

	いけだ ひでとし	
氏名 (本籍)	池田 英俊	(富山県)
学位の種類	博士 (情報科学)	
学位記番号	情博第 224 号	
学位授与年月日	平成 14 年 3 月 25 日	
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当	
研究科, 専攻	東北大学大学院情報科学研究科 (博士課程) システム情報科学専攻	
学位論文題目	複数の車輪型移動機構を用いた協調段差移動に関する研究	
論文審査委員	(主査)	
	東北大学教授 中野 栄二	東北大学教授 猪岡 光
	東北大学教授 江村 超	東北大学教授 内山 勝
	(工学研究科)	(工学研究科)
	東北大学助教授 高橋 隆行	

## 論文審査結果の要旨

### 1 緒言

我が国において在宅の身障者のうち足腰が不自由な人々は 155 万人にも及ぶ。足腰が不自由になる原因としては加齢に伴う筋力の低下，脳障害等の病気や交通事故等が挙げられる。それらが原因で，ある程度以上の障害をもつ肢体不自由者にとって車いすは非常に有効な移動手段である。多くの車いすは操縦性，価格等の理由より後輪駆動の車輪型であり，したがって操舵は左右独立駆動方式となる。車いすは病院，施設，肢体不自由者の住む家庭等に広く存在する最も一般的な補装具の一つである。

肢体不自由者の移動に関しては効果的な車いすではあるが，いくつかの問題点をもつ。その一つは移動環境内に存在する段差である。一般的な車いす利用者の操縦では 5, 6 [cm] 程度の段差でも走行不能になる場合が多い。また，一般の道路は水はけをよくするために路面の中心部が高く，端が低い形状に作られているため，特に手動車いす単体での操縦は容易ではない。さらに車いすの形状的な理由より狭い場所における移動が困難である。他にも悪天候時の移動が難しいことや車のシート，椅子等への移乗が困難であるという問題点をもつ。そのうちの一番大きな問題は生活環境下に多く存在する段差，階段の移動であり，それは移動が困難であるだけでなく，常に転倒という大きな危険が伴う。そのため車いすを利用する人々の移動は介護する人が付き添うか，段差移動を実現する特別な機構を付加しない限り制約されてしまう。車輪型移動機構である車いすが単体で段差を移動するには，特別な機構が必要となる。これまでも，車いすに様々な機構を付加することで段差移動を実現するという主旨の研究は多くなされてきた。しかし，機構の大型化により重量が増え，介護者が取り扱いにくくなる点やコストが高くなるという問題点から，現状では広く一般的に広まっているとは言えない。たとえ一部市販化されている段差や階段の移動を実現する高機能車いすが高価でも，一部の人々にとって非常に有効であることは事実である。しかし，多くの人々にも広く利用される一般の車いすを用いて，なおかつ段差移動も可能な方法というものが必要とされている。

車いす利用者の症状や段差移動の状況等はそれぞれ異なり，特定の手法により全ての車いすの段差移動を実現するより，利用者にさまざまな選択肢を提案することが有効である。そこで，本研究ではシンプル

かつ安価に段差移動を実現する可能性を追求する。本研究の目的は複数の車いすが同時に移動する状況(病院, 福祉施設等)において車いすをパッシブリンクで連結し, 簡単に安定した段差移動を実現する手法を実現することである。

本手法は以下に示す特徴を持つ。

- (1) 車重を持ち上げるための大きなアクチュエータが不要。
- (2) 受動リンクで連結するだけのシンプルな機構で段差移動を実現。
- (3) 2台協調により力学的な安定性を維持。
- (4) 2台の車輪型移動機構を同方向に前後に連結, 意図的に速度差を生じさせ段差移動を行う(図1)。
- (5) 軽く, コスト的にも安価にできる可能性をもつ。

本研究において想定する車いす利用者は上半身がある程度自由に動かせるものとする。また, 対象とする行動領域は計測の結果より摩擦係数 0.5~0.9 の路面とする。その環境において車いす2台の協調により後輪半径と同じ高さの段差を安定して移動できることを具体的な達成目標とする。

