

# 環境保護に貢献する固定式等速ジョイントの進化 Evolution of Fixed Constant Velocity Joint that Contributes to Environmental Protection



船橋 雅司\* Masashi FUNAHASHI  
藤尾 輝明\* Teruaki FUJIO  
崎原 立己\* Ritsuki SAKIHARA

NTN では 1963 年に日本で初めて等速ジョイントを商品化し、その後、時代と共に大きく変化する環境施策に適応するよう、商品開発に取り組んできた。本稿では、当社の固定式等速ジョイントの進化を振り返りながら、今後普及拡大する EV のニーズに応える 2 種類の高効率固定式等速ジョイントについて解説する。

In 1963 NTN commercialized the constant velocity joint for the first time in Japan. Since then, NTN has continued to develop the new products to adapt to the environmental policy which changes with the times. This article looks back on the evolution of NTN's fixed constant velocity joints and explain about two types of high efficiency fixed constant velocity joint applied for the needs of EV spread in future.

## 1. はじめに

自動車の動力伝達に用いられるドライブシャフトには、タイヤ側に取り付けられ、タイヤの転舵とともに大きな角度が取れる固定式等速ジョイント（以下、固定式 CVJ）とパワートレインユニット側に取り付けられ、車体の上下動とともに角度がとれスライドできる摺動式等速ジョイント（以下、摺動式 CVJ）がある（図 1）。これまで、ドライブシャフトには小型・軽量・高角度・低振動といった機能が求められ、NTN ではトライボロジー、材料、機械設計などの技術を駆使して弛まぬ改良開発を進めてきた。一方、CO<sub>2</sub> 排出量増加に伴う地球温暖化による異常気象の発生等、人類の様々な活動による環境に及ぼす影響が社会問題として取り上げられる中、1997 年の京都議定書制定以降、国際社会全体で温暖化対策が進められてきた。2015 年のパリ協定で定められた世界の平均気温上昇目標を達成するため、2050 年の脱炭素社会実現に向けた取り組みが世界中で加速していることを背景に、近年ドライブシャフトの高効率（低発熱）化も注目されている。

本稿では、市場からの改善ニーズのより高い固定式 CVJ に焦点を当て、環境保護に伴う自動車の変化に対応するため、これまで NTN が取り組んできた CVJ の進化について紹介する。

## 2. 市場トレンド／ニーズ

脱炭素社会実現に向け、各国において自動車の CO<sub>2</sub> 排出量や燃費の基準が年々厳しくなる中、自動車に使用されるすべての部品の軽量化及び高効率化が継続して求められる。

ている。また、自動車は従来の内燃機関車両から電動車両（以下、EV）へ急速な方向転換が進められている。EV では、航続距離の延伸が課題となり、各 부품の軽量化及び高効率化に加え、大容量バッテリーを搭載するスペースを確保するため、パワートレインユニット位置変更やホイールベース延長などの車両レイアウトの変化が予測される（図 2）。

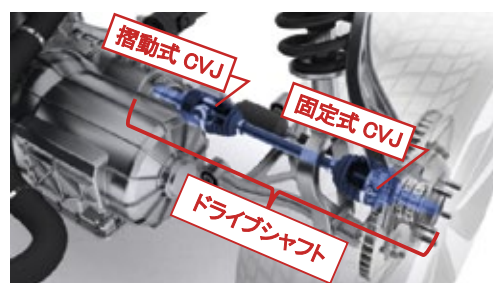


図 1 ドライブシャフトにおける固定式 CVJ の配置

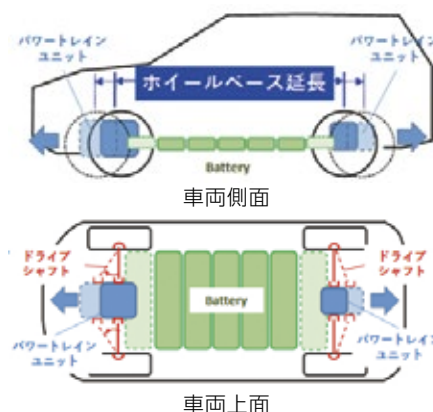


図 2 EV のドライブシャフト配置イメージ

\* 自動車事業本部 CVJ 製品ユニット CVJ 開発部

この中で、ドライブシャフトに求められる機能は、①低燃費や低電費に貢献できる高効率化、小型・軽量化、②バッテリースペース確保に伴う高常用角化やホイールベース延長に伴う旋回半径拡大を抑制するための高作動角化（高舵角化）と考えた。特に、固定式 CVJ は必要機能及び構造上、摺動式 CVJ に対し効率が悪いという課題があり、NTN ではこれら市場トレンド及びニーズに対応した固定式 CVJ の開発を進めている。

