

平成30年 5月31日現在

機関番号：17401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K06364

研究課題名(和文) センサネットワークとBIMの連携による維持管理のための建物の情報化とその利活用

研究課題名(英文) Development of Building Information Management System with Data Collecting Functions based on IoT Technology

研究代表者

大西 康伸 (ONISHI, Yasunobu)

熊本大学・大学院先端科学研究部(工)・准教授

研究者番号：20381006

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：建物維持管理業務の高度化(維持保全コスト縮小、長寿命化、省エネルギー化、室利活用高度化、防犯高度化)を目指し、「製作が簡易で安価なオープンソースハードウェア等を用いた維持管理データベースの自動構築」、「当該データの横断的分析とBIMを用いた分析結果の視覚化」を可能とする一連のシステムを開発し、実在する建物の維持管理業務において開発システムを試験運用した。試験運用の結果、1) 開発システムが問題なく稼働すること、2) 維持管理情報の入力自動化・半自動化され維持管理業務が効率化されたこと、3) 記録された様々な維持管理情報の横断的分析及び可視化によって維持管理業務が高度化できることを示した。

研究成果の概要(英文)：For strategic building operation and maintenance, it is important to grasp the conditions of the building in detail, and to analyze them one by one. However, conventional CAFM is insufficient. We developed a system (called Building Information Management System) to utilize BIM data made on a web site. In addition, we developed a mobile system to input a result of building inspections so as to reduce the burden of inputting information. A sensor network is used to acquire building operation and maintenance information to enhance building operation and maintenance. We also developed a system to automatically input sensing information into the building information for Building Information Management System, and to connect it with a 3D model. It has therefore become easier to collect the large amount of information necessary for strategic building operation and maintenance.

研究分野：建築計画、建築情報システム

キーワード：維持管理 ファシリティマネジメント センサネットワーク BIM ウェブ データベース IoT

1. 研究開始当初の背景

建物の維持管理（維持保全：メンテナンス+管理運用：オペレーション）コストは建物生涯コストの7割を占めるとも言われており、計画的維持保全業務の遂行やそれに伴う建物の長寿命化、建物運用における省エネルギー化によるランニングコストの縮小は急務である。さらに、建物の防犯の高度化による安心安全な建物運用や、建物の持つ空間特性を余すところなく引き出し、利用者の満足度を向上させる室利用の高度化など、ランニングコストの縮小だけでなく今後は建物利用者の多様な要求にも対応する必要があり、高度な総合的マネジメントが求められる。しかしそれを実現するには、以下に示す問題がある。

- a) 基本情報（建物、建物部材、設備機器、室空間など）や履歴情報（修繕、更新、消耗品交換、室利用など）が個別にバラバラに管理されている。
建物の維持管理に必要な基本情報や維持管理において生成された履歴情報がスプレッドシートの台帳形式で保存され、それが各関係部署に分散管理されている。図面や写真との関連づけもなされていない。それら情報の全体像や情報間の相互関係はもとより、個々の情報を把握するだけでも手間を要することがある。
- b) 日常的な巡回・点検業務の限界
維持管理では、通常維持保全業務を中心に行われ、主に建物部材や設備機器の破損を把握するために巡回や点検が行われる。理想的には管理運用情報、すなわち、今まさに管理対象建物がどのような状況に置かれているのか、各室の環境（光、熱、空気、音）や使われ方・在室状況、戸締まりや不審者監視などの防犯情報などを把握する必要がある。しかし、維持保全情報の収集だけでも負担が大きく、その上さらに手間のかかる管理運用情報を収集するのは現在の何倍もの維持管理担当者が必要になる。事実上、建物全体の最新状況を把握することは不可能であると言える。BA(Building Automation)、BEMS(Building Energy Management System)や防犯システムなど、センサ技術を活用した自動情報収集は実用化されてはいるが、それらは独立した閉じたシステムであり、取得された情報を取り出し、一元化し、維持管理に活用することは困難である。なによりそれらシステム導入・保守にはコストがかかり、あらゆる建物に導入できない。以上のような、「必要な情報が一元管理されていない上に、そもそも高コストのため取得不可能な情報がある」という問題から、事後的・場当たりの維持管理を行ってきたのが現状である。
そこで、既往研究において、維持管理情報が格納されたBIMデータ（建築情報モデル）を維持管理業務において継続的に活用することを支援するCAFMの一種であるウェブシ

