

機関番号：54101

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2010

課題番号：21760175

研究課題名（和文） 次世代電気自動車用インホイール駆動システムに関する研究

研究課題名（英文） Study on new-type in-wheel motor system of electrical vehicle

研究代表者

打田 正樹（UCHIDA MASAKI）

鈴鹿工業高等専門学校・機械工学科・助教

研究者番号：80454437

研究成果の概要（和文）：

本研究は、申請者が提案した新型インホイール駆動システムの性能検証と設計を行うものである。本研究を実施することによって、提案システムを用いた場合では、従来のインホイールモータシステムの欠点であったバネ下荷重増加の問題を解決し、乗り心地や接地性を改善できることが数値シミュレーションより確認できた。さらに、提案システムではモータのトルク反力を用いることで車体のピッチ角変化も抑制できることができ、新たな付加価値を持ったシステムであることが確認できた。一方、遺伝的アルゴリズムを用いた設計法を構築し、それを用いることで、将来の試作検証に向けた基本設計を行うことができた。

提案システムには様々な利点があり、それを用いると環境性能と快適性などを高いレベルで両立する電気自動車を実現できる可能性がある。高性能な電気自動車を提供することで、電気自動車普及の促進に貢献し、地球環境を大きく改善できると考える。本研究によって、提案システムの有効性の確認と基本設計を行うことができたため、今後、試作機を製作し実験的に提案システムの性能を検証していきたい。

研究成果の概要（英文）：

Our purposes of this study are to verify performances of proposed in-wheel motor system and to design the parameter of the system.

From this study, we confirmed that ride quality and road holding is improved by using the proposed in-wheel motor system through the numerical analysis. Moreover, we confirmed that the proposed system has new ability using the reaction force of the wheel driving motor. The ability is that the change in pitch angle has to be reduced.

And we propose the new design algorithm using the genetic algorithm. We design the important parameters of the proposed system such as the spring rates and damping rates by the design algorithm.

The proposed in-wheel motor system has various advantages, and high performance electrical vehicles will be realized using the proposed systems. The global environment will be greatly improved by the promotion of the electric vehicle. The spread of the electric vehicle is promoted by providing the high performance electrical vehicle using the proposed system.

From this study, we verify the performances of the proposed system and design the proposed system by using a numerical simulation. Therefore, our future work is to verify the performances of the system by using the prototype of the proposed system.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,300,000	690,000	2,990,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			

年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学，機械力学・制御

キーワード：インホイールモータ，電気自動車，制御工学，自動車，遺伝的アルゴリズム

1. 研究開始当初の背景

近年，自動車が排出する CO₂ が問題となっている。このことから，電気自動車の研究，開発が盛んに行われており，地球環境改善には，電気自動車の普及は必要不可欠である。現在，電気自動車の普及に向けて，その駆動方法が議論の中心となっており，インホイールモータ機構を用いた駆動システムが注目されている。インホイールモータ機構とは，駆動モータを車輪に搭載したものであり，以下の利点がある。

- (1) 動力伝達機構の大部分が削減でき，動力伝達効率が向上する。これによって，燃費性能が向上し，CO₂ 排出量を削減し環境改善が見込める。
- (2) 動力源が占有していたボディスペースを削減できることで，居住スペースが拡大し，快適性を改善することができる。
- (3) 各車輪に搭載されたモータを独立に制御でき，それらを統合制御することによって，旋回性能などの運動性能の高性能化が可能となる。

以上の利点があるものの，インホイールモータ機構を従来の技術で実現しようとする，車輪へのモータの搭載によってバネ下荷重が増加し，路面の凹凸への車輪の追従性が悪化する。これによって，乗り心地の悪化，さらには，高速走行時における車体の安定性の欠如といった問題が発生する。そこで申請者は，バネ下荷重増加の問題を解決し，電気自動車の次世代プラットフォームの一つとなりうる駆動システムを提案した。ここでそのシステムの構造と動作例を図1に示す。このシステムでは，モータの搭載位置をホイールの同軸上からオフセットした位置に変更し，モータの駆動軸を中心に自由に回転でき

