広域無段変速装置のエンジン駆動車両への適用

Wide Range CVT Applied to Engine Driven Vehicle

○学 朝倉 治 (龍谷大) 井端真一 (龍谷大)
松尾幾代 (龍谷大) 宮島拓也 (龍谷大)
正 岩本太郎 (龍谷大) 正 渋谷恒司 (龍谷大)

Osamu ASAKURA, Shinichi IBATA, Ikuyo MATSUO,
Takuya MIYAJIMA, Taro IWAMOTO, Koji SHIBUYA
Ryukoku University, iwamoto@rins.ryukoku.ac.jp

A combustion engine driven vehicle with wide range transmission has been made and tested. This wide range transmission consists of a half toroidal type continuously variable transmission (CVT) and a differential gear, which transmit the engine torque to wheels by various reduction ratio expanded from forward to reverse. The toroidal CVT consists of 2 disks and a power roller supported by a parallel link mechanism. The inclination angle of the power roller decides the reduction ratio. The incremental or decremental speed of the inclination angle is controlled by the joint angle of the parallel link mechanism. The vehicle speed is controlled by a servo mechanism, which consists of a rotation sensor of the output shaft and a link driver.

Key Words: CVT, Differential Gear, Combustion Engine, Transmission, Servo Mechanism

1. はじめに

ビークルの駆動要素として、グローエンジンやガソリンエンジンなどの内燃機関は重量に対する出力が大きく魅力がある。しかし、回転方向が一方で逆転ができず、また一度停止すると自力で起動できないなどの点で電動モータに比べ使いにくい点がある。このような点を改善する一方策として、トロイダル式CVTに遊星歯車を組み合わせ変速範囲を拡大して停止あるいは逆転を可能にする無段変速装置が提案されている[1]。一方、トロイダル式CVTは円弧状キャビティを構成する二つのディスクとこれらに押し当てられるパワーローラで構成され、パワーローラの角度で変速を行う原理であり、前進のみの変速を行うものはすでに実用化されている[2]。しかし、構造が複雑であり、高価なものになっている。

ハーフトロイダル式CVTと自動車の後車軸にデフとして用いられている差動ギヤを組み合わせると同様の前進から後退まで広域の変速機能を実現する無段変速装置が研究されている[3]-[5]。この方式はCVT部と差動ギヤの構造が独立しており、構造が簡単で作りやすい点に特徴がある。また、CVT部には変速トルクをパワーローラの傾きで制御する変速サーボを実現している。

現在までにモデルによる変速制御の原理確認を終え、競技用小型車量(カート)に広域変速装置を搭載し、DCモータ駆動による前後進動作を確認するところまで進展した。本報告では駆動源を50ccのガソリンエンジンに換装し、人が搭乗して走行する段階について述べる。

2. 広域無段変速装置

2.1 広域無段変速の原理

広域無段変速装置は図1に示すようにハーフトロイダル式CVTの二つのディスクの回転を差動ギヤに伝達し、その差を出力として取り出すものである。パワーローラが中立位置にあるとき、差動ギヤの出力回転速度は0になり、パワーローラの傾転角 θ の方向によって出力回転速度は逆転できる。

2.2 変速方法

図2にCVT部の変速原理を示す。赤い線で示すパワーローラの傾転軸の角度 ϕ を変化させることでトロイダルディスクの接触円の半径の比が変わり変速できる。このとき、接触点を結ぶ仮想の軸回りに回転角 δ を与えると接触点の軌跡が変わり、入力軸に与えるトルクによって緑で示す偶力により傾転軸周りの回転トルクが発生する。この原理を利用すれば、制御角 δ で傾転角 θ を制御できる⁽²⁾

2.3 変速範囲

岩本等によって、出力軸の回転速度が次式のように示されている⁽¹⁾。図1に示すように、入力軸の回転速度を n_i 、出力

Fig.1 Concept of Wide Range CVT

Fig.2 Torque produced by inclination δ

軸の回転速度を n_o 、第2トロイダルディスクの回転速度を n_f 、入力軸に対する差動歯車軸の変速比を k_b 、第2トロイダルディスクに対する差動歯車軸の変速比を k_c 、差動歯車に対する出力軸の変速比を k_a 、CVT部の変速比を k_v とすると

$$n_o = \frac{k_a}{2} (k_b n_i + k_c n_f) = \frac{k_a k_c}{2} \left(\frac{k_b}{k_c} + k_v \right) n_i \quad \dots(1)$$

ただし、パワーローラーの傾転軸の角度を ϕ 、入力軸との距離を h 、接触点までの半頂角を θ 、キャビティ半径を r とすると

$$k_v = -\frac{h - r \cos(\theta + \phi)}{h - r \cos(\theta - \phi)} \quad \dots(2)$$

である。(1)式より、出力軸の速度が0になる条件は $k_v = -k_b/k_c$ であり、 k_b 、 k_c の値によりニュートラルの位置を設定できる。今回の設計では前進の変速範囲を後退より大きくとるために $k_b=0.221$ 、 $k_c=0.0368$ とした。このときの傾転角は $\theta=5\text{deg}$ となる。また、 $-2.78 < k_v < -0.36$ であるので、前進側と後退側の変速範囲の比は7.72対1となる。

