

# 自動車用ステアリングシステムの将来のトレンド

## Future Trends for Automotive Steering Systems



ルッツ・エクシュタイン\*  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Lutz ECKSTEIN

This paper illustrates current trends of steering system development approaches. Starting with a brief introduction and overview of existing steering system concepts, the focus is directed to the general benefits and challenges of steer-by-wire systems. These aspects were taken into account while developing and realizing the research vehicle concept 'SpeedE' at the Institute of automotive engineering at the RWTH Aachen University.

**Key Words:** steering system development, wheel individual steering, steer-by-wire, large steering angle, functional safety

### 1. はじめに

ステアリングホイールを装備した最初の自動車から今日の最先端ステアリングシステムに至るまでには、長い道のりがあった。長い間、油圧パワーステアリング (HPS) システムがすべての自動車にとって最適なソリューションであると考えられていた一方で、過去数十年におけるステアリングシステムの開発の進歩は、電動パワーステアリング (EPS) システムへのパラダイムシフトをもたらした。今日まで、EPS システムは、A セグメントから、SUV を始めとする車輪荷重の大きい大型乗用車まで幅広く市場に浸透している。今後の 48 V 電圧レベルの採用によりさらに大きな許容電力が容易に確保されることで、EPS システムの普及率はさらに高くなると考えられる。

EPS システムの特長としては、エネルギー消費量が HPS システムよりも格段に少ないため、CO<sub>2</sub> 排出量の低減につながる点が挙げられる。EPS は CPU により制御されているため、他の機能を兼ね備えることができる大きなポテンシャルも秘めている。これらの機能により、安全性、運転者の快適性が向上するとともに、車速感応パワーアシストや自動パーキング補助などの高度な運転者補助機能が実現される。EPS が HPS システムの後継システムとして受け入れられるために、これらのメリッ

トと併せていくつかの課題を克服する必要があった。特に、十分なステアリングフィールと機能安全性を確保するために多大な努力が継続されてきた。現在のステアリングシステムでは、どちらの課題も解決されていると見なすことができる。

EPS システムにより、広範囲でのステアリングトルクフィードバックの個別設計が容易になるが、必要電流はこの範囲を超えてしまうことがある。ステアリングフィードバックを総合的に設計するためには、可変ステアリング角伝達比を実現することが望ましい。事実、トルクおよびステアリング角伝達比を独立して制御した最初のシステムは、スーパーインポーズドステアリングシステムであり、可変ステアリング角伝達比を実現するための追加ギアセットを内蔵していた。最初のステアバイワイヤシステムが量産車両に導入されるまでには、さらに 10 年の時間といくつかの法規上の変更が必要であった<sup>1)</sup>。

本報では、最先端の乗用車用ステアリングシステムの概要を述べるとともに、自動車用ステアリングシステムの将来の展望を示す。主流である前輪ステアリングシステムに焦点を当て、後輪ステアリングシステムも、将来重要な役割を果たすと考えられるが本報では言及しない。

\*アーヘン工科大学 自動車工学研究所 (ika)

## 2. 最先端ステアリングシステム

今日のステアリングシステムの開発は、EPSシステムに重点が置かれている。たとえば、BMWは2010年に発表された5シリーズの全モデルにEPSシステムを搭載できるようにするために単独の24V電源システムを導入した様に、すべてのセグメントにEPSシステムを導入しようという動きは十分高まっている<sup>2)</sup>。今日では、将来の自動車用ステアリングシステムが電動式であることは明らかである。

### 2.1 電動パワーステアリングシステム

1980年代末期、最初のEPSシステムが量産車両に導入された。通常の技術革新プロセスとは反対に、初期のシステムではステアリングのラック軸力に限界があったため、最初に登場したEPSシステムは、軸荷重が比較的小さく、ラック軸力が限られている小型乗用車向けであった。現在では、コスト、パッケージおよび性能に関する要求事項に応じて、さまざまな自動車セグメントにわたって異なるタイプのEPSシステムが搭載されている(図1)。