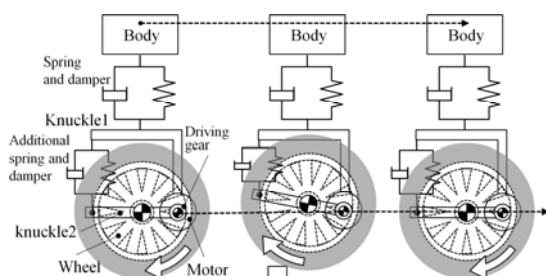


Fig.1 Example of structure and motion of proposed in-wheel motor system.

るナックル 2 を取り付ける。そのナックル 2 にはハブが取り付けられ，車輪はモータ出力軸とホイール内側によって構成される動力伝達機構を介してモータ駆動される。ナックル 2 とモータを固定しているナックル 1 との間に新たなスプリングとダンパを追加し，ナックル 1 と車体との間には従来と同じスプリングとダンパを使用する。ナックル 2 の回転運動とナックル 1 の上下並進運動によって路面の振動を吸収する。

提案インホイールモータシステムにおいて，モータは従来のスプリングとダンパに対してバネ下荷重となる。しかし，新たに追加したスプリングとダンパに対してはバネ上荷重となる。つまり，追加したスプリングとダンパに対してはモータ搭載による質量増加の影響をほぼ無視することができる。この追加したスプリングとダンパによって，従来のスプリングとダンパのみでは吸収できない帯域の振動を吸収する。

以上のように提案システムでは，動力伝達効率の改善とバネ下荷重低減を両立している。さらには，アクティブサスペンションの機能も持ち合わせている。これは，各車輪の駆動モータのトルク反力を利用し，それを制御することで，新たな動力源を追加することなく車体の姿勢制御を実現するものである。本研究では，提案システムを搭載した電気自動車実現の第一歩として，数値シミュレーションによって提案システムの有効性を検証し，その設計手法を確立する。

2. 研究の目的

本研究目的は以下である。

- (1) 提案システムの有効性を明らかにする。
- (2) 提案システムを用いた電気自動車の制御手法と提案駆動システムの構成要素の設計手法を構築する。

3. 研究の方法

上記目的を達成するために以下を行った。

- (1) 数値シミュレーションを用いて，提案システムの有効性の検証を行う。具体的には，提案システムの種々の路面に対する振る舞いを解析する。
- (2) 上記 2 のシミュレーションモデルにモータ制御系を追加したモデルを構築し，それを用いて提案システムの設計手法を構築する。

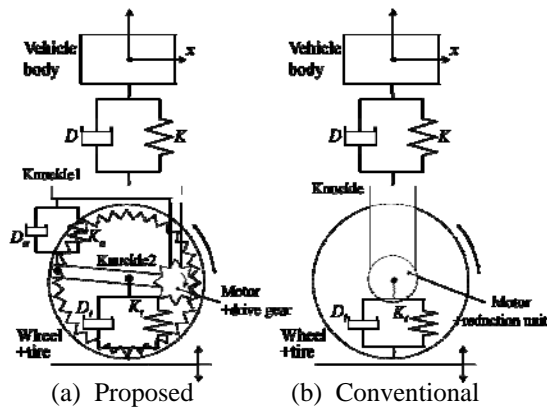


Fig.2 Analytical models of proposed and conventional systems for simple analysis.

Table 1 Parameters of analytical models.

Parts	Mass (kg)	Parameters	Values
Vehicle body	250	K (N/m)	19620
Knuckle1	15	K_t (N/m)	294000
Knuckle2	8	K_a (N/m)	19620
Motor	20	D (N·m/s)	2000
Knuckle	15	D_t (N·s/m)	10000
Wheel and tire	17.5	D_a (N·s/m)	2000

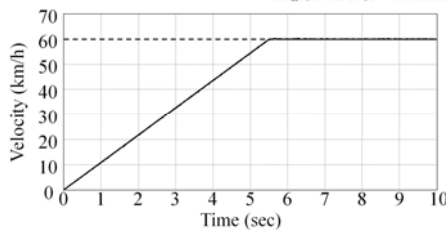


Fig.3 Velocity of vehicle.

