

流 體 變 速 機

石 原 智 男

1. 緒 言

變速装置を経て動力を傳達する際に原動軸と被動軸とのトルクの比を、兩軸の速度比に對して、段階なしに、またできうるならば自動的に變化させようという目的のために、種々の方法が考えられてきた。機械的あるいは電氣的方法によつて、その目的はある程度達せられてはいるが、確實さ、經濟性、重量等の點で、まだ理想に遠いものがある。それとは別な方法で、流體を用いることが考えられる。流體變速機 (hydraulic torque converter) はその方法の一つで、ポンプ、タービン、案内翼* からなり、内部を循環する流體 (油) の運動量の授受によつて動力を傳達しようとするものである。流體接手 (fluid coupling) もこれに屬するものであるが、それは案内翼がなく、1對1のトルク傳達にしか役立たない。ここにはトルク變換を目的とする流體變速機について述べる。

流體變速機の利點 (主に自動車用變速機に用いた場合) を列挙すれば、(1) 加速が非常に滑らかに行われ、不快な衝撃を乗客にあたえない、(2) 變速の自動化が容易でその結果運転に熟練を要しない、(3) 原動機にとりつけた場合に、起動電流が少なくてすむ等である。缺點は (1) 損失が多いため効率が低く、燃料消費率を大にする傾向がある、(2) そのままでは逆轉が不可能、(3) 補助装置を裝備すればこれらの缺點は除去されるが、高價になる等である。

2. 流體變速機の歴史

流體變速機は 1905 年頃 Foettinger (獨) により發明され、最初船用蒸汽タービンの減速機に用いられたが、齒車減速機が進歩してとつてかわつた。その後 Voith (獨) は鐵道車輛用のものを製作し、Sinclair (英) とともに多くの利用分野を開拓した。1930 年頃 Lysholm (スウェーデン) は Lysholm-Smith 式としてよく知られている型式のものを製作したが、それは加速時にだけ流體變速機としてはたつき、逆進や直結駆動の場合は、手で機械式的ものに切換えるもので、最初バスに裝備され、後にイ

ギリス、アメリカで改良研究された。1934 年に Foettinger, Spannhake (獨) 等の努力のすえ、Trilok とよばれる流體變速機がつけられ、鐵道車輛や自動車に實用された。その興味ある新機軸は、案内翼とフレームとの間に freewheel clutch** をとりつけて、ある速度比以上では、自動的に流體接手作用にきりかえられることである。

その後、各製造會社がきそつて研究につとめて改良發達をおこなつた結果、最近アメリカではバスや小型乗用車の大部分に採用されるようになった。

3. 流體變速機の分類

3-1 使用目的による分類 流體變速機はその構造上原動軸の回轉方向に對する被動軸のそれが一定にきまるもので、同方向に回轉するものを正轉、逆方向に回轉するものを逆轉とよぶことにする。正逆の兩回轉方向が要求されるときは、適當な補助機構が必要である。また減速と増速とにわけられるが、現在まで實用された例は減速だけである。

3-2 構造による分類 3-2-1 羽根の配列順序 ポンプ、タービン、案内翼の配列順序によつて、特性にいちじるしい差異があらわれる。減速を例にとれば「ポンプ→タービン→案内翼」型は正轉用「ポンプ→案内翼→タービン」型は逆轉用にそれぞれ適していると考えられる。

3-2-2 羽根の段數 ポンプ、タービン、案内翼を各 1 個づつ配列したものを 1 段とよび、タービンや案内翼を適當に分割して配列したものを、その分割の數により 2 段、3 段……とよぶ。段數を多くするのは、速度比が 0 (失速點) のところでトルクの比を大きくしうることによるのであるが、最近アメリカで發表されているものには freewheel clutch を利用した段數の少ないものが多い。

3-2-3 羽根の分割 案内翼を freewheel clutch によつてフレームに接續したり、または案内翼やポンプの一部を途中から分割して、これらに freewheel clutch を用いることによつて、それらの手段を講じない場合に

* 案内翼がトルクの一部をうけつたために、ポンプに加えたトルクは倍加されてタービンに傳わる。

** 案内翼に正方向のトルクがかかるときは案内翼を固定し、負方向のトルクがかかるときは案内翼を自由に回轉させる装置。

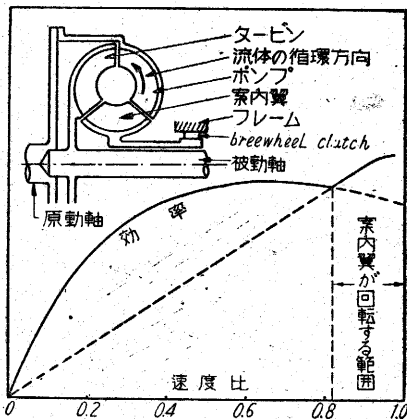
第 1 表 型式による分類

| 型式 | 1 段 | 2 段 | 3 段 |
|-------|---|--|---|
| 原 理 | | | |
| 製 品 例 | Forb. Mercury, Smalaker, White-Schneider, Trilok | Allison, General Motors | Buck, Chevrolet |
| 特 性 | 羽根の分割による。特性の相違は第 1, 2, 3 圖を参照のこと。 構造が簡単であるから實用されている例は多いが、最大トルク比は少ない。 (殆んどの自動率は約 2:1 である) 高いトルク比のときに原動機速度が速すぎることが缺點である。 | 最大トルク比は 1 段に比べ高い。(約 4:1) トルクが下るにつれて原動機速度は約 1:1 昇する。 | 最大トルク比は一層上がる。(約 6:1) トルク比の減少と共に、原動機速度は最も均一に上昇する。 構造が複雑となるのが缺點である。 |

