

自動車のEV化・電動化への当社の取り組み

NTN's Activities for Electric Vehicle and Electrification of Automobile

楯岡 生也* Ikuya TATEOKA

地球規模の気候変動問題に対応するために、2015年のパリ協定を起点として、世界各国で温室効果ガスの排出量削減への取り組みが活発化している。日本・米国・EUなどの主要国は概ね2050年までのカーボンニュートラル実現を目標に、国家施策として、グリーンエネルギーの導入拡大や産業構造の変革を進めている。この流れを受けて、産業界やそれに属する各企業を見ると、自動車産業では走行中の排気ガス発生を抑制できる電動車の開発・販売拡大が加速している。本稿では、カーボンニュートラルに貢献する当社の省エネルギー商品・電動化対応商品を紹介する。

With the Paris Agreement of 2015, countries around the world are stepping up efforts to become carbon neutral. Major countries such as Japan, the U.S., and the EU are aiming to achieve carbon neutrality before 2050 by expanding the introduction of clean energy and reforming their industrial structures. The automotive industries are accelerating the development and expansion of sales of electric vehicles that can reduce the generation of exhaust gas. This paper introduces NTN's products for energy-saving and electrification of automobile. The products contribute to carbon neutrality.

1. はじめに

地球温暖化を背景に脱炭素社会、いわゆるカーボンニュートラルへの取り組みが活発化している。2015年12月の第21回気候変動枠組条約締約国会議（COP21）で採択されたパリ協定では、世界的な平均気温上昇を産業革命以前に比べ、長期目標として2℃より低く抑えることとし、さらに努力目標として1.5℃以下に抑制することを設定した。その実現のため、早期の温室効果ガス排出量のピークアウトと今世紀後半のカーボンニュートラルの実現を目標として掲げている。さらに2021年に開催されたCOP26においては1.5℃目標が努力目標ではなく世界共通目標として明記された。

我が国でもパリ協定に基づき、経済産業省を中心に「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」が策定された。その中で今後の成長が期待される14分野のうち、自動車産業分野におけるグリーン成長戦略の一つとして2035年の新車販売について電動車の割合を100%とすることが目標として掲げられており、カーボンニュートラル対応の一環として今後EVを含む電動車の開発・販売が一層加速していくものと考えられる。図1に自動車生産台数推移と電動車の生産予測を示す。

一方、最近の自動車分野における代表的な開発トレンドとしてConnected(つながる)、Autonomous(自動運転)、Shared(シェアリング)、Electric(電動化)を総称するいわゆるCASE(図2)が注目されている。例えば、自動運転分野においては、自動車の基本機能である「走る」・「曲

がる」・「止まる」の駆動・制御をサポートする様々なシステムの普及拡大に伴い、ワイヤ化を中心に電動化が進められている。このような世の中の流れを背景に、当社においてもカーボンニュートラル、CASEに貢献すべく省エネルギー商品・電動化対応商品の開発に注力している。

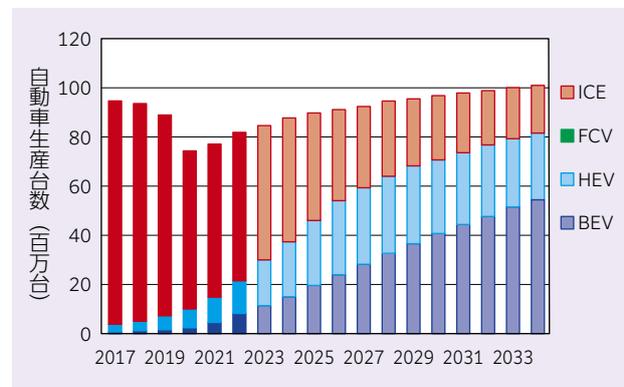


図1 自動車生産台数推移の予測¹⁾

* 自動車事業本部 副本部長



図2 自動車 CASE の概略

2. 市場動向および当社の研究開発による対応

表1に自動車産業における市場動向、技術トレンドと市場ニーズに合致した当社の開発商品を示す。EV化における主要課題は、航続距離の延長であり、消費電力を抑制するため、各部品に対して小型・軽量化、低トルク化、高効率化の要求が高まっている。これに加え駆動モータには、同じサイズでより高いモータ出力を得るために、高速回転化の要求が高まっている。さらに、駆動装置全体の軽量化

