

センシング技術を活用したオフィスにおける環境制御技術

七里 彰俊*¹

Keywords: air conditioning control, thermal environment, personal control, sensing

空調制御, 温熱環境, パーソナル制御, センシング

1. はじめに

近年, 多様な働き方の推進にともない, 利用目的に応じて個人が自由に執務エリアを使い分ける Activity Based Working(以下 ABW)の概念に沿った働き方が注目されている。しかし, このような働き方は, 執務エリアの環境や空き具合など, 現地に行くまで分からなかったという課題があった。多様な働き方の推進には利用者がこれらの情報を事前に把握でき, スムーズな移動等をサポートするためのインフラ整備が必要となる。そこで今回, 利用者の多様な働き方をサポートする, クラウドを活用した WEB アプリケーション (以下, アプリ) を開発したので, そのサービスやシステムについて報告する。実際のオフィスの執務環境で利用してもらった実証試験を実施した結果を報告する。

2. アプリ概要

図-1 にアプリの全体概要を示す。環境センサから得られる「環境情報」と位置センサから得られる「位置情報」, さらに, 利用者本人から得られる「利用者情報」をクラウド上に集約し, 必要なデータ処理を施したうえで, 利用者にワーカー向けアプリを通じて様々なサービスを提供することが可能である。また, 管理者向けのアプリとして, ワーカー向けアプリの管理, 空間の利用状況の把握, 設備機器の管理などができる。

3. システム構成

3.1 システムの全体構成

図-2 にシステム構成図を示す。システムは大きくデバイス, ゲートウェイ (以下, GW), クラウドの3つにより構成される。GW ではデバイスからのデータを受け, クラウドに適したデータ形式に変換しクラウド

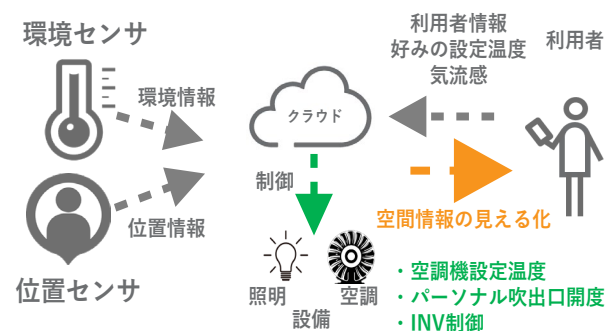


図-1 アプリの概要

Fig.1 Conceptual diagram of application

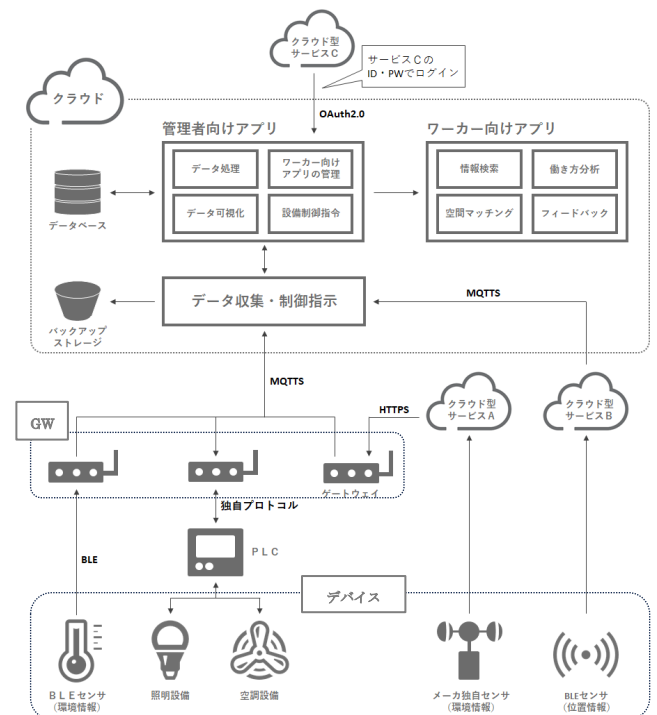


図-2 システムの構成図

Fig.2 Conceptual diagram of system

* 1 技術センター 都市基盤技術研究部 空間研究室

にて収集する仕組みである。クラウド内の管理者向けアプリは収集したデータを取り込み、データ処理をした後、データベースへのデータ格納やワーカー向けアプリへのデータ提供を実施している。

