

TODA BUILDING におけるスマートオフィス化

オフィスのスマート化に向けた開発

SMART OFFICE TRANSFORMATION AT THE TODA BUILDING

Development Towards Smart Office Solutions

堤 隆 志^{*1}, 田 村 秀 一^{*1}, 佐 藤 康 樹^{*1}

Takashi TSUTSUMI, Shuichi TAMURA and Yasuki SATOH

The decline in office demand has led to the development of smart services aimed at enhancing productivity and user convenience. In 2024, these services will be introduced at the TODA BUILDING. The project focuses on integrating advanced technology to optimize space use and create an efficient work environment. The implementation strategy involves two phases: first, analyzing current usage patterns, and second, applying AI and IoT solutions to improve user experience and energy efficiency. This initiative aims to set a new standard for smart office environments in urban settings.

Keywords: Smart, IoT, robot, degitaltwin

スマート化, IoT, ロボット, デジタルツイン

1. はじめに

昨今では少子化によるオフィスワーカーの減少や働く場の多様な選択（コワーキングやテレワーク）により、専用でオフィスを設けるニーズが減っている。その一方で、再開発などによりオフィスビルが大量供給されており、オフィススペースの需要と供給のバランスが崩れている。

そのような中で選ばれるオフィスを作るには、単なる働く場として以上の付加価値が求められている。そこで、利用者がパフォーマンスを最大限に発揮して知的生産性を高めたり、価値創造に集中できたりするような「行きたくなる」オフィスの提供に向けて、様々なスマート化技術を用いたサービスを著者らは開発中である。

このサービスを、2024年竣工予定の「TODA BUILDING」（以下、TODA ビル）の自社入居フロア「TODA Creative Lab」（図1）に導入する。そこでは自社社員がサービスを利用しつつ改良を重ね、継続的に進化するようなスマートオフィスの実現を目指す。

本稿では、スマートオフィス実現に向けた各機能及び技術開発について報告する。

2. スマートオフィスの機能

2.1 全体の構成

オフィスビルにおけるスマートオフィスサービスを最大限に提供するには、ビル設備（空調、照明 etc.）と必要な連携をしつつ、柔軟で拡張性のあるソフトウェア構成で機能追加、修正できることが望ましい。それを実現するため、サービスを構築するアプリケーションレイヤはクラウド上のサーバーレス環境で構築することで機能の拡張性と柔軟性を高められる構成とした。また、安定

した接続を提供するプラットフォームをアプリケーションレイヤと物理レイヤの間に導入することで両レイヤの接続を標準化して他フロアや他ビルに展開しやすい構成とした（図2）。

2.2 プラットフォーム

スマートオフィスサービスを提供するにはビル設備と適切に連携する必要がある。近年では、クラウドを利用した汎用プロトコルの接続が可能な環境が開発されていることもあるが、多くの設備はビル内の閉じた専用ネットワーク経由でしか接続できず、独自プロトコルに合わせた通信が必要となる。そのため、各機器に応じた通信方法を用意する必要があるが、それを一元化する通信プ

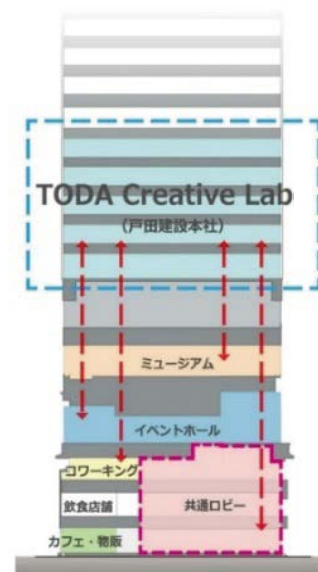


図1 TODA Creative Lab

*1 戸田建設(株)DX推進室

ラットフォームとしてビル OS（Operating System）を導入する。（図2）

ビル OS は、ビル内に実導入されている設備や各種システム（ハードウェア）とサービスを提供するアプリケーション（ソフトウェア）を繋ぐ機能があり、いわゆる PC における OS のような役割を担っている。

