

## 駅構内における 車いす移動支援ロボット の研究



斎藤 武\*



角田 史記\*\*



中川 剛志\*

日本において少子高齢化が社会問題として認識されるようになって久しい。折しも、日本人の少子化の傾向は年々強まり、国内人口は平成17年度からついに減少に転じ、将来の労働力問題は深刻化している。徹底した安全・品質の確保とお客さまへのサービス向上が求められる鉄道事業において、社会的な労働力人口減少の中、従来の業務体系のままこれらを維持・向上させることは困難であり、企業自らの新たな対応策、業務改革への挑戦が求められる。このような背景のもと、当社鉄道事業の業務高質化・効率化・省力化に向けて、フロンティアサービス研究所ではロボット技術の活用による業務支援に関する研究を行っている。本稿では、これまで研究開発を進めてきた、駅構内における車いす移動支援ロボットの開発を紹介する。

●キーワード：ロボット技術、電動車いす、高齢化社会、バリアフリー

### 1. はじめに

JR東日本研究開発センターでは、将来の鉄道へのロボット技術適用に向けた技術開発の推進を目的に、2005年に「ロボット技術適用検討会」を設置し、社内外の有識者による研究会および、実務者によるワーキンググループの中でロボット技術適用可能性について検討を重ねてきた。その中で得られた結論の要約を以下に示す。

＜ロボット技術適用検討会要旨＞

- ・ロボット技術の導入はサービスの付加価値を拡大させる潜在的可能性が高い。
- ・日本にはロボット研究開発スタッフが充実しており、ロボットへの親近感が持ちやすい国民性である。こうした環境を背景に、全世界に先駆けて公共サービスのロボットを実導入すれば、企業価値向上に繋がる。
- ・20年後を本格的導入の時期に据えて、要素技術の発展動向を鑑みつつ、技術開発・安全性などの課題解決に取り組めば、実現可能性は十分にある。
- ・ロボットの実用化には安全に対する社会的受容性の問題がある。今後実用化に向けて、技術的に安全性を高めつつ、残留リスクに対する社会的受容性を高める必要がある。

これら検討会で得られた結論から、当社がサービスロボットの開発に取り組む意義を明確にすることができた。これを受けて、フロンティアサービス研究所では2008年度より、以下の2点をポイントとしてサービスロボット分野の研究開発への取り組みを具体化した。

- ・社会的ニーズが高い「業務支援型」のロボット開発
- ・早期実用化をめざして、比較的实现性の高いロボット技術に絞った開発

本稿では、具体的な研究開発の事例として、車いす利用

者の移動をサポートする「移動支援ロボット」の研究開発を紹介する。

### 2. 車いす利用者の鉄道利用の現状

従来から、車いす利用者が鉄道を利用する場合、駅社員などが駅構内を誘導し、列車に乗降する際には、ホーム～車両間に渡し板を掛けてお客さまの乗降をサポートしている(図1)。車いす利用者にとって、補助を受けながら鉄道を利用することは心理的ストレスとなることが多く、車いす利用者が自律的に鉄道を利用できる環境の整備が求められている。社会のバリアフリー化が進む中、車いす利用者の鉄道利用件数は年々増加しており、当社の首都圏ターミナル駅の中には、車いす利用者の応対を一日平均100件以上行っている駅も増えている。このことから、車いす利用者の誘導・サポートは、駅社員側の労務負担の観点からも課題となっており、改善が求められている。



図1 車いす利用者の降車を補助する駅社員

このような課題に対して、ホーム～車両間の離隔を埋めるため、可動式ステップの開発・導入事例も各社で増えている。しかしながら、当社が保有する駅数、車両数を勘案すると、可動式ステップをホームまたは車両の必要な箇所すべてに設置することはきわめて設備的な負担が大きく、故障時の列車ダイヤへの影響なども懸念されるため、現実的ではない。地上・車両への設備負担を大きくし過ぎず、課題を克服していくためには、車いす側に段差・隙間を克服できる高度な機構を備えることも必要となってくる。

自動車メーカーなど一部の企業では、個人の近距離移動を支援するパーソナルモビリティの開発動向が活発化している情勢がある。パーソナルモビリティには、身体的課題などから外出に制約がある人の行動範囲を拡大することが期待されている。しかしながら、現在提案されているパーソナルモビリティの多くは、鉄道利用は想定しておらず、安全面からさまざまな課題があり、そのまま適用することは難しい。

