

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25年 6月11日現在

機関番号：10103

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22760108

研究課題名（和文） レオロジー解析によるCVTの新設計方法：シャフトドライブCVTの動力伝達性能向上

研究課題名（英文） New Method of Design of CVT by Rheology analysis : Improvement of Power Transmission Performance of Shaft-Drive CVT

研究代表者

成田 幸仁（NARITA YUKIHITO）

室蘭工業大学・工学研究科・助教

研究者番号：90431519

研究成果の概要（和文）：CVTの動力伝達性能向上を目的として、表面粗さ突起の干渉を考慮したレオロジー解析手法により、トラクション油膜のせん断力を高精度に算出する手法を開発した。また、すべりの分担率を考慮することで、動力を無駄なく伝達できる、動力伝達経路の新設計方法を確立した。最後に、シャフトドライブCVT試験機に上記設計手法を適用した。この装置を用いて実験を行い、トルク容量と動力伝達効率を測定することで、提案した設計方法の有効性を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：To improve the performance of power transmission of traction drive CVT, the calculation method of traction force with high accuracy was developed by using the rheology analysis with considering the friction of asperity contact. In addition, to transmit the power without energy loss, new design method of the path of power transmission was established by considering the share of slip. Finally, this design method was applied to the Shaft-Drive CVT. The effectiveness of proposed design method was confirmed by the experiment of measuring the torque capacity and efficiency of the improved Shaft-Drive CVT.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
2012年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学、設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：機械要素・無段変速機

1. 研究開始当初の背景

トラクションドライブは転動体間のトラクション油膜のせん断力によって動力伝達を行う装置であり、歯車に比べて振動や騒音が少なく、無段変速機（CVT）が構成できる等の利点がある。特に、自動車用CVTは

燃費改善に寄与する技術として注目されている。トラクションドライブCVTの研究は活発に行われているが、油膜のレオロジーがトルク容量や動力伝達効率に及ぼす影響や、高面圧高せん断力が寿命に及ぼす影響等、不明な点が多い。そのためトラクションドライブCVTの設計方法は歯車と比べて十分に

体系化されていない。

申請者はこれまでシャフトドライブCVTの研究に携わり、伝達トルクの源たる油膜のせん断力を計算で求める手法の開発を行った。その計算結果を実験と比較したところ、実験結果が1割大きいという結果となった。その原因として転動体の表面粗さ突起の干渉に思い当たった。転動体寸法の設計には油膜のせん断力の見積もりが必須である。そのため、油膜のせん断力の計算に、粗さ突起の干渉を入れ込むべきであるとの着想を得た。

また、CVT内に動力伝達経路を追加することにより、トルク容量と効率を向上させることが出来ることを実験で明らかにした。しかし、動力伝達経路が2倍になったにも関わらず、トルク容量の向上は1.3倍にとどまった。トラクションドライブの動力伝達の源である油膜せん断力は、転動体間の微少すべりに対して線形に増加する。動力伝達のためにはすべりは数%必要であり、これが過度に減るとトルク容量が減少する。新たに追加した動力伝達経路上には、これまでの動力伝達経路と比較して転動体間の接触点が多く存在し、1箇所当たりのすべりが理論上1/3になる。これがトルク容量が向上しなかった原因と考えられる。この経験から、トラクションドライブCVTの動力伝達経路設計はすべりの分担を考慮して行うべきであるとの着想を得た。

2. 研究の目的

2010年度より3ヶ年間で、以下の目的で研究を実施した。

- (1) 表面粗さ突起の干渉による影響をトラクション油膜のせん断力シミュレーションに組み込み、トラクション係数をより高精度に計算する。
- (2) トラクションドライブの動力伝達経路を、各経路間のすべりの分担を考慮して設計する手法を開発する。
- (3) 上記の設計手法に基づいてシャフトドライブCVT試験機を改良し、トルク容量と効率を測定して効果を検証する。

