

ステアリングシステムの発展と今後の展望

Development and Future Outlook of Steering Systems

松岡浩史 H. MATSUOKA

This report first describes the history of steering systems, as well as the predicted future trends of ADAS (Advanced Driving Assist System) and the role of the steering system within ADAS as a steering function, including mechanical and electronic controls. It also describes the steer-by-wire system recognized as the means for achieving ADAS. Furthermore, this report illustrates the development of electric power steering and the achievement of equipment safety for safety requirements such as in ISO26262, which have accompanied its development. It also explains the application of the technologies achieving the required safety (achieving product safety conforming to the requirements of standards such as ISO26262) on ADAS.

Key Words: EPS, ADAS, SBW, ISO26262

1. はじめに

現在の自動車は、車両周辺や運転状況の高度かつ高精度な検知が可能となり、衝突被害軽減ブレーキに代表されるアクティブセーフティの実用化が進んでいる。一方、ステアリングでは1988年に当社が世界に先駆けて量産化した電動パワーステアリング (Electric Power Steering : EPS) の普及が進み、現在では乗用車の半分以上がEPSを搭載している。さらに、EPS搭載車両では自動駐車システムやレーンデパーチャーワーニングシステム (LDW) /レーンキープアシストシステム (LKA) などのEPSの制御自由度を生かした運転支援システムの普及も進みつつある。今後はこれら技術をさらに高めることで、高度運転支援システム (ADAS) や自動運転システムへの発展が予想され、ステアリングシステムもこれらシステム実現のために、機能・性能の向上が求められている。本報では、ステアリングシステム発展の歴史を振り返るとともに、今後予想されるADASの進化と、そのADASの進化によってステアリングに求められる機能、それを実現するシステム、および安全性設計の考え方について述べる。

2. ステアリングシステムの発展の歴史

1960年代の油圧アシスト式パワーステアリング (HPS) の実用化により、ステアリングホイール (SW) を回転させるのに必要な操舵力が低下し、運転者の負担が軽減できるようになった。さらに、車速に応じてアシスト力を制御することにより、駐車時のSW操作力の軽減と高速走行時の安定性および操舵感の両立が可能となった。そして、1988年に世界で初めて当社がEPSを実用化し、車両の低燃費化にも大きく貢献している。

図1に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の実績と予測を示す。2001年時点ではHPSが大半を占めていたが、近年大型車へのEPS搭載が拡大したことにより、2010年以降で急速にEPSの生産台数が増加してきている。また、EPSのタイプ別の搭載割合も同時に変化しており、現在まで主流であった小型車に適したコラムにアシスト機構を持つC-EPSに加え、大型車への搭載に適したラック軸にアシスト機構を持つ下流アシストタイプのEPS (DP-EPS, RP-EPS) が増加傾向にある (図2)。EPS化は、今後も燃費規制の強化や高度運転支援技術の普及およびADAS機能の実用化に向けた展開を背景に、さらに進むものと考えられる。

