

高齢者の自立を支援し安全安心社会を実現する自律運転知能システム

Autonomous Driving Intelligence System

to Enhance Safe and Secured Traffic Society for Elderly Drivers

○ 永井正夫(東京農工大学)、井上秀雄(トヨタ自動車)、

鎌田 実(東京大学)、大桑 政幸(豊田中央研究所)

○ Masao NAGAI, TUAT, Hideo INOUE, TOYOTA

Minoru KAMATA, U. Tokyo, Masayuki OKUWA, Toyota CRDL

Abstract: The project of Autonomous Driving Intelligence System to Enhance Safe and Secured Traffic Society for Elderly Drivers was selected and started in 2010 as one of the projects on generation of science, technology and system to make aged society affluent which are sponsored by JST. This project has been carried out by the university and industry collaboration, that is comprised of Toyota Motors, Toyota Central R&D Laboratory, Tokyo University of Agriculture and Technology, and the University of Tokyo. The main purpose of this project is to realize an autonomous driving intelligence system with experienced driver model to recover degraded recognition, decision-making and operation for elderly drivers. The concept proposed in this project will be penetrated into the market as advanced driver assistance systems, and will be able to be applied to autonomous driving system design for a certain traffic condition in the near future. This report will introduce the outline of the project during the first stage from fiscal year 2010 to 2012.

Key Words: Aged Society, Elderly Driver, Autonomous Driving Intelligence System, Advanced Driver Assistance System

1. 背景・目的

研究成果展開事業「戦略的イノベーション創出推進プログラム」研究開発テーマ「高齢社会を豊かにする科学・技術・システムの創成」において、「高齢者の自立を支援し安全安心社会を実現する自律運転知能システム」が採択され、ステージⅠが終了した機会に、本研究課題の研究計画の全体概要と、これまでに得られた主な成果について述べる事とする。

2. 全体目標

2-1 産業創出の礎となる技術

産業創出の礎となる技術としては、自動車の予防安全技術の高度化があげられる。現在でも、国土交通省の先進安全自動車(ASV)プロジェクト等で技術開発が進められているが、本提案では、高齢運転者が急増していくことを鑑み、比較的範囲を限定して、低価格で広く導入可能な安全運転支援システムとして、新たな柱を建てようとしているものである。基盤技術の柱としては従来の予防安全技術に加えて、高精度の道路環境センシング技術(画像、レーダ、GPS)、デジタルデータ(地図データ、周辺映像データ)、自律運転知能化技術(周辺認識、知識データベース、リスクポテンシャル予測)、高齢運転者診断技術(ドライバモデル、ドライバ受容性)、運転操作系HMI最適化技術などが挙げられる。

これらの技術を有機的に統合し、信頼性と有効性が高い時速30キロ以下に限定した領域で、高齢者による危険回避が困難と判定した際に自律運転知能による強制介入制御を実施する。活用用途としては、地方地域の高齢者のモビリティ支援としての安全自動車を当面の目標とし、技術開発は継続的に行い、動作範囲の拡張やさらなる高機能化を実現していくことを目指す。

2-2 技術開発の目的

高齢者の日常生活の移動支援を最重点課題として設定し、範囲を限定することにより早期実現・社会導入を一番の狙

いとしている。実現可能性へのハードルの高い完全自動運転を目指すのではなく、運転者が主で機械支援が従のシステムであるので、運転者の受容性や社会受容性は十分検討する必要があるものの、実現可能性は十分高い。

なお、類似の技術としては被害軽減ブレーキの作動を早める自動衝突回避システムが数社から実用化されているが、適用範囲は限定的である。本申請で実現しようとしているものは、障害物検知の高度化、自律運転知能技術の構築により、速度範囲は低速に限るが、適用範囲が飛躍的に広いレベルを目指す。また、完全自動運転としては、米国のグーグルの事例があるが、高価なセンサ等を用いたシステムであり、それらは市販化を目指したものではない。

2-3 最終的に目指すアプリケーション

ロボット技術を用いた自律運転知能により、運転者の運転操作の異常時に制御介入を行い、危険回避を行うシステム。当面は、高齢者の日常生活エリアでの比較的低速走行(30km/h以下)を対象とし以下の機能を有するものとする。

