

センシングデータを活用した設計基準の再評価

-大規模オフィスのトイレ個室利用状況の分析-

○宮下 裕貴* 古川 慧*
山崎 元明* 白石 理人*

キーワード：情報、センシング、IoT、衛生器具

1. 始めに

近年、IT 機器の急速な発展、個々人の習慣の変化や働き方の多様化に伴い、建物の利用が大きく変化している。一方、建物の計画を行う際は、過去の利用実態調査の結果に基づいて機器等の個数や配置を決めることが多く、今日の建物利用に即しているかの検討余地がある。今日の利用に即した設計をするためには頻りに調査を実施することが望ましいが、今までの調査方法では多大な労力（目視調査やビデオから利用状況を計測）、高価なセンシング機器や設備の改修を必要^{1,2)}とし、さらには実施後のデータ分析に相当な時間を要する。これら課題に対して、最新の通信技術と低コストセンサーを組み合わせた IoT 技術 (Internet of Things) を用いることで、課題への対処が可能となり、設備機器の利用実態調査を容易に実施できると思われる。

IoT とは、大量の無線通信センサーによりビックデータ取得を可能にする技術である。この技術は、安価で高速な通信の実現、大量生産により安価なセンサーが入手可能になったことで実現可能になった。IoT 技術を用いることで、大量に配置された個々のセンサーから一定の間隔でワイヤレスにデータが送信され、サーバーもしくはクラウドに保存される。さらに、様々な場所に配置されたセンサーデータの一元的管理により、データ分析が容易になる。

そこで本研究では、IoT 技術を用いたセンシングにより、今まで調査コストが高かった建物利用状況を容易に分析可能であることを実証し、さらにその調査結果と設備機器算定に使用する既定の数値を比較することで、過去の設備利用状況との乖離を検証することを目的とした。そのため今回の検証は、比較的短期にデータが集まりやすい事務所建物の男子トイレブースにて実施する。また事務所のトイレブース数算出³⁾に必要なトイレブースの平均占有時間に着目し、過去の占有時間との比較検証を行う。

2. 関連研究— 衛生器具数の算出

洗面所における衛生器具数は、法規により数が定められている(表-1)⁴⁾。しかし、これらの数値は最低限必要な衛生器具数であるため、実際の設計では表 1 に従って衛生器具数を決めることは少ない。

一般的な所要器具数は、建物用途や利用者の意向・利便性から総合的に判断される。これらを踏まえた判断をする

表-1 法規による必要衛生器具数⁴⁾

建物種別	区分	最小器具数	
		大便器	小便器
作業所、事務所	男子	労働者数*/60	労働者数*/30
	女子	労働者数*/20	

注 * 同時に就業する労働者数

表-2 衛生器具の占有時間平均²⁾

建物種別	区分	衛生器具の占有時間平均 (Sec)	
		大便器	小便器
事務所	男子	273.6	32.4
	女子	91.8	

表-3 建物概要と設備概要

建物概要	用途	事務所 (テナントオフィス)
	延床面積	約 97,000 m ²
	階数	地上 14 階
	建物高さ	65.5m
	各階事務所面積	約 5,000 m ²
設備概要	衛生器具	大便器：洗浄暖房便座付 小便器：一体型自動感知 FV 付

