

省エネルギーに貢献する自動車部品の高効率化・軽量化技術^{* 1}

High Efficiency and Lightweight Technology of Automotive Parts for Energy Saving

松山博樹 H. MATSUYAMA

High efficiency and lightweight of automotive parts such as rolling bearings, steering systems and driveline units is a significant contribution to reduction of CO₂ emissions by vehicle fuel efficiency. JTEKT has introduced a "JTEKT Ecology Package" for 2.5L class AWD vehicles for the purpose of achieving energy saving in vehicles. The paradigms of ecologically friendly products which constitute the "JTEKT Ecology Package", in particular rolling bearings and their fundamental technologies, have been presented for their high efficiency and lightweight quality. It is expected that the total fuel efficiency improvement from the "Ecology Package" is 10.7 percent.

Key Words: rolling bearings, automobiles, tribology, low friction, high efficiency, lightweight, energy saving

1. はじめに

自動車を取り巻く環境は大きく変化している。従来の車両開発は、「安全」、「快適」、「環境」の三つのキーワードを中心に進められてきたが、地球温暖化防止などの環境問題への対応、原油高騰にみられるエネルギー問題への対応、レアメタルをはじめとする資源問題への対応、新興国での市場拡大に伴うグローバル市場への対応が新たに求められている。特に、自動車の環境・エネルギー問題への対応は今後の自動車業界の命運を左右する重要なテーマであり、地球温暖化問題および省エネルギーに関係する燃費向上とCO₂排出量削減が最重要課題と言っても過言ではない。

このような状況の下、当社では、転がり軸受やステアリングシステム、駆動ユニットなど、自動車の省エネルギー化、すなわち燃費向上によるCO₂排出量削減に貢献できる自動車部品をまとめてトータル燃費向上パッケージ（ジェイテクト・エコロジーパッケージ）として提案している。本報では、自動車の高効率化と軽量化の二ーズに対応できるエコロジー製品とそれらを構成する要素技術を紹介する。

2. 環境・エネルギー問題への対応

地球温暖化問題への対応や新興国における急激な産業発展に伴い、自動車の燃費規制（CO₂排出規制）は日欧米の各地域で厳しさを増しているのは周知のとおりである。2015年7月、日本政府は2030年度の温室効果ガスの削減目標を2013年度比26%減とする「日本の約束草案」を決定し、国連気候変動枠組条約事務局に提出した。わが国の温室効果ガス排出量の9割を占めるエネルギー起源CO₂の排出量に関して、全体の約2割を占める運輸部門は2013年度比28%の削減が求められる。このようなCO₂排出量削減の要求に対して、運輸部門の大部分を占める自動車の省エネルギー化の取り組みが必要とされている。自動車の省エネルギー化は、自動車単体では、いかに化石燃料を節約して車を走らせるか、すなわち燃費向上にほかならない。

米国のガソリン自動車の走行中におけるエネルギー損失の割合を図1に示す¹⁾。日本トライボロジー学会においても同様の検討²⁾がなされており、各要素の損失負担割合は概ね図1のとおりである。燃費向上には、①エンジン効率の向上、②アイドル損失の低減、③動力伝達効率の向上、④走行抵抗の低減、⑤補機類の損失低減が有効であり、車両の軽量化以外にも多くの燃費向上技術が開発されている。当社では、これらの技術に共通する高効率化、軽量化の二ーズに対応できる技術開発を進めている³⁾。

* 1 本報は、トライボロジー研究会 第24回講演会前刷集 (2013) 45-48を基に作成した。

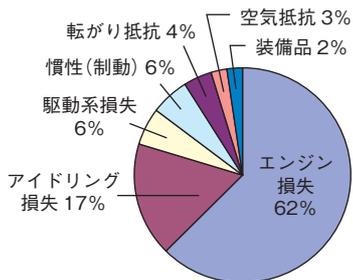


図1 走行中ガソリン車のエネルギー損失割合¹⁾
Percentages of energy loss in traveling gasoline engine vehicles

