

特集 ■ 超高齢社会と VR

高齢社会に向けたクルマの智能化



井上秀雄

トヨタ自動車

Inoue Hideo

1. はじめに

本プロジェクトは、科学技術振興機構（JST）「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・システムの創生」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」として採択された（参加機関は、農工大、東大、豊田中研、トヨタ自動車）。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 [1]。

2. プロジェクトの目的

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分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ウェイトを占めることになり、わが国全体の交通事故件数を押し上げる懸念がある。また、全国知事連合と「高齢者にやさしい自動車開発委員会」が共同で行った 65 歳以上の高齢者 1 万人アンケートの調査結果では、多くの高齢ドライバは運転したいモチベーションや、クルマでの移動のニーズは高いが、身体能力の衰えにより、運転に不安を感じている。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。

以上の社会ニーズを考慮し、高齢者が安全安心して外出できる高度な運転支援システムの開発を進めている。目指す姿は、ロボット技術を用いた「自律運転知能」により、高齢ドライバの運転能力の低下を補い、

安全安心な運転を提供するシステムである。「自動運転」という言葉が注目されがちだが、重要な点は「無人運転」ではないことである。人間が運転の意志を持っているかぎり、運転に責任を持つことを前提に、それを安全安心な運転に導く支援を本プロジェクトでは目指している。

3. 産業創出の礎となる技術

基礎技術の柱としては従来の安全技術に加えて、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。さらに、ビッグデータ上での運転知能の構築と C2X による情報のつながりによる広義の運転知能の向上もプラットフォームの視野に入れている。

また、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には十分な基礎検討と社会実験が必要となる。

4. 全体計画と各ステージ目標

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）

【ステージ II】 プロトタイプ車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）

【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）

5. これまでの主な研究成果

以下に、企画調査、ステージ I での主な内容を示す。

1) 高齢者のための知能化運転支援のコンセプト設計

全国知事連合と「高齢者にやさしい自動車開発委員会」が共同で行った 65 歳以上の高齢者 1 万人アンケートの調査結果 [4] では、多くの高齢ドライバーは運転したいモチベーションや、クルマでの移動のニーズは高い (図 1) が、身体能力の衰えにより、運転に不安を感じている。これらの情報をもとに、以下高齢者のシステムへの要求をまとめた (表 1)。

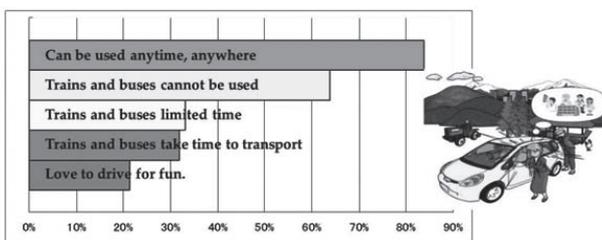


図 1 Necessity of Automobiles for Elderly Drivers

表 1 System Requirements from Elderly Drivers Characteristics

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
・高齢ドライバーも、まだまだ運転したいモチベーションを持っている ・高齢ドライバーの運転能力は、幅が広い	・完全自動でなく、必要なときに介入する「機械と人間の協調系」であるべき ・ドライバーの運転状態に応じた適応的制御介入が必要

2) 熟練ドライバーモデルの基本設計

熟練ドライバー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ーの回避行動の特性解析を実施した。この解析により、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を 22 パターンの走行シーンとして体系化できた。

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、熟練ドライバーの様な運転知能を組み込む必要がある。

熟練ドライバーモデルを実験車両に実装して有効性を検討するため、農工大学内の一定の環境条件において前方障害物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 2)。

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 3)。

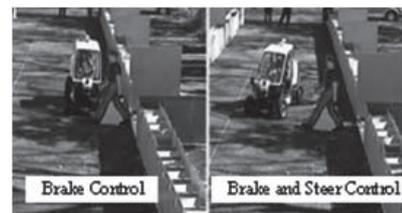


図 2

Pedestrian Accident Avoidance Test with Brake and Steering integrated Algorithm

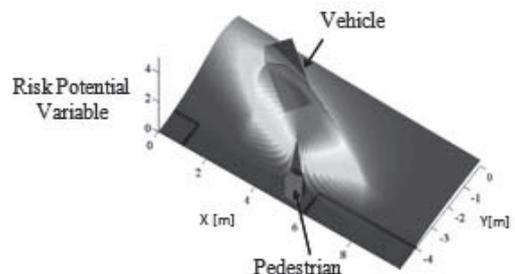


図 3 Risk Potential Estimation towards Pedestrian

* 口絵にカラー版掲載

3) 知能化運転支援システムの基本設計

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。ドライバー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、ドライバー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、ドライバー主権のシステム構成を実現した。以下にその特徴を示す (図 9 参照)。

