

駆動力抜けのない変速システム

京都大学大学院工学研究科准教授 小森雅晴

1. 変速機の駆動力抜けの問題

●背景

地球温暖化の防止のため、走行時に二酸化炭素を排出しない電気自動車の普及に期待が寄せられています。しかしながら、電気自動車には1回の充電で走行できる距離が短いという欠点があり、これが障害となってそれほど普及していないのが現状です。

●現在の変速機が抱える問題点

モーターは高効率で運転できる回転速度とトルク(回転させる力)の領域が限られています。そのため、変速機を用いて理想的な変速を行えば、モーターを小型化できるだけでなく、モーターの高効率な領域を有効に利用できるようになります。実際、乗用車の市街地走行を想定した場合、電力消費を約10%低減することができるとのシミュレーション結果が報告されており、変速機を用いると走行距離を伸ばすことが可能となることがわかります。

しかし、変速機を用いると速度に応じて変速機内の歯車対を切り替える変速作業が必要となります。変速作業中はモーターからタイヤに駆動力が伝わらないため、体が前後に揺すられるなど、運転者や搭乗者に不快感やストレスを与えてしまいます。また、加速したい状況であるにもかかわらず速度低下が生じるため、変速後に余計にアクセルペダルを踏み込む必要があります。これにより、変速機による電力消費の改善効果は低下してしまいます。これが変速機の駆動力抜けの問題です。無段変速機 CVT* を用いればこの駆動力抜けは生じませんが、CVTは伝達効率が悪いので、電力消費の改善効果は大きくありません。このようなデメリットから、現在の電気自動車には一般的に変速機が搭載されていません。すなわち、電気自動車では、変速時に駆動力が抜けず、かつ、効率の良い変速機が要求されていると言えます。

この駆動力抜けの問題は、一般的な乗用車、トラック、バスなどの従来型エンジン搭載車においても、加速時の燃費の悪化、加速性能の低下、不快感などを生じるため、解決すべき課題となっています。

●新たな変速システムへ

このような問題を解決するため、著者らは、駆動力抜けのない新しい変速システムを開発しました。通常の変速機では歯車対の切り替えを行う際に動力源と駆動輪の間のトルク伝達を一度切断する必要がありますが、本技術ではそのタイミングで非円形歯車によって駆動力を伝達します。非円形歯車は減速比を滑らかに変化させることができる形状をしており、切り替えを行う2組の歯車対の中間的な状況を作り出します。これにより、変速中でも駆動力を伝え、変速の際に速度が低下することを防ぐことができます。

この変速システムを用いると、変速時もスムーズに走行するため、変速後に余分な加速が必要ありません。さらに、CVTと異なり歯車によって駆動力を伝達するため、高効率を実現可能です。この変速システムを電気自動車に搭載した場合、通常の走行性能を向上させるだけでなく、走行時の電力消費量も軽減できるため、従来の変速機非搭載の電気自動車と比較して10%程度の走行距離を延長させる効果が期待できます。ここでは、この新しく開発した変速システムについて紹介します。

2. 新しい変速システム

著者らが開発した変速システムの構造図を図1に示します。各クラッチを締結するとそれに相当する歯車が入出力軸間に駆動力を伝えます。

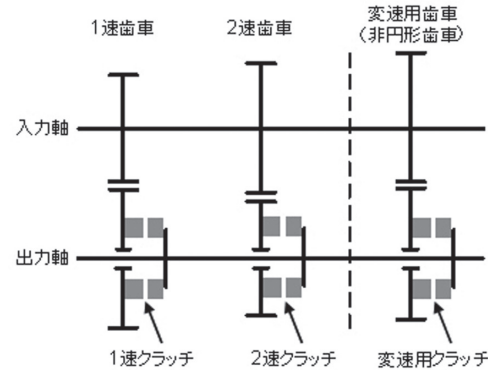


図1 非円形歯車を用いた変速システム

* 歯車を用いずに変速比を連続的に変化させる変速機。ベルト式やチェーン式などがある。

●非円形歯車

変速用歯車の非円形歯車は図2、図3に示す形状を有しています。これは、区間aでは1速歯車と、区間bでは2速歯車と一致します。この非円形歯車が図2(a)に示す区間aで噛みあう場合は、1速歯車と同じ噛みあい状態となります。一方、図2(b)のように区間bで噛みあう場合は、2速歯車と同じ状態となります。つまり、図2の矢印の方向に非円形歯車が回転する場合、1速状態から2速状態に変化し、その後、1速状態に戻るようになります。