3. ジェイテクト・エコロジーパッケージ

排気量 2.5L クラスの四輪駆動 (4WD) 車を想定した、ジェイテクト・エコロジーパッケージを図2に示す。図中の % の数値は高効率化や軽量化による燃費向上率を表している。次章以降では、シャシ系、パワートレイン系、ドライブトレイン系における代表的なエコロジー製品とその構成技術について述べる。

4. シャシ系

4.1 ステアリング

当社は 1988 年にコラムアシストタイプの電動パワーステアリング (Electric Power Steering, EPS) を世界で初めて量産した。従来の油圧パワーステアリング (Hydraulic Power Steering, HPS) では、エンジンの駆動力で常に油圧ポンプを作動させる必要があった。EPS は操舵時のみモータを作動させればよいため、HPS に比べてエネルギー消費量が 1/6 と小さく、2.5% の燃費向上効果が得られる (図3)^{4,5)}。ステアリングタイプ別のグローバルでの自動車生産台数に注目すると、2000 年頃は HPS が大半を占めていたが、2014 年では EPS が全体の半分を占めるなど、EPS 化が急速に進んでいる⁶⁾。

搭載車両の拡大に合わせてさまざまなタイプの EPS が生み出され、高出力化や高機能化が図られている。デュアルピニオンタイプ EPS (DP-EPS[®]) はエンジンルーム内にアシスト機構を配置することで、高出力化と車



図2 ジェイテクト・エコロジーパッケージ
JTEKT Ecology Package

両搭載性の向上を同時に実現している。近年、コラムアシストタイプEPS (C-EPS[®]) において、モータとECUの一体化⁷⁾、ブラシレスモータの小型化などにより、従来品に比べて15% (2.7kg) の軽量化を実現している。

EPSのモータ減速機に使用されるウォーム歯車は樹脂製ウォームホイールと金属性ウォームシャフトで構成され、そのしゅう動部 (図4) はグリースで潤滑されている。近年、しゅう動部への流入性を向上させ、添加剤処方を適正化する新たなグリース低摩擦化技術⁹⁾ が開発された。図5⁹⁾ に示すように、脂肪族ジウレアグリース (U) にステアレート系油性向上剤 (A, B) を添

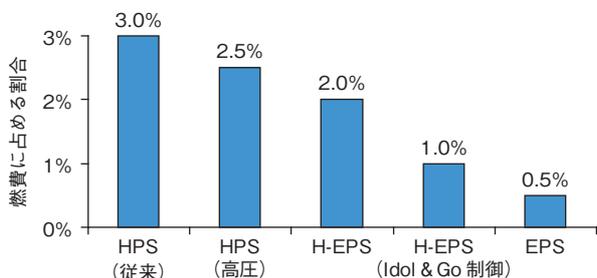


図3 ステアリングの消費エネルギー比較⁵⁾

Comparison of energy consumption in steering systems



図4 EPS モータ減速機用ウォーム歯車
Worm gear for EPS motor reducer

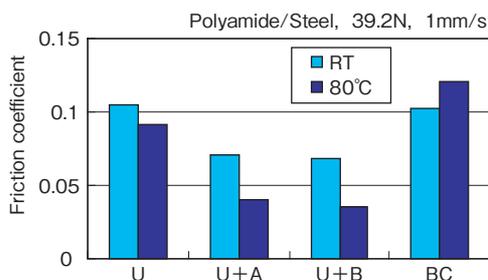


図5 増ちょう剤・添加剤の異なるグリースの摩擦特性⁹⁾
Comparison of friction characteristics between lubricating greases with different thickeners and additives

加することによって、従来のBa 複合石けんグリース (BC) よりも摩擦を低減できる。また、高温時の樹脂材料の物性変化の抑制にも有効である。本技術の採用によって、ウォーム軸の低昇温化、樹脂歯車の耐久性向上ならびに減速機効率の向上が可能である。

