

自律型モビリティに対応した施設の技術開発

－建物設備と自動運転車・サービスロボットの統合制御と実証試験－

氷室 福 米山 一幸 白石 理人

(技術研究所)

(技術研究所)

(技術研究所)

Technical Development of Building Facility for Autonomous Mobilities

－Orchestration of Building Equipment and Autonomous Vehicle, Service Robots and Field Tests－

Fuku Himuro, Kazuyuki Yoneyama and Michihito Shiraishi

様々な自律型モビリティや、それを用いたサービスを施設内で円滑に運用することを目的に、建物や周辺街区などの BIM データを用いた高精度地図の生成技術、IoT・ICTを活用した自動ドア・エレベータなどの建物設備制御と施設情報一元管理の要素技術、そして共通 API およびスケジュールに基づく統合制御技術を開発した。また、実際の施設環境を対象にして、自動運転車やサービスロボットなどの複数の自律型モビリティを繋げ、統合的な送迎・案内・配送サービスの実証試験を実施し、開発した技術の有効性を明らかにした。

This paper describes technical developments of a high precision map generation technique basing on BIM data, communication control of building equipment such as elevator and auto-door, centralized information management using IoT and ITC, as well as workflow orchestration management basing a common API and schedules. The technologies are expected to enable the smoothly operating of multiple autonomous mobility and their services within the buildings and urban area nearby. Field tests of customer pick-up, guide service, delivery service using the autonomous vehicle and service robots were also conducted to clarify the validity of the technologies.

1. はじめに

自動運転車やサービスロボット（以下、「自律型モビリティ」と称する）は移動の利便性・快適性の向上、物流の効率化はもちろん、高齢化や人手不足への対応など社会的課題の解決につながる事が期待されており、世界各地でこれらの自律型モビリティを用いた研究開発や実証試験が活発に行われている^{1,2)}。車両・ロボット本体の開発はもちろんのこと、自動運転車の活用を前提とした送迎配車・物流輸送、サービスロボットの活用を前提とした警備・清掃・案内・配送などといった新たなサービスが次々と提案され、社会実装も始まっている³⁾。特に、警備や掃除といった単一の機能を有するロボットはすでに実用段階にあり、建物への導入も進められている。このような自律型モビリティの急速な普及に伴い、従来「人」を主な対象に計画されてきた建物や周辺の街区（以下、「施設」と称する）は、今後人に加えて自動運転車やサービスロボットも対象に計画すべきであると考えられる。

図-1 に、筆者らが思い描く自律型モビリティが普及した将来の施設の姿を示す。図-1 (a) に示す街区では建物に自動運転車が近づくと目的地や建物の情報が配信され、信号機と連動することにより入口までスムーズに走行、建物のエントランスでは、適切な位置に車両が誘導される。人を降ろした無人の車両は駐車場まで誘導され自動で駐車する。図-1 (b) に示す建物内では、ロボットとエレベータや自動ドアなどが連動しており、ロボットは自由に建物の中を動き回ることができる。また、最新の館内地図がロボットに常に配信されるため、ロボットを活用した案内・配送などのサービスが実現・提供される。このように自律型モビリティが施設内で本格的に活用されるためには、自律型モビリティ側だけではなく、施設側の技術開発を同時並行で進め、これらを連携・統合的に運用する技術が求められる。

そこで、筆者らは BIM (Building Information Modeling) データを用いた高精度地図生成や、IoT (Internet of Things) ・ ICT (Information and Communication Technology) 技術を活用した自動ドア・エレベータの建物設備制御と施設情報一

元管理などの施設側の要素技術、そして共通 API (Application Programming Interface) ・スケジュールに基づく統合制御技術を開発する。また、実際の施設環境を対象に、これらの技術を用いて自動運転車やサービスロボットなどの自律型モビリティを連携・統合し、実証試験を通じて各種のサービスを実施するとともに技術の有効性を確認する。本論文では、これらの開発した技術の概要および実証試験について紹介する。

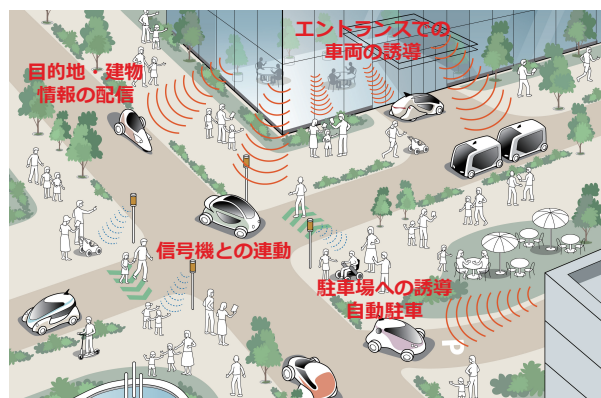
2. 自律型モビリティに対応した施設側の技術開発

近年、建物や周辺の街区などの施設では、3次元モデルを含めた高精度 BIM データが整備され、これを活用し施設的设计・施工から運用管理までが効率的に行われている⁴⁾。また、ICT 技術の活用によって建物設備である空調・照明や、セキュリティ・防災設備などを連携させ、施設全体を監視・可視化し円滑に運用することが可能となった⁵⁾。さらに、工場等の生産施設では、品質・生産性・安全性などの向上を目的に、製品の設計から生産ラインの設計・製造・製品出荷に至るすべての工程を管理するとともに、IoT 技術の活用により様々なデータをリアルタイムに収集し生産プロセスの効率化が進められている⁶⁾。筆者らは、それらを応用した研究開発として、自律型モビリティに対応する施設側の技術開発に取り組んでいる。