このような背景から、車いす利用者が駅社員のサポート無しに鉄道利用が可能な車いす移動支援ロボットについてのありべき姿を検討した。

## 3. 車いすのお客さまの自律移動を実現する要件

車いす利用者が駅社員の介助無しで鉄道施設内を安全に移動するには、2つの大きな要件がある（図2）。

一つ目は、物理的な制約、「段差・隙間の解消」である。現在は、車いす利用者が駅構内の移動や車両の乗降を行なう際に、段差・隙間のある箇所では必ず介助のための人手が必要である。二つ目は、情報ネットワークの構築である。車いす利用者がより安全に鉄道を利用するためには、さまざまな場面において安全確認が必要であり、鉄道事業者が車いす利用者をモニタリングできることが望ましい。また、車いす利用者がより安全な移動経路を安心してご利用いただくために、駅ナビゲーションを行なうことも必要と考えられる。これらを実現する方法として、車いす利用者に端末を携帯していただき、端末と輸送管理システムや列車情報制御装置が連携して情報通信を行う方法が考えられる。

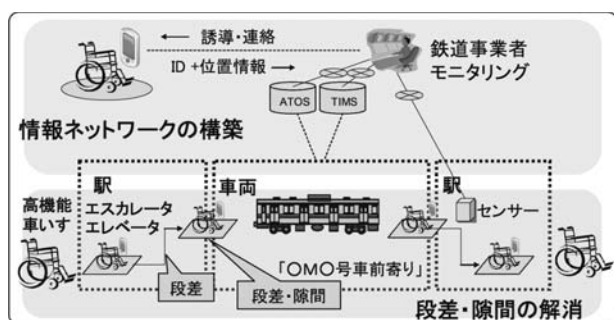


図2 人手を介さない自律的な移動の実現

移動支援ロボットの研究は、図2の「段差・隙間の解消」をめざしている。

## 4. 移動支援ロボットに求められる機構

車いす利用者が鉄道を利用する際には、大きく分類して2ヶ所、移動の障害となる段差・隙間がある。ひとつは駅構内、とりわけ駅コンコース～ホーム間の階段、もう一つはホーム～車両間の離隔である。現在、バリアフリー新法に基づき交通各社の駅構内における段差の解消が進められているが、当社では、2009年度末時点で1日あたりの平均利用者数が5000人以上の駅468駅を対象として、377駅（81%）の段差が解消されている。一方で、列車乗降時に発生するホーム～車両間の離隔に関しては、他社において可動式ステップの導入事例はあるものの、当社が全駅を整備していくことは現実的に難しい。したがって、移動支援ロボットが段差・隙間を解消すること駅構内における車いすの移動をサポートするロボットの開発を行ううえでの最優先課題は、ホームから車両への乗降を安全かつスムーズ実現する機構の開発こととなる。

また、実用化を意識すると、ロボットのサイズ、安全性、乗り心地、コストなどについても配慮が必要となってくる。これらを総合的に検討した結果、移動支援ロボットの開発にあたっての要件を表1のとおり定めた。

表1 移動支援ロボットの開発要件

| 要件                        | 目的                            |
|---------------------------|-------------------------------|
| JIS規格の最大寸法内のサイズとする        | ・現行の電動車いすが移動可能なルートを移動可能にする    |
| 平面走行における効率的な移動機構          | ・現行の電動車いすの走行能力の維持・向上          |
| ホーム～車両間の溝を乗り越えられる         | ・駅社員の労務負担軽減<br>・利用者の心理的負担の軽減  |
| 高信頼度な移動制御手法の確立（安全に対する信頼性） | ・安全の確保（実導入の前提条件）              |
| 座面を常に水平に保持することができる        | ・安全性の向上<br>・乗り心地の維持・向上        |
| シンプルな機構（最小能動軸数・優れた制御性）    | ・低コスト<br>・低故障率<br>・優れたメンテナンス性 |
| さまざまな段差・隙間への柔軟な対応力        | ・カーブのある駅ホームなど、隙間・段差の大きい駅への対応  |