2.4 接触力の調整機構

接触点を結ぶ仮想の軸回りにパワーローラーを回転させるために平行リンク機構を用い、制御角 δ を与えるためのラジコン用サーボユニットをリンクの隅に取り付けた。サーボユニットを適用したことにより、リンク駆動機構がリンクに内蔵され、変速装置をコンパクトに構成することができた。また、パワーローラーの押付はこれまでの回転軸を押し上げる方式から図3に示すようにリンク機構全体を押し上げる方式へと変更した。トロイダル式CVTは摩擦力により動力を伝達している。このため、パワーローラーのディスクに対する接触力の確保は重要な課題である。調整ねじは上部にあり、接触力を調整しやすい構造である。試作した広域無段変速装置を図4に示す。

2.5 搭載車両

競技用小型車両(カート)に広域無段変速装置を搭載した。サスペンションもディファレンシャルギヤ(デフ)も装備されていない車両からエンジンや座席を取り外し、フレームを補強してマウントベースを設け、広域無段変速装置とデフを搭載した。小型車両はスペースが限られており、乗員を搭載するスペースの確保は重要な課題である。図5に示すように、シャシの位置を高くして、広域変速装置の差動ギヤと後車軸の差動ギヤが上下に重なるように配置することによって座席を取り付ける位置を確保した。

2.6 制御システム

図6にサーボ系の構成を示す。制御角 δ はサーボユニット内でフィードバックされる。傾転角 θ はポテンショメータにより計測され、目標傾転角度 θ_r にフィードバックする。

Fig.3 A power roller support structure

本年度は角度制御に加えて速度制御を行った。図7に速度制御によるサーボ系を示す。エンコーダを読み取る際、F/Vコンバータを用いてパルスの周波数をアナログ電圧信号にし、A/D変換によりマイコンに取り込んだ。

図8にモータの回転をF/Vコンバータで検出した結果を示す。入力回転数と出力電圧がリニアな関係であることがわかる。

3. 実験

3.1 変速サーボ実験

図9に図6で示した変速軸のサーボ実験の結果を示す。コントローラで与える目標値に追従していることがわかる。

Fig.4 Wide Range Continuously Variable Transmission

Fig.5 Trial Manufactured Vehicle

Fig.6 Servo Control System

Fig.7 Servo Control System

3.2 機能確認実験

タイヤに負荷をかけない状態でパワーローラを前進域、後退域にそれぞれ傾けた状態とし、装置に入力回転を与え、入力ディスク、出力ディスク、最終出力の回転速度を計測した。図 10 に前進時の各要素の回転速度を示す。また、図 11 に後退時の各要素の回転速度を示す。入力ディスクと出力ディスクの回転速度が前進と後退で逆転していることから、広域に変速ができていていることがわかる。

3.3 無人走行実験

エンジンの回転数を 300rpm に抑えて路上の走行実験を行った。その結果を図 12、図 13 に示す。前進も後退も傾転角の変化で実現できた。前進速度は 5.17km/h、後退速度は 2.36km/h であった。

3.4 搭乗走行実験

人が乗った状態で走行実験を行った。無人の場合と同様、変速ができることを確認した。図 14 に実験の様子を示す。

Fig. 8 Relation between rotational speed and voltage

Fig. 9 Experimental Data of Servo Control

Fig.10 Rotational speed (no load, forward)

Fig.11 Rotational speed (no load, reverse)

4. まとめ

ハーフトロイダル式 CVT と差動ギヤを組み合わせた広域無段変速装置を開発しており、人が登場できるガソリンエンジン駆動の小型車両に搭載して、前進から後退まで走行が可能なることを確認できるところまで進展した。まだ CVT 部に滑りがあり、性能を出すにはこの滑りを解消することが重要である。

文 献

- [1]Robert Q. Riley, "Alternative Cars in the 21st Century - A New Personal Transportation Paradigm," Society of Automotive Engineers, Inc., pp.149-153, 1982
- [2] 田中裕久著,"トロイダル CVT",コロナ社, 2000
- [3] 岩本太郎,瀬堂統太,米田秀幸,渋谷恒司,"エンジン駆動用無段変速装置", ROBOMECH'02, 2P1-F08, 2002.
- [4] 岩本太郎,藤川賢昭,齊藤徹也,渋谷恒司,"広域無段変速装置の変速サーボ機構", ROBOMECH'04, 2A1-L2-29, 2004.
- [5] 井端真一, 朝倉治, 大瀧智也, 森野浩昭, 岩本太郎, 渋谷恒司, "CVT と差動ギヤを用いた広域無段変速装置の小型車両への適用", ROBOMECH2005, 1P1-S-015, 2005.

Fig.12 Rotational speed (on road, forward)

Fig.13 Rotational speed (on road, reverse)

Fig14 Running Test