に伴い、ハウジングが薄肉化するため、転がり軸受には、クリープ現象（負荷による外輪変形を起点に、ハウジングと軸受のはめあい面が少しずつずれる現象）の抑制が要求されている。また、電動補機類の高効率化を図るため、潤滑油の低粘度化や供給量を削減する傾向があり、転がり軸受が希薄潤滑条件で使用されるケースが増えている。転がり軸受が希薄潤滑条件で使用されると、水素脆化による軸受の早期破損リスクを高める可能性があり、当社では新規鋼材と特殊熱処理技術の適用により、水素脆性による軸受の早期破損を抑制する長寿命化技術を開発した²⁾。

一方、自動運転レベルの進歩に伴い、人が運転から解放され、居住空間として広く静かな車内空間への要求が高まると予想している自動車メーカーも多く、バッテリーや電動駆動ユニットのレイアウトの自由度の向上、スペース有効活用に資するコンポーネント設計の要求がある。グローバル市場のSUV車の需要増やバッテリー積載量拡大のためのロングホイールベース化によって、車両最小回転半径が大きくなる傾向にあり、その対応として、当社ではCVJの高角化や後輪転舵機構の開発に取り組んでいる。さらに、安心安全や快適性を追求するため、駆動モータ、ブレーキ、サスペンション、ステアリングおよびこれらを組み合わせたシステム制御に取り組む必要がある。当社では、トライボロジー、軸受設計技術、メカトロニクス等のコア技術を活かした電動化に対応するモジュール商品の開発にも取り組んでいる。以下では、代表的な開発商品を紹介する。

表1 自動車電動化の市場動向／技術トレンド／市場ニーズに合致した当社の開発商品

市場動向	技術トレンド	市場ニーズに合致した開発商品
EV化の加速 省エネルギー化	小型・軽量化	・遊星減速機用ニードル軸受 ・クリープレス軸受
	低トルク化	・超低フリクションシール付深溝玉軸受 ・低フリクションハブベアリングIV
	高効率化	・高効率固定式等速ジョイントCFJ
	高速化	・EV・HEV用高速深溝玉軸受
	潤滑油の低粘度化	・耐水素脆性軸受
快適性の追求	走行安定性	・後輪ステアリング機能付ハブベアリングRa-sHUB®
安全性の追求	電子制御技術向上	・電動油圧ブレーキ用ボールねじ駆動モジュール ・電動オイルポンプ

3. 自動車のEV化・電動化に対する開発商品

3.1 高速回転対応の深溝玉軸受

自動車の電動化の推進により e-Axle の市場規模が拡大している。e-Axle のモータ軸や減速機のモータ直結部を支持する深溝玉軸受には、高速回転対応が求められる。深溝玉軸受は回転速度が上がると、遠心力により樹脂保持器の保持器ポケットと転動体（玉）が接触し焼付きが起る恐れがある。

そこで、高速回転時の保持器変形を考慮した新形状の樹脂保持器を採用した「EV・HEV 用高速深溝玉軸受」を開発し、油潤滑で $d_m n = 180 \times 10^4$ 運転が可能な条件を見出した³⁾。ここで、 $d_m n$ は軸受転動体ピッチ円径と回転速度の積で、単位は $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ である。