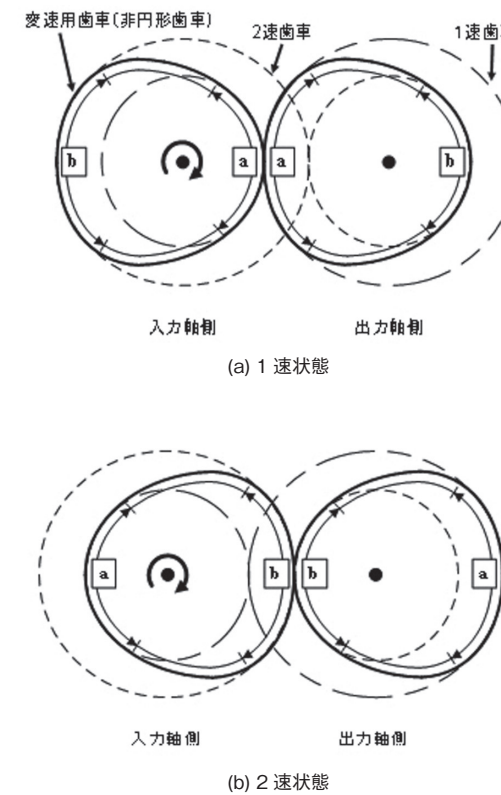


図2 変速用歯車(非円形歯車)

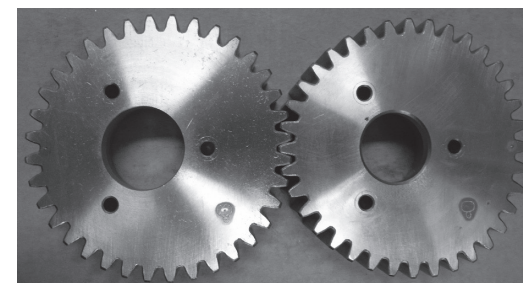


図3 変速システム用非円形歯車の例

●非円形歯車を用いた変速プロセス

次に、変速プロセスについて説明します。1速(1速クラッチが締結された状態)から2速への変速は次のように行われます。まず、変速用歯車が区間aで噛みあい、1速状態となる時に変速用クラッチを締結します。次に1速クラッチを解放し、変速用歯車だけが駆動力を伝達する状態とします。その後、回転が進むと、変速用歯車の噛みあいは区間aから区間bに移り、1速状態から2速状態に変化します。ここで2速クラッチを締結し、そして、変速用クラッチを解放します。これにより2速状態となり、1速から2速への変速プロセスが完了します。本変速システムでは変速中でも変速用歯車が駆動力を伝達しているため、駆動力が抜けることはありません。これが大きな特徴です。

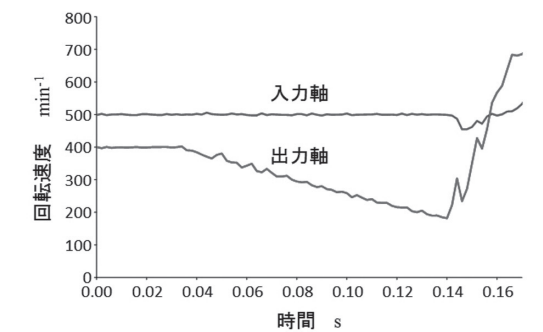
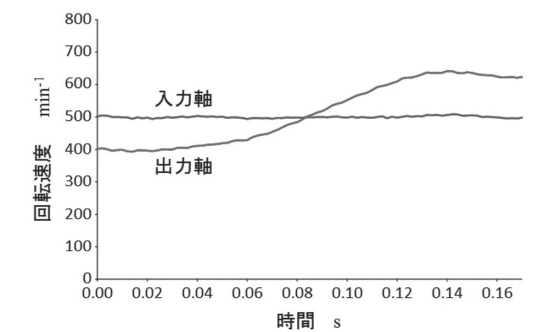


図4 開発した変速システム(上)および従来型変速機を模擬した装置(下)の変速時の回転速度の測定結果(入力軸の回転速度を一定に保った場合)

