

氏 名 (本 籍)	藤 原 浩 幸 (岩 手 県)
学 位 の 種 類	博 士 (情 報 科 学)
学 位 記 番 号	情 博 第 78 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 10 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	車 輪 型 移 動 ロ ボ ッ ト の コ ン プ ラ イ ア ン ス 利 用 に よ る 不 整 地 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 講 師 高 橋 隆 行

## 論 文 内 容 要 旨

### 第 1 章 序 論

本論文の背景と目的を述べる。

本研究の目的は不整地移動のための機構を持つ車輪型移動ロボットを開発し、不整地走行を実現することである。その対象は車輪半径より高い段差である。不整地移動のための機構を持つ車輪型移動ロボットの過去に行われた他の研究では不整地移動のための機構が複雑であったり、特殊な車輪が用いられている。そこで、本研究では、できるだけ簡単な機構で特殊な車輪を用いずに不整地移動の実現を目指す。その方針として次の点に重点をおいた車輪型移動ロボットの実現を行う。

1. 特殊な車輪を用いない。
2. できるだけ簡単な機構を用いる。
3. 車輪径より大きな障害物を移動する。
4. 車輪-路面間のできるだけ大きな摩擦力を得る。

不整地移動のための機構としては、2次元平面内において前後2車輪のモデルを考え、その前後輪間に簡単なばね機構を導入した。本論文では、車輪径より高い段差を対象にその移動を実現するため理論的な考察を行う。

### 第 2 章 車輪型移動ロボットによる不整地移動

本章では車輪型移動機構によって不整地を移動する場合の基本的な考察を行う。できるだけ簡単な機構・制御で不整地を走破できるよう、また、既存の自動車の技術を利用できることなどから、4車輪の自動車型のモデルを考える。ただし、解析には二次元平面内の前後2車輪のモデルとして考える。

まず車輪が進行方向に受ける力に関して指標を設ける。そして、車輪と地面との接触角度を接地角として定義し、その接地角によって車輪型移動ロボットの不整地移動のしやすさを指標を設けて評価する。そこで、車輪半径より高い段差は車輪型移動ロボットにとって移動困難な環境であることが示される。そのような環境を移動できることは不整地走破性が高いといえる。

車輪型移動ロボットが車輪半径より高い段差を移動する際の問題を指摘する。一つは、形状の問題、もう一つは力学

的な問題である。形状の問題を解決するために、段差移動するための車輪型移動ロボットの形態に関して幾何学的考察を加える。その形状は本体の最前部に車輪を配置し、本体中央部は段差角に接触しないように高くする必要がある。

力学的な問題を考えるとき重要となるパラメータは、段差を上昇する車輪（以後上昇車輪と略し、残りの車輪を駆動車輪と略す）の段差壁面への押付力である。押付力が大きいとき段差壁面と上昇車輪の間に大きな摩擦力を発生することができ、段差壁面を上昇することが可能である。この押付力を得るために、前輪と後輪の間にばねを用いた機構を採用する。

### 第3章 ばね機構を持つ車輪型移動ロボット

本研究で製作した車輪型移動ロボットと計測装置について述べる。車輪型移動ロボットは第2章で述べられた車輪半径より高い段差を移動するために必要な形状と性能を備えており、また、計測装置は理論を検証するために十分なものであることを実験により確認している。

### 第4章 ばね機構の効果

本章では、前輪と後輪の間に設けられたばね機構の効果について述べる。その効果で大きなものは3つあり、“駆動車輪のスリップの抑制”、“押付力増大に関する動的効果”、“押付力持続時間の延長”である。

駆動車輪のスリップの抑制については、ばね機構の受動的効果だけでなく、制御によってスリップを抑制する方法を提案する。この方法に駆動車輪が発生する駆動力を有効に活用できることが実験によって確認する。

“上昇車輪の段差壁面への押付力が持続する時間  $T_s$ 。”を指標として、段差移動に最適なばね定数を選択する方法を提案する。シミュレーションによってそのばね定数は無次元化した値で40(実機では1000[N/m])付近であることを示す。その選択したばね定数を用いて、“車輪機構とばね機構”のみの構成によって前輪、後輪の段差移動を実現する。