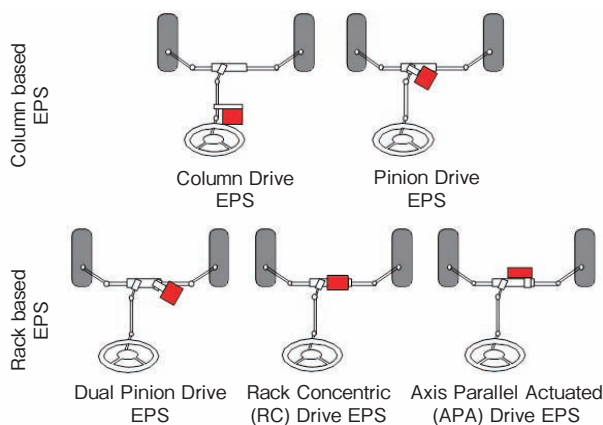


図1 一般的なEPSタイプの概要<sup>3)</sup>  
Overview of common EPS types

図1の上段に示すコラムドライブEPSシステムおよびピニオンドライブEPSシステムが、既存のラック&ピニオンギアを利用してアシストトルクを発生させているのに対し、下段のEPSシステムは、追加のギアセットを必要とする。デュアルピニオンシステムには、第2のラック&ピニオンギアが組み込まれているのに対し、RCドライブEPSシステムおよびAPAドライブEPSシステムは、ボールねじで構成されている。このボール

ねじは、中空シャフトモータ(RC)あるいは歯形ベルトドライブ(APA)により直接作動する。現在、APAドライブEPSシステムは、最も高いラック軸力を発生させることができる。

以上のすべての設計ソリューションにより、ステアリングシステムは、数多くのステアリング機能を実現することができる。これらの機能は、3種類のグループ、すなわち基本ステアリング機能、拡張ステアリング機能および高度運転支援機能に分類される。

基本ステアリング機能には、各運転状況において必要となるステアリングトルクを制御するための主なパワーアシストが含まれる。摩擦や慣性補償などのステアリングフィールに直接影響を及ぼしトルクのつり合いに関する追加の機能も、このグループに属する。

拡張ステアリング機能は、ステアリングフィールの領域を超えた機能である。このグループには、ステアリングホイールを直線走行のための位置に戻すためのアクティブリターン、さらには、道路の傾斜や定常的な横風の条件下でも、これらを補償して必要となるトルクをアシストする直線走行の補助機能が含まれる。

最後に、高度運転支援機能は、自動パーキング、トレーラーバックアップアシスト、レーンキーピングやレーン逸脱警告などの先進ドライバーフィードバックを始めとする、特定の状況における自動操舵を可能にする機能である。

### 2.2 スーパーインボーズステアリングシステム(SIS)

ステアリングシステムの機能をさらに拡張させるためには、ステアリング角へ直接影響を与える必要がある。これは、電気モータにより作動し、ステアリングホイール角に角度を加えられるような制御の自由度をステアリングコラムに追加することにより実現することができる(図2)。これらのシステムの機能安全のコンセプトには通常、ロック機構が含まれる。システムに不具合が発生すると、システムは固定ステアリング角伝達比を持つ標準的なステアリングシステムに性能レベルを下げるることができる。

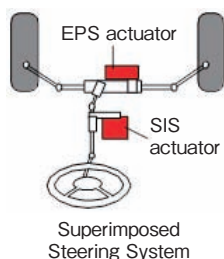


図2 スーパーインポーズドステアリングシステムの一般的な構成  
General setup of a superimposed steering system

スーパーインポーズドステアリングシステムは、数多くの機能に対応することができる。最も目を引くのは、ステアリングホイール角から車輪ステアリング角への伝達比を車速感応にできることである。さらに、この車速感応の伝達比特性は、車両運動制御システムへ組み込むことができる。

制御理論では、EPSとSISで構成されているシステムは、ステアリングホイール角と必要トルクは任意に調整できる一方、実際には、特定の有界条件により性能は制限されている（たとえば、ステアリングホイールへの反力トルクは、運転者が保持できる必要がある）という点に留意しなければならない。

