最近の自動車におけるマン・マシンシステム*

菅 沢 深** 平野 宏和**

Recent Development of Man-Vehicle Systems / Fukashi SUGASAWA and Hirokazu HIRANO

Key words: man-vehicle system, man-machine system, engine-powertrain control, suspension control, controllability and stability, active control

1. はじめに

自動車の特長は、交通機関としての用途のほかに、商品としての魅力を兼ね備えたものであるということである。

このことは車におけるマン・マシンシステムを考えるとときに二つのことが必要になることを示している。一つは、走る、曲がる、止まるといった走りに関する部分であり、他方は車本来の機能に付加される感性に支えられる部分である。

第1番目の走る、曲がる、止まるの機能については、車は老若男女が操る数少ない乗り物の一つであり、あらゆる人に対して、楽に安全で快適な操縦を可能としなければならない。

第2番目の感性に支えられる部分としては、車室内の快適性を初めとして、種々の利便性を提供するメカニズム、更にはインテリア、エクステリアのデザイン等の嗜好の領域までがその対象となる。

このような面での技術開発は、自動車の発展の歴史と共に進められてきたが、近年におけるマイクロエレクトロニクスの発展、制御技術の進歩、センサを始めとする新素材の技術開発によって、従来不可能であった、もしくは人の慣

れで解決していた領域まで車が歩み寄ろうとしている。

本稿ではマン・マシンに関する従来の技術については主な装置の概要を記すにとどめ、車に特有な第1番目の機能を中心に、自動車における最近の人間とのかかわり合いに関する発展について、総合制御の観点から解説する。

2. 従来の商品化技術

人間と車の関係をモデル化すると、図1のようになると考えられる。認知、判断、操作、の各プロセスで行われてきた、従来の商品化技術は、表1のように整理される。

認知に関しての、最近のトピックスとしては、ヘッドアップディスプレイが挙げられる。これは、フロン

図1 人間と車の関係のモデル

* 原稿受付 平成元年1月21日

** 日産自動車(株) (横須賀市夏島町1)

表1 従来技術の例

認 知	判 断	操 作
<ul style="list-style-type: none"> ・ヘッドアップディスプレイ ・デジタルメータとアナログメータの使い分け ・ヘッドランプの改良 (ハロゲンヘッドランプ) (プロジェクトヘッドランプ) ・ウォーニング装置の高度化等 	<ul style="list-style-type: none"> ・ブレーキ関係の制御 (ABS) ・駆動力の制御 (トラクションコントロール) ・車速制御 ・居眠り検出装置等 	<ul style="list-style-type: none"> ・パワーステアリング ・マスタバック付きブレーキ ・ドライビングポジション設定自由度の拡大 (チルトステアリング, テレスコピックステアリング) ・変速機の自動化 (オートマチック, CVT)等

トガラス上に、スピード等のメータ情報を映し出すことにより、運転中のメータへの視線移動を低減させるとともに、焦点移動を少なくするという特長がある。

また、操作に関しては、従来より操作力の低減という観点から、ステアリングやブレーキ等のパワーアシストがなされているが、最近では、より人間の感覚にあった特性の実現ということで、走行状態によるステアリング操作力のコントロールに、開発の焦点が移ってきている。

さらに、操作の煩わしさの解消ということでは、自動化が進められており、トルコン、自動無段変速機やオートスピードコントロール (ACSD) 等がこれに相当する。完全な自動運転はまだ先のことであるが、レーダで障害物を検出して自動的にブレーキをかけるオートブレーキ等も研究はなされている。

判断に関していうと、車の状態の判断を助けるものとして、ウォーニング類がある。最近では、液量不足などの簡単なものばかりでなく、システムの不具合を判断して知らせるものなど、複雑、高度化してきている。

運転操作の判断に関しては、特に雪路などの低摩擦路でのブレーキ時、タイヤのスリップ量を判断して運転者の代わりに制動力を変える ABS 装置等、素人でも、高度な判断なしにプロ並みの運転ができるようになってきている。

また、四輪駆動 (4WD) や四輪操舵 (4WS) も、間接にはあるが、人間の判断を容易にしている。4WD は、駆動力の確保だけでなく、雪路等でも安定して走れるなど、路面に影響されずに常に一定の走行性能を維持しており、4WS は、安定性を向上することで、オーバシュートをなくして車の余分な動きを減らしている。すなわち、常に余分な動きのない、一定した特性を実現することで、運転者の判断と操作を容易にしている。

