

電動化に対応した自動車用駆動システムの技術動向と展望

Technical Trends and Outlook for Automotive Driveline System for Electrification

牧 泰希 H. MAKI

With the electrification of vehicle powertrains, the requirements for drive units and systems are also changing significantly. Specifically, it is necessary to develop drive units and systems that respond to changes in power characteristics and responsiveness due to motors, changes in the configuration of the entire powertrain, and changes in mounting requirements. This paper introduces the current status and prospects of technologies for electrification in drive shafts, hub units, differential units, and torque control devices (TCD). We will also introduce our gear and bearing efforts to increase the speed and reduce the size of the eAxle. Finally, we will introduce efforts to optimize the design of the drive system in order to satisfy the three conflicting elements of fuel efficiency, driving performance, and NV at a high level.

Key Words: electrification of automobiles, driveline system, drive shaft, hub unit, torque control device (TCD), differential unit, carbon neutral, realization of a safe and comfortable society

1. はじめに

カーボンニュートラル、循環型社会、安心・快適な社会の実現に向けて自動車業界では100年に一度の大変革に対応した技術開発が進められている。自動車のパワートレインが電動化される中、車両の「走る・曲がる」を担う駆動システムおよびユニットに求められる要件も大きく変化してきている。モーターによるパワー特性や応答性の変化、パワートレイン全体の構成変化（剛性、あそび、慣性の量と配置の変化）、搭載要件の変化から、

駆動システムの安全性、信頼性、走り、NV（Noise & Vibration）、航続距離などの性能向上が強く求められている。これらの進化を高度に成立させるためには、「信頼性」と「低コスト化」を前提とし、「電費改善（損失低減、軽量化）」、「搭載性（小型化）」、「低NV化」、「付加価値（4WD、トルクコントロールデバイスなど）」などの変化に対応していかねばならない。そのためには顧客の期待値を深く理解し、これまで培ってきたジェイテクトの強みを最大限に活かし、駆動システム全体としての技術開発を進める必要がある（図1）。

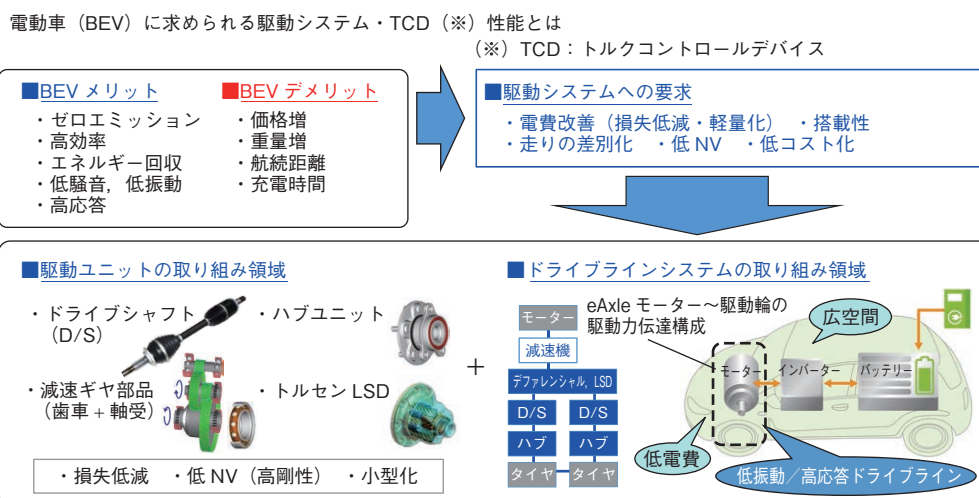


図1 BEV（Battery Electric Vehicle）のメリット・デメリットと駆動システムへの要求
 Advantages and disadvantages of BEV (Battery Electric Vehicle) and demands on driveline system

