

射出成形機用減速機小型化技術に関する研究

メカニクス系工学専攻 教授 東崎 康嘉

1. 緒言

現在、動力伝達に用いられる減速機の多くは、歯車減速機が用いられている。歯車はトルク容量が大きいのが長所である。しかし歯車減速は、射出成形機に用いようとした場合、搭載スペースの増加・歯の噛み合いによる騒音などの技術的課題もある。これらの課題の対応策の一つとして、軸受転用型トラクションドライブ¹⁾を歯車の支持軸受に搭載した、ハイブリッド減速機がある²⁾。軸受転用型トラクションドライブは、軸受の内輪と転動体の回転速度の差を利用して減速するものである。この回転速度差は、軸受の保持器と出力軸を一体化した「出力軸一体型保持器」で取り出す。現在、円すいころ軸受を用いた従来よりも大容量化可能なハイブリッド減速機の開発を行っている³⁾。Figure.1 に装置全体図を、Fig.2 に本機構の概略図を示す。本報告ではハイブリッド減速機の運転結果について報告する。

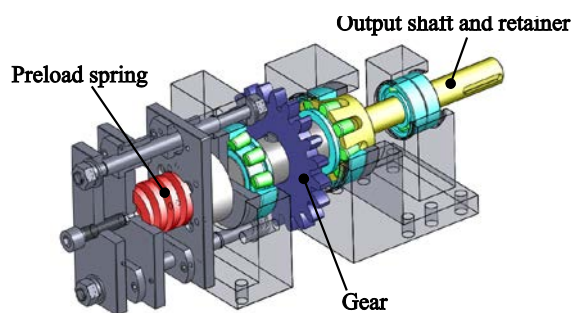


Fig.1 Model of the device

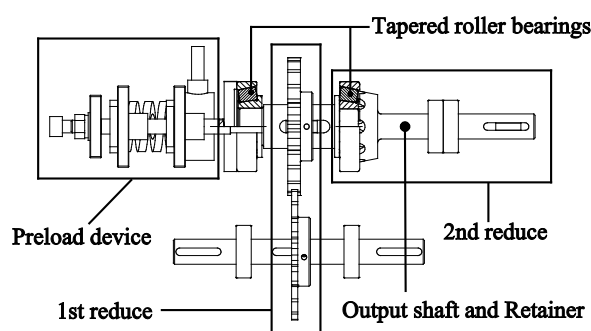


Fig.2 Schematic drawing of hybrid device

2. 大容量ハイブリッド減速機

2. 1 減速比と伝達可能トルク

本研究では、円すいころ軸受「4T-30306」にトラクションドライブとしての機能を付加させる。理論減速比は、プラネタリー型遊星歯車機構と同様の計算式を用いた。使用する軸受の寸法を入れて計算した結果、理論減速比は2.5となった。

軸受をトラクションドライブとして利用する際に、伝達可能トルクを計算により求める。軸受に作用する力は①歯車より受ける反力、②軸方向にかかる予圧の2種である。これらの力が作用するときの転動体荷重を Harris ら⁴⁾の手法で求めた。伝達可能トルクは式(1)で示される。得られた転動体荷重と式(1)より、伝達可能トルクを算出した。

$$T = \mu \times \sum \{ Q_o r_o + Q_i r_i + Q_f (r_i + e) \} \quad (1)$$

ここで、 Q_o, Q_i, Q_f は、外輪、内輪、大つば部に作用する転動体荷重、 r_o, r_i, e は外輪・内輪軌道半径、つば部接触位置である。また μ はトラクション係数であり、通常使用される値0.1を用いた。

計算結果を Fig.3 に示す。本研究では、使用するトルクメータの上限が20 [N・m]であることから、目標トルクを20 [N・m]とした。Figure.3 より予圧量が800 [N]以上で目標トルクを伝達できることが確認できた。なお、今回は軸受外径72mmであったが、大きな軸受を用いることでさらなる大トルクに対応することは可能である。

2. 2 高効率化手法の提案

軸受転用型トラクションドライブ部の保持器と転動体の間ではすべり接触となっているため、すべり摩擦による動力伝達効率の低下が考えられ、このすべり接触部の摩擦抵抗を減らすことで、動力伝達効率の向上が期待できる。そこで、このすべり触部に摩擦抵抗の少ない小片の PEEK を取り付けた保持器を試作し、動力伝達効率の向上を図った。Figure.4 に PEEK を使用した出力軸一体型保持器を示す。Table1 に今回使用した PEEK 材の強度に関する諸元を示す。

Table1 Specifications about strength of PEEK

Strength (MPa)			Elastic modulus (GPa)		PV value (MPa · m · min ⁻¹)		Poisson's ratio
Tensile	Bending	Compression	Tensile	Bending	20°C	200°C	
92	170	118	3.5	3.7	800	640	0.4