ステム（建築情報マネジメントシステム、以下BIMS）の開発に着手し、維持管理情報を3Dモデルと連動させて閲覧・編集する基盤ソフトとして一応の完成を見た。これにより、上記a)の問題は大まかには解決したと言える。しかし依然として、主に上記b)に関する問題（システムへの入力の手間や即時性、収集情報が限定的）は未解決のままである。この問題が未解決であれば、開発したシステムへの情報入力は十分行われず、その能力を發揮できない。情報のプラットフォーム技術と情報収集技術は維持管理支援の両輪であると言える。また、維持管理に関するビッグデータをどう分析し建築情報モデル上でいかに視覚化するか、情報収集技術に即した情報プラットフォームの改良も必要となる。

2. 研究の目的

前述した維持管理情報収集の障害を緩和し、統合データベースを生かした新しい時代の維持管理業務を支援するために、「維持管理情報の自動収集を目的としたセンサネットワークを用いた装置の開発、収集情報の一元的視覚化が可能なBIMを用いたウェブシステムの開発」を本研究の目的とする。

本研究により、巡回・点検にできるだけ頼らず常に建物の「今」をデータベース化でき、その分析結果を3Dモデルと関連付けて視覚化することで誰でも理解できる。また、製作装置を管理運用が重視される実在する有床病院とオフィスビル内に多数配置し、連携するウェブシステムと共に維持管理業務にて試験的に運用する。なお申請者は、「従来の維持管理主体（管理会社や管理部署）だけでなく、所有者や建物の継続的利用者、関連工事会社も含めた多主体が、許可された範囲内で分散・自律的に維持管理業務に関わることで、維持管理業務の高度化は達成される」という考えを根底に持つ。これは新しい維持管理のあり方と考える。そのためには維持管理情報を積極的に共有する必要があり、開発システムによる建物現況の「見える化」はこれに寄与すると考える。

3. 研究の方法

本研究で開発システムの特徴を以下に示す（図1）。

- a) センサ装置には、製作が簡易で安価なArduino (OSH)、Raspberry Pi (SBC) を用いる。低電力無線通信方式であるZigbeeや乾電池を可能な限り用いることで、センサ装置の容易な設置を可能にする。
- b) 既開発のウェブシステムのデータベースに、自動収集データを統合する。そこへの入力方法は、従来の巡回・点検結果の手入力機能を保持しながらも、センサネットワークによる自動入力、さらにはタブレットを用いた巡回・点検現場での入力支援システムを開発し、これら入力手段で集まった様々な維持管理情報を一元管理

- するデータベース構築を目指す。
- c) 一元化された維持管理情報を3Dモデル上に視覚化するシステムを開発する。また、履歴情報を横断的に分析し、維持保全、管理運用それぞれに有用な形式(3Dモデルでの視覚化、グラフ化、一覧リストなど)で分析結果を表示し、多主体による維持管理業務の高度化を支援する。

