

NEDO特別講座「自動配送ロボのラストワンマイル」

# 移動ロボット協調連携システム

～将来のロボット立ち往生問題、解決に向けて～

## TOSHIBA

株式会社 東芝 研究開発センター 知能化システム研究所 機械・システムラボラトリー

山本 大介

2022.7.22

# “ロボット立ち往生現象”

## ロボットが活躍する「密度」が増すにつれ、機械同士のコミュニケーションが重要になる

工場から公共施設、病院にいたるまで、さまざまな場所でロボットが活躍している。一方で、ロボットの密度が高まるにつれ、メーカーが異なるロボット同士の相互運用性が課題になり始めている。こうしたなか求められているのが、ロボット同士が“コミュニケーション”できる仕組みの構築だ。

NATURE 2021.02.12 FRI 08:00

TEXT BY WILL KNIGHT  
TRANSLATION BY TOMOYO YANAGAWA/TRANNET

シンガポールのチャンギ総合病院では、たくさんのロボットが働いている。その数があまりにも多いことから、最近まで廊下やエレベーターの入り口付近で2台の搬送用ロボットが立ち往生している様子を見かけることも珍しくなかったほどだ。

こうしてロボットたちが動けなくなってしまうことが「日に数回は起きていた」と、チャンギ総合病院の医療アシスト・ロボット技術センター(CHART)を率いるセリーナ・シアは言う。ロボットたちは、障害物や通行人をどのように避けたらいいのかわからずフリーズしてしまい、相手が先に動くまで待つてしまうのだ。「(そうすると)人間が現場まで降りていき、ロボットたちを引き離してやらなければなりません」と、シアは言う。

シアによると、チャンギ総合病院には8つのメーカーから約50台のロボットが導入されているという。ほかの病院と同様に、同院でもロボットシステムは繊細な外科手術を手がける医師の支援や、手術中やリハビリ中の患者のサポートなどに使われている。さらに、数十台の移動型ロボットが清掃のほか、医薬品や物品、患者のカルテなどを搬送している。しかし、ロボット同士は互いにうまくコミュニケーションがとれない。

メーカーが異なる複数のロボットが、混雑した同じ空間でスムーズに移動できなくなるというチャンギ総合病院の“ロボット立ち往生現象”からは、多くの企業が将来抱えるであろう問題を垣間見ることができると、ロボットの導入は医療現場だけでなく、製造業や物流の分野でも急速に拡大しており、最近では店舗やオフィスにも登場し始めているからだ。

ロボットたちのこうした膠着状態を緩和するためにチャンギ総合病院は、非営利団体「Open Robotics」が開発したソフトウェアを採用している。このソフトは、メーカーが異なるロボット同士が“会話”し、安全に道を譲り合うことを可能にするものだ。Open Roboticsはオープンソースのロボット用OS「ROS(Robot Operating System)」を管理しているが、チャンギ総合病院で使われているソフトはROSを基盤としないロボットとの通信も可能にする。

# ラストワンマイルの“ロボット立ち往生”



Artem Chernikov

@archernikov · フォローする



Robot wars on @UCLA campus.



午前6:13 · 2021年12月11日



Twitterで会話をすべて読む

♡ 218    💬 返信    ↗ 共有

11件の返信を読む

配送ロボットが普及した際には・・・

人や自動車での交通ルールのように

ロボットの走行ルールが必要ではないか？

01 自律移動ロボット上位系インタフェース

02 移動ロボット協調連携システム

03 今後に向けて

## ロボット活用型市場化適用技術開発プロジェクト

平成29年度予算案額 **17.5億円 (15.0億円)**

### 事業の内容

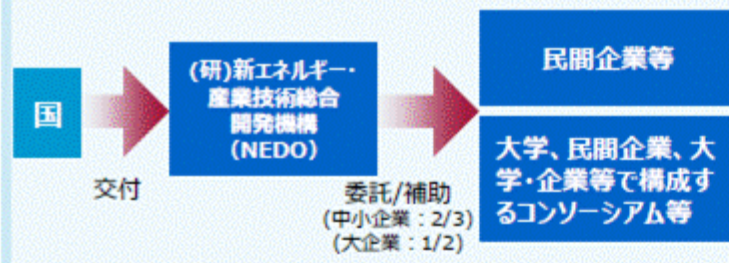
#### 事業目的・概要

- 「ロボット新戦略」（平成27年2月10日 日本経済再生本部決定）に基づき、ものづくり分野とサービス分野において、これまで実現が困難であった組立工程における柔軟物把持等が可能となるロボットの技術開発を実施します。
- 加えて、小型汎用ロボットの導入コストの2割削減に向け、小型汎用ロボットの本体価格を引き下げ、汎用的な作業・工程に使える小型汎用ロボット（プラットフォームロボット）の開発（ハードウェア・ソフトウェアの共通化）を行います。

#### 成果目標

- 平成27年度から平成31年度までの5年間の事業であり、平成31年度までに、上市可能なレベルのロボットを25種類以上開発することを目指します。

#### 条件（対象者、対象行為、補助率等）



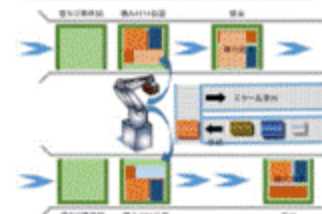
### 事業イメージ

ものづくり分野  
組立工程における柔軟物把持



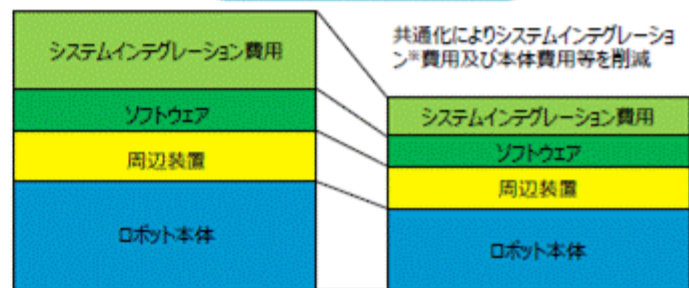
整列されていない部品  
のピッキング工程のロボット化

サービス分野  
多様な品物の仕分け



多種多様なサイズ・形状の品物の積付作業のロボット化

#### プラットフォームロボット



汎用的な用途に活用できるプラットフォームロボットを開発（ハードウェア、ソフトウェアの機能要素を共通化）することで、ロボットシステムの導入コストの削減を図る。（※多種多様なロボットや周辺装置を組み合わせ、最適な自動化システムを構築すること。）

# 参考 NEDO・東芝 プレスリリース

## News Release

2020.3.30

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
株式会社東芝

### 自律型移動ロボット向けインターフェースの仕様を策定し、サンプルソフトウェアを公開 —メーカーも種類も異なるロボットが共通のシステムで運用可能に—

NEDO は、「ロボット活用型市場化適用技術開発プロジェクト」を実施しており、NEDO と東芝は自律型移動ロボットと運行管理システムを接続するためのインターフェース AMR-IF (Autonomous Mobile Robot Interface) の仕様を策定しました。今般、AMR-IF に準拠した操作端末 (GUI) ソフトウェアのサンプルをオープンソースソフトウェアとして、本日から公開します。本ソフトウェアを活用することで、メーカーや種類が異なる複数の移動ロボットを、共通のシステムで運用でき、ロボット未活用領域でのロボットの普及や低コスト化が期待できます。

今後、AMR-IF が移動ロボットの標準インターフェースとなるよう、国際標準化を目指します。

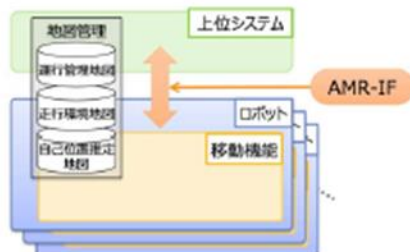


図1 自律型移動ロボット向けインターフェース AMR-IF

#### 1. 概要

製造・物流現場や公共施設内での、搬送や警備、清掃などさまざまな業務で、自律型移動ロボットが普及しつつあります。現状、これらの移動ロボットでは、各メーカーが上位システムの運行管理システムを開発し、独自のインターフェースで移動ロボットと接続しています。そのため、メーカーの異なる移動ロボットを新たに導入する際には、運行管理システムを開発しなおす必要があります。また、複数メーカー、複数種類の移動ロボットを同じ運行管理システムに接続することもできません。これらはロボットを導入する上で大きな障害要因となっています。

このような課題を解決するため、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) と株式会社東芝は、NEDO の「ロボット活用型市場化適用技術開発プロジェクト」の一環として、移動ロボットと運行管理システムとの相互接続手順を定めた移動ロボットインターフェース AMR-IF (Autonomous Mobile Robot Interface) の仕様を策定しました。AMR-IF を活用することで、メーカーや種類が異なる複数の移動ロボットを共通のシステムで運用することが可能となります。これにより、上位システムを構築するシステムインテグレーターや移動ロボットのメーカーが、移動ロボットを使ったシステムを開発しやすくなり、ロボット未活用領域でのロボットの普及や低コスト化が期待できます。

そして、今般、この AMR-IF に準拠した操作端末 (GUI) ソフトウェアのサンプルをオープンソースソフトウェア (OSS) として 3 月 30 日に公開します。

