

オートマチックトランスミッションのプラネタリ用針状ころ軸受の技術動向

Technical Trends of Planetary Needle Roller Bearings for Automatic Transmissions

千原勝彦 K. CHIHARA 佐藤崇彦 T. SATOU

For improving the fuel economy of vehicles to counter the environmental crisis, automatic transmissions (ATs) have become multi-steps and need high-speed revolution in planetary bearings. On the other hand, planetary bearings for ATs are used under severe conditions such as moment and centrifugal force. This article describes characteristics and design technique of planetary bearing and shows newly developed planetary bearing corresponding to high-speed revolution.

Key Words: Needle roller bearing, planetary gear, automatic transmission, cage and roller

1. はじめに

乗用車の変速機はイーゼードライブを実現する自動変速機が主流となってきている。小排気量車ではベルト式無段変速機の採用車種が増加しているが、トルクの大きい大排気量車ではプラネタリギヤ機構で変速を行うステップ式オートマチックトランスミッション(以下ATと称す)が主流となっている。

最近の地球環境問題に対応して、ATでの低燃費化対策として、軽量化と多段化による減速比の拡大が進められている。このため、図1に示すようにATのプラネタリギヤインナに用いられる針状ころ軸受(以下プラネタリ軸受と称す)はより高速回転への対応が必要となって来ている。