- (1) 基本走行、潜在リスク予測、緊急回避 [3] の 3 つのドライバーモデル、制御構造を構築 (図 4)
- (2) 熟練ドライバー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) 運動特性違いを補償し適切な制御回避性能を実現

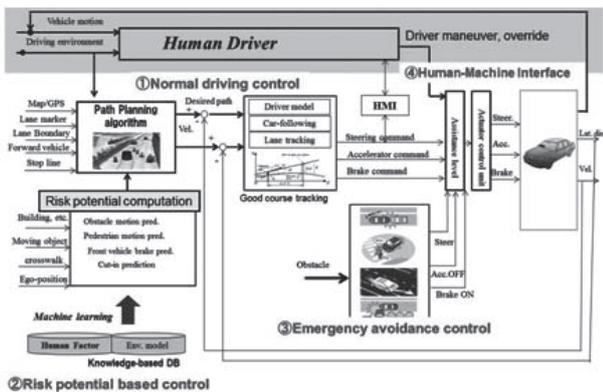


図 4 Main Structure of Control Oriented Driver

- (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

4) 自律運転知能システムの効果確認

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を特徴とする制御構造(図4)を持つ、本システムを実車に実装し、その効果を確認した。停車車両の先の見えない陰からヒトが飛び出す典型的な危険シーン(図5)で、熟練ドライバがリスクを先読みし、スピードを落として通過する様な知能的運転(いわゆる「かもしれない運転」)ができることを、プリウス改造実験車で検証できた。その結果を図6に示す。このリスクをポテンシャル場として先読みする制御を入れた場合は、50km/hの初速からクルマの運転知能が判断してスピードを落とし、見えない陰からの急な人の飛出しがあっても余裕を持って回避停止することができた。

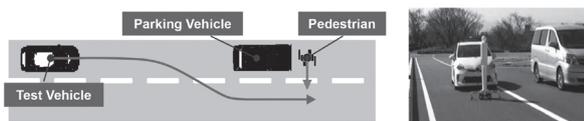


図 5 Typical Diving Scene which Needs Risk Prediction

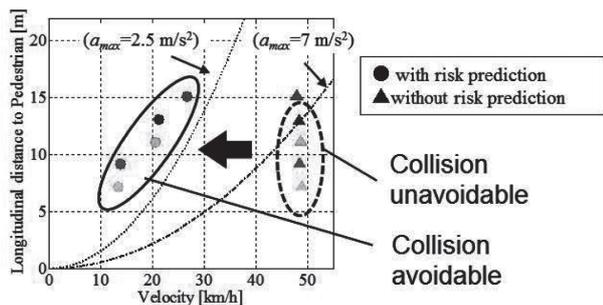


図 6 Effects of Risk Prediction Algorithm

さらに、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。

5) 制御介入の運転者受容性調査

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、からの分析をベースとした。また、目標となる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組み込み、危険回避制御システムの設計に反映した。図7にドライビングシミュレータで再現する実験シナリオ例を示す。

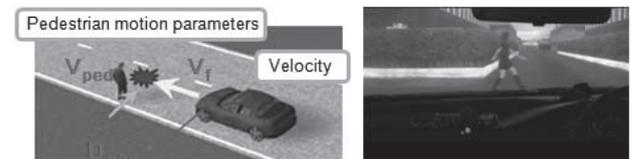


図 7 Accident Reconstruction Modeling

6. 今後の課題と進め方

1) Field Operational Test (FOT) による走行環境モデルと情報データベースの構築

ドライバと社会の受容性検討、そして実際の公道走行での機械学習等による運転知能の向上には、FOTの枠組みとビッグデータでの運転知能の構築も重要となる(図8)。

欧州 euroFOT では、現在の運転支援システムの効果実証を目的に、5年間に亘る産官学大型プロジェクトが既に実施された。この結果は、ユーザ使用時の課題を明確にし、今後の高度運転支援システム設計に反映していくものと予想される。我が国でも永井、鎌田らが進めた「ヒヤリハットデータベース」「地域密着の事故調査活動」等の手本となる実績がある[2]。これらを個別活動に留まらず融合し、産官学連携プロジェクトに昇華させていくことが期待される。現在、JARIを中心に、受容性実証 FOT の実現に向けて検討を進めている。

