

報告日 2013 年（平成 25 年） 8 月 30 日

報告者 室蘭工業大学 機械航空創造系学会 助教

成田 幸仁

1. 研究概要

(和文)

(1)課題名（日本語）

自動車用 S-CVT のシンプル化と効率向上 – 油圧ピストンによる変速補助と推力最適化

(2)研究者氏名

成田 幸仁 室蘭工業大学 機械航空創造系学科 助教

(3)研究概要（日本語）

トラクションドライブを用いて動力伝達を行うシャフトドライブ CVT の研究を行っている。これまでの円すいディスクに変わり、転動体間のすべりを低減して大トルクが伝達可能なゼロスピンディスクを考案した。しかし、凹面形状をしているために、変速動作や動力伝達に必要な推力の付与方法に問題が生じた。そこで、これらを解決するために軸上に油圧シリンダを設け、軸の伸縮動作と推力の付与を同時に行えるようにした。実験を行った結果、変速動作が容易になり、かつ油圧シリンダで大推力を付与することで、200Nm のトルクをすべり率 1% で伝達することができた。

(4)キーワード

機械要素, 油圧シリンダ, トライボロジー, CVT

(英文)

(1) Research title

Simplification of Mechanism and Improvement of Efficiency of Shaft-Drive CVT - Assistance of Ratio Changing and Optimization of Loading Force by Hydraulic Cylinder

(2) Name of researcher with title of position

Yukihito Narita, Assistant Professor, Muroran Institute of Technology.

(3) Summary

Shaft-drive CVT, which transmit power by traction drive, is being developed. The Zero-spin disk was devised instead of the conical disk. It can transmit large torque with the small slip between rollers. Though, because of the concave shape of the zero-spin disk, it has the problems of the way of ratio changing and the giving of the loading force which is necessary for the power transmission. To solve these problems, the hydraulic cylinders were equipped on the idler and backup shafts so as to give the loading force and expand and

contract these shafts. After this modification, the way of ratio changing became easily, and the CVT came to transmit the large torque of 200Nm with small slip ratio of 1%.

(4) Key Words

Machine Element, Hydraulic Cylinder, Tribology, CVT

2. 本研究の意義・特色

トラクションドライブはトラクション油膜のせん断力によって動力伝達を行う機構であり、自動車等の省エネルギーに有効な無段変速機 (CVT) が構成できるという利点がある。しかしながら、基本原理は摩擦伝動と似ており、大トルクの伝達には大推力が必要であること、すべりが発生して動力伝達効率が低下することという問題がある。本研究は、新型形状の動力伝達用ディスクに油圧シリンダを組み合わせることでトラクションドライブ CVT を構成し、これらの問題の解決を試みた。現在開発している平行軸 CVT であるシャフトドライブ CVT に上記機構を組み込んで実験を行った結果、実用機レベルのトルク容量 200Nm を従来の半分以下のすべり率で伝達することができた。

3. 実施した研究の具体的内容、結果 (本文)

無段変速機 (CVT) は、変速比を連続的に変化させることができるトランスミッションであり、排気量 3000cc クラスの自動車に至るまで幅広く搭載されている。CVT は燃費低減と環境問題に対する有効な解決策の一つであり、CVT 搭載車の台数は年々増加している。

申請者らは、図 1 に示すシャフトドライブ CVT の研究開発を行っている。本 CVT は油膜のせん断力により動力伝達を行うトラクションドライブを用いており、平行軸間で動力伝達を行う FF 車向けの CVT である。図に示した全てのディスク・ローラをそれぞれの軸方向に移動させ、転動体の回転半径を変化させることで無段変速を行う。

これまでは、図 1 に示した円すい形状の入出力ディスクを用いていたが、潤滑油膜が転動体回転方向とは異なる方向にせん断されるスピンと呼ばれる現象が発生し、トルク損失やすべりが増加して効率が低下することが分かった。そこで、図 2 に示す凹面形状のゼロスピンディスクを新たに考案し、スピン発生を全変速範囲でゼロにすることができた。これにより、最高効率 95% かつすべり率 1% 以下という良好な実験結果を得た。

しかしながら、ゼロスピンディスクの適用により、以下に示す二つの新たな問題点が生じた。

一つ目は変速動作の問題である。これまでの研究により、わずかな追加動力で機械的に変速する機構を考案済みであるが、ディスク移動量が入力側と出力側で同一になる。この移動量に関する制限は、図 1 に示した円すいディスクでは問題にはならないが、凹面形状をしているゼロスピンディスクでは、入出力ディスクと中間・バックアップローラの接触を保つために、中間・バックアップ軸を伸縮させなければならない。装置の小型化や軽量