本報では電動化に対応した駆動ユニットにおける技術開発の動向と No. 1 & Only One に向けた駆動システムの取り組みならびに将来展望について紹介する。

2. 駆動ユニットの開発取り組み

2.1 ドライブシャフトの取り組み

ドライブシャフトの損失低減として、対向溝構造の低損失型ジョイント（XBJ）を開発した（図2「開発品」参照）。ケージ内外球の摩擦抵抗を低減するため、ケージ軸方向荷重に寄与する因子の諸元を見直し、対向溝構造により損失トルク低減および折り曲げ剛性低減を実現した（図2「開発のねらい」参照）。

2.2 ハブユニットの取り組み

図3には、ハブユニットにおける効率向上の取り組みを示す。ドライブシャフトの駆動力をホイールに伝えるハブユニットは、四輪で燃費消費に占める割合が約1.3%とされており、低トルク化および軽量化のニーズが高まっている。

低トルク化の取り組みでは、転がり抵抗を低減するため、低粘度基油グリースの採用によってかくはん抵抗の低減を図り、軸受部の回転トルクを40%低減した。また添加剤の最適化によって油膜厚さを確保し、グリースの潤滑機能も維持している。シールリップの接触抵抗を

低減するためシール接触数を削減し、シール部のトルクを75%低減するとともにラビリンスと樋構造により、リップ部の被水量を低減することで現行同等以上のシール性を確保している。

さらに軽量化では、熱処理条件の最適化により、最弱部位に残留圧縮応力を付与することで、強度を維持したまま軸の軽量化7%を実現している。

2.3 デファレンシャルユニットの取り組み

高出力4WD車やスポーツ車向け高機能デファレンシャルとして実績あるトルセンLSD技術に、新たな歯車設計・加工技術の知見を加えてさらに進化させ小型化を図りeAxle向け汎用の超小型デファレンシャルJTEKT Ultra Compact Differential（以下、JUCD）を開発した。

JUCDは差動ギヤ構造を一新し、ベベルギヤ式デファレンシャルと比較して差動ギヤの各かみあい歯幅と出力ギヤとのかみあい数を増加したことで差動ギヤ機能部の容積が同等ならデファレンシャル強度は2倍以上。デファレンシャル強度が同等なら必要容積が半分以下の高トルク密度化を実現した（図4、図5）。

この超小型デフJUCDによりeAxleの減速機構を小型化することで、eAxleの車両搭載性の自由度に大きく貢献していく。

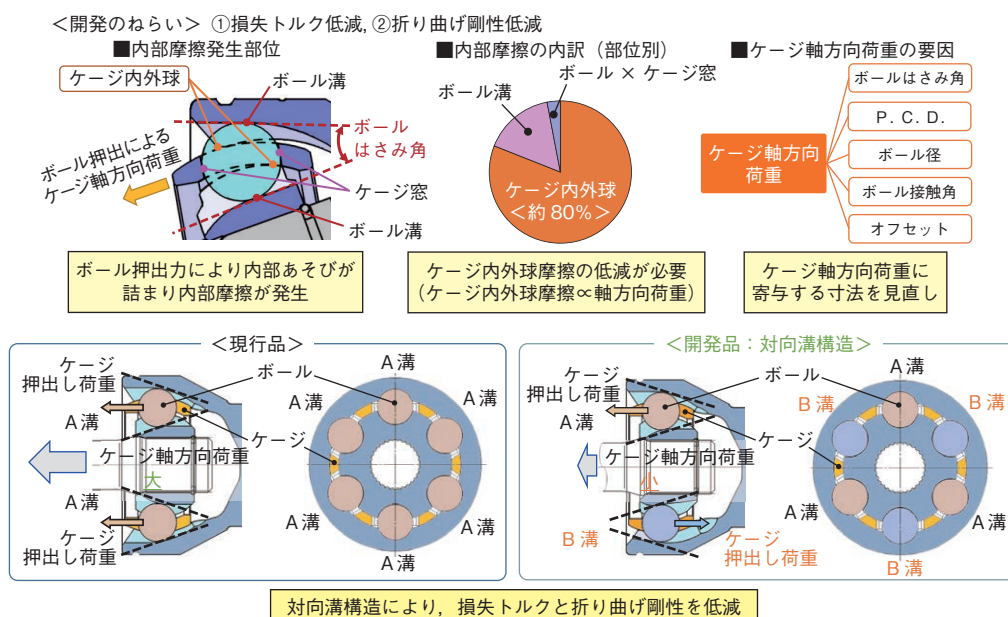


図2 ドライブシャフトの効率向上の取り組み（対向溝構造）

Activities to improve the efficiency of drive shaft (opposed groove structure)