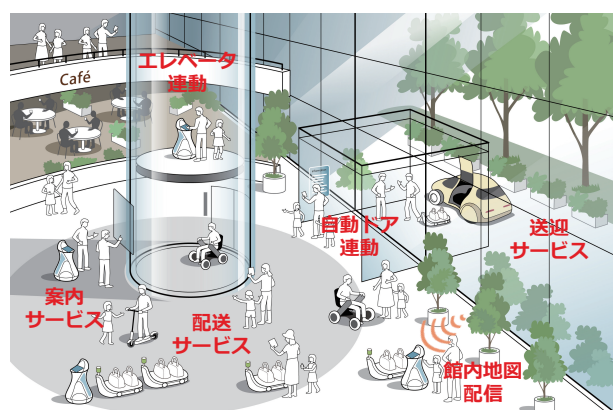
図-2 に開発の全体構成を示す。開発対象は自動運転車両とサービスロボットとの連携に必要な技術である。特に、施設側では BIM データを用いた高精度地図生成、ICT 活用によるエレベータ・自動ドアなどの建物設備の通信制御、そして、IoT 活用によるセンサ・カメラ・人やモノの位置などの様々な情報の一元管理が必要な要素技術となる。また、これらの施設側の情報と自律型モビリティが通信・連携できるように共通 API を整備する。さらに、複数の建物設備や用途の異なる複数の自律型モビリティを施設内で円滑に運用できるよう、スケジュールに基づく統合制御システムを開発する。次節からはこれらの技術を紹介する。

2.1 BIM データを用いた高精度地図生成

自律型モビリティの自律走行を実現するためには様々な技術が必要となる。中でも空間内における自律型モビリティの現在位置を把握する「自己位置推定」は重要な要素技術である。



(a)街区内



(b)建物内

図-1 自律型モビリティが普及した将来の施設

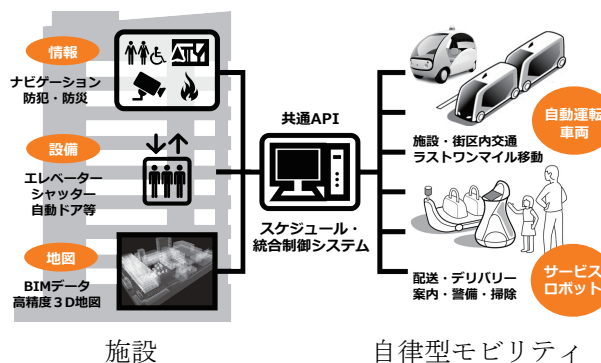


図-2 自律型モビリティに対応した技術開発

自己位置は GNSS (Global Navigation Satellite System) を用いて推定することもできるが、建物の密集した街区や建物内のような環境下では、推定位置に数メートル程度の大きな誤差が生じる場合がある。そのため、あらかじめ位置情報が付与された点群の地図を用意しておき、その地図と、対象モビリティに搭載されたセンサー情報とをリアルタイムに照合させることにより、自己位置を推定するスキャンマッチングの手法が広く用いられる⁷⁾。

地図の生成手法としては、専用の移動型計測装置 MMS (Mobile Mapping System) を用いる手法⁸⁾、SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 手法⁹⁾が挙げられる。MMS は、GNSS で推定された絶対位置を基準に、レーザーセンサの一種である LiDAR の出力データを投影することで地図としての点群を生成している。一方、SLAM では、各計測時刻の LiDAR の出力データの相対移動量を推定することで、各時刻で取得された結果が整合するように、最終的な点群を生成する。これらの手法は、特に施設内の複雑な環境下では、計測作業や後処理の手間、環境変化への対応の難しさ、生成された点群の精度という点で問題がある。

先に述べたように、近年の施設では、設計・施工段階から 3D モデルを含めた高精度 BIM データが整備されつつあり、施設や環境の変化をデータベースとして管理・活用する取り組みも始まっている。こうした動向を踏まえ、従来の手法とは異なるアプローチの地図生成手法として、施設の BIM データを高精度 3 次元地図としても活用できると考えた。

図-3 には対象とした実施施設（清水建設株式会社技術研究所）の BIM データを示す。BIM データを 3 次元で表示することにより施設全体の 3 次元形状を確認できる。ここから自律型モビリティの自己位置推定用の地図を生成するために、BIM データが本来持つ 3 次元形状から 3 次元点群に変換する。今回変換手法として、施設環境評価のための数値流体解析用のモデル生成によく用いられるメッシュ自動生成手法を採用した¹⁰⁾。