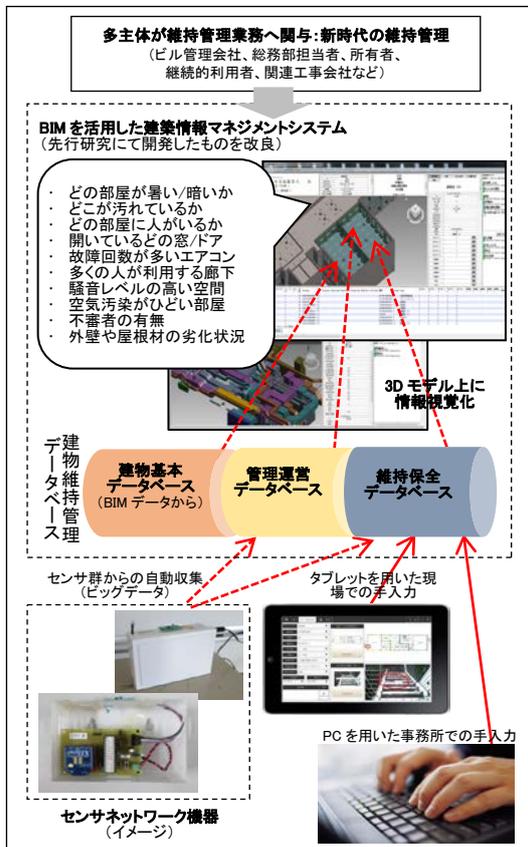


図1 センサネットワークを利用した建物情報マネジメントシステムイメージ

4. 研究成果

(1) 環境計測センサ機器の開発と試験運用

OSH/SBC、ZigBeeを採用し、専用基板・筐体の設計を行った。センシングの第一段階となる管理運用情報である室内外環境情報(温度、湿度、照度、CO₂)の取得を目的とし、それらを計測できるセンサを搭載した子機(図2)及びそれらから送信されるデータをサーバへと送るための親機を製作した。環境情報の取得は、省エネルギーはもとより、快適性の向上やその他環境情報を介した二次的な維持管理情報の取得に役立つ。

評価実験を実施するため、センサ装置の配置計画後、以下の場所に設置した。

- a) 有床病院の1フロア全体
子機24台(内、電源供給がないポータブルタイプ2台)、親機1台
- b) オフィスビルの2フロア分の執務スペース
子機23台(内、ポータブルタイプ11台)、親機2台

いずれのケーススタディーも、電源供給タ

イプの通常の子機は天井面に設置した。また、電源配線が不要なポータブルタイプは、机上面(居住域と天井域の差を検証するため)やダブルスキン内、天井懐内(隠蔽部内環境を調査し、維持保全業務の一部を自動化するため)に設置した。

次に、センシングデータの視覚化を主目的とするウェブシステムを開発した。具体的には、建築透視図画像をベースにセンシングデータを視覚化するシステム(図3)と、3Dモデル上にセンシングデータを視覚化するシステム(図4、既開発のBIM活用維持管理ウェブシステムを改良、クラウドBIM表示プラットフォームであるオートデスク Forge を利用)の2つを開発した。両システムの主な特徴を以下に示す。

- 1) 計測情報を空間的に把握するため、図面上にセンサ位置を表示、センサ記号付近にデータを表示、室名の記載、図面を一点透視図に設定した。
- 2) センサの感知領域をボロノイ分割により設定し、計測情報を数値毎に色分けにより表示した。
- 3) 温度、湿度情報よりインフルエンザ指数及び不快指数を算定の上、計測情報と同様に表示した。
- 4) 温度、湿度、照度、CO₂の適正範囲外の赤字表示を行った。また、インフルエンザ指数、不快指数には、指標を一段階改善するための湿度または温度の目標値と現在値の差を表示した。
- 5) 各計測データの最大感知領域、最小感知領域把握のため、それぞれ色分けが点滅するようにした。

試験運用の結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 既存の建物に対して、低コストでリアルタイム環境計測措置を設置することが可能である。
- 2) 電波を通しにくいRC壁が多く存在する建物では、子機や親機の配置計画が重要である。
- 3) ポータブルタイプ子機の電池(単三×3本)は、10分間隔でのサンプリングであれば、温湿度・照度センサの場合、1年以上稼働する。
- 4) 多くのセンシングデータを直感的に把握し、建物の環境的状況を理解するためには、建物の平面形状や断面形状、立面を表現した図と関連づけてセンシングデータを表現することが重要である。
- 5) 機械空調で室内環境が同一状態に制御されている場合でも、実際の室内環境には大きな差が生じていることが明らかとなった。病院のような室内空間が細かく分節されている場合は、特にその傾向が強く表れた。さらに細かな制御にセンサ機器が役立つ可能性があることが示唆できた。