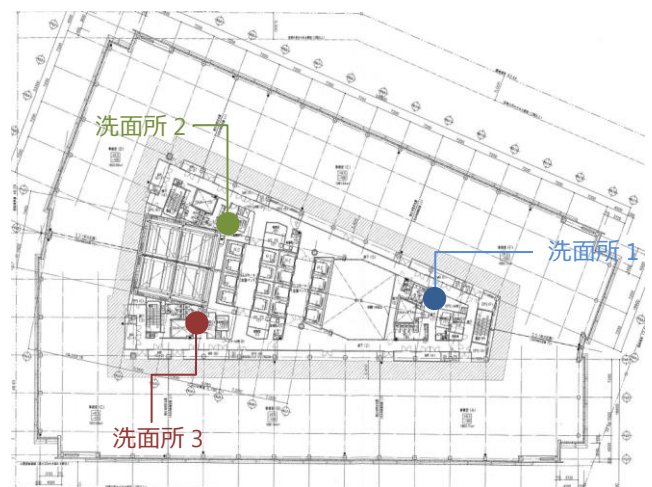


図-1 事務所平面図とトイレの位置

ために、設計者は所要器具数算定の手順と算定モデル⁵⁾を用いる。算定モデルには、待ち行列モデルとシミュレーションモデルが用いられるが、理論的計算が可能な場合は待ち行列モデルを使用する。待ち行列モデルによる衛生機器数の算定は、利用者の到着率、衛生器具平均占有時間、待ち時間の有無を考慮して行う⁶⁾。このとき、事務所の衛生機器平均占有時間は、昭和51年に発表された村上らの調査結果(表-2)²⁾が利用される。一方で、近年の洗面所のあり方は、排泄目的の場所にとどまらず気分転換に利用されるなど多目的な空間へと変化している^{7,8,9)}。このことから、最近の衛生機器平均占有時間が、昭和51年に調査され既定となった衛生機器平均占有時間と乖離している可能性がある。以上を踏まえると、衛生器具数の算出精度を上げるために、直近の衛生器具平均占有時間を調査するのは大きな意義があると言える。そこで本研究では、洗面所の男子トイレブースにセンサーを設置し、トイレブースの利用状況を調査・分析するとともに、既定の平均占有時間との比較を行う。

3. 調査概要

3-1. 調査場所・期間

本調査は、神奈川県横浜市の事務所建物で実施した。表-3及び図-1に建物概要と平面図を示す。各フロアには洗面所が3か所あり、洗面所には3つのトイレブースが配置されている。つまり、各フロアには9つのトイレブースが配置されている。本調査は建物の1フロアにて実施し、フロア内の全トイレブースにセンサーを設置した。調査期間は、2017年6月3日から2017年8月5日の約二か月間となる。

3-2. IoT デバイス

本研究では、IoT技術の中でも先端技術であるエネルギーハーベスティング無線センサーを利用する。エネルギーハーベスティング無線センサーとは、環境エネルギー(光、圧力、運動エネルギー)のみを利用し、そのエネルギーで計測と無線通信を行うセンサーのことである。このセンサーは、追加配線工事・電池交換が不要のため、設置・メンテナンスの手間を大きく削減できる。

今回の実験では、男子トイレブースの利用調査をするため、ドアの開閉を感知するセンサーをトイレブースのドアに設置する(図-2)。このセンサーはドアの開閉を感知し、データを無線送信する。無線送信されるデータを受信するゲートウェイ機器に、Raspberry pi 3 Model B(図-3)を用いる。受信したデータは、Raspberry pi 内部のデータベースに保存される。データ解析をするときはデータベースにアクセスし、CSV形式でデータを出力させ、解析PCにデータを受け渡す。上記一連の流れを図-4に示す。

4. 調査結果

4-1. 調査データの概要

本調査には、各ブースに設置されたドア開閉感知センサ



図-2 ドア開閉感知センサーの設置



図-3 受信ゲートウェイ (Raspberry pi)

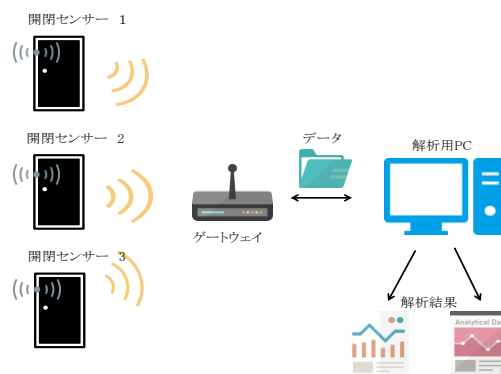


図-4 センサーとゲートウェイの関係

ーのデータを利用する。このデータを解析し、ブースの占有時間、時間帯ごとの空きブース状況などのグラフを作成する。調査に使用する時間区間は、オフィスの一般的な就業時間と考えられる9時から18時までのデータとする。

