

# パワーアシストからスマート化へ —ステアリング技術の展望—

## Future Prospects: A New Era from Power Assist Steering to Smart Steering

村田正博 M. MURATA

Automobiles are undergoing major changes as part of the steps being taken to achieve the sustainable society laid out in the SDGs. Steering systems can contribute to this major worldview change in two ways: creating new value by increasing intelligence, and providing the best universal value with high quality at low prices. This paper focuses on human-systems integration, cabin space and styling design, vehicle dynamics control, safety, and weight reduction, and explains the contributions and efforts of JTEKT's latest technologies.

**Key Words:** smart steering, power steering, EPS, AD, ADAS, UX, DX, functional safety, integrated control, Pairdriver™, J-EPICS®

### 1. はじめに

ステアリングを取り巻く環境の変化には図1に示すように大きく二つのトレンドが存在する。一つはイノベーションとしての新たな価値創造と、もう一つは良質廉価な製品として省エネルギー、効率化など従来からの普遍的な価値を高めていくものである。

イノベーションに関してはSDGsに提唱されている人を中心とした持続可能な社会への転換に貢献する技術が主流になる。Society 5.0に代表されるような社会潮流の中で自動車に対する期待も多様化かつ高度化し、従来の自動車から“人とモノを安全快適に移動させるモビ

リティー”へと、その役割と姿を変えつつある。図1に示すような新しい使い方や新機能などが次々と提案され、豊かな社会に向けた進化もとどまるところを知らない<sup>1)</sup>。一方で従来からのPOV\*<sup>1</sup>も同じ交通社会の中で存在する。また人の期待する価値は利用して得られることの喜びへシフトし、スマートフォンのようなDX\*<sup>2</sup>による情報通信のUX\*<sup>3</sup>を満載したスマートカーという新しいコンセプトが注目されている。

ステアリングシステムはこのような自動車の変革に対し図2に示す「車室内空間のデザイン自由度」、「運転支援システムとの親和性」において貢献できる<sup>2)</sup>、<sup>3)</sup>。両者は主にDXによる機構部品の電子化、人とシステム

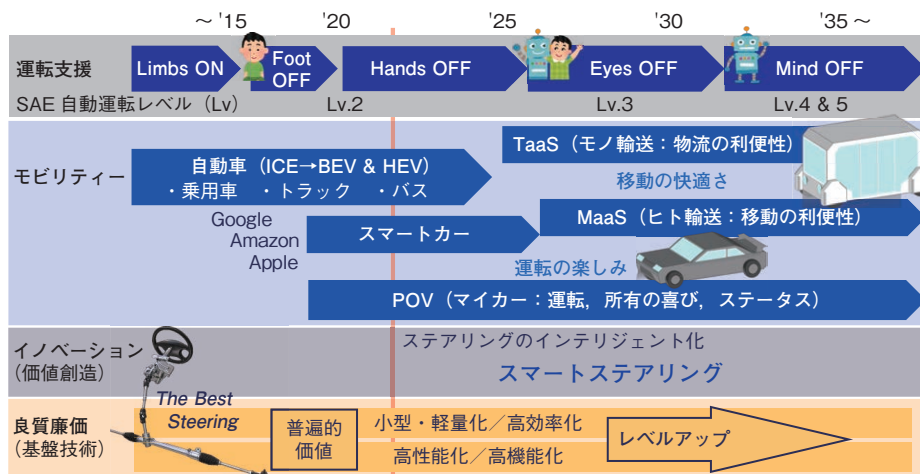


図1 車両の進化とステアリングの進化  
Advances in vehicles and steering



図2 ステアリングによって提供できる UX  
UX contributions through steering technology

の動作を融合させる制御技術，他システムとの連携により可能となる。これからのステアリングはパワーアシストや軽量化などの普遍的価値の“Best”を追求することに加えて，よりインテリジェント化，すなわちスマート化されたシステムとしての存在価値を高めていくと考える。