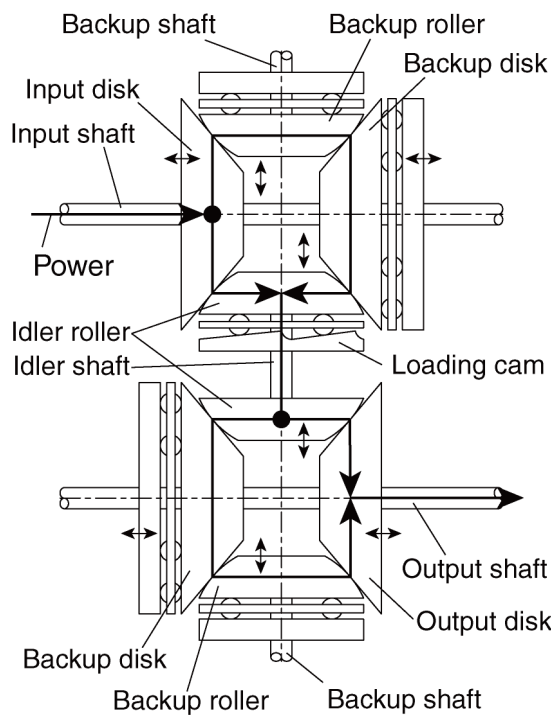


図1 S-CVT 模式図

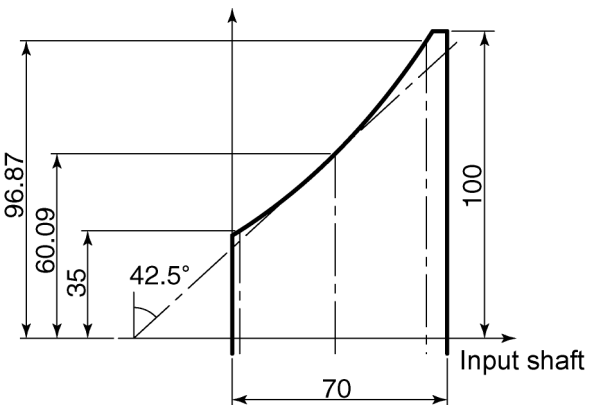


図2 ゼロスピンドиск断面図

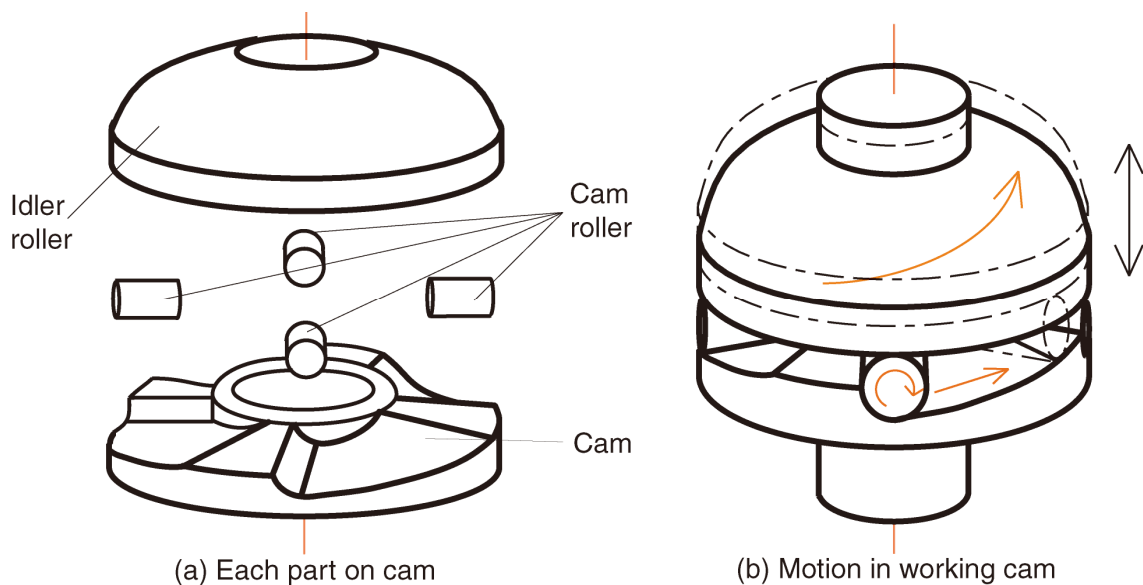


図3 推力カム模式図

化のために、シンプルな機構でこれを実現する必要がある。

二つ目は動力伝達の問題である。トラクションドライブは油膜のせん断力を用いて動力伝達を行う。油膜のトラクション係数（摩擦係数）はほぼ一定であり、伝達トルクと変速比（回転半径）にあわせて入出力ディスクへの法線力（以下、推力と呼ぶ）を変化させることが必要である。これまでは図3に示す推力カムを用いて推力を与えており、円すい