AMR-IF サンプルソフトのダウンロードサイト

<https://github.com/AMR-IF/AMR-IF-UI>

また、本サンプルソフトは、以下からもアクセス可能です。

「ロボット活用型市場化適用技術開発プロジェクト」研究開発成果公開ページ

<https://robo-marc.github.io/>

#### 2. 今回の成果

AMR-IF は、移動ロボットの運行管理に必要な地図情報、走行経路指示、ロボットの現在位置情報などのプロトコル (規約) を定めたものです。この AMR-IF の仕様準拠することで、複数台の移動ロボットの効率的な経路計画の策定や、デッドロック (複数ロボット同時進入による行き詰まり) 回避などを行う運行管理システムの構築が可能となります。

今回公開する GUI ソフトウェアを用いて、2019 年 12 月に開催された「国際ロボット展 2019」の NEDOブースにて、THK 株式会社、株式会社セック、パナソニック株式会社とともに、メーカーも種類も異なる 3 台の移動ロボット連携デモを行い、一つの上位システムで異なるメーカーのロボットを管理できることを実証しました。

このソフトウェアの活用により、システムインテグレーターやロボットメーカーは AMR-IF に準拠した運行管理システムを容易に開発することができます。同時に、東芝は、利用者からのフィードバックを活用して、インターフェースの充実・改善を図っていきます。



図2 国際ロボット展に出展した3台の移動ロボット

#### 3. 今後の予定

現在、「ロボット新戦略」(2015 年 2 月 10 日日本経済再生本部決定) に基づいて設立されたロボット革命イニシアティブ協議会 (RRI) においても、移動ロボットのソフトウェアアーキテクチャについて議論され、その仕様策定が進められており、AMR-IF はこの仕様にも準拠しています。東芝は、引き続き、AMR-IF の標準化 (デファクトスタンダード化) を図るとともに、RRI の活動などを通じて国際標準化も目指します。

#### 【注釈】

※ ロボット活用型市場化適用技術開発プロジェクト

期間: 2015 年度～2019 年度 (委託事業は 2017 年度～2019 年度)

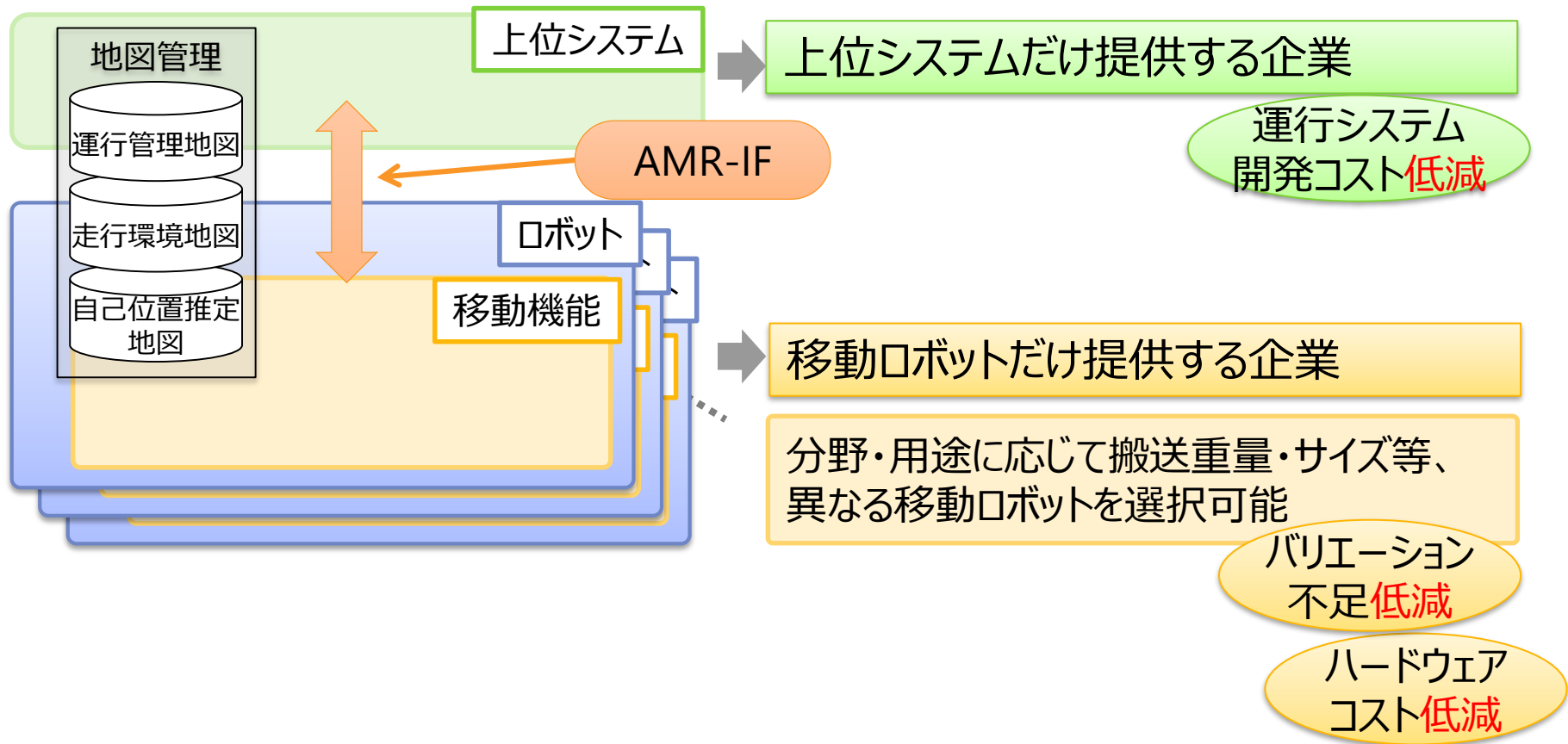
#### 4. 問い合わせ先

(本ニュースリリースの内容についての問い合わせ先)