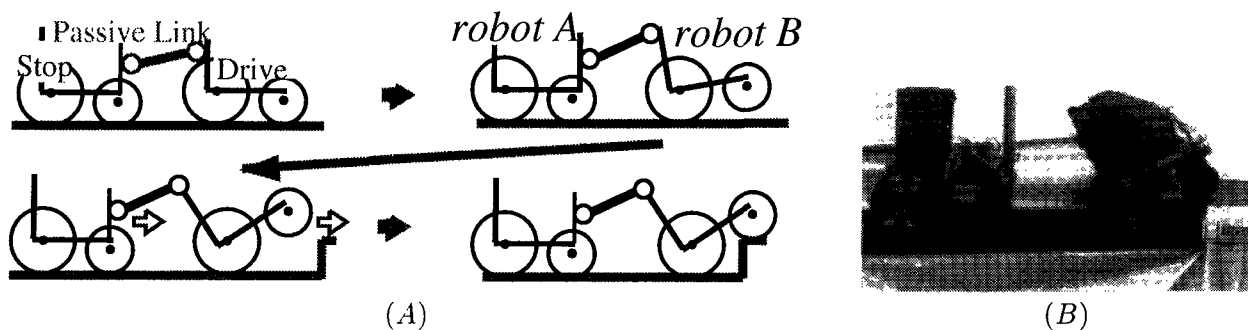


図 1: (A) 速度差を用いた協調段差移動手法, (B) 車いすロボット

## 2 協調段差移動の手法

本研究ではまず, 実際の車いすのスケールモデルとなるロボットを製作し, 車いすロボットを用いて解析を行なう。前方の車いすを *robot A*, 後方の車いすを *robot B* とする。また, 前後の車体の前後輪が段差を登る過程を *stage 1~4* とし(図2), 段差移動の状態ごとに分割して解析を行った。そのプロセスを以下に示す。

[*stage 1*] *robot B* が停止, *robot A* が駆動する。その結果, *robot A* の前輪が持ち上がる。その状態を保ちつつ2台共に前進し *robot A* の前輪を段差の上に乗せる。

[*stage 2*] *stage 1* 終了後, 2台共に前進する。そして *robot B* は *robot A* の後輪を段差に押しつけ *robot A* の後輪の壁からの垂直抗力を増大し, *robot A* の後輪が段差を乗り越える。

[*stage 3*] *robot A* が停止, *robot B* が駆動する。その結果, *robot B* の前輪が持ち上がる。その状態を保ちつつ2台共に前進し, *robot B* の前輪を段差の上に乗せる。

[*stage 4*] *stage 3* 終了後, 2台共に前進する。そして *robot A* は *robot B* を引っ張り *robot B* の後輪の壁からの垂直抗力を増大し, *robot B* の後輪が段差を乗り越える。

本手法は2台を連結するリンクの取り付け高さにより車体に働くモーメントが大きく影響される。よってリンクの取り付け高さに着目して段差移動と静的な安定性の維持が可能である条件を解析した。その結果

から段差乗り越える時には一度、段差を降りる際には二度、2台が停止した状態でリンクの取り付け位置を変更する必要があることが明らかとなった。また、本手法の有効性を明らかにするため、車いすロボット1台での段差移動の理論的境界の解析を行い、その結果との比較、検討を行った。それより、1台では摩擦係数0.9の路面において前輪半径の35.1%の高さの段差が移動限界であったが、本手法を用いることにより前輪半径の178%の段差移動が理論的に可能になることが明らかとなった。