3. 本変速システムの効果

(1) 電気自動車に適した変速システムにより走行距離を伸ばし、電気自動車の普及に貢献

図4は、開発した変速システムと従来型の変速機について、テストベンチにおいて動作を確認した実験結果です。これらは入力軸(モーター側)の回転速度を一定に保ちながら変速した場合です。図4の上

の図では非円形歯車を使用した変速システムにより、時刻 0.03 秒付近から 0.13 秒付近の間に、スムーズに 1 速から 2 速に相当する状態まで変化しています。それに対して、下の図は従来型の変速機を模擬したもので、0.03 秒付近から 0.13 秒付近までの間、入力軸(モーター側)と出力軸(駆動輪側)が連動せず、駆動力が伝わらない状況が発生しています。その結果、摩擦抵抗によって徐々に出力軸の回転速度が低下し、2 速に切り替えたときに急激な回転速度変化、すなわち変速ショックが見られます。

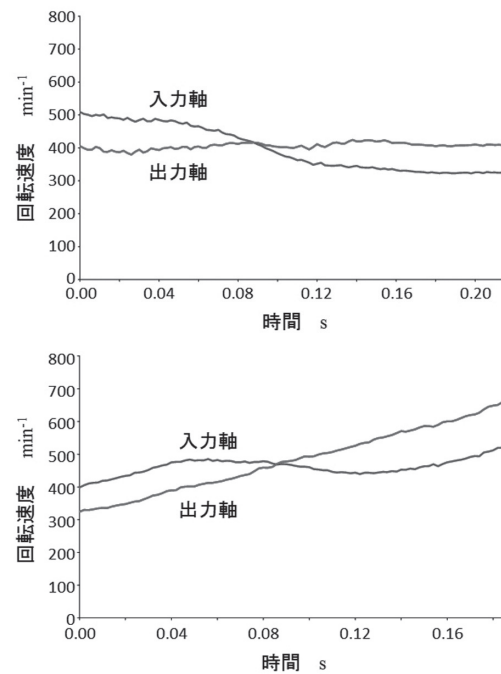


図5 開発した変速システムの変速時の回転速度の測定結果。出力軸の回転速度が一定になるように狙って制御する場合(上)と、回転加速度が一定になるように狙って制御する場合(下)。

図5は、開発した変速システムを用いて、出力軸の回転速度が一定となるように制御した場合(上)、および出力軸の回転加速度が一定となるように制御した場合(下)の実験結果です。このように、変速作業中に出力軸の回転状態を意のままに制御することはこれまでの変速機では不可能でした。

また、市販の1人乗り小型電気自動車(ENAX-S3)をベースに、本変速システムを搭載した電気自動車EVUT(Electric Vehicle with Uninterrupted Transmission)を開発しました。図6にEVUTの写真を示します。



図6 駆動力抜けのない変速システムを搭載した電気自動車EVUT

電気自動車EVUTによって行った変速実験の結果が図7です。横軸は時間、縦軸は計測された速度であり、従来型変速機を模擬した実験の際には変速中に速度低下しているのに対し、開発した変速システムにおいてはそのような速度低下がなく、意図したとおりの効果が得られることを確認しました。このような変速システムによれば、電気自動車に変速機を搭載するメリットである電力消費低減効果をより向上させることが可能となります。また、変速の際に速度低下がなく、スムーズで快適な走行が可能です。このことは電気自動車の普及につながり、二酸化炭素排出量の低減に貢献します。

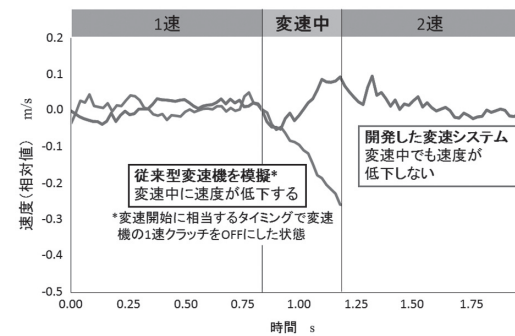


図7 開発した電気自動車EVUTの変速時の速度の測定結果

一般に電気自動車に変速機を用いることで出力可能なトルクや速度を大きくできるため、加速性能を高める効果が得られますが、変速中に駆動力抜けのない本変速システムではより高い加速性能が得られます。さらに、より小型のモーターでも高い加速性能を実現することが可能となり、モーターの小型化、軽量化につながります。