2.4 トルクコントロールデバイスによるさらなる損失低減の提供

ジェイテクトの No. 1 & Only One 製品であるトルセン LSD (Limited Slip Differential) は、差動制限装置の一種で、ギヤかみあい構造で構成されたトルク感応式のため、レスポンスに優れた製品である。

トルセン Type-D では、差動ギヤ構造を革新し、課題であった幅方向寸法を大幅に短くして、車両への搭載性を高めた。xEV (BEV, HEV など電動車の総称) への搭載では、従来の差動制限装置に求められる旋回性能

や悪路走破性に加え、発進加速性向上や ESC (Electric Stability Control) 介入頻度低減により、駆動力伝達損失低減で電費改善している。滑りやすい走行状態でもオープンデファレンシャルと比べてトルセン LSD は、タイヤスリップの抑制と回生ブレーキ領域の拡大により、電費改善に貢献している。

今後の eAxle ユニットの搭載性に有利なデファレンシャルとし、「安心・安全な走り」と「走る喜び」への貢献だけでなく、「電費への貢献」と合わせた新たな付加価値を電動車に提供していく (図 6)。

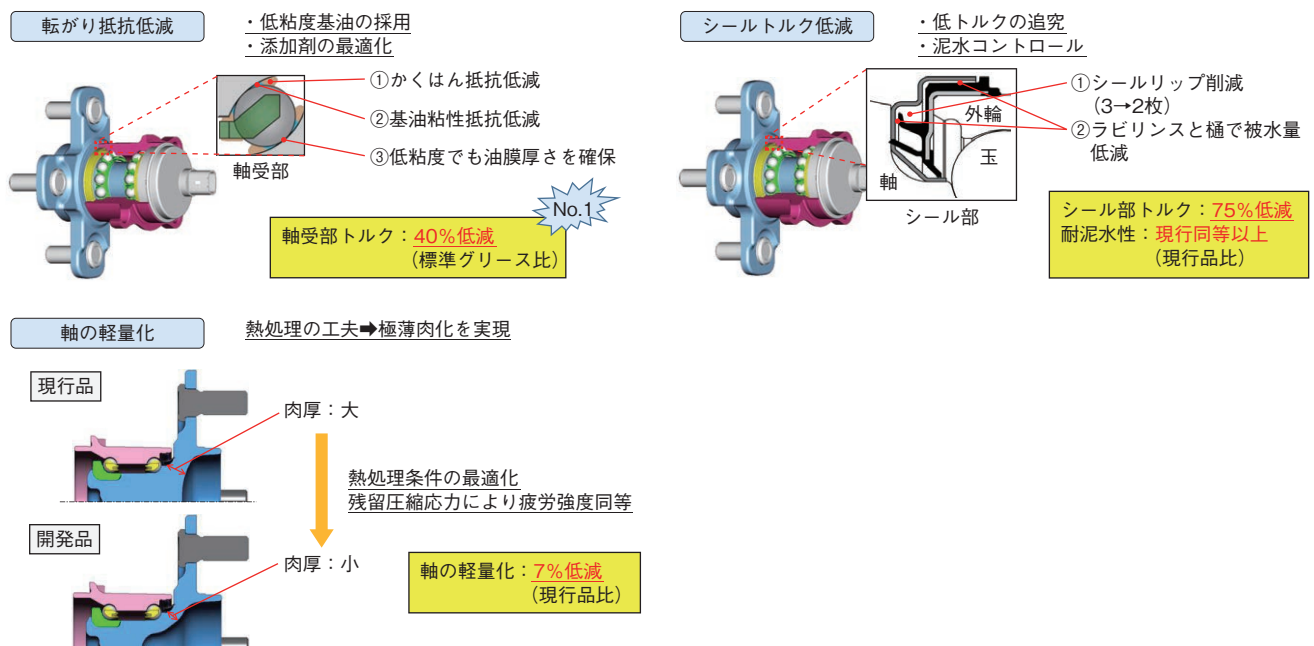


図 3 ハブユニットの効率向上の取り組み
Activities to improve the efficiency of hub unit

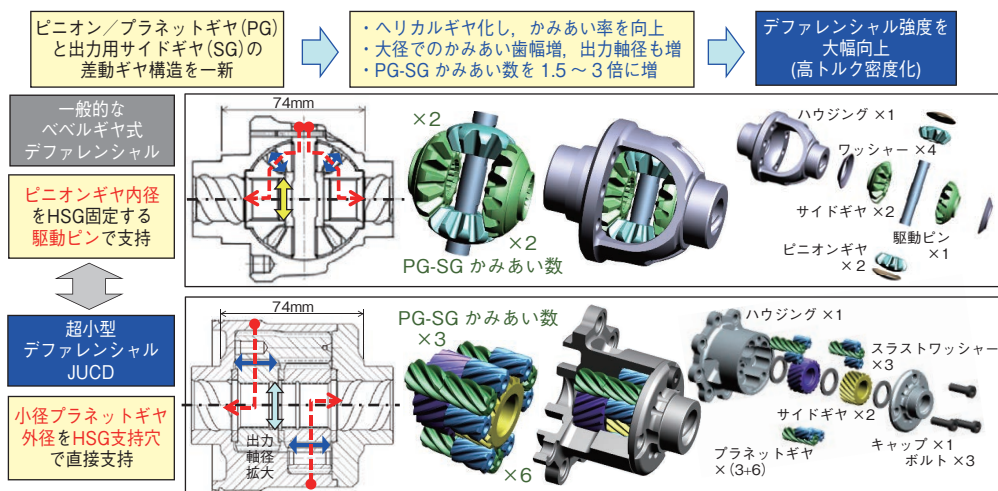


図 4 超小型デファレンシャル JUCD の作動ギヤ構造 (ベベルギヤ式デファレンシャルとの比較)
Differential gear structure of JUCD (compared to bevel gear differential)

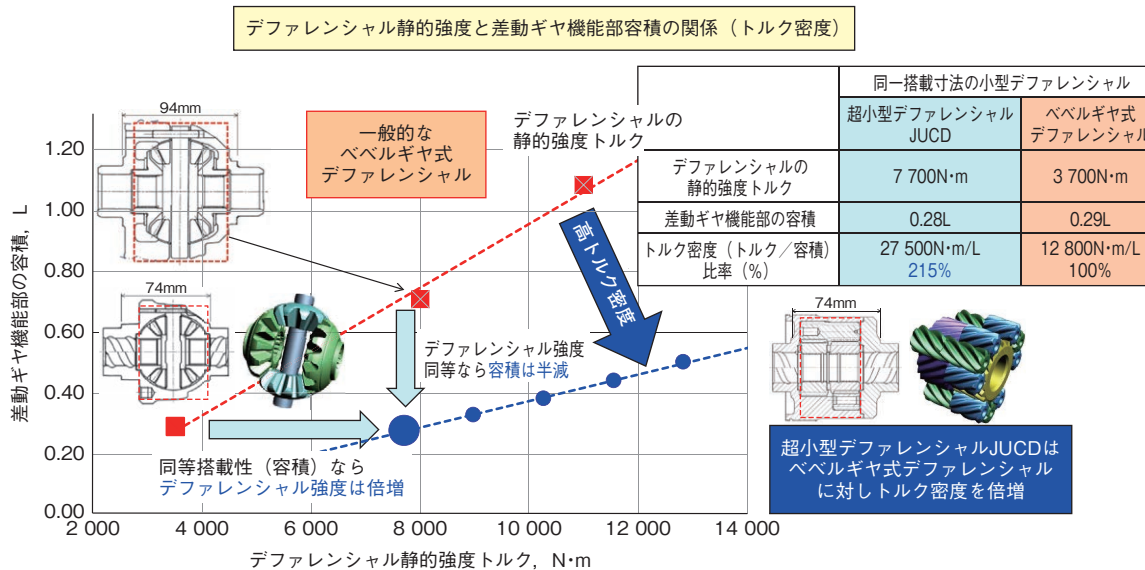


図5 超小型デファレンシャル JUCD のトルク密度 (ベベルギヤ式デファレンシャルとの比較)
Torque density of JUCD (compared to bevel gear differential)