図 2 天井面に設置した子機と内部基盤

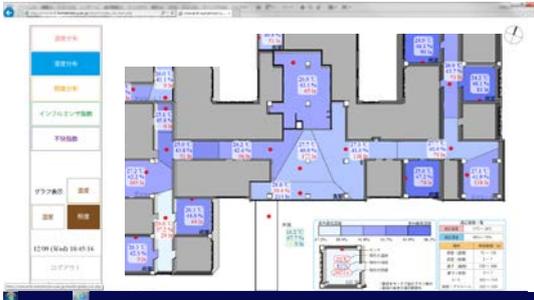


図 3 建築透視図画像をベースにセンシングデータを視覚化するウェブシステム



図 4 3D モデル上にセンシングデータを視覚化するウェブシステム

(2) センサ機器の実運用と成果

約 3 年に渡り実際にセンサ機器を運用した結果、各感知領域における室内環境の傾向が明らかとなり、その改善方策の考案に寄与することが明らかとなった。また、リアルタイムで把握できることから、例えば病院では、院内感染を防ぐためにインフルエンザ指数が高い感知領域にポータブル加湿器を集中稼働させるといふ、人的な環境調整行動を誘発することが明らかとなった。その他にも、夜間に照度が高い感知領域では人が活動している可能性が高いなど、様々な建物運用情報を間接的に取得できる可能性があることが明らかとなった。

機械空調で同一状態に制御されている場合でも室内環境には大きな差が見られ、手動で機械空調を制御するようなことも散見された。設置したセンサ機器によって、詳細な制御が自動化できれば、既存建築物の環境快適性や省エネルギー性の向上が期待できる。

(3) 室利用状況を把握するセンサ機器の開発と試験運用

施設利用者の着座状況を放射温度センサによって検出・推定するシステムを開発した(図 5)。これにより、これまで把握が困難であっ

たセンシングエリア内での利用者の人数や動きをある程度とらえることができ、建物運用へ有益な情報をフィードバックすることができる。放射温度センサは、前述した環境計測に追加搭載するかたちで設計、製作した。技術的仕様としては、30 秒間静止した(着座している場合が多い)発熱物体を人と推定検出することとした。さらにはその人数を推定するアルゴリズムを開発した。

あるオフィスの打合せコーナーが複数存在するスペースを対象とし、子機を 7 台設置した。試験運用の結果を以下に示す。

- 1) 推定率は 8 割弱であった。推定ミスのほとんどは人数を少なく見積もる過小推定であった。
- 2) センサの最端グリッドはセンシング精度が悪い場合が多いため、隣接するセンサとの重なりを多めにとる必要があった。
- 3) 発熱する物体からどれが人かを検出することが難しいため、様々な室内条件を考慮する必要があった。

以上の成果により、建物内での利用者の人数や動きなどの「今」を視覚化することが可能となった。推定率がまだ十分高いとはいえないが、情報の利用目的を特定することで十分活用可能であると言える。

