

# 人とロボットの共生を実現する スマート化技術

五十嵐雄治\*  
Yuji Igarashi  
田口 浩†  
Hiroshi Taguchi  
武輪知明\*  
Tomoaki Takewa

島田昌明\*  
Masaaki Shimada  
山隅允裕†  
Mitsuhiro Yamazumi

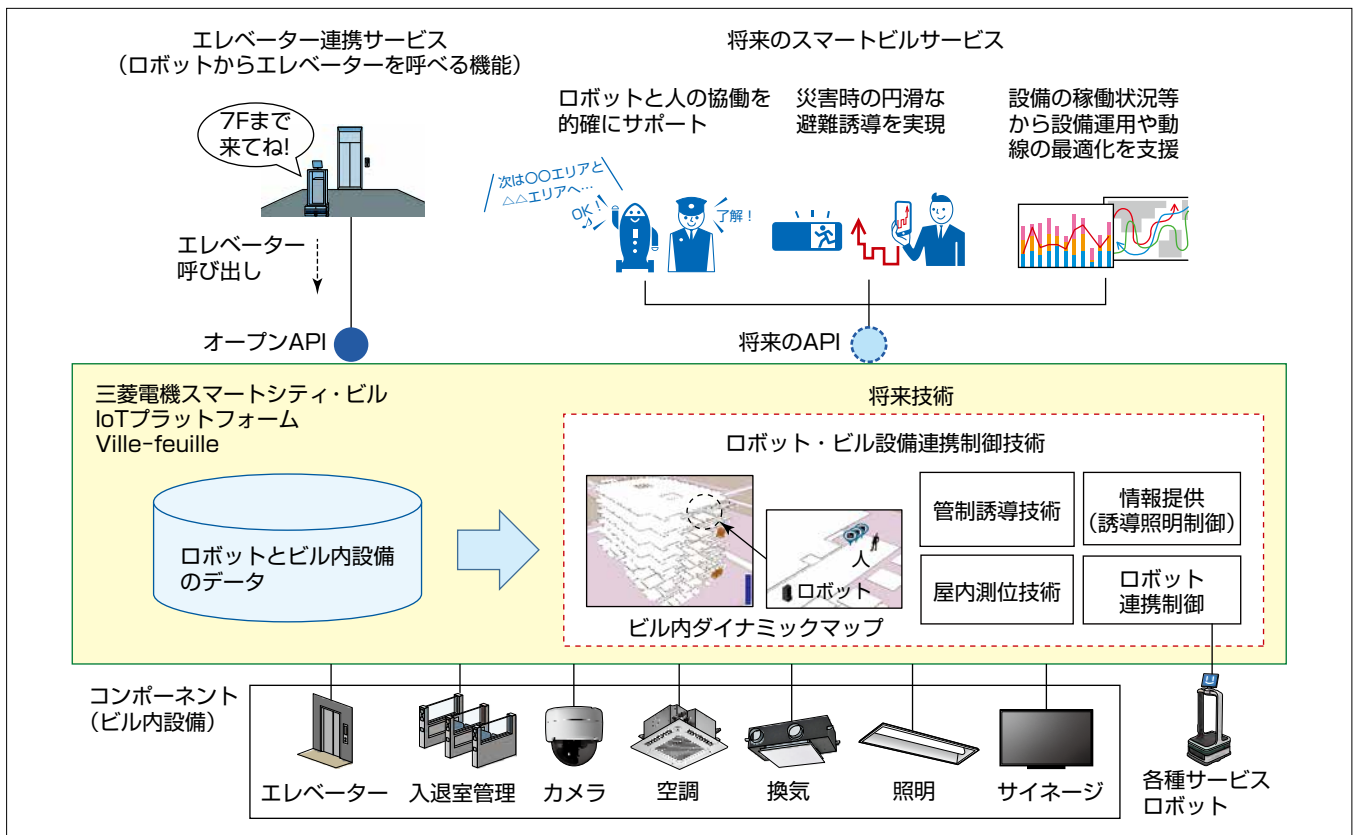
Smart Technologies to Realize Coexistence between Humans and Robots in Building

## 要 旨

三菱電機では、未来社会が求めるビルとその先にある新たな都市空間の創出に向けて、①ビル内のデータ活用ビジネスの展開を促進するオープンなIoT(Internet of Things)プラットフォームの構築、②労働力不足対策を目的にしたビル内のサービスロボット移動支援サービスの提供、③災害時の円滑な避難誘導を実現する人やモノの位置と状態の見える化と人やサービスロボットの動線の最適化を実現する将来技術の開発に取り組んでいる。