- ・ 先行車への追突回避
- ・ 自転車や歩行者への衝突回避
- ・ 走行レーンからの逸脱回避
- ・ 非優先交差点での一時停止無視への制御介入

車両単独の自律制御による運転支援を基本とするが、車車間、路車間情報も活用できるシステムを構築する。また、先行車に追従走行することによって運転負荷とリスクが低減される場合には、高齢者支援車両間の自動追従機能を作動させ、交通流の整流化と追突防止を実施する。また高齢者が運転しやすい操作系の特性を製品に反映させていく。交通事故死者の多い典型的なシーンのリスクシナリオを設定し、その設定範囲内での事故死者ゼロを目指す。

2-4 アプリケーションの開発理由

2030年には3人に一人が高齢者、また5人に一人が75歳以上の後期高齢者になることが確実視されており、

移動の分野では60歳以上の免許保有者が全免許保有者の半数になると推定されている。このため、これまで少数派であった高齢運転者が大きなマスとして存在することになり、交通事故の急増の懸念がある。このため、日常生活範囲での低速域との限定であるが、本提案のシステムの社会導入により、危険回避が実現できると大幅な事故減少が期待でき、安全安心な高齢者の外出が実現できると考えられる。高齢化の動向は、先進諸国に留まらず、今後急激に自動車の普及が進む新興国でも同様な傾向にある。日本は課題解決先進国として、モビリティ社会が直面する将来の課題に対する的確なソリューションを提示する責務がある。

3. 全体計画におけるステージ目標

研究全体を3段階のステージに分けて、以下のように計画を遂行している。

【ステージⅠ】 基本システム・要素技術の研究・開発とプロトタイプ車両の構築（平成22年度-平成24年度）

- ① 要素技術開発
- ② システム構築
- ③ 受容性評価

【ステージⅡ】 プロトタイプ車両の完成と公道での効果検証と市販化準備（平成25年度-平成28年度）

- ④ センサフュージョン
- ⑤ 熟練ドライバの運転知能のモデル構築
- ⑥ 障害物回避制御のシステム設計
- ⑦ 実路走行データの収集と分析
- ⑧ 適応型HMIの開発
- ⑨ 支援ロジックの機能検証
- ⑩ ドライバ運転行動の受容性検討
- ⑪ システム&ドライバレベルでの受容性検討
- ⑫ 社会レベルでの受容性検討

【ステージⅢ】 実用化と更なる改良および日本発信のグローバル標準への展開（平成29年度-平成31年度）

- ⑬ 実用段階のデータ蓄積と標準化
- ⑭ さらなる高度化への研究開発

4. 企画調査研究

4-1 全体の戦略設定とロードマップの明確化

各研究機関の知見集約により、下記(1)~(6)の要件について企画調査の成果としてまとめた。又、知事連合とのこれまで9回に亘る協議も重ね、知事連合の1万人アンケートからも高齢者の要求・特徴を下記に反映した。

(1) 高齢者のための知能化運転支援のコンセプト設計

表1 高齢者の運転特性からのシステム要求要件

| 高齢者の運転特性 | 要求要件 |
|-------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| ・高齢になると警報だけでは回避できない割合が増加 | ・自動ブレーキ等の回避制御介入が必要 |
| ・視認能力調査から65歳以上の有効視野が狭くなる | ・機械の周辺認識技術は必須 |
| ・苦手な運転場面として、駐停車、バック時など顕著 | ・ペダル踏み間違え防止機能（発進時の障害物検知でのブレーキ介入）も必要 |
| ・高齢ドライバも、まだまだ運転したいモチベーションを持っている ・高齢ドライバの運転能力は、幅が広い | ・完全自動でなく、必要に応じて介入する「機械と人間の協調系」であるべき ・ドライバ運転状態に応じた適応的制御介入が必要 |

表2 事故・ヒヤリハット分析からの要求要件

| 事故分析/ヒヤリハット分析からの特徴抽出 | 要求要件 |
|------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| ・対歩行者、追突、走路逸脱、出会い頭、の対応が重要 | ・追従車両、障害物はもちろん、歩行者および自転車認識技術も重点をおく |
| ・人対クルマ事故は「横断中」の割合が多い ・死亡歩行者は70%が高齢者、加害者も高齢者の割合大 | ・横断歩行者の特徴抽出なども技術課題 ・熟練のうまい運転ドライバ的な、運転知能モデルをめざす理由の顕著な例 |
| ・対歩行者事故は、夜間の比率が多い(69%が夜間) | ・夜間も認識能力が必要(レーダ、カメラ、ライト技術) |
| ・対歩行者死亡事故の車速域について、30km/hを超えると致死率が上がるが、30km/h以下の割合も多い | ・第1ステップを30km/hまでの回避(ブレーキ制御介入)。第2ステップでより高速への拡張をめざす |