また、軽量化と取扱い性の良さもあり、プラネタリ軸受の主流であった総ころ形の針状ころ軸受

に変わり、保持器付き針状ころ(ケージ&ローラ)が使用される例が増えている。

本報ではAT用プラネタリ軸受について、その特徴と技術動向について紹介する。

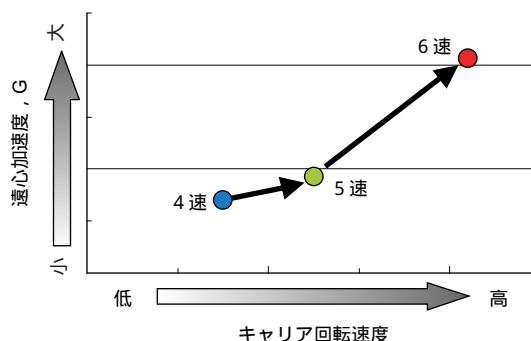


図1 ATの多段化による影響
Effects of AT multi-staging

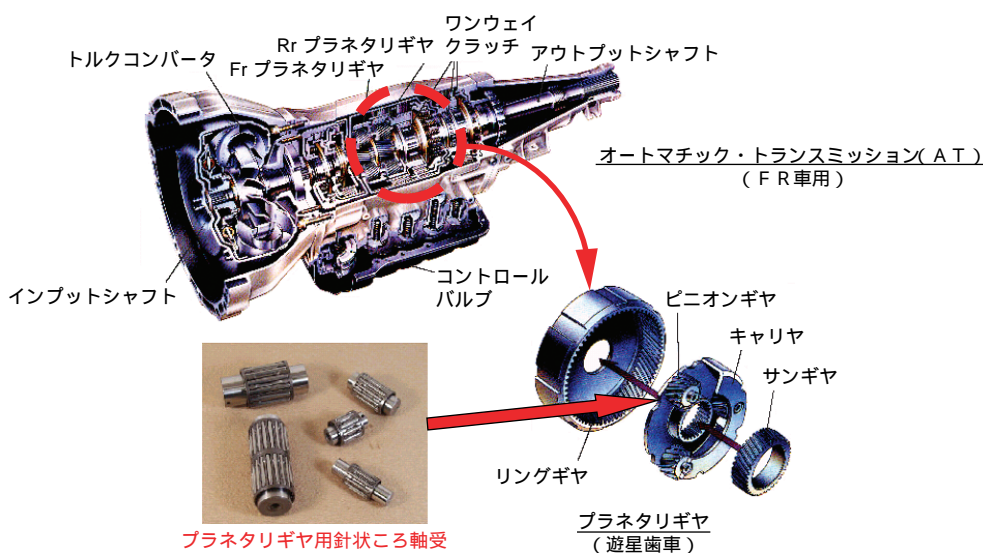


図2 FR車用オートマチック トランスミッション
Automatic transmission for FR vehicle

2. プラネタリギヤユニットの構造と軸受設計

図2に単純遊星ギヤ機構を用いたFR車用ATの一例を示す。最近ではダブルピニオンタイプやラビニオタイプなど各種の機構を用いて多段化したATが多くなっているが、基本的な問題は単純遊星ギヤ機構と同じである。

3. モーメントに対応した軸受設計

3.1 軸受寿命

ATのプラネタリギヤにはヘリカルギヤが用いられているので、ギヤインナのプラネタリ軸受には接線力 F_t 、半径方向力 F_r 、およびねじり角による軸方向力 F_a が作用している(図3)。軸方向力 F_a は軸受にモーメントとして作用する。モーメントはラジアル荷重に付加される形で作用するため、モーメントによりギヤが傾く。このため、ころ端部の面圧が非常に高くなり限界を超えるとエッジロードが発生する。エッジロードは軸受寿命を極端に低下させるため、適正なクラウニングを与えてエッジロードを防止する必要がある(図4)。

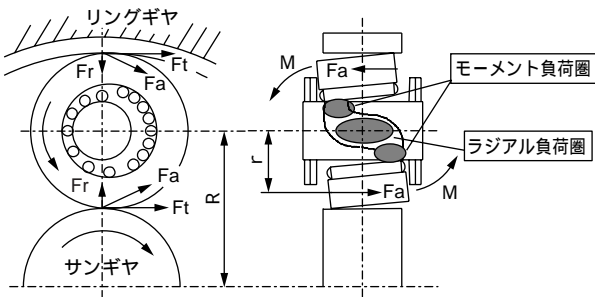


図3 プラネタリギヤに作用する力
Force on planetary gear

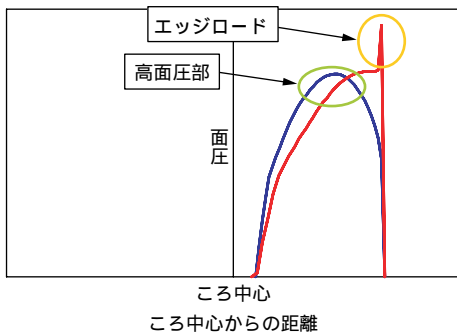


図4 ころの面圧分布
Contact stress distribution on roller surface

しかし、クラウニングによりエッジロードの発生が避けられても、ころ端部で面圧が高くなる事は避けられない。一般にころ軸受の総回転寿命 L は(1)式で表すことができる。

$$L = \left[\frac{C}{P} \right]^{\frac{10}{3}} \quad (1)$$

C : 軸受の動定格荷重

P : ラジアル荷重

しかし、(1)式ではモーメントによるころ端部での面圧上昇が考慮されていないため、プラネタリ軸受の寿命は(1)式で得られた値よりも短くなってしまう。

モーメントによる面圧の上昇はギヤ諸元(ねじり角やかみあいピッチ円径など)やギヤユニットの伝達トルクによって変化する。このため実際のギヤ諸元と各速度段の伝達トルクおよび各速度段の使用割合から、速度段ごとの面圧を計算して寿命低下率を求め、これをもとに軸受の寿命を計算している。

これまでの例からラジアル荷重だけの場合に比べてモーメントを考慮した寿命は30%~5%程度に低下することがわかっている。

3.2 耐焼付き性(許容回転速度)

軸受の許容回転速度は転動体のピッチ円径と回転速度を乗じた DmN 値で評価される事が多いが、荷重が大きい(面圧が高い)場合には C/P で決まる補正係数を考慮する必要がある(図5)。