①では、2020年9月に、ビル内のサービスロボットや昇降機、入退室管理システムや空調機器、カメラ、照明などの全ての設備のデータを収集し、オープンなAPI(Application Programming Interface)によってパートナー企

業が収集したデータを活用したアプリケーションの実装やサービス提供をすることを想定したスマートシティ・ビルIoTプラットフォーム“Ville-feuille(ヴィルフィーユ)”を開発している<sup>(1)(2)</sup>。②では、一部のビルでサービスロボットが指定した階に昇降機を呼ぶ“エレベーター連携サービス”の運用を開始している。③では、ビル内のリアルタイムな人とモノの配置を表した三次元地図(ビル内ダイナミックマップ)を用いて、警備・清掃・運搬などの用途で使われる各種サービスロボット(以下“ロボット”という。)のビル内での円滑な移動を実現し、人とロボットの協働作業を支援する技術(ロボット・ビル設備連携制御技術)の実証実験をしようとしている。



## スマートシティ・ビルIoTプラットフォーム“Ville-feuille”とロボット・ビル設備連携制御技術

Ville-feuilleは、2020年9月9日に公開されたクラウド上に蓄積したビル内設備データの利活用を可能にする当社独自のスマートシティ・ビルIoTプラットフォームである。ロボット・ビル設備連携制御技術はVille-feuilleの拡張機能として当社の研究所で開発中の将来技術である。

## 1. ま え が き

日本では少子高齢化の進展に伴う生産年齢人口の減少に向けた対策の一つとして、人に代わって自律的に活動するロボットの活用が検討されている。当社では、このロボットをビル内の作業で利用するのに必要な技術を開発している。例えば、先に述べたエレベーター連携サービスでは、ロボットに対してエレベーターを呼べるインターフェース（オープンAPI）を提供している。同サービスでは1台のロボットがロボット内にあらかじめ組み込まれたビル内の地図データとセンサ機器を用いて自律的に移動する。

将来、ビル内で複数台のロボットが移動できるようになれば、狭い通路の移動時やエレベーター乗降時にロボット同士のすれ違いが発生するようになり、ロボットの大きさによっては、ロボットが立ち往生するデッドロックと呼ばれる状況が生じる。また、通勤時間帯などエレベーターが混雑する時間帯にロボットがエレベーターを利用すると、人の移動を妨げてしまう状況が生じる。

本稿では、このような課題の解決に向けて、当社で開発中の“ロボット・ビル設備連携制御技術”について述べる。

## 2. ロボット・ビル設備連携制御技術

### 2.1 概 要

ロボット・ビル設備連携制御技術は、要旨の図のように Ville-feuille<sup>3</sup>が持つビル内の人又はロボットの位置や昇降機などの設備の稼働情報とビル内の地図を活用して、ロボットの安全かつ作業効率の良いビル内移動を実現する技術である。

図1は、この技術を適用したビル内でのロボットの管制誘導システムの構成を示している。

このシステムは、①ビル内の人とロボットの位置やエレベーターなどの設備の稼働状況をリアルタイムに管理するビル内ダイナミックマップデータ管理機能、②ビル内でロボットが通行可能な経路を算出する経路探索機能、③ビル内のロボットの作業効率を最大化するロボットの行動計画を作成する行動計画作成機能、④ロボットに対しての移動経路通知と移動指示をする誘導制御機能、⑤この管制誘導システムが提供する情報（走行経路上の地図情報）を用いて、ロボットが屋内走行環境に合わせて適切な速度と経路を選択するインフラ協調走行制御機能で構成される。

