

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」

完了報告書

課題名：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

令和元年 10 月 16 日  
令和 2 年 5 月 31 日 改定

プロジェクトマネージャー  
機関名： 神奈川工科大学  
氏名： 井上 秀雄

1. 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」	1
2. 全体目標とステージ目標（ステージⅠ，Ⅱ，Ⅲ）	3
(1)全体目標	3
(2)ステージ目標	4
【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	4
【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	5
【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	6
3. 研究開発実施予定表	8
【ステージⅠ】	8
【ステージⅡ】	10
【ステージⅢ】	12
4. 研究開発成果と達成度（ステージⅠ，Ⅱ，Ⅲについての成果）	13
【企画調査研究期間】	15
【ステージⅠ】	20
①要素技術開発	20
②システム構築	25
③受容性評価	27
【ステージⅡ】	29
④運転支援システムの基本構成	29
⑤センサフュージョン	33
⑥熟練ドライバの運転知能モデル構築	36
⑦障害物回避制御のシステム設計・緊急回避ドライバモデルの開発	48
⑧実路走行データの収集と分析	49
⑨適応型HMIの開発(ロジック・機能等)	50
⑩支援ロジックの機能検証	55
⑫システム&ドライバレベルでの受容性検討	65
⑬社会レベルでの受容性検討	67
【ステージⅢ】	75
⑬社会レベルでの受容性検討	75
⑭実用段階のデータ蓄積と標準化	94
⑮さらなる高度化への研究開発	110
5. 競合技術との比較	142
6. 研究体制の状況と問題点	144

7. 情報共有について.....	145
8. 今後の計画 .....	146
9. その他(委託研究開始時から現在までの情報) .....	147
10. 中間評価を踏まえての対応, 改善点, 実用化に向けた取り組みなど.....	148
11. S-イノベでの研究開発を振り返って .....	149

付録: 「9. その他(委託研究開始時から現在までの情報) 詳細情報」

## 1. 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」

- (1) 課題名: 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
- (2) 実施期間: 平成23年1月1日 ~ 平成23年12月31日 (ステージⅠ(企画調査研究))  
 平成24年1月1日 ~ 平成25年3月31日 (ステージⅠ)  
 平成25年4月1日 ~ 平成29年3月31日 (ステージⅡ)  
 平成29年4月1日 ~ 令和2年3月31日 (ステージⅢ)
- (3) 参画機関名と経費実績:

### ステージⅠ

単位:千円

研究機関名	H22 年度	H23 年度 (4~12 月)	H23 年度 (1~3 月)	H24 年度	総額
トヨタ自動車(株)	928	5,500	1,485	15,412	23,325
(株)豊田中央研究所	0	345	172	2,637	3,154
東京農工大学	3,998	4,550	6,000	19,709	34,257
東京大学	0	4,550	5,843	20,000	30,393
総額	4,926	14,945	13,500	57,758	91,129

### ステージⅡ

単位:千円

研究機関名	H25 年度	H26 年度	H27 年度	H28 年度	総額
トヨタ自動車(株)	17,829	16,384	13,314	3,199	50,726
(株)豊田中央研究所	2,696	3,763	3,342	1,500	11,301
東京農工大学	26,000	25,131	26,000	20,800	97,931
東京大学	20,000	23,000	20,000	18,500	81,500
神奈川工科大学	-	-	-	4,001	4,001
日本自動車研究所	-	-	-	2,000	2,000
総額	66,525	68,278	62,656	50,000	247,459

### ステージⅢ

単位:千円

研究機関名	H29 年度	H30 年度	R1 年度		総額
トヨタ自動車(株)	0	0	0		0
(株)豊田中央研究所	1,001	495	495		1,991
東京農工大学	16,600	15,799	17,241		49,640
東京大学	23,270	19,001	20,443		62,714
神奈川工科大学	4,905	8,361	9,804		23,070
日本自動車研究所	5,725	5,325	998		12,048
総額	51,500	48,980	48,980		19,460

### ステージⅢ(自己資金)

単位:千円

研究機関名	H29 年度	H30 年度	R1 年度		総額
トヨタ自動車(株)	80,374	84,445	75,099		239,931
総額	80,374	84,445	75,099		239,931

(4) 研究リーダー／開発リーダー

研究リーダー名：永井 正夫(東京農工大学)(平成23年1月1日 ~ 平成28年3月31日)

開発リーダー名：井上 秀雄(トヨタ自動車) (平成23年1月1日 ~ 平成28年3月31日)

研究リーダー名：井上 秀雄(神奈川工科大学)(平成28年4月1日 ~ 令和2年3月31日)

開発リーダー名：水越 雅司(トヨタ自動車) (平成28年4月1日 ~ 平成29年3月31日)

開発リーダー名：遠藤 照昌(トヨタ自動車) (平成28年4月1日 ~ 令和2年3月31日)

## 2. 全体目標とステージ目標（ステージⅠ，Ⅱ，Ⅲ）

### (1)全体目標

#### 1) 確立を目指す「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(Human-Machine Interface)最適化技術**などが挙げられる。これらの最先端技術を合理的に統合し、一般に高齢者にも手に入れやすい廉価なクルマをターゲットに、高度な運転知能技術をもつ廉価なシステムの普及を目指す。

又、本技術は高齢化に伴う避けようのない身体能力の衰え(認知、判断、操作に関するもの)を支援し、安全で安心な運転を提供することを目標にするため、高齢者の特性、又、高齢ドライバとしての運転行動の調査・研究も入念に行い、的を射た技術にしていく。更に、高齢化に対する運転能力の衰えの評価指標を構築し、(本運転知能技術により)どの程度の高齢ドライバまで安全・安心な運転できるか、の目安も構築していきたい。

活用用途としては5年程度で市場投入できる、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、年間で万のオーダーの普及を想定しているが、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)「産業創出の礎となる技術」の確立を目指す理由、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、あくまで運転者が主で機械支援が従である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と考えている。

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て自動ブレーキによる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り、条件が整った場合のみでの効果となっている。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、米国のアーバンチャレンジ、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。

#### 3)最終的に目指す「アプリケーション」(製品・サービス)

ロボット技術を用いた自律運転知能により、運転者の通常の運転操作から制御介入できる様にし高齢ドライバの認知、判断、操作の遅れ等をカバーする。急な飛び出し時などの危険回避だけでなく、交差点や停車車両の陰からの飛び出しを考えた、所謂、「かもしれない運転」をできる運転知能を構築していく。最初の段階では、高齢者の日常生活エリアでの比較的低速走行から実現し、ステップを置いて領域を拡大していく。以下の場面の機能を基本的に有するものとする。

- ・ 先行車への追突回避
- ・ 自転車や歩行者への衝突回避(対象物の動きの予測を含む)

- ・ 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

更には、高齢者の苦手な運転シーン(発進・停止のペダル踏み間違え、交差点の右左折 等)へも本運転知能は対応していく。

車両単独の自律制御による運転支援を基本とするが、より実現性を高めるために、先行車の障害物回避情報や信号機等のインフラ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と判断した場合には、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についても研究し、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をゼロにする。

## (2)ステージ目標

### 【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

#### ① ステージ目標：要素技術開発

##### 問題点：

- 1) 外界障害物、走路認識等で普及に向けた(高機能かつ低コスト)センサ原理に革新技術が不足している。
- 2) さまざまな場面で危険を先読みして危険回避ができる自律運転知能をあらゆる高度なドライバモデルがない。

##### 解決策：

- 1) MEMS 技術を応用した革新的なスキャニングレーザーセンサ及び、カメラ画像認識技術の応用の高度化を図る。
- 2) 高齢者の運転限界を判断する適応型ドライバモデルを構築し、高齢運転者の運転能力を過去の運転データから診断し、その運転特性値に適応した高度運転支援システムの開発に結びつける。
- 3) 潜在的危険を予測できる先読み学習型運転知能を開発し、第 1 ステップでは、1.0 秒程度の将来リスクを常に予測し、速度 30km/h 以下では自動停止、自律的に危険を回避しうるシステムのための予測技術を確立する。

#### ② ステージ目標：システム構築

##### 問題点：

- 1) 高齢者の運転機能低下を補うには、機械がうまい運転者の運転を励行できる高度な運転知能、自動運転技術が必要だが、ここまで踏み込んだ開発が無い。
- 2) 既に多くのクルマに普及している電動パワーステアリング EPS、横滑り防止装置 ESC(VSC)、エンジン制御(又電気自動車(EV)のモータ制御)などブレーキ/操舵/エンジンのアクティブ制御技術があるにも拘らず、多機能ではあるが、複雑化しており、制御系の普及/標準化に向けたプラットフォーム技術が進展していない。

##### 解決策：

- 1) 上記①で開発する各種の先端センサ技術、熟練ドライバモデル、危険予知判断アルゴリズム、および知識データベースによる経験知、リスクポテンシャルロジック、等の先進技術を統合して、

危険回避を実現する全体システム設計を行う。

- 2) 特に、様々なシーンに適用可能で、かつ高齢運転者が危険回避不可能と判断した時にのみ制御介入するアルゴリズムの開発を行う。
- 3) 歩行者や自転車などの交通弱者の動きを捉えるリスク知覚、状況判断ロジックを構築する。
- 4) 特に、スモールクラスのクルマでも使える ブレーキ/操舵/エンジン制御プラットフォームの標準構造の構築を行い、プロトタイプ車で確認する。

### ③ ステージ目標： 受容性評価

問題点：

- 1) 緊急時には、機械が回避できることを狙うが、高齢者もリスクを減らす運転行動が重要。この為の高齢者の運転行動の研究と HMI 技術は不十分。また、このようなシステムの実用化にむけて、監督官庁等との協議が必要。

解決策：

- 1) ドライビングシミュレータを使った高齢運転者の運転行動の基礎研究
  - 2) 又、特に、操作を間違えにくい操作系の HMI 技術の開発
  - 3) ITS 通信技術の導入での安全走行経路誘導 等の技術開発
  - 4) 監督官庁との協議により、実現可能なシナリオを検討
- 以上を実施することを通して、プロトタイプ車を開発し、公道実験に繋げる。

## 【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

ステージⅠで設計した自律運転知能システムの基本構成(センサフュージョン、熟練ドライバモデル、運動制御)を用いて運転支援システムを構築しプロトタイプ車両を完成する。また、システム単体レベルにおける運転支援システムの機能検証からドライバ・システムレベルにおける支援効果検証まで、DS、模擬市街路、公道実証実験(FOT)を行い、技術的課題を抽出し、実用性の高い運転支援システムの開発を行う。最後に、社会への導入シナリオを検討し、市販化準備を行う。

### ④ ステージ目標： 運転支援システムの基本構造

問題点： 実環境での評価・適合が必要である。

解決策： プロトタイプ車両を完成させ、実環境でのシステム評価を実施する。

### ⑤ ステージ目標： センサフュージョン

問題点：

- 1) 要求性能を満足できるセンサシステムが無い。
- 2) 個別センサを寄せ集めるだけでは、必要な周辺環境認識・予測が行えない。

解決策：

- 1) 高機能で普及可能な新センサシステムの開発を推進し、機能検証を行う。
- 2) 歩行者の行動予測ロジックを開発し、機能評価を行う。
- 3) 地図情報も含め周辺環境情報センサフュージョンシステムを構築し機能検証を行う。

### ⑥ ステージ目標： 熟練ドライバの運転知能のモデル構築

問題点：

- 1) 基本走行のドライバモデルの実環境評価が必要である。
- 2) 潜在リスク予測ドライバモデルのリスクポテンシャルロジックが定式化されていない。

解決策：

- 1) プロトタイプ車両による機能評価を行い基本走行のドライバモデルを完成させる。
- 2) 走行実験データに基づきリスクポテンシャルのパラメータを同定しその妥当性を検証する。



**⑦ ステージ目標： 障害物回避制御のシステム設計(緊急回避ドライバモデルの開発)**

**問題点：** 様々な走行シーンに対応できる制御介入アルゴリズムが必要である。

**解決策：** 対応シーンごとに機能評価を実施する。

**⑧ ステージ目標： 実路走行データの収集と分析**

**問題点：** 単純な統制環境下では外界環境認識システムの十分な動作検証が行えない。

**解決策：** 福井県大野市や千葉県柏市等でセンサ類を搭載した車両を走行させ、オフライン開発のためのリファレンスとなる実路走行データを収集する。

**⑨ ステージ目標： 適応型 HMI の開発**

**問題点：** 数秒前から支援するため、操舵・アクセル・ブレーキの制御とドライバの入力及びドライバへの反力制御の十分なロジックが出来ていない。

**解決策：**

- 1) 操舵・アクセル・ブレーキオーバーライドロジックの研究開発を本格的にスタートさせる。
- 2) 表示機能の開発と、ドライバの受容性・わかり易さの研究を共にスタートさせる。

**⑩ ステージ目標： 支援ロジックの機能検証**

**問題点：** プロトタイプ車両を用いた公道実験に入る前に、模擬実験設備での機能検証が必要である。統制された実験路だけでは十分なセンシング・認識システムの性能評価・改善が行えない。

**解決策：** 模擬市街路でセンシングシステムや外界認識システムの性能評価を信頼性を含めて進めていく。

**⑪ ステージ目標： ドライバ運転行動の受容性検討**

**問題点：** ドライバが危険と感じる前に支援・介入した場合の干渉・違和感の評価が必要である。

**解決策：**

- 1) DS や模擬市街路実験での制御タイミング・制御量に関して介入方針を決定する。
- 2) DS や模擬市街路にて介入制御を評価し、干渉・違和感等の課題を抽出し改善する。
- 3) FOT での制御介入機能の仕様を作成する。

**⑫ ステージ目標： システム&ドライバレベルでの受容性検討**

**問題点：** 実際に特定地域でマイクロ事故のデータに基づき運転支援システムの効果を検証する枠組みがない。

**解決策：** プロトタイプ実験車を公道で走行し、センサ・認識系の性能評価および支援システムの機能検証を行う。並行して、ドライブレコーダによる走行データを記録し、運転支援システムの有無による運転者の運転行動変容等を観察することと、走行環境および緊急時のドライバ特性をデータベース化することで、効果予測技術につなげていく。

**⑬ ステージ目標： 社会レベルでの受容性検討**

**問題点：** ビジネス性を評価しないと商品化に進まない。社会・ユーザ・国家機関への訴求活動が必要。

**解決策：**

- 1) 確立した技術や事故再現モデル等によるシミュレーションをもとに、事故低減効果を予測し、費用対効果を明確化する。
- 2) 監督官庁等との協議により法規要件等を明確にしていくとともに、グローバル機関との連携から標準化を検討する。
- 3) 市販化にむけて、情報のセキュリティへの対応や、社会的課題への対応を行っていくとともに、産官学連携のもと高齢ドライバへの訴求活動を進める。

**【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**

ステージⅡで実装した自律運転知能システムのプロトタイプ車両を用いた公道実証実験(FOT)を行う。

公道や高齢ドライバ特有の課題を整理, さらなる改良を加える.

本提案システムの特徴であるリスク予測制御やシェアード・コントロールの精度向上へ向け, 実用段階のデータを蓄積, 自律運転知能システムの評価法(安全性や受容性, 過信と不信他)や評価指標を提案する.

⑬ ステージ目標: 社会レベルでの受容性検討

問題点: 商品化に向けては社会的課題抽出と対応の検討・整理・明確化が必要.

解決策:

- 1) 提案システムの導入シナリオを作成し, 法規要件等の課題を整理する.
- 2) 提案システム導入に於ける受容性や安全性, 提案システムに対する過信や不信の評価法を検討し, 評価指標を明確化する.

⑭ ステージ目標: 実用段階のデータ蓄積と標準化

問題点: 知能化の進化に合せ, リリース当初の不具合リスクは高まる. 様々な運転場面に応じた継続的改良が必要.

解決策:

- 1) Pilot-FOT を実施, 公道特有の問題(外界環境, 高齢ドライバの運転)を解決する.
- 2) 膨大なデータ蓄積のための構造を設計し, FOT を実施し実用段階のデータを蓄積する.
- 3) 得られたデータにより評価指標を精査, 蓄積するデータの標準化を図る.

⑮ ステージ目標: さらなる高度化への研究開発

問題点: リスク予測技術やシェアード・コントロールの適合など, 下記のような個別研究を高度化させると共に, 統合的に試験・評価する環境が必要.

- ・ヒヤリハットクラウドの構築
- ・リーン地図利用とデッドレコニングによる走路生成精度向上
- ・熟練ドライバモデルをベースとしてリスク予測制御技術の精度向上
- ・オントロジーアプローチの危険度推定の精度向上
- ・シェアード・コントロールの公道及び高齢ドライバへの適合

解決策: 以下のような統合環境を構築, さらなる研究の飛躍を図る.

- ・Pre-FOT                    JARI-ARV, 模擬市街路
- ・Pilot-FOT                公道(コース限定), 高齢ドライバ(N = 20 以下)  
                                  ※FOT 実験車両 3 台
- ・FOT                        高齢ドライバによる公道での適合  
                                  ※FOT 実験車両 10 台  
                                  (内訳: 公道での適合用実験車両 3 台  
                                  バックアップ用 1 台  
                                  機能検証車両 6 台)

### 3. 研究開発実施予定表

#### 【ステージⅠ】


年度	H22 (2011/1- 2011/3)	H23 (2011/4- 2011/12)	H23 (2012/1- 2012/3)	H24 (2012/4- 2013/3)	マイルストーン(目標値など)
ステージ区分	I(企画調査)	I(企画調査)	I	I	
研究開発項目					
■ 企画調査検討期間					
1) 全体の戦略設定とロードマップの明確化(全メンバ)	←	▽ ▲			目標:戦略とロードマップ作成完了(達成時期:H23.12月)
2) センサ等の要素技術見通し(トヨタ・豊田中研)	←	▽ ▲			目標:外界センサ必要要件の明確化(達成時期:H23.12月)
3) 熟練ドライバモデルの基本設計(農工大)	←	▽ ▲			目標:熟練ドライバモデルを内蔵する自動運転システムの設計指針(達成時期:H23.12月)
4) 制御介入の運転者受容性評価(農工大, 東大)	←	(1)▽ (1)▲			(1)目標:DS上でリアルワールド危険場面の再現(達成時期:H23.12月(計画))【農工大分】
	←	(2)▽ (2)▲			(2)目標:受容性評価の論点整理と実験シナリオ設定(達成時期:H23.12月)【東大分】
5) 高齢者の日常生活範囲の定義づけ(東大)	←	▽ ▲			目標:福井県大野市での高齢者生活圏内の道路環境の整理(達成時期:H23.12月)
① 要素技術開発					
6) 運転支援システムの基本構成(トヨタ自動車(全研究機関と協力)) (2)(3)は当初計画に追加した内容			←	(1)▽ (1)▲	(1)目標:基本システム構成設計完了(達成時期:H25.3月)
			←	(2)▽ (2)▲	(2)目標:対応シーン整理と評価優先順位の決定完了(達成時期:H25.3月)
			←	(3)▽ (3)▲	(3)目標:共通プラットフォームの構築基本設計完了(達成時期:H25.3月)

7) 要素技術開発(豊田中研)			←	▽ ▲	目標:センサ系システムの技術課題抽出(達成時期:H25.3月)
8) 受容性検討(豊田中研)			←	▽ ▲	(1)目標:運転支援システム実証実験の課題抽出と対応立案(達成時期:H25.3月)
② システム構築					
9) 熟練ドライバの運転知能のモデル構築(農工大, 豊田中研)			←	(1)▽ (1)▲	(1)目標:熟練ドライバモデルの制御構造の構築(達成時期:H25.3月)
			←	(2)▽ (2)▲	(2)目標:熟練ドライバの運転特性の明確化(達成時期:H25.3月)
10) 障害物回避制御のシステム設計(農工大)			←	▽ ▲	目標:ハードウェアプラットフォーム構造の設計と単路における制御介入システムの構築(達成時期:H25.3月),
③ 受容性評価					
11) DSによる制御介入の受容性評価(農工大)			←	▽ ▲	目標:DS上でブレーキ制御介入の実装と実験(達成時期:H25.3月)
12) 外界障害物の検出と予測(東大)			←	▽ ▲	目標:オフライン処理での検出及び予測システムの完成(達成時期:H25.3月)
13) 実路走行データの収集と分析(東大)			←	▽ ▲	目標:福井県大野市でのプロトタイプセンサシステムでのデータ収集(達成時期:H25.3月(計画))
14) 高齢ドライバの受容性評価とシステムの社会受容性の検討(東大)			←	▽ ▲	目標:高齢ドライバ属性評価法の整理と受容性初期評価(達成時期:H25.3月)

表中の記号は以下を示す  
 矢印: 研究開発項目の実施時期(←はステージⅡへ続く項目)  
 ▽: マイルストーンの時期  
 ▲: マイルストーン達成時期  
 ▲数字%: 報告時点での達成度

【ステージⅡ】

ステージ区分	年度	H25	H26	H27	H28	マイルストーン(目標値など)	達成度
		Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ		
研究開発項目						産学連携強化へシステムを再構築, ベース制御部をMABXに集約, 運転知能&車両制御をROS上に配置	
④ 運転支援システムの基本構成 (担当機関: トヨタ(全研究機関と協力))		▽ ▲				目標: コムスとプリウスを利用したプロトタイプの完成 (達成時期: H26.3月(計画))	240%
⑤ センサフュージョン (1) 高性能な新センサ (2) 動き予測技術開発 (3) センサフュージョン(検出性能・認識性能・信頼度の向上) (担当機関: トヨタ・豊田中研・東大)			(1)▽ ▲			(1) 目標: 新センシングシステム機能検証完了 (達成時期: H27.3月(計画))【主担当: 豊田中研】	100%
			(2)▽ ▲			(2) 目標: 想定単純シナリオでの歩行者行動予測の達成 (達成時期: H27.3月(計画))【主担当: 東大】	100%
				(3)▽ (3)△		※リーン地図利用 日本初	(3) 目標: センサフュージョン機能検証完了 (達成時期: H28.3月(計画))【主担当: トヨタ・豊田中研】
⑥ 熟練ドライバの運転知能モデル構築 (1) 基本走行ドライバモデル開発 (2) 潜在リスク予測ドライバモデル開発 (担当機関: 農工大・トヨタ・豊田中研)		(1)▽ ▲				(1) 目標: プロトタイプ車両でのリスクポテンシャル予測による基本走行モデルの完成 (達成時期: H26.3月(計画))【主担当: トヨタ・農工大】	100%
				(2)▽ ▲		※リスク予測技術	(2) 目標: 知識ベース潜在リスク予測ドライバモデルの完成 (達成時期: H29.3月(計画))【主担当: 農工大】
⑦ 障害物回避制御のシステム設計・緊急回避ドライバモデルの開発 (担当機関: 農工大・トヨタ)		(1)▽ ▲				(1) 目標: 車線逸脱, 交差点出会い頭における回避制御システムの設計と検証 (達成時期: H26.3月(計画))【主担当: 農工大・トヨタ】	100%
			(2)▽ ▲				(2) 目標: 障害物回避制御の性能改善 (達成時期: H27.3(計画))【主担当: 農工大】
⑧ 実路走行データの収集と分析 (担当機関: 東大)		▽ ▲				目標: 福井県大野市と千葉県柏市での想定実路データの収集完了 (達成時期: H26.3月(計画))	100%
⑨ 適応型HMIの開発(ロジック・機能等) (1) 操舵・アクセル・ブレーキオーバーライド機能開発 (2) 表示機能の開発(走行状態・リスク状況等) (担当機関: 豊田中研・東大・農工大・神奈川工大・トヨタ)				(1)▽ ▲		(1) 目標: オーバライドロジックの開発完了 (達成時期: H29.3月(計画))【主担当: 豊田中研・農工大】	180%
					(2)▽ ▲	※世界初の Shared Control を開発	(2) 目標: 表示機能の開発完了 (達成時期: H29.3月(計画))【主担当: トヨタ・東大・農工大】

-⑩支援ロジックの機能検証 ・センサ&センサフェージョンの機能検証など (担当機関:トヨタ・豊田中研・東大・農工大)		(1)▽	[⑧]	[⑤(3)]	(1)目標:模擬市街路でプロトタイプ車両のセンサ系評価 (達成時期:H27.3(計画))【主担当:トヨタ・豊田中研】	100%	
			(2)▽	[⑤(2)]	(2)目標:模擬市街路等での天候・明るさに対する外界認識システムのロバスト性向上 (達成時期:H28.3(計画))【主担当:東大】	150%	
					(3)▽	(3)目標:模擬市街路等での複合シナリオでの歩行者行動予測の達成 (達成時期:H29.3(計画))【主担当:東大】	100%
⑪ドライバ運転行動の受容性検討 ・ドライバへの支援効果検証 (担当機関: 豊田中研・東大・トヨタ・農工大・)  Shared Control 評価を実施中 (受容性評価)		(1)▽			(1)目標:DS/模擬市街路実験での制御介入方針決定 (達成時期:H26.3(計画))【主担当:豊田中研・東大】	100%	
			(2)▽	[⑨]	(2)目標:DS/模擬市街路実験でユーザ干渉問題の解決 (達成時期:H27.12(計画))【主担当:東大】	100%	
			(3)▽	△	Shared Control	(3)目標:DS/模擬市街路試験でFOT車両の制御介入機能の仕様策定 (達成時期:H28.3(計画))【主担当:農工大・豊田中研】	200%
⑫システム&ドライバレベルでの受容性検討 ・公道での機能検証・支援効果検証 (担当機関: 東大・農工大・トヨタ・豊田中研・JARI)		(1)▽	[⑧]		(1)目標:想定市街地の調査完了 (達成時期:H27.3月(計画))【主担当:農工大・東大】	100%	
			(2)▽	[⑤(3)]	(2)目標:想定市街地でセンサ・認識系のロバスト性検証 (達成時期:H28.3月(計画))【主担当:東大】	120%	
					(3)▽	(3)目標:想定市街地で制御介入の機能検証・支援効果検証 (達成時期:H29.3月(計画))【主担当:農工大】	100%
⑬社会レベルでの受容性検討 ・社会への波及効果予測・導入シナリオ策定 (担当機関: 農工大・東大・トヨタ・豊田中研・神奈川工大・JARI) (1)(2):ヒヤリハットデータクラウド・事故再現モデル構築による事故低減効果予測 (3)(4):情報セキュリティ指針の決定 (5)(6):社会的課題抽出と対応			(1)▽	∴	(1)目標:ヒヤリハットデータクラウドの構築と事故低減率の推定 (達成時期:H29.3月(計画))【主担当:農工大】	150%	
				(2)▽	(2)目標:常時記録ドラレコを活用した社会実験による効果推定 (達成時期:H27.3月(計画))【主担当:東大】	100%	
				(3)▽		(3)目標:個人情報保護のためのセキュリティ指針の決定 (達成時期:H28.3(計画))【主担当:トヨタ・豊田中研】	100%
					(4)▽	(4)目標:ガイドラインの草案完成 (達成時期:H29.3月(計画))【主担当:トヨタ・豊田中研】	100%
				(5)▽		(5)目標:導入における社会的課題抽出完 (達成時期:H28.3月(計画))【主担当:東大・トヨタ】	100%
					(6)▽	(6)目標:社会受容性をふまえた導入シナリオの作成と法規要件等の検討 (達成時期:H29.3月(計画))【主担当:東大・トヨタ】	100%

### 【ステージⅢ】

ステージ区分	年度	H29	H30	H31	マイルストーン(目標値など)	達成度
		Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ		
<b>研究開発項目</b>						
⑬ 社会レベルでの受容性検討						
・ヒヤリハットデータ解析:要因寄与の統計的分析					(1)目標:危険度(高・中・低)の判断指標の明確化 (達成時期:H30.9月(計画))【主担当:農工大】	100%
・社会的課題抽出と対応					(2)目標:導入シナリオの作成と法規要件等の検討 (達成時期:H30.9月(計画))【主担当:東大・トヨタ】	100%
・Pre-FOT環境の構築					(3)目標:Pre-FOT環境構築(JARI-ARV、実験車両技術 (Mix reality experimental vehicle)、その他模擬市街路) (達成時期:H30.3月(計画))【主担当:JARI・東大・神工大】	120%
・評価指標の明確化 (担当機関:農工大・神工大・トヨタ 全研究機関と協力)					(4)目標:新標準評価法(受容性、安全性、過信と不信等) (達成時期:H31.12月(計画))【主担当:全研究機関】	100%
⑭ 実用段階のデータ蓄積と標準化						
・FOT準備(計画、実験車両他)					(1)目標:FOT計画立案, FOT車両準備 (達成時期:H31.3月(計画))【担当:トヨタ】	100%
・Pilot-FOT実施, 公道特有の問題の確認 公道(コース限定)・高齢ドライバ(N20以内)					(2)目標:FOT実施詳細計画(FOTへ向けた課題と対策) (達成時期:H31.3月(計画))【主担当:トヨタ・東大・農工大・神工大】	100%
・FOT実施, 評価指標の精査 (担当機関:全研究機関)					(3)目標:新標準評価法の検証, データ蓄積及び活用 (達成時期:H32.3月(計画))【主担当:全研究機関】	100%
⑮ さらに高度化への研究開発						
・公道評価を通じての実用化に向けた技術開発の推進					(1)目標:ヒヤリハットクラウドの構築 (達成時期:H31.9月(計画))【主担当:農工大】	100%
・知覚・認識システムの精度向上 (慣性航法, 画像/リーク地図利用での精度向上)					(2)目標:リーク地図利用とデッドレコニングによる走路生成精度の向上 (達成時期:H31.9月(計画))【主担当:東大・神工大・トヨタ】	100%
・リスクポテンシャルによる熟練ドライバモデルの高度化					(3)目標:リスク予測制御技術の精度向上 (達成時期:H31.9月(計画))【主担当:中研・農工大・トヨタ】	100%
・オントロジーアプローチの運転知能					(4)目標:危険度推定の精度向上 (達成時期:H32.3月(計画))【主担当:東大・トヨタ】	100%
・公道及び高齢ドライバによるシェアード・コントロール評価 (担当機関:全研究機関)					(5)目標:公道及び高齢ドライバによる実用化へ向けた適合 (達成時期:H31.9月(計画))【主担当:トヨタ・神工大】	100%

#### 4. 研究開発成果と達成度（ステージⅠ，Ⅱ，Ⅲについての成果）

自律運転チームは、「先読み運転知能」、そして完全自動運転ではない「シェアード・コントロール」型の高齢者向け運転支援システムのため自律運転知能システムを研究開発してきた。

運転階層は3つに分ける事ができる。我々が焦点を当てた運転階層は、2層目のかもしれない運転の階層である。1層目の通常運転は、LKA、ACCなどの支援技術が既に上市されている。一方で3層目の緊急回避運転は、AEBSやESCなどの支援技術が普及されている。我々は、熟練ドライバモデルの運転行動に着目し、熟練ドライバが実施するリスク予測、そしてその予測に応じた先読み運転を具現化する自律運転知能システムを目標とした。

上記の目標より、本プロジェクトでは、ヒヤリハットデータベースが大変重要な意義を持った。意志あるデータ（単純な大規模データではない）として、詳細な分析、それに基づくリスク予測アルゴリズムを研究した。

10年プロジェクトを3つのステージで構成した。ステージⅠは原理・要素研究の基礎フェーズ、ステージⅡはプロトタイプ車両構築の応用フェーズ、ステージⅢは公道実証&テーマ進化の評価フェーズとした。

実用化に向け、基礎・応用・評価を10年サイクルで研究開発を進めた。

具体的なユースケースシナリオは、ステージⅠで実施した22シーンの分析結果に基づく、

5つのシーンであった。そしてこの内、見通しの悪い交差点・駐車車両からの歩行者飛び出し、一時停止線停止の3つのシーンに焦点をあて、プロトタイプ車両の構築、そしてFOTを実施した。

この自律運転知能システムで目指した機能は、第一に「かもしれない運転による交通事故の低減」とした。第二に「運転能力の維持・向上」とした。これらを人間中心の運転系で構築することを目指した。

高齢ドライバを対象としたアンケートからは、高齢者は日常的に使う生活道路での支援を求めている。また高齢者自身が運転をしている形態の中での支援を期待していることが、明らかとなっている。このような背景から、運転の代行として期待できるMaaSライクな完全自動運転ビークルとは別の形態である、シェアード・コントロールビークルをシステムの形態目標として定義した。

上記の根幹となるSイノベーションは、高齢社会課題の解決としての「運転寿命の延伸」であった。これは、日本独創のイノベーションである。そして日本版産学官連携構築は、重要なキーワードとなった。研究成果をグローバルな社会貢献へ結実させるべく、本プロジェクトの産側は、研究成果の実用化に対して、重要な責務を負った。この実行に向け、トヨタ自動車は、本プロジェクトに対して選任の実務開発部隊を据えた。

以上から、我々は、当初計画からブレない6つの世界トップを創出した。

- 1) ヒヤリハット Data Base による危険予知 AI  
⇒これは、意志あるデータ分析であり、大規模な成り行きデータ取りではない。
- 2) 運転リスク予測制御技術  
⇒新しいアプローチ、リスクを予測するというチャレンジのある研究
- 3) 産学連携で一元化した開発環境  
⇒Closed Open Style. 共通の研究アーキテクチャ(実験車システム環境)
- 4) 人間・機械協調運転技術  
⇒高齢者のモチベーション維持と向上  
アンケートから運転支援を望んでいる。この期待とマッチする技術である。
- 5) リーン地図利用の環境認識技術  
⇒一般道をシンプルな構成で(価格)で高齢者に使ってもらおう。  
地方の高齢者が対象であった。高精度3D地図の整備は難しい。  
高齢者につかってもらおう提案として、本フレームワークを考案した。
- 6) 若きリーダーエンジニア育成

以下、ステージⅠ～Ⅲの主要研究成果を示す。各項目はいずれも上記①～⑥に繋がる技術成果である。

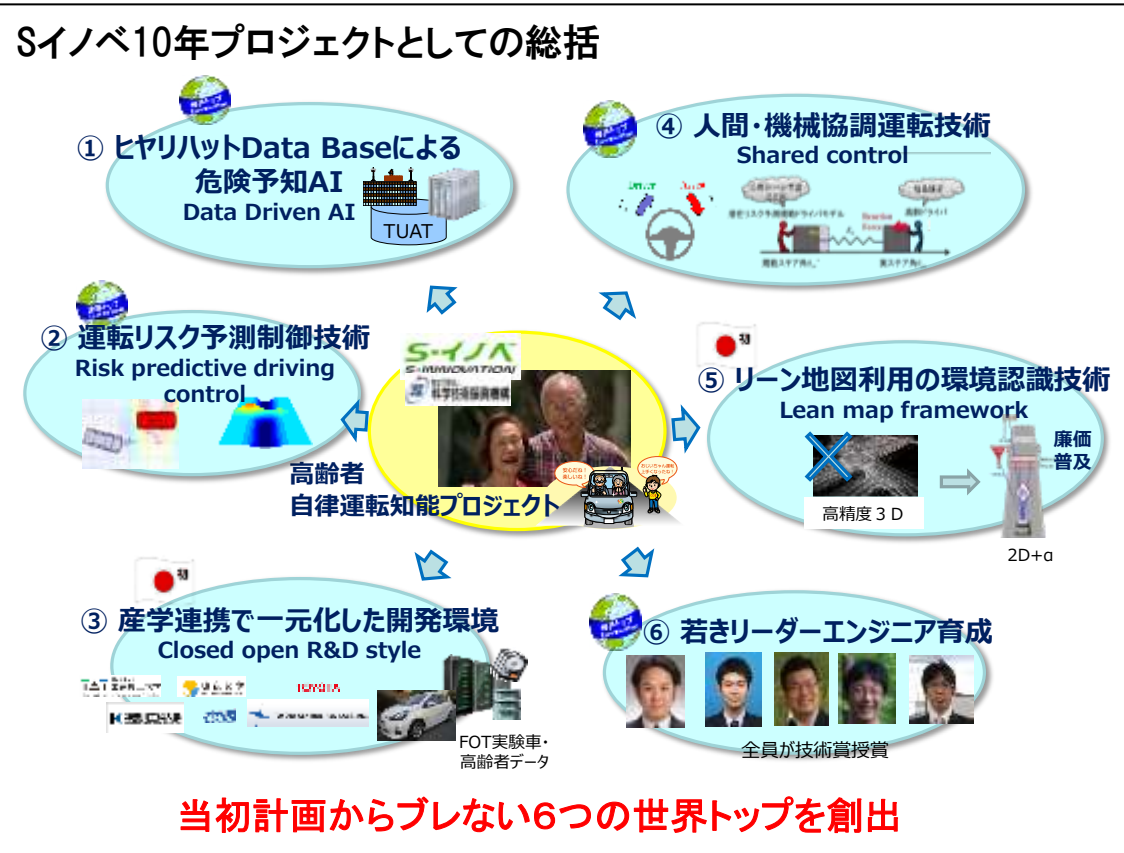


## Sイノベが目指す自律運転知能システムの特徴



4

## 運転の階層とSイノベが目指す自律運転知能システムの特徴



Sイノベ10年プロジェクトとしての総括(6つの世界トップ)

**【企画調査研究期間】**

**1) 全体の戦略設定とロードマップの明確化(全研究機関)【達成度 100%】**

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 1)~6)に反映した。

**(1) 高齢者のための知能化運転支援システムのコンセプト設計**

(システムの要求要件, 仕様の明確化)

**A) 高齢者の運転特性からのシステム要求要件のポイント**

高齢者の運転特性	要求要件
・高齢になるに従って警報だけでは回避できない割合が増える	・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	・ペダル踏み間違い防止機能(発進時の障害物検知でのブレーキ制御介入等)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、必要なときに介入する「機械と人間のコラボシステム」であるべき ・おせっかいに感じさせない、ドライバ運転状態に応じた適応的な制御介入が必要

**B) 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、障害物はもちろんのこと、歩行者および自転車認識技術も重点をおく
・人对クルマ事故は「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、ライト技術など)
・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	・実用化を急ぐため、第1ステップを 30km/h までの回避(ブレーキ制御介入等)を必須、第2ステップで~70km/hまでの拡張をめざす

以上の要求要件は、ほぼ当初狙っていた点であるが、これまでの背景データの整理・分析で特徴を確認できた。

**(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)実験データからの分析の強化が必要であることがわかった。また、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」など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)」「日本学術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

● 「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。

● 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」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。

● 本テーマの重要性をグローバルに伝えるため訴求活動の実施

日本の安全・安心ブランド向上に貢献するため、企画調査研究および本格研究段階で、ワークショップ開催を計画した。

(5) ゴールとロードマップの明確化

Smart Mobility		'12	フェーズ I	'15	フェーズ II	'18	フェーズ III
I モノ 車両	IAM (Intelligent Autonomous Mobility)						
	システム ADAS-1 ……シーン別対応(例 発進・停止A)						
	ADAS-2						
	ADAS-3 (Autonomous Driver Assistance System)						
II 人間	ADAM Reserch (Autonomous Driver Assistance Model)		ADAMO		ADAM①		ADAM②
	DS (Driving Simulator)		DS①		DS②		DS③
III 受容性 実験	FOT (Field Operational Test) 検討地域 (豊田市)		FOTO		FOT①		FOT②
	IV 制度 法	渉外活動 (評価法、標準化、規制対応…)		評価法検討		標準化検討	
	FAST研究会						

受容性  
検討

(6) プロトタイプ車の効率的製作のための事前検討(企業側、大学側のノウハウのマージ 等)

・ 本メンバのこれまでのプロトタイプ車に関係するノウハウ財産は、以下の通りである。

- 1) 自律危険回避システム : 超小型電気自動車コムス改造車(農工大)
- 2) 歩行者検知プリクラッシュセーフティシステム改造車(トヨタ)
- 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(豊田中央研究所)
- 4) ペダル踏み間違い防止ブレーキオーバーライドシステム搭載車(製品化済)(トヨタ)
- 5) 自動運転技術プラットフォーム改造実験車(トヨタ)

これらは、個別活用でも、当面の評価検討、ドライバ運転行動研究にある程度は有効活用できることがわかった。

2) センサ等の要素技術見通し(トヨタ自動車・豊田中央研究所) 【達成度 100%】

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、および得られう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。

・電波レーダ: 距離や方位を知ることができるアクティブセンサ(センサから何らかのエネルギーを出力して検出対象に照射し、反射してきたエネルギーを検出する方式のセンサの総称)

- 天候に左右されにくく検出対象が車両であれば比較的遠距離(150m前後)まで検出可能。
- 距離と相対速度が直接検出でき、その精度が高いことが特長。

- 一方、欠点として横方向の分解能が低いことや検出対象が歩行者の場合の感度が比較的低い。
- ・カメラ画像を用いた画像認識：
  - 電波レーダに比べ像(イメージ)を得ることができる反面、対象物が遠方になるほど距離精度が悪化。
  - 外界の照度変動の影響(外乱)を受けやすい、夜間のシーンに弱い。

- ・レーザレーダセンサ：
  - アクティブセンサの部類に属し、外乱を受けにくく夜間でも十分機能するなどの特徴を持つ。
  - 距離検出は光の飛行時間から算出する原理から、広い距離範囲に渡り精度が確保しやすい。
  - 解像度は、現段階で電波レーダとカメラ画像の中間に位置し、歩行者検出の能力もある。
  - 今後研究開発が進めば、カメラ画像に近づくレベルまで改良が進むことが期待できる(図1)。
  - 反射強度を輝度値に置き換えれば、カメラ画像の代用としても活用できる可能性がある(図2)。

以上のことから、レーザレーダセンサは、電波レーダの環境変化に強い、距離精度が高いといったアクティブセンサならではの良い点と、カメラ画像のような高い空間解像度を併せ持つポテンシャルを持つ(表1)。この成果より、レーザレーダセンサが本格研究段階の主要センサとして位置づけられるべきであると考えられる。

以上のことから、解像度、横方向精度、距離精度、視野角などへの要求が決まってくる。トヨタ自動車においてフィージビリティスタディ用に試作したプリウススペースの自動運転実験車における外界センサの仕様要件をまとめた(表2)。将来の小型・低コスト化のためには、レーザ光強度増大、光学系の低損失化、受光感度向上、統計的信号処理による外乱光除去等の技術を乗算的に組み合わせるアプローチが必要となることが分かった(図3)。

半導体受光素子としては、Si半導体を基材としたC-MOS受光素子をベースとすることに着目した。比較的容易にアレー化が可能であり、信号処理回路を同一の半導体基板上で形成できるメリットが活かせる。その中でも、単一光子に反応するポテンシャルを持つSingle Photon Avalanche Diode (SPAD)に注目した。この受光素子を標準C-MOSプロセスで形成できるように工夫すれば、従来の受光素子に勝る感度と読み出し回路や統計的信号処理の一体化が見込める。

投光側のスキャン機構としてポリゴンミラーを採用した場合の現状の受光感度から見積もられるトータル性能を試算した。車両ならば100m程度まで、歩行者ならば40m程度まで検出可能と見積もられた(表3)。今後、視野角を必要最低限に絞り込み解像度を向上させるための検討や受光素子等の改良を進める。検出距離の改良幅は約2倍のファクタである。また、レーザをスキャンする機構については、さらなる高解像度化、高信頼化と小型・低コスト化の観点から、将来期待しうる技術としてMEMSミラーに注目した。

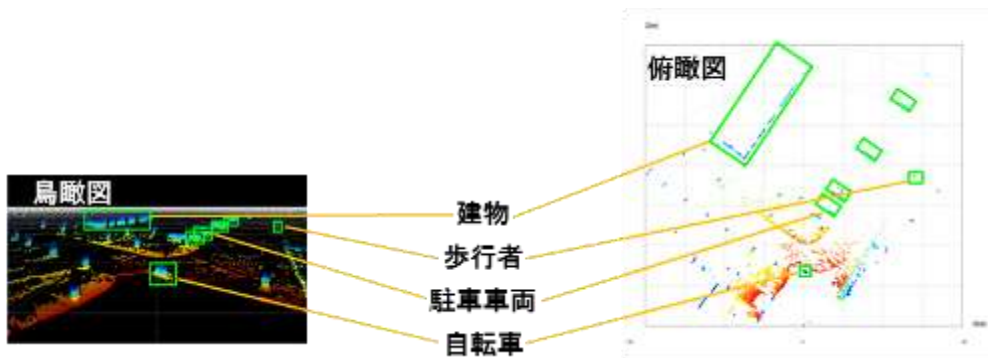


図1. レーザレーダセンサ検出例



図2. 反射強度マッピング例

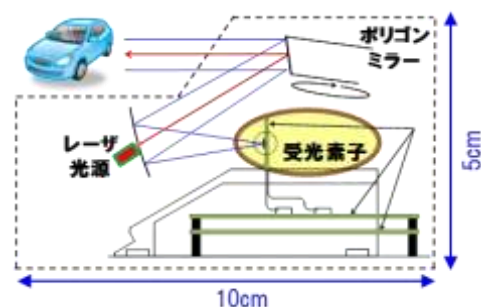


図3. レーザレーダセンサの全体構成例

表1 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	◎	△	◎

表2 外界センサの仕様要件

環境性能	全天候
検出性能(対歩行者)	30m以上(対向車 30Km/h, 0.1G 減速)
検出性能(対車両)	80m以上(対向車 30Km/h, 0.1G 減速)
検出解像度	垂直角:0.2度以下, 水平角:0.2度以下
検出範囲	垂直角:10度, 水平角:180度

表3 レーザレーダセンサータル性能見積例(ポリゴンミラー式の場合)

水平解像度	垂直解像度	水平視野	垂直視野	車両検出距離	歩行者検出距離
0.5°	0.15°	170°	4.5°	100m	40m

### 3) 熟練ドライバモデルの基本設計(東京農工大学)【達成度 100%】

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による分析、研究室所有の実験車による計測、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、東京都内のタクシードライバの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。この調査段階での解析により、本格ステージでの自動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。

次に、先行車追従のような連続的な行動から異常時の危険回避行動における認知、判断、操作に関わる規範ドライバ運転操作のモデル化およびその基本設計をおこなっていくための検討を行った。具体的には、常時記録型ドライブレコーダを搭載した研究室所有の実験車両を用いて、自動車教習所の協力を得て大学近辺の市街路での運転行動を計測した。危険回避制御介入システムの根幹である自動運転知能として、市街地走行環境および車両周辺の移動物体に対するリスクポテンシャル推定、経路生成アルゴリズムが必要となるが、その検討のため実験車両で得られる諸データを蓄積・分析するためのシステムを整備した。

熟練ドライバモデルを実験車両(超小型電気自動車コムス改造車)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シーンの実験を行った。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制動判断および操舵判断アルゴリズムと、操舵回避のための経路生成アルゴリズムを構築し、レーザレーダを搭載した実験車両において実時間で回避できることを示した(図4)。この実験は限られた環境条件での一例ではあるが、基本的なプラットフォームを構築するための土俵ができたといえる。

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き歩行者との衝突を回避するための目標減速度を決定するアルゴリズムを設計し、その有効性を学内の限られた環境条件で実車実験によって示した(図5)。同様のリスクポテンシャル推定手法による危険回避制御システムの設計は、車線逸脱防止等の危険回避場面において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動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4. 歩行者衝突回避実験(制動回避と操舵回避)

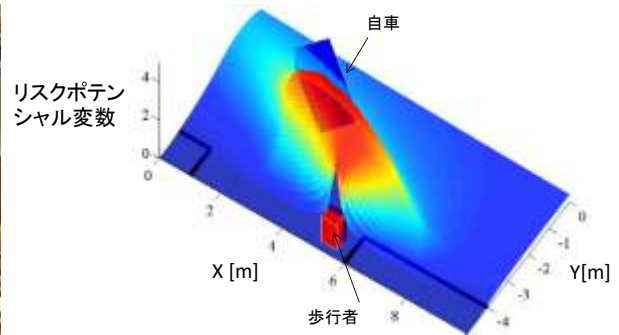


図5. 対歩行者衝突リスクポテンシャル推定結果

#### 4) 制御介入の運転者受容性調査(東京農工大学, 東京大学)【達成度 100%】

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、農工大所有のヒヤリハットデータベースの中での典型的なヒヤリハットシーンを抽出し、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6)。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する。



図6. ドライビングシミュレータを用いた歩行者飛び出し場面の再現

また、本研究課題で想定している自律運転知能システムでは、ドライバーが認識や意図していない制御が車両に加わる事が想定され、この点について重点的に検討を進める必要がある。例えば操舵回避を行う際にステアリングホイールを操舵介入に協調して回転させる必要があるのか、といった Human Machine Interface に関する部分は重要な論点となる。一方で、制動介入を実施する際に緩やかな制御でドライバーに気づかせない方が良いのか、それとも一定以上の急な制動で積極的にドライバーに気づかせた方が良いのか、という人と機械が協調する上での制御方針も重要な論点となる。実際の交通状況から逸脱しない範囲内で、これらの論点を検証するための実験シナリオも設定した。

#### 5) 高齢者の日常生活範囲の定義づけ(東京大学)【達成度 100%】

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7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。およそ月に一度の頻度で担当者が大野市に出張し、データの回収と機材のメンテナンスを行っており、継続的にデータを収集できるプラットフォームを構築出来た。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、同様のデータ収集を開始している。こちらの取組みに関しては、H23年内には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。

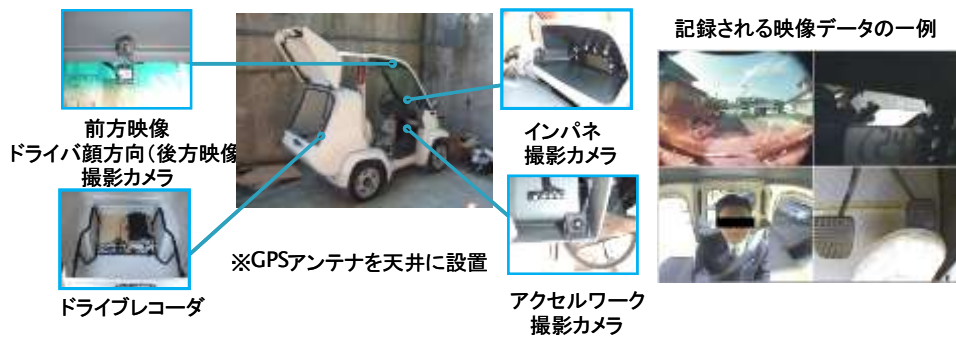


図 7. 運転映像記録システムの概要

【ステージ I】

①要素技術開発

6) 運転支援システムの基本構成(研究機関: トヨタ自動車(全研究機関と協力))【達成度 150%】

(1)知能化運転支援システムの基本構成の設計【達成度 100%】

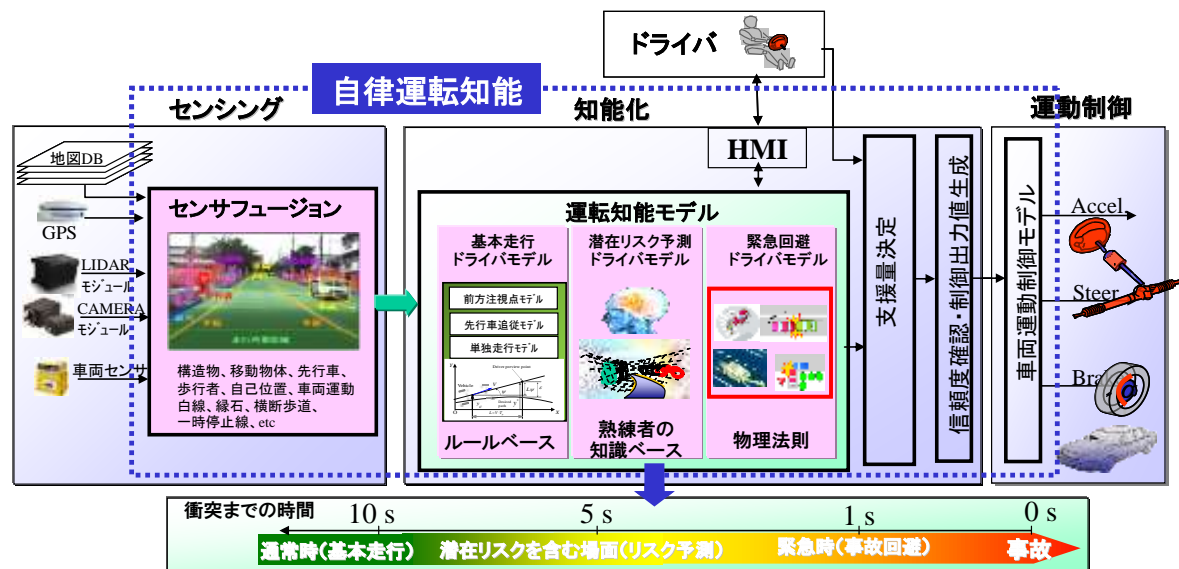
企画調査における、要求要件を満足できる知能化運転支援システムの基本構成の設計を行った。

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、ドライバの入力に対しても機械側の制御量との調停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①-1 にシステム構成図を、また、以下に特徴を示す。

- 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) 運動特性の違いをモデル補償し, 適切な制御回避性能を実現

また、将来の普及に適したモジュール構成とすることとし、以下に特長を示す。

- 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




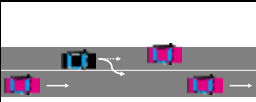
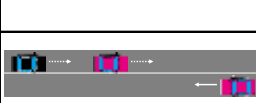
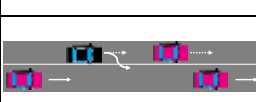
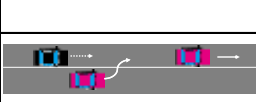
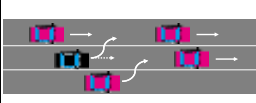
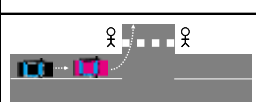
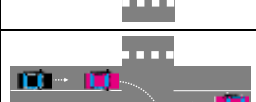

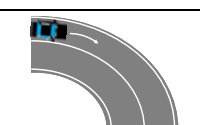

図①-1. システム構成図

本プロジェクトでは、プロトタイプから本システム構成をベースとして開発を進めた。

(2)走行シーンの整理による評価条件の決定【達成度 100%】

企画調査研究の議論を受け、表 4-①-1, 2 に示す対応シーンの分類整理表(逸脱防止, 出合い頭, 歩行者・自転車衝突回避, 前方車両衝突回避)を作成した。そして、シーン分類整理表を基に各要素技術開発の課題を抽出し、評価条件を決定した。

表①-1. 対応シーンの分類整理表その 1

シーン大分類	シーン番号	シーン概要 (点線は減速をイメージ)	自車の対応 (自動運転)	技術的課題
前方車両衝突回避	F-1		駐停車両の発見 回避経路の生成 (駐停車両とのマージン, 対向車両とのタイミング, センターラインに寄せる予備動作, 駐停車両通過後の軌跡, 無理するよりも止まって待つ) 回避の実施	駐停車両の発見(位置, 大きさ) 対向車両の発見(位置, 速度, 大きさ) 車線幅 駐停車両の次の動き予測 ドライバ操作量(デマンド)
	F-2		駐停車両の発見 回避経路の生成 (駐停車両とのマージン, 並走車両とのタイミング, 走行位置を右に寄せる予備動作, 駐停車両通過後の軌跡, 無理するよりも止まって待つ) 回避の実施	駐停車両の発見(位置, 大きさ) 並走車両の発見(位置, 速度, 大きさ) 車線幅 駐停車両の次の動き予測 ドライバ操作量(デマンド)
	F-3		先行車両の発見 追従経路の生成(縦) (適切な車間距離の設定 ハンチングのない加減速 操舵による回避は行わない)	先行車両の発見(位置, 速度, 加速度, 大きさ) 道路形状(交差路, 商業施設等) 対向車両の発見(位置, 速度, 大きさ) ドライバ操作量(デマンド)
	F-4		先行車両の発見 追従経路の生成 (適切な車間距離の設定 ハンチングのない加減速 並走車位置によっては操舵回避。対向車 線側には操舵しない。)	先行車両の発見(位置, 速度, 加速度, 大きさ) 並走車両の発見(位置, 速度, 大きさ) 道路形状(交差路, 商業施設等) ドライバ操作量(デマンド) 先行車の動き推定(意図推定)
	F-5		基本的には先行車衝突回避と同じ。 急激な周囲車両の動きに対し、適切な進路 生成、車両操作の実施。 操舵による回避は極力避ける。	基本的には先行車衝突回避と同じ。 周囲状況(第三者、環境=道路構造等)の理解→隣接 先行車両の車線変更予測 交通環境が複雑になり処理対象増加への対応
	F-6		同上	同上
	F-7		先行車の発見 先行車との車間距離のダイナミクスの認識 追従経路生成 車両操作の実施	同上
	F-8		同上	同上
走路追従 (逸脱防止)	L-1		走路の認識 走行経路の算出 安定した(安心できる)操舵制御の実施	あらゆる道路で使える安定した走路認識ロジック
	L-2		同上	あらゆる道路で使える安定した走路認識ロジック 曲線の認識
	L-3		同上	走行可能領域の認識



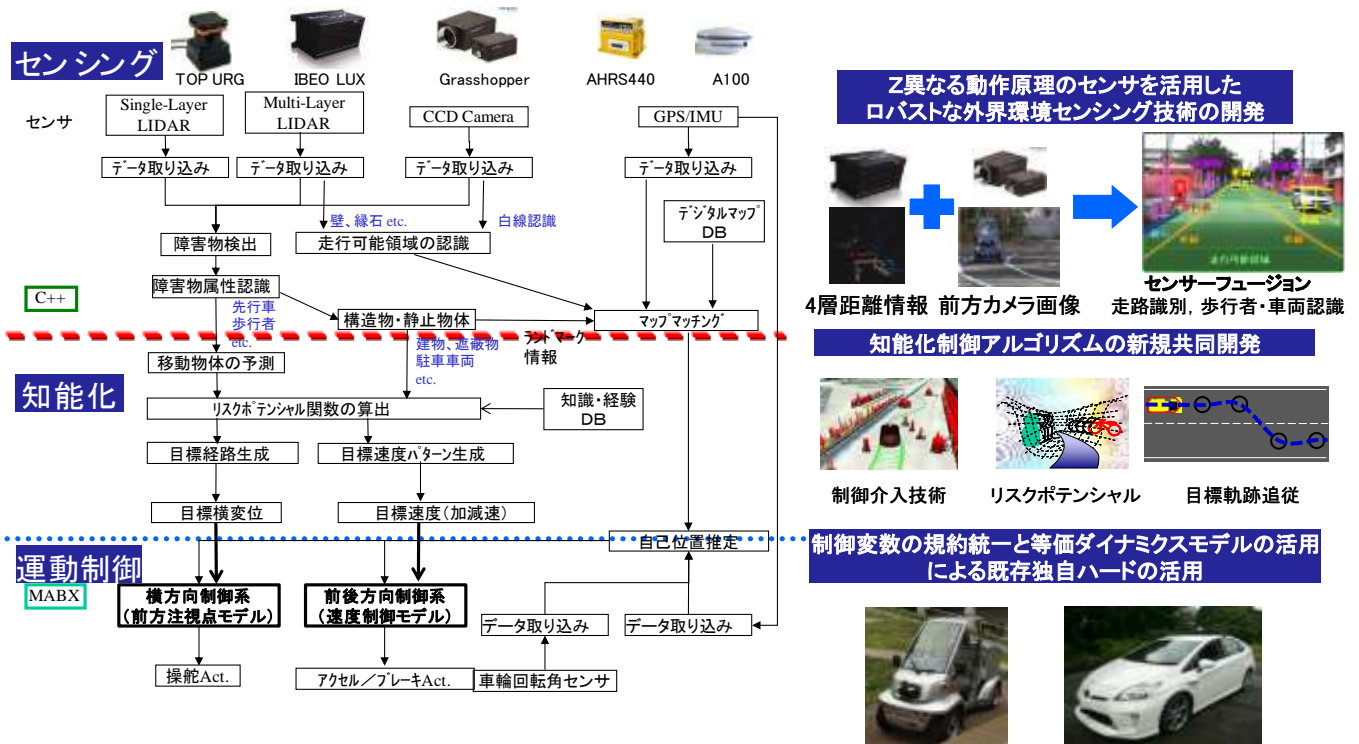
表①-2. 対応シーンの分類整理表その2

シーン大分類	シーン番号	シーン概要 (点線は減速をイメージ)	自車の対応 (自動運転)	技術的課題
歩行者・自転車衝突回避	P-1		横断者の発見 横断者手前2m(横断歩道とはかぎらない。目安)で停止する減速実施。 横断者が渡りきったところで、他の横断者がいないことを確認し、再発進。	横断者の発見(数、位置、横断方向、速度) 横断完了判定、再発進判定 横断者の出現予測(地図情報 特に横断歩道を利用し歩行者の飛び出し箇所を予測)
	P-2		同上 発見一即、ブレーキ操作	同上 駐車車両有りで横断者飛び出しに対するマージン減少を実現するリスクポテンシャルロジック
	P-3		同上	同上
	P-4		歩行者の発見 通過経路の算出(適切な離隔距離) 操舵による離隔実現	歩行者の発見(数、位置、向き、速度) 歩行者の動き予測 飛び出しに対するリスクポテンシャル生成ロジック 対面走行の自転車は距離の問題で検出が難しい
	P-5		横断(駐車車両有り)と同じ	駐車車両＝歩行者の車道進入として扱うリスクポテンシャル生成ロジック 対面走行の自転車は距離の問題で検出が難しい
	P-6		横断歩道手前で停止する減速 横断者の有無判定。停止またはクリープ通過 横断歩道を過ぎたところで緩やかに加速	広範囲な歩行者の検出
	P-7		適正位置でのいったん停止。対向車なしで横断歩道手前に進入。後は左折と同じ。	同上
	P-8		同上(対向車に対する間合いを厳密に)	広範囲な歩行者の検出 対向車の検出
	P-9		走路の認識 路上障害物の発見 回避経路算出 回避実施(ブレーキ、操舵)	ロングレンジ、高分解能な障害物検出
出合い頭	I-1		停止線位置で緩やかに停止。交差点の交通状況が取れる位置までクリープ前進。再度停止。再発進タイミングが得られたところでゆっくりと発進。	交差点の物体検出センサのロングレンジ化
	I-2		停止線位置で緩やかに停止。交差点の交通状況が取れる位置までクリープ前進。再度停止。再発進タイミングが得られたところでゆっくりと発進。常に交差点の車両、歩行者をサーチ。衝突の可能性が生じた場合は、即停止。	同上

**(3)共通プラットフォームの構築【達成度 100%】**

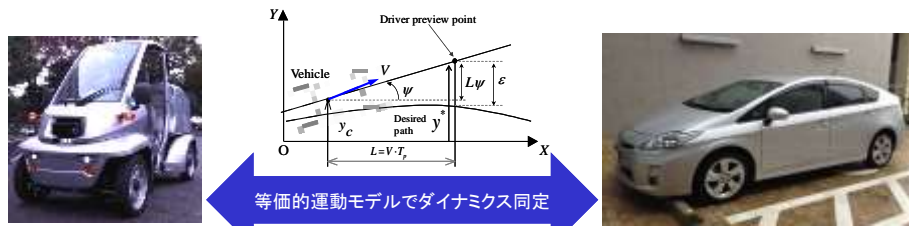
各研究機関での資産を活用しつつ、新規技術開発を加速推進するため、共通の研究開発プラットフォームを構築することを目的として下記を実施した。

ステージIでは、各研究機関で共用できるソフトウェアプラットフォームの仕様を検討し、各研究機関の実験車両(コムス、プリウス)で車載カメラ、マルチレイヤレーザレーダ、GPS/IMUによる環境センシングシステムを構築した。また、車両が異なった場合でも、開発成果が展開できることと将来の車種展開を考えて等価モデルによるダイナミクス同定及びシミュレーションによるモデルパラメータ適合を行った。これにより、各研究機関で開発していくものを共用していくことが可能になった。

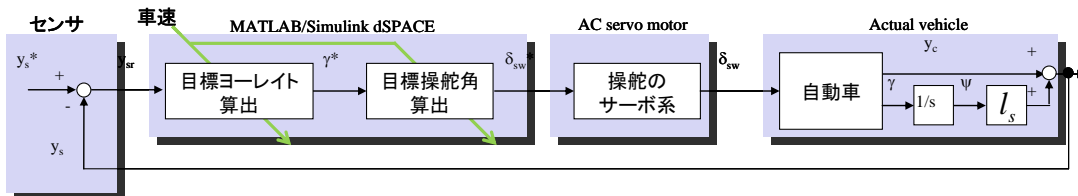


図①-2. 自律型運転知能システムの基本プラットフォーム

■ コムス～プリウスの等価的モデルによるダイナミクス同定



■ モデルベース制御によりシミュレーションでのパラメータ予測で、初期適合を効率化

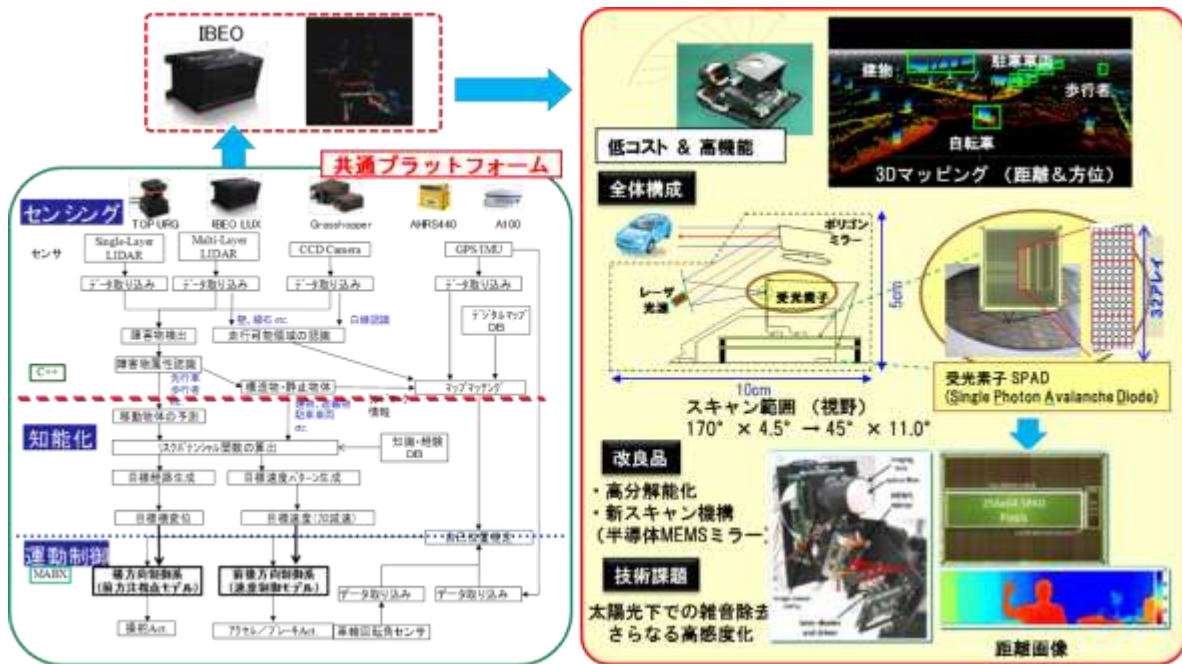


**適用例) 車両ダイナミクスを考慮した経路追従制御システムの設計**  
 プラントの時定数、走行速度域、前方注視点の設定、閉ループ系の安定性

図①-3. ダイナミクスの同定・モデルパラメータ適合

7) 要素技術開発(研究機関: 豊田中央研究所・トヨタ自動車)【達成度 100%】

外界センサ系の要素技術開発として、自社(豊田中央研究所)開発中のレーザーLiDAR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。



図①-4. 共通プラットフォーム開発に向けたセンシング要素技術開発

8) 受容性の検討(研究機関: 豊田中央研究所)【達成度 100%】

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:Field Operational Test)に対して欧州で実施されたeuroFOTを調査した。計画中のFOTにおいて共通プラットフォーム上で取得しデータ管理を目指す方法論の妥当性を確認した。調査結果は以下の通りである。

- (1) 表6にeuroFOTで収集されたデータをまとめる。この中で、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ことがうかがえた。
- (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。
- (3) euroFOTの特徴の1つとして、データ収集の運営拠点(Vehicle Management Center (VMC))毎に実験実施環境が異なっている(Heterogenic Test Environment)ため一品一葉の結果となる。

本調査結果は、「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った。

表①-3. euroFOT収集データのまとめ

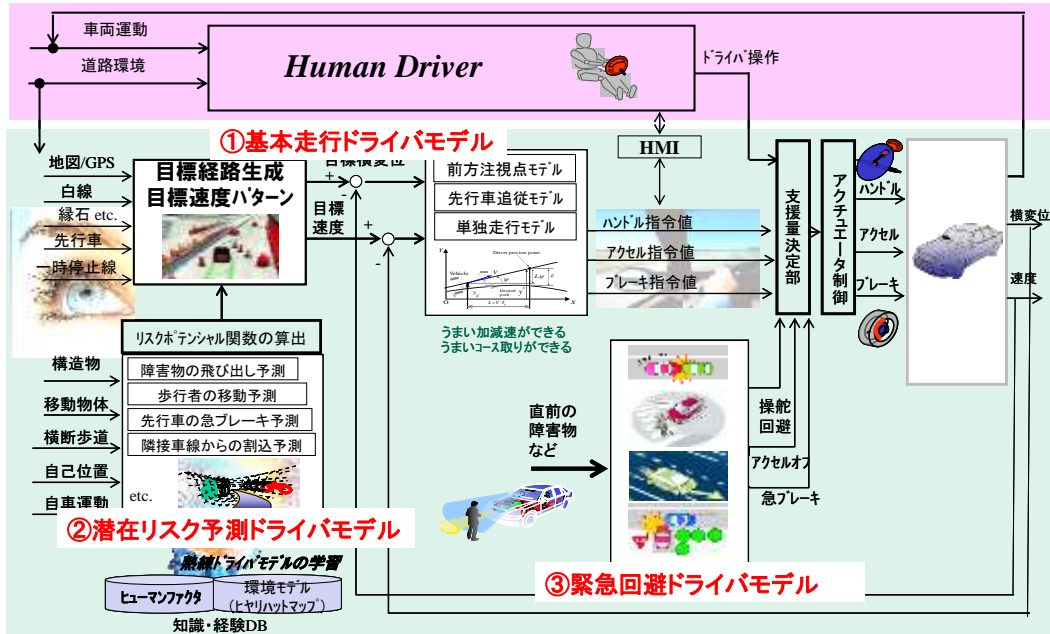
VMC	Operation Site	車両	台数	ADAS	データ種	人数	走行距離 [km]
French VMC	CEESAR	Renault Clío, Laguna	30	SRS	CAN + Video	30	600,000
			5	SRS	CAN + Video + Radar	5	
German VMC (OC1)	FORD	Ford Vondeo, Galaxy, S-Max	98	ACC, FCW	CAN only	98	2,030,000
			2	CSW	CAN + Extra Sensors	30	
	VW	VW Passat	32	ACC, LDW&IW	CAN only	32	300,000
	MAN	MAN TGX	56	ACC, LDW	CAN only	69	7,500,000
German VMC (OC2)	BMW	BMW 530	15	SafeHMI (Navigation)	CAN + Video + eyeTracking	51	383,392
		Daimler	DM E-Class	15	SafeHMI (Navigation)	CAN + Video + eyeTracking	64
Italian VMC	CRF	Fiat Lancia Delta	280	LDW	Questionnaires only	280	8,000,000 以上
			290	No ADAS		290	
Swedish VMC	VOLVO Cars	Volvo V70, XC70	100	ACC, FCW, LDW&IW, BLIS	CAN + Video + eyeTracking + Extra Sensors	205	1,069,460
			VOLVO Trucks	Volvo Trucks FH12	30	ACC, FCW, LDW&IW	CAN + Video + eyeTracking + Extra Sensors
	50	FEA					
合計			1003			1227	34,868,722

## ②システム構築

### 9) 熟練ドライバの運転知能のモデル構築

#### (1) 運転知能モデルの構造設計(研究機関:東京農工大学)【達成度 100%】

熟練ドライバに基づき、通常時から緊急時までの走行領域に対応できる運転知能のモデルを構築した。その概略図を図②-1に示す。基本走行機能、潜在リスク予測機能、緊急回避機能の3つのドライバモデルで制御構造を構築した。この設計基盤をベースに、単純な走行場面から複雑な走行場面まで、各種走行シーンに合わせた制御介入システムの詳細設計を行った。



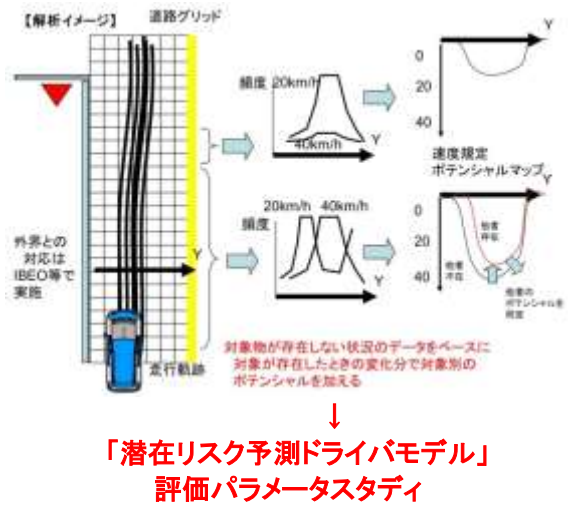
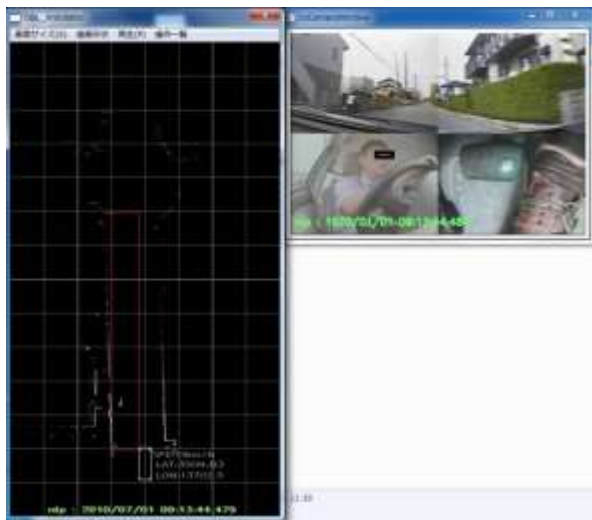
図②-1. 熟練ドライバの運転知能のモデル構築

基本走行モデルとして、目標コースに追従する車線追従制御と先行車追従制御モデルを構築した。また、潜在リスク予測モデルの構築として、駐車車両を避ける場面、歩行者衝突回避場面を取り上げ、ポテンシャルフィールドに基づく経路生成アルゴリズムを行った。現在、シミュレーションによる机上検討および小型自動車を用いた実車実験を行い、アルゴリズムの基本機能およびリアルタイム性を確認している。その一例として、駐車車両を避ける場面における2次元のリスクポテンシャル予測ドライバモデルを構築した図②-3)。

#### (2) 潜在リスク予測ドライバモデル構築に向けた熟練ドライバ行動分析

##### (研究機関:豊田中央研究所)【達成度 100%】

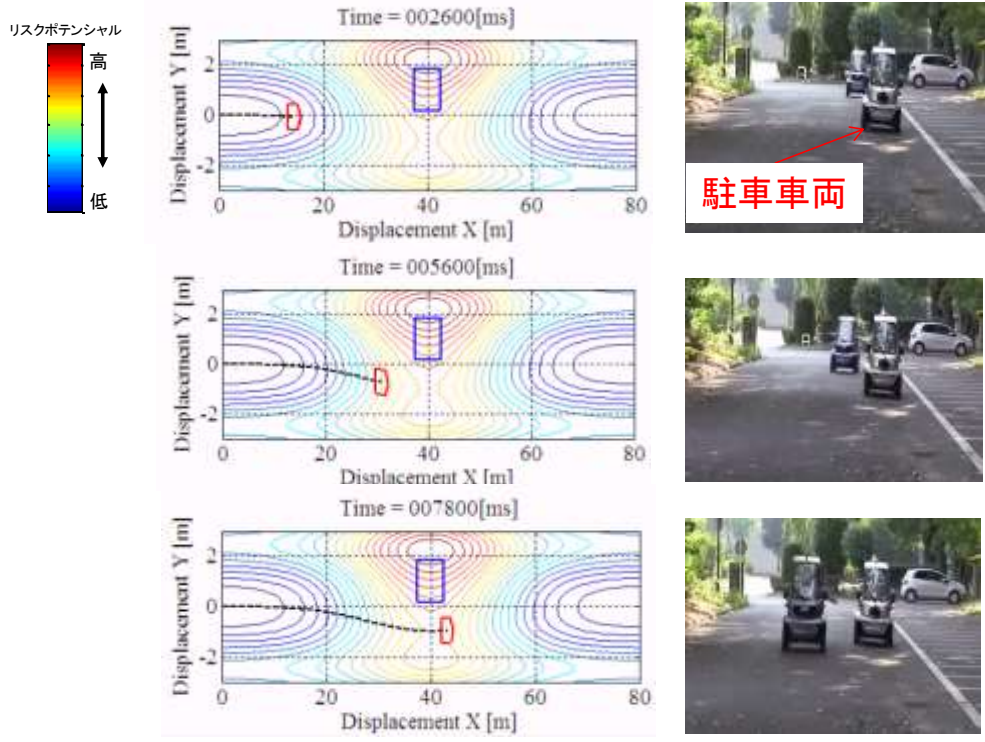
潜在リスク下(障害物や交差点など)での熟練ドライバの経路を生成するリスクポテンシャル(東京農工大)の同定のために、運転行動分析方法を提案し、交差点通過過程における熟練ドライバの運転データ取得およびデータ分析に着手した。豊田中央研究所既存技術である交差点通過車速選択モデル(清水ら、自技会2011年春季大会20115097)を時空間的に拡張し、交差点通過過程における運転行動(速度、位置)を時系列分布として分析を行う(図②-2)。得られる運転行動分布を用いて逆問題を解くことにより、熟練ドライバのリスクポテンシャルを求めることができる。



図②-2. 規範ドライバの運転行動解析イメージとデータ抽出例

### 10) 障害物回避制御のシステム設計(研究機関: 東京農工大学)【達成度 100%】

衝突危険を回避するためのブレーキと、車線逸脱危険を回避するためのステアリングのアクティブ制御システムを製作し、運転者・機械(自動車)一体化で熟練運転者並みの制御成績を確保するため、正常状態の規範モデルから外れた場合に異常と判断して、制御介入を行うプロトタイプ車両を設計することを目標とする。構築した共通プラットフォームを用いて、センシング情報によって得られた情報のもとに、自律運転知能の開発の第一歩として、車両前方に障害物が存在する場面で、熟練ドライバの運転知能モデルに基づき自律運転知能モデルと運動制御系のソフトウェアを開発した。ステージでは自律運転知能システム(機械ドライバ)単体の制御機能を検証するため、駐車車両回避場面において、リスクポテンシャル演算による経路生成と速度・操舵制御を走行実験によってその実用性を確認した(図4-①-7)。

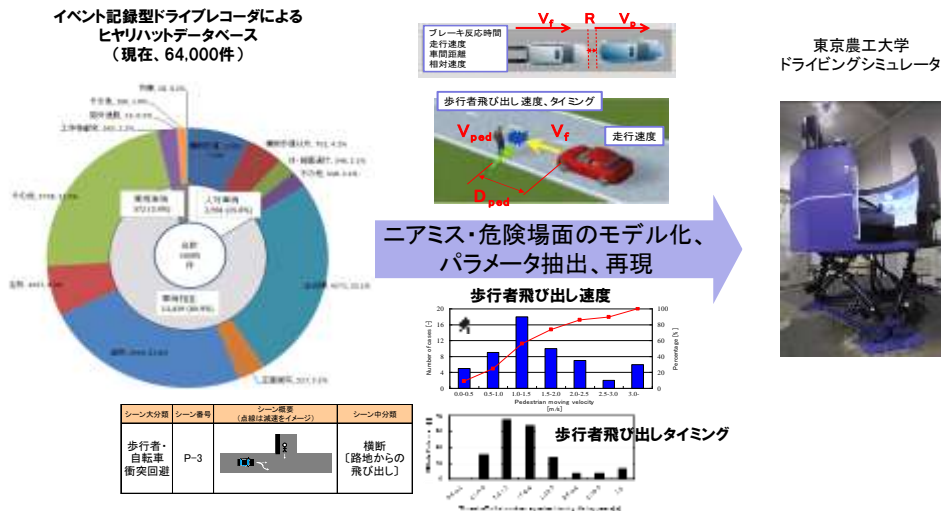


図②-3. リスクポテンシャルに基づく障害物回避の走行実験結果

### ③受容性評価

#### 11) DSによる制御介入の受容性評価（研究機関：東京農工大学）【達成度 100%】

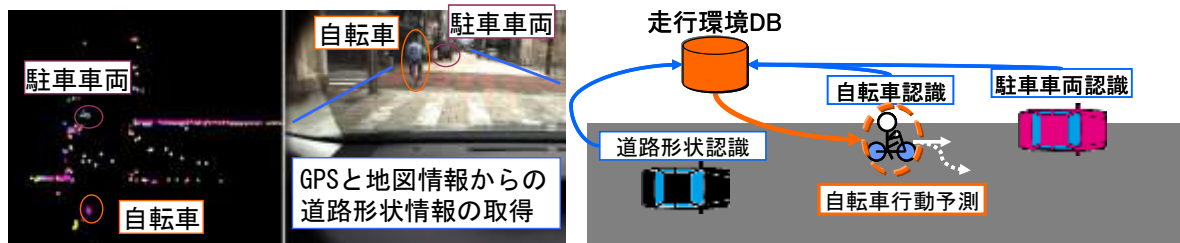
ドライブレコーダで記録されたヒヤリハットデータを蓄積し、そのデータベースを分析し、危険場面シナリオをドライビングシミュレータで模擬する走行シーン構築環境を整備した。これまで前方車両衝突と対歩行者場면을対象とし、ヒヤリハットデータ分析結果のもとに、危険シーンのモデルと環境パラメータを定量的に整理し、ドライビングシミュレータ上に再現した(図③-1)。熟練ドライバの運転データに基づく危険回避のためのブレーキ支援システムを設計し、そのシステムをDS上に実装し、その作動確認を行った。



図③-1. DSでの危険場面の環境条件の定量化, 再現, 制御介入の実装

#### 12) 外界障害物の動きの検出と予測(研究機関：東京大学)【達成度 100%】

福井県大野市で収集した超小型電気自動車の常時記録運転映像や事故統計の分析を行い、歩行者や自転車の動きの予測が必要なシーンを選定し、対象となる走行シーンの特徴の整理を行った。これらの整理を基に周辺交通参加者の動きを予測するシステムの概念設計を行い、図③-2 に示す様な走行環境パターンの認識に基づいた動きの予測を行い、リファレンスとなる走行環境 DB を作成するために、実路での統制環境下でセンサ系共通プラットフォームを搭載した試作車両を走行させ、走行環境 DB の基礎データの収集を行った。



図③-2. 走行環境認識に基づく交通参加者の動きの予測

#### 13) 実路走行データの収集と分析(研究機関：東京大学)【達成度 100%】

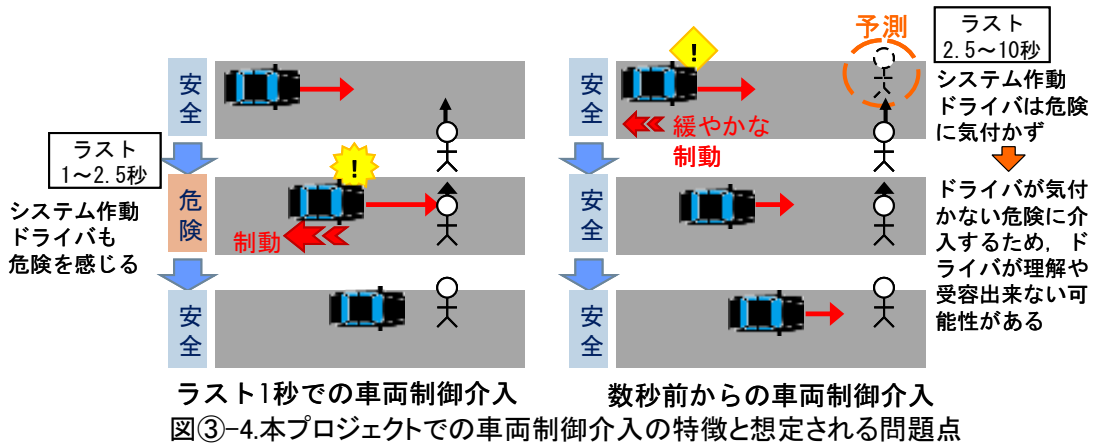
ステージII以降でのFOTを円滑に進めるために、センサ系の共通プラットフォームを搭載した非制御型のプロトタイプ車両を開発した(図③-3 参照)。開発したプロトタイプ車両を福井県大野市に持ち込み、FOT-0として位置づけて想定対象フィールドでの各センサ情報を含む実走行データの収集を行った。収集した走行データを外界環境認識ソフトウェアの開発に活用し、大容量データの取扱い等の課題を抽出した。



