自動車用トロイダルCVT (無段階変速機)の実用化

Practical Applications for Toroidal CVTs (Continuously Variable Transmission)

1

はじめに

歯車に代わって摩擦駆動式変速機を自動車に適用しようという開発の歴史は、トルクコンバータを用いた現在の自動変速機より古い。今世紀の始めにはフリクションドライブカーとして実際に発売されたこともあるが、金属同士の接触では金属表面に磨耗や焼きつきが発生してしまい、自動車に必要なとされる耐久性が確保できなかった。しかし、摩擦駆動式変速機を用いると、無段階の変速が可能となることから、この実用化の夢が捨てきれず100年にわたって多くの研究者が挑戦してきた。

2

トロイダル型CVT

図1はトロイダル型CVTの基本形状である。入力された動力はパワーローラを介して出力ディスクに伝えられる。変速比はパワーローラを傾けることによって得られる。図1の記号を用いれば変速比は $R3/R1$ で表される大変単純な機構である。

3

動力の伝達

ディスクとローラの接触点 O, O' では動力の伝達が摩擦によって行われるの

町田 尚

Hisashi Machida

1947年10月生まれ

1973年東北大学工学部卒業

1992年東北大学工学部工学博士

■主として行っている業務・研究
・トライボロジーの研究開発

■所属学会および主な活動

日本機械学会, 自動車技術会, SAE

■勤務先

日本精工(株) 研究開発センター
所長

(〒251-8501 藤沢市鵠沼神明1-5-50/E-mail: machida@nsk.com)

図1 ハーフトロイダルCVT変速のしくみ

であるが、ディスクとローラの間に油膜が存在することが1960年ごろの研究で明らかになった。この二つの研究は弾性流体潤滑理論（EHL: Elastohydrodynamic Lubrication）と呼ばれ、転がり軸受や歯車の研究開発を大いに促進させた。この油膜の力で動力を伝えようというのがトラクションドライブである。図2にトラクションドライブの概念とEHL油膜の写真を示した。

4

トラクションオイル

金属同士の接触を避けて油膜の力で動力を伝えるわけであるから、磨耗も焼きつきもない大変ぐあいの良い考えである。このとき主役はオイルである。オイルにはさまざまな特性があるが、トラクションドライブではトラクション係数の高いオイルが必要とされる。図3は出光興産が実験した各種オイルのトラクション係数の測定結果であ