### 3. 当社固定式 CVJ の進化<sup>1) 2) 4) 5)</sup>

#### 3.1 CVJ の国産化

1960 年代以前の自動車は後輪駆動（FR）車を中心に発展した一方で、居住性能や走行性能などの向上のため前輪駆動（FF）車や 4 輪駆動（4WD）車の開発も行われてきた。FF 車や 4WD 車では、エンジンからの動力が前輪に伝達されるため、タイヤが転舵しても等速で動力を伝達できる駆動部品が必要であったが、当時適用されていたカルダンジョイント（十字軸継手、**図 3**）は作動角が大きくなると入力軸と出力軸の間で回転変動が大きくなる不等速ジョイントであったため、走行時に不安定なハンドル操作を余儀なくされた。

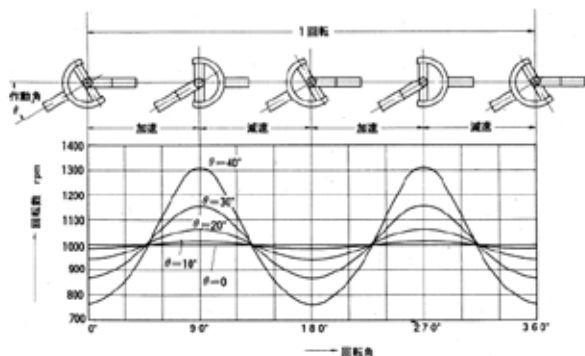


図 3 カルダンジョイント（十字軸継手）

1956 年に作動角を取っても等速で動力を伝達できる固定式 CVJ がハーディスパイサー社（イギリス）で開発されたことで、自動車の前輪に転舵と駆動の機能を持たせることができるようになった。NTN は 1962 年にハーディスパイサー社と技術提携し、スズライトバン FE（スズキ、**図 4**）向けに BJ（最大作動角 42.5 度）を開発し、1964 年に国内で初めて量産化に成功した固定式 CVJ（**図 5**）を搭載した車両が市場投入された。これにより FF 車や 4WD 車の課題であった操縦安定性が飛躍的に向上し、日本の自動車普及に大きく貢献した。

その後、固定式 CVJ 需要の急速な拡大と共に車両の高舵角化のニーズの高まりに応えるため、固定式 CVJ の外輪材料を浸炭鋼から中炭素鋼の高周波焼入れに変更して強度を向上させ、かつ最適な高角化設計をすることで外径

を維持したまま最大作動角を 42.5 度から 46.5 度まで拡大した BJ-L（**図 6**）を開発し、1982 年に量産を開始した。現在の固定式 CVJ は、この BJ-L を基本設計とし、小型・軽量、高効率、高角化のニーズを捉え、進化し続けている。



図 4 スズライトバン FE（スズキ）



図 5 スズライトバン FE に搭載された CVJ の外観



図 6 BJ-L の外観

#### 3.2 CVJ の小型・軽量・高効率化

固定式 CVJ の変遷を**図 7**に示す。

最初の進化は、内部に封入する潤滑剤をリチウム系グリースからウレア系グリースに変更することにより長寿命化を達成したことで、最大作動角 46.5 度を維持したまま BJ-L より 4 % 小型化、8 % 軽量化した固定式 CVJ（BJ-L 小型）を 1992 年より量産開始した。

次の進化は、更なる小型・軽量化を実現し 1998 年より量産開始した E シリーズ固定式 CVJ（以下、EBJ、**図 8**）である。EBJ は BJ-L と同等の負荷容量を維持したまま小型化を図るため、ボールサイズを小さくし、数を 6 個から 8 個に増やすことで、BJ-L と比較すると 13 % の小型化、20 % の軽量化、30 % のトルク損失率改善（高効率化）を達成した。また、EBJ に対して内部すきまの適正化と低