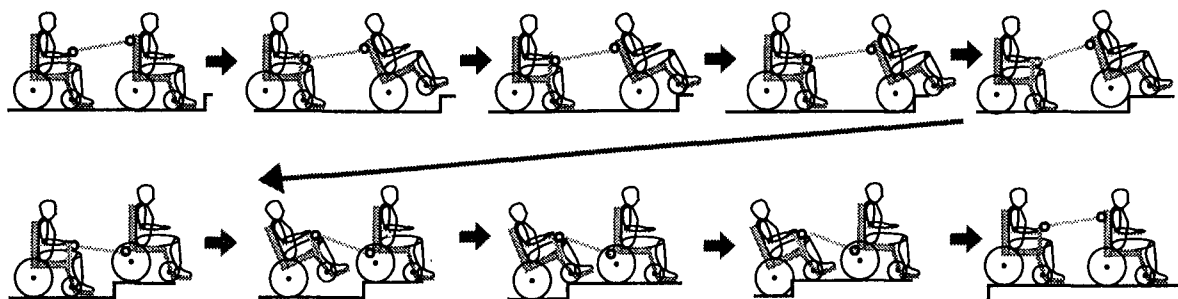


図 2: 段差移動のプロセス

### 3 操縦者の重量の影響に関する考察

実際の車いすを用いた協調段差移動システムの実現に向け、車いすロボットを用いて2台の重量比変化、および操縦者の姿勢変化等の影響の解析を行った。解析の結果、補助側の車いすが相対的に軽い場合に効果的な段差移動が可能となることが明らかとなった。また、段差登りの際に操縦者は前傾姿勢をとるのが効果的で、段差降りの際はシートに体を押しつける姿勢が有効であるという結果が得られた。

### 4 リンクの長さによる影響に関する考察

2台の車いすロボットを連結しているリンクの長さが本手法に及ぼす影響を解析した。これは本手法による協調段差移動に効果的なリンクの長さを求め、リンクの長さの変化のみによる協調段差移動の可能性を探るものである。リンクの長さが短すぎる場合、車体の傾斜時に車体同士が干渉する場合は考えられる。また、長さの変化により全体の力学的特性が変化し、静的に安定した段差移動が不可能になる場合も考えられる。本論文ではリンクの長さの下限と段差移動が可能であるリンクの長さの範囲を解析により明確にし、結果を照合させることで段差移動に適切なリンクの長さを明らかにした。その結果より、本研究で提案する段差移動手法を実現するためにはリンク長が変化するだけでは不十分であり、車いすのリンク取り付け高さを変更することが必要不可欠であることが明らかとなった。さらに、解析結果を用いて車いすの利用者が簡単に自分自身で長さと取り付け位置の高さを変更できるリンク機構を提案、製作した。

### 5 2台の車いすによる協調段差移動の実験

理論解析の結果を基に2台の車いすロボットによる協調段差移動、および手動と電動または両方とも手動の実物の車いす2台を用いた協調段差移動実験を行った(図3)。その結果、理論解析によって求めた条件で実際に協調段差移動が実行可能であることが明らかとなった。

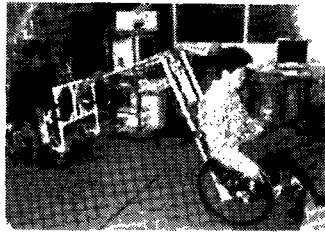


図 3: 手動車いす 2 台による協調段差移動

## 6 人とロボットによる協調段差移動に関する研究

本手法の応用として車いす支援ロボットと車いすによる協調段差移動に関して解析している。これは人間が操作する車いすと人間と共存するロボットとの共同作業を段差移動に焦点をあてて実現することを狙いとしたものである。

車いすは手動であり、車体後方にレバー機構により所定の高さまでの持ち上げが可能な自由回転リンクを備えている。また、操縦者の後方視界確保を目的としたビデオカメラとモニタを装備する。一方、支援ロボットは車いすを極力シンプルな状態に保つというコンセプトの基に設計、製作を行なった。ロボットは車いすに付加されている自由回転リンクを掴むためのグリッパ、ビデオカメラとその映像を送信する FM トランスミッタを装備する。また、ロボットのグリッパが上下移動することでリンクの取り付け高さの移動を行なう。ロボットに装備されるこれらの機構は車いすに装備されるコントローラで制御する。

本論文では車いすと支援ロボットの連結手法と段差移動手法について解析、実験を行なっている(図 4)。連結手法については車いすの搭乗者の操作による連結時の進入角度、横ずれの誤差計測とロボットの自律移動による連結手法の提案、その理論解析、実験を行なった。その結果より、手動連結と自律連結が共にドッキングが可能であった。また、車いすとロボットによる段差移動手法については力学的解析の結果と同様の協調段差移動の実現が可能であることが実験より明らかとなった。