### 2.3 「従来の」ステアバイワイヤシステム

ステアバイワイヤ（SbW）は、ステアリングホイールとステアリングギアとの間に機械式接続がない、つまりステアリングホイールと車輪との機械式接続がないことを特徴としている。このシステムでは、ステアリングラックを動作させるための一つ以上の電気モータ以外に、ステアリングホイールに可変フィードバックトルクを発生させるための別のアクチュエータが採用されることが多い（図3）。

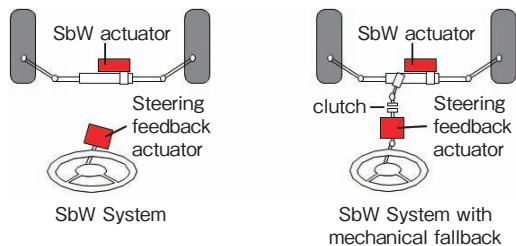


図3 一般的なSbWシステムと機械式フィードバック付きSbWの構成  
Setup of a general steer-by-wire system and SbW with mechanical feedback

SbWシステムのメリットは以下のとおりである<sup>4)</sup>

- ・ステアリング角伝達比とアシストトルク特性を個別に設定できる
- ・ステアリングがもつ機能のポテンシャルを最大限に引き出し、さらにアクティブセーフティを向上させることができる
- ・ステアリングフィードバックの影響に配慮することなくサスペンションの設計ができる
- ・ステアリングコラムの省略により、パッシブセーフティを向上させることができる
- ・ステアリングコラムの省略により、パッケージ性能を向上させることができる
- ・ステアリング位置（左座席、右座席）などの変動要因の低減ができる
- ・自動車の組立を簡素化できる
- ・革新的なヒューマンマシンインターフェース（HMI）の導入が可能

過去数十年間にわたり、SbWコンセプトに関する多くの異なるソリューションが学術論文で発表されてきたが、2014年にインフィニティがQ50に最初のシリーズのSbWシステムの搭載を発表するまで、その将来性は、SbWシステムの導入に関わる挑戦や開発への努力を超えるほど高く評価されていなかった。図3（右側）に示すように、Q50のダイレクトアクティブステアリング（DAS）システムは、機械式のフォールバックを搭載している。自動車には依然としてステアリングコラムが存在しているが、安全状態を確保するために連結可能なクラッチを利用して分離されている。インフィニティによれば<sup>1)</sup>、SISシステムに対するDASシステムの主な優位性は、ステアリングホイールへ伝達される路面からの高周波振動やエンジンからの不要な外乱を低減できる可能性があるという点である。必要となるラック軸力は、ローパスフィルタを介して、フィードバックトルクの計算に使用される。この対策により快適性が向上する一方で、一部の自動車ジャーナリストは、路面からのフィードバックが不足すること、また、どちらかと言えば人工的なステアリングフィールとなることなどの批評をしている<sup>5)</sup>。

### 3. ステアリングシステムの将来のトレンド

SbW システムを巡る現在の議論を考えてみると、初期の EPS システムに関する議論といくつかの類似点を見出すことができる。必要な開発コスト、運転者への人工的なフィードバックの質、さらには安全なシステム設計の実現の可能性については、多分に懐疑的である。

インフィニティの SbW コンセプトに至るまでの初期のソリューションでは、SbW システムの全体的な可能性を実証することはできなかった。その理由は、これらのソリューションが、SbW システムの実現が本当に可能であることを証明することを主眼として考案されたものであったためである。したがって、パッケージおよび組立コストのメリット、注目すべき追加機能など SbW システムの全体的なポテンシャルを明らかにする必要がある。

今日では、いずれ冗長的なアクチュエータが必要とされる自動運転導入への期待の高まりによって、信頼性の高い安全なシステムの開発に対する懐疑的な意見が著しく少なくなっている。市場への浸透を高めるためには、機能的な可能性を運転者が体験できるようなものでなければならない。同時に、より高度な冗長性コンセプトの採用によって生産コストを抑える必要がある。車輪独立 SbW システムは、革新的なステアリング機能と妥当なコストの両方を実現できる可能性がある。

#### 3.1 高度な冗長性コンセプト

機械式システムが本質的に安全であると考えられている一方で、メカトロニックシステムは、損傷や摩耗の予兆なく故障する可能性がある。したがって、機械式フォールバックを備えていない SbW システムの場合、機能安全のコンセプトは、冗長性を備えていなければならない。

