

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24年 5月 30日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560269

研究課題名（和文）

全方向移動機能を有する自動車型電動車の操縦システムと制御に関する研究

研究課題名（英文）

Operation System and Control of an Omnidirectional Car-like Mobile Base

研究代表者

和田 正義 (MASAYOSHI WADA)

東京農工大学・大学院工学研究院・准教授

研究者番号：80406537

研究成果の概要（和文）：

全方向移動機能を有する自動車型の移動装置に対してハンドルやペダルといった従来の自動車の操縦装置を装着し、その運転を行うシステムを検討した。従来の全方向移動機構は3自由度の指令値が必要であるが、自動車の運転装置はハンドルによる操舵角の指定と前進方向速度の2自由度しか指令を与えることができない。

そこで全方向移動の移動特性を活用した運動制御のひとつの方法として、ドリフトのような車輪の滑りを含んだ自動車の動的挙動を制御装置で計算し、その計算結果に基づいて全方向移動機構の制御を行う方法を提案し、この実現性について検討を行った。

実験を行うための試作車両を設計製作し、車両の動力学モデルの計算結果に基づき、全方向移動制御が実現できることを確認した。

研究成果の概要（英文）：

We have studied how to control an omnidirectional vehicle equipped with standard operation devices such as a steering wheel and gas/break pedals for driving the vehicle. Conventional omnidirectional vehicles need motion commands in 3DOF, x, y, and an orientation z, however standard operation devices can give 2DOF motion commands to the vehicle.

We have proposed a motion control method for omnidirectional vehicles which based on calculations of a dynamic model of the vehicle with wheel slips, such as “car drift”. The dynamic behaviors including side slips of the wheel can be realized by the omnidirectional mechanism.

To verify the availability of the proposed system, we have designed and built a personal omnidirectional mobile platform with active-casters. The prototype vehicle performed dynamic behaviors including wheel slips based on the vehicle dynamic model.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
2011年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学，知能機械学・機械システム

キーワード：(1)機械力学・制御 (2)知能機械 (3)制御工学 (4)電動車

1. 研究開始当初の背景

本提案では「全方向移動機能を有する自動車型電動車の操縦システムと制御に関する研究」について、電池をエネルギー源とし、電動機により走行する全方向移動が可能である自動車型車両について、その操縦システムと車両制御に関する研究を課題とする。

今後ますます加速する少子高齢化社会において必要となると考えられる、パーソナルモビル（車椅子、シニアカーなどの類）はロボット分野の一部である移動ロボット技術を適用することで、その操縦性の良さ、および高い安全性を確保することができる。そのなかでもとりわけ自動車は社会に広くかつ深く浸透し、ほとんど万人と言っても良いほど様々な人が運転するシステムであり市場規模としても一番大きい。例えば縦列駐車などのように運転の難易度が高い操縦も存在し、このことにより高齢者などは運転を敬遠する場合も考えられる。自動車の機構としては、その移動機構は前輪に操舵の機能を持たせ、後輪、もしくは前輪に推進のための駆動機能を持たせたものであり、基本構造は長年変化していない。一方、システム的には、近年における環境問題の後押しもあり、電気モータを駆動源とする自動車が注目され、開発も加速してきており、ますますロボットの制御技術の適用が可能となってきた。

このような背景に加えて新しいモビリティを追求する流れで、日産自動車の PIVO や、トヨタ自動車の Fine-X などが試作レベルであるが開発され、モーターショーなどで公開されている。これらは、4つ車輪の向きをそれぞれ独立に変更できる機能を搭載しており、すべての車輪を横方向にすることで、縦列駐車のための移動を簡単にしたり、またハの字形にすることで、その場旋回なども可能となる新しい機構を採用している。しかしながら、この機構と駆動方式では、運転者が車輪の向きの変更時間を待つ必要があり、さらに、どのような車輪の状態であるかを意識していなければならない。これは、運転者が車両の構造とその機能を理解しなければ運転できないことになり、高齢者の従来車両からの乗り換えの障害になると考えられる。