NEDO ロボット・AI部 担当: 和佐田、大橋、茂手木 TEL: 044-520-5241

東芝 コーポレートコミュニケーション部 広報・IR室 担当: 外間 TEL: 03-3457-2100

# AMR-IF：自律移動ロボット上位系インタフェース



移動ロボットの標準的インタフェースへ



# ロボット活用型市場化適用プロジェクト 移動ロボット連携WG

## ハードウェアコンソーシアム

カワダ  
ロボティクス



富士ソフト  
日本電産



東芝



セック・THK  
名城大



川崎重工



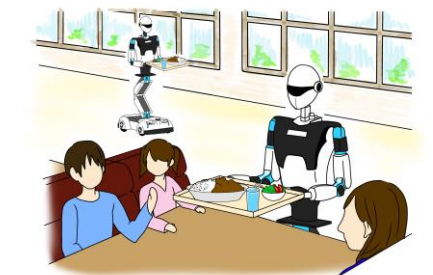
YOODS



パナソニック



## ソフトウェアコンソーシアム

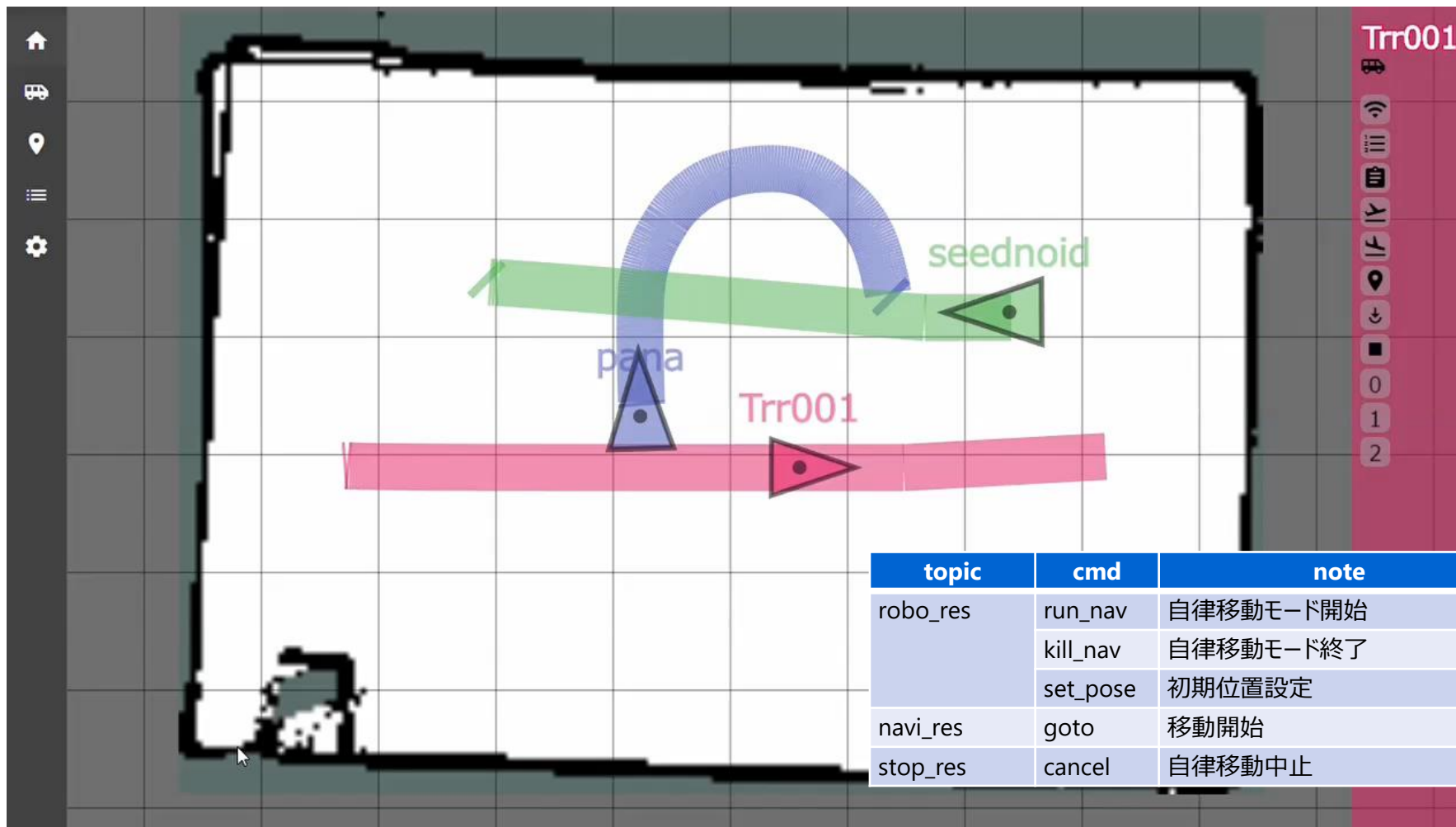


## 移動ロボットに取り組むグループが連携

# 2019年12月国際ロボット展 移動ロボット連携デモ



# AMR-IF : 自律移動ロボット上位系インタフェース



The screenshot displays a 2D grid-based map of a room. A robot, labeled 'Trr001', is positioned in the lower-left area. A green path leads from the robot towards the right, with a blue arc labeled 'pana' indicating a turn. A pink path continues from the green path towards the right. A green arrow labeled 'seednoid' points towards the right. The interface includes a sidebar on the left with navigation icons and a sidebar on the right with a list of topics (0, 1, 2) and a title 'Trr001'.

topic	cmd	note
robo_res	run_nav	自律移動モード開始
	kill_nav	自律移動モード終了
	set_pose	初期位置設定
navi_res	goto	移動開始
stop_res	cancel	自律移動中止

サンプルソフトを公開

01 自律移動ロボット上位系インタフェース

02 移動ロボット協調連携システム

03 今後に向けて

# 令和2年度補正予算（COVID対策）

## 自動走行ロボットを活用した新たな配送サービス 実現に向けた技術開発事業 令和2年度補正予算額 3.0億円

商務・サービスグループ  
物流企画室  
03-3501-0092

### 事業の内容

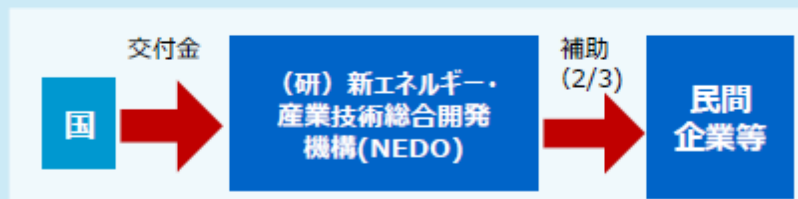
#### 事業目的・概要

- 新型コロナウイルス感染症による影響で、物流のラストワンマイルにおいて、宅配要望の急増、配達員の感染等による影響により、ドライバー不足や配送の一時的な停滞が発生しています。
- こうした状況への対応策の一つとして、新型コロナウイルス感染症による影響が継続する中で、自動走行ロボットを活用した新たな配送サービスの早期実現が必要です。
- 本事業においては、自動走行ロボットの技術開発を集中的に行い、早期に実用化することで、有事においても物流サービスの維持を実現し、サプライチェーンの強靱化を図ります。

#### 成果目標

- 本事業において開発した技術により安全安心な自動走行ロボットによる配送サービスの実現を目指します。

#### 条件（対象者、対象行為、補助率等）



### 事業イメージ

「遠隔・非対面・非接触」での配送サービスを実現するための自動走行ロボットの技術開発、実証データ分析

#### ● 自律走行を実現するための技術開発

（想定される技術開発要素）

センサー技術  
車道では想定されない  
段差や看板等の検知



システム連携  
配送システムと自動走行ロボットの  
運行システムの連携



#### ● 技術開発実証で得られたデータの分析

- ✓ 自律走行にかかる技術的データの収集・分析
- ✓ 住民や利用者等へのアンケートの実施による、社会受容性向上に向けた取組の在り方等の分析・検討 等

#### 実現する配送サービスのイメージ



- 物流拠点からの自宅等へのECモール商品の配送
- 小売店舗から自宅・指定地等への日用品の配送
- 商業施設のバックヤード等における館内配送

# 参考 東芝 プレスリリース

## 移動ロボット同士の相互回避や協調搬送を実現する協調連携システムを開発

— 直接通信により、位置や走行方向を迅速に共有。

移動ロボットの活用を促進し、コロナ禍における自動化需要の増加に対応—

2021年9月17日

株式会社東芝

### 概要

当社は、複数の自律型移動ロボット（以下、移動ロボット）を直接通信でつなげることで迅速な相互回避や協調搬送を可能にする協調連携システムを開発しました。清掃・警備・搬送など用途が異なる移動ロボットは、通常、異なる運行システム上で動いており、ロボット同士が位置や走行方向の情報の共有ができず、通路上で複数台が立ち往生してしまうといった状況が発生してしまいます。本システムは、移動ロボット同士が互いの情報を迅速に共有することで通路内での相互回避を実現し、運行システムの異なるロボットの導入促進に貢献します。また、直接通信により低遅延通信が可能となるため、複数の同種の小型移動ロボットによる、大きな荷物の協調搬送も可能となります。

当社は、今回、深川江戸資料館で実施した芝浦工業大学のロボット連携実験の一つの実証実験として、異なるロボットとの相互回避の連携実験を行いました。

当社は本技術の詳細を9月14日から17日にかけて開催される2021年電子情報通信学会ソサイエティ大会にて発表します。

### 開発の背景

昨今のコロナ禍における自動化の需要増加に伴い、移動ロボットは、製造・物流現場での搬送に加え、公共施設内の清掃・警備・搬送など、様々な用途での活用が進んでいます。移動ロボットの市場規模は、国内では2023年に681億円、海外では2025年に7,360億円、年平均成長率はそれぞれ23.7%、15.9%と見込まれています<sup>(1)</sup>。

製造・物流現場における搬送では、同一メーカーの同一機種種の移動ロボットを複数台用い、全体の運行を上位システムにより管理する形態が一般的です。

一方、公共施設内では、清掃・警備・搬送など、用途ごとに異なるメーカーの移動ロボットが採用されるケースが多くなります。現状は、メーカーごとに独自の運行システムを構築しているため、メーカーが異なるロボット同士では位置情報などの共有ができず、通路上で立ち往生したり、複数のロボットが狭いエリアに進入して動けなくなるといった状況が発生してしまいます。

当社は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、NEDO）とともに、メーカーや種類が異なる複数の移動ロボットの運用を共通の運行システムで可能とする移動ロボットインターフェースを策定し、サンプルソフトウェアを公開するなど<sup>(2)</sup>、ロボット革命・産業IoTイニシアティブ協議会（以下、RRI）のロボットイノベーションWGなどの活動を通じて、本インターフェースの標準化を進めています。

しかし、共通の運行システムを介して移動ロボットの位置情報の共有が可能となっても、通信は遅延・中断する可能性があります。人間同士であれば、声掛けやアイコンタクト、自動車の方向指示器を用いた進路の譲り合いなど、臨機応変に対応します。移動ロボット同士においても、運行システムを介さず互いを認識し、臨機応変に連携する技術が求められています。

### 本技術の特徴

そこで当社は、運行システムを介さず、移動ロボット間で直接通信するプロトコルを定め、ロボット間の通信経路を切替えることで直接通信をより低遅延で実現する無線LANマルチホップ方式<sup>(3)</sup>で実装し、移動ロボット同士が直接リアルタイムで情報を交換することを可能にしました。当社は、本技術を用いて、以下の移動ロボット同士の協調連携を実現しました。

#### 1. 運行システムが異なる移動ロボット同士の相互回避

現状の移動ロボットは、停止している障害物であれば、回避する軌道を生成し回避することができますが、互いに走行中の移動ロボットは、進行方向が分からず回避が難しくなります。そこで双方の位置と進行方向を共有することで得らかなすれ違いができることを確認しました。上位の運行システムが異なるロボット同士であっても相互回避が可能です。

なお、本実験は、深川江戸資料館で実施した芝浦工業大学のロボット連携実験の一つの実証実験として行いました。

#### 2. 複数の同種ロボットでの協調搬送

1つの搬送物を複数台の同種の移動ロボットがタイミングを合わせながら運搬できることを確認しました。必要に応じてロボットを追加することで、様々なサイズ・重量の積載物に対応することが可能となります。安定した低遅延（10ms以内）の直接通信により、協調搬送を実現しました。