図③-3.開発した公道走行用プロトタイプ車両と可視化したデータサンプル

14) 高齢ドライバーの受容性評価とシステムの社会受容性の検討(研究機関:東京大学)【達成度 100%】

図③-4に本プロジェクトで検討している車両制御介入のイメージ図を示す。これまでのシステムは図左側のように衝突1-2.5秒程度の状態を基準に、警報からブレーキ支援、ブレーキ介入を作動させてきたが、高齢ドライバーにはこのようなタイミングの警報やブレーキ支援では、対応できないケースも確認されている。この為、本プロジェクトでは、図右側の様に衝突の数秒前からセンシング結果に基づいた予測を行い、リスクに近づかない様、制御することでスムーズな回避効果が期待できる。つまり、通常運転場面から熟練ドライバーの様に制御介入することが必要となるが、この状態をドライバーが理解する方が良いか／否か、又、その結果が受容できるかが大事な研究課題と言える。この問題はこれまでの技術開発の中ではあまり論じられていない点であり、本研究ではこの点の受容性検討にも重点をおくことにした。ステージIの残り期間で開発中のドライビングシミュレータを完成させ、30名程度の高齢者を対象に、車両制御介入について、プロトタイプシステムの初期評価を行っていく。



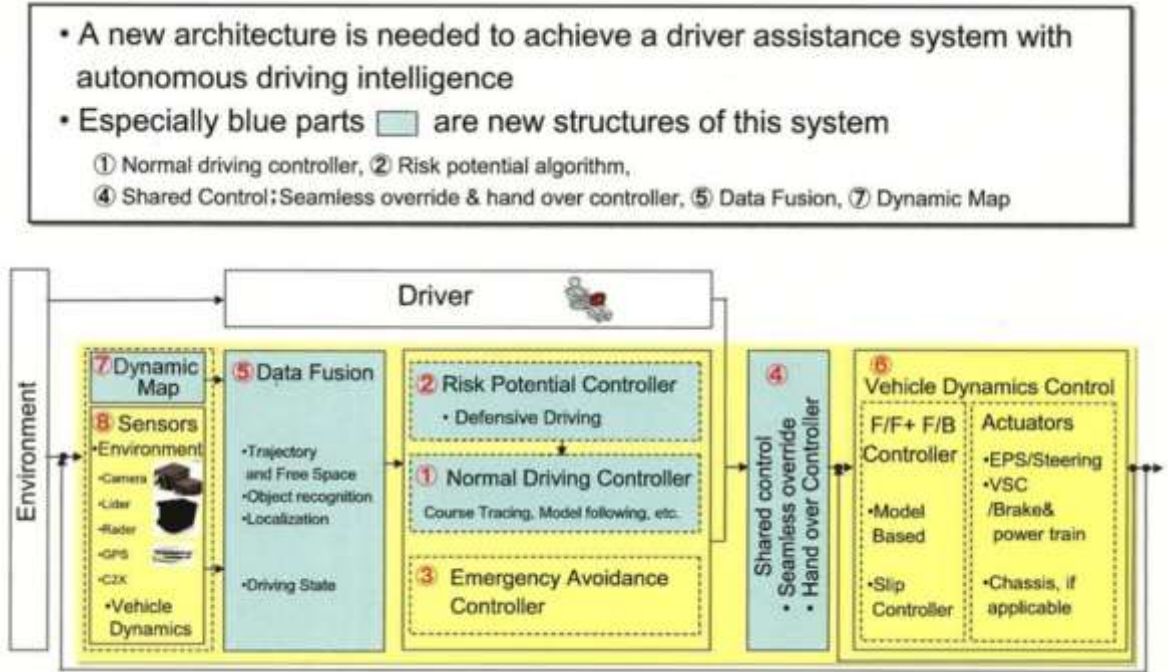
社会的受容性に関しては、この種の運転支援システムの実用化に向けて、トヨタだけでなく、日産・ホンダの関係者も交えて議論する場のFAST研究会を継続実施しており、国交省の安全担当者も参加するようになり、メーカ協調で国の指針等の作成に向けての活動を続けている。また、自動車技術会と共催で、安全に関する緊急提言を行うディスカッションも開催した。

【ステージⅡ】

④運転支援システムの基本構成

(研究機関:トヨタ自動車(全研究機関と協力)【達成度 180%】)

運転支援システムの基本構成を以下に示す。(図④-1)



図④-1 運転支援システムの基本構成

( i ) 基本機能評価用プロトタイプ車両(プリウスベース)の完成

各センサを統合した Perception\_Layer を構築, 下記センサ類を搭載した, 上記運転支援システムの基本構成に準じたプロトタイプ車両を完成した。(図④-2)



図④-2 プリウス搭載例

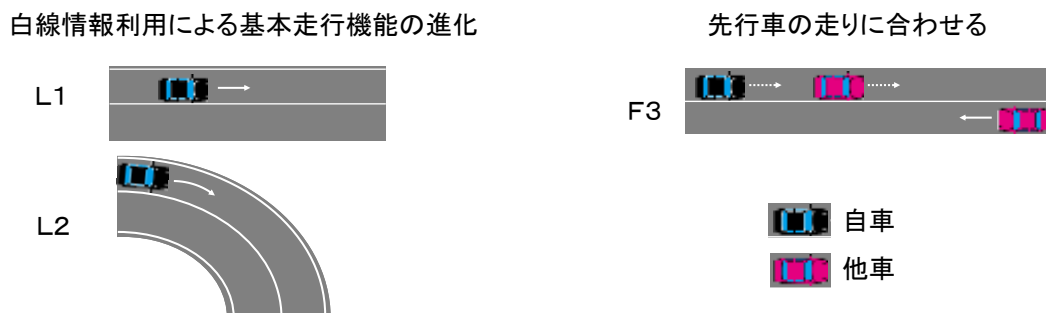


(ii) 熟練ドライバの運転知能モデル構築

各研究機関と協力して、熟練ドライバの運転知能モデルを構築し、実車実験を行い評価を行った。

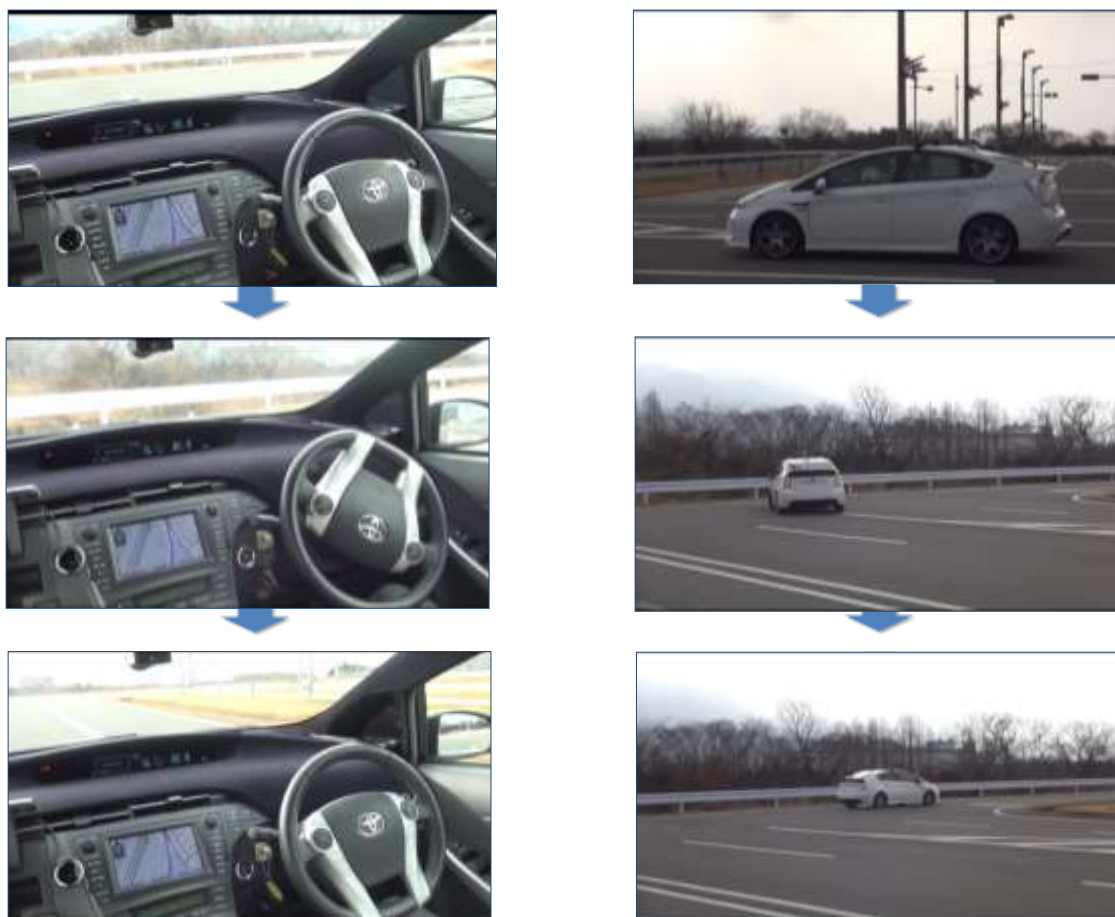
基本走行性能を模擬市街路にて実環境評価を行った。

図④-3 示すように、基本走行として直線部・曲線部の走路を識別して走行可能なこと、先行車両追従して走行すること、交差点を右折することを確認した。



図④-3 基本走行場面

図④-4 に模擬市街地路にて交差点右折実験を行っている様子を示す。

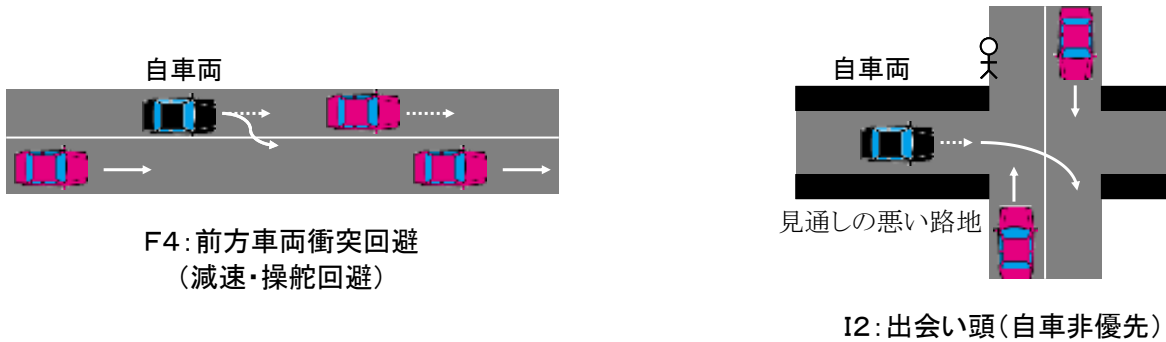


図④-4 交差点右折実験の様子(連続写真)

制御アルゴリズムは農工大にて作成した。白線の検出できない交差点内はクロソイド型で経路を生成し追従させた。その結果、スムーズな交差点内の走行制御が出来るようになった。

(iii) 障害物回避制御のシステム設計

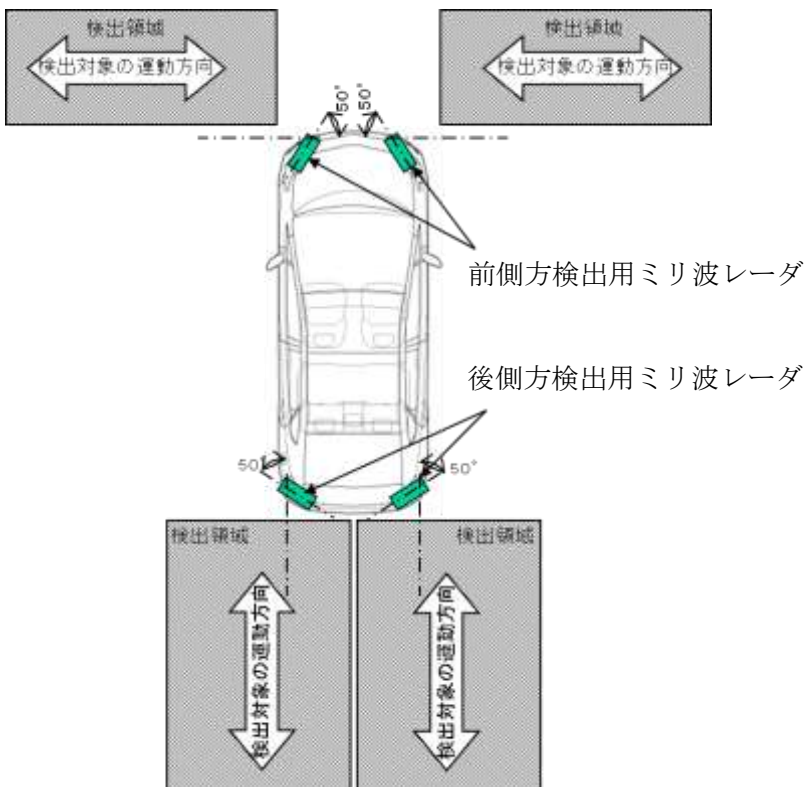
障害物回避のシーンとして、図④-5 に示すような「前方車両衝突回避」や「出会い頭」での衝突回避を検討するために、前方横方向のセンシングと後側方のセンシングが必要なため、プロトタイプ車両にミリ波レーダを搭載した。



図④-5 障害物回避シーン

前方のLIDARとカメラ及び周辺近距離検出用のLIDARの組み合わせにより全方位の障害物検出が可能となり、22シーンのほとんどに対処できるシステム構成となった。(図④-6 参照)

これらのセンサシステムと各研究機関で開発している制御アルゴリズムを組み合わせ、実車評価を行った。



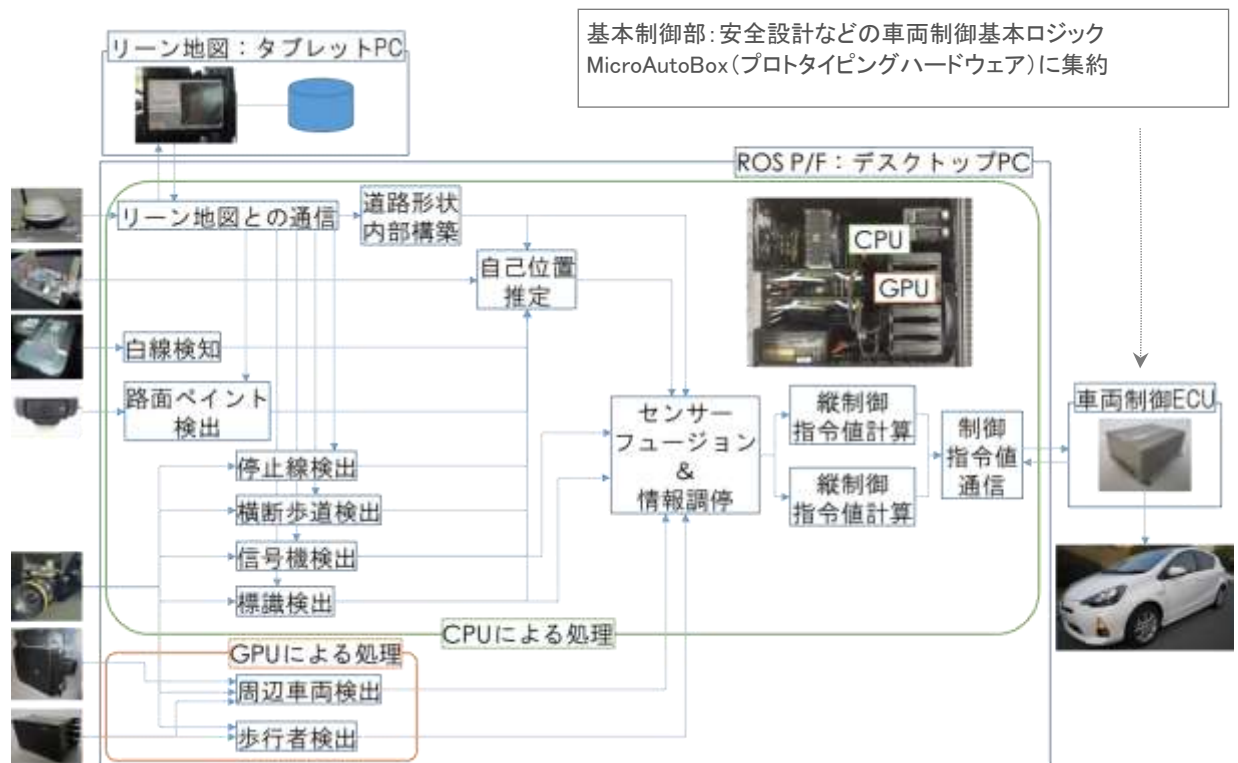
図④-6 レーダ搭載図

(iv)ソフトウェアシステムの機能配置

◆産学連携強化に、流用性・可用性の高い ROS(Robot Operating System)を採用

ロボット研究開発で使用実績のあるオープンソースソフトウェア ROS(Robot Operating System)を活用して、自律運転知能システムにおける各種センサ情報を統合化するためのセンシングプラットフォームの開発を行った(図④-7)。本プラットフォームを用い、共通センサであるカメラ認識系・レーザレーダ系の情報を統合して模擬市街路において直線と左折および駐車車両回避を含む周回コースを設定して機能評価を実施した。ROS ではプロセス間通信を管理してくれるため、設計者はスレッドやメモリ管理に気を使う必要がなく、センサ追加などシステム変更に対して柔軟に対応できるメリットがある。またデータ統合やデータ表示などのツールが整備されていて開発環境整備にかかる負担が軽減される。

従来、個別に動作していた認識系プログラムを 1 つのソフトウェアプラットフォーム上で動作させ、情報統合の基盤を構築した。



図④-7 再構築したソフトウェアプラットフォーム

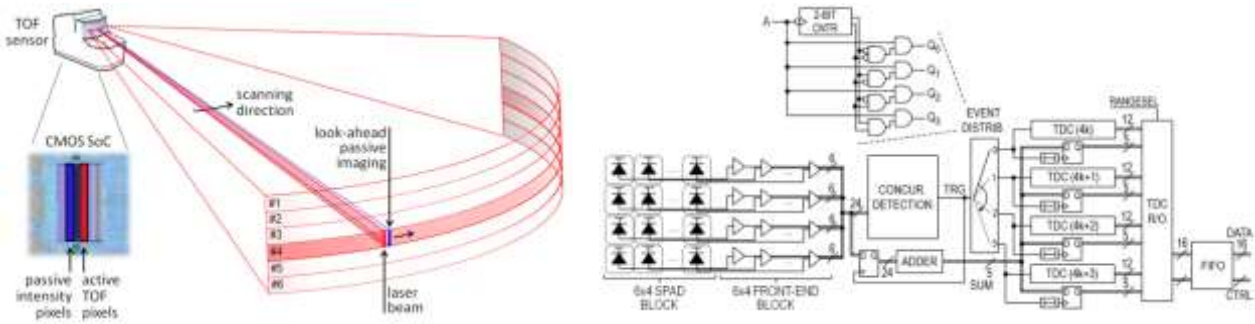
結果、外界認識を含む運転知能と運転支援を実行する車両制御を ROS 上に集約、以下のフレームワークを構築、システムの共有化を推進すると共に、S-イノベの枠組みを超えた各研究機関との連携が加速した。

## ⑤センサフュージョン

(研究機関:トヨタ自動車・豊田中央研究所・東京大学)【達成度 110%】

### (1)高機能な新センサ

従来、区画線検出などはカメラ画像からの認識を用いていたため、逆光など環境要因による未検出などの認識課題があった。そこで、縁石などの道路境界領域の検出可能な高解像度レーザレーダが期待されており、自社開発中の小型イメージングレーザレーダの技術情報(図⑤-1-1)をまとめ、トヨタ自動車へ開示し試作を行った(図⑤-1-2)。本小型イメージングレーザレーダは、 $55 \times 9$  [deg.]の視野角に対して  $202 \times 96$  [pixel]と高解像度である点が特徴である(図⑤-1-3)。

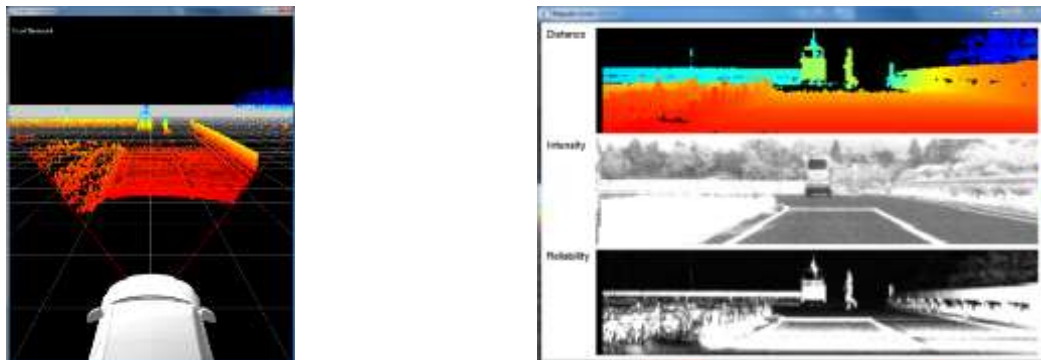


Source: Cristiano, N. et al. (2014), Solid-State Circuits 49(1)

図⑤-1-1 小型イメージングレーザレーダの概要



図⑤-1-2 試作した小型レーザレーダの概観



図⑤-1-3 試作した小型レーザレーダの計測例

### (2)動き予測技術開発

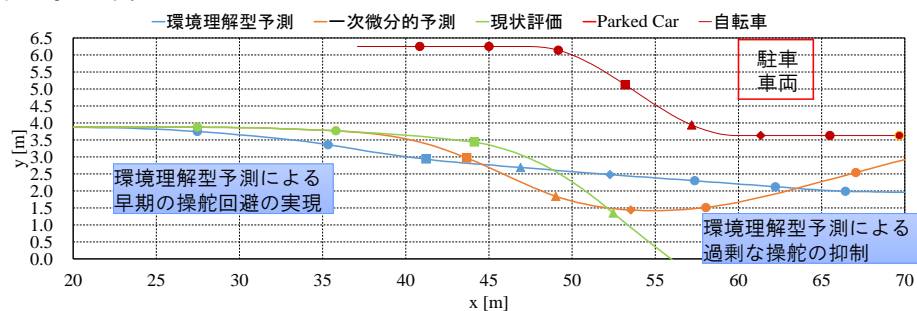
平成 24 年度より環境理解型予測に基づく制御介入手法の開発を行っていたが、24 年度の取り組みの結果とし

て、外界認識技術の高精度化が課題として抽出されており、平成 25 年度ではこの課題の解決に取り組んだ。本プロジェクトでは高齢者の日常的な移動の支援を目標としているため、自動車専用道路での走行だけではなく、生活道路の様な環境で歩行者等の交通参加者と共存している状況での走行も検討が必要となる。生活道路では明確な白線が存在しない場合や、走路境界構造物が多数存在している場合等があり、これらに起因する外界認識の難しさが存在する。これらの課題を解決するために、本研究では単眼カメラとLIDARを組み合わせたセンサフュージョンによる外界認識技術の開発を行った。まずは白線の無い道路に注目し、弱い走路境界情報とそれらの接続性の評価から、白線が存在しない環境での走路境界検出手法を開発した。また、検出した走路境界の情報を基に走路境界内と境界外の LIDAR のデータを分離し、走路境界内の物体の画像を識別する事で、走路境界内に歩行者や駐車車両等のどの様な交通参加者が存在するかを識別する技術を開発した。これらの認識結果の一例を図⑤-2 に示す。センサフュージョンによってこの様な比較的遠距離の段階から認識が可能になった。



図⑤-2 提案手法による走路境界検出と交通参加者の識別結果の一例

また、開発した認識技術を活用するための制御介入アルゴリズムの検討も実施した。平成 25 年度はまずはオフラインのシミュレーションでアルゴリズムの検討を行った。モデル予測制御の考え方をベースとした経路生成手法を考案し、歩行者や自転車の移動の予測がなかった場合と、現状の速度のみに注目した一次微分的予測を活用した場合と、本研究で注目している環境理解型予測を活用した場合のシミュレーションを行い、それぞれの結果を比較した。一例として、自転車の移動を予測したケースのシミュレーション結果を図⑤-3 に示す。環境理解型予測を活用する事によって自転車の将来の動きの予測を行い、早期の操舵回避を実現し、その際の過剰な操舵を抑制出来る事が確認できた。



図⑤-3 環境理解型予測に基づく早期の緩やかな操舵介入制御の一例

尚、今後は⑥(3)潜在リスク予測ドライバモデルや、⑩(3)模擬市街地等での複合シナリオでの歩行者行動の予測にて、更に深化を図る。

### (3)センサフュージョン(検出性能・認識性能・信頼度の向上)

平成 26 年度試作したセンサフュージョンアルゴリズムを進化、交差点付近の停止パターンと走路生成に着目した運転支援に必要なリーン地図要件(停止線、横断歩道、路面標識、信号機、交差点、Winding Road…他)を抽出、自車位置検出やWay Point 生成を行うPerception Layer 構造(参考:図⑤-4を定義、地図とセンサが相補連携するプロトタイプを実験車両に搭載、認識性能の評価を行った。

(i) リーン地図利用:新しい地図情報基盤

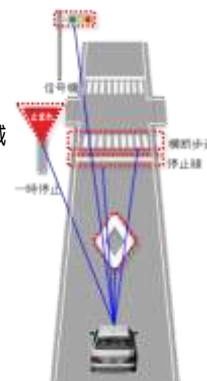
地方の生活道路でも利用できるシステム(過剰に高性能なセンサや通信技術の代わりに、必要最小限の地図を活用、リーンなシステムでの高度運転支援を実現する。

- 一般に研究開発されている高精度 3D 地図



※データ量の問題から実用化に難点

- 既存カーナビ地図の進化  
2D+ $\alpha$ の Lean Map  
※実用化を視野にデータ量を削減



■ リーン地図とは

必要なランドマーク情報が充実  
分岐から分岐までの距離情報を利用

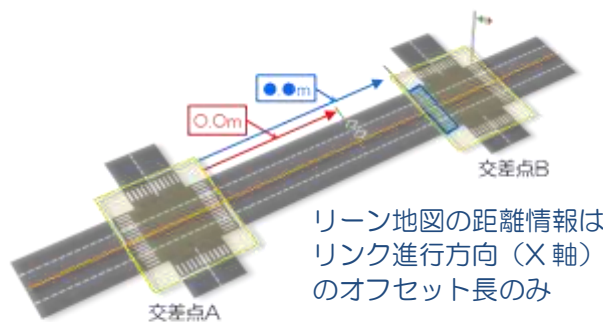
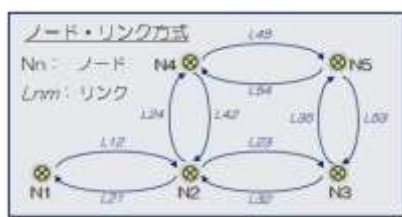
- ・ 自車位置合せ
  - ・ 走行軌跡生成
- 右図のような情報を提供  
基本走行を実現



図⑤-4 リーン地図利用

(ii) リーン地図の特徴

道路ネットワーク(ノード・リンク方式)で管理、リンク単位に各データをオフセット長で管理(セグメント化)、データの強度が強く、可用性・保守性が高い。



リーン地図の距離情報は  
リンク進行方向 (X 軸)  
のオフセット長のみ

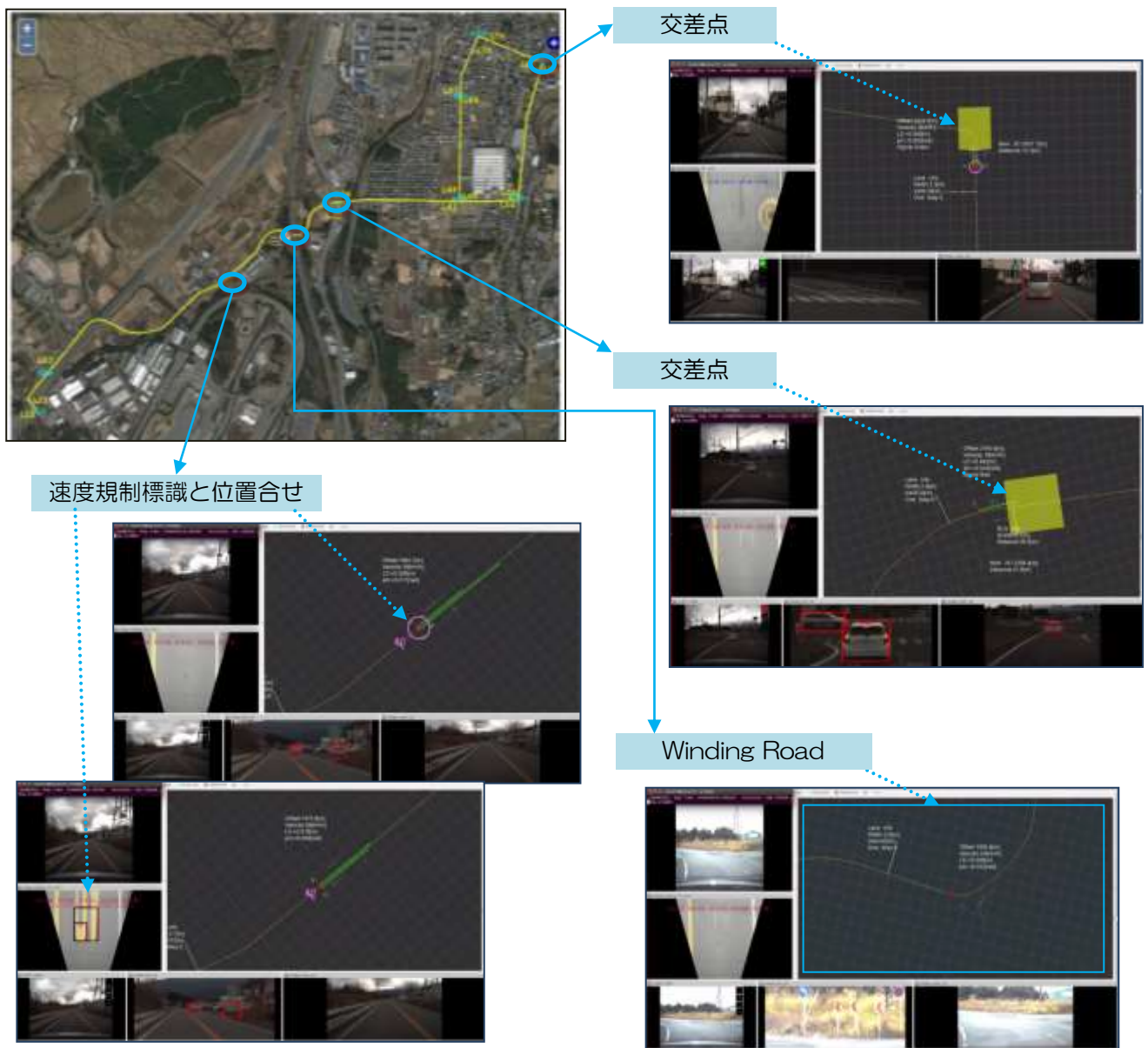
図⑤-5 リーン地図の特徴

(vi) 認識結果

実験車両に搭載、東富士周辺コース(トヨタ自動車東富士研究所周辺の公道)にて評価を実施した。

リーン地図と廉価なセンサをフュージョンした結果、通常自動運転の基本走行(路面標識による自車位置合せ、Winding Road、交差点付近の走路生成など)ができることを検証した。図⑤-6にセンサフュージョンの実験結果を示す。

一方で地図とセンサの性能分配:レーン認識ができない区間を例に挙げると、センサの性能向上か補間する地図の精度向上か、必ずしも二者択一ではない。煩雑な公道環境に於ける統合的外界認識技術の精度向上が課題として残った。



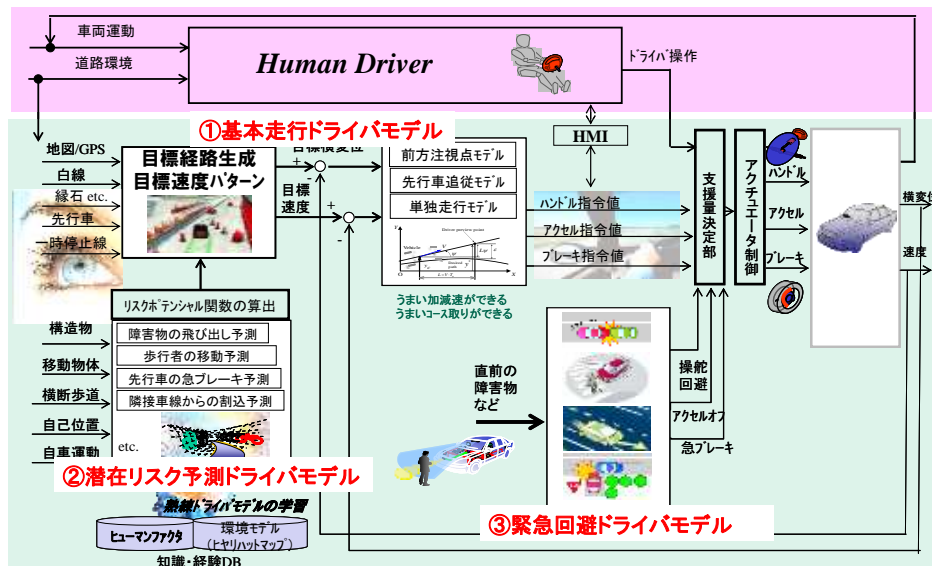
図⑤-6 東富士周辺コースとセンサフュージョン結果例

## ⑥熟練ドライバーの運転知能モデル構築

(研究機関:東京農工大・トヨタ自動車・豊田中央研究所【達成度 140%】)

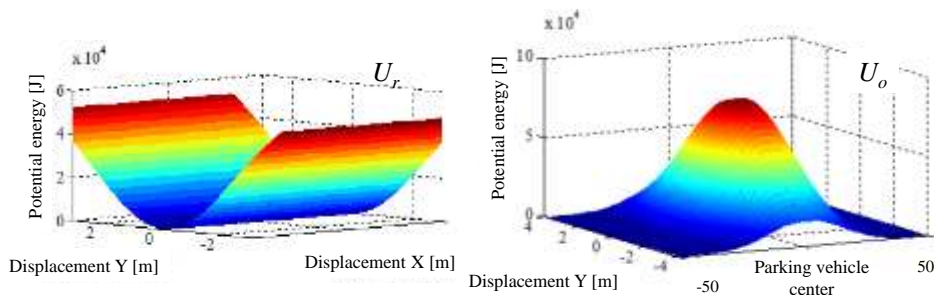
### (1)基本走行ドライバーモデル開発

ステージⅠでは、熟練ドライバーの運転行動に基づき、通常時から緊急時までの走行領域に対応できる先読み運転知能モデルを構築し(図⑥-1)、1) 基本走行機能、2) 潜在リスク予測機能、3) 緊急回避機能の3つを有する熟練ドライバーモデルならびに制御機構を構築している。ステージⅡでは、この設計基盤をベースに、単純な走行場面から複雑な走行場面まで、多様な走行シーンに適応可能な制御介入システムの詳細設計、ならびにプロトタイプ車両に構築したドライバーモデルの実環境機能評価を実施した。



図⑥-1 熟練ドライバの運転知能のモデル構築

規範運転操作を決定するうえで、様々な横・前後運動計画法が提案されているが、熟練ドライバの運転知能モデルでは、ポテンシャルフィールド法を用いた運動計画法を採用している。先行車追従場面等、事故に関与しうる対象が明白である場合は、衝突余裕時間や車間時間等の既存のリスク指標を用いてその危険性を評価できるが、駐車車両の陰からの人の飛び出し等、事故に関与しうる対象が明白でない場合には、既存手法を用いることはできない。1) 基本走行機能、2) 潜在リスク予測機能、3) 緊急回避機能の3つの機能を有する熟練ドライバモデルの構築において、ポテンシャルフィールドは、明白でない事故に関与しうる対象等、多様な対象に生成することが可能であり、またポテンシャルフィールドの関数、あるいは重みの変更によって、顕在、または潜在的なリスクの強弱を容易に生成・変更することが可能である特徴を有する。



図⑥-2 リスクポテンシャルフィールド (Left: road, right: parked vehicle)

基本走行モデルでは、1) 市街路道路環境でのセンサ・認識系の取得データに基づき、2) 直線路・曲線路の道路境界、および先行車後端に対するリスクポテンシャルフィールドを定義し、3) 熟練ドライバ相当の規範となる経路生成ならびに運動制御系を小型自動車・プロトタイプ車両に構築し、4) 実環境における機能評価を実施した。具体的には、a) 目標コース(直線路・曲線路)に追従する車線追従制御、b) 曲線路追従に連動した加減速制御、c) 先行車追従制御の機能を有する。特に、a) では狭い交差点においてクロソイド曲線の概念を導入し、数秒先の規範経路を先読みする前方注視点ドライバモデルによってスムーズに運動制御可能な操舵制御モデルを機能検証し、b) では車両の横運動と連動した加減速制御を組み込むことによって、より熟練ドライバを模擬可能な自律運転知能システムを実現し、c) では通常時の走行シーンだけでなく、先行車の「急減速」を考慮したリスクポテンシャルフィールドを組み込むことによって、「予防安全性能の向上」を実現した。これらの評価は、トヨタ自動車と密な連携のもと、提案した制御系のソフトウェアを実験車両に搭載し、市街地を模擬したテストコースにおいて自動操舵と加減速制御機能の実用性・有効性・リアルタイム性を確認した(図⑥-3-⑥-4)。

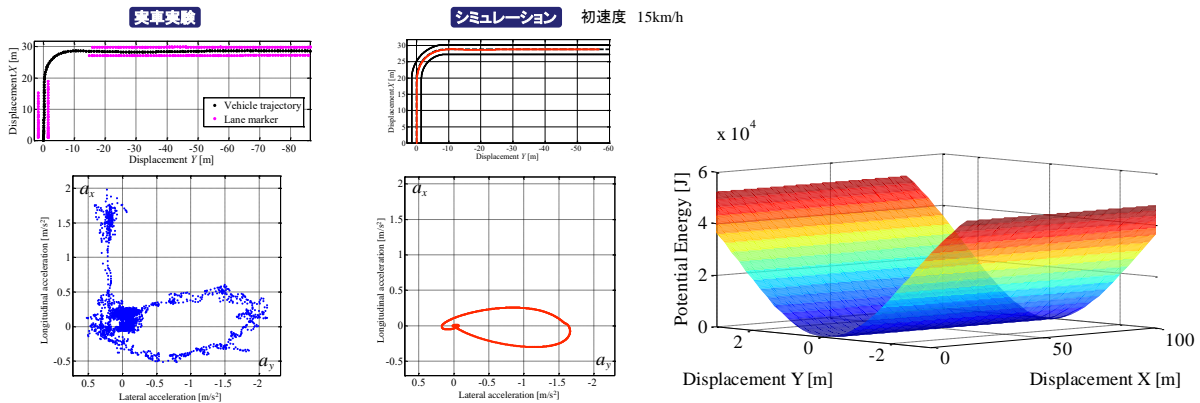
また、基本走行モデルでは、上記のリスクポテンシャルフィールドに基づく規範経路生成の基盤技術をベースに、4機関連携のうえ、よりロバストな運動制御系をプロトタイプ車両に開発した。具体的には、1) 基本走行



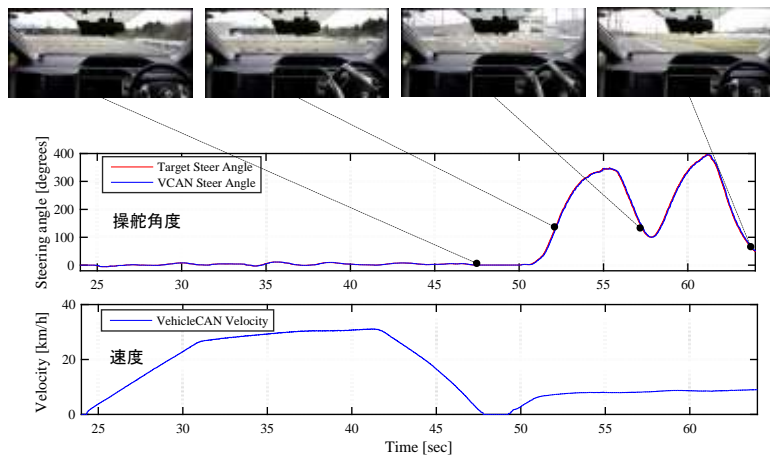
機能, 2) 潜在リスク予測機能, 3) 緊急回避機能の 3 層構造を有する先読み運転知能(熟練ドライバの運転知能)をプロトタイプ車両に構築し, リスクポテンシャルとそのリスク最小化を図る多点探索型ヨーレート(また加減速度)決定法の提案・検証を実施した. 具体的に, リスクポテンシャルとそのリスク最小化を図る多点探索型ヨーレート決定法について述べる. 横運動計画のためのサンプリング周期  $\Delta_{p,y}$  と予測ホライズン  $N_y$  を定義し, また目標ヨーレート候補値  $\gamma$  の範囲を定義する. 次に目標ヨーレート候補ごとに, 自車両の将来予測位置におけるポテンシャル値を演算する. ここで, 式(1)の評価関数を設定する. 評価関数の右辺第一項は, 潜在リスクを表現するポテンシャル値を意味し, 右辺第二項は, 運転の滑らかさを意味し, 評価関数が最小となるヨーレートを指令値として決定する. すなわち, 潜在リスクの評価と運転の滑らかさを両立する目標ヨーレート  $\gamma^*$  を決定する.

$$\gamma^*(t) = \min_{r_p} \sum_{j_y=1}^{N_y} \left( U_t(X_{p-y}(i_y, j_y), Y_{p-y}(i_y, j_y)) + r_y \gamma_p^2 \right) \quad (1)$$

ここで,  $N_y$  は予測ホライズン,  $X_{p-y}$ ,  $Y_{p-y}$  は自車両予測位置,  $i_y$  は目標ヨーレート候補番号,  $j_y$  は各目標ヨーレート候補に対する予測ホライズン番号,  $r_y$  はヨーレート入力に対する重み,  $\gamma$  は目標ヨーレート候補である. 上記演算は, 制御演算周期ごとに繰り返し, 目標ヨーレートを逐次更新する. 本手法をプロトタイプ車両に構築・実装し, 市街路環境を想定したテストコースにおける基本走行モデルのロバスト性・リアルタイム性等の機能を検証した結果を, 図⑥-5 に示す. 目標ヨーレートから操舵角度に変換された目標舵角に対して, 実舵角がスムーズに追従可能であることを確認した.



図⑥-3 シミュレーションならびに実環境実験の結果 図⑥-4 軌跡追従のためのポテンシャルフィールド (上: 車両軌跡, 下: 連動した横加速度と前後加速度)



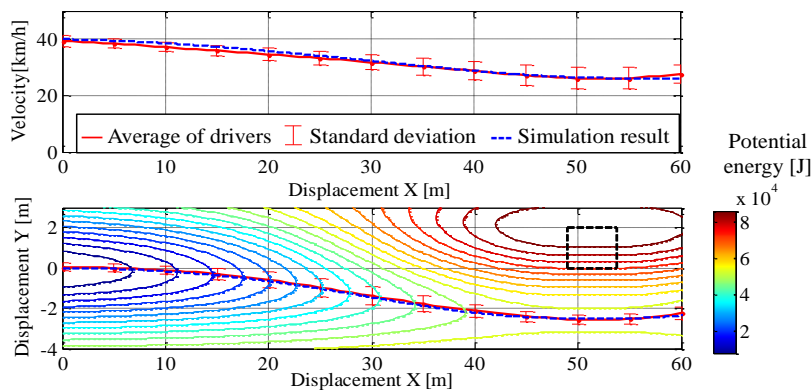
図⑥-5 市街路環境における基本走行モデルの機能検証結果 (上: 操舵角度(赤線: 目標舵角, 青線: 実舵角), 下: 速度)

(2)潜在リスク予測ドライバモデル開発

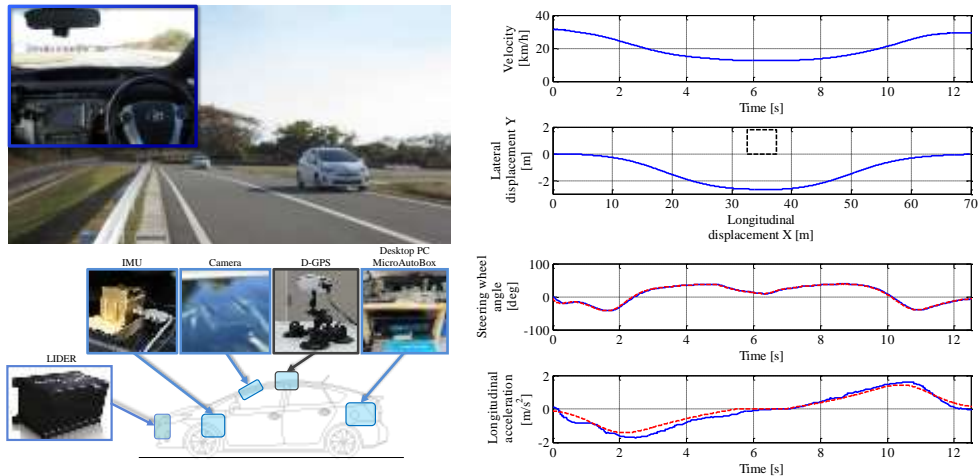
潜在リスク予測ドライバモデルでは、基本走行モデルと同様に、1) 市街路道路環境でのセンサ・認識系の取得データに基づき、2) 無信号交差点・障害物回避場面等における見通しの悪い領域(死角)からの歩行者飛び出しに対する潜在リスクをリスクポテンシャルフィールドで定義し、3) 熟練ドライバ相当の規範となる経路生成ならびに運動制御系を小型自動車・プロトタイプ車両に構築し、4) 実環境における機能評価を実施した。具体的には、a) 豊田中央研究所と連携したうえで、テストコースで計測された駐車車両回避場面での熟練ドライバの運転行動分析、ならびにリスクポテンシャルのパラメータ同定を実施し、b) リスクポテンシャルフィールド法に基づく潜在リスク予測ドライバモデルの妥当性を検証するとともに、c) 提案した制御系のソフトウェアを小型自動車・プロトタイプ車両に搭載し、市街地を模擬したテストコースにおいて自動操舵と加減速制御機能の実用性・有効性・リアルタイム性を確認した(図⑥-6, 図⑥-7)。特にb) では、既存のリスクポテンシャルの勾配に基づく運動制御で発生し得る問題(局所最小値問題)を回避するべく、横方向・前後方向の各々について独立に設定したリスクポテンシャル最適化問題に帰着させることで、運動計画アルゴリズムを新規に提案・実装した。具体的に述べる。前後運動計画のためのサンプリング周期  $\Delta t_{p-x}$  と予測ホライズン  $N_x$  を定義し、また目標ヨーレート候補値  $a_x$  の範囲を定義する。次に目標加減速度候補ごとに、自車両の将来予測位置におけるポテンシャル値を演算する。ここで、式(2)の評価関数を設定する。評価関数の右辺第一項は、潜在リスクを表現するポテンシャル値を意味し、右辺第二項は、運転の滑らかさを意味し、評価関数が最小となる加減速度を指令値として決定する。すなわち、潜在リスクの評価と運転の滑らかさを両立する目標加減速度  $a_x^*$  を決定する。

$$a^*(t) = \min_{a_x} \sum_{j_x=1}^{N_x} (U_t(X_{p-x}(i_x, j_x)) + r_x a_x^2) \quad (2)$$

ここで、 $N_x$  は予測ホライズン、 $X_{p-x}$  は自車両予測位置、 $i_y$  は目標ヨーレート候補番号、 $j_x$  は各目標ヨーレート候補に対する予測ホライズン番号、 $r_x$  はヨーレート入力に対する重み、 $a_x$  は目標ヨーレート候補である。上記演算は、制御演算周期ごとに繰り返し、目標加減速度を逐次更新する。潜在リスク予測ドライバモデルでは、i) 最適経路、ならびに最適走行速度の決定のうえで候補となる目標運動を車両運動の物理的範囲内に限定することで、また ii) 見えない歩行者の飛び出しに対するリスク最小化を図るうえで常に数秒先のリスクポテンシャル値を先読みすることで、演算処理時間の短縮と規範運転に導く車両運動制御性能の両立を実現できることをシミュレーションならびに実環境における機能検証を通じて確認した。本ロジックに基づき、駐車車両の陰からの急な歩行者の飛び出しを予め想定し、現実に飛び出したとしても緊急回避ブレーキで回避可能である規範速度に導くことが可能であることを確認し、また、提案したシステムを搭載した場合と既存の自動ブレーキのみの場合における速度プロファイルを比較することで既存の予防安全技術の効果を向上させることが可能であることを確認した。



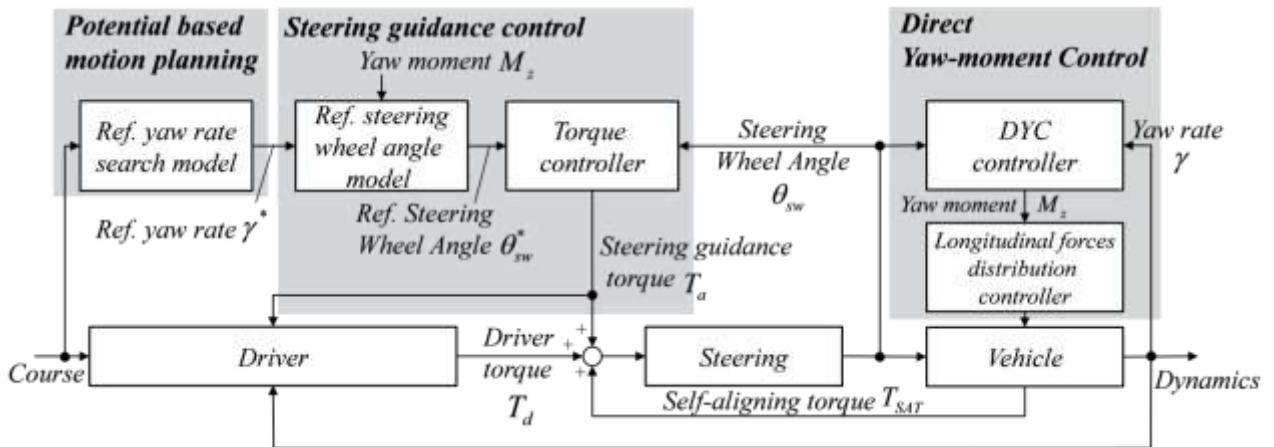
図⑥-6 リスクポテンシャル計算結果と熟練ドライバモデルの実データとの比較  
 (上:車速, 下:車両軌跡とリスクポテンシャルの等高線,  
 青線:シミュレーション結果, 赤線:実走行データ(人数N=5, 平均と標準偏差))



図⑥-7 潜在リスク予測ドライバモデルの機能検証結果

(速度, 車両横位置, 操舵角度(青線:シミュレーション結果, 赤線:実走行データ), 前後加速度)

また, 潜在リスク予測ドライバモデルでは, 上記の運転知能システムをベースに, Direct Yaw-Moment Control (DYC) と操舵制御を組み合わせた運転知能システムを開発した. 熟練ドライバの運転知能モデルと高齢者ドライバが協調しながら操舵を実行するとき, 人間と機械の行動が干渉することでドライバに違和感を与えることが問題とされ, これを解決することを目指した. DYC は, 各輪の制駆動力を用いて車両の方向制御を行うことが可能であることから, ステアリングホイールを介した操舵制御入力を低減することが可能である. このことから, 本課題では, DYCと操舵制御の機能を兼備した運転知能モデルを構築した. 図⑥-8 は, 提案する運転知能を有する運転支援システムである. コースに対する実ドライバの認知・判断, ステアリングの操作, 車両の運動という通常の系に対し, 横運動計画部, 操舵誘導制御部, DYC制御部を新たに構築した.



図⑥-8 Human-machine shared driving system

具体的に述べる. 横運動計画部で得られた目標ヨーレートを用いて, 規範ステアリングホイール舵角を式(3)で定義する.

$$\theta_{sw}^* = nG_{\delta}^{\gamma^{-1}}(\gamma^* - G_M^{\gamma}M_z) \quad (3)$$

ただし,  $n$ はステアリングギヤ比,  $M_z$ はDYC入力量である. 次に, 規範ドライバと実ドライバの操舵の差分に比例した操舵誘導トルク  $T_s$ を式(4)で定義する.

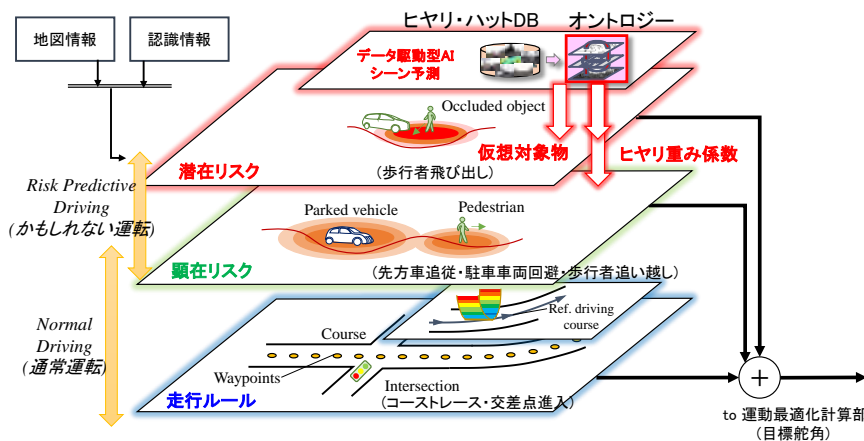
$$T_a = K_a (\theta_{sw}^* - \theta_{sw}) \quad (4)$$

ただし、 $K_a$ は操舵誘導トルクゲインである。実ドライバ入力を反映したステアリング舵角  $\theta_{sw}$  が、規範ドライバに基づいたステアリングホイール舵角  $\theta_{sw}^*$  と一致する場合は、操舵支援トルク  $T_a$  はゼロとなる。この状態では、操舵誘導トルク  $T_a$  に起因する力覚(反力)を実ドライバは感じることはない。この原理を活用し、本制御部では操舵誘導の機能を実現する。DYCについては、式(5)にてDYC入力量を決定する。

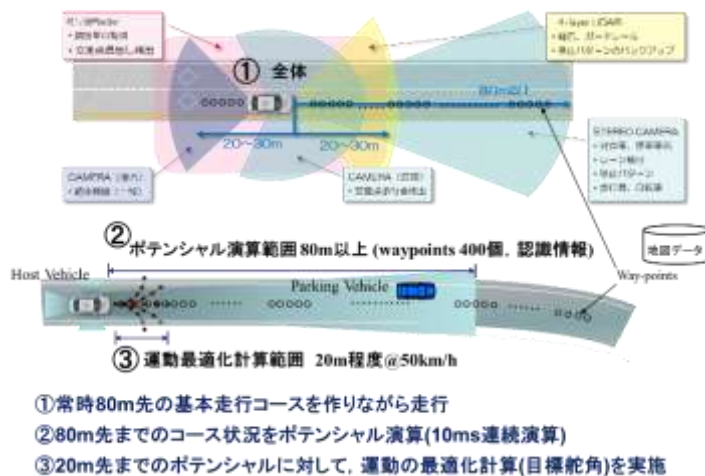
$$M_z = K_{mz1} \times \frac{\theta_{sw}}{n} + K_{mz2} (\gamma^* - \gamma) \quad (5)$$

ただし、 $K_{mz1}$ 、 $K_{mz2}$ はDYCゲイン、 $\gamma$ は実ヨーレートである。右辺第一項は、舵角比例制御であり、車両単体の横滑り角、ヨーレートの操舵特性を変化させるためのDYCである。右辺第二項は、ヨーレート偏差フィードバック制御であり、規範ヨーレートと実ヨーレートの僅差分に対して追従性能を確保するためのDYCである。式(3)から分かるように、ステアリングホイールを介した操舵制御入力を低減させ、規範コースへの誘導効果と操舵干渉緩和の両立を狙う。本課題では、小型車両ならびに実験車両にDYCと操舵制御を組み合わせた運転知能システムを構築・実装し、操舵誘導によってドライバが規範コースを追従できるだけでなく、ステアリングまわりのトルク干渉の低減が可能であることを確認した。

ステージIIでの熟練ドライバモデルの開発の成果をまとめると、図⑥-9のように整理することができる。これは一番下の基本走行ポテンシャルの層で、リスクの低い通常運転領域において運動力学モデルによって熟練ドライバのコース取りを再現し、中間層と一番上の層である顕在・潜在リスクポテンシャルの層で、衝突が起きるかもしれない領域においてリスク最小化問題といったアプローチで開発を行った。その際のリスク予測制御ロジックの作動方法は図⑥-10に示す。



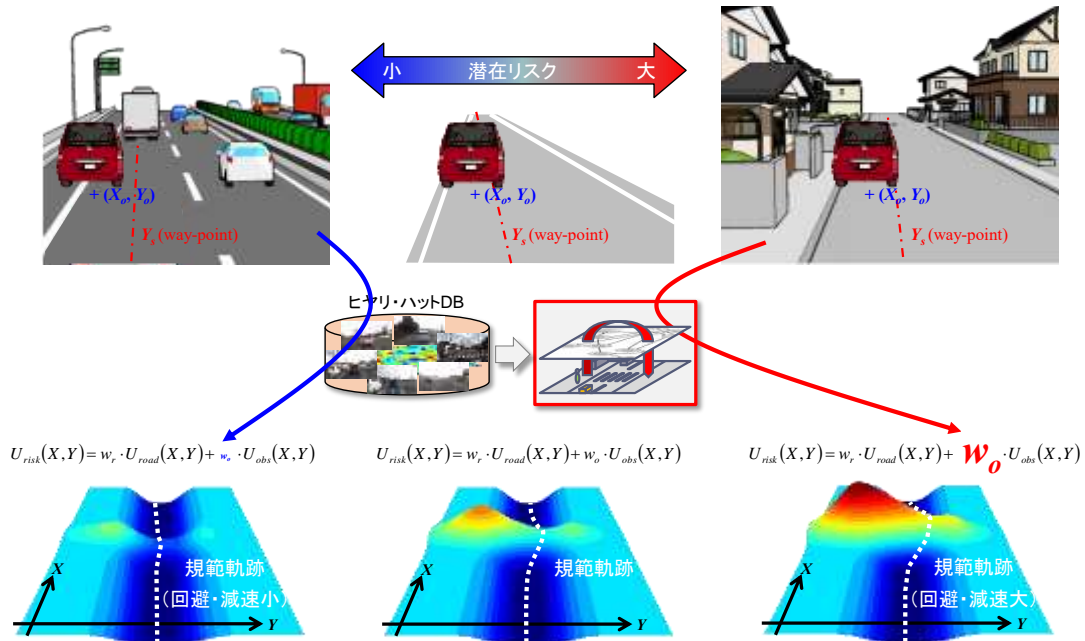
図⑥-9 自律(先読み)運転知能システムの階層構造と情報オントロジー技術の融合



図⑥-10 リスク予測制御ロジックの作動方法

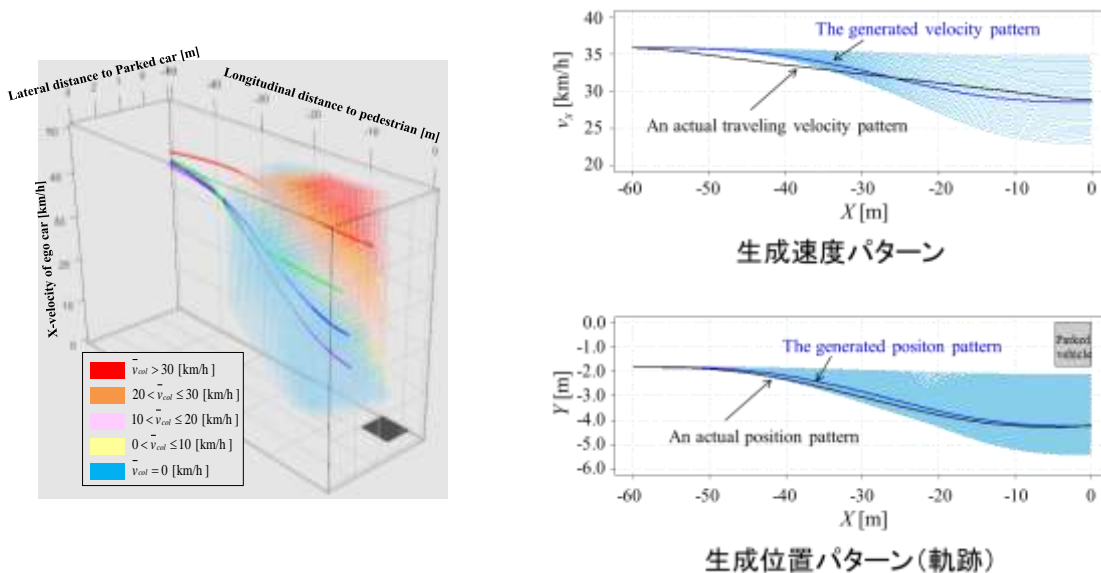
### (3) 運転知能モデルの統合

開発してきた3つの運転知能モデル(基本走行モデル, 顕在リスクモデル, 潜在リスクモデル)の統合化に向けて, 統合モデルの構成を考案した. 統合モデルでは, それぞれのモデルをポテンシャル形式で統一し, それらを重ね合わせることで統合ポテンシャルを生成する構成とした. さらに, 重ね合わせの際に, データ駆動型 AI によって予測したリスク発生をポテンシャル重みとして利用する構成をとる(図⑥-11). このような構成とすることで, 物理的には同じ状況であっても, 交通状況に応じた先読み運転の実現が可能となる.



図⑥-11 ポテンシャル重みによる状況に応じたリスクポテンシャル生成のイメージ

また, 提案した衝突速度に基づく潜在リスク定義(衝突速度フィールド: 図 3-6-12(a))を用いた熟練ドライバーの先読み軌道生成手法の開発を行った. 図⑥-12 (a)に示す衝突速度フィールドを安全性のコスト関数とみなし, 車両挙動の滑らかさを確保しつつ, このコストを最小化するような先読み軌道を求める手法を開発した. 適切なパラメータ設定を行うことで, 駐車車両通過場面において熟練ドライバーの実車両挙動(位置, 速度)と同等な軌道を生成することができた.



(a) 衝突速度フィールド

(b) 生成された速度, 位置パターンの例

図⑥-12. 先読み軌道生成の例

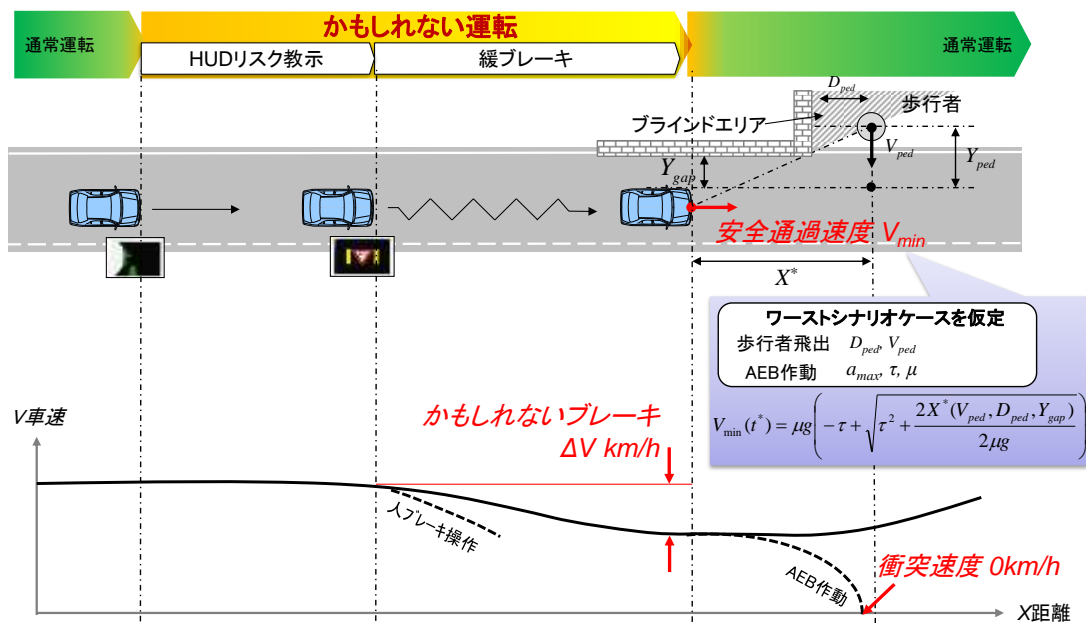
#### (4) 運転知能モデルの実装とリスク予測制御部の統合

ステージⅢでの評価実験に向けて、ヘッドアップディスプレイ(以下、HUDとする)を用いたリスク教示と、速度制御との統合を、東京農工大学、東京大学、トヨタ自動車、豊田中央研究所、神奈川工科大学と協力して実施し、プロトタイプ車への実装と動作検証を完成させた。下記に、その設計構成を記す。

図 3-6-13 は、見通しの悪い交差点通過するシーンにおける、速度制御の作動形式である。本プロジェクトの研究開発の主眼は、かもしれない運転が必要なシーンに対する高齢者の支援である。従って、速度制御としては、緊急ブレーキ(以下、AEB とする)に繋げるための緩ブレーキ(すなわち先読みブレーキ)が実行される。具体的には、ブラインドエリアから歩行者が「飛び出してくるかもしれない」を想定し、万が一、歩行者が飛び出してきたとしても AEB によって衝突回避が可能な速度まで減速をおこなう。ここで、安全通過速度  $V_{min}$  とは、上記状況に対して、歩行者の飛び出し速度、位置などをワーストシナリオケースで仮定し、相対距離と相対速度の物理的制約条件で演算、決定される速度である。安全通過速度まで速度を落とし、見通しの悪い交差点を通過することができれば、歩行者飛び出しの万が一に対して、適切な対応が可能となる。

自律運転知能システムは、ドライバの運転行動を主体としながら、上記のかもしれない運転行動との差分をみながら、補完するように、規範減速度を演算し、緩ブレーキを実行する。また、実ドライバの受容性を向上させるためには、システムが実行している運転行動の意図を共有することが重要となる。そこで、システムの意図を解りやすく示すべく、ヘッドアップディスプレイ(HUD)を採用し、HUD から適切な情報量のリスク教示を示す仕組みを兼備させた。なお、HUD のコンテンツには、東京大学の研究成果を活用した。

図⑥-13. の下段に、車速プロファイルの波形イメージを示す。まず、自車が見通しの悪い交差点に進入すると、HUD から、前方の見通しの悪い交差点に対して、歩行者が「飛び出してくるかもしれない」というリスクが教示される。そして、自車が高速で進入しているようであれば、自律運転知能システムは、安全通過速度との差に応じて「かもしれないブレーキ」量を演算し、制御介入がおこなわれる。このように、HUD 教示および車両挙動の変化を適切に組み合わせ、実ドライバ自身の運転行動を速度低下の方向へ変容を促し、人間-機械の協調系で安全通過速度を実現することが本システムの設計概念である。



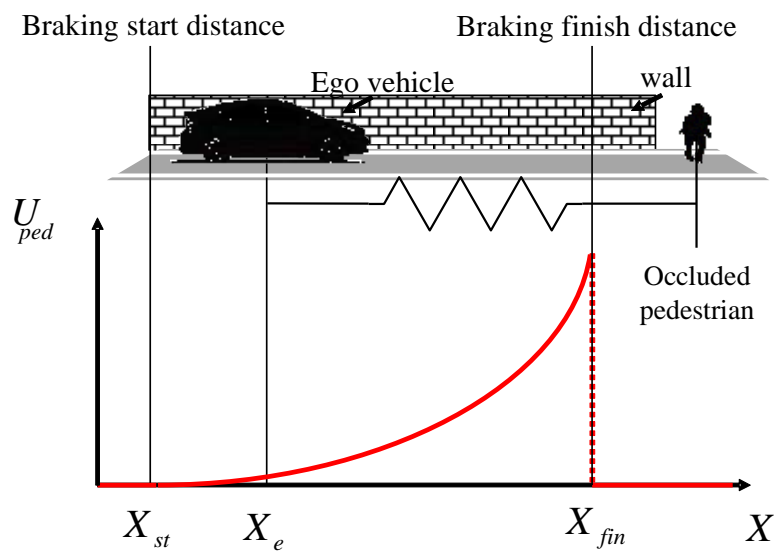
図⑥-13. 「かもしれないブレーキ制御」作動原理

「かもしれないブレーキ」を実行するための目標減速度演算には、横制御との制御思想を統一するために、リスクポテンシャル最適化理論を用いる。具体的には、仮想歩行者に対する斥力ポテンシャルを、式(1)で定義する(図⑥-14)。

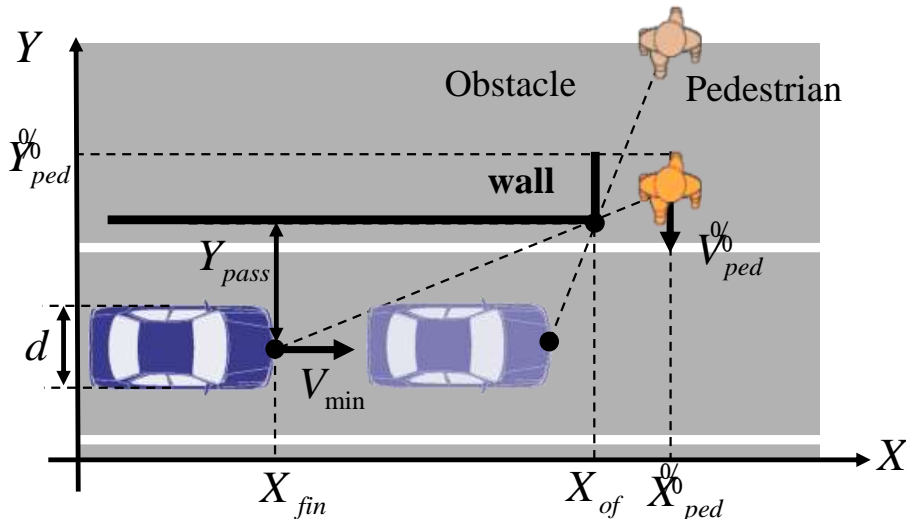
$$U_{ped} = \begin{cases} 0 & (X(t) < X_{st}) \\ \frac{1}{2}k_{ped} \cdot (X_{st} - X_e(t))^2 & (X_{st} < X(t) < X_{fin}) \\ 0 & (X(t) > X_{fin}) \end{cases} \quad \text{式(1)}$$

ここで、 $k_{ped}$  は、斥力ポテンシャルのばね定数であり式(2)に示す関係を用いて、安全通過速度  $V_{min}$  と連携して、式(2)で決定される。安全通過速度が低い、すなわち十分な減速が必要な場合は、このばね定数が大きくなるため、前後方向の斥力ポテンシャルは急勾配となる(図⑥-15)。

$$k_{ped} = \frac{m(V_{min}^2 - V(t)^2)}{(X_{st} - X_e(t))^2 - (X_{st} - X_{fin})^2} \quad \text{式(2)}$$



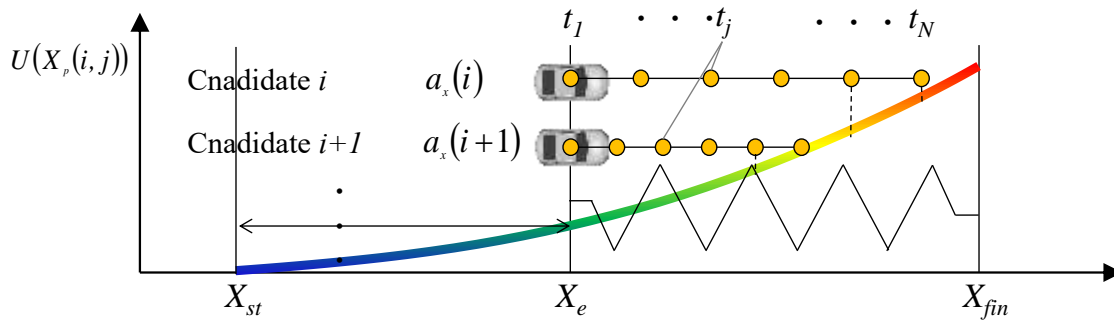
図⑥-14. 前後方向の斥力ポテンシャル



図⑥-15. 自転車と歩行者の関係

設定された前後方向の斥力ポテンシャル場に対し、リスクポテンシャルと予測減速度に基づく式(4)の評価関数を最小化することで、時々刻々の規範減速度  $A_x^*$  を算出する(図⑥-16)。

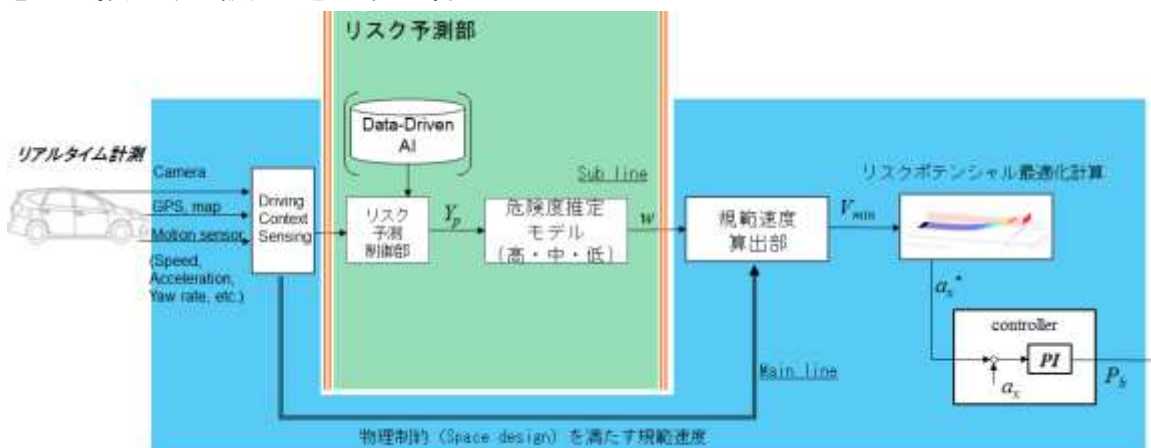
$$a_x^*(t) = \min_{a_x} J_x = \min_{a_x} \sum_{j=1}^N (U(X_p(i, j)) + r_x a_x^2) \quad 0 \leq a_x(i) \leq a_{x\_max} \quad (3)$$



図⑥-16. 予測減速度候補の設定方法

本プロジェクトの特徴は、上記のようなシチュエーションに対して、物理制約条件に基づく安全通過速度を演算することである。しかしながら一方で、実際の道路環境では、仮に同じ設定条件が可能な見通しの悪い交差点であっても、周辺の道路環境(道路幅、交差点有無、住宅街か否か等)に応じて、飛び出しの程度は変化するものであり、また、実際の熟練ドライバーはこのような周辺環境も鑑みながら、安全通過速度を動的に変化させている。そこで、この動的な変化を実現するために、自律運転知能システムは、ヒヤリハットデータクラウドなどの統計データに基づくリスク予測制御部と組み合わせる。図⑥-17 に具体的な制御ブロック図を示す。規範速度算出部では、物理制約を満たす安全通過速度を、リスク予測制御部で演算された、道路環境の危険度(高・中・低)に応じて動的に変化させる構造とする。ここで、「かもしれないブレーキ」制御の主線は物理制約に基づく安全通過速度である。リスク予測制御部で演算された危険度は、より安全で滑らかな規範運転を演算するための複線である。このような考え方を取ることで、システムとして冗長系を実現する。

本ステージでは、研究開発の第一歩として、時間帯および生活道路か否かを危険度推定の因子とするリスク予測制御部を構築し、前述のプロトタイプ車両に実装した。具体的なレベル分け図⑥-18 に示す。リーン地図情報に紐づけた生活道路情報と、走行時の時間帯を使って、危険度を決定する構成とする。算出された危険度は、物理制約で算出された安全通過速度と自転車速度の差の減速量に対して、減速量を調整する。この仕組みは、斥力ポテンシャルのばね定数  $k_{ped}$  の硬さを変化させることと等価であり、図⑥-19 のように整理することができる。このように、リスク予測制御部で決定された危険度が、リスクポテンシャルの勾配として表現できる点は、直感的に解りやすい設計思想であると言える。



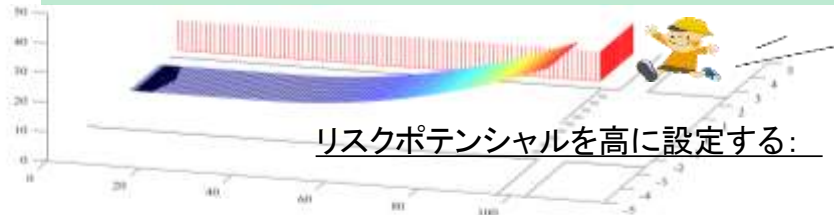
図⑥-17. リスク予測制御部を有する「かもしれないブレーキ制御」構造



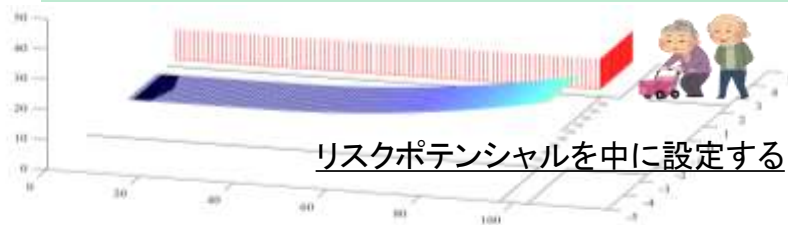
- |                        |          |
|------------------------|----------|
| 1. 自車が生活道路を走っている 且つ 夕方 | → 危険度(高) |
| 2. 自車が生活道路を走っている 且つ 朝方 | → 危険度(高) |
| 3. 自車が生活道路を走っている       | → 危険度(中) |
| 4. 自車が生活道路を走っていない      | → 危険度(低) |

図⑥-18. 危険度(高・中・低)のレベル分け例

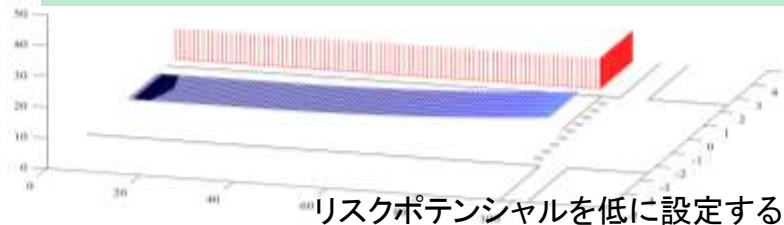
■ 通学・帰宅の時間帯, かつ生活道路



■ 昼の時間帯, かつ生活道路

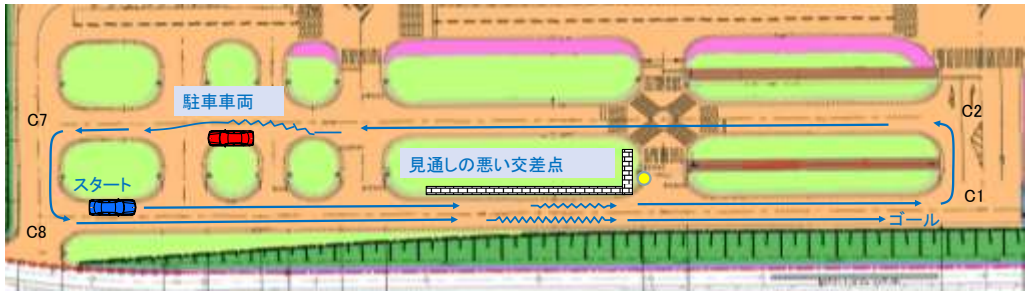


■ 生活道路でない



図⑥-19. リスク要因とリスクポテンシャルの設定の関係

実装構築したシステムが正しく作動するかを確認するため、トヨタ自動車の東富士研究所の模擬市街路に図⑥-20に示す連続コースを設定し、評価をおこなった。本コースでは、見通しの悪い交差点を2回通過するが、一回目は生活道路ではない(危険度(中)), 二回目は生活道路である(危険度(高))という設定を模擬的に組み入れている。図⑥-21に走行実験の様子を示す。ここでは、見通しの悪い交差点に進入する運転シーンの一コマである。前方左の壁は、見通しの悪い交差点を模擬したものであり、また社内のインパネ右方は HUD である。実験データを図⑥-22 に示す。実ドライバがアクセル/ブレーキのペダルワークをしている中で、「かもしれないブレーキ」が働く交差点①、駐車車両、交差点②の3箇所で、滑らかな減速度を発揮する先読みブレーキ制御介入が実現できていることが確認できる。また交差点①、②では、リスク予測制御部で推定された危険度に応じて、安全通過速度が動的に変化しており、生活道路を走行していた交差点②では、より十分な減速が実現できていることが確認できた。以上の結果より、実装したシステム正常作動が確認された。ステージⅢでは、本システムを用いて、高齢ドライバの評価を進化させていく。



	スタート	直進	見通し悪 交差点①	直進	カーブ (C1~C2)	直進	駐車 車両	直進	カーブ (C7~C8)	直進	見通し悪 交差点②	直進	ゴール
横制御	協調 制御												
縦制御			緩ブレーキ (中)				緩ブレーキ (中)				緩ブレーキ (大)		

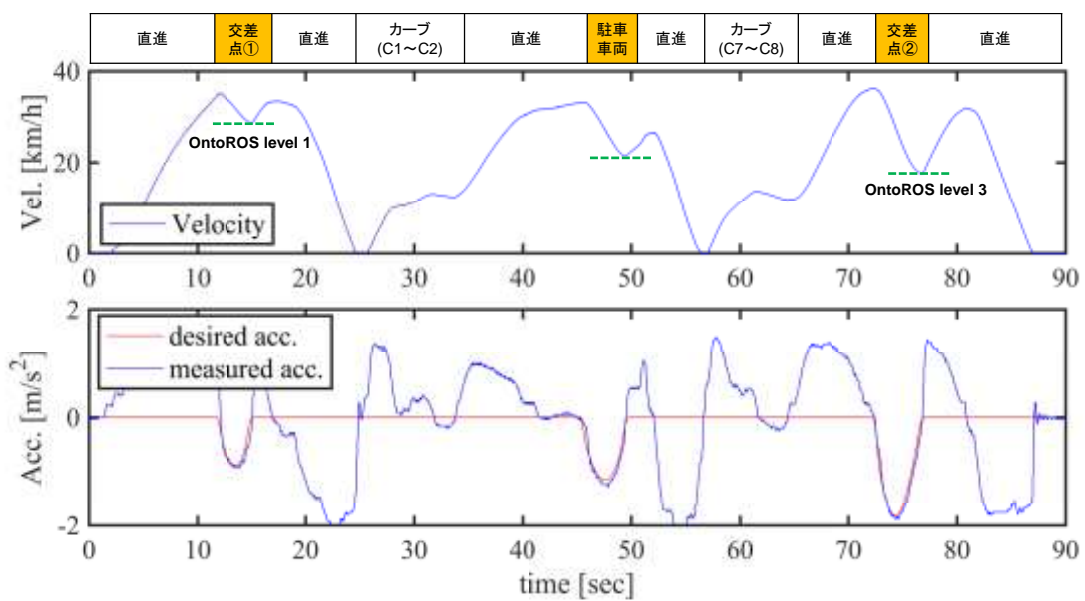
HUD  
Ontology

HUD, Ontologyは縦制御(潜在リスク)と運動する

図⑥-20.連続コースシナリオ



図⑥-21. 見通しの悪い交差点への進入実験



図⑥-22. 実験結果

## ⑦障害物回避制御のシステム設計・緊急回避ドライバモデルの開発

(研究機関:東京農工大学・トヨタ自動車)【達成度 100%】

本課題では、危険回避のためのブレーキ制御と操舵支援制御システムを設計し、運転者・機械(自動車)一体化で熟練ドライバ並みの制御成績を確保するため、正常状態の規範モデルから外れた場合に異常と判断して、制御介入を実行するプロトタイプ車両を開発することを目標とする。