これに対して本研究開発においては、全方向移動（学術的にはホロノミックな全方向移動）の移動特性をその中核としており、この機能により提供される運動の自由度と、容易な操縦性を特徴としており、上述のシステムとは一線を画するものである。具体的には、上述したような運転者による車両構造の理解や、車輪の向きの意識などは一切必要とせず、移動したい方向と速度を指令するのみで、待ち時間がなく即座に指令通りの動作を開

始するといった特徴がある。これはキャスト型の駆動輪を持つ構造によるもので、研究申請者の提案するオリジナルの駆動システムである。

このような非常に優れた運動特性を有するものの、ハンドル、アクセルあるいはブレーキを用いた従来の操縦装置を用いた全方向移動の指令方法についてはこれまで十分に研究されておらず、ユーザーフレンドリーな方式を確立することが必要となっている。さらに、自動車の高速走行時には全方向移動の移動性能を制限しないと、危険性が增大することも懸念される。これはたとえば高速道路などにおいて、急に旋回運動を指令することを制限するような場合が考えられる。

以上のようなことから本提案では、この全方向移動システムを自動車型の移動車両に適用する場合の課題について検討し、キャスト型の駆動輪を制御する全方向移動機構を主とした、車輪移動システムの制御技術を中心として、これが高齢者を含むあらゆるユーザーにとって簡単、そして安全な運転が可能となるようなシステムの検討を行うものである。

2. 研究の目的

以上のような背景より、特に高速走行時の全方向移動機構の操縦方式と、その機能を生かした制御方式について検討することを本研究の目的とする。このために、以下のような各項目についてそれぞれ目的を述べる。

1) 車両の運動モデルの構築

これまでのロボットの研究では、6km/h 以下の低速の走行を前提としていたために、ロボットの制御には運動学モデル（動力学的要素を含まないモデル）を主に使用する場合が多かった。しかし、今回提案する車両ではより高速度な動作を行わせるために、動力学的要素が考慮された運動モデルが必要になる。このモデルは車両の制御のみならず、危険な状態の予測や、その回避行動の計画にも利用が可能であることから、実時間で計算が可能である運動モデルの構築を行う。

2) 実験車両の設計、製作およびそれを用いた実験

上記で得られる動力学モデルを用いて制御を行う実験車両の設計、試作を行う。これは、人間一人が搭乗、運転できる大きさ、機械的強度を持ち合わせるものにする。移動機能としては、ホロノミックな全方向移動を可能とする。操作用インタフェースとしては、従来の3軸ジョイスティックのほか、従来の自動車用操作装置である、ハンドル、およびアクセル・ブレーキの各ペダルを装備するこ

とを特徴とする。また、屋外での走行も行えるような構成にして、通常の舗装道路の環境において動作させ、実験を行う。

3. 研究の方法

1) 車両動力学モデルの構築

4輪自動車型車両の力学モデルを構築する。今回は、車輪の滑りを計算する必要があるために、タイヤの横滑り角などを考慮し、車両全体の動力学モデルと結びつける。このとき、車両の制御装置内で実時間に計算可能である形式に落とし込むことが必要である。

2) 車両の設計製作

車両の動力学モデルを計算し、その計算結果の挙動を実現する全方向移動車両を設計製作する。全方向移動を実現するための機構として、アクティブキャスタを用いる。

車両の操縦装置としては、通常の自動車を想定し、ハンドル、アクセル・ブレーキペダルを装着し、それぞれの装置の操作量を制御装置に読み込ませる構成とする。

4. 研究成果

1) 動力学モデルの構築とシミュレーション

1-1) スリップの運動モデル

1-1-1) タイヤの横滑り角

図1に示すように、タイヤと路面に作用する力、およびそれに起因するタイヤの横滑り角 α をモデルにて考慮した。

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{lr + V \sin \beta}{V \cos \beta}\right)$$