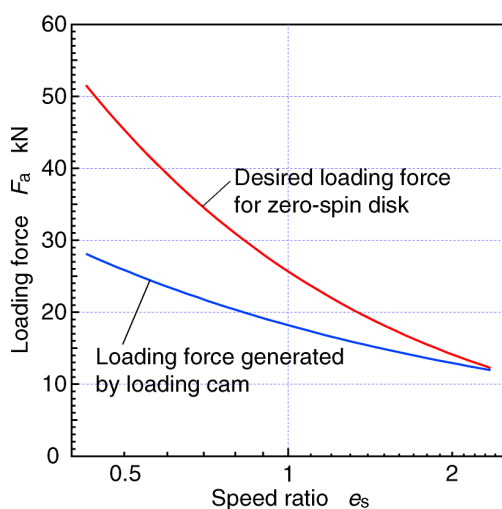


図4 変速比と必要推力の関係

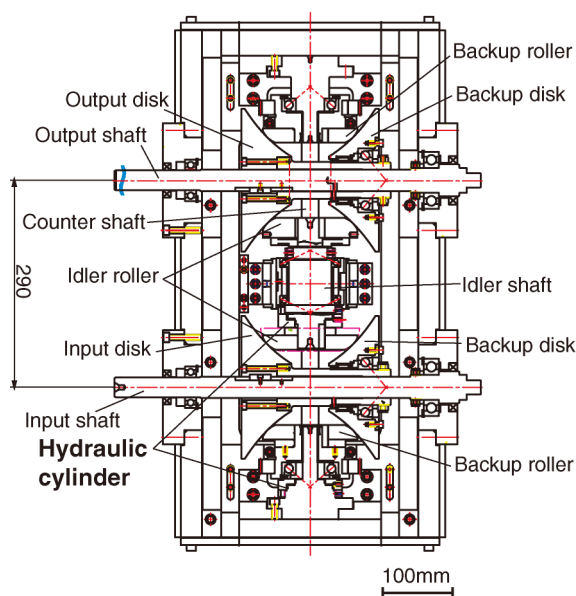


図5 CVT 試験機模式図

ディスクでは伝達トルクと変速比にあわせて最適な推力が得られた。しかし、ゼロスピンディスクは凹面形状によりディスク法線の傾きが変化するため、図4に示すように、理想的な推力と推力カムの推力に差が生じる。推力が不足すると滑って動力伝達不能になり、推力過多になると軸受損失が増加して効率が低下する。これまでのゼロスピンディスクの実験では皿バネで推力を与えていたが、皿バネでは与えられる推力に限界がある。そのため、トラクションドライブで一般に広く用いられている皿バネや推力カムに替わる、ゼロスピンディスクに適した推力発生機構を開発する必要がある。

そこで、上記の二つの問題を同時に解決するために、図5に示すように中間軸とバックアップ軸上に油圧シリンダを設けることで、軸の伸縮と推力の付与を同時に実現することにした。油圧シリンダの最大推力は20kN、最大ストロークは3mmであり、作動油にはケース内への漏れを考慮してトラクションドライブ用のトラクション油を用いた。図6にゼロスピンディスクと油圧シリンダを設置したシャフトドライブ CVT 試験機の写真を示す。

本試験機を用いて性能評価試験を実施した。実験は減速 $e_s=0.43$ 、等速 $e_s=1$ 、増速 $e_s=2.35$ の三種類とし、入力回転速度を 150min^{-1} とした。推力はゼロスピンディスクの許容面圧となる、減速 11.3kN、等速 13.5kN、増速 18.1kN を与えた。それぞれの条件について、入出力回転速度と入出力トルクを測定し、入力トルク容量、動力伝達効率、すべり率を測定した。供給油温は 40°C であった。

図7に入力トルクと出力トルクの関係を示す。図より、どの変速比においても入力トルクと出力トルクに線形性が存在し、その傾きは変速比の逆比であることが分かる。これは伝動装置において通常のことであり、これにより変速と動力伝達が正しく行われていることが分かった。また、入力トルクの最大値は約 200Nm となった。この値は 2000cc クラス