3.2 システムの特徴

システムの構築にあたっては、品質保証が高く、提供されるサービスが豊富なクラウドベンダーの提供するクラウドを採用した。クラウドベンダーのクラウドは Software as a Service(SaaS) や Platform as a Service(PaaS) などのサービスの活用や、他社のクラウド型サービスとの連携を図ることができる。これによりインフラの設計・管理にかかるリソースを大幅に削減して、主要サービスの開発に注力できる状況を作り出している。なお、本システムでは月間7億回ものメッセージのやりとりを遅延なく処理できることを確認している。

3.3 デバイス情報の取得方法

デバイスには様々な通信規格があり、クラウドとデバイスの通信には GW にて適切な通信規格への変換が必要である。本システムでは、デバイスからクラウドまでの通信を以下の4通りの手法で実現した(図-2 参照)。

3.3.1 BLE センサ(Bluetooth Low Energy)

センサと GW 間は BLE(Bluetooth Low Energy)、GW とクラウド間は MQTTS (Message Queuing Telemetry Transport) で通信する。BLE センサと連携する一般的な手法である。

3.3.2 空調・照明

PLC (Programmable Logic Controller) とGW 間は独自プロトコル、GW とクラウド間はMQTTs で通信する。クラウドからの設備制御を実施するため、双方向でのデータのやり取りが発生する。

3.3.3 独自センサ - クラウド型サービス

クラウド型サービス(PC内で完結せずクラウドを利用したサービス)とGW 間はHTTPS、GW とクラウド間はMQTTs で通信する。なお、GW を介さずに直接クラウドに送信することも可能である。

3.3.4 BLE センサのクラウド間連携

クラウド型サービスとクラウド間を直接MQTTsで通信する。一般的なクラウド間の連携手法である。

3.4 ログイン情報および利用者データベースの共有

ワーカー向けアプリは、人を検索できる機能を持つが、検索には人物データベースの事前構築が必要である。しかし、データベースの構築は非常に手間がかかるうえ、情報の正確性も担保することができない。そ

こで、すでに社内で利用されている人物データベースを保有するクラウド型サービス(図-2のクラウド型サービスC)と本システムのクラウドをOAuth2.0(複数のWebサービスを連携してアクセス権限の認可を行う仕組み)により認証連携する。これにより、連携先のクラウド型サービスのログイン情報(ID・パスワード)が利用できるほか、氏名や部署などの従業員データベースを自動的に構築することが可能となった。

3.5 ワーカー向けアプリ

本アプリは「環境情報」と人・モノの「位置情報」、「利用者情報」をクラウド上に集約し、必要なデータ処理を施したうえで、利用者に様々なサービスを提供する。「環境情報」は温湿度などを環境センサにより収集しており、人の「位置情報」はビーコンと赤外線センサを組み合わせで収集している。利用者が携帯しているビーコンタグとビーコン受信機により個人の特定と大まかな位置を検知し、赤外線センサにより位置を補正することで高精度かつ個人を特定した人検知が可能である。「利用者情報」は利用者がアプリに登録する。登録項目には氏名や性別などの個人情報と好みの環境情報(温度・気流感・明るさ)がある。これらの情報を集約することで様々なサービスが提供可能となる。データを組み合わせで提供が可能なサービスの例を表-1に示す。本アプリはサービス単体でも利用することができ、ニーズに合わせた組み合わせをすることが可能である。サービスの一例について詳細と実際の携帯画面上のサービス画面を図-3に示す。



写真-1 ビーコンタグと環境センサ
Photo.1 Beacon tag and environment sensor

3.5.1 リアルタイム検索

検索対象のリアルタイムの状態を表示する。検索対象はアプリ利用者の「人」と会議室・ワークプレイスなどの「空間」であり、人の場合は位置情報、空間の場合は位置情報と環境情報をマップ上に表示する。トイレを検索すると、位置情報とその空き状況を表示する。

3.5.2 環境情報の見える化

環境センサによって収集した環境情報をクラウドで

処理し、マップ上に表示する。表示項目に体感温度、にぎわい度、混雑分布、温度分布、明るさ分布がある。

3.5.3 ワークプレイスのレコメンド

自分が求める条件のワークプレイスを提案する。入力条件として利用目的、利用人数、屋内/屋外がある。

3.5.4 好みに応じた空調・照明自動制御

アプリに登録している好みの環境情報に合わせて、執務エリアの照明と空調を自動制御する。好みには明るさ、気温、気流感に関する項目があり、それぞれに基づき照明の照度、空調の設定温度、空調の風量を制御する。