ビル OS 上ではデータ伝送や成形といったデータを流通、汎用化するために必要な機能が含まれている。このようなプラットフォームを共通基盤とすることで、スマート化を導入する建物が増えた場合でもコスト面や管理面で優位性を確保できる。また、サービスアプリケーションをプラットフォームと別構築にすることで、機能の変更や拡張時に通信部分に影響を与えづらく、システムの変更が容易になる。

2.3 スマートオフィスアプリ「T-BuSS®」

スマートフォンや PC で利用できるスマートオフィスアプリ「T-BuSS®」を提供する。本アプリはクラウド環境上で構築され、ビル OS をプラットフォームとしたビル内ネットワーク通信や各ベンダーとのクラウド間通信によりビル内設備と連携して各種機器の操作、情報取得をしている。

また、アプリは特定サーバーを用いないサーバーレス構成としており、従来のサーバー構成にとらわれない拡張性を持ち、多様なニーズに対応して機能を追加・修正できる柔軟な構成を採用しています（図3）。

以下ではアプリケーションの各機能について説明する。

(1) オフィス利用者の着席／離席検知

本アプリでは座席の着席時に机の上に貼られた NFC（Near Field Communication）タグにスマートフォンをかざすことで着席検知しつつ、Wi-Fi の接続状況により離席を検知している。アプリの開発前に様々な通信方式を試したが、座席単位の設備操作を提供するために必要な精度と、安定したサービスを提供するための信頼性、コスト面での最適化を踏まえ本方法を採用した（特許出願中）（表1）。

(2) パーソナルサービス

前述（1）で記載した手法で利用者が着席したことを検知した際に、環境設備の自動制御や、座席に応じた設備を選択することなく手動操作ができる。

利用者は出社や座席変更時に座席に貼り付けた NFC タグにスマートフォンをかざして読み取る。すると、システムが着席を検知して座席と利用者を紐づけ、その座席の周辺にある設備を自動で動作させる。（図4）その際、動作内容は事前に利用者がシステムから設定した好み設定を反映する。また、利用者は手動で設備を操作することもでき、NFC タグに紐づいた設備が各種操作画面から設定変更できる。このようにすることで、通常のオフィスよりも利用者の利便性や快適性を向上させる。