3. 研究の方法

- (1) トラクション係数シミュレーションの高精度化

表面粗さ突起の高さ分布を統計学的に扱うGreenwood-Williamsonモデルを適用し、突起高さが油膜厚さを上回る確率を計算

で求めた。この確率に従って、転動体間の弾性接触面内で突起接触が生じている箇所をランダムに決定した。その部分の摩擦係数を、吸着油膜がある状態での金属間摩擦係数の実験値に置き換えた。それ以外の箇所の摩擦係数は、K. L. Johnsonらが提唱する、潤滑油膜の粘弾塑性モデルを用いて計算した。

- (2) すべりの分担を考慮した動力伝達経路設計

トラクションドライブCVTの動力伝達経路設計はすべりの分担を考慮して行うべきであるとの着想に基づき、入力軸から出力軸へ伝達される回転速度を、転動体間のすべり率を考慮に入れて動力伝達経路ごとに数式で表した。それらの数式は連立方程式となり、これを解いて各転動体間のすべりの分担率を求めた。それらを上述のトラクション係数シミュレーションに入力して、動力伝達経路ごとの伝達トルクを計算で求めることで、追加しようとする動力伝達経路が有効に機能するか否かを確認した。

- (3) シャフトドライブCVT試験機による実証試験

シャフトドライブCVT試験機を改造して動力伝達経路を次々に追加し、それぞれについてトルク容量と動力伝達効率がどのように変化するかを実験で評価した。それに加えて、各転動体間のすべり率を測定することで、すべりの分担率を求めた。これらの結果と上述の計算結果を比較して、提案した設計手法が有効であるか否かを検証した。

4. 研究成果

- (1) トラクション係数シミュレーションの高精度化(雑誌論文②, ⑤)

提案した手法に基づいてトラクション係数を計算した。供試油をトラクション油、表面粗さ0.4 μmRa とした。同一条件での実験結果と計算結果を比較したところ、従来の粘弾塑性モデルによる計算では誤差-3.16%、新たに提案した、粗さ突起接触を考慮した計算では誤差1.88%であった。

また、本計算手法が歯車等のトラクションドライブ以外にも適用可能であるかどうかを検証するために、供試油をATFに変えた場合についても計算した。その結果、実験値に対する誤差は粘弾塑性モデルで-58.17%、提案した手法で-5.44%となった。

いずれの油種についても、本手法によって計算精度が向上したと言える。

- (2) すべりの分担を考慮した動力伝達経路設計(雑誌論文①, ③, ④)

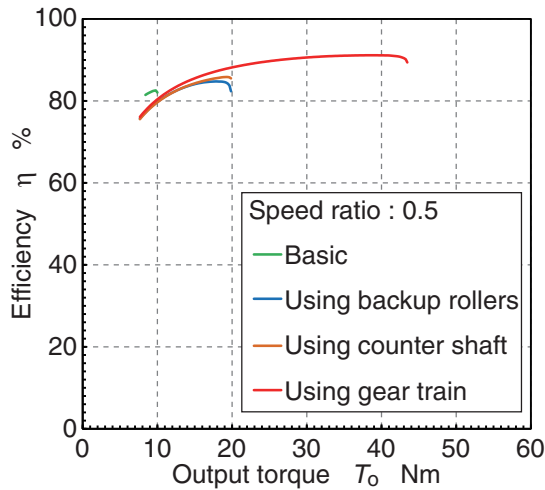


図1 トルク容量と効率の計算結果

シャフトドライブCVTで追加できる動力伝達経路を複数想定し、それぞれの経路において速度伝達の式を立てた。それらを連立して各転動体間のすべりの分担率を求め、(1)のトラクション係数シミュレーションに代入してトルク容量と効率を計算した。その結果の一例を図1に示す。図より、動力伝達経路の適切な追加により、トルク容量が最大で4倍にまで向上すること、および、効率が10ポイント程度向上する可能性があることが分かった。同時に、不適切な動力伝達経路では、トルク容量と効率は向上しないことも分かった。これらの計算結果を解析したところ、各動力伝達経路に含まれる接触点の数(転動体の数)が等しい場合にトルク容量と効率が向上することが分かった。

(3) シャフトドライブCVT試験機による実証試験(雑誌論文⑥, ⑦)