安全性のゴールは、故障をまったく伴うことなく、あるいは対処可能な故障以外を伴うことなく車両制御を維持することである。このような車両制御は、制約なく元々ある機能を満たす、つまり故障時にも操作可能な挙動を確保できる冗長性を確保すること、あるいは限られた機能となってもその低下レベル状態を維持することで達成することができる。低下レベル状態の維持コンセプトは、車両システムでは極めて一般的なものである。EPS システムおよび SIS システムでは、不具合が検出されるとアクチュエータが単に停止するだけである。運

転者は、パワーアシストを備えていないパッシブシステムを搭載した車両を引き続き操舵できなければならないが、その一方で、快適性は大幅に低下し、アクティブステアリング機能は失われる。

今日、システムレベルでのみ機能安全のコンセプトを設計するのが一般的である。この考えを SbW システムへ応用すると、コンポーネントの数は 2 倍、3 倍と大幅に増加し、それにより、パッケージのポテンシャルは大幅に失われ、質量とコストが余分に増大する可能性がある。この点に関して、極めて重要であるのはアクチュエータである。エネルギー供給や通信などのシステムの完全な故障を引き起こす共通原因となる不具合は、多様な冗長性を配置することで回避しなければならないがその一方で、他のコンポーネントの冗長性に関しては、安全でありながらデメリットが比較的小さい低下レベル状態を確保できるか否かについて慎重に評価しなければならない。

#### 3.2 車輪独立ステアバイワイヤ

車輪独立ステアリングの作動には、二つの転舵車輪の間に機械的なリンクが存在しないという特徴がある。そのため、図 4 に示すように二つの単独のアクチュエータが必要である。一般的に、このようなステアリングコンセプトは、運転時の安全性を向上させ、タイヤの回転抵抗を低減し、さらには運転者の運転を支援するために両方の車輪のステアリング角を独立に制御できることから、機能的コンセプトを最大限に引き出すことができる。さらに、ヒューマンマシンインターフェース (HMI) は、航空機分野でフライバイワイヤの導入時に検討されたように再設計することができる。

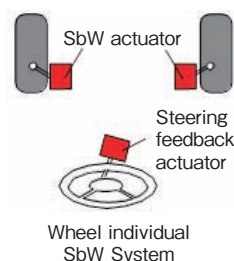


図 4 車輪独立 SbW ステアリングシステムの構成  
Setup of a wheel individual steer-by-wire steering system



### 3.3 ステアリング HMI

1894 年以来<sup>6)</sup>、ステアリングホイールは、ステアリングシステムを制御するための最先端の HMI であり続け、今日量産されている各自動車には必ず搭載されている要素である。短期的および中期的には、この状況が変化することはまずあり得ないが、長期的に見ると、自動運転車両にとってこの HMI コンセプトが時代遅れになる可能性がある。ほとんどの運転状況において運転者が乗員になれば、今日知られているステアリングホイールは、有効に利用できるスペースを邪魔する物あるいは占有している物と見なされる可能性がある。すでに過去において、この様な考え方からさまざまなコンセプトが生まれており、これらのコンセプトはしばしば、運転者の片側もしくは両側に設置されている操作端によるもので、それゆえサイドスティックという名前が付けられている<sup>7)</sup>。

## 4. 研究用車両 SpeedE のステアリングシステム

前述の開発トレンドにより、アーヘン工科大学の自動車工学研究所 (ika) は、革新的な研究用車両「SpeedE」(図5)を開発するに至り、この開発は、Lutz Eckstein により 2011 年に始められた。電気自動車の革新的な特徴を設計プロセスの主眼とすることで、プロトタイプは、ゼロエミッションを超えた電気自動車のメリットを示すことを目的としている。ika とその関連組織にとって、このプロトタイプは、自動車メーカーからの制約なくシステムおよびコンポーネントの新しいアイデアを示し、そして立証するためのプラットフォームである。