本報では当社が考えるスマート化されたステアリング（以下，スマートステアリングと略す）と普遍的な価値としての基盤技術に対する取り組みを紹介する。

- \* 1 POV (Personal Owned Vehicle)：個人の所有車としてステイタスやドライブを楽しむ自動車
- \* 2 DX (Digital Transformation)：機能のソフトウェア化。本報ではハードウェアのソフトウェア化を含めて広い意味で DX と記す<sup>4)</sup>
- \* 3 UX (User Experience)：使って得られる体験の満足度，利用品質

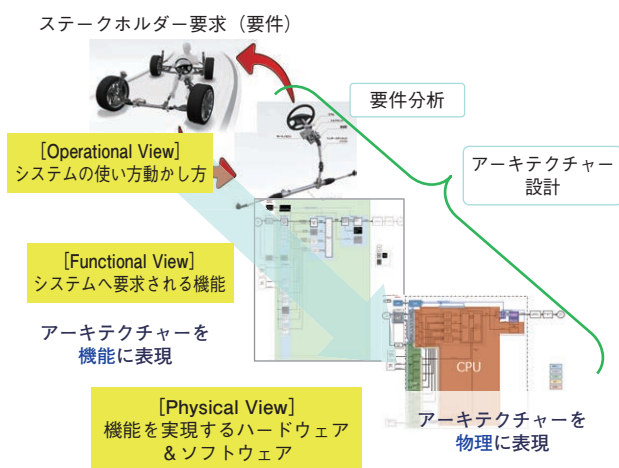


図3 システムズエンジニアリングの機能思考  
Systems engineering process

## 2. 機能安全とサイバーセキュリティ

「新たな価値創造」と「良質廉価」の両トレンドともに安全の確保は最重要課題である。これに対して図3に示す機能のロジカル（理論）表現を通してフィジカル（物理）表現に落とし込むシステムズエンジニアリングの概念<sup>5)</sup>を導入し、「車両に必要とされる機能からステアリングシステム～サブシステムの要求を導出し」，「他システム間との機能連携」を明確にした取り組みを行っている。詳細は本報「システムズエンジニアリング手法の適用による機能安全活動の高度化および効率化」44 ページに記載する。

また情報通信を行うシステムにおいては図4に示すサイバー攻撃に対する耐性も必要である。サイバーセキュリティに関してはISO/SAE21434<sup>6)</sup>，UN-R155/R156<sup>7), 8)</sup>を通して2022年7月から規格化された。当社ではECUの主要機能（通信／リプログラミング／データアクセス）に『電子鍵』をかけることでこれに対応していく。