4.2 ホイール

ハブユニットは、図6に示すようにホイール軸受とハブシャフトなどの周辺部品を一体化したものである。このユニット化により、部品点数の削減と軽量化に大きく貢献している。現在はハブシャフトと片方の内輪が一体となった第三世代が主流である。第三世代ハブユニットでは、当社は周辺構造を含めたCAE解析による軽量化設計とモノづくりの技術を駆使し、強度や剛性を確保しながら25%の軽量化を実現した (図7)³⁾。また、低トルク化においては、ハブユニットの摩擦トルクの半分を占めるシールしゅう動抵抗の低減を図るとともに、予圧荷重の低減や寸法、組立精度の向上による転がり抵抗の低減に取り組み、トータルで55%の低トルク化を実現した。

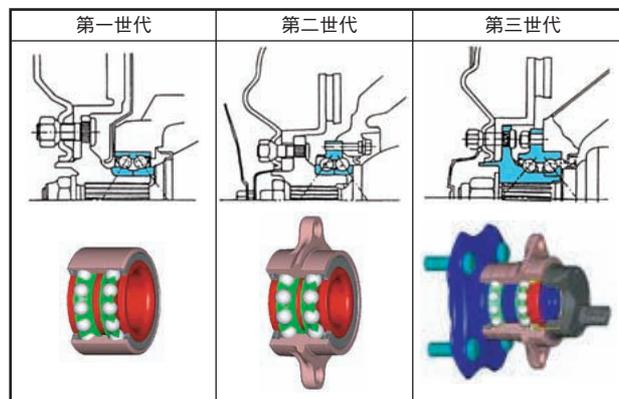


図6 ハブユニットの変遷
Transition of hub units

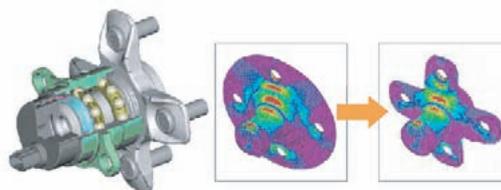


図7 ハブユニットフランジのCAE解析例³⁾
Example of CAE analysis of hub unit flange

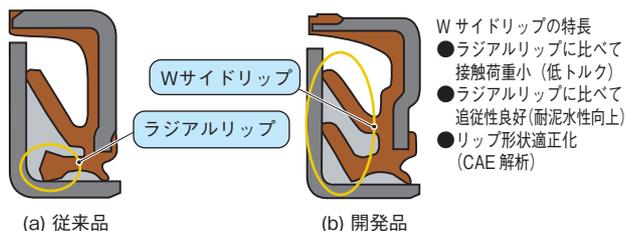


図8 超低トルク仕様シール
Super-low friction seal

ハブユニットやホイール軸受で使用される超低トルク仕様シールでは、耐泥水性と低トルク性を両立させたWサイドリップを採用した¹⁰⁾。図8に示すように、開発品では接触荷重すなわちトルクへの寄与率が大きいラジアルリップを廃止し、耐泥水性への寄与率が高いアキシアルリップを二重にした。これにより、従来低トルク仕様に比べてトルクを半減、すなわち標準仕様に比べてトルクを70%低減するとともに耐泥水性を2倍にした。

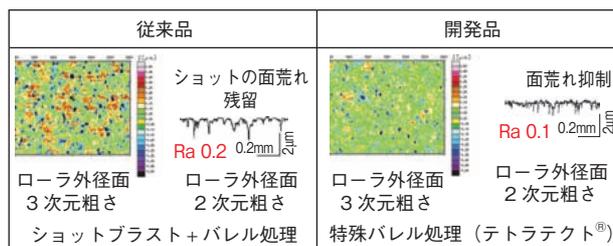


図9 特殊バレル処理 (テトラテクト)
Special barreling (Tetratekt)

