

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

○林 慎也*1 大西 康伸*2
仲間 祐貴*3

キーワード：運用管理 FM Arduino BIM センサー IoT

1. 研究の背景

施設維持管理に関する情報は膨大かつ多岐に渡ることに加え、それら情報を管理する媒体も書面やコンピュータなど様々である。業務の効率化や、取得した情報の二次利用などを考慮すると、これら情報を一元管理することが望ましいが、一般的には離散して管理されている現状にある。このような背景から、BIM データをデータベースとして活用し、3D モデルと施設維持管理情報を紐付けることで、離散している情報を一元的に管理する建築情報マネジメントシステム(以下、BIMS)の開発を行っている¹⁾。

また、近年「モノのインターネット化」(Internet of Things)の概念が浸透してきている。これにより、遠隔地からモノの情報収集や操作を行うことができるようになり、センサーを利用して温度や湿度、照度などの施設の室内環境も取得することができる。安価なセンサユニットを用いた独自のセンサーネットワークを構築することで、室内環境の情報をウェブ上でリアルタイムに閲覧することができる簡易環境計測システム(以下、環境計測システム)の開発を行っている²⁾。

そこで本稿では、施設維持管理情報の一元的管理のために、BIMS と環境計測システムを統合するクラウドをベースとしたシステムを開発することを研究の目的とする。さらに、センシングデータの可視化手法を検討し、その際に生じる技術的限界の把握を行う。

2. 施設維持管理情報と環境センシングデータの一元管理

施設維持管理情報と環境センシングデータの一元管理を行うにあたり、BIM データをウェブブラウザで扱うことができるクラウドサービスを利用する³⁾。これを利用して、作成した BIM モデルをクラウドサービスにアップロードする。変換されたモデルデータがクラウドからストリーミング配信され、ウェブブラウザ上で表示することができる。

また、センシングデータは、環境計測システムと同様に、Arduino で利用されている AVR マイコンを利用して作成した簡易計測装置を利用して、温度、湿度、照度、CO₂ の情報を取得し、Zig-bee による通信でデータベースサーバーに送信されたものを利用し、ウェブブラウザ上で

グラフィカルに表現し、BIM モデルと重ねて表示する(図1)。

今回対象とする建築物は、K ビル(地下1階、地上12階、塔屋1階)とする。K ビルに設置されているセンサーの位置(図2、表1)に従って室内をボロノイ分割し、センサーが情報を取得する範囲と仮定した感知領域を設定する。

BIMS と環境計測システムを統合したシステムを図3に示す。

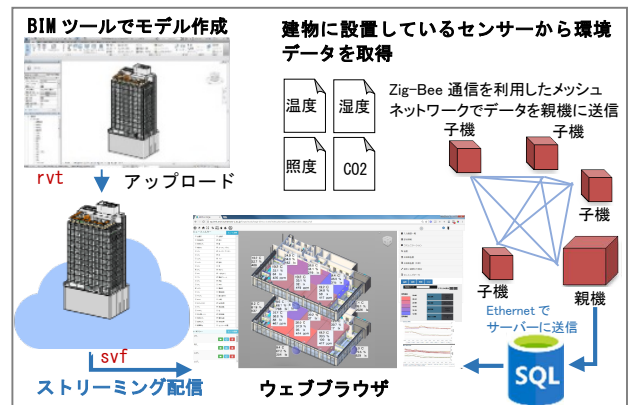


図1. 平面で見たセンサーの設置位置とボロノイ分割した室内の領域

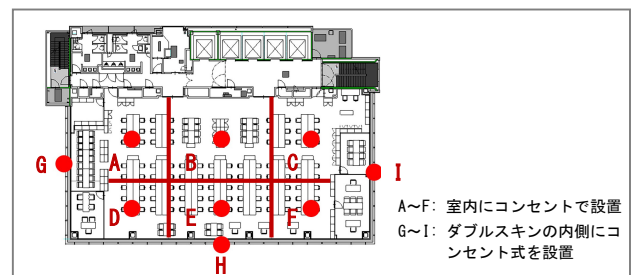


図2. 平面で見たセンサーの設置位置とボロノイ分割した室内の領域

表1. センサーが設置されている箇所

設置箇所	10階		5階		
	天井面	W スキン内側	天井面	机上面	W スキン内側
温度	A, B, C, D, E, F	G, H, I	A, B, C, D, E, F	A, B, D, E, F	G, H, I
湿度	A, B, C, D, E, F	G, H, I	A, B, C, D, E, F	A, B, D, E, F	G, H, I
照度	A, B, C, D, E, F	G, H, I	A, B, C, D, E, F	A, B, D, E, F	G, H, I
CO2	D, E, F	-	D, E, F	-	-

—: 該当なし
天井高: 3000 mm
机上面高さ FL + 700 mm の高さ

a. 感知領域のグラフィック
BIM ツールを利用して作成した感知領域のオブジェクトにセンシングデータの値に応じて着色したものを。
室内感知領域は直方体、ダブルスキン内側の感知領域は球体で表現しており、この感知領域オブジェクトに対してb~dの効果や機能を付加することで、クラウドシステム上でのセンシングデータの可視化を行った。

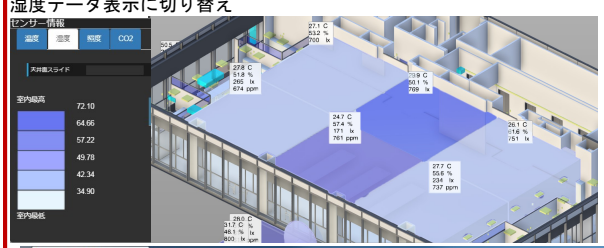
b. 感知領域のクリック処理
センサーの個別履歴を表示
開発部西側天井面1の温度
クリックした感知領域のセンサーが取得したデータの履歴を表示する機能。

部材情報の表示

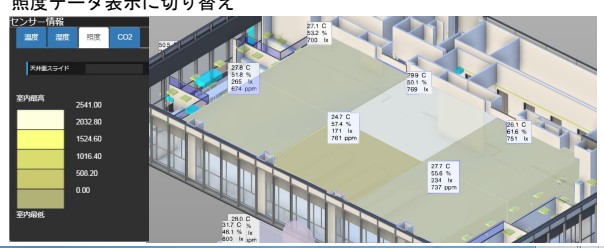
プロパティ名	値
温度	29.2°C
湿度	48.3%
照度	376lx
CO2	739ppm

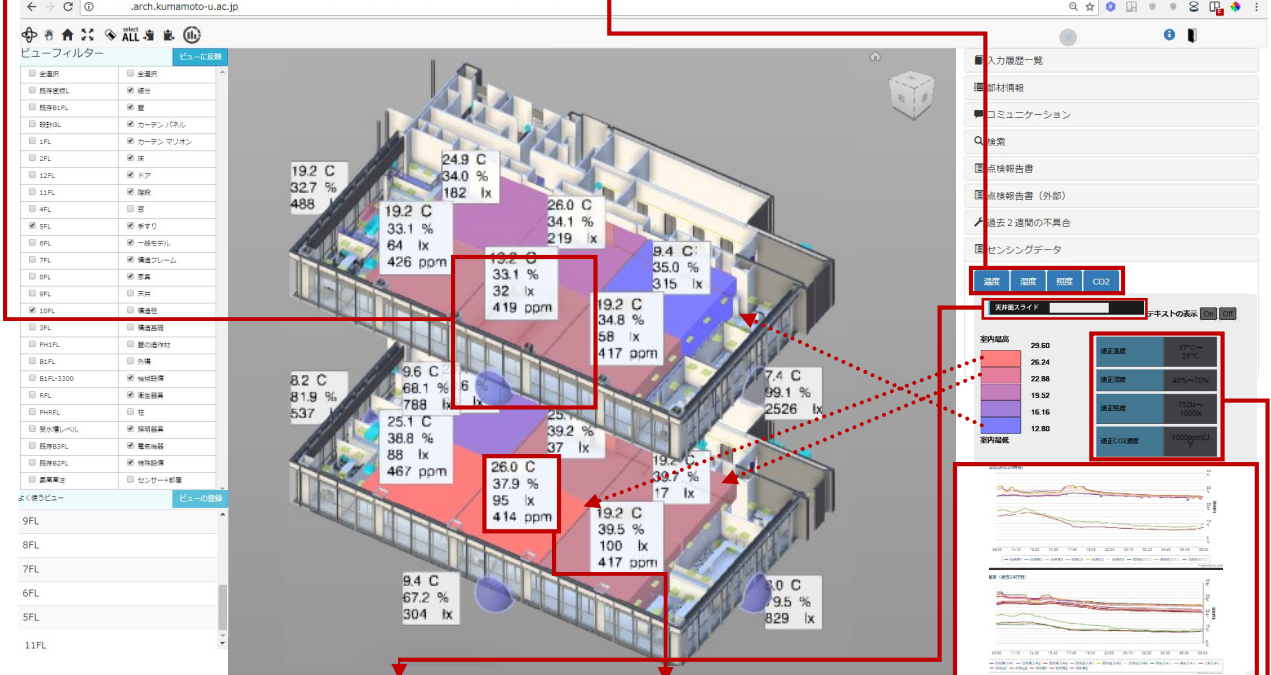
BIM モデル作成時に追加したインスタンスパラメーターを利用し、センシングデータの値を閲覧する他、修繕履歴を記録する。