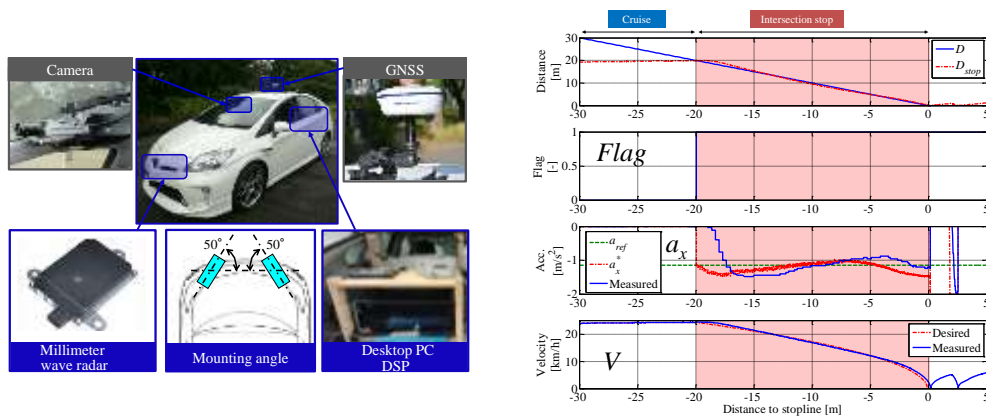
### (1)車線逸脱、交差点出会い頭における回避制御システムの設計と検証

ステージⅠでは、構築した共通プラットフォーム(運転知能モデル)を用いて、1)市街路道路環境でのセンサ・認識系の取得データに基づき、2)自律運転知能モデルの第一歩として、単路走行時における障害物回避を対象に、熟練ドライバの運転知能に基づく自律運転知能モデルと運動制御系ソフトウェアを開発した。ステージⅡでは、多くの高齢者が引き起こす出会い頭事故を防ぐため、無信号交差点などの複雑な走行環境への適用・拡張を図り、a)交差点での一時停止と、b)交差車両に対する衝突回避自動停止の二段停止機能を有する緊急回避ドライバモデルを開発・構築し、市街地を模擬したテストコースにおいて加減速制御機能の実用性・有効性・リアルタイム性を確認した。車線逸脱防止機能に関しては、⑥の基本走行ドライバモデルと同様な考え方で、リスクポテンシャルによる操舵制御介入を設計することとした。

### (2) 障害物回避制御の性能改善

二段停止機能を有する緊急回避制御系開発におけるさらなる改善点として、1)トヨタ自動車および東京大学と連携し、ADAS Horizon による簡易地図の事前情報、ならびにカメラを用いた停止線検出による車両自己位置補正を用い、2)一時停止自動ブレーキでは、熟練ドライバの運転行動データに基づき設計することで緩やかな減速を実現し、3)緊急回避ブレーキでは、ミリ波レーダを用いて交差車両認識とその交差車両接近判断アルゴリズムを設計し、徐行と停止を繰り返す。またスムーズな頭出し行動の自動速度制御系を開発した。これらは、プロトタイプ車両に実装し、一時停止線における強制停止動作から交差点通過までの一連の動作を制御可能な自律運転知能システムの実用性を確認した。

ステージⅢにおけるFOTでは、緊急回避ドライバモデルはリスクが著しく高まったときのみ作動することから、多くのデータを取得することが困難であると想定されるが、システムの検知機能と判断部が様々な場面で正常に実行されているか確認しつつ、ヒヤリハットデータベースやこれまでに蓄積した市街路走行データクラウドを活用することで本機能の有用途等の評価、ならびにさらなる機能改善を進めた。



図⑦-1 交差点出会い頭事故防止のためのセンシング・制御プラットフォーム、二段停止システムの動作例

## ⑧実路走行データの収集と分析

(研究機関:東京大学)【達成度 100%】

本プロジェクトで対象とする走行環境の特性を把握するために、想定交通環境の一例として福井県大野市での実路データの収集を行った。平成 25 年度は大野市中心部の市街地に加え、郊外や山間部でのデータ収集も実施した。その結果、市街地中心部では比較的整備状況の良い道路が確認できたが、郊外や山間部では白線の無い道路や白線のかすれた道路が多数存在する事が確認された。また、収集したデータを、本プロジェクトで開発している外界環境認識技術の評価にも活用した。図⑧-1 に本研究で開発した走路境界検出技術を適用した結果の一例を示す。外界環境認識技術の開発時には特定の道路のみに注目していたが、この評価によって実際に想定している走行環境でもある程度は走路境界の認識が可能な事が確認された。しかし収集したすべての道路に対しては、開発した認識技術の適用が難しい事も確認できた。図⑧-2 に示す様に、走路境界が植物に覆われた道路では走路境界の検出が難しく、異なる検出原理の新たなアルゴリズムを開発する必要があることが分かった。

尚、今後は⑩(2)模擬市街路等での外界認識システムのロバスト向上や、⑫(2)想定市街地でセンサ・認識系のロバスト性検証にて、更に深化を図る。  
(公道実証を通じたスパイラルアップ)



図⑧-1 福井県大野市で取得したデータに提案手法を適用した結果の一例



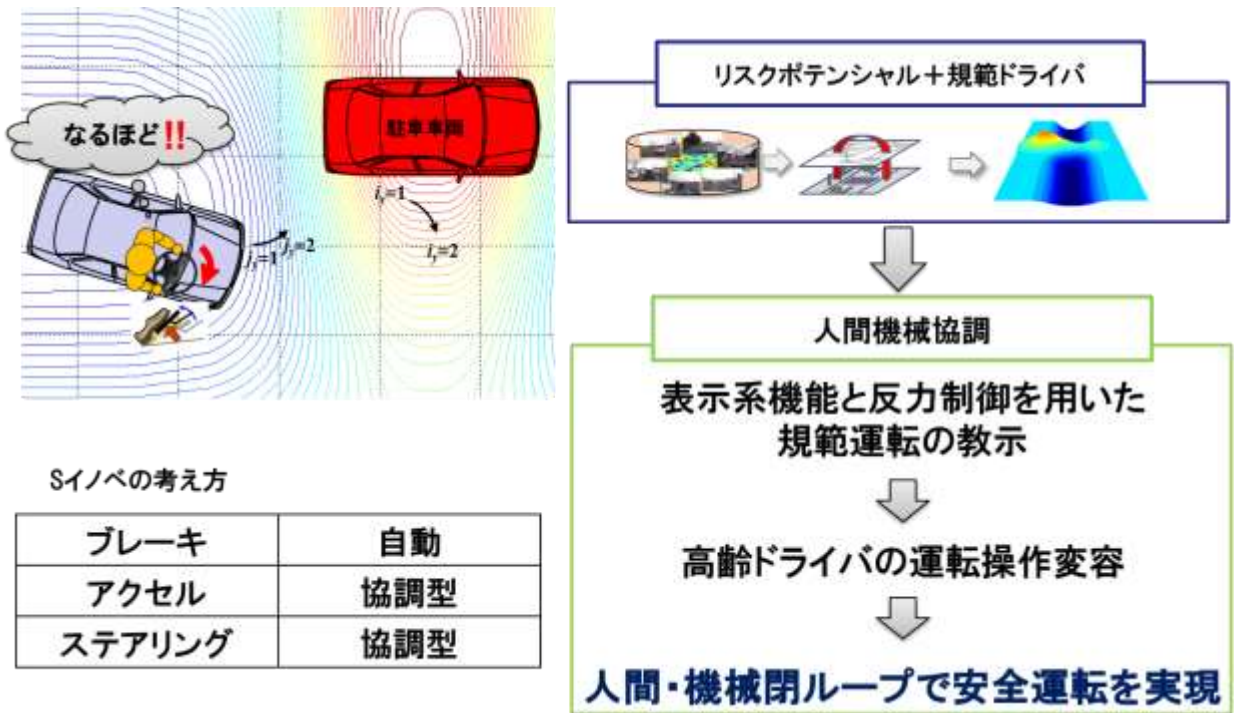
図⑧-2 提案手法では走路が検出出来なかった状況の一例

⑨ 適応型 HMI の開発 (ロジック・機能等)

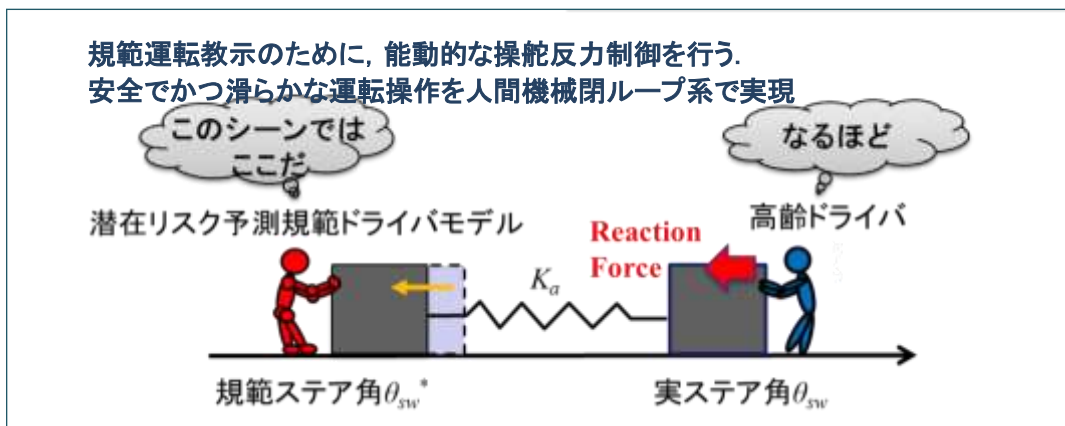
(研究機関: 豊田中央研究所・東京農工大学・神奈川工科大学・トヨタ自動車)【達成度 120%】

(1) 操舵・アクセル・ブレーキオーバライド機能開発

人間機械協調の基本的な考え方を以下に示す。



図⑨-1. 人間機械協調の考え方



図⑨-2. ステアリングによる Haptic Shared Control

潜在リスク予測運転状況下での支援ロジックを開発するとともに、ドライバへの操作支援や介入方法が課題となる。そこで、状況に適応した速度設定・速度制御支援を実現するためのペダル反力呈示装置の車載プロトタイプの開発を行い(図⑨-3)、ペダル反力と自動減速による速度コントロール支援の実車体感評価を実施した。

アクセルペダル反力呈示として2種類の呈示方法を実装した。第一に、時間に対して反力を変えるもので、ドライバの操作に関係なく一定の反力が呈示可能であり、警報や注意喚起のための反力呈示に利用できる。第二に、ドライバのペダル操作量に応じて反力を呈示するもので、定速走行場面において一定ペダル開度を維持しやすくするために目標操作位置で「コツンと止まる」感覚を付与し、ドライバの負担の小さなペダル操作を実現

し適切なペダル操作の支援に利用できる。

開発した支援システムの機能検証のため、図⑨-4 に示すように、実験車両に実装して一時停止交差点における減速場面の走行実験を行った。本プロジェクト参加メンバによる走行実験から、以下に示すような支援方法の具体化を行った。

① アクセルペダル操作支援

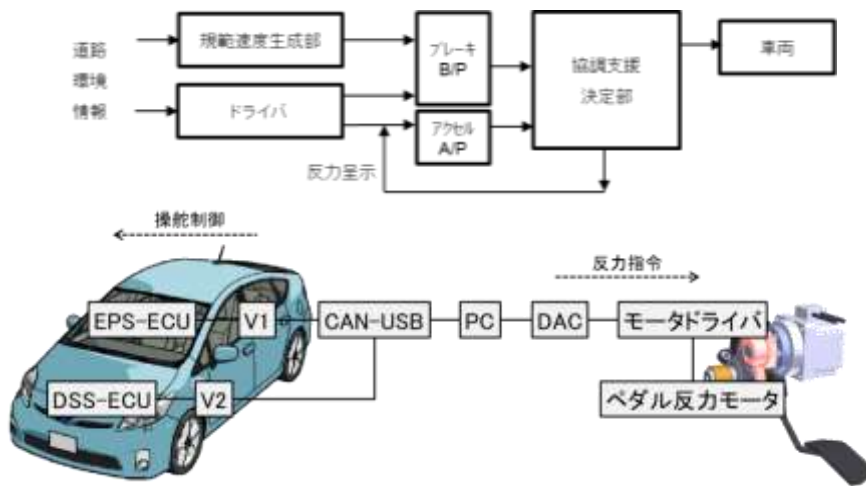
停止状態から加速し定常走行までの理想とする速度変化とアクセルペダル操作を実現するために反力呈示量を変える。ドライバはアクセルペダルに軽く足をのせるだけで、加速や定常走行における理想とするペダル位置へと誘導される。

② ドライバ意図による自動減速

ドライバのアクセルオフ操作をドライバの減速意図とし、このドライバ意図をトリガに自動減速を行う。ペダルオフ時点で停止線までに必要な減速度を算出、車両に減速制御信号を送る。

③ アクセルペダル警報

ドライバが脇見などで停止線を見落として減速操作が遅れた場合、アクセルペダルを押し戻し警報することにより強制的にアクセルペダルオフさせて、さらにこのアクセルオフをトリガに自動減速で停止線にて車両を停止させる。



(a) システム構成図

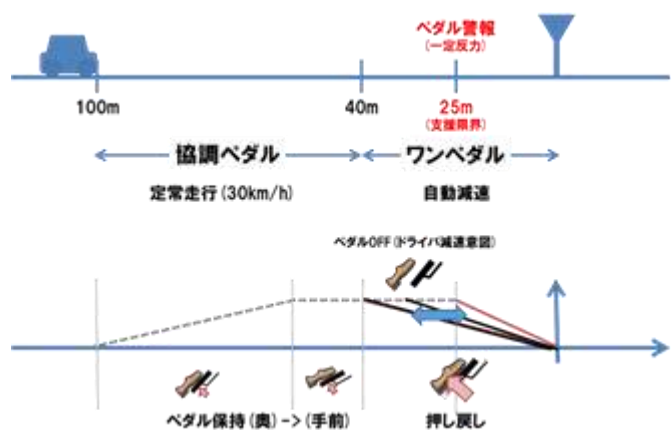


(b) 実装の様子

図⑨-3. 車両実装したアクセルペダル反力呈示装置



(a) 実験風景



(b) 速度制御支援の考え方

図⑨-4. 速度制御支援の機能検証

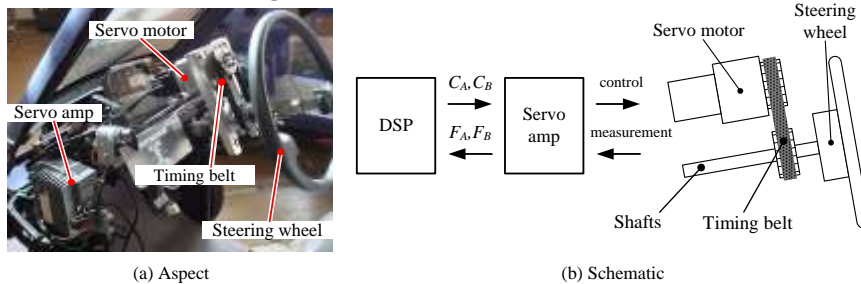
操舵に関しては、今回は東京農工大学が所有する COMS 実験車を用いた(図⑨-5)。その理由は、ロジックの主要制御であるステアリング制御が容易に実装できるためである。図⑨-6 は実験車のステアリングまわりの構造である。サーボモータとタイミングベルトを有しており、タイミングベルトを介してサーボモータがシャフトにアシ

ストロークを加える構造となっている。図⑨-7 は実験コースである。人間機械協調度を明確に検証するために、今回は最も基本的な走行であるシングルレーンチェンジを題材とした。ドライバはトヨタ自動車のテストドライバであり、本プロジェクトに参画していない公平な立場の人間である。

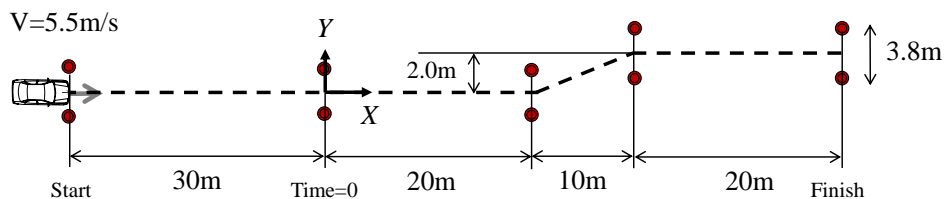
図⑨-8 および図⑨-9 は、それぞれ車両軌跡およびステアリング舵角の実験結果である。図中の破線は運転知能モデルが演算した規範運転である。操舵反力制御を加えることで、ステアリング舵角は規範舵角に近づくことが確認できる。また、それによって走行軌跡は規範コースに近づいている。以上の結果から、操舵反力制御を頼ることで、実ドライバは自身の運転操作を規範の運転操作に近づけることができることを実車でも確認した。ドライバのコメントからも、「操舵を切るきっかけが判り良い」や「Shared Control の概念が良く理解できた」などの有用性を示す意見を得ることができた。一方で「複雑に道路環境が変化する場合にこの制御を適用した時に、反力制御の実行が判りづらい場面がある。表示系などとの組み合わせが必要なのでは」というコメントも得た。これについては今後の検討課題の一つとし、適応型 HMI 開発と組み合わせで研究を進めたい。今回の実験で、Shared Control ロジックの有効性を基礎的に確認することができた。



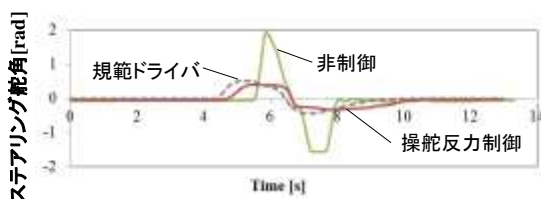
図⑨-5. COMS 実験車



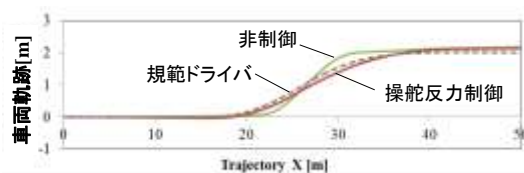
図⑨-6. COMS 実験車のステアリング機構



図⑨-7. 実験コース



図⑨-8. 実験結果(ステアリング舵角)



図⑨-9. 実験結果(車両軌跡)

(2)表示機能の開発(走行状態・リスク状況等)

表示機能の開発は受容性の評価としてDS実験でのドライバーへの表示方法を検討した。ステージⅡでは、実車(アクア)に搭載可能なHUD(ヘッドアップディスプレイ)を調査し、搭載検討を実施した。



図⑨-10. 天井からの吊り下げ型 HUD



図⑨-11. ダッシュボード埋込み型 HUD



図⑨-12. 据置型 HUD(左)

走行状態・リスク状況等の表示では駐車車両回避の際の徐行指示, 歩行者飛び出しの警告, 回避完了後の走行指示などの実験を行った。



図⑨-13. HUD 実験風景Ⅰ 駐車車両回避徐行指示～歩行者飛び出し警告



図⑨-14. HUD 表示実験風景Ⅱ 駐車車両回避徐行指示～回避完了後走行指示



また、広角カメラによる歩行者検出モジュールを実車に搭載し、認識結果を活用するアプリケーションの開発を行った。具体的には、道路から駐車場への左折の際に歩行者との交錯が予測される状況において、HUDを活用した音と映像による歩行者接近警告システムの構築を行った。図⑨-15にドライバ目線での想定する状況、図⑨-16にHUDによる歩行者接近警告標示の様子を示す。広角カメラの認識結果だけではなく、ウィンカーやステアリングホイール角等の情報を組み合わせて判断する事で、左折時の見落としが発生しやすい状況を見越した上での警報発令を行うシステムとなっている。



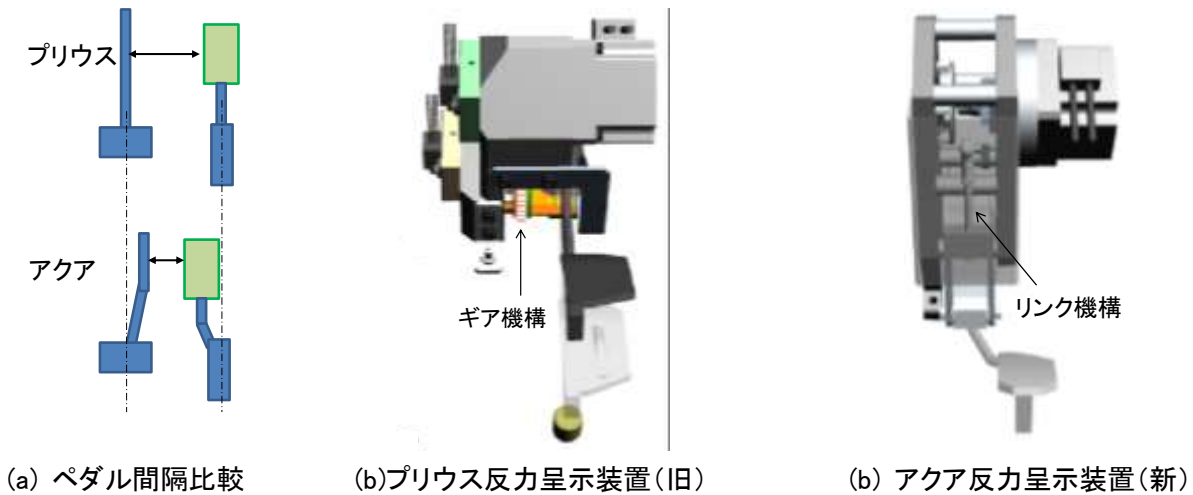
図⑨-15. ドライバ目線での想定する状況



図⑨-16.HUDによる歩行者接近警告標示

### (3) ペダル反力呈示装置の開発

プリウスベースの試験車に車載し支援機能開発を行ったペダル反力呈示装置について、アクアベースの試験車への車載を目指し小型化設計を行った。アクアのアクセルペダルとブレーキペダルの間隔は、プリウスのそれに比べ狭いため(図⑨-17(a))、プリウス用で用いていたギア機構による設計(図⑨-17(b)から、リンク機構による設計(図⑨-18-(c))へ変更した。



図⑨-17. ペダル反力呈示装置

また、直線路走行場面(非リスク場面)でのペダル反力呈示と自動減速による速度協調支援の初歩的な機能検証を行ないリスク場面を仮定し、より実的な速度協調支援のデザイン提案を行い、実車検証を行った。具体的には、駐車車両通過場面において以下の特徴を持った支援デザインを提案し、実車実装を行った。

- 1) 駐車車両手前でペダル反力を呈示することで車両の減速意図を伝える。
- 2) 駐車車両通過時の側方間隔を予測し、予測側方間隔に応じた目標速度を算出し、自動減速(かもしれない減速)を行う。
- 3) かもしれない減速中(駐車車両を通過するまで)は、ドライバーによるアクセル操作を無効化する。通過後は、アクセル過踏み対応として、上限加速度を設けることで緩やかな加速となるようにする。

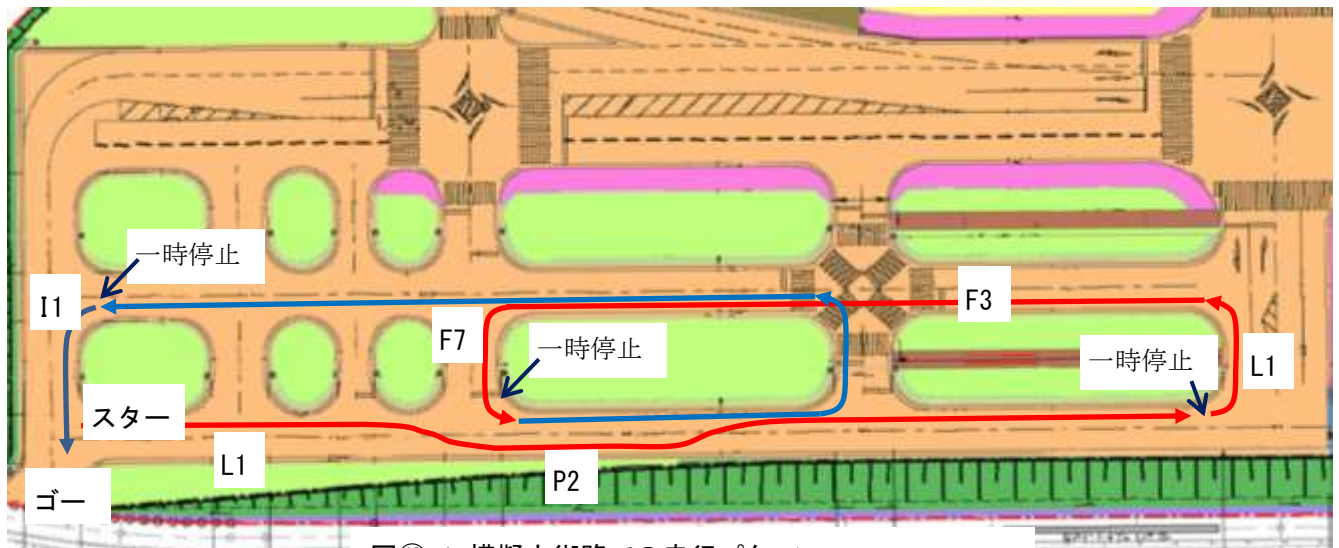
## ⑩支援ロジックの機能検証

(研究機関:トヨタ自動車・豊田中央研究所・東京大学・東京農工大学)【達成度 110%】

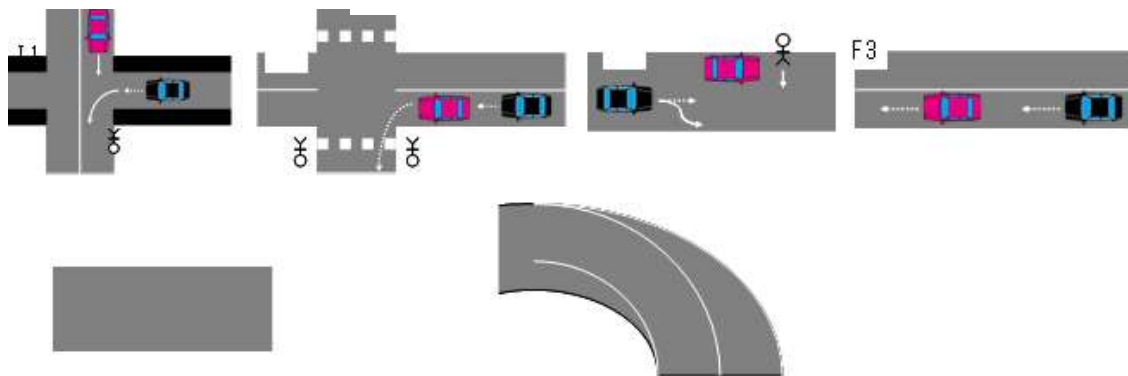
### (1)模擬市街路でプロトタイプ車両のセンサ系評価

模擬市街路にて走行実験を実施。まずは高齢者の事故の多いシーンを優先して統合的な走行パターンを策定した。

- ① 具体的には昨年度までに設定した22の走行シーンの中から、以下の6シーンを統合した。
  - ・走路追従(L1,L2)      ・駐車車両の回避と駐車車両の陰からの歩行者の飛出し回避(P2) ※先読み運転
  - ・先行車追従(F3,F7)      ・出会いがしら事故防止(I1)
- ② 絞り込んだ走行シーンから評価走行パターンを策定



図⑩-1 模擬市街路での走行パターン



図⑩-2 模擬市街路で走行実験する6シーン

全てのシーンにて機能確認が行えた。

図⑩-3～図⑩-6に模擬市街路での走行実験の様子を示す。

各シーンを個別で評価してきたときと同様、模擬市街路を連続して走行できるようになった。



図⑩-3 駐車車両回避(P2)



図⑩-4 見通しの悪い路地からの鼻だし(I1)



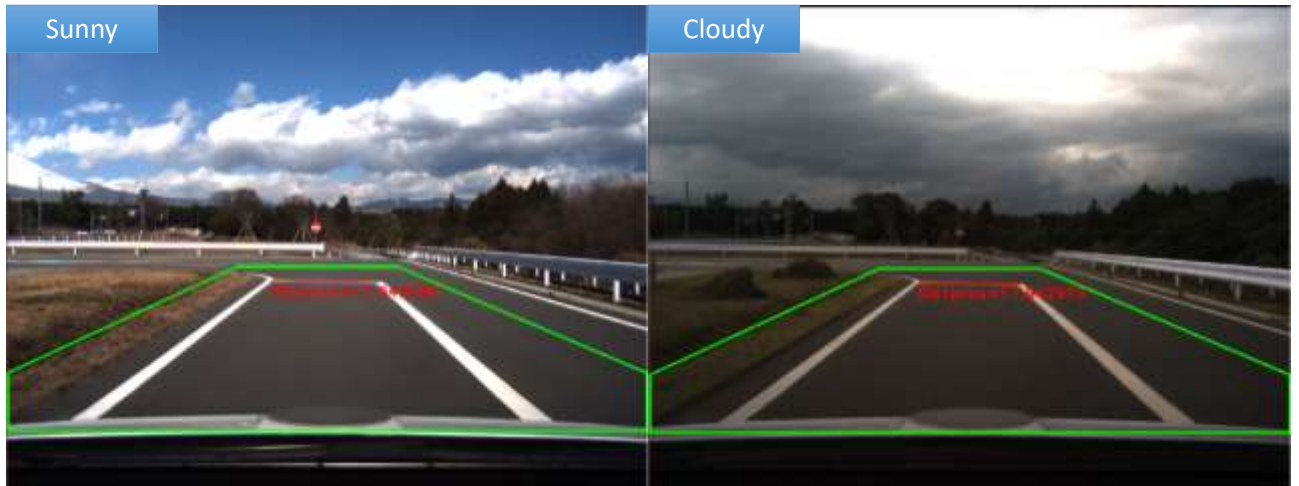
図⑩-5 停止線での一旦停止(I1)



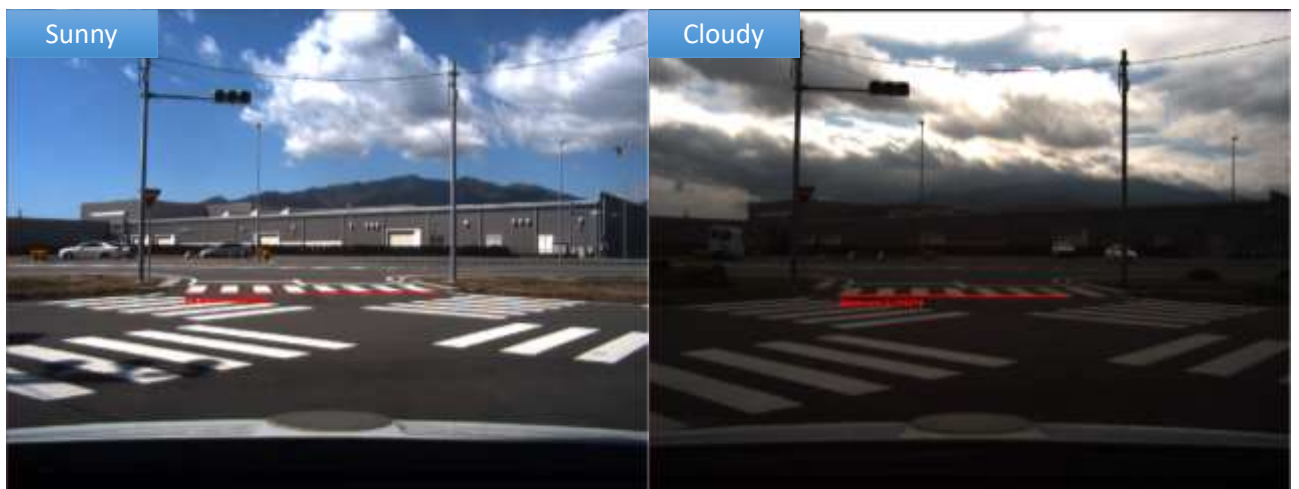
図⑩-6 白線に頼らない左折(L1)

## (2) 模擬市街路等での天候・明るさに対する外界認識システムのロバスト性向上

自律運転知能システムを汎用的に利用するためには、様々な気象条件でも安定して外界環境センシングを行う必要がある。当初の計画では夜間や雨天等の気象条件を対象に走行データの収集と認識システムの性能向上に取り組む計画であったが、各機能開発を推進する中でまずは曇天時での安定した認識システムが必要である事が分かり、この課題に取り組む事とした。晴天時には路面も明るく照らされているため、一時停止線等の路面標識は車載カメラからも比較的明確に認識する事が出来るが、車載カメラは人間の目に比べるとダイナミックレンジが狭いため、曇天時には路面標識と路面の色の差が小さくなり、認識が難しくなる。この課題に対し、路面標識の色だけではなく特徴的な形状に注目する事で、路面標識認識システムの照明条件の変化に対するロバスト性の向上に取り組んだ。図⑩-7 に停止線検出結果の一例を、図⑩-8 に横断歩道検出結果の一例を示す。それぞれ晴天時と曇天時の検出結果を並べており、照明条件の変化によって路面のコントラストは大きく異なっているが、それぞれ対象となる路面標識が検出出来ている事が確認出来る。



図⑩-7 晴天時と曇天時における停止線検出



図⑩-8 晴天時と曇天時における横断歩道検出

又、図⑩-9 に停止標識検出の一例を示す。晴天時の影の重なりや、西日による逆光などの気象条件の中で、問題なく認識できていることが判る。



図⑩-9 停止標識検出(影が重なる, 西日で逆光)

尚、公道に於ける課題、雨天時のワイパー作動による視界の遮断、擦れた路面標識の検出は、先行して開発した。

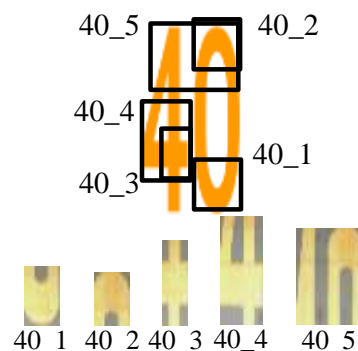
図⑩-10 に雨天時の横断歩道検出, 図⑩-11 に擦れた横断歩道検出を示す。



図⑩-11 擦れた横断歩道検出

(3)さらなる認識システムのロバスト性向上に向けて

ローカライズを実施するためのランドマーク検出技術として停止線や横断歩道の検出技術の開発に取り組んだが、さらに検出対象ランドマークを増加させるために、制限速度標示や横断歩道予告等の道路標示検出技術の開発に取り組み、また、天候や明るさの変化だけではなく、道路標示自体の擦れに対するロバスト性を向上させるために、検出対象となる道路標示の部分テンプレートを活用した道路標示検出手法を考案した。図⑩-12 に 40km/h 制限速度標示を検出する際に利用する部分テンプレートを示す。道路標示の局所的な検出結果の位置関係を補正情報として利用するため、従来の手法よりもロバストな検出が可能になった。また、開発したシステムを実験車両に搭載し、トヨタ自動車東富士研究所の周辺公道において、評価実験を実施した。本システムではこれらの公道上で確認された擦れた道路標示も無事に検出出来ており、その検出性能のロバスト性が確認出来た。現在は横断歩道予告のひし形標示と 40km/h の制限速度標示のみが検出可能となっているため、今後は他の道路標示も検出出来る様に機能拡張を行う必要がある。



図⑩-12. 制限速度標示を検出するための部分テンプレート

## ⑪ドライバ運転行動の受容性検討

(研究機関: 豊田中央研究所・東京大学・トヨタ自動車・東京農工大学)【達成度 110%】

### (1)DS/模擬市街路実験での制御介入方針決定

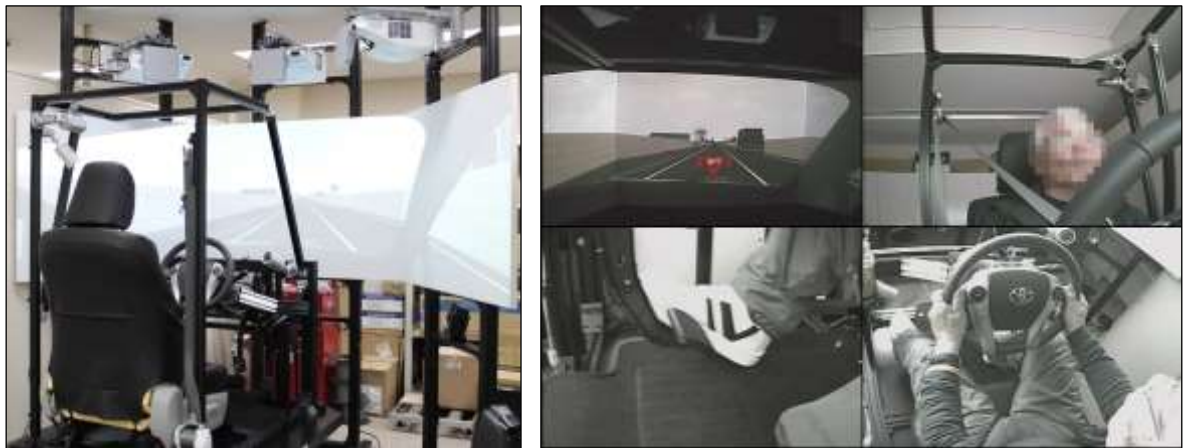
本プロジェクトでは、高齢ドライバのための安全運転支援技術として、衝突の数秒前からセンシング結果に基づいた予測を行い、リスクに近寄らない様に制御を行うための技術開発を目指している。その際ドライバの運転操作に制御介入することになるが、その状態をドライバが理解する方が良いか／否か、又、その結果が受容できるかが大事な研究課題と言える。この問題はこれまでの技術開発の中ではあまり論じられていない点であり、本研究ではこの点の受容性検討にも重点をおくことにした。

### (2)DS/模擬市街路実験でユーザ干渉問題の解決

ドライビングシミュレータを活用して、H25年7月までに34名の高齢者(平均年齢70.6歳)と14名の若年者(平均年齢22.5歳)を対象とした評価実験を実施した。ただし、一部の高齢者に関しては体調を考慮し実験を途中で中止した。実験は、シミュレータ上で各実験参加者に早期の制御介入技術を体験させた後、アンケート形式の評価シートによって評価させる形で行なった。図⑪-1に、シミュレータの本体写真と、シミュレータを用いた高齢者実験時の様子を示す。また、各実験参加者には事前に既存研究でも活用されている個人特性を評価する質問紙(DSQ<sup>\*1</sup>、WSQ<sup>\*2</sup>、NEO-PI-R<sup>\*3</sup>等)にも回答させ、それらの結果も踏まえて分析を行なった。

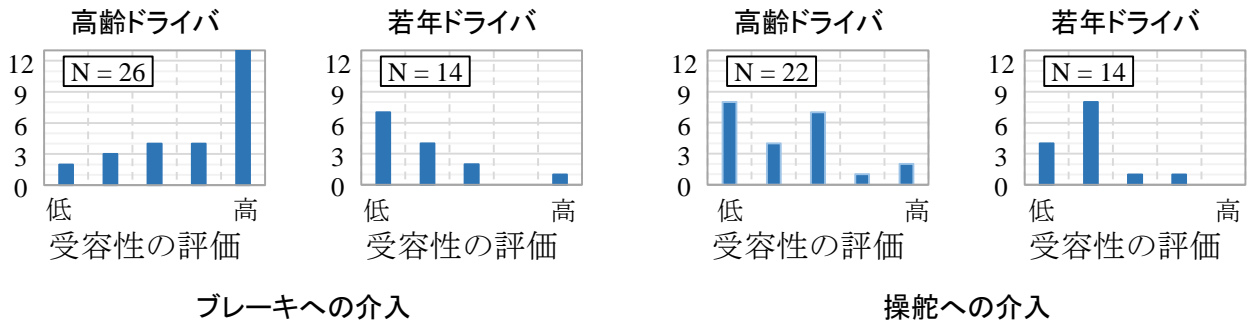
#### 参考文献

- 1: 石橋 基範, 大桑 政幸, 土居 俊一, 赤松 幹之: 運転スタイルの指標化と追従運転行動, 自動車技術会論文集, Vol.39, No.1
- 2: 石橋 基範, 大桑 政幸, 土居 俊一, 赤松 幹之: ドライバの運転負担感受性の指標化と経路選択嗜好分析への応用, 自動車技術会論文集, Vol.39, No.5
- 3: 下仲 順子, 中里克 治, 権藤 恭之, 高山 緑: 日本版 NEO-PI-R の作成とその因子的妥当性の検討, 性格心理学研究, Vol.6, No.2



図⑪-1 ドライビングシミュレータを用いた受容性評価実験

評価実験の結果の一例を図⑪-2に示す。早期の制動への介入に関しては、若年ドライバの多くは受容度が低かった一方、高齢ドライバの多くは受容度が高かった。早期の制動への介入によって心身に負担を感じたドライバは殆どおらず、また、高齢ドライバの早期の制動への受容度とWSQの多くの項目のスコアには有意な正の相関が見られた。早期の操舵への介入に関しては、若年ドライバと高齢ドライバ共に受容度の低い回答が多い結果となった。早期の操舵への介入に関しては、介入によって心身に負担を感じたドライバが多く、負担に感じる度合いはDSQやWSQやNEO-PI-Rのいくつかの項目と相関が見られ、運転スキルへの自信が低く、運転に消極的な人ほど負担に感じやすい傾向が見られた。

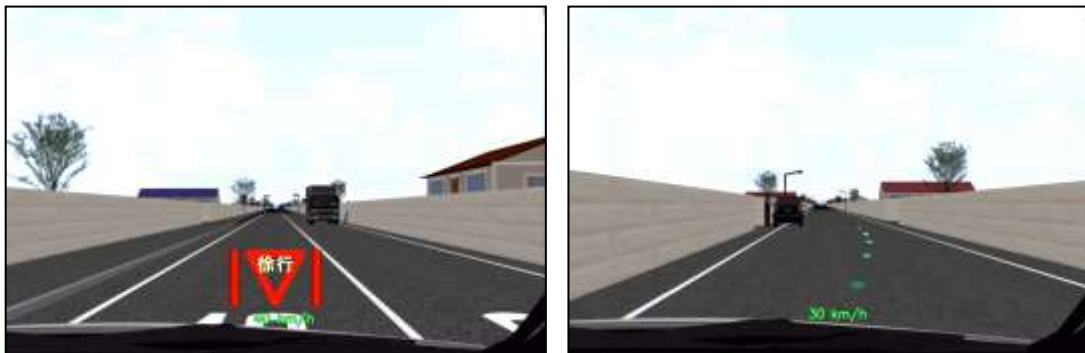


図⑪-2 早期の制御介入に対する受容度の分布

早期の制御介入に対して、受容度以外の評価項目も踏まえて分析を行なったところ、受容度を高めるためには、その効果をより実感させ、さらに早期の制御介入を行うシステムそのものへの信用度も向上させることが重要であることが分かった。また、一部の高年齢ドライバに関しては、運転への自信が高く、早期の制御介入の必要性を感じない場合があるため、自身の運転に潜む危険や加齢に伴う機能低下によって危険度が増す可能性があることへの理解が重要であることも分かった。

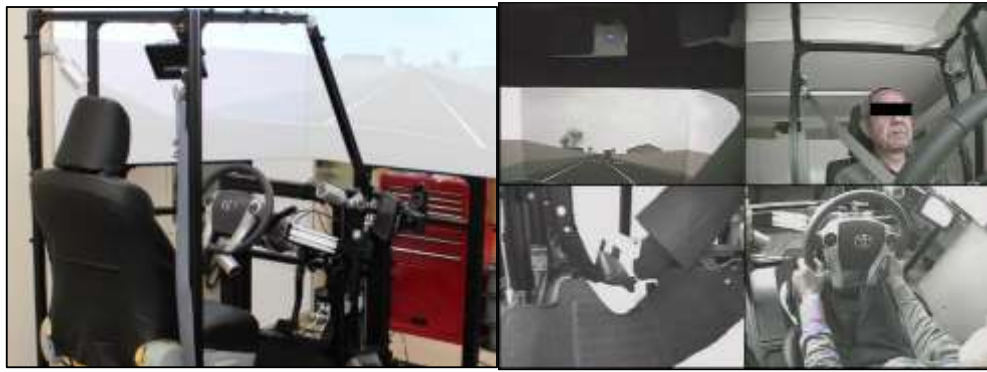
早期の制御介入を体験中の実験参加者の特徴的な運転行動として、早期の制動介入の作動時にほぼ全ての高年齢ドライバでアクセルペダルの踏み増しが見られた。また、早期の操舵介入の作動時には多くの高年齢ドライバで左に大きく偏ったステアリング操作が見られた。

上記の結果を踏まえ、早期の制御介入に対する高年齢ドライバの受容度を高めるための手法として、本研究ではドライバに早期の制御介入の効果を実感させ、かつシステムの信用度を高めるような設計をすることに焦点を当て、第二期のドライビングシミュレータ実験を実施した。第二期の実験では、ドライバにシステムの効果を実感させ、信用度を高める手法として、ヘッドアップディスプレイを想定した情報提供による手法を設計した。図⑪-3に、設計した情報提供の一部を示す。実験では、設計した情報提供に関してシミュレータ上で高年齢ドライバに体験させた後、アンケート形式の評価シートによって評価させた。また、第二期の実験では、早期の操舵への介入に関して、高年齢ドライバの心身への負担を低減させるための指針を得るため、操舵回避の際の障害物との側方間隔に着目し、シミュレータを用いた測定および評価実験も行なった。



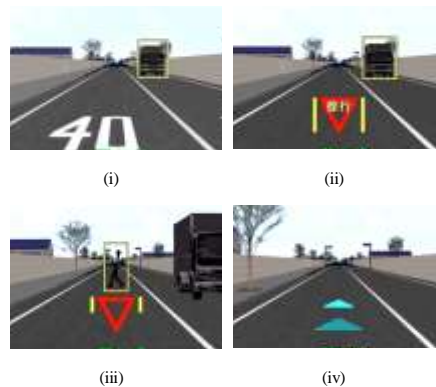
図⑪-3 ヘッドアップディスプレイを想定した情報提供

自律運転知能システムによる制御介入時の受容性向上を目的として自律運転知能システムからの情報共有手法について検討し、12名の高年齢ドライバ(平均年齢70歳)を対象にドライビングシミュレータ実験によって効果の検証を実施した。図⑪-4に実験に使用したドライビングシミュレータと実験の様子を示す。また、図⑪-5に制動介入時に情報共有の為に使用した情報コンテンツを、図⑪-6に操舵介入時に使用した情報コンテンツの一例をそれぞれ示す。これらの情報コンテンツの提示によって自律運転知能システムが制御介入を行う際に、周辺交通環境の何を危険と判断し、どのような制御介入を行う予定であり、その制御介入がどれくらい継続するか、といった情報をドライバと共有し、それによってドライバの受容性の向上を目指している。図⑪-7と図⑪-8に実験結果を示す。縦軸が受容度となっており、数値が高いほど受容性が高い事を示す。制動及び操舵の両方の制御介入に関して、情報共有を行う事で受容性が向上出来ている事が確認出来る。

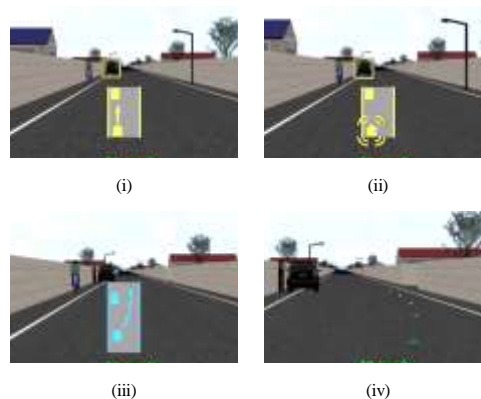


図⑪-4 実験に使用したドライビングシミュレータと実験の様子

ここまでの予備的検討を基に、ドライバと自律運転知能が協調している状況での受容性の評価を行った。試作検討段階での協調制御をドライビングシミュレータに組み込み、35名の高齢者の参加の基で実験を実施した。実験条件として自律運転知能側の制御の介入割合を3水準(0.25, 0.5, 1.0)設定し、各制御割合での協調制御を実施した際の受容性やシステムの諸特性に対する評価を行った。代表的な結果としては、自律運転知能の介入割合が0.5の状況での受容性の評価を行った際、9段階の評点で中央値が7となっており、高齢ドライバに比較的受容性されやすい傾向が確認出来た。また、ドライバの諸特性と受容性の評価結果を照査した結果、負担感受性が高いドライバの一部が制御介入割合の増加に対して低い受容性の評価を与える傾向等が確認出来た。

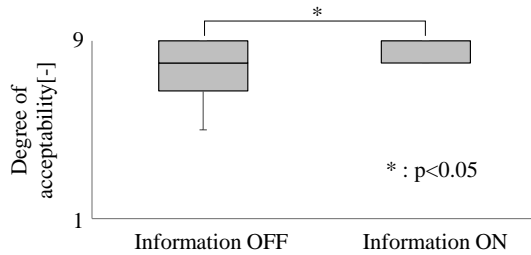


図⑪-5 制動介入時に提示した情報コンテンツ

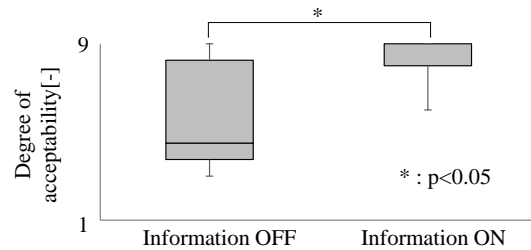


図⑪-6 操舵介入時に提示した情報コンテンツ





図⑪-7 制動介入時の情報コンテンツの提示による受容性の変化



図⑪-8 操舵介入時の情報コンテンツの提示による受容性の変化

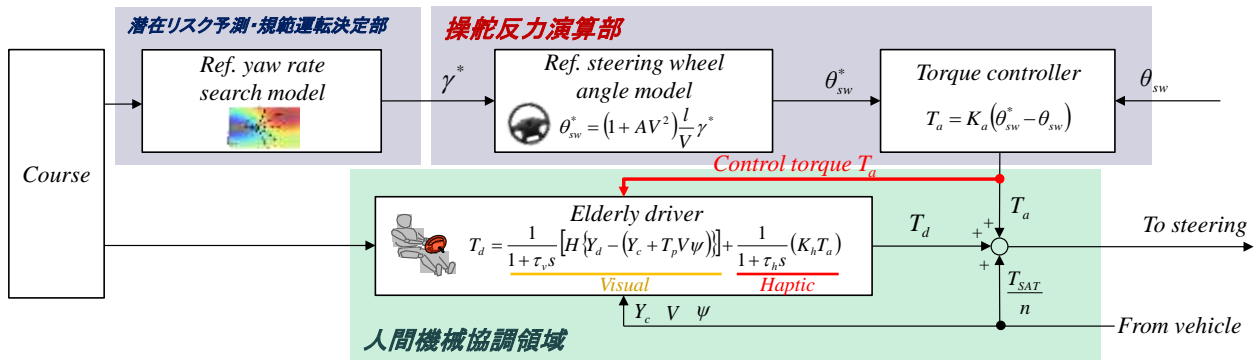
(3)DS/模擬市街路実験でFOT車両の制御介入機能の仕様策定

制御介入の評価として、Shared Control ロジックに対し実験検討をおこなった。安全の観点ならびに詳細な考察のし易さを鑑み、ドライビングシミュレータ実験を中心に検討を進めていった。具体的には、東京農工大学が所有するドライビングシミュレータに、そのロジックを実装し、13名の高齢ドライバを被験者とした受容性検討実験をおこなった。

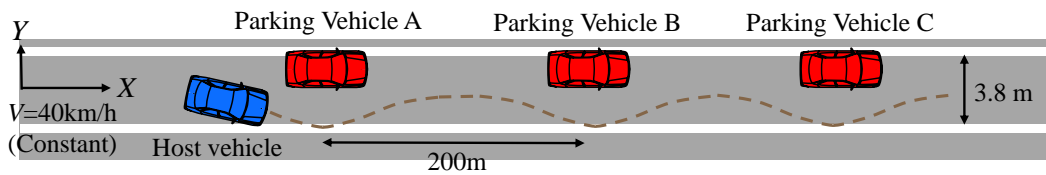
図⑪-9は本プロジェクトで提案するShared Control ロジック(ステアリング Haptic Shared Control)である。運転知能システムが演算した規範ステアリング舵角を、能動的な操舵反カトルクを用いて高齢ドライバに教示し、これによって安全でかつ滑らかな運転操作を人間機械閉ループ系で実現することを狙う。図⑪-10は本実験で採用した実験コースである。今回は、かもしれない運転が必要な駐車車両回避シーンを題材とした。本実験で明らかにされることは、能動的な操舵反力制御によって、高齢ドライバが安全でかつ滑らかな規範運転に導かれるのかという点である。図⑪-11に車両軌跡の実験結果を示す。破線は運転知能モデルが演算した規範コースである。また図⑪-12は駐車車両通過時の側方間隔を3台の駐車車両に対して示したものである。これらの結果からは、操舵反力制御によって、高齢ドライバの運転行動は安全な走行コースを安定して走れるように変化していることが確認できる。図⑪-13は13名の高齢ドライバのアンケート結果である。支援は有効であったかという問いについては、7割を超えるドライバから有効であるという回答が得られた。具体的な効果として、「ステアリングを切るタイミングが判り良かった」や「3台とも同じような回避運転が出来るようになった」などの肯定的なコメントが得られた。

ドライバの運転操作の変容を定量的に評価するために、ドライバモデルの内部パラメータを同定するツールを、東京農工大学と協力して構築した。図⑪-14は本研究で仮定するドライバモデルである。一般的な前方注視モデルの視覚トルク部に対して、今回の操舵反カトルクに応じた力覚トルク部を組み合わせたドライバモデルである。上記の実験結果を用いて、このドライバモデルの内部パラメータを同定し、運転操作の変容を定量的に評価した。

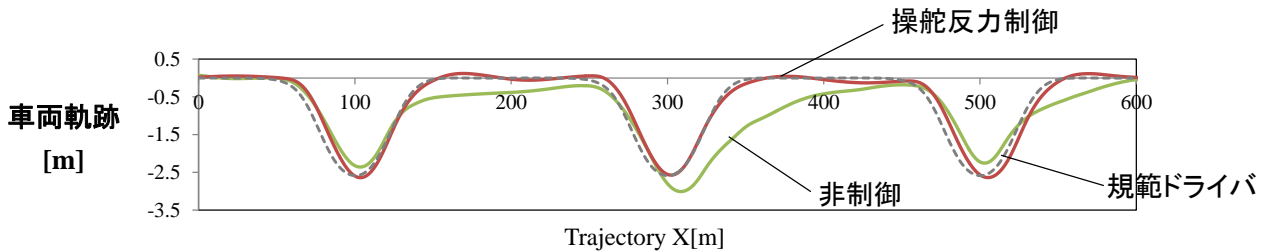
図⑪-15は、視覚トルク部の一次遅れ時定数の同定結果である。ドライバDおよびドライバEを除く11名のドライバにおいて、操舵反力制御が加わった場合、一次遅れ時定数が小さくなる結果が得られた。このことは、能動的な操舵反カトルクによって、操舵の遅れを補償されていることを示していると考えられる。一般的に、高齢者は視覚情報の衰えが表れやすいと言われている。このことを鑑みると、視覚の遅れを補償する本提案のロジックは、高齢ドライバの運転操作のバックアップという観点において、有効であると考えられる。



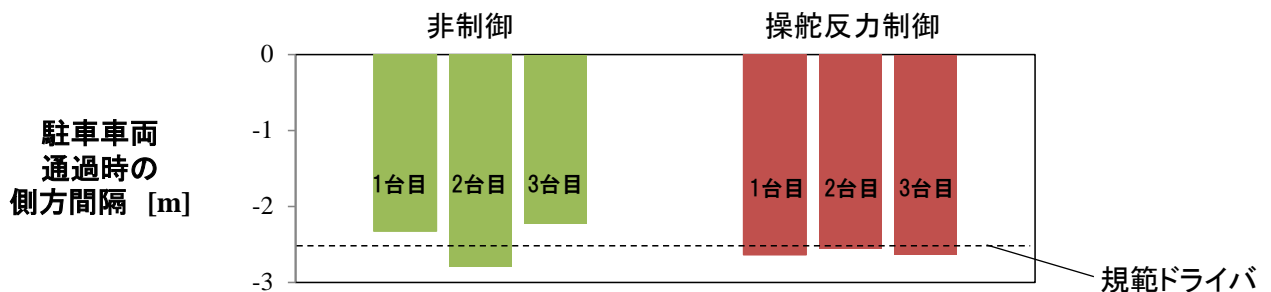
図⑪-9 Shared Control ロジック



図⑪-10 実験コース

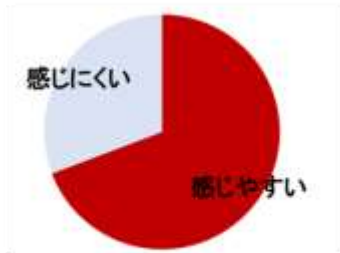


図⑪-11 実験結果(車両軌跡)

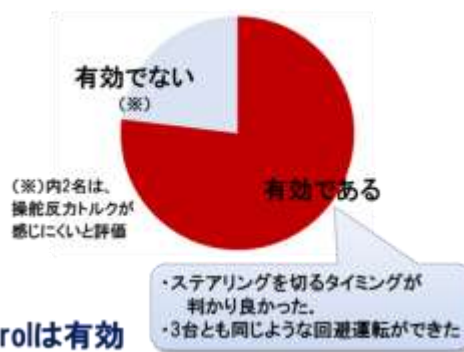


図⑪-12 実験結果(側方間隔)

Q:能動的な操舵反カトルクは感じられたか?

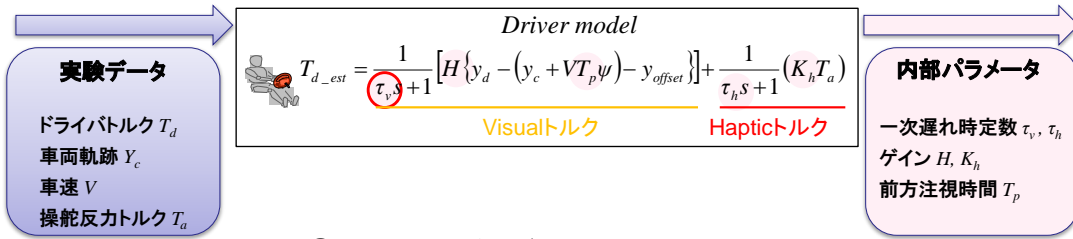


Q:支援は有効か?

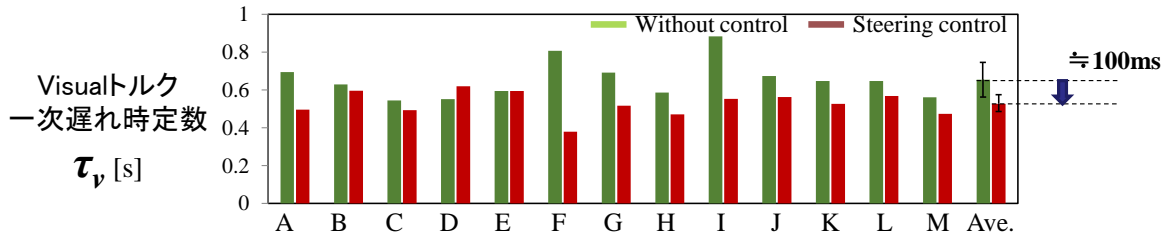


操舵反力制御によるHaptic Shared Controlは有効

図⑪-13 アンケート結果(高齢ドライバ 13名)



図⑪-14 ドライバモデル



図⑪-15 ドライバモデル同定結果(視覚トルク部一次遅れ時定数)

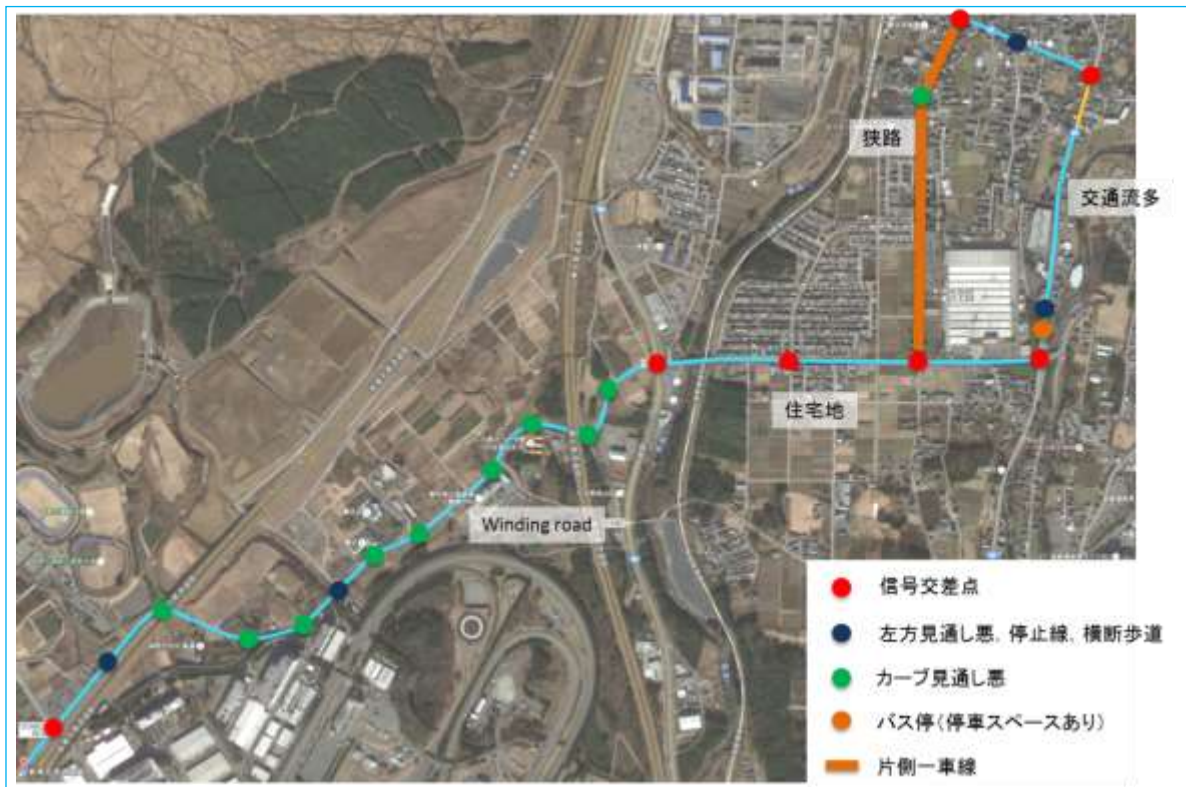
⑫システム&ドライバレベルでの受容性検討

(研究機関: 東京大学・東京農工大学・トヨタ自動車・豊田中央研究所・日本自動車研究所)【達成度 100%】

(1)想定市街地の調査完了

本プロジェクトの対象である地方の生活道路を候補とし、東富士周辺コース(トヨタ自動車東富士研究所周辺の公道を調査、想定してる運転支援の評価に適しているかを検証した。

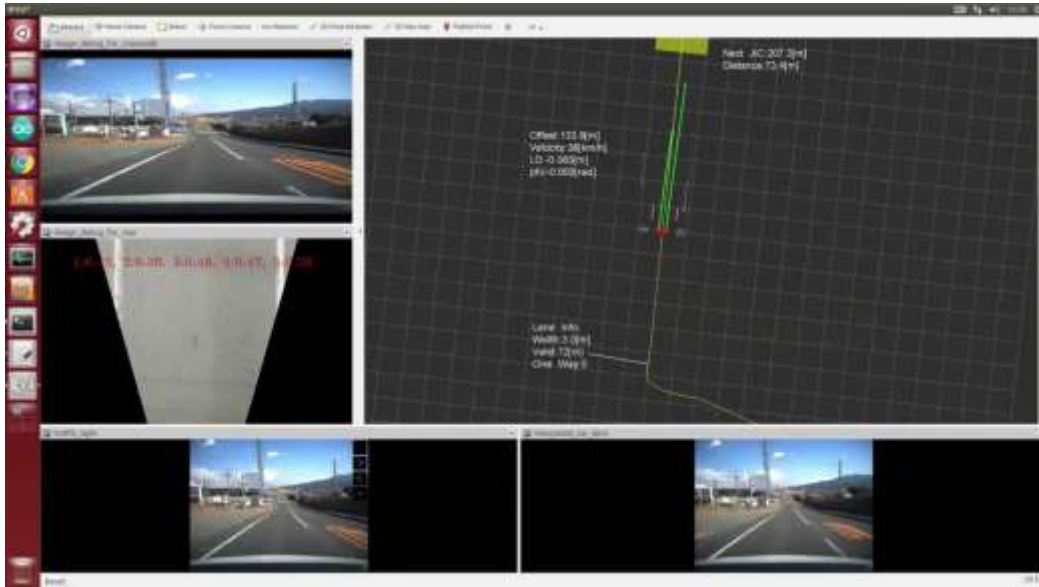
結果一周約 8km のコースに多くの評価シーンが含まれている下記のコースを選定した。



図⑫-1 東富士周辺に設定した公道コース及びコース概要

## (2)想定市街地でセンサ・認識系のロバスト性検証

研究当初は模擬市街路の様な整備された路面を対象とした停止線や横断歩道等のランドマーク認識技術を開発していたが、実際の公道を想定し、擦れたランドマークの認識技術の開発に取り組んだ。まず、東富士周辺コース(図⑫-1)をセンサを搭載した実験車両でのデータ収集を実施した。次に、収集したデータの分析を実施し、擦れた停止線と横断歩道の検出に取り組んだ。具体的には、停止線や横断歩道の局所的な特徴量を基にランドマークの部分候補の検出を行い、その部分候補同士的位置関係から大域的な連続性の評価を行い、ランドマーク全体の検出を行う手法を開発した。図⑫-2、図⑫-3 に実際の公道の走行データに対する認識技術の確認状況及び結果の一例を示す。局所特徴量と大域的連続性の両方に注目することで、対象が擦れていた場合でも検出できている事が確認出来る。



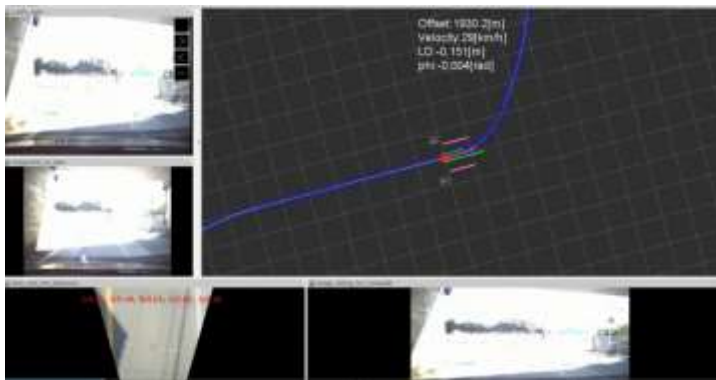
図⑫-2 走行データに関する認識技術の確認状況



図⑫-3 擦れた停止線と横断歩道検出結果の一例

(3)想定市街地で制御介入の機能検証・支援効果検証

以下に、公道認証及び横制御指令の確認状況の一例を示す。

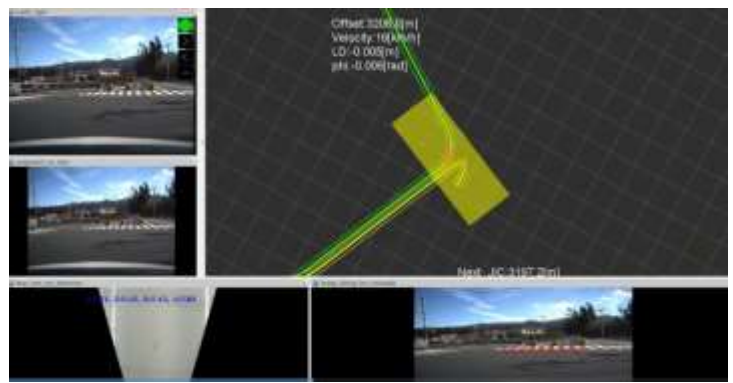


**“視界が遮られた際の支援”**  
 青線: Way Point (地図+センサ)  
 赤線: 横制御方向

高架下に入る  
 照度の差で道が確認できない…

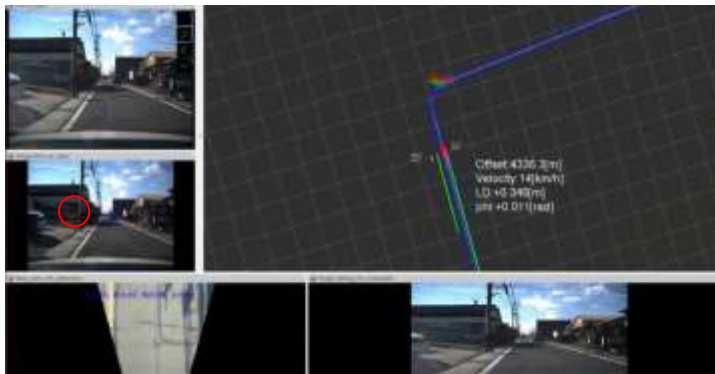
**“交差点左折支援”**  
 青線: Way Point (地図+センサ)  
 黄塗: 交差点エリア  
 赤線: 横制御方向

歩行者が気になって、  
 大回り(小回り)してしまう…



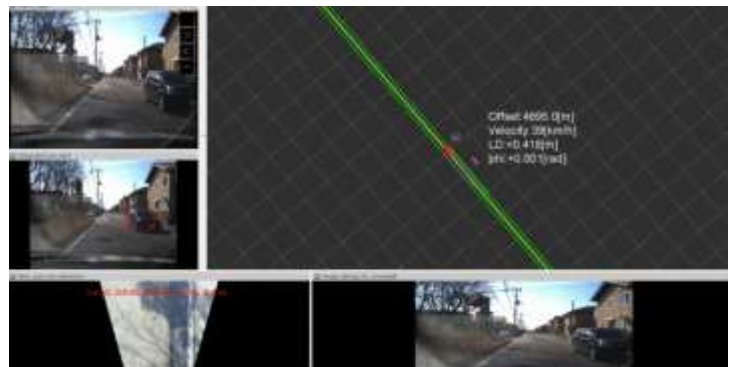
**“歩行者飛び出し注意”**  
 青線: Way Point (地図+センサ)  
 赤線: 横制御方向  
 赤枠: 歩行者

細い道に左折  
 直後に左手前方に歩行者が…



**“対向車との擦れ違い支援”**  
 青線: Way Point (地図+センサ)  
 赤線: 横制御方向  
 赤枠: 対向車

細い対面通行の道路  
 対向車の擦れ違いが…



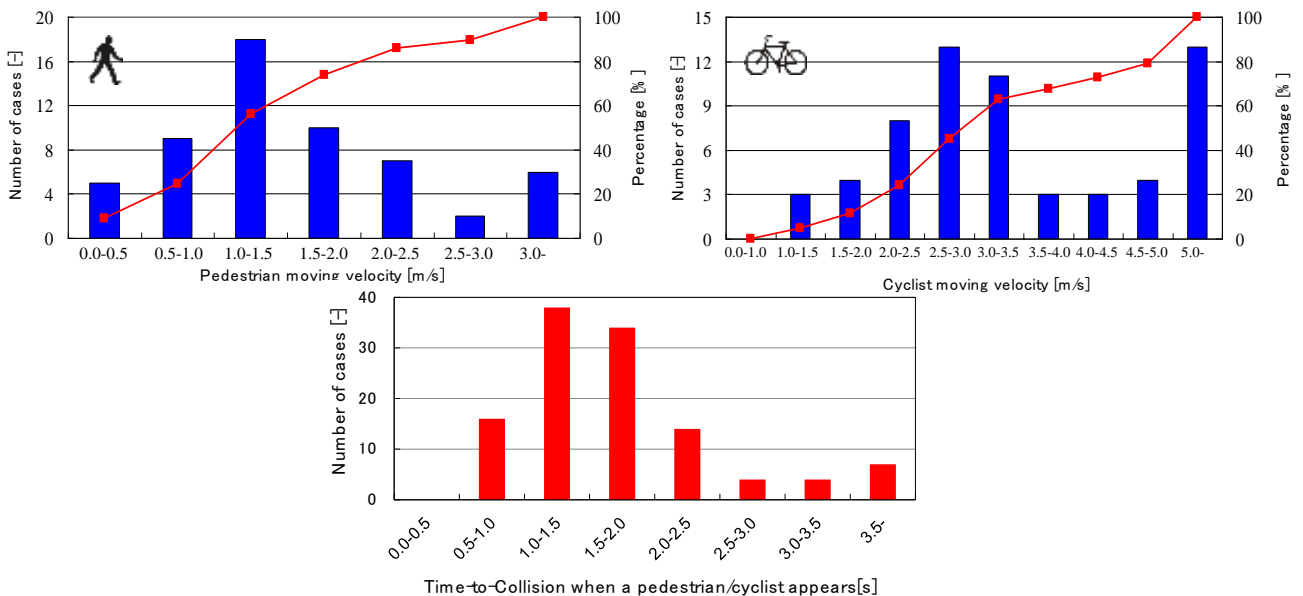
図⑫-4 公道認証及び横制御指令の確認状況

### ⑬社会レベルでの受容性検討

(研究機関:東京農工大学・東京大学・トヨタ自動車・豊田中央研究所・  
神奈川工科大学・日本自動車研究所)【達成度 100%】

#### (1)ヒヤリハットデータクラウド・事故再現モデル構築による事故低減効果予測

本課題では、ヒヤリハットデータクラウドの構築と事故低減率の推定を目標とする。ステージⅡでは、ヒヤリハットデータベース解析を通じて、1) 駐車車両背後からの歩行者飛び出し、または無信号交差点の死角からの歩行者飛び出しデータをデータベース化し、2) 歩行者・自転車の飛び出し速度、または飛び出し時における自車と歩行者・自転車との衝突余裕時間を統計・分析し(図⑬-1 参照)、3) 歩行者飛び出しに対する統計モデルとステージⅡで確立した潜在リスク予測ドライバモデルを組み合わせることで、事故再現モデルを構築した。また、抽出した典型的な事故・ヒヤリハット場面において、構築した自律運転知能システムがどれだけ事故低減効果があるかを定量的に評価した。具体的には、駐車車両背後から急に飛び出してくる歩行者の飛び出し速度・タイミングをガウス関数から成る確率分布で表現するとともに、事故リスクを衝突速度(被害度)と歩行者飛び出し速度・タイミングの確率分布(発生頻度)の積で表現し、潜在リスク予測ドライバモデルの効果評価を実施した。潜在リスク場面通過における最終的な徐行速度を車速 40 km/h ~ 15 km/h で比較した結果、特に 25km/h 以下に減速するならば事故低減に効果的であり、歩行者飛び出しに備えた早期のブレーキ制御介入の有効性を改めて確認した。今後は、事故再現モデルと適用場面をさらに拡張する。



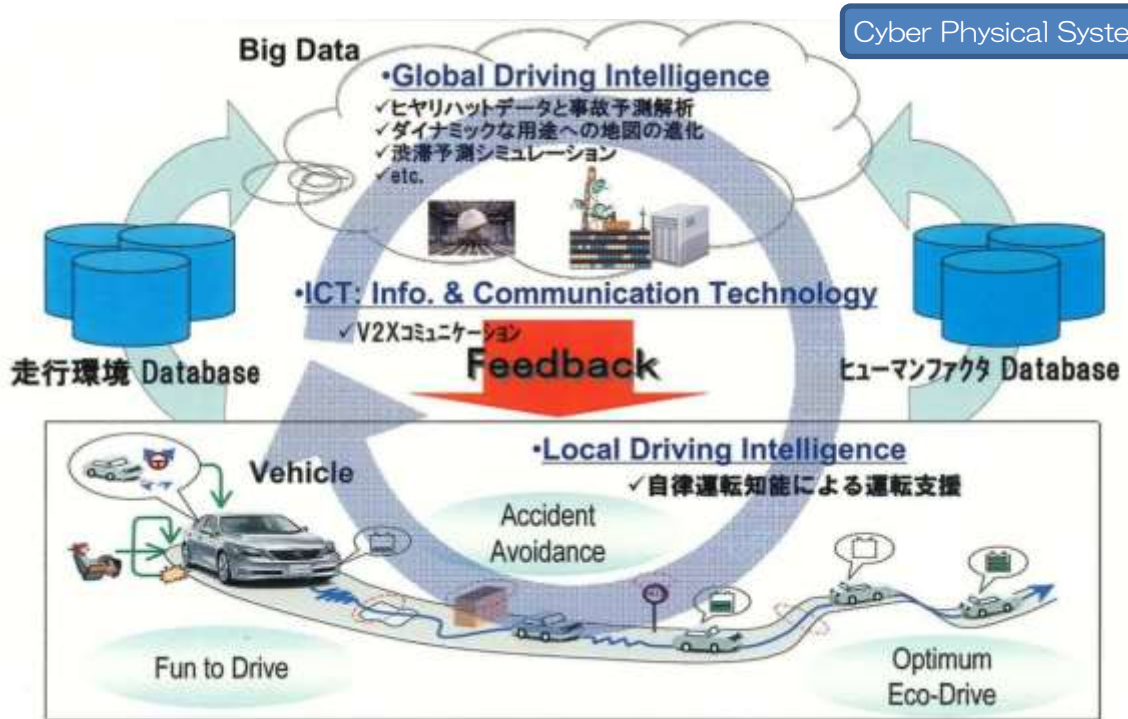
図⑬-1 ヒヤリハットデータベースを活用した歩行者・自転車の飛び出し速度、  
また飛び出しタイミングの分析結果

又、ヒヤリハットデータを用いたリスク予測技術として、国内・海外の大学と連携、リスク定量化の研究を実施。

- ◆安全性向上のための状況認識技術の研究      カールスルーエー工科大, AVL  
ニアミス事故原因と影響鎖のモデリング, Driving Contextureからリスクを導出
- ◆熟練ドライバの論理的・経験的知能を用いた危険予測の研究 九州工業大学  
ADAS\_Ontology などの理論知識型 AI 及びデータ駆動型 AI を用いたリスクの定量化

(2)情報セキュリティ指針の決定

運転知能の構築による智能モデルの進化(図⑬-2)を想定した時、自動車システムのソフトウェア化・ネットワーク化、および自動車と連携したクラウドサービスの提供など、自動車における情報処理技術の活用が進む中、悪意ある攻撃の機会や脅威の増加という状況から情報セキュリティの重要性が高まってきている。ステージ I では自動車が外の世界とつながる時の課題認識を実施、個人情報保護のためのセキュリティ指針の検討を実施した。



図⑬-2 運転知能の構築による智能モデルの進化

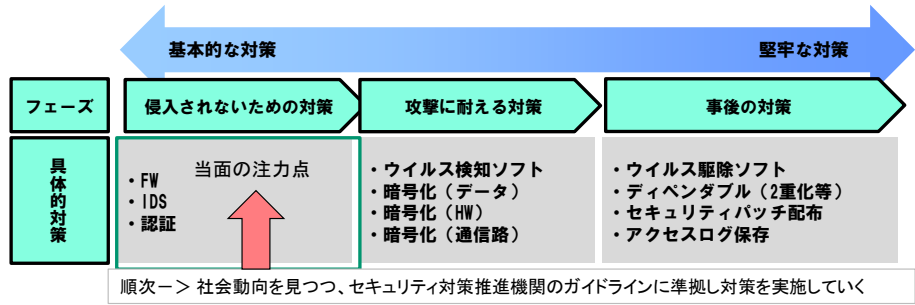
セキュリティ指針の決定にあたり、セキュリティ脅威をカテゴリ毎に検討(図⑬-3)、対策については、侵入されない為の対策、攻撃に耐える対策、事後の対策の3観点のセキュリティ対策のフェーズを軸に検討した。

近接での直接攻撃	制御系ECU (基本制御部を含む)	①近接での制御系ECUへの攻撃 ・ ECU書換え ・ ETCスキミング ・ ドライブレコーダ改竄	専用NW経由	NW機能	④専用NW経由の脅威 ・ 車車間通信のなりすまし ・ 路車間通信のなりすまし ・ プロブ盗聴
	情報系ECU (運転知能、車両制御を含む)	②近接での情報系ECUへの攻撃 ・ ECU書換え ・ 個人情報の吸出し ・ コンテンツの吸出し ・ データの書換え/破壊	汎用NW経由	情報系ECU	⑤汎用NW経由での情報系への攻撃 ・ ウイルス ・ 偽アップデートパッチ ・ DoS攻撃
持込機器の着脱	制御系ECU	③持込機器着脱による脅威 ・ ウイルス ・ DoS攻撃		情報NW	⑥汎用NW経由でのNW機能への攻撃 ・ 盗聴 ・ なりすまし ・ DoS攻撃
	情報系ECU		自動車から外部サーバへの攻撃	⑦自動車から外部サーバへの攻撃 ・ DoS攻撃 ・ 虚偽プロブ情報アップ ・ 不正サービス利用	
	NW機能				

図⑬-3 セキュリティ脅威の検討



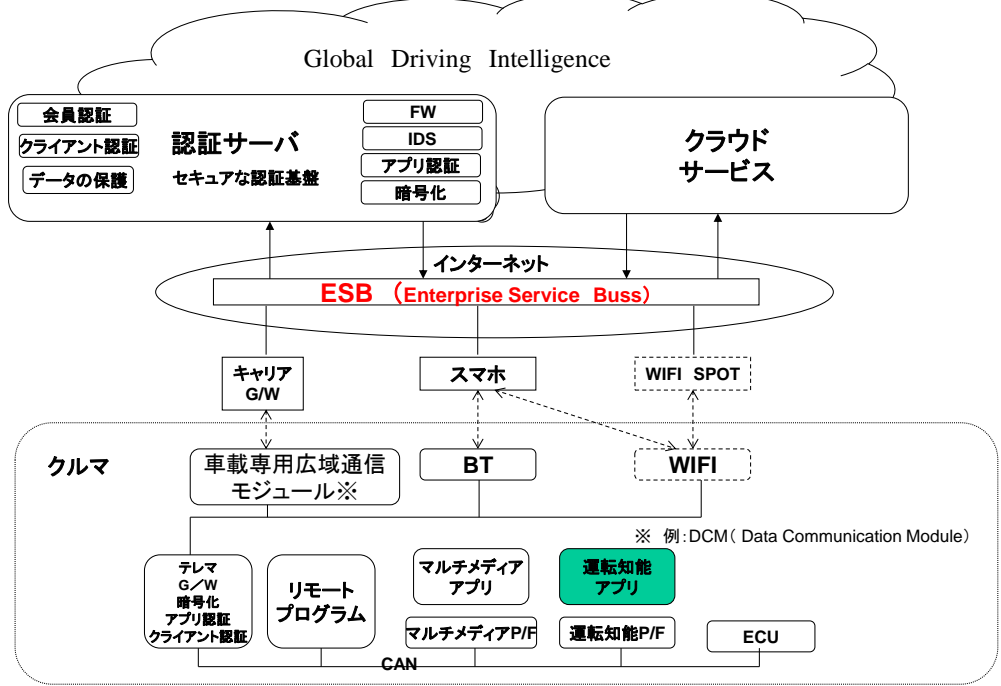
対策・技術間の優先順位は最低限の対策をする際は攻撃の手前段階で阻止し、事後の対策まで含めていくことで対策の堅牢度を上げることを想定しているが、今回の実証では、限定された範囲であること、及びセキュリティ対策の検討が主眼ではないことから、車載機のセキュリティ対策については、侵入されないための最低限の基本対策で個人情報を保護するものとし、より堅牢にする為の対策はスコープ外とする。図⑬-4に検討したセキュリティ指針を示す。



図⑬-4 セキュリティ方針

車載通信機とクラウド間の構成について、図⑬-5に示す。

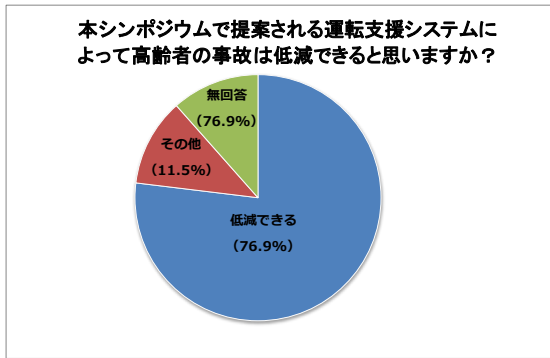
今後の実証に向けてのセキュリティ指針に対しては、社会動向を見つつ、総務省／経済産業省で推進する、「IoTセキュリティガイドライン」、独立行政法人情報処理推進機構発行「自動車の情報セキュリティへの取組みガイド」、特定非営利活動法人 日本セキュリティ監査協会「クラウド情報セキュリティ管理基準」に準拠させていくことで対策を確保する。車載通信機とクラウド間の通信ではプローブ情報の取扱いについては個人情報として注意が必要となるが、これらガイドライン等に準拠させて行く事でセキュリティは確保されるものとする。



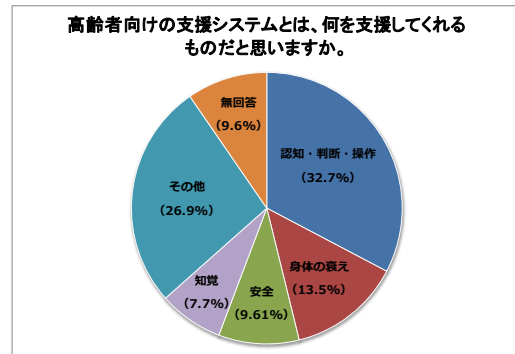
図⑬-5 Global Driving Intelligence の構成

(3)社会的課題と対応

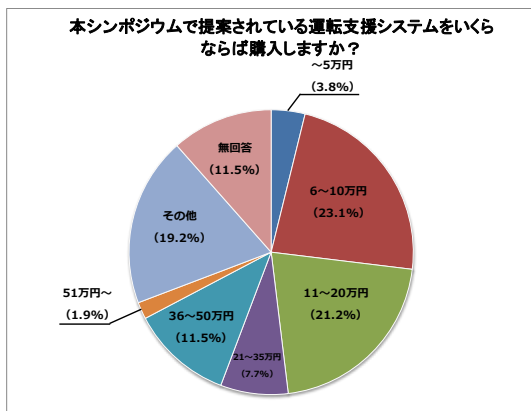
今後実施していく FOT に向けて、平成 26 年度開催したシンポジウムの参加者に対してこういった支援システムに対するアンケート調査を行った。結果を図⑬-6～図⑬-9 に示す。



