

施設内 IoT プラットフォームの開発と活用

○白石 理人*¹ 廣瀬 啓一*¹
山崎 元明*¹ 雨宮 沙耶*¹
宮下 裕貴*¹ 五十嵐 雄哉*¹
貞清 一浩*¹

キーワード：IoT 無線通信 ビッグデータ

1. はじめに

IoT (Internet of Things) や CPS (Cyber Physical System) という言葉は、建築分野でも良く見聞きするようになった。図 1 に示すように、我々が生活する実空間 (Physical) の状態をデジタルデータ化して、情報空間 (Cyber) に収集・蓄積・解析し、その結果を実空間にフィードバック・制御するサイクルで、様々な課題解決や価値創造を図ることが CPS の概念¹⁾である。一方、あらゆるものをインターネットにつながる状態とする IoT は、CPS において実空間と情報空間を結び付ける中心的な役割を担う技術となる。このように CPS の基盤となる IoT は、全ての産業や社会に多大なインパクトを与えると考えられているが、その中でも人間の生活基盤である建築は、IoT の活用が最も期待される分野の一つであろう。

建築と IoT の関わりは「2 つの P」、すなわち、建築生産 (Process) の最適化と、建築自体 (Product) の付加価値向上を目的としたものに大別できる。前者は主に製造業における IoT による開発、製造、流通プロセス最適化の取り組みとして進められている「Industry 4.0」の建築版と捉えることができる。一方、本稿で対象とする後者については、これまでも「快適性」、「省エネルギー」、「安全安心」、「働く人の生産性向上」などが、建築に求められる付加価値と

して重要視されてきた。しかし、これまで建築で一般的に行われてきた IoT 的な取り組みは、例えば中央監視設備のような設備監視・制御を目的としたものが主体であり、建築自体の付加価値向上に着目したものではなかった。

このような現状の中で、昨今の IoT 技術の進展により、小型・ワイヤレスで多種多様なセンサ・コントロールデバイスが登場したことで、それらデバイスを大量かつ自由な場所に設置することが可能となり、人・モノ・場・環境のセンシングとコントロールを容易かつ安価に行う環境が実現しつつある。しかし実際に IoT を活用し、何らかの「建物の付加価値」にまで落とし込むことを考えた場合、センサ・通信・クラウドサービスなど個別の要素技術は入手可能だが、それらを選定、調達、組み合わせることはもちろん、建物利用者、オーナー、管理者などの様々な関係者を取りまとめ、推進していく役割が欠かせない。

そこで今回筆者らは、建築への IoT 導入の一連のプロセスを実施し今後の展開に繋げていく試みとして、建物の付加価値向上に広く活用できる「施設内 IoT プラットフォーム」を開発、実建物に導入し、様々な情報を取得・可視化・活用する実証研究を実施した。本稿ではその成果を報告する。なお、本稿は参考文献^{1, 2)}の内容の一部を再構成、加筆したものである。

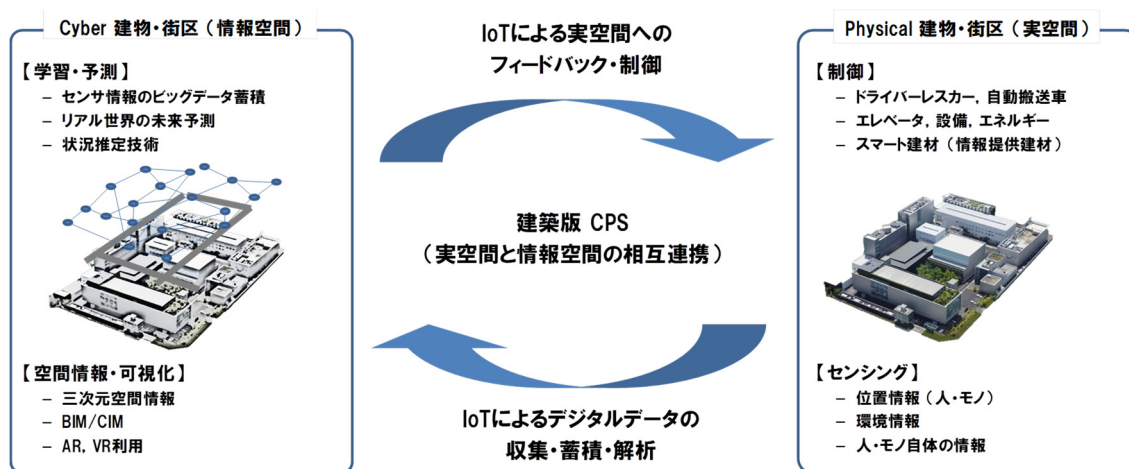


図1 建物・街区における CPS と IoT

2. 開発方針

開発した施設内 IoT プラットフォームの全体像を図 2 に示す。開発にあたっては、以下に示す「ワイヤレス化」、「ビッグデータ対応」、「オープン化」を特に意識した。