また、図8に示す様に、外部情報と自律センシング情報を融合し、機械学習的に運転知能(特に、走行環境の知覚・認知を中心とした Data Fusion Module の機能)を進化させていく必要がある。このため、自車位置を中心とした先方の走行環境モデルの構築(Horizon, Dynamic Map等)や情報・知識としてのデータベースをリアルタイムに使えるアーキテクチャの構築が重要となる。この点についても、欧州の産官学連携は強力であり、日本

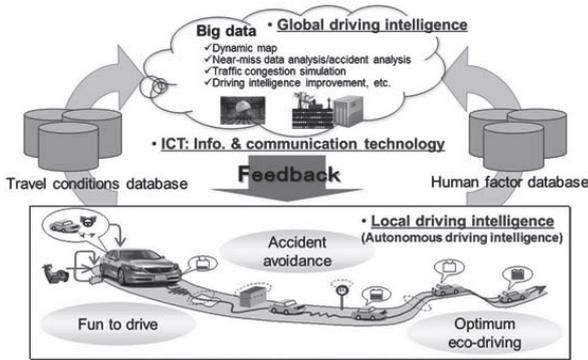


図 8 Global and Local Driving Intelligence Structure Vision

でも、本プロジェクトを起点として、プラットフォームや標準化を目指すテストベッド的な枠組みに発展させていきたい。

2) 実用化のための法規制，社会コンセンサスへの対応
 産業界の横連携，産官学連携の強化のために「FAST (Future Advanced Safety Technology) 研究会」を立ち上げた(鎌田が中心となって，S-イノベメンバに加え，他企業，自動車ジャーナリストも参加)。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等，All Japan 体制に貢献していければと考えている。

7. おわりに

以上，本プロジェクトのこれまでのステージ I の研究内容と今後の取組み課題と対応を紹介した。また，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。① ADAS から安全・衝突回避として進化する流れ，② ADAS から利便・快適として進化する流れ，③ 完全自動運転(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も確認できた。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。今後も，「課題解決先進国；日本」の実現のために本プロジェクトを推し進めていきたい。

参考文献

[1] Pogsathorn Raksincharoensak, : Autonomous Driving System to Enhance Safe and Secured Traffic Society for Elderly Drivers, 18th ITS World Congress, Orlando, Oct.16-20, 2011
 [2] 永井正夫, 井上秀雄, 鎌田実他: 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支援システム, LIFE2013, 特別オーガナイズドセッション「高齢社会を豊かにする科学・技術・システムの創成」講演資料 (2013)
 [3] Isogai, J., Shishikura, C., Hayashi, R., Raksincharoensak, P. and Nagai, M. : Autonomous Vehicle Motion Control System for Obstacle Avoidance Situations, Proceedings of AVEC'10 Symposium, pp. 326-331 (2010)
 [4] 平成 22 年 高齢者にやさしい自動車開発推進知事連合, 高齢者にやさしい自動車開発委員会合同会議資料 1 (2010), www.mlit.go.jp/common/000132671.pdf

【略歴】

井上秀雄 (INOUE Hideo)
 トヨタ自動車(株) 東富士研究所
 Future Project 部 先進自動車研究 主査 (部長級)
 1978 年早稲田大学理工学部卒業, 1998 年車両制御開発室長, 2004 年統合システム開発部長, 2008 先端先行技術企画室長 (部長級), ほぼ全ての車両制御システム開発に従事。2014 年より, 東京農工大 客員教授。

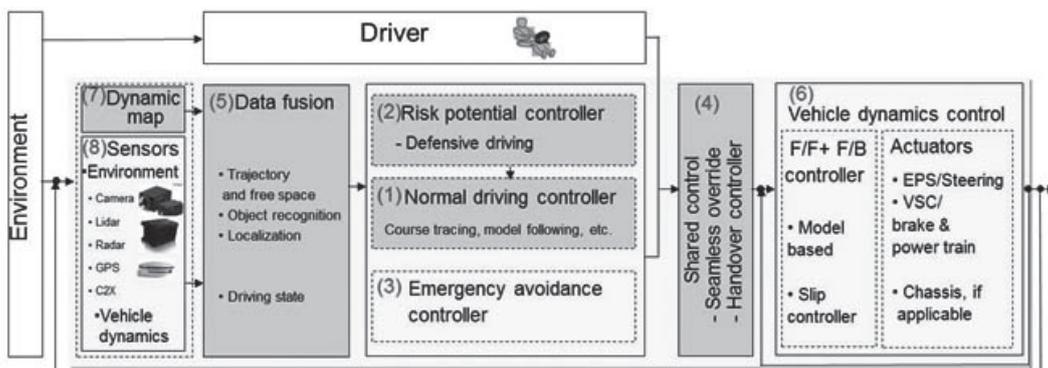


図 9 Structure of Driving Intelligence System