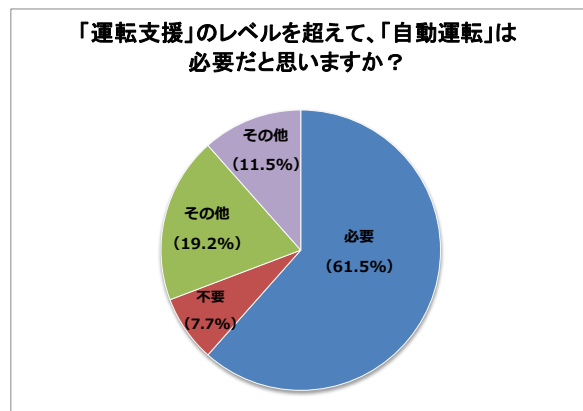
図⑬-6 アンケート結果1



図⑬-7 アンケート結果2



図⑬-8 アンケート結果3



図⑬-9 アンケート結果4

アンケートからは、大多数の聴講者が提案のシステムによって高齢者の事故低減できると感じている。20万までの販価を受け入れる方が約半数の結果となった。

図⑬-9 からは本システムに賛同する意見に加え、移動の価値としての自動運転を期待する意見も多くあった。従来の高齢ドライバーの調査結果と同様に、運転と移動の両方の目的に対して智能化技術への期待を示していると考えられる。

この点に対し、交通政策の方向および高齢ドライバーの状況を以下に示す。

・国土交通省にて、交通事故の無い社会を目指し、今後の車両の安全対策の方向を審議するため、交通政策審議会陸上交通分科会自動車部会技術安全ワーキンググループを開催し報告書を作成。(座長:東大鎌田教授)

○現状認識

・交通事故は依然厳しい状況

－死者数 4117 人、負傷者数 66 万 6023 人(平成 27 年)

－死者の約半数は、道路交通の弱者である歩行者と自転車乗員

－年齢層別では 65 歳以上の高齢者が半数超

－死亡事故の加害者(第 1 当事者)の 4 分の 1 超は、65 歳以上の高齢者

1. 「新たな視点」

先進安全技術の活用により、「人」に起因する事故を未然に防止する。

－交通事故の原因は、「人」に起因するものが 9 割以上－

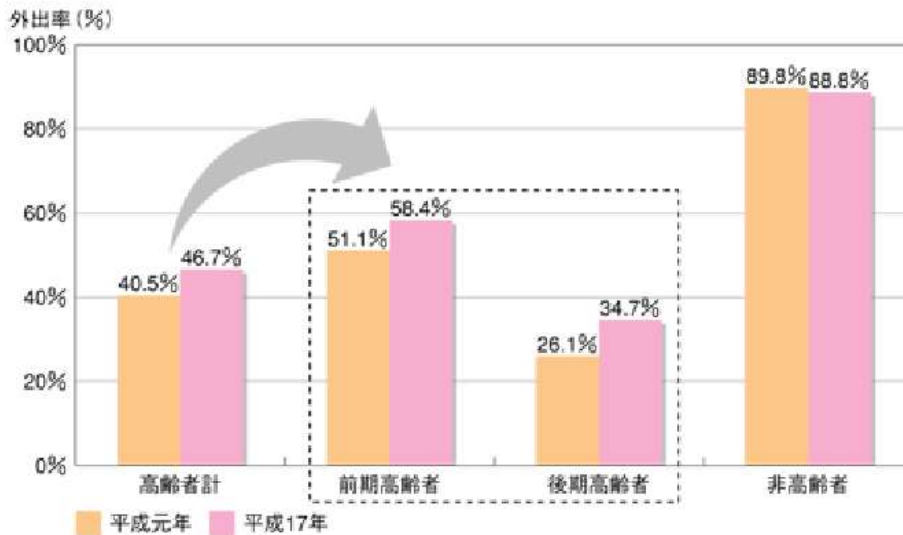
2. 車両の安全対策の「4 つの柱」

[1]子供・高齢者の事故への対応

- [2]歩行者・自転車乗員の安全対策
  - [3]大型車がからむ重大事故対策
  - [4]自動走行など新技術への対応
- という報告書をまとめた。

・高齢者の生活

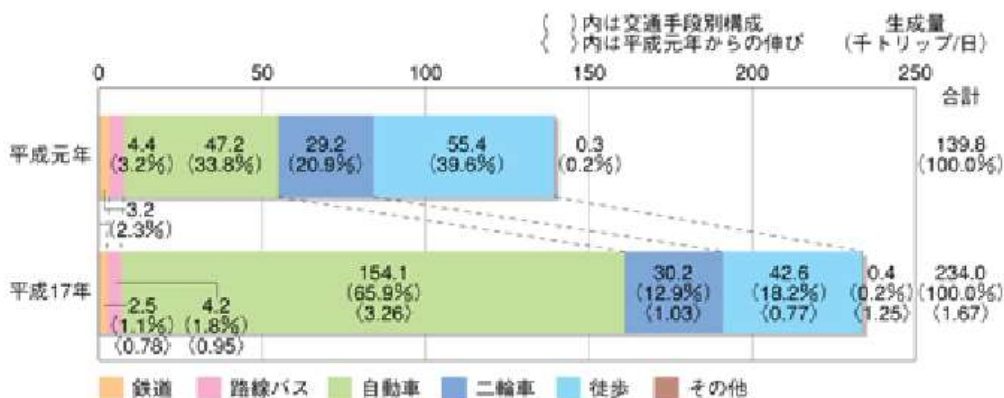
福井県のデータでは、外出した高齢者の割合(外出率)を見ると、平成元年と比べ前期高齢者(65～74歳)、後期高齢者(75歳以上)とも外出率が高まっており、外出している高齢者が増加していることがわかる。(図⑬-10) 但し、高齢者の外出率は非高齢者と比べると依然として1/2程度にとどまっている。



図⑬-10 高齢者外出率の推移  
(出典：福井都市圏の都市交通の実態より)

(独)国立長寿医療センター 生活機能賦活研究部部長の大川弥生先生の研究にて、高齢者の引きこもりによる「生活不活性病」ということも言われている。

高齢者の移動トリップ数は福井県のデータでは平成元年と平成17年を比べると1.67倍になっており、その中で自動車利用のトリップ数が3.26倍に増加している。(図⑬-11)



図⑬-11 高齢者の代表交通手段別トリップ数の推移  
(出典：福井都市圏の都市交通の実態より)

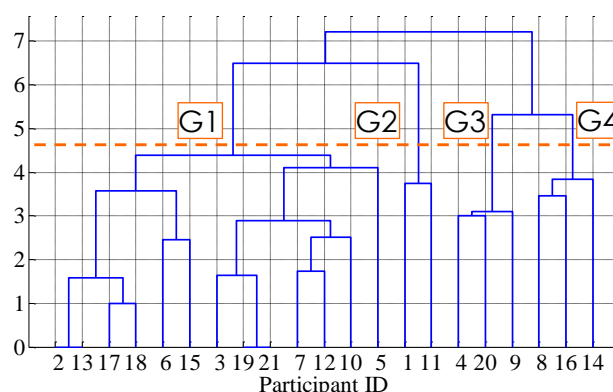
これらの状況を考えると、高齢者の移動は自動車中心になっていく可能性が高く、危険に近づけさせない本研究が社会課題の対策になっていくことが判る。

(4) 常時記録ドラレコを活用した社会実験による効果推定

構築した FOT 車両のプロトタイプを基に、東京大学で運用するための FOT 車両を構築し、実際の高齢ドライバーを対象とした制動介入技術の評価実験を実施した。平成 28 年度の実施計画策定時には国立障害者リハビリテーションセンターの運転訓練施設での実施を検討していたが、より効率的な実験を実施するために日本自動車研究所の模擬市街路を利用した評価実験を実施した。図⑬-12 に物陰に対する予見的減速制御介入の評価を実施した試験コースの様子を示す。25 名の高齢ドライバーが評価実験に参加し、有効なデータが取得出来た 21 名のデータを対象に、システムに対する評価結果のクラスタ分析を実施した。昨年度までのドライビングシミュレータで得られた高齢ドライバーの受容・拒絶に対する知見を基に新たな質問紙を準備し、その回答を基にクラスタ分析を行った結果、図⑬-13 に示す様に 4 群に大別される傾向が確認出来た。21 名中 13 名が分類された G1 では、予見的制御介入システムに対して高い受容性の評価結果を示しており、今回実験に参加した高齢ドライバーの過半数が肯定的に評価していた事が分かった。また、一部否定的な意見も含めて評価を行っていた G3 に関しては、その他の質問紙の回答結果を精査する事で、システムの技術的な改善によって評価が改善する可能性が確認出来た。一方で、G2 や G4 に分類された実験参加者に関しては、他の質問紙の回答を照査した結果、技術的要素だけでは評価のさらなる改善が難しい可能性がある事が確認され、技術的要素と共にシステムに対する事前教育等の点から受容性を向上させるアプローチが必要となる可能性があることが分かった。



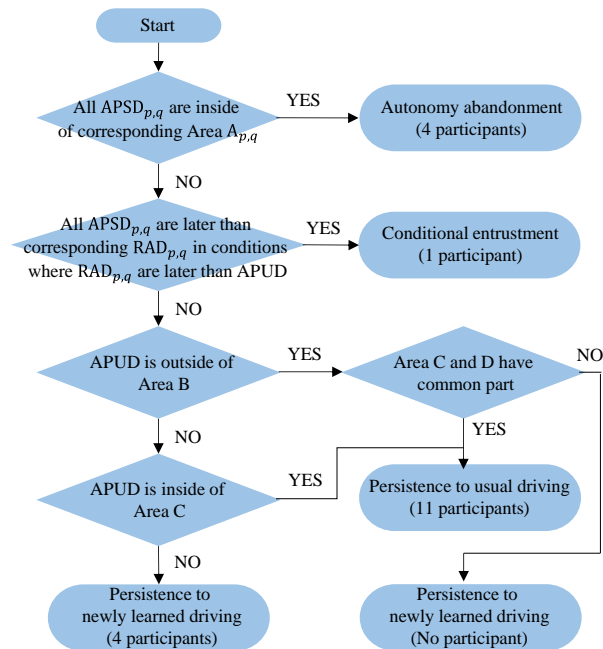
図⑬-12. 物陰に対する予見的減速制御介入の評価を実施した試験コースの様子



図⑬-13. 予見的減速制御介入に対する評価結果のクラスタ分析結果

(5) 社会受容性をふまえた導入シナリオの作成と法規要件等の検討

昨年度に実施したドライバーと自律運転知能の協調制御に関する評価実験をさらに発展させ、自律運転知能が様々な経路計画を実行する際のドライバーの受容態度の評価を実施した。高齢ドライバー 20 名がドライビングシミュレータ実験に参加し、その協調運転の結果を「通常運転集約型」、「新規学習集約型」、「主体性放棄型」、「条件付き委託型」の 4 つのタイプに分類した。図⑬-14. に分類フローを示す。



図⑬-14. 協調運転の特徴の分類フローチャート

分類された 4 つのタイプのなかで、通常運転集約型に関しては協調制御の効果が発揮されづらい状況が発生する可能性があり、その様な状況での安全性を担保するために、協調制御からのハンドオーバーシステムの検討が必要と考え、さらなるドライビングシミュレータ実験を実施した。15 名の高齢ドライバーが実験に参加し、減速制御に介入するペダルハンドオーバーと操舵制御に介入するステアハンドオーバーの評価実験を実施した。実験の結果、過半数のドライバーはペダルハンドオーバーによる減速制御を支持しており、協調制御とペダルハンドオーバーを組み合わせる事で、受容性と安全性が両立する可能性を確認した。

また、これまでに本プロジェクトで開発してきたシステムに関して、関連する現在の法規要件や検討中のガイドラインの整理を行い、その適合性の整理を行った。本プロジェクトで開発中のシステムは、あくまでドライバーを主体とする運転支援であり、いわゆる自動運転機能とは異なるシステムとなる。例えば、自律運転機能による加減速制御介入機能は既存の ACC 技術の延長と位置づける事が可能であり、協調操舵機能も既存の LKA 技術の延長と位置づける事が可能となる。その観点からガイドライン等を照らし合わせると、例えば「官民 ITS 構想・ロードマップ」では ACC や LKA はレベル 2 として位置づけられており、無人運転が位置付けられるレベル 4 とは別のレベルとして整理されている。また国際的な規制としては、「自動車基準調和世界フォーラム」において現在関連する技術のガイドラインの議論が行われており、ドライバーの意思を反映した操舵技術は「補正操舵」又はカテゴリ B1 として整理されつつあり、完全な自動運転のカテゴリ E とは別のカテゴリとして整理されている。この様に、国内・国際の両方のガイドラインの整備状況から整理すると、本プロジェクトで開発中のシステムは自動運転とは異なるシステムとして整理する事が可能であり、早期の実用化が期待される。

また、協調制御からさらに踏み込んだハンドオーバーシステムに関しては、ドライバー異常時対応システム（いわゆるデッドマン装置）と技術的な特徴や要件は類似しており、ドライバー異常時対応システムに対するガイドラインの整備を見守りつつ、必要要件を今後の開発に反映していく方針である。

なお上記に関しては、2016 年における状況を踏まえた検討結果となっている。アメリカでのテスラの自動運転事故等を踏まえて、上記のガイドライン等の大元となっている NHTSA や SAE による自動運転レベルの整理が改定される方向で議論が始まっており、今後も関連法規の継続的な調査とそれに合わせて技術的な対応が必要となる。

## 【ステージⅢ】

### ⑬社会レベルでの受容性検討

(研究機関:東京農工大学・東京大学・トヨタ自動車・豊田中央研究所・  
神奈川工科大学・日本自動車研究所)【達成度 100%】

#### (1) ヒヤリハットデータ解析:要因寄与の統計的分析

本課題では、ヒヤリハットデータベースから危険なイベントが起こりうる状況等の潜在リスクを有する特定シーンをリストアップし、イベント発生前の10秒前から危険場面の発生およびその危険場面のレベルを予測する高度なアルゴリズムを開発する。すなわち、複数のハザード要因(生活道路、交差点等)を含む走行環境文脈(Context)および車両運動データなどからシーンの危険度を判定(例えば、各種の文脈に対する相対リスクポテンシャルのレベルを大、中、小で分類)するアルゴリズムを確立する。さらに、その危険度レベルに応じた先読み運転知能システムとして、走行環境文脈に適合した規範速度追従制御系の設計へ展開する。

上記課題に対して、死角が関与した歩行者飛び出しイベントデータを用いて、走行環境文脈と運転行動状態に基づいて危険度を推定する一手法を構築し、機械学習モデルの性能・検証を通じて、ヒヤリハット事象発生の数秒前に、その危険度(時間的切迫度)を推定できる可能性を得た。具体的な実施内容は、以下である。

1. **学習・評価用データの抽出:** ヒヤリハットデータベースから約 5 千件の歩行者飛び出しイベントを抽出した。また、死角を含む対象(駐車車両、対向車、遮蔽物、その他)のうち、901 件の「駐車車両背後の死角からの歩行者飛び出しイベント」を抽出し、抽出した 901 件のデータを学習・評価用として採用した。
2. **正解データ(教師データ):** ドライバと歩行者の両者の行動の間で形成されるニアミス事象に対するヒヤリハットのレベル(時間的切迫度)を表す「セーフティクッションタイム (SCT)」を提案した。SCT は自車から歩行者までの距離を車速で割ったものである。その時間的切迫度の指標は、
  - ・ High Level, if  $SCT < 1 \text{ second}$ ,
  - ・ Mid. Level, if  $1 \leq SCT < 2 \text{ seconds}$ ,
  - ・ Low Level, if  $SCT \geq 2 \text{ seconds}$ ,

として定義された(図⑬-21 参照)。提案指標は、危険度推定モデルの構築のための教師データとして採用され、また抽出したイベントデータを用いることで、死角からの対歩行者ニアミス事象の形成過程を考察し、ドライバ要因、また歩行者要因を具体化・明確化した。

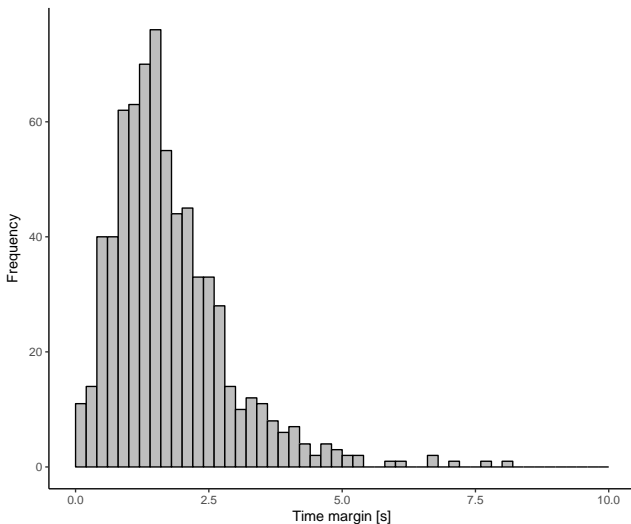
3. **ドライバの運転行動状態評価:** ニアミス事象が起きる数秒前の車両挙動データ(イベント発生前の 10 秒間とイベント発生後の 5 秒間の計 15 秒間の加速度・速度データ)を抽出し、ドライバ行動に関わるリスク指標を定量化した。ここで、危険予測運転は、一般に、ハザードの探索・知覚、文脈の理解、起こり得る事象の可能性、あるいはその度合いの予測、また防衛的な操作の実行の繰り返しになる。本研究では、ニアミス事象の発生直前の行動に着目するのではなく(Short-term:  $t \in [-2.5, 0]$ )、その事象が起こるより以前の比較的長いタイムスパン(Long-term:  $t \in [-10, -4]$ )、すなわちハザードの探索・知覚、文脈の理解、起こり得る事象の可能性の予測といったフェーズを示すと仮定した時間区間の車両挙動データに着目した。本課題において、ニアミス事象が起きる数秒前のドライバ行動に関わるリスク指標は、抽出した特徴量(表1参照)の重み付き線形和で表現され、このリスク指標は、Long-term Hazard Potential (LHP) として定式化した。LHP の定義は車速データから以下のように計算することとする。

$$LHP = w_1 \cdot v_{max} + w_2 \cdot \tilde{v} + w_3 \cdot \dot{v}$$

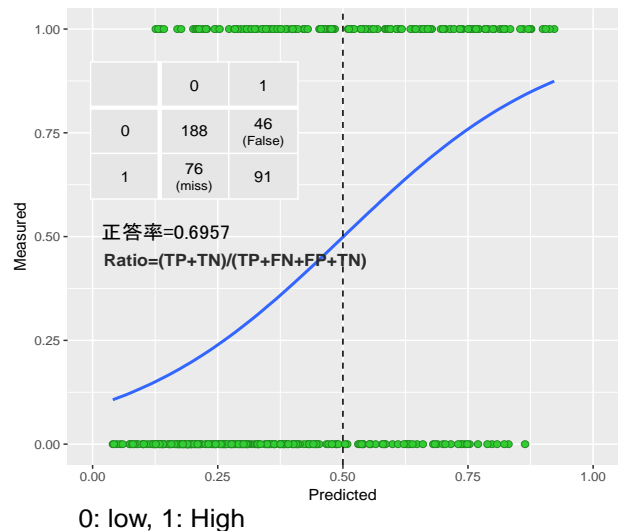
表⑬-21 LHP パラメータ

Parameter	Description
$v_{max}$	Maximum of velocity in interval $t \in [-10, -4]$ normalized to $v_{max} \in [0, 1]$
$\tilde{v}$	Median of velocity in interval $t \in [-10, -4]$ normalized to $\tilde{v} \in [0, 1]$
$\dot{v}$	Mean of velocity in interval $t \in [-7, -4]$ normalized to $\dot{v} \in [0, 1]$

4. **走行環境文脈の評価:** 「アノテーション」と呼ばれる各イベントにタグ付けされた質的データに関わるリスク指標を定量化する手法を提案した。具体的には、アノテーションの質的データに関わるリスク指標は、アノテーション毎の件数、高・中・低レベルに占める割合・順位値に変換され、その「頻度」を基準として定量化された。
5. **危険度推定モデルの構築:** SCT を教師データとし、またドライバ行動と走行環境文脈の評価に基づくリスク指標を特徴量とし、機械学習を通じて、「歩行者の飛び出しが生じた際の時間的切迫度 SCT」を予測する危険度推定モデルを構築した。平成 29 年度では、2 値 (High=1, low=0) を分類するロジスティック回帰モデルでの検討を実施した。評価の結果、正答率は、0.70 を示した(図⑬-22 参照)。この結果は、危険度推定の可能性の一端を示すものである。



図⑬-21 時間的切迫度 (SCT) の頻度分布。抽出した計 901 件のデータを可視化した。



図⑬-22 ロジスティック回帰の結果。2 値 (High=1, low=0) を分類するモデルである。横軸は予測値、縦軸は実際の値である。0.5 を基準として判断するとき、その正解率は、約 0.7 であった。

今後の課題は、精度向上に要求されるアノテーション等の因子追加、またドライバの運転行動状態を表す評価指標 LHP の深化を図ることで、走行環境文脈と運転行動状態に基づいて危険度を推定する手法のさらなる検討を進めること、また危険度の推定結果から規範速度を算出する理論検討を実施し、走行環境文脈に適合した規範速度追従制御系の設計へ展開することである。

(1)一時停止減速支援制御の実現(シェアード・コントロールの実装)

<背景>

支援システムの形式として、ドライバが自らステアリングを握り運転操作をおこなう中で、同時に知能システムが支援をおこなう、シェアード・コントロール (Shared Control)の形式に着目している。シェアード・コントロールの狙いの一つは、ドライバと知能システムが互いに協調することで、ドライバを安全な運転操作に導き、自律的な変容を促すことである。この考え方に基づけば、シェアード・コントロールは、潜在リスクが存在するような運転シ

ーンにおいて、その有効度が期待される。その理由は、対象となるシーンに対して、知能システムが規範ドライバの如く潜在的なリスクを読み、それに応じた規範操作がドライバに教示され、そしてドライバがそれを適切に運転操作に反映することができれば、より安全でかつ滑らかな運転が、人間機械の閉ループ系で実現されると考えられるためである。

実証実験では図⑬-23 に示すシーンで HUD(ヘッドアップディスプレイ)と制御によるドライバの運転行動変容を検証する。一時停止減速支援に関して実証のためのアルゴリズムの見直しを行なった。また、各パラメータ調整を大学と連携し実施した。一時停止支援の従来アルゴリズムは質点力学に基づく簡易モデルであった。無信号交差点や、駐車車両回避と設計思想を統一するために、リスクポテンシャル場に基づく設計改良をおこなった。

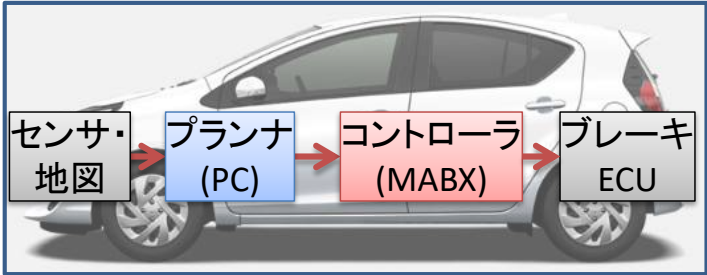


図⑬-23 実証実験シーン

<制御の概要と検証方法>

一時停止減速支援は数秒先の運転状況を先読みし、熟練運転者の行為選択・実行を模擬できる規範ドライバモデルを構築し、事前に適正速度に減速する先読みブレーキ制御機能を有する運転支援システムである。図⑬-24 に一時停止減速支援のシステムの概略を示す。本システムでは減速制御の介入中において、運転者のアクセル操作はキャンセルされ、一方、運転者(またシステム)のブレーキペダルの踏み込み量は、ブレーキ ECU でハイセレクトされる仕組みであり、運転者によるブレーキオーバライドが可能である。

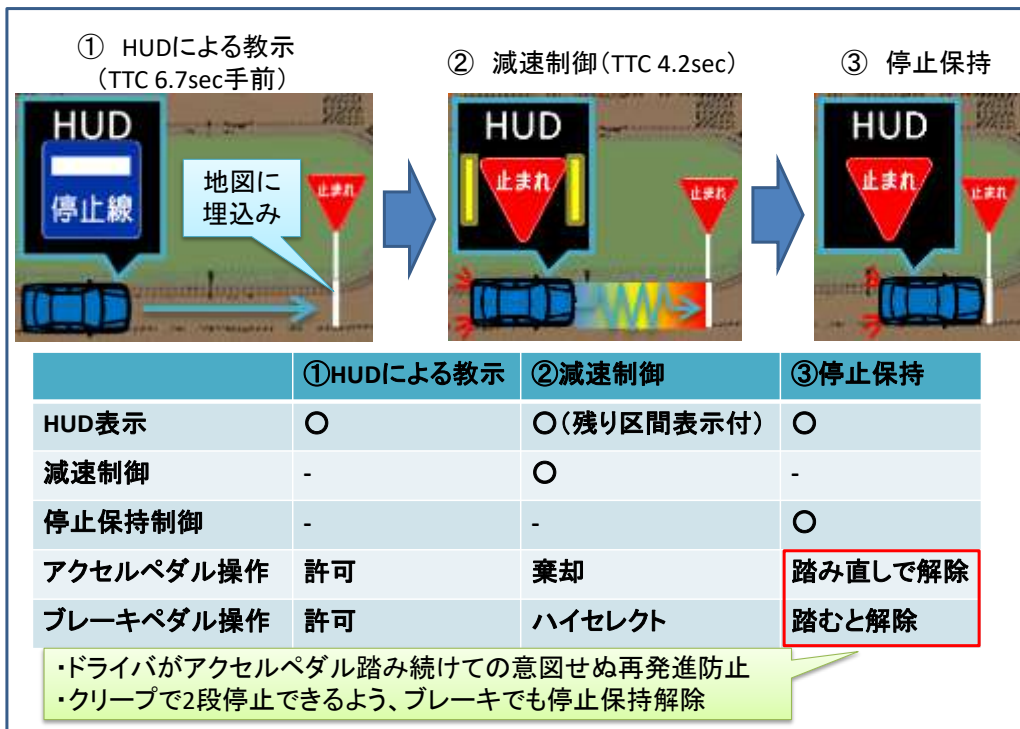
本システムの開発にあたっては減速支援制御 理論設計・パラメータスタディ、減速支援制御の実装(プランナ)、制御ロジックのデバッグ・改良を東京農工大学が、停止保持機能の開発(コントローラ)、パラメータスタディのための実車試験時ドライバ、熟練ドライバデータ計測および全体のハンドリングをトヨタ自動車を担当した。



図⑬-24 一時停止減速支援のシステムの概略

一時停止減速支援のシステムのシナリオは一時停止線付近での①HUD による運転者への教示、②減速制御、③停止保持の 3 段階で構成した。後述する実験で教示タイミング、制御開始タイミングといったパラメータの決定を行なった。図⑬-25 に一時停止減速支援の制御コンセプトを示す。



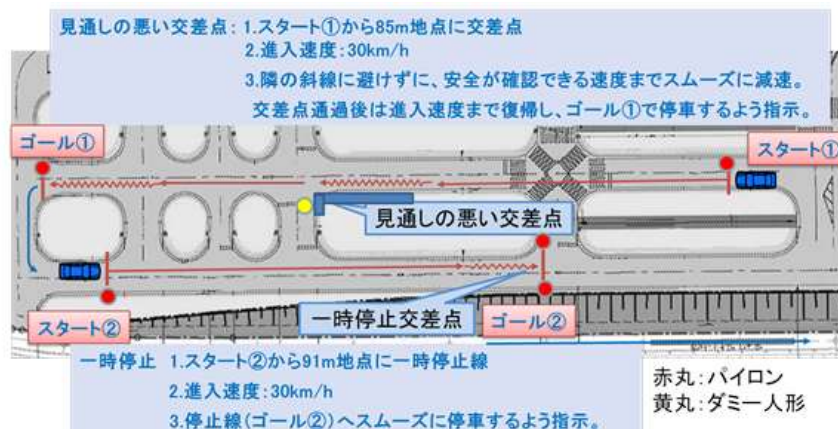


図⑬-25 一時停止減速支援の制御コンセプト

一時停止減速支援の先読みブレーキの減速制御に要求されるパラメータはトヨタ自動車の上級運転指導資格を有する熟練ドライバーの実際の「見通しの悪い交差点」・「一時停止交差点」でのアクセル操作・ブレーキ操作の運転データを計測し上級運転指導員の熟練操作を模擬・誘導できるようにパラメータ同定を実施したうえで決定することとした。

熟練ドライバーの減速行動を計測するにあたり、下記の条件でデータを計測した。

- 1) ドライバ人数は5人。また試験車運転資格の指導員資格を持った者。
- 2) 一人あたり、3回計測を実施。
- 3) 図⑬-2 に示すコースを走行し、一時停止交差点と無信号交差点(見通しの悪い交差点)のデータを計測。
- 4) 制御は一切入れず、号口状態の車両を運転し、運転行動を計測する。進入車速等その他の走行条件については、図⑬-26 に示すとおりである。



図⑬-26 データ計測用レイアウト

データの解析は、一時停止時のブレーキ(通常走行)と、無信号交差点での「かもしれないブレーキ」(潜在リスク)における、熟練ドライバーの運転行動を比較するため、以下の点に着目した。

- 1) 一時停止交差点と無信号交差点において、減速度プロファイルに違いはあるのか。

2)人や周回毎等で、各計測データにばらつきは出るのか。

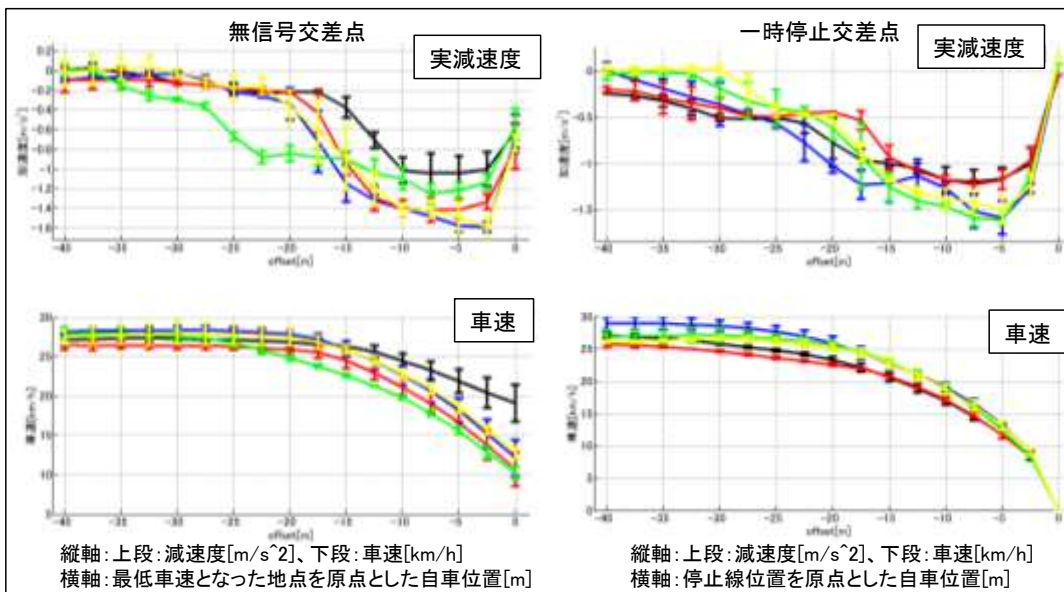
<結果と考察>

1)減速度プロファイルの違い

まず、減速度プロファイルの違いを確認するため、図⑬-27に各ドライバの減速行動における、実減速度と車速を平均化したグラフを示す。

2つのシーンから、減速度プロファイルに違いがあることがわかる。無信号交差点においては、原点の近くでやや唐突気味に減速が開始される、つまり、ジャークが非線形となるような減速度プロファイルである。それに対し、一時停止交差点では、原点から遠くから減速が開始される、つまり、ジャークが線形的な減速度プロファイルとなっていることがわかる。よって、一時不停止防止の減速制御においては、パラメータ調整により、減速度プロファイルの変更が必要であると判断できる。

また、無信号交差点でのデータについては、減速度プロファイルと最低車速において、リスクポテンシャルによる減速支援ロジックと同様の運転行動が計測され、本知能システムが、現実に則したシステムであると判断できる結果が得られた。



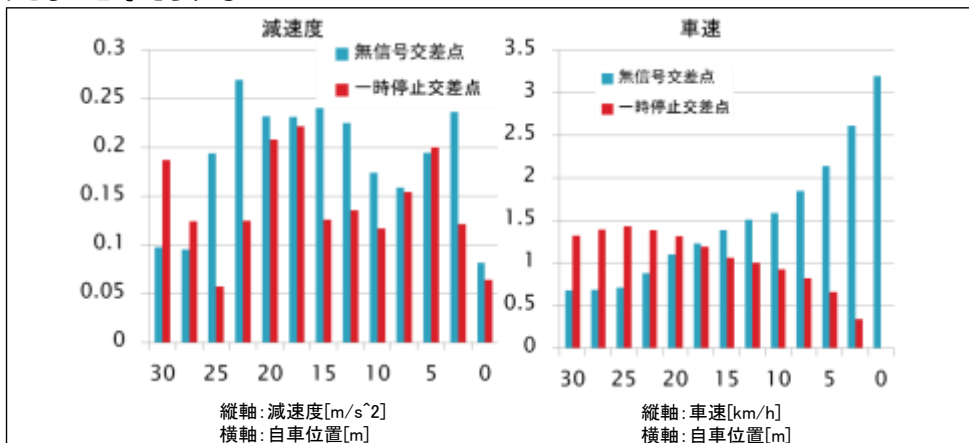
図⑬-27 各ドライバの減速行動データ

<ばらつきの検証について>

人や周回毎で計測結果にどの程度のばらつきがあるのかを検証した。図⑬-28にシーン毎の減速度と車速の標準偏差を示す。

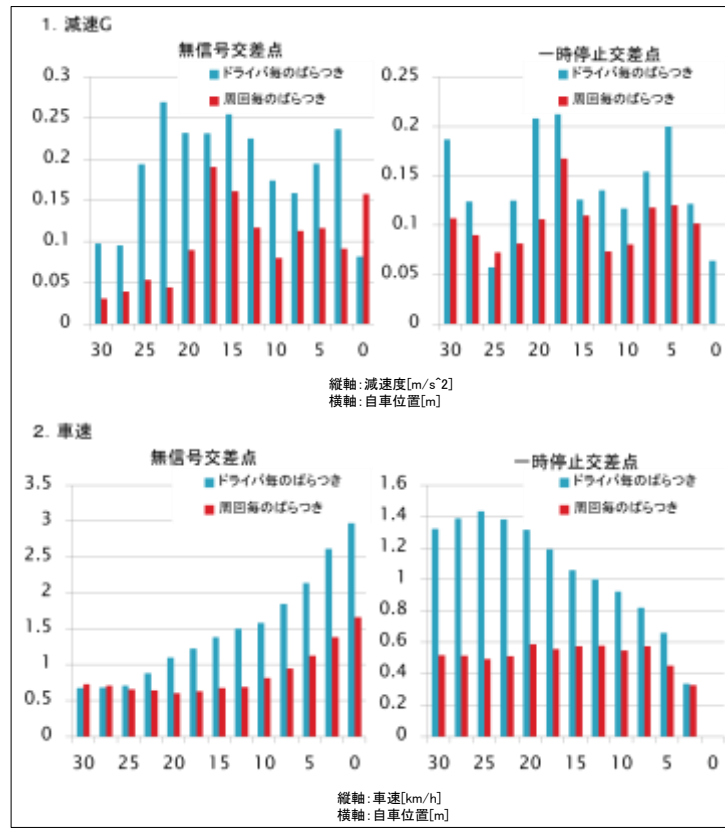
図⑬-21-6 から、減速度・車速の両者で、一時停止交差点の方が、ばらつきが小さい傾向となった。

これは、今回の実験においては無信号交差点での目標最低車速を指定しなかったため、減速度および車速にばらつきが出たものと考えられる。



図⑬-28 シーン毎の減速度と車速の標準偏差

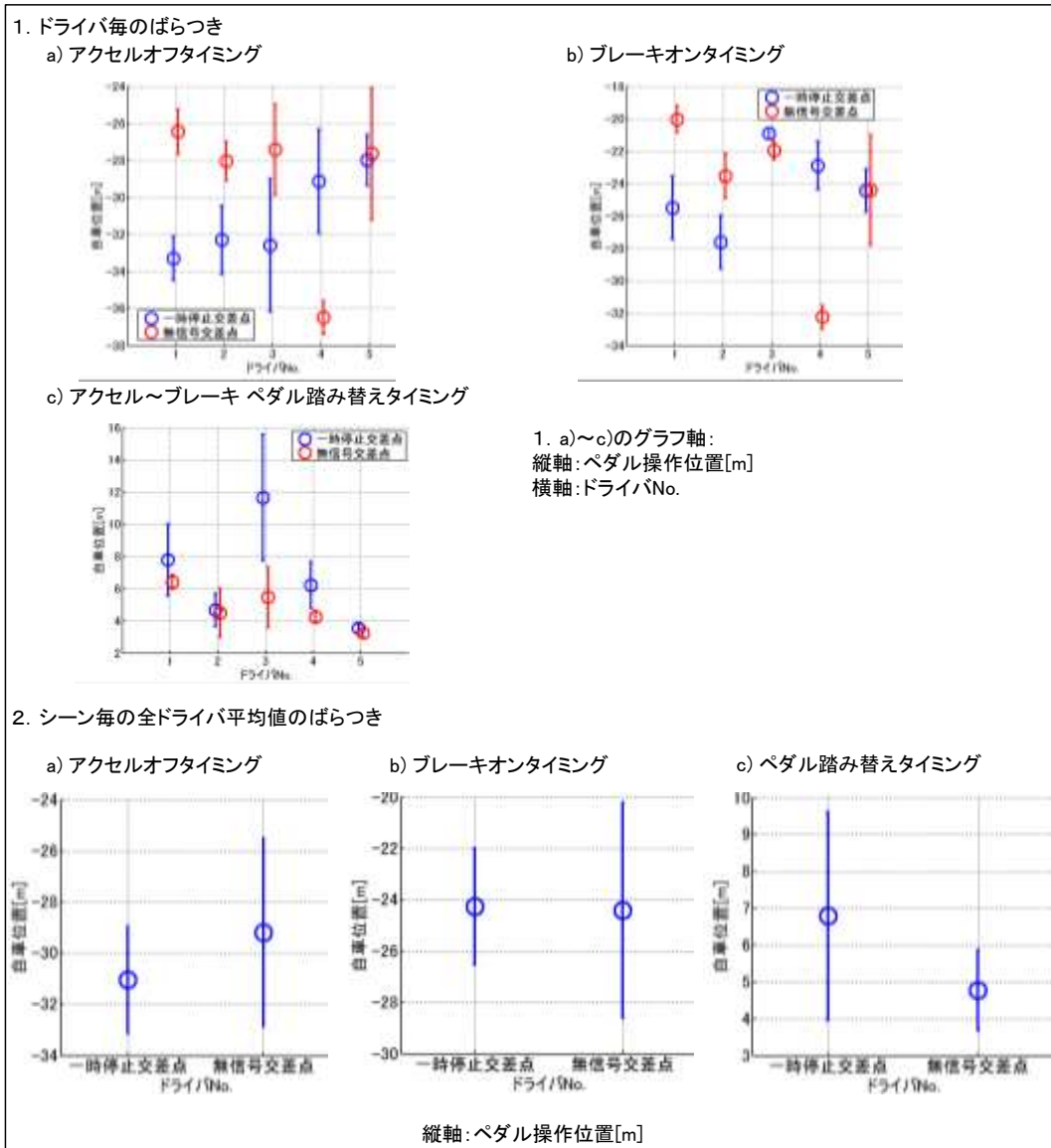
次に、人毎のばらつきと、各ドライバにおける周回毎のばらつきについて見ていく。  
 図⑬-29 にシーン毎で、人毎・周回毎の減速 G と車速の標準偏差を示す。



図⑬-29 人毎・周回毎の減速 G と車速の標準偏差

全体的に、ドライバ毎のばらつきよりも、周回毎の方が小さい結果となった。また、ドライバ毎のばらつきも、無信号交差点よりも一時停止交差点の方が小さい結果となっている。これには、2つの要因が考えられる。1つは、今回無信号交差点での目標最低車速を設定しなかったこと。もう1つは、一時停止交差点においては、停止線という明確な停止位置の基準があるのに対し、無信号交差点においては、交差点の位置は決まっているものの、最低車速の達成位置の統一的な基準がないことが、ドライバの減速行動に影響しているのではないかと考えられる。

図⑬-29 に示すペダル操作タイミングのばらつきについて考察する



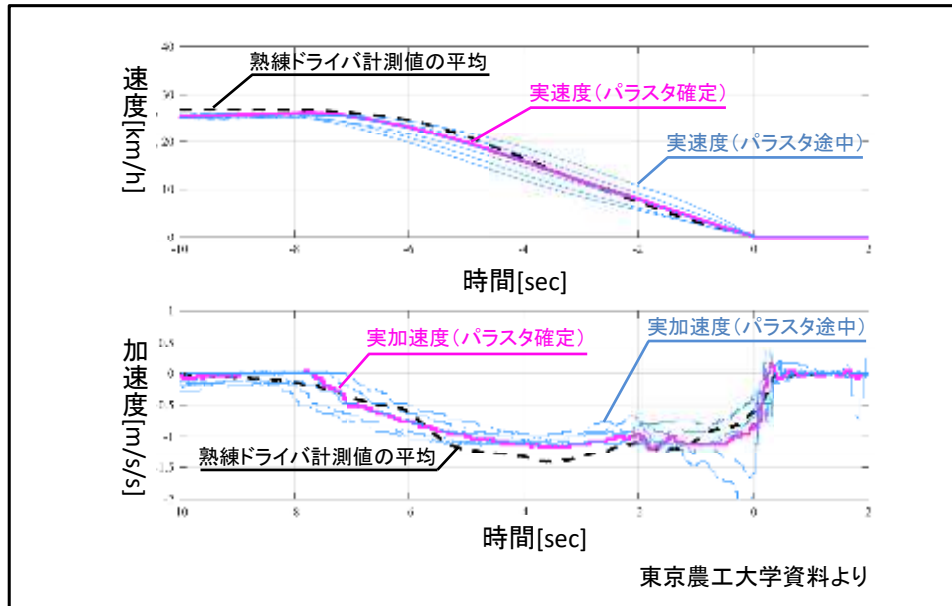
図⑬-29 人毎、シーン毎のペダル操作位置標準偏差

図⑬-29の1. a)～c)において、ペダル操作におけるドライバ毎のばらつきについては、各ドライバで異なる傾向となった。また、図⑬-21-8の2. a), b)より、シーン毎の全ドライバ平均値を見た時、アクセルペダルのオフタイミングおよび、ブレーキペダルのオンタイミングについては、一時停止交差点の方が、ばらつきが少ない結果となった。無信号交差点での目標最低車速および、最低車速達成位置に明確な基準がなかったことによるものと考えられる。

しかし、図⑬-29の2. c)において、ドライバがペダルを踏み替えるまでに走行した距離については、一時停止交差点の方が、ばらつきが大きくなった。これは、一時停止線への減速の際、アクセルオフによる減速と緩ブレーキによる減速といった、減速の仕方がドライバや周毎で異なったことによるものと考えられる。

<制御仕様の決定と性能確認>

以上の考察結果及び計測したデータを東京農工大学に提供し、減速制御のリスクポテンシャルパラメータ調整を実施した。図⑬-30は、一時停止支援での減速度のパラメータスタディ結果であり、これにより熟練ドライバの減速度プロファイルを作成することができた。



図⑬-30 東京農工大学作成 減速度パラメータスタディ結果

熟練ドライバの減速度プロファイルをもとに、減速支援制御の理論設計・パラメータスタディ・実装(プランナ)・制御ロジックのデバッグ・改良を東京農工大学にて実施後、FOT 実施のソフトウェアリリースに向けたソフトウェアの品質確認を実施した。一時停止減速の正常系のみならず、包括的に FOT 実施にあたり他シーンとの連携等、機能に問題がないか確認を実施した図⑬-31 にソフトウェアリリースに向けた確認試験の結果を示す。

大項目	中項目	小項目	合否	備考
一時停止 交差点 のみ	進入速度	クリープ	OK	
		20km/h	OK	
		40km/h	OK	
	ドライバ操作で停止線 手前で停止し再発進 した時の制御再介入	手前15mで停止	OK	
		手前7mで停止	OK	
	カメラローカライズ補正により停止線までの距離減少時、停止可能か	OK	当初、課題有 ・次シーン遷移条件見直し ・一定G強制停止機能追加 を実施し、動確完	
他シーン と連携	一時停止と駐車車両回避の重畳		OK	シーン前後入替も確認済み
	無信号交差点と駐車車両回避の重畳 (既存機能への影響有無)		OK	シーン前後入替も確認済み
	一連のコース中のシーン3種がすべて 動作するか(既存機能への影響有無)		OK	

図⑬-31 ソフトウェアリリースに向けた確認試験の結果

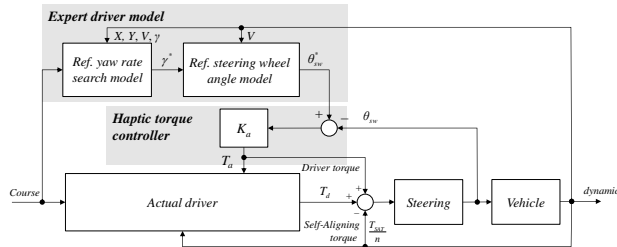
## (2) 社会的課題抽出と対応

社会的課題抽出と対応では高齢ドライバの日常生活の移動支援を目的とした自律運転知能システムの研究と検証を実施した。支援システムの形式として、ドライバが自らステアリングを握り運転操作をおこなう中で、同時に知能システムが支援をおこなう、シェアード・コントロール (Shared Control)の形式に着目している。シェアード・コントロールの狙いの一つは、ドライバと知能システムが互いに協調することで、ドライバの運転操作をより高みに導くことである。この考え方に基づけば、シェアード・コントロールは、潜在リスクが存在するような運転シーンにおいて、その有効度が期待される。その理由は、対象となるシーンに対して、知能システムが規範ドライバ

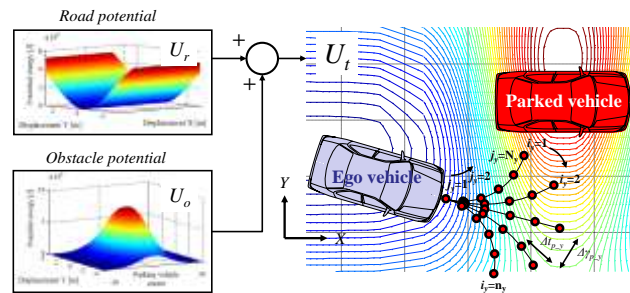
の如く潜在的なリスクを読み、それに応じた規範操作がドライバに教示され、そしてドライバがそれを適切に運転操作に反映することができれば、より安全でかつ滑らかな運転が、人間機械の閉ループ系で実現されると考えられるためである。

知能システムの横方向運動制御の一方式として、本プロジェクトではリスクポテンシャル最適化理論を用いた方法を提案している。ステージⅡまででは、ポテンシャルの形状を最適化することで、自動運転条件下において、提案方式が規範ドライバの実際の運転行動を再現できることをシミュレーションで確認した。ステージⅢでは、この横方向運動制御をシェアード・コントロールの制御設計に拡張することを目的とし、実験車を用いた評価によって、その有効性を実証することを行った。具体的には、潜在リスク運転シーンの一つとして挙げられる駐車車両回避シーンを題材に、その駐車車両を安定的に回避し、かつ側方間隔を正しく取るように誘導する機能として、システムを検証した。13名の被験者実験をおこない、シェアード・コントロール下におけるドライバの運転行動の変容を考察した。本プロジェクトで提案する自律運転知能システムの構成を図⑬-32に示す。本知能システムの特徴は大きく2つある。1つ目は、規範ドライバの運転行動を再現するための規範ドライバモデル部である。2つ目は、規範ドライバの規範運転を実ドライバに教示するための操舵反力制御部である。

規範ドライバモデル部では、まず斥力ポテンシャルが設定される。駐車車両回避シーンの場合、斥力ポテンシャルは、道路形状に対応するものと、駐車車両に対応するものの2つから構成される。図⑬-33にその形式図を示す。



図⑬-32: シェアード・コントロールシステムの構成



図⑬-33: 規範ドライバモデル形式図⑬-2

左上図⑬-33は道路形状を表現する斥力ポテンシャルであり、道路中心が最もポテンシャルが低く設定される。一方、左下図⑬-2は駐車車両を表現する斥力ポテンシャルであり、駐車車両の位置が最もポテンシャルが高く設定される。これらのポテンシャルの高さや形状は、規範ドライバの運転行動に基づき最適化される。すなわち、規範ドライバが読む潜在リスクは、ポテンシャルの高さや形状に内包される。そして、各ポテンシャルは式(1)のように重ね合わされ、そのシーンにおける全体のポテンシャルが定義される。

$$U_t(X, Y) = U_r(X, Y) + U_o(X, Y) \quad (1)$$

ただし、 $U_t$ は全体ポテンシャル、 $U_r$ は道路境界の斥力ポテンシャル、 $U_o$ は駐車車両の斥力ポテンシャルである。次に上記で設定した全体ポテンシャルに基づき、横運動の計画を立てる。最初に横運動計画のためのサンプリング周期  $\Delta t_{p,y}$ 、予測ホライズンに相当する演算サンプル数  $N_y$ 、目標ヨーレート候補値の範囲(式(2))、目標ヨーレート候補値の刻み幅  $\Delta \gamma_y$ を定義する。

$$\gamma_c - \gamma_{p\_min} \leq \gamma_p \leq \gamma_c + \gamma_{p\_max} \quad (2)$$

ただし、 $\gamma_c$ は現在時刻での自車ヨーレート、 $\gamma_{p\_min}$ は目標ヨーレート候補の探索最小側の設定定数、 $\gamma_{p\_max}$ は目標ヨーレート候補の探索最大側の設定定数である。次に上記で設定された目標ヨーレート候補ごとに、各自車両予測位置におけるポテンシャルを演算し、式(3)で設定される評価関数を最小化する目標ヨーレート候補値

を探索する.

$$\gamma^*(t) = \min_{r_p} \sum_{j_y=1}^{N_y} (U_t(X_{p-y}(i_y, j_y), Y_{p-y}(i_y, j_y)) + r_y \gamma_p^2) \quad (3)$$

ただし,  $X_{p-y}$ ,  $Y_{p-y}$  は自車両予測位置,  $i_y$  は目標ヨーレート候補番号,  $j_y$  は各目標ヨーレート候補に対する予測ホライズン番号,  $r_y$  はヨーレート入力に対する重み,  $\gamma_p$  は目標ヨーレート候補である. ここで, 式(3)の右辺第 1 項はポテンシャルに関する評価項であり, 第 2 項は運動の滑らかさに関する評価項である. この探索演算で選択された目標ヨーレート候補値を, その時刻における目標ヨーレート  $\gamma^*$  として決定する.

最後に決定された目標ヨーレートは, 高周波領域の操舵入力が無いという仮定のもとに, 平面運動の定常円旋回の間係をあらわす式(4)によって, その目標ヨーレートを実現する規範ステアリング舵角が算出される.

$$\theta_{sw}^* = nG_\delta^\gamma(0)^{-1} \times \gamma^* \quad (4)$$

ただし,  $\theta_{sw}$  は規範ステアリング舵角,  $n$  はステアリングギヤ比,  $G_\delta^\gamma(0)$  はタイヤ実舵角入力に対する車両ヨーレートの定常ゲインである. 上記の演算は制御周期ごとにおこなわれ, 規範ステアリング舵角は連続演算される. この規範ステアリング舵角に従い車両のステアリングを制御すれば, 自動運転条件下において, 横方向の運動は規範ドライバの運転行動を再現することが出来る.

操舵反力制御部では, 規範ドライバの運転操作と実ドライバの運転操作の差分に応じて, 能動的な反力制御トルク  $T_a$  をステアリングに付加する. 具体的には, 式(5)によって反力制御トルクを演算する.

$$T_a = K_a(\theta_{sw}^* - \theta_{sw}) \quad (5)$$

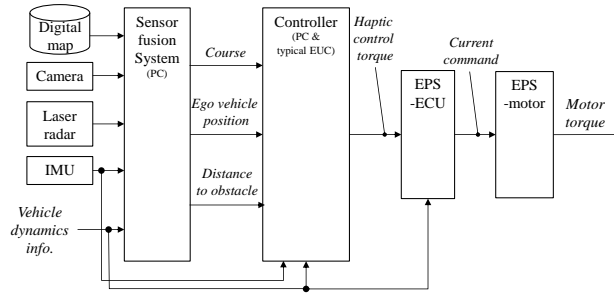
ただし,  $K_a$  は反力制御トルクゲイン,  $\theta_{sw}$  は実ステアリング舵角である. 実ドライバは, 反力制御トルクの大きさとその方向を感じることで, 規範ドライバの規範運転をステアリングを介して得ることができる. ステアリング舵角が, 規範ステアリング舵角と一致すれば, 反力制御トルクはゼロとなるため, 実ドライバは自身の運転が規範運転に一致したことが理解できる. この原理を用いて, 本制御部では規範運転の教示の機能を担う. ここで, 反力制御トルクゲイン  $K_a$  は, 反力教示の強さと共に知能システムの実際の横方向制御量の強さをあらわしており, ドライバとの協調特性に対して大きな影響を及ぼす定数である. 既出論文<sup>(3)</sup>では, 人間と機械の仕事分担率という考え方で反力制御トルクゲインの大きさ定式化し, 分担率が 0.5 程度になるようにその大きさを設定した. 本プロジェクトでもこの考え方に倣い, 後述する実車実験では, 分担率が 0.5 程度になるように反力制御トルクゲインを設定する.

次に規範ステアリング舵角の演算方法が正しく機能することを実車で明らかにする. 具体的には, ドライバは手放し状態 (自動運転条件下) とし, 提案するリスクポテンシャルを用いた横運動制御系が, 規範ドライバの運転行動を適切に再現することを確認する.

実験車の外観を図⑬-34 に, 実験車の主要なシステム構成を図⑬-35 に示す. 実験車は, 走行環境認識システムを有しており, 地図データ, カメラ, レーザレーダ, IMU 等のセンサ信号から, 自車位置情報や, 駐車車両との相対位置情報等を演算する. 制御システムはこれらの情報を取得し, 規範ステアリング舵角を連続演算する. 演算された規範ステアリング舵角信号は, 試作改造された EPS ECU に送信され, ステアリングが自動操舵される. 上記の制御周期は 0.01s である. なお, 本実験では, EPS ECU は舵角制御系が構築されている. 表⑬-22 には, 規範ドライバモデル部で用いたパラメータを示す.



図⑬-34: 実験車両概観

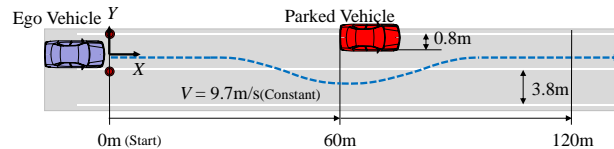


図⑬-35: 実験車システム構成

表⑬-22: 規範ドライバモデル部で用いたパラメータ

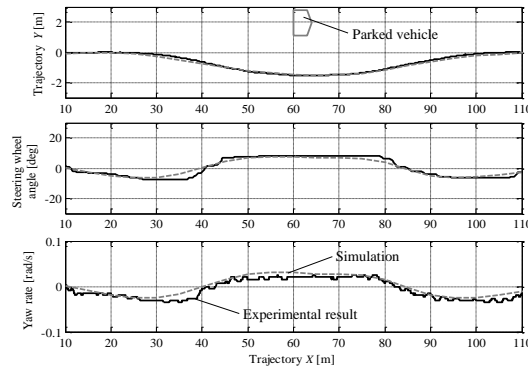
Symbol	Value	Unit
$w_r$	$7.4 \times 10^4$	-
$\mathcal{C}$	2.4	-
$w_o$	$9.9 \times 10^4$	-
$\sigma_{oX}$	25	-
$\sigma_{oY}$	2.8	-
$\Delta t_{p,y}$	0.1	s
$N_y$	14	-
$\gamma_{p,min}$	-0.1	rad/s
$\gamma_{p,max}$	0.1	rad/s
$\Delta \gamma_{p,y}$	0.0001	rad/s
$r_y$	70	-

実験コースを図⑬-36に示す。直線路上に置かれた1台の駐車車両を回避するシナリオである。このコースを車速9.7m/sで走行する(スピードコントロールは手動操作である)。また斥力ポテンシャルの形状パラメータは、規範ドライバの実際の運転結果を用いて事前に調整したものを実装した。



図⑬-36: 実験コース

実験結果を図⑬-37に示す。上段には自車の車両軌跡を、中段にはステアリング舵角を、下段にはヨーレートの時系列結果を示す。ここで、破線はシミュレーション結果を示している。実験結果からは、規範ドライバモデル部によって制御された実車両が、シミュレーション結果を適切に再現していることが確認できる。以上より、提案するリスクポテンシャルを用いた横運動制御系は、実車上でも正しく機能することが実証され、規範ドライバモデル部の有効性が明らかにされた。



図⑬-37: 実験結果(上段: 自車の車両軌跡, 中段: ステアリング舵角; 下段: ヨーレート)



提案するシェアード・コントロールシステムの有効性を検証するために、実験車を用いて被験者実験をおこなった。なお、本実験の計画は、トヨタ自動車株式会社内規「人を対象とする研究倫理ガイドライン運営要領」に従い、倫理審査を受け事前の承認を得た。さらに、実験参加者には、実験内容や個人情報の保護について説明をおこない、同意を得た上で実験をおこなった。

実験参加者は、トヨタ自動車に所属する13名(平均年齢42歳)である。なお参加対象は、社内の運転ライセンスが無級または初級である者に限定し、またステアリング関係の研究開発に従事していない者に限定した。実験前説明では、規範運転を教示するための反力制御トルクがあることを説明した。また、操舵支援のみ(いわゆる手放し運転)では駐車車両を完全には回避できないため、反力制御トルクを適切に利用したうえで、主体的に運転するように指示した。さらに本プロジェクトではドライバの操舵行動のみに注目するため、回避時の後方確認やウィンカー操作は不要とした。実験条件は、支援なし(マニュアル運転)と支援あり( $K_s=11\text{ Nm/rad}$ )の2条件であり、支援の有無はドライバに伝えるものとした。なお、本実験では、EPS\_ECUはトルク制御系が構築されており、操舵反力制御部が作用できるようになっている。またEPSのモータトルクは、通常のアシストトルクに能動的な反力制御トルクが加算されるように構成した。上記の演算周期は0.01sである。

実験結果の代表例として、被験者13名のうち、ドライバAドライバCの時系列結果を図⑬-38に示す。ここで、1段目には走行軌跡を、2段目にはステアリング舵角を、3段目には車両ヨーレートを、4段目には支援なしの条件でのステアリングまわりのトルクを、5段目には支援ありの条件でのステアリングまわりのトルクを示す。はじめにドライバAに注目する。1段目の走行軌跡に注目すると、支援なしの場合は、規範ドライバモデルに比べて駐車車両回避の開始位置が遅れている傾向が確認できる。また駐車車両を追い越す際の側方間隔の取り方も狭い( $X=64\text{m}$ の位置で、 $Y=-1.14\text{m}$ であった)。これらの結果はドライバのステアリング操作入力に起因するものだが、2段目のステアリング舵角の時刻歴応答結果からは、右方向への操舵ピークが40m付近に存在し、右方向への操舵開始が遅れていることが確認できる。一方で、支援ありの場合は、上記で示した開始位置および側方間隔の取り方が、規範ドライバモデルに一致する方向に変容している( $X=64\text{m}$ の位置で、 $Y=-1.38\text{m}$ であった)。この変容は能動的な反力制御トルクによる規範教示に起因すると考えられる。5段目のステアリングまわりのトルクに注目すると、 $X=18\text{m}$ の付近で、操舵開始のきっかけを教示するような右方向への反力制御トルクが発生していることがわかる。後述する主観調査では、ドライバAは規範教示を理解し、また反力制御トルクを「やや強く感じる」との回答を示している。以上の結果より、ドライバAは、上記の操舵開始の規範教示を適切に利用した上で、規範ドライバモデルに近づくように、右方向への操舵を開始したと推察される。次に、ドライバCの時系列結果を考察する。1段目の走行軌跡を確認すると、駐車車両回避の開始位置は、ドライバAと同様に、規範ドライバモデルに一致する方向に変容している。また、その変容はドライバAよりも顕著である。2段目のステアリング舵角に注目すると、支援なしの条件では、 $X=45\text{m}$ の位置と、 $X=68\text{m}$ の位置で大きな操舵ピークが発生しているが、支援ありの条件では、そのピークは大幅に低減され、また操舵波形は非常に滑らかなものに変化している。3段目のヨーレート波形からも、支援ありの条件において、車両挙動は安定的で滑らかなものに変化していることが確認できる。

以上に示したように、提案する制御システムの目的は、能動的な反力制御トルクによる規範教示によって、ドライバの運転行動を安全で滑らかなものに導くことであった。このことを定量的に評価するために、被験者13名の実験データを用いて、詳細な解析をおこなった。具体的には、軌跡追従性能、ステアリング舵角速度、ステアリング舵角のピーク値、車両ヨーレートのピーク値を評価した。ここで、軌跡追従性能およびステアリング舵角速度については二乗積分値で評価し、積分区間は、 $X$ 方向座標の10mから110mとした。図⑬-39に各評価指標の平均値と標準偏差を示す。また、支援有無における差異が統計的に有意であることを確かめるために、 $t$ 検定(有意水準5%、両側検定)をおこなった。確認の結果、 $p<0.05$ となり有意な差が見いだされた。1番目の軌跡追従性能は、規範ドライバモデルの規範軌跡と実軌跡の差の二乗積分である。この値が小さいほど規範軌跡に一致していることをあらわしているが、支援ありの条件では、軌跡追従性能が大幅に向上していることが示されている。また標準偏差も小さくなっており、被験者ごとの運転のばらつきは小さくなっていることが評価できる。

2番目から4番目の解析項目は、運転の滑らかさを評価するものである。いずれの評価指標に対しても、支援ありの条件では評価値が小さくなっている。以上の結果より、提案する制御システムは、ドライバの運転行動を規範運転に導きながら、同時にその運転操作と車両挙動を滑らかなものに変容させる効果を有していることが示された。

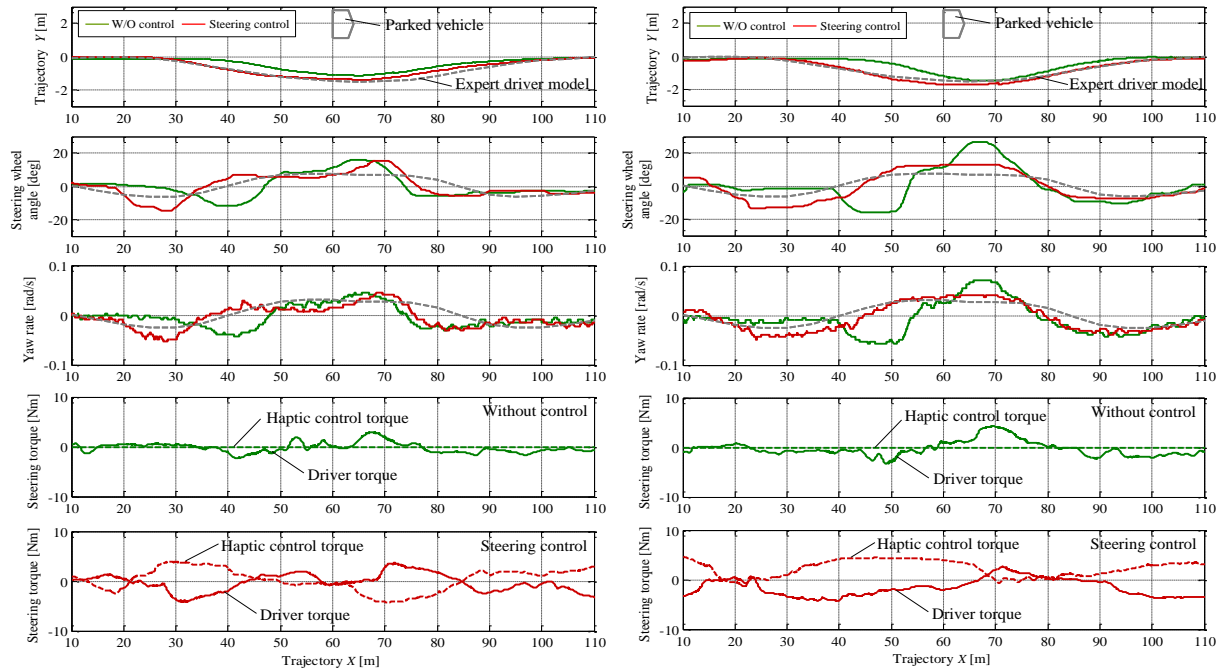


図13-38: 実験結果(ドライバ A(左図) ドライバ C(右図))の時系列結果

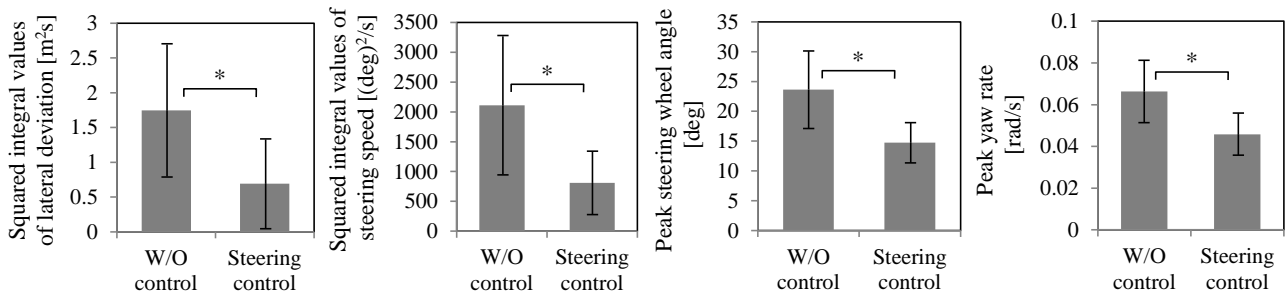


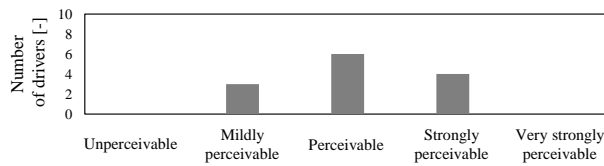
図13-39: Path tracking performance and driving maneuver performance ( $p < 0.05$ )

提案する制御システムの有効性を主観的に評価するために、被験者にアンケート調査をおこなった。はじめに反力制御トルクによる規範教示の力覚の強さに対して、5段階評価をおこなった結果を図13-40に示す。反力制御トルクについては、すべてのドライバから感じられたとの回答が得られ、「やや感じる」、「感じる」、または「やや強く感じる」との主観評価結果が得られた。

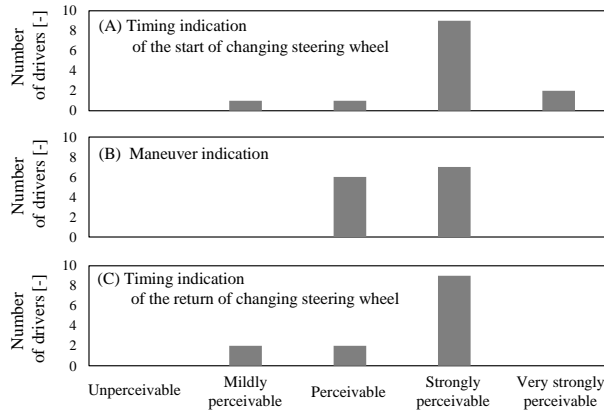
次に、その規範教示について、A: ステアリングを切り始めるタイミング教示、B: ステアリングを動かす大きさや滑らかさの教示、C: ステアリングを戻すタイミングの教示の3つに分類して、その理解度を主観的に調査した。調査結果を図13-41に示す。A、B、Cすべての項目の規範教示に対して、多くのドライバから肯定的な理解を得ることができた。A、B、Cの理解度を比較すると、Aのステアリングを切り始めるタイミング教示への理解度が最も強めに得られている。その理由は、ドライバの実運転操作に対して、制御システムの規範運転操作との差が最も出やすい位置は、直進走行から回避走行に運転行動が切り替わる部分であると考えられるためである。操舵反力トルクの強さは、この差分に比例するため、多くのドライバは、運転行動を切り替えるタイミングを、容易に得ることが出来たと考えられる。以上の調査結果より、多くのドライバは、ステアリングというインターフェースを介して制御システムが教示する規範運転を適切に理解し、その理解に基づいて操舵入力を変容させることができたと評価できる。

最後に制御システムの有用度と満足度に関する被験者の判断を調査するために、Van Der Laanらが提案する受容性評価法を用いて調査をおこなった。

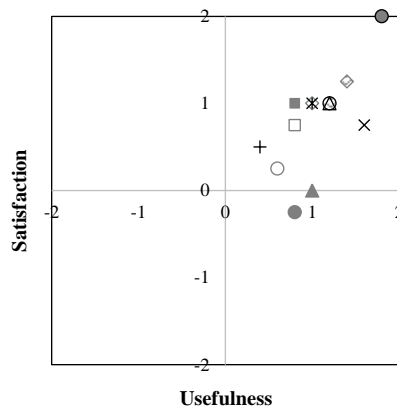
図13-42は評価結果である。ここで、横軸は有用度を、縦軸は満足度を示す。右上の方向が有用度と満足度が高いことをあらわすが、調査結果からは、1名の被験者を除いたほぼすべての被験者から、第一象限に位置する回答結果を得た。この結果より、被験者は、提案するシェアード・コントロールを肯定的に評価したと考察される。



図⑬-40: アンケート結果(反力制御トルクによる規範教示の力覚の強さ)



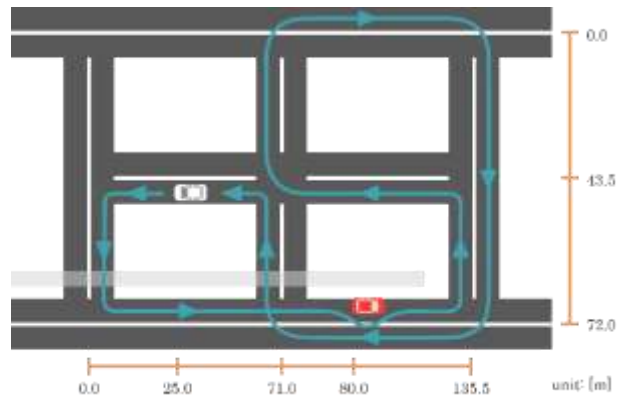
図⑬-41: アンケート結果(反力制御トルクによる規範教示の理解度)



図⑬-42: アンケート結果(受容性評価)

### (3) Pre-FOT 環境の構築

現在開発中の運転支援システムの実環境での実ユーザ評価にあたって、あらかじめ実際の車両やドライバで起こりうる課題を整理する必要がある。そこで、公道での FOT の前段階として、東京大学生産技術研究所の ITS R&R 実験フィールドの模擬市街路において Pre-FOT の環境を構築し、実ユーザによる支援システムの評価を実施した。具体的には、昨年度まで進めてきた各対象場面単体の評価試験ではなく、複数の支援機能が作動する連続した試験シナリオを設定することで、各要素技術の評価に限らず総合的な評価に向けた実験方法の確立を目的に実験を行った。また、実際の道路環境での FOT を見据えて、通常環境条件のほかに各支援場面において実際の交通環境で発生し得る他の障害物を設置したイレギュラーな環境条件も用意し、合わせて試験を実施した。実験参加者には柏市シルバー人材センターに登録されている日常的に運転をしていると答えたドライバ 27 名を対象に、運転データと運転支援システムに関するアンケートを収集した。実験に使用した走行コースの概要を図⑬-43 に示す。このコースでは①常に車線を保持と交差点右左折時のための操舵支援、②図中赤色で示す駐車車両を回避する際の操舵支援、③危険予測ブレーキ介入の三つの支援機能が作動するように設定した。また、イレギュラーな環境条件では、図⑬-44 に示すように車線維持もしくは駐車車両の周辺に、実際にあり得る障害物を追加して実験を行った。



図⑬-43 Pre-FOT で使用した模擬市街路と実験シナリオの概要



(a) LK

(b) PVA: front

(c) PVA: side

(d) PVA: behind

図⑬-44 Pre-FOT での実験の様子

実験の成果から、通常環境条件およびイレギュラーな環境条件のそれぞれの体験後での参加者のシステムに対する導入意欲は、どちらも昨年度の Pre-FOT の結果と同様に肯定的な回答が得られ、受容される傾向にあることが確認できた。

ただし、一部の参加者はイレギュラーな環境条件体験後に導入意欲が低下しており、低下した参加者のデータの特徴を確認したところ、条件間での支援量の変化に導入意欲低下の原因がある可能性が示唆された。そこで、追加で 5 名の高齢者を対象として、システムの支援量を一時的に増幅するように改良したシステムで駐車車両回避場面での調査を行ったところ、5 名ともシステムの導入意欲に対しては肯定的な回答が得られ、改良の有無でどちらが良いか評価してもらったところ、4 名の参加者が改良後のシステムの方が良いという結果が得られた。

### ① 実際の高齢者ドライバによる公道での Pilot-FOT 評価の実施

現在、市販車に搭載されている Automated Emergency Brake system (AEB) は主に、レーダ、カメラ等のセンサから歩行者、自転車などの対象物を認識して減速制御を行っている。しかし、このシステムは対象物が、見通しの悪い、センサ認識不可能な地点から突然現れる場合、対象物を回避できない。一方、熟練ドライバは見通しの悪い場所において危険を予測して事前に減速動作(先読み減速)を行う。これまで、先読み減速制御を含むシステムが、本プロジェクトにより、研究開発されている。

平成 30 年度研究では、走行条件を見通しの悪い交差点とし、本学周辺道路の交通参加者の多い無信号交差点を含む道路を選定した。システムパラメータは熟練ドライバの運転行動データから決定した。同一走行条件での、高齢者ドライバの運転行動を取得し、アンケート調査を行うことにより、先読み減速制御の受容性評価を行った。

本評価に使用したシステムは熟練ドライバのような「先読み減速」の支援を行うシステムである。支援は、減速制御介入と視覚教示を行っている。AEB 動作時の目標減速度  $a_x^*$  は、仮想歩行者に対する斥力を生むポテンシャル関数  $U_{ped}$  と予測減速度  $a_{p,x}$  に基づく評価関数を最小化することで目標減速度  $a_x^*$  を算出している。仮想歩行者の斥力ポテンシャル関数  $U_{ped}$  は式(1-1)で表される。

$$U_{ped} = \frac{1}{2} k_{ped} \cdot (X_{p,x}(i_x, j_x))^2 \quad \text{式(1-1)}$$

ここで、 $X_{p,x}(i_x, j_x)$ は自車両の予測位置である。 $k_{ped}$ は、斥力ポテンシャルのばね定数であり、式(1-2)で表される。

$$k_{ped} = \frac{m(v_{min}^2 - V(t)^2)}{(Xe)^2 - (Xfin)^2} \quad \text{式(1-2)}$$

ここで、 $m$ は車両重量、 $V(t)$ は時刻  $t$ における速度、 $Vmin$ は交差点進入の時の最終徐行速度である。この研究では熟練ドライバーの運転行動から設定している。 $Xe$ は制御介入区内での自車位置、 $Xfin$ は制御介入終了位置である。目標減速度 $a_x^*$ は式(1-3)で表される。

$$a_x^* = \operatorname{argmin}_{a_{p,x}} \sum_{j_x=1}^{N_x} \left( U_{ped} \left( X_{p,x}(i_x, j_x) \right) + r_x a_{p,x}^2 \right) \quad \text{式(1-3)}$$

ここで、 $r_x$ は減速度指令値に対する重み係数である。

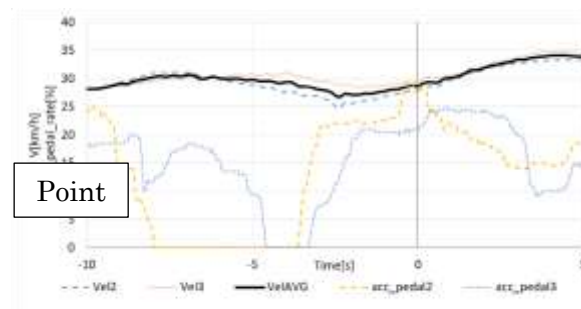
また、視覚での支援としては Head Up Display (HUD)を運転席前方に配置した。減速制御が介入する 2.5[s]前に制御が入ることを知らせている。

評価対象交差点の選定については、本学周辺に設定されているコースの中から(1)死角がある(2)歩行者、対向車等の他者交通参加者の多い交差点を選定した。図⑬-45 に評価対象交差点を示す。この交差点は、右側の建物の陰からの飛び出しが多い。



図⑬-45 Un-signalized Intersection (Point1)

規範となる最終徐行速度  $Vmin$ の設定方法は、熟練ドライバーの運転行動を参考にした。設定コースを完熟走行の1周を含めた3周し、2周目、3周目の平均を取った。Point1 付近の速度データとアクセル開度を図⑬-46に示す。なお、アクセルは離しているが、ブレーキは作動していなかった。



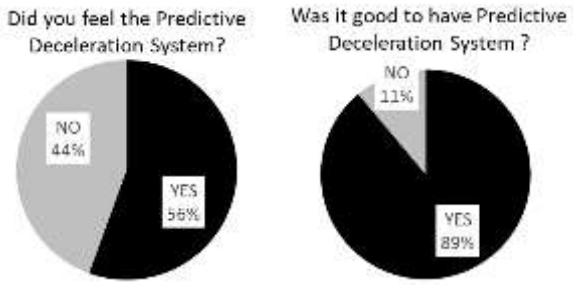
図⑬-46 Velocity reference

図⑬-21-2 から、交差点進入位置 (0[s])での平均値より交差点進入時の最終徐行速度  $Vmin$ を 28.6[km/h]に設定した。

実験方法は、事前アンケート調査・走行実験・事後アンケート調査を行った。事前アンケート調査では、普段の自動車運転に関するアンケート、運転スタイルチェック<sup>(2)</sup>、運転負担感受性チェック<sup>(2)</sup>を行った。走行実験では運転行動として、速度と制御動作時の目標減速度、車両減速度、アクセル開度を取得した。また、制御なしの走行実験を行い、運転行動の違いを分析した。走行後の事後アンケート調査として、受容性評価アンケートを行った。

実験を行った被験者は普段から運転をしている65~77歳までの9人の高齢ドライバーで行った。なお、8人は実験コースを初めて走る。

実験結果は図⑬-47に示すように、事後アンケートより、先読み減速制御を感じ取れた人は56%である。感じ取れなかった44%の4人のうち、対象交差点にて通過速度が設定速度より低く制御が作動しなかった人が1人である。また、先読み減速制御(HUD表示も含む)があつて良かったですかという問いに対しては、9人中8人が「はい」と回答している。なお、「いいえ」と回答した1人は先読み減速制御を感じ取れなかったと回答している。

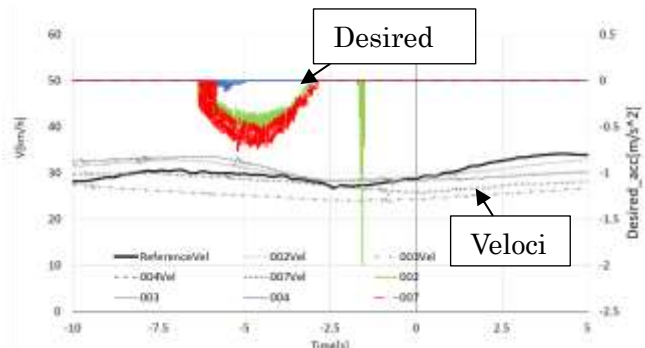


図⑬-47 Result of receptivity evaluation questionnaire

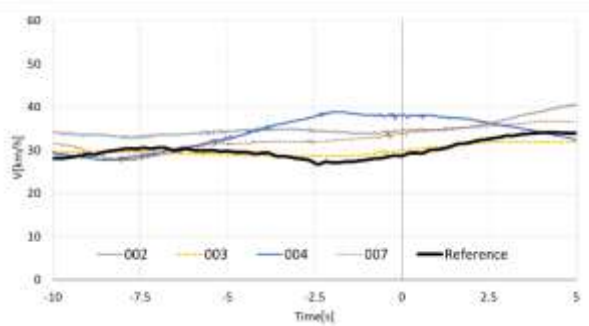
平成30年度の実験の考察は制御を感じ取れなかった4人のうち制御が作動しなかった1人を除く3人は、図⑬-48に示すように速度が最終徐行速度  $V_{min}$  に近い。そのため制御介入時の目標減速度が  $1[m/s^2]$  以下と制御量が小さく、感じ取り難かったと考えられる。

また、先読み減速制御があつて良かったと回答している人が約90%である。ここには、減速制御を感じとれなかったと回答した人も含まれる。減速制御を感じとれなかった上記の人は、図⑬-49に示すように、制御なしの走行においては規範となる速度よりも高い。これは制御ありの走行において、減速制御が介入しなくとも、HUDへの表示による知覚教示が有効に働いた結果であると考えられる。

他の被験者においても、アンケートで「先読み減速制御があつて良かったですか」の問いに対して、「はい」と答えた理由に、たまたま歩行者がいなかったから良かった・もし自分の判断が無かったらあつて良かったという回答があつた。つまり、実際に飛び出しが起こった事を想定した際の先読み減速を狙った通り感じており、受容性があると言える。



図⑬-48 Desired acc and Velocity Data



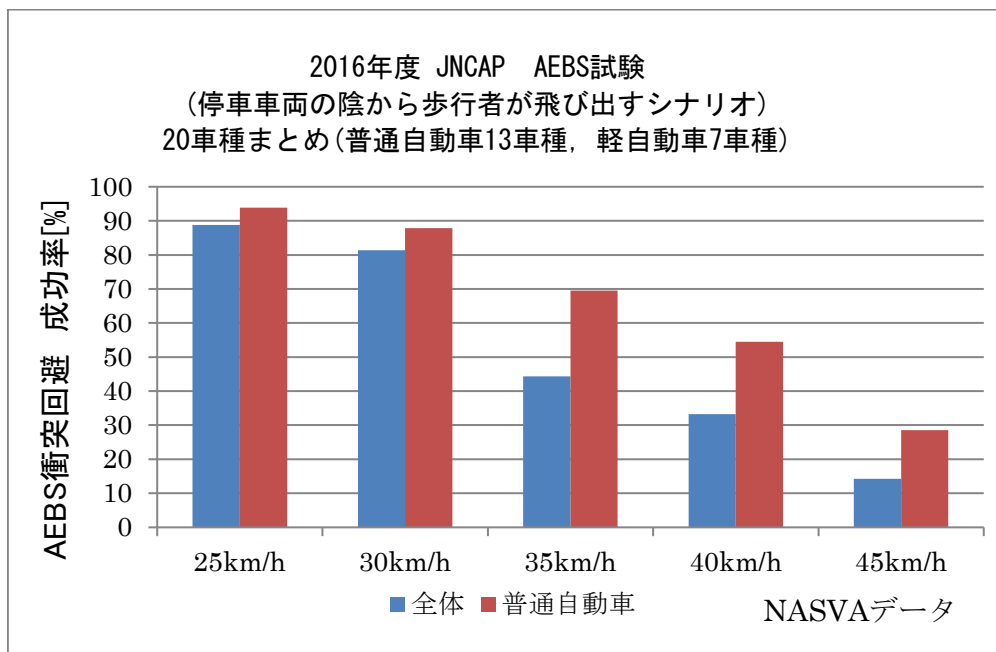
図⑬-49 Velocity Data(System OFF)

高齢者ドライバーの運転行動データを取得し、アンケート調査を行うことにより、先読み減速制御の受容性評価を行った。無信号交差点における先読み減速制御は歩行者等の飛び出しを意識させており、十分な受容性があることが確認できた。

