

令和 6 年 9 月 5 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K04019

研究課題名（和文）路面駆動力を直接制御可能なインホイールアクチュエータの基礎研究

研究課題名（英文）A basic study of In-Wheel Actuator which can directly control the driving force

研究代表者

赤津 観（Akatsu, Kan）

横浜国立大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：90361740

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：ネオジウム磁石を混入させた磁性エラストマーに磁界を印可して駆動力ならびに変位を得ることで駆動されるアクチュエータの基礎研究を実施した。初年度にはネオジウム含有量とエラストマーの硬さに関するトレードオフ条件を検討し、適切な駆動力を得られるネオジウム含有量を見出した。2年目にはシミュレーションによりエラストマーに駆動力を発生させる磁気回路を検討し、電流印加により線形に力を発生できることを確認した。3年目には検討した磁気回路を製作し、エラストマーに磁界を印可して、力および変位が発生することを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

一般的な電動車両はタイヤにモータ等からの駆動力を伝えて走行する。モータやインバータの効率向上により電費向上が実現されているが、さらなる電費向上は困難になっている。タイヤの変形による損失は走行エネルギーの約30-40%を占めており、特に重量車での割合は大きい。

本研究成果は路面駆動力をアクチュエータにより直接制御することで上記タイヤの変形による損失を最小限に抑えることを目的にすなわち電動車の電費向上を目的に実施した。基礎研究の段階であり自動車駆動力に十分な力は発生できていないが、アクチュエータの基礎特性は把握でき今後提案アクチュエータを大型化することで電動車両の新しい駆動方法につながる研究である。

研究成果の概要（英文）：We conducted basic research on actuators that are driven by applying a magnetic field to a magnetic elastomer mixed with neodymium magnets to obtain driving force and displacement. In the first year, we investigated the trade-off conditions between neodymium content and elastomer hardness, and found a neodymium content that would provide an appropriate driving force. In the second year, we investigated a magnetic circuit that generates driving force in elastomers through simulations, and confirmed that force could be generated linearly by applying current. In the third year, they created the magnetic circuit they had studied, applied a magnetic field to the elastomer, and confirmed that force and displacement were generated.

研究分野：電気機械エネルギー変換工学

キーワード：磁性エラストマ インホイールアクチュエータ 電動車 電費向上

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

運輸部門の CO₂ 排出量低減が地球環境維持のために必須であり、すでに多くの EV が市場投入されているが普及率は全乗用車の 5%未滿にすぎない。EV 普及の障害はバッテリーの充電時間が長いことであり、2000 年以前からバッテリーエネルギー密度の向上、充電方式の改善、パワートレインの高効率化が必要であると言われ続けている。20 年の間にそれぞれの技術は日進月歩を繰り返しており、現在では 400km 走行可能な EV が市販されているが未だ性能（一充電走行距離）は十分でないと認識されている。

社会的背景のもとバッテリー、充電方式、パワートレイン（モータ・インバータ）の研究が行われている。バッテリーについてはリチウムイオン電池から全固体燃料電池、充電方式については高電圧急速充電からワイヤレス給電などが研究されており将来の見通しが明るい一方でパワートレインの高効率化についてはこれ以上の伸びが期待できないのではないかと、という予測もある。特にモータについては Nd-Fe-B に代表される希土類永久磁石モータが高効率かつ高出力密度であり、最高で 98%の変換効率を達成可能である。インバータについては SiC に代表されるワイドバンドギャップ半導体の使用により効率 99%超の達成が可能である。しかしながら EV としてよく使用される駆動領域での効率がまだ低いなどの問題点もあり、可変磁束モータなどの研究が盛んである。

一方で、モータによりホイールを回転させて駆動力を得る、という仕組みはエンジンをモータに置き換えたのみの構造であり、「EV 用モータ・アクチュエータとして電力変換効率および安全性の観点からみた究極は何か？」という学術的な問いに対する研究は行われていない。

2. 研究の目的

以上の背景のもと、本研究では「究極のインホイールアクチュエータ」を提案し、**タイヤの変形による駆動力を直接制御するアクチュエータにより従来 EV よりも高い電費と安全性を得られるかどうか**、の解を得ることを目的とする。換言すればタイヤの変形エネルギーがどれだけ損失を生んでいるか、すなわちパワートレインの進化により EV にさらに電費向上の可能性および安全性の向上があるか、の解を得ることである。

