

高回転におけるトラクションドライブと歯車の性能比較

Comparison of transmission performance of traction drives and gears

東海大・工（正）山本 建

Takeshi Yamamoto

Tokai University

1. はじめに

小型化を目的に電動車用モータの高速化が進められており、組み合わせる減速機も高回転に耐える必要がある。減速機を構成する伝達要素としては歯車がよく使われるが、高速回転に対してはトラクションドライブも有力な候補となる。そこで最高回転数 50,000rpm のトラクション／歯車試験機および遊星減速機を設計製作し、伝達効率の比較検討を行った。

2. 伝達要素単体

2.1 高回転トラクション／歯車試験機

50 000 rpm の運転を可能としたトラクション試験機の本体部分を図 1 に示す。トルクメータを介して低速ローラをサーボモータで駆動し、ロードセルを介して油圧シリンダで高速ローラに押付け力を与える。カウンタ軸構造とし、ケース内部で増速と減速を行う構成とすることで、特殊なモータやトルクメータを用意することなく 50,000 rpm、15 kW の運転を実現している。またローラを歯車に置き換えて同じ条件で評価を行うこともできる。

2.2 伝達効率の解析

図 2 は回転数に対する 2 水準の駆動トルクでの、軸受を含むローラまたは歯車一組当たりのトルク損失測定値である。回転数に対するトルク損失の増分が速度項、押付け力に対する増分が荷重項である。トラクションドライブは、速度項が 2 水準の押付け力でほぼ等しく、また回転数によらず荷重項はほぼ一定である。低回転では荷重項が支配的であり、高回転では速度項の割合が大きいが、荷重項も無視できない大きさである。歯車はトラクションドライブに比べて伝達トルクによる損失の差が小さい。伝達トルクに応じて発生する荷重はかみ合い力だけであり、荷重項が小さいためである。ところが速度項は大きく、とくに 30,000rpm を超えるとトラクションは上に凸のカーブを描くのに対し、歯車は下に凸となり、高回転低トルク域での両者の差が大きい。

図 3 は、トラクションドライブについて回転数と駆動トルクそれぞれ 2 条件での計算における各要因の内訳を示している。運転条件によらず軸受が損失の大半を占める。高回転であるため軸受の攪拌抵抗が大きいこと、伝達力の 10 倍を超える大きな押付け力を軸受で支持することが要因である。より大きなトルクを伝える場合は押付け力の影響がさらに大きくなるため、遊星機構のように力を内部でキャンセルし、軸受で押付け力を受けない構造とすることが望ましい。

図 4 は歯車の損失内訳を示している。トラクションドライブと比較すると、かみ合い損失はトラクション部の転がり抵抗と同程度であるが、軸受荷重が小さいため軸受の転

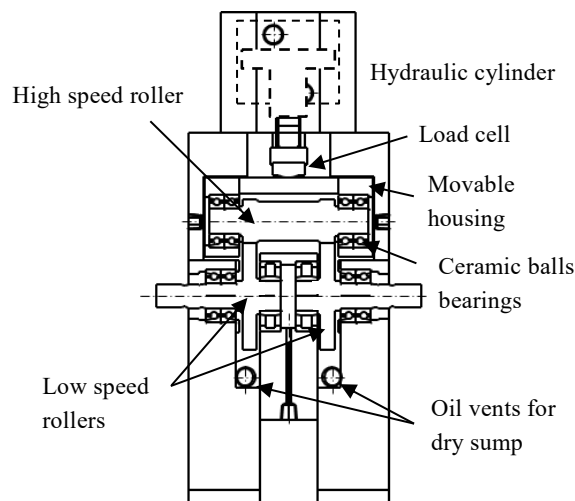


Fig. 1 Cross section of the roller unit¹⁾

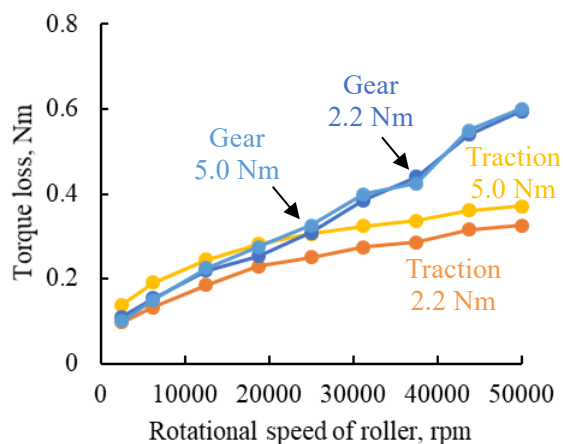


Fig. 2 Torque loss for the gear and traction drives. ¹⁾

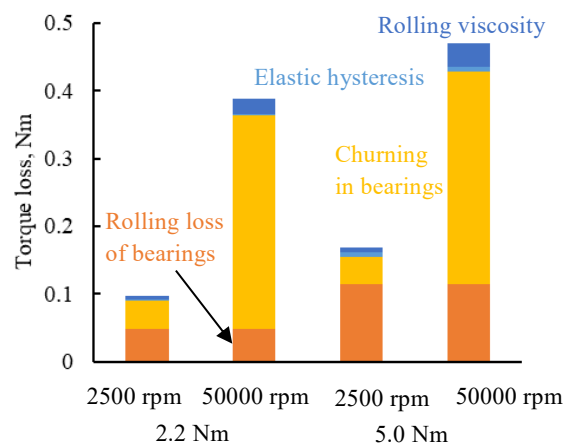


Fig. 3 Distribution of loss factors of traction drive. ¹⁾

がり摩擦はごく小さい。このため伝達トルクの感度が小さい。一方、トラクション油に比べてギヤ油の粘度が高いため軸受の攪拌抵抗は大きく、トルク損失に対する回転数の感度が高い。高回転減速機に歯車を用いるには低粘度化が重要となる。