ただし、

V : 車両速度

r : 車両角速度

β : 車両重心の横滑り角

l_r : 重心から右車輪までの距離である。

1-1-2) 車両の動力学モデル

このタイヤの力学を用いて車両の動力学モデルは以下ようになる。

$$\begin{bmatrix} F_x \\ F_y \\ N \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} \cos \beta & -\sin \beta & 0 \\ \sin \beta & \cos \beta & 0 \\ 0 & 0 & I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{V} \\ V(\dot{\beta} + r) \\ \dot{r} \end{bmatrix}$$

ただし、

M : 車両全体の質量

I : 車両の慣性モーメント

F_x : タイヤが車両の前後方向に発生する力

F_y : タイヤが車両の左右方向に発生する力

N : 重心まわりのモーメント

である。

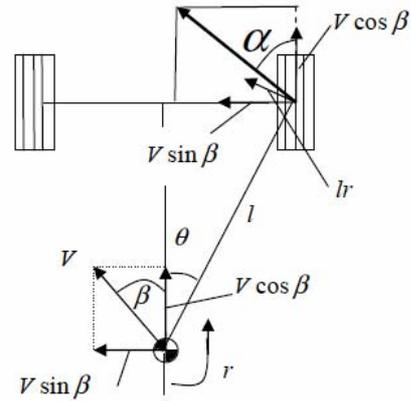


図1：タイヤの力学モデル

1-2) 車両の動力学シミュレーション

前節で求めた車両の動力学モデルを用いて、コンピュータシミュレーションを行った。図2にその結果の一例を示す。ハンドル角、駆動力を一定にし、図中の原点から曲線運動を開始し、徐々に車両を加速するよう計算を行った。このときの車両の旋回動作の軌跡をプロットした。車両の向きを四角で表しており、赤い矢印は車両の速度ベクトルの向きを示している。初めは正常に円旋回をしていくが、スピードが上昇していき遠心力がタイヤの摩擦を超えるとスリップが発生して最終的にスピンしてしまうのが分かる。これより、タイヤの力学を考慮したことにより、車両の運動によりタイヤの滑り現象が計算できることが確認された。

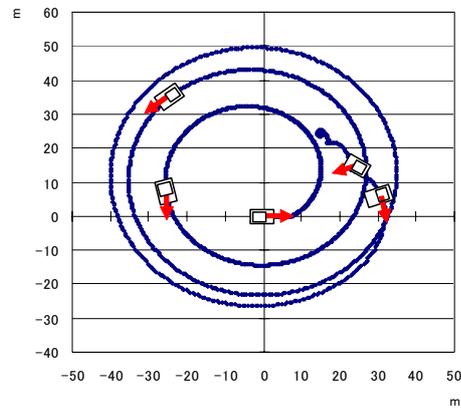


図2：車両の動力学シミュレーション

2) 実験車両の設計製作

全方向移動機能を有するパーソナル型の4輪車両を製作した。図3にその外観を示す。この車両は、後輪の2輪にアクティブキャスタを使用し、合計4つのモータの協調動作により、3自由度の全方向移動を行うことができる。つまり、前後運動、横運動、その場旋回、およびこれらの任意の複合動作である。

車両の上部には、運転席およびハンドル、

アクセル・ブレーキペダルを装備した。これらは、PCのドライブゲーム用のインターフェースとして市販されているものを用いた。

運転者は、運転席に座り、ハンドル、およびペダルを操縦することで、制御装置がその操作に従い、駆動輪であるアクティブキャストを動作させることで、車両が走行を行う仕組みになっている。前輪は受動的なキャストを2つ備える。屋外も走行可能なように、サスペンション機構を搭載した。(図4参照)