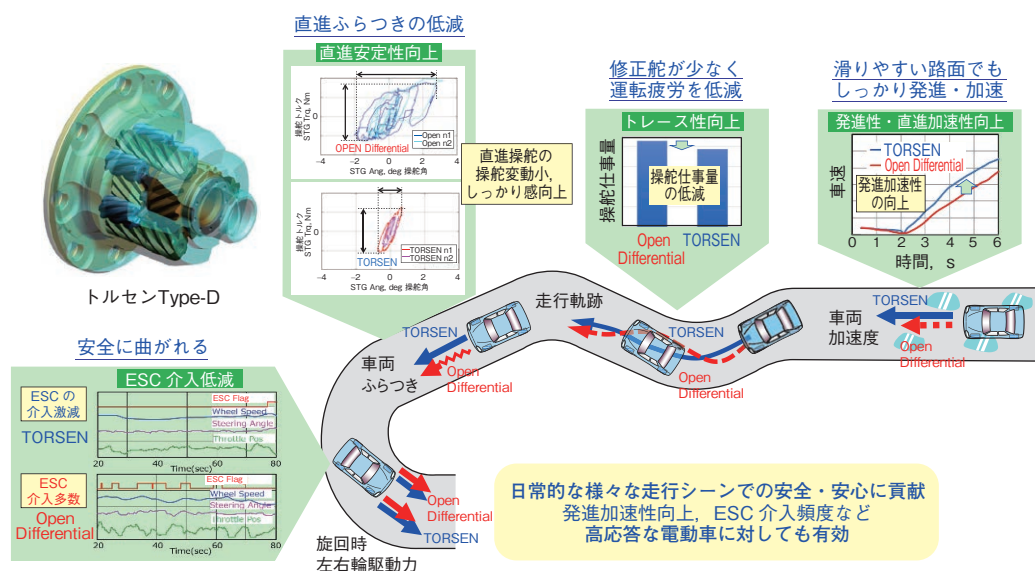


図6 電動車へのトルセン LSD の貢献
Contribution of Torsen LSD to electric vehicles

2.5 ギヤ・軸受の取り組み

eAxle 減速機の高速度化, 小型化へ対応するためにはギヤ・軸受自体の小型化が必要である。このため, ジェイテクトグループで培ってきた歯車・軸受の解析・設計技術, 歯車加工技術を活かし, 歯面形状を自在にコントロールする技術に取り組んでいる。たとえば, エンドリリーフやバイアス補正といった 3D 歯面修整を行うことによって, 低 NV 化や耐久性の向上が期待できる (図7)。

3. 新たな付加価値の創出

3.1 駆動システムとしての取り組み

お客様が求めるのは, 駆動ユニット単体の性能だけでなく, 駆動システム, 車両システム全体としての機能性能の向上である。車両システム全体の付加価値を決定するものには, 図8の左図に示すように「燃費・走り・NV」の相反する三つの要素がある。ジェイテクトはこれらを高次元で満たすような最適検討を進めている。たとえば, 「安心・安全な走り」と「走る喜び」を提供する視点においては, 車両姿勢の各種パラメータに対し,