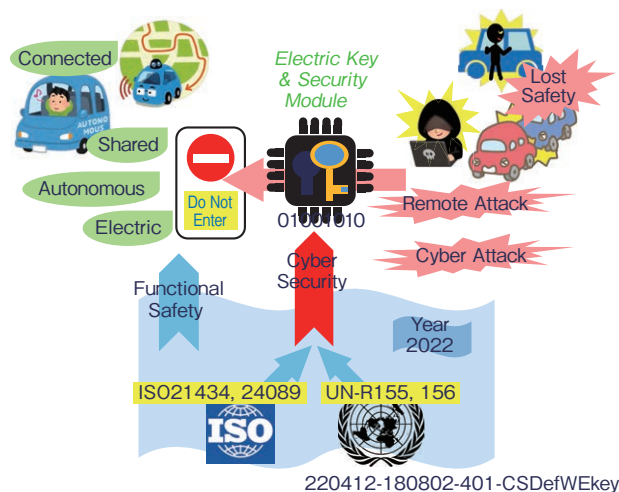


図4 サイバー攻撃への対応  
Actions to address cyber risk

### 3. 制御技術 人とシステムの融合と将来に向けたソフト・ハードウェア分離

自動運転を含むシステムによる運転支援と、人による運転とを融合させ調和させることは、安心して運転するための新たな価値である。自動運転レベル3 (Eyes OFF) までの運転支援システムにおいては運転者による運転とシステムによる運転を選択的に切り替える操作系をとるものが少なくない。運転者とシステムを常に共存させ、より快適な高度運転支援を提供する制御技術 Pairdriver™ を開発した。Pairdriver™ は図5に示すように運転者へシステムによる操舵介入をステアリングホイールを通じた操舵感としてフィードバックする制御技術である。走行状況に応じたシステム介入の強弱も操舵感を通じて運転者に伝えることが可能である。詳細は本報「Pairdriver™ - 自動運転のためのステアリング制御 -」22 ページに記載する。

また車両の E/E アーキテクチャーは先進の機能による複雑性を管理するため、高性能コンピュータに統合さ

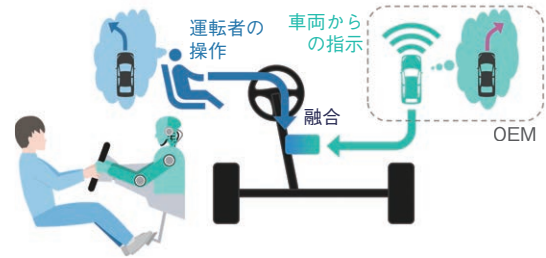


図5 Pairdriver™ のイメージ  
Image of Pairdriver™

れたゾーン型アーキテクチャーへ進化していくと予想される。このような次世代の E/E アーキテクチャーに対応するためにソフトウェアとハードウェアを分離しソフトウェアのロケーションフリー化を考えなければならない<sup>9)</sup>。次世代に向けて図6に示す車両ごとの必要なアシスト力の違い、EPS ギヤごとの特性の違い、車両の違いなどを吸収するサーボ制御則およびソフトウェアアップデートへ対応かつロケーションフリーへの対応可能な制御プラットフォームの開発を推進していく。