摩擦グリースの適用により、更に 20 % のトルク損失率を改善した EBJ-S を 2020 年より量産開始した。

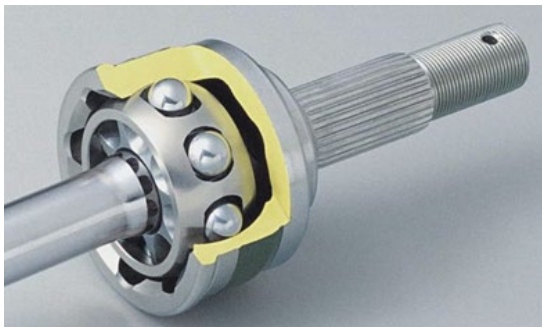


図 8 EBJ, EBJ-S の外観

そして、2022 年には更なる進化として NTN 独自技術のスフェリカル・クロスグループ構造（以下、独自構造）を初採用し、EBJ に対して外径、質量は同等を維持したまま、50 % 以上のトルク損失率を改善した高効率固定式 CVJ 「CFJ」<sup>3)</sup> を量産開始した。CFJ については、4 章で詳細に紹介する。

### 3.3 CVJ の高作動角化

1980 年代の FF 車の大型化、4WD 車の増加に伴い、最小旋回半径縮小を目的に固定式 CVJ の高作動角化要求が増え、1988 年に最大作動角を 50 度とした UJ の量産を開始した。UJ は、高角時の機能を確保するため、量産開始当初は BJ-L に対し 4 % の拡径及び 8 % の質量増加となったが、1992 年にウレア系長寿命グリースの適用により BJ-L と同等の外径、質量を実現した UJ（小型）を開発した（図 7）。

2007 年からボール数は UJ と同じ 6 個のまま各部品強度の適正化・長寿命グリースの適用により小型・軽量化を実現した VUJ の量産を開始した後、2022 年には CFJ の技術を応用した 52 度高角固定式 CVJ 【開発品】の基礎開発を完了した。両者を 1990 年代以降の UJ（小型）と比較すると、VUJ は 4 % の小型化、8 % の軽量化、52 度高角固定式 CVJ 【開発品】は 10 % の小型化、16 % の軽量化に加えて 50 % 以上のトルク損失率改善を達成している（図 7）。