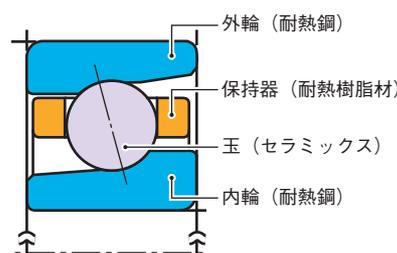


図10 ターボチャージャ用セラミック玉軸受³⁾
Ceramic ball bearing for turbocharger

5. パワートレイン系

自動車のエネルギー損失の約6割を占めるエンジン損失を低減するため、エンジンに多用されているすべり軸受を転がり化する技術が取り組まれている。動弁系の主要部品であるロッカーアームの転がり化では、特に摩擦損失の大きい低速域の摩擦トルクを針状ころを転動体としたローラフィンガフォロアによって低減している。カムとすべりを伴いながら転がり接触するローラ外径面に図9に示すような表面の粗さを抑えたままで最表面のみ硬くする特殊バレル処理 (テトラテクト®) を施すことで、カムへの低攻撃性と低トルク性を両立させている。

エンジン小型化の手段として有効なターボチャージャでは、タービン支持軸受の転がり化による高効率化と加速応答性の向上が検討されている。本課題に対して、耐熱性、高速性、耐異物性、高速回転時の低トルク性に優れたセラミック玉軸受³⁾を採用している (図10)。図11に示すように、開発軸受は転がり化による摩擦損失低減とともに低粘度油対応や給油量削減を可能とし、加速応答性の向上にも寄与する。

さらに、最適緊迫力設計およびしゅう動面にコーティングを施した低トルクオイルシールも有効である。

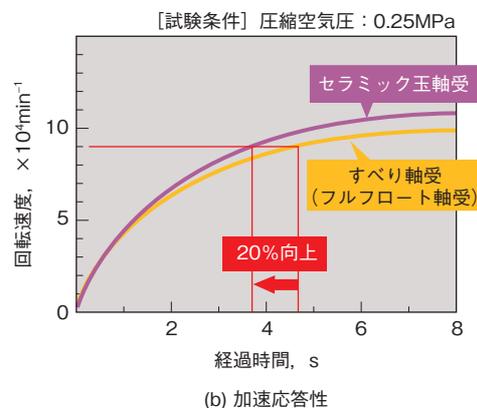
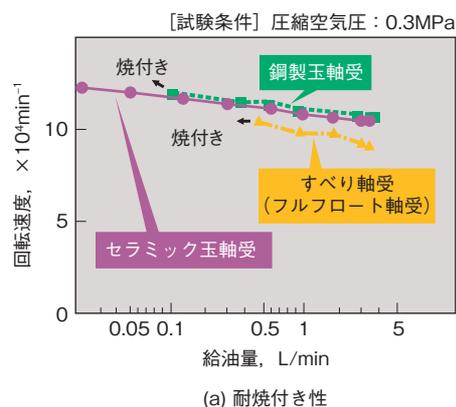


図11 開発軸受の性能
Performance of developed bearing

6. ドライブトレイン系

6.1 軸受

トランスミッション、デファレンシャルなどの駆動ユニットには多種多様な転がり軸受が使われている。各ユニットの伝達効率を高めるため、これらの軸受の低トルク化は長寿命化とならぶ重要課題に位置付けられている。当社は、円すいころ軸受のリーディングカンパニーとして、低トルク円すいころ軸受（Low Friction Torque Tapered Roller Bearing, LFT[®]）を30年以上前から市場に提供してきた。LFTの変遷とその構成技術を図12に示す。LFT-I¹¹⁾では、つばとこころ端面の間のすべり抵抗、LFT-II¹²⁾では、ころと軌道との転がり抵抗を低減した。そして、第三世代である超低トルク円すいころ軸受LFT-III¹³⁾では、ころの数や長

さ、直径、接触角などの内部諸元を最適化して転がり抵抗を低減するとともに、潤滑油を軸受構成部品のひとつとみなし、図13¹⁴⁾に示すような油の流れを制御してかはん抵抗を低減した。さらに、特殊炭炭熱処理による長寿命化技術を適用して寿命を維持したまま、軸受を小型化して転がり抵抗とかはん抵抗を低減した。LFT-IIIは標準的な軸受に対して同一サイズで50%、小型化効果を含めると玉軸受を凌ぐ80%の低トルク化が可能である。この軸受をリヤデファレンシャルに適用した場合、1.5%の燃費向上効果が期待できる。