図6 CVT 試験機

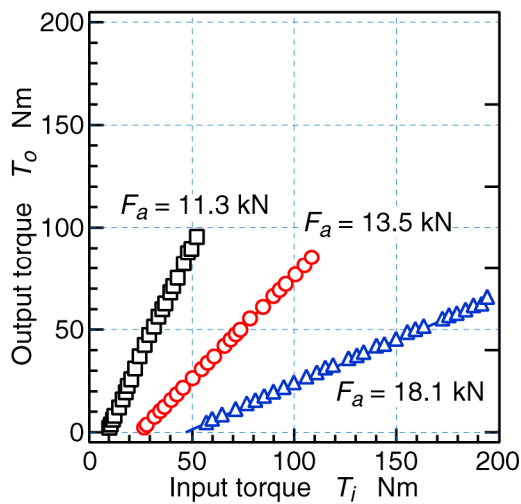


図7 入出力トルク

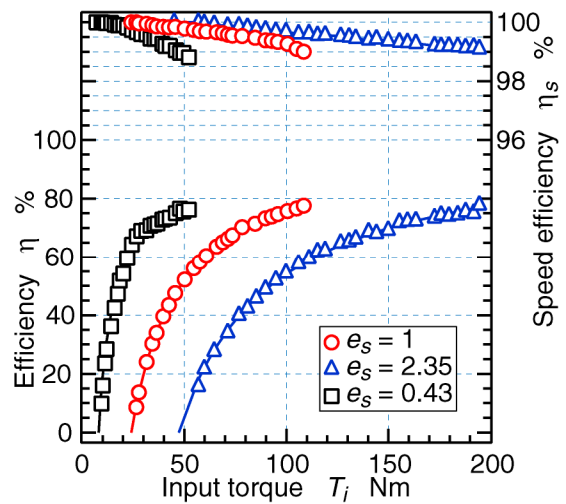


図8 動力伝達効率とすべり率

の乗用車のエンジン出力と同程度であり、油圧シリンダによる大推力付与によって、実用機レベルのトルク容量が達成できた。図8に、動力伝達効率の測定結果を示す。動力伝達効率は約80%となった。一般的に、実用レベルには効率90%以上が必要と言われており、この点においては改善を要する。動力損失の原因としては、アライメント誤差によるディスクローラ間の片当たりや、大推力付与による軸のたわみ、それによる軸受損失の増加などが考えられる。最後に、入力トルクとすべり率の関係を図8に併せて示す。図より、すべり率1%未満で大トルクを伝達出来ていることが分かる。これまでの円すいディスクで

は入力トルク 20Nm ですべり率 3%程度であったため、ゼロスピンディスクと油圧シリンダの組合せにより、大きな性能向上を達成できたと言える。

4. 本研究を実施したグループに属するおもな研究者の氏名・役職名

成田幸仁・室蘭工業大学・助教（研究代表）

風間俊治・室蘭工業大学・教授

山中 将・高エネルギー加速器研究機構・教授

5. 研究実施時期

2009 年（平成 21 年） 4 月 1 日から 2010 年（平成 23 年） 3 月 31 日

6. 本研究に関連して発表した主な論文等

1. ゼロスピンディスクを用いたシャフトドライブ CVT のパワーウェイトレシオ向上(第 3 報, 大推力付与によるパワーウェイトレシオ向上), 成田幸仁, 森陽平, 山中将, 井上克, 日本機械学会論文集 (C), 75(759), (2009), 3047- 3053.
2. Effect of Zero-spin Disk for Shaft-drive CVT on High Power-to-weight Ratio, Yukihito NARITA, Yohei Mori, Masashi YAMANAKA, Katsumi INOUE, Proceedings of the 3rd International Conference on Manufacturing, Machine Design and Tribology, (2009), 94.

7. 内外における関連研究の状況

CVT の研究開発は国内外で様々に行われている。しかしながら、発進・停止・渋滞が多いという道路事情により、我が国での CVT の技術の発展は他国を圧倒していると言ってよい。トラクションドライブ CVT では、2000 年に実用化され、3000cc クラスの市販乗用車に搭載されたハーフトロイダル CVT が最も有名である。この CVT はコスト高により普及せず、現在では残念ながら市販車への搭載が打ち切られているが、現在主流となっている金属ベルト式 CVT よりも剛性が高く、かつ高効率である。そのため、現在でも研究開発が継続され、学会等での発表も盛んに行われている。この CVT でも推力カムが用いられていたが、変速比や伝達トルクに応じた推力制御が難しいという本研究と同様の問題により、最近では油圧機構を用いて推力を与える方法が採用されている。

8. 今後の発展に対する希望

本研究により、ゼロスピンディスク用の推力付与機構として油圧シリンダの有効性が基本的に確認された。実験の結果、変速比の変化に対して適切な推力を与えることができたが、あらゆる運転状況に対応するためには、負荷トルクの変化に対する推力調整も実現を行う必要がある。今後はこれを実現させ、本 CVT のさらなる技術的発展に取り組みたい。