

施設内 IoT プラットフォームの開発と活用

廣瀬 啓一 白石 理人 山崎 元明 雨宮 沙耶 宮下 裕貴
(技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (技術研究所) (技術研究所)

Development of IoT Platform for Smart Buildings

Keiichi Hirose, Michihito Shiraiishi, Motoaki Yamazaki, Saya Amemiya and Yuki Miyashita

近年は、空間の利用効率といった性能や、ヒトがそこに滞在することの効果の評価するために、ヒトやモノ・場の状態を空間的にも時間的にもより細かい粒度で計測することが求められるようになってきている。一方、スマートフォンをはじめとする無線通信技術の一般化を背景に、あらゆる機器が情報を発信し利用する IoT (Internet of Things) を活用する潮流となっている。建築分野においても、センサを無線化することで高密度かつ設置や移設が容易な常設計測環境の実現が可能になり、高度な空間評価でのデータ利用を期待できる。そこで筆者らは IoT 技術を基として、処理の追加やシステム間連携が容易で、収集および蓄積した情報を自由かつ便利に利用できるシステムを構築し、環境計測データの空間評価への活用を試行した。本報告では、システムの設計と構築および適用事例について述べる。

To evaluate efficiency of space utilization and effects of passing or staying peoples on workspace, it is required to measure human behavior, status of objects and space environment by higher temporal and spatial granularity. In recent years, it is generalized in the infrastructure applications to use IoT (Internet of Things) technology, which is based on wireless communication systems. Authors developed an environmental monitoring system based on IoT, which has densely distributed wireless sensors. This system is designed as interoperable and pluggable other IoT systems, and the user can use data stored on this system freely and conveniently. In this study, it is discussed how to design and build an IoT-Platform, and reported case studies of this system.

1. はじめに

スマートフォンに代表される携帯デバイスによる無線通信の一般化は、ビジネスや生活を大きく変えたのみならず、人々の発想や行動そのものを変化させた。このような無線通信技術の一般化を背景に、家電製品や自動車、あるいは工場の生産設備やエネルギー管理システムなど、あらゆる機器が情報を発信し利用する IoT (Internet of Things: モノのインターネット) を活用する潮流が生まれている。

IoT の定義は応用領域や業界により様々であるが、「あらゆるモノがインターネットにアクセスする可能性を持つ状態になること¹⁾」という捉え方が基本であり、そこから発生するセンサ・データや映像情報の共有を行い、制御や監視への利活用、そして大規模データ処理による価値創造まで

に至る拡張された概念が、現時点での IoT の解釈として広く理解され論じられている。

各種センサやカメラ、制御のための機器など、今まで情報通信ネットワークに繋がっていなかったモノが接続され、相互にデータの受け渡しを行うことで、これまでになかった新たな付加価値を生み出すことが可能になるとの期待は、分野を問わず大きなものとなっている。

2. 建物環境に関わる情報の問題点

建物の空調・衛生・電気設備については、以前より気温や水温、流量、電力量など様々なセンシングが行われ、中央監視システムをはじめとする各種設備システムによる制御や目視による確認と合わせて日々の建物運用・保守管理に利用され、省エネルギーと快適な環境生成の両立に貢献してきている。それらに加え近年では、環境のみならず

「空間そのもの」や「そこに滞在すること」の効果
を評価することも求められ、そのために温熱環境
や空気環境だけでなく、ヒトやモノ・場の状態を空
間的にも時間的にもより細かい粒度でセンシング
を行うことが求められるようになってきている。

一方、センシング方法には課題が残されている。
例えば室内の温熱環境をモニタリングするための
温湿度センサは、電源等の問題などから壁面に取
り付けられることが一般的である。しかし空調の
吹出し口や換気口の位置、窓からの日射の影響な
どにより環境が一様でない室内空間においては、
居住者が滞在するエリアを本当に代表できていな
い場合がある。