図-4 にメッシュ自動生成手法の概念を示す。この手法は、定められた空間解像度で自動的にメッシュを生成するとともに、境界付近のメッシュを細分化することにより、対象形状を忠実に再現できる。得られたメッシュデータは点・線・面で構成され、ここからメッシュの点を取り出すことで、対象形状に即した点群データへ容易に変換できる。

図-5 には建物群や植栽などを含めた対象施設全体をメッシュ化して点群データに変換し、これに施設内道路情報を加えて得られた 3 次元地図を示す。この 3 次元地図は施設全体の BIM データとして管理しており、任意の部位を変換対象から省くこともできるため、従来の手法で生成された点群地図と比べて不要なデータが含まれていない。また、この地図を用いて、街区内部での自動運転車の自律走行試験（図-5(a)）、建物内部でのロボットの自律走行試験（図-5(b)）を実施し、地図の有効性を確認した。

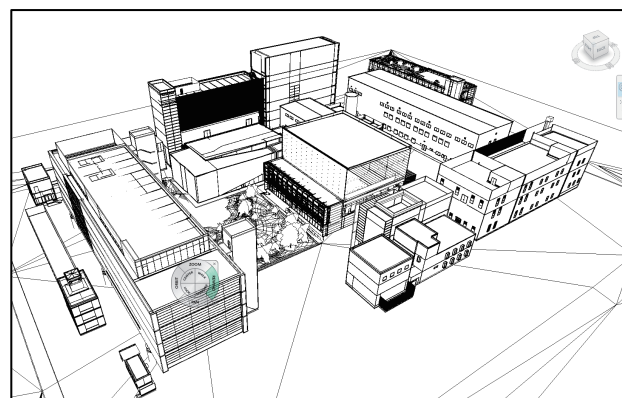


図-3 対象施設の BIM データ

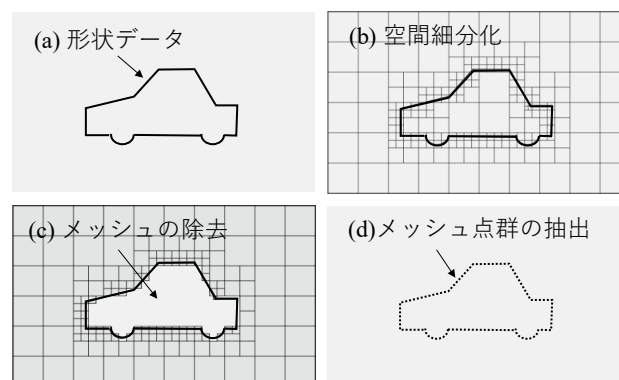
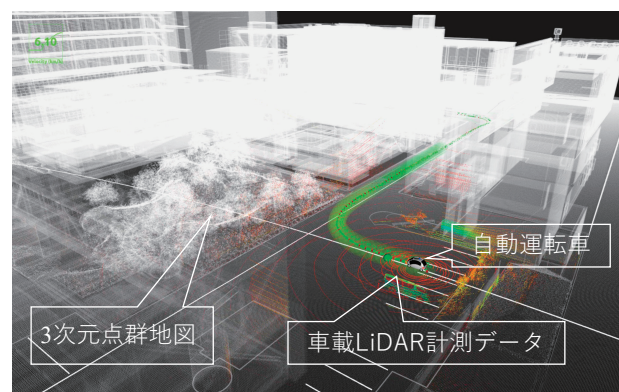
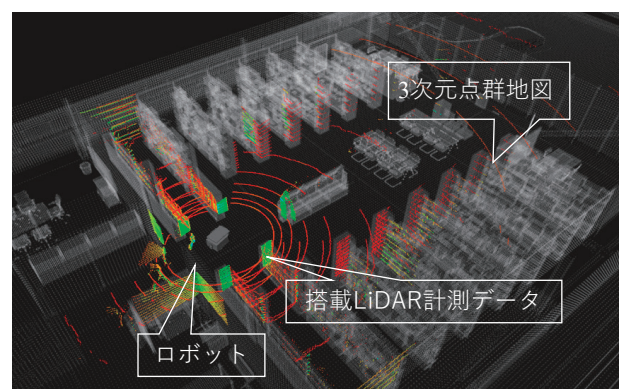


図-4 メッシュ生成と点群抽出の概念



(a) 街区内部での自動運転車両の自律走行試験



(b) 建物内部でのロボットの自律走行試験

図-5 BIM データから生成した 3 次元点群地図

2.2 ICT 活用による建物設備の通信制御

自動運転車・ロボットなどの自律型モビリティは一般的に通信制御プロトコルに基づいて、ネットワークを介して制御されている。一方、エレベータや自動ドア等をはじめとする施設側の設備はその多くが接点制御で制御することができる。すなわち、従来は「人」の利用のため、操作盤に各種操作を行うためのスイッチが備えられており、スイッチの接点位置を ON にしたり OFF にしたりすることにより、対象設備の状態を切り替える。操作盤上のスイッチの接点信号が対象設備の制御盤に入力され、制御盤が入力された接点信号に基づいて設備の制御を行うという仕組みである。