一方で、スマートフォンの Wi-Fi 通信状況を検知することで利用者の不在、もしくは別の場所へ移動したことを

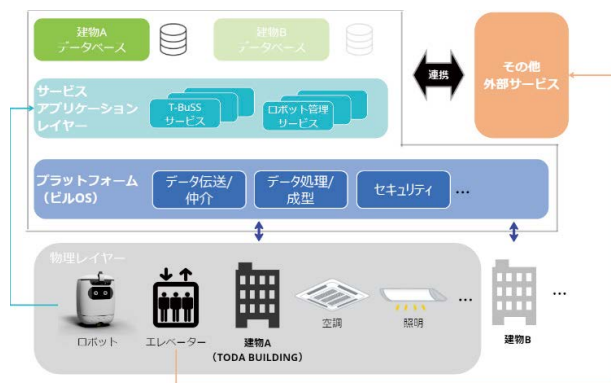


図2 システム構成図（全体）

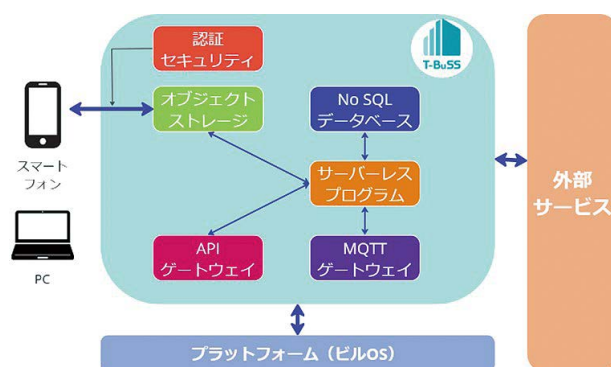


図3 システム構成図（スマートオフィスアプリ「T-BuSS®」）

表1 測位技術の機能比較

測位技術	NFC (+Wi-Fi)	Bluetooth	地磁気 (+Wi-Fi)	ミリ波	RFID	UWB (Ultra Wide Band)	カメラ映像
分類	チェックイン	三点測位/着座センサ	三点測位/環境分析	その他	三点測位	三点測位	その他
概要	・NFCタグにスマートフォンをかざして通信	・ビーコンとスマートフォンでBLE通信をして位置を測定	・建造物が発する磁気を利用した測位方式 ・オフィスWi-Fiとの組み合わせが可能	・対象物からの反射波を計測し測位する方式 ・車のセーフティセングにも活用されている	・タグを測位対象に付け、専用リーダタグを読み取ることで位置を特定する方式	・2台のセンサから発信されたUWB信号の到達時間差と入射の角度を利用した方式	・ビデオカメラの映像を分析・処理することで個人の位置を特定する手法
測位精度	○ ～0.1m (座席単位に測定)	△ 3m～5m (座席センサ付もあり)	△ 1m～3m	◎ 0.1m～1m	△ 3m～5m	◎ ～0.1m以内	◎ 0.1m～1m
個体識別	○	○	○	×	○	○	○
受信デバイス	スマートフォン専用タグ	スマートフォン専用タグ	既存スマートフォン	専用タグ ※将来的にはスマートフォン対応が予想される	専用タグ	専用タグ → iPhoneに導入?	不要
補足	-	S.1世代は測位精度安定せず不採用	導入時、磁気調査を実施し、磁気マップ作成が必要	顔認証測位等への応用も可能	人体とのタグの接触による測位に影響がある	-	-
採用状況	Wi-Fiと組み合わせで着席/離席を検知	精度と測定安定性に課題あり	× メーカー選定	× 個人識別不可	精度が確保できず、開閉が間に合わない	× ※将来の導入が必要	× 技術的安定性とコストパフォーマンスに不採用



図4 着席／離席検知によるタスク空調制御

システムが判断する。そういった離席時には操作中の設備動作を一時的に停止することで省エネ性を向上させる。

また、利用者が座席の NFC タグを読み取った際に、勤務システムと連携して出勤登録ができる機能も設ける。(図5) 退勤の登録は出勤登録をした状態であればアプリから登録が可能となっている。この他にも様々な連携動作(会議室連携や備品補充など)を導入し、NFC タグを読み取ることを起点とした様々なサービスを展開してオフィスでの効率化を図る。

(3) 多数決空調

一般的な空調操作は単なる温度設定が多いが、後押し優先の設定方法の場合、個人の意思しか反映できないことによる不公平感や省エネ性の低下といった懸念がある。それを防ぐために、本アプリでは個人の申告から多数決を取る手法としている。アプリ上で寒い/暑いを申告すると、その内容がシステムに通知されて他の申告を加味した多数決が取られ、空調の温度設定が調整される。さらに、利用者の画面には他の人を含めた多数決状況が表示され、自分の周辺の利用者が今いる空間でどのように感じているかを知ることができる(図6)。また、申告による多数決への加算値は定常的ではなく、役職やシステム利用頻度などの申告者ステータスや、節電や残業抑制などの会社方針によって変動させる仕組みも導入する。本機能により、利用者の空間環境に対する満足度や省エネ性向上に寄与する(特許出願中)。

(4) エレベーター(以下、ELV)の呼び出し

利用者が ELV ホールに近づくと、設置されたビーコンをスマートフォンが検知して通知が表示される。それを操作するとアプリ上で ELV 呼び出し操作が可能となる。(図7) そのようにすることで、セキュリティ認証不要かつ共用の呼び出しボタンに接触する事も無く、ELV を利用することができるため、利便性向上と接触防止による感染症対策ができる。

本サービスは特定の場所に利用者が進入したことを自動で検知して、アプリケーションに即時に反応させる必要がある。その要件を満たすために事前試験で検証したところ、BLE (Bluetooth low energy) によるアプリケーション通知が要件を満たしていたため、その方式を採用している。

(5) オフィス環境の見える化

オフィス内に設置したセンサーやアプリケーションで取得した各種データを基に、オフィス内の状況を可視化する機能を有している。また、オフィス環境の見える化機能は現オフィスでも検証を重ねており、そこでの検証結果を反映したものとなっている。以下に見える化機能をあげる(図8)。