ンブ羽根と第 2 ポンプ羽根との間に freewheel clutch を備えれば、速度比が 0 からある一定値までの間で、第 1 ポンプ羽根は流體から逆方向トルクをうけ、第 2 ポンプ羽根よりも早い速度で回転する。このことは (a) と同様の理由によつて、流れの衝突損失を減少させる結果をもたらす。ある一定速度比以上では、第

おける低効率の部分の改善することができる。現在多く用いられている 1 段の「ポンプ→タービン→案内翼」型減速機を例にとり、その分割方法と特性とを述べよう。

(a) 分割せぬ場合 (第 1 圖)。速度比がある値(遷移點)以上になると、案内翼にかかるトルクがそれまでの方向

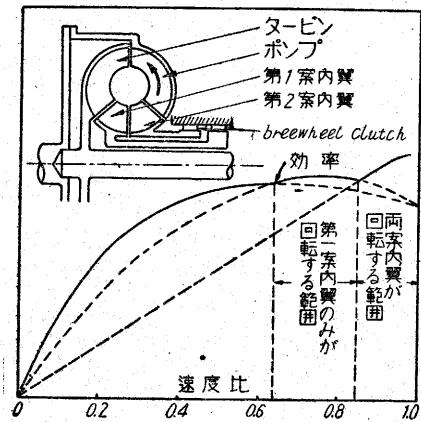


第 1 圖 案内翼に freewheel clutch がつけられている場合

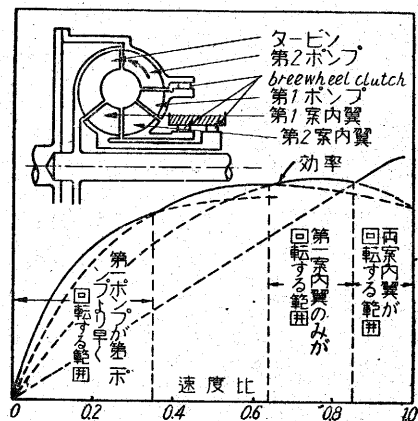
と逆に作用する。そこでポンプやタービンと同方向には自由に回転しうが、逆方向には回転しえないような freewheel clutch を案内翼とフレームとの間に装備することによつて、遷移點以上の速度比に對して案内翼がトルクをうけもたずに自由に回転しうるようにすれば、流れの無意味な方向變化をのぞくことができ、トルクの値(容量)と効率とを増大させることができる。それは流體接手の特性を考慮すれば容易に理解されよう。

(b) 案内翼を 2 個に分割する場合 (第 2 圖) 案内翼を適當な位置で分割し、それぞれ別の freewheel clutch でフレームに結合すれば、第 1 案内翼は分割しない場合の遷移點よりも低い速度比で回転しはじめ、(a) の場合よりもさらに損失を減少させることができ、その結果効率が増加する。しかも 2 個の案内翼が別々の速度比で回転しはじめるので、特性曲線の凹凸を平坦化し、運轉がなめらかになる。

(c) 案内翼を 2 個に分割しポンプを 2 個に分割する場合(第 3 圖)。ポンプ羽根を適當な位置で分割し、第 1 ポ



第 2 圖 第 1 第 2 案内翼にそれぞれ獨立に freewheel clutch がつけられている場合



第 3 圖 前圖のものに更に freewheel clutch を經て補助ポンプを取付けた場合

1, 第 2 ポンプ羽根は 1 體になつて回転する。ポンプを分割する場合、衝突流れが生じないような點(基準點)が失速點に近いと、分割の効果はあまりない。

4. 補助装置その他

4.1 流體變速機の運轉に不可欠な補助装置

(a) 油冷却器 流體變速機内部の流れの損失は熱となつて、大部分が循環する油にあたえられるから、油の酸化等をふせぐために冷却をおこなう必要がある。油の酸

化物は check valve, clutch piston, 油冷却器, 軸受等の機能を害し, また羽根の表面に悪影響をおよぼす。現在主として用いられている冷却方式は油冷却器(水冷)であるが, 流體變速機外面(回轉部分)に羽根を附して通風作用をさせる空冷のものもある。

(b) 油循環ポンプ 油の冷却, clutch の作動, 軸受の潤滑や流體變速機内部の流體の cavitation 防止等のために油循環ポンプが必要であるが, 簡便で高圧で使える歯車ポンプが多く使用される。ポンプは原動軸と被動軸おのおの1個づつとりつけられ, 一方の軸が回轉しなくても支障をきたさぬようにするのが普通である。