また、情報の流通にも問題がある。これまでの
建物モニタリングを目的としたアプリケーション
の開発は、実装の効率化等の要因により、データ
構造と一体で行われることが多くなっている。
従ってセンサーシステム間のデータ処理の流れは
一本道となり、既存の機能を活かしながら新たな
機能を追加するためには多大なコストを要する場
合が多くなる。類似の問題として、データ形式の
相違やデータを流通させるためのインフラやメデ
ィア、APIの整備が不十分なため、他システム間
との連携が取りにくく柔軟性が損なわれている場
合もみられる。

ここまで挙げた課題を考えると、例えば環境
を測るセンサをすべて無線化することで、高密度
かつ設置や移設が容易なセンシング環境の実現が
可能になる。そこで、建築分野における課題解決
を支援するために、施設の種類や状態、施設内の
ヒト・モノの情報、などのデータを収集・蓄積可
能とし、ユーザの自由な要求に基づいてデータの
提供を行うシステム環境「IoTプラットフォーム」
の構築を行うことを目指す。

3. IoTプラットフォーム開発の方針

3.1 IoTプラットフォームの要件

施設内での情報収集・蓄積・提供のための基盤
システムであるIoTプラットフォームには、以下
のような要求を満たすことが求められる。

1) 処理の追加・システム間連携が容易

情報発生ノード(各種センサ、カメラ等)の追加・
削除を物理的にもICT的にも容易に処理できる。
一方で、複雑なプログラム開発は最小限に済ませ
ることができる。さらに、既存システムとの情報
の流通を行うことができる。

2) 収集・蓄積した情報を自由・便利に利用可能

監視・制御などのリアルタイム的処理と統計処理
に代表されるバッチ的処理との並列実行のように、
要求データ帯域や許容遅延が異なる処理を両立で
きる。

しかしこのような多様な要求に応え得る柔軟か
つ自由なシステムを実現するにあたっては、現状
において以下のような問題があると考えられる。

- ・アプリケーション開発はデータ構造と一体で行
われるため、変化に対応するための柔軟性が低
い。いわば「一用途一システム」状態にある。
- ・前項とも関連するが、用途への最適化が重要な
要件となるため、センサからシステムへのデー
タ処理の流れは一本道となる。
- ・処理の追加・分岐は難しく、システム間連携も
取りにくい。
- ・システムへのセンサの追加と監視開始は煩雑な
処理となりがちである。
- ・取得したデータの整合性をとることにコストが
掛かる。

3.2 解決のためのアイデア

ここで挙げた複数の問題点を解決するために、
以下のようなアイデアを元にしたシステム構成
を考える。

3.2.1 個々のデータに「名前」を付ける

収集した個々のデータ識別の単位を明確にする
ため、データを計測したセンサのIDと時刻を組
とした「名前」を与えることで、システム全体に
渡ってのデータの特定・同定を行えるようにする
(図-1)。

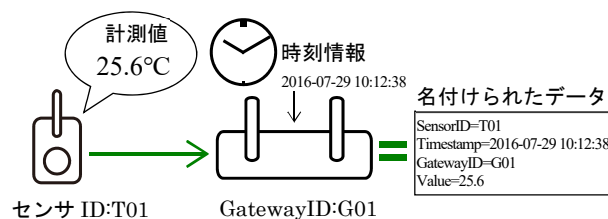


図-1 個々のデータに名前を付ける

3.2.2 データの分岐合流を行えるようにする

「出版-購読モデル」を基とした通信プロトコ
ルを用いる。これは、データを産生する処理群
(出版者)とデータを消費する処理群(購読者)と
の間のデータ流通を仲介者を通して行うことによ
り、前後の処理を分離して相互の影響を低減させ
るものであり、データ処理の自由度向上を容易な
ものとする。

また、UNIX パイプに類似した、データをその属性や適用したい処理により分岐・合流させる機構を組み込む。UNIX パイプは、プログラムの入出力を一定の様式で繋ぐプログラム間通信手法であり、単機能で小規模なプログラムを組み合わせることで大規模な処理を行うことができる。