- ・天井や机下に設置された環境センサー(温度、湿度、CO₂)の情報を表示し、値によって色を変えることでオフィス内環境情報をマッピングする。
- ・前項(1)で取得した利用者の測位データから社員

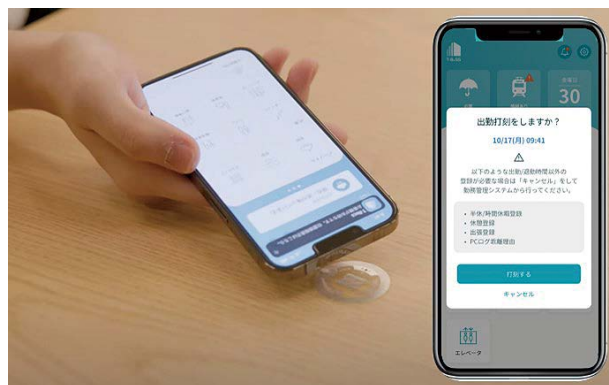


図5 NFC スキャンによる出勤登録イメージ

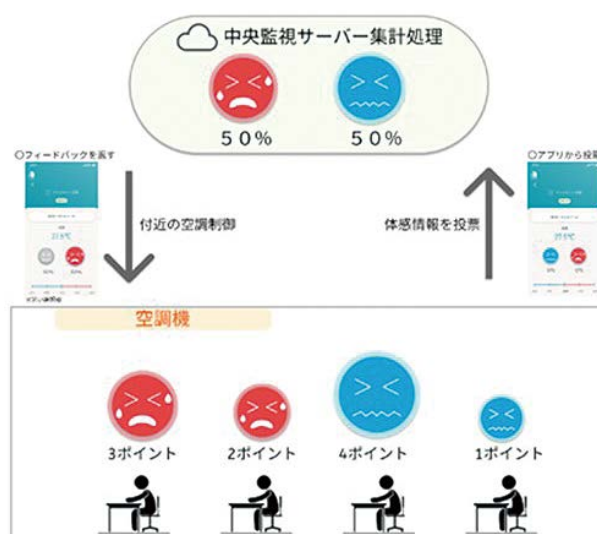


図6 多数決空調申告空調



図7 ELV 呼び出し画面

の出勤状況や現在地の確認が可能。オフィスでの人探し向けの検索やフリーアドレス運用をした場合でも簡単に空席状況確認ができる。

- ・各階の個室トイレ扉にバッテリーレスのラッチセンサを設置することで空きが確認できる。また、異常な長時間利用を検知した際は管理者にアラートを通知することで、体調不良者の早期発見など、緊急対応にもつなげる。

(6) 来客者の位置表示

来客があるエリアにはUWB（ウルトラワイドバンド）無線通信アンテナを設置する。その上で、来客者へUWB無線を検知できるタグを配布して、電波到達時間を用いた三点測位により位置を計測してアプリに表示し、アプリ利用者（社員）が自分の来客者がどこにいるかスマートフォン等の端末で確認することができる。このようにすることで、来客受付エリアがショールームを併設しているような広い待ち合いエリアでも、来客対応が容易となり人探しの手間を省くことができる。さらに、ショールーム内での来客導線や滞留時間を把握することもできる（特許出願中）（図9）。

また、UWB無線を用いた測位は精度がcm単位と良いため、初対面の来客者に対応する場合も利用者は間違える可能性が低く、使い勝手が良いと考えられる。

(7) 食堂の混雑表示

ビル入居者が利用できる食堂へは入口と出口に3Dセンサーを設置する。それによりセンサー下部を通った人の人数と方向から出入り人数を測定して室内に何人の利用者がいるかを測定する。その結果から算出した混雑度をアプリに表示することで利用者は現地に行かずとも食堂の利用可否を確認できる。

本機能はカメラによる画像解析も検討していたが、事前検証をした上で測定精度とコストパフォーマンスが適している3Dセンサーを採用した（図10）。

(8) ホームカスタマイズ機能

T-BuSS[®]ではホーム画面をカスタマイズしてオフィス内やビル付近の情報を一目で閲覧できるようになっている。例えば、ビル屋上の降雨センサー情報、屋外の温湿度や電車遅延に加えて、入居フロアの電力利用状況等が閲覧できる。各情報はビルネットワークとの連携に加えて外部サービスと連携している（特許出願中）（図11）。

(9) カフェ注文機能

来客がある会議室エリアではアプリを通じてカフェに飲み物を注文できる。会議室に備えられているNFCタグをスキャンすることで希望する飲み物を注文する。その後の配達人は、もしくはロボットが配達する。どちらが配達するかは注文者の要望と混雑度、注文数にてアプリ側で判断する（特許出願中）（図12）。

(10) 入退登録

本オフィスへの入退には顔認証も採用しているが、その顔登録はアプリから可能になっている。アプリで利用

者が自身の顔写真を登録し、利用者のIDと顔情報を顔認証システムと連携することで利用者は顔認証を利用できるようになる。また、入退情報も連携しており、社内の人事システムから必要な情報を成形して入退システムへ登録することで、手動作業を介さずに入退情報の登録をアプリケーションで実施している。

(11) BCP サポート

災害発生時にはアプリ画面が切り替わり非常口の場所



図8 オフィス内見える化画面

（左：社員位置表示、中央：環境表示、右：トイレ空き情報）

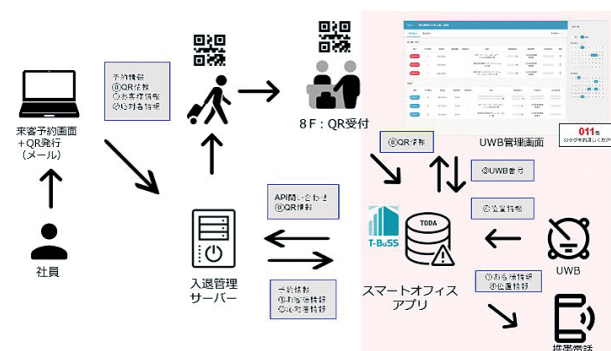


図9 来客管理システム構成図

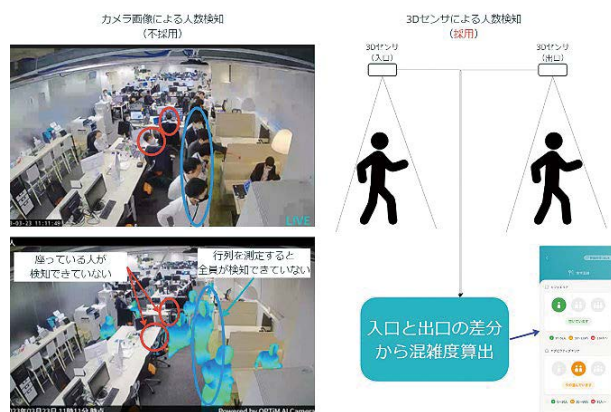


図10 混雑検知手法の検討について（右側を採用）

が表示される。また、管理者向け機能として戸田建設が開発した地震モニタリングシステム「ユレかんち[®]」と連携しており、災害発生時の状況確認に必要な情報を提供してサポートする。また、訓練時にはシステム管理者が手動で発報できるような機能も有している。

2.3 スマートオフィスサイネージ

オフィスビル内にサイネージを設置して様々なシーンに合わせた情報を提供する「スマートオフィスサイネージ」をオフィスの ELV ホールへ設置する。ビルオフィス内には様々なシチュエーションの人がいるため、広いニーズに対応して様々な情報を提供するサービスを提供する。

以下に、本システムで提供するサービスを取り上げる。

(1) 位置情報を用いた社員の座席情報

前項2.2(1)で記載した社員の座席情報を各フロアマップ上に表示する。そうすることで、出勤した社員が空き状況を見てどこに座るかを判断したり、社員や来客者が訪問先の社員がどこにいるかを確認したりすることができる。

(2) 座席情報からのヒートマップ表示

座席情報を用いて各エリアの混雑状況を何段階かで色付けてヒートマップとして表示する。これにより空き状況の確認が一目でしやすくなる。

(3) トイレの満空表示

サイネージが設置されているフロアのトイレ空き状況を確認できる。トイレに向かう前に個室が空いているかを確認できる。

(4) 食堂混雑状況の表示

お昼時には画面の一部が食堂混雑状況表示に変わる。昼食を取る際に効率的な情報を提供できる。

(5) 天気情報の表示

天気の情報を表示する。ビルの降雨センサーで現在雨が降っているかどうかを表示しつつ、外部天気取得 API で周辺の天気予報を表示する。外に出かける予定のある社員が事前に情報を仕入れることができる。

(6) 電車遅延情報の表示

電車遅延情報を外部 API から取得して表示する。外に出かける予定のある社員が情報を仕入れられる。

(7) 社内お知らせの表示

社内のお知らせ情報を取得して表示する。ELV 待ちをしている方へ情報を提供したり、総務部門が周知したい情報が目に入る機会を増やす。

2.3 TODA BUILDING におけるロボット活用

近年、ロボットを用いた配膳¹⁾、²⁾や配送³⁾に関する取り組みが進展しており、建物内業務における生産性向上に貢献している。TODA BUILDING の戸田建設占有部においては、人手によって行う郵便物配送、ドリンク配送、来客案内の補助をロボットにより行う。これにより、業務効率化を図ることを目指す。

2.3.1 社内便配送

従来の社内便配送は、セキュリティ確保のため社内メールセンターで宅配便・郵便物を一括受取り、各部署へメールセンター所属の社員によって館内配送されていた。ただし、TODA BUILDING においては収容社員数の

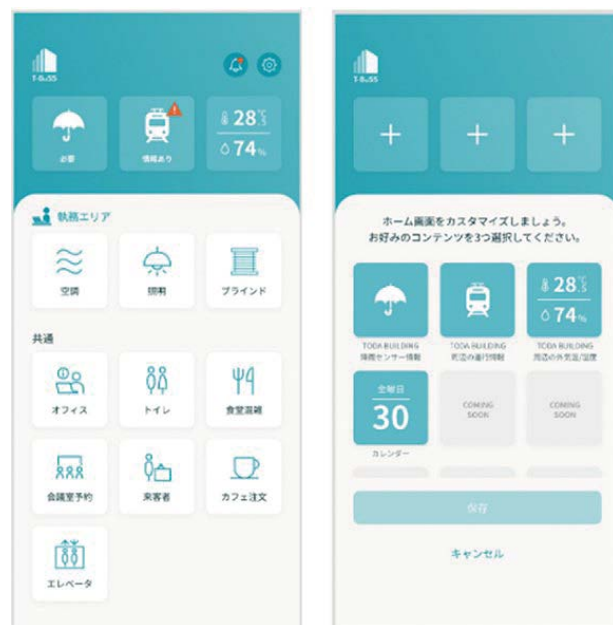


図 11 ホームカスタマイズ画面



図 12 カフェ注文機能の流れ

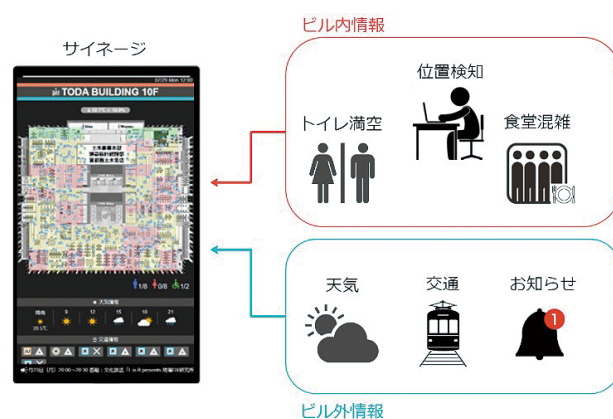


図 13 スマートオフィスサイネージ

増加に伴い、社内メールセンターに届く宅配便・郵便物の量は現本社の4倍以上になると予測されている。メールセンター所属の社員の業務は社内配送以外にも館内清掃など多岐にわたるため、社内便配送業務の補助が必要である。

