

状況・意図理解によるリスクの発見と回避

稲垣 敏之

Situation and Intention Recognition for Risk Finding and Avoidance: Human-Centered Technology for Transportation Safety

Toshiyuki Inagaki*1

Abstract - Various efforts have been exerted to improve safety of transportation systems, such as aircraft, automobile, railroad, and marine vessels. Accidents rates, however, are not low enough. One of the reasons may be that advanced functionalities and speeding up of those transportation systems impose the operators excessive claims on their abilities for situational recognition, decision-making, and action implementation. This paper outlines our MEXT supported research project for fundamental and drastic improvement of transportation systems safety.

Keywords : Transportation systems, Safety, Accident prevention, Intention recognition, and Situation awareness

1. はじめに

これまでさまざまな交通移動体の事故分析が行われてきたが、事故原因の70~80%は運転者のヒューマンエラーとされる。これに対し、ヒューマンインタフェースの改善や自動化システムの導入など、運転員のヒューマンエラーを防止するためのさまざまな手段が講じられ、ある程度の効果を収めてきた。しかし、事故をより詳細に分析してみると、ヒューマンエラーといわれるものの背後にも、必ずしも運転者の責に帰すことができないような多くの複合要因が存在し、今までになかった新タイプの事故が生じていることがわかる。そこでは、交通移動体の高機能化・高速化、交通の高密度化により、交通移動体とその安全の責を担う運転員との間に、以下のようなさまざまな不整合がもたらされている。

- ・多機能インタフェースがエラーを誘発
- ・人と機械の意図の対立
- ・自動化システムへの不信と過信の交錯
- ・自動化システムによる「異常」の隠蔽
- ・高機能システムの「わかりにくさ」

しかも、高機能化・高速化した交通移動体の制御は容易ではなく、時として極少時間での認知・判断能力や、過大とも思われる操作能力が運転者に求められる場合がある。自動車、鉄道、船舶、航空機等のいずれの交通移動体をとってみても、高度技術の導入にも関わらず事故率が長らく横ばい状態になっている原因は、まさにこの点にある。例として図1に、交通事故における死傷者数の推移を示す。

事故低減が十分には実現できていない状況を打開するには、事故発生直接的要因群を対象にする従来型方式

ではなく、潜在的危険状態への移行を早期に検出・防止する新しい「予防安全型」の技術が必要であり、それなくして交通移動体事故低減のブレークスルーは為しえない。この観点は、いずれの交通移動体にも共通するものである。

以上のような現状を踏まえ、平成16年7月に、産学官の合同研究グループにより、文科省科学技術振興調整費重要課題解決型プロジェクト「状況・意図理解によるリスクの発見と回避」を開始した。

本報告では、自動車、特に事業用自動車に対象を絞り、状況に潜むリスク、運転者の状態、意図等を数理的・行動モデル的に同定し、運転者の置かれた状況ならびに運転者の心身状態等を考慮に入れ、場面に応じた支援を運転者に提供することにより、事故低減を図ることができる技術を開発しようとする同プロジェクトの概要を述べる。

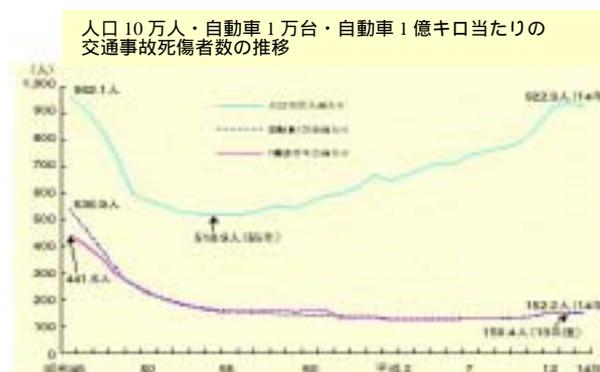


図1 交通事故死傷者数の推移

Fig.1 The number of killed and injured people due to traffic accident.