4-2. トイレブースの占有時間の調査

対象フロアの全トイレブースにおけるブースの占有時間分布を図-5に示す。占有時間が長くなるにつれて割合が減少する傾向が見受けられるが、ブース占有時間が1800秒(30分)以上の利用回数は再度上昇するグラフとなっている。これはトイレブースを長時間占有する利用者の存在を示唆している。表-4には、各洗面所におけるブース占有時間の平均値と中央値を示す。すべての洗面所において、

平均値と中央値が表-2 に示された大便器占有時間平均を上回る結果となった。平均値・中央値が表-2 の平均占有時間を上回ったということは、一般的な利用者の平均占有時間が過去に比べて長くなったことを意味している。

図-6 に時間帯別の器具占有時間平均値と中央値を示す。平均値・中央値ともに午後の占有時間が午前に比べて長くなるのが分かる。図-7 に時間帯別のトイレブース占有時間分布を示すが、この図においても占有時間分布が午後にかけて占有時間の増加側に広がりを見せている。この図より、午後にかけて一般的なブース利用者の占有時間増加を観測できた。またブース長期占有者も午後増加していることも併せて分かる。

4-3. トイレブースの空き状況・利用回数の調査

時間帯別にみた全洗面所におけるブース利用状況のグラフを図8に示す。このグラフよりトイレブースの混雑具合を把握することができる。図-8において、ブースが一つも使われていないときをブース占有0個、ブースが一つ利用されているときをブース占有1個、洗面所内のすべてのブースが利用されているときをブース占有3個としている。図-8より、お昼過ぎ（13時台から15時台）にすべてのブースが満室となる割合が高くなることから、この時間帯において洗面所ブースが最も混雑していることが分かる。また、就業開始時と就業終了前は、器具の占有割合が最も低いことから、これら時間帯が最も混雑しないことが分かる。

全洗面所における時間帯別のトイレブース利用回数の割合を図-9に示す。トイレブース利用回数は、ブースの扉が閉じられた数を表す。このグラフより、就業開始時間である9時台、10時台と昼休憩後の13時台に利用回数が多くなる事が分かる。

4-4. トイレブース混雑と利用回数・占有時間の関係

ブース利用回数がブースの混雑に影響しているかを調べるため、図-8と図-9を合わせて分析すると、9時台のブース混雑度は低いにも関わらず、トイレ利用回数は9時台が最も多いことがわかる。一方、最もブースが混雑する13時台のブース利用回数は、9時台より約10%少ない。これらより、ブースの混雑にブース利用回数が大きく影響していないことが分かる。

ブースの混雑とブース占有時間の関係も併せて調査する。最も混雑する13時台の平均占有時間は、ブース利用者は多いが混雑がない9時台の平均占有時間より32%高い（図-6）。これより、ブース混雑はブース利用者の占有時間に影響を受けると言える。以上を踏まえると、トイレブースの混雑は、ブース利用回数より利用者の占有時間が大きく影響していることを含意する。つまり、このフロアにおけるトイレブースの混雑解消には、ブース利用者の占有時間を短くすることが寄与すると思われる。