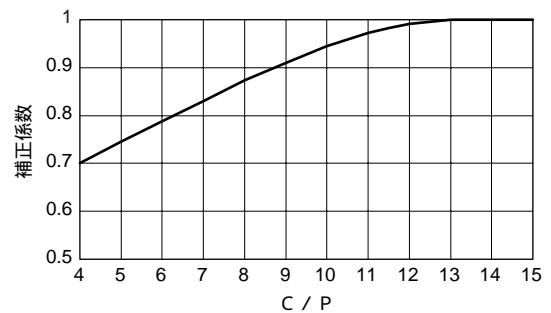


図5 荷重の大きさと補正係数
Loads vs. correction factors

しかし、前項で述べたようにプラネタリ軸受の場合、モーメントにより面圧が大きく変わるため単純に C/P による補正係数を用いることはできない。

そこで前項で述べたモーメントを考慮した接触面圧に DmN を乗じた値「転がりPV値」と呼称)と供給油量を種々変えて焼付き性を評価し、許容回転速度を求めた(図6)。

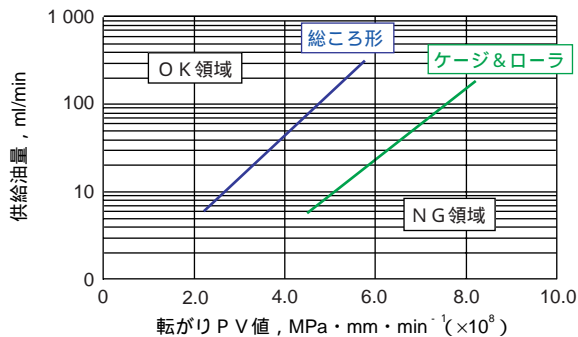


図6 焼付き性試験結果
Results of seizure test

4. 遠心力を考慮した軸受設計

4.1 プラネタリギヤの公転による遠心力

図7に単純遊星ギヤ機構における各ギヤの動きと軸受の挙動を示す。図7のA, Bの状態では、プラネタリ軸受には公転による遠心力が自転により繰り返し荷重として作用するモードである。

例えばキャリアの半径を50mm, 回転速度を6000min⁻¹とすると、公転により生じる遠心加速度は約2000Gにもなるため、プラネタリ軸受ではギヤのかみあいによる荷重以外に遠心力による荷重を考慮した軸受設計が必要である。

4.2 保持器の設計

保持器には遠心加速度により、保持器自身の質量による遠心力が作用する。

また、この遠心力により保持器はギヤ内径に押し付けられてギヤと一緒に回転しようとする。しかし、ころはギヤの約1/2の速度で公転するため、保持器外径とギヤ内径の摩擦력에相当する力でころが保持器を押し返すことになる。

さらに、ころにはサンギヤ中心の公転による遠心力が働いているため、この遠心力によりころ1本1本が保持器に荷重を与える。

これらの力は保持器の自転により繰り返し作用するため、保持器に発生する応力が疲労限以下となるように設計する必要がある。FEM解析の実施例を図8に示す。

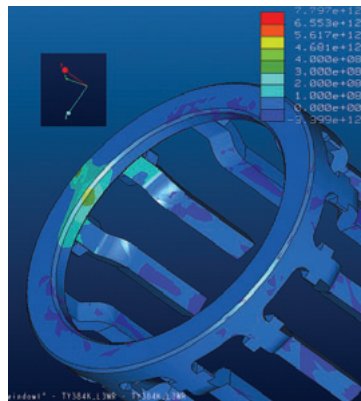


図8 FEM解析結果
FEM analysis

5. 高速回転対応プラネタリ用軸受

5.1 軽量高強度保持器

プラネタリギヤのさらなる高速回転化に対応して開発したプラネタリギヤ用軸受の特徴を図9に示す。大きな遠心加速度に対応するため、保持器の板厚を薄くして軽量化することで遠心力を小さくし、さらにリップ形状の改善をしてより高強度な形状としている。