*1: 筑波大学システム情報工学研究科リスク工学専攻

*1: Department of Risk Engineering, University of Tsukuba

2. 「状況・意図理解によるリスクの発見と回避」プロジェクト

2.1 研究の目的と目標

本研究プロジェクトは、状況と意図と行動をセンシングし、実データに裏打ちされた状況・意図相互関係モデルに基づいて状況・意図・行動間の不整合を実時間で検出することにより、事故の遠因となりうる潜在的危険状態（安全不注意、動静不注意、わき見運転、漫然運転、過労運転等）への移行を防止、あるいは潜在的危険状態から正常状態（安全運転行動）への復帰を促進することにより、事故の抜本的低減を図ろうとするものである(図 2)。

事業用自動車の事故は、一度に多数の人命を奪う可能性が高いが、事業用自動車を第 1 当事者とする事故件数は増大の一途をたどり、この 10 年間で約 1.5 倍となっている。これは「交通事故死者数半減」というわが国の国家的目標達成を脅かすものであり、事業用自動車の交通安全対策の充実強化はまさに緊急の課題である。

平成 13 年度の事業用自動車の重大事故 3337 件を例にあげると、運転者が走行環境や自身の状態を的確に把握し、それに応じた運転をしておれば防げたであろう事故が 55%を占めている。ハイヤー・タクシー等では、「安全不確認」、「動静不注意」、「わき見運転」、「漫然運転」等、状況認識の誤り、不適切な意図、疲労等に起因する事故が約 65%にのぼっている。運転者は、状況を認知・予測しながら、それに見合う意図を形成して運転行動を行っているが、状況、意図、行動の間に不整合が生じると潜在的危険性が高まり、事故に至る可能性が生じる。安全不注意、動静不注意、わき見運転、漫然運転、過労運転等は、そのような潜在的危険状態の例である。

一般に、人の行動は、認知（認識）判断、操作の繰り返しである。そのなかで、最も基本となるのが認知である。すなわち、認知が正しくなければ、それに引き続く判断や操作は正しくありようがない。しかし、図 3 にあるように、状況に潜在するリスクを正しく認知（認識）することは、それほど容易なことではない。

運転者がこのような潜在的危険状態に陥ることを防止する、あるいは仮に潜在的危険状態に陥ったとしても早期にそれを検出し、安全な運転行動への復帰を促すしくみがあったとすれば(図 4) 現在発生している事故の半数以上は防げることになる。

本研究が「交通事故死者数半減」に大きく寄与しうるものであることは、まさに上記統計データが示すところである。社会の高齢化・少子化の進行に伴い、高齢運転者数は増大の一途をたどっており、高齢運転者による死亡事故も増加傾向にある。その原因として体力的、心理的な機能の劣化が指摘されているが、本研究は、高齢運転者の認知・判断・操作能力に応じた情報提示技術、安

全確保技術の開発も目指しており、高齢化現象が進展する事業用自動車の事故削減に向けて実効的な手段を提供するものである。

なお、本研究では、事故の社会的影響（一度に多数の人命が失われる可能性、経済的損失等）の大きさや、開発する装置搭載への制約の少なさ（事業者への行政的指導、大型の装置でも搭載可能な空間の存在）等の理由もあって、事業用自動車に対象を絞った研究としている。しかし、本研究で開発しようとしている諸技術は、基本的には一般の自動車にも展開可能なものであり、究極的には、事業用自動車、一般自動車の区別なく、抜本的事故削減に寄与することが可能である。

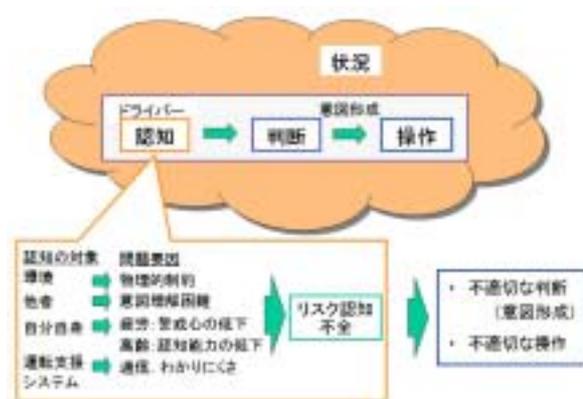


図 3 自動車運転における認知・判断・操作
Fig.3 Situational recognition, decision-making, and action implementation during car driving.