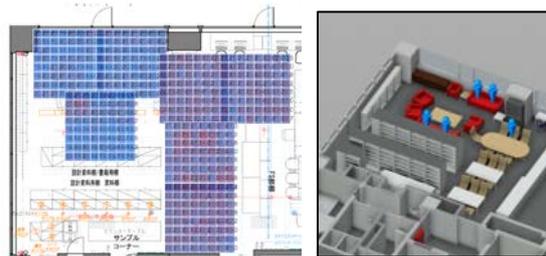


図 5 放射温度計測結果と着座状況推定結果の BIM 活用維持管理ウェブシステム上での表現

(4) タブレットを用いた巡回・点検現場での入力支援システムの開発と運用

センシングでは記録できないデータのシステムへの手入力を支援するため、巡回・点検結果のタブレット入力支援システムを開発した(図 6)。ビル管理担当者により日々実施される建物点検の結果が BIMS へ滞りなく入力されること、さらには点検報告業務を効率化することを目的とし、点検現場(オンサイト)から点検結果の BIMS への入力を支援し、入力された点検結果から報告書を自動作成する「モバイル点検支援システム」を BIMS へ付加した。オンサイトでの 3D モデルの操作を避けるため、識別情報タグ(QR コード)を点検対象機器に貼り、それをタブレットから読み込むことで、点検結果入力画面を自動表示させた。加えて、3D オブジェクトと点検結果の関連づけを自動化した。

開発したモバイル点検支援システムを評価するため、実在するオフィスビルでモバイル点検支援システムを運用した(2018 年 5 月現在も継続中)。合計 253 枚の QR コードを対象

建物内に設置した。ビル管理担当者にヒアリングした結果、従来の点検方法と比較して効率化が図られ、さらにはBIMSへの入力負担が低減されていることが明らかとなった。また、BIMSを介して点検報告書を共有できることから、ビルオーナーや総務部署への点検結果報告のペーパーレス化が実現可能であることが、運用の中で明らかとなった。また、オンサイトで点検結果を入力したタイムスタンプが自動的にデータベースに記録される。これをビルオーナーや総務部署、ビル管理会社が辿れる機能を開発すれば、いつ、どのような作業が行われたのかが把握でき、ビル管理業務の高度化・効率化につながる可能性があることが運用の中で明らかとなった。



図6 日常点検業務の電気室の点検結果入力ページと機械室内のQRコード

(5) その他のBIMSの拡充：LCRC算定機能の開発

建物維持管理業務の高度化のために情報を横断的に分析する試みの一つとして、BIMデータの持つ数量情報と修繕・更新工事履歴から生涯修繕・更新費を推定するLCRC算定機能をBIMSに拡充した(図7)。これにより、中長期保全計画策定の手間が省け、より現実に即した算定が可能となった。

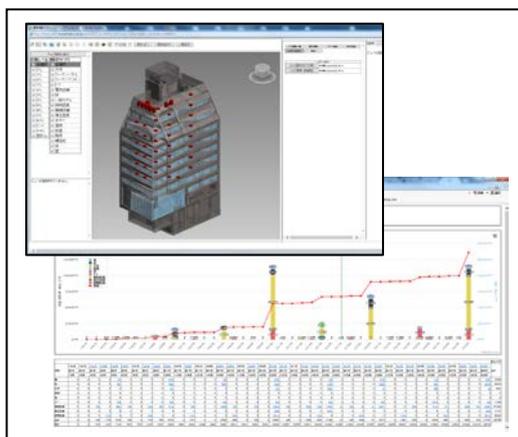


図7 BIMSに拡充したLCRC算定機能

(6) 研究の成果と今後の展望

本研究では、既開発である維持管理情報が格納されたBIMデータを維持管理業務において継続的に利活用することを支援するCAFM

の一種であるウェブシステム(BIMS)への入力の手間や即時性、収集情報が限定的である問題を解決するために、維持管理情報の自動収集を目的としたセンサネットワークを用いた装置を開発・製作した。さらに、センサによる自動入力だけでなく、維持管理現場での人的入力を支援するためのモバイル点検支援システムを開発した。それらを既存の有床病院及びオフィスビルに導入し運用評価を行った結果、建物維持管理情報のBIMSへの入力の大規模な省力化が確認された。また、BIMSに蓄積された様々な維持管理情報との横断的、一元的可視化によって、建物の高度な維持管理が可能であることを示すことができた。既存建築物に最新のセンサ技術を低コストで導入することで、建物の高度な維持管理や利活用が可能になり、今後のストック社会において多大なインパクトを与えることができると考えられる。