そこで、社内便配送業務の補助の一環として配送ロボットを導入し、設備連携やロボット利活用に関するシステムを開発した。

(1) 配送ロボット「RICE」を用いた複数階への郵便物配送

メールセンターからの各階への郵便物の特に書類配送について、以下の図14に示す配送ロボット「RICE」を導入した。

「RICE」は幅500×奥行540×高さ750の自律走行ロボットであり、ELVとの連携が可能で複数階を跨ぐ自動搬送ができる。

ただし、受取には人の操作が必要であり、受取側の人間がいない場合は、目的地に到着しても受け取られないため、メールセンターに戻ることになる。この問題を解決するため、「RICE」を用いる場合は以下の手順を含むシステムを構築した。

- ①メールセンターに到着した郵便物が仕分けされている棚の状況をリアルタイムで配信するシステムを構築し、各部署の受取担当者へ配信
- ②受取担当者がその様子を確認し、メールセンターへ配送希望をシステム経由で送信
- ③メールセンター側は配送希望を確認後、「RICE」で郵便物を発送
- ④「RICE」はELVと連携し、目的地に到着したら受取人に到着連絡と受取コードをシステム経由で送信
- ⑤受取人が郵便物を受け取った後に、「RICE」はメールセンターへの自動帰還を開始する。

この手順を踏むことによりロボット配送を行った際に、受け取られない可能性の軽減を図っている。

(2) 荷台分離型ロボット「カチャカ」を用いた置き配

前述した「RICE」による配送では受取側のデマンドがない限りは配送できないため、メールセンターに荷物があふれかえるリスクが高まる。そこで我々は郵便物以外の比較的大型の荷物配送向けに、ロボット本体と荷台を分離できる荷台分離型ロボットである「カチャカ」を導入した(図15参照)。

「カチャカ」は専用棚と連結し、指定の場所まで牽引して運んだ後に連結を解除して荷物を置いて行ける。そのため、受取人がその場にいるかどうかに関わらず荷物を置き配することが可能である。ただし、ELV連携が困難であることや、置き配通知方法の課題があるため、以下の手順を実現するシステムを構築した。

- ①メールセンターの職員が荷物を配送目的階のELVホールまで運搬
- ②配送目的階に設置されている「カチャカ」の専用棚に荷物を置き、カチャカに配送指令を出す(ここでメー

ルセンター職員の作業は完了)

- ③「カチャカ」は荷物が搭載された専用棚を目的地まで運んだ後に専用棚との連結を解除する
- ④連結を解除した「カチャカ」は置き配の様子を内蔵カメラで撮影し、それを受取人にシステム経由で通知
- ⑤受取人が通知を確認し、荷物を受け取る

この手順を踏むことにより、単なる「カチャカ」による置き配だけでなく、置き配通知による館内配送品質の向上を図っている。

これらの館内配送について、当面は社員の習熟も含めPoCを行っていく予定であるが、今後はさらなる館内配送の効率化のため「RICE」の用途拡大や「カチャカ」とELVの連携を行い置き配の適用範囲の拡大などを進めて



図 14 配送ロボット「RICE」



図 15 荷台分離型ロボット「カチャカ」



図 16 自律走行ロボット「temi」

行く予定である。

2.3.2 飲み物の配送（カフェ注文機能との連携）

2.2節の（9）にて述べたように、来客がある会議室エリアではアプリを通じてカフェに飲み物を注文でき、その飲み物の配送は人もしくはロボットが配送する。

このロボットによる飲み物配送については自律走行ロボット「temi」（図16参照）を用いる。自律走行ロボットの「temi」は幅350×奥行450×高さ1000の自律走行ロボットであり、音声通知機能なども持つ。また Android 向けの SDK（Software Development Kit）が公開されており、ユーザー側でのアプリ開発も可能であるため、我々は配膳用アプリを自作し、T-BUSS® アプリとの連携などを実現した。

アプリは、T-BUSS® と連携して注文状況・内容を表示し、店員が確認できるようにしている。店員が注文状況・内容確認後、「発進」ボタンを押すと、「temi」が注文のあった会議室まで移動する。また、目的地到着後は受取画面に切り替わり、音声通知で受け取りを促すように実装している。

