

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 23 日現在

機関番号：17401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24760496

研究課題名(和文)建物群維持保全情報の継続的利活用を可能とするBIMと連動したウェブシステムの開発

研究課題名(英文)Development of Building Information Management System Using BIM toward Strategic Building Operation and Maintenance

研究代表者

大西 康伸 (ONISHI, YASUNOBU)

熊本大学・自然科学研究科・准教授

研究者番号：20381006

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：維持管理業務の最適化に寄与すること、また、建物のライフサイクルに対応可能な次世代CAFM開発を目指し、建築情報モデルをデータベースとした「建築情報マネジメントシステム」をウェブアプリケーションとして開発した。これにより、建物の維持管理情報とその3Dモデルを一元的に管理し、関係主体間で共有するための情報プラットフォームが構築できた。また、運用管理情報をセンサネットワークにより自動収集することで、利用者満足度の向上につながる戦略的維持管理への道筋を示すことができた。戦略的維持管理に必要な、建物のライフサイクルにおけるビッグデータを、クラウドで扱うプラットフォームが本研究により完成したといえる。

研究成果の概要(英文)：For strategic building operation and maintenance, it is important to grasp and analyze the conditions of the building in detail. However, conventional CAFM is insufficient. We developed a system (called Building Information Management System) to utilize BIM data made by BIM/CAD on a Web site, that enables management of a great variety of information of building operation and maintenance. In addition, we developed environmental measurement module and built a mechanism that sensed data is rerecorded in the database of developed system automatically. As a result, a cloud information platform was completed which manages big data collected in a building lifecycle.

研究分野：建築計画、建築情報システム

キーワード：ファシリティマネジメント 維持管理 BIM LOD ウェブ データベース リモートセンシング センサネットワーク

1. 研究開始当初の背景

建物の性能維持や長寿命化、省エネルギー化、室利用及び防犯の高度化、利用者満足度の向上にとって、建物の計画的な「維持保全」、「運用管理」は重要である。しかし現実には、事後保全により建物性能が損なわれ、それに起因する維持保全コストの増大がさらに建物性能を損なうという悪循環に陥っている。また、適切な運用管理が行われていないため、消費エネルギーの増大や室利用効率の低下による建物の狭隘化を招き、それらの結果として利用者満足度の低下を招いている。計画的な維持管理を実施するためには、膨大で多種多様な建物の情報を建物の図面と共に一元管理し活用する必要があるが、それを支援するシステムである Computer Aided Facility Management (CAFM) が十分に活用されていないことが、適切な維持管理が行えない原因の一つであると言える。CAFM の十分な活用を妨げる主な問題を以下に示す。

- 1) 維持管理従事者や施設所有者によって報告書類や業務フローが異なることが多く、汎用的なシステムでは使いづらい。
- 2) 前述の項目に考慮し専用システムを開発した場合、しばしば変わる維持管理業務内容に対応するためにシステムやデータベース、図面や3Dモデルの改変・改修コストがその度に発生する。
- 3) (便利であることは間違いないが) 入力作業に関する費用対効果が低い。

結果として、「最も普及している CAFM は表計算ソフトである」という状況を生み出し、計画的な維持管理を支援できずにいるのが現状である。

一方で建築 CAD 分野に目を向けると、建築部材情報を部材立体形状と関連付けて管理・表示する Building Information Modeling (BIM) の概念に基づいて開発された新しい 3DCAD (BIM/CAD) が普及しつつある。BIM/CAD により作成されたモデル (建築情報モデル) は「完結したリレーショナル 3D データベース」とも呼ばれ、データの統合化・視覚化能力において維持管理での活用に期待が寄せられている。さらに、従来は専門知識がなければ構築が難しかった複雑なリレーショナル・データベースが、BIM/CAD を活用することで簡単に構築できる。また、設計や施工段階で BIM/CAD が利用された建物の場合、そこで入力された建物情報を維持管理段階に引き継ぐことができる。これらより、データベース構築の敷居が低くなり、維持管理業務自体が大きく変わる可能性がある。しかし、BIM/CAD は設計者のためのツールであり、CAFM として利活用するには主に以下の問題がある。