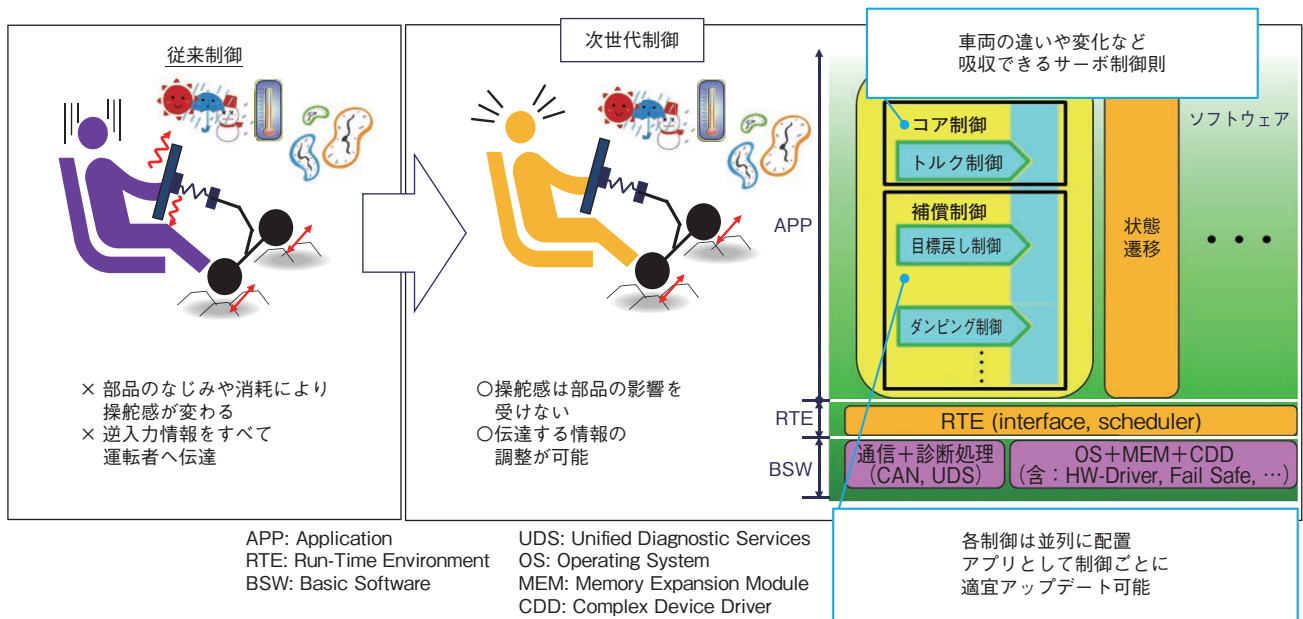


図6 次世代制御とソフトウェア構造  
Next generation control and software structure

#### 4. リンクレス ステアバイワイヤ システム (J-EPICS®: JTEKT Electronics Performed Intelligent Control Steering)

自動車が生に現れたときから車室内空間（キャビン）の基本的な姿は変わっていない。J-EPICS® はステアリングシステムの DX 化によりインターミディエイトシャフトを電子化したシステムであり、キャビンの姿を大きく変えることができる技術である。本システムにおけるステアリングホイールは図7に示すように車両の進む方向を入力するコントローラーとなる。運転に必要なロードインフォメーションのフィードバックと車両運動を考慮したステアリングギア比の制御により、安全と運転の楽しさを提供するスマートステアリングである。またコントローラーとしてのステアリングホイールは“リング状のステアリングホイール”から解放されるほか、メカニカルなリンク機構がないため、車両のスタイリングデザインやキャビンデザインに大きな自由度をもたら

し自動車の新価値創造に貢献する。従来のステアリングシステムでは不可能であったステアリングホイールをダッシュボードに格納してしまうことも可能になる。技術の詳細は本報「リンクレス ステアバイワイヤ システム J-EPICS の開発」37 ページに記載する。

これらの価値を最大限に具現化するため関連するパートナー企業と協力し、価値創造にも積極的に取り組んでいる。一例を紹介すると、トヨタ紡織株式会社が主導するトヨタグループ6社（他5社：株式会社デンソー、株式会社アイシン、豊田合成株式会社、株式会社東海理化、株式会社ジェイテクト）による協業活動に参画し、「MaaS 社会を想定した車室空間コンセプト」を提案、「CES \*4 2022」にてオンライン出展を行った。この中では図8に示すように2030年以降の自動運転レベル4（Mind OFF）以上のMaaS車両MX221を想定し、ステアリングホイールのない自動運転車両における、一時的な手動運転（緊急時に車両を安全な場所に退避させるなど）の手段を提案した。新モビリティに向けて積極