玉軸受においては、LFT-IIIの設計思想を応用し、玉構成（玉数、玉径、玉PCD）、軌道曲率半径や軌道面粗さなどの内部諸元を最適化するとともに、表1に示すように潤滑油の流れを制御する樹脂保持器を採用することによって、従来よりもトルクを40%低減した¹⁵⁾。開発保

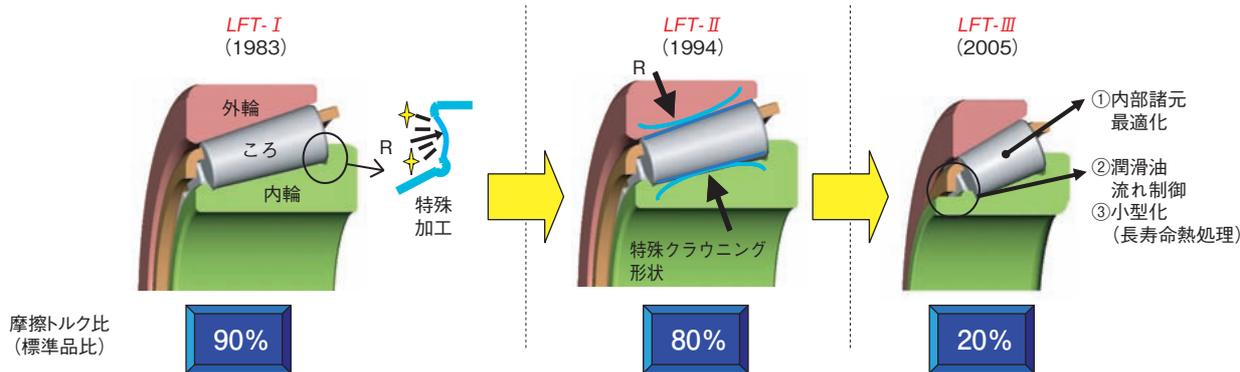


図12 LFT 軸受の変遷
Transition of LFT bearings

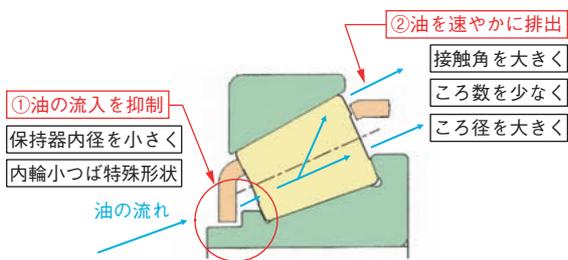


図13 潤滑油の流れ制御¹⁴⁾

Lubricating oil flow control for reducing agitating resistance

表1 低トルク玉軸受の保持器形状¹⁵⁾
Cage shape of low friction torque ball bearing

現行保持器		開発保持器
鋼板プレス保持器	冠型樹脂保持器	低トルク用樹脂保持器
		保持器案内面、背面角度、内径形状を工夫
①油が流入しやすく内部油量が増加 ②軸受内部から排出量少		①油の流入を抑制 ②軸受内部の油の排出促進

← : 油の流れ

持器は軸受内部への油の流入を抑制するとともに、軸受内部の油が外部に排出されやすいように保持器形状が最適化されている。また、同じ接触角方向を有する複列玉軸受に異なるピッチ円直径を採用し、負荷容量と剛性を向上させたタンデム型アンギュラ玉軸受（タンデム AC）¹⁶⁾ も実用化している。図 14 に示すように、LFT-Ⅲとタンデム AC を組合せて使うことでデファレンシャルのさらなる高効率化が期待できる。