## 5. 移動支援ロボットの設計・試作

### 5.1 機械機構の設計と試作

前項で抽出された要件を満たす移動支援ロボットの設計・試作を行った。

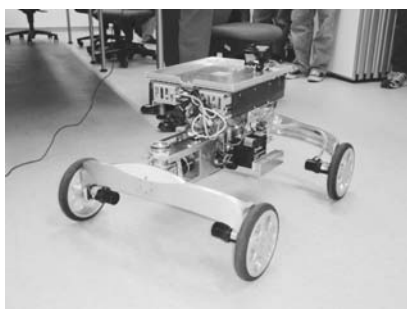


図3 試作した移動支援ロボット

試作したロボットのサイズは、外寸が全長800mm、全幅630mm、全高427mmで、車いすのJIS規格最大寸法の範囲内に収まっている。ロボットは4輪の車輪で構成し、前輪・後輪がそれぞれ脚としての運動性能を併せ持つ脚車輪型とした（図3）。この機構により、従来の車いす同様に滑らかな平面上では車輪の機構で移動の効率性を担保する一方で、凹凸路面や段差・隙間など離隔がある不整地では、脚としての機能を活用して移動する。これは鉄道利用を想定したとき、滑らかな平面の駅構内では、車輪を活用したスムーズな移動を実現し、ホーム～車両間など局所的に段差や隙間がある箇所では脚の機構を活用して安全に離隔を乗り越えられるようにすることが目的となっている。また、利用者の安全確保ならびに乗り心地の向上を目的に、座面は常に水平を保つように駆動する。これらの運動性能を実現する機構を、車輪を除き、5軸の能動軸で実現できるように機械設計を行なった（図4）。能動軸数を最小数に留めることにより、将来的に低コストでの量産、低故障率、優れたメンテナンス性の実現をめざしている。

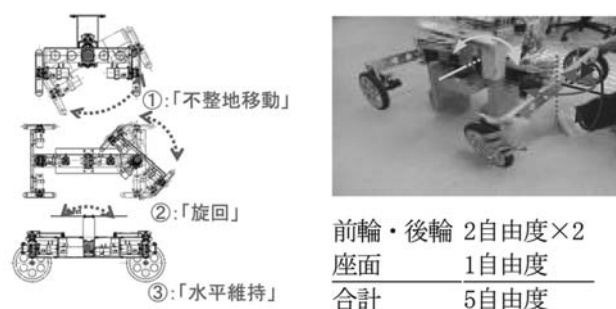


図4 車輪以外の能動軸（5自由度）

## 5.2 制御機構の設計と試作

前項で述べた不整地移動、座面の水平保持を実現するには、各駆動部が複雑かつ正確に連動する必要がある、高度な制御が求められる。また、離隔を安全に乗り越えるには、進行方向前方の地形を事前に把握する必要がある。本研究ではこれらの高度な制御を実現するために、ロボットに「内界センサ」と「外界センサ」と呼ばれる2つのセンサを重ねた。

まず、各軸の角度、角速度、電流生成といった情報の制

御への活用、すなわち、内界センサ情報に基づいた制御設計を行った（図5）。ロボットは各駆動部の角度センサの情報をもとに、ロボット自身の体勢を随時把握することができ、これによって安定した姿勢を保持することが可能となる。さらに、このセンサによって、外部環境のうち車輪が接触している部分の地形を把握する。

次に、進行方向の前方の外部環境を事前に把握するための「外界センサ」として、レーザーレンジセンサを搭載し、路面の溝や障害物の検知を行なえるようにした（図6）。ロボットはこの外界センサによって、進行方向の前方に存在する段差・隙間を検知・測定することで、実際の動作を開始する前に、安全に乗り越えるための移動戦略（脚軌道の計算）を立てる。

こうして、自身の状態把握と姿勢制御には「内界センサ」を用い、外部環境の把握には「内界センサ」と「外界センサ」を重ねる高信頼度な制御手法を確立した。これら機械設計・制御設計に基づいて移動支援ロボットを試作した。