- a) 建築情報モデルに格納されたデータの編集・閲覧が煩雑である。
- b) 建築情報モデルに格納されたデータのアクセス権制御ができない。
- c) 記録情報を対象とした横断的で複雑な

計算ができない。

- d) 前項目の計算結果の、表やグラフなどを用いた多様な表現が困難である。
- e) 属性情報に履歴 (時系列) の概念がない。
- f) 画像が属性情報として格納できない。
- g) 情報共有が困難である。
- h) 膨大な情報を継続的に入力することが困難である。

以上のように、維持管理業務での BIM/CAD の導入には解決すべき問題が残る。

2. 研究の目的

前述した維持管理業務における BIM/CAD 利用の障害を緩和するために、維持管理情報が格納された建築情報モデルを維持管理業務において継続的に利活用することを可能とするウェブシステムの開発を、本研究の目的とする。具体的には、以下の手順で研究を行う。

- 1) 開発するウェブシステムの枠組みを技術的観点から考察し、実装機能を設定する。
- 2) BIM/CAD で作成した建築情報モデルをウェブ上で表示・編集・共有することができるウェブシステムを開発する。
- 3) 開発システムの基礎的評価を実施する。
- 4) 開発システムへの入力手間の問題を緩和する試みの一つとして、センサネットワークによって室内環境を計測する装置のプロトタイプを開発し、センシングデータを開発システムへ取り込む。
- 5) 開発システムの実践的評価のため、実際の維持管理業務で使用する。

維持管理情報のプラットフォームを本研究にて構築し、最終的には、一元管理した当該プラットフォーム上の維持管理情報を用いて、維持管理業務の各種報告書の自動作成や建物部材・設備の劣化状況の把握による予防保全の支援、履歴を加味した将来の修繕・更新工事の予測、各種センサの設置とセンシングデータの維持管理での利用による使用エネルギーの低減や維持保全業務の効率化、防犯の高度化などの計画的・戦略的維持管理の実現により、ライフサイクルコスト低減と共に利用者満足度向上を目指す。

3. 研究の方法

ウェブ関連技術 (HTML, JavaScript, PHP) を利用し、ウェブアプリケーションとしてシステムを開発する。

- a) 建築モデルおよび維持管理情報がインターネット経由で容易かつ即時的に共有できる。
- b) 専用のソフトウェアを必要としない。
- c) 建物維持管理に関係する様々な主体 (維持管理者、総務系部門、建物利用者、所有者、工事会社など) が情報を直接入力しそれを手軽に活用・維持できる、すなわちシステムの継続的利活

用が実現できる。
 という3点その理由である。本研究で用いる BIM/CAD は、建設業界での普及度とカスタマイズの自由度を考慮しオートデスク社の Revit を、DWF 形式モデルのビューワーとして Revit と親和性の高い同社の Design Review を採用する。開発システムの技術的枠組みを図1に示す。

Revitで入力した建築情報モデルの3DモデルをDWF形式に、属性情報をAccess形式に書き出す。3DモデルはDesign Review API利用によりウェブページに表示させ、ウェブブラウザからビュー制御を行う仕組みを構築する。3Dモデルの各オブジェクトおよびそれに格納されていた属性情報には共通IDが自動で書き込まれているため、それをキーにしてウェブページ上で連動表示させる。表示メニューや表示方法には、専門知識がなくても理解できるインターフェースを構築する。

また、センサネットワークについては、開発の容易さからArduinoを、無線通信方式にはZigBeeを採用する。センシングデータは維持管理情報の一部としてデータベース(PostgreSQL)に記録され、他の維持管理情報と同様に3Dモデルに関連付けられ、連動表示される。

