

学位論文要旨

所属専攻 環境共生工学 専攻

氏 名 仲間 祐貴

論文題名

戦略的な施設維持管理のための現実複製デジタルモデル構築に関する基礎的研究

要 旨

我が国では、今後数十年に渡って急激な人口減少の局面を迎えると予測されており、労働人口減少による慢性的な維持管理者の人材不足の中で、多くの建築ストックを管理する必要がある。最近では、建物の維持保全コストの低減、建物の長寿命化、省エネルギー化や利用者満足度の向上など、施設維持管理に関する要求が高度になっている。しかし、維持管理者不足が予測される中では多くの建物の維持管理が難しくなり、建物の老朽化に歯止めをかけられない。そのため、建物の危険性の増加、維持管理コストの増加、建物機能の低下などの問題が複合化して発生し、社会的に大きな損失を生むと推測され、場当たりの対応ではなく、戦略的に維持管理を行う必要があると考えた。

前述した課題に取り組むには、日常の建物運用から多種多様な建物の現状情報(維持管理情報)をできるだけ多く収集して一元的に管理し、活用できる事が重要である。特に、将来、維持管理者不足によって建物に常駐する事が難しくなる中では、どの場所からでもインターネットを介して建物の現状を把握できるような情報共有が、維持管理を効率良く効果的に行える手段として有効であると考えた。

そこで、近年、エンジニアリングの分野で話題となっている「デジタルツイン」と呼ばれる概念に着目した。現実世界の事象を IoT の技術を用いて、仮想空間上に現実世界とのツインを構築する事で、実際の状態をこのデジタル上で可視化することにより、実際の場所に居なくても状態の把握が可能になるソリューションである。この概念を維持管理に導入して建物の状況をデータ化し、建物の 3D モデルと維持管理情報を関連付けることで、現実を複製したデジタルモデル(現実複製デジタルモデル)が構築できれば、遠隔地からでも現状把握ができ、的確な維持管理ができることや、現実に応じた分析が可能になり、環境に応じた設備の設定、故障予測などが期待できると考えた。

そこで、本研究では、戦略的な維持管理のためにデジタルツインを導入する際の、現実複製デ

デジタルモデル構築に必要な維持管理情報の取得・管理及びその情報共有に関する基礎的なデータマネジメントのあり方を示すことを目的とした。

研究方法として、従来の維持管理業務モデルとそれを支援する **Computer Aided Facility Management (CAFM)** を基にデジタルツインを取り入れた現実複製デジタルモデルの仕様を提案した。提案仕様を実際の技術で具体的に構築できるかについてプロトタイプシステムを開発して実現性を確認した。そして、現実複製デジタルモデルの特徴である **3D** と維持管理情報を組み合わせた情報利用について評価し、本研究の成果をまとめた。

**CAFM** は、維持管理情報をデータベース化して一元的に管理し、分析を支援するシステムであり、中には **CAD** データと連携したシステムも存在する。このシステムは、予め維持管理業務の目的に沿った形で導入するため、情報を入力するだけで、自動的に分析して結果の出力までの支援が可能である。しかし、この特徴が故に軽微な業務変更でもデータベース (**DB**) や図面やモデル連携のシステム改修が必要であり、柔軟に維持管理情報が扱えない。さらに、維持管理情報の収集が巡視・点検に限定されることや、多くの情報を **CAFM** に入力する作業負担が大きい、維持管理情報の内容の専門性が高いため、オーナーやテナントなどの維持管理者以外の主体がその情報を理解できない。結果として、システムの柔軟性と作業モデルの面から導入しても情報が蓄積できず、維持管理での活用ができなければその効果は限定的になると考えた。そこで、本研究では、現実複製デジタルモデルを導入した維持管理情報の「収集」・「管理」・「共有」の仕様を提案して課題解決を行なった。

多種多様で多くの維持管理情報を収集する手段として、センサやタブレット端末を活用した情報収集と維持管理情報の発生源にいる主体自らが情報を入力する情報収集の仕様を提案した。理由として、センサの活用は、人による点検が難しい場所や巡視・点検の対象外である設備機器などの状態を取得でき、多くの情報が得られると考えた。タブレット端末の活用は、巡視や点検の情報を現場から簡単に現実複製デジタルモデルに取り込めると考えた。また、維持管理者だけでなくオーナーや施設利用者などが維持管理情報の発生した時点で自らが入力することで、入力のチャンネルを増やして維持管理者の負担を軽減すると同時に、それぞれの主体から様々な視点での維持管理情報が収集できると考えた。