(2) 知能化運転支援システムの社会実装に向けて超えるべき壁の把握

各走行シーンにもとづき、運転性能成績の評価法、目標づくりの強化が必要であるため、熟練のうまいドライバの運転行動を参考にして作成していく。

人間(特に高齢者)の「運転行動(知覚・認知・判断(予測)・行動)」の特徴抽出と受容性検討へ展開するため、ドライビングシミュレータ、農工大ヒヤリハットデータベース、Field Operational Test(FOT)データからの分析の強化が必要であることがわかった。熟練ドライバの運転行動データから、「先読み運転(判断)」「意図推定」「過信・依存」等のデータ分析やモデル化を行う計画を立てた。

(3) 知能化運転支援車両のフィールドデータ解析システムとそのプラットフォーム(P/F)の検討

FOTの進め方の調査を実施した。その結果、わが国の予防安全技術・運転支援技術は世界トップレベルにあるが、欧州で進む産官学大型プロジェクトに比べ、人、車、道路環境がそれぞれ個別に対策を推進し、総合対策を進める場が弱いことがわかった。そこで、これまでのノウハウを生かし、産官学連携のFOTを強化していき、「世界最大規模のヒヤリハットデータベース、世界トップの予防安全技術開発力」、「地域密着の事故調査活動(豊田市等)」、「日本学会会議委員会での交通事故ゼロ社会の提言(農工大 永井委員長)」等のこれまで個別活動を融合し、本プロジェクトに反映させることとした。

(4) 監督官庁とのやりとり、システム実用化のための法規制への対応、本テーマ重要性訴求等

①「回避介入機能の必要性」の国交省との協議；既に東大鎌田の提案で国交省は必要性を了解し、国土交通省安全指針に展開した。

②産業界の横連携、産官学連携の強化のために「FAS T(Future Advanced Safety Technology)研究会」の立ち上げに成功した(S-イノベメンバの農工大、東大、トヨタ自動車に加え、日産、ホンダも参加)。特に産業界同士の協調領域(性能基準、ユーザへの理解活動、予防安全の評価法づくり等が案として議論中)を推進し、既存の自工会安全活動組織、及び、国交省へ提案し、安全指針や法規制等協議に繋げるAll Japan体制の基盤を構築できた。これは企画調査での大きな成果の一つといえる。

(5) プロトタイプ車の効率的製作のための事前検討

本メンバのこれまでのプロトタイプ車に係るノウハウ

ウ財産は、①超小型電気自動車コムス改造車、②歩行者検知ブリクラッシュセーフティ改造車、③次世代3Dスキャン型レーザーセンサでの認識技術先行技術、④ペダル踏み間違え防止ブレーキオーバーライドシステム搭載車等である。

4-2 センサ等の要素技術見通し

本項目において、比較的低速走行における外界センサの視野、解像度等の仕様要件についてはトヨタ自動車が担当し、外界センサのハードウェア構成、および得られる性能については豊田中央研究所が担当した。要素技術見通し調査の内、外界センサに関するものを主とした。種々のセンサの得失比較を整理し、レーザーレーダセンサに期待すべき特徴軸を明らかにした。車載応用に適し、小型・低コスト化が見込める構成について考察できた。

表3 センサ得失比較 (凡例:◎大変優れる、○優れる、△やや劣る、×劣る)

| | 電波レーダ | カメラ画像 | レーザーレーダ |
|---------|-------|-------|---------|
| 外界変動の影響 | ○ | △ | ○ |
| 距離性能 | ◎ | △ | ◎ |
| 相対速度性能 | ◎ | △ | ○ |
| 水平解像度 | × | ◎ | ○ |
| 垂直解像度 | × | ◎ | ○ |
| 夜間対応 | ◎ | △ | ◎ |



図1 歩行者衝突回避実験(制動回避と操舵回避)

4-3 熟練ドライバモデルの基本設計

企画調査段階での熟練ドライバモデルの基本設計では、ヒヤリハットデータベース分析、実験車による計測、改造実験車による実験、により検討を行った。

まず、熟練ドライバモデルの基本設計にあたり、東京農工大学で所有しているヒヤリハットデータベースを分析し、各運転シーンにおける環境パラメータおよびドライバの回避行動の特性解析を開始した。この解析により、本格ステージでの自律運転システムの基本設計やその有効性を検証するための運転シナリオの体系化に一定の目途を得た。