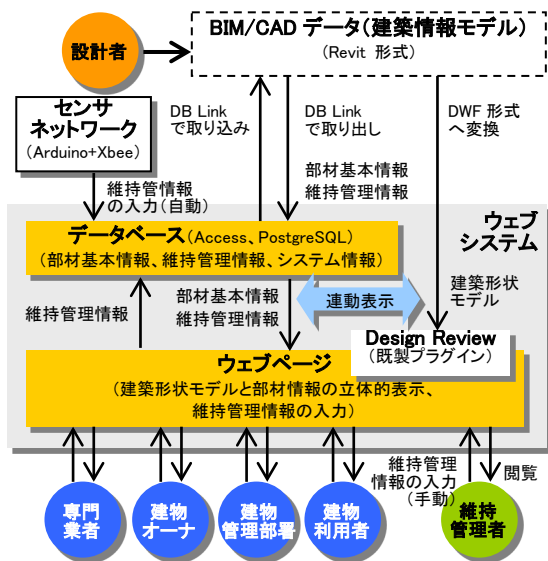


図1. 開発システムの構成

4. 研究成果

- (1) 建築情報マネジメントシステムの開発以下に示す3つのコンセプト、
- 1) ロング・ターム・サポート：データベース構造の変更や機能追加に容易かつ柔軟に対応でき、建物の寿命にあわせて末永く使い続けられる。
 - 2) イージー・アクセス：どこからでも情報の閲覧・共有・編集が可能である。
 - 3) グループワーク・エンハンサー：維持管理業務に携わる多種多様な主体のためのグループウェア。
- に基づき、建築情報モデルを維持管理データ

ベースの中心に据えたウェブシステム「建築情報マネジメントシステム」を開発した(図2)。開発システムの特徴を表1に示す。

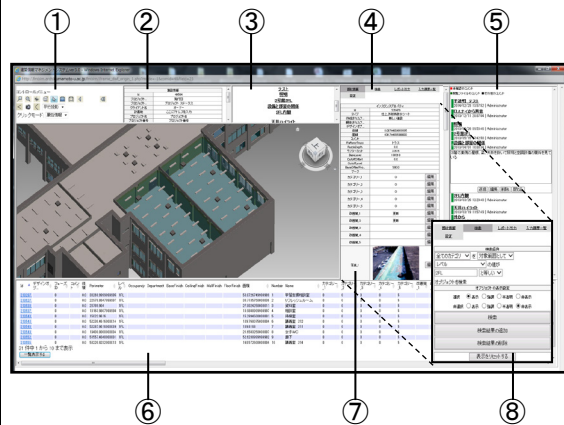


図2. 開発システムの画面

以下に図1中の各番号について解説する。

- ① モデルナビゲーション：3Dモデルのカメラ設定の変更や、部材の表示状態(半透明、非表示)の変更が行える。
- ② 施設情報：施設全体に関する情報を表示する。BIM/CADのプロジェクト情報に該当する。
- ③ 登録ビュー一覧：システム利用者が業務において頻繁に利用する3Dモデルのビュー設定(カメラ設定+部材表示設定)を登録できる。ビューのタイトルを選択することで、登録ビューが再現される。
- ④ システムメニュー：部材属性情報表示(初期状態)から、属性情報検索、属性情報の入力履歴表示へ切り替えることができる。また、維持管理レポートページやシステム設定へのリンクボタンがある。
- ⑤ コミュニケーションリスト：コメントとそれを補足する3Dモデルのビューを対応づけてリストに登録できる。タイトルをクリックすることで、登録コメントが表示され、コメント登録時の3Dモデルのビューが再現される。
- ⑥ 部材属性情報の一覧表示：検索条件に該当した部材情報を単一要素ごとに一覧表で表示する。任意の属性情報項目をキーとしてリストの並び替えや、属性情報を一括で入力できる機能を持つ。
- ⑦ 部材属性情報：3Dモデルの部材が選択された際に、部材属性情報がリスト表示される。入力や編集を行うこともできる。画像ファイルが関連付けられた際には、リスト内に直接表示される。
- ⑧ 属性情報検索：メニューに従い検索条件を入力する。次に、検索対象部材、検索非対象部材の表示方法を選択する(表示、強調、半透明、非表示)。検索終了後、3Dモデル表示画面に結果が反映される。検索による表示部材の追加や削除も可能。