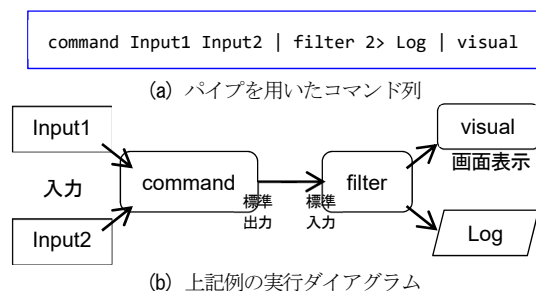


図-2 UNIX パイプの処理分岐・合流

さらにこのような枠組みを有効に利用できるように、流通するデータ形式として一般的なJSON(JavaScript Object Notation)⁴⁾を用いる。これにより、本システムのデータをシステム内部のみならずシステム外の多様な処理系においても取扱が容易なものとする事ができる。

3.2.3 データ記録条件を緩やかなものとする

データに名付けておいた「名前」をキーにしてデータを保存することを考える。この際に、データ利用の段階において、結果的(通常はデータの利用時)に一貫性が保たれればよいとする「結果整合性⁵⁾」という考え方に基づくデータ管理手法をとる。これによりデータ記録の遅延や重複を許すことになるが、厳密さを保証するための高価な処理は不要となり、処理速度やスケーラビリティが向上する。

3.2.4 データ内容に関わる処理はクライアントに分担させる

ユーザに最も近い操作・可視化などのアプリケーションは、サーバのデータ構造と一体で作成される場合がよく見られる。このように既存データに最適化されたシステムにおいては、当初設計・

構築時の条件から変化がなければ、適切に運用可能である。しかし運用時において比較的対応する頻度が高いノード追加程度の小規模な変更でも、画面の微妙なバランス修正や条件の追加のために詳細まで踏み込んだ調整が必要となるなど、柔軟性が低くなる場合も散見される。

そこで IoT プラットフォームは、主なタスクとしてデータ収集・蓄積を行い、データ収集・提供のための API をアプリケーション・クライアントから利用可能なものとして公開する一方で、可視化・解析・制御などのデータ処理については関与しないものとする。それに対し各アプリケーション・クライアントは、API から必要なデータを取り出し、自分用に解釈・解析する。このようにすることで、データの管理とアプリケーションプログラムとを分離する。

4. IoT プラットフォームの構築

構築する IoT プラットフォームの基本構成を図-3に示す。対象のセンシングを行うセンサ層、センサから情報を受け、データに時刻を付して IP ネットワークに載せるゲートウェイ層、データを蓄積し提供するサーバ層の三層からなる。

4.1 センサ層

センサ層では、測定対象に関する測定を行い、得られたデータをゲートウェイに随時送るか、あるいはゲートウェイからの要求に応じ渡す。

配置の自由度を確保するという要求を満たすために、センサには無線通信・給電のものを採用し、センサゲートウェイ間通信は消費電力が小さい近距離無線通信により行うものとする。

「あらゆるモノがインターネットにアクセスする」という IoT の精神から考えると、個々のセンサが IP アドレスを持ち、センサ「ノード」として IP ネットワークに接続するという構成が最初に考えられるが、今回はその構成を取らなかった。IP 通信可能であるためには、通信機能そのものに加