現在RRIにおいては、ロボットのソフトウェアアーキテクチャについて議論され、その仕様策定が進められています。当社は、引き続き、移動ロボット仕様の標準化を図るとともに、RRIの活動などを通じて国際標準化も目指し、様々な場面や用途での移動ロボットの導入促進に貢献してまいります。

なお、本成果の一部は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の助成事業「自動走行ロボットを活用した新たな配送サービス実現に向けた技術開発事業」（JPNP20018）及び芝浦工業大学工学部機械機能工学科松田栄研究室との共同研究の結果、得られたものです。

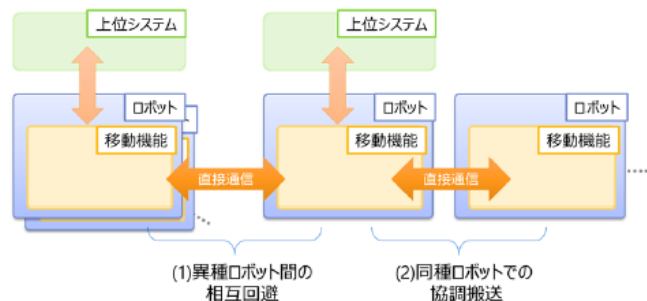


図1：移動ロボット間の直接通信

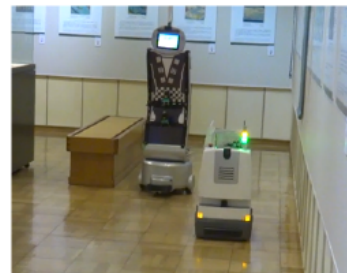
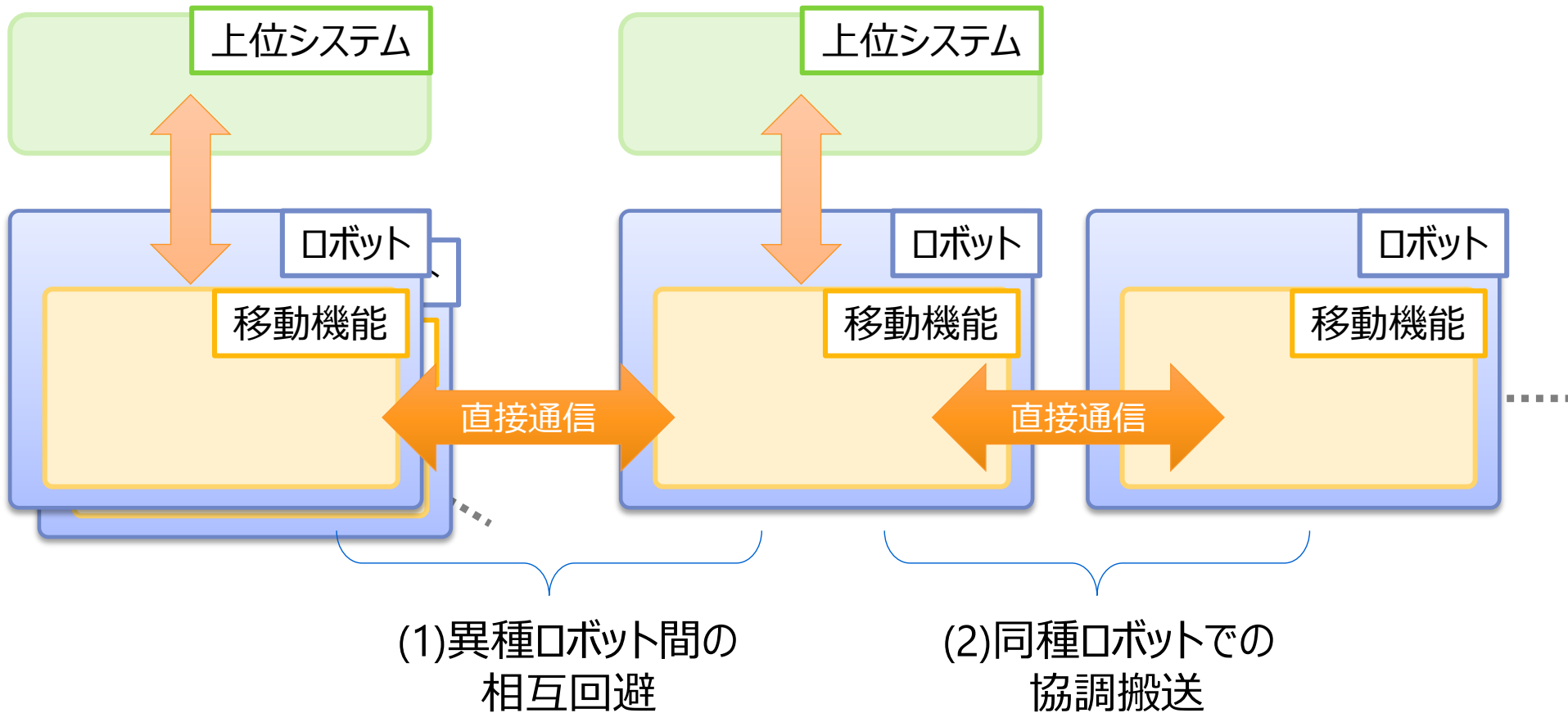