新形状の樹脂保持器は下記の特長がある。新形状の樹脂保持器外観を図 3 に示す。

- (1) 高強度材料を採用
⇒ 保持器の剛性・高温強度の向上
- (2) 変形抑制のためポケット底の肉厚化
⇒ 保持器円環部の剛性向上
- (3) 保持器ポケット間の肉抜き（軽量化）
⇒ 遠心力変形の低減
- (4) 保持器ポケット内面に通油溝設置
⇒ 保持器と転動体の潤滑性向上

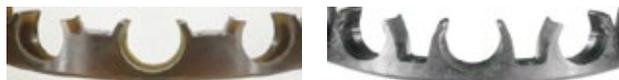


図 3 樹脂保持器の外観写真

3.2 超低フリクションシール付深溝玉軸受

独自形状の低フリクションシールを採用することで、従来の接触タイプシールより回転トルクを 80 % 低減した「超低フリクションシール付深溝玉軸受」を開発した。

e-Axle などの電動駆動装置に用いられる転がり軸受には、長寿命に加え、さらなる低トルク化が求められている。また、減速機内に発生するギヤの摩耗粉など、硬質異物の軸受侵入による軸受寿命の低下を抑制するため、従来は接触タイプシールの適用が標準的であったが、シール部が軸受内輪に接触することで、回転時に引き摺りトルクが発生する課題があった。さらに、近年の EV や HEV といった高速回転が必要とされる用途においては、シール部の周速限界の制約により、接触タイプシールの適用は困難であった。

「超低フリクションシール付深溝玉軸受」は、シールリップのすべり接触部に円弧状（半円筒状）の微小突起を等

間隔に設けた新開発の接触タイプシールを採用することで、回転トルクを従来品比で 80 % 低減し、非接触タイプシールの玉軸受に匹敵する低トルク効果を実現した。回転時には、微小突起によるくさび膜効果によって、シールと内輪の摺動面の間に油膜が形成され、接触タイプシールでありながら、シールの引き摺りトルクを大幅に低減している。さらに、シールリップの突起は微小なため、潤滑油を通して軸受に有害な硬質異物の侵入は防ぐことができ、軸受寿命を低下させない。

3.3 遊星減速機用ニードル軸受

同軸タイプの e-Axle の遊星減速機（図 4）は、軸方向の小型化が図られている。また、サンギヤとリングギヤが同一軸線上に並列する遊星減速機には、小径、長軸のプラネタリシャフトを適用する傾向があり、且つ軸受は高速回転、希薄潤滑、モーメント荷重環境下での耐久性が要求される。これらのニーズに対応する当社の遊星減速機用ニードル軸受を紹介する。

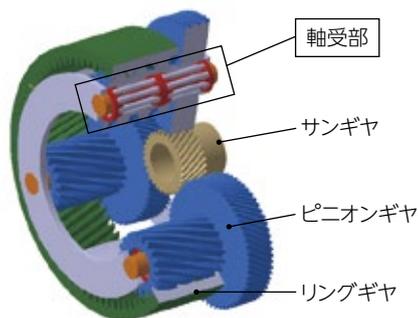


図 4 同軸タイプの e-Axle 遊星減速機の構造

遊星減速機用ニードル軸受（図 4 内の軸受部）は、ころ、保持器、シャフトで構成されており、各構成部品の特長は以下の通りである。

- (1) ころ（高炭素クロム鋼，特殊熱処理）
機能上必要なクラウニング形状を確保し、モーメント荷重環境下の最大接触応力を低減した。
- (2) 保持器（低炭素鋼，浸炭処理）
材料変更，溶接部形状の最適化，及び適切な熱処理の選定により，保持器疲労強度の向上を図った（従来品比：1.2 倍）。
- (3) シャフト（低炭素鋼，特殊熱処理）
焼入性に関わる合金成分が少ない材料の選定と最適な熱処理により，耐塑性曲がり性を改善した（従来品比：70 % 改善）。また，表層残留オーステナイト量と表面硬さを最適化し，耐久性向上を図った。