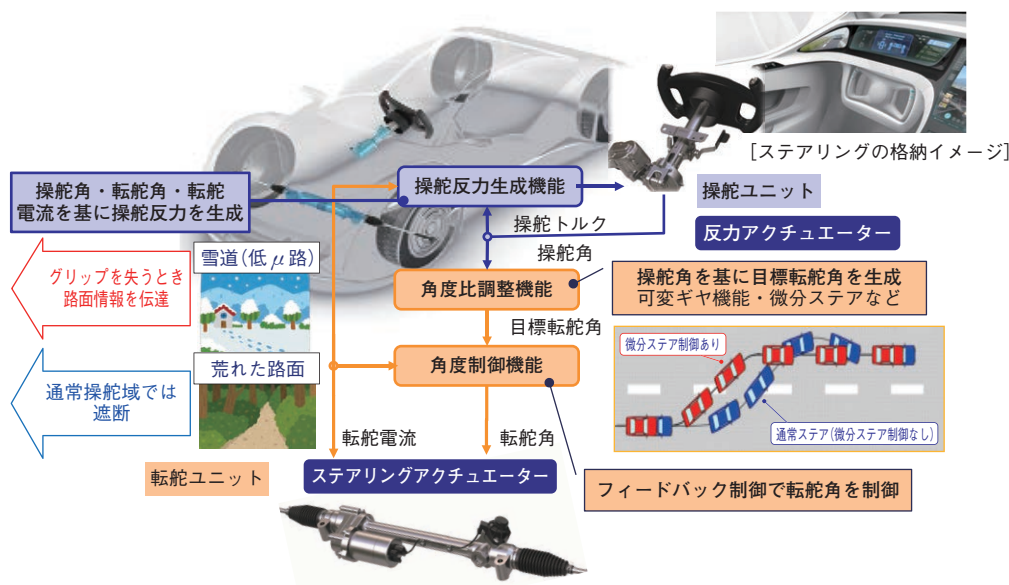


図7 リンクレス ステアバイワイヤが実現する新たな価値  
UX created with linkless steer-by-wire technology



図8 トヨタグループ協業のMX221における新たな価値の提案  
New cabin proposal by TOYOTA group activities MX221



的に UX 創造をパートナー企業と取り組んでいく。

- \* 4 CES：全米民生技術協会が主催する電子機器見本市

### 5. 車両運動制御

運転支援システムは車両の動きをつかさどるアクチュエーターを直接制御できることから、人による運転をより快適な車両の動きにすることができる。車両運動制御

は車両の“走り”を極めるための平面運動の制御を主体に開発されてきた。これからの車両運動制御は、関連する各コンポーネントの状態量を一つの制御に集め、図9に示す6軸運動を制御し快適性を向上させる。車体やタイヤの状態を車両モデルから推定し、アベイラビリティとして把握、駆動・制動・操舵の量やタイミングを最適化し車体のピッチ・バウンス・ロールを制御する。さらには図10の統合アーキテクチャーに示すように連携するシステム間で故障時の性能を補完する FOP (Fail