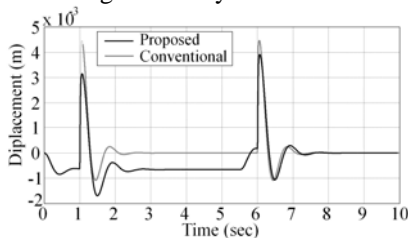


Fig.4 Displacement of vehicle body.

4. 研究成果

<提案システムの有効性検証に関する成果>

数値シミュレーションによる詳細な解析を行うにあたり、提案インホイール駆動装置と従来のインホイール駆動装置の物理モデルに対して簡単な運動方程式を基に、車体の上下変位を比較検証することで、提案システムが従来型より原理的に振動吸収性能が高いことを確認した。次に、図2に示すシミュレーションモデルとモータ制御系を構築し、汎用機構解析ソフトウェアを用いて数値シミュレーションを行った。ただし、シミュレーションモデルのパラメータは表1に示すものを用いた。ここで、目標の車速を60km/hとし、インパルス状(0→40mm)の路面の凹凸の変位を与えた場合の車体の水平

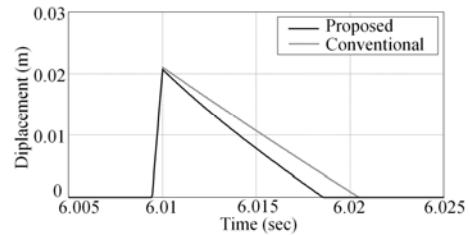


Fig.5 Displacement between tire and road surface.

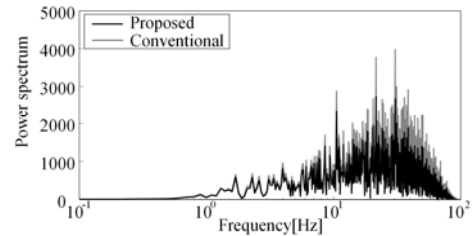


Fig.6 Power spectrum of acceleration of vehicle body.

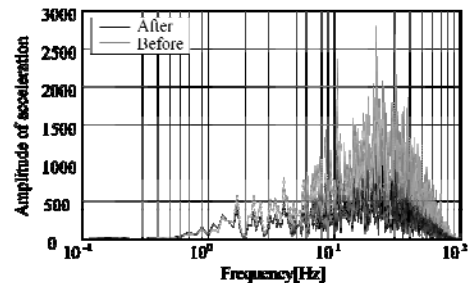


Fig.7 Results of frequency analysis.

方向の速度を図3に示す。また、車体の上下変位を図4に示す。図4より、提案システムでは従来システムと比べ最大振幅が小さくなっていることがわかる。一方、このときの路面とタイヤとの間の距離を図5に示す。距離0mは路面に対してタイヤが接地していることを示す。図5より、提案システムでは従来システムと比べ、速やかに接地していることがわかる。

次に路面の凹凸の変位を離散 Gaussian noise(周波数 0~100Hz, ±20mm)とし、提案システムを用いた場合の車体の上下加速度の周波数解析結果を図6に示す。図6より、提案システムでは従来システムと比べ、ほぼすべての周波数帯域で振動が低減できていることがわかる。

以上のシミュレーション結果から、提案システムでは、乗り心地を改善できるだけでなく、接地性も改善できることがわかる。接地性の改善は動力伝達効率の改善、車両の安定性改善などの点で有効である。

<提案システム設計法に関する成果>

上述のシミュレーションと自動設計

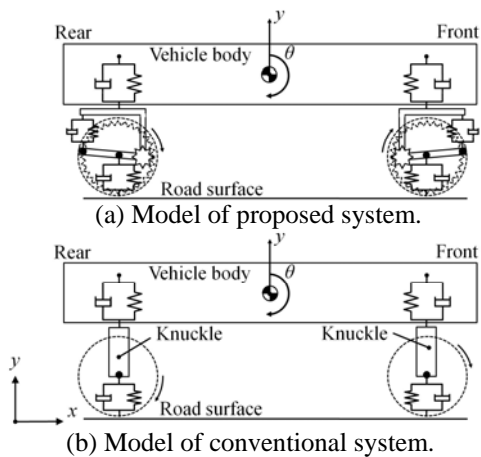


Fig.8 2-wheel models for numerical analysis.