このため、自律型モビリティを建物設備と連携しようとする場合は、制御対象となる各機器について、各種の通信による制御と接点信号による制御の間で制御情報の受け渡しを行う必要がある。ここでは、ICT 分野でよく利用される、異なるインタフェースの相互変換に用いられるインタフェースコンバータ装置を採用し、建物設備の接点制御から通信制御へ変換する仕組みを構築した。

図-6 には、実装例として、エレベータの通信制御の構成図を示す。図に示すように、対象エレベータの制御盤と操作盤の間から電気信号ケーブルを分岐し、制御サーバーからの LAN ケーブルとインタフェースコンバータで接続する構成とした。エレベータを通信制御する場合は、制御サーバーから入力した通信信号がインタフェースコンバータで接点信号に変換されて、制御盤を介して対象エレベータを接点制御する。反対にエレベータの状態は制御盤から出力された接点信号がインタフェースコンバータで通信信号に変換され、制御サーバー側でモニターすることもできる。このように、エレベータを従来の接点制御から通信制御にすることで、自律型モビリティと同様に個々の制御・状態把握をネットワーク上で実施できるようになった。

図-7 は実証試験として、制御サーバー側での通信制御確認を目的に開発したエレベータ操作盤のダッシュボードと、対象エレベータの実操作盤である。エレベータ籠の呼び出しや扉の開閉などの各操作は、従来の操作盤のボタンでの操作と同様に、ダッシュボードからの通信による操作が可能であり、今回構築した信号変換の仕組みが正常に動作するなど、構築した通信制御技術の有効性を確認した。

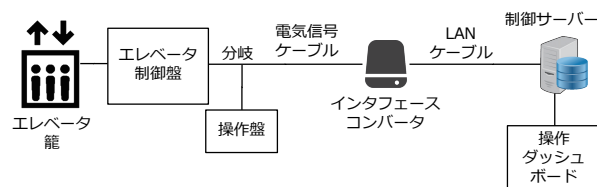
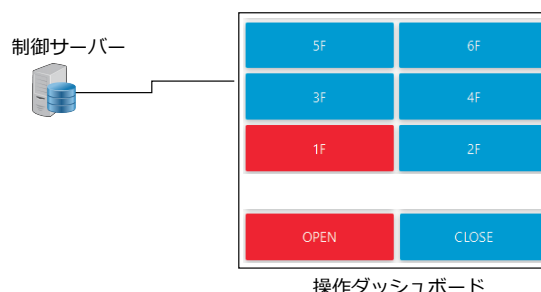
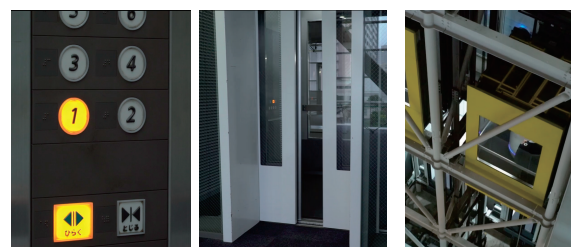


図-6 エレベータの通信制御の構成



(a) 制御サーバーからの通信制御



(b) 対象エレベータの応答

図-7 エレベータの通信制御の試験状況

2.3 IoT 活用による施設情報化・一元管理

建物や周辺街区等のような施設は、一般車両や歩行者・施設利用者などの様々なモビリティが往来し建物を利用する歩車混在の複雑な環境である。自動運転車やロボットなどの自律型モビリティは搭載したセンサーを用いて、周辺の環境をセンシングして状況を認知した上で、次の動作を判断して自律的に走行するが、搭載センサーやセンシング情報は限定的であるため、複雑な施設環境下ではスムーズに走行できないケースも予想される。

そのため、施設内で安全安心かつ円滑に自律型モビリティを運用するためには、各種モビリティや建物設備の状態などの施設情報を収集・可視化して一元管理する必要がある。また、それらを活用し施設側からサポートすることで、自律型モビリティの安全走行やエリア内でのシームレスな移動を実現することができる。

ここで、施設の設備情報などは工場や建物管理用途でもよく使われている IoT 技術を活用し、汎用の通信プロトコルを通じてリアルタイムでデータ収集・蓄積した（図-8 を参照）。また、収集したデータは、BIM データをベースに整備した高精度地図と

紐づけて共通地図として一元管理した。なお、自律型モビリティと建物設備の連携を確実に実施するとともに、利用者への情報提供のリアルタイム性などのサービスレベルを維持するため、文献7、11を参考に各種通信の遅延時間100ms以下を目標としてシステムを構築している。

図-9には対象施設の情報を可視化した表示画面の一例を示す。集約・一元管理するデータは、自動運転車・各種ロボットの位置情報、エレベータ・自動ドアの設備状態、施設のアラート情報、監視カメラ画像などである。これらをダッシュボード上に表示することで施設全体の状況が一目で把握可能となるなど、効果的に施設を運用・監視できることが分かる。

2.4 共通API・スケジュールに基づく統合制御

2.2節では、建物設備を自律型モビリティと同じネットワーク上で制御するための接点制御・通信制御間相互の変換方法を、2.3節では自律型モビリティや建物設備の状態を互いに参照できるための共通地図に基づく施設情報一元管理方法について述べた。本節では、異なるメーカーの自律型モビリティや建物設備同士の通信と、施設内で複数自律型モビリティ・建物設備の連携を円滑にするための共通APIやスケジュールに基づく統合制御技術について紹介する。