3. 実験方法

本研究では、出力軸一体型保持器の材料に、りん青銅（PBC）と SCM（転動体接触部のみ PEEK）の 2 種類を採用した。実際に試験装置を設計し、入力回転数を 50, 100, 150, 200 [rpm] ごとの出力トルク 5, 10, 15, 20 [N · m] における入力トルク、出力回転数、歯車歯面温度、軸受外輪温度、室内温度を計測した。トラクションドライブ側のグリースは合成ナフテン系油、その他の転がり軸受と歯車には、一般グリースを使用した。予圧を 1200N と 1800N の 2 種類で試験を行った。

動力伝達効率を計測した入出力回転数 (N_{in}, N_{out})、入出力トルク (T_{in}, T_{out}) より式(2)を用いて求めた。

$$\eta = \frac{N_{out} \times T_{out}}{N_{in} \times T_{in}} \times 100 \quad (2)$$

2 分毎に動力伝達効率の平均値をとり、各負荷トルク時の平均効率をグラフに示し、動力伝達効率の比較を行った。Figure5 に今回用いた試験装置の外観図を示す。

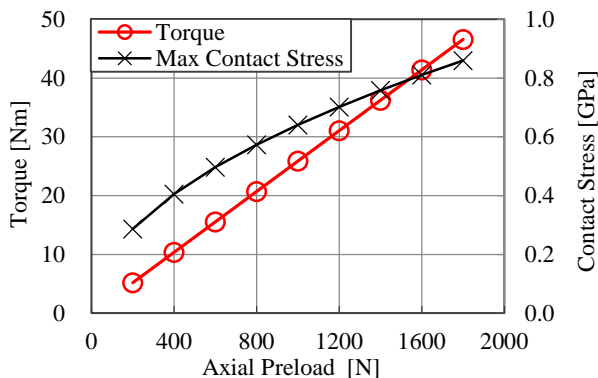


Fig.3 Calculated results of 4T-30306

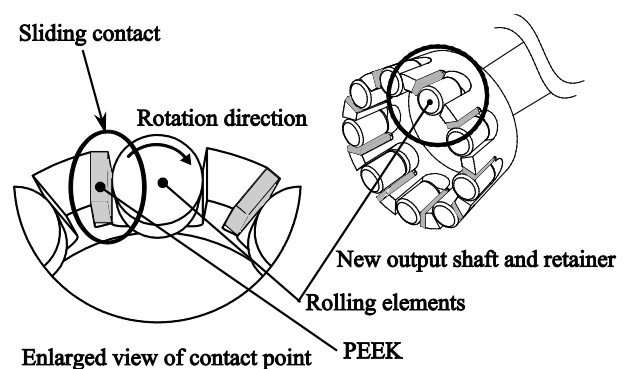


Fig.4 Improved output shaft and retainer

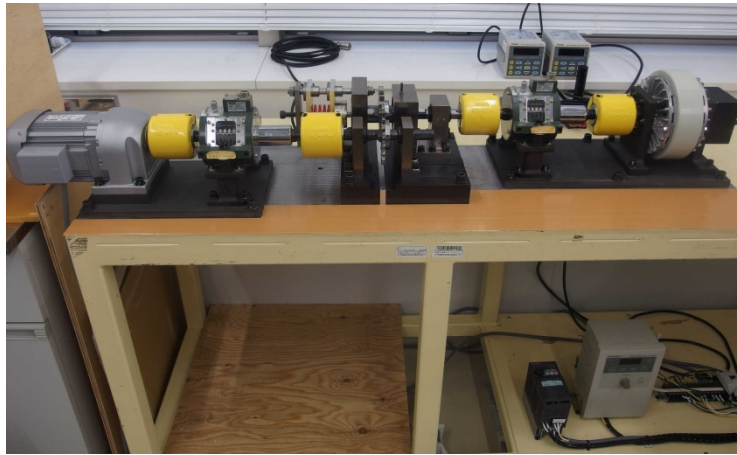


Fig.5 General view of test equipment

4. 実験結果

Figure6, Figure7 に予圧量 1200 [N]・入力回転数 100 [rpm], および予圧量 1800 [N]・入力回転数 100 [rpm] 時の, 出力トルクごとの動力伝達効率を示す.

Figure6, Figure7 に示したように, 接触部に PEEK を使用した場合, 動力伝達効率の向上が確認できた. PEEK を接触部に使用した場合, 最大で動力伝達効率が 5.0 [%] 向上している. これは接触部のすべり摩擦抵抗が減少したため, すべり摩擦損失が減少したためと考えられる. 実験より, 転動体・保持器間の摩擦抵抗軽減は, 動力伝達効率の向上に効果があるといえる.