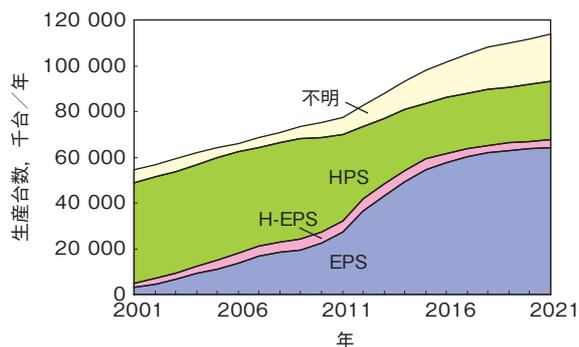


図1 ステアリングタイプ別の自動車生産台数の実績および予測（グローバル）

Results and forecast (global) of automobile production volume by steering type

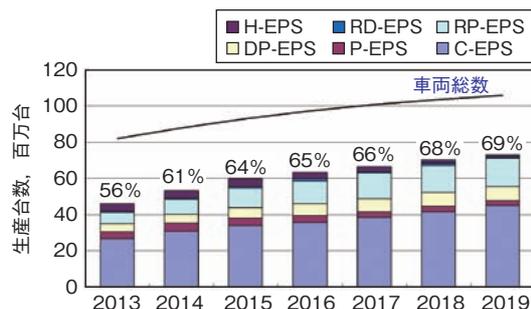


図2 EPSのタイプ別の生産台数の割合（グローバル）
Production volume percentage (global) by EPS type

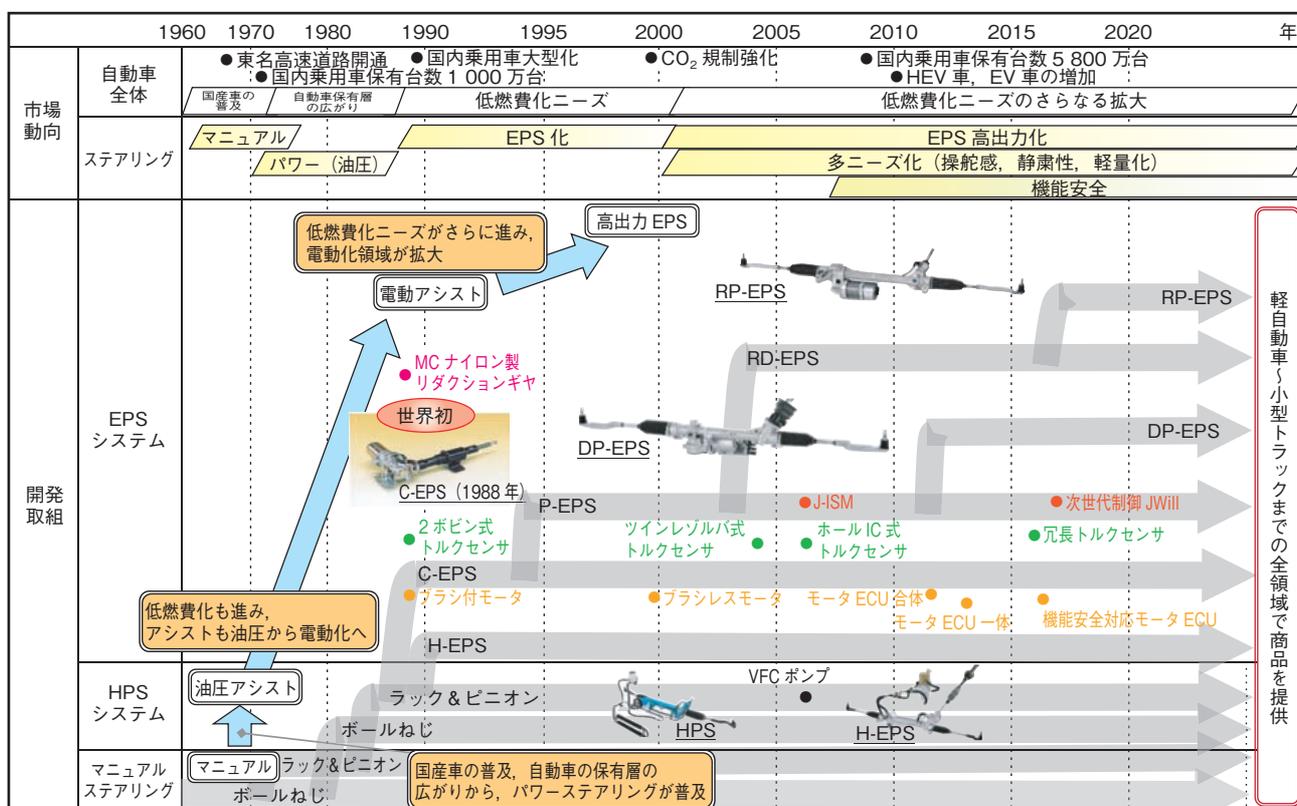


図3 当社のステアリング製品の歩み
History of JTEKT steering products

図3は、当社のステアリング製品の変遷を示す。ステアリングのトップメーカーとしてあらゆるニーズに応えられるよう、各タイプ製品をラインアップした商品構成を整えるとともに、新製品の開発に取り組んでいる。今後、さらに進化していく自動車に対応したステアリングシステムと、その周辺技術の開発が当社の使命と考える。