3.4 低フリクションハブベアリング

当社は、これまで長年にわたり、タイヤの回転を支えるハブベアリングの軽量化や長寿命化、高効率化などを追求し、研究開発を重ねてきた。ベアリングと周辺部品とのユニット化を進め、小型・軽量化による低燃費化や組付性の向上に貢献してきたほか、材料・熱処理・グリース・シール構造などの改良を重ねることで、長寿命化と低トルク化を実現した商品を市場展開してきた。表2に低フリクションハブベアリング⁴⁾の改良の変遷を示す。

今般、グローバルで自動車の燃費向上やCO₂排出規制の強化に対応するため、さらなる低トルク化に取り組み「低フリクションハブベアリングⅣ」を開発している(図5)。「低フリクションハブベアリングⅣ」では、特殊増ちょう剤を適用したシール塗布グリースを開発し、耐泥水性や耐低温性などの機能を確保しながらシールの回転トルクを従来グリース比38%の低減が確認できた。現在、シールの限界性能を評価しており早期市場投入する。さらに、軸受の内部予圧を最適化し、2019年に開発した低フリクションハブベアリングⅢ⁵⁾(表2)までの要素技術を組み合わせて、低フリクションハブベアリングⅠに対して軸受の回転トルクを67%低減した。

表2 低フリクションハブベアリングの改良の変遷

低トルク化技術 適用因子		低フリクション ハブベアリング			
		I	II	III	IV
軸受	軸受諸元、予圧			○	◎
	軸受内部グリース		○	◎	←
シール	シール塗布グリース		○	←	◎
	リップ設計	○	←	←	←
	リップ接触状態		○	←	←
	リップ接触枚数		○	←	←

○:初回改良, ◎:追加改良

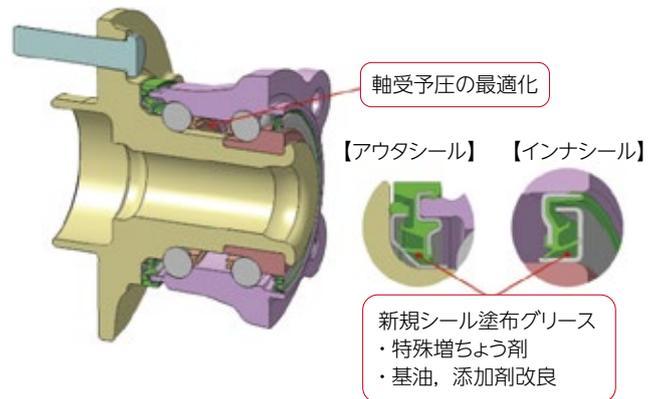


図5 低フリクションハブベアリングⅣ

3.5 高効率固定式等速ジョイント「CFJ⁶⁾」

エンジンやモータからの動力は、変速減機、デファレンシャルを介し、駆動軸(ドライブシャフト)を経てタイヤに伝達される。自動車の燃費・電費の改善には、これら動力伝達経路のトルクロスを如何に削減するかが課題となる。

ドライブシャフトは固定式としゅう動式の2つの等速ジョイント(CVJ)をシャフトで連結した構成で、一般的なトルク損失率は約1%である。ここでは、独自構造のスフェリカル・クロスグループを採用し、トルク損失率を従来品比約50%以上低減した「CFJ」を紹介する。

図6は「CFJ」の構造を示し、軌道溝(トラック)を備えた内輪・外輪、回転トルクを伝達する8個のボール、及びボールを保持するケージで構成される。CVJのトルク損失は部品間の摩擦によるエネルギーロスに起因し、「CFJ」はこれら内部摩擦を低減すべく内輪と外輪の円弧状トラックを軸方向に傾斜させ、且つ隣り合うトラックを鏡像対称に配置した。従来品では、ボールがケージを押す荷重(図中F1・F2)は全てのトラックで一方向に向いていたが、「CFJ」では上述した構造により、互い違いにケージを押すため、隣同士のトラックで内部力が相殺され、従来品に比べ内部部品間の摩擦を大幅に低減できた。

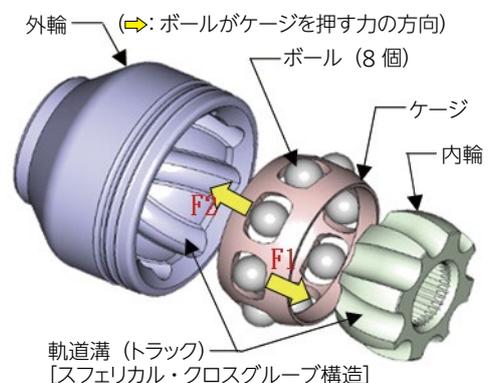
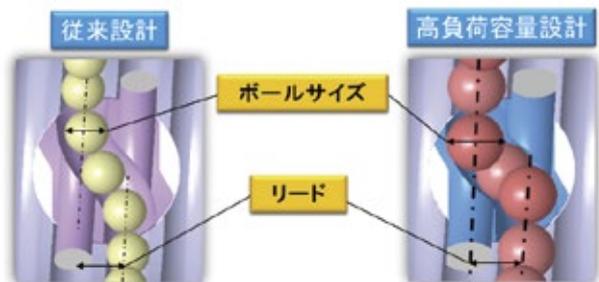


図6 CFJの構造と内部力

「CFJ」は、作動角9度でトルク損失率0.4%以下（従来品比削減率50%以上）を達成し、世界トップクラスの伝達効率を得た。従来品との効率の差がそのまま燃費・電費の改善率に相当することが知られており、2022年度から量産を開始した「CFJ」は、今後の脱炭素社会に大いに貢献できる新商品として期待される。

3.6 ボールねじ及び電動油圧ブレーキ用ボールねじ駆動モジュール

当社のコア技術の1つであるボールねじは、2004年より自動車用途での量産を開始し、現在までに多数の量産実績を有する。当社ボールねじの特長としては①直動変換効率90%以上、②高負荷容量（図7）③循環部品の高い信頼性による位置決め性・位置保持性の向上等が挙げられる。表3に当社ボールねじの採用例を示す。



リードに対して、ボールサイズを極限まで大きくし、負荷容量をアップ（当社従来品比約2倍）

図7 当社ボールねじの特長

表3 当社ボールねじの採用例

採用箇所	ボールねじ
AMTシフト部	
可変バルブ リフト機構	
電動油圧ブレーキ	図8

AMT: Automated Manual Transmission

ボールねじを適用したモジュール商品として、図8に示す電動油圧ブレーキ用ボールねじ駆動モジュールを紹介する。EVやHEVなどの電動車のブレーキには、車両制動時の運動エネルギーを電気エネルギーとして回収する回生機構が採用されている。効率よくエネルギー回収を行うた

めには、変化する制動力に瞬時に対応できるよう、回生ブレーキと油圧ブレーキの配分を最適化する協調制御が重要となる。これに対応するため、当社はボールねじの製品技術を活用し、モータ駆動により精密な油圧ブレーキの制御が可能な電動油圧ブレーキ用ボールねじ駆動モジュールを開発し、2012年より量産を開始している。