4.2 特別な機能をもたせるための補助装置 逆轉を可能にするためとトルク比を倍加するため, 通例被動軸の背後に歯車装置をおく。それは歯車と clutch を併用し, 逆轉, 低速, 高速の3段階にするのが普通である。clutch は油壓によつて作動されるものが多く, 乗用車の中には調速機を利用して, 完全自動運轉している。

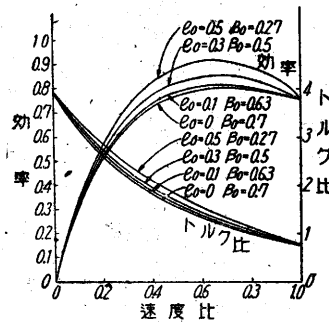
4.3 その他 流體變速機は構造上, 製作は相當難かしい。現在は Al 系合金の鑄物か, または鋼板(プレス加工)の羽根を組合せて溶接したものを使う。いずれにしても, 製品の羽根表面がなめらかで, また流路面積が大きくなるように, 羽根の厚さの薄いものが良いようである。油は高比重, 低粘度, 耐酸化性で, しかも潤滑油としての特性をもつたものが望ましい。

5. 流體變速機の理論

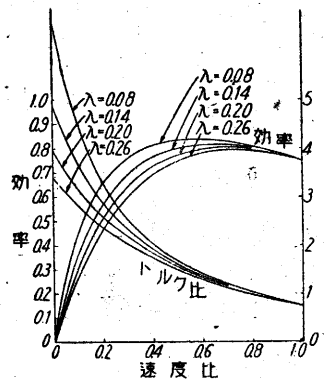
羽根の構造が複雑なためと, 内部の流れの状況を実際に測定することが困難なために, 理論研究はあまりおこなわれていない。現在では主として試作をくり返して良好な特性のものを探し出すという方法がとられているようである。筆者はこれまでに発表された理論研究^{(1), (2)}と特性曲線とを参考として, 特性を系統的に表示し, 使用目的に応じて最適の設計をおこなうための一方法を考え, 各種の計算をおこなつてみた⁽³⁾。ここに「ポンプ→タービン→案内翼」型1の段正轉用減速機についての計算結果を述べる。

理論式をたてるにあつては, (1) 回路内を循環する流體の流速の回轉軸をふくむ平面内の成分が, 一定の運轉状態においては場所的に變化しない, (2) 羽根に相當的流れは, 羽根のなす傾きの方向に沿うものとする, (3) 流れの損失を大別して摩擦損失と衝突損失とにわけ摩擦損失水頭 $=\lambda \times (\text{相對速度})^2 \text{mean}/2g$, 衝突損失水頭 $= (\text{衝突速度})^2/2g$ とおく, ここに λ は羽根表面の粗滑によつて定まる常數(損失係數)とする, (4) 上記2損失の和が, 流體變速機の入力と出力との差に等しい, との假定で運動量とエネルギーの式をたてると, 循環流量, 原動軸トルク, 被動軸トルク, トルク比, 効率等の諸量が羽根角度(入口, 出口), 羽根出入口の回轉軸からの半径, 速度比の函數として求められる。羽根角度としては, 3

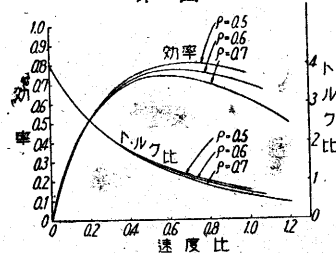
個の羽根の出入口における6個の個が存在するので, これらを勝手に變えて, それぞれの特性曲線を算出して比較検討することは非常な勞力を要し不可能に近い。そこである標準の運轉状態(循環流量と速度比とで規定される)において, 各羽根入口の流れがなめらかに羽根方向に流入するような構造をもつたものを取り, さらにその中でかかる運轉状態における効率が最高になるものをえらび整理することを考えれば, 比較的簡単な計算によつて特性の系統的な傾向をしらべることができる。ただ損失係數 λ の値は實驗によつて定められるべきものである



第4圖



第5圖



第6圖

が, 既発表の文献を参照すれば, その大體の値は求めうるものであるから, 上記の方法によつて設計に役立つ資料がえられる。

そのような方法で計算をおこなつた結果を参考のために示せば, 第4, 5, 6圖のごとくなる。圖中 e_0 は標準の運轉状態(基準點)における速度比, ρ_0 は基準點における循環流速をポンプ羽根車周速で除したもので, ρ はタービン羽根出口半径をポンプ羽根出口半径で除したものである。各圖についての詳細な説明は紙面の都合上省略する。

6. 結 言

以上流體變速機について概略の説明をおこなつたが, 現在發展途上にあるから, 今後改良されていくにしたがつて種

々の新しい興味ある問題が出てくるであろう。その利用範圍も將來には, 自動車の分野から各種産業機械にまでひろげられていくものと思う。

文 献

- (1) 宮城晋五郎, 機械學會論文集, 1巻, 2號, 昭一10.
- (2) E.W. Spannake, SAE-J., Aug., 1949.
- (3) 筆者, 自動車技術會論文集, 第2號