べ現実に即し、わかりやすくなる。
- ・ カメラのPTZにより、参照したい地点を取り挙げて検討することができる。
- ・ 3次元モデルを施工手順に応じて描写させることで、そのタイミングごとの施工について議論することができる。
- ・ 3次元モデルを半透明で表示させることで、裏側に隠れる支障物の検討ができる。
- ・ 打合せだけでなく、会議での現場説明に活用することができる。

これらにより、本システムが打合せ作業の深度化に貢献していることが示された。

4. 結論

本研究では、工事を施工する前の段階での施工計画の把握を容易にすることを目的として、ITVと3次元モデルを活用し、任意の施工段階の現場状況を可視化するシ



図-10 システムを通じた打合せの状況

ステムを開発し、その実用性について検証を行った。

現場での試験の結果、構造物の施工段階に応じて3次元モデルを重ねることができ、構造物の位置関係やスケール感が明確になり、施工計画をイメージしやすくなるとともに、計画の打合せが深度化することを示した。本システムにより、現場状況と設計図の対比が容易になるため、施工する前の段階で構造物と周辺構造物との関係が明確となり、支障物の把握に役立つことを示した。また、インターフェイス上の操作で簡単にオクルージョンの処理ができることを示し、これらを通して本システムの実用性を明示した。

今後は、インターフェイスの改良を進め、より多くの現場で使用するための機能を実装していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 田原孝, 柳沼謙一, 小林三昭: 建設生産システムにおける 3 次元モデル導入に関する研究, 土木学会第 66 回年次学術講演会講演概要集, VI-134, pp.267-268, 2011.
- 2) 田原孝: 3 次元モデルを活用したネットワークカメラでの建設構造物の可視化手法に関する研究, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.69, No.2, pp.I_121-I_129, 2013.