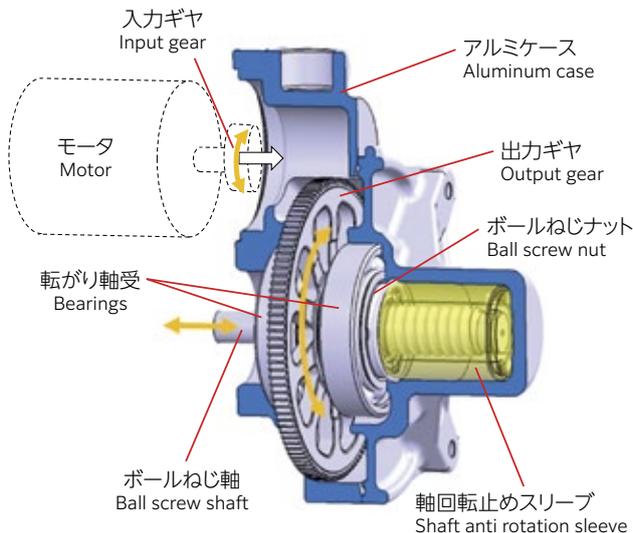


図8 電動油圧ブレーキ用ボールねじ駆動モジュール構造図

今後の自動ブレーキの義務化や高機能化に伴い、ブレーキにはさらなる応答性向上が求められる。また、燃費・電費向上のため電動油圧ブレーキシステムの採用拡大が進んでいる。自動ブレーキの高応答化等に貢献できる当社ボールねじ及び電動油圧ブレーキ用ボールねじ駆動モジュールのニーズはさらに高まるものと考えられる。

3.7 電動オイルポンプ

ATやCVTでは、発進時や変速時のクラッチ操作を油圧で行う。通常、この油圧供給にはエンジンにより駆動される機械式オイルポンプが使用される。オイルポンプの駆動損失低減による燃費向上やアイドルストップ車のエンジン停止時の油圧確保や潤滑を目的に、電動オイルポンプの採用が進んでいる。また、近年EVの駆動用モータとしてモータ・インバータ・減速機が一体となったe-Axleの適用が広がっている。モータ部の冷却には水冷よりも冷却効果が高く、モータの高効率化・小型化に寄与する油冷方式の採用が拡大しており、電動車においても今後電動オイルポンプの採用が進んでいくと予測される。当社では、このような技術動向に対応するため、自動車の環境性能向上に貢献できる電動オイルポンプの開発（図9、表4）を進めている。

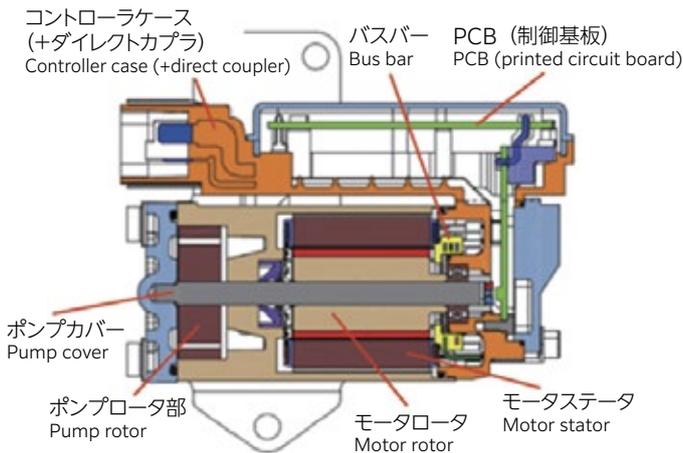


図9 電動オイルポンプの構造例

表4 電動オイルポンプの諸元

項目	詳細
ポンプ出力	① 30 W以下(アイドルストップ用を想定) ② 30~300 W (e-Axle用等を想定)
電圧	12 V (~48 V)
ポンプ形式	トロコイドポンプ(ベーンポンプ)
制御	PWM (CAN対応)
特長	<ul style="list-style-type: none"> ・BLDCモータの採用により軽量・コンパクトを実現 ・アルミボディにより放熱性向上 ・回転センサの搭載で様々な運転条件(低温・低回転数など)に対応

3.8 後輪用ステアリング機能付ハブベアリング [Ra-sHUB®]

自動車の走行条件に合わせ、車輪の転舵角を制御し、低速走行時の旋回性能や、中・高速走行時の車両安定性を向上させる転舵システムとして、当社はハブベアリングの基盤技術の強みを活かし、後輪用ステアリング機能付ハブベアリング「Ra-sHUB®」(図10)を開発した。