### 2.2 ビル内地図を用いたロボット管制誘導システム

ここでは、2.1節で述べたロボット管制誘導システムを

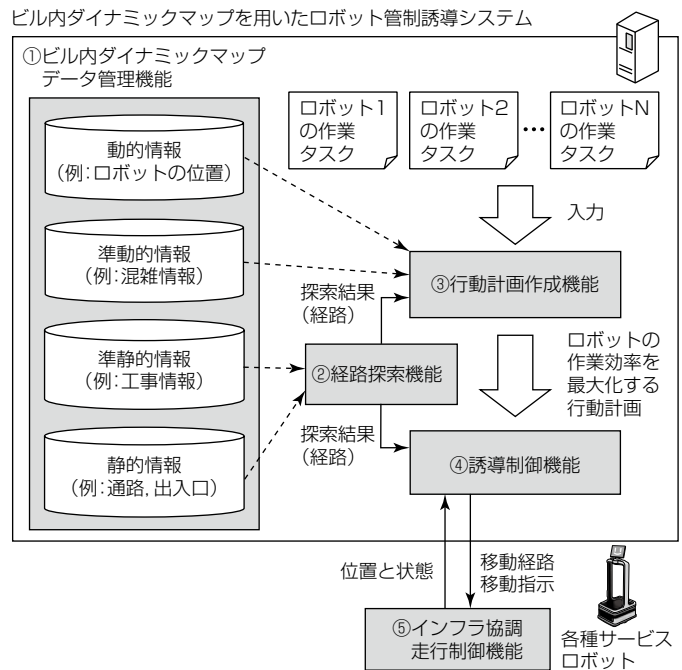


図1. ロボット管制誘導システムの構成例

構成する五つの機能について述べる。

#### 2.2.1 ビル内ダイナミックマップデータ管理機能

ビル内ダイナミックマップデータは、当社が独自開発した屋内地図データであり、データの更新周期に応じて、静的・準静的・準動的・動的情報と4階層に分けたデータ管理方式を採用している（図1）。

静的情報にはビルの壁面や床面又は昇降機や出入口などの固定設置物に関する情報、準静的情報には工事や昇降機のメンテナンスなどの日時単位で有効な情報、準動的情報には混雑や清掃などの時分単位で有効な情報、動的情報にはロボット又は人の位置や昇降機の稼働状況など分秒単位で有効な情報が含まれる。

また、ビル内ダイナミックマップで扱うデータ内容や形式は、国土交通省が屋内電子地図のオープンデータ化の取組み<sup>(3)</sup>で利用している国土地理院“階層別屋内地理空間情報データ仕様書(案)”に対応しているため、公共施設の電子屋内地図データの利用も可能である。

#### 2.2.2 ビル内ロボットの経路探索機能

この機能は、図2で示すようなビル内ダイナミックマップの静的情報に含まれるネットワークデータ（リンク、ノード）を用いて、指定された目的地の最近接ノードまでの経路を探索する。個々のリンクには通行可能な方向と距離が設定されており、Dijkstra法を用いて目的地までの移動距離が最短になる経路を探索する。工事やエレベーターのメンテナンスなどのビル内ダイナミックマップの準静的情報によって通行できないリンクがある場合は、当該リン

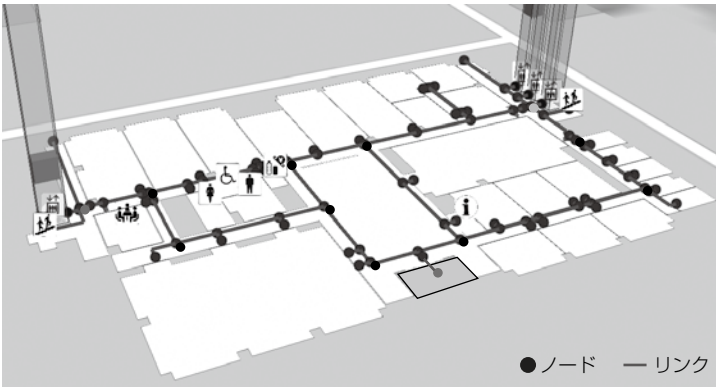


図2. ビル内ダイナミックマップのネットワークデータ例

クを探索処理の対象から外すことで、その時々状況下で通過可能な経路だけを算出できる。探索結果は、2.2.3項に述べる行動計画作成機能と2.2.4項に述べる誘導制御機能で利用される。

### 2.2.3 ビル内ロボットの行動計画作成機能

ビル内で、人とロボットの快適な移動空間の実現に向けた課題の一つは、ロボットが人の移動を妨げることなく、ビル内のロボットのトータルな作業効率を最大化することである。この課題解決に向けて、エレベーターの利用統計情報からエレベーターが混雑する時間帯を推定し、“当該混雑時間帯にロボットがエレベーターを利用しない”，又は“ロボットが同時刻に搭乗するエレベーターの台数を一定数以下にする”などを制約条件にして、各ロボットの行動計画を作成する。例えば、エレベーターの混雑時間帯にはロボットは充電又はタスクの実行だけを行うようにする(図3)。このようにロボットの行動計画を作成し、ロボットに指示することで、人とロボットの快適な移動環境の維持と、ロボットが実行するタスク量の最大化を両立させることが可能になる。