2.1 ワイヤレス化

。表 1 に IoT プラットフォームに接続したセンサの例を示す。センシングデバイス（図 2 の①）は無線通信及び外部電源不要で動作可能なものを中心に選定したこれによりセンサ設置場所の自由度が高まるとともに、設置に要する時間も大幅に短縮できる。また、例えば人のように建物内を移動する対象をセンシングする場合、ワイヤレス化は必須条件である。

一方で、外部電源不要とした場合に電池交換の手間を減らすためには、低消費電力の通信手段が求められる。そこで今回は EnOcean、および BLE (Bluetooth Low Energy) の 2 つの近距離無線通信規格に基づく製品を採用した。EnOcean は超低消費電力であることが特徴で、太陽電池やスイッチ押下による自己発電等により完全に電池交換不要とした製品が販売されている。BLE はセンサ以外のポータブルデバイスにも広く使われている規格であり、機器間のペアリングを行わないブロードキャストモードを利用することで、より軽量な実装・動作を実現することができる。

ワイヤレス化に伴う弊害としてセキュリティ上のリスクが高まることが挙げられる。今回のシステムは実証研究を目的としたシステムのため、この点は重視していないが、商品化段階では検討の必要がある。

2.2 ビッグデータ対応

IoT では様々なセンシングデバイス毎に、得られるデータの形式や内容は異なることが一般的である。将来的なシステム拡張を想定すると、事前にそれらのデータ形式を全て網羅することは現実的でない。これに対応する手法として、今回のシステムではセンサからのデータに対し、ゲートウェイ（図 2 の③）受信時に「センサ ID」、「ゲートウェイ ID」及び「受信時刻」の 3 種の情報を付与し、それにより個々のデータの特定を行う仕組みとした。この仕組みでは、各データの解釈はデータを活用する側（図 2 の⑥）が受け持つことになる。

これらのデータを格納するデータベース（図 2 の⑤）は、システムの対応範囲の拡大に伴うデータ量の増加に対応したスケーラブルなものであること、柔軟にデータ構造の定義が可能であること、さらに、取得データが時刻情報をキーにした時系列データであること等の理由から、いわゆる NoSQL 系のデータベースの一つである Elasticsearch を採用した。

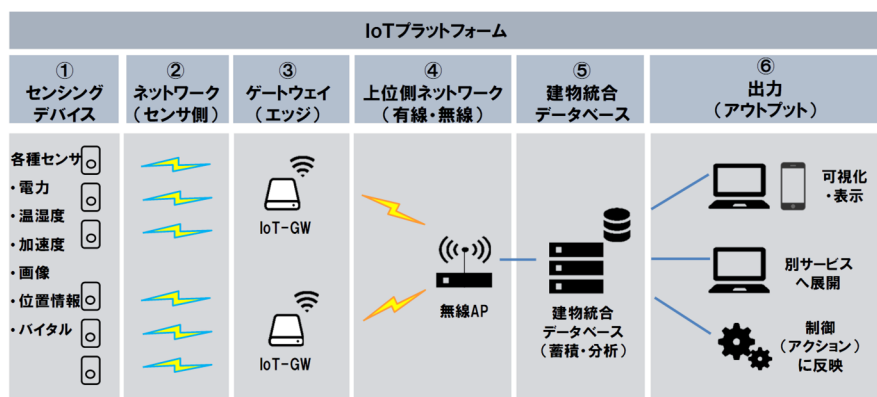


図 2 施設内 IoT プラットフォームの全体像

表 1 IoT プラットフォームへ接続したセンサの例

	① 人感センサ	② 温湿度センサ	③ ドアセンサ	④ スイッチセンサ	⑤ ウェアラブルセンサ
外観					
メーカー	NISSHA (株)	アーミン (株)	アーミン (株)	アーミン (株)	セイコーエプソン (株)
検出量	人の在・不在 (赤外線の変化量)	温度・湿度	ドア開閉 (マグネット近接検知)	スイッチ押下 (4 ch)	脈拍, 消費カロリー, 歩数, 加速度
無線方式	EnOcean	EnOcean	EnOcean	EnOcean	BLE
電源	ソーラー+バッテリー	ソーラー+バッテリー	ソーラー+バッテリー	自己発電(スイッチ押下)	バッテリー