図2：異種ロボット間の相互回避の連携実験の様子

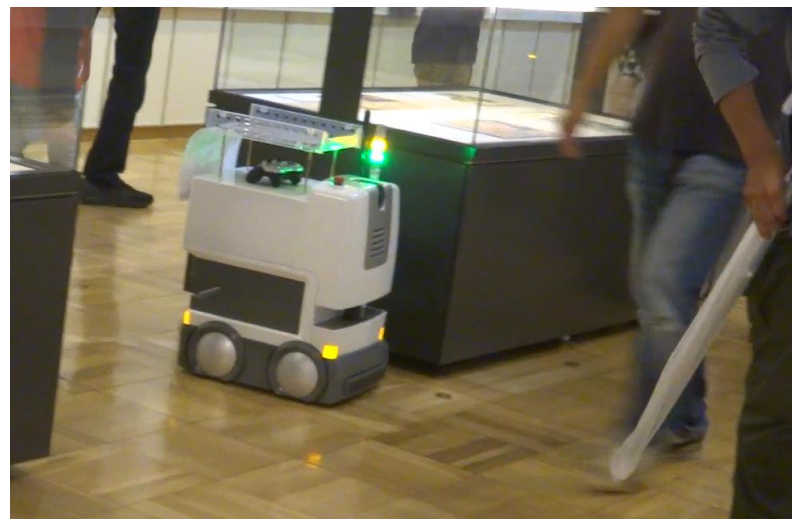


同種ロボットでの協調搬送の様子

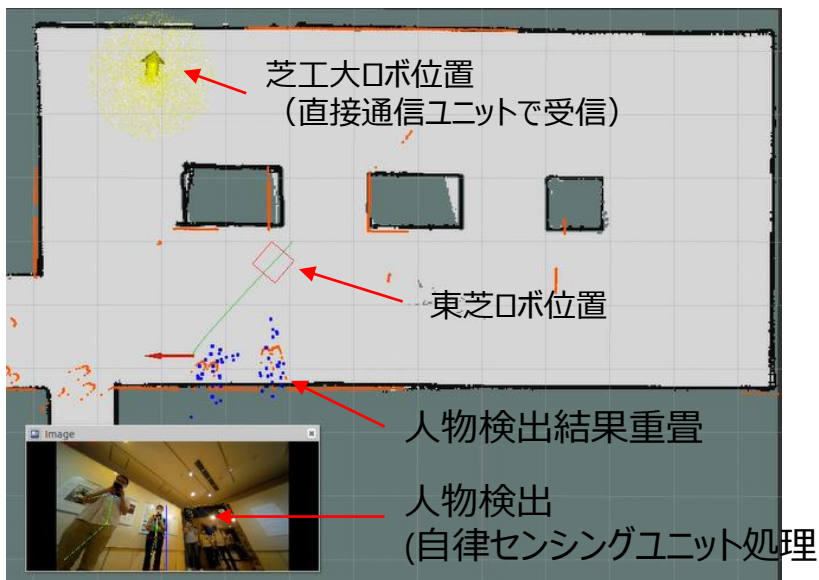
# 移動ロボット協調連携システム



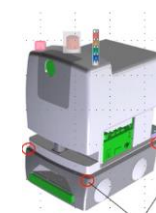
# (1) 異種ロボット間の相互回避の連携実証の様子



【東芝ロボット内 地図】



芝浦工業大学  
移動ロボット



東芝  
移動ロボット

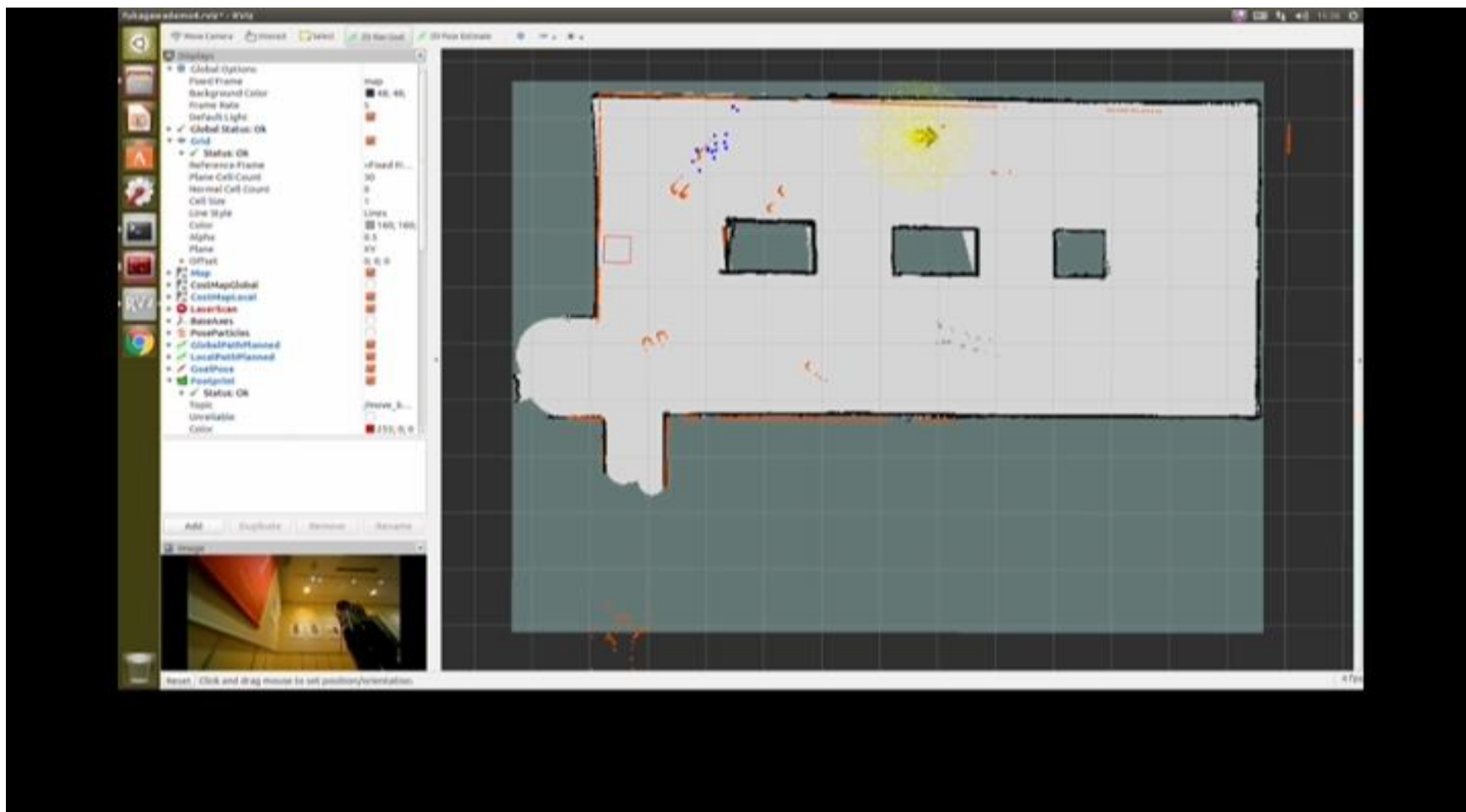


## (1) 異種ロボット間の相互回避の連携実証の様子



深川江戸資料館にて実証

# (1) 異種ロボット間の相互回避の連携実証の様子



異種ロボット間での相互回避を確認

## (2) 同種ロボットでの協調搬送の様子



2台の小型ロボットで長尺の台車を搬送

# 背景技術：自動走行ロボット向け無線LANマルチホップによる低遅延伝送効果

## 自動走行ロボット向け無線LANマルチホップによる低遅延伝送効果

A Multi-hop WLAN Network with Direct Communications for Autonomous Robotics

浜谷みゆき<sup>1</sup>、村上貴臣<sup>1</sup>、鍋谷寿久<sup>1</sup>、且代智哉<sup>1</sup>、園浦隆史<sup>2</sup>、山本大介<sup>2</sup>  
 Miyuki Soeya<sup>1</sup>, Takaoji Murakami<sup>1</sup>, Toshihisa Nabetani<sup>1</sup>, Tomoya Tsudoi<sup>1</sup>, Takafumi Sonoura<sup>2</sup>, Daisuke Yamamoto<sup>2</sup>  
 (株)東芝 研究開発センター<sup>1</sup>、ワイヤレスシステムラボラトリー<sup>2</sup>、機械・システムラボラトリー  
<sup>1</sup>Wireless System Laboratory, <sup>2</sup>Mechanical Systems Laboratory, Corporate Research & Development Center, Toshiba Corp.

### 1. はじめに

自動走行ロボットを活用した新たな配送サービスの実現にむけ様々な技術開発がなされている。この配送サービスでは、ロボット同士の相互回避動作、及びロボットが連携して荷物を搬送する協調搬送動作が円滑に実行されることが望まれる。そこで自動走行ロボットの連携に適した無線LANネットワークを開発している。

一般的な無線LANネットワークでは、アクセスポイント(AP)に複数の無線LAN端末(STA)が接続するツリー構造である。この場合STA間通信によるトラフィックはAPを経由するため、自動走行ロボットの稼働エリアをAPでカバーする必要がある。一方、無線マルチホップ方式は、ロボットの動きに応じた柔軟なネットワークを構成できるため注目される。そして自動走行ロボットによる相互回避、及び協調搬送を円滑に制御するため、当事者であるロボット間の通信にはより低遅延・高信頼性が要求される。

本稿では、自動走行ロボットの動作状況に応じて通信経路を切り替えることができ、自動走行ロボット間の直接的な通信を低遅延で実現する無線LANマルチホップ方式を提案し、提案方式のロボット間通信における低遅延・高信頼効果を実証した。

### 2. 提案方式

無線区間にIEEE802.11のアドホックモード、RPLルーティングを使った無線LANマルチホップ方式を採用した[1]。通信経路はRPL根ノードを頂点とするツリー構造を初期状態とし、自動走行ロボットからの指示を元に指定されたRPL葉ノード同士が無線接続するよう切り替える(図1)。自動走行ロボット間の通信はTCP/IP等により実行され、所定のメッセージが無線LANマルチホップネットワークを構成する無線リンクの上で中継伝送される。

### 3. 評価

Raspberry Pi3B+とUSBドングル(Planex GW-45(D))で構成した3台の無線機を使い、ping6によりRPL葉ノード間のRTT(Round Trip Time)を評価した。このとき、RPL葉ノード(無線機2,3)間の通信がRPL根ノード(無線機1)で中継される場合と、RPL葉ノード間の無線リンクが使用される場合とで各々取得したRTT特性を比較した。

伝送方式はIEEE802.11n(2.4GHz帯,20MHz幅)とし、無線機間の距離はRPL葉ノード間が1m、RPL葉ノードとRPL根ノード間を2.5m及び7mの2通りで測定した。

300回のping6を1試行とし、各条件で5試行実行した。直接通信、2.5mの1ホップ、7mの1ホップで測定されたRTTの累積確率分布(CDF)を図2に示す。

これより平均RTTは、直接通信では3.75ms(95% CDF)、5.5ms(99% CDF)であるのに対し、2.5mの1ホップでは、4ms(9% CDF)、7.75ms(99% CDF)、7mの1ホップでは4.25ms(9% CDF)、11.25ms(99% CDF)であった。

### 4. おわりに

無線LANマルチホップ方式において自動走行ロボット間の直接通信を低遅延に実現する方法を提案し、試作機によりRTTを測定比較した。提案方式はロボット間通信のRTTを小さくする効果があり、低遅延・高信頼伝送への有効性を示した。今後、複数の無線リンクが直接通信を行う場合の影響を調査する。

この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の助成事業(JPNP20018)の結果得られたものです。



図1 提案する無線LANマルチホップ方式

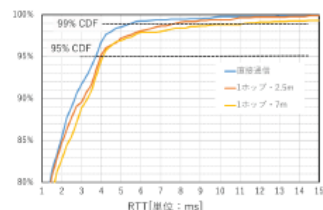


図2 提案方式によるRTT特性

### 参考文献

[1]村上他,「無線マルチホップネットワーク技術を用いたドローンによる映像伝送試験」東芝レビューvol.73 No.3 (2018年5月).