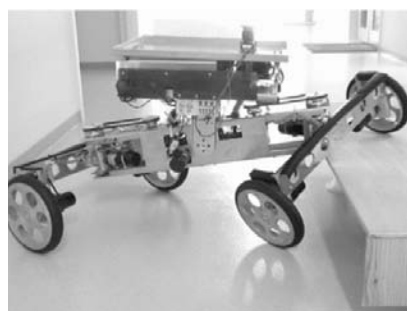


図5 内界センサによる姿勢制御

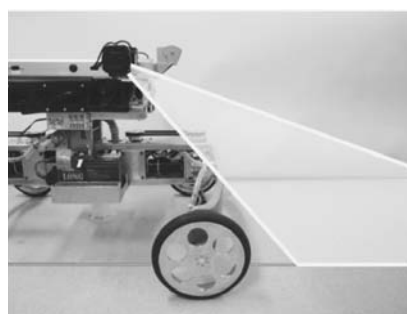


図6 外界センサを活用した外部環境把握

## 6. ロボットの動作実験

### 6.1 実験環境の構築

試作した移動支援ロボットの運動性能を検証するため、動作実験を行なった。はじめに、実験計画を策定するため、評価試験が必要な運動性能の区分を下記のとおり整理した。

- ①滑らかな平面における走行能力
- ②ホーム～車両の乗降能力
- ③連続的な不整地（離隔のない凹凸路面）の走行能力

次に、これらの項目に沿って運動性能を確認するための実験路面の仕様を検討した。実験路面は、駅のホームと車

両を模したものとし、駅ホーム～車両の乗降を中心として、上記3項目の運動性能を確かめられるコースを定め、実験路面を製作した（図7）。

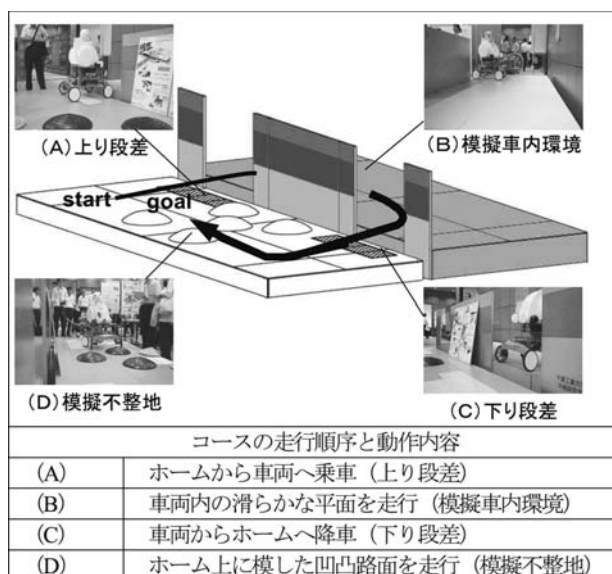


図7 動作実験に用いた実験路面とコース走行順序

## 6.2 実験結果

前項の実験環境において、移動支援ロボットの動作実験を行なった。実験は2日間行い、20分～30分程度のインターバル（充電時間を含む）を挟んで計44回実施した（図8）。実験の結果、ほぼ想定どおりの動作を確認することができた。



図8 動作試験の様子

動作実験の結果から得られた技術的検証結果を以下に示す。

- ・車両～ホーム間の離隔を正確に検知することができた
- ・脚軌道計算（歩容判断）を正確に実行することができた
- ・理論どおりの制御を行なうことができた
- ・高精度な姿勢制御に成功した

以上、実験の結果として、移動支援ロボットのコンセプトモデルとしての基本的な運動性能が認められ、不整地移動ロボットとしての有効性が確かめられた。今後の課題としては以下の点があげられる。

- ・ホーム～車両間の乗降時間の短縮
- ・外乱発生時の安全の確保
- ・車両動揺を想定した離隔の検知・歩容判断
- ・荷重（人）への耐久

## 7. 今後の予定

2010年度以降はこれまでの基盤研究で得られた知見をベースに、人を乗せられる実物大の移動ロボットを試作し、動作検証を実施していく予定である（図9）。

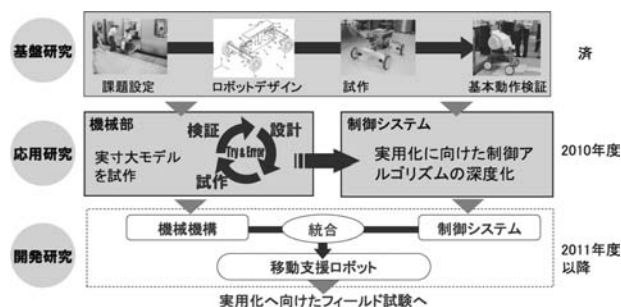


図9 今後の予定

本稿で紹介したコンセプトモデルが基本運動性能の確認が目的であったことに比べると、実物大ロボットの試作はロボットの具体的な仕様を確立していくことが目的となるため、モータ出力、航続距離、安全性、サイズ条件など、多角的な評価が必要である。これらの評価軸においては、多くのトレードオフが生じることが予想され、これらを一つ一つ解消していくことが求められる。また制御方式に関しても、より高度な安全性・信頼性の確立と、無駄のない高効率な動作を実現する高度な制御を同時に実現する必要がある。

今後は将来的なロボット実用化のビジョンに向けて（図10）、ロボットの試作と、Smart Station実験棟における実験を繰り返しながら、最適な移動支援ロボットの仕様詳細を構築していく予定である。

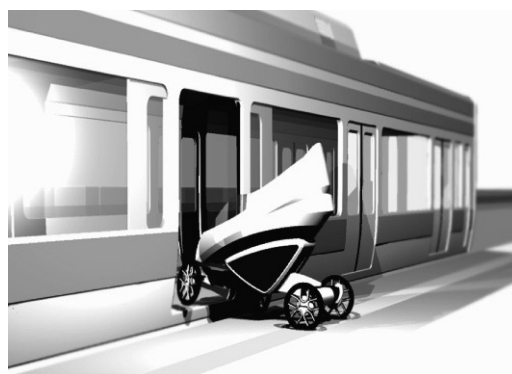


図10 車いす移動支援ロボットの将来ビジョン