3.5.5 体感フィードバック

空間に対する明るさ（明るすぎる/暗すぎる）、気温（暑い/寒い）、気流感（強い/弱い）についてのフィードバックを送り、照明と空調を自動制御する。

3.5.6 働き方の振り返り

過去 1 週間の執務エリア別の滞在時間を表示する。

3.6 管理者向けサービス

利用者の位置情報や利用状況データの管理により「各場所の利用状況」、「検索機能の利用状況」「各ワークプレイスの環境情報」を分析することが可能である。

表-1 開発したアプリの機能一覧

Table 1 List of features of the developed app

各種機能	内容	各種機能	内容
リアルタイム検索	人・物・場所のリアルタイムの検索	会議室の空き情報表示	使いたい場所の空き状況を確認機能
キーワード検索	キーワードを入力することで検索が可能	トイレの満空表示	トイレの空き状況を確認機能
環境情報の見える化	環境センサを用いた環境情報（温度・湿度・照度・音・CO2）の可視化	混雑状況の可視化	オフィスエリアの「混雑状況・時間帯」の可視化
ワークプレイスのリコメンド	利用目的や環境などを条件に最適な場所の絞り込み検索	プロフィール編集	自身のプロフィールを設定し職場内の交流に利用可能
自身の働き方の振り返り	1週間の働いた場所の確認機能	執務者の接触範囲分析	利用者の間の接触の確認や消毒エリアの検討に役立てることが可能
個人の好みを反映した空調制御	事前に登録した個人の好みを反映した空調・照明のリアルタイム連動制御	人気エリア分析	会議室などの人気エリアの分析が可能。
体感フィードバック	現在の環境における体感情報を意見することで制御の変更が可能	備品管理	備品にタグを持たせることで管理が可能



(a) リアルタイム検索



(b) 人の検索



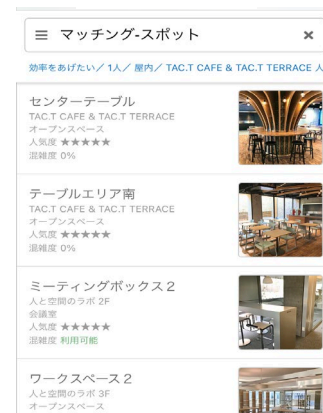
(c) 環境情報の見える化



(d) 場所の詳細情報表示



(e) ワークプレイスのレコメンド



(f) 人の検索



(g) 体感フィードバック



(h) 働き方の振り返り

図-3 アプリのサービス画面
Fig.3 Service screen on application

4. 各PJへの導入

ユーザーのABWに沿った働き方の支援に必要な「情報」や「空間」「アプリの機能」を明らかにする目的で当社施設である横浜支店・関西支店・技術センターにサービスを導入した(表-2)。各プロジェクトの状況や運営体制に向けた進捗を報告する。

表-2 各PJ導入状況
Table 2 Implementation status of each project

	横浜支店 (3F)	関西支店 (5F)	技術センター本館 (1-4F)
運用開始	2023年	2023年	2024年
クラウド	AWS	AWS	Azure
空調設備 制御・操作	ゾーン制御 (好みの温度)	ゾーン制御 (PMV制御)	ゾーン制御 (好みの温度) パーソナル制御 (風量)
	リモコン操作	リモコン操作	リモコン操作
面積	900㎡	870㎡	6,000㎡
人検知方法	ビーコン 100個	ビーコン 80個	ビーコン 260個

4.1 センシングによる環境情報の見える化

執務者が自由に座席を選び、環境選択できるオフィスでは、座席選択の判断に役立つ情報提供が必要となる。情報がない状態で運用した場合には、ワーカーは習慣や視界にある空席を選ぶことになり、これはオフィスの運用効率や利用エネルギー視点でも合理的ではない。そこで座席選択の判断に役立つ情報として温湿度センサを設置し働く場所の温湿度環境の見える化機能を実装した。技術センターでは温湿度センサは図-4のように1スパンに2個設置しており、センサで取得した情報は画面上に温度情報を重ねて表示させることが可能である。

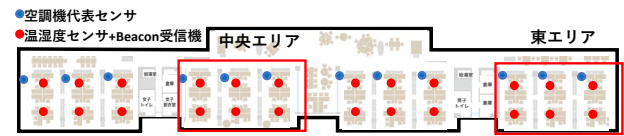


図-4 技術センターの環境センサ設置プロット図
Fig.4 Installation locations of environmental sensors at the technology center