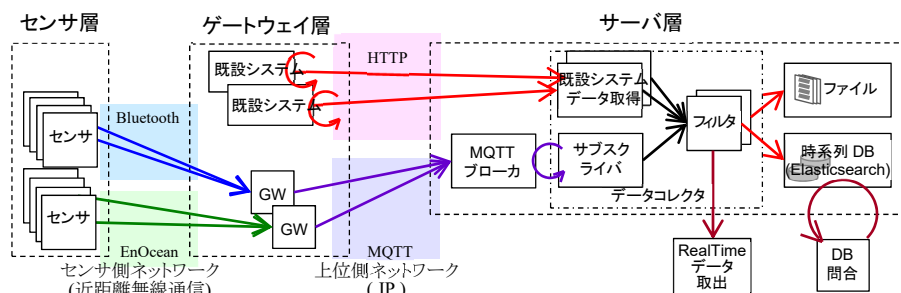


図-3 IoT プラットフォームの基本構成

え、IP パケットにデータを載せるためのデータ加工機能や、運用のための設定機能やセキュリティ機能が必要となるなど、個々のノードにはそれなりのインテリジェンスが求められる。しかしそのためには主たる機能のセンシングよりも多くのリソースが各センサノードに求められるため、技術的にも経済的にもコストが大きくなってしまふ。そこで IoT 基盤システムにおいては、個々のセンサは近距離無線通信でゲートウェイと通信を行い、データの加工や主な ICT セキュリティ対策はゲートウェイで実施することとした。

IoT 基盤システムでは次の 2 つの方式を基本の近距離無線通信機能として採用した。

EnOcean[®] エネルギーハーベスト(環境発電)により電源管理を不要とした近距離無線通信技術である。室内照明を利用した太陽電池やスイッチ押下圧力や振動による発電により、計測と通信に必要な電力を得ることで無給電・無線センシングを実用レベルとしている。無線通信帯域として日本国内では 920MHz 帯を使用している^{7),8)}。

BLE (Bluetooth Low Energy) 2.4GHz 帯を使用する近距離無線通信規格である Bluetooth[®]のうち低消費電力通信モードとして規格化されている部分である。ブロードキャストモードを選択することでより軽量な実装・動作を実現できる。

4.2 ゲートウェイ層

ゲートウェイ層では、センサが得たデータの集約と、各データへの名前付け、データフォーマットの整形、そしてサーバへの送信を行う。センサから情報を受けたゲートウェイは、個々のセンサからの情報にセンサ固有の ID とデータ取得時の時刻情報を付加し、JSON 形式のデータとしてまとめる。データがエンコードされている場合には、名前付けに必要な最小限のパスのみを行い、詳細なデコードはサーバに任せている。これにより、ゲートウェイの負担を低減している。

また、それ自身が高度な機能を持ち、何らかの API により情報を提供しているシステム、例えば映像カメラによる映像からヒト・モノの認識を機械学習により行い抽象化された情報を提供する画像認識システムや、建物内のヒトの位置情報を捉える位置情報システムなども、拡張されたゲートウェイとして形式化して扱うことで、システム間連携を見通しの良いものとしている。

4.3 サーバへのデータ送信

データの流を柔軟に構成できるシステムを志向する場合は、複数の独立した要素システムを 1 つのプログラムとして一枚岩的にまとめ上げる(密結合)のではなく、個々の要素は独立して動作し、データの提供者-消費者間のデータ送受を通信により行う「疎結合」とすることが有効なシステム構成法となる。

このような段で用いられる通信手順としては、そこに関わるシステムの構成や数量を限定しない、オープンな構築と運用が可能でなければならない。そこで、IoT 基盤システムでは「出版-購読モデル(図-4)」を基とした通信プロトコル MQTT¹⁰⁾を用いている。

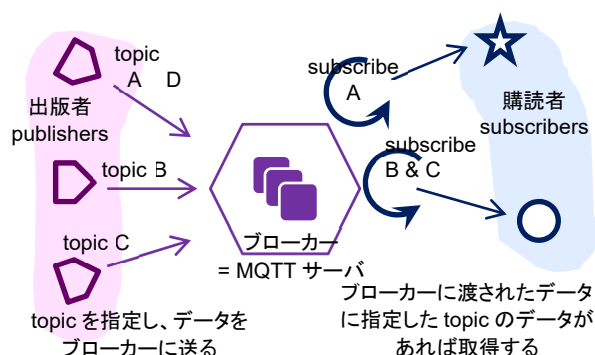


図-4 出版-購読モデルと MQTT

ゲートウェイがパブリッシャ(出版者)となり、サーバ上で動作するブローカー(MQTT アプリケーションサーバ)にデータを随時転送する。サーバでは後述するデータコレクタ群がサブスクライバ(購読者)の役割を果たしてデータを定期的に間断なく取得し、次段以降の処理を行う。