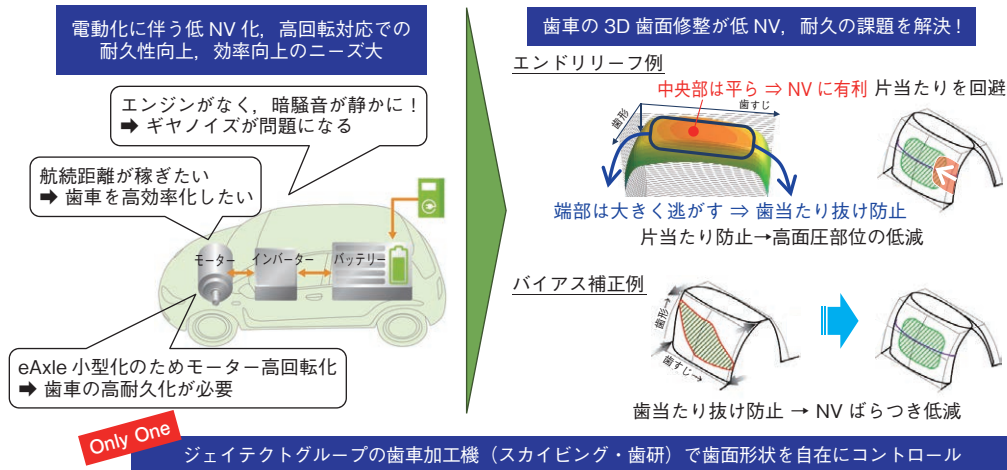


図7 ギヤ・軸受の取り組み
Gear/bearing activities

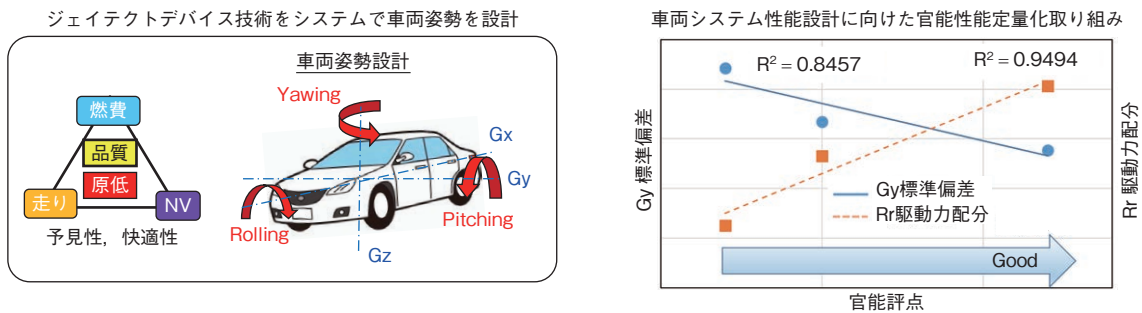


図8 車両システムとしての取り組み
Activities as a vehicle system

駆動ユニットとステアリングが及ぼす影響を総合的に勘案した検討を行っている。図8右図に四輪駆動車における発進時前後駆動力配分が官能評点（ふらつき感）に与える影響と車両運動特性値の関係を検討した事例を示す。官能評点（ふらつき感）とGy（横加速度）標準偏差により相関があり、後輪への駆動力配分を増加することが有効であることが検証されている。

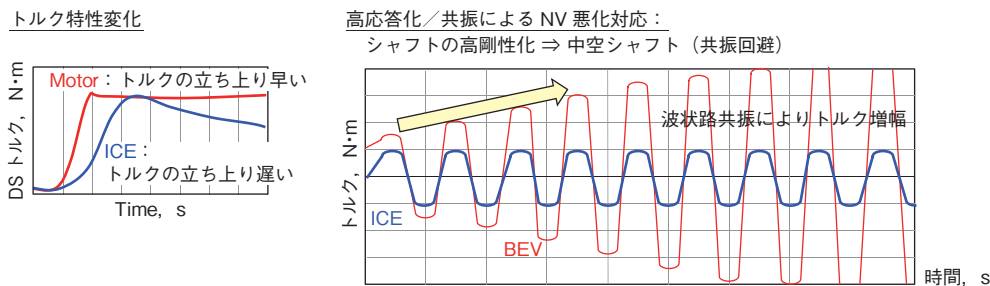
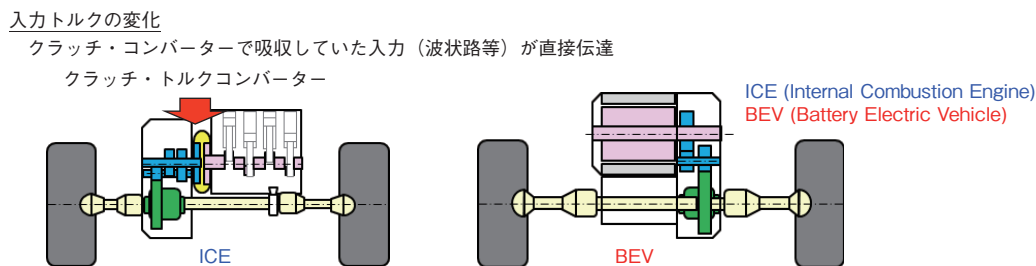
車両目線での安全安心な走りを考慮した検討ができる強みを磨いて、新たな付加価値を提案する取り組みを進めていく。