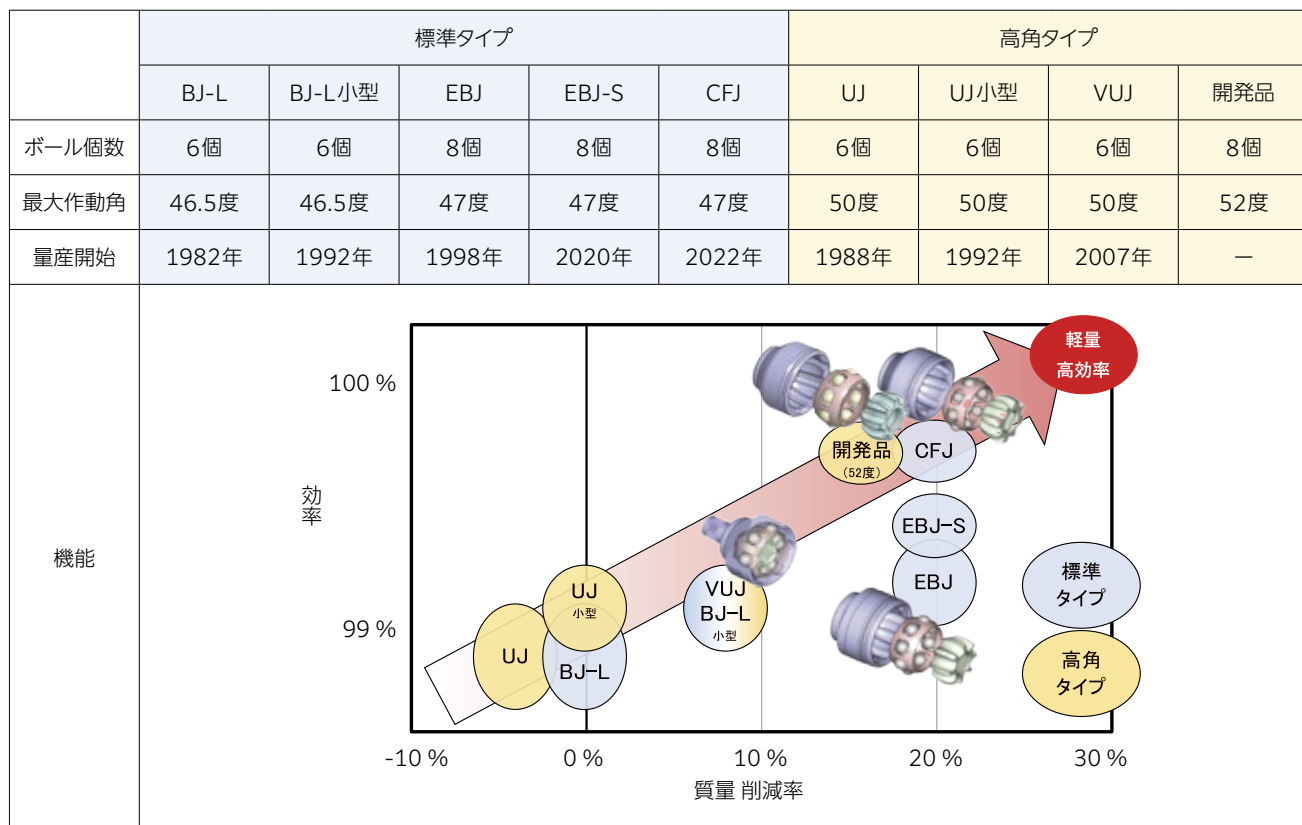


図 7 固定式 CVJ の変遷

#### 4. 環境負荷低減に貢献する高効率固定式 CVJ

固定式 CVJ は車両要求に適用するため、**図 7** に示したように最大作動角度の異なる標準タイプと高角タイプの 2 タイプを取り揃えている。

本章では、固定式 CVJ の効率改善が環境負荷低減にいかに関与できるか、標準タイプの高効率固定式 CVJ 「CFJ」、及び高角タイプの 52 度高角固定式 CVJ 【開発品】について紹介する。

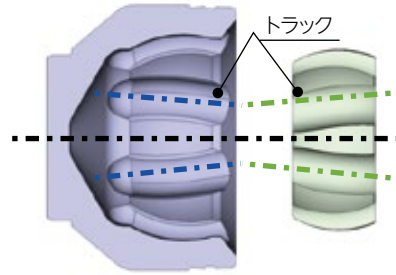


図 10 トラック形状図

##### 4.1 高効率固定式 CVJ 「CFJ」<sup>3)</sup> (標準タイプ)

CFJ は自動車の CO<sub>2</sub> 排出量削減および燃費向上を目的とし、独自構造の採用により世界最高水準の高効率を実現した最大作動角 47 度の固定式 CVJ であり (**図 9**)、世界最高水準の小型・軽量を実現した EBJ (従来品) と同等の外径、質量を維持しながら、トルク損失率は 50 % 以上低減している。

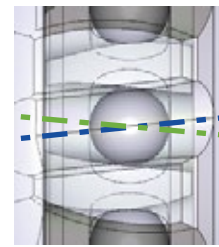


図 11 トラックとボールの配置

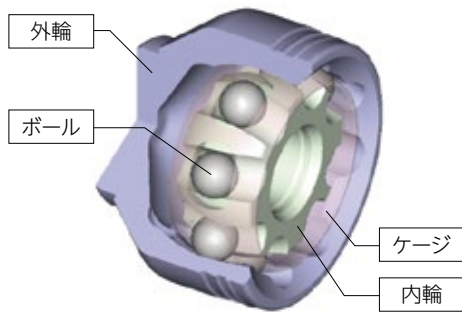
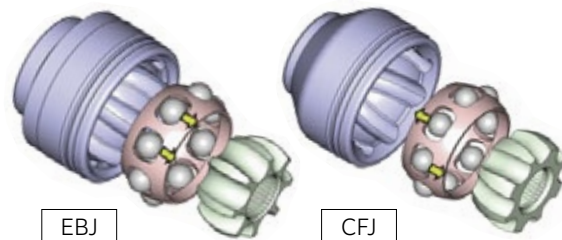


図 9 CFJ の構成図



⇒ ボールがケージを押し出す力

図 12 内部力比較

##### 4.1.1 特長

- ① 内輪と外輪の円弧状トラックを軸方向に傾斜させ、隣り合うトラックを鏡像対称に配置 (**図 10**)
- ② 内輪トラックと外輪トラックの傾斜を互いに交差させ、交点にボールを配置 (**図 11**)