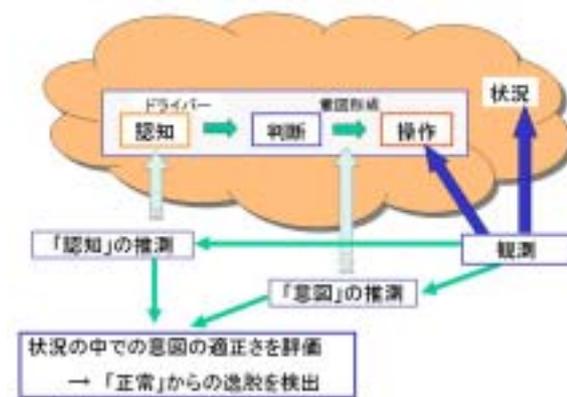


図 4 状況と意図の理解によるリスク回避
Fig.4 Situation and intention recognition for risk avoidance.

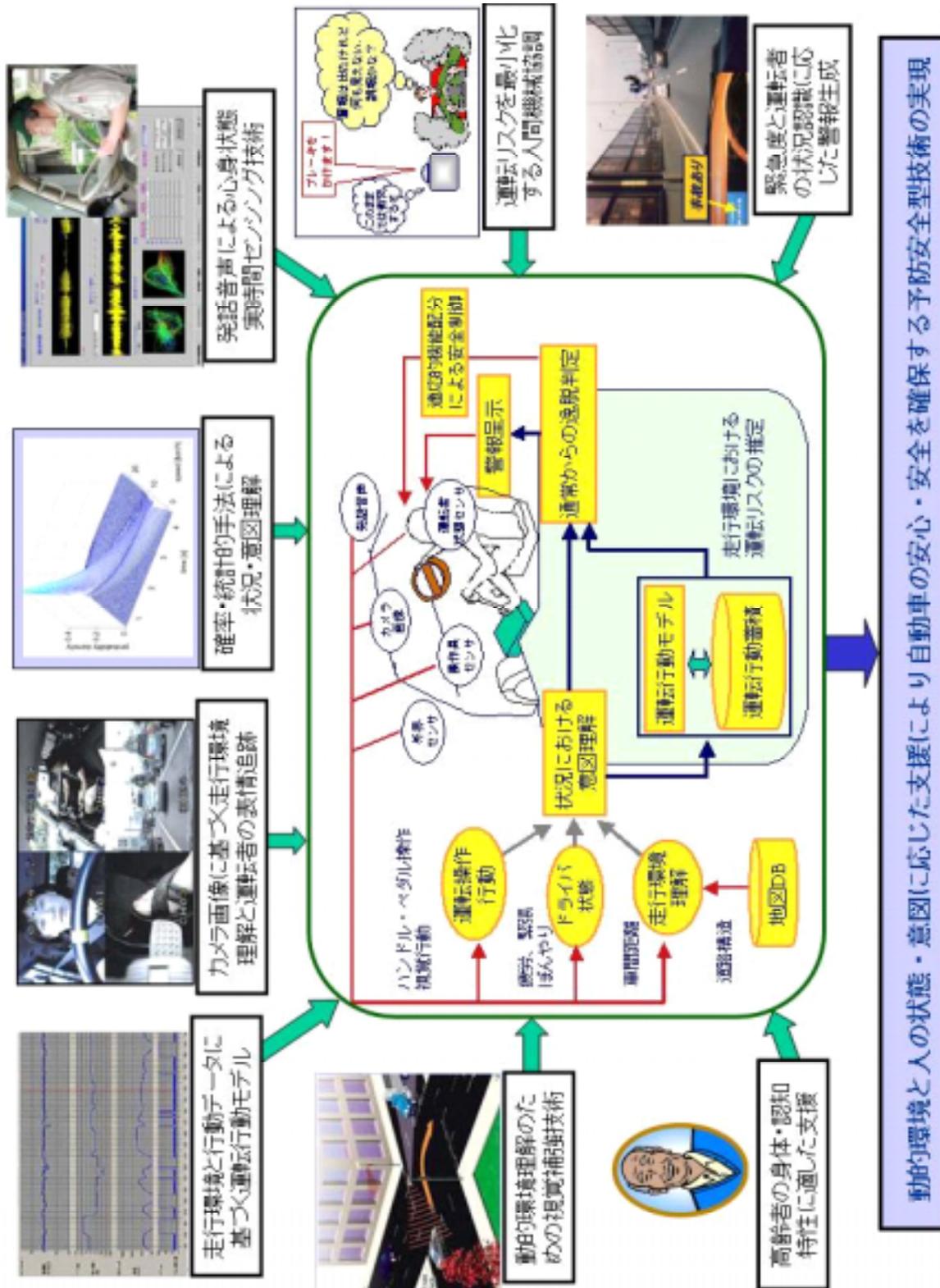


図 2 プロジェクト「状況・意図理解によるリスクの発見と回避」の達成目標
 Fig.2 A driver-supporting system as a target of "Situation and information recognition for risk finding and avoidance" project.

2.2 研究体制

運転者支援の実現に必要な技術を 5 つのカテゴリーに分類して研究項目を設定し、筑波大学を責任機関として、産業技術総合研究所、交通安全環境研究所等、3 省にまたがる研究機関と民間輸送事業者等の産学官連携による、研究推進体制(図 5)で研究を実施する。ここで定めた研究項目はつぎのとおりである。

研究項目 1 : 人間機械相互作用に関する研究

- (1) 状況・意図に応じた適応的機能配分原理の開発 (筑波大)

研究項目 2 : 状況・意図理解のための数理情報手法に関する研究

- (1) 状況・意図理解のための確率統計的手法とビデオサーベイランス技術の開発 (産業技術総合研究所)
- (2) 動的環境センシングによる視覚増強技術の開発 (筑波大)

研究項目 3 : 運転行動モデリングに関する研究

- (1) 長距離運転行動データベースに基づくリスク評価技術の開発 (産業技術総合研究所)
- (2) 運転作業状態の推定技術の開発 (海上技術安全研究所)

研究項目 4 : 運転員心身状態評価技術に関する研究

- (1) カオス論的音声信号処理アルゴリズムの開発と車載システムの試作 (電子航法研究所)
- (2) 評価音声の収集と評価実験の実施 (鉄道総合技術研究所)

- (3) 音声信号処理システムの信頼性検証のための生理学的研究 (東北大)

研究項目 5 : 高齢者支援に関する研究

- (1) 高齢者に適した情報提示技術のあり方に関する研究 (交通安全環境研究所)
- (2) 運転行動改善のための学習支援機構の研究 (電気通信大学)

3. 研究の概要

3.1 研究項目 1 : 人間機械相互作用に関する研究

- 3.1.1 (1) 状況・意図に応じた適応的機能配分原理の開発

高速化、高機能化した自動車における運転者の状況認識阻害要因として、交通環境への警戒心欠如や運転支援システムへの過信が注目を集めている。状況・意図に応じた予防安全型自動車運転支援の実現を目指し、平時における運転者の状況認識支援と負荷調整、緊急時のリスクを低減する適応的機能配分を行うための技術、すなわち、1) 高リスク心的状態の実時間検出技術、2) 状況認識の強化技術、3) 緊急時の安全制御技術を開発する。

過信や警戒心欠如の発生は事後・主観評価によるのが通例であったが、「高リスク心的状態の実時間推定」では、運転者の姿勢、手足位置や動き、視線方向等のセンシングデータに基づいて実時間で検出する技術を開発する。「状況認識の強化」では、警戒心等について当該運転者の通常レベルからの逸脱が疑われるときに状況認識改善

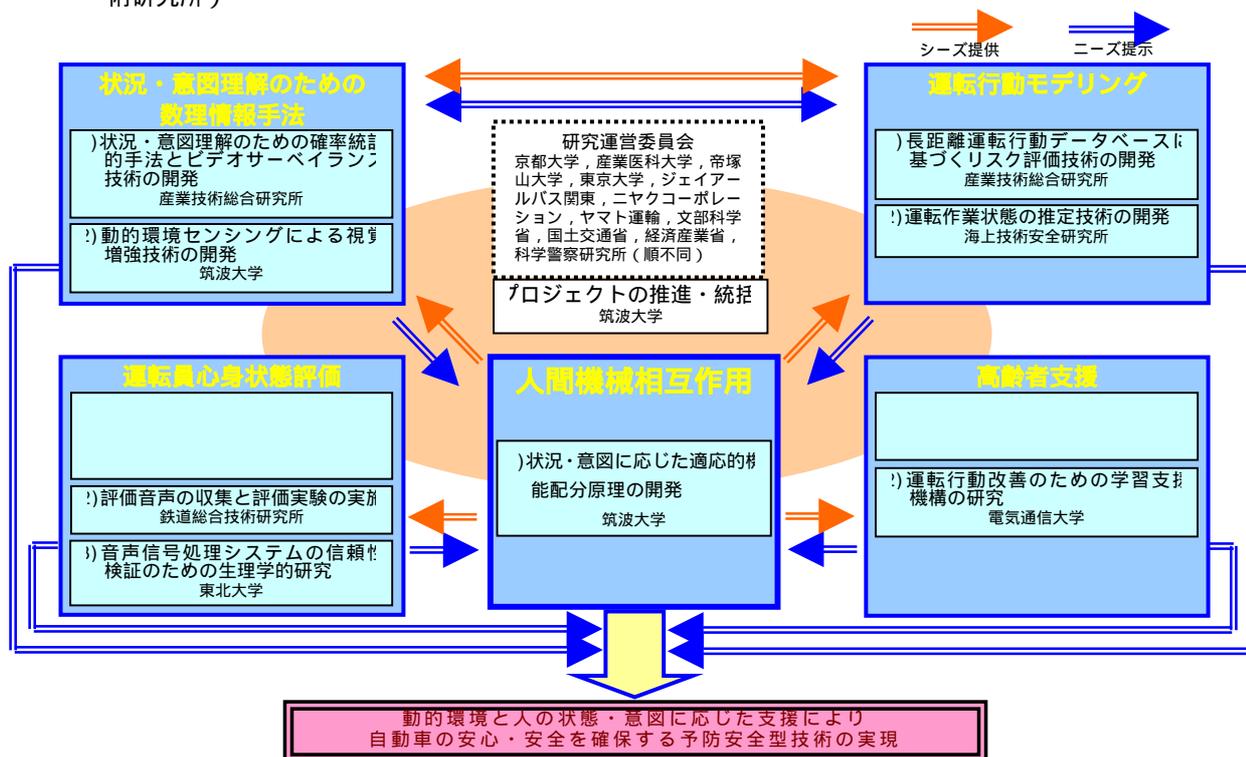


図 5 研究体制

Fig.5 Overview of the project team.

を促進させる情報提供技術と適応的機能配分技術を開発する。「緊急時の安全制御」では、運転者の警戒心レベルの改善が不十分な中で事故に至る可能性の高い事象が生じたとき、運転リスクを最小化して安全を確保する適応的機能配分技術を開発する。

3.2 研究項目2：状況・意図理解のための数理情報手法に関する研究

3.2.1 (1) 状況・意図理解のための確率統計的手法とビデオサーベイランス技術の開発

運転者の周囲状況の理解が不十分であったり、運転者とシステムとの意思の疎通が不完全であるために多くの交通事故が発生している。この防止を目的とした支援技術の開発のための要素技術として、不完全さを伴う観測可能なセンサー情報から事故の原因となる本質的な状態や状況を実時間で確率的に予測する手法の開発を目指す。また、視覚を中心としたセンシング情報を利用して、運転者や外界の状態を推定する技術を開発する。

脳科学の知見をも参照しつつ、自己組織化、認識、競合的選択、学習などの基本機能をベースに、生データを自動的にいくつかの状況に分節したり、入力データを過去のデータと照らし合わせて現在の状況を認識したり、状況に応じて適切に判断するため手法を開発する。具体的には、運転者や外界を撮影した動画から運転者や外界の状況に関する情報を抽出するための画像センシング技術を確立する。また、運転行動データや事故履歴データから原因と結果の依存関係を確率的因果関係として抽出し、確率ネットワークによってモデル化する方法を確立する。

3.2.2 (2) 動的環境センシングによる視覚増強技術の開発

交通移動体が存在する動的環境において、障害物等により隠れがちな情報を、道路などに設置されるセンシングデバイスの情報を加工して自動車の運転者に提示することにより、交通移動体や歩行者の危険な動きなどの状況把握を容易にする視覚支援技術を開発する。

ここでは、右折時の死角解消による右直事故防止や歩行者の巻き込み事故防止を目的とする。はじめに、道路監視カメラの映像を運転者に見やすいかたちに加工する画像処理技術、動画から人や移動体を検知する技術を開発し、あわせて道路監視カメラ側インフラと車載側提示装置の無線通信方式を検討する。次に、道路側インフラ装置の開発、車載側提示装置の開発を行い、学内道路の交差点において実験環境を構築する。そして、右折時の死角解消と歩行者の視認補助を想定した実証実験を実施し、有効性を評価する。

3.3 研究項目3：運転行動モデリングに関する研究

3.3.1 (1) 長距離運転行動データベースに基づくリスク評価技術の開発

通常の運転では、運転者は事故に遭わないように運転行動を行っている。すなわち、自らが適切と思ういつもの運転をしていれば、運転のリスクはあるレベル以下に保たれていると考えられる。これに対して、たまたま何かに気を取られたり、ぼんやり状態などによって通常の運転ではなくなると、運転のリスクが高くなる。そこで長時間の運転行動を計測・蓄積することで通常の運転を把握し、それからの逸脱の程度によってリスクの評価をする技術の開発を目的とする。

そのために、実際の運送業務における長時間運転の運転行動データ（運転操作、車両状態、車間距離、走行中の道路上の位置など）を計測するための装置を開発する。そして、高速道路走行を中心とした長時間運転行動計測を行い、運転行動データベースを構築する。そしてこのデータを用いて通常運転行動のモデルを構築して、行動モデルに基づいた通常からの逸脱検知技術を開発する。

3.3.2 (2) 運転作業状態の推定技術の開発

死亡事故の原因は、疲労などに起因する漫然運転や脇見運転、最高速度超過など、基本的な運行管理を徹底していれば未然に防げるものが多い。しかし、現在の運行管理では、運行前後の点検・確認業務にとどまっている。逆に、現場を無視した運行管理は、運転員の負担を増加させるばかりで用を為さない。

そこで、運行管理者と運転員の円滑なコミュニケーションを促進し、受容性の高いアドバイスを開発するため、運行管理者がどういう観点から事故低減を目指そうと考えているのか、また運転員が本当に求めているアドバイスとはなにかを調査し、現状の運行管理の諸問題を明らかにする。また、実路走行実験を通じて、道路交通環境や運行状況に応じて、運転員の状態や運転行動がどのように変動するか明らかにすることにより、運転員が自分の状態に応じた運転行動をおこなわなかった場合、システムが通常の運転からの逸脱を検出し、運転員の状態や道路交通環境に応じた走行を促すアドバイスを最適な時期に提供できるシステムを開発する。

3.4 研究項目4：運転員心身状態評価技術に関する研究

本研究項目は、トラック等の運転者の脳機能状態をその業務環境においてリアルタイムに評価する手法を確立し、これにより得られる評価指標値の変化と長時間業務における疲労との関係を明らかにすることであり、他の研究成果と相補的に且つ任意に組み合わせることの可能な最上流の予防安全装置の実現を目的とする。

- 3.4.1 (1) カオス論的音声信号処理アルゴリズムの
開発と車載システムの試作、
(2) 評価音声の収集と評価実験の実施

トラック等運転者の脳機能状態を示す指標値は、運転者の発話音声のカオス論的な手法により処理して得ることを想定しており、本研究項目においては、かなりの環境騒音が存在する運転席環境で信号処理可能な発話音声を得る手法を、また必ずしも良好ではない品位の音声から十分な信頼性をもって指標値を算出する信号処理手法を確立する。

- 3.4.2 (3) 音声信号処理システムの信頼性検証のための生理学的研究

上記による指標値が運転者等の疲労度の評価に有効なものであることを、従来の疲労評価技術における指標値との相関関係を確認することにより、また血中ストレスホルモン、更には脳機能診断技術により計測する脳の酸素消費量等との相関関係を確認することにより示し、本研究により実現を目指す装置が社会的な信頼を得るに十分なものであることを明らかにする。

3.5 研究項目 5：高齢者支援に関する研究

増加する高齢ドライバーの事故をヒューマンエラー防止の観点から低減することを目的として、2つの観点から研究を実施する。一つは高齢者に対する支援システムの受容性についてであり、他の一つは運転行為改善のための学習に関するものである。

- 3.5.1 (1) 高齢者に適した情報提示技術のあり方に関する研究

最新技術を利用した支援システムが搭載されるようになったとしても、高齢者の身体・認知特性に適したシステムでないとかえって運転操作を混乱させるものとなりがかねない。そこで本研究では、追突事故の防止に有効な支援システムについて、最適な情報提供技術、情報提示タイミング等を室内及び屋外走行実験により明らかにする。また、その際の高齢ドライバーの運転操作に及ぼす影響についても明らかにする。これらの知見を基にして高齢者にとって受容性の高い支援方法の性能要件を明らかにする。

- 3.5.2 (2) 運転行動改善のための学習支援機構の研究

高齢ドライバーの場合、運転や情報認知の支援に加えて、運転者自身に機能低下を自覚させ慎重な運転を誘導する方法も併用することが必要である。このように運転行為を自ら改善し学習するために有効となる情報提供方法を追究する。個人間のばらつき、個人内のばらつきに着目し、運転者に適した情報提供を考える。

4. 政策への寄与と波及効果

政策目標「安心・安全で快適な社会の構築」の達成に対して、本研究がなし得る寄与と波及効果を以下にまとめる。

- 1) 「潜在危険状態」への移行を阻止する予防安全技術は、減少傾向が横ばい状態となっている自動車事故の抜本的削減を可能とするものであり、社会の安心・安全の向上が期待できる。
- 2) 多数の死傷者が伴う事業用自動車の事故から社会が受ける心的衝撃は深刻であり、事故の大幅削減により社会の安心・安全を高めることが期待できる。
- 3) 事故軽減は、人身損失額で約 1 兆 3 千億円、物損失額で約 1 兆 6 千億円ともいわれる多大な経済的損失の削減に直接的な効果をもたらすと期待できる。
- 4) 高齢運転者数は増大の一途をたどっており、同様に高齢運転者による死亡事故も増加傾向にあることから、高齢運転者の認知・判断・操作能力に適した支援技術は、高齢者による事故削減の実効的手段になると期待できる。
- 5) 人間の心身状態や意図をリアルタイムで推測する技術は、交通事故の防止・削減への寄与にとどまらず、はるかに多様な分野への適用可能性がある。
- 6) 自らが現在の状況を認識し判断する能力を有する高度情報処理技術は、社会基盤として不可欠な情報処理システムにおける制限や問題(予想外の事態や人間の要求への対処能力や柔軟性の欠如)を打開するものと期待できる。
- 7) 公共性の高い事業用自動車や長距離輸送業等において、本研究で開発した諸技術は積極的に実用化されると期待できる。
- 8) 本研究で開発する諸技術は、厳格な教育・訓練を仮定ができず、状況認識能力や緊急時の判断・操作能力等が劣る可能性が高い非職業者が運転する一般乗用車の事故防止・削減の手段としても有効性が期待できる。

謝辞

本研究は、平成 16 年度文部科学省科学技術振興調整費重要課題解決型プロジェクト「状況・意図理解によるリスクの発見と回避」によって行われるものである。