このような機構は、データ収集と加工・記録など後段の処理とを分離させて相互の影響を低減させることになり、データ処理の自由度向上を容易なものとする。

4.4 サーバ層

サーバ層では、ゲートウェイから集めたデータを分岐・統合し、データベースやログファイルに記録し、API によりデータベースに蓄積されたデータの提供を行う。また、分岐させたデータを用いて、各センサの状態を表示するなどの付加的処理を行う。

UNIX パイプ的分散メッセージング処理機構を実現するために、データコレクタと呼ばれる処理のスタックや分岐が可能なプログラム環境を用いる。それぞれの目的をもったデータコレクタは、

「購読者」として自らが必要なデータをブローカーから取得し、データのパースやDBへのデータ挿入、ログへの書き出し、他のデータコレクタへデータを渡すなど、それぞれの処理を行う。

このようにMQTTとデータコレクタとを併せた構成をとることにより、データを出す側(プロデューサ: センサ・GW等)と使う側(コンシューマ: DBサーバ、可視化システム等)との関係を「疎」にすることができる。疎な結合のもとでは、デバイスもアプリケーションもシステムへの参加・退出をそれぞれの都合で行えるように(プラグアンドプレイ)なる。また、「途中」の状態が多くできることから、データの供給や取り出しも容易になる。

IoTプラットフォームでは、データコレクタの実装として、オープンソースでありWEB系システムのログデータ処理等での導入事例が多くあるFluentd¹¹⁾を用いている。

4.5 時系列DBへのデータの記録

IoT基盤システムは、システムが対応する範囲の拡大に伴い、多数のIoTセンサによってデータの取扱量が増加することと、取得データの多くが時系列データであることを考慮する必要がある。このような想定を基にすると、IoT基盤システムで用いるデータベースシステムは、スケーラビリティへの配慮と、柔軟にデータ構造の定義が可能であることと、さらに、時間によるデータの切り出しが容易であるといった時系列データベース的側面を持つことが求められる。

そこで、スケールが容易なNoSQL系であり、時系列データベース的に利用することができるシステムとしてElasticsearch¹²⁾を選定した。Elasticsearchは元来検索エンジンであるが、時系列データストアとしても活発に利用されているオープンソースプロダクトとなっている。

4.6 コンポーネントの配置

地下空間や建物深奥部などでの利用を想定し、ゲートウェイはリモートではなくローカルに設置する。また、インターネットへの接続性が望めない場合も想定し、サーバもクラウド上での実装にこだわらず移動・設置が容易な構成としている。ゲートウェイやサーバで使用するライブラリやミドルウェアは、極力オープンソースのものを扱い処理系の相違を吸収しやすいものとしている。

5. IoTプラットフォームの展開

以上の方針に基づいてIoTプラットフォームを複数構築し、以下に示すような高密度計測および機動的計測を実施した事例を示す。

5.1 高密度センシングによるオフィスの温熱環境測定¹³⁾

建物空間内で温熱快適性を担保するため、室温や湿度は壁面に設置したセンサで検知して空調制御に反映するのが一般的である。しかし、人が滞在するのは壁際・ペリメータ域よりもインテリア域で大半あり、室内温熱環境のムラが大きい場合には人の周囲の温湿度を正確に捉えられていない可能性がある。

一方、水平方向、垂直方向に密に温湿度を把握しようとする場合T型熱電対の使用頻度が最も高いが、配線が大きく視界を占めるため常設には不向きで、人が多く滞在する場で温熱環境測定を行う際には測定期間を限定することになる。

そこでこの事例では、通信にEnOceanを利用しソーラー給電により電池・電源を不要とした温湿度センサを用い、テグスでセンサを配置することで視界への影響を抑え、水平・垂直方向とも高密度な温湿度センシングを実現した。使用したセンサ外観を図-5に示す。