図-5 にセンサ情報の見える化の画面の結果を示す。これまで代表センサでのみ計測していたため、窓際など外気や日射の影響を受けてしまうエリアで温度の上昇・低下が発生していても検知することが困難であったが環境センサを設置することでリアルタイム・時刻推移の結果を可視化することが可能となり、空調設定

温度の改善を行うことができるようになる。

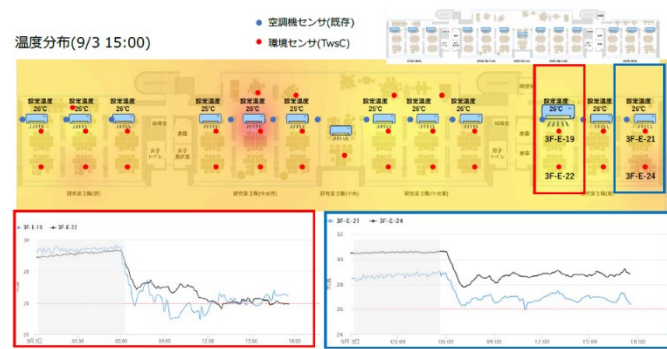


図-5 温度情報コンター図と時刻推移
Fig.5 Temperature contour diagram and temperature time transition

4.2 位置検知技術

位置検知精度は、Beacon 受信機の設置密度に依存する。支店では空調機を制御単位とするゾーン制御、技術センターでは個人を制御単位とするパーソナル制御を導入している。パーソナル制御を実現するためにはBluetooth 通信による精度は十分ではなく、隣の座席に表示されるなど数m位置がズレてしまい誤認識が発生する確率が高い。そこで仮想上の境界線(ジオフェンス)による補正ロジックを位置検知機能に追加した。これは、利用者ごとに、普段から利用している座席や、その日に利用する座席を登録してもらい、これを中心としたエリアを設定し、このエリア内にいる場合は、登録された位置に在席していると判断する仕組みである。ジオフェンス機能を利用することで Beacon 受信機のみ(補正なし)では、座席単位の精度(正解率)は25%であったが、ジオフェンスによる補正ありでは92%に向上した。パーソナル制御への活用が可能となる位置検知精度であることを確認した(図-6)。

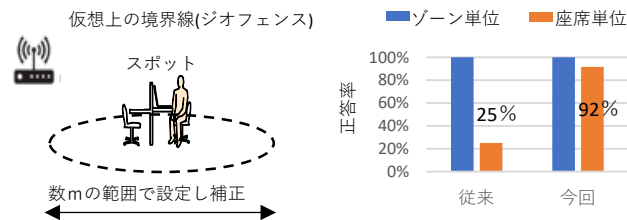


図-6 位置検知精度の正答率
Fig.6 Accuracy rate of position detection

4.3 空調制御技術

4.3.1 支店での空調制御

横浜・関西支店では100名を対象に位置情報を取得

している。また、環境情報の見える化として Omron 環境センサを設置して温湿度・照度・音の情報を提供している。設備の情報として空調機の運転状態、設定温度、照明では設定照度の状態をクラウドへ提供している。

関西支店ではセンサで取得した情報を好みに応じた空調制御を実現させるため予めアプリに利用者の代謝量などの属性情報や温冷感の好みを登録する。

利用者の位置情報を利用して空調機の気流感を制御し体感温度が快適となる様に快適指標である PMV を制御する。図-7 に示すように、放射ダクトパネルをアンビエント制御、エアスイングファンをタスク制御と設定し、各ゾーンの PMV 値が快適域に入るエアスイングファンの強・中・弱停止運転を人の位置を検知して制御する。また、特定のエアスイングファンは全体制御から切り離し、個別制御するモード選択を可能とした。これにより、放射空調で問題となる気流感不足を補うとともに、在室者の好みを重みづけした PMV 制御を構築した。