3.2 低振動化の取り組み

BEV (Battery Electric Vehicle) 化による振動現象は、原動機の起振力の変化と振動伝達系の変化が大きく影響しており、良質廉価で低 NV 化を実現していくためには多くの取り組みが必要となっている。トルク起振力の変化は、車両のモーター化によって駆動トルクの立ち上がりが早くなる。加速性能は良くなるが、高応答化による発進時の高トルク化および発進時振動悪化への対

応が必要となる。

一方、エンジンが無くなりアイドル時の振動が無くなることで、従来のICE (Internal Combustion Engine) で課題となっていたアイドル振動対策は不要となる。ICEの振動伝達系において、タイヤ側からの入力クラッチ・トルクコンバーターで吸収されていた。これに対しBEVではモーターからタイヤまでが直結されるため、路面反力がダイレクトにドライブシャフトに入力される。特に、波状路などではねじり共振により路面反力が増幅され、NV性能が大幅に悪化するので振動伝達系としての対策を考える必要がある。共振を回避するためのドライブシャフトの高剛性化と、高トルク領域での低強制力化によるNV悪化を抑制するユニット開発を急ぐとともに、歯車、トルセンLSD、ハブユニット、ドライブシャフトを有している強みを活かして、ドライブラインシステムとしての活動強化を進めている(図9)。



	インボードジョイント (デファレンシャル側)	シャフト	アウトボードジョイント (タイヤ側)	ハブ
車両期待値	1) 発進時振動 2) 搭載性自由度向上 (小型化, 常用角広角化, 耐久性向上)	1) 発進/加速性能	1) 燃費/電費向上 2) 搭載性自由度向上 (常用角広角化, 耐久性向上) 3) 品質 (NV)	1) 燃費/電費向上 2) 操安性 3) 品質 (NV)
ユニット必要要件	1) 低強制力 2) 常用角広角化: 耐久性	1) 高剛性 剛性アップと軽量化の両立 (w/ 低コスト)	1) 高効率 2) 常用角広角化: 耐久性 3) 品質 (カッチン音)	1) 低トルク化 2) 高剛性 3) 品質 (耐圧痕・カッチン音)
達成技術	①小型化技術	②廉価中空シャフト	③ハブ CVJ システムで性能向上 (効率・品質)	

図9 電動車の振動現象の変化とユニット開発の取り組み

Changes in the vibration phenomenon of electric vehicles and unit development activities

4. おわりに

本報では車両の電動化が急速に進む中、ドライブシャフト、ハブユニット、トルクコントロールデバイス、デファレンシャルユニットの現状と今後を紹介した。当社はカーボンニュートラルや安全・快適な社会の実現で世界をリードするドライブラインシステムサプライヤーへの飛躍を目指しており、No. 1 & Only One と誇れる製品開発を進めていくための方向性を示した。一方、本報では割愛したが、水素社会への貢献の観点から、燃料電池システム車に搭載されている高圧水素バルブ・減圧弁の小型・軽量化および性能向上にも取り組んでいる。

今後もジェイテクトグループの強みを結集して、自動車産業で日々進行する大変革の動向を見極め、将来を見据えた技術・開発体制を強化していくとともに地球環境

対応と安全性向上に貢献していく。

*トルセン、ギヤスカイピングセンタは、株式会社ジェイテクトの登録商標です。

筆者



牧 泰希*
H. MAKI

* 副本部長