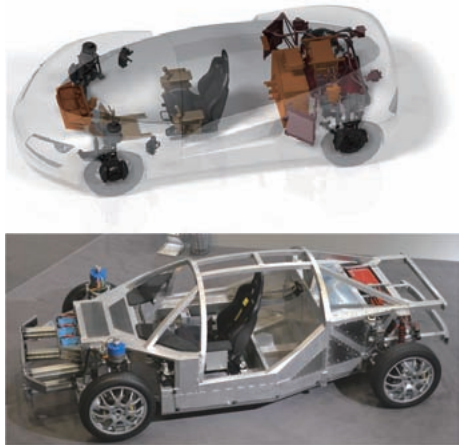


図5 ika 研究用車両 SpeedE (CAD モデルおよび実車)  
ika research vehicle SpeedE (CAD model and real vehicle)

この試作車両での研究の主なトピックの一つが、後軸上の二つの車輪独立電気モータにより発生する推進力に加え、将来のステアリング技術の展望を示す革新的なステアリングシステムである。この SbW システムは、前輪車軸の車輪毎にステアリングアクチュエータを備えており、最大 90° の大舵角が可能で高い車両操縦性を確保できる。また、従来のステアリングシステムの入力ユニットとしてのステアリングホイールは、運転席の左右に配置されている 2 本のサイドスティックに置き換わっている。

### 4.1 車輪独立ステアリング

車輪の転舵が独立しているため、車輪の転舵角を単独で、また現在の運転状況に応じて調整することができる。最大 90° の転舵角が確保されるため、極めて高い車両操縦性を実現することができる。また、独立した転舵角の制御により、運転時の安全性が容易に向上し、前軸の横力の発生能力を十分に利用することができる。駐車時の状況における最大転舵角を図6に示す。

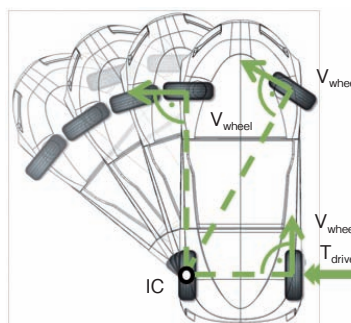


図6 研究用車両 SpeedE の前軸の最大ステアリング角  
Maximum steering angles at the front axle of the research vehicle SpeedE

図では、左の車輪が 90°、右の車輪が 60° ターンインしている。駐車時は低速であるため大きな横滑り角が発生せず、車輪の速度ベクトルは、車輪の面に一致している。これは、車両の動きの瞬間的な回転中心 (IC) が内側の後輪にあることを意味する。図6に示す駐車状況の場合、外側の後輪のみが駆動される。

前述の大転舵角を達成するため、ダブルウィッシュボーンサスペンションのコンセプトが採用され、要求仕様に従って変更が加えられている。サスペンションのコンセプトを図7に示す。



図7 研究用車両 SpeedE の車輪独立転舵の前軸  
Wheel individual steerable front axle of the research vehicle SpeedE

本システムでは、前軸左右輪の上側コントロールアームと車輪キャリアとの間にステアリングアクチュエータがそれぞれ設置されている。ステアリングアクチュエータとして、減速装置を組み合わせた48V電気モータが搭載されている。減速装置の重要な要求仕様の一つは、高い回転剛性と高い運動の自由度である。このコンセプトでは、高い伝達比をもつ波動歯車装置によって要求仕様が満たされている。また、このコンセプトによりカルダン継手は、上側のコントロールアームと車輪キャリアを接続している<sup>9)</sup>。

## 4.2 機能的ポテンシャル

独立転舵の設計は、新しく革新的な機能のポテンシャルを明らかにしている。この機能ポテンシャルには、可変アッカーマンジオメトリ、タイヤ横力ポテンシャルの最大限の利用、特殊な状況におけるインテリジェントな応答ストラテジなどの車両運動に関する機能が含まれる<sup>9)</sup>。