る。この結果から高温でトラクション係数の高い合成油が選定された。しかしながらトラクション係数は最大で0.1、自動車のような高温では0.08以下である。

5

トラクションドライブ

トラクションドライブで伝達できる駆動力は、

$$\text{駆動力} = (\text{トラクション係数}) \times (\text{押し付け力})$$

図4 超高纯净度鋼

図5 超高纯净度鋼

表1 試作車の開発経緯

年	1982	1983	1983	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1990	1992	1993	1994	1999
名 称 コード	T150S/SBR	T90S/SC	T90S/HM	T68S	T125S	T104S/DH	T116S	T150S	T150D	T144D	T145D	T132D	T130D	T132D
エンジン [cc]	1,600	550	400	180	2,000	550	1,300	1,500	3,000	3,000	3,000	4,000	4,000	3,000
	FF Car	Mini Van	Motorcycle	Motorcycle	Diesel Van	Turbo FF Mini Car	Motorcycle	Turbo FF Car	Turbo Bench	Turbo FR Car	4WD	FF Car	FR Car	Turbo FR Car
最 大 出 力 (kW)	63.75	22.5	30	9	49.5	39	73.5	75	191.25	191.25	106.6			206
最 大 ト ル ク (Nm)	120.5	44.1	32.34	11.76	124.46	70.56	110.74	156.8	333	333	230	370	340	387
最 高 回 転 数 (min ⁻¹)	5,600	5,500	10,000	8,500	4,500	6,000	7,000	6,000	6,000	6,000	5,500	7,000	7,000	6,500
変 速 比 幅	4.0	4.0	4.0	4.0	6.0	5.2	4.0	5.6	5.6	5.6	8.7	4.0	5.2	4.4
減 速	2.0	2.0	2.0	2.0	2.449	2.280	2.0	2.366	2.366	2.366	2.950	2.000	2.280	2.000
増 速	0.5	0.5	0.5	0.5	0.408	0.438	0.5	0.422	0.422	0.422	0.339	0.500	0.439	0.460
トroidal諸元 キャビティ構成 キャビティ径 (mm)	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Single	Double	Double	Double	Double	Double	Double
ディスク外径 (mm)	150	90	90	68	125	104	116	150	150	150	145	132	150	132
ディスク外径 (mm)	165	100	100	90	150	116	124	165	165	165	165	155	165	158
トラクション オイル	Sntotrac 50	Sntotrac 50	DN 7073	DN 7074	DN 7074	DN 7088	DN 7074	Ap. 7149	Ap. 7149	Ap. 7149	Ap. 7149	Ap. 7149	Ap. 7149	Mass-Pro. Type
変 速 制 御	油圧-メカ	油圧-電子	油圧-メカ	油圧-電子	油圧-電子	油圧-電子	油圧-電子	油圧-電子	油圧-電子	油圧-電子	油圧-電子	油圧-電子	油圧-電子	油圧-電子
発進クラッチ	マニュアル	電磁 クラッチ	マニュアル	遠心 クラッチ	電磁 クラッチ	多湿多版 電子制御	遠心 クラッチ	トルクコン バーター		トルクコン バーター				トルクコン バーター
テ ス ト	実車走行試験 (20,000 マイル) ベンチテスト 効率・耐久	実車走行試験 悪路・雪路 ベンチテスト 効率・耐久	ベンチテスト 効率・耐久	ベンチテスト 効率・耐久	実車走行試験 ベンチテスト 効率・耐久	実車走行試験 悪路・雪路 市街地・高 速 ベンチテスト 効率・耐久	実車走行試験 ベンチテスト 効率・耐久	実車走行試験 ベンチテスト 効率・耐久	実車走行試験 ベンチテスト 効率・耐久	実車走行試験 ベンチテスト 効率・耐久	実車走行試験 ベンチテスト 効率・耐久	ベンチテスト 効率	ベンチテスト 効率	量産

で表される。クーロンの摩擦の式と同じである。従って油のトラクション係数がたかだか0.1（実用上はもっと低い）とすると押しつけた力の10%しか駆動力に変換できないのである。そのため大きな駆動力を出すためにはとてつもなく大きな力で押しつける必要がある。4Lの乗用車を想定すると、最小回転半径 $R1=33\text{mm}$ 、トラクション係数約0.06であるので押しつけ力は50 000Nに達する。このとき弾性変形による接触点の面積は 20mm^2 で五円玉の穴ぐらいの大きさである。このだ円4個（ローラが4個あるから）で4Lの自動車を走らせよというわけである。このとき鉄にかかる最大応力の値は4GPaに達する。トラクション

ドライブの難しさはここにある。このように高い応力がかかって繰返し使われても十分な耐久性を持つ鋼の開発がオイルに続いて重要となる。金属が高い応力のもとで破壊するときは、金属中に存在する非金属介在物（主にはアルミナ）周辺の高応力部の疲労による。従って金属中の非金属介在物を減少させること、すなわち極めて清浄度の高い鋼を開発することが課題となる。図4は従来の鋼とCVT鋼の鋼中非金属介在物の比較である。CVT鋼では非金属介在物の最大粒径もカウント数も減少していることがよくわかる。この鋼を用いて耐久試験を行った結果を図5に示す。1993年以降耐久性は圧倒的に向上した。

6 開発の経緯

表1は筆者らが開発した試作車の経緯である。開発初期は小形車に的を絞って耐久性、効率、制御の実験を主に行った。1987年以降は独自の試作車は作らずトroidal型CVTの心臓部だけの開発に専念した。電子制御による制御方式や自動車への適用実験は日産自動車にやってもらった。その結果1999年11月8日、日産自動車のセドリック・グロリアに搭載されて世界で初めて市場投入された。実に100年の歴史の技術が実用化されたわけである。