3. ADAS の進展と操舵システムの進化

3.1 ADAS の市場動向

近年のコンピュータ処理能力の急速な発達や車載用レーダ・カメラなどの周辺認識センサの認識能力の著しい向上と低コスト化に伴い、自動緊急ブレーキやLDW/LKA など、自動車の安全性を向上できる運転支援システムの種類と数量が急激に増加している。これらのシステムは、交通事故件数や犠牲者人数の減少への寄与度も

大きいことから、システム搭載の段階的な義務化や、NCAPのレーティング対象化などが進んでおり、今後大幅な普及率の向上が見込まれている。

これらADASがさらに高度化することで、運転者に代わってシステムが完全に運転を代替する自動運転システムの実用化の可能性も高まってきている。自動運転システムは、日米欧先進各国ともに多少の前後はあるもの

の、ほぼ同時期に機能の高度化や適用道路の拡大などが段階的に進むと予想されている(図4)。これらは自動車そのものの変化だけでなく、社会認知度の向上、法律および規制の改定などを通じて、車社会のみならずライフスタイルを一変させるインパクトを与える可能性も秘めている。

※図4のLEVELは表1のNHTSAレベル¹⁾を使用

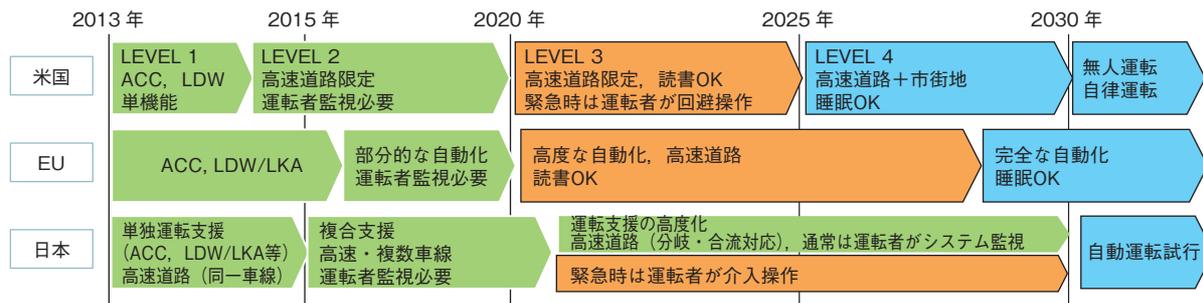


図4 各国の自動運転システムの導入ロードマップ
Roadmap of automated driving system introduction by country

表1 自動化レベル(案)¹⁾
Levels of automation (Draft)¹⁾

NHTSA レベル	SAE レベル	SAEに おける 呼称	SAEにおける定義	ハンドル操作と 加速/減速の 実行主体	走行環境の モニタリング	運転操作の バックアップ 主体	システム能力 (運転モード)
ドライバーが自ら運転環境をモニタリング							
0	0	手動	ドライバーが、常時、全ての運転操作を行う。	ドライバー (人間)	ドライバー (人間)	ドライバー (人間)	—
1	1	補助	運転支援システムが走行環境に応じたハンドル操作、あるいは、加減速のいずれかを行うとともに、システムが補助をしていない部分の運転操作をドライバーが行う。	ドライバー (人間) +システム	ドライバー (人間)	ドライバー (人間)	いくつかの 運転モード
2	2	部分的な 自動化	運転支援システムが走行環境に応じたハンドル操作と加減速を行うとともに、システムが補助をしていない部分の運転操作をドライバーが行う。	システム	ドライバー (人間)	ドライバー (人間)	いくつかの 運転モード
自動化された運転システムが運転環境をモニタリング							
3	3	条件付き 自動化	システムからの運転操作切り替え要請にドライバーは適切に応じるといった条件のもと、特定の運転モードにおいて自動化された運転システムが車両の運転操作を行う。	システム	システム	ドライバー (人間)	いくつかの 運転モード
4	4	高度な 自動化	システムからの運転操作切り替え要請にドライバーが適切に応じなかった場合でも、特定の運転モードにおいて自動化された運転システムが車両の運転操作を行う。	システム	システム	システム	いくつかの 運転モード
	5	完全 自動化	ドライバーでも対応可能ないかなる道路や走行環境条件のもとでも、自動化された運転システムが、常時、車両の運転操作を行う。	システム	システム	システム	全ての 運転モード