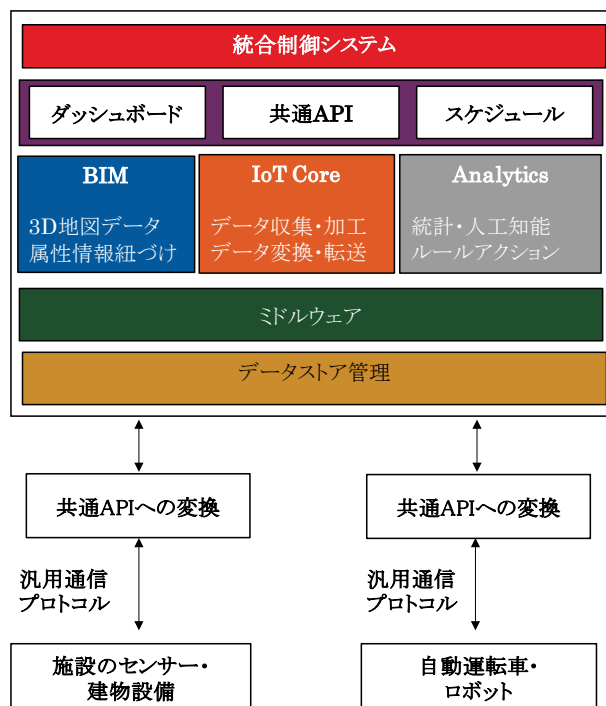


図-8 施設情報収集および統合制御システムの構成

表-1 共通APIの基本仕様

| 分類 | 用途 | 特徴 |
|-----------|------|--------|
| Request | 指令信号 | ワンショット |
| Response | 応答信号 | ワンショット |
| Telemetry | 状態信号 | 連続 |

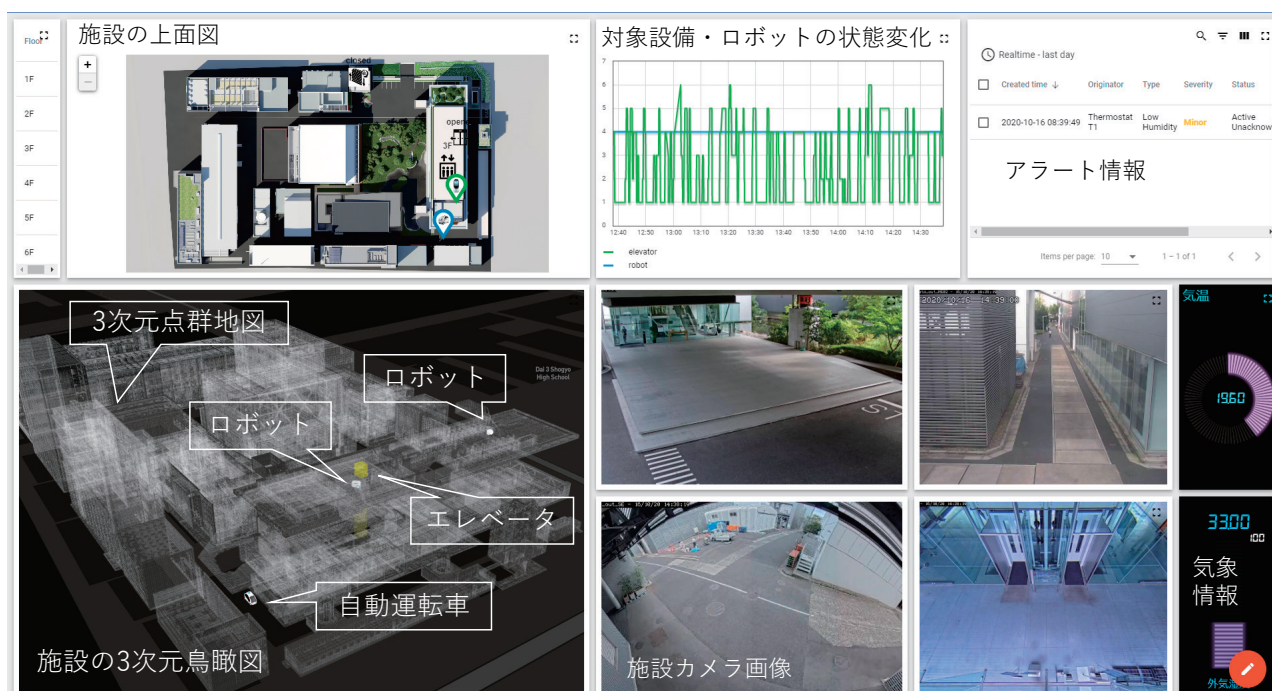


図-9 対象施設の情報一元管理ダッシュボード

異なるソフトウェアまたハードウェア同士の通信を可能にするためには、互いのデータやりとりの際に、通信規約・手順（通信プロトコル）や通信データ構造を統一した共通 API を使用する必要がある。汎用の通信プロトコルとしては、MQTT（Message Queuing Telemetry Transport）や HTTP