センシングデータの表示切り替え
タブを切り替えることで、温度・湿度・照度・CO2の表示を切り替えることができ、凡例とグラフィックの色が変わる。
湿度データ表示に切り替え

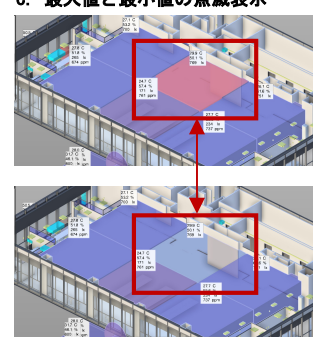


照度データ表示に切り替え



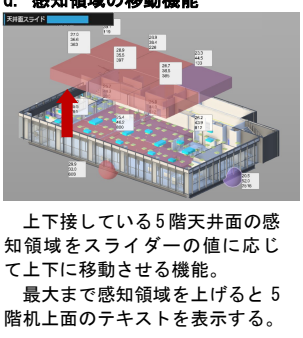


c. 最大値と最小値の点滅表示




測定値が最大および最小の値を示すセンサーの感知領域を点滅表示する機能。

d. 感知領域の移動機能



上下接している5階天井面の感知領域をスライダーの値に応じて上下に移動させる機能。
最大まで感知領域を上げると5階机上面のテキストを表示する。

e. センシングデータの値



Three.js を利用してセンシングデータの値を表示したもの。建物モデルや感知領域値と併せてデータを一覧することができる。

テキストのサイズ固定とビルボード
ビューア内をオービットやズーム・パンニングなどで視点を変えても、テキストは同じ大きさで表示され、常にカメラに正対する。

センシングデータの履歴
センサー毎に色分けされており、取得したデータの履歴を示す線グラフを表示する。
上は10階、下は5階のセンサーの履歴を表示している。

センシングデータの適正值
各センシングデータの値の適正とされる値の範囲を示したもの。

図3 開発したシステムでの情報の利用方法と機能

3. 環境センシングデータの可視化手法

環境センシングデータは目で見る事ができないため、数値情報のみから室内環境の状態を直感的に把握することは困難である。そこで、3次元空間内における環境センシングデータの可視化手法を検討した。

感知領域の作成方法は、BIM ツールでファミリーとして作成する方法と、Three.js^{注2)}を利用してウェブブラウザ上で作成したものを建物モデルと合成する方法の2通りがある。今回は、作成したシステムで採用した BIM ツールでファミリーを作成する手法について説明する。

まず BIM ツールを利用して室内に設置したセンサーの感知領域を半透明の直方体で、ダブルスキンの内側に設置したセンサーの感知領域を半透明の球体で、オートデスク Revit2017 を利用し作成する。作成モデルのマテリアルの「透過量」「半透明」の値はともに 15 に設定する。これに対して、クラウドサービスで提供されている部材に RGB と 0~1 までの不透明度を指定して（今回は不透明度 1）着色するメソッドを用いて、センシングデータの値に応じてブラウザ上で色を与える（図 3a）。変化する色は環境計測システムで定義した凡例にもとづいており、温度・湿度・照度・CO2 でそれぞれ 5 段階の色分けが行われる。

また図 3b に示すように、感知領域のオブジェクトをクリックした際の処理を付加した。オブジェクトをクリックすると対象となるセンサーが取得した情報の累積を示すグラフを表示する。この機能はクラウドサービスが提供しているクリックイベントを利用することで実現している。BIM ツールでセンサーのファミリーを作成する時にインスタンスプロパティにセンサーの ID を追加しておき、その情報と紐づけて個別のグラフを表示する仕組みとしている。

センサーが取得した値が最大及び最小である箇所を一見して把握できるように、対象となるセンサーの感知領域を点滅させるアニメーションの機能を作成した（図 3c）。点滅はインターバル処理を用いてセンシングデータの値で決まった色と半透明の白色を交互に着色することで実現している。