CVJ のトルク損失は、トルク伝達時に各部品間に発生する摩擦力で失われるエネルギーに相当する。EBJ は、トルク伝達時に発生する CVJ の内部力のうち、ボールがケージを押し出す力が全てのボールで同じであり、ケージが一方方向に押し出され、ケージが外輪及び内輪と接触する。一方、CFJ は、独自構造によりボールがケージを押し出す力が隣り合うボールで反対方向となり、ケージに掛かる力が相殺され外輪及び内輪との接触力を大幅に低減できる (**図 12**)。そのため、CFJ はケージと外輪及び内輪間の摩擦力を低減することができるため、世界最高水準の高効率を実現している。

#### 4.1.2 機能

図 13 にトルク損失率の測定結果を示す。通常走行時だけでなく、EV などで発生する回生走行時においても、従来品に対しトルク損失率が 50 % 以上低減している。

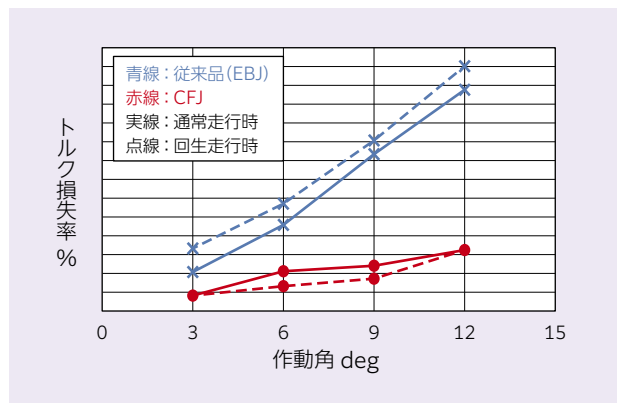


図 13 トルク損失率比較

#### 4.1.3 固定式 CVJ の効率と自動車への効果試算

エンジンからの動力をタイヤに伝える部品であるドライブシャフトの効率は、自動車の燃費及び電費に直結する。加えて、減速時にエネルギーを回収する回生ブレーキを有するハイブリッド車両や EV などには、より大きな影響を与える。

CFJ で具体的に試算すると、車重約 1.5 ton、ドライブシャフトの取付け角度 9 度の車両にて WLTP 条件で走行した場合、EBJ に対してガソリン車両（燃費 17.6 km/L）では 0.62 % 燃費が改善し、CO<sub>2</sub> 排出量は 0.96 g/km 減少する。BEV（電費 155 Wh/km）では、電費が 0.90 % 改善する（表 1）。

表 1 自動車への効果 (EBJ 比)

	燃・電費改善率	CO <sub>2</sub> 排出削減量
ガソリン車	0.62 % UP	▲0.96 g/km
HEV	0.76 % UP	▲1.12 g/km
BEV	0.90 % UP	—

<試算条件>

取付け角度：9 度

車両：燃費 17.6 km/L・電費 155 Wh/km

車重：約 1.5 ton，走行条件：WLTP

#### 4.2 52 度高角固定式 CVJ (高角タイプ) 【開発品】

本品は、VUJ（最大作動角 50 度）に対して最大作動角を拡大すると共に小型・軽量，高常用角，高効率の高機能を付与した高角高効率固定式 CVJ である。

#### 4.2.1 特長

CFJ と同様の独自構造を採用することで、トルク負荷時に CVJ 内部で発生する力（内部力）を低減することができる。加えて、高作動角時の負荷容量向上を図ることができる。加えて、高作動角時にボールが外輪開口側に移動する領域のトラック形状を変化させ、ボールの転動軌跡長さを確保することで 50 度を超える作動角のボールとトラックの接触点を確保した。また、固定式 CVJ の高作動角時の最弱部品であるケージは、形状の最適化や材料の変更を行い、小型化と高角化の両立を実現した。これらにより、VUJ に対して最大作動角を 2 度拡大しながら、6 % の小型化と 8 % の軽量化を達成した（図 14）。