（HyperText Transfer Protocol）が挙げられる。MQTT は、HTTP に比べて軽量で、非同期／双方向通信であり、ネットワークが不安定な状況下でも有効であることが知られている。なお、建物設備や自律型モビリティなどの制御用途から、通信データ構造を主に指令信号 Request、応答信号 Response、および状態信号 Telemetry に分類できる（表-1）。今回は、通信プロトコル MQTT を採用し、上述の通信データ構造に基づく共通 API を構築した。こうすると、図-8 に示すように、施設内の建物設備・センサー情報や自律型モビリティなどのそれぞれの通信仕様は指定された共通 API に変換して処理することになり、相互コミュニケーションや協調が可能になる。

施設内では、自律型モビリティ相互の協調に加えて、施設全体の円滑な運用という視点も必要となる。そこで、図-2 に示すように、施設・自律型モビリティ間に新たな統合制御システムを設けた。図-10 に統合制御システムの概要を示す。

従来の自律型モビリティが提供するシステムでは、ユーザーの利用情報に基づき自律型モビリティを制御し、必要に応じて他の自律型モビリティや建物設備と 1 対 1 の協調の下に走行する。一方、提案した統合制御システムは、従来システムとは異なり、ユーザーの利用情報だけではなく、施設全体で一元管理した情報も考慮する。すなわち、対象となる自律型モビリティと建物設備の 1 対 1 の協調ではなく、統合制御システムから作成されたスケジュール管理の下にすべての自律型モビリティ・建物設備を制御することによって、施設全体の円滑な運用を図るものである。

具体的な事例として、エレベータを利用して階をまたぐロボット移動の例を示す（図-11）。ユーザーが、待機位置 NX00（現在階 X）にある対象ロボットを目的地 NY00（目的階 Y）に配車するシナリオを想定する。ユーザーから利用リクエストを受けた後で、システムは必要とする経由地点（チェックポイント）やロボットの動作（自律走行、一時走行停止、走行開始）をリストアップし、これらをシステム上で一連の行動タスクに割り当て優先順位を付与し、スケジュール管理する。同様に、エレベータ

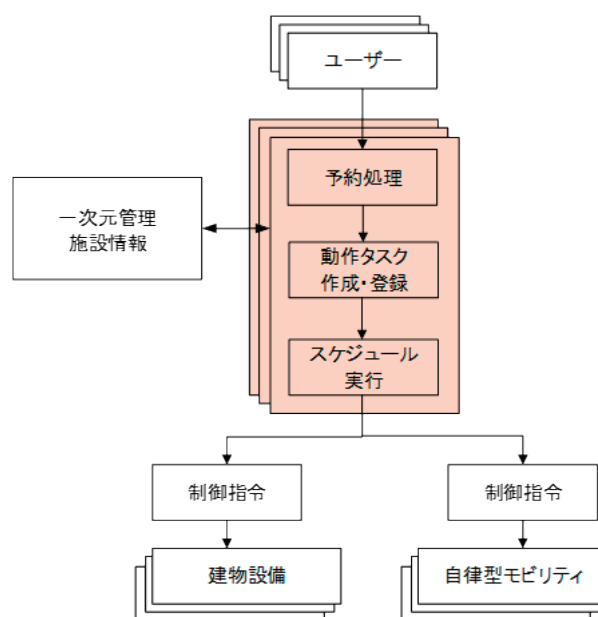


図-10 統合制御システムの概要

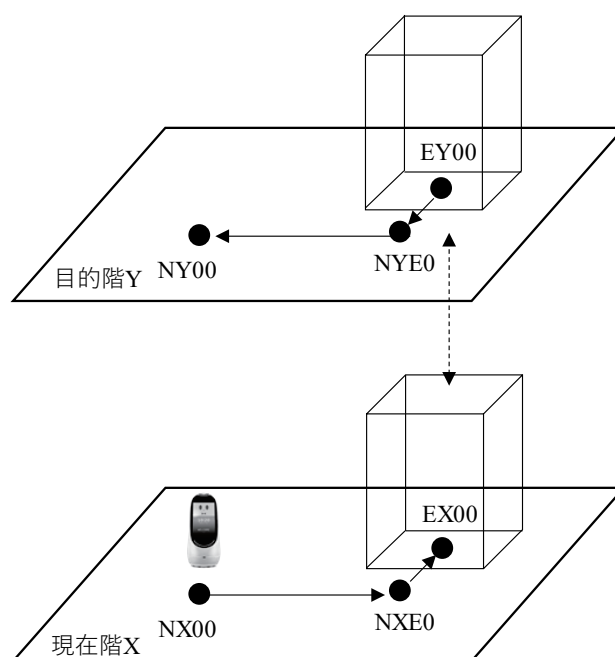


図-11 階をまたぐロボット移動の事例

側も目的階呼び出し・扉開閉等のタスクを割り出しスケジュール管理する。こうした上で、施設情報を参照しながら、これらのスケジュールを順に実行することにより、ロボットは設定された経由地点を順番に走行、同時にエレベータは設定された目的階に移動する。すなわち、ロボットとエレベータが直接通信、協調動作するのではなく、見かけの上でロボットとエレベータを同期させることで、両者の連携を実現できることが分かる。