表 1. 開発システムの特徴

特徴	概要
1. ウェブシステムとして開発 (ASP サービス)	高価で専門性の高いソフトウェアを必要とせず、インターネットブラウザとフリーのビューワーがコンピュータにインストールされていれば、どこからでも維持管理データベースにアクセスできる。
2. 読み込み建築情報モデルを限定しない	どのような情報項目名がどの部材、部屋、機器等に関連付けられているか、すべての情報項目名及び情報を部材等の立体形状との対応情報を保持したまま開発システムに読み込むことができる。
3. 建築情報モデルが瞬時に取り込み可能	手動での建築情報モデルの情報項目と開発システムの情報項目の対応関係の設定 (情報項目のマッピング) などの事前作業は一切必要なく、建築情報モデルを瞬時に開発システムに取り込むことができる。
4. 3D モデルと維持管理データベースの連動表示が可能	3D モデルの各オブジェクト (部材、部屋、機器等) を選択すると、それに関連づけられた属性情報が別ウィンドウに表示される。逆に、建物情報を検索すると、それに該当するオブジェクト (群) が 3D モデル内で任意の形式 (ハイライト表示/半透明表示/該当オブジェクトのみ表示) で表示され、さらに別ウィンドウにて該当するオブジェクト群の属性情報のリスト形式での一覧表示ができる。
5. 開発システムから維持管理情報の入力、編集が可能	閲覧だけでなく、開発システムからオブジェクトの属性情報を入力、編集することができる。リスト形式での一覧表示において、オブジェクト群のある情報項目に同じ情報を一括入力することも可能。
6. 建築情報モデル (BIM/CAD のモデル) への維持管理情報の再格納が可能	BIM/CAD で作成した建築情報モデルからオブジェクトの属性情報を維持管理情報として吸い上げるだけでなく、開発システム上で新たに入力・編集された維持管理情報を、属性情報として建築情報モデルの各オブジェクトに格納する (戻す) ことが可能。これにより、建物形状そのものに変更が生じる増改築の際にも、これまで入力、編集したデータを無駄にすることなく、引き継ぐことができる。
7. 各種ファイルとオブジェクトのリンクが可能	画像ファイルや文書ファイルなど様々なファイルを、3D モデル内のオブジェクトとリンクさせることができる。画像ファイルは開発システム上に表示することができ、その他ファイルはダウンロード後にファイルを開く仕様となっている (BIM/CAD では不可能)。
8. 維持管理情報へのアクセスコントロール機能	維持管理業務は多種多様な主体が関係します。各々が業務上発生する維持管理情報を開発システムへ適宜入力、それら関係者間で共有しながら維持管理業務を遂行することを想定している。維持管理業務はグループワークとも言え、それを支援するシステムはグループウェアと捉えることができる。その場合、関係主体によっては特定情報の閲覧や入力、編集を制限する必要性が発生する。そこで、開発システムへのログイン ID ごとに維持管理情報へのアクセス制限を設定できる機能を開発した。
9. 維持管理業務関係主体間のコミュニケーション機能	グループウェアとしての機能拡充のため、テキストによるコミュニケーションを可能とする掲示板機能を搭載した。この機能は、正式な維持管理情報として記録するまでもないが、業務上重要かもしれない入力時点では確認がもてないと思われる「気づき」を記録、共有することを目的としている。特徴としては、維持管理対象施設の 3D モデルの特定オブジェクトを指し示し、さらにカメラ設定やそのオブジェクトの表示状態をメッセージとセットで記録することができる。時系列にリスト化されたメッセージを選択することで、3D モデルのカメラ設定や表示状態を再現でき、メッセージの理解が円滑に行われることを期待している。
10. 維持管理レポート機能の分離とリンクのインタラクティブな追加	維持管理データベースから、情報を横断的に収集、それに基づき必要な計算を実行し、その結果を最適なレイアウトで表示することを、開発システムでは維持管理レポートの作成と呼ぶ。維持管理レポートに対する要求は、建物所有者や維持管理者によって異なる。そのため、この機能を開発システムと切り分け開発することとし、開発システムはその維持管理レポートページのインタラクティブなリンク作成と維持管理情報の提供を支援するにとどめる。レポートページの試作として、劣化診断結果報告書、修繕更新履歴報告書、LCRC 算定報告書を自動作成・表示するウェブページを作成した (図 3)。



図 3. 維持管理レポート機能の一例

(2) 開発システムの利用手順

はじめに、既存の建物の場合、維持管理専用のモデルを BIM/CAD でモデリングする。新築案件において BIM/CAD で設計をした場合は、設計モデルをベースに維持管理モデルを作成する。維持管理対象となるオブジェクトを中心に維持管理モデルを作成するため、主要な建築要素 (屋根、外壁、建具、床、主要な内壁、天井、カーテンウォール)、主要な設備要素 (空調、衛生、電気、防災)、スペース要素 (部屋) 以外ではできるだけ削除し、データ容量の削減に努める必要がある (図 4)。なお、設備要素の配管・ダクトは維持管理対象である場合は入力または残す必要があるが、データ容量が飛躍的に増大するだけでなく、管理単位とオブジェクトの単位が一致しないことが多いので、注意が必要である。