シャフトドライブCVT試験機を改造して、上記(2)で計算した動力伝達経路を着脱できるようにした。図2に改造したシャフトドライブCVT試験機の写真を示す。この試験機を用いて各動力伝達経路の有無によるトルク容量と効率の変化を実験により評価した。また、各転動体の背面に歯幅の薄い歯車を連結し、近接センサと組み合わせることで簡易的なエンコーダを構成した。このエンコーダの出力から各接触点のすべり率を求めた。これらの実験結果より、提案した動力伝達経路設計方法が正しいか否かを検証した。図3にトルク容量と効率の測定結果の一例を示す。動力伝達経路の追加によってトルク容量が増加し、最大で4倍となった。これらは前述の計算通りの結果であった。また、図4に各動力伝達経路ごとのすべり率(C_r)とその分担率(P_r)の測定結果の一例を示す。本結果もほぼ前述の計算結果通りとなった。以上の一連の研究により、トラクションドライブCVTの動力伝達経路の新設計方法を確

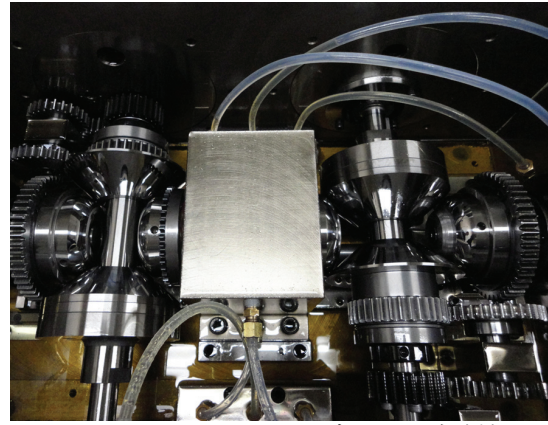


図2 シャフトドライブCVT試験機

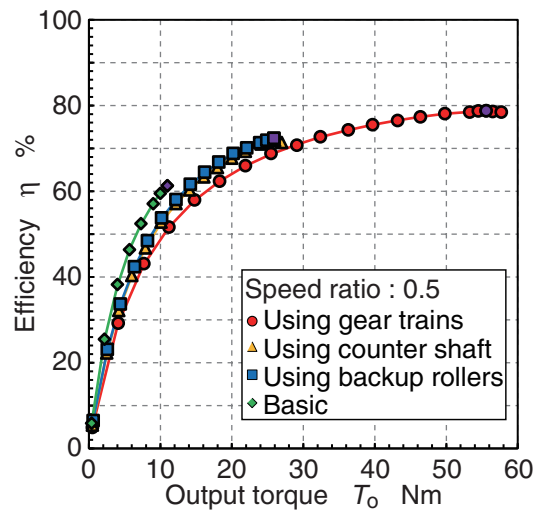


図3 トルク容量と効率の測定結果

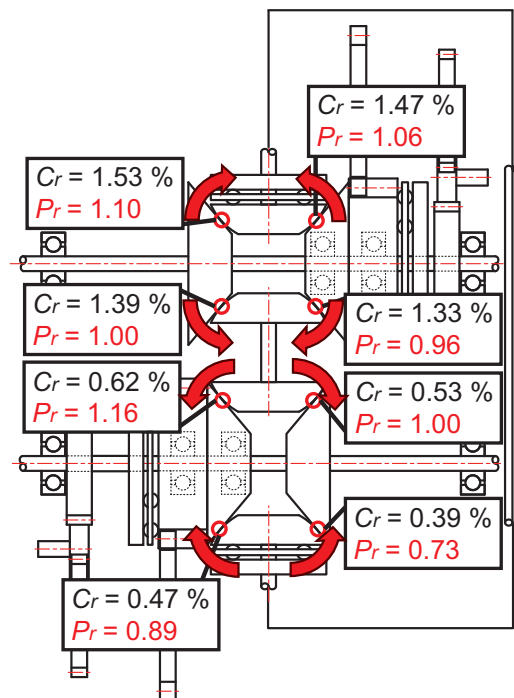


図4 すべり率とその分担率の測定結果

立できたと言える。

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)

[雑誌論文] (計7件)