	A		B		C
固定要素	リングギヤ		サンギヤ		キャリア
入力要素	サンギヤ	キャリア	リングギヤ	キャリア	サンギヤ
出力要素	キャリア	サンギヤ	キャリア	リングギヤ	リングギヤ
ギヤ機構の動き					
軸受の挙動	自転+公転		自転+公転		自転
軸受の回転方向と荷重の方向					

図7 プラネタリギヤの基本動作
Basic movement of planetary gear

	開発品	従来品
形状		
質量, g	4.4	4.9
2 000 Gでの発生応力, MPa	170	270
定格荷重 C / C0, kN	18.4 / 24.5	17.5 / 22.9

図9 開発品と従来品
Developed vs. conventional

5.2 軽量高強度保持器の評価結果

5.2.1 疲労強度試験(静的評価)

リブ強度を確認するため油圧パルス形疲労試験機を用いて圧縮疲労試験を実施した。試験結果を図10に示す。

図10より、開発品は薄肉化により軽量となっているがリブ形状改善により高強度であることが確認された。

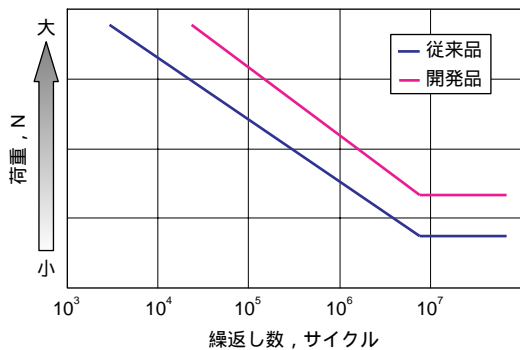


図10 疲労試験結果
Result of fatigue test

5.2.2 遊星歯車試験(動的評価)

ギヤ内径と保持器の摩擦やころがり保持器に与える負荷など、遠心力を考慮した、より実機に近い条件での保持器強度を評価するため、図11に示す遊星歯車試験機で試験を行った。

図12に示す通り、開発品は従来品に対し1.6倍の遠心加速度に対応可能であることが確認できた。

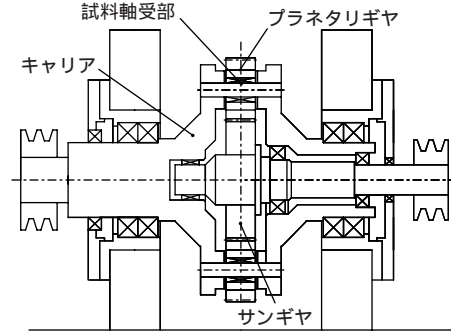


図11 試験機の構造
Structure of test rig

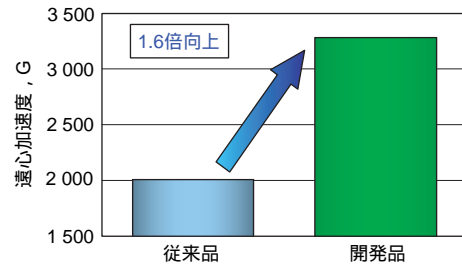


図12 遊星歯車試験結果
Results of planetary gear test

6. おわりに

プラネタリギヤユニットはAT以外にもベルト式CVTの前後進の切換部やハイブリッドカーの動力切換部、あるいは電気自動車のモーター減速機構などにも用いられており、コンパクトさと同軸上で変速可能と言う特徴から、今後もますます適用範囲が広がることが予想される。

今後も引き続きAT向けで培ってきた技術を用いてより多くのアプリケーションに対応できる製品を開発していきたい。

参考文献

- 1) 両角岳彦：図解 自動車のテクノロジー 基礎編，三栄書房(1991)82。

筆者



千原勝彦*
K. CHIHARA



佐藤崇彦*
T. SATOU

* 軸受事業本部 自動車軸受技術部