ステアリング運動学の基本的要求は、運動速度、さらに言うと、横方向の加速度によるところがある。低速では、車輪回転運動にひずみと滑り角がないという有利な点がある。高速では、コーナーを曲がると車輪で発生する滑り角によりタイヤ横力が発生し、遠心力とつりあう。走行時のダイナミクスにおける安全性ポテンシャルの判定基準の一つとして、使用可能なタイヤ摩擦係数が挙げられる。さらに速い車両速度では、外側の車輪（カーブでは、内側の車輪よりも大きい車輪荷重を受ける）に同じ摩擦のポテンシャルを発揮させようとする、外側の車輪の滑り角は、内側の車輪の滑り角よりも大きくする必要があり<sup>10)</sup>。従来のステアリング運動学では、ステアリングへの二つの要求事項を同時に満たそうとするが、ダイナミクスにおけるステアリング設計では妥協点がある。車輪は、約20°のステアリング角まではほぼ

平行に維持され、さらに大きな滑り角でのみアッカーマンジオメトリは効果を発揮する<sup>9)</sup>。このような課題は、独立転舵ステアリングを適用することで解決することができる。

さらに、独立転舵ステアリングにより、 $\mu$  スプリット路面における制動などの特殊な状況にも知的なシステムとしての対応が可能になる。この状況では、車両の両側に掛かる制動力が異なるため、ヨーモーメントが発生し、運転者は、車両を直進させるためのヨーモーメントを補正しなければならない。均一な高 $\mu$ 路面に戻るとヨー運動への異なる入力が発生するが、これは運転者にとって制御がさらに困難となる。独立転舵ステアリングでは、摩擦係数が低い側のタイヤに対して摩擦係数が高い側の方向に、かつ摩擦係数が高い側と同じ量のトーインによってタイヤ滑り角を設定することにより、ヨー運動への入力を完全に抑えることができる。車両がこの状態で $\mu$  スプリットを離れる際、前軸に掛かる横力は釣り合い、さらに、ヨー入力によるヨーレート応答は、ほぼ完全に回避される。その結果、横変位の変動も抑制され、車両の安全性を大幅に向上させることができる。

## 4.3 機能的安全性のコンセプト

研究用車両 SpeedE は、革新的な機能安全のアプローチを導入している<sup>11)</sup>。SbW システムの安全性のゴールは、車両レベルのパラメータ、たとえば車両の横変位に基づいており、ステアリングの角度誤差に基づくことなく定められている。これにより、数多くの状況で安全性のゴールを達成できるとともに、対策用のスペースが不必要に制限されることはない。SpeedE ステアリングシステムの場合、危険分析およびリスクアセスメントの結果から五つの安全性のゴールが導き出された。すべての安全性のゴールは、車両の横変位を許容範囲内に制御することを目指したものである。

SpeedE SbW システムの一例として、いずれかの転舵アクチュエータに起因する転舵操作への異常介入は、もう一方の前輪の転舵アクチュエータによるカウンタステアリングと、後軸でのトルクベクタリングの介入により補正される。冗長ステアリングアクチュエータと比較して機能面でより複雑なこの対策は、前述の危険に関して考えられる様々な原因をカバーしているため、対象とするフォールトツリーにおいて最上位の事象により近い位置にある。車輪独立駆動と独立転舵を統合するクロスドメイン性は、この対策の効果をより一層高めるが、これは、

SbW システムのための、その他の安全性のコンセプトで使用されている高価で大きい冗長アクチュエータが不要だからである。

## 5. おわりに

乗用車用ステアリングシステムの歴史は、自動車産業において、典型的に複雑なサブシステム開発の道りを歩んできた。特定の技術が確立され、開発コストが費やされると、この成熟した技術アプローチの代わりに新しく革新的なソリューションを導入するには膨大な時間と然るべき論拠が必要となる。油圧ステアリングシステムは、何十年にもわたり最適なソリューションと見なされていた。EPS システムは、とりわけ機能安全性とステアリングフィールの質の面で懐疑的な目で見られていた。EPS がアッパークラスの自動車および SUV へ導入されるに至るまで、市場に幅広く浸透していくためには CO<sub>2</sub> 排出量の低減が強く求められた。