分析の一例として、対歩行者・自転車ヒヤリハットシーンを分析した結果、従来の衝突回避システムの仕様では衝突を十分に回避できないシーンが存在することがわかった。特に遮蔽物から歩行者・自転車が出現する場合は、現行の衝突回避システムでは限界があり、今後はさらに潜在リスクを予測し、熟練ドライバの運転知能を組み込む必要があることがわかった。

熟練ドライバモデルを実験車両に実装して有効性を検討するため、学内の一定の環境条件において前方障害物衝突回避の実験を行った。具体的には、見通しの悪い交差点での急な歩行者の飛び出しに対して、衝突を回避するためのアルゴリズムと、操舵回避のための経路生成アルゴリズム

を構築し、実験車両により回避できることを示した(図1)。

また、対歩行者衝突回避アルゴリズムの高度化のために、ポテンシャルフィールド理論に基づく歩行者との衝突回避アルゴリズムを設計し、その有効性を実車実験によって示した(図2)。同様のリスクポテンシャル法による危険回避制御システムの設計は、他の場面にも展開できる見通しを得ており、熟練ドライバモデルを内蔵する自律運転システムの設計指針を得ることができたと考える。

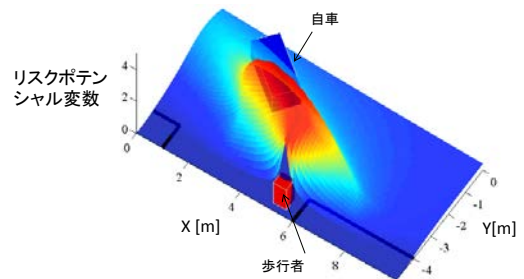


図2 対歩行者衝突リスクポテンシャル推定結果

4-4 制御介入の運転者受容性調査

危険回避制御介入システムの設計において、運転シミュレータをもちいて高齢運転者の受容性や制御介入の有効性を検討していく必要性があり、本企画調査段階では、ドライビングシミュレータ実験の企画に向けて検討を始め、ヒヤリハットデータベースの中での典型的なシーンを抽出し、ドライビングシミュレータで再現する実験シナリオを検討した(図3)。ステージIで行う回避制御介入システムの受容性調査においては、全体のコンセプト設計、要求仕様設計と合わせて具体的に実験シナリオを設定した。



図3 運転シミュレータを用いた歩行者飛び出し再現

4-5 高齢者の日常生活範囲の定義づけ

企画調査段階では、まずは高齢者の日常生活範囲の定義づけを行なうために、福井県大野市の協力のもとで高齢者が日常的に移動する範囲での運転のモニタリングを行なった。走行時の映像を記録するドライブレコーダを取り付けた超小型電気自動車を大野市市役所に貸し出し、市職員が公用車として利用する事でこの様な都市での移動の実態調査を開始した。図4にデータ収集に用いた超小型電気自動車の様子を示す。このシステムでは、前後2台のカメラで車両周辺の映像を記録し、残りの2台のカメラで車両の操作の様子を記録している。H23年6月と8月には同じドライブレコーダを搭載した小型電気自動車をさらに追加し、現時点では計三台体制となっている。これらのうち二台をH23年8月から募集した市民高齢者モニタに貸し出し、実際の高齢市民の運転モニタリングを実施している。H24年10月までに、約52時間の運転映像記録を収集できており、現在もデータ収集を継続している。また、高齢者にやさしい自動車開発知事連合の取組みと協調し、福岡県朝倉市で

は数種類の小型電気自動車をモニタに貸し出し、H23 年には32名の高齢者の各3週間分の運転映像データを収集した。これらの収集したデータを、周辺歩行者や自動車の移動方法、道路形状や自車の移動経路などの観点に注目して分析を行い、高齢者の日常生活範囲における運転環境や交通の状況の整理を行った。



図4 超小型実験車に搭載した計測装置の映像

5. ステージ I 研究

5-1 要素技術開発

外界センサ系の要素技術開発として、開発中のレーザーレーダを活用した環境認識性能向上の検討を開始した。現状の市販センサにてリファレンスデータを取得し、比較検討のための準備を完了した。取得にあたっては、トヨタ自動車開発の実験車両を使い、車両情報とセンサ系情報を同時にデータ収集できるシステム開発を行った。さらにシーン分類整理に基づいた評価シーンを、トヨタ自動車のテストコースにおいて設定し、開発した計測システムにてリファレンスデータ収集のための走行実験を行った。

5-2 システム構築(知能化運転支援システムの基本構成)