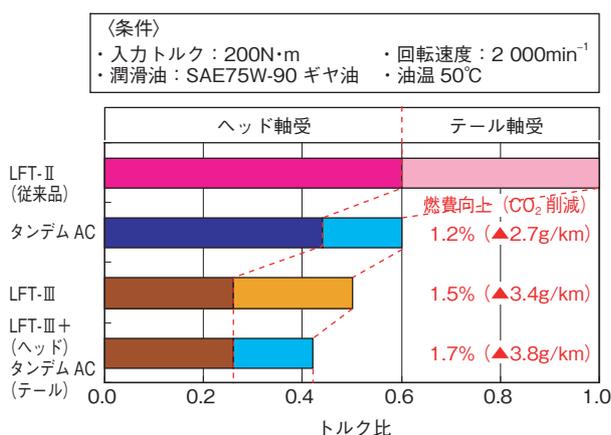


図 14 ピニオン軸受の組合せによる環境貢献度¹⁶⁾
 Degree of environmental contribution with combination of drive pinion bearings

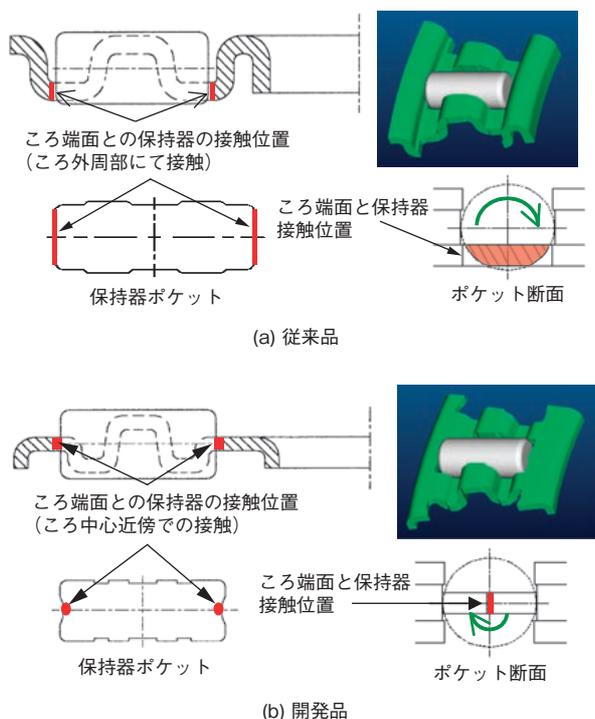


図 15 低トルクスラスト針状ころ軸受¹⁷⁾
 Low friction torque thrust needle roller bearing

スラスト針状ころ軸受は特に自動変速機 1 台あたりの使用量が多く、低トルク化のニーズが高い。当社は保持器の最適設計を行い、ころと保持器の間のすべり抵抗を低減することで、寿命、高速性、耐摩耗性を損なうことなく、50%の低トルク化を実現している（図 15）¹⁷⁾。

材料熱処理技術による軸受の高負荷容量化は、寿命を維持したまま軸受のサイズを小さくできるので、軽量化だけでなく、軸受の低トルク化や駆動ユニットのコンパクト化による高効率化にも貢献できる。小型軽量化円すいころ軸受（KE-Ⅱ）¹⁸⁾ では、高濃度浸炭熱処理により炭化物を微細化して均一分散させることで高負荷容量化されており、従来軸受に対して清浄油中では 4 倍、異物油中では 15 倍の長寿命化が図られている。

6.2 駆動ユニット

低燃費で環境にやさしい車に注目が集まる中、パワフルな走りが人気の四輪駆動（4WD）車においても走行安定性、安全性とともに燃費向上が求められている。こうしたニーズに応えるため、当社がいち早く開発したのが電子制御 4WD カップリング（Intelligent Torque Controlled Coupling, ITCC[®]）である。ITCC は、通常は二輪駆動（2WD）で走行して動力損失を抑制する一方で、雪道のような滑りやすい路面での発進時などには 4WD として必要に応じた最適なトルク配分をすることで、トルク伝達頻度と動力損失を低減し、プロペラシャフトやリヤデファレンシャルなどの駆動ユニットの小型軽量化と燃費の向上に貢献している。

ITCC の開発当初からの課題は、カップリング内にある電磁クラッチの耐摩耗性と耐久性の向上であった。そこで、シリコン含有ダイヤモンドライクカーボン（DLC-Si）膜を被覆した高性能電磁クラッチ¹⁹⁾を開発した