(4) 評価指標の明確化

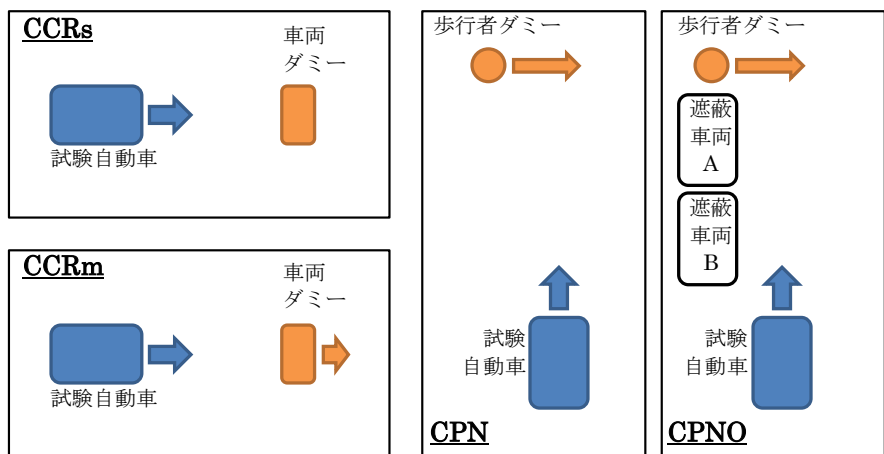
FOT の実施に向け、見通しの悪い交差点について、評価方法、及び指標の検討を開始した。評価する支援システムについて、前後(ブレーキ)・操舵の2つ及び両方の3パターンが考えられるが、対向車がいる場合など、前後(ブレーキ)のみの支援は有り得ることから、評価する支援システムは前後(ブレーキ)から着手した。評価にあたっては JNCAP の予防安全性能評価試験の衝突被害軽減制動性能試験(以下、AEBS 評価試験方法)をベースとして現状の AEBS 評価方法で Shared Control(かもしれないブレーキ)を実施する場合の課題を抽出、現状の AEBS 評価方法でも歩行者飛び出しの条件は厳しい設定となっている点や、既存の AEBS との比較が容易な点からも JNCAP の AEBS 評価試験方法をベースに検討を進めている。評価にあたっては、特に AEBS と比較して、安全性が向上することを示す必要がある(AEBS だけでは、衝突してしまうシチュエーションが必要)。図⑬-50 に 2016 年度 JNCAP AEBS 試験の AEBS 衝突回避成功率[%]を示す。

現状の J-NCAP の AEBS 試験では、車両速度 45km/h まで実施(ユーロ NCAP では 60km/h まで実施)しているが、45km/h では、普通自動車での衝突回避成功は約 30%(成功:2車種、失敗:5車種、未実施:6車種)に留まっており、本評価ではこれらに対して安全性が向上することを一つの着眼点としている



図⑬-50: 2016 年度 JNCAP AEBS 試験

AEBS 評価試験方法には、対車両用に車両ダミーを静止させた状態の CCRs 試験、及び速度 20km/h で牽引された状態の CCRm 試験の 2 種類と、対歩行者用に試験自動車の進行方向に対して歩行者ダミーを左側から横断させる CPN と試験自動車の進行方向に対して試験用ターゲットが左側から横断し、その手前に遮蔽用車両を設置して行う CPNO の 2 種類、計 4 種類の試験があるが、本システムの効果が期待できるのは、対歩行者の遮蔽物が有る CPNO 試験である。(図⑬-51)

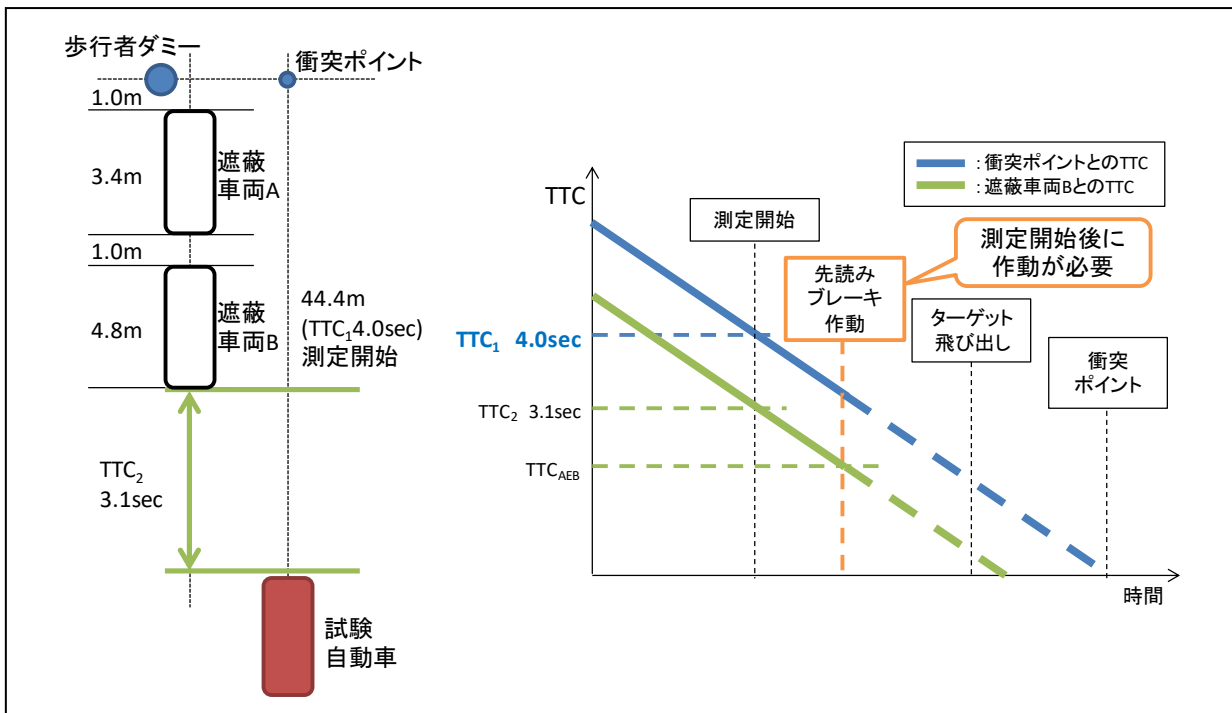


図⑬-51: JNCAP AEBS 評価試験

CPNO は、直線にて路肩に駐車している車両の脇を通過し、その際に駐車車両の陰から歩行者が飛び出してくる場面を想定しており、試験自動車の速度は 25~45km/h、歩行者ダミーの速度は 5km/h と定められている。測定項目は、試験成立の確認(試験時の速度、ヨーレートなど)、衝突の有無、速度低減量(初期速度) — (衝突時速度)、速度低減率(速度低減量) / (初期速度)である。

CPNO 試験では、歩行者ダミーと試験車両の TTC が 4.0sec となる地点から測定開始するため、遮蔽車両を検出して衝突ポイントとの TTC が 4.0sec 以上に飛び出しを先読みをしてブレーキ(先読みブレーキ)を行なう場合は、測定開始できず試験が成立しない。

具体例として車両速度 40km/h の場合を示す。計測開始となる歩行者ダミーと試験車両の  $TTC_1$  が 4.0sec となる地点は、衝突ポイントから約 44.4m、その際、遮蔽車両 B の最後尾から試験車両までは約 34.3m、遮蔽車両 B と試験車両の  $TTC_2$  は 3.1sec となる。また、先読みブレーキ作動を考えると、測定開始後にブレーキが作動しないと測定が成立しない。このため、40km/h で走行している場合には、先読みブレーキが作動するタイミングは TTC が 3.1sec より早くしてはいけない。(図⑬-52)



図⑬-52: AEBs 試験測定開始条件(車両速度 40km/h)

以上の課題に対して、各種パラメータの決め方(歩行者の速度、車両と壁との距離、評価項目(現状は、衝突の有無、衝突時の速度、減速率)、試験用ターゲットの飛び出させ方などの検討を実施している。

以下に検討した対策案の一部を示す。

対策案 1: 制御設計時に測定開始を考慮する

測定開始の TTC より早いタイミングでは制御を開始しない設計とすることで、課題を回避する。

対策案 2: 測定開始の TTC4.0sec を改訂する

測定開始を 4.0sec に設定した根拠を確認し、4.0sec である必要性について検討を行い、必要性が低い場合には、最適な値を改定案として提出する。

対策案 1 に関しては、最適なタイミングでアシストができなくなる可能性があり、対策案 2 に関しても技術的な話ではないが改訂するには時間がかかることが予想できる。今回は JNCAP AEBs 試験を行なうことを前提として検討を進めたが、JNCAP AEBs 試験を実施有無の他、新しい評価方法も含めて、検討を行い必要に応じて対応を行なう。



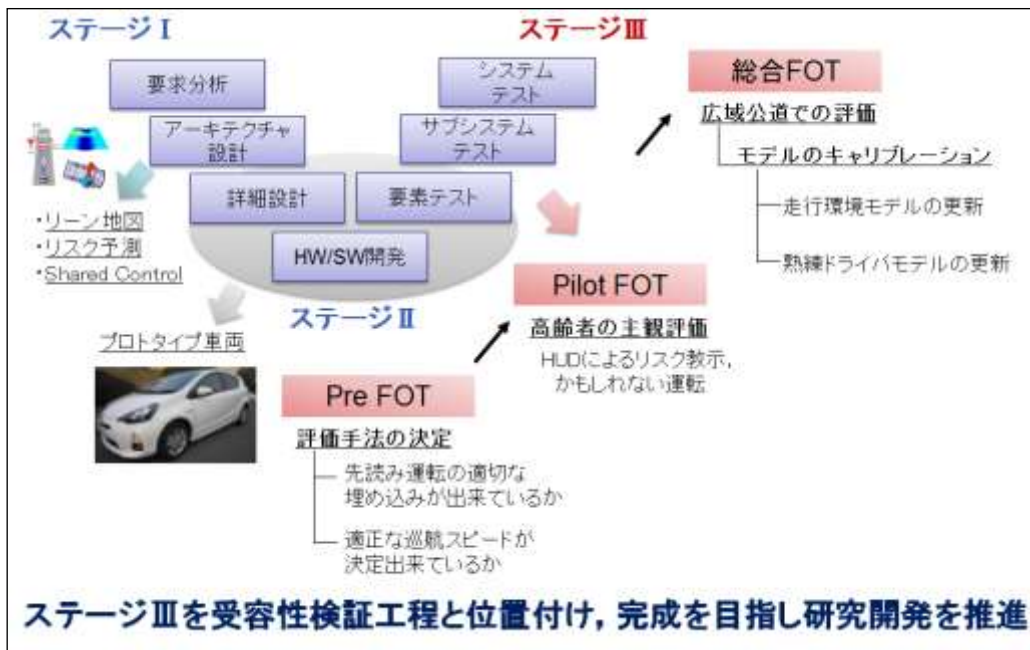
## ⑭ 実用段階のデータ蓄積と標準化

(研究機関: 東京農工大学・東京大学・トヨタ自動車・豊田中央研究所・  
神奈川工科大学・日本自動車研究所)【達成度 100%】

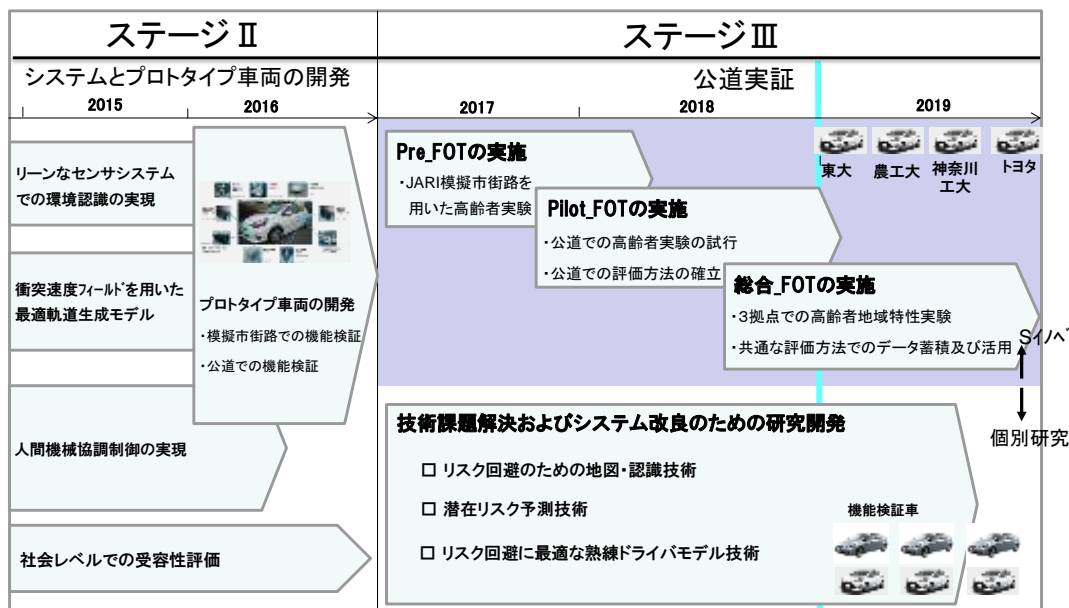
### (1) FOT 準備(計画, 実験車両他)

ステージⅢは、これまでに本プロジェクトで提案・準備してきた潜在リスク場面における「かもしれない運転」システムの高齢ドライバー受容性に対する検証工程(=FOT)と位置づけられる。

FOT では安全性と受容性の両軸を評価することを目的とし、Pre-FOT・Pilot-FOT・総合 FOT の 3 段階を定義した。Pre-FOT はトヨタ自動車内および日本自動車研究所内の模擬市街路(テストコース), Pilot-FOT は参加各大学の周辺の限定した公道コースでの実験を, 総合 FOT での安全な実証に向け実施した。図⑭-1 に FOT の定義, 図⑭-2 に FOT の計画を示す。



図⑭-1: FOT の定義



図⑭-2: FOT の計画

総合 FOT(公道実証)の拠点は3 拠点とし、具体的な評価の着眼点と総合 FOT データの運用方法を図⑭-3 に示す。3 拠点で実験のプロトコルを共通化、交通環境の違いやドライバの運転スタイル・運転習慣の差にも着目しながら評価する各拠点での評価ポイントを定めた。また、プラットフォームを共通化し、全機関が同じ目的のもと課題解決型の技術開発を行う」という原則にもとづき、2018 年度は FOT 車両のシステム構成を全車両で統一した。

(2) Pilot-FOT 実施、公道特有の問題の確認

FOT に向けて、FOT 実施の3 大学周辺のコース選定と制御介入に必要な地図データ整備を行なった。コース選定にあたっては3 大学の評価の目的(東京大学(千葉県柏市):受容性評価, 東京農工大学(東京都小金井市):安全性評価, 神奈川工科大学(神奈川県厚木市):ロバスト性評価)を視野に各大学周辺公道で最適となるよう選定を実施した。以下に各大学の2019 年度 FOT 実施予定のコースを示す。(図⑭-3 東京大学 FOT コース, 図⑭-4 東京農工大学 FOT コース, 図⑭-5 神奈川工科大学 FOT コース)



図⑭-3 東京大学 FOT コース



図⑭-4 東京農工大学 FOT コース



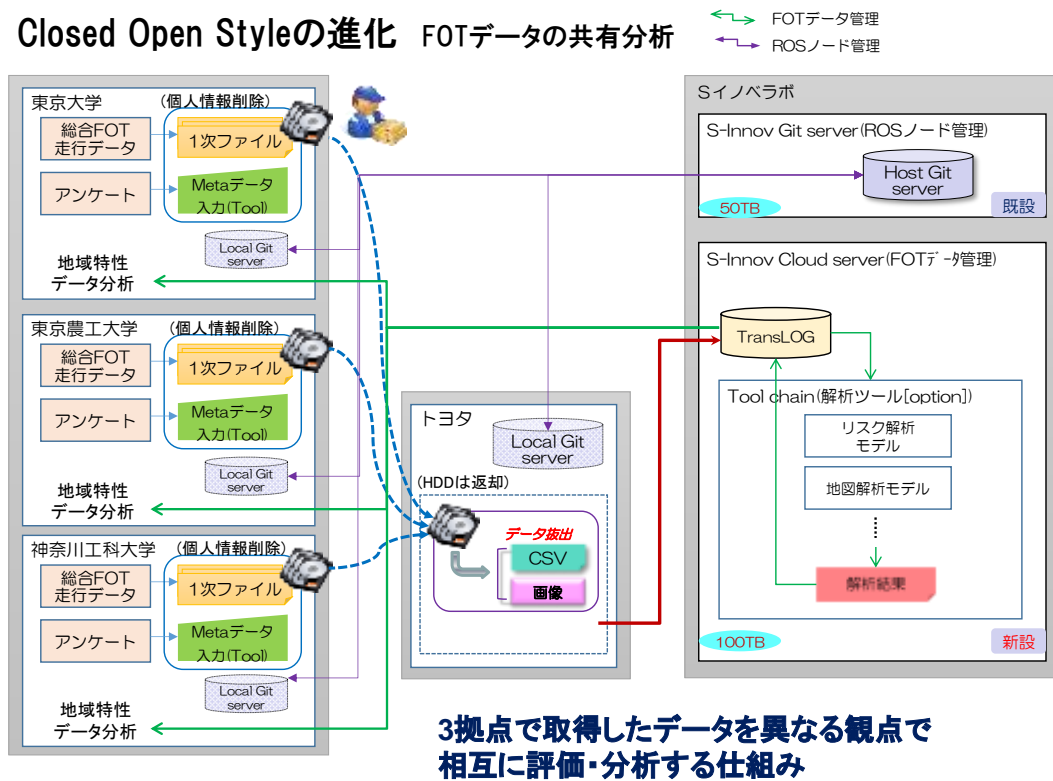
図⑭-5 神奈川工科大学 FOT コース

(3) FOT 実施、評価指標の精査

本課題ではステージⅢの総合 FOT 実施の3 拠点で取得したデータを異なる観点で相互に評価・分析する仕組みを構築した。(図⑭-6) FOT 開始を円滑なものとするともに、FOT データを集約する枠組みと共に、本研究が考える Cyber Physical System を進化させた。

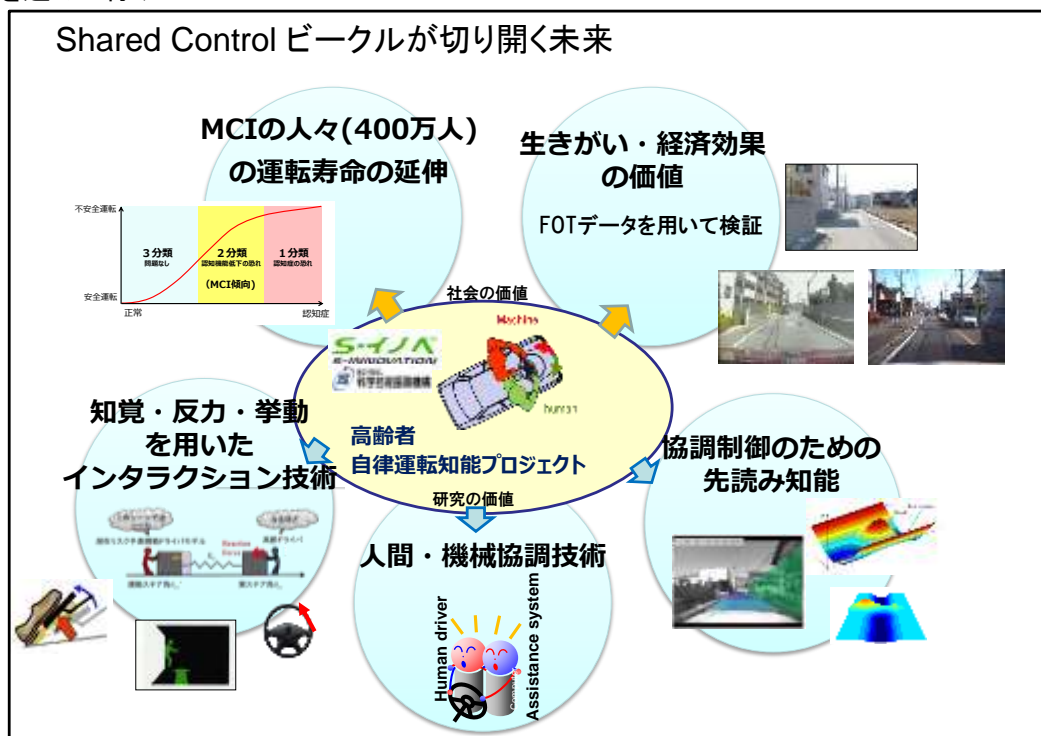
また、これまで Pilot-FOT で確認してきた実験車・システムといった構成を踏襲するのみならず加えて、被験者へのアンケート項目の統一化、被験者の対象条件、実験シナリオ、実験順序、支援条件、評価手順といった実験データのフォーマットを共通化させることで、拠点間で異なる評価観点でも、それぞれの拠点で取得された実験データが有効に活用できるようトヨタ自動車主導のもと、参加各研究機関と調整、共通実験プロトコルとして準備した。

## Closed Open Styleの進化 FOTデータの共有分析



図⑭-6 FOT データ共有分析の仕組み

共通実験プロトコルに基づき、収集したデータは各大学が評価の目的に沿って相互に活用分析を行なうとともに Shared Control ビークルの発展展開の製品開発化に向け(図⑭-7)、リファレンスデータとして応用が可能なよう、整備を進めて行く

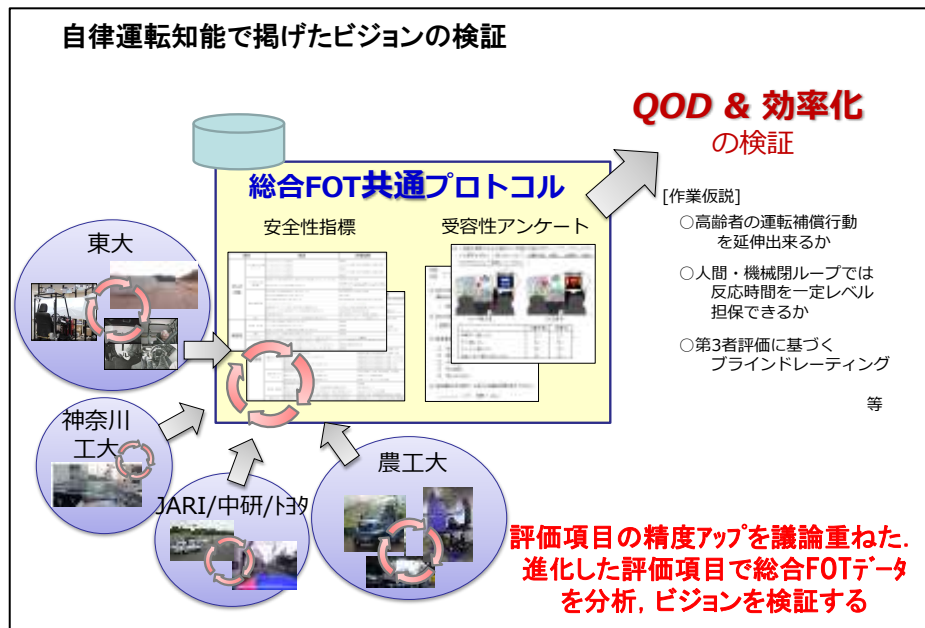


図⑭-7 総合 FOT データの応用展開のイメージ

(共通実験プロトコルの準備)

総合 FOT の位置づけは、3 拠点での高齢者地域特性実験と、共通な評価方法でのデータ蓄積および活用であった。この目的を実現するために、総合 FOT のための共通プロトコルの整備をおこなった。これまでの Pre-FOT および Pilot-FOT は、機関ごとの役割に応じた、別々の実験プロトコルで実施してきた。そこでまず、Pre-FOT および Pilot-FOT で得られた知見を総点検する作業をおこない、これまでに得られた知見を再整理した。プロジェクトメンバ全員参加型で熱い議論を重ね、総合 FOT に最適な評価方法を擦り合わせていった。これらの議論の結果、総合 FOT のための安全性指標と受容性アンケートの評価項目が仕上がり、これらを共通プロトコルとして採択した。なお、この共通プロトコルには、自律運転知能で掲げたビジョンの一つである「QOD&効率化」検証のための作業仮説分析できるように、準備工夫されている。(図⑭-8)

実験順序による実験データの偏りにも十分に注意を施した。実験前教示や練習タイミングなども3拠点で共通化し(図⑭-9)、さらに、高齢者の主観鮮度が落ちないようにアンケートを取得するタイミングなども工夫した(表⑭-1)。これらの準備より、データの信頼性を向上させる準備を整えた。



図⑭-8 自動運転で掲げたビジョンの検証

タイムチャート			
1日のながれ	開始時刻	所要時間	終了時刻
準備	9:00	15	9:15
1人目	9:15	120	11:15
昼休憩	11:15	60	12:15
2人目	12:15	120	14:15
バツァ	14:15	30	14:45
3人目	14:45	120	16:45
片付け	16:45	15	17:00

1日目	開始時刻	所要時間	終了時刻
同意説明・書類作成	9:15	30	9:45
移動	9:45	1	9:46
車両説明	9:46	5	9:51
マニュアル①	9:51	30	10:21
マニュアル②	10:21	25	10:46
システム説明	10:46	10	10:56
移動	10:56	1	10:57
制御①	10:57	25	11:22
終了	11:22	0	11:22
			2:07

2日目	開始時刻	所要時間	終了時刻
調査内容確認	9:15	5	9:20
TMT	9:20	10	9:30
移動	9:30	1	9:31
乗換・確認	9:31	5	9:36
制御②	9:36	25	10:01
制御③	10:01	25	10:26
車内アンケート①	10:26	10	10:36
マニュアル③	10:36	25	11:01
移動	11:01	1	11:02
終了アンケート②	11:02	15	11:17
			2:02

移動時間・コース走行所要時間で  
タイムチャートの微修正が必要

図⑭-9 共通プロトコルでの実験タイムチャート

表⑭-1 共通実験プロトコルでのアンケート

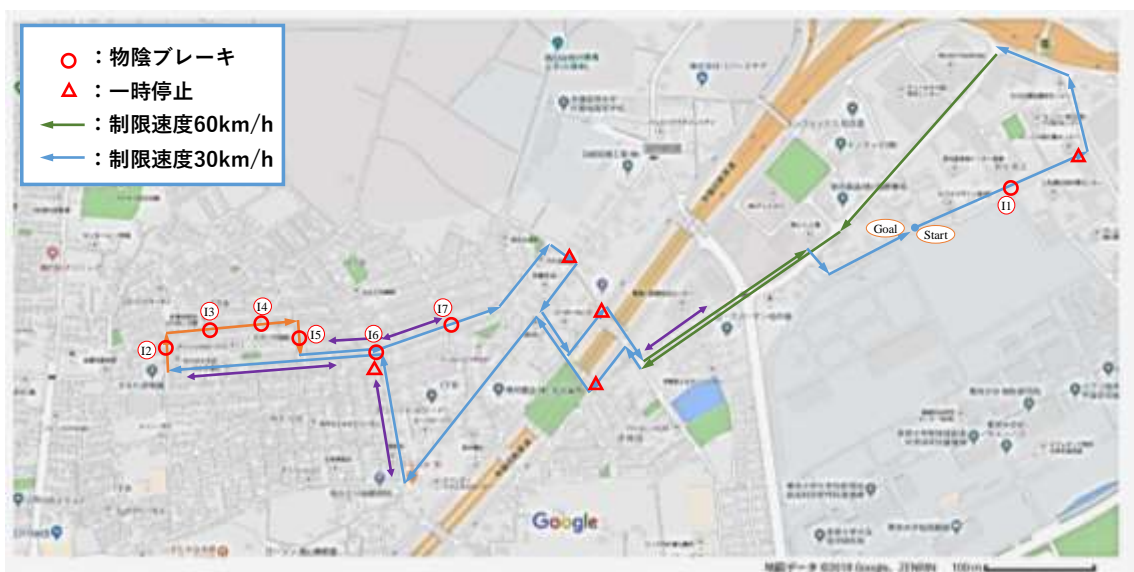
名称	使用場面	備考
事前アンケート	事前	・事前アンケートは被験者のプロフィール・日常での運転スタイルや意識を確認するために実施。
(A・B・C・D)	(事前配布し当日回答済みを持参)	・設問内容は同一だが、設問順序が異なる4タイプのアンケートを準備、これを4タイプが均等数になるよう配布する。(これは設問順序による回答の偏りを防ぎアンケート結果の信頼性を高めるためである)
4タイプあり、回答はいずれかひとつ		・事前に配布回答をお願いするのは回答時間がひとによりバラ付きがあるため、実験進行に影響を与えない為
車内アンケート	2日目 車内	・制御の実感が薄れないうちに時間を空けず走行直後に車内で実施
終了アンケート1	2日目 室内	・実験システムの受容性・安全性をはかる為、Sイノベ実務者MTGで議論された複数の観点から3タイプのアンケートを準備 被験者は3タイプすべてに回答
終了アンケート2		
終了アンケート3		

(FOT 実施, 評価指標の精査)

ステージ III の最終目標である総合 FOT を実施した。S イノベのプロジェクトでこれまでに開発してきたリスク先読みブレーキ制御介入システムの受容性について、高齢者の居住地域の特性を踏まえた様々な交通環境での比較評価を行う事が総合 FOT の目的となる。具体的には、都市型環境である小金井、郊外型住宅地である柏、地方都市である厚木を対象に、同じ評価実験プロトコルで高齢ドライバーの体験評価を行い、三拠点の比較を行う事で地域特性を考慮した受容性評価に取り組んだ。

まず、三拠点での実験を実施するにあたり、6 機関共同で共通実験プロトコルの作成を行った。各拠点でこれまでに実施してきた Pre FOT や Pilot FOT のプロトコルの整理を行い、各研究拠点での分析方針に資する評価実験条件の設定や質問紙の項目の統廃合、そして説明用のスクリプトの共通化等に取り組み、総合 FOT のための共通実験プロトコル案を作成した。その後、柏の葉エリアで東京大学が中心となり、小規模な Pre 総合 FOT を実施し、共通実験プロトコル案の潜在的な問題点の抽出を行い、最終的な共通実験プロトコルを決定した。

次に、7 月より各拠点でそれぞれの総合 FOT を開始した。図 1 に東京大学が実施した総合 FOT のコース図を示す。1 周約 5km のコースとなっており、15 分～20 分でこのコースを走行する事が出来る。総合 FOT の共通実験プロトコルでは一人の参加者に対して二日間にわたって評価実験を実施しており、一日目が制御無し⇒制御無し⇒制御あり、二日目が制御あり⇒制御あり⇒制御無しの走行を行っており、各実験日でそれぞれ 3 試行ずつを体験している。東京大学では 7 月から 9 月末までの三か月間実験を実施しており、最終的に 65 名の有効データを取得した。

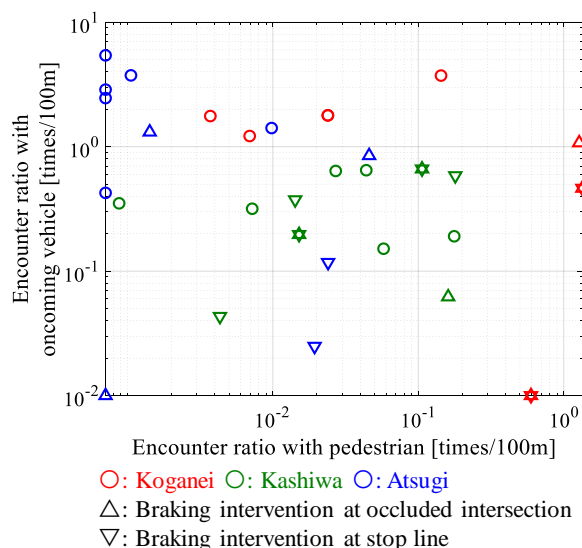


図⑭-11 柏総合 FOT コース図⑭-1

収集したデータはトヨタ自動車を中心となって開発した総合 FOT サーバで匿名化処理を行い、他の二拠点（小金井、厚木）のデータと合わせて分析を行った。東京大学では収集したデータ分析の中で、1. 交通環境の特性分析、2. 評価実験参加者の個人特性分析、3. 質問紙による受容性評価の三点を担当した。この評価を行う上で問題がないデータを総合 FOT サーバよりダウンロードして分析を行っており、小金井地区 67 件、柏地区 65 件、厚木地区 14 件のデータを東京大学で分析した。

交通環境の特性分析については、先読みブレーキが作動する交通環境における周辺交通参加者の共存状態に注目し、自転車と接触可能性のある歩行者との遭遇割合と対向車との遭遇割合を評価した。具体的には、各拠点の映像データを目視で分析し、各 FOT コースをいくつかのセグメントに分割した上で、そのセグメント内での 100m 辺りの遭遇率を算出した。図⑭-12 に晴天時の各コースでの歩行者と対向車との遭遇割合を示す。丸印は制御を行っていない区画を示し、△印は見通しの悪い路地でのブレーキ制御介入を行った区画を示し、▽印は一時停止線でのブレーキ制御介入を行った区画を示す。また、星印は△と▽が重なった記号であり、その区画内で見通しの悪い路地でのブレーキ制御介入と一時停止線でのブレーキ制御介入を行った区画を示す。さらに、赤色の記号は小金井コースの区画を示し、緑色の記号は柏コースの区画を示し、青色の記号は厚木コースの区画を示す。両軸とも対数軸となっているが、数値が 0 となっている区画は対数グラフでは表記する事が出来ない。そこで、便宜上 x 軸と y 軸上の記号は数値が 0 であることを示す事とする。

図⑭-1 に示される様に小金井のコースは「歩行者遭遇割合が高く、対向車遭遇割合が低い区画」と「歩行者遭遇割合が低く、対向車遭遇割合が高い区画」に二分されている。一方で、柏のコースは全体的に歩行者遭遇割合と対向車遭遇割合が中程度となっている。また、厚木のコースは他の二コースと比べると歩行者との遭遇割合がさらに低くなっているが、対向車との遭遇割合にはばらつきがある。この結果は、各コースが存在する都市の性格が表れていると考えられる。すなわち、小金井コースには都市の性格が表れており、歩車共存空間と歩車分離が行われている幹線道路が明確に分かれている。一方で、柏コースは住宅街の性格が表れていると考えられる。さらに、厚木コースは車社会としての地方都市の性格が表れていると考えられる。この様に歩行者や対向車との遭遇割合の観点から整理した結果、総合 FOT を実施した三拠点の道路環境はそれぞれ異なった特徴を有している事が確認できた。



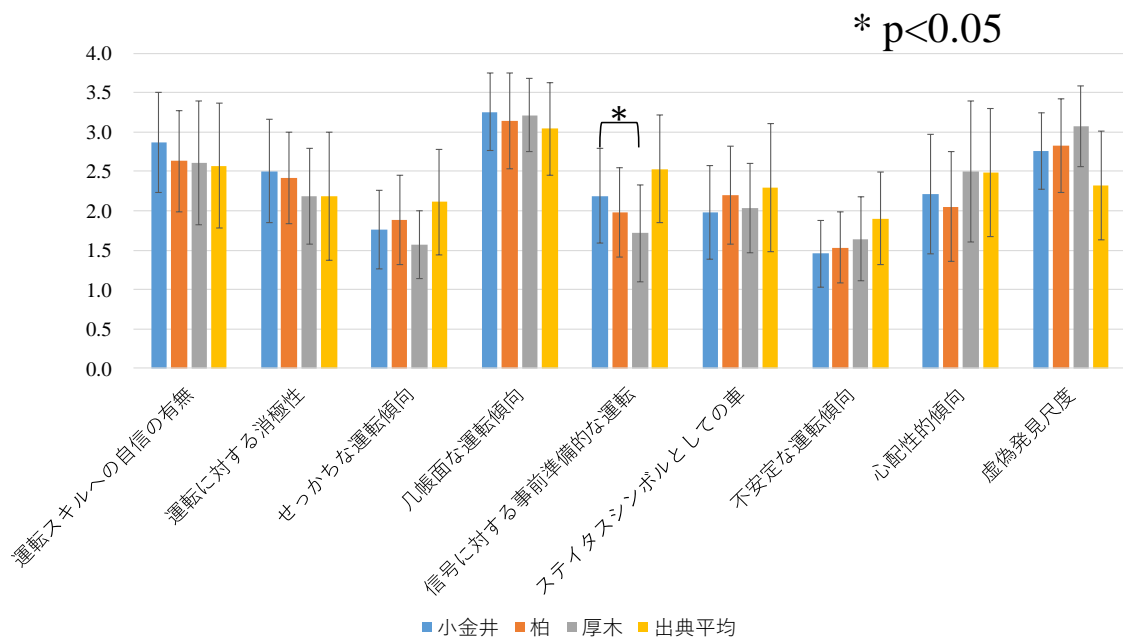
図⑭-12 晴天時の各コースでの歩行者と対向車との遭遇割合

評価実験参加者の個人特性分析については、参加した高齢ドライバーの運転特性の評価を行うために、1. 基礎属性質問紙、2. DSQ (Driving Style Questionnaire) : 運転スタイルチェックシート、3. WSQ (Workload Sensitivity Questionnaire) : 運転負担感受性チェックシート、4. TMT-J (Trail Making Test 日本版) : 認知・知覚特性評価の四種の質問紙を利用した。表⑭-2 に今回分析した参加者の基礎属性を示す。厚木地区の平均年齢だけ少し若くなっているが、70 歳前後の高齢者を中心とした参加者となっている。

表⑭-2 各拠点実験参加者の基礎属性

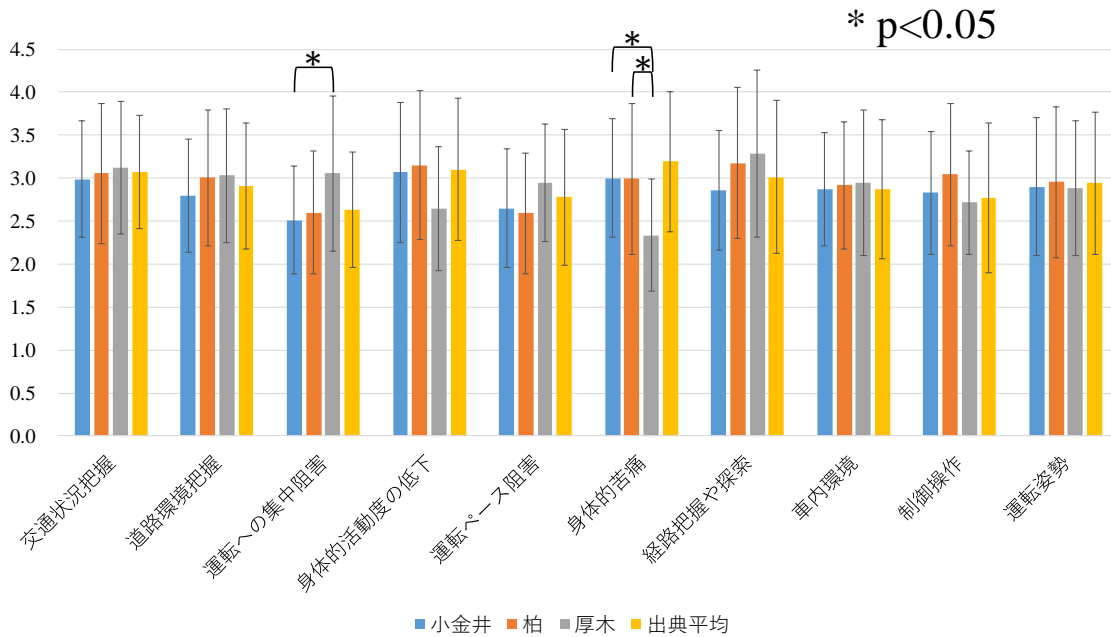
	小金井	柏	厚木
人数	67	65	14
男性	63	49	7
女性	4	16	7
平均年齢	71.3	72.2	68.7
65以上	23	22	10
70代	41	39	4
80代	3	4	0

図⑭-13 に三拠点の DSQ の評価結果と、リファレンスとして出典平均データ(2000年11月～2002年3月に質問紙開発者によって取得された20歳～74歳の約540名のデータ)を示す。三拠点のデータを比較したところ、「信号に対する事前準備的な運転」の項目に関して、小金井-厚木間で有意な差が確認できた。厚木の走行環境は小金井の走行環境と比べると幹線道路を走行する事が多いと考えられるため、今回の評価では「信号に対する事前準備的な運転」の点において差が出たのではないかと考えられる。



図⑭-13 DSQ の評価結果

図⑭-14 に三拠点の WSQ の評価結果と、リファレンスとして出典平均データを示す。三拠点のデータを比較したところ、「運転への集中阻害」に関する負担感受性において小金井-厚木間で有意な差が確認され、「身体的苦痛」に対する負担感受性において小金井-厚木間及び柏-厚木間で有意な差が確認された。前者に関しては、小金井の環境は交通環境分析で示された様に歩車共存環境となる状況が多く、このような環境で普段から運転しているドライバーはこの項目の負担感受性が低くなっており、厚木の場合は逆の事象が発生している事が推測され、このような結果として表れたと考えられる。また後者に関しては、厚木の参加者は他拠点に比べると平均年齢が少し若くなっており、運転頻度も他拠点に比べると多くなっている。これらの点が厚木の「身体的苦痛」に関する負担感受性が低くなった要因の一部であると考えられる。



図⑭-14 WSQ の評価結果

表⑭-3にTMT-Jの評価結果を示す。なお、この数値は各参加者のデータを70歳代の高齢者を基準として評価した際に、どの程度の評価結果であったかを「正常・境界・異常」の三区分で示している。三拠点ともに各区分の構成割合の数値に多少の差はあるものの、全体としての割合は同程度となっている。各データを対応のないノンパラメトリックの三群の順序尺度のデータと見なし、Kruskal-Wallis法で検定をかけたところ、 $p = 0.7582$ となり、5%水準での有意な差は確認されなかった。そのため、TMT-Jの評価結果に関しては三拠点での総合FOTの参加者間において有意な差が確認できるほどの差はなかったと判断する。

表⑭-3 TMT-J 評価結果

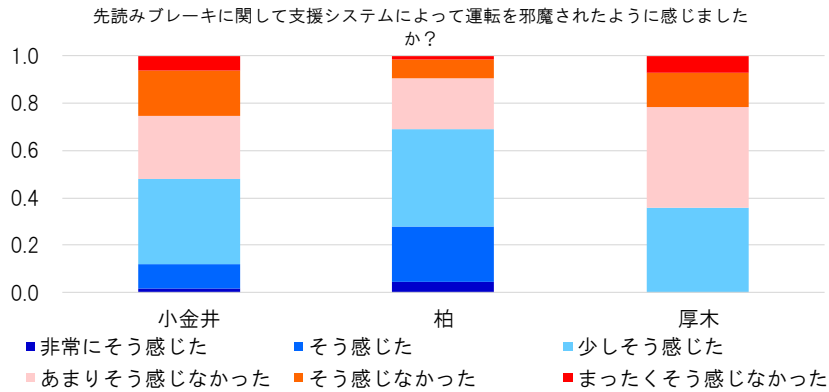
		小金井	柏の葉	厚木
全体	正常	80.6%	75.4%	78.6%
	境界	7.5%	9.2%	14.3%
	異常	11.9%	15.4%	7.1%

上記の様に、各拠点での総合FOTに参加した高齢ドライバーは各質問紙での評価から多少の違いは確認されたものの、大部分の特性においては同程度の特性を有している事が確認できた。

質問紙による受容性評価については、過去のPre FOTやPilot FOTの質問紙評価を継承する形で調査・分析を行った。具体的には、システムに対する受容メカニズムを、直感的受容、理性的受容、内省的受容の三種類に整理し、これらの要素を評価する質問と、これらを踏まえた総合的な受容性としてシステムの導入意欲を評価する質問を実施した。本報告書ではそれらの中から代表的な結果について記載する。

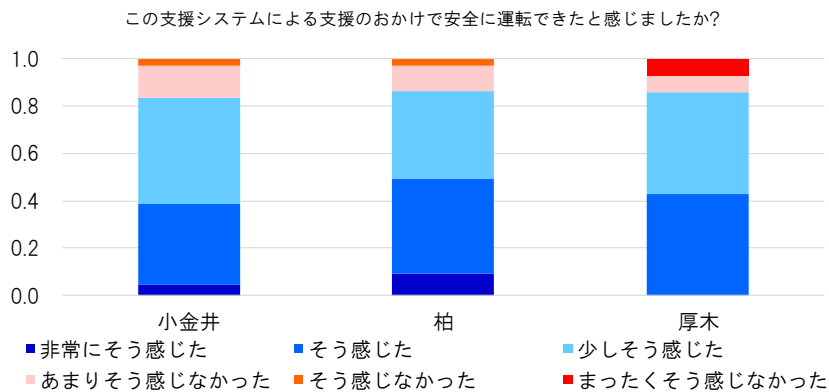
図⑭-15に受容性の直感的な要素の一側面として評価した「先読みブレーキによる運転への阻害感」に関する評価結果を示す。各拠点での評価結果をKruskal-Wallis法で検定をかけたところ、5%水準で有意な差が確認された。そのため、Steel-Dwass法で多重比較を実施したところ、柏-厚木間と柏-小金井間で有意な差が確認された。この結果の解釈として、システムによる制御介入の実施回数が要因の一つと考えられる。小金井では先読みブレーキが4回、柏では先読みブレーキが7回、厚木では先読みブレーキが4回となっており、柏は他拠点に比べて制御介入の実施回数が多くなっている。そのため、運転の阻害感に関する評価に影響が表れたのではないかと考えられる。全体的な評価の傾向として、柏では少し否定寄りの評価が多いが、小金井では評価がおおよそ半々、厚木では肯定寄りの意見が多くなっている事が確認できる。





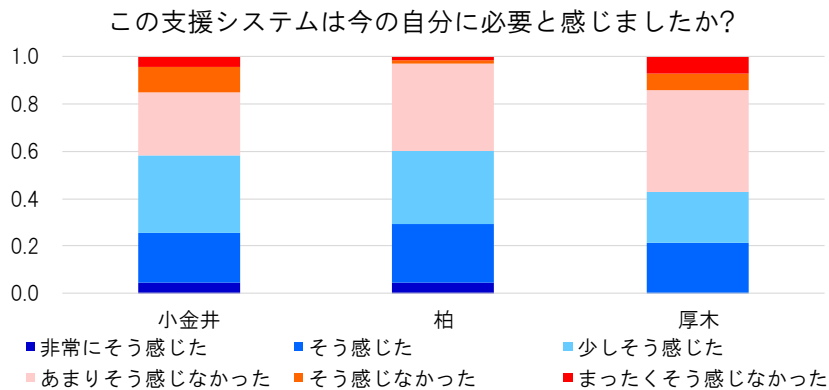
図⑭-15 先読みブレーキによる運転への阻害感の評価

図⑭-16 に受容性の理性的な要素の一側面として評価した「安全運転の実感」に関する評価結果を示す。各拠点での評価結果を Kruskal-Wallis 法で検定をかけたところ、5%水準での有意な差は確認されなかった。そのため、評価結果に多少の差はあるものの、各拠点での評価において有意な差が確認できるほどの差はなかったと判断する。全体的な傾向としては過半数が肯定側の評価となっており、先読みブレーキシステムによって高齢ドライバーが安全に運転出来たと実感している事が確認できる。

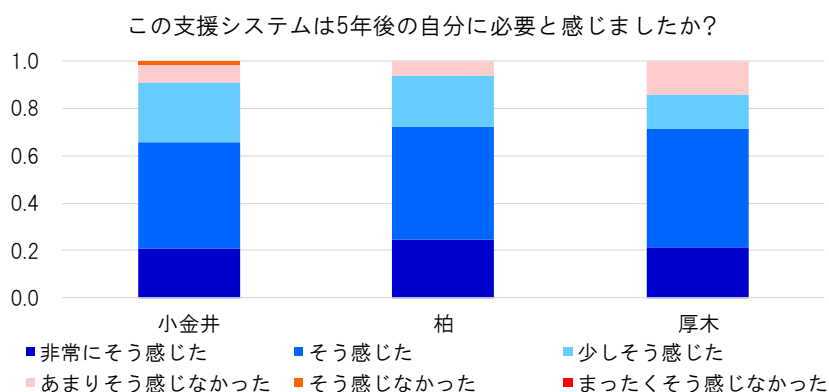


図⑭-16 安全運転の実感の評価結果

図⑭-17 に受容性の内省的な要素の一側面として評価した「今の自分への必要性」に関する評価結果、図⑭-18 に「5年後の自分への必要性」に関する評価結果を示す。各拠点での評価結果を Kruskal-Wallis 法で検定をかけたところ、5%水準での有意な差は確認されなかった。そのため、評価結果に多少の差はあるものの、各拠点での評価において有意な差が確認できるほどの差はなかったと判断する。また、両評価結果の比較から、「今の自分」と「5年後の自分」への必要性の認識に違いが表れている事が分かり、将来の加齢に伴う運転能力の低下を補償するために、先読みブレーキを必要としている事が推察される。

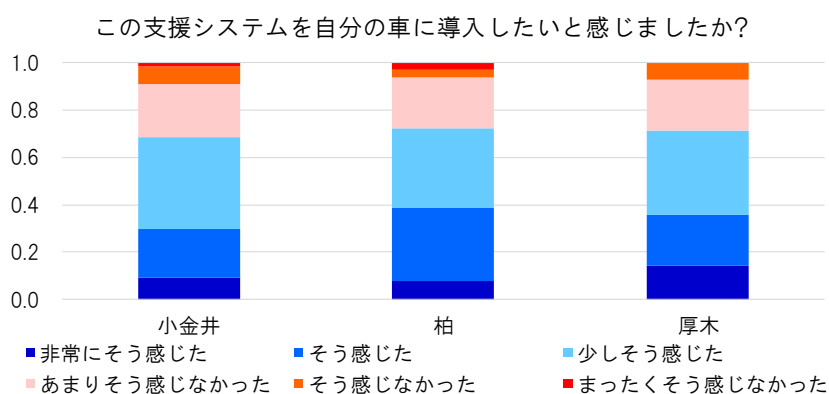


図⑭-17 今の自分への必要性の評価結果



図⑭-18 5年後の自分への必要性の評価結果

図⑭-19 に総合的な受容性として評価した「導入意欲」に関する評価結果を示す。各拠点での評価結果を Kruskal-Wallis 法で検定をかけたところ、5%水準での有意な差は確認されなかった。そのため、評価結果に多少の差はあるものの、各拠点での評価において有意な差が確認できるほどの差はなかったと判断する。全体的な傾向としては、過半数が肯定側の評価となっている。



図⑭-19 導入意欲の評価結果

一連の評価結果を整理すると、S イノベで開発したリスク先読みブレーキ制御介入システムは、直感的には多少煩わしい部分もあるものの、理性的にはその効用が評価され、総合的にはそのシステムを自分の車に導入したいと評価されている事が確認できた。この結果は過去の Pre FOT や Pilot FOT の結果とも整合性があり、今回の総合 FOT の評価を通じて、ある程度の地域差があったとしても同様に評価される事が確認できた。

## (総合 FOT の安全性評価分析)

課題では、提案した先読み運転知能システムによる走行安全性向上の観点から、事故およびヒヤリハットの発生頻度への低減効果を検証するために、かもしれないブレーキ支援機能および操舵のシェアード・コントロールシステムを評価する。平成31年度(令和元年度)は、平成30年度に引き続き、東京都小金井市周辺のリーンマップを拡張整備し、公道実証実験(FOT)車両を用いた高齢運転者実験を通じて、システムの機能検証を実施した。具体的には、一時停止交差点、見通しの悪い無信号交差点・駐車車両回避における規範経路・規範速度追従性の効果評価を実施し、人間機械協調系としての高齢者・支援システム間の相互作用解析および安全性評価のデータ蓄積のさらなる推進を行った。

上記の課題に対して、平成31年度(令和元年度)の目的は、公道実証実験(FOT)を実施した。東京都小金井市周辺のリーンマップを拡張整備し、東京都小金井市一般公道において公道実証実験(FOT)車両を用いた高齢運転者実験を実施し、システムの機能検証、ならびに安全性評価を実施した。さらに、厚木市一般公道ならびに柏市一般公道で得られた FOT データを比較し、安全性の観点のもとでの3拠点比較を実施した。

具体的な実施内容は、以下である。

### 1. 高齢者・支援システム間の相互作用解析のデータ蓄積の推進

公道実証実験(FOT)で使用した FOT 実験車両には、主に、2つの運転支援機能を備えた：

- 1) 数秒先の運転状況を先読みし、自律的に適正速度に減速する先読みブレーキ支援制御
- 2) 一時停止規制あり交差点における減速・停止を実現するブレーキ支援制御

はじめに、先読みブレーキの機能を述べる。システムは、死角を含む交差点への接近を認識するとき、HUD を用いた情報共有を図るとともに、歩行者が飛び出したとしても既存の衝突回避ブレーキが十分に対応できるように、適正速度に緩やかに減速するブレーキ制御を実行し、運転者が車両安全の確保に主体的に関与できる機会を与える。もし歩行者の出現が起らなかったのであれば、その適正速度の条件を満たしつつ死角を含む交差点を通過する。もし歩行者が現実には飛び出した、かつ衝突可能性が極めて高いのであれば、システムが人に代わって衝突回避を図るブレーキを実行する。これによって、万が一に備えた高齢者・支援システム間の協調が可能である。

つぎに、一時停止規制あり交差点における減速・停止を実現するブレーキ支援制御の機能を述べる。システムは、一時停止規制交差点への接近を認識するとき、HUD を用いた情報共有を図るとともに、熟練運転者の行為選択・行為実行を模擬した「緩やかに減速するブレーキ制御」を実行し、車両を停止線で停止させる。この機能によって、一時停止線不停止のヒューマンエラーを防止できる。

平成31年度(令和元年度)では、上記の機能を備えた自律運転知能システムが実装された FOT 実験車両を用いて、小金井市の一般公道でのデータ収集(小金井地区のデータ収集期間：2019年7月1日から2019年9月20日)を推進した。データの収集は、2019年度東京農工大学研究倫理委員会からの承認(承認番号：31-10)を得たうえで小金井市における道路交通法が適用される道路で実施した。本データ収集で使用した公道実証実験(FOT)車両は、ステージ II にて開発してきた 1)リーンマップに基づく自己位置推定技術等を含むセンシング機能、2)運転指導員の操作を模擬・誘導できる規範ドライバモデル・リスク予測技術、また 3)規範速度に減速する制御介入・人間機械協調技術を備えた開発車両である(図⑭-21 参照のこと)。

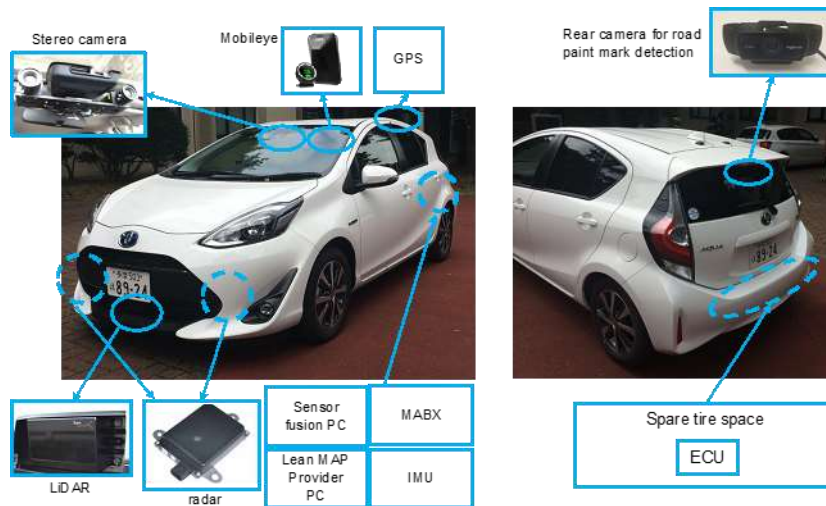


図14-21 公道実証実験(FOT)車両

データ収集を目的とした実験のデザインは、被験者内実験計画である。

- Trial 1 運転支援機能を使用しない通常走行(コース習熟)
- Trial 2 運転支援機能を使用しない通常走行(評価データの計測)
- Trial 3 HUD・先読みブレーキの両機能を使用した走行(システム習熟)
- Trial 4 HUD・先読みブレーキの両機能を使用した走行(システム習熟)
- Trial 5 HUD・先読みブレーキの両機能を使用した走行(評価データの計測)
- Trial 6 運転支援機能を使用しない通常走行(評価データの計測)

本実験では、計 67 名の参加者(65 歳上の高齢者)が実験に参加した。なお、注意機能を測る Trail-Making Test A/B を実施した。

実験は、目的、意義、方法、個人情報保護、安全管理での配慮などを説明し、インフォームドコンセントを得たうえで運転走行に移った。実験車両の運転は、実験車両について熟知した東京農工大学の研究実施者、また実車実験を安全・円滑に運行する等の経験を有する共同研究の関連機関からの派遣者(安全監督者)が同乗したうえで実施した。運転走行の手順は、図14-22 に示す通りである。

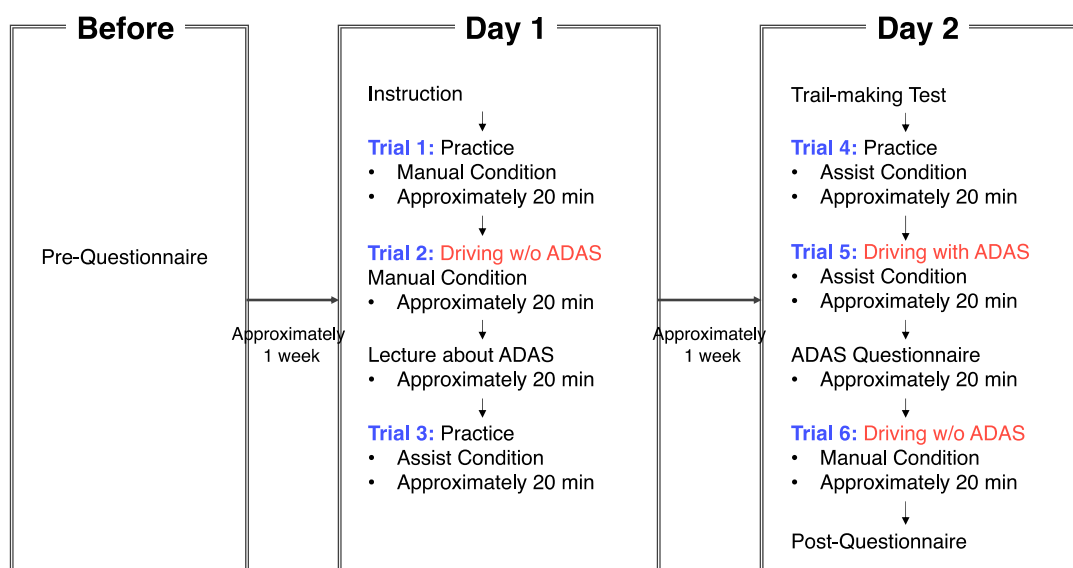
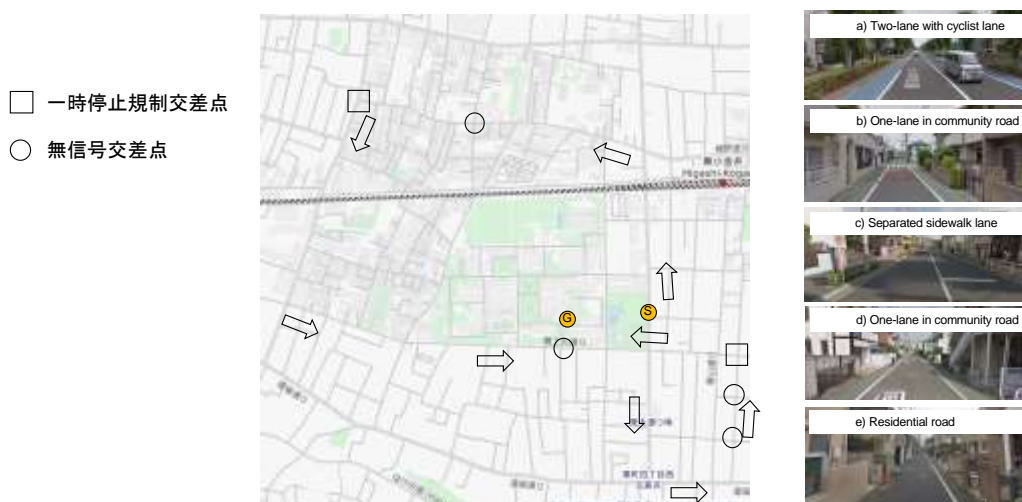


図14-22 実験実施の手順

全参加者は、実験日の約1週間前に、事前アンケートに回答したうえで、2日間に渡る実験に参加した。走行コースは、図⑭-23 に示し、東京都小金井市周辺のリーンマップを拡張整備したものである。

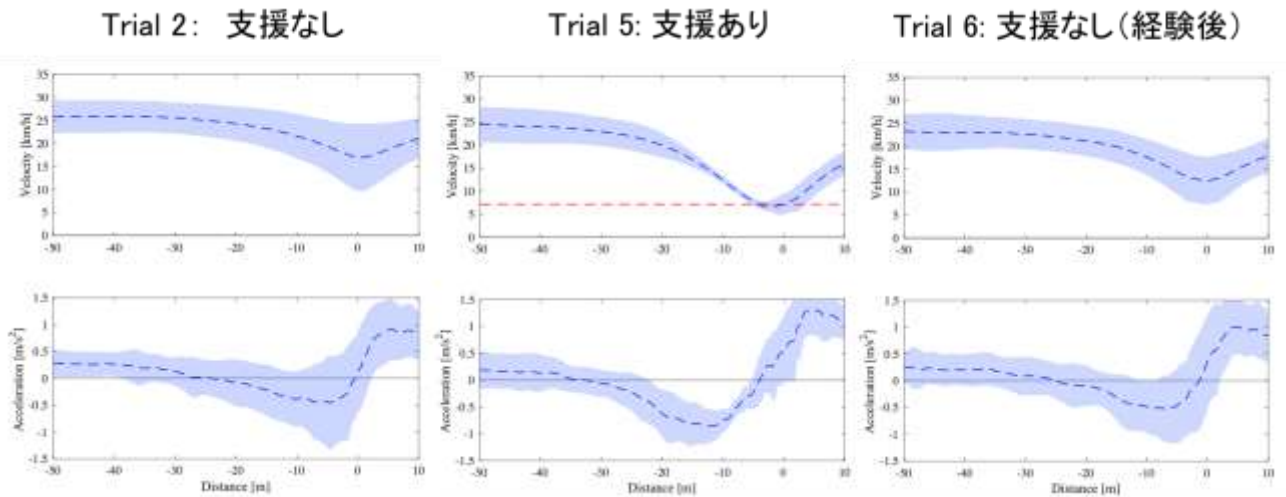


図⑭-23 走行コースの概要

評価項目を述べる。S イノベシステムに基づく運転者・機械一体化で熟練運転者並みの制御成績を確保したいという狙いのもと、つぎの項目を設定した。

- 危険回避性能として事故低減率の評価  
仮説： 運転者・機械一体化によって、既存の AEB によって衝突回避可能である。
- 制御介入時における高齢ドライバーと機械ドライバーモデルの界面（インタフェース）の評価  
仮説： 制御介入時において、人間運転から機械運転への円滑な移行が可能である。あるいは、円滑な移行ができなくとも、危険な車両挙動の誘発はない。
- オーバーライド機能評価  
仮説： 制御介入時において、ドライバー自らがブレーキ操作を実行したいならば、オーバーライド可能であり、機械運転から人間運転への円滑な移行が可能である。
- ドライバ受容性評価  
仮説： 高齢者は、状況に応じて機械が顔を出す自律運転知能システムの機能とその効果を受容できる。

本実験で得られた結果の一部を記載する。図⑭-24 は、小金井地区で得られた車両挙動の時系列データである。横軸の 0 は、評価対象の交差点における死角消失位置（交差点入り口に相当する）を示し、縦軸は、走行速度を意味する。青の破線は、得られた速度データの平均値を示し、青色の網掛けは、標準偏差を示す。支援条件において、赤軸の線は、この交差点での適正速度（熟練ドライバーモデルが算出した規範速度）を意味する。支援なし、支援あり、また支援なし（運転支援経験後）の比較結果（図⑭-24）からわかるように、自律運転知能システムの減速制御の実行によって、適正速度に減速できていることを確認できる。また運転支援の経験後、参加者は、再び、支援なしで運転走行を実施したが（Trial 6）、支援なし（Trial 2）の条件で得られた結果と同様であった。

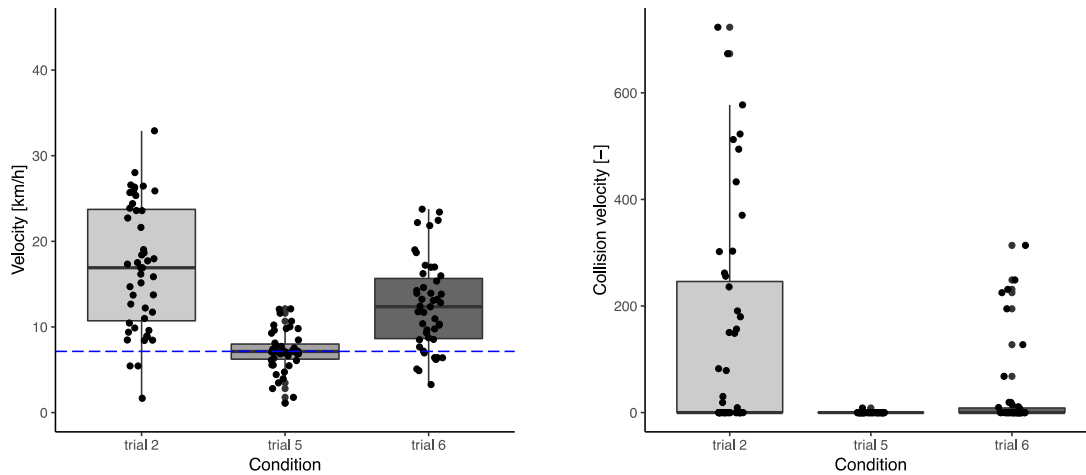


図⑭-4 車両挙動の比較(破線:全データの平均値、青の帯:標準偏差)

本研究課題で開発した自律運転知能システムの特徴の一つは、潜在的にリスクが高まりつつある状況を予測したとき、システムが高齢者の運転に介入する、すなわち潜在リスクを低減させるブレーキ制御を実行することにある。したがって、制御介入時において、人間運転から機械運転への円滑な移行が期待される。表⑭-5 は、制御介入を実行した支援ありの条件のもとでのドライバのペダル操作に関する調査を実施した。ここで、本調査においては、67 名の実験参加者うち、47 名のデータを分析対象とした。表⑭-4 からわかるように、先読み減速支援が実行されたとき、47 名の参加者のうち、すべての参加者がアクセルペダルから足を離れたことが確認された。さらに、制御介入の開始前に、アクセル開度をゼロにした割合は、0.87 であった。制御介入が実行されるまえに、システムは、HUDを用いて情報共有を図るが、これによって、参加者は、先読み減速支援の実行を理解できたことを意味する。また6割の参加者は、システムによる先読み減速支援の実行の後に、自らブレーキ制御を実行していることを確認した。これらの結果は、制御介入時において、人間運転から機械運転への円滑な移行ができたことのエビデンスの一つである。

表⑭-4 ドライバのペダル操作に関する調査

	人数	割合
■ HUD/先読み減速支援のもとで、アクセルから足を離れた	47	47/47 = 1
制御介入の開始前に、アクセル開度をゼロにした	41	41/47 = 0.87
制御介入の開始前に、アクセルペダルから足を離れた	33	33/47 = 0.70
■ HUD/先読み減速支援のもとで、ブレーキ操作を実行した	28	28/47 = 0.60
制御介入の開始前に、ブレーキペダルに足を構えた	19	19/28 = 0.68
制御介入の開始前に、ブレーキ操作を実行した	12	12/28 = 0.43



図⑭-25 比較対象となる3走行分の安全性評価の比較  
(左図： 死角消失点での速度、右図： 衝突速度の積算値)

図⑭-25 の左図は、車両が死角消失点に到達したときの車両速度を示す。ここで、青の破線は、熟練ドライバーモデルが算出した適正速度である。散布点は、各参加者のデータを意味し、その散布点のボックスプロットが示される(最大値、75%値、中央値、25%値、最小値)。この結果からも、適正速度に減速させる制御能力が十分であったことがわかる。右図は、衝突速度の積算値を意味する。衝突速度は、指定の位置・速度のもとで仮想歩行者の飛び出しを発生させ、それに対するドライバーの回避行動のパフォーマンス(反応時間、平均減速度)を仮定することによって、潜在的な危険度を算出することができる。すなわち、衝突速度の積算値が高いほど、潜在危険度が高いことを意味する。この結果から確認できるように、支援条件においては、衝突速度の積算値はゼロである。このことは、本課題で開発した自律運転知能システムによって、高齢ドライバーの運転行動を補うことが可能であり、潜在危険度の低減に効果的であることを示す。

## 2. 安全性評価の観点のもとでの3拠点比較

3拠点(柏市、小金井市、厚木市)において、自律運転知能システムの機能(共通 PF)を備える FOT 車両を用いて、総合 FOT を実施した。農工大での総合 FOT の主目的は、3拠点の FOT から得られたデータを用いて、「自律運転知能システムが、車両挙動ならびにドライバー行動に与える効果」を定量的に分析し、安全性向上のうえでのシステムの有効性を検証することである。

比較項目は、表2に示される。

表⑭-5 3拠点比較の評価項目(安全性)

無信号交差点	一時停止規制あり交差点
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 死角消失点での速度</li> <li>• 最低速度</li> <li>• 最低速度の位置</li> <li>• 交差点接近時の最大減速度</li> <li>• 交差点接近時の最大ジャーク</li> <li>• 交差点通過時の最大加速度</li> <li>• 交差点通過時の最大ジャーク</li> <li>• アクセルオフする割合</li> <li>• アクセルオフする位置</li> <li>• ブレーキ操作する割合</li> <li>• ブレーキ操作を開始する位置</li> <li>• 最大衝突速度</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 死角消失点での速度</li> <li>• 最低速度</li> <li>• 最低速度の位置</li> <li>• 交差点接近時の最大減速度</li> <li>• 交差点接近時の最大ジャーク</li> <li>• 交差点通過時の最大加速度</li> <li>• 交差点通過時の最大ジャーク</li> <li>• アクセルオフする割合</li> <li>• アクセルオフする位置</li> <li>• ブレーキ操作する割合</li> <li>• ブレーキ操作を開始する位置</li> <li>• 復帰動作(アクセル/ブレーキ)</li> <li>• 最大衝突速度</li> </ul>

表⑭-6 死角消失点での速度の比較結果

区 画	制御有無	中央線	歩行帯	歩行帯種類	歩行者遭遇 割合 (人/100m)	対向車遭遇 割合 (台/100m)	交差点	規範速度	Trial 2	Trial 5	Trial 6	
柏	1	見一	有	有	白線/ガード	$1.5 \times 10^{-2}$	$2.0 \times 10^{-1}$	①	23.68	28.85 (8.19)	15.09 (6.15)	22.18 (9.17)
	7	見	なし	なし		$1.6 \times 10^{-1}$	$6.2 \times 10^{-2}$	④	4.68	7.97 (3.87)	6.56 (3.37)	7.27 (4.92)
	8	見一	なし	有	白線/ガード	$1.1 \times 10^{-1}$	$6.6 \times 10^{-1}$	⑥	22.88	21.39 (8.51)	12.79 (5.53)	17.77 (8.10)
小	2	見一	なし	有	白線	$1.3 \times 10^0$	$4.6 \times 10^{-1}$	①	7.15	17.05 (7.33)	7.17 (2.38)	12.56 (5.19)
	7	見一	なし	なし		$6.0 \times 10^{-1}$	一方通行	③	5.91	13.04 (5.17)	6.82 (3.98)	9.24 (5.35)
厚	2	見	有	有	ガード/縁石	$1.4 \times 10^{-3}$	$1.3 \times 10^0$	①	18.17	34.92 (3.97)	19.26 (2.39)	30.18 (4.43)
	2	見	有	有	ガード/縁石	$1.4 \times 10^{-3}$	$1.3 \times 10^0$	②	18.17	36.78 (4.22)	20.40 (2.28)	32.7 (4.73)

報告書では、無信号交差点を対象に、死角消失点での速度の比較結果を示す。表⑭-5における第一列目は、各拠点(柏、小金井、厚木)を示す。各々コースに設定された区間、その箇所における中央線の有無、歩行帯の有無、歩行帯種類、歩行者遭遇割合、対向車走行割合を示す、歩行者遭遇割合、また対向車走行割合については、データ計測後において記録映像を確認しながら算出した。これによって、3拠点における地域差(静的な走行環境の文脈、動的な走行環境の文脈)を可視化できる。ここでは、支援なし(Trial 2)、支援あり(Trial 5)、また支援なし(Trial 6)を比較し、死角消失点での速度の平均値ならびに標準偏差を示す。ここからわかるように、支援を実施した Trial 5 における死角消失点での走行速度は、適正速度付近に達していることがわかる。

FOT で使用したコースは、3拠点において異なる走行環境の静的因子(中央線の有無、歩行帯の有無、歩行帯の種類)ならびに動的因子(歩行者遭遇割合、対向車遭遇割合)を有する。主な得られた結果は、「潜在危険場面で操作介入を実行する自律運転知能システムの機能によって、規範行動に追従させることが可能である」ことを定量的に示せたこと、さらに、3拠点における異なる走行環境の静的因子ならびに動的因子のもとでも、同様に、安全性向上の効果を期待できることを確認できたことである。本研究の意義は、特定の場所に限定せず、多交差点において、安全性向上のうえでのシステムの有効性を定量的に示すことができたことにある。



## ⑮さらなる高度化への研究開発

(研究機関:東京農工大学・東京大学・トヨタ自動車・豊田中央研究所・  
神奈川工科大学・日本自動車研究所)【達成度 100%】

ステージⅢでは、ステージⅡで実装した自律運転知能システムのプロトタイプ車両を用いた公道実証実験(FO T)を行い、公道や高齢ドライバー特有の課題を整理しながら、同時に更なる改良を加える高度化研究を推進した。特に先読み運転知能の格となる潜在リスク予測については、重要技術として研究を深化させた。また自動運転の技術進歩(センサ性能やフュージョンアルゴリズムの高度化)とリンクしていく自車位置推定についても、本プロジェクトオリジナルのアプローチで、研究を進めた。熟練ドライバーモデルの緻密化成果にも触れながら、以下にその成果を纏める。

### (1) 公道評価を通じての実用化に向けた技術開発の推進

#### (i) ヒヤリハットクラウド

本プロジェクトで開発中の自律運転知能システムの特徴の一つは、物理制約に基づく安全通過速度の算出と、ヒヤリハットクラウド等を用いた統計データに基づくリスク予測制御部の兼備構成である。一考案例を図⑮-1-1に示す。例えば、東京農工大学が有する11万件のヒヤリハットデータベースや、様々な研究機関が構築している運転行動データベース等の活用は、リスク予測制御部への活用として重要なデータベースと考えられる。これらデータベースを、本プロジェクトで注目する見通しの悪い交差点や駐車車両からの急な歩行者飛び出しなどのシーンに対して解析を行うと、各シーンの危険度に寄与する要因(因子)が統計的に抽出することが出来る。これらの因子に基づく危険度推定アルゴリズムを構築し、車両側に実装すれば、自律運転知能システムの特徴の一つとして提案している構造を実現することが出来ると考えられる。

先行研究として、東京農工大にて実施した、無信号交差点における歩行者事故防止のための危険予測運転ドライバーモデルに関する研究がある。この研究では、自動車教習所の運転指導員3名に、市街地走行データ取得を依頼し、無信号交差点での減速パターンのデータ取得と、別途、映像検証に基づくヒアリング調査結果をおこない、減速要因となる説明変数を決定している。また、説明変数を用いた重回帰モデルを用いて、減速モデルを構築している。具体的には、図⑮-1-2に示すように、交差点の形状、横断歩道有無、道路幅などを、危険度に寄与する説明変数(すなわち、因子)として挙げ、また各因子に応じた減速量を求めている。この先行研究を例として、本プロジェクトで実現したいシステムを説明すれば、データ取得およびヒアリング調査結果は、データベースに一致する。そして、説明変数は、そのシーンの危険度推定に関わる要因(因子)と理解することができる。因子ごとの減速量からは、そのシーンに必要な総和の減速量を算出することが出来ることから、ある基準を用いてその減速量3分割することで、そのシーンにおける危険度を高・中・低を推定することができる。すなわち、統計データに基づくリスク予測制御部は、より具体的には、例えば図⑮-1-3のように表現することができる。

ここで、データベースからリスク予測制御部までの構造設計は非常に重要である。このフレームワークを適切に設計することが出来れば、本プロジェクトで実証したいと考えている(ii)のCyber-Physicalシステムの実証に大きく近づくことが出来る。

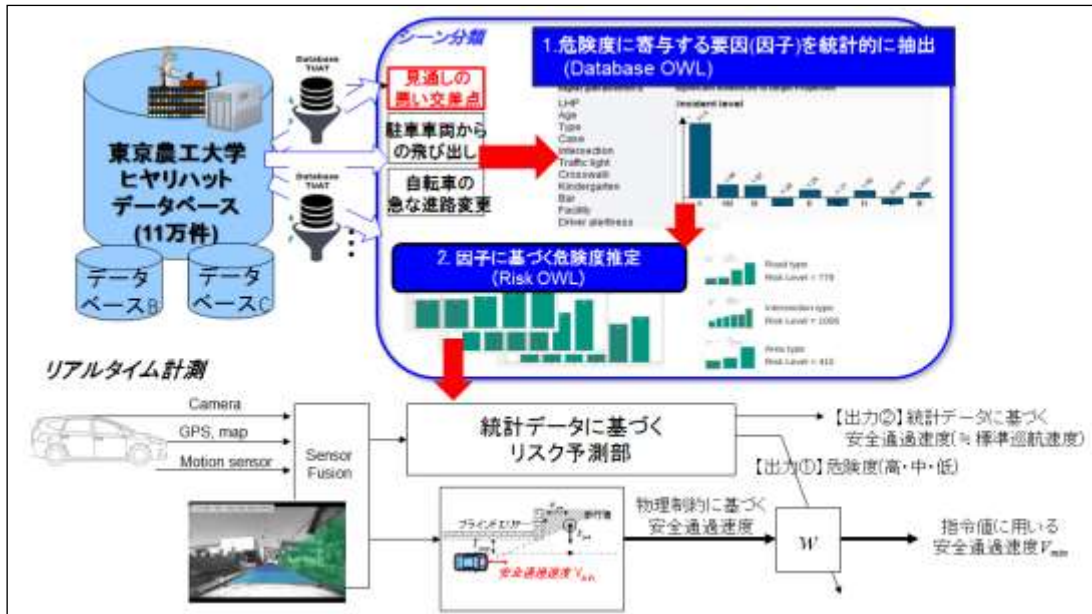


図15-1-1: データベースに基づくリスク予測制御部の構築

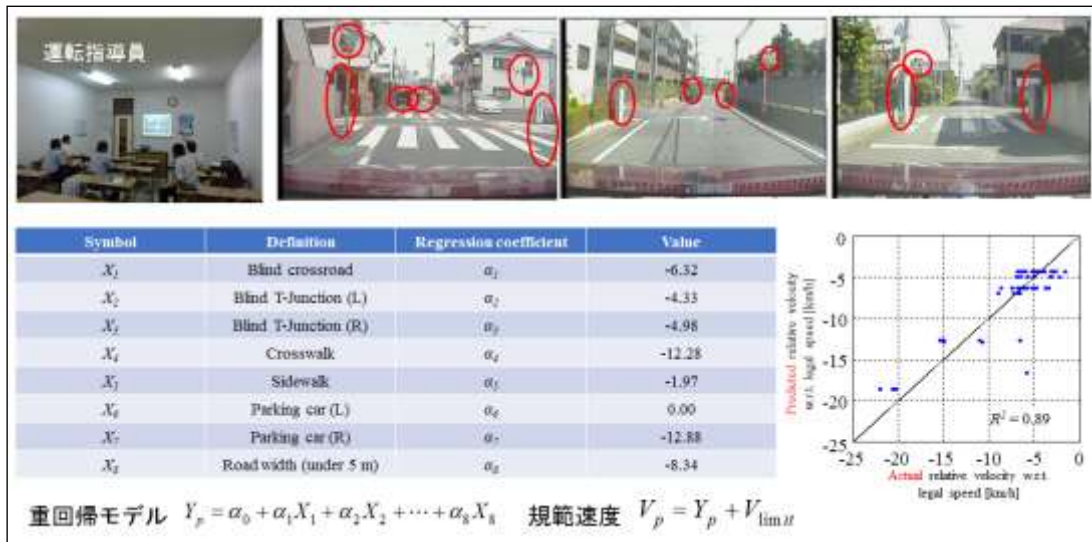


図15-1-2: 先行研究例(ハザード知覚テストを用いた交差点に進入する際の減速要因の調査)

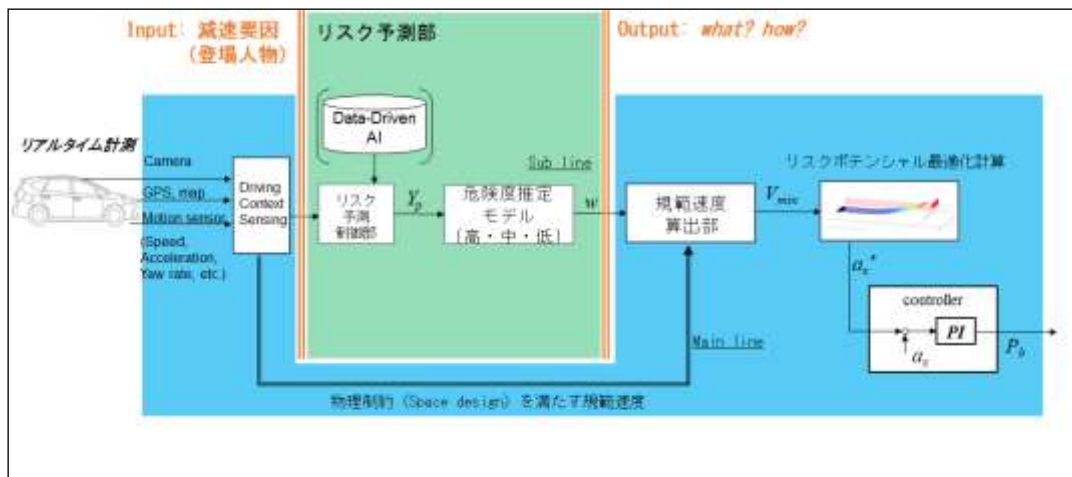
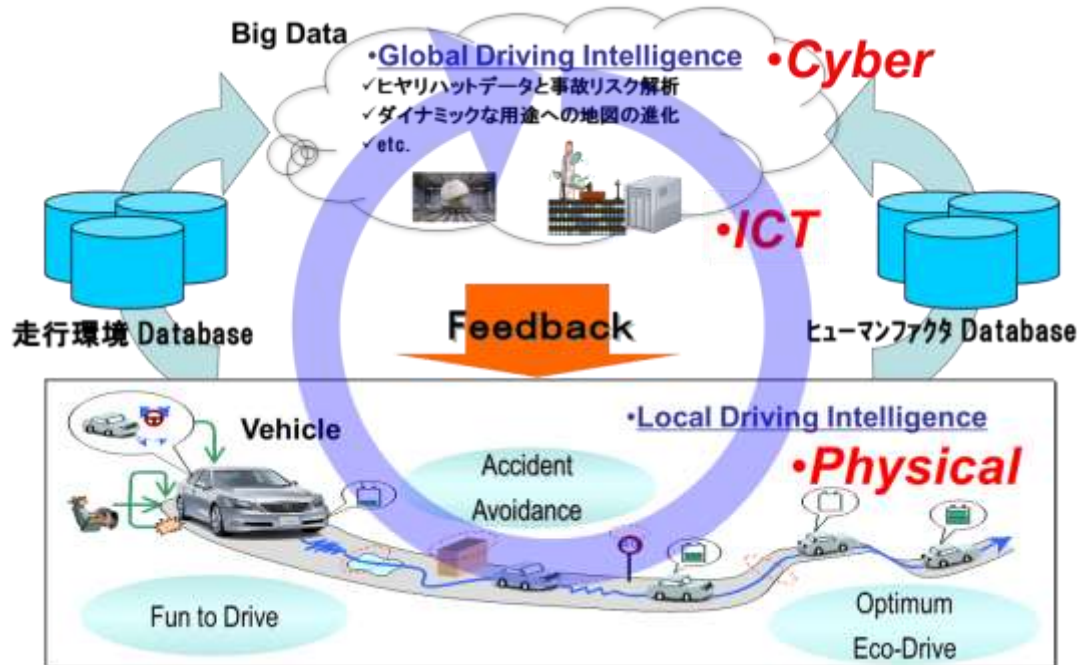


図15-1-3: リスク予測制御部の一考案

(ii) S-Innov Cloud Platform

本研究が考える Cyber Physical System を図⑮-1-4 に示す。



図⑮-1-4: Cyber Physical System として高齢ドライバの安心を構築

Global Driving Intelligence 実現へ向け、走行データを蓄積・利活用、他の Contents Cloud の活用を鑑み、図⑮-1-5 のような S-Innov Cloud Platform を提唱した。

尚、推定不可能な Cyber System との連携を想定しているため、本研究では一部の利活用に留め、下記のような情報伝達の原理試作を検証する。

- A) ヒヤリハットデータと事故リスク
- B) 発生事故情報
- C) ゲリラ豪雨などの気象情報
- D) 事故多発地点情報
- E) 熟練ドライバの走行データ
- F) 他車走行データ
- G) 自車走行データ
- H) OSM (OpenStreetMAP) などオープンな地図