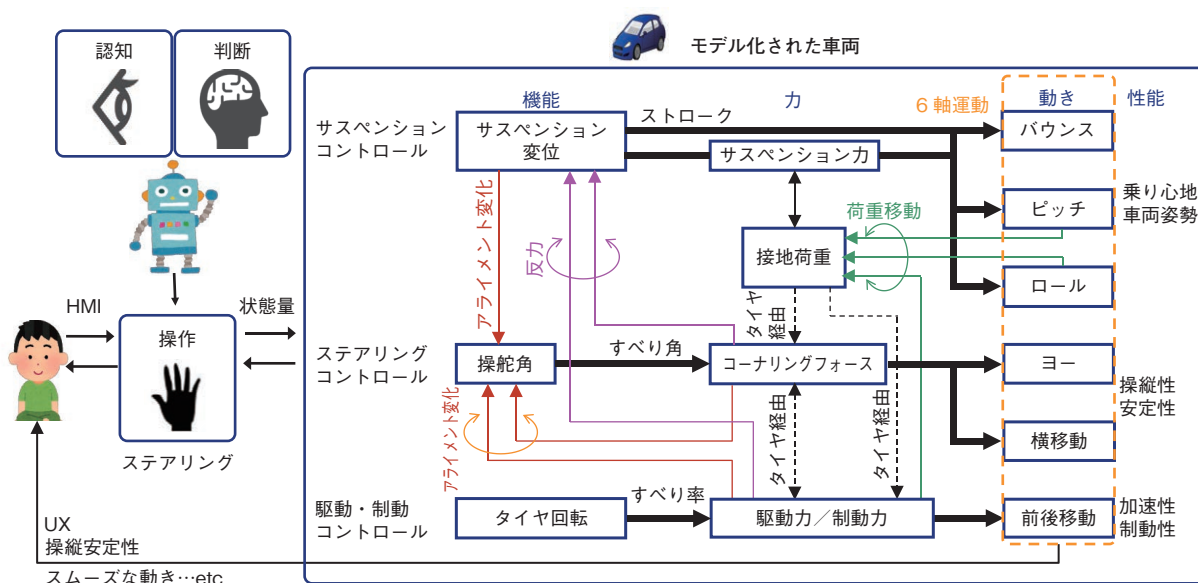


図9 車両運動制御  
Vehicle dynamics control

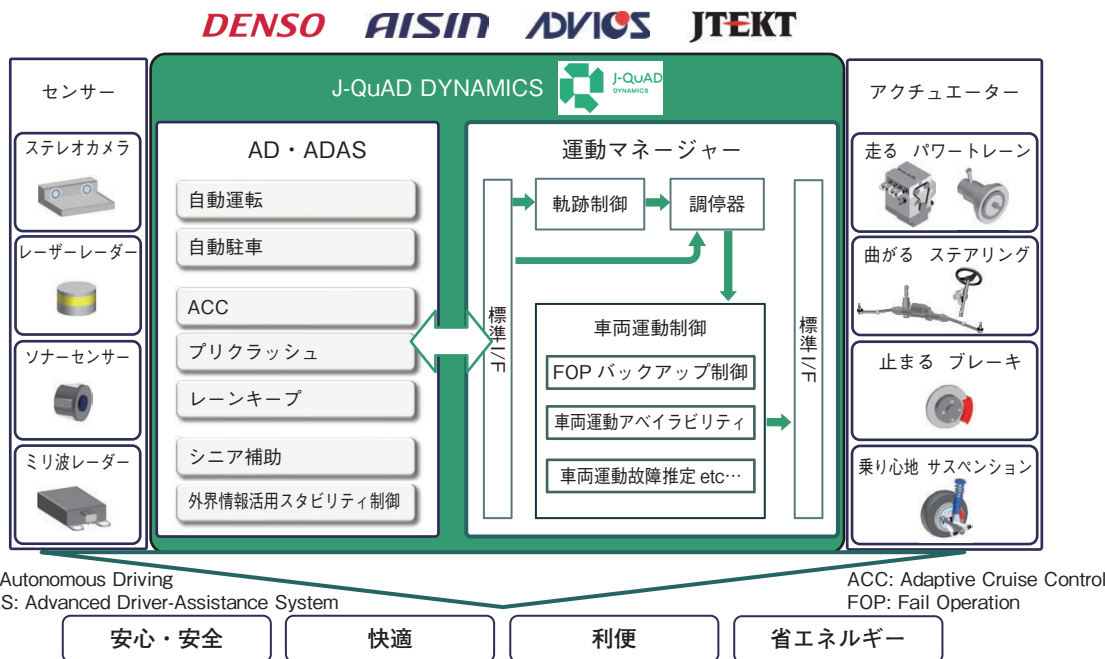


図10 統合アーキテクチャー  
Integrated architecture

Operation) など、快適性以外への拡張も可能である。ステアリングシステムはスマートステアリングとして制御に必要なステアリング関係の状態量の生成と路面外乱などを補正した制御を行い、走行軌跡精度を向上させる。

この取り組みは駆動・制動・操舵のコンポーネントをビジネスとする4社(株式会社デンソー、株式会社アイシン、株式会社アドヴィックス、株式会社ジェイテクト)共通の思いであり、協同で設立した株式会社J-QuAD DYNAMICSで開発を推進している。

## 6. 中・大型のモビリティへの取り組み

これまで述べてきた新たな価値創造は電動化をベースにしている。中型のモビリティに向けては油圧を使わないEPS(電動パワーステアリング)の検討を進めているが、大型のモビリティでは必要なパワーの大きさから図11に示す既存のHPS(油圧パワーステアリング)にスマートの機能を担う電動の操舵アクチュエーターを組み合わせたハイブリッドタイプのステアリングに対応する。現在の大型バスおよびトラックにおいてはLKA<sup>\*5</sup>(Lane Keeping Assist System)などの安全機能向上と操舵感向上による運転者の疲労低減が可能になる。本システムは図12に示す東日本旅客鉄道株式会社(図中、JR東日本と略記)の気仙沼線BRT(Bus Rapid Transit)に自動運転レベル2(Hands OFF)システムとして採用された。社会有効性と信頼性をインフラシステムを形成する他企業と共同の実証実験を経て