上と加速性能の向上が可能となります。また、変速時の速度低下による運転者、搭乗者の不快感の解消にもつながります。

(3) 出力軸の回転を正確に制御することが可能

従来の変速機は、変速の際に入力軸から出力軸に回転が伝達されないため、変速の際に出力軸の回転を正確に制御することは困難でした。本変速システムでは図5に示したように、変速の際にも非円形歯車が回転を正確に伝えるため、出力軸の回転を正確に制御することが可能となります。本研究では、変速中でも狙い通りに出力軸回転速度を制御する理論を構築し、実験により、速度一定での変速、加速度一定での変速などを実現可能であることを確認しました。スムーズな変速により、精密な位置決めなどが要求されるロボットなどの分野でも利用が期待できます。

本研究はNEDOの平成21年度産業技術研究助成事業に基づいて実施したものです。

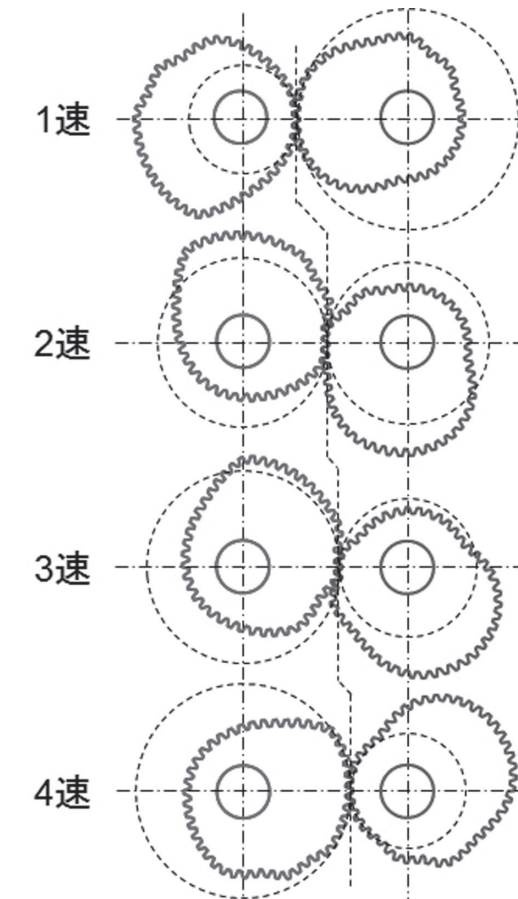
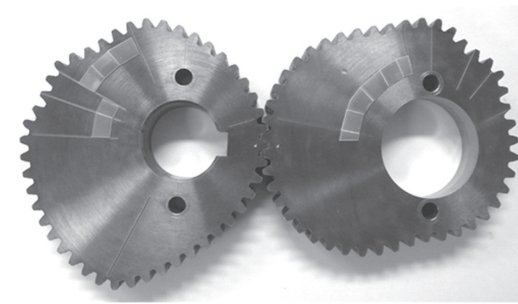


図8 4段変速用非円形歯車

(2) エンジン搭載車用の多段変速システムの実現

電気自動車は2段の変速で十分と考えられますが、乗用車・トラック・バスなどのエンジンを搭載した自動車では、通常、多段の変速機が使用されます。そこで、本研究では多段変速用の非円形歯車を提案し、それを用いた4段変速システムを構築し、変速中に駆動力抜けのない多段変速を実現しました。これにより、エンジン搭載車についても加速時の燃費の向

参考文献

- 1) Jungchul KANG, Masaharu KOMORI, Shuai ZHANG and Koki SUGIYAMA, Control Method for Output Speed during Velocity Ratio Change under High Rotational Speed Using an Uninterrupted Transmission System, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, No.7 Vol.6, 1281-1297, 2012.
- 2) 姜晶哲・小森雅晴・竹岡郁・小野寺祐治, 常時動力運動伝達可能な多段変速システム, 日本機械学会論文集(C編), 77巻782号, 2011年, pp.3871-3880.

実験風景の動画 URL

http://www.mefd.me.kyoto-u.ac.jp/news/info_movie.html