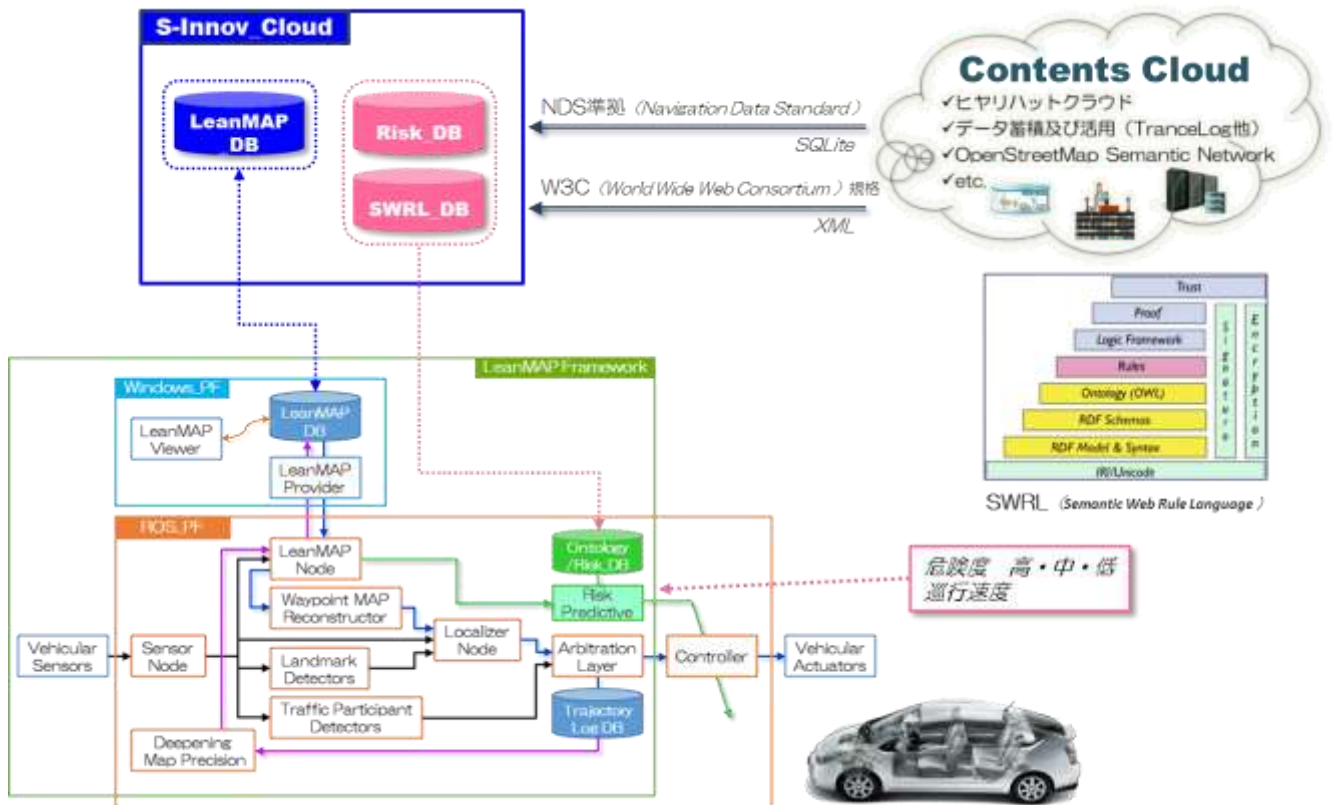


図15-1-5: S-Innov Cloud Platform

本研究では Ontology ベースのリスク予測ロジックを用いる。

そのため Contents Cloud との i/F は、以下の仕様に仮置き、情報伝達や更新の課題(地方の生活道路, Online 接続は保証されない)を捻出する。

- Map 地図や地点に紐付く静的・準静的情報
  - ・区画線, 歩道, 縁石, Crossing, 制限速度
  - ・事故多発地点
  - ・ゲリラ豪雨(気象情報) …等
  - ※i/F は NDS 準拠 (*Navigation Data Standard*)
- Risk/Rule Scene/Situation などの動的・準動的情報
  - ・事故情報(保険料率, 過失割合)
  - ・交通 Rule
  - ※i/F は W3C (*World Wide Web Consortium*) 規格, XML

## (2) 知覚・認識システム精度向上

### 【知覚・認識システム精度向上】

自己位置検出に重要な道路標識は、走行状態の影響が少ないリアカメラ画像を用いることで精度向上を図る。

公道環境下では「かすれ」「欠損」や天候条件や時間条件の影響も受け易い。そこで「部分テンプレートの組合せを利用した道路標識検出手法」について、公道実験の結果を以下に記す。

#### i. 実験概要

実施期間	平成 29 年 3 月 15 日～平成 29 年 3 月 31 日(うち 7 日間)
実験場所	千葉県道 7 号線(我孫子関宿線) 船戸橋(常磐道との立体交差)⇄ 布施入口交差点(片道約 5 km)
実験車両	東大プリウス 2 号車
実験内容	(a). 当該区間(往復)を走行中に車載センサ情報を記録 天候条件及び時間条件によって分類した 6 条件, 計 23 本の走行 (b). 記録されたデータはオフラインで検証

#### ii. 実験方法

##### A) 道路標識検出システム

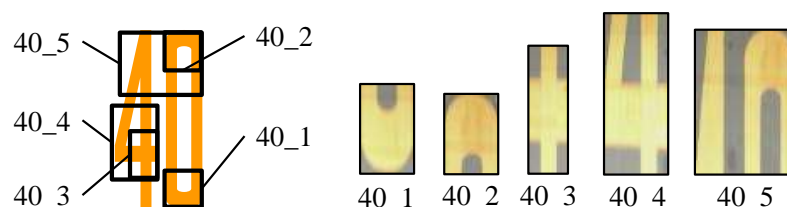
###### 1) システム概要

本プロジェクトの自車位置推定システムでは、車載センサにより、地図上での位置が既知である目印としての道路標示を検出することで、地図上の自車位置を把握する仕組みとなっている。上記自車位置推定システムの一部として、道路標示検出システムを開発した。

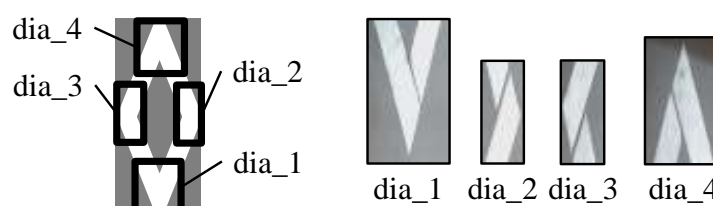
本プロジェクトが対象とする一般の生活道路では、高速道路の様な高規格道路とは異なり、道路整備が十分ではなく、道路標示も劣化して擦れているものも存在する。また実環境では、周囲の車両による遮蔽や、天候・時間の変化による路面状態の変化も発生することが予想される。上述の外乱に対して頑強な道路標示検出システムを実現すべく、部分テンプレートの組合せを利用した道路標示検出システムを開発した。

###### 2) 部分テンプレートの利用

システムの特徴としては、地図情報を事前に獲得できることを前提としているため、従来技術の様に道路標示の種別を分類するために標示全体を検出する必要が無く、特徴部のみを検出することで道路標示を検出できる点が挙げられる。本実験で使用したシステムは、時速 40 km制限標示と横断歩道予告標示(ダイヤモンド)とを検出対象とした。そして各標示について、擦れやすさや分布位置などを考慮して、検出対象とする特徴部分(部分テンプレート)を設定した。図⑮-2-1、図⑮-2-2 に時速 40 km制限標示とダイヤモンドに設定した部分テンプレートをそれぞれ示す。



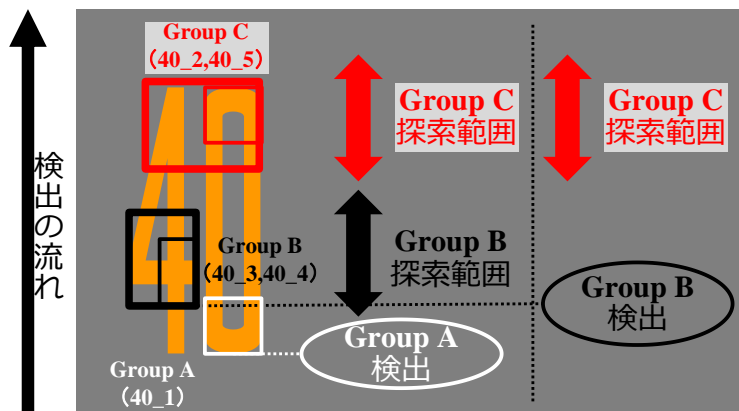
図⑮-2-1: 時速 40 km制限標示の部分テンプレート



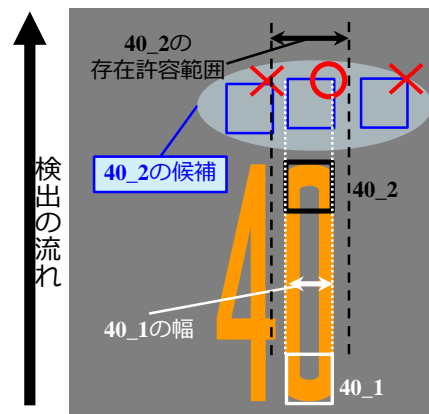
図⑮-2-2: ダイヤマークの部分テンプレート

### 3) 部分テンプレートの位置関係を利用した検出性能向上

道路標示検出性能を向上させるために、以上の議論で導入した部分テンプレートの検出結果をいくつか組み合わせて利用する工夫を行った。具体的には、各部分テンプレートの縦方向及び横方向の位置関係から、探索範囲を限定したり、検出結果を棄却したりした。図⑮-2-3に、時速40km制限標示において、各テンプレートの縦方向の位置関係の利用により、探索範囲を限定する概念図を示す。また図⑮-2-4には、各テンプレートの横方向の位置関係の利用により、検出結果を棄却する概念図を示す。



図⑮-2-3: 縦方向の位置関係利用



図⑮-2-4: 横方向の位置関係利用

### 4) 部分テンプレートへの役割付与

本実験で利用した道路標示検出システムは、部分テンプレート間の位置関係を利用することで検出能力向上を図った。それに関連して、各テンプレートに3種類の役割が付与された。以下に3種類の役割とその説明を示す。

- ダイレクトテンプレート

部分テンプレートがこの役割で機能している際、検出システムがそのテンプレートを検出すると、即座に対象の道路標示全体が検出されたと判定する。

- トリガテンプレート

部分テンプレートがこの役割で機能している際、検出システムがそのテンプレートを検出すると、後段の検出過程の探索範囲を制限する。

- セットテンプレート

トリガテンプレートとして機能する部分テンプレートが検出された際に、それに対応する部分テンプレートが制限された探索範囲でこの役割を果たす。検出システムがセットテンプレートとして機能している部分テンプレートを検出すると、即座に対象の道路標示全体が検出されたと判定する。

これらの役割について、それぞれの部分テンプレートはその位置に応じて、同時に2つ以上の役割を持つ。例えば図1に示した時速40km制限標示のテンプレートのうち、“40\_1”はダイレクトテンプレートとトリガテンプレート(“40\_2”, “40\_3”, “40\_4”, “40\_5”に対応)を、“40\_3”はダイレクトテンプレート、トリガテンプレート(“40\_2”, “40\_5”に対応)、そしてセットテンプレートを、“40\_2”はダイレクトテンプレートとセットテンプレートの役割をそれぞれ同時に果たす。

また、各部分テンプレートの検出に当たっては、まず画像の $(x,y)$ ピクセル位置におけるテンプレート画像 $(T)$ と対象画像 $(I)$ との類似度 $ZNCC(x,y)$ を算出した。式(1)には $ZNCC(x,y)$ の算出式を示す。続いて、ある画像内の類似度のうち最大のものを $R_{ZNCC}$ として算出する。式(2)には $R_{ZNCC}$ の算出式を示す。最後に、 $R_{ZNCC}$ の値が事前に設定した閾値を超えた場合に、テンプレート部検出と判定するシステムとしている。なお、式中の文字について、 $I$ は $W \times H$ ピクセルの対象画像、 $T$ は $M \times N$ ピクセルのテンプレート画像、 $I_s(x,y)$ は $(x,y)$ に位置する $M \times N$ ピクセルサイズの部分画像、 $\mu_{x,y}$ 及び $\mu(T)$ はそれぞれ $I_s(x,y)$ 及び $T$ の平均輝度を示す。

$$ZNCC(x, y) = \frac{\sum_j^m \sum_i^n (I(x+i, y+j) - \mu(I_s(x, y))) (T(i, j) - \mu(T))}{\sqrt{\sum_j^m \sum_i^n (I(x+i, y+j) - \mu(I_s(x, y)))^2 \times \sum_j^m \sum_i^n (T(i, j) - \mu(T))^2}} \quad (1)$$

$$R_{ZNCC} = \max_{0 \leq x \leq W-M, 0 \leq y \leq H-N} ZNCC(x, y) \quad (2)$$

そして、各部分テンプレートのそれぞれの役割に応じた適切な閾値を事前に設定した。表 1 に各テンプレートの役割毎に設定された閾値を示す。

		部分テンプレートの名称									
		40_1	40_2	40_3	40_4	40_5	dia_1	dia_2	dia_3	dia_4	
役割	ダイレクト	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.85	0.85	0.85	0.85	
	トリガ	0.55		0.65			0.60	0.65	0.65		
	セット		0.70	0.75	0.80	0.80		0.80	0.80	0.85	

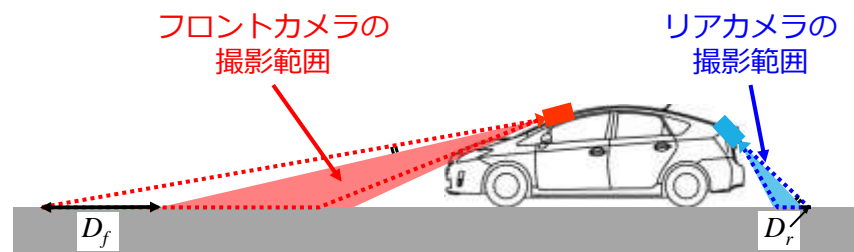
図⑬-2-5: 各部分テンプレートの役割毎の閾値

#### 5) リアカメラによる検出

部分テンプレートを利用することで、道路標示全体を検出する必要がなくなったため、本実験で利用した道路標示検出システムは、自車後方直下を撮影するリアカメラ映像を利用することができた。つまりカメラ俯角が大きく、撮影範囲が狭いため、道路標示全体が一度にフレームに収まらない場合でも、部分テンプレートを利用することで問題なく標示検出が行えるシステムとなっている。このように大俯角のリアカメラを利用することで、フロントカメラを利用する場合と比較して以下の2つの利点が生まれる。

- 車両姿勢変動による撮影範囲の変化の影響が低減されること
- 周囲の車両の遮蔽の影響が低減されること

には、リアカメラとフロントカメラとについて、車両姿勢の変化が撮影範囲に与える影響を模式的に表した図を示す。



図⑬-2-6: 車両姿勢の変化が撮影範囲に与える影響の模式図

#### B) 実験車両

実験車両は、東大プリウス 2 号車を利用した。図⑬-2-7 に実験車両の外観を示す。当車両には、IMU やミリ波レーダ等の各種センサが取り付けられている。特に本実験では、リアカメラ(リアハッチ内側に取付けた USB カメラ)で撮影した後方道路画像を利用した。図⑬-2-8 にリアカメラの取付けの様子を示す。また図⑬-2-9 に使用した USB カメラの諸元を示す。



図⑬-4-15-2-7 実験車両外観



図⑬-4-15-2-8 USB カメラ取付けの様子

型番	Logicool HD Pro Webcam C920r
レンズ画角	77 度
解像度	640 x 480 ピクセル
フレームレート	30 fps

図⑮-2-9： USB カメラ諸元

### C) 実験コース

本実験では、千葉県道 7 号線(我孫子関宿線)のうち、船戸橋(常磐道との立体交差)から布施入口交差点に至る片道約 5km の区間を実験コースとして設定した。図⑮-2-10 に実験コースを示す。また実験では、上述のコースを往復して得られたデータを 1 回分のデータとした。このコース上に、本実験で検出対象とした道路標示は合計 44 個(時速 40km 速度制限標示:10 個, ダイヤマーク:34 個)存在した。ただし、実験期間中の道路工事などの影響で、条件が変化した標示を除いたため、実際の評価に使用したのは、合計 32 個(時速 40km 速度制限標示:10 個, ダイヤマーク:22 個)だった。またこれら評価対象となった道路標示には、劣化によって擦れが発生している標示も含まれていた。図⑮-2-11 に擦れが認められる道路標示の例を示す。



図⑮-2-10： 実験コース(Google Map より)



図⑮-2-11： 擦れが認められる道路標示

### D) 実験条件

本実験では、天候及び時間が道路標示検出に与える影響を評価するため、以下の 6 種の条件下で走行データを取得した。

1. 天候:晴天, 路面:乾燥, 時間帯:午前(午前 10 時~正午)
2. 天候:晴天, 路面:乾燥, 時間帯:午後(午後 2 時~午後 4 時)
3. 天候:晴天, 路面:乾燥, 時間帯:夕方(日没前 2 時間以内)
4. 天候:曇天, 路面:乾燥, 時間帯:午前或いは午後
5. 天候:曇天, 路面:半湿潤, 時間帯:午前或いは午後
6. 天候:雨天, 路面:湿潤, 時間帯:午前或いは午後



## E) 実験手順

部分テンプレートの組合せを利用した道路標示検出システムの検出性能を評価するため、以下の手順で実験を実施した。

1. D)「実験条件」で整理した6種の条件について、3試行以上の走行データを収集する。また各走行のスタート及びゴール時に照度計によって照度を計測・記録する。
2. 6種の各条件について、測定した照度のばらつきが最大になる様に、3試行を選択する。
3. 2で選択した全試行を通して、工事等によって道路標示自体に変化が生じた標示を評価対象から除外する。
4. 3で除外されなかった道路標示に対して、その前後25mずつ計50mの区間に渡って、道路標示システムを作動させる。

## iii) 実験結果

本実験の結果を以下に示す。

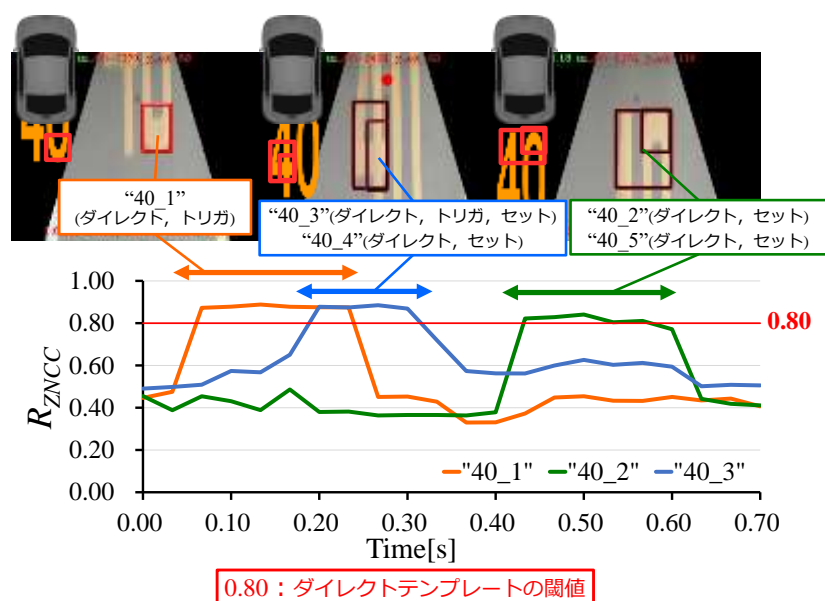
### A) 検出結果の分類

本実験における各道路標示の検出結果は、以下の3種に分類した。

- **正検出**  
検出システムが、少なくとも1つのダイレクトテンプレート或いはセットテンプレートに対応する領域を正しく検出している状況。
- **未検出**  
検出対象の道路標示が存在するにも関わらず、検出システムがダイレクトテンプレート或いはセットテンプレートに対応する領域を1つも検出できない状況。
- **誤検出**  
探索範囲(標示の前後25mずつ計50mの範囲)において、システムがダイレクトテンプレート或いはセットテンプレートに対応する領域が存在しないにも関わらず、誤って検出と判定してしまった状況。

### B) 検出例

本実験で得られた結果のうち、時速40km制限標示を例として検出の様子を説明する。図⑮-2-12には、撮影画像内の道路標示の位置に応じて、各部分テンプレートによる検出が連続的に行われる様子を示す。橙色の実線が“40\_1”の、青色の実線が“40\_3”の、そして緑色の実線が“40\_2”の各部分テンプレートによる $R_{ZNCC}$ をそれぞれ示している。この図から分かる様に、上記の各部分テンプレートによる $R_{ZNCC}$ の値が、ダイレクトテンプレートの閾値(0.80)を超えており、道路標示が正しく検出されている。



図⑮-2-12: 時速40km制限標示における各部分テンプレートの連続的な検出結果

C) 検出成功率

本実験で最終的に評価対象となった道路標示は、合計 32 個(時速 40km 速度制限標示:10 個, ダイヤマーク:22 個)だった。また 6 種の天候・時間条件については、各条件 3 試行ずつ(「曇天, 半湿潤」条件は、2 試行のみ)の計 17 試行について評価を実施した。その結果、いずれの条件下でも、85%以上の道路標示を正しく検出したことが分かった。図⑮-2-13 及び図⑮-2-14 に、時速 40 km制限標示, ダイヤマークの正検出結果をそれぞれ示す。なお、本実験における誤検出は 1 例も存在しなかった。

時速40km 制限標示	午前 (午前10時～正午)	午後 (午後2時～午後4時)	夕方 (日没前2時間以内)	合計
晴天 (乾燥)	87% (26/30)	97% (29/30)	100% (30/30)	97% (165/170)
曇天 (乾燥)	100% (30/30)			
曇天 (半湿潤)	100% (20/20)			
雨天 (湿潤)	100% (30/30)			

図⑮-2-13: 時速 40 km制限標示の正検出結果

ダイヤマーク	午前 (午前10時～正午)	午後 (午後2時～午後4時)	夕方 (日没前2時間以内)	合計
晴天 (乾燥)	97% (64/66)	98% (65/66)	100% (66/66)	99% (371/374)
曇天 (乾燥)	100% (66/66)			
曇天 (半湿潤)	100% (44/44)			
雨天 (湿潤)	100% (66/66)			

図⑮-2-14: ダイヤマークの正検出結果

D) 外乱のある標示に対する検出結果

本実験では、道路標示に対して様々な外乱が発生した。検出性能低下に繋がる外乱としては以下の各項目に示すものがあった。

- 道路標示の劣化による擦れ
- 周囲の車両や構造物の影
- 快晴時の路面の照度の変化
- 雨天時の路面の濡れ

尚、撮影範囲を車両後方直近に設定したリアカメラを利用したため、周辺車両による遮蔽は発生しなかった。以下では、外乱のある標示に関して、検出成功例と検出失敗例に分けて説明する。

1) 外乱に対する検出成功例

本実験では、影や擦れ、路面の濡れ等の外乱が発生していても正しく道路標示を検出できることが確認できた。それぞれについて実際の検出結果を示しながら説明を加える。

- 影

図⑮-2-15 には、影がかかったダイヤマークをシステムが正しく検出する様子を示す。この図から分かる様に、影の影響を受けている標示の中心付近の部分テンプレートについては、 $R_{ZNC}$  の値がダイレクトテンプレートやセットテンプレートの閾値を超えていない。ところが、上下端に設定した部分テンプレートについては、 $R_{ZNC}$  の値がそれぞれダイレクトテンプレートの閾値を超えており、正しく標示検出と判定されている。

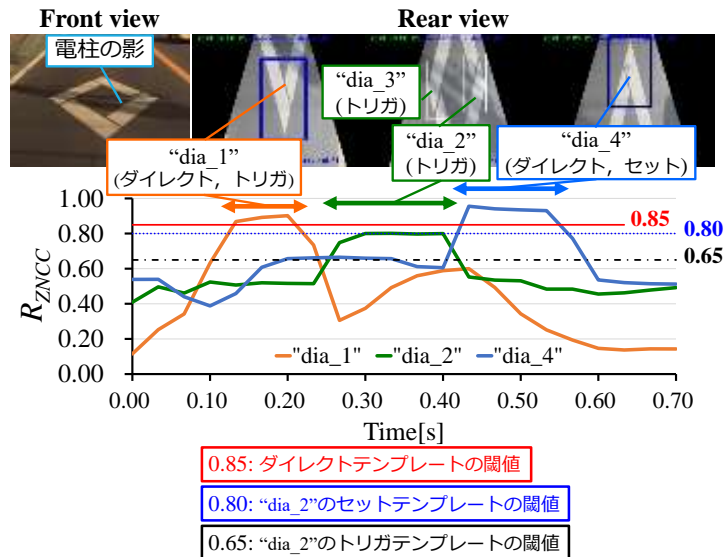


図15-2-15: 影のかかった道路標示の検出成功例

● 擦れ

図15-2-16には、部分的に擦れている時速 40 km制限標示をシステムが正しく検出する様子を示す。この図から分かる様に、いずれの部分テンプレートに対する  $R_{ZNCC}$  の値も、ダイレクトテンプレートの閾値(0.80)を超えていないが、“40\_1”(トリガ)と“40\_3”(セット)との組合せによって、正しく標示検出と判定されている。

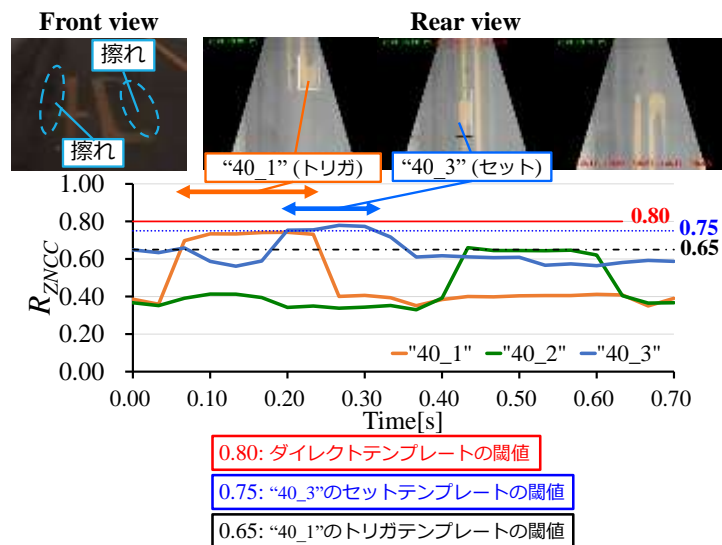
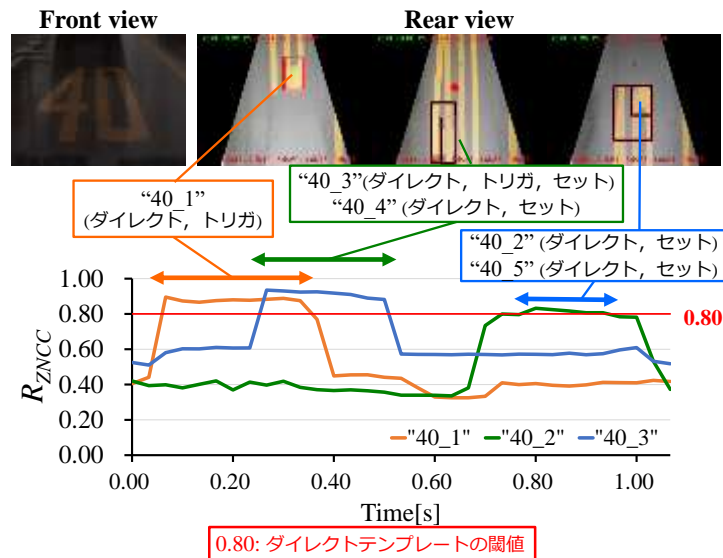


図15-2-16: 擦れている道路標示の検出成功例

● 路面の濡れ

図15-2-17には、雨天時の湿潤路面において、時速 40 km制限標示をシステムが正しく検出する様子を示す。この図から分かる様に、全ての部分テンプレートに対する  $R_{ZNCC}$  の値がダイレクトテンプレートの閾値を超えており、正しく道路標示検出と判定されている。実験を通して、湿潤或いは半湿潤路面においては、路面のアスファルトの色が濃くなることで、道路標示部分が周囲から判別しやすくなっていた。



図⑮-2-17: 湿潤路面での道路標示の検出成功例

2) 外乱に対する検出失敗例

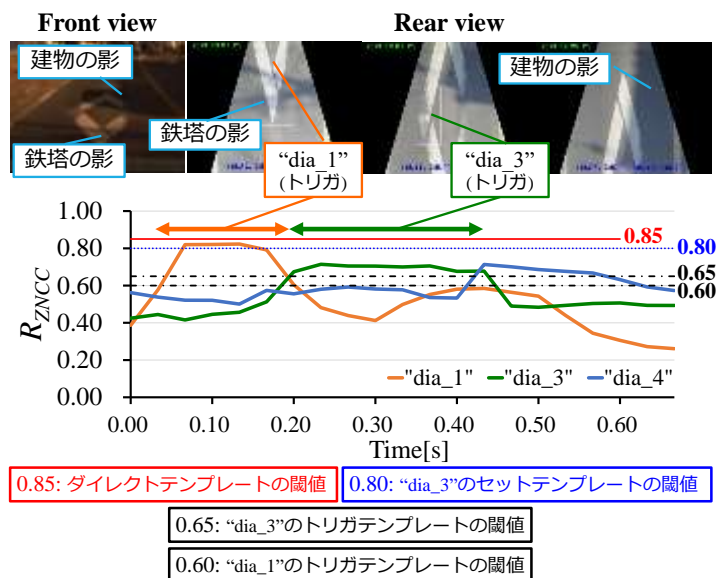
外乱の影響で正しく検出できなかった標示も存在した。未検出となった事例を分析した結果、検出できなかった状況は

- 複数の外乱が同時に発生した場合
- 快晴時に路面照度が著しく大きくなった場合

に分類された。以下でそれぞれの状況の例を挙げながら詳しく説明する。

- 複数の外乱が同時に発生した場合

図⑮-2-18 には、部分的に擦れたダイヤモンドマークに影がかかっており、システムが標示を検出できない様子を示す。この図から分かる様に、ダイヤモンドマークの上下端部は擦れていないものの、建物や鉄塔の影がかかっているため、ダイレクトテンプレートやセットテンプレートで検出されず、全体として標示も未検出となっている。

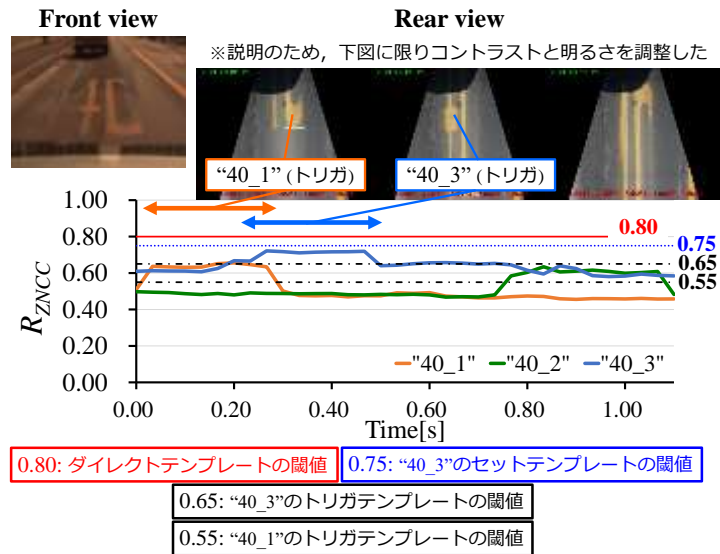


図⑮-2-18: 複数の外乱が存在する道路標示の検出失敗例

- 快晴時に路面照度が著しく大きくなった場合

図⑮-2-19 には、快晴時に路面の照度が著しく高くなり、システムが標示を検出できない様子を示す。この図では説明のため、リアカメラ画像のコントラストと明るさを調整しているため、道路標示の存在は確認できるが、実際には、路面アスファルト部の輝度が大きくなり、道路標

示部の判別が難しくなっている。そのため  $R_{ZNCC}$  の値がダイレクトテンプレートやセットテンプレートの閾値を超えず、検出できなかった。



図⑮-2-19: 快晴時の道路標示の検出失敗例

iv) まとめ

本実験によって、部分テンプレートの組合せを利用した道路標示検出システムについて以下の結果が得られた。

- 延べ 170 km程の公道の走行データを分析した結果、536 個の道路標示を正しく検出することができた。また検出システムによる誤検出は発生しなかった。
- 影や擦れ、路面の濡れ等の外乱が発生した場合でも、大部分の道路標示は正しく検出された。
- 一部、複数の外乱が同時に存在したり、快晴時に路面照度が著しく大きくなったりする場合に、未検出となる道路標示が存在した。

尚、未検出となる場合について、路面照度に起因するケースは、ダイナミックレンジの広いカメラの使用や、天候毎の閾値の使用によって解決できる可能性が高い。

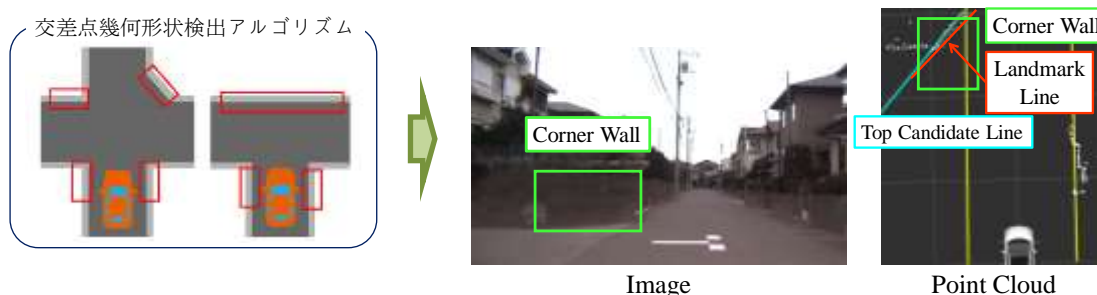
今後の取組としては、ランドマークとして利用する道路標示の種類を増加させるための検討や、標示検出結果を基に自車位置を正確に算出するシステムの開発が必要とされる。

## 【リーンマップフレームワークの精度向上】

リーンマップフレームワークをさらに拡張し、一般道よりも外界環境認識が難しい生活道路での運用を実現するための要素技術開発に取り組んだ。リーンマップフレームワークでは走行環境内に存在する規格化可能なランドマークを検出し、地図との照査から自己位置の補正を行っている。一般道の場合は、横断歩道や停止線、制限速度標示等が補正に利用可能なランドマークとなり、過去に開発した検出器によって一般道での運用が実現していた。しかし、図⑮-2-20 に示すように、生活道路ではこの様なランドマークは存在しておらず、新たなランドマークの検討が必要となる。そこで、生活道路に多く存在する交差点に着目し、その幾何的な特徴をランドマークの代替とする手法を検討した。まず、他のランドマーク情報と同様に交差点幾何形状の情報を規格化した。次に、規格化された情報を補助として車載 LIDAR からの観測点群情報を基に、交差点形状の測距特徴点を検出するアルゴリズムを開発した。図⑮-2-21 に交差点隅部の検出の一例を示す。



図⑮-2-20 生活道路での交差点付近の様子

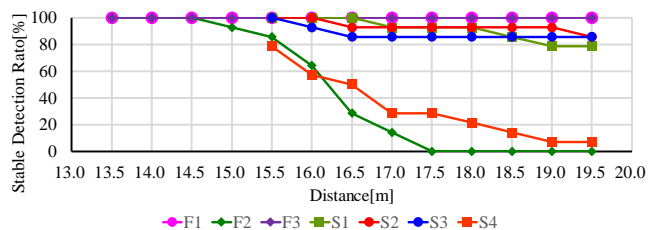


図⑮-2-21 交差点隅部の検出の一例

開発したシステムを実験車両に搭載し、柏の葉住宅街での評価実験を実施した。図⑮-2-22 に評価の対象となった交差点を示す。住宅街の交差点や T 字路を選定しており、横断歩道や停止線は存在しない環境となっている。評価の一例として、図⑮-2-23 に各評価対象交差点における相対距離に応じた安定検出率のグラフを示す。なお、本実験では検証用の RTK-GPS によって得られた位置情報を真値とし、誤差 0.5m 以内での持続した検出を安定検出と定義している。交差点毎に差は確認されるものの、交差点まで 14m 程度の地点までにおおむね安定して検出出来ており、実用的な性能となっている事が確認出来る。

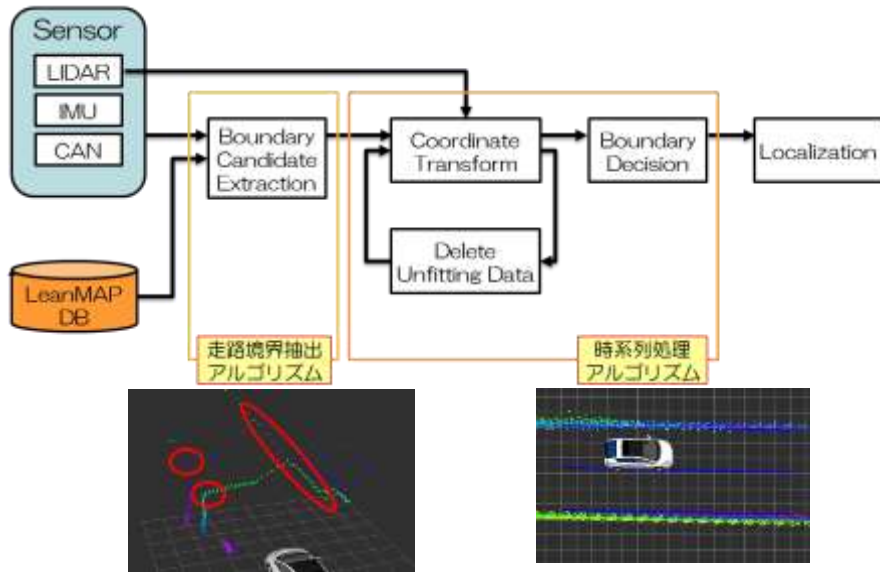


図⑮-2-22 柏の葉住宅街における評価対象交差点



図⑮-2-23 評価対象交差点における相対距離に応じた安定検出率

一部の交差点では 15m 以遠において安定検出率の低下がみられるが、これは併用している走路境界検出機能の性能限界によって発生している現象であり、この点に関しては、現在 4 層 LIDAR の特徴を分析、図⑮-2-24 のようなアルゴリズムを開発、ある程度の改善効果があることを検証した。



図⑮-2-2 4 層 LIDAR を用いた走路境界の抽出アルゴリズム

実験コース1)



住宅の壁や塀が走路境界として大きな割合を占めるコース

高さのある走路境界が多く占める  
→比較的走路境界の抽出が容易

実験コース2)

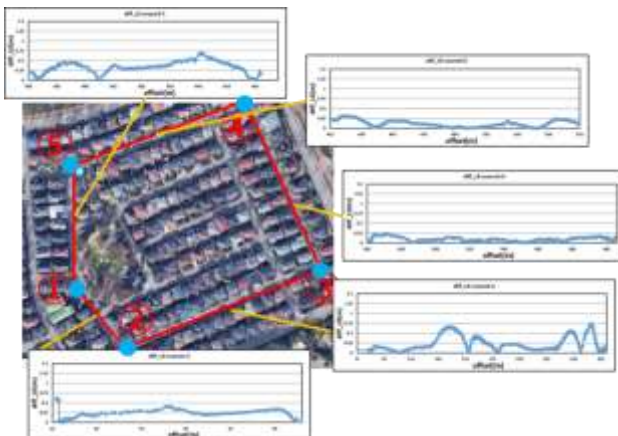


駐車場などの高さのない走路境界が比較的多いコース

斜度変化による走路境界や畑地など不明瞭な走路境界が多く存在  
→比較的走路境界の抽出が難しい

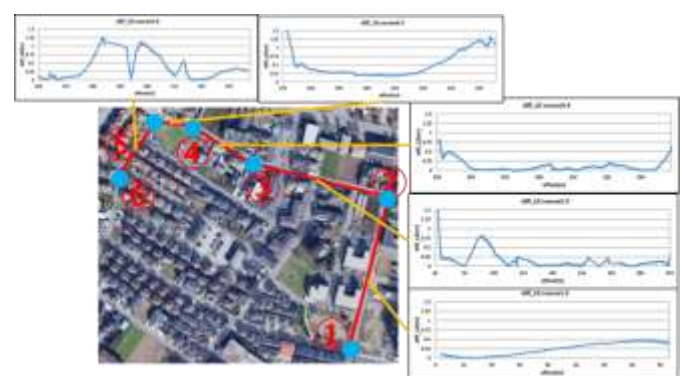
コース1)

駐車車両のある位置で誤差拡大  
交差点進入時誤差 0.25m 以内



コース2)

カーブ直後の誤差大  
5m 程度の走行で集束



図⑮-2-25 RTK-GPS との横偏差の比較

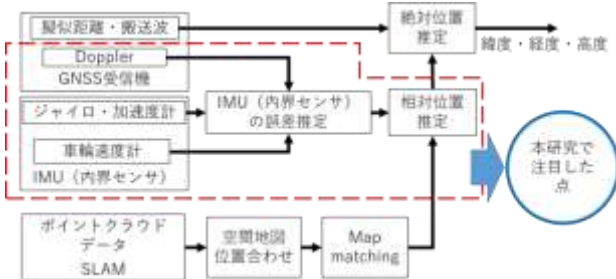
【慣性航法による自走経路生成精度向上技術の研究; 自車位置検出精度の向上】

現在、自動車の運転支援・自動運転技術にはカメラや全方位スキャンライダが使用された SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) 技術や超高精度ジャイロなどの高額なセンサが使用され実用性が課題となっている。また、米国の GPS 衛星と併用することで高精度測位を行う日本の衛星測位システム QZSS (Quasi-Zenith Satellite System) を利用した位置推定にも注目が集まっているが、マルチパス(建物等による反射)を完全には取り除くことができない。それらに対して、IMU・車輪速度センサ・GNSS による位置情報を用いて自車位置の推定を行うデッドレコニング手法の開発も進められている。この手法では、比較的安価に移動体の運動状態を正確に計測することができる。ただし、その技術にもジャイロの温度ドリフト等による積分誤差や走行環境によってはマルチパス等による GNSS 位置情報のズレが生じる。そのため、今後の運転支援・自動運転技術には外界センサと内界センサを統合し、各センサの強みを生かした技術の開発が重要となる。

そこで本研究では、廉価な車載センサ慣性センサ(IMU)、GNSS 受信機(ドップラ計測)、既存車輪速度センサを組合せ、「ヨーレートフセット推定」「絶対的な方位角推定」「車輪速度スケールファクタ推定」「各センサ信号の同期性向上技術」等の新規開発により、IMU 温度ドリフト等の積分誤差、GNSS マルチパス異常値等の誤差要因を除去するリアルタイムで高精度な車両位置推定アルゴリズム;EVP(Ego-Vehicle Positioning algorithm)を開発し、その性能を検証した。

2. 構成センサ

図⑮-2-31 に現在の位置推定技術の関わりを示す。自動車の自動運転技術では相対位置をいかに高精度で推定できるかが重要である。そのため、SLAM 技術や高精度ジャイロ等の開発が盛んに進められている。



図⑮-2-31 Research focus on EVP

一方、本研究では比較的安価に車載が可能な IMU・GNSS 受信機・車輪速度センサを利用した。しかし、各センサの出力値には誤差が含まれており、IMU の場合、式(2-1)のように誤差を含んだヨーレート $\dot{\varphi}$ が出力される。また、ヨーレートを利用した方位角推定を行うと、式(2-2)のように時間積分による積分誤差を含んだ方位角 $\theta_G$ となる。そこで、本研究では各センサの誤差推定を行いつつ高精度な自車位置推定技術の開発に取り組んだ。

$$\dot{\varphi} = S_F^{\varphi}(\varphi + \delta\varphi) \quad \text{式(2-1)}$$

$$\theta_G = \int_0^t \dot{\varphi} dt \quad \text{式(2-2)}$$

$\dot{\varphi}$ : IMU ヨーレート,  $S_F^{\varphi}$ : スケール誤差

$\delta\varphi$ : オフセット誤差 $\theta_G$ : IMU ヨーレートの積分による方位角

IMU(Inertial Measurement Unit)とは比較的安価に移動体の運動状態を高精度で計測可能なセンサである。具体的には 3 軸(X・Y・Z)の加速度・角速度を検出する。IMU には停車時の 0 点誤差や温度ドリフト等の誤差を持ち、ヨーレートの時間積分による方位角推定では積分誤差となり精度が劣化する(ヨーレートフセット誤差)。IMU には製造会社毎に独自のカルマンフィルタ補正を組み込む場合があるが、自動車の運動制御等にはまだ課題があると見られるため、本研究では IMU から出力される生値を使用した。

2.2 GNSS 受信機

容易に自己位置を推定する方法として GNSS がよく用いられている。GNSS 単独測位では、走行環境によって 10[m]程度の精度が得られる場合もあるが、高精度測位が可能な RTK-GNSS 等の測位方法では数cmの精度で測位が可能である。しかし、受信機とは別に既知位置として固定する基準局が必要となるためコストがかかる。本研究では衛星から受信する信号の一つである Doppler を利用した GNSS Doppler を使用した。



車輪速度センサを利用することで車両の走行速度を連続的に計測できる。しかし、車輪速度センサからの出力値を車速に変換するために使用するタイヤ半径が実際のタイヤ半径と異なるために生じる誤差や走行環境による車輪のすべり誤差などのスケールファクタ誤差が誤差要因となる。



図15-2-32 IMU



図15-2-33 GNSS receiver

### 3. GNSS Doppler

GNSS Dopplerとはドップラシフト周波数(GNSS衛星と受信機との相対速度)を利用して高精度な位置推定を行う手法である。他のGNSSを利用した測位手法と異なる点は、搬送波を使用しドップラシフト周波数を計測している。衛星が航行する速度は既知であるため、ドップラシフト周波数を利用して自車の速度ベクトルを算出する。また、算出した速度ベクトルをから車速と方位角を算出する。

$$V_D = \sqrt{V_N^2 + V_E^2 + V_H^2} \quad \text{式(2-3)}$$

$$\theta_D = \tan^{-1} \left( \frac{V_E}{V_N} \right) \quad \text{式(2-4)}$$

$[V_N, V_E, V_H]$ : 北, 東, 高さ方向の速度ベクトル

$V_D$ : GNSS Doppler による車速

$\theta_D$ : GNSS Doppler による方位角

EVPとはリアルタイムで高精度な自己位置推定を行うことを目標に開発したプログラムである。EVPの開発には、GNSS Dopplerと汎用慣性センサを組合せた自車位置推定手法を参考にしている(1)。これまでの手法では、走行実験でデータを計測後、後処理(オフライン)で自己位置推定を行う。対して、EVPはオンラインで演算し自己位置推定を行う。

EVPには一時的にデータを保存するリングバッファを作成している。推定に必要な分のデータを貯め、新しいデータを取得した際は最も古いデータを削除する。これを繰り返し行い推定結果の連続性を保ち、演算データ量の増大を防ぐ。

また、「車輪速度スケールファクタ推定」「ヨーレートフセット推定」「絶対的な方位角推定」を常時行い推定精度の高精度化を目指している。

以下にアルゴリズムの各精度向上機能の説明を公道走行時の参照データで示す。

#### A. リアルタイム性

EVPの重要な要素の1つとしてリアルタイム性が挙げられる。IMUで取得したデータとGNSS Dopplerにより算出したデータを同時刻データで同期し推定を行う。

#### B. 各センサの誤差要因に対する補正

EVPでは前述したIMUにおける停止時の0点誤差・温度ドリフト等の「ヨーレートフセット誤差」、GNSSにおける「マルチパスによる誤差」、車輪速度センサにおける「車輪速度スケールファクタ誤差」に対して以下の方法で補正を行う。

#### C. 車輪速度スケールファクタ推定

車輪速度スケールファクタの推定はGNSSが受信されている・走行速度が10[km/h]以上・バッファにデータが一定数以上ある場合に行う。Dopplerから算出した車輪速度 $V_D$ をCANで取得した車輪速度 $V_{CAN}$ により除算し、その中央値をスケールファクタ補正值 $S_F^V$ として算出する。

$$S_F^V = \text{median}(V_D/V_{CAN}) \quad \text{式(2-5)}$$

#### d. ヨーレートフセット推定

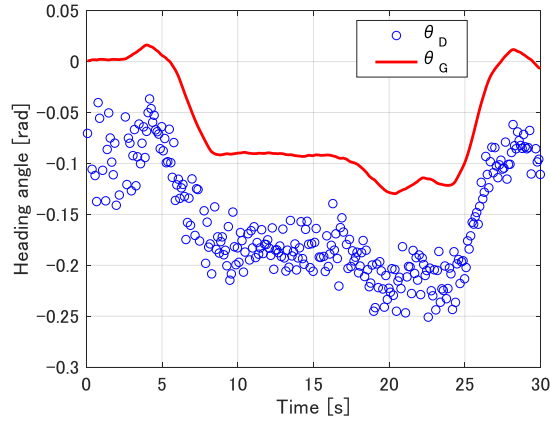
ヨーレートフセット推定は停止時と走行時で速度判定し推定する。停止時の場合、4秒以上停止した際に行わ

れ, IMU で取得した 4 秒分のデータ(200 個)の平均値をオフセット値 $a_\varphi^{Stop}$ とする.

$$a_\varphi^{Stop} = \frac{1}{200} \sum_{i=1}^{200} \phi_i \quad \text{式(2-6)}$$

走行時の推定手法を以下に述べる. 走行時の場合, 30 秒分のデータを用いて推定を行う.

図⑮-2-34に Doppler から算出した方位角 $\theta_D$ と IMU のヨーレートの時間積分による IMU 方位角 $\theta_G$ を示す.

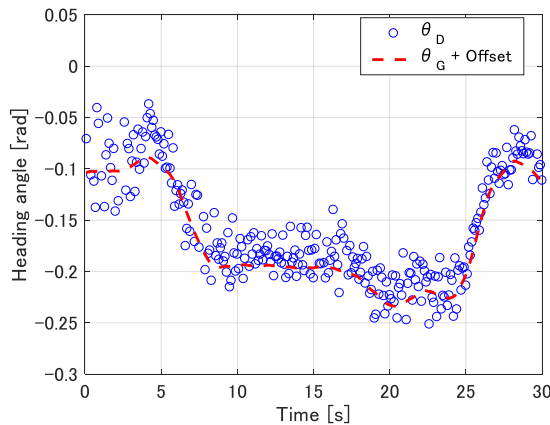


図⑮-2-34 Heading angle  $\theta_D$  &  $\theta_G$

まず Doppler による $\theta_D$ を基準に IMU のヨーレート積算による $\theta_G$ から差分 $diff$ を算出する. その差分を利用してオフセットした IMU 方位角 $\theta_{G\_offset}$ を推定する(図⑮-2-35).

$$diff(t) = \theta_D(t) - \theta_G(t) \quad \text{式(2-7)}$$

$$\theta_{G\_offset}(t) = \theta_G(t) - diff(t) \quad \text{式(2-8)}$$

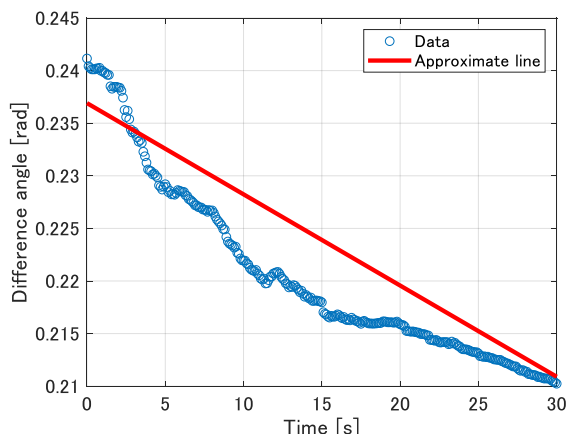


図⑮-2-35 Heading angle  $\theta_D$  &  $\theta_{G\_offset}$

再び $\theta_D$ を基準に $\theta_{G\_offset}$ との差分 $diff'$ を算出する. この $diff'$ を図⑮-2-36 のように最小二乗法で一次式に近似し, 一次式の傾き $a_\varphi$ が走行時のヨーレートオフセット値となる.  $b$ は切片,  $time$ は算出した $diff'$ 分の時間を示す.

$$diff'(t) = \theta_{G\_offset}(t) - \theta_D(t) \quad \text{式(2-9)}$$

$$a_\varphi = \frac{diff' - b}{time} \quad \text{式(2-10)}$$

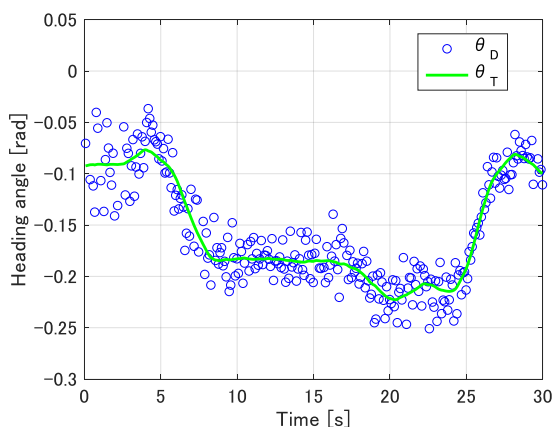


図⑮-2-36 Yaw rate offset

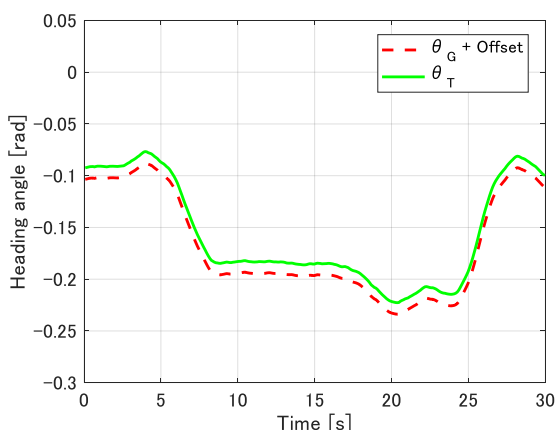
#### 4.2.3 方位角推定

方位角推定ではヨーレートフセット推定の式(2-7)による二度目の差分 $diff'$ の算出までは同じ工程である。次に、式(2-11)のように $diff'$ の平均値を利用して $\theta_D$ にオフセットし、暫定の方位角 $\theta_T$ を推定する(図⑮-2-37)。

$$\theta_T(t) = \theta_D(t) - \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t diff'(i) \quad \text{式(2-11)}$$



図⑮-2-37 Heading angle  $\theta_D$  &  $\theta_T$



図⑮-2-38 Heading angle  $\theta_{G\_offset}$  &  $\theta_T$

図⑮-2-38 に $\theta_{G\_offset}$ と $\theta_T$ を示す。EVP では Doppler による方位角 $\theta_D$ を基準に IMU のヨーレート積分 $\theta_G$ を合わせることで真値を求める。そのため、図⑮-2-38 から相対的に約 0.01[rad]の精度が向上する。

上記の処理により「閾値を超えた値がない」「データが一定数を下回った」場合、 $\theta_T$ を推定値として出力し、そ

うでない場合は、式(2-7)の $\theta_D$ を基準に $\theta_G$ との差分を算出する処理に戻る。

### 5. オーバルコースでの実車基礎検証実験

実車による EVP の基礎検証を行うため、高精度 GNSS/INS である RT4003 と比較し精度検証を行った。試験コースとして 1 周 234.25[m] の走行コースを作成した。速度は 30[km/h] で可能な限り一定速度で走行した。また、目標精度は 1[km] の走行で 1[m] の誤差とした。

図⑮-2-39 に試験コースを 0 点から右回りに 4 周した走行軌跡を示す。自車を中心に北方向を基準とした Y、東方向を基準とした X による走行軌跡である。

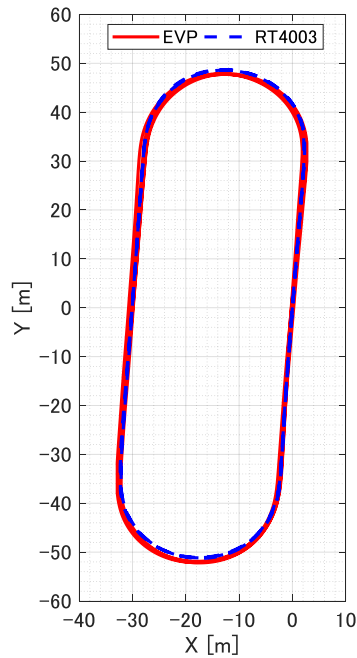
$$X = X_{Last} + V_E \cdot \Delta t \quad \text{式(2-12)}$$

$$Y = Y_{Last} + V_N \cdot \Delta t \quad \text{式(2-13)}$$

X: 東を基準とした座標, Y: 北を基準とした座標

$X_{Last}$ : X の前回値,  $Y_{Last}$ : Y の前回値

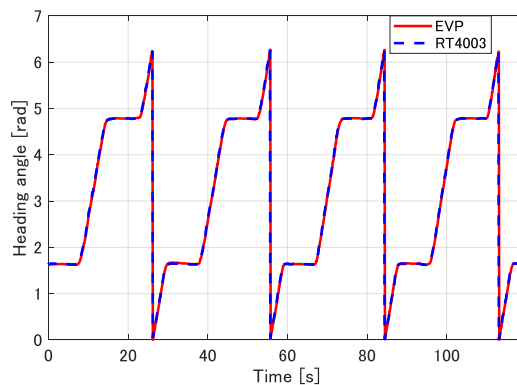
$V_E$ : 東方向の速度,  $V_N$ : 北方向の速度



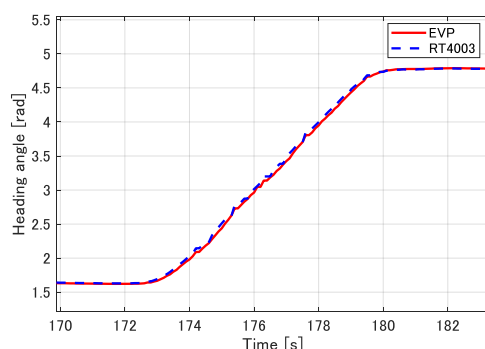
図⑮-2-39 Traveling locus by EVP & RT4003

図⑮-2-39 から、EVP は RT4003 に近い精度で位置推定が行えたと思われる。

図⑮-2-40 に EVP と RT4003 による方位角の推定結果を示す。方位角が変動している箇所は車両がコーナリング時、変動がない箇所は車両が直進時を示す。



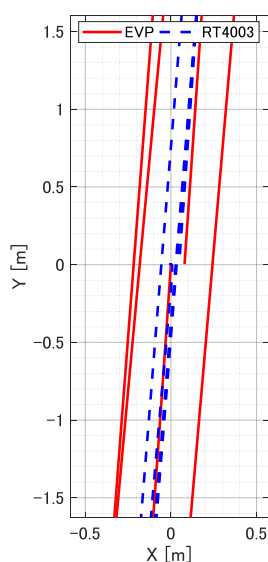
図⑮-2-40 Heading angle EVP & RT4003



図⑮-2-41 Heading angle at corner traveling

また、図⑮-2-41 にコーナリング時の方位角に注目した図を示す。図⑮-2-311 から EVP が RT4003 に近い精度で方位角推定が行えていることがわかる。

図⑮-2-39 の0点周辺に注目した走行軌跡を図⑮-2-42 に示す。0点での X 方向の EVP と RT4003 の差は 1 周目 (234.25[m]) で 0.126[m]であった。また、4 周目 (937[m]) には 0.032[m]であった。



図⑮-2-42 Traveling locus around 0 point by EVP

本研究は廉価な車載センサである IMU・GNSS Doppler・車輪速度センサを用いたリアルタイムな自車位置推定アルゴリズムの開発を行い、その精度検証を行った。精度検証から、EVP が約 1[km]の走行で 0.5[m]の誤差の精度で位置推定が可能であることが確認できた。今後は EVP 実用化に向けて公道での走行による精度検証を進め、自動運転への折り込みと制御性能を確認していく。

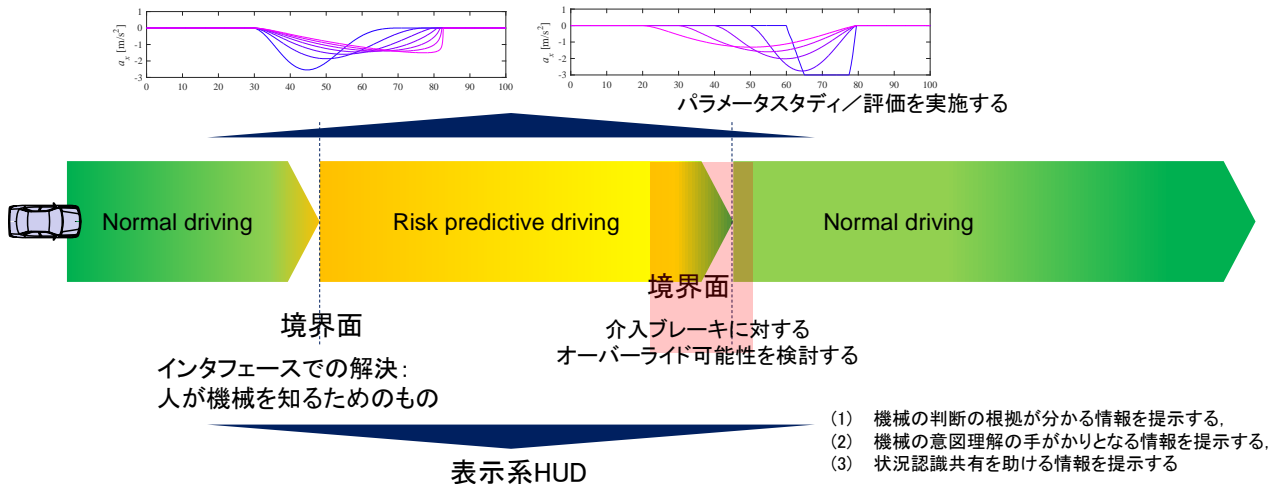
### (3) リスクポテンシャルによる熟練ドライバモデルの高度化

さらなる高度化への研究開発として、先読み運転知能システム(リスク予測制御)と高齢ドライバのシェアード・コントロールを模擬試験路レベルで有効性・受容性評価を行う。具体的には、実用化レベルを見据えた車両開発、ならびにリスク予測制御技術の精度向上を図る。ステージⅢでは、走行環境、車速域、加速度域等に適合した前後方向・横方向のシェアード・コントロールとして、滑らかな通常運転およびリスク予測運転への誘導機能を高度化する。

リスク予測制御(かもしれないブレーキ)の特性として、

- ・従来技術は、既に「歩行者が道路上に飛び出した」という事故リスクが顕在化したときに作動するものであるが、センサが周囲環境に関する情報を獲得する上での時間制約を要することから、駐車車両背後、見通しの悪い交差点等から歩行者等が急に飛び出したときには、常に期待された力を発揮できるとは限らない。

- ・上記の理由から、緊急時に至る前の、具体的には、10 秒前から、1. 走行環境文脈の理解に基づき、2. 最悪状況を想定し、3. 危険度推定に基づき Acceptable level でのヒヤリハットに対応できる推奨・規範速度に事前に減速させる。
- ・現状のリスク予測制御は、物理則ベースの規範速度(最悪条件想定)を算出する。
- ・事前減速することで、緊急回避ブレーキのみでなく、高齢者も同様に対応できるだけの余裕時間を確保する。上記の概念を図⑮-3-1 に示す

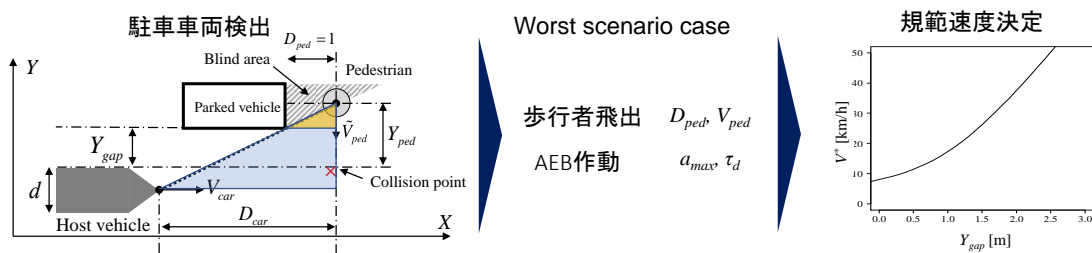


図⑮-3-1:高齢者のためのリスク予測制御(人間機械協調)

また、人を取り巻く環境の特性として

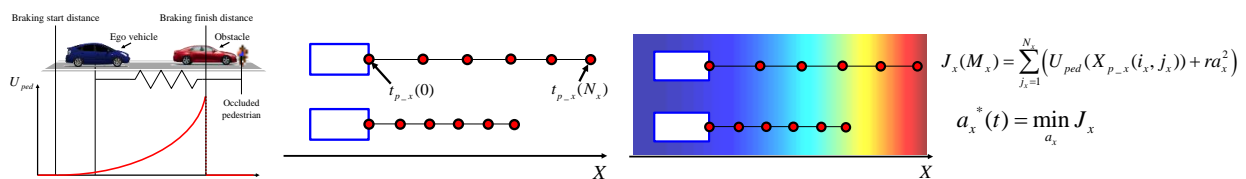
- ・現実に、見通しの悪い箇所から歩行者が飛び出す事象は、極めて希である。
- ・状況の理解の遅れは、その後の判断・操作実行の遅れに直結する。
- ・極めて希な事象に対する Safety first は社会的に受け入れられない可能性 → 規範速度算出の高度化必須  
上記が挙げられ、想定情報に基づく高度な規範速度算出ロジックを持ったリスク制御予測ロジック(図⑮-3-2)が必要となる。

### ■ 規範速度算出



### ■ リスクポテンシャル/加速度探索に基づく目標減速度算出

1. リスクポテンシャル定義
2. 複数点の自車予測位置計算
3. リスクポテンシャルに基づく評価関数の設定と最小化

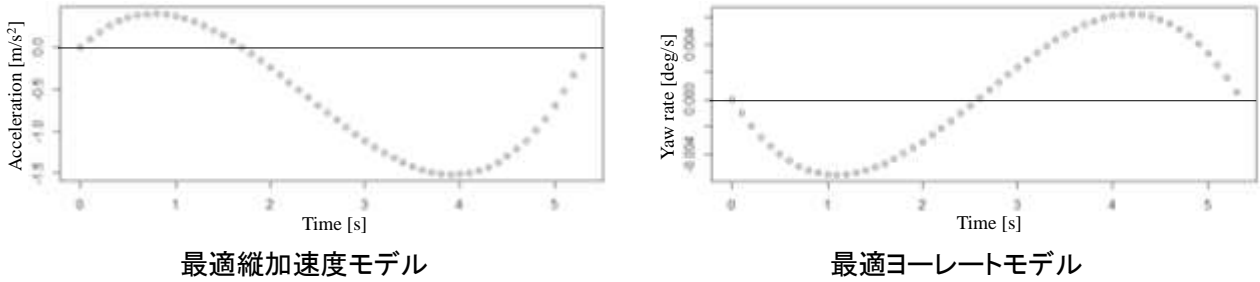


図⑮-3-2:リスク予測制御ロジック

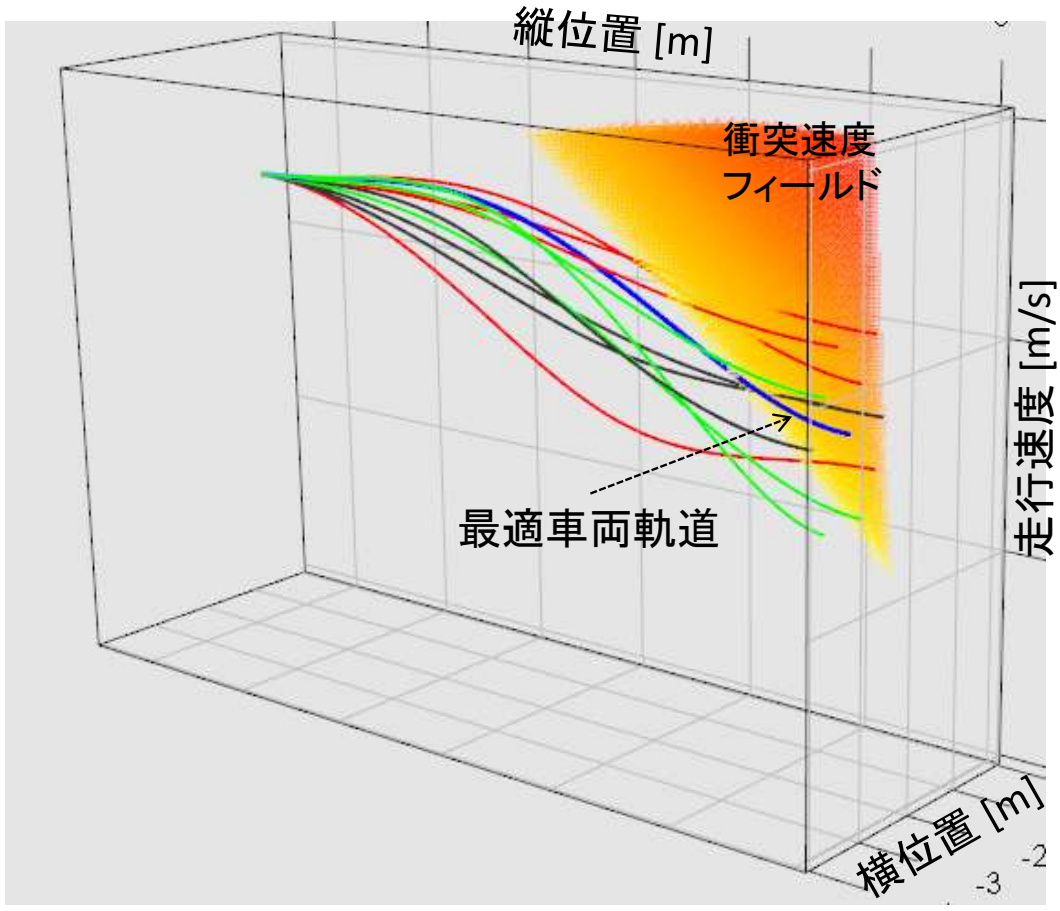
これまでに開発した衝突速度に基づく潜在リスク定義(衝突速度フィールド)を用いた軌道生成手法では、正弦

波様の縦加速度、横加速度のモデルを仮定していた。そのため、生成できる車両軌道は限定的であり、任意場面上において基本走行モデルとシームレスな連携が困難であった。そこで、様々なリスク場面での回避行動の生成ができるよう 3 次元関数  $f(x) = a + bt + bt^2 + ct^3 + dt^3$  で縦加速度、ヨーレートをモデル化し(操作モデル)、衝突速度フィールドをコスト関数として最適化により求めた操作モデル(上記 3 次元関数の a, b, c, d)に基づく軌道生成手法の検討を行った。駐車車両通衝突速度フィールド値とジャーク量の総和を最小化するように最適化を行った結果、図⑮-3-3 に示す最適操作モデル(左:縦加速度, 右:ヨーレート)が得られた。この最適操作モデルから生成した車両軌道を図⑮-3-4 の青線に示す。生成した車両軌道は、緩やかな減速と操舵により、衝突速度フィールドの高衝突速度領域を避けていることが分かる。

また、衝突速度フィールドを用いて生成した規範軌道の支援活用検討として、一般道市街地コース走行データを用いた潜在リスク分析を行った



図⑮-3-3. 最適操作モデル



図⑮-3-4. 最適車両軌跡

車両状態(横位置, 縦位置, 走行速度)を表す 3 次元空間に衝突速度フィールドと幾つかの車両軌道を示す。衝突速度フィールドを通過する軌道(赤色)は、高リスク軌道であり、衝突速度フィールドを避ける軌道(緑色, 青色)は安全軌道である。青色で示される軌道は、図1の最

適操作モデルから得られた最適車両軌道であり、安全軌道の中でも最もジャーク量も少ない軌道となっている。

(4) オントロジーアプローチの運転知能

本プロジェクトの核の一つであるリスク予測技術については、プロジェクト内で進めている各研究項目の整理を、各機関と協力しながら進めた。大きく3つに大別されると考えられる。1つめは、過去データを利用する、ヒヤリハットデータ関係型の安全通過速度予測モデル、2つめは、現在データを利用する、ユーザ走行データ関係型の潜在リスク位置推定モデル、3つめは、運転操作をif & thenのルールベース化し、それらをオントロジー構造で表現された理論知識型の危険予測モデルである(図15-4-2)。

3つめのアプローチについては、「場所」「走行車両、走行中考慮すべき対象」を体系化した知識として整理する論理知識型人工知能(Advanced drivers-assistance systems Ontology)の観点から、リスク分析定式化の方法を構築することを追及し、FOT実装を視野に、実態に合せた問題解決と有効性検証を可能とする理論基盤および実装技術構築を進めた。

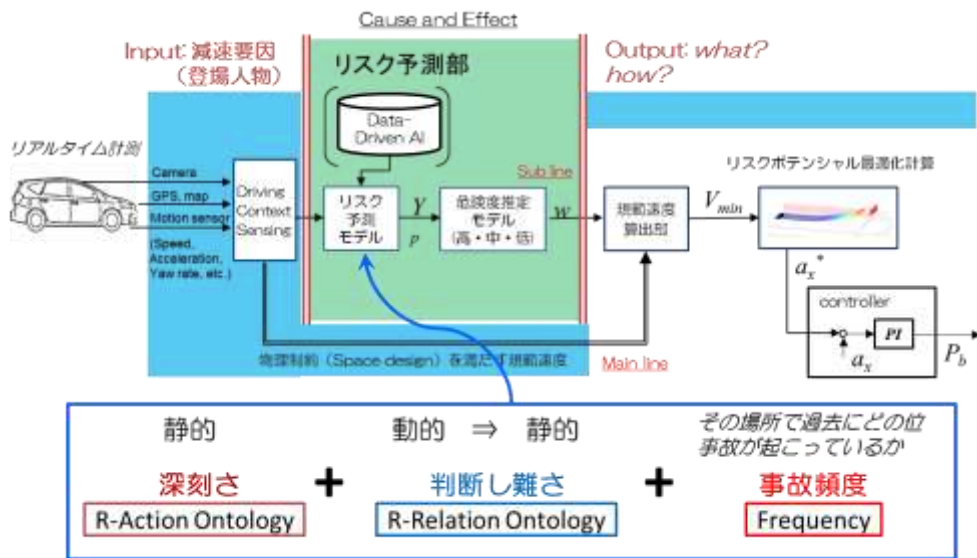


図15-4-2: リスクオントロジー実装モデル

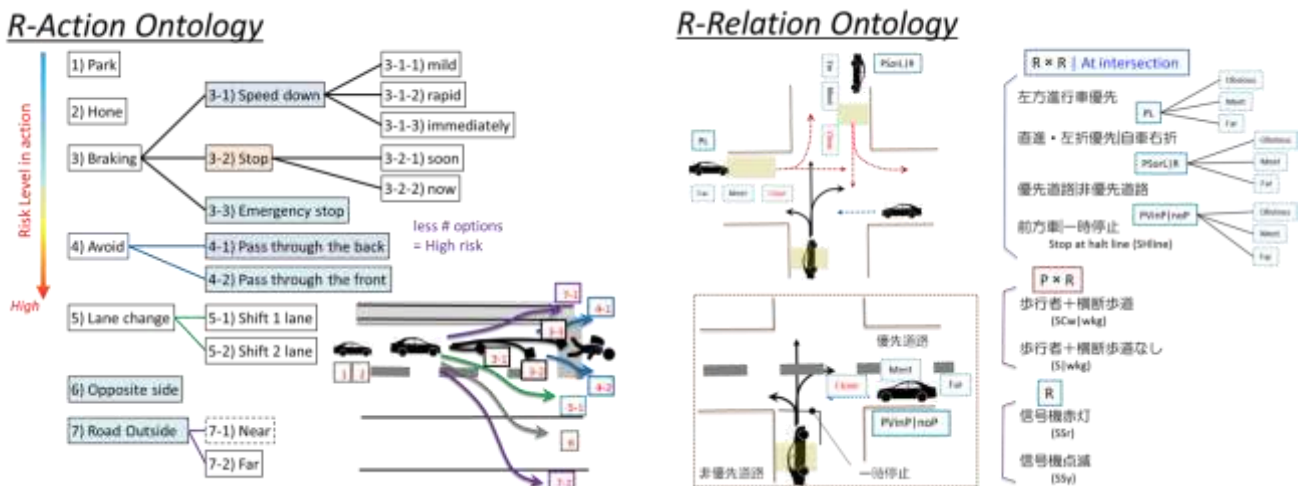


図15-4-3: R-Action/R-Relation 例

結果、煩雑な交通環境において、静的な深刻さの Risk-Action Ontologyと、動的な判断の難しいRisk-Relation Ontology (図15-4-3)をどのように統合していくかなど残課題が多く、リーンなシステム構成には実装困難という結論に至った。

次に、オントロジーアプローチを通じて得られた、限られた交通環境の静的因子からリスク地点の危険度を

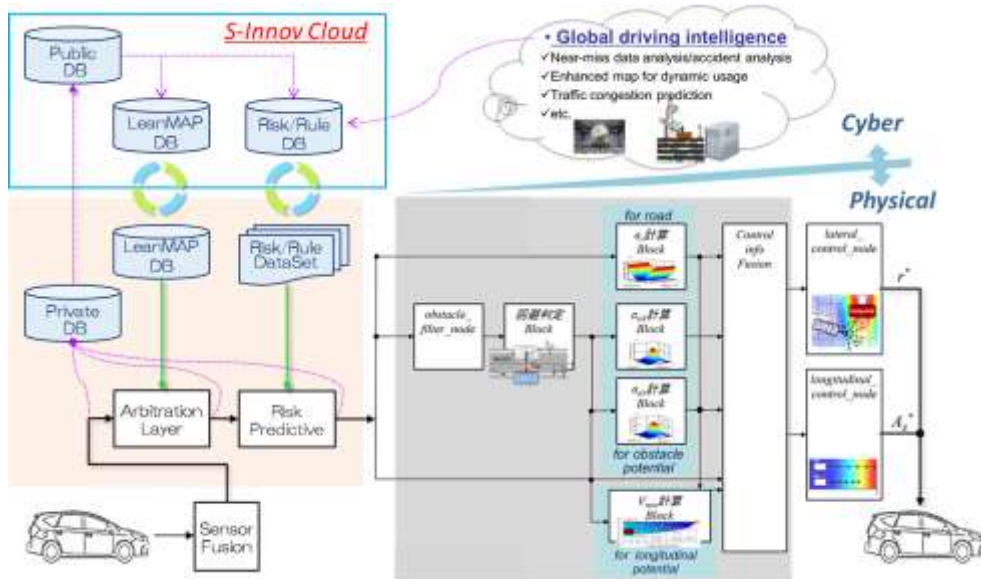


定量的に算出した事例を図⑮-4-4 に示す。



図⑮-4-4： 静的な危険因子を用いた危険度推定例

Sイノベが描く Cyber Physical System の進化型の潜在リスク予測システムは、図⑮-4-5 に示す構成が考えられる。

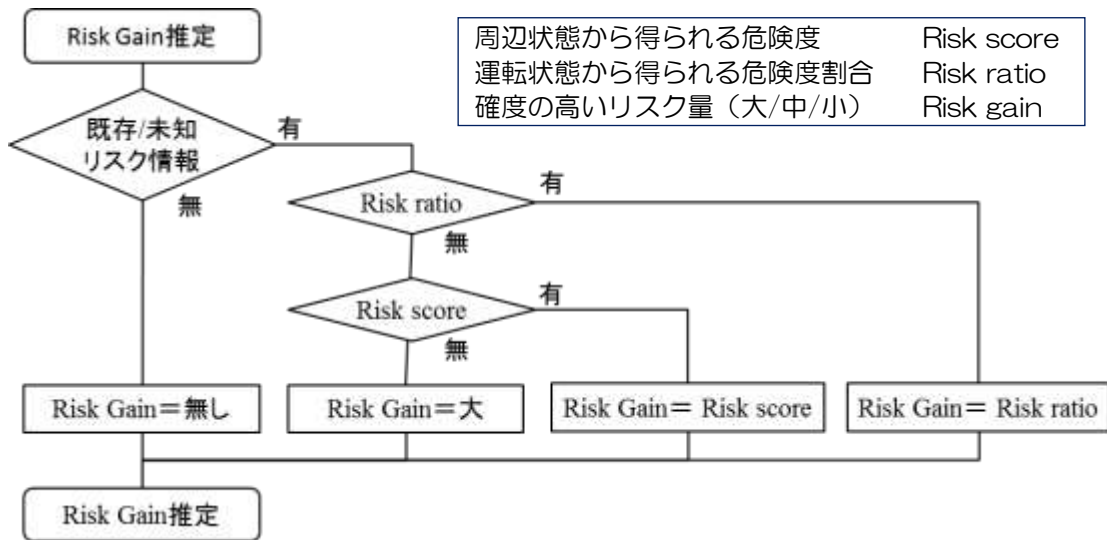


図⑮-4-5： 潜在リスク予測システム構成図

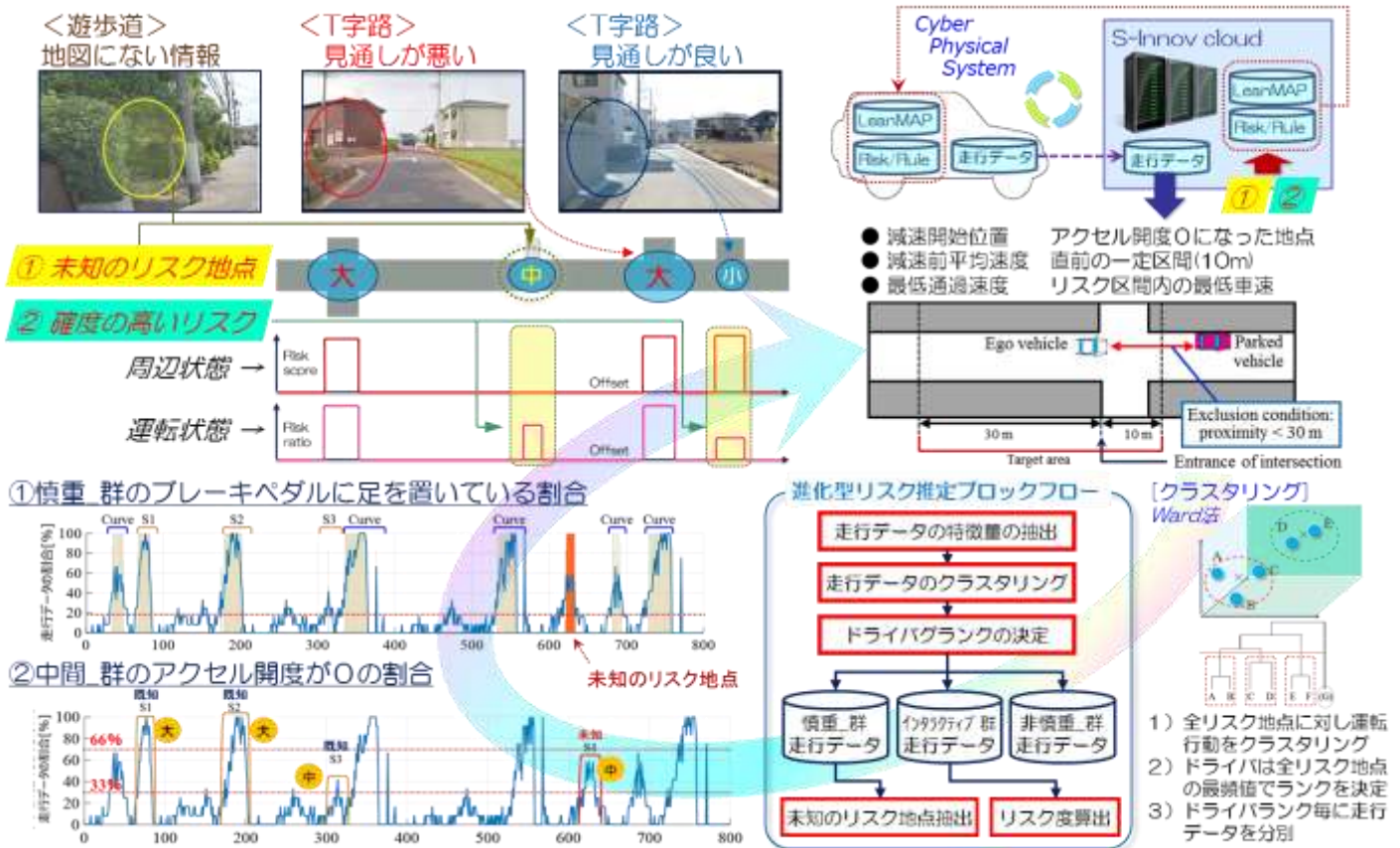
本研究では Cloud 側で進化する情報として、未知のリスク地点と危険度割合 (Risk ratio) を想定している。運転状態に関する情報が Cloud に送られ、未知のリスク地点抽出と危険度割合 (Risk ratio) を推定、Cloud 側 Lean MAP\_DB を更新、その後進化した情報が車両側に送られ、新たなデータを用いた潜在リスク予測を行う。