さらに、収集した維持管理情報の管理として、建物の **3D** モデルの部材に維持管理情報を関連付けて管理し、モデルの部材とそれに関する情報が一体となって、インターネットに繋がる仮想空間で機能する仕様を提案した。理由として、現実複製デジタルモデルの全ての部材に情報を関連付けて管理できることで、維持管理で扱う対象部材が変わっても、モデルと情報の連携を行うシステム改修をすることなく、柔軟に業務の変化に対応できると考えた。さらに、現実複製デジタルモデルをインターネット上で扱えることで、容易に維持管理の情報共有ができると考えた。

また、管理している維持管理情報の共有として、現実複製デジタルモデルにおいて維持管理情報と一体となる **3D** の視覚的な効果を活用する仕様を提案した。具体的には、インターネット上で誰もが容易に **3D** で建物の状況が維持管理情報と合わせて確認できることや、維持管理情報を **3D** で可視化することで情報共有を円滑にすることである。理由として、誰もが場所を選ばず、

3D の視覚的な効果によって建物の状況を正確に把握できることが、将来、不具合対応や修繕計画の策定、そしてオーナーや施設利用者側に対する維持管理の取り組みへの理解に有用であると考えた。

本研究では、前述した現実複製デジタルモデルの仕様を評価するためのプロトタイプシステムを開発した。開発にあたり、**Building Information Modeling (BIM)** に着目した。BIM とは、建築部材の 3 次元形状情報にコストや仕上などの部材属性情報（属性情報）を関連付けて管理でき、建築ライフサイクルにおいてそのモデルに蓄積された情報を活用する概念である。この概念が、現実複製デジタルモデルを構築する上で親和性が高いため、中核的技術として採用し、BIM の特徴を活用した開発を行った。具体的には、BIM ツールで作成した建物の 3D モデルの属性情報を維持管理データベースとして活用した。その際、インターネット上で 3D モデルや維持管理情報を共有するため、BIM データをウェブ上で扱える形式に変換をするクラウドサービスを利用した。そして、そのサービスから提供される API を利用して 3D モデルと維持管理情報が連動しながら、様々な維持管理業務での利用を考慮した建築情報のプラットフォームとなるウェブシステム（建築情報マネジメントシステム）の開発を行った。このプロトタイプシステムを実際のオフィスビルの維持管理業務支援に導入し、維持管理者が継続的に利用できていることの確認により提案仕様の実現性を示した。

一方で、維持管理の分野において現実複製デジタルモデルの 3D の価値は「分かりやすい」という、感覚的な段階に留まっている側面がある。そのため、維持管理上の 3D 活用の具体的な利点と課題を明らかにすべく、実務者への利用実験を通して行った。具体的には、ケーススタディとしたオフィスビルで、維持管理者が入力した 3D と維持管理情報が組み合わせられた情報を分析し、3D 活用の特徴把握を行った。そして、3D 活用の特徴に基づいて、複数の維持管理者を対象にプロトタイプシステムの 3D を利用して維持管理情報を作成する実験・ヒアリング評価を行った。結論として、3D の活用は維持管理の状況を理解しやすい表現として適しており、情報の受け手にとっては有用である。一方で、3D を用いて情報作成する側にとっては負担が大ききという問題が明らかとなった。

本研究の成果として、維持管理にデジタルツインを導入することを提案し、維持管理情報の収集・管理及び、その情報共有に関する基礎的なデータマネジメントの在り方を示した。そして、プロトタイプシステム開発により提案仕様の実現性を確認できた。さらに、維持管理における 3D 活用の有用性を示したことにより、次世代の情報プラットフォームが確立できた。

本論文は、全 6 章で構成されている。第 1 章「序論」では研究の背景、目的、方法について述べた。第 2 章「戦略的な維持管理のための現実複製デジタルモデルの活用提案」において、現在の国内における既存の建築物ストックや維持管理の現状について述べた。さらに、維持管理を支援する CAFM の既往研究や事例を挙げ、CAFM 持つ問題について整理した。そこで、デジタルツインを導入によって、次世代の情報技術支援による問題解決を提案した。3 章「現実複製デジタルモデル構築の仕様提案」では、現実の建物維持管理の状態をデジタル環境に複製するモデルを構築するための仕様を提案した。そして、第 4 章「建築情報マネジメントシステムの開発と

仕様評価」では、提案仕様の具体的な実現性を示すためのプロトタイプシステムを開発し、ケーススタディとなるオフィスビルでの導入による評価を行なった。第 5 章「施設維持管理における現実複製デジタルモデルの視覚情報の利用評価」では、現実複製デジタルモデルの特徴である、3D の表現が維持管理においてどのように有用であるかについて、実験、分析を行い 3D モデル利用の基礎的な効果を明らかにした。

第 6 章「結論」では、2 章から 5 章で行った本研究の成果をまとめ、今後の展望を述べた。