3. 将来技術としての総合制御

このように、新たなユニットの開発により、コスト等の問題を除けば、たいいていのことは、実現可能となってきた。

そこで、どういう特性に設定して人間にとって最適な車とするかが、次の課題となるが、まだ分からないことが多い。

車をマン・マシン系でとらえる考え方として、多数のユニットを総合的に制御してより高い性能の実現を図る、総合制御という考え方があり、モータショーなどで各社から発表されてきている。ここでは、昭和62年東京モータショーで、発表されたコンセプトカーに搭載されている総合制御を例にとって解説する。

ねらいとしては、「部分最適化から車両トータルな最適化へ」ということで「複数の制御対象を相乗効果が出るように有機的に連携をとり制御し、車両トータルとしての性能をより一層向上させる」ためのシステム化技術といえる。

また、車の本来機能である、走る、曲がる、止まる、に関する性能を、次のように分類した場合、これまでの単ユニットでは、(1) や (2) のレベルでの性能向上が主であったのに対し、総合制御では、各ユニットを関連させて制御させることにより、下に記す (1), (2) の性能の一層の向上だけでなく、(3) の領域まで向上をめざしている。

(1) 機械としての本来能力の向上

加速性能の高さ
限界性能の高さ
停止距離の短さ
等

(2) 特性の単純化

余分な動きのなさ
走行条件の差による性能差の少なさ
等

図2 セレクトバイワイヤ式電子制御ATシステム図

(3) 人間の期待にあった性能

イメージ通りの、加速、旋回、停止等

(1)、(2)に関しては、運動力学的な解析によって、向上を図ることが可能であるが、(3)に関しては、「人間」の研究が不可欠である。

搭載されている、各ユニットと、そのねらい、内容を次に述べる。

3.1 ドライブバイワイヤ

従来、機械的に接続していたアクセルペダルとエンジンスロットルを切り離し、電氣的に接続したシステムで、運転者の意図や車の走行状態に応じてスロットル開度を最適制御することにより、加速感・運転性を向上させている。

具体的には、ペダル操作量に加えてエンジン回転速度、車速、ギア位置を検出して、ステップモータを使いスロットル開度を電子制御している。

3.2 セレクトバイワイヤ式電子制御AT (図2)

こちら、従来は、クラッチ差動油圧を制御するバルブボディとシフトレバーが、機械的に接続されていたのに対して、両者を切り離し電氣的に接続したシステムで、セレクト信号、アクセル開度および車速に応じて、ステップモータ駆動方式のロータリーバルブでクラッチの切換えタイミングを精密にデジタル制御しているため、最適なシフトスケジュールを実現、スムーズなドライバビリティを発揮させている。

さらに、リニアソレノイドを用いて、クラッチの作動油圧を電子制御することにより、変速ショックの低減を図っている。

また、機械的に切り離したため、車両の任意の位置にシフトユニットを配置することが可能となり、ドライブアズシートと一体で前後調整が行えるため、操作性に優れたものとするができる。シフトユニットとしては、従来のレバー式でなく、スイッチ方式でも

走行状態	前後駆動トルク 配分比率(%)		電子制御 LSD 差動制限力の程度	効果
	前輪	後輪		
高速巡航時	約 50	約 50	中	直進安定性、外乱安定性に すぐれる
急旋回時	乾燥路	10~30 90~70	大	車両スピン、ドリフトアウ トを起こしにくく、ねら ったコースを思い通りに加 速しながら走り抜けられる
	雪路	40~60 60~40	小	
スプリット μ 路 (左右 μ 違い路) 加速時	約 40	約 60	中	安定して加速できる
低速大舵角時 (乾燥路)	0	100	0	タイトコーナリングブレー キ現象がない
制動時	(クラッチオフ)			ブレーキシステムとの最適 マッチングがはかれる

図3 電子制御トルクスプリット 4WD、電子制御 LSD システム図

可能であるが、慣れや、操作性等から何が最適かは、今後の研究課題といえる。

3.3 電子制御トルクスプリット 4WD (図3)

4WD トランスファユニットの前側出力軸を湿式多板クラッチを介して結合しており、前後輪の駆動トルク配分を、時々刻々と変化する路面状況や車両走行状態に応じて電子制御し、全天候下で最適な駆動性能と旋回性能を発揮させている。

各種センサからの信号により車両状態を推定し、クラッチの締結力を無段階で制御することにより、車両運動性能にとって理想的な駆動トルク配分を実現している。

3.4 電子制御 LSD (図3)

リアディファレンシャルギア内の差動制限用湿式多板クラッチに加わる油圧を制御することにより、走行状態に応じた最適な差動制限力を確保し、左右輪間の理想的な駆動トルク配分を実現している。その結果、車両旋回性能や低