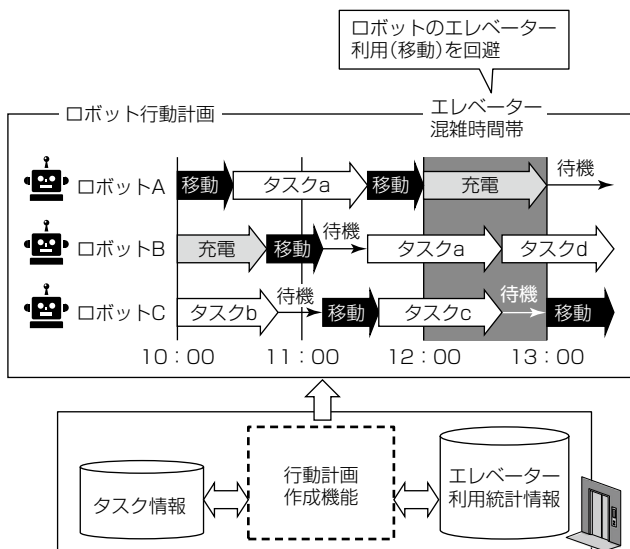


図3. ロボットの行動計画作成機能

### 2.2.4 ビル内ロボットの誘導制御機能

ビル内には幅が狭い通路など、ロボット同士が同時に通行できない領域(図4のCollision-path)がある。行動計画機能で、このCollision-pathを同時刻に通過するロボットを1台にするなどの制約条件を設けたとしても、エレベーターの待ち時間などによって、ロボットの移動時間には外乱が生じるため、計画した時刻にロボットがCollision-pathを通過できるとは限らない。そこで、この誘導制御機能は、約1秒周期でロボットの位置を取得し、ロボットがCollision-pathに2台以上進入することが予測される場合に、どちらかのロボットをCollision-path進入前で停止させ、一方のロボットを優先して通過させることで、円滑なロボットの屋内移動を実現している。

### 2.2.5 ビル内ロボットのインフラ協調走行制御機能

地図の経路情報(通路幅や通行方向)をロボットに提供することで、ロボットの経路探索領域(走行パスの生成領域)を制限したり、自己位置推定の分解能を高くするなどロボットの走行制御を走行環境に応じて適切に設定できるようになり、エレベーターの狭い間口を安全に通過できるようになる(図5)。

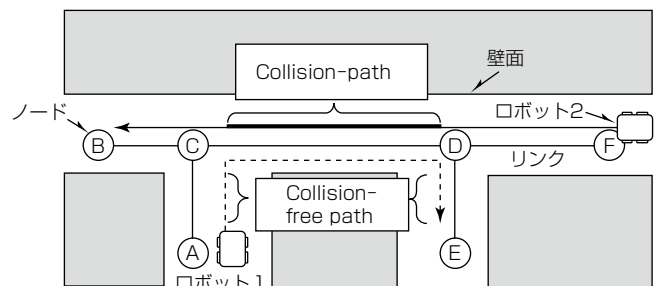


図4. ロボット同士が同時に通行できない領域(Collision-path)

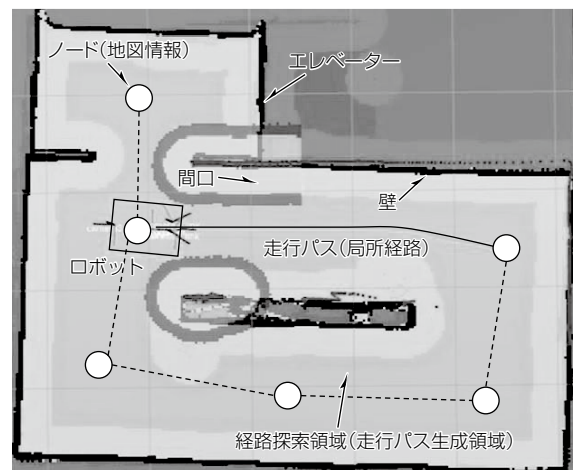


図5. 地図情報を用いたロボットの走行経路探索



### 2.3 ロボット移動の安心・安全を支える技術

ここでは、ロボット管制誘導システムの安心・安全を支える技術を述べる。

#### 2.3.1 監視カメラを活用した屋内測位

複数のロボットが混在する状況では、通路やエレベーターで、ロボット同士の衝突回避が課題になる。

この課題に対して、当社はビル内の監視カメラを用いてロボットに貼り付けたマーカを認識し、監視カメラからマーカまでの距離と方位を高精度かつリアルタイムに算出する屋内測位技術を開発している。この技術は、マーカに付与されたID (Identification) を識別することで、ロボットの識別と測位を同時に行うことができる。当社製監視カメラ“MELOOK3 NC-7620”を用いた実験で、この屋内測位技術が、奥行3.0×幅5.0×高さ2.7(m)の屋内フィールド内のロボットの位置を平均位置誤差15cm以下、測位処理時間100ms以内で検出できることを確認している(図6)。