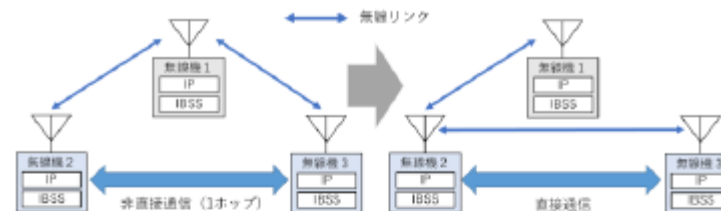


図1 提案する無線LANマルチホップ方式

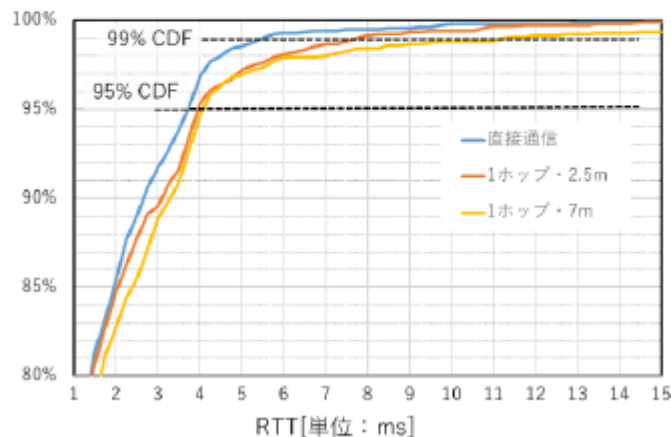


図2 提案方式によるRTT特性

# 背景技術：ロボット間直接通信を用いた協調搬送ロボットシステムの開発

## ロボット間直接通信を用いた協調搬送ロボットシステムの開発

○園浦 隆史<sup>1</sup>、山本 大介<sup>1</sup>、小川 秀樹<sup>1</sup>、添谷 みゆき<sup>2</sup>、且代 智哉<sup>2</sup>  
 (株式会社 東芝 研究開発センター <sup>1</sup>機械・システムラボラトリー、<sup>2</sup>ワイヤレスシステムラボラトリー)

## Development of Collaborative Transfer Mobile Robots System Using Wireless Direct Communication Tools Between Robots

○Takafumi SONOURA, Daisuke YAMAMOTO, Hideki OGAWA, Miyuki SOEYA, Tomoya TANDAI  
 (<sup>1</sup>Mechanical Systems Laboratory, <sup>2</sup>Wireless System Laboratory Research & Development Center, Toshiba Corp.)

Abstract: We developed small size transfer robots which can transport large loads with multiple units collaboratively, and confirmed its operation. The robots are equipped with a wireless unit capable of direct communication, and the accuracy of collaborative transfer operation is improved by establishing a low latency communication status between specific robots.

### 1. 緒言

荷物運搬作業は様々な分野で自動化が期待されている。特に、物流・流通分野をはじめ運搬時にはかご台車など搬送器具を利用している場合が多い。そこで、既存の搬送器具がそのまま利用できるような搬送ロボットシステムが有効である。ここでは店舗バックヤード等で利用されている6輪カート台車を搬送対象として扱う。

搬送ロボットは、フックやビン等で搬送対象物を引っ掛けて運搬する牽引型と、ジャッキ等で上方に浮かせた状態で運搬する持上げ型に分けられる。ここでは、持上げ時の反力で大きなグリップ力の得られる持上げ型を採用し、搬送対象物も将来的に数百kg程度までを搬送できるものを目指す。

従来の持上げ型かご搬送ロボットは、搬送対象の台車にあわせてサイズが大きくなり、また用途も専用機制的になりがちである。そこで、小型の搬送ロボットを複数台用意し、搬送対象物が小さい場合には1台で対応し、大きい場合にはサイズに応じて複数台が連携して持上げ・搬送移動する協調搬送方式が考えられている。協調搬送方式の場合、搬送対象の形状やサイズにも柔軟に対応可能なうえ、コンパクトで小回りも利くという利点がある。

協調動作を行う際、個々のロボット間の動作タイミングを一致させることが重要になってくる。ここでは、独自に開発したロボット間での直接通信を可能とする通信ユニット（直接通信ユニット）[1]をロボットに搭載し、一連の協調搬送動作に組み込んだ搬送システムを構築し、その動作を確認したので、これを報告する。

### 2. 搬送ロボットシステム構成

#### 2.1 ハードウェア構成

6輪カート台車を協調搬送可能なロボットとして、Fig.1に示すようなフォーク式のリフトを搭載した搬送ロボットを開発した。横幅395[mm]、奥行635[mm]、高さ560[mm]（積層灯など突起部除く）の本体で重量は約41kgで、後部には横幅170[mm]、奥行200[mm]（リフト挿入部90mm）、上下動作120~220[mm]（ストローク100[mm]）の昇降リフトが取り付けられている。この昇降リフト部を、Fig.2に示すカート短辺側の車輪間前後から2台で挿入し、その後リフトを上昇させる。カート台車の短辺側進入可能幅は自在キャスタの回転領域を避けると約195mmであり、リフト幅170mmの今回の搬送ロボットに要求されるドッキング進入精度は、左右に±12.5mm程度の狭い環境となる。

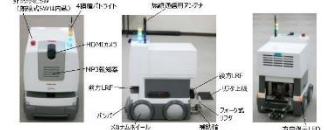


Fig.1 搬送ロボット外観



Fig.2 6輪カート台車の足回り状況

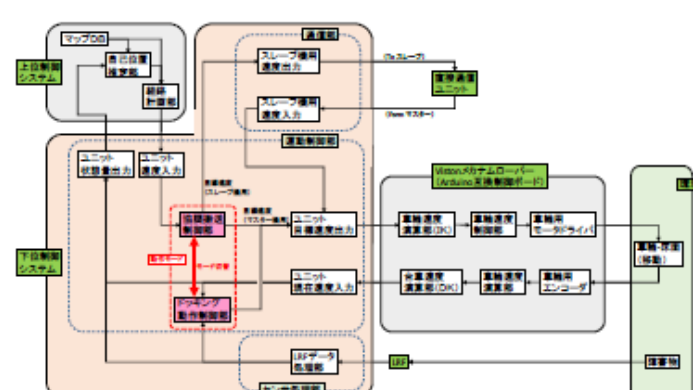


Fig.4 搬送ロボットの移動制御システム全体構成

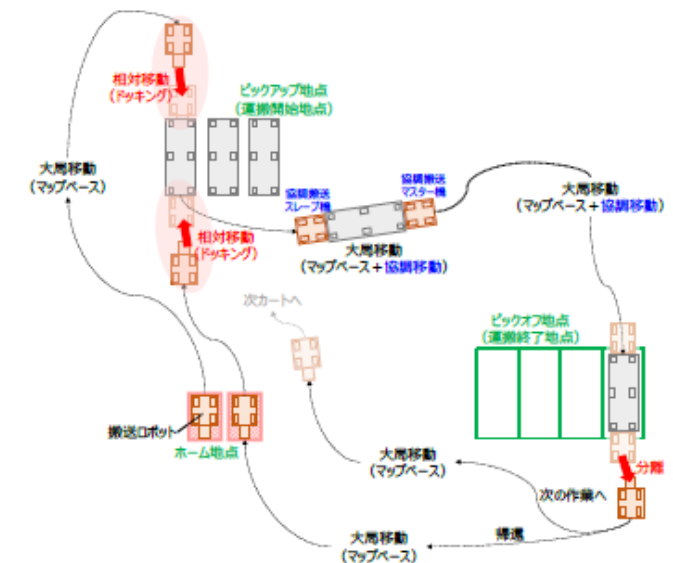


Fig.5 搬送ロボットの作業動作イメージ

01 自律移動ロボット上位系インタフェース

02 移動ロボット協調連携システム

03 今後に向けて

配送ロボットが普及した際には・・・

人や自動車での交通ルールのように

ロボットの走行ルールが必要ではないか？

- ① 空港管制： 全てのロボットを中央管理
- ② 信号機のある交差点： 交通整理のみ行いロボットは自律走行
- ③ 信号機のない交差点： ロボット同士の“アイコンタクト？”で走行

# 移動ロボット上位系インタフェース仕様書

ロボット革命・産業IoTイニシアチブ協議会（RRI）ロボットイノベーションWG(WG3)  
ソフトウェアアーキテクチャ調査検討委員会 移動機能運用管理SWG にて作成中

移動機能



インターフェース仕様書 Version 2.1



2022年6月

ロボット革命・産業IoTイニシアチブ協議会  
ロボットイノベーションWG  
ソフトウェアアーキテクチャ調査検討委員会

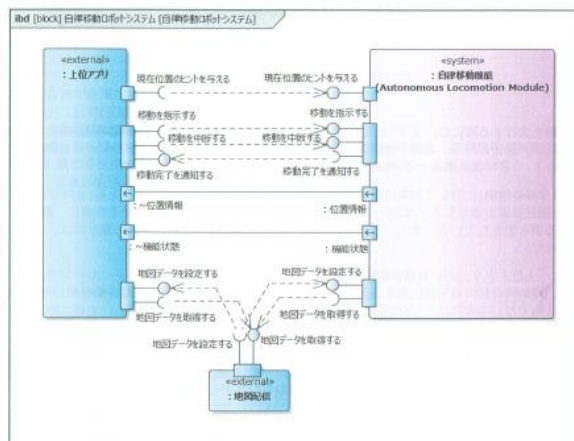
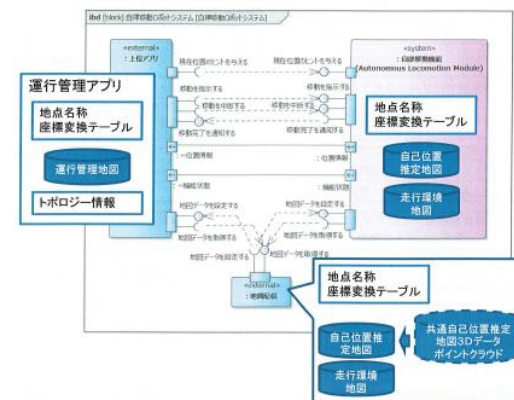