2.3 オープン化

IoTプラットフォームの拡張性を担保するため、ゲートウェイ（図2の③）やデータベース（図2の⑤）と、外部とのデータのやり取りは、特定のベンダー仕様に依存しない汎用的なものとした。すなわち、センシングデバイスは前述の EnOcean, BLE に準拠した製品であれば接続可能である。また、データベースに蓄積されたデータの可視化のために BI (Business Intelligence) ツールを活用しており、現時点で表2に示す2種類の製品の活用実績がある。

なお、既存資産の活用という面からは、新たに IoT センサを設置することに加え、中央監視設備などとの相互接続も考慮すべき点である。そこで今回の開発では既設システムとの接続も開発対象とした。

表2 IoTプラットフォームへ接続したBIツール

① Kibana	② Yellowfin
	

3. 活用事例

開発した施設内 IoT プラットフォームの活用事例として、実際のオフィスへ導入した事例を示す。

3.1 人感センサによるオフィスの使われ方の可視化

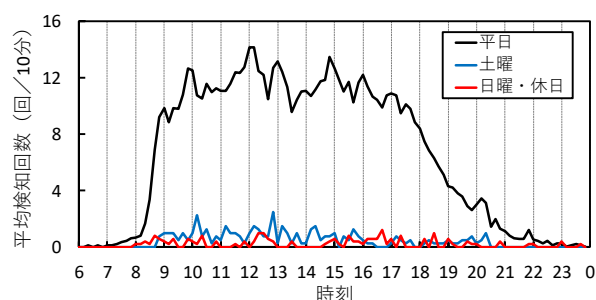
人感センサ（表1の①）の活用例として、事務所ビルにおけるオフィスの使われ方を可視化した事例を示す。対象としたのは神奈川県にあるテナントオフィスビルの一部フロアに入居している IT 系企業である。

この事例では人感センサ以外にも、振動センサやドア開閉センサなど約 50 台を設置し、オフィス内に設けられた様々なスペースの利用時間帯や利用頻度などの各種データを計測し、可視化・分析している。将来的にはオフィスでの働き方改革に向けたアクションに結び付けることが目的である。なお、今回設置したシステムでは全てのセンサが無線センサで、通信線や電源等が不要のため、今回の取り組みのような既存オフィスへの導入の際も、容易に設置可能であることが大きなメリットと言える。

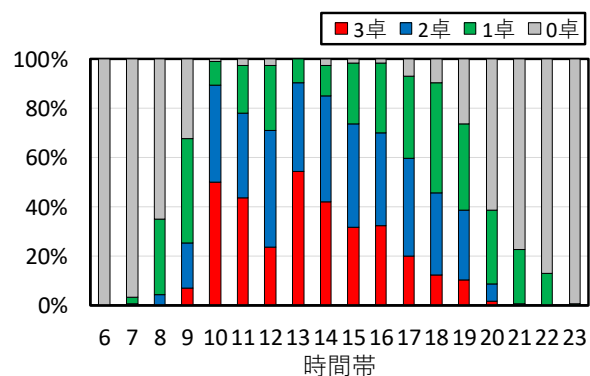
人感センサによる計測結果の一例として、図3(a)に内階段の利用状況の分析結果を示す。今回対象とした企業は建物の連続する2フロアに入居しており、上下階の移動を円滑に行うため、入居時にフロア中央部に専用の内階段を新設している。ここでは、その内階段途中の手摺に横向きに設置した人感センサについて、10分毎の人の検知回数を

カウントし、2018年2月の平日、土曜、日曜・祝日別に、各時刻の平均検知回数を算出した。センサの仕様上、検知後30秒間はスリープ状態（その間の人の通過は検知されない）となるため、正確な通過人数をカウントするものではないが、各時刻に対する内階段の大まかな利用状況を示すと考えられる。同図からは、平日は9時から17時頃まで、10分間の検知回数が10回を上回り、30秒間のスリープ状態を勘案すると、ほぼ常時人の通行があることが推察され、内階段が有効活用されていることがわかる。また、毎正時（10、12、13、15、16、17時）にピークが見られ、人の移動が活発になることもわかる。

一方、図3(b)には、オフィスに3卓並んで設置された打合せテーブルの利用状況の分析結果を示す。人感センサはテーブル中央部に1台ずつを上向きに設置しており、各テーブルの利用者のみに対して反応する。ここでは2018年2月のデータについて、テーブル毎の10分毎の人の検知の有無に着目し、テーブルの利用状況を分析した。図は平日の時間帯別の3卓のテーブルの占有状況の分析結果であるが、利用が多い10～16時台は、7割以上の時間で少なくとも2卓が使われているが、3卓全てが使用中（空きテーブルなし）の時間は最大でも5割程度であり、テーブルの設置台数は概ね適正と考えられる。