### 第5章 付加機構の追加による段差移動性能の向上

本章では、“車輪とばね機構”のみの構成では移動できなかった環境の移動を実現する。そのために、ばね機構の他に新たな付加機構を設けることを検討する。具体的な手法として、ロボット本体の一部を本体に対して移動させる分離荷重移動法を提案する。これはロボットの本体の一部を重心に対して水平移動できるようにし、車輪型移動ロボットの段差移動の性能向上に利用することである。分離荷重を移動することによって得られる効果は、“重心の移動による上昇車輪の鉛直下向きの力の軽減”と“動的な移動反力の押付力への利用”である。シミュレーションにより分離荷重は駆動車輪側に水平移動させると上昇車輪を上昇させるために必要な力を軽減できることを示す。また、分離荷重を水平移動する際に発生する移動反力を押付力として利用することにより、“車輪とばね機構”のみの構成ではできなかった小さい摩擦係数でも段差移動できることをシミュレーションと実験によって示された。

### 第6章 結論

本論文の目的は不整地移動のための機構を持つ車輪型移動ロボットの実現である。不整地としては、非常に移動困難な車輪半径より高い段差を対象とした。2次元平面内において前後2車輪のモデルを考え、その前後輪間に簡単なばね機構を導入し、段差移動を実現するため理論的、実験的な考察を行った。

車輪型移動ロボットが車輪半径より高い段差を移動する際の形状の問題、並びに力学的問題を解決する方法を提示し、車輪型移動ロボットの製作を行った。その大きな特徴は前輪後輪の間にばね機構を持つことである。

本研究で採用したばね機構には次のような3つの大きな効果があることを理論的、実験的に検証した。

1. 駆動車輪のスリップの抑制
2. 押付力増大に関する動的効果
3. 押付力持続時間の延長

駆動車輪のスリップの抑制については、ばね機構の受動的効果だけでなく、制御によってスリップを制御する方法を検討した。

“上昇車輪の段差壁面への押付力が持続する時間  $T_s$ 。”を指標として、段差移動に最適なばね定数を選択する方法を

提案し、選択されたばね定数を用いることによって、車輪とばね機構のみの構成によって段差移動を実現した。

“車輪とばね機構”のみの構成では移動できなかった環境の移動を実現する方法について検討した。そのために、ばね機構の他に新たな付加機構を設けた。その設計方針を述べ、具体的な手法として、ロボット本体の一部を本体に対して移動させる分離荷重移動法を提案した。これはロボットの本体の一部を重心に対して水平移動できるようにし、車輪型移動ロボットの段差移動の性能向上に利用することである。移動することによって得られる効果は、“重心の移動による上昇車輪の鉛直下向きの力の軽減”と“動的な移動反力の押付力への利用”である。これらの効果により、“車輪とばね機構”のみの構成では移動できなかった小さい摩擦係数でも段差移動できることをシミュレーションと実験によって示した。