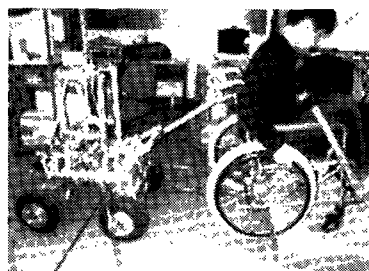


図 4: 車いすと支援ロボットによる協調段差移動

## 7 結言

以上、本論文では 2 台の車いすを自由回転リンク機構で連結するシンプルな構造により安定した段差移動を実現する手法を提案し、解析と実験を行なった。また、その有効性をロボット同士、人間が操作する車いす同士という例で示した。

さらに、人間とロボットが共存する世界における協調のあり方の一例を、車いすとロボットによる協調段差移動という共同作業を例に実現し、人間とロボットという組合せにおいても本手法が有効であることを示した。

## 論文審査結果の要旨

本研究は車輪型移動機構の段差移動に関する研究報告であり、シンプルかつ、安価に段差移動を実現する可能性をもつ段差移動の方法として、2台の車輪型移動機構を自由回転リンクで連結し協調することで安定した段差移動を実現する手法について示している。これは従来の段差移動の研究に多く見られるアクチュエータを付加して単体で移動する手法とは原理的に大きく異なる。本論文では車いすをモデルとしたロボット2台のシステムにより解析と実験を行っている。また、実際の車いす2台を用いたシステムを製作し、実験により提案した手法の有効性を示している。さらに本手法の応用として車いすとロボットによる協調段差移動の解析、実験等についても示しており、全編7章よりなる。

第1章では本論文の背景、関連研究、本研究の概念、基本方針、目的について述べている。

第2章では、2台の車輪型移動機構を自由回転リンクで連結して協調段差移動を行う手法について提案している。また、実際の車いすのスケールモデルとなるロボットを製作し、それを用いて、提案手法の力学的な詳細についても理論的ならびに実験的に検討している。その結果、2台を連結するリンクの取り付け高さを、段差移動の各過程で適切に制御する必要のあることを明らかにしている。

第3章では、実際の車いすを用いた協調段差移動システムの実現に向け、車いすロボットを用いて2台の重量比変化、および操縦者の姿勢変化等の影響の解析を行い、その結果について述べている。本解析の結果、補助側の車いすが相対的に軽い場合に効果的な段差移動が可能となることが明らかとなった。また、段差登りの際に操縦者は前傾姿勢をとるのが効果的で、段差降りの際はシートバックに体を押しつける姿勢が有効であるとの結果が得られている。これらは、本手法をより効果的に利用する上で有用な知見である。

第4章では、車いすの協調段差移動に必要な自由回転リンク機構について述べている。本研究で提案する段差移動手法を実現するにはリンク長が変化するだけでは不十分で、車いすへの取り付け部の高さを変化させる必要があることを示している。さらに、車いすの利用者が自分自身で簡単に長さとり付け位置高さを変更できるリンク機構を提案している。これらは、本提案手法を実用化する上で極めて重要な成果である。

第5章では、2台の車いすロボットによる協調段差移動の実験、および手動と電動または両方とも手動の車いす2台を用いた協調段差移動実験を行い、解析によって求めた条件で実際に協調段差移動が実行可能であることを明らかにしている。

第6章では、本手法の応用として車いす支援ロボットと車いすによる協調段差移動に関して述べている。これは人間が操作する車いすと人間と共存するロボットとの共同作業を段差移動に焦点をあてて実現することを狙いとしたものである。車いすの搭乗者の操作でロボットと車いすは精度の高いドッキングが可能であることを実験により明らかにし、さらに、力学的解析の結果と同様の協調段差移動が実現できることを新たに開発した実機を用いた実験で示している。これらは段差移動の研究として、また、人間とロボットの協調作業として非常に重要な成果である。

最後に第7章で結論と今後の展開について述べている。

以上、本論文では複数の車輪型移動機構を自由回転リンク機構で連結するシンプルな構造により安定した段差移動を実現する手法を提案し、解析と実験によって本手法の有効性を示した。また、人間とロボットが共存する世界における協調のあり方の一例を、協調段差移動という共同作業の実現により示した。以上の成果は車輪型移動機構の移動能力や福祉機器の機能向上ならびに情報科学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(情報科学)の学位論文として合格と認める。