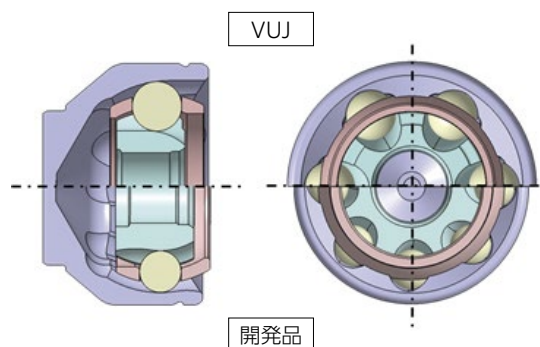


図 14 設計比較

#### 4.2.2 機能

・効率（トルク損失率）

独自構造を採用することで、VUJ に対してすべての角度領域で 50 % 以上のトルク損失率改善を達成した（図 15）。

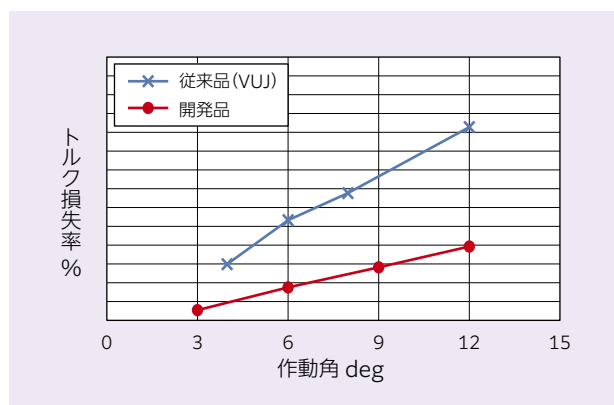


図 15 トルク損失率比較

### ・高角強度

独自構造・トラック形状の工夫・ケージ形状の最適化及び材料変更を行うことで、VUJに対し、6%の小型化、9%の軽量化を実現しながら高作動角時に同等強度を達成した(図16)。

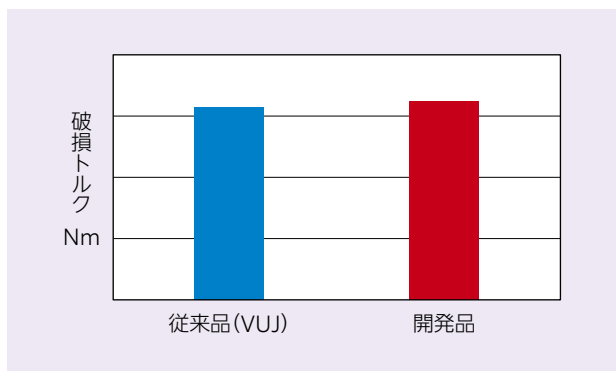


図16 高角静振り強度比較

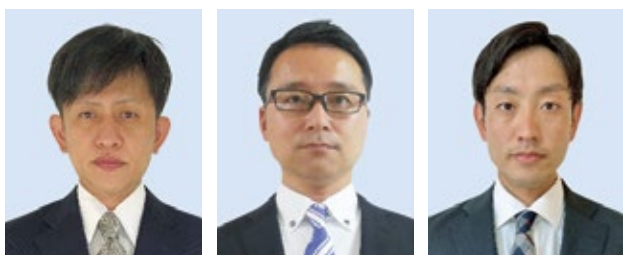
### 参考文献

- 1) 池田武, 自動車用等速ジョイントの変遷と最近の技術, NTN TECHNICAL REVIEW No.70, (2002) 8-17.
- 2) 友上真, 等速ジョイントの技術動向と開発商品, NTN TECHNICAL REVIEW No.75, (2007) 10-15.
- 3) 藤尾輝明, 次世代高効率固定式等速ジョイント (CFJ), NTN TECHNICAL REVIEW No.81, (2013) 64-67.
- 4) 高部真一, 等速ジョイントの歴史, NTN TECHNICAL REVIEW No.85, (2017) 40-45.
- 5) 杉山達郎, 低燃費化を目指した等速ジョイントの開発の歴史, NTN TECHNICAL REVIEW No.87, (2019) 59-62.

## 5. まとめ

本稿では環境負荷低減に貢献する固定式 CVJ の進化に触れ、NTNが時代の変化に対応してきた開発商品とその効果について紹介した。世界的な脱炭素社会実現に向け、自動車は100年に一度の変革期を迎えており、CVJにおいても、この変革に柔軟に対応できる機能向上が必要不可欠である。NTNは等速ジョイントメーカーとして、脱炭素社会実現に向け環境負荷低減に貢献するために、今後普及拡大するEVに対するニーズを捉え、適用箇所、車両特性に合わせた最適な強度、耐久性を備え小型・軽量で高効率、静粛性に優れたCVJを継続して開発していく。

### 執筆者近影



船橋 雅司

自動車事業本部  
CVJ製品ユニット  
CVJ開発部

藤尾 輝明

自動車事業本部  
CVJ製品ユニット  
CVJ開発部

崎原 立己

自動車事業本部  
CVJ製品ユニット  
CVJ開発部