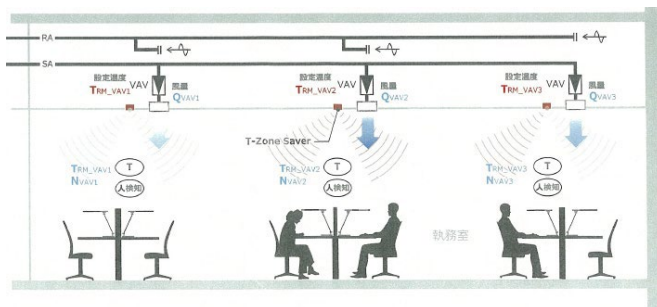


図-7 空調制御概要

Fig.7 Overview of air conditioning control

夏期代表日の PMV 制御の結果、空調時間帯において快適域である ± 0.5 以内を維持した。ペリメータにおいて 0.5 以上を推移する時間帯が確認されたが、スイングファンの設定が中から強へ変更され、気流が多くなることで快適域内に制御されていることを確認した。

4.3.2 技術センター本館

図-8 技術センターの空調システムの概要を示す。空調システムは外調機+室内空調機を用いた中央熱源方式である。室内空調機から共用部の廊下と専有部の個人席に給気される。個人席への給気は電動ダンパー付きパーソナル吹出口から吹き出される。室内空調機の設定温度は利用者の好みの設定温度の平均となるように逐次変更される。パーソナル吹出口は不在時は閉鎖しており、在席時に好みの風量設定に応じて開度を変更

される。また、各吹出口の開度情報から空調機のインバータ出力値を変更し、ファン動力の削減を図っている。

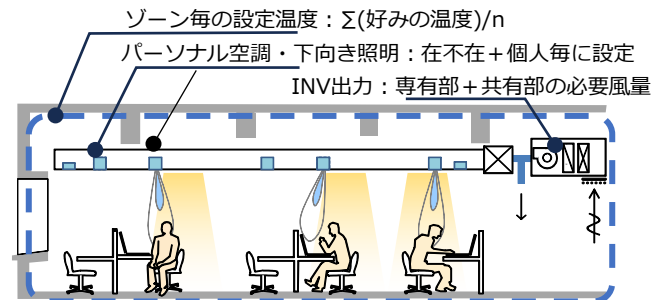
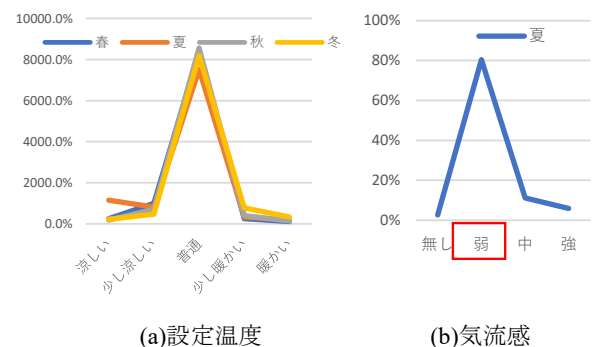


図-8 位置情報を活用したパーソナル空調システム概要

Fig.8 Overview of personal air conditioning system

1) 空調制御に対する好みの設定状況

好みの初期設定は温度「普通」、気流感「弱」であるが、利用者に対し自分の好みを入力するよう事前に説明を行った。好みの温度・気流感について設定状況の確認を行った結果を図-9 に示す。



(a) 設定温度

(b) 気流感

図-9 好みの設定変更の割合

Fig.9 Percentage of preference settings changes

温度は「普通」が 80%、「涼しい」は約 10%であった。気流感は 20%の利用者が、初期設定「弱」から変更していた。自分の温冷感に合わせて、好みの機能を活用していることがわかった。

2) 空調機設定温度制御

図-10 に夏期代表日の中央エリアにおける室内空調機の設定温度と室内温度の変化を示す。利用者の好みと位置の情報が空調設定温度へ反映されて 24~25℃の間で変化している状況がみられ、室内温度もこれに追従して推移している。在席者の好みに合わせた空調制御が実現できていることを確認した。