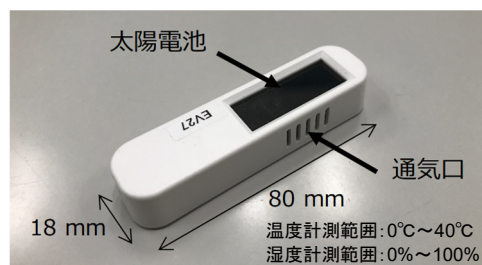
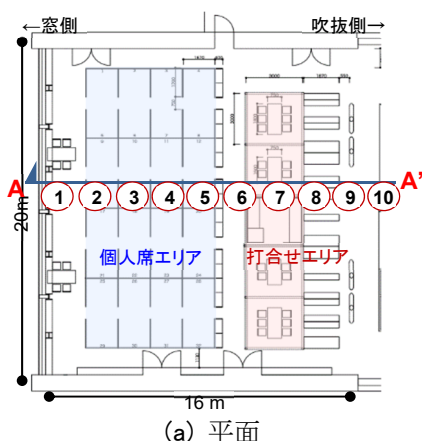


図-5 温湿度センサ外観

高密度温熱環境測定を清水建設技術研究所オフィスの一角で実施した。オフィス空間概略を図-6に示す。このオフィスは全面床吹出空調方式を採用している。図-6(a)のA-A'断面における10点の測定高さはISO77264)に準拠しFL+100, 600, 1100, 1700(それぞれ足首部、椅座位腹部、椅座位頭部・立位腹部、立位頭部), 2200, 2700 mmとした。センサは個体差検証の結果をもとに、温度を優先して差が小さいものを高さFL+1100mmに配置し、垂直方向もなるべく個体差が小さくなるよう設置した。分析対象期間は2017年7月14日~8月10日、当該エリア在籍者は30名であった。



(b) 高さ方向センサ配置

図-6 測定対象エリアの概略図

代表日として2017年7月24日の6時～21時の3時間毎の温度分布を図-7に示す。週明けのため6時台は室内全体が28.5～29.5℃と高い温度を示しているが、9時台には床面から冷気が供給され、居住域の温度が徐々に低下していくことが見て取れる。測定点7付近には複合機が設置しており、その周辺は温度が高いこともわかる。

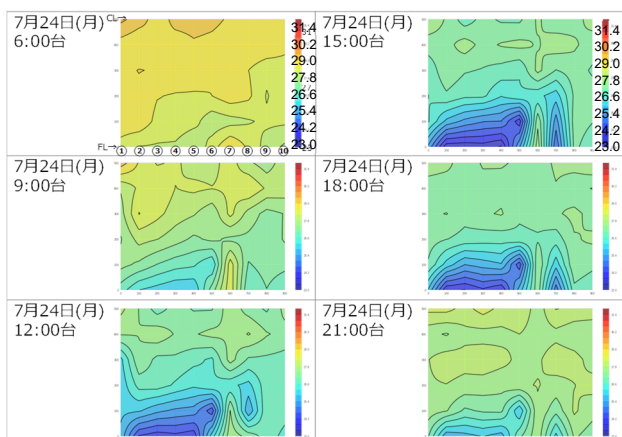


図-7 代表日のA-A'断面の時間帯別温度分布

無線で電源不要の温湿度センサをオフィスに高密度に配置してデータをIoTプラットフォームに取り込むことで、容易に温度分布を作成すること

が可能であることを示すことができた。また、センサの可搬性も高いことから、測定範囲を変えることも熱電対に比べて簡易な作業で済むため、常設でも、一時的にでも、空間内の温湿度分布を把握するのに適した方法であるといえる。

5.2 人感センサによるオフィスの使われ方可視化

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¹⁴⁾。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、将来的に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を目的として、人感センサをはじめ振動センサやドア開閉センサなど約50台を設置し、オフィス内の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。

人感センサによる計測結果の一例として、図-8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き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。