(a) 内階段の利用状況



(b) 打合せテーブル占有状況（平日）

図3 人感センサの計測結果

3.2 ウェアラブルセンサによるバイタル情報取得と分析

IoT によるバイタル情報の取得・活用の試行事例として、オフィス内で執務者が常時ウェアラブルセンサを装着し、データを取得・分析した事例を示す。対象としたのは東京都にある研究施設のオフィスで、図 4 (a)に示すように個人席エリアと打合せエリアに二分された約 300 m²の空間に約 30 名が在籍する。今回は、そのうち 9 名にウェアラブルセンサを配布し、執務中は常時装着・データ取得した。なお、対象オフィスには IC タグで執務者の座席単位での位置情報を計測する仕組みが実装⁴⁾されており、この情報も併せて IoT プラットフォームに取り込んだ。システムの運用を通じて、開発した IoT プラットフォームによりウェアラブルセンサで計測されたバイタル情報が、無線通信によりリアルタイムに収集できることを確認し、将来的にはそのデータを分析・フィードバックし、ワークスタイルの検証と改善に結び付けることを目標とした。

取得データの例として、図 4(b)に、ある 1 日の個人別積算歩数の推移を示す。センサの無線通信範囲内であるオフィス内では、歩数が連続的に増加していくこと、一旦オフィスから出た場合（例えば 12 時台）は、再度通信範囲に入った際にその間の歩数が加算される様子がわかる。

図 4(c), (d)には、ある 1 人を対象に、位置情報とウェアラブルセンサによる脈拍データ（2017 年 7～8 月の約 1 ヶ月間）を分析した結果を示す。図 4(c)は、位置情報データによる対象者の平日日中（9～17 時）の所在場所の比率であるが、オフィス内（個人席・打合せエリア）の滞在割合は 2 割程度であった。図 4(d)では位置情報と脈拍データを組み合わせ、所在場所別の脈拍数を分析した。個人席（自席）では低い心拍数（個人の集中作業）、打合せエリアでは高い心拍数（打合せ等の活発な作業）が予想されたが、今回そのような明確な傾向はみられなかった。

4. まとめ

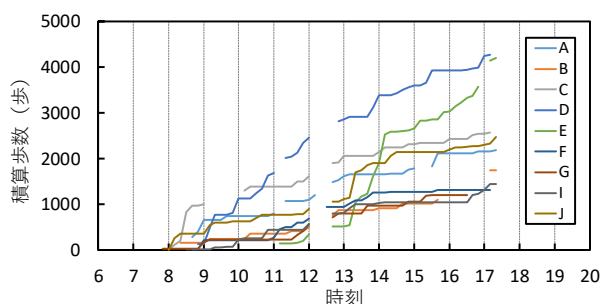
建築版 CPS の概念に基づく IoT 活用の試みとして、建物の付加価値向上を目的とした施設内 IoT プラットフォームを開発した。実オフィスにおける実証実験の結果、一定の技術的可能性と有用性が確認された。今回得られた知見を基に、今後はサービス開発と展開を目指す予定である。

[参考文献]

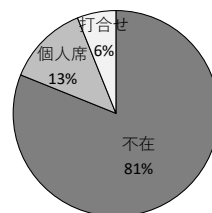
- 1) 経済産業省 産業構造審議会 商務流通情報分科会 情報経済小委員会，“CPS によるデータ駆動型社会の到来を見据えた変革 中間とりまとめ報告書”，2015.5
- 2) 廣瀬啓一，白石理人，山崎元明，雨宮沙耶，宮下裕貴，貞清一浩，“施設内 IoT プラットフォームの開発と活用—その 1 開発方針とシステム構成—”，日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)，A-2，pp.63-64，2018.9
- 3) 白石理人，廣瀬啓一，山崎元明，雨宮沙耶，宮下裕貴，五十嵐雄哉，“施設内 IoT プラットフォームの開発と活用—その 2 人感センサとウェアラブルセンサによるオフィスの利用



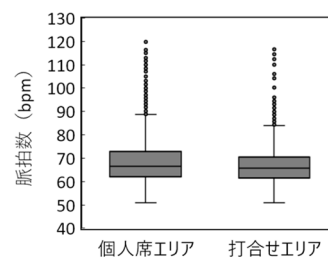
(a) 対象オフィスのレイアウト



(b) 個人別の積算歩数の推移



(c) 所在場所の比率



(d) 所在場所別の脈拍数

図 4 ウェアラブルセンサの計測結果

状況把握—”，日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)，A-2，pp.65-66，2018.9

- 4) 五十嵐雄哉，貞清一浩，大塚俊裕，白石理人，古川慧，山田哲弥，“スマートワークプレイスの実現に向けた人と空間のモニタリング”，日本建築学会 第 34 回情報・システム・利用・技術シンポジウム，pp.479-480，2011.12

*1 清水建設（株）技術研究所