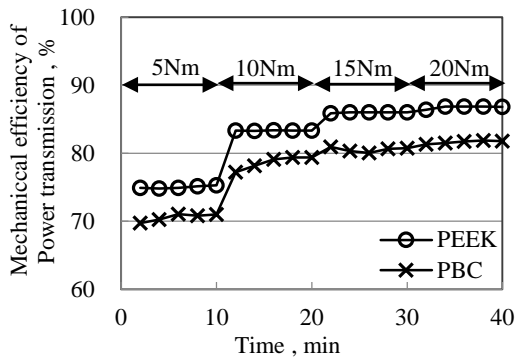


Fig.6 Efficiency measurement results at 1200N
100rpm

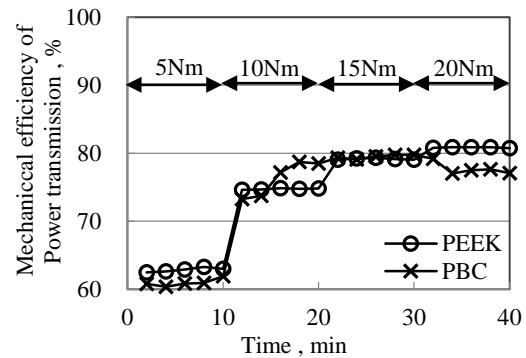


Fig.7 Efficiency measurement results at 1800N
100rpm

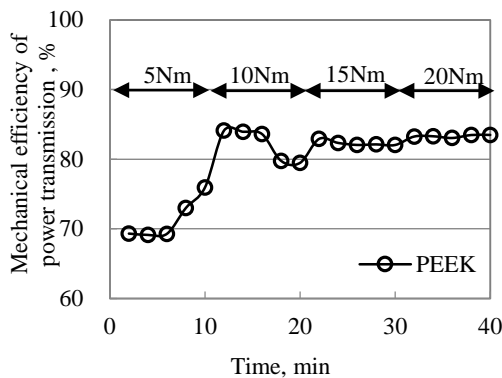


Fig.8 Efficiency measurement results at 1200N
200rpm

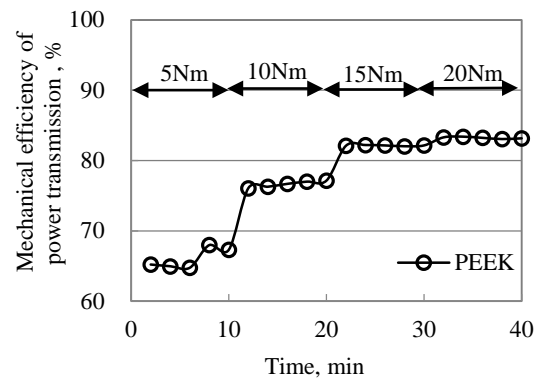


Fig.9 Efficiency measurement results at 1800N
200rpm

さらに、入力回転数を 200rpm まで上げて運転した場合の効率測定結果を Fig.8 および Fig.9 に示す。入力回転数 100rpm 時より、効率は若干低下しているが問題なく動力を伝達していることが分かる。また、予圧量を 1200 [N] と 1800 [N] で比較したが、予圧量自体の影響度合いは大きくなかった。Figure10 と Figure11 に試験後の保持器に貼りつけた PEEK と転動体の外観図を示す。接触痕は認められるが、焼付きや大きな摩耗は観察されなかった。



Fig.10 General view of retainer and PEEK



Fig.11 General view of rolling element

5. 結言

設計通りに減速できることが確認され、予圧量 1200 [N] 以上では目標のトルク 20 [N・m] を伝達できることが確認できた。また動力伝達効率の最大値は、入力回転数 100 [rpm] の条件下でりん青銅 (PBC) で 81.9 [%], SCM (接触部 PEEK) で 86.9 [%] であり、接触部に PEEK を使用した場合、PBC と比較して最大で 5.0 [%] の動力伝達効率向上が確認できた。

今後の課題として、安価なエンジニアリングプラスチックである POM や PA66 を接触部に採用することで、コストを抑え、PEEK と同様もしくはそれ以上の動力伝達効率を得られるかを検証する必要があると考える。また、最終的な樹脂材や形状を絞り込むことができれば、射出成形による大量生産でさらにコスト低減することが可能となる。

6. 謝辞

本研究は「文部科学省私立大学戦略的研究基盤形成支援事業 (平成 24 年～平成 26 年)」と「公益財団法人 NSK メカトロニクス技術高度化財団」の助成を受けたもので、ここに謝辞を表す。

7. 参考文献

- 1) 塩津, 東崎 “転がり軸受転用型高速マイクロトラクションドライブ” (第 1 報, マイクロトラクションドライブの試作と評価) “, 日本機械学会 C 編, Vol.72, No.716(2006), pp.1337-1344.
- 2) 東崎, 齋藤, 稲増 “ハイブリッド増減速機に関する基礎的研究 (軸方向予圧を用いた場合の解析と実験)” 日本機械学会論文集 C 編, Vol.79, No.804(2013), pp2899-2916
- 3) 東崎, 豊口, 坂本 “軸方向予圧を用いたハイブリッド減速機の大容量化に関する研究”
トライボロジー会議 2015 春 姫路 予稿集
- 4) Trdric A.Harris and Michael N.Kotzalas, “Essential Concepts of Bearing Technology”, FIFTH EDITION, (2007), pp135-153, Taylor&Francis.