5 階机上面に設置しているセンサーの感知領域を閲覧しやすくするための工夫として、図 3d に示すように 5 階天井面に設置しているセンサーの感知領域を上下に移動させる機能を作成した。メニュー内のスライダの動きに合わせて感知領域の z 方向の位置を変化させる。また、感知領域を最大値まで上げたときに 5 階机上面センサーのテキストを表示する仕組みとした。

表示するテキストについて、センシングデータの一覧性を向上させるため、テキストジオメトリをビューア上に表示する。この表現は、BIM ツールの 3D 文字ではインタラクティブに変更することができないため、Three.js を利用して表示する。図 3e にあるような各センシングデータのテ

キスト情報を表示したボードを感知領域の上部に配置した。また、閲覧性を向上させるために、ビュー範囲を拡大縮小してもテキストが表示されているボードを一定の大きさに保つ機能（サイズ固定）と、ビューの向きを変更してもテキストが常にカメラに正対する機能（ビルボード）を実装した。

4. 感知領域作成方法の比較考察

感知領域をファミリーで作成する場合と Three.js で作成する場合でのそれぞれの表現についての比較考察を行う。比較結果を表 2 に示す。

表 2 2つの感知領域作成方法の表現方法ごとの比較結果

表現方法	ファミリーで作成	Three.js で作成
a. 感知領域の表示	△	△
c. クリック処理	○	△
d. 点滅機能	△	○
e. 感知領域の上下移動	○	○

表 1a の感知領域の表示は、どちらの作成方法でも表示することは可能であったが、表示された際に異なる点があった。

ファミリーで作成した場合は建物のオブジェクトと感知領域のオブジェクトは単一のモデルであるため、建物のガラスの内側に感知領域のオブジェクトが存在している。このため、ガラス越しに感知領域を閲覧することができる（図 4）。しかし、Three.js で作成した場合は、感知領域のグラフィックを建物のモデルが表示されているシーンとは異なるシーンに描画するため、ガラスの透明度が感知領域のグラフィックに反映されず、ガラス越しに閲覧することができない（図 5）。

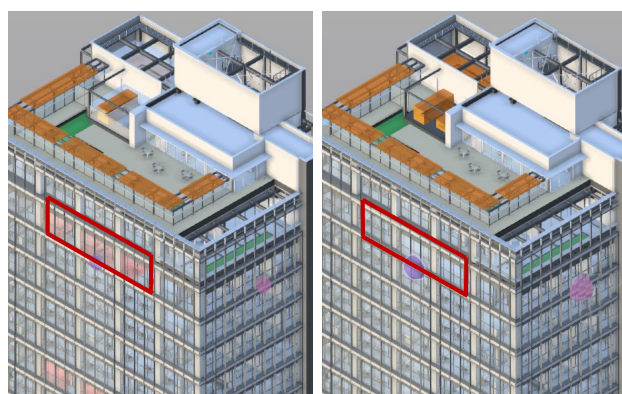


図 4 ファミリーでの作成(透ける)

図 5 Three.js での作成(透けない)

また、感知領域の形状をセンシングデータの値に応じて変化させる表現を行う場合、ファミリーで感知領域を作成する方法では、大きさの異なる感知領域のファミリーを BIM ツールであらかじめ複数作成しておき、ブラウザ上でそのオブジェクトを表示・非表示することで疑似的に実現できる。しかし、このような手法は数段階の変化の場合には対

応可能であるが、より細かな変化をさせる場合には BIM ツールでの作成手間が多くなるため困難である。このように、ファミリではブラウザ上で形状を変化させたり、新たにオブジェクトを作成したりすることができないため、ファミリで感知領域を作成する方法は限定的な表現となる。一方で、Three.js を利用した場合、インタラクティブなオブジェクトの形状の変化や、グラフィックの表示位置の変化などを実現できる。この表現の他にも、分割した領域内をセンサーの設置位置から外側に向けて波紋状に広がるように着色するアニメーションをつけた表現(図 6)など、より高度な表現を行う場合に有効である。

表 1b のクリック処理については、どちらの方法でも実装は可能であるが、感知領域をファミリで作成した場合、クラウドサービスが提供するクリックイベントを利用することで容易に実装が可能である。クリックした際の処理に関しても、BIM のもつプロパティを活用することができるためセンサーとの連携を行いやすい。対して Three.js では、クラウドサービスのクリックイベントを回避したうえで新たに Three.js のメッシュに対するクリックイベントを定義しなければならないなど、処理が複雑になる。

表 1c の感知領域を点滅させる機能は、どちらの手法でも実装することができたが、ファミリで作成した場合は、点滅のアニメーションを実行する際に、モデル全体がちらついて見える現象が発生した。これは、クラウドサービスの着色機能が原因であると考えられる。