後輪転舵システムは、1980年代に初めて量産車両に適用されたが、ドライバーのハンドル操作に対して車両の挙動に違和感があるという意見が多く、当時は広く普及しなかった。しかし、近年では制御技術の高度化によって、違和感を抑えることが可能になったため、高級車やスポーツカーを中心に採用例が増えている。また、EVはバッテリー搭載スペース確保のためホイールベースが長くなり、車両回転半径が大きくなる傾向にある。前輪の転舵角拡大による車両回転半径の低減には限界があり、後輪転舵システムはこれを補助することが可能である。

従来の後輪転舵システムは、マルチリンク方式などの足回り構造に限定されており、機構上大きな作動角をとることは難しかった。「Ra-sHUB®」は、ハブベアリングに転舵軸を設けて転舵機構と一体化することで、コンパクトな設計としながら、従来のハブベアリングと同様の取り付けを可能とした。また、足回り構造を選ばず、トーションビームなどのリジッドアックスル構造にも搭載可能であり、左右独立で作動角を大きく取る後輪転舵システムとして適用できる。さらに、ホイールハウス内に転舵機能を収めることができるので、車内スペースの有効活用が可能である。

「Ra-sHUB®」を採用した後輪転舵システムの利点としては以下が挙げられる。

- (1) 車両回転半径の削減
- (2) 左右輪に搭載し、転舵角度を左右独立制御
- (3) 走行安全性の向上(車両姿勢制御)
- (4) 燃費の改善(走行抵抗の低減)

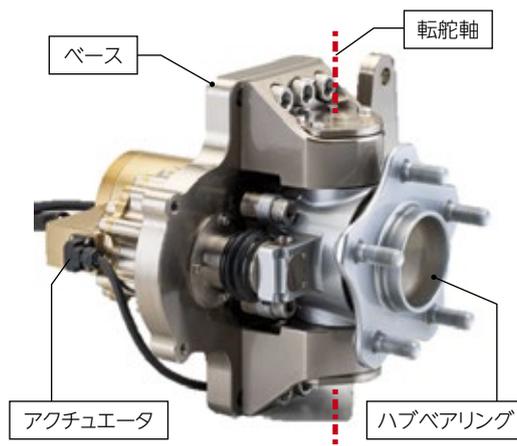


図10 Ra-sHUB® (試作品)

4. おわりに

自動車では、カーボンニュートラルやCASEへ対応するための技術開発が進んでいる。その中で、当社の軸受・ハブベアリング・CVJ・電動モジュール商品に対するニーズは変化している。当社は、これら市場ニーズをいち早くとらえ、お客様の嬉しさにつながる高付加価値商品を独自技術で開発してきた。本稿では、自動車のEV化・電動化に対応する、最近の当社開発商品・技術の一部を紹介した。今後も、当社は、新技術・新商品の開発を通じて、カーボンニュートラルの推進と自動車産業のさらなる発展に貢献していく。

参 考 文 献

- 1) S&P Global Mobility データ (2023年1月) + NTN 予測
- 2) NTN ホームページ, 「耐水素脆性軸受」を開発,
https://www.ntn.co.jp/japan/news/new_products/news202100038.html
- 3) NTN ホームページ, 2021年 "超" モノづくり部品大賞「日本力 (にっぽんぶらんど) 賞」を受賞,
<https://www.ntn.co.jp/japan/news/press/news202100067.html>
- 4) 関誠, 低フリクションハブベアリング, NTN TECHNICAL REVIEW 85, (2017) 67-71.
- 5) 関誠, 低フリクションハブベアリングⅢ, NTN TECHNICAL REVIEW 87, (2019) 63-67.
- 6) 藤尾輝明, 次世代高効率固定式等速ジョイント「CFJ」, NTN TECHNICAL REVIEW 81, (2013) 64-67.

執筆者近影



楯岡 生也

自動車事業本部
副本部長