本研究では、防犯や維持保全に関する部分が手つかずのままであるため、今後はこの分野でのIoTの導入と検証が必要である。また、本研究で提案したシステムは、情報の受け皿及びそこへの入出力方法に過ぎない。蓄積したビッグデータをどのように分析し、どのように視覚化し、どのように関連機器を制御するのかについて研究を進めることが、建物の高度な維持管理や利用には必要である。

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12件)

- ① 緒方大樹、大西康伸、位寄和久、仲間祐貴、村松弘治、繁戸和幸、幡宮祥平、「複数サーモパイルアレイセンサを利用した着席人数の推定に関する研究」、日本建築学会研究報告九州支部(DVD)、第57号、pp.77-80、2018.3、鹿児島
- ② 林慎也、大西康伸、仲間祐貴、「BIMデータを活用したクラウドシステム上での環境センシングデータの可視化」、日本建築学会第40回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集(DVD)、pp.29-32、2017.12、東京
- ③ 仲間祐貴、大西康伸、位寄和久、「3Dビューを用いた維持管理記録の特徴把握—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4—」、日本建築学会第40回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集(DVD)、pp.43-48、2017.12、東京
- ④ 林慎也、大西康伸、仲間祐貴、「BIMデータを活用したクラウドシステム上での環境センシングデータの可視化に関する研究」、日本建築学会大会学術講演梗概集(DVD)、情報システム技術、pp.81-82、2017.8、広島
- ⑤ 林田宜久、大西康伸、位寄和久、村松弘治、

- 繁戸和幸、幡宮祥平、「BIMを用いたウェブLCRC算定システムの開発に関する研究」、日本建築学会大会学術講演梗概集 (DVD)、建築社会システム、pp. 303-304、2017. 9、広島
- ⑥ 仲間祐貴、大西康伸、位寄和久、村松弘治、繁戸和幸、幡宮祥平、「維持管理業務における3Dモデルの視覚的表現のための機能開発」、日本建築学会大会学術講演梗概集 (DVD)、建築社会システム、pp. 235-236、2017. 9、広島
- ⑦ 林田宣久、大西康伸、位寄和久、「修繕・更新履歴を考慮したLCC算定手法に関する研究」、日本建築学会研究報告九州支部 (DVD)、第56号、pp. 125-128、2017. 3、長崎
- ⑧ 本間祐希、大西康伸、仲間祐貴、位寄和久、飯島憲一、長崎大典、「簡易環境計測システムのユーザインタフェースの改善及び病院運用における評価」、日本建築学会大会学術講演梗概集 (DVD)、建築社会システム、pp. 75-76、2016. 8、福岡
- ⑨ 本間祐希、大西康伸、仲間祐貴、村松弘治、長崎大典、「簡易環境計測システムのユーザインタフェースの改善及び病院運用における評価 - 施設維持管理のためのセンサネットワーク活用に関する研究 -」、日本建築学会研究報告九州支部 (DVD)、第55号、pp. 13-16、2016. 3、沖縄
- ⑩ 大西康伸、仲間祐貴、位寄和久、村松弘治、幡宮祥平、「識別情報タグとBIMを用いた施設維持管理における点検業務支援 - 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3 -」、日本建築学会第38回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集 (DVD)、pp. 13-18、2015. 12、東京
- ⑪ 杉山雄一郎、大西康伸、仲間祐貴、本間里見、「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 (DVD)、建築社会システム、pp. 125-126、2015. 9、神奈川
- ⑫ Yuki Nakama, Yasunobu Onishi and Kazuhisa Iki, Development of Building Information Management System with Data Collecting Functions based on IoT Technology, Proceedings of the 33rd Conference on Education in Computer Aided Architectural Design in Europe (eCAADe2015), pp. 647-655, 2015. 9, Vienna, Austria

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大西 康伸 (ONISHI, Yasunobu)

熊本大学・大学院先端科学研究部・准教授
研究者番号：20381006

(2) 研究協力者