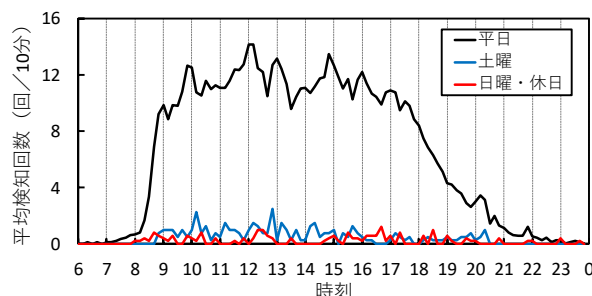


図-8 人感センサ計測結果(内階段利用状況)

一方、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も行った。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-9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。

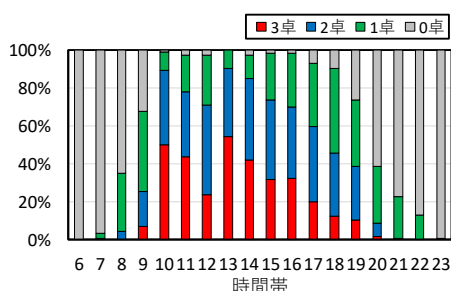


図-9 人感センサ計測結果(テーブル占有状況)

なお、今回設置したシステムでは全てのセンサを無線センサとしているため、今回の取り組みのように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を改めて確認することができた。

5.3 ウェアラブルセンサによるバイタルデータ

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、データ取得を行った事例を示す¹⁴⁾。対象としたのは5.1節の測定対象と同じく清水建設技術研究所オフィスの一角で、個人席エリアと打合せエリアに二分された約300m²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(図-10)を配布し、執務中は常時装着・データ取得した。



仕様抜粋
搭載センサ: 脈拍センサ(光電式)、3軸加速度センサ(MEMS)
検出量: 脈拍、消費カロリー、歩数、加速度
無線方式: BLE(2.4GHz帯)
電源: バッテリ

図-10 ウェアラブルセンサ概要

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されており¹⁵⁾、この情報も併せてIoTプラットフォームに取り込んだ。この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って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の確認と、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-11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、例えば12時台に一旦オフィスから出た場合は、再度通信範囲に入った際にその間の積算歩数が加算される様子が見える。

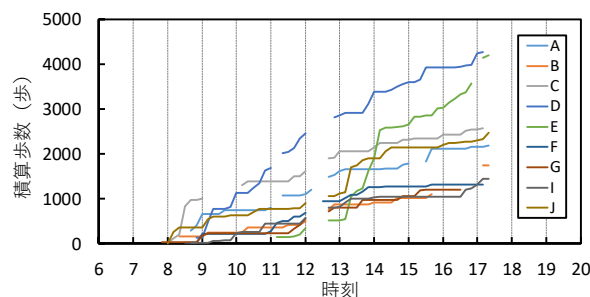
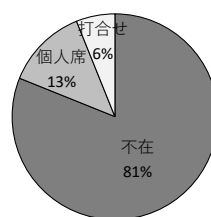


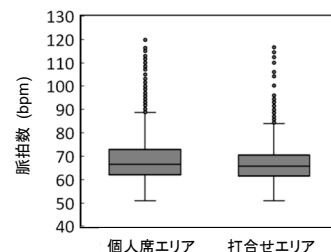
図-11 個人別の積算歩数の推移

図-12(a)、(b)には、ある1人の対象者の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)の分析結果を示す。図-12(a)は、位置情報のデータから分析した対象者の平日日中(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)に滞在していた割合が2割程度であった。

図-12(b)では、これと脈拍データを組み合わせ、エリア別の脈拍数を分析した。個人席(自席)では集中作業が多く低い心拍数、打合せエリアでは比較的活発な活動で高い心拍数が予想されたが、今回はそのような明確な傾向はみられなかった。



(a) 所在場所の比率



(b) 所在場所別の脈拍数

図-12 脈拍データ分析例

6. まとめ

施設内における密度の高い計測をサポートし、かつ機動性に富むIoTの特徴を生かしたシステムを構築することで、室内計画や制御のために情報を収集および提供するシステムを容易に構築することが可能となった。一方注意点としては、データの整合性をシステム側ではとらないため、欠落や重複への対応をデータ利用者側で行わなければならないことが挙げられる。