- ① 東大輔, 成田幸仁, 山中将, 風間俊治, 動力分配によるシャフトドライブCVTの性能向上, 日本機械学会東北支部第48期講演会講演論文集, 査読無, No.2013-1, (2013), 174-175.
- ② 成田幸仁, 諏佐和幸, 田本芳隆, 風間俊治, 表面粗さ突起接触による摩擦を考慮したトラクション係数シミュレーション, 日本機械学会第12回機素潤滑設計部門講演会講演論文集, 査読無, No.12-14, (2012), 161-162.
- ③ 佐藤宏樹, 一瀬航平, 成田幸仁, 風間俊治, シャフトドライブCVTの動力伝達経路改良, 日本機械学会北海道学生会第41回卒業研究発表講演会講演論文集, 査読無, (2012), 57-58.
- ④ Kouhei ICHISE, Yukihito NARITA, Toshiharu KAZAMA, Masashi YAMANAKA, Improvement of Efficiency and Torque Capacity of Shaft Drive CVT by Modification of Power Transmitting Path, Proceedings of Joint Symposium on Mechanical-Industrial Engineering, and Robotics 2012 Muroran Institute of Technology-Chang Mai University, 査読無, (2012), 20.
- ⑤ 諏佐和幸, 成田幸仁, 田本芳隆, 風間俊治, 表面粗さ突起接触を考慮したトラクション係数シミュレーション, 日本機械学会北海道支部第50回講演会論文集, 査読無, No.112-2, (2011), 119-120.
- ⑥ 山中将, 土屋慎治, 成田幸仁, 井上克己, シャフトドライブ式無段変速機の研究(第5報, トルク容量増大のためのバックアップディスクによる駆動), 査読有, 日本機械学会論文集(C), 77(779), (2011), 2875-2883, https://www.jstage.jst.go.jp/article/kikaic/77/779/77_779_2875/_article/-char/ja/
- ⑦ 東大輔, 一瀬航平, 成田幸仁, 風間俊治, バックアップディスクの改良によるシャフトドライブCVTの効率とトルク容量向上, 日本機械学会北海道学生会第40回卒業研究発表講演会講演論文集, 査読無, (2011), 179-180.

[学会発表] (計6件)

- ① 東大輔, 成田幸仁, 山中将, 風間俊治, 動力分配によるシャフトドライブCVTの性能向上, 日本機械学会東北支部第48期講演会, 2013.3.15, 宮城県仙台市.

- ② 成田幸仁, 諏佐和幸, 田本芳隆, 風間俊治, 表面粗さ突起接触による摩擦を考慮したトラクション係数シミュレーション, 日本機械学会第12回機素潤滑設計部門講演会, 2012.04.23-24, 愛媛県松山市.
- ③ 佐藤宏樹, 一瀬航平, 成田幸仁, 風間俊治, シャフトドライブCVTの動力伝達経路改良, 日本機械学会北海道学生会第41回卒業研究発表講演会, 2012.03.03, 北海道札幌市.
- ④ Kouhei ICHISE, Yukihito NARITA, Toshiharu KAZAMA, Masashi YAMANAKA, Improvement of Efficiency and Torque Capacity of Shaft Drive CVT by Modification of Power Transmitting Path, Joint Symposium on Mechanical-Industrial Engineering, and Robotics 2012 Muroran Institute of Technology-Chang Mai University, 2012.1.11-12, 北海道登別市.
- ⑤ 諏佐和幸, 成田幸仁, 田本芳隆, 風間俊治, 表面粗さ突起接触を考慮したトラクション係数シミュレーション, 日本機械学会北海道支部第50回講演会, 2011.10.01, 北海道旭川市.
- ⑥ 東大輔, 一瀬航平, 成田幸仁, 風間俊治, バックアップディスクの改良によるシャフトドライブCVTの効率とトルク容量向上, 日本機械学会北海道学生会第40回卒業研究発表講演会, 2011.03.05, 北海道室蘭市.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

成田 幸仁 (NARITA YUKIHITO)
室蘭工業大学・工学研究科・助教
研究者番号: 90431519

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

風間 俊治 (KAZAMA TOSHIHARU)
室蘭工業大学・工学研究科・教授
研究者番号: 20211154
山中 将 (YAMANAKA MASASHI)
高エネルギー加速器研究機構・教授
研究者番号: 20292229