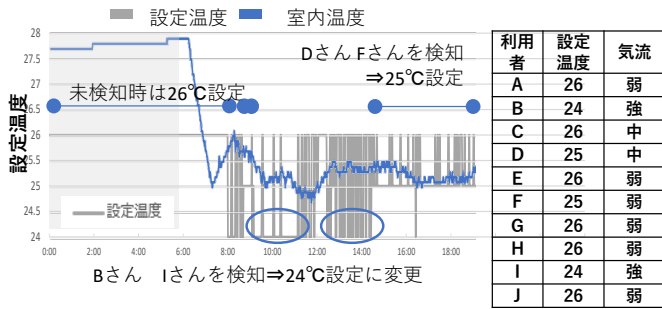


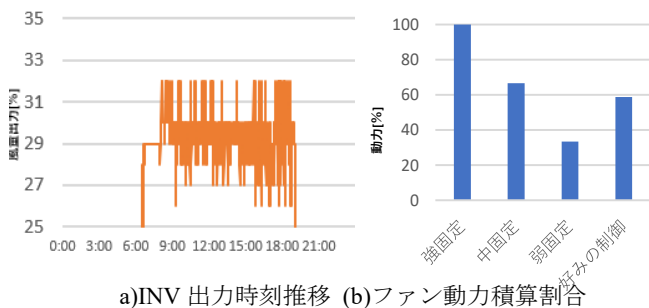
図-10 空調機設定温度制御(9月3日中央エリア)

Fig.10 Air conditioning unit set temperature control
(Central area on September 3rd)

3) 空調機風量制御

図-11 (a)に室内空調機のファンインバータ制御の時刻推移を示す。パーソナル吹出口の開度を反映し、変化していることがわかる。

室内空調機のファン動力について、パーソナル吹出口の開度を「強固定」「中固定」「弱固定」「好みの制御」とした4つの条件で比較した。この結果を図-11(b)に示す。「好みの制御」では好みを満たしつつ、「強固定」に比べファン動力を40%削減できることがわかった。



a)INV 出力時刻推移 (b)ファン動力積算割合

図-11 空調機のINV制御値(9月3日)

Fig.11 INV control value of the air conditioning unit

5. 今後の活用

得られた位置情報や環境情報の活用として建物執務者がリアルタイムで情報を得るだけでなく、施設管理者や設計者にとって有益なサービスを提供する為利用者が建物の運用BIMと連携したサービス開発を進め、計画から運用までを一元管理することで、技術提案・受注貢献が可能な技術として確立を進める。(図-12)

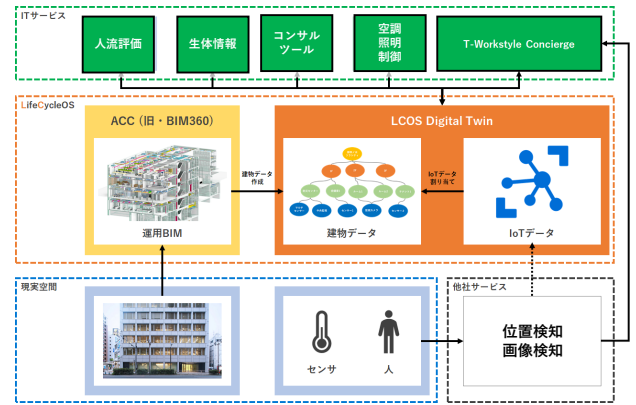


図-12 建物情報との連携

Fig.12 Integration with building information

6. まとめ

多様な働き方が推進されるオフィスにおいてABWを支援するアプリを開発し、実際のオフィスの環境で執務者に利用してもらう実証試験を実施した。その結果高精度で位置検知が可能となり、個人座席毎に制御ができることを確認した。また、利用者の好みに基づく空調設定温度の変更、パーソナル吹出口の制御を確認し従来の一律制御に比べ、利用者の好みを反映させることで、快適な温熱環境の構築とエネルギー削減の両立が可能であるといえる。

今後は取得したデータを活用してオフィスの利用状況の分析やコミュニケーションの変化などオフィスコンサルに活用して設計手法の確立を行う。また施設管理者へ運用方法改善の提案など顧客に向けて展開を行っていく。

謝辞

本研究の遂行にあたり実証にご協力いただいた支店・技術センターの皆様へ深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 大西 堯：クラウドを活用した働き方支援アプリの開発(その1), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2020年9月
- 2) 大西 堯, 七里 彰俊, 岡田 健志, 関根 賢太郎：クラウドを活用した働き方支援アプリの開発(その2)アプリ導入効果検証：ユーザ視点からの評価, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2021年9月
- 3) 岡田 健志, 七里 彰俊, 大西 堯, 関根 賢太郎：クラウドを活用した働き方支援アプリの開発(その3). アプリ機能の技術的評価と運用コストの低減検討, 空気調和衛生工学会学術講演梗概集, 2021年9月
- 4) 七里 彰俊, 張本 和芳, 関根 賢太郎：センシングを活用したオフィスの温熱評価とパーソナル制御, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2025年9月