色の変更を加えた感知領域のオブジェクトのみを部分的にクラウドサービス側から配信することができれば、再描画される箇所には変更があるため違和感がないと思われるが、今回利用したクラウドサービスでは、変更した感知領域のオブジェクトだけでなく変更がないその他の壁や床などのモデル全体を再描画する。このように、変更のない箇所が再描画される際に、モデルがブラウザから表示されなくなるわずかな時間が生じ、ちらついて見える。一方で、Three.js を利用した場合は建物モデルと感知領域のグラフィックはそれぞれ別で作成したものをブラウザ上で重ね合わせて表示している。そのため、Three.js の再描画処理が建物モデルの描画に影響を及ぼすことがなく、建物モデルのちらつきは生じない。

表 1d の感知領域の上下移動について、この機能は感知領域をファミリで作成した場合でも、Three.js を利用して作成した場合でも、実装の仕方、挙動は同様である。これは、クラウドサービスのビューアが Three.js を利用して作成されたものであるためである。機能作成における手順こそ異なるものの、オブジェクトの位置情報などについては同じ値を持っているため、操作する値は同じものであり、機能に差が生じない。

以上を踏まえファミリで作成する方法と Three.js で作成する方法の特徴についてまとめると、人やモノの動きを可

視化したい場合、現実空間の座標とブラウザに表示される建物モデル内の座標を対応させ、センシングした人やモノの動きの情報にもとづいてインタラクティブにブラウザ上でオブジェクトを移動させる表現が考えられる。

このように、オブジェクトの表示位置や形状の変化を伴う表現を行う場合は、Three.js を利用する方法が有効である。

一方で、ファミリで作成する場合は、BIM の特徴であるオブジェクトに紐づいたプロパティを活用することができる。今回の表現では、センサーID と結びつけてグラフを表示する機能、プロパティを表示してセンシングデータを閲覧する機能を作成した。さらに、建物内に大量にセンサーを設置した際などに、プロパティを利用して場所の情報からセンサーを検索する機能なども実現することもできる。このように、ファミリで作成する方法を利用すれば、BIM データをプラットフォームとしてセンシングデータを閲覧するシステムの構築が可能となる。

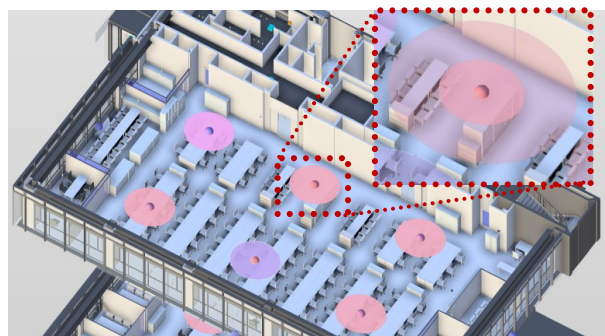


図 6 波紋状に広がるアニメーション

6. 今後の課題と展望

今後は、BIM モデルで作成した複雑な形状の感知領域を Three.js で読み込み可能な形式として書き出すなどして、2つの方法それぞれの特徴を組み合わせた可視化手法を検討する。

なお、本研究は、科学研究費補助金(基盤研究(C)、課題番号 15K06364)の一環として行われた。

【参考文献】

- 1) 仲間祐貴、大西康伸、位寄和久、:継続的利用と情報共有を可能にする建物維持管理支援のための BIM を活用したウェブシステムの開発、日本建築学会技術報告集、pp.359-364、2016
- 2) 大西康伸、仲間祐貴、位寄和久、長崎大典、中元三郎、: 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、pp69-70、2014、神戸
- 3) 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、F-1、pp75、2016、福岡

【注釈】

- 注1) 利用するクラウドサービスは Autodesk Forge とする。Autodesk Forge は、オートデスクが提供しているクラウドサービス(SaaS)の要素技術を、ウェブサービス API として公開しているものであり、データ管理やモデルの変換、ウェブブラウザ上でのモデル閲覧などを可能としている先進的なサービスである。また、BIM データ作成には Autodesk Revit を使用する。
- 注2) ウェブブラウザ上でリアルタイムレンダリングによる 3 次元コンピュータグラフィックスを描画する、クロスブラウザ対応の JavaScript ライブラリである。

- *1 熊本大学大学院自然科学研究科 博士前期課程
*2 熊本大学大学院先端科学研究部 准教授 博士(学術)
*3 熊本大学大学院自然科学研究科 博士後期課程