確認し、22年度冬より公共交通機関としての営業運転を開始する予定である。

大型のモビリティのニーズをつかみつつ、現在のバスおよびトラック特有の操舵応答遅れ、乗客や積荷に優しい加速度・ジャーク抑制、乗員数や積載量など荷重バランス変化への対応、油圧失陥検知および回避操縦などの技術開発を推進していく。

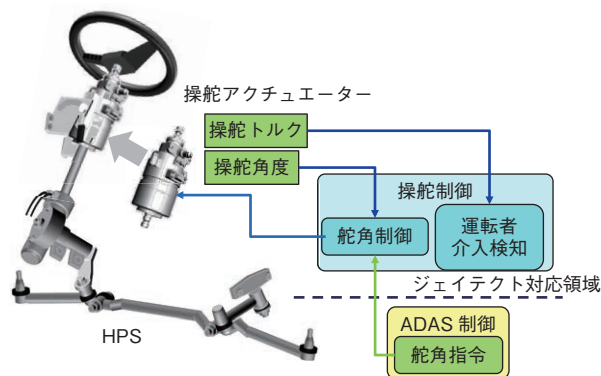


図11 HPSと操舵アクチュエーターによるハイブリッドシステム  
HPS and steering actuator hybrid system

\*5 LKAは、トヨタ自動車株式会社の登録商標です。

2019年度からジェイテクト参画

- ・2019年度：ジェイテクト実験車両で自動運転技術検証
- ・2020年度：JR東日本の車両製作(将来のL3実現目指し)
- ・2022年度：'22年12月L2営業運行開始(計画)
- ・2023年度以降：L3実用化と延伸を目指す

2019年度 JR東日本 BRT 自動運転実証実験より

JR東日本車両(ブルーリボン)

2021年度 JR東日本 BRT 自動運転実証実験より

主な技術検証項目

- ・信号連携/待避分岐
- ・正着(車いす乗降)
- ・60km/h走行等

※国土地理院地図を元にジェイテクトが作成

図12 BRT実証実験への当社の参画  
JTEKT work with the BRT demonstration experiment

## 7. 基盤技術

電動車両においては、長距離走行のためにバッテリー搭載量が増え、従来と同じセグメントの車両と比べて質量増加を招いている。良質廉価なステアリングシステムの開発における基盤技術として軽量化の重要度が増してきている。その実例としてセンサー技術とCAEについて紹介する。

### 7.1 トルクアングルセンサー

従来のEPSはトルクセンサーで運転者の操舵力を検知し、必要なモーター出力を制御することで最適な操舵感を提供してきた。自動運転レベル2 (Hands OFF) 以上の車両においてはアシスト力だけではなくタイヤの角度も正確に制御する必要がある。そこで図13に示すように一つのセンサーユニットに操舵角とトルクとの両方を検出する機能を搭載し、またそれら出力信号をデジ

タル化することで車両のワイヤーハーネス量の軽減と信頼性向上を図った。また各部を冗長化し、一系統の故障では機能継続が可能な設計にした。

### 7.2 CAE

軽量化技術は車両の省燃費や走行距離の向上に不可欠である。図14に示すようにステアリングギヤボックスの設計において必要な強度および剛性を最小質量で設計するためのCAE手法として、位相最適化法(トポロジー最適化法)<sup>10)</sup>を導入し実績を重ねてきた。ピックアップトラックなどに搭載され厳しい環境で使われるEPSにおいては、従来のFEMによる設計に対し30%以上の軽量化を達成し量産化した。