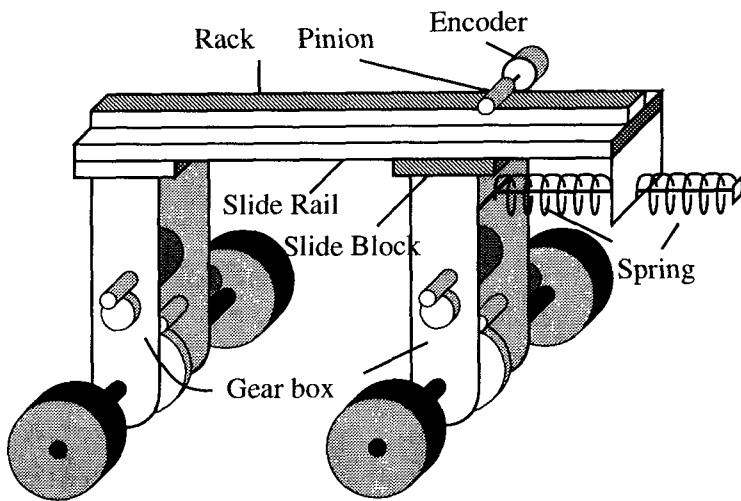


図1：不整地ロボットの概略図

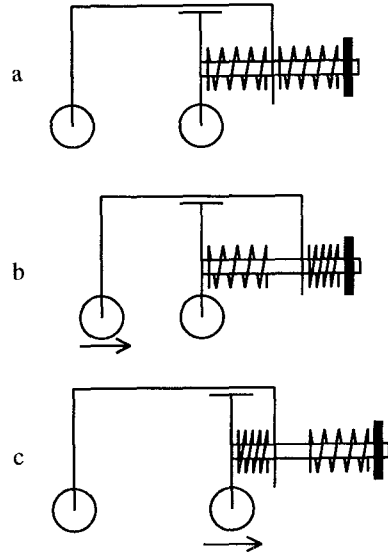
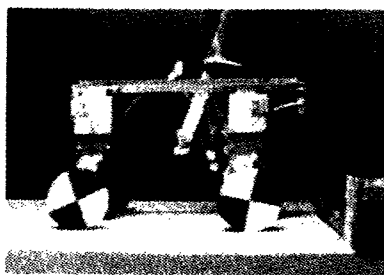
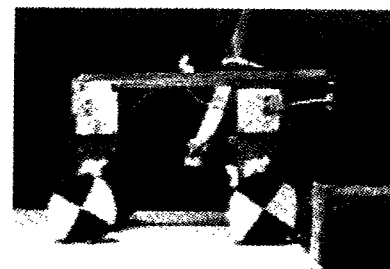