図 16 電子制御式 4WD カップリング（ITCC）³⁾
 Electronically controlled AWD coupling

(図16). DLC-Si膜により、クラッチの耐久性は8倍以上に大幅に向上し、これによりカップリングの小型軽量化が可能となった。さらに、電磁クラッチの表面テクスチャの改良によって低温時の引きずりトルクおよび伝達トルクの増加を抑制した第3世代 (Gen3) カップリング²⁰⁾を開発し、ドライブラインのさらなる小型軽量化に貢献している (図17)。

小型軽量等速ジョイント (CVJ) や遊星歯車式トルク感応型 LSD (トルセン[®] タイプ C) などの駆動ユニットも小型軽量化で低燃費に貢献する。

6.3 電動オイルポンプ

信号待ちなどで停車しているときにエンジンを止めるアイドルストップ機能は低燃費化技術の一つであるが、エンジンの再始動時にスムーズに発進するためにはトランスミッションのクラッチ結合を瞬時に行う必要がある。このため、エンジン停止中にトランスミッションへ油圧を供給する電動オイルポンプ (EOP[®]) が必要となる。当社が新たに開発したアイドルストップ用電動オイルポンプ (図18)^{21, 22)} は、小型のブラシレスモータを採用するとともにモーターロータ内に配置した軸受の長さを短縮し、従来に比べて30%の小型化を実現した。さらにモータの消費電力を最大47%削減した。本製品はアイドルストップ車の普及拡大を加速する役割を果たし、4%の燃費向上効果に貢献できる。

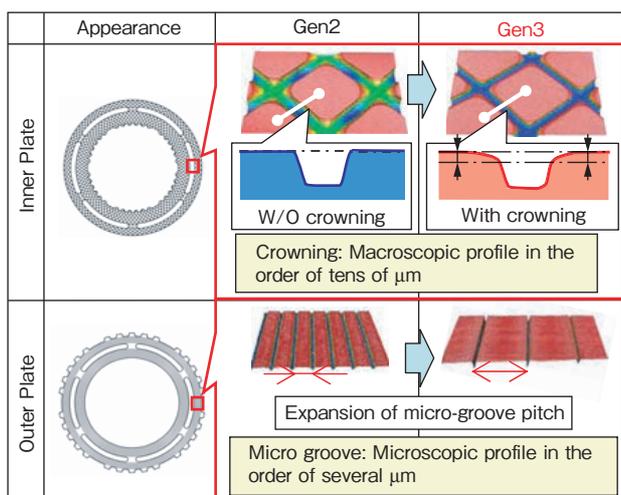


図17 電磁クラッチの表面形状比較²⁰⁾
Comparison of surface profiles in magnetic clutch

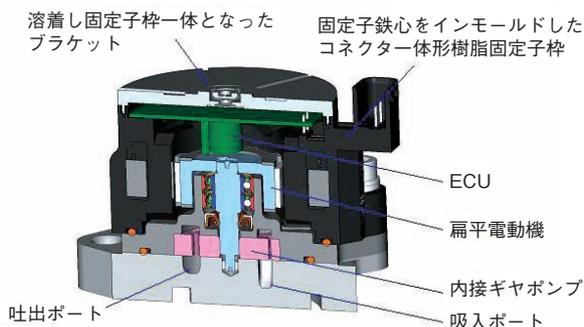


図18 アイドルストップ用電動オイルポンプの構造²²⁾
Structure of electric oil pump for idle reduction system

7. おわりに

トライボロジー技術の自動車部品への応用は、しゅう動面の摩擦低減による部品そのものの効率化のみならず、耐久性、耐焼付き性、耐摩耗性の向上による部品およびユニットの小型軽量化にも寄与し、省エネルギーに大いに貢献できる。図2のジェイテクト・エコロジーパッケージの燃費低減効果を単純合計すると10.7%であり、これは25.4g/kmのCO₂削減効果に相当する。世界の主要国生産台数に基づいて試算すると、年間1100万トンのCO₂を削減できることになる。自動車のCO₂削減策として電気自動車や燃料電池車の導入も開始されているが、2020年の時点では石油を燃料とする従来自動車の燃費改善技術が非常に重要な役割を担うものと考えられる。当社は今後も省エネルギー、そして地球環境への負荷低減に貢献できる技術開発に取り組んでいきたい。