本報告において開発したIoTプラットフォームは、ここに挙げた事例のほかデータセンターの運用中サーバ室内温度環境の詳細把握・空調機器制御への適用も行っている¹⁶⁾。このように物理的制約を少なくした「利用にあたっての自由度」を向上し後付けを可能とした空間計測に対する需要はこれまで以上に高まると考えられる。今後は、BAやBEMSをはじめとした施設に関わる産業用システムとの連携についても取り組む予定である。また、本報告において開発したシステムはオンプレミス(使用者がハードウェアを保有し、システムリソースを管理する)・クラウドいずれの運用形態においても運用可能な構成となっていることから、今後はクラウド上での利用についても検証を行う予定である。

<参考文献>

- 1) 村井 純: “IoTという新たな産業革命”, DIAMOND ハード・ビジネス・レビュー 2015年4月号, p.31, 2015
- 2) 雨宮 沙耶, 廣瀬 啓一: “快適な室内環境構築に向けたIoT活用に関する取り組み, 建築設備の快適性”, 建築設備と配管工事, 2017年8月増刊号, 2017
- 3) 山崎 元明, 廣瀬 啓一, 白石 理人: “IoTの施設内活用に向けた検討”, 2017年(第35回)電気設備学会全国大会 F-1, pp.302-303, 2017
- 4) json.org: “JSONの紹介”, <https://www.json.org/json-ja.html>
- 5) Vogels, W.: “Eventually consistent”, Communications of the ACM. 52: 40, doi:10.1145/1435417.1435432, 2009
- 6) EnOcean GmbH: “EnOcean - The World of Energy Harvesting Wireless Technology”, https://www.enocean.com/fileadmin/redaktion/pdf/white_paper/White_Paper_Getting_Started_With_EnOcean.pdf, 08/2015
- 7) EnOcean GmbH: “EnOcean Radio Protocol 2 V1.0”, 2013-09-26, <http://www.enocean.com/erp2/>

- 8) 一般社団法人 電波産業会: “ARIB STD-T108 920MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用無線設備”, 一般社団法人 電波産業会, 2012
- 9) Bluetooth SIG: “Bluetooth Core Specifications Core Version 4.2”, <https://www.bluetooth.com/specifications/bluetooth-core-specification/legacy-specifications>, Bluetooth SIG
- 10) OASIS Open: “MQTT Version 3.1.1 OASIS Standard”, <http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/os/mqtt-v3.1.1-os.pdf>, 29 October 2014
- 11) Fluentd Project: “What is Fluentd?|. Fluentd”, <https://www.fluentd.org/architecture>
- 12) Elastic co.: “Elasticsearch: RESTful, Distributed Search & Analytics”, <https://www.elastic.co/jp/products/elasticsearch>
- 13) 雨宮沙耶, 宮下裕貴, 廣瀬啓一, 山崎元明, 白石理人: “施設内IoTプラットフォームの開発と活用 その3 高密度センシングによるオフィスの温熱環境測定”, 2018年度日本建築学会大会(東北)学術講演会梗概集, 情報システム技術, pp.67-68, 2018
- 14) 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状況把握”, 2018年度日本建築学会大会(東北)学術講演会梗概集, 情報システム技術, pp.65-66, 2018
- 15) 貞清 一浩 他: “スマートワークプレイスの開発 その1: スマートワークプレイスの概念と制御システム”, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), A-2, pp.475-476, 2011
- 16) 山崎元明, 白石理人, 廣瀬啓一, 雨宮沙耶, 宮下裕貴: “施設内IoTプラットフォームの開発と活用 その5 データセンターのIoT温度センシングによる環境把握と空調制御”, 2018年度日本建築学会大会(東北)学術講演会梗概集, 情報システム技術, pp.71-72, 2018