周辺状態から得られる危険度に加え、ドライバの運転行動に基づく進化型リスク推定手法(図⑮-4-7)を用いて潜在リスクを推定し、それを Risk gain(リスク量 大/中/小)として識別・更新していくプロセスを設計(図⑮-4-6)、検証した。

- ・未知のリスク地点
  - ・既存のリスク地点
  - ・運転状態の危険度割合 (Risk ratio)
  - ・周辺状態の危険度 (Risk ratio)
- 慎重なドライバの運転状態より未知のリスク地点を抽出  
DRMベースの交差点  
インタラクティブなドライバの運転状態より危険度割合を推定  
今回は図⑮-4-3 方式(静的因子から算出)



図⑮-4-6: 確度の高いリスクの識別・更新法

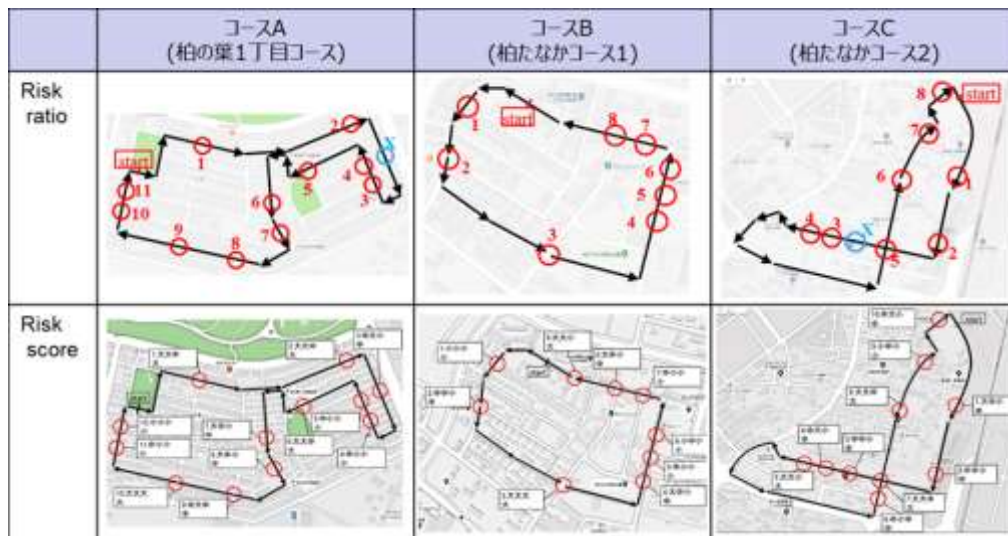


図⑮-4-7: ドライバの運転行動に基づく進化型リスク推定手法

◆潜在リスク推定法(Risk gain)検証結果

コースA： 既知リスク 11 地点/未知リスク 1 地点  
 コースB： 既知リスク 8 地点  
 コースC： 既知リスク 8 地点/未知リスク 1 地点

対象3コース, 全 29 リスク地点



Risk gain と指導員評価のκ係数とp値を算出

但し以下のリスク地点を除く

- ・ 指導員評価が分かれたスク地点
- ・ 未知のリスク地点  
Risk ratio が低く評価されやすい
- ・ コースA リスク地点 1  
潜在的なリスクが含まれる  
(網掛けデータを除いて算出)

算出結果  
 $\kappa = 0.6492$   
 $p = 0.0005$   
 ※一次の重み

〈結果〉

κ 係数は 0.65 ⇒ **かなりの一致**

κ 係数の目安

0.0~0.2: わずかに一致(slight agreement)  
 0.21~0.40: ますますの一致(fair agreement)  
 0.41~0.60: 中等度の一致(moderate agreement)  
 0.61~0.80: かなりの一致(substantial agreement)  
 0.81~1.0: ほぼ完全, 完全一致  
 (almost perfect or perfect agreement)

コース	Risk ratio		Risk score		Risk gain	指導員評価
	リスク地点	リスク値	リスク地点	リスク値		
A	1	小	1	大	小	大
	2	大	2	大	大	大
	X	小	3	小	小	中
	3	小	4	中	小	小
	4	小	5	小	小	小
	5	中	6	小	中	大
	6	中	7	中	中	-
	7	小	8	小	小	-
	8	大	9	中	大	中
	9	大	10	大	大	大
	10	小	11	小	小	小
	11	小	12	小	小	小
B	1	小	1	小	小	小
	2	小	2	中	小	中
	3	大	3	大	大	大
	4	小	4	小	小	-
	5	中	5	小	中	小
	6	小	6	小	小	小
	7	小	7	小	小	小
	8	中	8	中	中	-
	-	-	9	中	中	大
C	1	大	1	小	大	-
	2	小	2	小	小	中
	X	小	3	中	小	中
	3	大	4	中	大	-
	4	大	5	中	大	大
	-	-	6	中	中	中
	5	大	7	大	大	大
	6	大	8	大	大	大
7	中	9	小	中	小	
8	中	10	中	中	-	

図⑮-4-8: リスク地点別のリスク慮(Risk Gain)の評価

上記結果より, DRM ベースの地図にない未知のリスク地点(遊歩道, 駐車場出口)の抽出と, 確度の高いリスク量の推定が可能なが検証できた。

さて、未知の潜在リスク状況の検出システムをさらに拡張し、各潜在リスク地点のリスクレベル推定システムを開発した。先ずドライバタイプ推定システムのアルゴリズムを改良し、運転行動の実態に合わせたドライバタイプ推定が行えるようになった。以下に改良したドライバタイプ推定システム(図15-4-9)の概要を示す。

また、収集したデータの中からインタラクティブなドライバ群のデータを抽出し、減速準備行動の発生割合からリスクの推定を行い、都市毎のデータの分布を基に正規化を行う事で離散化リスクレベル(リスク大・中・小)を推定するシステムを開発した。この推定システムの評価を行うために、自動車教習所の運転指導員三名の協力の元で様々な交差点のリスクレベルの評価を行い、システムの推定結果と運転指導員の評価結果の比較を行った。

評価指標としてCohen の  $k$ 係数を計算したところ  $k=0.6724$  となり、両者の評価にはかなりの一致度(substantial agreement)があることが確認出来た。

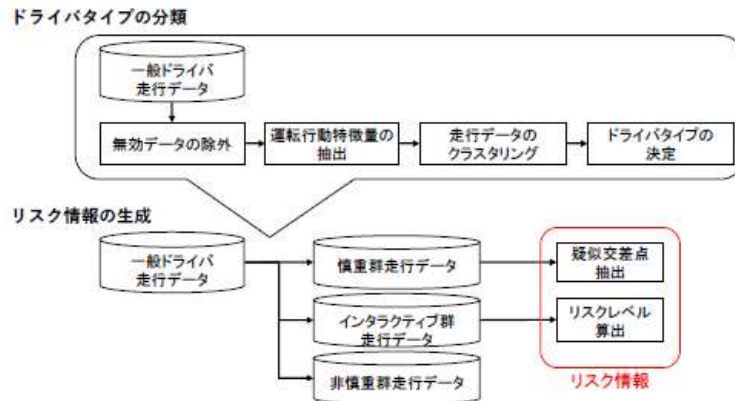


図15-4-9: 改良したドライバタイプ推定システム

また、上記のリスク推定システムで得られたリスク情報を基に、交差点のリスクレベルに応じたアダプティブな先読みブレーキ制御を実装し、柏の葉住宅街で受容性評価実験を実施した。

図15-4-10に実験に使用したコースの様子と、コース内の各交差点の様子を示す。

全部で6カ所の見通しの悪い交差点を設定した。それぞれ十字路や右からのT字路、左からのT字路と道路構造の特徴が異なっており、それに応じてリスクレベルも異なっている。この様な環境において、高齢ドライバ45名によるアダプティブな先読みブレーキの評価実験を実施した。図15-4-11に評価結果の一例を示す。

取得したデータの中で有効な34名のデータを分析しており、左側のグラフから減速制御に適正さを感じたか、じれったさを感じたか、違和感を覚えたか、という質問の回答となっている。それぞれ縦軸の数値が小さいほど設問に同意した回答となっている。通常の先読みブレーキとアダプティブな先読みブレーキを比較すると、ブレーキ制御の適正さの実感は向上し、じれったさと違和感は低下しており、それぞれ5%水準で有意な差が確認出来た。これらの結果から、交差点のリスクレベルに応じたアダプティブな先読みブレーキによって、受容性が改善される可能性が確認出来た。

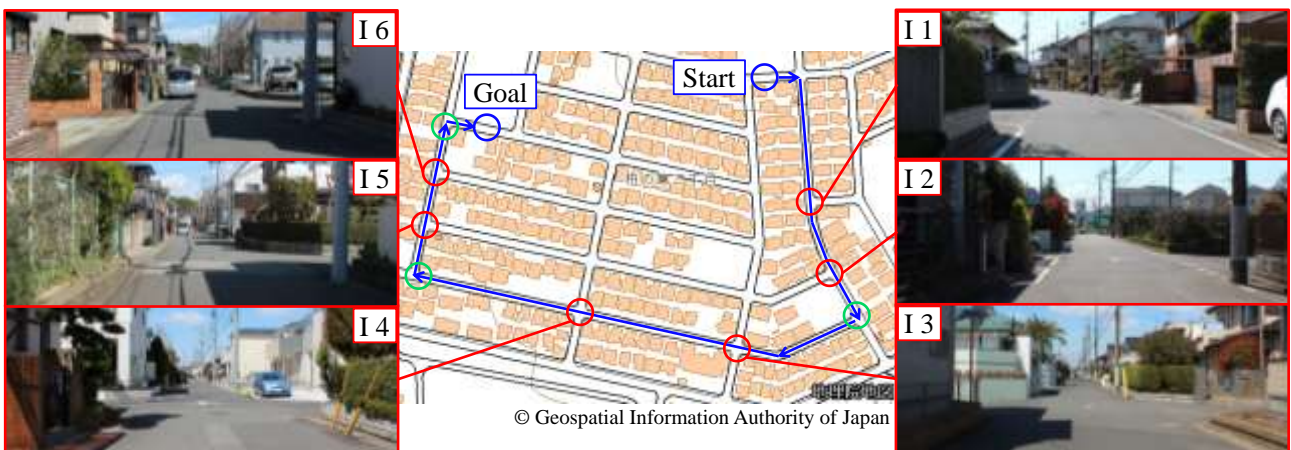
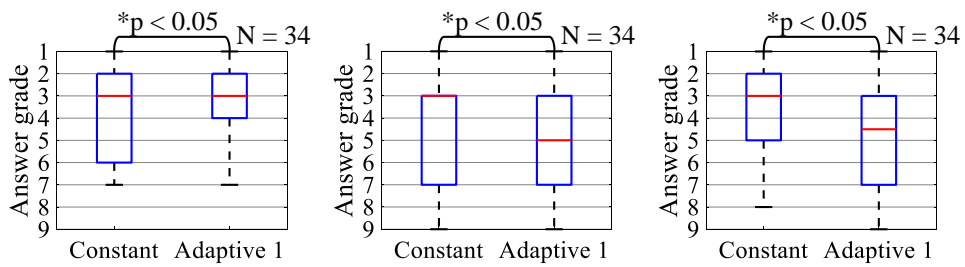


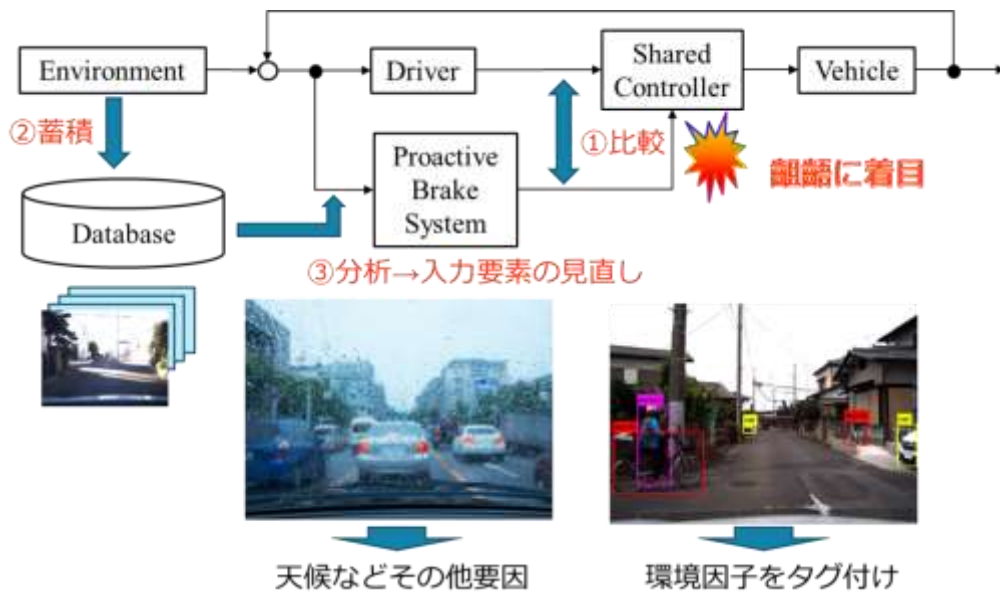
図15-4-10: 評価実験を実施したリスクレベルの異なる交差点の様子



図⑮-4-11: 通常の先読みブレーキとアダプティブな先読みブレーキの評価結果の比較  
 (左側から「適正さの実感」「じれったさ」「違和感」の評価。  
 縦軸の数値が小さい程, その様に感じている.)

非制御介入中の運転行動に注目し, データ駆動型のアプローチによって道路側のリスク評価に取り組んだ。次年度は, 制御介入中のデータに注目する事でドライバの制御介入修正意図が含まれる走行シーンを抽出し, 該当シーンに共通する外界環境構成要素を特定する。そして, その様な未検討要素への対処をデジタル地図又は自律運転知能に追加, Sイノベが描く Cyber Physical System の進化型の潜在リスク予測システムを実現する。

更に, 制御介入中のドライバの運転行動の齟齬に着目, 更なるリスク推定精度の向上が図れないか, 以下の定常化されていない環境因子抽出へのアプローチに挑戦している。



図⑮-4-12: 定常化されていない環境因子抽出へのアプローチ

## (5)公道及び高齢ドライバによるシェアード・コントロールの評価

本年度からは、このリスク予測運転型シェアード・コントロールの支援技術を製品応用に発展すべく、以下の課題(実施項目)を設定し、実車評価から安全余裕に着目したリスクの定量値化、環境由来のリスク因子とドライバ運転行動由来のリスク因子の結合方法、に取り組んでいる

### <取組みテーマ>

- ・ 危険因子をセンサで認識するか地図に埋め込むかの選択と、危険度予測モデルの実装
- ・ 気象や交通情報など時々刻々変化する危険因子の連動と、危険度予測モデルの深化
- ・ 実走行データの巡航速度、減速開始位置、交差点進入速度などの特徴量によるドライバのクスタリングと妥当性の評価手法
- ・ ポテンシャル場の広がりを表す分散のパラメータ定量値化
- ・ 合流、レーンチェンジなどへのシーン拡張と、ポテンシャル総和の定量値化
- ・ 物理的に決定した操作制御ゲインとドライバ評価の相関関係、ドライバの感じ方のばらつき考察
- ・ 道路形状変化や先行車等の動的な走行環境変化に対応したリスクポテンシャル場の貼付方法、熟練ドライバ運転行動比較リスクポテンシャル場を使った、自動運転性能評価指標への応用検討(解析手法検討と課題整理)
- ・ シーンとドライバと機械の分担率に着目した、リスク教示に適切な操作制御ゲインの物理的決定方法の確立、および実車ドライバ評価

上記の研究成果を高齢者や運転が未熟な人など安全運転が困難な人への摘要を視野に、ユースケースの設定、評価手法の構築、評価環境の構築し公道での高齢者実験を行ない、S イノベの研究成果(シェアード・コントロール & 潜在リスク認識技術)の製品化に取込む事を念頭に高齢ドライバによる被験者実験(総合FOT)により、受容性・安全性についての検証を深化させていく。

本課題では、先読み運転知能システム(リスク予測制御)と高齢ドライバのシェアード・コントロールを模擬試験レベルで有効性・受容性評価を行うことを目的とする。具体的には、実用化レベルを見据えた車両開発、ならびにリスク予測制御技術の精度向上を図り、これまでにも構築した物理ベースのリスクポテンシャルドライバモデルにおいて、安全性能と受容性を両立させるためにアルゴリズムのパラメータの最適化等を行う。また走行環境文脈および運転者個人の属性などからシーンの総合的リスクレベルを推定し、規範速度および最適軌道を個別の状況に適合する自律運転知能システムの詳細設計を行い、熟練ドライバモデルによる機械運転を高度化する。

上記の課題に対して、安全性能と受容性を両立させるためにアルゴリズムのパラメータの最適化、また走行環境文脈および運転者個人の属性などからシーンの総合的リスクレベルの推定に関する課題を実施した。具体的な実施内容は、以下である。

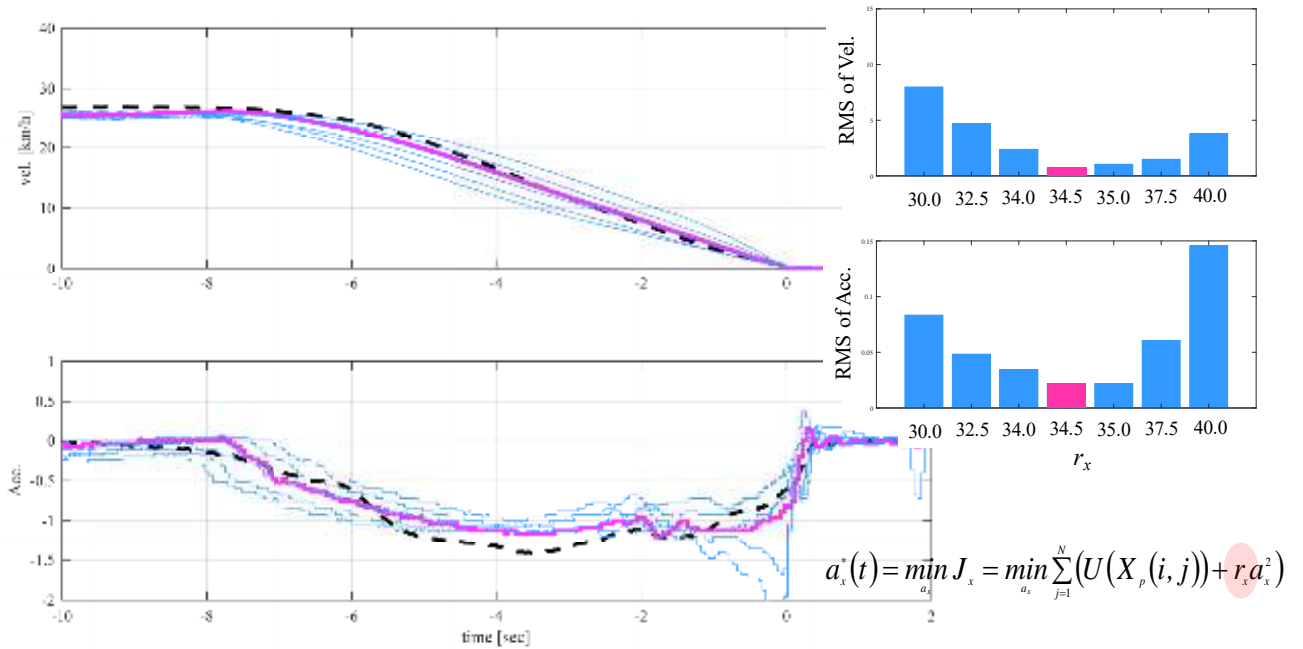
#### 1. 一時停止規制を有する交差点での減速・停止制御の構築、またパラメータ最適化

ステージ II で開発した一時停止規制を有する交差点での減速・停止制御の機能を公道実証実験(FOT)車両に実装・構築し、トヨタ自動車東富士研究の模擬市街路での機能検証、運転指導員相当の操作を模擬可能なパラメータ最適化の実施に留まらず、東京都小金井市の一般公道での動作・機能検証を終えた。

トヨタ自動車東富士研究の模擬市街路にて、計 5 名のテストドライバの一時停止規制を有する交差点での減速操作のデータを収集した。計 15 走行分のデータの収集から得られた結果は、図⑮-5-1 における黒色の破線(15 走行分のデータの平均値)である。これに対して、本課題では、ステージ II で開発した熟練ドライバモデルを改良のうえ、減速・停止制御の機能を公道実証実験(FOT)車両に実装・構築した。ここで、運転指導員相当の操作は、リスクポテンシャル最適化理論に基づき模擬可能であるが、本課題では、運転指導員相当の操作を模擬可能なパラメータの最適化を実施した。具体的には、リスクポテンシャル最適化理論における評価関数のうち、 $r_x$  のパラメータ最適化を図った。図⑮-5-1 は、重み  $r_x$  のパラメータの値を 30 から 40 の間で設定したうえでの減速・停止制御時の速度、また加減速度を示す。ピンク色の線は、重み  $r_x$  のパラメータの値を 30 から 40 の間で設定したうち、評価値(各々の RMS 値)が最も高かった値を示す。この結果が示すように、運転指導員相当の操作を模擬可能であることが確認できる。

上記の成果を踏まえ、トヨタ自動車東富士研究の模擬市街路で体験試乗を含む機能検証実験を実施した。そ

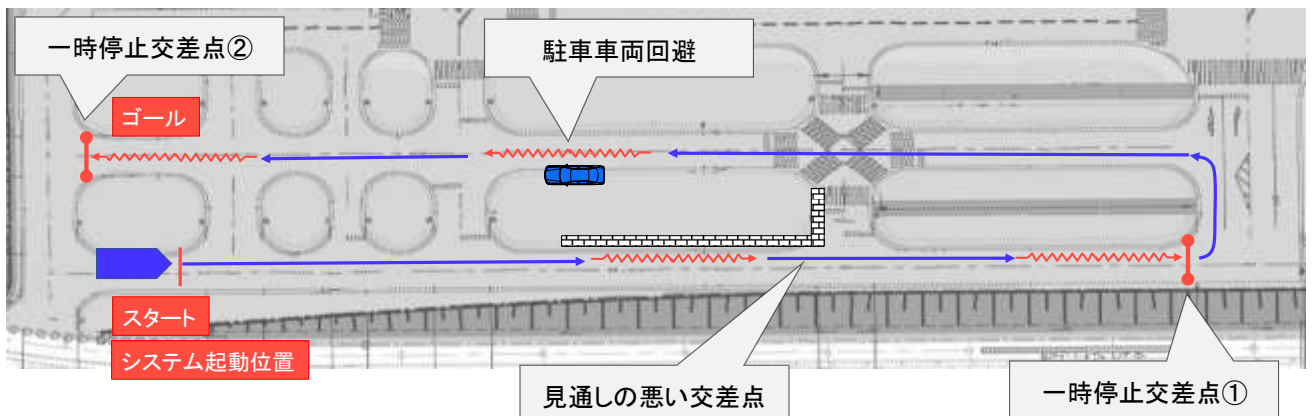
の手順, また概要等は, 図⑮-5-2 に示す. このとき得られた計測データの一部は, 図⑮-5-3 に示す. 図⑮-5-3 の上段は, 速度データ, また下段は, 加減速度データを示す. 青色の線プロットは, 計測値, 赤色の線プロットは, 目標値を示す. この結果が示すように, 見通しの悪い交差点での先読みブレーキの制御機能, また一時停止規制を含む交差点での自律減速・停止の制御機能は, 十分な制御性能を有していることを確認できる. 本課題では, この模擬市街路でのこの成果を踏まえ, 東京都小金井市の一般公道での機能検証を実施し, 公道において, 同様の制御性能を有していることを確認した.



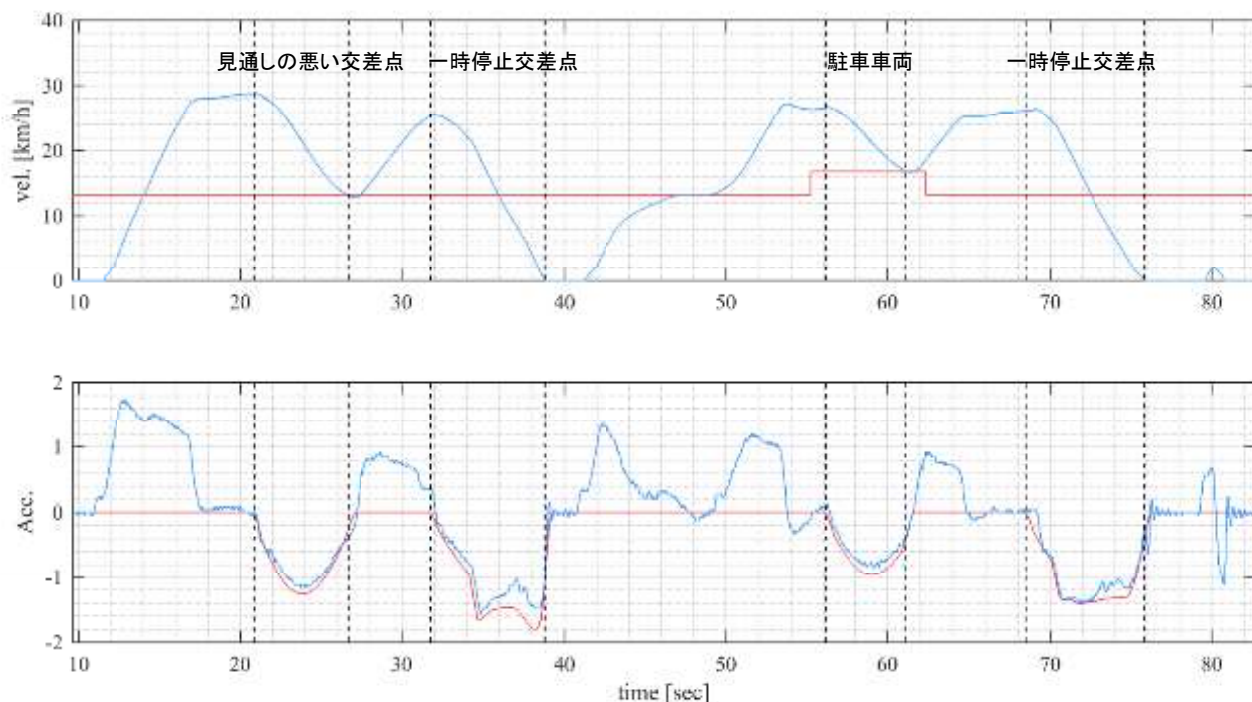
図⑮-5-1 パラメータ最適化の結果

### 試乗会の手順

1. 慣熟走行 1 周
2. 一時停止交差点での減速・停止制御の試乗走行 1 周
3. 見通しの悪い交差点, 一時停止交差点, 駐車車両回避の一連のシーンのもとでの試乗走行 1 周



図⑮-5-2 模擬市街路での体験試乗会の概要



図⑮-5-3 一時停止規制を含む交差点での減速・停止制御の機能検証結果

## 2. 走行環境文脈および運転者個人の属性などからシーンの総合的リスクレベルの推定

東京農工大学スマートモビリティ研究拠点では、2004年度から、ヒヤリハットデータベース(14万件超のニアミス・事故データを有す)を運用している。タクシーに搭載されたドライブレコーダは、前後加速度が  $-0.45\text{ G}$  を超えるとき、その検出より以前の10秒間と、検出後の5秒間の計15秒間の映像ならびに車両操作の情報等を自動的に記録する。計測されたイベントは、オフラインにて「アノテーション」と呼ばれる質的データを評定者によって付加される。本課題では、ヒヤリハットデータベースから危険なイベントが起こりうる状況等の潜在リスクを有する特定シーンをリストアップし、イベント発生の10秒前から危険場面の発生およびその危険場面のレベルを予測する高度なアルゴリズムを開発する。すなわち、複数のハザード要因(生活道路、交差点等)を含む走行環境文脈(Context)および車両運動データなどからシーンの危険度を判定(例えば、各種の文脈に対する相対リスクポテンシャルのレベルを大、中、小で分類)するアルゴリズムを確立する。さらに、その危険度レベルに応じた先読み運転知能システムとして、走行環境文脈に適合した規範速度追従制御系の設計へ展開する。

本件の目的は、ヒヤリハットデータを分析し、ヒヤリが発生した因子の抽出、その時の相対位置や速度などの物理状態、ドライバの運転行動の観点で整理することを第一の目的とし、次に、その整理に基づいて、潜在リスクおよびその危険度を算定する予測手法を考案することを第二の目的とした。これまでに実施した課題内容をベースに、シーンの拡張を実施し、具体的には、駐車車両の背後の死角からの歩行者の飛び出し場面に限らず、死角を含む無信号交差点からの歩行者、また自転車(サイクリスト)の急な横断シーンでの潜在危険度推定モデルを構築した。この実施事項において、ヒヤリハットデータベースからのシーン抽出、数千件のタグ付け作業等を含む。本研究で得られた成果は、複数のハザード要因(生活道路、交差点等)を含む走行環境文脈(Context)および車両運動データなどからシーンの危険度に関わる危険因子の同定(寄与度の抽出)を終えたこと、また潜在リスクおよびその危険度を算定する予測手法の基盤モデルを構築した点にある。



## 5. 競合技術との比較

当該技術の国内外での開発状況との比較, 社会情勢を踏まえた位置づけ

### 1) 協調運転の価値

近年, AIを用いた自動運転の技術が実用化されつつあるが, 自動化のレベルが上がっていくとともに, クルマの使われ方も変わり, 従来の運転価値の考え方も大きく変化していくものと予想される。例えば, 完全自動運転が実現した場合, 運転しなければクルマは動かないという概念はなくなり, 運転するよりも移動手段としてのメリットに何らかの付加価値を求めることになるかもしれない。しかし, 一方で, 決められたアルゴリズムで安全に目的地に到達するだけでなく, 自由に寄り道をして気ままに好きなのところに行きたいと思う欲求は残るという意見もある。運転欲求を満たす手段として依然として運転価値は変わらず, むしろ自動化が進むにつれてさらに高まるかもしれない。

もともと人と機械の関係を考える場合, 機械が人の作業そのものを代用するか, あるいは, 人の作業の傍らで支援するのか, その目的によってシステムの構成や制御の考え方が大きく異なってくる。S-Iノベが目指すところは, 後者に位置付けられ, いわゆる高度運転支援システムに該当する(図 5-1)。このような考え方にもとづいた運転協調システムは世界初である。日本では, 機械を単なる道具としてではなく, ある種の愛着をもって受け容れるといった文化があるように思われる。日本独創という考え方の背景には, 機械とのインタラクションに無意識的に意味付けをしてコミュニケーションをとるという発想がある(図 5-2)。S-Iノベでは, 明示的なシステムとしては要件化されていないが, 協調運転は結果的にそのような効果を副次的に生むのではないかとと思われる。

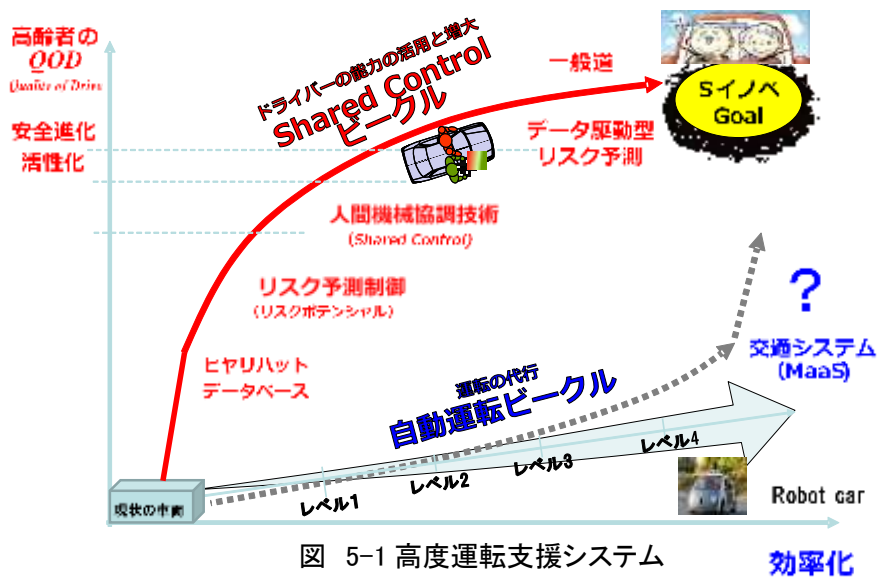


図 5-1 高度運転支援システム



図 5-2 協調運転の価値

2) 高齢者社会への対応

S イノベのビジョンにおいて「高齢者課題の解決」とあるのは、自動化にともなう「人と機械の関係」を考えるうえで、もっとも直近な課題として、高齢者にとってのクルマとは何かを問い、さらに来たるべき自動運転社会を人に優しいものとしたい思いから来ている(図 5-3)。誰しも高齢になると、若い時分のように運転することができなくなる。もう少し運転をしたいと思っても、不安が先にくるようになる。しかし、その場合でも、最新の運転支援技術によって運転能力を維持でき、危険が迫っている状況でもシステムと本人が協調して危険を回避できるようになれば、高齢者の運転に対する安心・安全につながり、さらに自由に社会活動できるというモチベーションを高めることにもなる。

昨今の痛ましい高齢者の事故が記事やニュースで話題になるたびに、真っ先にその対応として免許返納に対する議論が盛んになされている。しかし残念ながら、人とクルマが協調して事故を回避するという点については、ほとんど議論がされていない。完全自動運転も解決策のひとつであるが、まだ先の技術であり、短期的な対策として選択肢には成り得ない。完全自動運転で一般道を走行する場合、環境認識や高精度地図などの数多くの技術的課題があり、製品化のハードルは高い。

S イノベで提唱する協調運転は、人が関与しない完全自動運転とは異なり、「先読み運転知能」「シェアード・コントロール」を特徴としており、ドライバとのやりとりのなかでリスクを回避しようとするものである。協調運転の場合、運転支援の条件を絞れば、製品化はかなり現実的になる。また、実装上也物理的なシステム設計において、自動運転のハードを活用できるため、自動運転の要素性能のレベルに応じて少しずつでも協調運転システムを組み込むことができる。今後の自動運転の広がりを考えると、ユーザの受けるメリットが多いシステムと言える。

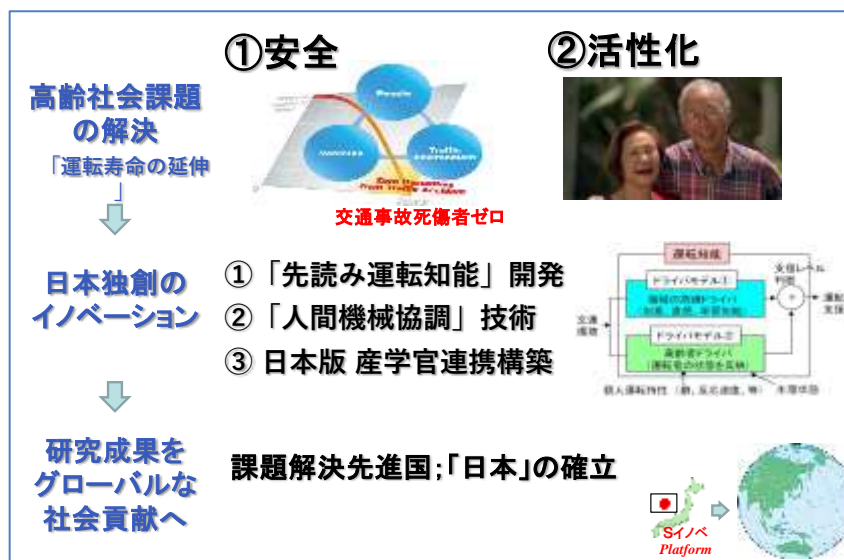


図 5-3 S イノベで提唱する協調運転

3) 類似のプロジェクトとの違い

高度運転支援を目指した国プロとしては、名古屋 COI の取組みがある。COI では、目指している姿はほぼ同様であるが、基礎研究を含む高度な個別適合を目指している。大学での研究が主体で、S イノベでの産学連携の体制とは取り組み方が異なり、実用化の時期は特定に至っていない。

トヨタ自動車の米国研究組織である TRI では、AI 研究のほか、MIT やスタンフォード大とガーディアンエンジェルと称する高度運転支援の研究も行っている。これらは S イノベと同様にトヨタ自動車が提唱するチームメイトコンセプトにつながるものであるが、米国とは走行環境がまるで異なり、高齢者を対象とする S イノベとの類似性は少ない。

## 6. 研究体制の状況と問題点

本研究は2011年、トヨタ自動車・東京農工大・東京大学・豊田中央研究所の4機関での産学共同の研究開発体制で立ち上がった。企業からはトヨタ自動車の先端技術のシーズ探索を行なう部署であるFP(Future Product)部主査の井上秀雄が豊田中央研究所を含む企業主管部署の代表として産学共同研究開発体制の纏め役として代表に付いた。学域からは、東京大学大学院新領域創成科学研究科 人間環境学専攻 教授であり、高齢社会総合研究機構、機構長を務める鎌田実、東京農工大学工学部 機械システム工学科 スマートモビリティ研究拠点の教授永井正夫が参加し、それぞれ、ジェロントロジー(老年学)の視点からの機械工学/交通工学・“Vehicle Dynamics and Control”の研究分野第一人者として、本プロジェクトのステージⅠ要素技術技術開発、ステージⅡ実験車両構築を牽引した。その後、ステージⅢFOT 実験段階で、井上秀雄の学域への異動(神奈川工科大学 先端自動車技術開発研究所)、および永井正夫の(一財)日本自動車研究所 所長就任に伴い、両推進役の変更という問題に直面したが、神奈川工科大学・日本自動車研究所が研究体制の枠組みに加わる事になり、FOT 実証実験の加速、評価基準の策定に大きく貢献した。

一方、トヨタ自動車はステージⅠ、ステージⅡでは立上げ時よりシーズ探索の一環としてFP部で対応していたが、ステージⅢ段階で今後の市場性ならびに技術の拡がりを見据え、本プロジェクトに従事するメンバ全員が実験部署である先進安全性能開発部に異動、更にはステージⅢ途中では、トヨタ自動車内の組織改編で新たに生まれた自動運転・先進安全開発部内の自動運転を含む先進安全分野のリスク予測を担う中核グループのメンバとして全員が任命された。

産学共同で研究開発を行ってきた相乗効果としては、学域には学域単独では準備できない実験車両といった研究資源の確保や、製品としての車両制御技術に関する情報の企業からの提示といったことが、研究の加速をもたらし、企業としては大使学術的な視点からの検証やSイノベで築いてきた基盤(コンセプト・技術)をベースに、NEDO次世代人工知能プロジェクト事業・名古屋大COI・内閣府SIPプロジェクトといった関連する国プロとも連携し、事業化に向けた研究の推進が機能した。前述のトヨタ自動車内に2019年1月に立ち上がった自動運転・先進安全開発部は1000人超の大部隊であり、今後のトヨタ自動車の経営戦力上、最重要視される部署である。このような部署が生まれた背景には、本研究課題の研究成果を組織にインプットし続けたことが深く関与していることも付記しておく。

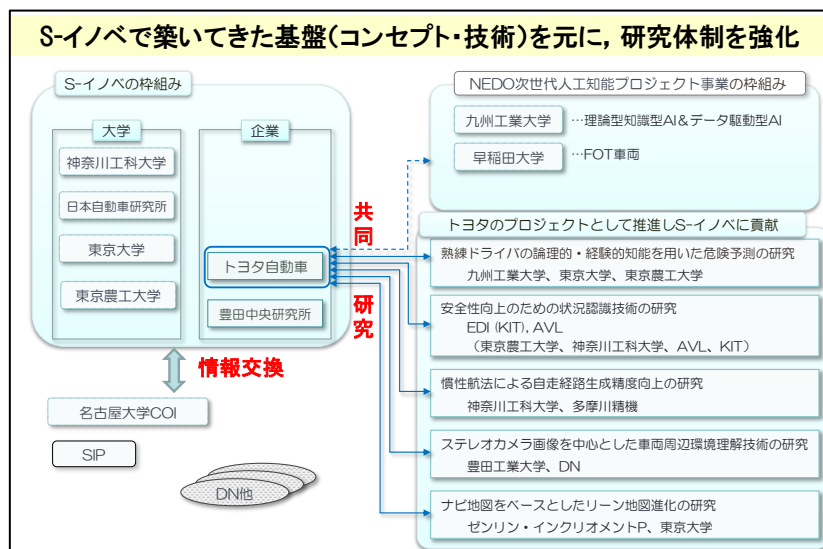


図6 研究体制と共同研究

## 7. 情報共有について

S イノベでの情報発信は「国・政策」への情報発信では東京大学 鎌田教授、日本自動車研究所 永井所長が内閣府・国土交通省・経済産業省・警察庁といった本課題に直接関係する省庁に対して、有識者として関与する立場から広く発信した。産学連携・メディアへの発信・国際大学連携といったグローバル発信についても参加する各機関のリーダが中心になり取組、実績を残した。(図 7-1 S イノベメンバの各界への情報発信)

2019年9月には永井・鎌田が中心になり、日本学術会議のフォーラム、「自動車の自動運転の社会的について」(副題:移動の本能と新しい社会のデザイン)をこの分野のトップ研究者を集め幅広く議論した。

課題間連携では2018年4月、東京大学高齢社会総合研究機構(秋山弘子教授)が中心となり町内会、NPO 法人タウンサポート鎌倉今泉台が運営する「鎌倉リビング・ラボ」をスウェーデン王国カール16世グスタフ国王陛下・王妃陛下と高円宮妃久子様が訪問した際にS イノベの他課題である「生活支援ロボットシステム」などともにデモ、国王陛下にS イノベで開発中のFOT車両に乗車いただき、国王陛下・王妃陛下に向け、研究開発の概要の説明・日本の高齢者のモビリティ問題への取組を紹介するとともに、マスコミへの情報発信を実施した。(図 7-2 スウェーデン国王陛下・鎌倉リビング・ラボ訪問風景)



図 7-1 S イノベメンバの各界への情報発信



図 7-2 スウェーデン国王陛下・鎌倉リビング・ラボ訪問風景

「大船地域づくり会議」ホームページより<<https://o-f-n.jp/news/2018/06271/>>

## 8. 今後の計画

製品群, サービス群の名称: 第3世代/次世代トヨタセーフティセンス(TSS)向け機能要素技術

(1) -1 目指す製品群, サービス群について

- (a) 特長: ドライバのミス等をカバーし, 安全運転をサポートする技術の機能要素を対応する。  
1つ目は緩ブレーキ制御設計, 2つ目はリスクポテンシャル貼合技術を用いた複数物標シーン対応アルゴリズム, 3つ目は危険予知技術を用いた潜在リスク予測モデルである。

(b) 研究開発の進捗状況

S-イノベ開始時のTRLレベル: 1      S-イノベ終了時のTRLレベル: 5

- (c) 上市目標時期(製品, サービス毎): 2020年代前半より順次  
(d) 市場規模: 世界/日本のADAS分野(車載電装システム) 5300億円  
(e) 目標の市場獲得シェア: 10%台  
(f) 今後必要な研究開発資金: 第3ステージマッチングファンド80百万円相当以上  
(g) 今後の研究開発資金源: 企業の自己資金で実施  
(h) 上市のために達成すべき目標/解決すべき課題とその達成/解決方法

- ① 認識精度を考慮したアルゴリズムの改良, 指令値のガード技術  
⇒アルゴリズムの目標機能に対して, 製品仕様の認識センサを前提とした場合の精度で性能実力を理論/実験から整理. 得られた結果を使って指令値のガード処理をアルゴリズム内に織込み
- ② 他システムとの機能整合性, 試作実験車での機能評価  
⇒他システムを一覧とする機能マトリックスを作成. 相互影響を及ぼす項目に対して, 詳細のデザインレビューを実施. 製品仕様が搭載された試作実験車を作成. デザインレビューで洗い出した確認項目を一つずつ検証
- ③ 海外展開を見据えた各国道路環境のケーススタディ  
⇒従来のADAS開発で得られている各国道路環境データを活用. 狙いたい機能に対して, 認識・判断・操作アルゴリズムが狙い通りの実力が成立するか, 机上で検証
- ④ 各国FOT(Field Operational Test)データを活用した大規模解析  
⇒既存のFOTデータ分析システムを活用. 各国で得られた実認識信号を開発アルゴリズムに流し込み, 正作動, 不作動, 不要作動の発生頻度を評価
- ⑤ 安全性と受容性の評価緻密化  
⇒トヨタドライビングシミュレータを活用し, 追加の被験者実験を実施. トヨタエキスパートドライバによる公道評価の実施. 得られた知見を使って, 開発アルゴリズムの設計定数を緻密化

(2) -1 研究開発計画表

別紙の通り.

(3) -1 事業化計画表

別紙の通り.

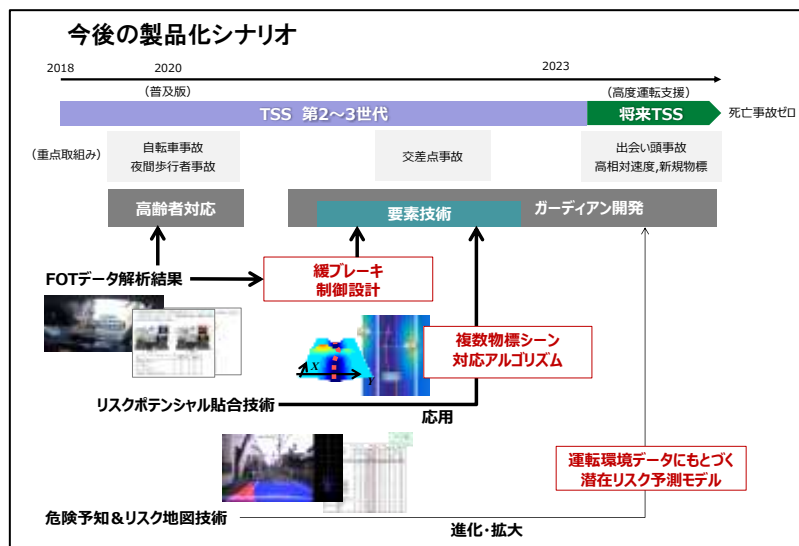


図8 企業における今後の製品化シナリオ

## 9. その他(委託研究開始時から現在までの情報)

本研究の委託研究開始時から現在(令和元年 10 月)までの論文・社外発表・受賞などの概要は以下の通りである。

- ・知財出願: 29 件 国内(14)・海外(15)
- ・知財登録: 6 件 国内(4)・海外(2)
- ・論文発表: 51 件 国内(32)・海外(19)  
上記の内, 査読付き発表: 28 件 国内(11)・海外(17)
- ・招待講演, 口頭講演, ポスター発表: 259 件 国内(141)・海外(118)
- ・新聞雑誌掲載・TV 放送・シンポジウム開催・他情報発信イベント等: 51 件
- ・受賞: 15 件

各詳細は「付録 9. その他(委託研究開始時から現在までの情報) 詳細情報」に記す。

また, 各機関の代表的な(受賞に結び付いた, インパクトの大きかった)論文・発表等を以下に記す。

### 【東京農工大学】

- ・【査読あり】Shintaro Saigo, Pongsathorn Raksincharoensak and Masao Nagai, Investigation of Inattentive Driving Estimation Method by Using Longitudinal and Lateral Driver Operational Models, SAE Int. J. Passenger Cars – Electron. Electr. Syst. 6(1):27-33, 2013 (国際会議 APAC-17 Best Paper Award 受賞)
- ・【査読あり】Pongsathorn Raksincharoensak, Takahiro Hasegawa, and Masao Nagai, Motion Planning and Control of Autonomous Driving Intelligence System Based on Risk Potential Optimization Framework, International Journal of Automotive Engineering, vol. 7, no.1, pp. 53-60 (2016) (AVEC'14 Best Paper Award の Finalist に選ばれ, IJAE 特集号として推薦された論文)
- ・【査読あり】齊藤 裕一, 三本喬之, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 潜在リスク予測ドライバモデルに基づくブレーキ制御支援システムの設計と有効性評価, 自動車技術会論文集, Vol.47, No. 6, pp. 1417-1424, 2016.(自動車技術会賞論文賞 受賞論文受賞)

### 【東京大学】

- ・【査読あり】Novel Map Platform based on Primitive Elements of Traffic Environments for Automated Driving Technologies Ito, T., Mio, M., Tohriyama, K., & Kamata, M International Journal of Automotive Engineering 7(4) 143-151 2016 年 12 月 (本論文のもととなった研究を FAST zero 2015 で発表した際に Best paper Awards の Finalist に選出)
- ・【査読あり】Data-based Modification System of LeanMAP Contents for Automated Driving Ito, T., Nakamura, S., Tohriyama, K., & Kamata, M International Journal of Automotive Engineering 9(3) 115-123 2018 年 7 月 (自動車技術会賞論文賞 優秀講演賞受賞)
- ・【査読あり】Detection Technology of Road Marks Utilizing Combination of Partial Templates Nakamura, S., Ito, T., Kinoshita, T., & Kamata, M International Journal of Automotive Engineering 9(3) 105-114 2018 年 7 月 (本論文のもととなった研究が評価され堀場雅夫賞(特別賞)受賞)

### 【豊田中央研究所】

- ・【査読あり】清水 司, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 大桑政幸, “緊急ブレーキを仮定した衝突速度に基づく潜在リスクの定量化”, 自動車技術会論文集, Vol.47, No.6, pp.1411-1416 (2016) (自動車技術会賞論文賞 優秀講演賞受賞)
- ・【査読あり】Tsukasa Shimizu, Pongsathorn Raksincharoensak, Motion Planning Via Optimization of Risk Quantified by Collision Velocity Accompanied with AEB Activation, ICVES 2017, Austria, 2017/06/27.

### 【神奈川工科大学】

- ・【招待】井上秀雄, 高齢社会に向けたクルマの知能化, 電気学会・電子情報通信学会・情報処理学会合同企画「交通インフラ・モビリティを支える科学技術」, 豊田, 2016.9.12
- ・【国内会議・特別講演】井上秀雄(神奈川工科大学), Autonomous Driving Intelligence for a Safer and More Secure Traffic Society for Elderly Drivers, Presentation for the Sweden Royal Couple, Kamakura city hall, Kamakura, 2018 年 4 月 25 日

### 【日本自動車研究所】

- ・永井正夫, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 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, 精密工学会誌, Vol. 81, No. 1, pp. 26-29, 2015
- ・永井正夫, 交通ビッグデータを基にした先読み運転知能の開発, 小特集「ビッグデータ時代のロボットの社会的利用」, 電子情報通信学会誌, Vol. 99, No.6, 2016

### 【トヨタ自動車】

- ・【査読あり】井上慎太郎, 小澤拓巳, 平野豊, 井上秀雄, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, DYC と操舵支援による人間機械協調型運転支援システムに関する研究—経路追従走行における高齢ドライバへの支援効果—, 自動車技術会論文集, Vol.47, No.3, 2016 (本論文が評価され浅原賞学術奨励賞受賞)
- ・ Masao Nagai, Hideo Inoue, Research into ADAS with Autonomous Driving Intelligence for Future Innovation, Chassis Tech Plus 2014, 23-25 June 2014, Munich, Germany

## 10. 中間評価を踏まえての対応, 改善点, 実用化に向けた取り組みなど

### 1) 高齢者の多様性への対応

高齢者といっても、身体的に健康で活動的な人から、病を抱えて日常生活に支障を来すような人まで様々であり、その範囲は幅広く、一括りにして議論することは難しい。基本的に S イノベでは、今後数百万人に増加すると言われる軽度認知障害(MCI)を念頭に設計している、認知症とされるほどではなく、運転に困難をきたす程度でもない、MCI 傾向の高齢者の運転能力を維持し、モチベーションを高めることを目指している。第Ⅲステージにおける実証試験では、プレサーベイとして認知機能と運転能力との関係を調査し、前後制御による効果を確認することができた。ステージⅠより試験に参加して頂いた高齢者の数も 800 名弱近くになり、幅広いプロファイルにもとづいた実証試験を行ってきた。

### 2) 自動運転との差別化

自動運転は基本的に人の操作を必要としないのに対して、自律運転は人の操作を前提としている。その点において、制御システムの分類としては、自動運転のような運転代用ではなく、自律運転としての運転支援に属する。自動運転の場合も、レベル 2 や一部のレベル 3 においては、人の操作を要求する場合があるが、それはマニュアル運転であり、システムとドライバーが協調して運転するような仕組みにはなっていない。ただし、自動運転とマニュアル運転の切り替え時に人とシステムのやりとりが発生するが、自律運転における運転知能とはまったく異なるインタラクションである。

### 3) 高齢者ドライバーと熟練ドライバーとのパラメータ設定等について最適化

シェアード・コントロールにおける左右制御では、熟練ドライバーの操作を参照目標として、実際の操作量を予測し、ドライバー操作との差分からドライバーに付与する操作力を算出している。熟練ドライバーの操作に関しては、時系列データとして収集分析し、その特徴を抽出し、パラメータ設定している。また、ドライバーに付与する操作力についても、差分をそのまま出すのではなく、適切な割合を実際の試験において、最適化したものを実証試験では用いている。前後制御においても、熟練者の速度プロファイルにもとづいて速度の参照目標を設定し、潜在リスクに応じて位置、速度、加速度をパラメータ設定している。

### 4) ドライバーの個性に対する対応

今回は、製品化を想定して、どの高齢者も受容できる目標の設定を目指している。その受容性の確認は、ステージⅢのねらいのひとつである。個々には感覚的な否定意見も見られたが、客観的には事故防止、利便性、負担軽減などの効果に対して肯定的な評価となっており、全体的に、導入期待は高く、このままでも十分に製品化の目途付けはできている。現段階で、個人適合は考えていないが、今後の S イノベのシステムをベースとして、ドライバモニタなどを追加し、個人の好みに合わせた制御へと発展させることは十分に可能である。

### 5) システムの社会にもたらす効果

直接的な効果としては、65 歳以上の高齢者の死亡事故低減を目指している。政府統計によると、なかでも自動車乗車中および歩行中の占める割合が多く、なかでも信号無視、一時不停止、交差点安全進行などが多い(図 10-1)。システムが製品化されてからも、市場からのデータを吸い上げ、その効果を追跡調査していきたい。

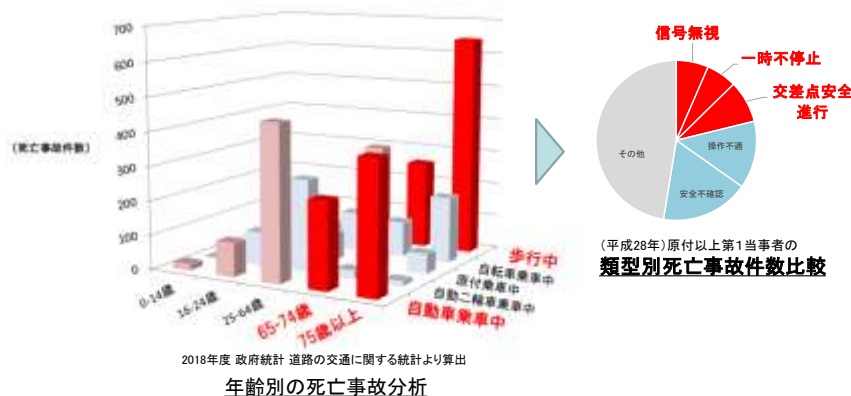
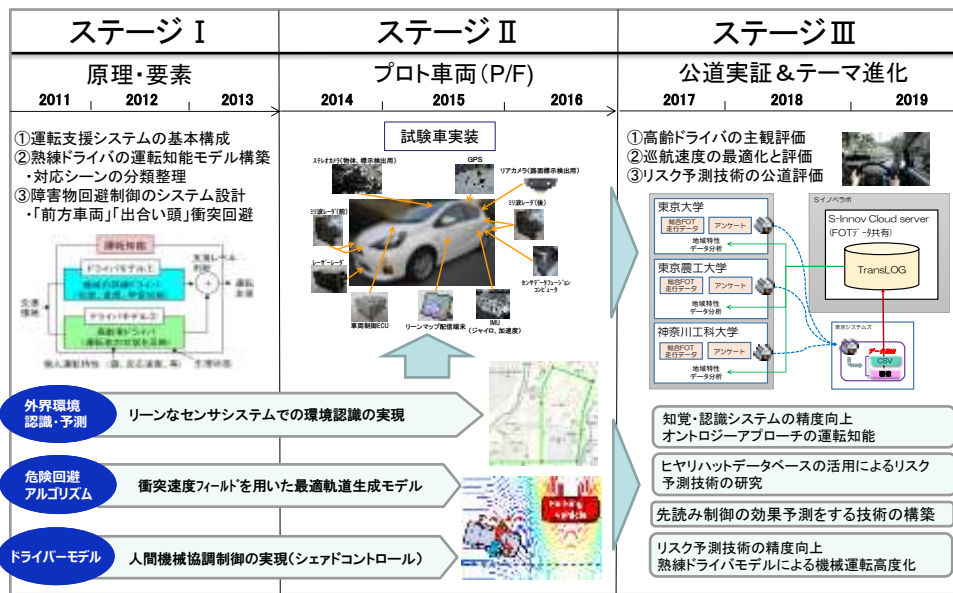


図 10-1

## 11. S-イノベでの研究開発を振り返って

### Sイノベ10年プロジェクトの経緯



実用化に向け、基礎・応用・評価を10年サイクルにて研究開発

図 11-1

#### 1) スタートまでの経緯

2009年に、世界最先端研究の公募があり、「高度運転支援(トヨタ自動車、東京大学)」及び「ドラレコデータベースによる事故分析(トヨタ自動車、東京農工大)」を検討する2つのチームが立ち上がり、議論を重ねた。当時は、自動運転についてはDARPAのアーバンチャレンジ2007により、重装備の自律運転によるコンテストがなされている状況であった。(もっと以前は1990年代に磁気マーカ等のインフラを前提とした自動運転のプロジェクトが欧米日で行われていたが、インフラコストを勘案すると実現困難という結論になり、その後は技術を運転支援へ振り向ける傾向)

高度運転支援の提案について、従来はフィードバック制御が主体であったが、熟練ドライバーの先読みをドライバーモデルに取り入れることで、もっとスムーズに動かせると考えた。そこで、例えば、前方車両との衝突回避において、衝突直前(TTC1秒以内)ではなく、TTC5-10秒程度のところでの先読みを自律運転知能に行わせて、高度運転支援を実現するようなことを申請した。

残念ながら、2つの提案はヒアリングまで行ったが、自動車の安全はメーカーが行うことという意見も強く不採択となった。

その後、JSTのSイノベのプログラムにおいて、小宮山先生が委員長となって、真に社会の課題を解決するような形のテーマを取り上げたいとのことで、高齢社会にむけた技術革新のテーマでいくこととなり、伊福部先生をPOとして領域が設定された。2010年にワークショップ等を開催後、まずは企画調査FSとして公募がなされ、上記2テーマを合体させた形での提案とし、採択8テーマの一つとなった。2011年に、このFSの時期に、10年計画で、将来の実用化を目指した中身の詳細の議論をしっかりと行った。

#### 2) コンセプトの中身

2011年当時は、完全自動運転というと、DARPAでの取り組みくらいであり、重装備の自律運転車両は高価であり、実用化には程遠いという感じであった。Sイノベとしては、高齢者の日常生活の足としての車を高度化することにより、生活のQOLを高め、健康維持につながるようなところをゴールとして定めた。そこでのコア技術としては、環境センシング、熟練ドライバーモデル、人間機械協調操作で、それぞれの部分において、目標を決めていった。

完全自動運転については、グーグルが2012年頃から公道走行テストを始めていたが、重装備のセンサは車10台分くらいのコストがかかるし、米国の主要道での走行は、日本の走行環境に比べるとシンプルな条件下である。



完全自動運転を、日本の高齢者の生活範囲で行おうとすると、技術的にも法制度等の面からもハードルが高くなるので、2020年代の初期の実用化を目指すとなると、自律運転知能を有した高度運転支援が適当であり、それが高齢ドライバーの運転寿命延伸にもつながると考えられた。

### 3) キーとなる技術：

- (1) リーン地図とシンプルなセンサ構成の自己位置認識，大域的経路計画，周辺環境認識
- (2) ヒヤリハット DB とリスクポテンシャルを用いた局所的経路計画，速度制御
- (3) ドライバとシステムの協調による運転操作

(1)については、高速道路等での自動運転では3D 高精度地図を前提としているが、地方の生活道路等まで展開は不可能と考えられ、シンプルなやり方を提案した。さらに、白線のかすれ、道路境界認識、信号認識などにも新たな手法を提案。

(2)については、12 万件ある農工大のヒヤリハット DB やオントロジーによって、先読み運転が可能のようにリスクポテンシャルで経路計画を決定する手法を提案。

(3)については、高齢ドライバーの特性を把握しつつ、シェアードドライブと称する人間機械系のあり方を検討し、安全でスムーズな協調運転を実現する手法を提案。

### 4) 自動運転の動き

完全自動運転については、2012年頃からの米IT企業の参入、2013年秋に日本の国会議事堂周辺での自動運転デモ(首相の試乗)、欧米の各メーカ等での取組みなどが進められてきており、技術的な進展、法制度等の非技術面での検討がなされており、コストを気にしないシンプルな環境では完全自動で車を動かすことが可能になっている。自家用車については、高速道路のレベル2から徐々にレベルアップしていく流れ、サービスカーと称する事業用車(配車アプリサービス等のライドシェアの無人化)については、人件費が削減できるので重装備の車での完全自動化を目指す流れ、この他、低速の無人シャトルの自動運転や、高速道路等でのトラックの隊列運転(後続車が無人)といったものが進められている。

技術的な進歩は色々あるものの、高精度3D 地図を前提としていると一般道への横展開が難しく、また画像処理が進んでいるが、難しい走行環境までクリアするにはまだまだ時間がかかりそうである。法制度の検討も進められ、遠隔監視・操縦により、ドライバーが車内にいなくても自動で車を動かせるようになってきている。(完全無人化を認めるにはまだ時間がかかりそう)

こういう流れのなかで、日本では、官民 ITS 構想ロードマップを毎年改定しているが、2020年以降のロードマップも描かれるようになってきているものの、一般道も含めた完全自動運転の困難さが認識されるようになり、全体のトーンがやや下げられ、高度運転支援を明記するようになってきている。

これは、S イノベの取組みで、ブレずにしっかり目標を定めて行ってきた内容が、国や関係方面にも理解されてきたことによると思われる。

### 5) 10年かけてやる産学連携の意義

これまでの大学と自動車会社の共同研究は、委託研究の感覚に近く、両者が対等な目線で胸襟を開いて語り合う雰囲気ではなかった。今回のプロジェクトでは、大学側も企業内に入り込んで、一緒になって研究開発・課題解決に取り組み、数々の成果をだしてきた。そこでは、お互いの相互理解と、持っている経験やスキルを相互補完することで、通常共同研究より一段高い所の目標設定に応える内容の取組みとなった。

また、3年を一単位として、10年後のゴールを見据えた上でのマイルストーンをしっかりと定め、要素技術開発・システム化と実車実装・実車走行試験 FOT のそれぞれに対し、無駄のない取組みを実施することができた。ゴールからのバックキャストを行うことで、過剰な目標でなく、的確な設定を行って、世の中の自動運転の波に惑わされることなく、やるべきことができたともいえる。

さらに、技術の詳細はトヨタ等との共同研究であるが、コンセプトそのものは個社とだけ共有するのではなく、広く目指すべき姿として業界内でのオープンイノベーションとして、他社や省庁・ジャーナリストも交えた研究会も実施し、交通安全全般について議論し、高度運転支援のあり方への共通理解を深めてきた。

このように、技術の革新により社会課題を解決するという大きな命題に対し、今回のプロジェクトは、産学連携体制による長期プロジェクトとして模範例になるべき内容を有していると自負している。

## 6) POの特筆すべきマネジメント(謝辞)

本研究課題は科学技術振興機構のS-イノベ(戦略的イノベーション創出推進プログラム)における研究開発テーマ「高齢社会を豊かにする科学・技術・システムの創成」の、その一課題である「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」として実施された。これからの高齢化社会を「移動」という切り口で解決するという理念のもと、最初の1年間の企画調査研究を経て、その後継続採択され、全体で10年の大型事業となった。特に最初の企画調査研究段階の方向付けでの確かな道標を設定、福祉工学の観点から高齢者の特性を示し、本テーマへ惜しみない知見を下さり、10年間の長きにわたり適切な指導を賜った東京大学名誉教授の伊福部達PO(プログラムオフィサ)には、深く感謝の意を表す。

また、サイトビジット、テーマ推進会議といった、節目のイベントでは、実際のFOT車両に試乗いただき、各専門分野から厳しくも的確なコメントを下されたPO補をはじめとするアドバイザーの皆様にも、ここに感謝の意を表す。教示頂いた内容は、本テーマの検証・評価・軌道修正に繋げることができ、ブレない課題設定とそれを実現するための研究を着実に推進するための道標となった。

そして、最後に本研究をマネジメント・支援下さった科学技術振興機構 産学連携展開部の皆様にも改めて感謝の意を申し上げます。3大学2研究機関1企業というコラボレーションの中、難しい局面も幾つかあったが、その都度、肯定的な先導方法をご提示いただいたことが、10年の超長期プロジェクトの達成に繋がったと考える。

**付録： 9. その他(委託研究開始時から現在までの情報) 詳細情報**

(1)特許について

知財出願：（国内 14 件，海外 18 件）

- 1) 日本，特許権，運転支援装置，平成 26 年 5 月 20 日，特願 2014-104600，井上秀雄，井上慎太郎，美尾昌宏，坂井田慎吾(トヨタ自動車)，清水司，大桑政幸(豊田中央研究所)，鎌田実，伊藤太久磨(東京大学)，ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク，永井正夫(東京農工大学)，トヨタ自動車株式会社・株式会社豊田中央研究所・国立大学法人東京大学・国立大学法人東京農工大学
- 2) 日本，特許権，車両の運転支援制御装置，平成 27 年 2 月 18 日，特願 2015-029741，井上秀雄，平野豊，井上慎太郎(トヨタ自動車)，ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク(東京農工大学)，トヨタ自動車株式会社・国立大学法人東京農工大学
- 3) 日本，特許権，車両の運転支援制御装置，平成 27 年 4 月 8 日，特願 2015-079630，井上秀雄，平野豊，井上慎太郎(トヨタ自動車)，ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク(東京農工大学)，トヨタ自動車株式会社
- 4) 日本，特許権，車両の運転支援制御装置，平成 27 年 4 月 8 日，特願 2015-079631，車両の運転支援制御装置，井上秀雄，平野豊，井上慎太郎(トヨタ自動車)，ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク(東京農工大学)，トヨタ自動車株式会社
- 5) 日本，特許権，車両制御装置，平成 27 年 5 月 15 日・特願 2015-100287，井上秀雄，美尾昌宏(トヨタ自動車)，大桑政幸，清水司(豊田中央研究所)，鎌田実，伊藤太久磨(東京大学)，ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク，永井正夫(東京農工大学)，トヨタ自動車株式会社・株式会社豊田中央研究所・国立大学法人東京大学・国立大学法人東京農工大学
- 6) 日本，特許権，車両の運転支援制御装置，平成 27 年 9 月 28 日・特願 2015-190252，井上慎太郎，井上秀雄(トヨタ自動車)，ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク(東京農工大学)，トヨタ自動車株式会社・国立大学法人東京農工大学
- 7) ドイツ，特許権，機械と人間の協調，平成 27 年 5 月 15 日・102015107668.3，井上秀雄，井上慎太郎，美尾昌宏，坂井田慎吾(トヨタ自動車)，清水司，大桑政幸(豊田中央研究所)，鎌田実，伊藤太久磨(東京大学)，ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク，永井正夫(東京農工大学)，トヨタ自動車株式会社・国立大学法人東京大学・国立大学法人東京農工大学
- 8) アメリカ，特許権，機械と人間の協調，平成 27 年 5 月 18 日・14/714900，井上秀雄，井上慎太郎，美尾昌宏，坂井田慎吾(トヨタ自動車)，清水司，大桑政幸(豊田中央研究所)，鎌田実，伊藤太久磨(東京大学)，ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク，永井正夫(東京農工大学)，株式会社豊田中央研究所，トヨタ自動車株式会社・国立大学法人東京大学・国立大学法人東京農工大学
- 9) 日本，特許権，運転支援制御装置，平成 28 年 5 月 16 日，特願 2016-097595，井上慎太郎，井上秀雄(トヨタ自動車)，斎藤裕一，ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク，永井正夫(東京農工大学)，伊藤太久磨(東京大学)，清水司(豊田中央研究所)，国立大学法人東京農工大学・国立大学法人東京大学・株式会社豊田中央研究所・トヨタ自動車株式会社
- 10) 日本，特許権，運転支援制御装置，平成 28 年 5 月 16 日，特願 2016-097596，井上慎太郎，井上秀雄(トヨタ自動車)，斎藤裕一，ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク，永井正夫(東京農工大学)，伊藤太久磨(東京大学)，清水司(豊田中央研究所)，国立大学法人東京農工大学・国立大学法人東京大学・株式会社豊田中央研究所・トヨタ自動車株式会社
- 11) 日本，特許権，運転支援制御装置，平成 28 年 5 月 18 日，特願 2016- 99650，清水司(豊田中央研究所)，井上慎太郎，井上秀雄(トヨタ自動車)，斎藤裕一，ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク，永井正夫(東京農工大学)，伊藤太久磨(東京大学)，株式会社豊田中央研究所・国立大学法人東京農工大学・国立大学法人東京大学・トヨタ自動車株式会社
- 12) アメリカ，特許権，車両の運転支援制御装置，平成 28 年 5 月 13 日・特願 15/154023，井上秀雄，美尾昌宏(トヨタ自動車)，大桑政幸，鎌田実，伊藤太久磨(東京大学)，ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク，永井正夫(東京農工大学)，トヨタ自動車株式会社・国立大学法人東京大学・国立大学法人東京農工大学
- 13) アメリカ，特許権，車両の運転支援制御装置，平成 28 年 9 月 26 日・特願 15/275993，井上慎太郎，井上秀雄(トヨタ自動車)，トヨタ自動車株式会社
- 14) ドイツ，特許権，車両の運転支援制御装置，平成 28 年 9 月 26 日・特願 102016218476.8，井上慎太郎，井上秀雄(トヨタ自動車)，トヨタ自動車株式会社
- 15) 日本，特許権，道路標示検出装置及び自車位置推定用プログラム，平成 28 年 10 月 17 日，特願

2016-203848, 木下俊貴(トヨタ自動車), 伊藤太久磨, 中村慧, 鎌田実(東京大学), ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク(東京農工大学), 清水司(豊田中央研究所), トヨタ自動車株式会社・国立大学法人東京大学・国立大学法人東京農工大学, 株式会社豊田中央研究所

- 16) アメリカ, 特許権, 車両の運転支援制御装置, 平成 29 年 5 月 5 日, 15/587844, 井上慎太郎, 井上秀雄(トヨタ自動車), ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 齊藤裕一, 永井正夫(東京農工大学), 伊藤太久磨(東京大学), 清水司(豊田中央研究所), トヨタ自動車株式会社・国立大学法人東京農工大学・国立大学法人東京大学
- 17) ドイツ, 特許権, 車両の運転支援制御装置, 平成 29 年 5 月 10 日, 102017110034.2, 井上慎太郎, 井上秀雄(トヨタ自動車), ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 齊藤裕一, 永井正夫(東京農工大学), 伊藤太久磨(東京大学), 清水司(豊田中央研究所), トヨタ自動車株式会社・国立大学法人東京農工大学・国立大学法人東京大学
- 18) ドイツ, 特許権, 車両の運転支援制御装置, 平成 29 年 5 月 3 日, 102017109417.2, 井上慎太郎, 井上秀雄(トヨタ自動車), ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 齊藤裕一, 永井正夫(東京農工大学), 伊藤太久磨(東京大学), 清水司(豊田中央研究所), トヨタ自動車株式会社・国立大学法人東京農工大学・国立大学法人東京大学
- 19) アメリカ, 特許権, 車両の運転支援制御装置, 平成 29 年 5 月 10 日, 15/591595, 井上慎太郎, 井上秀雄(トヨタ自動車), ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 齊藤裕一, 永井正夫(東京農工大学), 伊藤太久磨(東京大学), 清水司(豊田中央研究所), トヨタ自動車株式会社・国立大学法人東京農工大学・国立大学法人東京大学
- 20) 日本, 特許権, 運転支援装置, 平成 29 年 5 月 18 日, 特願 2017-099164, 井上慎太郎, 通山恭一, 水越雅司(トヨタ自動車), ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク(東京農工大学), 伊藤太久磨(東京大学), 清水司(豊田中央研究所), 井上秀雄(神奈川工科大学), トヨタ自動車株式会社・国立大学法人東京農工大学・国立大学法人東京大学・株式会社豊田中央研究所・学校法人幾徳学園
- 21) 日本, 特許権, 車両の運転支援及び／又は走行制御のための地図情報提供システム, 平成 29 年 10 月 5 日, 特願 2017-195280, 通山恭一(トヨタ自動車), 鎌田実, 伊藤太久磨, 中村慧(東京大学), ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク(東京農工大学), 清水司(豊田中央研究所), 井上秀雄(神奈川工科大学), トヨタ自動車株式会社・国立大学法人東京大学・国立大学法人東京農工大学・株式会社豊田中央研究所・学校法人幾徳学園
- 22) 日本, 特許権, 車両の運転支援制御装置, 平成 29 年 10 月 5 日, 特願 2017-195282, 井上慎太郎(トヨタ自動車), ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 齊藤裕一(東京農工大学), 伊藤太久磨(東京大学), 清水司(豊田中央研究所), 井上秀雄(神奈川工科大学), トヨタ自動車株式会社・国立大学法人東京農工大学・国立大学法人東京大学・株式会社豊田中央研究所・学校法人幾徳学園
- 23) 日本, 特許権, 運転支援制御装置, 平成 29 年 10 月 6 日, 特願 2017-196045, 井上慎太郎(トヨタ自動車), ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 齊藤裕一(東京農工大学), 伊藤太久磨(東京大学), 清水司(豊田中央研究所), 井上秀雄(神奈川工科大学), トヨタ自動車株式会社・国立大学法人東京農工大学・国立大学法人東京大学・株式会社豊田中央研究所・学校法人幾徳学園
- 24) ドイツ, 特許権, 道路標示検出装置, 平成 29 年 10 月 6 日, 1102017123219.2, 木下俊貴(トヨタ自動車), 伊藤太久磨, 中村慧, 鎌田実(東京大学), ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク(東京農工大学), 清水司(豊田中央研究所), トヨタ自動車株式会社・国立大学法人東京大学・国立大学法人東京農工大学, 株式会社豊田中央研究所
- 25) 中国, 特許権, 道路標示検出装置, 平成 29 年 10 月 13 日, 201710953839.0, 木下俊貴(トヨタ自動車), 伊藤太久磨, 中村慧, 鎌田実(東京大学), ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク(東京農工大学), 清水司(豊田中央研究所), トヨタ自動車株式会社・国立大学法人東京大学・国立大学法人東京農工大学, 株式会社豊田中央研究所
- 26) アメリカ, 特許権, 道路標示検出装置, 平成 29 年 10 月 16 日, 15/784,457, 木下俊貴(トヨタ自動車), 伊藤太久磨, 中村慧, 鎌田実(東京大学), ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク(東京農工大学), 清水司(豊田中央研究所), トヨタ自動車株式会社・国立大学法人東京大学・国立大学法人東京農工大学, 株式会社豊田中央研究所
- 27) アメリカ, 特許権, 運転支援制御装置, 平成 30 年 9 月 25 日, 16/141,020, 井上慎太郎(トヨタ自動車), ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 齊藤裕一(東京農工大学), 伊藤太久磨(東京大学), 井上秀雄(神奈川工科大学), トヨタ自動車株式会社・国立大学法人東京農工大学・国立大学法人東京大学・学校法人幾徳学園

- 28) アメリカ, 特許権, 運転支援制御装置, 平成 30 年 9 月 26 日, 16/142,148, 井上慎太郎(トヨタ自動車), ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 齊藤裕一(東京農工大学), 伊藤太久磨(東京大学), 井上秀雄(神奈川工科大学), トヨタ自動車株式会社・国立大学法人東京農工大学・国立大学法人東京大学・学校法人幾徳学園
- 29) PCT, 特許権, 運転支援装置, 平成 29 年 5 月 18 日, PCT/IB2018/001189, 井上慎太郎, 通山恭一, 水越雅司(トヨタ自動車), ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク(東京農工大学), 伊藤太久磨(東京大学), 清水司(豊田中央研究所), 井上秀雄(神奈川工科大学), トヨタ自動車株式会社・国立大学法人東京農工大学・国立大学法人東京大学・株式会社豊田中央研究所・学校法人幾徳学園
- 30) 欧州(ドイツ, フランス, イギリス, イタリア), 特許権, 車両の運転支援及び/又は走行制御のための地図情報提供システム, 平成 30 年 10 月 5 日, 18796099.2, 通山恭一(トヨタ自動車), 伊藤太久磨(東京大学), ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク(東京農工大学), 井上秀雄(神奈川工科大学), トヨタ自動車株式会社・国立大学法人東京大学・国立大学法人東京農工大学・学校法人幾徳学園
- 31) アメリカ, 特許権, 車両の運転支援及び/又は走行制御のための地図情報提供システム, 平成 30 年 10 月 5 日, 16/640992 通山恭一(トヨタ自動車), 伊藤太久磨(東京大学), ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク(東京農工大学), 井上秀雄(神奈川工科大学), トヨタ自動車株式会社・国立大学法人東京大学・国立大学法人東京農工大学・学校法人幾徳学園
- 32) 中国, 特許権, 車両の運転支援及び/又は走行制御のための地図情報提供システム, 平成 30 年 10 月 5 日, 201880053342 通山恭一(トヨタ自動車), 伊藤太久磨(東京大学), ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク(東京農工大学), 井上秀雄(神奈川工科大学), トヨタ自動車株式会社・国立大学法人東京大学・国立大学法人東京農工大学・学校法人幾徳学園

知財登録:(国内 4 件, 海外 2 件)

- 1) 日本, 特許権, 車両制御装置, 平成 27 年 5 月 15 日・特願 2015-100287, 井上秀雄, 美尾昌宏(トヨタ自動車), 大桑政幸, 清水司(豊田中央研究所), 鎌田実, 伊藤太久磨(東京大学), ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 永井正夫(東京農工大学), トヨタ自動車株式会社・株式会社豊田中央研究所・国立大学法人東京大学・国立大学法人東京農工大学, 知財登録:特許第 6235528 号, 平成 29 年 11 月 2 日
- 2) 日本, 特許権, 車両の運転支援制御装置, 平成 27 年 9 月 28 日・特願 2015-190252, 井上慎太郎, 井上秀雄(トヨタ自動車), ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク(東京農工大学), トヨタ自動車株式会社・国立大学法人東京農工大学, 知財登録:特許第 6355167 号, 平成 30 年 6 月 22 日
- 3) 日本, 特許権, 車両の運転支援制御装置, 平成 26 年 5 月 16 日・特願 2016- 97595, 井上慎太郎, 井上秀雄(トヨタ自動車), 齋藤裕一, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 永井正夫(東京農工大学), 伊藤太久磨(東京大学), 清水司(豊田中央研究所), 国立大学法人東京農工大学・国立大学法人東京大学・株式会社豊田中央研究所・トヨタ自動車株式会社, 知財登録:特許第 6371329 号, 平成 30 年 7 月 20 日
- 4) アメリカ, 特許権, 車両の運転支援制御装置, 平成 28 年 5 月 13 日・特願 15/154023, 井上秀雄, 美尾昌宏(トヨタ自動車), 大桑政幸, 鎌田実, 伊藤太久磨(東京大学), ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 永井正夫(東京農工大学), トヨタ自動車株式会社・国立大学法人東京大学・国立大学法人東京農工大学, 知財登録:特許(US)10048699 登録 2018 年 8 月 14 日
- 5) アメリカ, 特許権, 車両の運転支援制御装置, 平成 28 年 9 月 26 日・特願 15/275993, 井上慎太郎, 井上秀雄(トヨタ自動車), トヨタ自動車株式会社, 知財登録:特許(US)10046802 登録 2018 年 8 月 14 日
- 6) 日本, 特許権, 運転支援制御装置, 平成 28 年 5 月 18 日・特願 2016- 99650, 清水司(豊田中央研究所), 井上慎太郎, 井上秀雄(トヨタ自動車), 齋藤裕一, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 永井正夫(東京農工大学), 伊藤太久磨(東京大学), 株式会社豊田中央研究所・国立大学法人東京農工大学・国立大学法人東京大学・トヨタ自動車株式会社, 知財登録:特許第 06461042 号, 平成 31 年 1 月 11 日

(2)外部発表等について

(2-1)学会発表, 論文発表など

## ■論文発表

【東京農工大学】(国内 11 件, 海外 6 件)

- 1) 【査読付き】 Ryosuke Matsumi, Pongsathorn Raksincharoensak and Masao Nagai, Development of Autonomous Intelligent Driving System to Enhance Safe and Secured Traffic Society for Elderly Drivers, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.25, No.6, 2013.
- 2) 【査読付き】ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 岩澤一成, 永井正夫, 熟練運転者の走行データに基づく無信号交差点における危険予測型ブレーキ支援システムに関する研究, 日本機械学会論文集C編, No. 2013-JCR-0580, pp.1-16.
- 3) 【査読付き】Shintaro Saigo, Pongsathorn Raksincharoensak and Masao Nagai, Investigation of Inattentive Driving Estimation Method by Using Longitudinal and Lateral Driver Operational Models, SAE Int. J. Passenger Cars – Electron. Electr. Syst. 6(1):27-33, 2013
- 4) 【査読付き】Pongsathorn Raksincharoensak, Yuta Akamatsu, Katsumi Moro, and Masao Nagai, Driver Speed Control Modeling for Predictive Braking Assistance System Based on Risk Potential in Intersections, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.26, No.5, 2014, pp.628-637
- 5) 【査読付き】Ryosuke Matsumi, Pongsathorn Raksincharoensak and Masao Nagai, Study on Autonomous Intelligent Drive System based on Potential Field with Hazard Anticipation, Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.27, No.1, 2015, pp.5-11.
- 6) 【査読付き】長谷川隆裕, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 山崎彬人, 毛利宏, 永井正夫, リスクポテンシャルを考慮した最適制御理論による自律運転知能システムに関する研究, 自動車技術会論文集, Vol. 46, No. 2, 2015, pp.497-502.
- 7) 【査読付き】岩野孝, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 山崎彬人, 毛利宏, 永井正夫, ステアバイワイヤを用いた自律運転知能システムの人間機械協調特性に関する研究, 自動車技術会論文集, Vol. 46, No. 2, 2015, pp.503-508.
- 8) 【査読付き】Pongsathorn Raksincharoensak, Takahiro Hasegawa, and Masao Nagai, Motion Planning and Control of Autonomous Driving Intelligence System Based on Risk Potential Optimization Framework, International Journal of Automotive Engineering, vol. 7, no.1, pp. 53-60 (2016)
- 9) 【査読付き】ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 岩野孝, 山崎彬人, 毛利宏, 永井正人, 障害物回避時における自律運転知能システムの人間機械協調特性に関する研究, 自動車技術会論文集, vol. 46, no. 6, pp. 1137-1144 (2015)
- 10) 【査読付き】ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, リスクポテンシャル予測による自動車の障害物回避運動制御, 計測と制御, vol. 54, no. 11, pp. 820-823 (2015)
- 11) 【査読付き】ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 土屋 滉一, 山崎彬人, 毛利宏, 永井正人, 無信号交差点の出合い頭事故防止のための二段停止自動走行制御システムに関する研究, 日本機械学会論文集C編, vol. 82, no. 834, p. 15-00475 (2016)
- 12) ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, リスクポテンシャル予測による自動車の障害物回避運動制御, 計測と制御, Vol.54, pp. 820-823, 11月号, 2015.
- 13) ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 安全安心な走行を実現する自律運転知能システムの運動計画と制御, 情報処理, Vol.57, No.5, pp. 19-23, May 2016.
- 14) 【査読付き】齊藤 裕一, 三本喬之, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 潜在リスク予測ドライバモデルに基づくブレーキ制御支援システムの設計と有効性評価, 自動車技術会論文集, Vol.47, No. 6, pp. 1417-1424, 2016.
- 15) ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 齊藤裕一, 運転知能に基づく危険予測ブレーキ, トライボロジスト vol. 62, no. 1 pp. 10-17, 2017
- 16) 【査読付き】Yuichi Saito, Pongsathorn Raksincharoensak, Shared Control in Risk Predictive Braking Maneuver for Preventing Collisions with Pedestrians, IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, Vol. 1, No. 4, 314-324, 2016
- 17) 【査読付き】Yuichi Saito and Pongsathorn Raksincharoensak, Effect of risk-predictive haptic guidance in one-pedal driving mode, Cognition, Technology & Work, pp 1-14. Publish online 16 April 2019

【日本自動車研究所】(国内 11 件, 海外 0 件)

- 1) 永井正夫, 超成熟社会を支えるスマートモビリティ, 電子情報通信学会誌, vol.97, no.1, pp.49-53, 2014
- 2) 永井正夫, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 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, 精密工学会誌, Vol. 81, No. 1, pp. 26-29, 2015

- 3) 永井正夫, 国プロとしての運転支援／自動運転システム, 特集:運転支援／自動運転の現状と未来, 計測と制御, 第54巻, 第11号, 2015
- 4) 高齢者の自立を支援する自律運転知能システム, 巻頭言, NATURE INTERFACE, pp.2-3, Aug. 2015, No.64
- 5) 永井正夫・小野古志郎, 道路交通における安全目標の現状, 特集「社会における安全目標その多様な展開」, 学術の動向, pp.2-8, 3. 2016.
- 6) 永井正夫, 交通ビッグデータを基にした先読み運転知能の開発, 小特集「ビッグデータ時代のロボットの社会的利用」, 電子情報通信学会誌, Vol. 99, No. 6, 2016
- 7) 永井正夫, 他, 車両運動制御の最新技術動向と今後の展望, 自動車技術, 12.2016, pp.2-9(座談会記事)
- 8) 永井正夫, 他, 自動運転がもたらす未来社会, 自動車技術, 1.2017(座談会記事)
- 9) 【解説】自動運転の評価拠点を狙って, 121巻, 1191号, 日本機械学会誌, 2, 2018
- 10) 【解説】永井正夫, 自動運転車の死亡事故の背景について, 情報処理学会, 4.2018
- 11) 【解説】永井正夫, 自動運転車を取り巻く現状, 汎交通, 平成30年度第Ⅱ号, 連載「交差点」, 9.2018

【東京大学】(国内2件, 海外14件)

- 1) 【査読付き】Ito, T., Mio, M., Tohriyama, K., & Kamata, M. (2016). Novel Map Platform based on Primitive Elements of Traffic Environments for Automated Driving Technologies. *International Journal of Automotive Engineering*, 7(4), 143-151.
- 2) 【査読付き】Ito, T., Shino, T., & Kamata, M. (2018). Initial Investigation of Elderly Drivers' Acceptability for Proactive Intervention by Intelligent Vehicle. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, 16(1) 51-65.
- 3) 【査読付き】Ito, T., Shino, T., & Kamata, M. (2018). Information Sharing to Improve Understanding of Proactive Braking Intervention for Elderly Drivers. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, 16(3), 173-186.
- 4) 伊藤太久磨, 地方一般道での高度運転支援を目指したリレーな地図とセンサによる外界環境認識, 電気評論 2017年11月号, 53-57.
- 5) 【査読付き】Ito, T., Shino, T., & Kamata, M. (2019). Information Sharing to Improve Understanding of Proactive Steering Intervention for Elderly Drivers. *International Journal of Intelligent Transportation Systems Research*, 17(1), pp. 18-31.
- 6) 【査読付き】Nakamura, S., Ito, T., Kinoshita, T., & Kamata, M. (2018). Detection Technology of Road Marks Utilizing Combination of Partial Templates. *International Journal of Automotive Engineering*, 9(3), 105-114.
- 7) 【査読付き】Ito, T., Nakamura, S., Tohriyama, K., & Kamata, M. (2018). Data-based Modification System of LeanMAP Contents for Automated Driving. *International Journal of Automotive Engineering*, 9(3), 115-123.
- 8) 【査読付き】Ito, T., Soya, M., Nakamura, S., Saito, S., Uchida, N., & Kamata, M. (2018). Acceptability of a Proactive Braking Intervention System by Elderly Drivers Using an Actual Vehicle. *International Journal of Automotive Engineering*, 9(4), 186-194..
- 9) 【査読付き】Ito, T., Takei, H., & Kamata, M. (2019). Reaction Tendencies of Elderly Drivers to Various Target Paths of Proactive Steering Intervention System in Human-Machine Shared Framework. *International Journal of Automotive Engineering*, 10(1), 6-13.
- 10) 【査読付き】Ito, T., Shino, T., & Kamata, M. (2019). Effectiveness of Information Sharing to Improve Elderly Drivers' Acceptability for Proactive Intervention Systems. *International Journal of Automotive Engineering*, 10(1), 55-64.
- 11) 【査読付き】松實 良祐, 大屋 魁, 伊藤 太久磨, 齊藤 裕一, 美尾 昌宏, 橋本 宣彦, 永井 正夫, 井上 秀雄, 鎌田 実 (2019). 高齢ドライバの生活道路での予見的制動介入に対する受容性に関する調. *自動車技術会論文集*, 50(3), 911-917.
- 12) 【査読付き】Ito, T., Nakamura, S., Tohriyama, K., & Kamata, M. (2019). Deepening method for LeanMAP content based on a virtual trajectory by lateral transcription. *Mechanical Engineering Journal*, 6(3), 1-12.
- 13) 【査読付き】Ito, T., Tohriyama, K., Kamata, M. (2019) Detection of Damaged Road Paints of Crosswalks by Focusing on Multi-layered Features, *International Journal of Automotive Engineering*, (10)4, 356-364.
- 14) 【査読付き】Ito, T., Tohriyama, K. & Kamata, M. (2020) Detection of Damaged Stop Lines on Public Roads by Focusing on Piece Distribution of Paired Edges. *Int. J. ITS Res*, online first.
- 15) 【査読付き】Ito, T., Soya, M., Tohriyama, K., Kamata, M. (2020) Risk map generation system for intelligent



vehicles on community roads via data-driven approach, Mechanical Engineering Journal, 7(1).