図3：全方向移動車両の外観

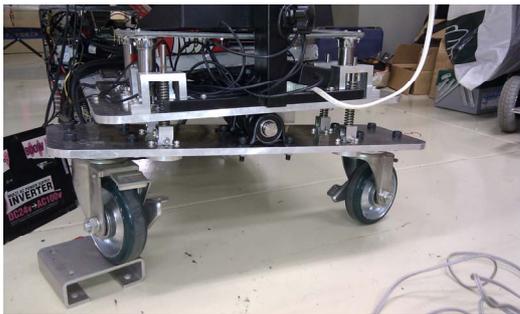


図4：前輪サスペンション部

3) 走行実験

試作車両を用いて、屋外走行実験を行った。実験の様子を図5に示す。実験では、まず、直線的に走行し、途中からハンドルを急激に左右に切り、故意に車両に横滑りが発生するような動作をおこなわせた。直線走行においては、通常の自動車型の車両と同じような動作（つまり、横方向の運動は行わず、旋回中心は常に後輪の軸の延長上に位置する運動）を行う。ハンドルを左右に大きく切った場合には、車両は横に滑るという計算結果になるので、そのときの車両動作を制御装置内にて計算し、その動的挙動を全方向移動機能にて実現するように制御されている。図6に実験結果を示す。タイヤの力学より、タイヤの変形による横方向の速度が発生する。図中、赤い線はタイヤの横方向の最大摩擦力、青い線は遠心力を示しておりどちらもプログラム上で計算された値である。ピンクの点は実際の車両のアクティブキャストのタイヤの向

き、モータの回転速度から測定、計算された車両横方向の速度である。図から分かるように、青い線が赤い線を超えたときに横方向の速度が発生している。つまり、遠心力がタイヤの最大摩擦力を超えたときにスリップが起こっていることを表し、実際の車両においてもシミュレーションと同様の動作をしていることが確認できる。これからタイヤの摩擦限界を超えたとき、タイヤと路面がスリップしたような動作が生成されることが確認できた



図5：屋外走行実験の様子

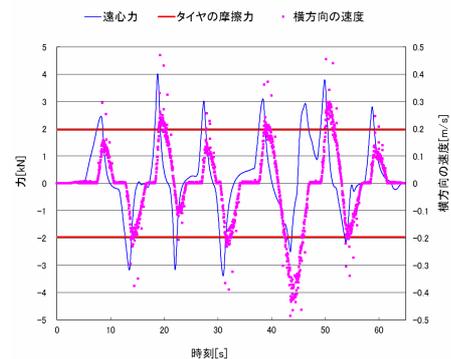


図6：実験結果

4) まとめ

以上のように、通常の自動車型4輪車両のタイヤ滑りを考慮した動力学モデルを構築し、それを用いて、通常のハンドル、ペダルで操縦される車両の全方向移動機構を活用した、動的挙動の動作生成について検討を行った。

まず、タイヤに作用する動的な力について考察を行った。次にタイヤモデルを用いて、4輪車両について、車両の横滑りや、スピントーンの動作も計算できる動力学モデルを構築した。

また、アクティブキャストと呼ばれる独自の車輪機構を用いて、全方向移動機能を有する試作車両を製作した。

試作車両にて、屋外走行実験を実施し、横滑り動作などを含む車両の動的挙動を実現できることを確認した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 3 件)

- [1] 和田正義, 篠崎敏宏 “アクティブキャスタを用いた全方向移動車両の制御, “ 2011 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会論文集、1P1-I07(1)-(4), 2011. 5 岡山県岡山市
- [2] 篠崎敏宏, 和田正義, ” パーソナルビークルのための動力学モデル, “ 第 54 回自動制御連合講演会論文集、2D406(1)-(4), 2011. 11 愛知県豊橋市
- [3] 篠崎敏宏, 和田正義 “パーソナルビークルのための動力学モデル, 2012 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会論文集、1A2-G06(1)-(4), 2012. 5 静岡県浜松市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

和田 正義 (MASAYOSHI WADA)

東京農工大学・大学院

工学研究院・准教授

研究者番号:

80406537

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし