

# 特別寄稿 ドライバ特性を踏まえた運転支援\*

## Driving Support Systems Based on Human Factors

土居 俊一  
Shun'ichi DOI

### 1. はじめに

最近の車両の情報化にともなう道路交通の安全性と利便性の両立には、運転者の特性を考慮した運転支援が必要となっている。このドライバへの運転・走行支援とは、「あらゆる環境下での自動車と人間との共生」を最高の品質で実現することに他ならない。一方、交通事故の多くは運転者の運転行動、すなわち一連の認知、判断および操作の誤り、不完全性に依存する。

運転行動は、環境情報を入力としてドライバの認知-判断-操作のプロセスを経て車両を操縦し、常に外界情報と車運動状態をフィードバックする人間・自動車・環境システムとして機能している。したがって、運転支援技術の開発には、運転にともなう操作やそれに先立つ周辺認知のしくみに関連する人間特性の理解が不可欠であり、更に人間・自動車・環境の三つの視点からのアプローチが重要となる。ここで、Fig. 1に示すように事故低減に必要な運転支援システムの課題として、(1)ドライバの認知や判断特性、(2)交通環境と運転心理の関連性の理解、および(3)運転行動と支援システムのインターフェイスの在り方、(4)ヒューマンエラー防止からの解決策などが挙げられる。更に、認知や心理の課題には人間特性の奥に存在する脳・神経系に関する機構解明も著しく進展している。このように人間特性の観点から運転支援技術を議論し、交通事故低減の方向性を提案することはまさに最

重要課題である。

一方、近年では車両の情報化の進展やITS (Intelligent Transport Systems) 技術開発を背景に、ナビゲーションシステムのような新たな車載情報機器やシステムの導入にともなう情報処理エラーの予防などが重要となり、運転への負担を低減するインターフェイス設計が欠くべからざるものとなっている。ここでも、認知や知覚、更に運転意思決定等の心理的要素を含む行動特性が研究されるに至っている。<sup>1)4)</sup> この周辺の研究動向を概観すると、車両運動やシャーシ制御における運転操作特性を考慮した設計からのアプローチ<sup>5)</sup>をはじめ、ヒヤリハットデータの収集と分析など活発な事例検討<sup>6)</sup>が進められている。更に運転・走行支援の高度化技術のドライバ特性への適合性の評価やその検証などが進展している。

ここでは、様々な運転環境における運転者の行動特性に注目し、視覚認知や注意特性について検討した。更に運転にともなう知覚特性をつぶさに計測解析し、それらの特性を考慮した人間・自動車系としての運転支援システムや運転負担低減技術構築のための基礎技術開発を試みた。

### 2. 運転支援機器とヒューマンインターフェイス

技術開発動向を基に近未来における技術課題を考えると、まずITおよびITSの本格化とともに更なる社会の情報化が著しく進展すると予想される。そして、何時でも何処でも情報が入手できるというユビキタス社会において、より安全で利便な運転環境が必要とされてくる。更に、これらの社会に適合した自動車が必要となってくる。

これらの安全運転支援や走行支援システムを高速道路、一般路および市街地の各々の運転状況より分類しドライバインターフェイスにおける課題を列挙するとFig. 2に示すようになる。<sup>7)</sup> ここでは、ドライバと支援装置の接点において課題となる誤報やシステム不適合を想定し、それを防止するためのシステムの課題を整理した。これらの情報化にともなう課題を克服するためには運転行動解析をはじめ人間の認知や知覚特性から

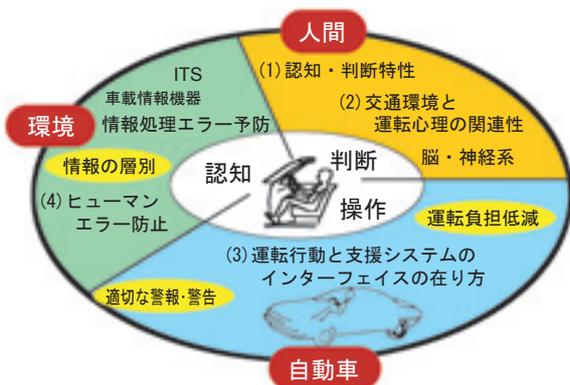


Fig. 1 ドライバ運転支援システムの技術戦略領域

\*2007年2月23日 原稿受理

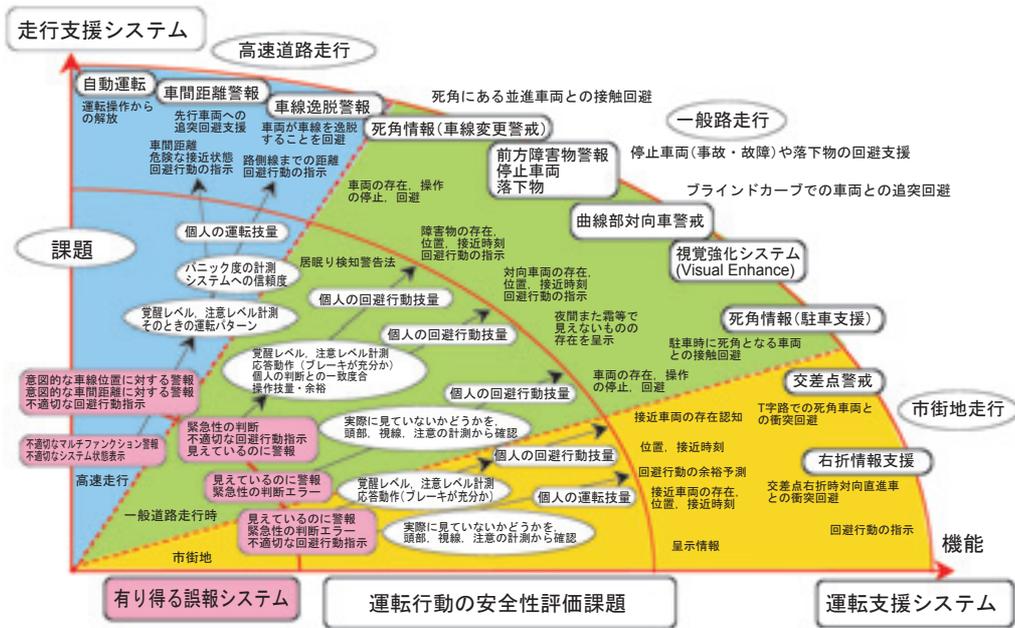


Fig. 2 運転支援システムとヒューマンインターフェースの課題

のアプローチが極めて重要であることが分かる。

更に、ユーザの多様化と高齢化および個性化傾向を踏まえ、これらの観点からの特性評価の高度化が期待される。すなわち、ドライバへの運転や走行支援の利便性の背面にある人間の情報処理や注意配分の機構について、人間行動の原点を踏まえたアプローチが必要となる。

### 3. ドライバの運転行動特性

#### 3.1 運転プロセスと支援システム

前述のように運転行動を一連の行動連鎖と考え、まず走行環境や心理状態等を踏まえて個々の行動をその要因から考えると、まず状況の認識があり、次に意思決定と反応選択があり、最後に個々の操作が実行され、運転状況すなわち外界情報と車両情報の両者が時々刻々変化する。この行動連鎖のどのプロセスに注目するかによって対象とする運転支援システムが想定される。すなわち、Fig. 3に示すように各運転プロセスでの支援システムへのアプローチは運転行動解析をいかに展開するかによって、(1)現象計測、(2)その理解解析、および(3)システムへの応用の3段階となる。

まず運転行動として最も直接的な運転操作・実行プロセスの特性分析の目標は、走行支援装置や車両運動制御装置等が代表的である。これらの計測技術としては実環境を模擬する運転環境模擬装置、いわゆるドライビングシミュレータを用いた操作応答計測や操作パ

ターン分析等がある。<sup>8)9)</sup> また、これらの解析結果は操作行動データベースとして整備され一連の運転操作行動モデルとして一般化し、例えば特定の装置の操作性を計測・解析しそれをもとに新型システムへの展開を行うように活用される例も多い。

次に、ドライバの運転行動のうちで最も上流に位置する認知・知覚プロセスでの行動分析は、事故予防のための視覚認知支援に関連して、道路環境の情報や先行車両の位置や速度などの情報支援および車載情報提示装置等を目標とするものである。また基礎的な知覚特性では、例えば振動感受特性の評価から車両の快適性向上のための懸架系設計などに展開するものなどがある。

#### 3.2 ドライバ特性と支援システムの多様性

最も難解な意思決定や反応選択を含む判断プロセスの特性分析では、ドライバの心理的な負担やディストラクション・意識低下などの運転パフォーマンスとの関連が重要となり、状況判断（シチュエーションアウェアネス）や危険度判断支援のためのドライバへの注意喚起や警報によるサポートシステムの設計<sup>10)11)</sup>などが目標となる。ここでは、更にユーザの個性化、多様化に備え、いわゆるヒューマンエラーを防止し、車両の情報化に伴う情報処理負荷のリスクマネジメントや更に安全走行のための運転教育のあり方までターゲットにする必要がある。

プロセス	状況の認識 認知・知覚	意思決定 反応選択	操作・実行	共通課題
アプローチ 1) 現象計測	生体・生理計測 認知心理計測 接近距離検知 知覚感受特性	停止および通過判断 ディレンマ計測 メンタルワークロード 運転心理分析	緊急操作挙動解析技術 制動操作特性解析技術 追従走行運転行動解析 フィジカルワークロード	非侵襲計測 リアルタイム計測 運転模擬技術
2) 理解解析	視覚的ヒューマンエラー 視覚的注意特性 交通環境の定量化 情報提示判読性	行動文脈把握技術 疲労と 運転パフォーマンス 意識低下時と 運転パフォーマンス	行動構造技術 (行動モデル) ワークロードが 運転行動に及ぼす影響 漫然挙動解析技術	メカニズム解析 ヒューマン エラー発生機構
3) システム 応用	夜間・薄暮時視覚支援 認知・知覚支援 路側標識の 判読性・視認性向上	疲労運転事故防止 ぼんやり運転防止 出会い頭事故防止 注意喚起, 警報警告	緊急回避操舵操作支援 追突防止支援技術 支援装置適合理化技術 運動安定化制御	システム過信 注意散漫 リスク マネジメント
運転支援	安全な道路標識 情報提示装置	ドライバサポート 運転支援装置	走行支援装置 車両制御装置	

Fig. 3 運転プロセスと運転支援システムへのアプローチ

一方、これらの運転特性分析の共通課題としては、まず計測についてはリアルタイム性や負担の少ない非侵襲的な計測であること、また解析法については行動の文脈を理解し構造化して一般化するモデルの構築法、更にシステムへの適用にあってはシステムへの過信や過信による注意散漫などへの対処法等が挙げられる。いずれも体系的な手法というよりは幾つかの複合的な手法の組み合わせによる総合的な方策が必要となる。

#### 4. 視覚認知や注意特性に基づく研究

##### 4.1 奥行き注意特性の評価実験

視覚認知における認知心理的な評価は、ドライバへの認知支援や走行時の安全性判断支援という立場からドライバへのサポートをどうすべきか、また特にドライバの判断を促す時期やタイミングなどに関連し、更にその個人差にどう対処するかなどの課題がある。ここでは、ドライバの注意の及ぶ視野、例えば有効視野の範囲と注意リソースの関係などの検討が進められている。<sup>12)13)</sup>

具体的には、事故発生率の高い追従走行時での追突要因の一つに挙げられる運転時の前方認知に関するドライバの視覚的注意の問題がある。すなわち、運転時の前方奥行き方向の注意の発生状況を実験室的に模擬し、そこでの被験者の視対象への応答を調べる基礎研究を実施した。Fig. 4に、その実験システムを示した。ここで用いた動態奥行き注意実験装置は全長8mでト

ネル状の通路を台車上のシートに乗った被験者が移動するものである。ここで、まず被験者は正面視線上に設定された固視点に表示される数字LEDを見るように指示される。なお、この固視点は被験者から120cmの距離に呈示される。次に、被験者を乗せた台車は左端から右方向に移動し、図中の観測位置まで移動すると固視点の数字は消灯し、同時に四つ設定されたターゲットの内一つが点灯する。ターゲットは固視点の前後2箇所に設置され、観察者からの距離は30cm(T1)、81cm(T2)と158cm(T3)、230cm(T4)である。また、このときの観察者移動速度は0.44m/sであり、接眼レンズによって視覚的には80km/hの速度に感じることができる。

次に、被験者はあらかじめターゲット出現位置について情報が与えられ、それに基づいて反応を行う。情報には正手がかり (Valid: V)、偽手がかり (Invalid: I)、中立手がかり (手がかり無しに相当, Neutral: N) があり、その出現割合はVが65%、Iが15%、Nが20%とされ全試行回数は320回である。

試験開始1000ms後に固視点が提示され、固視点には手がかりとして数字LED (1から4) でターゲット提示位置に関する情報が与えられ、その後ターゲットが点灯し被験者が反応するまで提示される。ここで課題はターゲットの形状 (Eか3) を判断し、できるだけ速く正確に対象に対応するボタンを押すことである。なお、I条件についてターゲットの絶対的な奥行

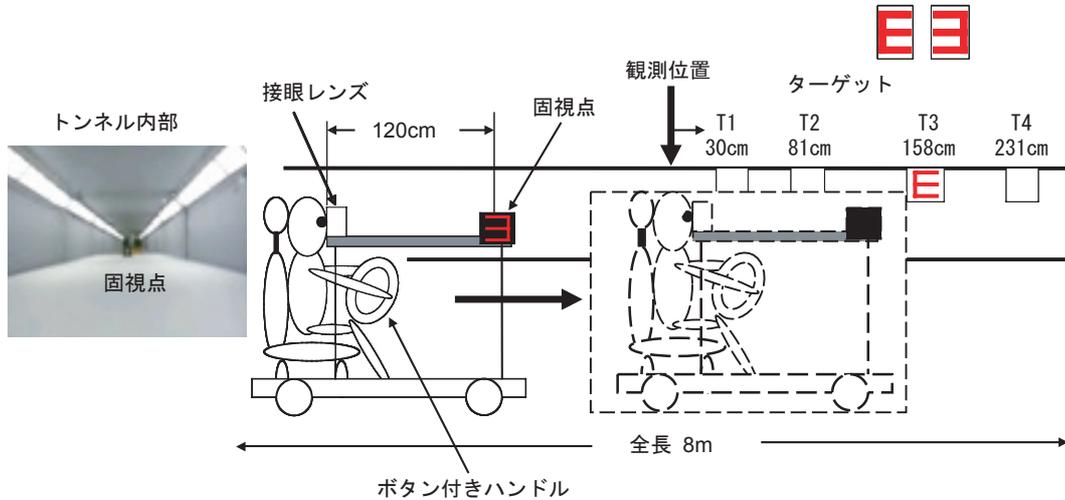


Fig. 4 動態奥行き注意実験装置とトンネル内部状況

き位置は異なるが、固視点と比較した遠近関係が変化しないときをInvalid-same (Is) とする (例えば図中のT2を指示しつつT1が点灯: T2→T1や同様にT3→T4). 他方、手がかりとターゲットの絶対位置と固視点との関係の両方が変化したときをInvalid-different (Id) とする (例えばT1→T4やT3→T2). なお、実験装置内照度を明条件では480~680lx, 薄暮条件では95~135lxとした. また実験の条件を揃えるためにNの条件を通常の運転時の条件と考える. そしてNとVのそれぞれの条件の差をbenefit (反応促進) とし, IとNの差をcost (抑制) とし検討する. 被験者は若年者11名 (平均年齢20.8歳) で行った.

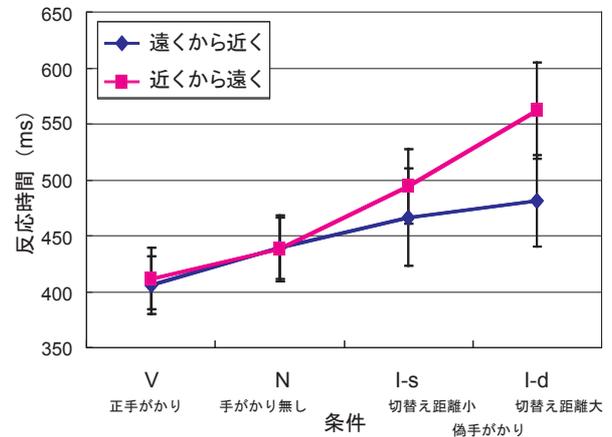


Fig. 5(a) 注意の偏向条件と反応時間

#### 4.2 注意の偏向による認知応答の遅れ特性

Fig. 5(a)に動態奥行き注意実験での手がかり条件別反応時間を示した. IでV, Nよりも反応時間が遅れ, Vで反応時間が速いことが示され, 手がかりの効果があることが示されている. また, Iの中でもIdはIsよりも反応時間が遅れ注意の移動距離による影響があることが示され, 「遠くから近く」より「近くから遠く」に注意が移動される場合に反応時間が大きく, 注意の移動には異方性があることが示された. 更に, Fig. 5(b)には, 実験条件IとNの反応時間差をcost反応抑制時間として抽出し, 明・薄暮条件で比較した. すると, 注意切り替え距離の増加に伴い奥行き認知に対する反応時間が遅れ, 特に薄暮条件の「近くから遠く」に注意が移動される場合にその傾向が顕著となる可能性が確かめられた.

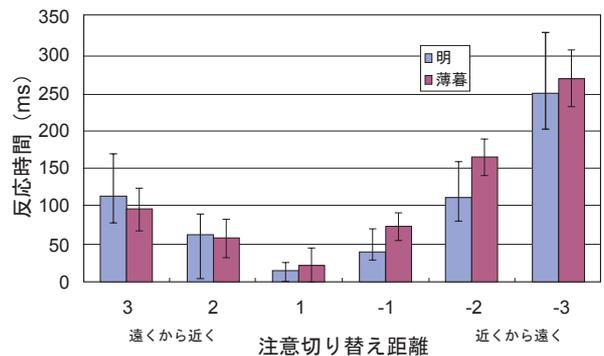


Fig. 5(b) 注意切り替え距離による反応抑制時間

以上のような人間の基礎的な注意特性の研究は, ヒ

ヤリハット解析などから明らかなように、ヒューマンエラーの要因の一つである注意欠落などの機構を理解するために重要であり、ヒューマンインターフェイスの課題を解決するために今後とも研究の進展が進むものと考えられる。

## 5. 運動知覚特性に基づく人間・自動車系の設計

### 5.1 動揺・振動知覚特性の解明

ここでは、能動的な注意をとまなう視覚認知・判断特性と異なり、いわゆる受動的な運動知覚機構からのアプローチを試みた。すなわち、車両の車体動揺を、上下運動（バウンス）と水平方向の各軸回りのピッチやロールなどの回転角度変化としてとらえ、そのような状態での人間の感覚特性を実験的に調べた。ここで、実験は上記の並進運動や回転運動を任意に再現できる、6自由度の動揺感覚試験装置を用いた。

Fig. 6(a)に示すように、バウンスとピッチについての複合振動感受性を検討した結果、複合振動下での等不快度曲線が求まり、それぞれの振動成分に重みがあることが明らかとなった。更に、二つの振動成分の位

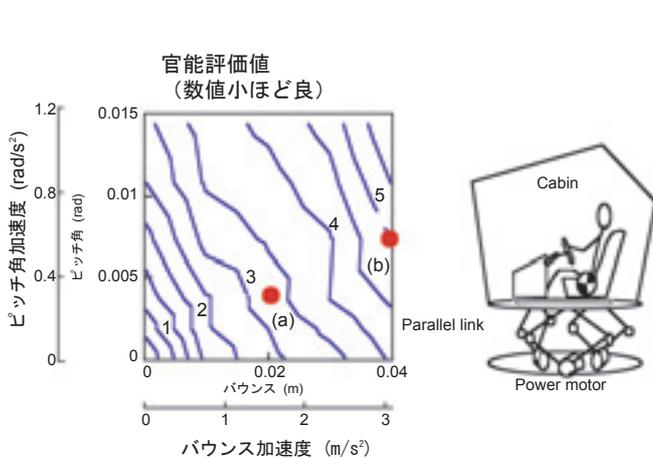


Fig. 6(a) 複合振動下の等不快度曲線

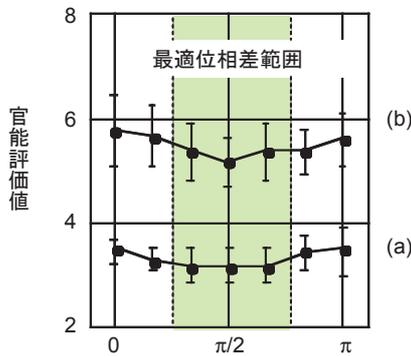


Fig. 6(b) 複合振動位相差と主観評価

相を変化させた場合の主観評価の結果をFig. 6(b)に示した。すなわち、複合振動の大きさのみならず位相差によっても人間の体感に有意な特性のあることが明らかとなり、これらを基に車体動揺を最適に調整する設計の考え方が明らかになった。これらは、具体的には前後輪サスペンションのばねや減衰力特性設定が容易となった事例である。<sup>14)15)</sup>

### 5.2 動揺知覚機構モデルによる体感予測評価

動揺や振動などの体感特性は、人間の内耳等にある三半規管や耳石器官の応答特性により決定されることが知られている。そこで、人間の動揺感覚を司る前庭器官の作動特性<sup>16)</sup>を基にした動揺感覚のモデル化とそれを基にした感覚予測評価を試みた。<sup>17)</sup> Fig. 7(a)に乗員の簡易モデルと仮定した車両の乗員位置を示した。いわゆるワゴン車を想定し、乗員が3列に位置する車両とした。そして、種々の走行状態を仮定して、各座席の乗員の動揺状況を計算し、更に前庭器官の特性を仮定して動揺感覚量を計算した。Fig. 7(b)にそれらの検

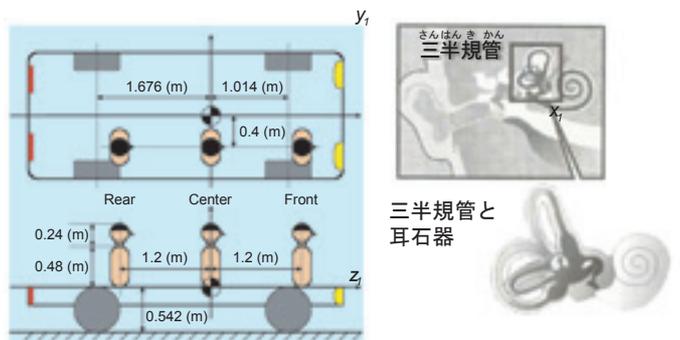


Fig. 7(a) 仮定した乗員モデルと乗車位置

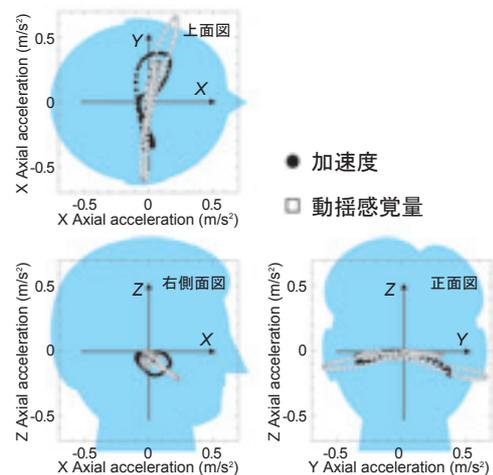


Fig. 7(b) 前部座席乗員頭部の加速度と感覚量

討結果の一例を示した。すなわち、車速40(km/h)でいわゆるダブルレーンチェンジを行った場合の、車両重心から前方1.2(m)の前部座席の乗員の頭部加速度物理量とその動揺感覚量を3面図にリサージュ波形として示したものである。

いずれも車両運動に伴う胸部及び頭部の運動を計算し、頭部挙動物理量により乗員に生じる動揺感覚量の演算を行った。これらの結果より、乗員頭部の右側面図から加速度の感覚は横方向だけではなく前斜め下方向へも大きく発生しており、上面図および正面図とから、ダブルレーンチェンジのような単純な走行条件でも頭部の実際の加速度に比べて動揺加速度感覚は大きくなる事が分かる。このように、車両-頭部系のダイナミクスを導出し車両運動に伴う頭部挙動を算出し物理刺激を動揺感覚量に変換し車両運動に伴う乗員の感覚を数値化することができる。これらの検討により、車速及び座席位置の違いが乗員の頭部挙動及び動揺感覚に及ぼす影響などが明かとなり、旋回特性が乗員の頭部挙動に大きな影響を与えることが分かった。

5.3 運転支援システムの効果予測

ここで、運転支援システムの支援性能の効果予測の流れをまとめると以下ようになる。すなわち、車両の運転支援や走行支援装置の開発においては、ドライバの操作行動パターンをはじめ緊急時の回避操作行動や若年から高齢者あるいは小柄な人から体格の大きい人までの個人差を含めた広範囲の運転行動特性が評価される。そして、その膨大な行動特性のデータを基に、

例えば運動制御のパラメータや閾値などが設定されている。ここでは、一般から緊急時の運転操作、例えば制動動作や操舵操作のいわゆる行動モデルを構築しドライバと車両運動のモデルを人間自動車系システムと見做し制御系の設計問題として解析する。

Fig. 8に人間・自動車系としての運転支援性能予測の流れをブロック線図で示した。ここでは、入力として走行環境、想定する道路形状やドライバ属性などを考え、ドライバの認知・知覚および操作特性と車両運動を一体化したモデルを解き、運転支援機器の性能予測を行うものである。

これらの人間・自動車系解析からの車両制御の開発事例としては、操舵系に能動的な付加入力を与える場合の運動安定化制御をはじめ四輪操舵や横風外乱補正、更にドライバ支援装置の開発に関連し路線逸脱補正、また電動操舵系の反力制御、操舵ギア比制御などがあり、これらを統合した操舵・制動系や操舵・懸架系の複合アクティブ制御などにも活用されている。

6. まとめと将来展望

以上述べたように、運転行動特性の検討領域は非常に広く、運転行動のプロセスに応じた多面的な技術開発が進められている。そして、その展開にあっては、まず現象を計測し、解析し理解を深め、更に予防安全技術に適用されなくてはならない。