図1 外部インターフェース



図A-1 地図情報の概略

異種移動ロボット間での通信仕様を検討



# 背景技術：多種多様な移動ロボットの共存を実現するシステムアーキテクチャ

IP1-P09

## 多種多様な移動ロボットの共存を実現するシステムアーキテクチャ

System architecture enabling multiple kinds of mobile robots to coexist

- 正 平山 紀之 (東芝)      正 大原 賢一 (名城大)
- 正 安藤 慶昭 (産総研)    正 坂本 武志 (グローバルアシスト)
- 正 武田 浩志 (国際航業)    正 中村 亮介 (日立)
- 正 松井 暢之 (TIS)        正 山岡 允裕 (三菱電機)
- 正 山本 大介 (東芝)        正 吉内 英也 (日立)
- 正 吉光 亮 (IH)

Noriyuki HIRAYAMA, Toshiba Corporation, nori.hirayama@toshiba.co.jp  
 Kenichi OHARA, Meijo University  
 Noriaki ANDO, AIST  
 Takeshi SAKAMOTO, GLOBAL ASSIST Co., Ltd.  
 Hiroshi TAKEIDA, KOKUSAI KOGYO Co., Ltd.  
 Ryosuke NAKAMURA, Hitachi, Ltd.  
 Nobuyuki MATSUI, TIS Inc.  
 Mitsuhiro YAMAZUMI, Mitsubishi Electric Corporation  
 Daisuke YAMAMOTO, Toshiba Corporation  
 Hideya YOSHIOUCHI, Hitachi, Ltd.  
 Ryo YOSHIMITSU, IH Corporation

The evolution of robotics technologies has produced many kinds of robots, for example, cleaning robots, guidance robots, and transfer robots. In the future, these robots will coexist in the same public facilities. Without traffic rules for mobile robot systems, highly qualified technologies must be implemented on mobile robots. Consequently, the robot market will not be expanded. To resolve this problem, RRI (Robot Revolution & Industrial IoT Initiative)'s subcommittee has discussed robot system architecture independent on highly qualified technologies. In this paper, mobile robot system architecture featuring an operation management map and an arbitration function is proposed. This architecture enables multiple mobile robots to run smoothly with each other by relatively simple technologies.

**Key Words:** Autonomous Mobile Robot, System Architecture, Operation Management, Interoperability

### 1. はじめに

ロボティクス技術の進歩とともに、少子高齢化と労働人口の減少による人手不足への対策として、物流・流通・製造など様々な現場へロボット導入による自動化が進んでいる。商業ビル、ショッピングモール等の公共施設では、清掃ロボット、案内ロボット、掃除ロボットなど様々な種類の移動ロボットが稼働することが予想されるので、多数の企業が移動ロボットを製品化することが望ましい。しかしながら、過度に高度な技術が求められると移動ロボットの製品化できる企業が限定されてしまい、ロボット市場が活性化しない。

上述の課題を解決するため、ロボット革命・産業 IoT イニシアティブ協議会 (RRI)・ロボットイノベーション WG (WG3)・ソフトウェアアーキテクチャ調査検討委員会では、ロボットメーカー、インテグレーター、大学、研究機関が集い、丸粒的先進技術で実現可能なロボットシステムのアーキテクチャについて議論してきた。2021年6月に移動ロボットと管理システム間の相互接続性を考慮したインタフェースや地図の仕様を ROBOMECH2021 にて発表し [1][2]、「移動機能インタフェース仕様書 version2.0 (以下 移動機能仕様書)」 [3]として公開した。移動機能仕様書 [3]は移動ロボット本体が備える機能を中心に記述されたもので、道路の交通信号のように移動ロボット同士の衝突を回避する仕組みが考慮されていない。交通信号のない道路で自動車事故を防ぐには、ドライバーの熟練に依存することになり、初心者が自動車を運転するのは困難である。ルールが存在しない移動ロボットの走行環境も同様で、高度な自律移動技術を搭載した移動ロボットでなければ走行することは困難である。本稿では高度な技術が実装されていない、複数種、複数台移動ロボットの円

滑な走行を支援するために、移動ロボットおよび上位の運行管理システムが備えるべきシステムアーキテクチャを提案する。対象とする移動ロボットは自律移動機能をもつロボットに限定し、ライトレーズやマーカ認識により移動するロボットは対象外とする。システムモデリング言語 [4]を用いることで、幅広い研究者・技術者にとって参照しやすい仕様を目指している。

### 2. システムアーキテクチャ

清掃ロボットと配送ロボットのように異なる種類の移動ロボットがビルなど施設内の同一フロア内を走行するユースケースを考える。各移動ロボットは、施設内の業務アプリケーションにより指示された名称の地点へ自律移動するものとする。各移動ロボットに取り付けられたセンサは種類と範囲からの高さが高すぎるとは限らないため、各移動ロボットが自律移動するために参照する走行環境地図、自己位置推定地図は異なることが一般的である。また、センサで検知できる範囲外ではお互いの移動ロボットの位置を検出することができず、見通しの悪い道路では互いに衝突する懸念がある。上記課題を解決するために、移動ロボットの種類に依存しない同一形式の地図と交通整理するための仕組みを提案する。同一形式の地図については、走行環境地図、自己位置推定地図のような物理的特性に依存しない、論理的なトポロジカル・グラフ形式を採用し、運行管理地図と定義する。交通整理するための仕組みについては、運行管理地図内の付加情報として走行ルールを定義し、さらに、交差点において各移動ロボットの走行可否を調停する機能を設ける。

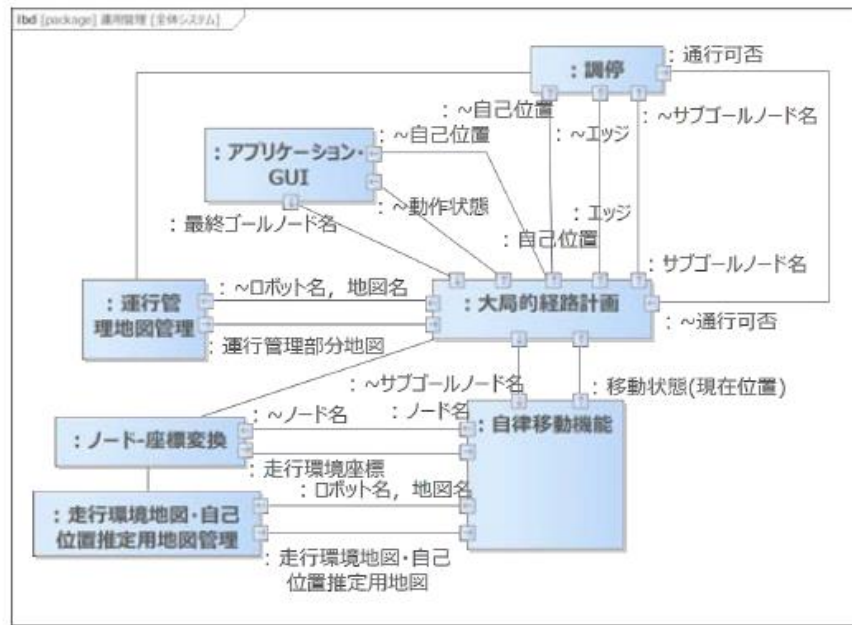


Fig. 1 System architecture enabling multiple kinds of mobile robots to coexist

# 背景技術：サーバ配信型・・・信号機のある交差点・・・

## 5.1 サーバ配信型

サーバ配信型は調停機能が大局的経路計画へ、一方的に走行可否を通知するものである。個々の移動ロボットの状態を認識する必要がなく、実装が比較的容易になるというメリットがある。

サーバ配信型調停機能を利用した移動ロボットの走行について説明する。調停機能は、交差点ノードを中心とし、移動元ノードと交差点ノード、交差点ノードと移動先ノードの2組のエッジを単位として移動ロボットの走行可否を定期的に配信する。交通信号における「直進のみ青」、「右折のみ青」に相当する。大局的経路計画は調停機能から受信した走行可否情報のうち、移動ロボットのノード通過順序に対応する走行可否情報を抽出する。走行可であれば自律移動を開始し、交差点ノード、移動先ノードの順で移動する。走行可であれば移動元ノードにて待機し、走行可に変化したら自律移動を開始する。

調停機能における走行可否切替の判断基準は様々な方法が考えられるが、例えば交通信号のように時間単位で切り替える方法がある。

上述したサーバ型配信機能と4章で述べた大局的経路計画に基づく自律移動を組合せた一連のシーケンス図を図5に示す。

移動ロボットに異常が発生せず順調に移動できるケースでは上記シーケンスで問題ないが、移動ロボットが何等かの障害により交差点ノード付近で立ち往生してしまうと、障害が排除されるまで該当する交差点ノードを他の移動ロボットが走行できなくなってしまう。本課題を解決するために、調停機能に移動ロボットの状態を監視する機能を設けることも可能である。所定の時間内に移動先ノードへの移動を完了できなかった場合、調停機能は大局的経路計画へ非定常要求を送信し、移動ロボットに対して交差点の通過を中止して退避位置へ移動を促すことで、待機中の移動ロボットが移動を開始することができる。