3.2 操舵システムへの要求

ADASおよび自動運転システムの進展に伴い、操舵システムに求められる機能も変化が予想される。図5に各種運転支援システムの機能と、自動運転の自動化レベル、および操舵システムへの要求などの関係を示す。LDW/LKA、TJAは従来型のシステムであり、多数のOEMメーカーで量産中、もしくはここ数年で実用化が予定されている。これらは運転者主権型のシステムであるため、操舵システムには緊急時に運転者の意図を優先するオーバーライド機能が必須となる。2020年頃の実用化が予想されるシステム主権型の自動運転システムでは、緊急操舵対応必要時に運転者が運転権限を取り戻すまで操舵機能の維持が必須となる。またシステムの判断が運転者の判断より、より安全と判断できるレベルに達したシステムが実用化されるようになれば、運転者との協調や干渉を自由に制御できるステアバイワイヤ(SBW)方式のステアリングシステムが非常に有効な手段であり、主流となる可能性が高い。

4. 安全性の確保

4.1 機能安全への対応

EPS化でも証明されているように、近年自動車に搭載される電気・電子系システムは複雑化や高性能化・高機能化が急激に進展し、搭載数も急増している。一方、それらのシステムが故障や誤動作なく動作し、自動車が安全に走行できることが求められる。そのため、IEC 61508で国際規格化されていた機能安全の考え方が自動車産業に導入されることになり、2011年に自動車の機能安全の国際規格としてISO 26262が発行された。この規定により、電子制御機器で発生する故障やバグは危険度、頻度、および回避性能に応じてランク付けされ(ASIL設定、図6)、ランク付けされたものに対する安全策やトレーサビリティ機能をV字製品開発プロセスに折込んで運用されることとなった(図7)。

機能名	ACC	AEB	LDW	LKA	TJA	TJA(車線変更あり)	自動操舵	自動操舵/衝突回避
制御内容	 定速制御 減速制御 追従制御							
量産化時期	量産中				2015～2018年		2020年頃	2025年頃
自動化レベル	運転者主権				運転者主権		運転者主権 → システム主権	システム主権
ステアリングへの要求	運転者によるオーバーライド						フェール時機能維持	運転者入力との干渉回避
ステアリングシステム	EPS				SBW		SBW EPS	SBW

ACC : Adaptive Cruise Control AEB : Automatic Emergency Braking LDW : Lane Departure Warning
 LKA : Lane Keeping Assist TJA : Traffic Jam Assist SBW : Steer by Wire

図5 高度運転支援システムの制御概要とステアリングシステムへの要求
 Outline of advanced driving assist system controls and steering system requirements

<リスクの定量化>

“リスク” = Automotive Safety Integrity Levels (ASIL) として定量化

<リスクの定義>

苛酷さの等級 S1 (軽微)～S3 (重大)
 運転状況 E1 (レアな状況)～E4 (運転中の殆どの状況)
 異常時対処しやすさ C1 (容易)～C3 (困難)

		C1	C2	C3
S1	E1	QM	QM	QM
	E2	QM	QM	QM
	E3	QM	QM	A
	E4	QM	A	B
S2	E1	QM	QM	QM
	E2	QM	QM	A
	E3	QM	A	B
	E4	A	B	C
S3	E1	QM	QM	A
	E2	QM	A	B
	E3	A	B	C
	E4	B	C	D

図6 ASIL の定義²⁾
 Definitions of ASIL²⁾



図7 機能安全 V 字プロセス
 V-model of functional safety

4.2 EPS の安全性確保と ADAS 対応への考え方

現在 EPS システムでは、以下の故障モードが ISO 26262 の ASIL-D に分類され、最もクリティカルなものと定義されている。

- ・ステアリングの自転 (運転者が操舵しておらず、車両側から自動駐車などの操舵指示がないのに勝手に SW が回転する。)
- ・ステアリングのロック (SW が回せない。)

これらの故障モードに対しては、開発・設計および製造の各段階で機能安全要求に合わせた品質の作り込みを実施し、故障率の低い電子部品を選定することにより、

故障発生率を機能安全要求に合致させることで対応している。またこれらの故障も含め、システムに異常が発生した際にデュアルコアマイコンの監視機能やフェールセーフ機能によりシステムは停止し、それ以上、危険な状況にならないような設計となっている。しかし、昨今では車両の大型化 (重量増) に対し、EPS システムのアシスト力が増大したため、システム故障時にシステムの停止が許容されない方向となってきている。