3. 遊星機構の高回転における伝達効率

平行軸に対して遊星機構は、押付け力を軸受で支持せず動力損失が小さいこと、伝達経路が複数であるのでローラの小径化が可能であり周速が下がること、また形状の親和性からモータ減速機として適すると思われる。そこで電気自動車用減速機を想定した遊星ローラを設計製作し伝達効率測定を行った。試験ユニットを図5に示す。二つの遊星ローラを対向配置し、一方を増速機として用いる構成とした。サンローラ同士を結合し、それぞれのリングを入出力とする。減速比は9、サンローラの最高回転数は50,000rpmである。

サンローラ上で9,000、18,000、50,000rpmの3水準の回転数での減速遊星のトルク伝達効率を図6に示す。9,000rpmでは最高効率率は98%を超え、一般的な遊星歯車と同等の高い効率を得た。回転上昇とともに伝達効率は低下するが、急激な低下は見られない。計算と実験はよく一致しており、今回の実験条件内であれば現象は把握できている。なお試験設備の制限より最大出力が15kWと実車に比べて小さく、最大175kWの試験機を製作中である。

図5の遊星ローラと同様の構成で遊星歯車の試験ユニットを製作し、伝達効率の測定を行った。2章で述べた平行軸と同様、高回転では遊星ローラが、高トルクでは遊星歯車が高効率であった。

4. おわりに

電動車用高回転減速機に用いる動力伝達要素の性能を把握するため、高回転での評価が可能な動力伝達試験機を設計製作し、トラクションドライブと歯車の伝達効率比較を行い、以下の結果を得た。

- ・トラクションドライブは伝達トルクの感度が高く、歯車は回転数の影響が大きい。したがってトラクションドライブは高回転低トルク、歯車は低回転高トルクで伝達効率が高い
- ・トラクションドライブは押付け力を支持する軸受の損失が大きく、遊星機構のように軸受が押付け力を支持しない構造にすることが望ましい
- ・歯車は軸受の攪拌損失が大きく、油の低粘度化が伝達効率向上には必要である

文献

- 1) 山本：高回転におけるトラクションドライブと歯車の伝達性能測定（50000rpmでの性能比較），日本機械学会論文集，87，903（2021），No.21-00209.
- 2) T. Yamamoto, Y. Miura, Y. Matsushita & S. Hashimoto: High-Speed 50,000 rpm Planetary Roller Reducer for Electric Vehicles: Design and Transmission Efficiency Analysis, ASME J. Tribol., 147, 5, (2025), 051102.

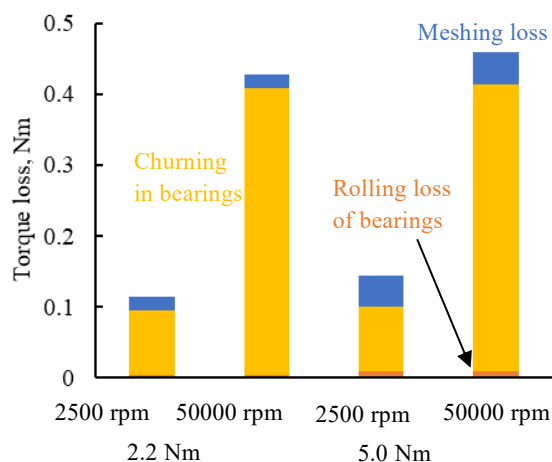


Fig. 4 Distribution of loss factors of gear. ¹⁾

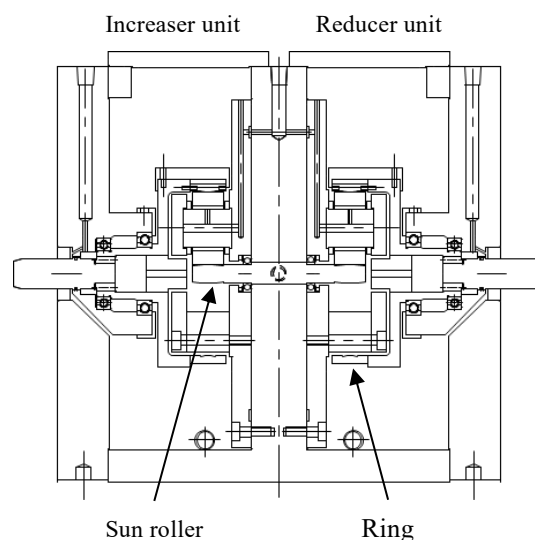


Fig. 5 Assembly diagram of planetary roller test unit

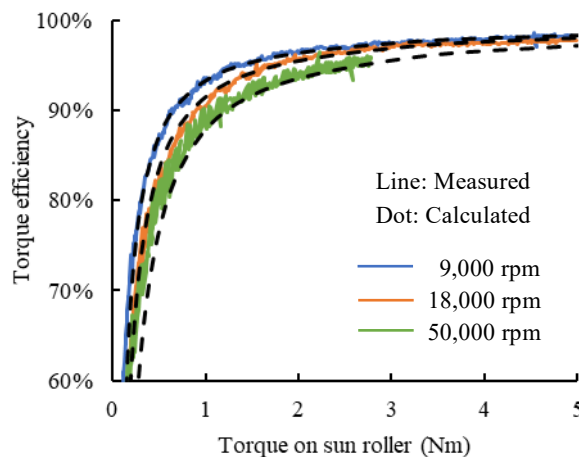


Fig. 6 Transmission efficiency of planetary roller reducer