参考文献

- 1) NEDO 海外レポート：自動車の省エネ技術および省エネ効果の現状, No. 991, 2006.12.13(2006), <http://www.nedo.go.jp/content/100106982.pdf>.
- 2) 中村 隆：トライボロジー技術の進展による自動車の省エネ, トライボロジスト, Vol. 61, No. 2(2016)65.
- 3) 北村昌之：自動車用軸受・駆動ユニットの動向と展望, JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1009(2011)6.
- 4) 福田 潤：ステアリングシステムの技術動向とトライボロジー, トライボロジスト, Vol. 54, No. 9(2009)610.
- 5) 林田一徳：ジェイテクトグループの環境配慮型製品の開発・設計に関する取組み, JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1007(2009)8.

- 6) 松岡浩史：ステアリングシステムの発展と今後の展望, JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1013(2015) 19.
- 7) 小池 進, 谷永 隆, 丹羽智宏：EPS用一体型モータ／ECUの開発, JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1010(2012)34.
- 8) 中田竜二：自動車しゅう動部品用グリース潤滑技術, JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1011(2013) 25.
- 9) 中田竜二, 山田 渉, 中野史郎, 筒井大介：低摩擦・樹脂適合性を両立した樹脂／鉄しゅう動用グリース, トライボロジー会議(2013春・東京)予稿集, B24(2013).
- 10) 滝本将生, 石川鉄也, 原田勝之：自動車ホイール軸受用シールの技術開発(泥水性能, 低温環境, 超低トルク), JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1008(2010) 63.
- 11) 竹内正道：LFT軸受について, Koyo Engineering Journal, No. 127(1985)52.
- 12) 浅井康夫, 大島宏之：円すいころ軸受の低トルク化について, Koyo Engineering Journal, No. 143(1993)23.
- 13) 松山博樹, 川口幸志, 上村篤司, 益田直樹：円すいころ軸受の超低トルク化技術による地球環境への負荷低減, JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1007(2009) 48.
- 14) 松山博樹：円すいころ軸受の摩擦トルクの予測ならびに低減技術, トライボロジスト, Vol. 60, No. 9(2015) 574.
- 15) 村上正之, 高橋 讓, 岡本大輔：玉軸受の樹脂保持器高性能化の取組み, JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1011(2013)39.
- 16) 大島宏之：デファレンシャルピニオン用低トルク軸受：JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1009(2011) 37.
- 17) 高見澤 渉, 外山正基, 佐藤 寛, 中島義仁：低トルクスラスト針状ころ軸受の開発, JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1003(2007)58.
- 18) 後藤将夫：高容量円すいころ軸受(KE II円すいころ軸受)の開発, Koyo Engineering Journal, No. 165(2004) 32.
- 19) 安藤淳二, 齊藤利幸, 酒井直行, 酒井俊文, 深見 肇, 中西和之, 森 広行, 太刀川英男, 大森俊英：DLC-Si被覆電磁クラッチを用いた小型・高容量4WDカップリングの開発, 自動車技術会論文集, Vol. 36, No. 5(2005) 157.
- 20) J. Ando, H. Ando, T. Tsuda, K. Suzuki & Y. Niikawa：Development of Third-Generation Electronically Controlled AWD Coupling with New High-Performance Electromagnetic Clutch, JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1011E (2014) 19.
- 21) 井上昌弘：アイドルストップ用電動オイルポンプの開発, フルードパワーシステム, Vol. 43, No. E1(2012)E39.
- 22) 製品紹介：アイドルストップ用電動オイルポンプ, JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1010(2012) 68.

筆者



松山博樹*

H. MATSUYAMA

* 研究開発本部 材料研究部