また ADAS や自動運転システムでは、ADAS / 自動運転機能、もしくはこれらの機能を実現する EPS / SBW のシステム停止は ASIL-D と分類されて、フェールが発生した場合も機能の維持が必須との要求となる可能性が高い。当社ではこの対応として、表2に示すようにシステム停止に陥りにくい、もしくは最終的にシステム停止しないフェールオペレーショナルな EPS の提供を進めていく (図8参照)。

- 第1段階：バックアップ制御の適用 (量産中)
 EPS 動作が継続可能な故障の場合、特別なソフトウェアを起動して EPS 動作を継続。
- 第2段階：ハードウェア冗長 (2015 年量産では一部を適用)
 EPS の電子回路とセンシング機能を二重化し、故障が発生しても残った機能で動作を継続。

表2 フェールオペレーショナルな EPS システム
Fail-operational EPS system

段階	コンセプト	実現手段	システム停止に対する ASIL (フェールセーフでの 停止含む)	フェール オペレーション時 のシステム出力	対象 ADAS	システムの 自転やロックに 対する ASIL
3	完全なフェール オペレーショナル	車両電源含めた EPS システム電気系 ハードウェアの完全冗長化	ASIL-D	50%~100%	自動運転	ASIL-D (発生率 10FIT 以下)
2	フェール オペレーショナル	EPS システム電気系ハードウェアの 冗長化	(ASIL-C)	50%	TJA・LKA	
1	部分的なフェール オペレーショナル	ステアリングホイールでの バックアップ	(ASIL-B)	20%	衝突回避	
0	フェール発生時は システム停止	従来の EPS	QM	0% (停止)	LKA・LDW	

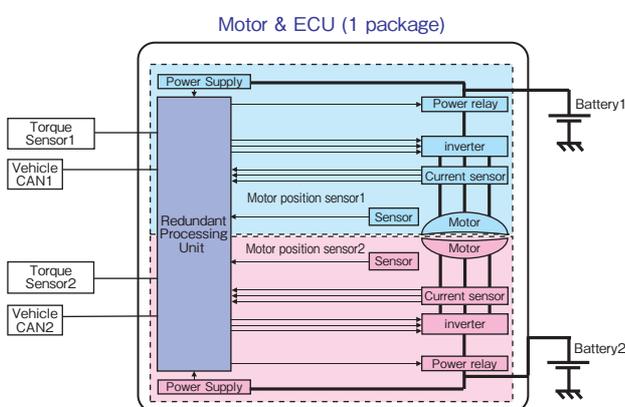


図8 フェールオペレーショナルシステムブロック図
(一例)

Fail-operational system block diagram (Example)

第3段階：ハードウェア、および電源冗長（2020年頃の量産を想定し、詳細論議中）

EPSの電子回路とセンシング機能の二重化と合わせて、車両電源も二重化し、いかなる故障であってもシステム停止することなく動作を継続。

5. おわりに

自動運転システムという、ひと昔前には夢物語であった技術の実用化の現実味が急激に高まり、自動車および自動車社会は大変革前夜の様相となってきた。技術課題のみならず事故発生時の責任の所在など、法的にも難しい課題もあるものの、実現できた場合には自動車の利便性と安全性が飛躍的に高まることから、各国では産官学の取り組みなどが盛んに行われており、夢の実現への目処付けが急速に進んでいる。ステアリングで世界一

のシェアを誇る当社は、今後発展し続ける ADAS および自動運転に対応した新技術の開発により、これらの実用化に向け貢献していくことが義務であると考えている。

* 1 H-EPS, C-EPS, P-EPS, RD-EPS, DP-EPS, RP-EPS, J-ISM, JWill は、株式会社ジェイテクトの登録商標です。

参考文献

- 1) 「第5回オートパイロットシステムに関する検討会 資料2 スライド no. 6」(国土交通省) <http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/autopilot/doc05.html>
- 2) ISO26262-3 Road vehicles-Functional safety-Part 3: Concept phase 7.4.4 Determination of ASIL and safety goals Table.4

筆者



松岡浩史*
H. MATSUOKA

* 執行役員