企画調査における、要求要件を満足できる知能化運転支援システムの基本構成の設計を行った。ドライバミスをカバーして事故低減を行うことを狙い、通常運転から介入する運転知能を構築するための構成として、「センシング」「知能化」「運動制御」の大きな3つの構成とすることとし、ドライバ入力に対して機械側の制御量との調整を行え

る構成とすることで、ドライバ主権のシステム構成を実現した。図5にシステム構成図を、以下にその特徴を示す。

- (1) 基本走行、潜在リスク予測、緊急回避の3つのドライバモデル、制御構造を構築
- (2) 熟練ドライバのような潜在リスク予測技術により、支援量を適切に決定
- (3) 運動特性の違いを補償し、適切な制御回避性能を実現
- (4) センサーハードの種類に対応できる制御構造
- (5) 既存の運動制御システムを使用可能

5-3 受容性評価法の検討

受容性検討手法において注目すべき手法の1つである社会実験 FOT に対して、欧州で実施された euroFOT を調査した。調査結果は以下の通りである。①euroFOT の中で、Volvo Cars は多種のデータ取得を行っており市販のシステム ACC・FCW・LDW・BLIS の効果検証に力を入れている。②プロジェクト5年の内の事前準備に3年を要し、事前準備が重要。③euroFOT の特徴の1つとして、データ収集の運営拠点毎に実験実施環境が異なっている点。本調査結果は、ステージ II で予定している「公道での機能検証・支援効果検証」での実験計画に活用を図る。

6. おわりに

当該技術の国内外での開発状況を調査した結果、技術動向を以下の3つの流れに整理できた。①ADAS から安全・衝突回避として進化する流れ、②ADAS から利便・快適として進化する流れ、③完全自動化(無人自動駐車・迎車、Google の無人タクシー等の自動運転、センター監視型自動運転交通システム等)。本プロジェクトは、元気な高齢者社会を構築するために、「運転」「移動」の価値を高めるものであり、上記①～③の全般を網羅する上位概念であることが確認できた。本「運転知能」の開発は、日本発信の重要なものとして、強力に進める必要があることも明確になった。

参考文献

- (1) Pongsathorn Raksincharoensak, Autonomous Driving System to Enhance Safe and Secured Traffic Society for Elderly Drivers, 18th ITS World Congress, Orlando, Oct.16-20, 2011

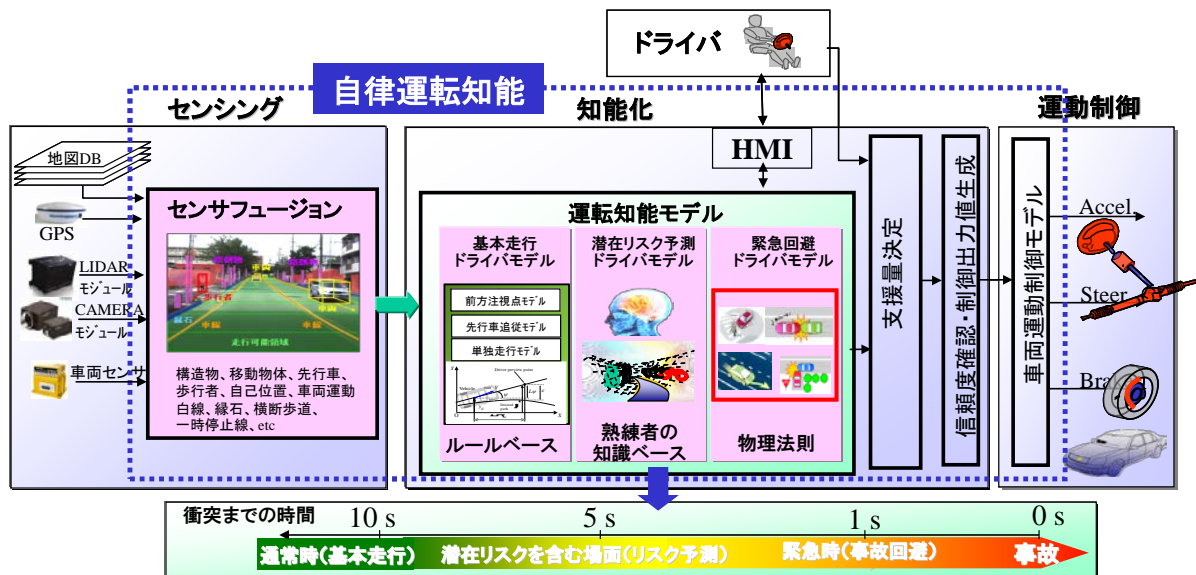


図5 自律運転知能のシステム構成図