摩擦路での走破能力などを向上させている。

高速巡航時には、差動制限力をやや強め、直進安定性や外乱安定性を向上させている。また、急旋回時には、高摩擦路の場合に差動制限力を大きく、低摩擦路の場合に小さくすることにより、車両のドリフトやスピン挙動を抑え、ねらったコースを思い通りに加速しながら走行できるようにしている。さらに、ブレーキ時には差動制限を解除することにより、ブレーキシステムとの最適なマッチングを図っている。

3.5 前後輪アクティブステア (図4)

現在商品化されている4WSは、後輪のみをアクティブに制御するものであるが、更に前輪のステア角もアクティブに制御するので、応答性と安定性をさらに向

上させている。

a) 前輪のアクティブコントロール

前輪のステア角を、車速とステアリングの操舵角・角速度に応じて、一瞬切り増して操舵に対する応答性

図4 前後輪アクティブステアシステム図

図5 制動力配分制御システム

を向上させ、その後戻すことにより安定性をより向上させている。

b) 後輪のアクティブコントロール

後輪のステア角を、車速とステアリングの操舵角・角速度に応じて、一瞬逆位相に切り操舵に対する応答性を向上させ、その後同位相に操舵することにより安定性を向上させている（位相反転制御）。

この二つの制御を行うことにより、応答性と安定性を高次元でバランスさせて、車両の運動性能を飛躍的に向上させている。つまり、ドライバのハンドル操作に忠実に応答し、車線変更時や旋回中も車両の向きが常に進行方向を向いているという、ドライバにとって最も自然で運転しやすい車両特性を実現させている。

3.6 制動力配分制御システム（図5）

後輪の左右のブレーキ液圧を各々独立して制御できるようにし、制動性能と制動時の車両の安定性を向上させるシステムである。

旋回制動時に各タイヤが発生する横力は、前輪に荷重がかかるため、 $A+B > C+D$ となり、発生するヨーモメント M により、スピンする傾向になる。

この現象を補正するため、車両の前後および左右方向の加速度センサからの信号に応じて、後内輪のブレーキ液圧を減らして制動力4を減少させることにより、横力Dを大きくしている。これにより、ヨーモメントの過度な発生を抑え、車両の安定性を向上させる。なお、制動力4の減少分は、制動力3を増加させることにより補っている。

また、4 WAS (4 Wheel Anti Skid) との組合せによって、旋回制動時のスピンやドリフト挙動をとともに抑え、安定性を大幅に向上させている。

これらのユニットを、互いに関連させて制御することによりねらっていることは、人と車を、制御系として見た場合、「人と車との間に設けた補償器に、より多くのことを、人間の代わりにさせること」であり、車を商品として見た場合、「ドライバが遭遇する多種多様な状況下で、最大の安全を確保しつつ、最高の性能を発揮する、よりドライバの意図に忠実なクルマで、かつ人の感性に合ったクルマ」を実現させることである。

このために必要な人間の研究は、まだまだ不十分であり、今後ますます重要になってくるものと思われる。

4. おわりに

本稿では、ハードウェア開発において、人間との関係をどうとらえ商品開発に結びつけようとしているか、すなわち、車側からみた人と車の関係について主として述べた。

これ以外にも、人の側から見る、より基礎的な研究として、運転操作における人の判断や動作のモデル化等の研究もあり、これらに関しては本稿では触れられなかったが、興味ある方は下記の文献を参照されたい。

参考文献

- 1) 音田 稔ほか：自動車操縦のモデル化，自動車技術会学術講演会前刷集，81227（1981）。
- 2) 佐野彰一ほか：車両のヨー応答特性と横加速度応答特性が人間-自動車系の性能に及ぼす影響，自動車技術会学術講演会前刷集，82270（1982）。
- 3) 永井正夫ほか：マン・マシン・システムの理論，自動車技術，39，5（1985）。
- 4) 相間 仁ほか：車線変更時のドライバモデル，自動車技術会学術講演会前刷集，871013（1987）。
- 5) 成宮喜久男ほか：突然の操縦操作系統の機能支障に対するドライバーの反応，自動車技術会学術講演会前刷集，872083（1987）。
- 6) 増田賢二ほか：対向車，障害物に対するドライバーの運転行動，自動車技術会学術講演会前刷集，872084（1987）。
- 7) 永井正夫ほか：交差点通過時の人間-自動車系の研究，自動車技術会学術講演会前刷集，872085（1987）。