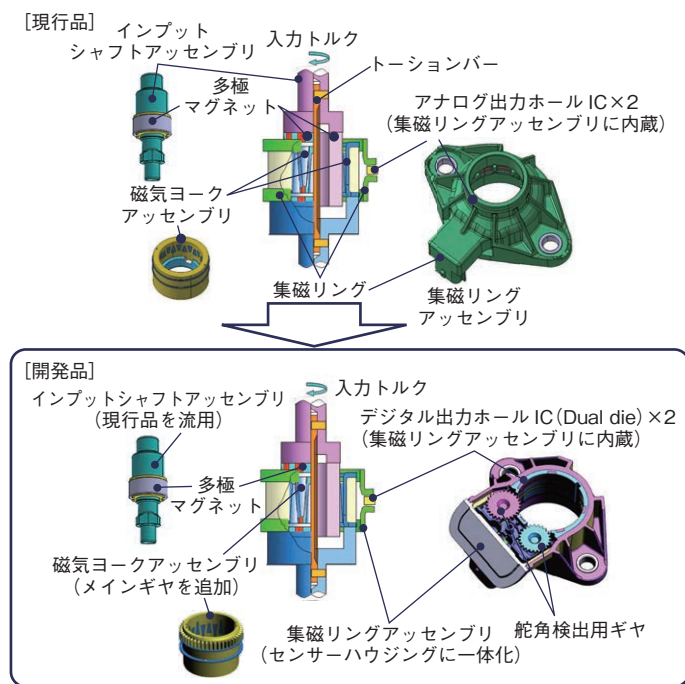


図13 トルクアングルセンサー  
Torque angle sensor



図14 CAEの効果  
Examples of CAE study

## 8. おわりに

自動車業界は100年に一度の大変革の時代といわれて久しいが、この「一度」は一過性のものではなく非常に長いスパンで続いていくものと考え、これからは常にSDGsに沿った将来モビリティのあり方からイノベーションとなるUXを考え、またそれを“広く人々のライフスタイルに連動して変化するもの”と捉えていく必要がある。これは昨日まで正解だった技術が今日には不正解になることを意味し、これまで我々が得意としてきた“技術の積み重ねによる性能磨き上げ競争”から“イノベーションの創出競争”にフィールドが変化することを示唆している。今回紹介した個々の技術は従来の技術の磨き上げであるが、車両デザインや他システムの認知判断の機能と融合することによってイノベーションを生み出すものである。

新たな企業連携の仲間を募りながら「このイノベーションを実現するにはジェイテクトのステアリングが必要」といわれるような新たな商品をどんどん開発していきたい。当社の基本理念である、地球のため、世の中のため、お客様のためになる商品の本気で考え、継続して市場に提供していけるよう努めていく。

## 参考文献

- 1) デトロイトトーマツコンサルティング：モビリティ革命 2030 自動車産業の破壊と創造，日経 BP(2016)。
- 2) 村田正博：ジェイテクトが考える自動運転化に向けたステアリングシステムの展望，自動車未来サミット Spring(自動運転のコア技術と課題)，日経 BP，(2019)。
- 3) 阪田勝利：自動運転へ向けたステアリング技術の展望，JTEKT ENGINEERING JOURNAL, No. 1017(2019) 9。
- 4) 日経クロステック：Digital Transformation，日経クロステック DX 特別編集版，日経 BP (2021)。
- 5) Charles S. Wasson：System Engineering Analysis, Design, and Development: Concepts, Principles, and Practices (Wiley Series in Systems Engineering and Management)，第2版，Wiley(2015)。
- 6) ISO/SAE21434:2021, Road vehicles-Cybersecurity engineering, (2021)。
- 7) UN-R155, Cyber security and cyber security management system, (2021)。
- 8) UN-R156, Software update and software update management system, (2021)。
- 9) 及川卓也：ソフトウェア・ファースト あらゆるビジネスを一変させる最強戦略，日経 BP(2019)。
- 10) 井原 久，下田昌利，畔上秀幸，桜井俊明：位相最適化と形状最適化の統合による多目的構造物の形状設計，機論 A, Vol. 62, No. 596(1996)1091-1097。

## 筆者



村田正博\*

M. MURATA

\* 領域長