次に、維持管理業務に必要な属性情報項目を設定し、各項目を関係するオブジェクトに割り当て後、情報を入力する。残したい履歴の分だけ属性情報を設定する必要があるため、支援内容に基づき吟味する必要がある。

設計モデルから維持管理モデルを作成した場合は、すでにいくつかの属性情報項目やその情報が入力されているため、既存建物と比べて設定及び入力の労力は少なく済む。維持管理モデル完成後、属性情報をデータベースに書き出し、システムサーバにアップロードする。さらに、BIM/CAD から部材等の 3D モデルを書出し、アップロードする。ウェブブラウザ上には部材等の 3D モデルとそれに関連する属性情報が共通 ID を介して自動的に連動表示される。維持管理業務で得られた維持管理情報は、ウェブシステムを介して入力され、属性情報データベースに蓄積される。さらには、センサネットワーク機器から運用管理に関するセンシング情報が自動的にデータベースに蓄積される。

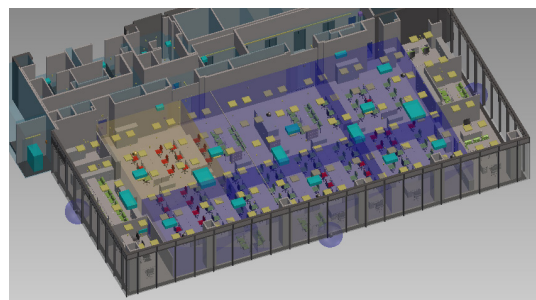


図 4. 構築した維持管理モデル (一部)

(3) 開発システムの基礎評価

開発システムの運用に先立ち、動作検証を行った。ASP システムであるため、ウェブブラウザの 3D モデル表示の処理速度が検証の主な観点とる。建築情報モデルのデータ量とウェブブラウザ上での表示速度を検証するため、基本的な意匠及び構造要素 (柱、梁、壁、床、天井、窓、ドア) から構成される 1フロアあたり 120 オブジェクト (約 700 m²) のオフィスを積み上げたモデルを複数パタ

ーン作成し、開発システムにアクセスして当該モデルがウェブブラウザに表示されるまでに要する時間を計測した(図5)。オブジェクト数が増加するにつれて表示時間が指数関数的に増加した。6,000 オブジェクト(50階)でも10秒弱必要なことから、オブジェクト数をいかに削減するかが重要であると言える。なお、この結果はインターネットの速度にほとんど影響されなかった。

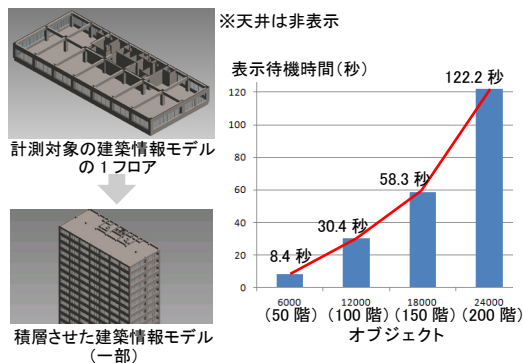


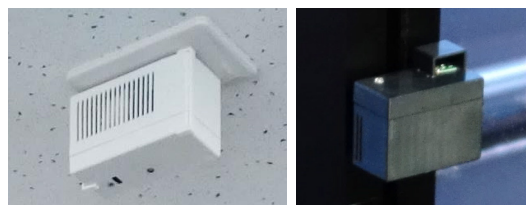
図5. オブジェクト数と表示時間の関係

(4) センサネットワークを利用した運用管理情報の自動入力

近年、Arduino などのオープンソースハードウェア、Raspberry Pi などのシングルボードコンピュータの開発環境が整い、様々なセンサを搭載し、センシングデータを無線ネットワークで送信することのできる計測装置を安価で容易に製作できるようになった。各種センサによる維持管理情報の自動収集及び無線ネットワークによる開発システムへの自動入力によって、開発システムへの情報の入力手間は大幅に削減できると考えている。従来は維持保全情報が CAFM で扱われる情報の中心であったが、計測装置によって運用管理情報(室内環境、室利用状況、セキュリティ情報など)がそこに加わり、時々刻々と変化する建物の状況が集約、解析され、3Dモデル上にビジュアルに表現されることを目指した。