4-5. 洗面所の場所別の利用状況

どの洗面所のトイレブースが頻繁に利用されているか

表-4 トイレブース占有時間

	平均値	中央値
全体	485 秒	368 秒
洗面所 1	529 秒	364 秒
洗面所 2	458 秒	377 秒
洗面所 3	470 秒	363 秒

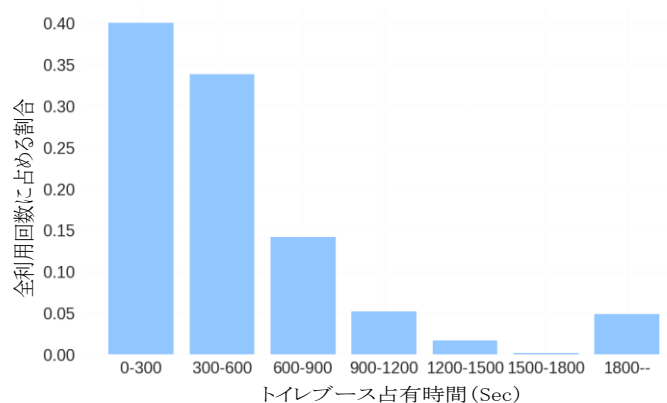


図-5 全トイレブースの占有時間分布

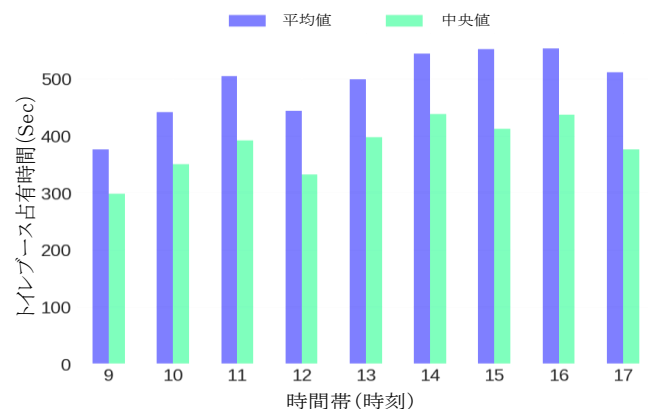


図-6 時間帯別の器具占有時間平均値と中央値

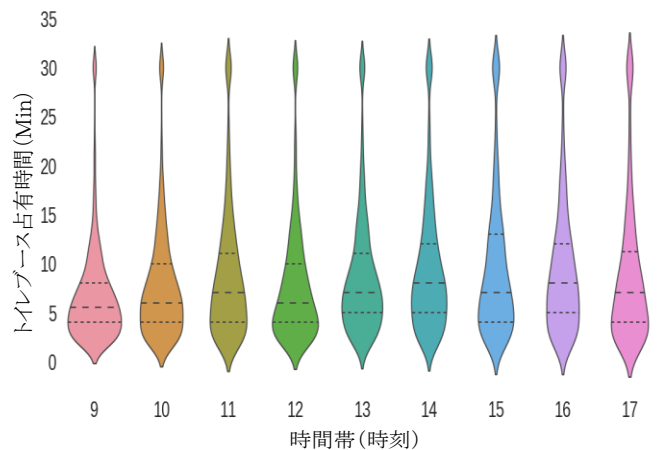


図-7 時間帯別の器具占有時間分布

を調査するため、図-10 に洗面所ごとの時間帯別トイレブース利用回数の割合、表-5 にフロア内のトイレブース利用率を示す。平面図（図-1）より、右側に一つだけ配置された洗面所 1 が最も利用回数が多いと予想していた。しかし実際には、洗面所 2 の利用が最も多く、洗面所 3 の利