今日、初期に見られた問題は確実に解決され、EPS は受け入れられ、最先端の技術と見なされている。より車重の重い自動車クラスへの搭載を可能にするため、さらに高い電圧レベルの電源が導入されており、48 V 電源が広く普及していけばさらに一般化するであろう。すでに、研究開発部門は、より多くの拡張機能に取り組んでおり、新たに複雑な改正案を加えている。いわゆる SbW 機能、すなわち、パワーアシストとステアリング角伝達比の独立制御の可能性を実現することがゴールの一つである。一つの例を除き、現在利用可能なシステムは、実際の SbW の搭載を避けている。SbW システムに対する反対論は、初期の EPS システムに対する反対論と似通っている。開発には多大な労力を要することが考えられ、十分なステアリングフィールが得られない可能性があり、機能安全性は実現不可能と思われる。新しい技術のブレークスルーを可能にするためには、やはり起爆剤が必要である。SbW システムの場合は、自動運転を実現するという熱望こそがその起爆剤となるであろう。

長期的には、SbW システムは、車両運動制御アルゴリズムに完全に組み込まれ、より高度な機能安全性のコンセプトにより、機械式フォールバックのレベルは不要になり、SbW システムのフルパッケージ化と組立上のメリットがもたらされる。遅かれ早かれ、車輪独立ステアリングシステムと革命的な HMI により新たなパテン

シャルが明らかにされるはずである。ika の SpeedE、これは将来のステアリングシステムのすべての革新的要素を考案するための研究用車両であり、すでに世の中に送り出されている。

## 参考文献

- 1) N.N.  
Press Kit Infiniti Q50  
accessed in May 2015  
[http://www.infinitipress.eu/en\\_GB/en/press-kit/1669](http://www.infinitipress.eu/en_GB/en/press-kit/1669)
- 2) MEITINGER, T.; DEBUSMANN, C.; HEROLD, P.  
Die elektrischen Lenksysteme im neuen BMW 5er  
in proceedings of chassis.tech plus 2010  
Springer Vieweg, Wiesbaden, 2010
- 3) PFEFFER, P.; HARRER, M.  
Lenkungsbandbuch  
ATZ/MTZ-Fachbuch  
Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2013
- 4) BINFET-KULL, M.  
Entwicklung einer Steer-by-Wire Architektur nach  
zuverlässigkeits- und sicherheitstechnischen  
Vorgaben  
Verlag Mainz, Mainz, 2001
- 5) LINGNER, H.  
Website of auto motor und sport accessed in May  
2015  
<http://www.auto-motor-und-sport.de/fahrberichte/infiniti-q50-3-5-v6-hybrid-im-fahrbericht-jetzt-wird-elektrisch-gelenkt-7833767.html>
- 6) ALEXANDRE, H.  
in Voitures Automobiles  
L'ingénieur Civil, September 15<sup>th</sup>, 1894
- 7) ECKSTEIN, L.  
Entwicklung und Überprüfung eines  
Bedienkonzeptes und von Algorithmen zum Fahren  
eines Kraftfahrzeugs mit aktiven Sidesticks  
Fortschr.-Ber. VDI Reihe 12 Nr. 471  
VDI Verlag, Düsseldorf, 2001
- 8) HESSE, L.; SCHWARZ, B.; KLEIN, M.; Eckstein, L.  
The Wheel-Individually Steerable Front Axle of the  
Research Vehicle SpeedE  
in proceedings of 22. Aachener Kolloquium  
Fahrzeug- und Motorentechnik  
Aachen, 2013
- 9) ECKSTEIN, L.; SCHWARZ, B.; HESSE, L.  
Innovative Vehicle Dynamics Functionality of the

Wheel-Individually Steerable Front Axle of the  
Research Vehicle SpeedE  
in proceedings of AVEC '14

- 10) FIALA, E.  
"Kraftkorrigierte Lenkgeometrie-Lenkgeometrie  
unter Berücksichtigung des Schräglaufwinkels"  
in Automobiltechnische Zeitschrift ATZ 1 1959
- 11) GILLEN, C.; HESSE, L.; ESCKSTEIN, L.  
Sicherheitsstrategie des Steer-by-Wire-Systems des  
Forschungsfahrzeugs SpeedE  
in proceedings of chassis.tech plus 2012  
Springer Vieweg, Wiesbaden, 2012