従来 EV はモータの回転トルクをホイールに伝達し、タイヤと路面の摩擦によりタイヤが変形することで力を伝えている。そのためモータと路面の間に存在するタイヤのモデリングが不明なまま力を伝達しており、不要なタイヤの変形エネルギーを消費している。結果として**必要以上のモータトルク**を発生させている。これは路面摩擦係数が低い状態で駆動していることと等価である。一部先行研究でなされているトラクションコントロールは車体とホイールの速度差をスリップとして、路面摩擦係数を最大にするようなモータトルクを得るものであり、一定の電費向上効果を得られるものの、タイヤの変形エネルギーは無駄となっている。

究極のインホイールアクチュエータは**電磁力により直接タイヤの変形を制御する**ものであり、モータのためのスペースが不要、タイヤの変形すべてが駆動力を発生可能、つまり最低限のエネルギーで駆動することができる。仮に摩擦係数を 0.5 - 1 に制御可能であるとするならば、半分の力で車体を駆動可能であり、このときのエネルギーは少なく見積もって約 1/1.1 となることが予想される。また従来 EV が減速ギアを必要とすることに対し、直接駆動力を発生できるためギアが不要となり伝達効率はおよそ 1.2 倍になる。以上から**約 30%の電費向上効果が予想される**。

提案モータの構造はその基礎構造をエアフリータイヤとして、タイヤの支持部材（スポーク）およびタイヤそのものに磁性エラストマを用いる。磁性エラストマは弾力を設定可能なゴム部

材に磁性材料 (Nd-Fe-B) を混ぜたものであり、エラストマの外周に巻かれたコイルに電流を通電して磁界を発生することでエラストマが力を発生することができる。また伸びたエラストマが縮むときにはコイルの磁界が変化するので発電することができる。提案モータは路面と接触するエラストマに駆動力を与え路面に伝える。駆動後のエラストマはその弾性により伸びるので、その伸びから発電電力を得ることができる。発電電力は変位置に比例するので、逆に発電電力を抑えるように駆動時のアクチュエータ力を制御すれば、結果的に最小エネルギー(最小変形)で駆動力が得られることになる。

3. 研究の方法

1年目：磁性エラストマのネオジウム含有量と硬さ、変位のトレードオフを実機実験により測定し、アクチュエータに適したネオジウム含有量を求める。

2年目：コイルに電流通電(電圧印加)して磁性エラストマを変形させる磁気回路を検討し、磁界シミュレーションにより発生する力を取得する。

3年目：検討した磁気回路を実際に制作し、電流印加時の発生力を測定し、アクチュエータの基礎特性を測定する。

4. 研究成果

ネオジウム磁石を混入させた磁性エラストマに磁界を印可して駆動力ならびに変位を得ることで駆動されるアクチュエータの基礎研究を実施した。初年度にはネオジウム含有量とエラストマ硬さに関するトレードオフ条件を検討し、適切な駆動力を得られるネオジウム含有量を見出した。2年目にはシミュレーションにエラストマに駆動力を発生させる磁気回路を検討し、電流印加により線形に力を発生できることを確認した。3年目には検討した磁気回路を製エラストマトマーに磁界を印可して、力および変位が発生することを確認した。

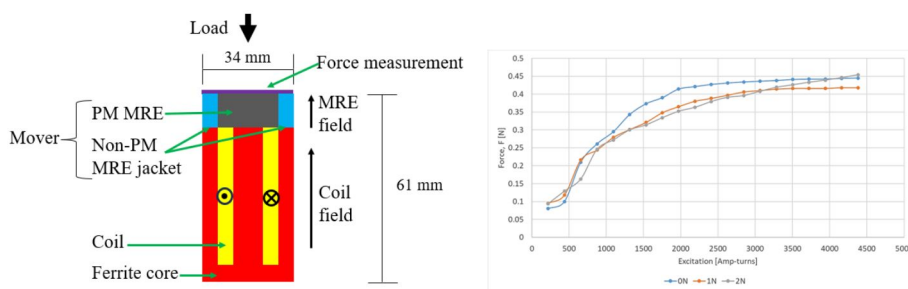


図 作成したアクチュエータ

図 発生駆動力

以上

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 Rakibul Islam
2. 発表標題 Development of Novel In-wheel Actuator Using Magnetorheological Elastomer
3. 学会等名 電気学会産業応用部門大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------