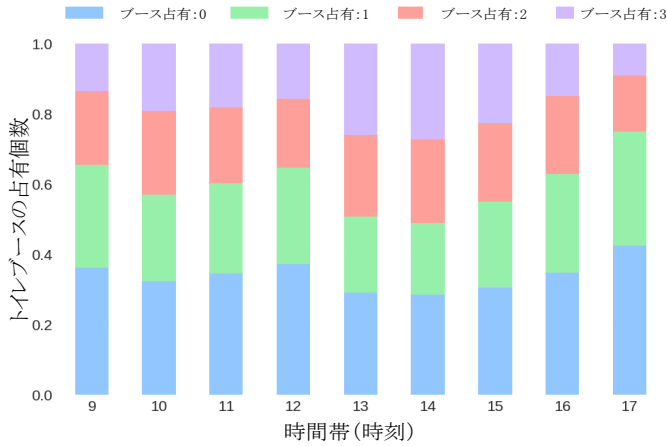


図-8 時間帯別のトイレブース利用状況

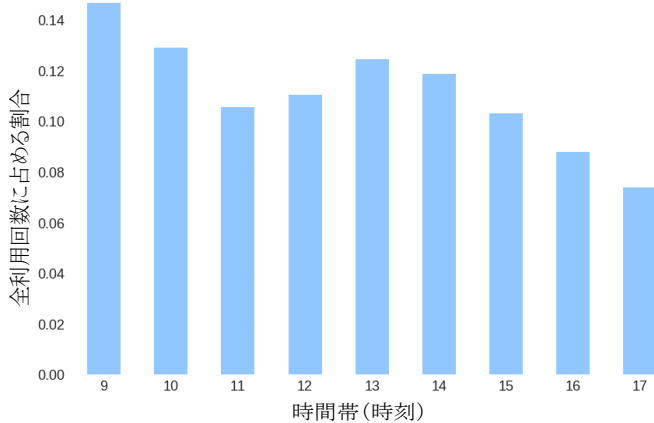


図-9 時間帯別のトイレブース利用回数の割合

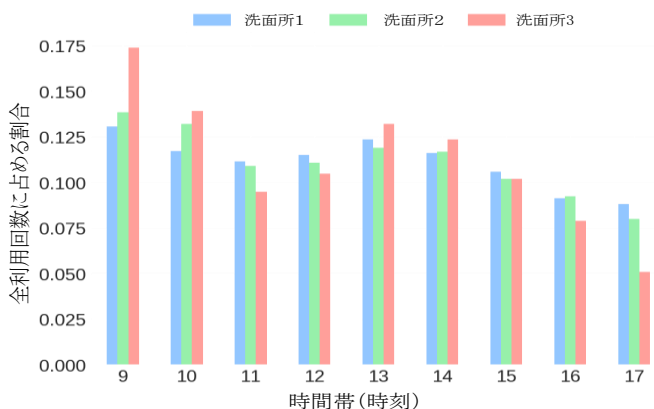


図-10 洗面所ごとの時間帯別トイレブース利用回数の割合

表-5 フロア内のトイレブース利用率

	洗面所 1	洗面所 2	洗面所 3
利用率	0.337	0.353	0.310

用が最も少なかった（表-5）。図-10 より洗面所 3 のトイレブース利用は他洗面所の動きと異なるのがわかる。特に、洗面所 3 付近のエリアで働いている従業員は 17 時に利用が大きく減っている。これより 17 時に退社する人数が多いと推測でき、この影響で他洗面所より利用回数が少なくなったのではないと思われる。このようにトイレ利用状況を分析することで、洗面所付近の働き方まで考察できる可能性があるのは興味深い。

5. まとめ

ある事務所建物の洗面所利用状況を把握するために、IoT デバイスを使用して容易にトイレブース利用状況のデータを取得した。その後、蓄積したデータを解析し、トイレブースの占有時間、混雑具合、時間ごとのトイレ利用の変化を考察した。これら解析により、事務所のトイレブース数の決定に大きく影響するトイレブース占有時間が、既定の占有時間から大きく乖離していることが分かった。併せて、洗面所のトイレブースの混雑は、利用回数よりブース占有時間が大きく影響することも分かった。

今後も IoT デバイスを活用した計測を実施することで、従来の手法では困難であった建物の利用状況等を調査し、既存の設計基準などとの関係性を調べるとともに、建築計画にも活用していく予定である。

【参考文献】

- 1) 高橋・紀谷・中山：事務所建築における衛生器具利用状況の実態調査その 1-その 7 日本建築学会大会学術講演梗概集, 1973-1974
- 2) 村上三郎：建築設備計画における給水負荷算定法に関する研究 その 2, 日本建築学会論文報告集, 昭和 51 年 11 月 No. 249, pp119-128
- 3) 空気調和・衛生工学会：空気調和・衛生工学便覧 第 14 版 吸排水衛生設備編, pp. 246-249
- 4) 建築設備技術関係法規要覧, pp. 128-135, 三協法規出版
- 5) SHASE-S 206-2009 給排水衛生設備基準・同解説, (平 21), pp210
- 6) 村上・金崎：事務所における衛生器具利用所の待ち時間評価と適正器具数の検討, 日本建築学会論文報告集, 1983, No. 328, pp83-93
- 7) 余語・井上・飯島・廉藤・渡辺：女性オフィストイレにおける機能配置と行為位置の関係 女性オフィストイレに関する研究その 2 日本建築学会近畿支部研究報告集計画系, 2011-5, No. 51, pp173-176
- 8) 越川・村上・坂上・飯尾・市川：成人を対象としたトイレ利用行動とその意識に関する分析, 空気調和・衛生工学会論文集, 1997, No. 65, pp41-52
- 9) TOTO「オフィストイレの意識調査」(2012 年 1 月) http://iinavi.inax.lixil.co.jp/project/project/set/contents/pdf/han_se_1369.pdf

* 清水建設株式会社 技術研究所