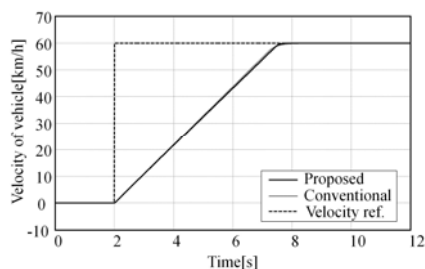


Fig.9 Displacement between tire and road surface.

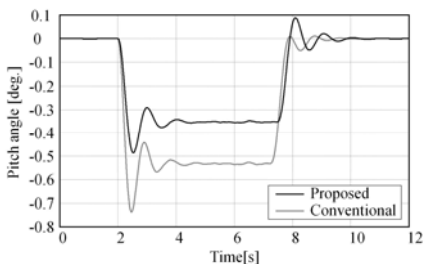


Fig.10 Results of frequency analysis (with GA and without GA).

アルゴリズムを併用し、提案システムの主要設計パラメータである二組のスプリングレートとダンピングレートの設計を行った。設計目的は、人間に対する上下振動に対する特性を考慮し、8Hz 付近の振動を小さくすることとした。この自動設計アルゴリズムは遺伝的アルゴリズムを基本としたものである。この設計アルゴリズムを用いた結果、パラメータを探索した結果、 $K=14792$ 、 $D=1008$ 、 $K_a=15141$ 、 $D_a=1092$ となった。ここで、設計前後の車体の上下加速度の周波数解析結果を図7に示す。図7より、約1.5Hz以上の周波数帯域において、振動吸収性能を改善できていることがわかる。

以上の結果から、遺伝的アルゴリズムをもとにした設計アルゴリズムは提案システムの設計に有効であることがわかる。

<提案システムを用いた車両の姿勢制御

に関する成果>

提案システムを前後に用いた電気自動車の2車輪モデルとモータ制御系を構築し、シミュレーションを行った。この物理モデルを図8に示す。また、この時の車両の水平方向の速度と車体のピッチ角変化をそれぞれ図9、10に示す。図9より、提案システムと従来システムを用いた電気自動車の両方とも、同じように60km/hまで加速していることがわかる。また、図10より、提案システムを用いた電気自動車では、車体のピッチ角変化が小さくなっていることがわかる。

以上の結果より、提案システムでは、乗り心地や接地性の改善だけではなく、トルク反力によって、車体の姿勢も制御できることがわかる。よって、新たな付加価値を持ったインホイールモータシステムであることが確認できた。

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 国際会議発表

Masaki Uchida, Tatsuhiro Nishikawa, Yoshifumi Morita, Verification of Performance of New Type In-Wheel Motor System for Electrical Vehicle, Procs. of 2009 International Conference on Mechatronics and Information Technology (ICMIT2009 in Gwangju, Korea), pp.123-124, 2009年12月3日

② 国内学会発表

(1) 打田正樹, 森田良文, インホイールモータシステムを用いた移動車両に関する研究—スプリングレート及びダイビングレートの設計とピッチ角の評価—, 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会, 講演番号 1P1-J07, 2011年5月29日

(2) 西川達宏, 打田正樹, 森田良文, 新型インホイールモータシステムの基本性能の検証, 日本機械学会北陸信越支部第47期総会・講演会講演論文集, pp. 143-144, 2010年3月10日

6. 研究組織

(1) 研究代表者

打田 正樹 (UCHIDA MASAKI)
 鈴鹿工業高等専門学校・機械工学科・助教
 研究者番号: 80454437