その第一歩として、室内環境(温度、湿度、照度、CO₂)計測装置(図6、7)と安全(カメラ、音)管理装置のプロトタイプを開発し、開発システムとの連携を行った。

具体的には、センサ機器及びセンサの感知領域をモデリングし、その属性情報としてセンシングデータを格納した。感知領域が不明確なセンサ(温湿度など)は隣接するセンサとの距離を二等分する位置、もしくは壁を境界とする室内ボリュームを感知領域とした。3Dモデル内のセンサ感知領域をクリックすると、属性情報ウィンドウに最新のセンシングデータが表示される。過去のデータはデータベース(PostgreSQL)に記録されているため、履歴をグラフ表示したり、ある条件に該当するセンサ領域(例えば、夏季において他より暑いスペースなど)を3Dモデル内でハイライト表示することができる(図8)。



左:天井コンセントに設置、右:ダブルスキン内に設置
9.8cmx5.5cmx3.5cm、45g
(温度、湿度、照度、CO₂センサ搭載)

図6. 簡易環境計測器装置(設置の様子)

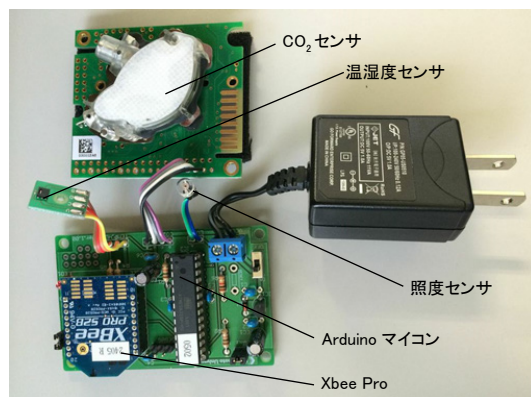


図7. 簡易環境計測器装置の内部

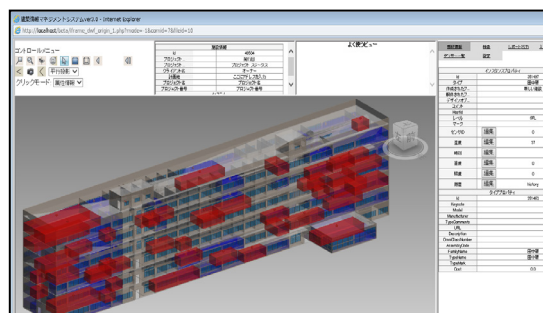


図8. 開発システムと簡易環境計測装置の連携

(5) 実践的評価に向けた試験運用

2014年6月より、東京に実在する新築オフィスビルでの設備機器を中心とした維持管理業務支援の試験運用を開始した。今後3~5年程度の試験運用を予定しており、運用終了後は蓄積したデータの分析や開発システム利用者を対象としたヒアリング結果の分析を行い、開発システムがもたらす効果や問題点を明らかにする予定である。

(6) 研究の成果と今後の展望

本研究では、維持管理業務の最適化に寄与すること、また、建物のライフサイクルに対応可能な次世代の CAFM 開発を目指し、建築情報モデルをデータベースとした「建築情報マネジメントシステム」をウェブアプリケーションとして開発した。これにより、建物の維持管理情報とその3Dモデルを一元的に管理し、関係主体間で共有するための情報プラットフォームが構築できた。また、運用管理情報をセンサネットワークにより自動収集することで、利用者満足度の向上につながる

戦略的維持管理への道筋を示すことができたと考える。建物の情報はその設計が始まった時から取り壊されるまで日々絶えず生成され続けることから、「ビッグデータ」と言える。建物のビッグデータをクラウドで扱うプラットフォームが本研究により完成した。開発システムにより、維持管理者が常駐しない小規模建築群の遠隔管理や、複数の維持管理者が常駐する大規模建築での情報共有に効果を発揮すると考える。