#### 2.3.2 安全な移動を実現する誘導照明制御

人とロボットが共生する空間では、例えば、エレベーターからロボットが降りてくる場合に、エレベーターに搭乗しようとする人とロボットがぶつからない、安全な移動を実現する必要がある。

この課題の解決に向けて、当社で開発中のプロジェクトをベースにしたアニメーションライティング装置“てらすガイド”を用いて、エレベーター前の床面や壁面に、ロボットがエレベーターから降りてくる内容を表すコンテンツ

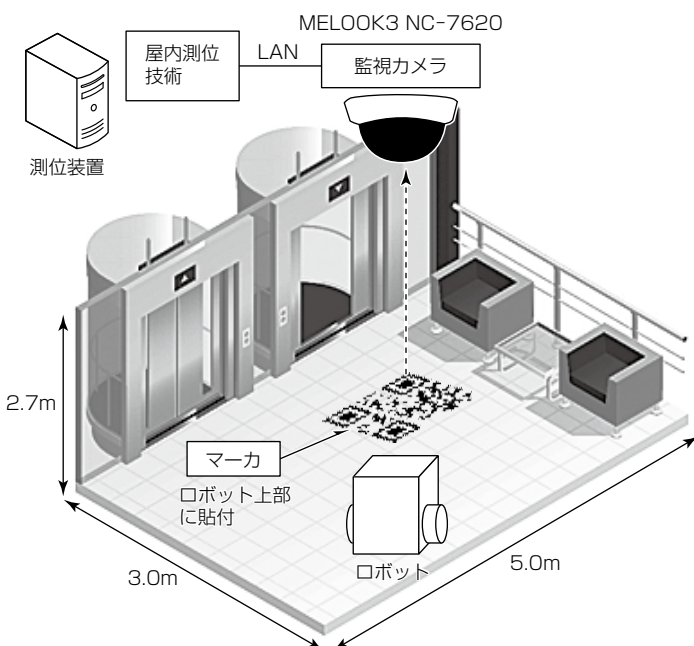


図6. 監視カメラを利用したロボットの屋内測位技術

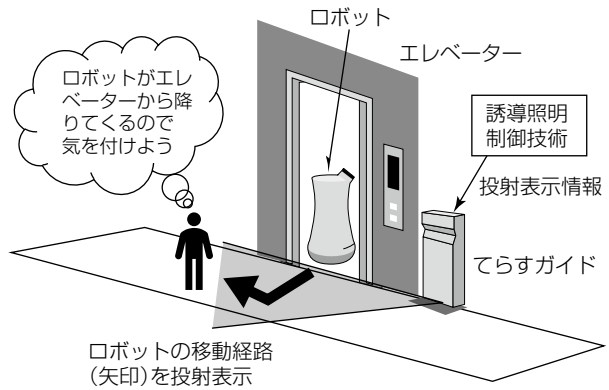


図7. 誘導照明制御技術の適用例



図8. 実証実験の様子

を投影表示することで、人とロボットの安全な移動の実現を支援する誘導照明制御技術の開発を予定している(図7)。

この誘導照明制御技術は、Ville-feuilleから取得したロボットの位置情報と予定移動経路を用いて、ロボットがエレベーターから降りる階と時刻をあらかじめ検出し、適切なタイミングで必要なコンテンツを投影表示することで、ビル内の施設利用者に対して直感的で分かりやすい情報提供を実現し、安全でスムーズな移動を支援する。

## 3. む す び

開発中のロボット・ビル設備連携制御技術について、ビル内ロボットの管制誘導システムと同システムを安全に運用する要素技術について述べた。現在、当社では、これらの開発技術を用いた実証実験を開始している(図8)。

今後、安心と安全、省人化と自動化、生産性向上をキーワードに持続可能な社会の実現に向けて、技術の深化と新たなソリューションの創出に取り組んでいく。

### 参考文献

- (1) 三菱電機株式会社スマートシティ・ビルソリューション <https://www.mitsubishielectric.co.jp/smartbuilding/>
- (2) 石井周作：三菱電機のスマートビルソリューション，三菱電機技報，94，No.5，264～268（2020）
- (3) 国土交通省：屋内電子地図等のオープンデータ化の取組 [https://www.mlit.go.jp/kokudoseisaku/kokudoseisaku\\_tk1\\_000108.html](https://www.mlit.go.jp/kokudoseisaku/kokudoseisaku_tk1_000108.html)