3. 実証試験

前章では、自律型モビリティに対して施設側の必要とする技術とその開発概要について説明した。本章では、これらの技術を活用して、また実際の施設環境を対象に様々な自律型モビリティを用いたサービス実証を行うとともに、開発した技術の有効性を確認する。

3.1 エレベータ連携案内配送サービス

本節では、代表的な建物設備であるエレベータと異なる機種種のサービスロボットとの統合制御により、書籍配送サービスと来客案内サービスの実証を行う。

近年、様々な用途のサービスロボットが実用化されており、例えば家庭内の清掃ロボットはすでに普及段階にある。しかし多くはサービス提供のための装置（例：清掃用のブラシ）と、走行・移動するための車輪のみを備えた、単一の平面・部屋内でのサービス提供を前提としたものである。言い換えると、ロボットが自らドアを開け、エレベータに乗って施設内を自由に移動しサービスを提供することはできない問題がある。ロボットが施設内の様々な場所にサービスを提供するためには、施設側から移動経路上の様々な建物設備をロボットと連動して操作することが必須となる。また、ロボットと建物設備の連動に加えて、複数のメーカー・種類のロボットが同一施設に導入されることを想定した場合、施設側で各ロボット間の相互連携を仲介することも必要となる。

このように様々なメーカー・種類の建物設備・ロボットを施設側で統合管理し、ロボットを活用した多様なサービスを提供できる空間のモデルケースとして、清水建設技術研究所の本館に実験環境を構築した。図-12にシステム構成を示す。前章に説明した統合制御システムに、エレベータ1台と（株）ティアフォー社製の物流用ロボット「Logiee」、NEC ネットズエスアイ（株）が販売する案内用ロボット「YUNJI SAIL」各1台を接続した。統合制御システムは2.4節に述べたスケジュール管理の下にエレベータに対する呼び出し・ドア開閉などの制御と、2台のロボットの目的地への移動・待機などの指令を統合的に行う。同時にロボットがフロア別に保持している地図の切り替えと自己位置の補正の指令も管理する。これによりエレベータ降車後にロボットがフロア内で自己位置を正確に認識し目的地までの自律走行を可能とした。

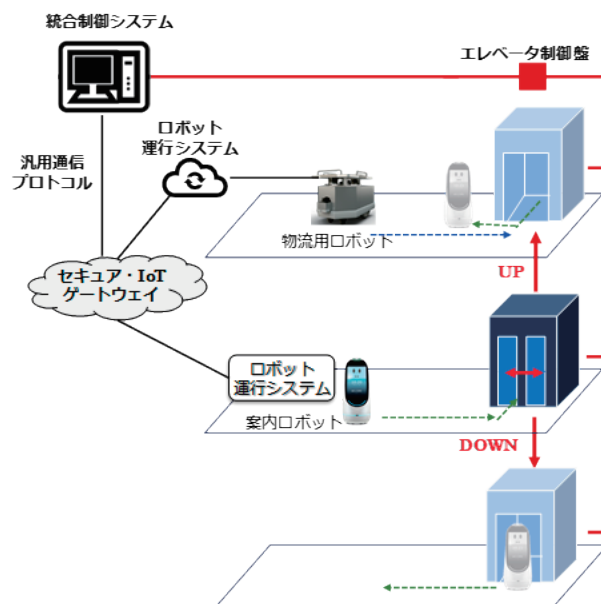


図-12 建物設備・ロボット連携システムの構成



【動画】 https://www.shimztechnonews.com/tw/sit/report/vol99/005_01f.mp4

図-13 ロボットによる配送案内サービス実証の状況

構築したシステムを活用し、Logiee による書籍配送、YUNJI SAIL による来客案内のサービスを想定した実証実験などを実施している。図-13【動画】に示すように、実証では2台のロボットが1台のエレベータを順番に使用して複数階にまたがるサービスを実行できること、狭い通路では1台のロボットを一時待機させ交互通行をさせるなど、ロボットを用いた案内配送サービスを施設内で効率的に実施できたことが分かる。

3.2 複数自律型モビリティによる総合的なサービス

従来より、自律型モビリティを用いたサービスの殆どは個々の自動運転車またはロボットを用いて個々の建物設備と連携して実施した個別のものである。本節では、建物設備である監視カメラやエレベータ、自律型モビリティである（株）ティアフォー社製の自動運転車 Milee と NEC ネットズエスアイ（株）

が販売する案内用ロボット「YUNJI SAIL」、配送ロボット「YUNJI DELI」と統合制御により、送迎案内配送の総合的なサービスを実施した(図-14)。

検証シナリオとしては、ある建物にいるユーザーが、目的地である近隣の別の建物2階のラウンジへ向かうものである。ユーザーは単なる携帯端末上の予約画面から目的地までの自動運転車の送迎やロボットによる案内・配送を選択することで、これより、統合制御システムは自動的にユーザーのリクエストに基づいてスケジュールを作成し、それぞれの自律型モビリティおよび建物設備を制御・操作することである。