今後は、そのビッグデータを用いて、建物に関係する様々な主体にどんな価値を提供できるのか、戦略的維持管理、さらには真のファシリティマネジメント実現のための支援ツールとなるよう、更なる開発の必要がある。そのためには、維持管理業務全般を対象としたセンサネットワークの活用による情報の自動収集や、点検・巡回業務の支援と報告書の自動作成、目的に応じたビッグデータの分析アルゴリズムの構築等が必要である。一方で、CAFMの評価は支援対象の性格上、長期間に及ぶため困難であることが多い。開発システム導入による中長期的な効果を比較的短期間で検証する手法を構築し、開発システムにフィードバックする必要がある。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 10 件)

- ① 杉山雄一郎、大西康伸、仲間祐貴、「施設運用におけるセンシングデータの 3D モデルを用いた視覚的表現手法の提案」、日本建築学会大会学術講演梗概集、査読なし、F-1、2015. 9、神奈川 (掲載予定)
- ② Yuki Nakama, Yasunobu Onishi and Kazuhisa Iki, Development of Building Information Management System Using BIM toward Strategic Building Operation and Maintenance, Proceedings of the 20th International Conference of the Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA2015), reviewed, pp. 397-406, 2015. 5, Daegu, Korea.
- ③ 杉山雄一郎、大西康伸、本間里見、仲間祐貴、「施設運用におけるセンシングデータの 3D モデルを用いた視覚的表現手法の提案」、日本建築学会研究報告九州支部、査読なし、第 54 号 3、pp. 161-164、2015. 3、熊本
- ④ 仲間祐貴、大西康伸、位寄和久、「建築情報マネジメントシステムの実務運用を想定した属性情報項目の検討とセキュリティの拡充」、日本建築学会大会学術講演梗概集、査読なし、F-1、pp. 67-68、2014. 9、神戸
- ⑤ 大西康伸、仲間祐貴、位寄和久、「セン

サネットワークを用いた簡易環境計測システムの病院運用管理業務での活用」、日本建築学会大会学術講演梗概集、査読なし、F-1、pp. 69-70、2014. 9、神戸

- ⑥ 仲間祐貴、大西康伸、位寄和久、「施設維持管理業務での利用を想定した建築情報マネジメントシステムの機能拡充と評価 - オブジェクトベースの建築情報マネジメントシステムの研究 その 2 -」、日本建築学会第 36 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集 (DVD)、査読有り、pp. 25-30、2013. 12、東京
- ⑦ Yuki Nakama, Yasunobu Onishi and Kazuhisa Iki, Development of a building information management system for the maintenance and operation of facilities, Proceedings of the 8th Conference on International Student Conference on Advanced Science and Technology (ICAST2013), not reviewed, pp. 281-282, 2013. 12, Kumamoto
- ⑧ 仲間祐貴、大西康伸、位寄和久、「施設運用業務での利用を想定した建築情報マネジメントシステムのための機能拡充」、日本建築学会大会学術講演梗概集、査読なし、F-1、pp. 33-34、2013. 8、北海道
- ⑨ 仲間祐貴、大西康伸、「維持保全業務における BIM データの活用のための Web システムの設計と開発 - オブジェクトベースの建築情報マネジメントシステムの研究 -」、日本建築学会第 35 回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集 (DVD)、査読有り、pp. 79-84、2012. 12、東京
- ⑩ 仲間祐貴、大西康伸、両角光男、本間里見、「オブジェクトベースの建築情報マネジメントシステムの開発と建物管理への応用」、日本建築学会大会学術講演梗概集、査読なし、F-1、pp. 15-16、2012. 9、名古屋

[図書] (計 1 件)

- ① 大西康伸、「4.5. 熊本大学：BIM 対応 3DCAD を用いた建築情報データベースの構築と建築情報マネジメントシステムの開発」、JFMA BIM・FM 研究部会編、「ファシリティマネージャーのための BIM 活用ガイドブック」、pp. 99-108、2015. 4、JFMA

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大西 康伸 (ONISHI, Yasunobu)
熊本大学・大学院自然科学研究科・准教授
研究者番号：20381006

(2) 研究協力者

仲間 祐貴 (NAKAMA, Yuki)