なお、飲み物の配送においては、人の行う作業をロボットで代替していくのではなく、人とロボットが協働することもコンセプトとしており、人とロボットが協働して配送できるようにもしている。具体的には「temi」の人への追従機能を活用し、配膳する人の後をついてドリンクを運ぶ機能をアプリに組み込んでいる。

これらの施策によりドリンク配送をロボットでも行うようにしているが、今後は他機種のロボットも本ドリンク配送システムに取り込み配膳の効率化を図ることを予定している。

2.3.3 アテンダント案内の補助

TODA BUILDING の展示物の来訪者の案内についてはアテンダントが引率・解説を行うが、ここでも人とロボットが協働して働くことをコンセプトに、人とロボットの協働を取り入れている。そのコンテンツの1つとして、アテンダントとロボットの掛け合いによる展示物の解説を行う。

掛け合いを行うロボットとしては、図16に示した自律走行ロボット「temi」を使用し、「temi」の会話機能を使って以下の図19に示したようにアテンダントと掛け合いや来客案内を行う。

当面は、アテンダントの習熟も含め単純な掛け合いを行う予定であるが、今後はクイズなどのコンテンツの追加やテレビ電話機能を用いた社員による展示物の詳細な解説の提供などのコンテンツを充実させていく予定である。

3. 今後の展望

今後は本サービスを利用当社社員から詳細なフィードバックを受けることで、ニーズ把握とシーズの掘り起こしを行いながら、運用データの蓄積を行う。それを基にアプリケーションの更新を続け継続進化させることで、

より良いサービスの提供を目指す。

また、TODA BUILDING テナントフロアへのサービス提供、TODA BUILDING 以外へのスマートオフィスとしての付加価値提供を目指していく。



図 17 アプリの操作画面（カフェ側）



図 18 アプリの操作画面（受取時）

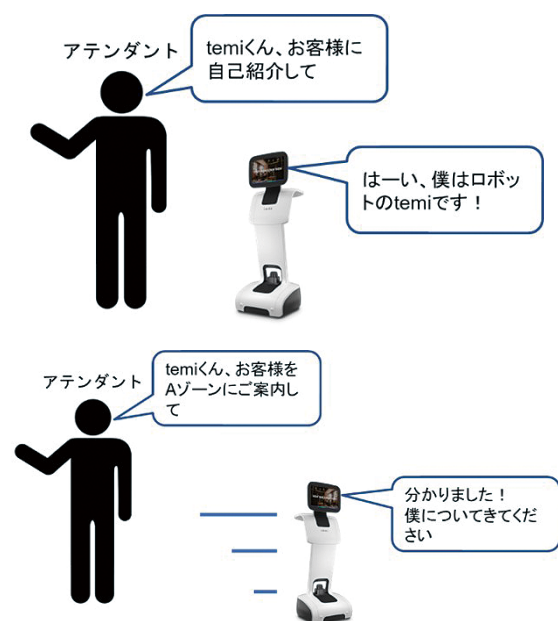


図 19 アテンダント補助

さらに、IPA（情報処理推進機構）主導で2024年度中に立ち上がるスマートビルディングアソシエーションに参加し、整備されつつあるスマートビルガイドラインに準拠したサービスとすることで、システム的な汎用性とコスト的な汎用性を持たせ、他用途のビルに戸田ブランドのスマートビルサービスとして提供を目指していきたい。

参考文献

- 1) 新村猛, 一刈良介, 大隈隆史, 大浦修一: 配膳ロボットシステム導入による飲食サービス業の労働生産性改善に関する研究, 日本経営工学会論文誌, vol. 74, no. 4, pp. 167-176, 2024.
- 2) T. Kim, G. Kang, D. Lee and D. H. Shim: “Development of an Indoor Delivery Mobile Robot for a Multi-Floor Environment”, IEEE Access, vol. 12, pp. 45202-45215, 2024.
- 3) A. Cheong, M. W. S. Lau, E. Foo, J. Hedley and J. W. Bo: “Development of a Robotic Waiter System”, IFAC-PapersOnLine, vol. 49, no. 21, pp. 681-686, 2016.