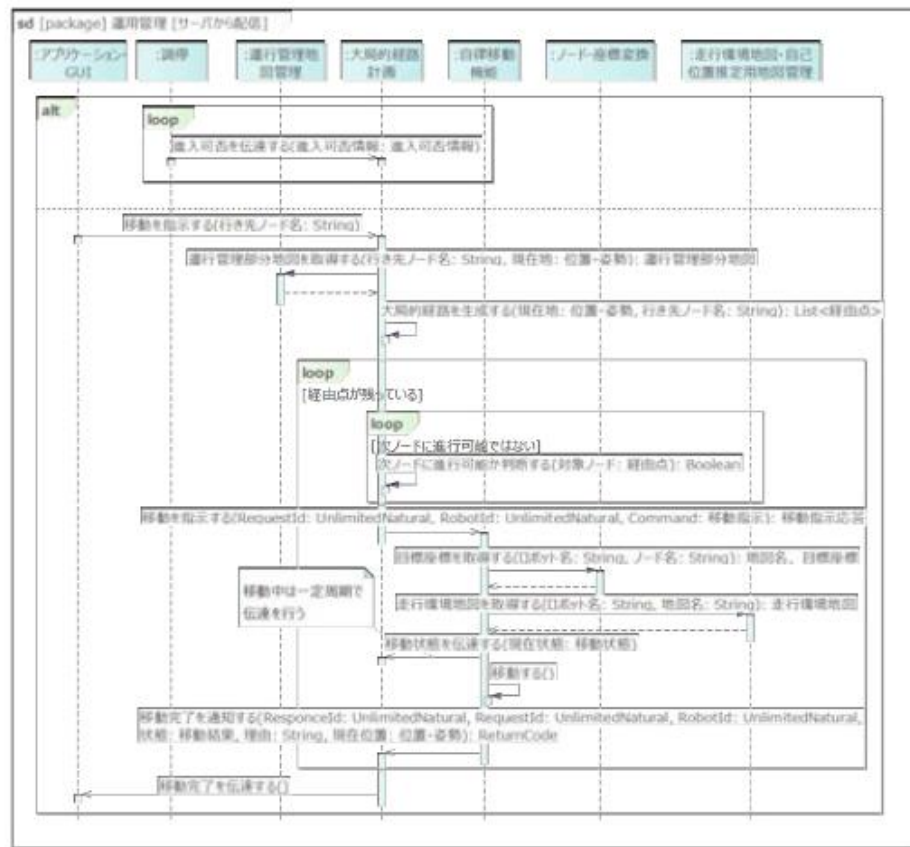


Fig. 5 Sequence diagram of arbitration and autonomous movement functions (publishing type)

# 背景技術：ロボットからの問合せ型・・・空港管制・・・

## 5.2 ロボットからの問合せ型

ロボットからの問合せ型は大局的経路計画から調停機能へ走行可否を問合せるものである。個々の移動ロボットの状態を認識する必要があるためサーバ配信型と比較すると実装が困難というデメリットがあるが、きめ細やかな調停が可能で、システム全体の走行効率向上を期待できるというメリットがある。

ロボットからの問合せ型調停機能を利用した移動ロボットの走行について説明する。調停機能は、サーバ型配信型で定義した、移動元ノードと交差点ノード、交差点ノードと移動先ノードの2組のエッジに加え、ロボットIDを加味して走行可否を管理する。大局的経路計画は調停機能へ移動元ノード、交差点ノード、移動先ノード、ロボットIDの4つの属性を送信する。調停機能は受信した4つの属性を元に走行可否を判定し、結果を大局的経路計画へ応答する。大局的経路計画は調停機能から受信した応答が走行可であれば自律移動を開始し、交差点ノード、移動先ノードの順で移動する。走行可であれば移動元ノードにて待機し、一定時間経過後改めて調停機能へ走行可否を問合せる。応答が走行可に変化するまで問合せを繰り返す。移動ロボットが移動先ノードに到達したら、大局的経路計画は交差点ノードからの離脱通知を調停機能に送信し、調停機能は当該移動ロボットの走行許可を解放する。走行許可を解放することで別の移動ロボットに走行を許可することができる。

調停機能における走行可否切替の判断基準は様々な方法が考えられるが、例えばFIFOのように問合せた順番に移動ロボットに対して走行を許可する方式が考えられる。

上述したロボットからの問合せ型配信機能と4章で述べた大局的経路計画に基づく自律移動を組合せた一連のシーケンス図を図6に示す。

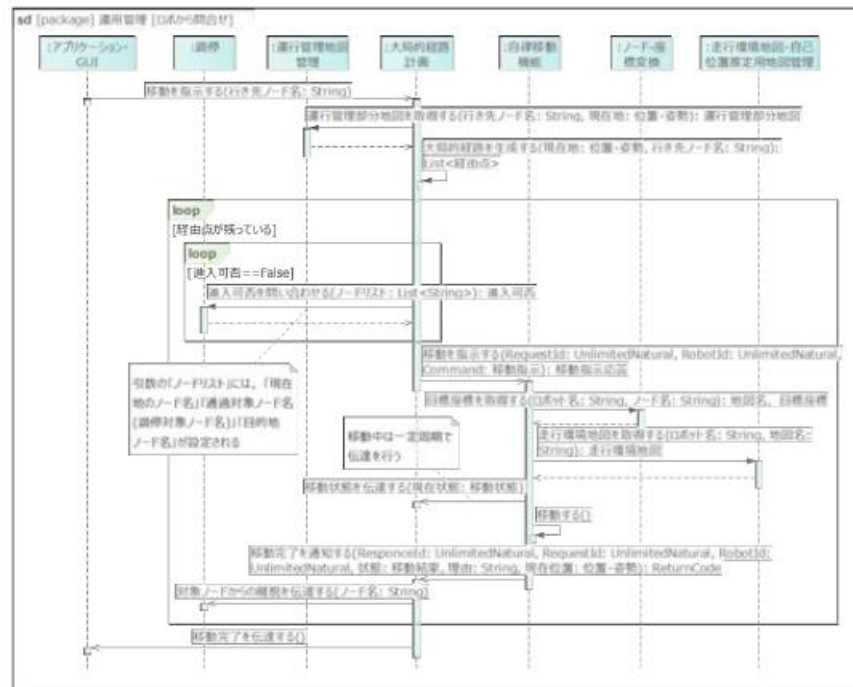
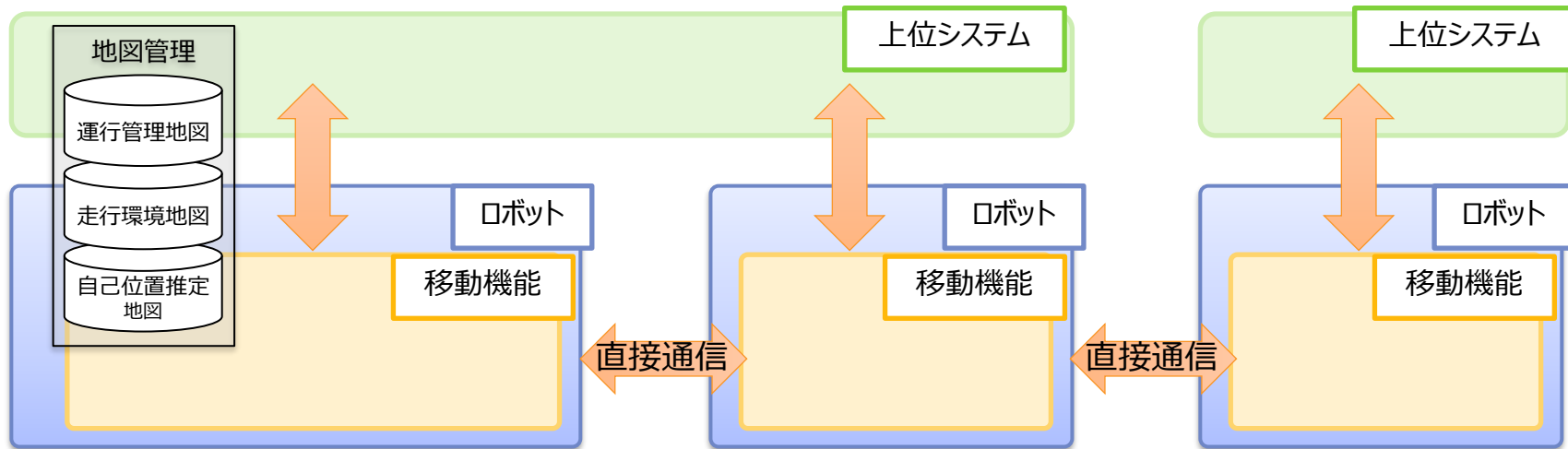


Fig. 6 Sequence diagram of arbitration and autonomous movement functions (query type)

# ～将来のロボット立ち往生問題、解決に向けて～

## 移動ロボット協調連携システム



① 空港管制、② 信号機のある交差点

③ 信号機のない交差点

…標準化が必要…

# TOSHIBA

ご清聴ありがとうございました

本発表の一部は、国立研究開発法人  
新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務の結果得られたものです。