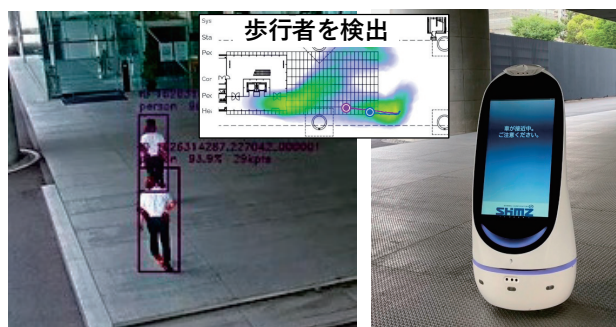
結果的に、図-14【動画】のように、送迎自動運転車は自律走行により、指定の建物の乗車場に到着し、ユーザーをピックアップして、またユーザーの乗車後に目的建物へ向け自律走行を開始した。

一方、目的地の建物内では、案内ロボットと配送ロボットが、自律走行により降車場に向かい待機した。実証ではロボットが別の階にいるため、統合制御システムのスケジュールを通じてエレベータが制御され、ロボットは、自ら階をまたいで移動した。さらに、監視カメラの画像から、歩車混在環境下において人の存在を検知し、自律走行車が接近している場合は、降車場近くの道路横断者に対して待機している案内ロボットの音声と画面表示により車の接近を知らせて注意喚起するなど、全体の安全性を図った。

送迎車両が目的降車場に着くと、待機していた案内ロボットと配送ロボットが出迎え、出迎えのインタラクションは、車の到着とタイミングを合わせて、案内ロボットの音声と画面表示によって行われ、配送ロボットへ荷物を預けるように誘導して、また、



ロボットとエレベータの連携



AIによるカメラ画像分析 車両接近によるアラート発信



複数の自律型モビリティの連携

【動画】 https://www.shimztechnonews.com/tw/sit/report/vol99/005_02f.mp4

図-14 ロボット・自動運転車による送迎配送案内サービス実証の状況

案内ロボットの表示画面へのタッチをトリガーとし、目的地へ案内し、同時にエレベータを呼び出し、案内ロボットの誘導によりユーザーとロボットはエレベータに同乗し、目的地のラウンジへ到着した。配送ロボットも別のエレベータを用いて、目的地に荷物を届けたなど、統合制御システムを通じて複数建物設備の連携や複数自律型モビリティを用いた総合的なサービスを施設内で円滑に実現することを確認できた。

4. まとめ

本論文では、複数の自律型モビリティ、および、それを用いたサービスを施設内で円滑に運用できるように、BIM データを用いた高精度地図生成や、IoT・ICT を活用した自動ドア・エレベータなどの建物設備制御と施設情報一元管理の要素技術、共通 API およびスケジュールに基づく連携統合制御技術を開発した。また、実際の施設環境を対象にして、自動運転車やサービスロボットの複数自律型モビリティを繋ぎ、それを用いたサービス実証を行うとともに、開発した技術の有効性を確認した。

建物や周辺の街区では自動運転車やロボットと人が共存する環境の構築に向けて、今後より本格的な統合制御や、施設内のナビゲーションシステムとの連携技術などの開発・実証にも取り組む予定である。さらには、システムの実用化に向けた開発も進め、複合商業施設や、オフィス、ホテル、工場・物流施設などへの実装を目指したい。

謝辞

本論文で紹介した研究開発の一部は、株式会社ティアフォーとの共同研究、NEC ネットエスアイ株式会社の協力により実施した。ここに記して謝意を表す。

<参考文献>

- 1) 内閣官房 IT 総合戦略室: ITS・自動運転を巡る最近の動向 (2018 年春以降の動き), 2018
- 2) 日経 BP 総研: 世界自動運転・コネクテッドカー開発総覧[増補改訂版], 日経 BP 社, pp.159-200, 2018
- 3) 内閣府: 自動運転 (システムとサービスの拡張) 研究開発計画の概要, 2019
- 4) 平林裕治, 吉原裕之, 田淵統: BIM を活用した建築施工の現状について, 建設マネジメント技術, No.411, pp.23-29, 2012
- 5) 粕谷 貴司, 田中 宏治: クラウドプラットフォームを基盤としたビル設備システムの開発, 電気設備学会誌, Vol.37, No. 7, pp.509-511, 2017
- 6) 日本機械学会: 特集「つながる工場」のインパクト, 日本機械学会誌, Vol.120, No.1181, pp.4-31, 2017
- 7) 安積 卓也, 福富 大輔, その他: Autoware 自動運転ソフトウェア入門, リックテレコム, 2019
- 8) 佐藤直人: モービルマッピングシステムを利用した安全運転支援用, 高精度三次元地図作成技術, 日本ロボット学会誌, Vol. 33, No. 10, pp.738-714, 2015
- 9) 友納 正裕, 原 祥堯: SLAM の現状と今後の展望、システム制御情報学会学会誌、Vol. 64, No.2, pp.-45-50, 2020
- 10) OpenFOAM : User Guide, pp.31-53, 2016
- 11) A. Terauchi, K. Ooto, N. Takahashi, K. Jarada, I. Yamasaki: Data Exchange Technology Providing Real-time Data Processing and Scalability, NTT Technical Review, 2017