図2：ばねの働き

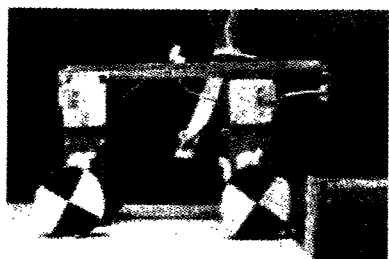
前輪の  
登り上がり



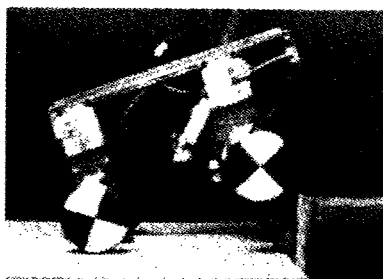
a



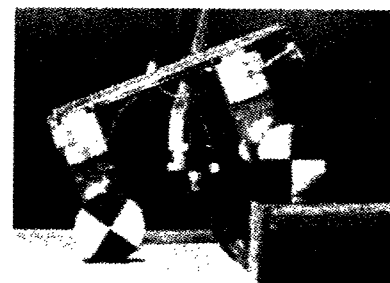
b



c

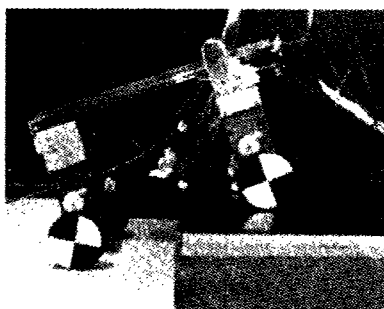


d

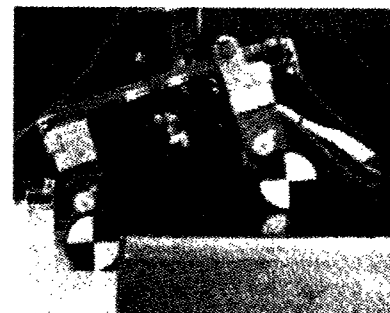


e

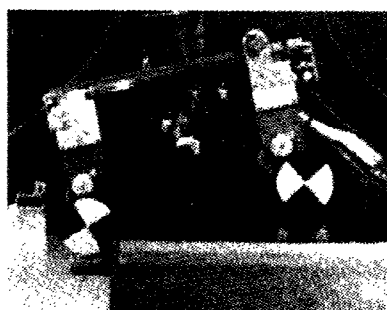
後輪の  
登り上がり



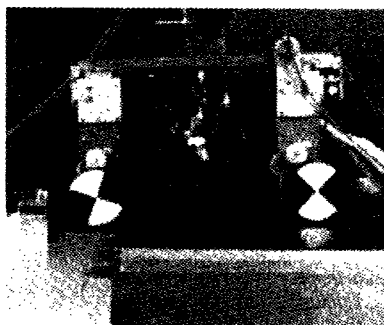
f



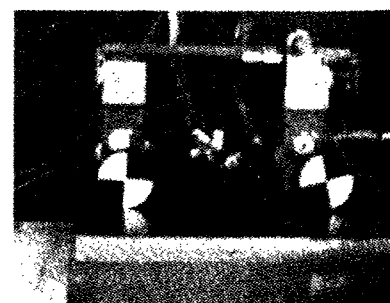
g



h



i



j

図3：車輪型移動ロボットの段差移動の様子

## 審査結果の要旨

ロボットの移動範囲が広がるにつれ、ロボットの移動を想定した整備がなされていない屋内・屋外環境であっても、自由に移動できる機能の重要性が高まってきている。さらに、移動ロボットの連続稼働時間や信頼性などを考慮すると、可能な限り移動効率がよく、簡単な機構や制御でロボットを構成できることが望ましい。本研究では、特に、車輪型移動ロボットにとって極めて移動が困難である車輪半径より高い段差を移動する問題を取り上げ、車輪型移動ロボットにコンプライアンス機構を採用することにより、その実現を試みた。本論文は、提案した手法の有効性を理論的、実験的に検証したものであり、全編6章よりなる。

第1章は序論であり、本論文の背景と目的を述べている。また、不整地移動のための機構を持つ車輪型移動ロボットに関する従来の研究を、詳細に検討している。

第2章では、車輪半径より高い段差を移動する原理について、理論的に検討を行っている。このとき重要となるパラメータは、段差を上昇する車輪（以後上昇車輪と略し、残りの車輪を駆動車輪と略す）の段差壁面への押付力であることを指摘している。そして、押付力を得るために、前輪と後輪の間にばね機構を挿入することを提案している。これらの指摘は、車輪機構による段差移動の問題に関して、極めて示唆に富むものである。

第3章では、本研究で製作した車輪型移動ロボットと計測装置について述べている。製作した車輪型移動ロボットは、第2章で述べられた車輪半径より高い段差を移動するために必要な形状と性能を備えていること、また、計測装置は理論を検証するために十分なものであることを実験により確認している。

第4章では、前輪と後輪の間に挿入したばね機構の3つの大きな効果、すなわち“駆動車輪のスリップ制御”、“押付力増大に関する動的効果”、“押付力持続時間の延長”を指摘した上、それらについて理論的および実験的に考察している。また“駆動車輪のスリップ抑制”については、ばね機構の受動的効果だけでなく、制御によってスリップを抑制する方法についても検討し、駆動車輪が発生する駆動力を有効に活用できることを述べている。さらに“上昇車輪の段差壁面への押付力が持続する時間”を指標として、段差移動に最適なばね定数を選択する方法を提案し、“車輪機構とばね機構”のみの構成によって、前輪と後輪のそれぞれが段差移動できることを実験的に確認している。これらにより、本手法は、実用性に富む優れた方法であることを明らかにし、その理論的および実験的な考察は高く評価できる。

第5章では、ばね機構の導入のみでは移動できない環境の段差移動の実現について考察している。すなわち、ばね機構に加えて、ロボット本体の一部を本体に対して移動させる分離荷重移動法を提案し、例えば、摩擦係数の小さな環境においても段差移動が可能となることを、シミュレーションと実験により確認している。提案された分離荷重移動法は斬新であり、ばね機構の導入とあわせて、車輪型移動ロボットの段差移動を可能にする実用的な手法として高く評価できる。

第6章では、本論文の結論を述べている。

以上要するに本論文は、車輪型移動ロボットにばね機構を導入することを提案し、これまで移動困難とされてきた車輪半径より高い段差の移動を可能にしたこと、さらにその移動メカニズムの詳細な検討過程において得られた結果は、車輪型移動ロボットの不整地移動法に関する重要な知見や示唆を有するものであり、ロボット工学や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。