ここでは、現状技術の状況を踏まえて、Fig. 9に示すように将来の予防安全技術開発に向けての研究テーママップを提案する。すなわち、運転支援システムの

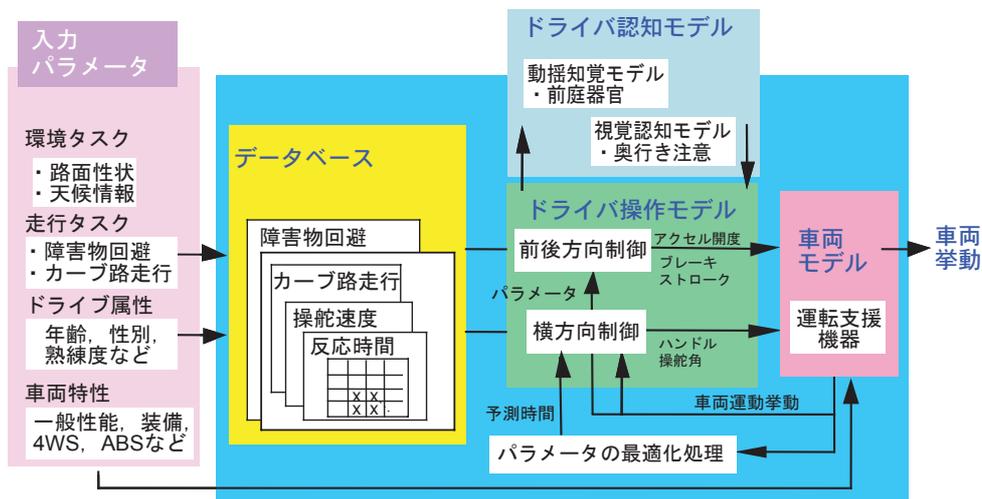


Fig. 8 人間・自動車系としての運転支援性能予測の流れ

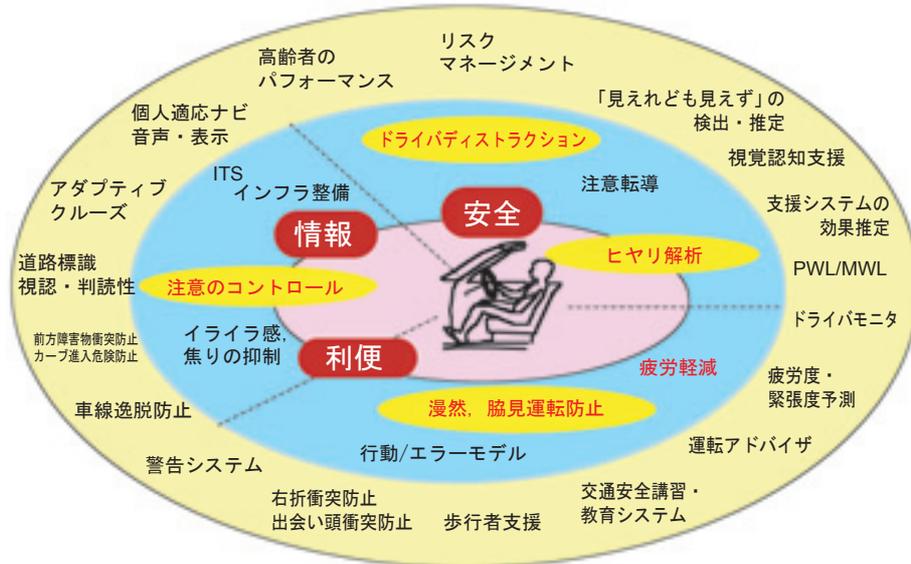


Fig. 9 運転支援システムと人間特性研究テーマ

開発から観た人間特性に関する研究課題を整理すると、安全・利便・情報の関わりを基にした多くの人間状態解析が必要となる。

次に、ドライバ特性を踏まえた支援システムの設計の将来像について考える。すなわち、Fig. 10に示すように、横軸左から (A) ドライバ支援，エラー防止，自律型支援，個人適合，そしてシステム介入支援，インフラ協力を経て，究極の (B) 走行支援システムにいたる開発の流れと，縦軸にシステムづくりの視点を (a) システム化・自動化，(b) 人間にプライオリティ付与，に分類すると，A, B, a および b でマトリッ

クス化した領域での課題が見えてくる。

ここで、(A-a) 領域では、ドライバと支援装置の接点において問題となるヒトの受容性（システムへの信頼感や注意散漫度合い）を、また (a-B) 領域では、システムの市場（社会）への受容性を高めるための課題が明確となる。更に、これらは (A-b) 領域でのパッシブな設計からのアプローチに加えてドライバ特性を踏まえたアクティブ設計が必要となることを示している。すなわち、ドライバ特性解析に基づくABSやBA(Brake Assist)やDYC(Direct Yaw Control)などはいわば技術の積み重ねから実現されたのに対し、人間特性をアクティブに活用した製品はまだ少ない。そして、これらの課題を克服するためには、人間の認知や知覚の機構をはじめ運転心理からのアプローチが依然として重要であり、更に行動の原点である脳・神経系のメカニズムにも目を向けることが望まれる。

一方、ITSの本格化とともに高度な情報化が進展し、何時でも何処でも情報が入手できるユビキタス社会を迎えつつあり、今後とも (B-b) 領域での情報の質・量およびその処理能力が調和を維持するインターフェイスや運転環境が必要となる。すなわち、ドライバへの走行支援が本来の注意機能を保ち常に安全を維持するとともに、システムの快適性・利便性を追求することが重要となる。これらの課題に対応するには、前述のように、(1)複合的因子が絡まる複雑な特性の成り立ちや機構を解明して、そのメカニズムから多面的な

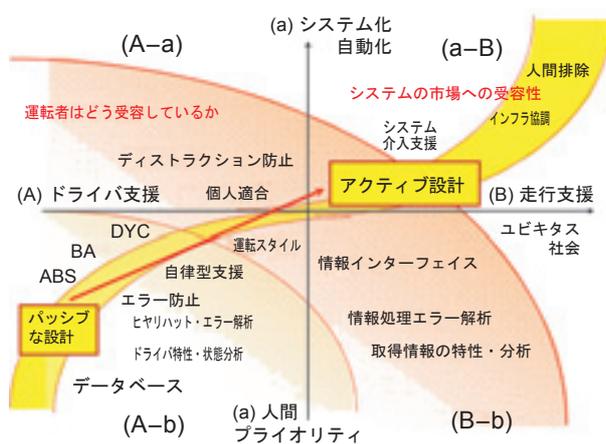


Fig. 10 ドライバ特性を踏まえた支援システム設計の将来

行動分析を行うこと，更に，(2)同時発生的な行動要素の解析力を高め，重畳する効果を分析する手法を開発する必要がある。

最後に，自動車は多くの先人より，「人がハンドルを握って繰り返し楽しむことができ，心地よい音と振動があって快適であり，心を揺さぶる感動を与えなければならない」と言われている。このように安全で快適な操縦性・乗り心地の追求も依然として重要なテーマであり，究極の予防安全のためには長時間走行時の運転負荷や疲労を少なくして安全運転の維持を図る技術も必要不可欠である<sup>19)</sup>。

これらを念頭においた広い視野にたった研究の更なる進展に期待したい。

### <参考文献>

- 1) S. Doi: “Advanced Driving Behavioral Analysis and Application for Future Active Safety”, Review of Automotive Engineering (JSAE Review), Vol. 28, No.1(2007), pp. 3-9.
- 2) 天野也寸志ほか: 運転行動予測による運転支援システムの構築，日本機械学会論文集 (C編)，Vol.70, No. 698 (2004), pp. 2932-2939.
- 3) 自動車技術会 先進運転支援システム効果予測技術検討委員会: 効果予測評価体系の開発フォーラム「モデルベースの評価法」, 2005年春季大会 (2005).
- 4) 大桑政幸ほか: ドライバの視聴覚認知に伴う負担度評価, 計測自動制御学会論文集, Vol. 36, No.1 2(2000), pp. 1079-1085.
- 5) S. Doi: “Active Safety in Car Design”, International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors, Vol. 2, Part 6, Workplace and Equipment Design, Taylor & Francis Books (2001).
- 6) 鎌田実: DRによるヒヤリハットデータ収集と分析: 自動車技術会2005年秋季大会市民フォーラム“交通事故死傷者ゼロに向けた活動”資料, 福岡国際会議場501 (2005).
- 7) 土居俊一: ドライバの運転特性評価の現状と将来, 自動車技術, Vol. 58, No. 12(2004), pp. 4-9.
- 8) 土居俊一ほか: 緊急時における一般ドライバーの回避挙動解析, 自動車技術, Vol.54, No.7(2000), pp. 55-60.
- 9) 名切末晴ほか: ドライバの運転行動解析に基づく運転支援法の検討, 自動車技術, Vol. 57, No. 12(2003), pp. 102-107.
- 10) S. Doi, et al: “Research and development of driving-support system for individual driving ability”, Proc. of Triennial Congress of International Ergonomics Association (2003).
- 11) E. R. Boer, et al: “Driver Performance Assessment with a Car Following Model”, Proc. of the 3rd Int. Driving Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training and Vehicle Design (2005), pp. 433-440.
- 12) 三浦利章: 行動と視覚的注意 風間書房 (1996).
- 13) 福島正人ほか: 運転場面における運転者の興行き注意特性の解析, 計測自動制御学会, 第21回生体生理工学シンポジウム論文集No. 1B1-2 (2006), pp. 69-72.
- 14) 安田栄一ほか: 複合振動における人の振動感受特性解析, 自動車技術会論文集, Vol. 31, No.4(2000), pp. 49-54.
- 15) K. Kushiro, E. Yasuda, S. Doi: “An Analysis of Pitch and Bounce Motion Requiring High Performance of Ride Comfort”, Proc. of The 18th IAVSD Symposium (2003).
- 16) D. M. Merfeld: “Modeling Human Vestibular Responses during Eccentric Rotation and Off Vertical Axis Rotation”, Acta Otolaryngol, Suppl, 520 (1995), pp. 354-359.
- 17) N. Kamiji, et al: “Modeling and Simulation of Motion Sensation Evoked by Vehicle Behavior”, Proc. of Driving Simulation Conf., Asia/Pacific-Tsukuba (2006).
- 18) 藤田悦則ほか: 指尖容積脈波情報を用いた長時間着座疲労の簡易評価法の開発, 人間工学, Vol. 40, No.5 (2004), pp. 254-263.

<著 者>



土居 俊一  
(どい しゅんいち)  
香川大学工学部  
知能機械システム工学科 教授

1970年名古屋工業大学機械工学科卒業。1972年名古屋工業大学大学院工学研究科修士課程修了。博士(工学)。(株)豊田中央研究所、感性・人間行動部部长、機械分野ジェネラルマネージャーなどを経て、2004年4月より現職。

1985年米国 I R 100選、1993年計測自動制御学会技術賞武田賞、2004年日本機械学会東海支部研究賞、受賞。1999年経済産業省「人間行動プロジェクト」に参

画、操作行動適合技術サブリーダーを担当、自動車における運転行動支援技術の基礎技術開発に貢献。所属学会は日本機械学会、計測自動制御学会、自動車技術会、日本心理学会などの会員。また現在、産官学連携「交通予防安全コンソーシアム」代表を勤める。近年の研究・開発テーマとしては、機械振動、車両運動力学および人間・機械系設計に関する研究を中心に、予防安全・快適システムの研究などを展開中。