- 16) 【査読付き】Ito, T., Soya, M., Tohriyama, K., Saito, Y., Shimizu, T., Yamasaki, A., Nagai, M., Inoue, H., Kamata, M. (2020) Evaluation of Acceptability of Adaptive Proactive Braking Intervention System Based on Risk Map for Elderly Drivers, International Journal of Automotive Engineering, accepted for publication.

【神奈川工科大学】（国内 2 件, 海外 1 件）

- 1) 井上秀雄, 自動運転; 人馬一体と更なる安全をめざす運転知能, 日本機械学会 ICM & Safety Division Newsletter, No.31, pp.10-11, 2016.4.
- 2) 井上秀雄, 伊藤太久磨, 高齢社会に向けたクルマの知能化, 高次機能障害者の自動車運転再開とリハビリテーション 3, pp.20-30, 2016.5.
- 3) Hideo Inoue, Pongsathorn Raksincharoensak, Shintaro Inoue, Intelligent Driving System for Safer Automobiles, Invited Paper, Journal of Information Processing Vol.25, Information Processing Society of Japan, January 2017

【豊田中央研究所】（国内 1 件, 海外 0 件）

- 1) 【査読付き】清水 司, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 大桑政幸, “緊急ブレーキを仮定した衝突速度に基づく潜在リスクの定量化”, 自動車技術会論文集, Vol.47, No.6, pp.1411-1416 (2016)

【トヨタ自動車】（国内 4 件, 海外 0 件）

- 1) 井上秀雄, クルマの知能化と産学官連携について, 自動車技術会会誌, p36-40, Vol.68, No.3, 2014
- 2) 【査読付き】井上慎太郎, 小澤拓巳, 平野豊, 井上秀雄, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, DYC と操舵支援による人間機械協調型運転支援システムに関する研究—経路追従走行における高齢ドライバへの支援効果—, 自動車技術会論文集, Vol.47, No.3, 2016
- 3) 【査読付き】井上慎太郎, 相川弘幸, 井上秀雄, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク: DYC と操舵支援による人間機械協調型運転支援システムに関する研究(第 2 報), 自動車技術会論文集, Vol.48, No.1, 2016
- 4) 【査読付き】井上慎太郎, 齊藤 裕一, 山崎彬人, 木下俊貴, 相川弘幸, 佐藤文哉, 伊藤太久磨, 清水司, 齊藤創, 内田信行, 井上秀雄, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク人間と機械の分担率に基づくリスク回避のための協調型操舵支援システム, 自動車技術会論文集, Vol.50, No.6, pp.1646-1652 (2019)

■学会発表等(口頭・招待発表)

【東京農工大学】(国内 29 件, 海外 34 件)

- 1) 長谷川隆裕, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 永井正夫, リスクポテンシャルに基づく障害物回避のための自律型ブレーキと操舵制御手法に関する研究, 自動車技術会学術講演会前刷集, 横浜, 2013.5.22, No.18-13, pp.1-4.
- 2) 赤松湧太, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 永井正夫, リスクポテンシャルを用いた無信号交差点における危険予測運転ドライバモデルの構築, 自動車技術会学術講演会前刷集, 横浜, 2013.5.23, No.48-13, pp.1-4.
- 3) 江澤和浩, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 永井正夫, 無信号交差点における危険予測運転特性に基づく自動ブレーキ制御介入に関する研究, 自動車技術会学術講演会前刷集, 横浜, 2013.5.24, No.92-13, pp.1-4.
- 4) 松實良祐, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 永井正夫, 潜在リスクポテンシャル推定に基づく自律走行車両の運転知能モデルに関する研究, 第 13 回「運動と振動の制御」シンポジウム, 福岡, 2013.8.26-30, 論文集 No.B16.
- 5) 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), 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, LIFE2013, 山梨, 2013.9.3.
- 6) 岩野孝, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 永井正夫, 障害物回避時における操舵トルク支援システムと人間との操舵協調性に関する研究, 第 56 回自動制御連合講演会, 新潟, 2013.11.16-17.

- 7) 長谷川隆裕, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 永井正夫, 走行環境のリスクポテンシャルに基づく自律運転知能システムの運動制御, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 SI2013, 神戸, 2013.12.18-20.
- 8) ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 長谷川隆裕, 赤松湧太, 永井正夫, 熟練運転者の走行データに基づく自律運転知能システムの開発, ADVANTY 2013 シンポジウム講演論文集, 金沢, 2013.12.21-22.
- 9) 橋本翔, 三本喬之, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 永井正夫, クロソイド型経路生成に基づく自律経路追従制御に関する研究, 第 20 期関東支部総会講演会, 東京, 2014.3.14-15.
- 10) 【招待】Masao Nagai, Smart Mobility Research at TUAT, University of Chongqing, Special Seminar, 2013 年 10 月 28 日, Chongqing, China
- 11) 【招待】Masao Nagai, Smart Mobility Research at TUAT, Chongqing University of Science and Technology, Special Seminar, 2013 年 10 月 28 日, Chongqing, China
- 12) 【招待】Masao Nagai, ADAS with Autonomous Driving Intelligence to Enhance Safe and Secured Traffic Society for Elderly Drivers 2014 年 1 月 14 日, Transportation Research Board (TRB) 2014 Annual Meeting, Washington D.C., USA.
- 13) 【招待】永井正夫, 超超成熟社会を支えるスマートモビリティ, 日本機械学会第 20 期関東支部総会・講演会特別講演, 2014 年 3 月 15 日, 東京.
- 14) 【査読付き】Pongsathorn Raksincharoensak, Yuta Akamatsu, Katsumi Moro and Masao Nagai, Predictive Braking Assistance System for Intersection Safety Based on Risk Potential , Proceedings of 7<sup>th</sup> IFAC Symposium on Advances in Automotive Control 2013, Tokyo.
- 15) 【査読付き】Ryosuke Matsumi, Pongsathorn Raksincharoensak and Masao Nagai, Autonomous Braking Control System for Pedestrian Collision Avoidance by Using Potential Field, Proceedings of 7<sup>th</sup> IFAC Symposium on Advances in Automotive Control 2013, Tokyo.
- 16) 【査読付き】Noriyuki Hanawa, Pongsathorn Raksincharoensak and Masao Nagai, Predictive Braking Assistance System for Forward Vehicle Collision Avoidance Based on Risk Potential, Proceedings of Second International Symposium on Future Active Safety Technology toward zero-traffic-accident, 9.22-26,2013, Nagoya.
- 17) 【査読付き】Kazuhiro Ezawa, Issei Iwasawa, Pongsathorn Raksincharoensak and Masao Nagai, Hazard Anticipatory Driver Assistance System for Preventing Pedestrian Collisions in Unsignalized Intersections, Proceedings of Second International Symposium on Future Active Safety Technology toward zero-traffic-accident, 9.22-26,2013, Nagoya.
- 18) Takahiro Hasegawa, Pongsathorn Raksincharoensak and Masao Nagai, Study on Autonomous Intelligent Driving System Based on Risk Potential of Road Environment, Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Japan-Korea Joint Symposium on Dynamics and Control, August 27-28 2013, Fukuoka, Japan, pp.107-110.
- 19) Kou Iwano, Pongsathorn Raksincharoensak and Masao Nagai, Evaluation of Cooperative Characteristics of Lateral Collision Avoidance Assistance System by Steering Torque Input, Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Japan-Korea Joint Symposium on Dynamics and Control, August 27-28 2013, Fukuoka, Japan, pp.111-114.
- 20) Kazuhiro Ezawa, Pongsathorn Raksincharoensak and Masao Nagai, Study on Automatic Braking Control Intervention Based on Hazard-Anticipatory Driving Characteristics in Unsignalized Intersections, Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Japan-Korea Joint Symposium on Dynamics and Control, August 27-28 2013, Fukuoka, Japan, pp.115-118.
- 21) 【招待】Masao Nagai and Hideo Inoue, Research into ADAS with Autonomous Driving Intelligence for Future Innovation, Chassis Tech Plus 2014, 2014.6.23-25, Munich, Germany.
- 22) 【招待】Masao Nagai, Autonomous Driving Intelligence for Future Innovation, 3<sup>rd</sup> Asia Automobile Institute Summit, 2014.12.2-4, Bangkok, Thailand.
- 23) 岩野孝, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 永井正夫, 障害物回避時におけるアクティブ操舵制御とドライバの操舵協調性の検討, 自動車技術会学術講演会前刷集, 25-20145077, pp.1-4, 2014.5.21-23, 横浜.
- 24) 長谷川隆裕, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 永井正夫, 潜在リスク予測ドライバモデルを用いた自律運転知能システムの運動制御～駐車車両回避時の経路生成～, 自動車技術会学術講演会前刷集, 24-20145076, pp.1-4, 2014.5.21-23, 横浜.
- 25) 【査読付き】Ryosuke Matsumi, Pongsathorn Raksincharoensak and Masao Nagai, Autonomous Driving

Intelligence Systems for Collision Avoidance Based on Expertised Anticipatory Driving Behaviour, Proceedings of FISITA World Automotive Congress, F2014-IVC-045, pp.1-12, 2014.9.22-26, Maastricht, the Netherlands.

- 26) 【査読付き】Kou Iwano, Pongsathorn Raksincharoensak, and Masao Nagai, Study on Shared Driving Characteristics between Driver and Collision Avoidance Steering Control Using Driving Simulator, Proceedings of 12<sup>th</sup> International symposium on advanced vehicle control (AVEC' 14), No. 20149240, pp.226-231, 2014.9.22-26, Tokyo, Japan.
- 27) 【査読付き】Ryosuke Matsumi, Pongsathorn Raksincharoensak and Masao Nagai, Predictive Pedestrian Collision Avoidance with Driving Intelligence Model Based on Risk Potential Estimation, Proceedings of 12<sup>th</sup> International symposium on advanced vehicle control (AVEC' 14), No. 20149222, pp.118-125, 2014.9.22-26, Tokyo, Japan.
- 28) 【査読付き】Takahiro Hasegawa, Pongsathorn Raksincharoensak and Masao Nagai, Risk-Potential Based Motion Planning and Control of Proactive Driving Intelligence System for Enhancing Active Safety, Proceedings of 12<sup>th</sup> International symposium on advanced vehicle control (AVEC' 14), No. 20149224, pp.132-137, 2014.9.22-26, Tokyo, Japan.
- 29) 土屋 洸一, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 毛利宏, 永井正夫, 無信号交差点における出合頭事故防止自動ブレーキ制御の開発, 第 23 回交通・物流部門大会講演論文集, pp.115-118, 2014.12.1-3, 東京, 2014.
- 30) 【査読付き】Pongsathorn Raksincharoensak, Ko Iwano, Yuichi Saito, Hiroshi Mouri, Masao Nagai, Human-Machine Shared Driving Characteristics of Autonomous Driving Intelligence System in Collision Avoidance Manoeuvre, Proc. FAST-zero 15 Symposium, pp. 531-536, Sweden, Gothenburg, September 9-11 (2015)
- 31) 【査読付き】Pongsathorn Raksincharoensak, Takahiro Hasegawa, Akito Yamasaki, Hiroshi Mouri, Masao Nagai, Vehicle Motion Planning and Control for Autonomous Driving Intelligence System Based on Risk Potential Optimization Framework, Proc. the 24th International Symposium on Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks, Austria, 10 pages, Graz, August 17-21 (2015)
- 32) 【招待】Pongsathorn Raksincharoensak, Potential Field-Based Motion Planning and Control Algorithm for Autonomous Driving Intelligence System, FAST-zero' 15 Symposium, Fast-zero 15, Sweden, Gothenburg, September 9-11 (2015)
- 33) Pongsathorn Raksincharoensak, Motion Planning and Control Algorithm for Autonomous Driving Intelligence System Based on Risk Potential Field, ITS World Congress 2016, Bordeaux, France, October 5-9 (2016)
- 34) ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 岩野孝, 山崎彬人, 毛利宏, 永井正人, 障害物回避時における自律運転知能システムの人間機械協調特性に関する研究, 2015 年自動車技術会春季大会学術講演会講演予稿集, pp. 1263-1268, 2015. 5. 20- 22
- 35) 小澤拓巳, 井上慎太郎, 井上秀雄, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 軌跡追従走行時における人間と運転支援系のシェアード・コントロールに関する研究, 第 58 回自動制御連合講演会, 1H2-3, pp.1-6, 神戸, 2015. 11. 14-15
- 36) ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 毛利宏, 永井正夫, リスクポテンシャルを用いた自律運転知能の運動計画手法, 安全工学シンポジウム 2015, OS-1-3, 東京, 2015. 7. 2-3
- 37) 齊藤裕一, 三本喬之, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 潜在リスク予測ドライバモデルに基づくブレーキ制御支援システムの設計と有効性評価, 2016 年自動車技術会春季大会学術講演会講演予稿集, pp. 1615-1620, 2016. 5. 25- 27
- 38) 【査読付き】Yuichi Saito, Pongsathorn Raksincharoensak, Risk Predictive Shared Deceleration Control: Its Functionality and Effectiveness of an Early Intervention Support, IEEE Intelligent Vehicle Symposium Workshop on Human Factors in Intelligent Vehicles (HFIV' 16), Gothenburg, Sweden, June 19 (2016)
- 39) 【査読付き】Yuichi Saito, Pongsathorn Raksincharoensak, A Shared Control in Risk Predictive Braking Manoeuvre for Preventing Collision with Pedestrian, Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (IEEE SMC), No. 1183, Budapest, Hungary, October 9-12 (2016)
- 40) Pongsathorn Raksincharoensak, Risk Predictive Shared Control for Autonomous Driving Intelligence System Design, 1st International Conference on Automated Driving, Future Mobility and Digitalization (ADFD) Hannover Germany, November 28-30 (2016)

- 41) 【査読付き】Yuichi Saito, Takayuki Mitsumoto, Pongsathorn Raksincharoensak, Effectiveness of a Risk Predictive Shared Steering Control Based on Potential Risk Prediction of Collision with Vulnerable Road Users, 13th IFAC Symposium on Analysis, Design, and Evaluation of Human-Machine Systems HMS 2016, IFAC-PapersOnLine <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405896316320560>, Volume 49, Issue 19, pp. 84-89, Kyoto, August 30 – September 2 (2016)
- 42) ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 運転知能のための人間機械協調技術の進化, S-イノベ公開シンポジウム「高齢社会に向けたクルマの知能化について～リスク予測と人間機械協調技術～」, 2017.8.23.
- 43) 【招待】Pongsathorn Raksincharoensak, Autonomous Driving Intelligence System: What can we learn from experienced drivers?, 2<sup>nd</sup> Roundtable for the Purpose of Autonomous Driving, 2017.6.8-9, Nagoya, Japan
- 44) 【招待】Pongsathorn Raksincharoensak, Next Generation of ADAS –Risk Predictive Advanced Driver Assistance Systems–, ConTech 2017, 2017.6.23, Suwon, Korea.
- 45) 【招待】Pongsathorn Raksincharoensak, Automated Driving – Current status and future perspectives –, The 3rd Automotive Engineers Forum, Bangkok, Thailand 2017.7.21.
- 46) 【招待・基調講演】ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 自律運転知能, 第35回日本ロボット学会学術講演会, 東洋大学, 埼玉, 2017.9.11-14.
- 47) 【査読付き】Yuichi Saito, Pongsathorn Raksincharoensak, Risk Predictive Haptic Guidance: Driver Assistance with One-Pedal Speed Control Interface, IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Canada, Banff, October, 5- 8, 2017
- 48) 【査読付き】Yuichi Saito, Keisuke Shimono, Shintaro Inoue, Hideo Inoue, Pongsathorn Raksincharoensak, Enhancing Risk Predictive Driving Performance of Elderly Drivers via Adaptive Shared Control Interface, 4th International Symposium on Future Active Safety Technology towards Zero-Traffic Accident, Nara, September 18- 22, 2017
- 49) 【査読付き】Pongsathorn Raksincharoensak, Hideo Inoue, Safety Cushion: Context-Sensitive Hazard Anticipation –Objectified Driving Behavior of Experienced and Careful Drivers for Developing Context-Sensing Driving Assistance Systems–, 4th International Symposium on Future Active Safety Technology towards Zero-Traffic Accident, Nara, September 18- 22, 2017
- 50) 齊藤裕一, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, ワンペダル走行モードにおけるアクセルペダル反力のハプティックシェアードコントロール: 死角での潜在リスク予測能力の向上効果, 2017 年自動車技術会春季大会学術講演会講演予稿集, 大阪, 2017. 10. 11- 13
- 51) 齊藤裕一, 井上秀雄, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, セイフティクッション: 走行環境文脈と運転行動状態に基づく危険度推定モデルの構築(第一報)-死角での対歩行者ヒヤリハットの形成過程に対する考察-, 2018 年度春季大会学術講演会, 2018 年度秋季大会学術講演会前刷集, No. 94-18, 6 pages, 横浜, 2018. 5. 23-25.
- 52) ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 先読み運転のためのリスク予測技術の進化(Risk prediction). JST-S イノベ×NEDO 次世代人工知能「安全かつ安心な社会を実現するための自律運転知能システム研究開発の現状と展望」合同ワークショップ(Robomech2018 ワークショップ), 北九州, 2018.6.3.
- 53) 【査読付き】Yuichi Saito, Hideo Inoue, Mohanad El-Haji, Thomas Freudenmann, Pongsathorn Raksincharoensak, Context-Sensitive Hazard Anticipation Based on Driver Behavior Analysis and Cause-and-Effect Chain Study, Proceedings of the 14th International Symposium on Advanced Vehicle Control, 6pages, Beijing, China, July 16-20, 2018
- 54) 【招待・基調講演】ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 自動運転技術の進化:リスク予測と人間機械協調技術, 日本機械学会 2018 年度年次大会, 大阪, 2018. 9. 10-12.
- 55) 【招待】Pongsathorn Raksincharoensak, Challenges of Autonomous Vehicles Towards Zero-Traffic-Accidents, TUMCREATE Symposium 2018, National University of Singapore, 2018.11.30.
- 56) 【招待】Yuichi Saito, Akito Yamasaki, Shintaro Inoue, Takuma Ito, Hideo Inoue, Pongsathorn Raksincharoensak, Visual Cues with HUD: Driving Behavior Analysis of Elderly and Experienced Drivers in Hazard Anticipation Scenes, The 25th International Display Workshops, VHF4-1, 4 pages, Nagoya, Japan, December 12-14, 2018
- 57) Yuichi Saito, Akito Yamasaki, Masahiro Imai, Ryoma Yoshimi, Kume Shinichi, Takuma Ito, Shintaro Inoue, Tsukasa Shimizu, Masao Nagai, Hideo Inoue and Pongsathorn Raksincharoensak , “Risk Predictive Driver Assistance System With a Situation-Adaptive Foresighted Deceleration Control Function: Effectiveness

Verification on Public Road Driving Experiment”, 5<sup>th</sup> International Symposium on Future Active Safety Technology towards Zero-traffic Accidents (FAST-zero’19), Blacksburg, Virginia, USA, September 9-11, 2019.

- 58) Kume Shinichi, Yuichi Saito, Hideo Inoue and Pongsathorn Raksincharoensak, “Safety Cushion: Estimation of Potential Risk Based on Driving Context and Driver Behavior Sensing”, 5<sup>th</sup> International Symposium on Future Active Safety Technology towards Zero-traffic Accidents (FAST-zero’19), Blacksburg, Virginia, USA, September 9-11, 2019.
- 59) Pongsathorn Raksincharoensak, Risk Prediction Methodology Based on Near Miss Incident Database, 4<sup>th</sup> International Symposium on Advanced Vehicle Technology (ISAVT2019), Kanagawa Institute of Technology, Japan, September 4-6, 2019.
- 60) 【招待講演】ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 高度運転支援システムのセンシングと運動制御 ～交通事故ゼロおよび究極の乗り心地を目指して～, 第 63 回光波センシング技術研究会, 東京, 2019 年 6 月 11 日～12 日.
- 61) 久米伸一, 齊藤裕一, 井上秀雄, ポンサトーンラクシンチャラーンサク, セイフティクッション:走行環境文脈と運転行動状態に基づく危険度推定モデルの構築(第二報), 2019 年自動車技術会春季大会学術講演会, 横浜, 2019 年 5 月 22 日～24 日.
- 62) 齊藤裕一, 山崎彬人, 今井将博, 吉見竜馬, 久米伸一, 伊藤太久磨, 井上 慎太郎, 清水 司, 永井正夫, 井上秀雄, ポンサトーン ラクシンチャラーンサク, 状況適応型先読みブレーキ制御機能を有する危険予測運転支援システム(第1報)ー実市街路走行におけるシステムの有効性評価ー, 2019 年自動車技術会春季大会学術講演会, 横浜, 2019 年 5 月 22 日～24 日
- 63) 吉見 竜馬, 齊藤 裕一, 山崎 彬人, 今井 将博, 久米 伸一, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 伊藤 太久磨, 井上 慎太郎, 永井 正夫, 清水 司, 井上 秀雄, 先読みブレーキ制御と情報提示を装備した自律運転知能システムの安全性評価, 第 16 回運動と振動と制御シンポジウム, MoViC2019,高知, 2019 年 12 月 4 日～6 日

【日本自動車研究所】(国内 26 件, 海外 3 件)

- 1) 【招待】永井正夫, JARI における機能安全活動と自動運転システムの動向, 基調講演, 自動車機能安全カンファレンス 2015, お茶の水ソラシティ, 2015.3.11
- 2) 【招待】永井正夫, 高齢者の自立を支援する自律運転知能システム, 基調講演, 第 65 回 WIIN 定例講演会・第 20 回人間情報学会講演会, 東京大学山上会館, 4 月 23 日, 2015
- 3) 【招待】永井正夫, 安全性向上に向けた自動運転システムの開発, 基調講演, 車載組込みシステムフォーラム 2016, 1 月 28 日, 名古屋, 2016
- 4) 永井正夫, 我が国における自動運転・運転支援プロジェクトの概要, 日本学術会議「安全工学シンポジウム」, OS-8「自動車の自動運転システム」, 7.7. 2016
- 5) 永井正夫, 自動運転研究における S-イノベプロジェクトの位置づけ, JST-S イノベシンポジウム「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」, 東大本郷, 9.2016
- 6) 【招待】永井正夫, 自動運転関連プロジェクトの動向, 自技会アクティブセーフティフォーラム[自動運転への最新技術革新と取り組み], 発明会館, 17.11.2016
- 7) 【招待】永井正夫, 「自動運転, 安全システムについて」, 日本工学会 技術倫理協議会 第 12 回公開シンポジウム, <技術倫理の最前線 II >～科学技術と社会をどう結びつけるか～, 平成 28 年 11 月 22 日(火), 東京理科大 森戸記念館
- 8) 【特別講演】永井正夫, 自動車の自動運転の現状について, 平成28年度設計管理者研修, 国土交通省鉄道局, 2.28, 2017
- 9) 【招待】永井正夫, クルマの自動運転と電動化から見た次世代交通社会の展望, 第8回 国際二次電池展, 東京ビッグサイト, 3.3, 2017
- 10) 【招待】永井正夫, 「日本における自動運転の現状と展望」, 第 40 回日本脳神経外傷学会, 教育講演, 浅草ビューホテル, 2017 年 3 月 11 日
- 11) 【招待】永井正夫, 自動運転の最新動向と将来像について, 第 183 回談話サロン(第 12 回安全工学フォーラム)(公社)日本工学アカデミー 安全知と安全学委員会, 3.14, 2017
- 12) 【招待】永井正夫, 自動運転の最新動向と将来像について, 日本工学アカデミー「交通の自動運転/自律運転」, 2017 年 3 月 15 日, 弘済会館

- 13) 【特別講演】永井正夫,自動運転の最新動向と JARI のかわり,東大生研 ITS センター ITS 懇談会,2017.6.20,東京大学 駒場リサーチキャンパス
- 14) 【提言】永井正夫ほか,自動運転のあるべき将来に向けて — 学術界から見た現状理解 —,日本学術会議, 2017.6.27,総合工学委員会・機械工学委員会合同, 工学システムに関する安全・安心・リスク検討分科会, 車の自動運転検討小委員会
- 15) 【講演】永井正夫,日本学術会議提言「自動運転のあるべき将来に向けて—学術界から見た現状理解—」について,日本学術会議,安全工学シンポジウム,OS-9「自動車の自動運転の現状と将来展望」,2017年7月7日,日本学術会議
- 16) 【講演】永井正夫,自動車の自動運転と安全目標.日本学術会議,安全工学シンポジウム,安全目標検討小委員会 OS,2017年7月5日,日本学術会議
- 17) 【講演】永井正夫,JST 戦略的イノベーション創出推進プログラム(S-イノベ)シンポジウム, 自動運転の動向とS-イノベの役割, 神奈川工科大学, 2017/08/23.
- 18) [Invited Lecture] Masao Nagai, Perspectives of Next-Generation Traffic Society by Automated and Electrified Vehicles, KATECH FORUM, Seoul, 26.10.2017
- 19) [Invited Lecture] Masao Nagai, Perspectives of Automated Driving Systems, AAI Summit 2017, Pune, India, 27-28.11.2017
- 20) 【招待講演】永井正夫, 自動運転の最新動向と将来像について, 東京地方裁判所, 2017年11月13日
- 21) 【招待講演】永井正夫, クルマの自動運転と電動化から見た次世代交通社会の展望, イノベーション実践研究会, 永楽倶楽部, 2017年11月17日
- 22) 【招待講演】永井正夫, 自動運転の開発の現状と課題について, ITEC セミナー, 同志社大学, 2018年2月16日
- 23) 【招待】永井正夫, 自動車のCASE化による省エネへの期待 ~繋がる・自動化・シェアード・電動化~, 環境プランニング学会 2018年春季学術講演会, 東京大学伊藤国際学術センター, 2018年6月9日
- 24) 【特別講演】永井正夫, 自動運転技術の開発の現状と課題について, 2018年度D&D特別講演, 日本機械学会, 東京農工大学, 小金井, 2018年8月30日
- 25) 【招待】永井正夫, 自動車を取り巻く研究開発の最新動向, 日本機械学会 関東支部シニア会 第2回特別講演会, 東京理科大学, 森戸記念館, 2018年9月27日
- 26) 【記念講演】永井正夫, 自動車の将来像について—自動運転・電動化を中心に—, 第24回素形材月間記念式典, 機械振興会館 2018年11月2日, SOKEIZAI, Vol.60(2019)No.1
- 27) 【特別講演】永井正夫, 自動運転技術開発の現状と課題, 京都工業会講演, 京都経済センター, 2019年2月21日
- 28) Genya Abe, Nobuyuki Uchida, Masao Nagai (JARI), So Saito (JTEKT), Influences of a steering assistance system on driving behavior and system acceptability for elderly drivers at an intersection, The 5th International Symposium on Future Active Safety Technology toward Zero Accidents (FAST-zero-19), Virginia(USA), 09/09/2019
- 29) 【基調講演】永井正夫, 自動運転の開発動向と課題について, 日本法科学技術学会、第25回学術集会、11月7日、2019

【東京大学】(国内 25件, 海外 13件)

- 1) 肥田拓郎, 伊藤太久磨, 鎌田実. 障害物の移動予測に基づく制動・操舵介入による自動車運転支援システムに関する研究. 第20回機械学会交通・物流部門大会, 川崎, 2011/12/8.
- 2) Takuma Ito. (2012.10.26). Autonomous Driving System to Enhance Safe and Secured Traffic Society for Elderly Drivers. ITS World Congress 2012, Wien.
- 3) 【査読付き】 Takuma ITO, Takuro KOEDA, Minoru KAMATA, Path Planning Based on Assumed Locomotion of Obstacles for Autonomous Collision Avoidance, Second International Symposium on Future Active Safety Technology toward zero-traffic-accident, Nagoya, 2013.9.24.
- 4) 伊藤太久磨, 毛利裕馬, 鎌田実. 生活道路での制御介入のための白線の無い走路境界の検出と交通参加者の識別技術の開発. 自動車技術会学術講演会 2014年春季大会, 横浜, 2014/5/21.
- 5) 志野達弥, 伊藤太久磨, 鎌田実. 予見的制御介入に関する高齢ドライバの受容性の検討. 自動車技術会学術講演会 2014年春季大会, 横浜, 2014/5/21.

- 6) 【査読付き】 Ito, T., Mouri, Y., & Kamata, M., Recognition of Driving Environment on Community Roads for Predictive Vehicle Controls, FISITA 2014, Maastricht, 2014.6.3.
- 7) 【査読付き】 Shino, T., Ito, T., & Kamata, M., Acceptability of Proactive Collision Avoidance for Elderly Drivers, AVEC 2014, Tokyo, 2014.9.22.
- 8) 伊藤太久磨, 生活道路での歩行者・自転車事故対策のためのセンシング技術, 自動車技術会 アクティブセーフティ部門委員会, 市ヶ谷, 2014.9.29.
- 9) 伊藤太久磨, 志野達弥, 鎌田実, 予見的制動介入時の情報共有が高齢ドライバの受容性に与える効果の検証, 自動車技術会学術講演会秋季大会, 仙台, 2014.10.24.
- 10) 志野達弥, 伊藤太久磨, 鎌田実, 予見的操舵介入時の動作状態と走行経路に関する情報共有が受容性に与える効果の検証, 自動車技術会学術講演会秋季大会, 仙台, 2014.10.24.
- 11) 鎌田実, 超高齢社会と自動運転, 自動車技術会アクティブセーフティ部門委員会シンポジウム 自動運転への最新技術革新, 虎の門, 2014.11.27.
- 12) 伊藤太久磨, 美尾昌宏, 通山恭一, 鎌田実. 交通環境要素によって構築される自動運転のための新しい地図基盤の構築. 自動車技術会学術講演会 2015 年春季大会, 横浜, 2015/5/21.
- 13) 志野達弥, 伊藤太久磨, 鎌田実. 高齢ドライバへの情報共有を用いた予見的制御介入の受容度向上手法の検討. 自動車技術会学術講演会 2015 年春季大会, 横浜, 2015/5/21.
- 14) 伊藤太久磨, 鎌田実, 地方での高齢者の日常的な移動を支えるための自動運転技術, 安全工学シンポジウム 2015, 乃木坂, 2015.7.2.
- 15) 【査読付き】 Ito, T., Shino, T., & Kamata, M., Information Sharing System Based on Situation Comprehensions of Intelligent Vehicles to Improve Drivers' Acceptability for Proactive ADAS, HCI International 2015, Los Angeles, 2015.8.7.
- 16) 【査読付き】 Ito, T., Mio, M., Tohriyama, K., & K. Minoru., Novel Map Platform Based on Primitive Elements of Traffic Environments for Automated Driving Technologies, FAST zero 2015, Gothenburg, 2015.9.10.
- 17) 【査読付き】 Ito, T., Shino, T., & Kamata, M., Improvement of Elderly Drivers' Acceptability for Proactive Collision Avoidance Using Passive Information Sharing, FAST zero 2015, Gothenburg, 2015.9.10.
- 18) 伊藤太久磨. 地方公道での自動運転技術開発のための地図活用技術. 自動車技術会 将来の交通安全委員会, 東京, 2015/9/28.
- 19) Kamata, M., "Senior-friendly Vehicles" By Governors Association for Promoting and Developing Senior-friendly Vehicles, ITS World Congress 2015, Bordeaux, 2015/10/6.
- 20) 伊藤太久磨, 志野達弥, 鎌田実. 予見的制御介入の受容性向上を目指した知能化自動車の状況把握に基づく情報共有システムの検討. 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会, 函館, 2015/11/18.
- 21) 伊藤太久磨. 地方での高齢ドライバ支援を目指した自律運転知能システムの開発. 東京大学生産技術研究所次世代モビリティ研究センター 2015 年度社会人のための ITS 専門講座, 千葉, 2016/1/22.
- 22) 石田裕太郎, 橋本康平, 有田裕太, 田中良道, 西田健, 伊藤太久磨, 井上秀雄, 通山 恭一, 田向 権. 自動運転のための知的処理におけるハードウェアアクセラレータ利用の基礎検討. 第 32 回ファジィシステムシンポジウム, 佐賀, 2016/8.
- 23) 中村慧, 伊藤太久磨, 木下俊貴, 鎌田実, 部分テンプレートの組合せを利用した道路標示検出手法の開発. 自動車技術会学術講演会 2016 年秋季大会, 札幌, 2016/10/21.
- 24) 武井裕樹, 伊藤太久磨, 鎌田実, 人間機械協調型予見的操舵介入技術の目標走行経路に対する高齢ドライバの応答分析. 自動車技術会学術講演会 2017 年春季大会, 横浜, 2017/5/26.
- 25) 伊藤太久磨, リーンな地図情報を活用した外界環境認識技術とその発展性, S イノベ公開シンポジウム「高齢社会に向けたクルマの知能化について～リスク予測と人間機械協調技術～」, 2017.8.23.
- 26) 【査読付き】 Nakamura, S., Ito, T., Kinoshita, T., & Kamata, M., Detection Technology of Road Marks Utilizing Combination of Partial Templates, FAST zero 2017, Nara, 2017/9/20.
- 27) 【査読付き】 Ito, T., Takei, H., & Kamata, M., Reaction Tendencies of Elderly Drivers to Various Target Paths of Proactive Steering Intervention System in Human-Machine Shared Framework, FAST zero 2017, Nara, 2017/9/20.
- 28) 中村慧, 伊藤太久磨, 通山恭一, 鎌田実, 実走行データを用いた自動運転用リーン地図更新システムの提案. 自動車技術会学術講演会 2017 年秋季大会, 大坂, 2017/10/11.
- 29) 伊藤太久磨, 曾家将嗣, 中村慧, 齋藤創, 内田信行, 鎌田実, 予見的制動介入に対する高齢ドライバの受容性の実車による評価. 自動車技術会学術講演会 2017 年秋季大会, 大坂, 2017/10/12.

- 30) 曾家将嗣, 伊藤太久磨, 中村慧, 齋藤創, 内田信行, 鎌田実, 予見的制動介入時にHUDを活用した情報共有システムの高齢ドライバーによる評価. 自動車技術会学術講演会 2017年秋季大会, 大坂, 2017/10/12.
- 31) 伊藤太久磨, リーンな地図情報を活用した外界認識技術とその発展性. JST-S イノベ×NEDO 次世代人工知能「安全かつ安心な社会を実現するための自律運転知能システム研究開発の現状と展望」合同ワークショップ(Robomech2018 ワークショップ), 北九州, 2018/6/3.
- 32) 石田淳悟, 松實良祐, 伊藤太久磨, 齋藤裕一, 赤木康宏, 井上慎太郎, 齋藤創, 井上秀雄, 鎌田実, 高齢ドライバーの人間機械協調型運転支援システムに対する受容性に関する実験的調査. 自動車技術会学術講演会 2018年秋季大会, 名古屋, 2018/10/17.
- 33) 松實良祐, 大屋魁, 伊藤太久磨, 齋藤裕一, 美尾昌宏, 橋本宣彦, 永井正夫, 井上秀雄, 鎌田実, 高齢ドライバーの生活道路での予見的制動介入に対する受容性に関する調査. 自動車技術会学術講演会 2018年秋季大会, 名古屋, 2018/10/17.
- 34) 清水崇博, 伊藤太久磨, 通山恭一, 鎌田実. (2019.5.23). 生活道路での交差点形状に着目した自己位置推定手法の一提案. 自動車技術会学術講演会 2019年春季大会, 横浜.
- 35) Takuma Ito, Kyoichi Tohriyama, Minoru Kamata. (2019.9.9). LeanMAP framework for realizing reasonable intelligent vehicle on community roads. FAST-zero 2019, Virginia.
- 36) 【査読付き】 Takahiro Shimizu, Takuma Ito, Kyoichi Tohriyama, Minoru Kamata. (2019.9.9). LIDAR-Based Localization on Community Roads Using Geometric Feature of Crossroads. FAST-zero 2019, Virginia.
- 37) 松實良祐, 伊藤太久磨, 齋藤裕一, 山崎彬人, 木下俊貴, 通山恭一, 橋本宣彦, 清水司, 井上秀雄, 鎌田実. (2019.10.10). 生活道路での予見的制動介入に対する高齢ドライバーの受容性と運転行動に関する追跡調査. 自動車技術会学術講演会 2019年秋季大会, 仙台.
- 38) Takuma Ito. (2019.10.23). LeanMAP framework for realizing reasonable intelligent vehicle on community roads. ITS World Congress 2019, Singapore.

【神奈川工科大学】(国内 40 件, 海外 15 件)

- 1) 井上秀雄, 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, JST 戦略的イノベーション創出推進プログラム(S-イノベ)シンポジウム, 東京, 2016.09.08
- 2) 【招待】井上秀雄, 高齢社会に向けたクルマの知能化, 電気学会・電子情報通信学会・情報処理学会合同企画「交通インフラ・モビリティを支える科学技術」, 豊田, 2016.9.12
- 3) 井上秀雄, 予防安全の進化におけるクルマの知能化, 自動車技術会 予防安全分科会 講演, 東京, 2016.11.24.
- 4) 【招待】井上秀雄, 技術開発にチャレンジし続けた経験が示すもの, 日本機械学会 第25回交通・物流部門大会(TRANSLOG2016) 交通・物流部門 業績賞 記念講演, 東京, 2016.12.2.
- 5) 【招待】井上秀雄, 予防安全の進化におけるクルマの知能化, 第14回ディペンダビリティシステムワークショップ(DSW2016)パネルディスカッション, 函館, 2016.12.14.
- 6) 【招待】井上秀雄, 予防安全の進化におけるクルマの知能化, 自動車技術会ヒューマンファクタ部門委員会「自律(自動)運転技術でシニアドライバー問題をどこまで解決できるか?」シンポジウム, 東京, 2016.12.22.
- 7) 【招待】井上秀雄, 予防安全の進化におけるクルマの知能化, 自動車技術に関する CAE フォーラム講演, 東京, 2017.3.7.
- 8) 【招待】井上秀雄, 欧州自動車産業における産学官連携動向, 自動車技術に関する CAE フォーラムパネルディスカッション「日本を強くするための産学連携を考える」パネリスト発表, 東京, 2017.3.7.
- 9) 井上秀雄, 高齢ドライバーの事故を防ぐ自律運転知能システム, 季刊ビオフィリア(Biophilia) 電子版 22 号 Vol.6 No.2 2017,pp33-44, 2017 年 7 月
- 10) 井上秀雄, 安全の進化に向けたクルマの知能化, 日立製作所\_招待講演, 2017 年 7 月
- 11) Hideo Inoue, Autonomous Driving Intelligence for Safer Automobiles, Second International Symposium on Advanced Vehicle Technology, Center for Advanced Vehicular Systems Mississippi State University, Starkville, MS, USA, September 2017
- 12) 井上秀雄, 予防安全の進化に向けたクルマの知能化, IPG-Automotive Virtual Test Drive Symposium 招待講演&パネルディスカッション, 東京, 2017 年 9 月
- 13) 井上秀雄, 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 ステージⅢの取り組み, JST S イノベ中間報告会, 2017 年 10 月
- 14) 井上秀雄, 高齢者社会に向けたクルマの知能化, 富山新世紀産業機構セミナー講演, 2017 年 10 月



- 15) Hideo Inoue, Autonomous Driving Intelligence for Safer Automobiles, International Forum of Pangyo Autonomous Motor Show 2017 (PAMS 2017 Forum) Invited Talk, Pangyo, Korea, November 2017
- 16) 井上秀雄, 安全の進化に向けたクルマの運転知能技術, KAIT シンポジウム 2017 研究講演, 2017 年 12 月 9 日
- 17) 井上秀雄, 高齢社会に向けたクルマの知能化 Autonomous Driving Intelligence for Safer Automobiles, サムソン電子研究所依頼講演会, Suwon Korea, 2017 年 12 月 15 日
- 18) 井上秀雄, 超成熟社会に向けたクルマの知能化 -“ゼロ”から”1”を産み”100”以上に育てる産学官連携 Project-, 早稲田大学理工学術院総合研究所 重点領域発足記念シンポジウム 招待講演&パネルディスカッション, 2017 年 12 月 22 日
- 19) 井上秀雄, 安全の進化に向けたクルマの知能化, 積水化学 International internal conference 講演, 2018 年 1 月
- 20) 井上秀雄, 超成熟社会に向けたクルマの知能化 -技術開発の無限動力と産学官連携, JFE スチール講演, 2018 年 2 月
- 21) 井上秀雄, 高齢社会に向けたクルマの運転知能技術, さがみはらオーカーズカフェ講演, 2018 年 2 月
- 22) 【国内会議・特別講演】井上秀雄(神奈川工科大学),超成熟社会に向けたクルマの知能化,第 22 回 アナログ VLSI シンポジウム,電気学会・電子回路研究専門委員会,大岡山 日本,2018 年 4 月 23 日
- 23) 【国内会議・特別講演】井上秀雄(神奈川工科大学),Autonomous Driving Intelligence for a Safer and More Secure Traffic Society for Elderly Drivers,Presentation for the Sweden Royal Couple,Kamakura city hall,Kamakura,2018 年 4 月 25 日
- 24) 【国内会議・特別講演】井上秀雄(神奈川工科大学),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,Robomech2018\_地方から創生するロボティクス・メカトロニクス,日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス部門,北九州市,2018 年 6 月 3 日
- 25) 【国内会議・パネリスト】井上秀雄(神奈川工科大学),MBD をつなげる人と技術,dSPACE Japan User Conference 2018,dSPACE,東京カンファレンスセンター品川,2018 年 6 月 8 日
- 26) 【国内会議・特別講演】井上秀雄(神奈川工科大学),Shared Control,とことん解る自動車のモデリングと制御,日本機械学会 物流部門委員会,東京,2018 年 11 月 15 日
- 27) 【国内会議・基調講演】井上秀雄(神奈川工科大学),超成熟社会に向けたクルマの知能化,日本鉄鋼協会 第 70 回白石記念講座 講演会,日本鉄鋼協会,東京, 早稲田大学,2018 年 11 月 26 日
- 28) 【国内会議・基調講演】井上秀雄(神奈川工科大学),運転支援・自動運転における安全技術の進化について,車載組込みシステムフォーラム 2019 第 31 回次世代自動車公開シンポジウム,車載組込みシステムフォーラム(ASIF),名古屋市 ナディアパーク,2019 年 1 月 31 日
- 29) 【国際会議・特別講演】井上秀雄(神奈川工科大学),AVEC'20 in Kanagawa,AVEC'18,AVEC congress,“Tsunghua University in Beijing, China”,2018 年 7 月 18 日
- 30) 【国際会議・基調講演】井上秀雄(神奈川工科大学),Autonomous Driving Intelligence System for Safer Automobiles,IPG-Automotive Apply & Innovate 2018 Symposium,IPG-Automotive,Darmstadt Germany,2018 年 9 月 12 日
- 31) 【国際会議・基調講演】井上秀雄(神奈川工科大学),Autonomous Driving Intelligence System for Safer Automobiles,“3rd ISAVT, International Symposium of Advanced Vehicle Technology 2018”,Kempton University of Applied Science,“Illertissen, Germany”,2018 年 9 月 13 日
- 32) 【その他講演】井上秀雄(神奈川工科大学),Introduction of Activities in KAIT- Vehicle System Engineering Department,Oxford Brookes University presentation,Oxford Brookes University,“Oxford, England”,2018 年 6 月 14 日
- 33) 【その他講演】井上秀雄(神奈川工科大学),産学連携研究開発プロジェクトについて -クローズド・オープン・イノベーション-,東京大学 講演会,東京大学 伊福部教授,東大 本郷,2018 年 7 月 4 日
- 34) 【その他講演】井上秀雄(神奈川工科大学),高齢社会・渋滞低減に向けたクルマの知能化,九州大学 オートモーティブサイエンス専攻,九州大学 オートモーティブサイエンス専攻 川邊教授,福岡 九大 伊都キャンパス,2018 年 8 月 2 日
- 35) 【その他講演】井上秀雄(神奈川工科大学),自動車のための情報・通信,神奈川工科大学 オープンキャンパス体験授業,2018 年 8 月 18 日
- 36) 【その他講演】井上秀雄(神奈川工科大学),KAIT 自動車システム開発工学科 紹介,第 2 回 進学アドバイザー研修会,2018 年 9 月 6 日

- 37) 【その他講演】井上秀雄(神奈川工科大学),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,自動車技術会アクティブセーフティ部門委員会講演,自動車技術会,東京,2018年11月7日
- 38) 【その他講演】井上秀雄(神奈川工科大学),クルマの知能化;運転支援/自動運転/運転知能について,サイエンス・テクノロジー講演会,サイエンス&テクノロジー株式会社,東京,2019年2月21日
- 39) 【招待講演】井上秀雄,運転支援・自動運転における開発環境の取組み,第22回組込みシステム開発技術展【春】,第8回IoT/M2M展【春】セミナー講演会,2019年4月11日
- 40) 【招待講演】井上秀雄,運転支援・自動運転における安全技術の進化について,TECHNO-FRONTIER 2019技術シンポジウム第3回センシング技術シンポジウム,2019年4月17日
- 41) 【招待講演】Hideo Inoue, Autonomous Driving Intelligence System for Safer Automobiles, Optimization and System Control Technologies for Smart Mobility Seminar in Jilin University, June 9<sup>th</sup> 2019
- 42) 【基調・招待講演】Hideo Inoue, Autonomous Driving Intelligence System for Safer Automobiles, The 2019 International Forum of Vehicle Technology and Integration, VTI2019 in Jilin University, July 12 2019.
- 43) Introduction of “Driving Intelligence Validation Platform (DIVP) project” on SIP-adus, ISAVT2019, September 5<sup>th</sup> 2019
- 44) 【査読付き】Hideo Inoue, Mohanad El-Haji, Thomas Freudenmann, Haipeng Zhang, Pongthorn Raksincharoensak, Yuichi Saito, Validation Methodology to Establish Safe Autonomous Driving Algorithms with a High Driver Acceptance Using a Virtual Environment, FAST-zero 2019 Proceedongs, August 2019
- 45) 井上秀雄, CASE時代に向けた先進自動車技術の展望 一人・クルマ・交通社会におけるエコシステムの進化について, NTN TECHNICAL REVIEW No. 87, 2019年10月27日
- 46) 關野 修, 井上秀雄, 目黒淳一, 水谷俊介, 高野瀨碧輝, 渡辺荘祐, コーストレース制御向上に寄与するリアルタイムな車位置推定アルゴリズムの研究, 2019年 日本自動車技術会秋季発表, 2019年10月
- 47) 【基調講演】Hideo Inoue, Validation Methodology to Establish Safe Autonomous Driving Algorithms with a High Driver Acceptance Using a Virtual Environment, September 17<sup>th</sup> 2019
- 48) Hideo Inoue, “Development of Autonomous Driving Intelligence System”, ITS World Congress 2019, Singapore.,2019.10.23
- 49) Hideo Inoue, Driving Intelligence Validation Platform, SIP-adus Workshop, Plenary speech, November 13<sup>th</sup>, 2019
- 50) Hideo Inoue, Driving Intelligence Validation Platform, SIP-adus Workshop, Safety assurance breakout Workshop, November 14<sup>th</sup>, 2019
- 51) Hideo Inoue, Driving Intelligence Validation Platform, Japan-German Safety assurance Workshop, November 15<sup>th</sup>, 2019
- 52) 【招待講演】井上秀雄,運転支援・自動運転における安全技術の進化について,トヨタテクニカルディベロップメント株式会社 講演会, 2019年11月15日
- 53) 井上秀雄, 高齢ドライバの安全安心を支援する運転知能の研究, 神川工科大学 研究ブランディングシンポジウム, 2019年11月30日
- 54) 井上秀雄, 運転支援・自動運転における安全技術の進化と安全性評価について, 自動車機能安全カンファレンス2019, 2019年12月6日
- 55) 【招待講演】井上秀雄, 運転支援・自動運転における安全技術の進化について, 日本鉄鋼協会 計測・制御・システム工学部会システムフォーラム主催 第2回公開フォーラム「車の自動運転に学ぶ人間・機械協調システム」, 2020年1月31日

【豊田中央研究所】(国内 5件, 海外 3件)

- 1) 大桑政幸, 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, 自動車技術会ドライバ評価手法検討部門委員会, 東京, 2014/04/18.
- 2) 大桑政幸, 適応型HMI:自律運転知能システムにおける人間・機械協調技術, S-イノベ中間報告シンポジウム, 東京, 2015/01/26.
- 3) 【査読付き】Tsukasa Shimizu, Masayuki Okuwa, Pongsathorn Raksincharoensak, Analysis of Driver Behavior for Joint Human-Machine Systems Design of Intelligent Driving System, FAST-zero'15, Sweden, 2015/09/11.

- 4) Masayuki Okuwa, Joint Human-Machine System Design for Intelligent Driving System, ITS World Congress 2015, France, 2015/10/06.
- 5) 大桑政幸, 清水司, 藤枝延維, 和田錦一, 自律運転知能システムにおける人間・機械協調技術, 安全工学シンポジウム 2015, 東京, 2015/07/02.
- 6) 清水司, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 大桑政幸, 潜在危険場面における自律運転知能のためのリスク定量化, 自動車技術会 2016 年度春季学術講演会, 2015, 横浜, 2016/05/27.
- 7) 【査読付き】Tsukasa Shimizu, Pongsathorn Raksincharoensak, Motion Planning Via Optimization of Risk Quantified by Collision Velocity Accompanied with AEB Activation, ICVES 2017, Austria, 2017/06/27.
- 8) 清水司, JST 戦略的イノベーション創出推進プログラム(S-イノベ)シンポジウム, 先読み運転のためのリスク予測技術の進化(Risk prediction), 神奈川, 2017/08/23.

【トヨタ自動車】(国内 31 件, 海外 20 件)

- 1) Hideo Inoue, Autonomous Driving System to Enhance Safe and Secured Traffic Society for Elderly Drivers, JST-VINNOVA Scope Group Meeting for academia-industry collaboration program, Tokyo, Japan, 2013.5.21
- 2) Hideo Inoue, Next Step of Driver Assistance, subtitle; Perspectives of ADAS with Autonomous Driving Intelligence for Tomorrow's Innovation, 7<sup>th</sup> IFAC Symposium on Advances in Automotive Control, 5<sup>th</sup> September 2013, Tokyo, Japan
- 3) Hideo Inoue, Development of Driving Intelligence, subtitle; Perspectives of ADAS with Autonomous Driving Intelligence for Tomorrow's Innovation, The 6<sup>th</sup> Workshop of Digital Processing for In-Vehicle Systems, Korea University, Seoul, Korea, 30<sup>th</sup> September 2013
- 4) Hideo Inoue, Proactive Driving Intelligence, 20<sup>th</sup> ITS World Congress Executive Session 3 Tokyo, Japan, 15<sup>th</sup> October 2013
- 5) Masashi Mizukoshi, Hideo Inoue, et.al., Autonomous Driving System to Enhance Safe and Secured Traffic Society for Elderly Drivers, 20<sup>th</sup> ITS World Congress, Tokyo, Japan, 17<sup>th</sup> October 2013
- 6) Hideo Inoue, Proactive Driving Intelligence, subtitle; Next Step of Driver Assistance, Autonomous Vehicle Technology Workshop, 11<sup>th</sup> February 2014, LTA in Singapore
- 7) 井上秀雄, クルマの安全・安心技術の現状と将来, 副題; 交通事故ゼロの社会を目指して, 交通科学安全セミナーシンポジウム, 2013 年 2 月 21 日
- 8) 井上秀雄, 永井正夫, 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知能システム, NANOBIC シンポジウムパネルディスカッション, テーマ; 新川崎・創造のもりから生まれる未来, 2013 年 11 月 28 日
- 9) 井上秀雄, 永井正夫, 鎌田実, 大桑政幸, 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, 電子情報通信学会, 総合大会企画セッション; クラウドネットワークロボットとしての自動運転支援, 新潟大学, 2014 年 3 月 19 日
- 10) 井上秀雄, 永井正夫, 鎌田実, ポンサトーンラクシンチャラーンサク, 大桑政幸, 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, 自動車技術会春季大会, 22-20114375, 2014 年 5 月 21 日
- 11) 井上秀雄, 永井正夫, 鎌田実, 大桑政幸, 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, 電子情報通信学会, 総合大会企画セッション; クラウドネットワークロボットとしての自動運転支援, 新潟大学, 2014 年 3 月 19 日
- 12) 井上慎太郎, 小澤拓巳, 平野豊, 井上秀雄, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, DYC と操舵支援による人間機械協調型運転支援システムに関する研究(第一報)2015 年自動車技術会秋季大会学術講演会講演予稿集, pp. 300-305, 2015. 10. 14- 16
- 13) Hideo Inoue, Development of ADAS with Autonomous Driving Intelligence for Tomorrow's Innovation, China Intelligent & Connected Vehicle Summit 2014, Shanghai, 26-27 May 2014
- 14) Masao Nagai, Hideo Inoue, Research into ADAS with Autonomous Driving Intelligence for Future Innovation, Chassis Tech Plus 2014, 23-25 June 2014, Munich, Germany
- 15) Hideo Inoue, Research into ADAS with Driving Intelligence for Future Innovation, IEEE International Electron Device Meeting 2014 Keynote Speech, San Francisco, 15-17 December 2014
- 16) 井上秀雄, 超成熟社会に向けたクルマの智能化, 富士通(株)での講演, 2014 年 8 月 7 日
- 17) 井上秀雄, 欧州自動車産業の産学官連携の動向, JST システム科学会議, 2014 年 9 月 19 日
- 18) 井上秀雄, 永井正夫, 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, S-イノベ第

2回研究開発テーマ推進会議, 2014年10月6日

- 19) 井上秀雄, 超成熟社会に向けたクルマの知能化, 学術振興協会講演, 2014年10月23日
- 20) 井上秀雄, 超成熟社会に向けたクルマの知能化, JSAE アクティブセイフティ部門委員会シンポジウム 自動運転への最新技術革新, 2014年11月27日
- 21) 井上秀雄, 鎌田実, 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, S イノベ公開シンポジウム, 2014年12月2日
- 22) 井上秀雄, イノベーション創出に向けた「システム思考の産官学連携」について, 産学官連携・自動車工学フォーラム講演, 2015年1月16日
- 23) 井上秀雄, 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, S イノベ中間報告シンポジウム「80代でもこころは現役, いきいき外出の実現に向けて」, 2015年1月26日
- 24) 井上秀雄, 超成熟社会に向けたクルマの知能化, 第二回 新磁歪・電磁スマートデバイス開発研究会, 2015年3月4日, 仙台国際会議場
- 25) 【招待】Hideo Inoue, “Research into ADAS with Driving Intelligence for Future Innovation”, 2<sup>nd</sup> International VDI Conference – Automated Driving2015, Frankfurt, 2015/5/12
- 26) 井上秀雄, “超成熟社会に向けた自動運転・高度運転支援システムの取り組み”, 安全工学シンポジウム2015.7.2
- 27) 井上秀雄, “S-イノベ: 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”, 公益財団法人北九州産業推進機構講演, 2015.7.23
- 28) 【招待】Hideo Inoue, Driving Intelligence for Safer Automobiles, Flash Memory Summit 2015, Santa Clara, 2015/8/12.
- 29) 【招待】井上秀雄, “高齢社会に向けたクルマの知能化 -「課題解決先進国日本」に向けた産学官連携”, 名古屋 COI グローバルモビリティ拠点サミット 2015, 2015.8.28
- 30) 【招待】Hideo Inoue, “ADAS with Driving Intelligence for Future Innovation”, FAST-zero 2015 Symposium “Automated Driving-Challenge & Motivations”, Gothenburg, 2015/9/10
- 31) 【招待】井上秀雄, “超成熟社会に向けたクルマの知能化-イノベーション創出に向けた「システム思考の産学官連携」について”, NEXT30 第12回研究セミナー “成熟社会の『少子高齢』の宿命に立ち向かう” 月刊ニューメディア主催, 2015.10.2
- 32) Hideo Inoue, “ADAS with Driving Intelligence to enhance a Safer and More Secured Traffic Society for Elderly Drivers”, 22th ITS World Congress, Boldou, 2015/10/6
- 33) 【招待】井上秀雄, “高齢社会に向けたクルマの知能化-安全観点からの高齢ドライバと自動運転・運転支援”, 第3回自動車運転再開とリハビリテーションに関する研究会 講演, 小倉, 2015.10.17.
- 34) 【招待】井上秀雄, “超成熟社会に向けたクルマの知能化-イノベーション創出に向けた「システム思考の産学官連携」について”, 鉄鋼協会「計測・制御・システム工学部会フォーラム」講演, 東京, 2015.10.15
- 35) 【招待】Hideo Inoue, Driving Intelligence for Safer Automobiles, 2015 IECON Industry Forum 講演, Yokohama, 2015.11.9
- 36) 井上慎太郎, 相川弘幸, 井上秀雄, ポンサトーン・ラクシンチャランサク, DYC と操舵支援による人間機械協調型運転支援システムに関する研究(第二報)2016年自動車技術会春季大会学術講演会講演予稿集, pp. 1621-1626, 2016. 5. 25- 27
- 37) 井上慎太郎, 小澤拓巳, 平野豊, 井上秀雄, ポンサトーン・ラクシンチャランサク, DYC と操舵支援による人間機械協調型運転支援システムに関する研究(第1報), 2015年自動車技術会秋季大会学術講演会講演予稿集, 2015.10.14
- 38) 【査読付き】Inoue, S., Ozawa, T., Inoue, H., Raksincharoensak, P. and Nagai, M.  
: Cooperative Lateral Control between Driver and ADAS by Haptic Shared Control Using Steering Torque Assistance Combined with Direct Yaw Moment Control, Proceedings of 2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC2016), 2016.11.2
- 39) 【査読付き】Inoue, S., Inoue, H., Ozawa, T., Raksincharoensak, P. and Nagai, M.: Enhancing Path Tracking performance by Using Haptic Shared Steering Control Combined with DYC, Proceedings of 13th International Symposium on Advanced Vehicle Control (AVEC16), 2016.9.13
- 40) 井上慎太郎, 木下俊貴, 美尾昌宏, 井上秀雄, ポンサトーン・ラクシンチャランサク, リスクポテンシャル最適化理論による操舵支援のシェアード・コントロールに関する研究, 2017年自動車技術会春季大会学術講演会講演予稿集, 2017.5.26

- 41) 【査読付き】Inoue, S., Nasu, T., Hayashi, T., Sasaki, H., Raksincharoensak, P., Nagai, M. and Inoue, H., A Shared- Control-Based Driver Assistance System Using Steering Guidance Torque Combined Direct Yaw-Moment Control, Proceedings of 25th International Symposium on Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks (IAVSD2017), 2017.8.14
- 42) 遠藤照昌, 高齢者特性に適合する協調運転を目指して, S イノベ公開シンポジウム「高齢社会に向けたクルマの知能化について～リスク予測と人間機械協調技術～」, 2017.8.23.
- 43) 【査読付き】Inoue, S., Kinoshita, T., Mio, M., Raksincharoensak P., Nagai, M. and Inoue, H., Study on Haptic Steering Shared Control between Driver and ADAS by Using Risk Potential Optimization Theory, Forth International Symposium on Future Active Safety Technology Toward zero traffic accidents (FAST-zero' 17), 2017.9.20
- 44) 井上慎太郎, 運転知能のための人間機械協調技術の進化 (Shared Control), JST-S イノベ × NEDO 次世代人工知能「安全かつ安心な社会を実現するための自律運転知能システム研究開発の現状と展望」合同ワークショップ (Robomech2018 ワークショップ), 北九州, 2018/6/3.
- 45) 【査読付き】Inoue, S., Aikawa, H., Raksincharoensak, P., A Study on Steering Shared Control Combined with Velocity Control by Using Sequential Reference Curvature Generation , Proceedings of the 14th International Symposium on Advanced Vehicle Control, 6pages, Beijing, China, July 16–20, 2018
- 46) Shintaro Inoue, Katsumi Ohno, Introduction of National Project S-innovation with Coventry University and Horiba, Information sharing Meeting at Higashifuji Technical Center, 2018,12,14
- 47) 井上慎太郎, 安全と走りを融合するシェアード・コントロール, 自動車技術会 中部支部 第2回技術交流会, 2019,1,25
- 48) 井上慎太郎, 齊藤裕一, 山崎彬人, 木下俊貴, 佐藤文哉, 伊藤太久磨, 清水司, 齋藤創, 内田信行, 井上秀雄, ポンサートン・ラクシンチャランサク, 人間と機械の分担率に基づくリスク回避のための協調型操舵支援システム-緩ブレーキ支援と連係する駐車車両回避場面の高齢ドライバ実験的検討-, 2019 年自動車技術会春季大会学術講演会講演予稿集, 2019.5.23
- 49) Inoue, S., Kinoshita, T., Saito, Y., Yamazaki, Y., Raksincharoensak P., Ito, T., Saito, S., Shimizu, T., Inoue, H., Risk Predictive Steering Driver Assistance System Based on Shared Raito between Driver and System, The 5th International Symposium on Future Active Safety Technology toward Zero Accidents (FAST-zero-19), Virginia(USA), 2019.9.9
- 50) 菅谷文男, 清水司, 齊藤裕一, 山崎彬人, 今井将博, 久米伸一, 吉見竜馬, ポンサートン・ラクシンチャランサク, 伊藤太久磨, 井上慎太郎, 井上秀雄, リスクフィールド技術: 一般ドライバ実走行データを用いた潜在危険場面のリスク定量化分析, 2019 年自動車技術会秋季大会学術講演会講演予稿集, 仙台, 2019.10.9
- 51) Inoue, S., Kinoshita, T., Saito, Y., Yamazaki, Y., Raksincharoensak P., Ito, T., Saito, S., Shimizu, T., Inoue, H Risk Predictive Brake Control and Haptic Shared Control of Steering, ITS World Congress 2019, Singapore., 2019.10.23

#### ■ポスター発表等

##### 【東京農工大学】(国内 14 件, 海外 2 件)

- 1) 長谷川隆裕, ポンサートン・ラクシンチャランサク, 永井正夫, ポテンシャルフィールドに基づく自律型自動運転システムの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013 (ROBOMECH2013), つくば, 2013.5.24
- 2) 赤松湧太, ポンサートン・ラクシンチャランサク, 永井正夫, ドライビングシミュレータを用いた危険予測型対歩行者衝突回避システムの開発, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2013 (ROBOMECH2013), つくば, 2013.5.24.
- 3) 長谷川隆裕, ポンサートン・ラクシンチャランサク, 永井正夫, 潜在リスク予測に基づく自律運転知能システムに関する研究, 計測自動制御学会 SSI2013, ピアザ青海, 滋賀, 2013.11.18–20.
- 4) 赤松湧太, ポンサートン・ラクシンチャランサク, 永井正夫, リスクポテンシャルを用いた無信号交差点における危険予測型ブレーキ支援システム, 計測自動制御学会 SSI2013, ピアザ青海, 滋賀, 2013.11.18–20.
- 5) 三本喬之, ポンサートン・ラクシンチャランサク, 逐次クロソイド型経路生成に基づく自律運転知能の操舵制御系に関する研究, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 ROBOMECH2014, 2A2-H02, 2014.5.25–29, 富山(2014).

- 6) 【査読付き】Kou Iwano, Pongsathorn Raksincharoensak, and Masao Nagai, A Study on Shared Control between the Driver and an Active Steering Control System in Emergency Obstacle Avoidance Situations, Proceedings of IFAC World Congress 2014, 2014.8.25-29, Cape Town, South Africa.
- 7) Pongsathorn Raksincharoensak, Masao Nagai, Hideo Inoue, Minoru Kamata and Masayuki Okuwa, Enhancing Active Safety by Autonomous Driving Intelligence System Based on Experienced Driver Behavior Model, Automated Vehicle Symposium 2014, 2014.7.15-17, San Francisco, USA (2014).
- 8) 齊藤裕一, 三本喬之, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 潜在リスク予測に基づいたシェアード・コントロールの設計, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会, SS2-4, 6 pages, 函館, 2015. 11. 18-20
- 9) 三本喬之, 齊藤裕一, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 自転車の急横断リスクの予測に基づいた行動適応型操舵支援システムの構築, 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会, SS13-4, 6 pages, 函館, 2015. 11. 18-20
- 10) 三本喬之, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, リスクポテンシャルに基づく車線追従制御系の人間機械協調系に関する研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015, 1A1-F02, 6 pages, 京都, 2015. 5. 17-19
- 11) 黒田聡, 齊藤裕一, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 潜在リスク予測ドライバモデルに基づくブレーキ制御支援-無信号交差点における歩行者事故低減効果の分析, 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会 2016, 滋賀, 2016. 12. 6-8.
- 12) 齊藤裕一, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, ハプティックシェアードコントロールによる潜在リスク予測運転能力の向上, 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会 2016, 滋賀, 2016. 12. 6-8.
- 13) 齊藤裕一, シェアード・コントロールによる高齢ドライバの潜在リスク予測運転能力の向上効果, S イノベ公開シンポジウム「高齢社会に向けたクルマの知能化について～リスク予測と人間機械協調技術～」, 2017.8.23.
- 14) 山崎彬人, 潜在リスク予測に基づく自律運転知能システムに関する研究, S イノベ公開シンポジウム「高齢社会に向けたクルマの知能化について～リスク予測と人間機械協調技術～」, 2017.8.23.
- 15) 佐藤文哉, 自転車の急横断リスクの予測に基づいた行動適応型操舵支援システムの開発, S イノベ公開シンポジウム「高齢社会に向けたクルマの知能化について～リスク予測と人間機械協調技術～」, 2017.8.23.
- 16) 齊藤裕一, 久米伸一, 渡部裕葵, 井上秀雄, ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク, 走行環境の文脈とドライバ行動の状態に基づく潜在危険度推定, SICE 計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2018 講演論文集, 1 page, 富山, 2018. 11. 25-27.

【日本自動車研究所】(国内 1 件, 海外 0 件)

- 1) 齋藤 創, 自動走行評価拠点 Jtown, S イノベ公開シンポジウム「高齢社会に向けたクルマの知能化について～リスク予測と人間機械協調技術～」, 2017.8.23.

【東京大学】(国内 5 件, 海外 0 件)

- 1) 伊藤太久磨, 志野達弥, 鎌田実, 質問紙による高齢ドライバの諸特性照査結果と予見的制御介入への評価の関係性, 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会, 岡山, 2014.11.21.
- 2) 伊藤太久磨, 志野達弥, 鎌田実, 予見的制御介入の受容性向上を目指した知能化自動車の状況把握に基づく情報共有システムの検討, 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会, 函館, 2015.11.18.
- 3) 松實良祐, 高齢ドライバの諸特性照査結果と予見的制御介入への評価の関係性, S イノベ公開シンポジウム「高齢社会に向けたクルマの知能化について～リスク予測と人間機械協調技術～」, 2017.8.23.
- 4) 曾家将嗣, 高齢ドライバへの情報共有を用いた予見的制御介入の受容度向上手法の検討, S イノベ公開シンポジウム「高齢社会に向けたクルマの知能化について～リスク予測と人間機械協調技術～」, 2017.8.23.
- 5) 伊藤太久磨, 中村慧, 通山恭一, 鎌田実, 知能化自動車のためのリーンな地図情報基盤の提案. 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会, 富山, 2018/11/25.

【神奈川工科大学】(国内 3 件, 海外 0 件)

- 1) 木部克哉, 対向車を考慮した自転車追越し判定アルゴリズムの一考察, S イノベ公開シンポジウム「高齢社会に向けたクルマの知能化について～リスク予測と人間機械協調技術～」, 2017.8.23.
- 2) 木部勝哉, 安全の進化に向けたクルマの運転知能技術, KAIT シンポジウム 2017, 2017 年 12 月 9 日

- 3) 關野 修, 井上秀雄, 高度運転支援・自動運転システムの為の研究開発基盤の構築, dSAPE User Conference, June 14<sup>th</sup> 2019

【豊田中央研究所】(国内 1 件, 海外 0 件)

- 1) 清水司, JST 戦略的イノベーション創出推進プログラム(S-イノベ)シンポジウム, Motion Planning Via Optimization of Risk Quantified by Collision Velocity Accompanied with AEB Activation, 神奈川, 2017/08/23.

【トヨタ自動車】(国内 2 件, 海外 0 件)

- 1) 石田 裕太郎, 橋本 康平, 有田 裕太, 田中 良道, 西田 健, 伊藤 太久磨, 井上秀雄, 通山 恭一, 田向 権. (2016.8). 自動運転のための知的処理におけるハードウェア アクセラレータ利用の基礎検討, 第 32 回 ファジシステムシンポジウム, 佐賀.
- 2) 井上慎太郎, Direct Yaw-Moment Control(DYC)と操舵支援による人間機械協調型運転支援システムに関する研究, S イノベ公開シンポジウム「高齢社会に向けたクルマの知能化について～リスク予測と人間機械協調技術～」, 2017.8.23.

(2-2)新聞雑誌等での掲載, テレビ等での放送, 展示会等への出展など

■受賞・表彰

【東京農工大学】

- 1) 東京農工大学, 松實 良祐, 自動車技術会大学院研究奨励, リスクポテンシャル推定に基づく自律型衝突回避システムに関する研究, 2014 年, 自動車技術会
- 2) 東京農工大学, 長谷川 隆裕, 自動車技術会大学院研究奨励, リスクポテンシャル最適化に基づく自動運転車両の運動計画と制御に関する研究, 2015 年, 自動車技術会
- 3) 東京農工大学, ポンサトーン・ラクシンチャランサク, J SAE プロフェッショナル エンジニア 認定, 2015 年, 自動車技術会
- 4) 東京農工大学, 三本 喬之, 自動車技術会大学院研究奨励, 市街地道路の自転車の移動予測に基づく操舵系の触覚的シェアード・コントロールの研究, 2016 年, 自動車技術会
- 5) 東京農工大学, ポンサトーン・ラクシンチャランサク, 2016 堀場雅夫賞, リスク予測運転知能モデルに基づく協調型運転支援システム, 2016 年, 堀場製作所
- 6) Finalist for Best Paper Award of FAST-zero Symposium 2017.  
Enhancing Risk Predictive Driving Performance of Elderly Drivers via Adaptive Shared Control Interface.  
Yuichi Saito, Keisuke Shimono, Shintaro Inoue, Hideo Inoue, Pongsathorn Raksincharoensak
- 7) 東京農工大学, 齊藤 裕一, 三本 喬之, ポンサトーン・ラクシンチャランサク, 第 68 回公益社団法人自動車技術会論文賞, 潜在リスク予測ドライバモデルに基づくブレーキ制御支援システムの設計と有効性評価, 2018 年, 自動車技術会

【東京大学】

- 1) 東京大学, 鎌田 実, 日本機械学会 フェロー認定, 2013 年, 日本機械学会
- 2) 東京大学, 伊藤 太久磨, 2016 堀場雅夫特別賞, リーンなセンサによる自動運転のための外界環境認識技術, 2016 年, 堀場製作所
- 3) 東京大学, 中村慧, 自動車技術会 学術講演会優秀講演発表賞, 実走行データを用いた自動運転用リーン地図更新システムの提案, 2017 年, 自動車技術会
- 4) 東京大学, 中村慧, 自動車技術会 大学院研究奨励賞, ナビ地図を活用した自動運転のための LeanMAP 深化システム, 2018 年, 自動車技術会
- 5) 東京大学, 中村慧, 東京大学大学院新領域創成科学研究科 研究科長賞, 2018 年, 東京大学
- 6) 東京大学, 伊藤 太久磨, JSAE プロフェッショナル エンジニア 認定, 2019 年, 自動車技術会

#### 【神奈川工科大学】

- 1) 神奈川工科大学,井上 秀雄,日本機械学会 交通・物流部門業績賞,2016年,日本機械学会

#### 【豊田中央研究所】

- 1) 豊田中央研究所,清水 司,自動車技術会 学術講演会優秀講演発表賞,潜在危険場面における自律運転知能のためのリスク定量化-駐車車両回避時の経路生成への適用,2016年,自動車技術会

#### 【トヨタ自動車】

- 1) トヨタ自動車,井上 慎太郎,浅原賞学術奨励賞,DYCと操舵支援による人間機械協調型運転支援システムに関する研究—経路追従走行における高齢ドライバへの支援効果,2017年,自動車技術会
- 2) Finalist for Best Paper Award of FAST-zero Symposium 2017.  
Study on Haptic Steering Shared Control between Driver and ADAS by Using Risk Potential Optimization Theory.  
Shintaro Inoue,Toshi Kinoshita,Masahiro Mio,Pongsathorn Raksincharoensak,  
Masao Nagai,Hideo Inoue
- 3) Best Paper Award, The 14th International Symposium Advanced Vehicle Control (AVEC' 18), Shintaro Inoue, Hiroyuki Aikawa, Pongsathorn Raksincharoensak

#### ■新聞雑誌

#### 【東京農工大学】

- 1) ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク(東京農工大学)日刊工業新聞 2013.12.18(水)「高齢者の安全運転を支援」
- 2) ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク(東京農工大学)京都新聞 2016.10.18(火)「平成28年度堀場雅夫賞」
- 3) ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク(東京農工大学)日刊工業新聞 2016.10.19(水)「平成28年度堀場雅夫賞」
- 4) ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク(東京農工大学)カーグラフィック 7月号, 2017.6.30 発刊「彼の仕事,彼女の仕事」
- 5) ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク(東京農工大学)日刊自動車新聞 2018.5.30(水)「車両制御の知見生かし安全性を高める」
- 6) ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク(東京農工大学)日刊工業新聞 2018.8.14(火)「潜在的な交通リスクマップ:自動運转向け開発進む」
- 7) ポンサトーン・ラクシンチャラーンサク(東京農工大学)読売新聞 2018.11.24(土)「あなたと考える自動運転の安全・安心」

#### 【日本自動車研究所】

- 1) 永井正夫,自動運転の現状について(インタビュー),弁護士ドットコム, 2017年6月15日
- 2) 永井正夫,自技会70周年に向けて,自動車技術 Vol.71, No.9, 2017
- 3) 【特別解説】永井正夫,自動運転技術開発の現状とJARIの取り組み,～自動運転評価拠点Jtownにおける活動～,JRガゼット,1.2018
- 4) 永井正夫,特集 自動車の自動運転の研究開発の現状と課題 提言の概要と産学連携の取組について,公益財団法人日本学術協力財団,学術の動向,46-49,2019.9

#### 【東京大学】

- 1) 伊藤太久磨. 自動運転にかける夢. リハビリテーションエンジニアリング, Vol.30, No. 2, 2015/5.
- 2) 伊藤太久磨(東京大学)京都新聞 2016.10.18(火)「平成28年度堀場雅夫賞」
- 3) 伊藤太久磨(東京大学)日刊工業新聞 2016.10.19(水)「平成28年度堀場雅夫賞」



### 【トヨタ自動車】

- 1) 井上秀雄, 知能持つマシン「人馬一体」理想に, 銀の靴を探して 2025 年 交通とまちづくり, 下野新聞社, 2013 年 3 月 23 日記事
- 2) 井上秀雄, 高齢社会に向けたクルマの知能化, 日本バーチャルリアリティ学会誌 19 巻 3 号 2014 年 9 月, 特集 超高齢社会と VR, p17-20

### 【神奈川工科大学】

- 1) 井上秀雄(神奈川工科大学), 日刊自動車新聞, 2017.3.22.(水), 「CAE フォーラム開催 自動車メーカーの講演話題」
- 2) 井上秀雄(神奈川工科大学), JSTnews April 2017, 高齢ドライバーの自動車事故を防ぐ「自律運転知能システム」, 社会への架け橋 ～シリーズ4 超高齢社会を生きる 第3回～ 記事
- 3) 井上秀雄, 高齢ドライバーの自動車事故を防ぐ「自律運転知能システム」, JSTnews 2017 年 4 月号 インタビュー記事, pp12-pp13, 2017 年 4 月
- 4) 井上秀雄, 「JST 高齢運転者の事故防止へ 自律運転知能システム」, 交通毎日新聞インタビュー記事, 2017 年 5 月 25 日刊行
- 5) 井上秀雄, 「AI, 高齢者の運転支援」, 日本経済新聞インタビュー記事, 2017 年 6 月 5 日刊行
- 6) JST S イノベーションと神奈川工科大学次世代自動車工学シンポジウムの共同開催, 高齢社会に向けたクルマの知能化について ーリスク予測と人間機械協調技術ー, 2017 年 8 月
- 7) 井上秀雄, 「安全運転へ弱点自覚」, 読売新聞インタビュー記事, 2017 年 6 月 5 日刊行
- 8) 井上秀雄, 「自律運転知能が描く高齢者とクルマの新しい世界」, エフラボ(大学進学情報誌), 2018 年 12 月発行
- 9) 井上秀雄, 「高度運転支援システムの実現へ」, 日刊自動車新聞インタビュー記事, 2018 年 12 月 19 日
- 10) 井上秀雄, 「自律運転知能システムを研究開発中. 精度の高い危険予知判断モデル作りに取り組む」AERA ムック大学院・通信制大学 2020, 2019 年 7 月 25 日発行
- 11) 井上秀雄, CASE 時代に向けた先進自動車技術の展望 ー人・クルマ・交通社会におけるエコシステムの進化について, NTN TECHNICAL REVIEW No. 87, 2019 年 10 月 27 日

### ■テレビ放送

#### 【東京農工大学】

- 1) 2013 年 7 月 11 日 NHK 総合 くらし解説  
「歩行者を守れ！ここまできた自動車安全技術」
- 2) 2013 年 9 月 1 日 NHK BS Biz Sunday  
「ここまできた自動運転車」
- 3) 2013 年 10 月 23 日 NHK クローズアップ現代  
「ここまできた自動運転 社会はどう変わるのか」
- 4) 2013 年 11 月 NHK 総合 団塊スタイル  
「60代から運転力アップ」
- 5) 2014 年 1 月 15 日 JST サイエンスチャンネル  
「走れ未来のクルマ 進化するカーロボティクス」
- 6) 2018 年 1 月 29 日 NHK 総合 クローズアップ現代+  
「"ドラレコ"革命 ～危険な運転を炙りだせ～」

#### 【日本自動車研究所】

- 1) 2016, 4.20(水)BS フジ, LIVE「PRIME NEWS」(20:00～21:53・生放送),  
『新技術でどう変わる？日本のクルマ社会』, 永井

### ■展示会, 情報発信イベント

#### 【全体】

1) 中間報告シンポジウムの実施

JST 戦略的イノベーション創出推進プログラム(S-イノベ) 中間報告シンポジウムを開催した。  
 「80代でもこころは現役、いきいき外出の実現に向けて」

2015年1月26日(月)13:00-17:00 東京農工大学工学部 140周年記念会館

協賛:公益社団法人 自動車技術会

企画協力:自動車技術会 アクティブセイフティ部門委員会

参加者:87名

発表内容:

- 開会挨拶/JST S-イノベの趣旨(プログラムオフィサー 伊福部達)
- 研究の背景とビジョン (日本自動車研究所 永井正夫)
- 高齢社会に向けたクルマの知能化 (トヨタ自動車(株) 井上秀雄)
- 自律運転知能システムの環境認識を実現するセンシングプラットフォーム (東京大学 伊藤太久磨)
- リスクポテンシャルを用いた自律運転知能システムの制御系設計 (東京農工大学 ボンサトーン ラクシンチャラーンサク)
- 適応型 HMI:自律運転知能システムにおける人間・機械協調技術 (豊田中央研究所 大桑政幸)
- パネルディスカッション「いきいき外出の実現に向けて」



図 9-1 (S-イノベ)中間報告シンポジウム ポスター



図 9-2 (S-イノベ)中間報告シンポジウム

- 2) 安全工学シンポジウム オーガナイズドセッション開催  
 2015年7月2日 日本学術会議主催 安全工学シンポジウム 2015にて、参画機関の研究者によって、「超成熟社会に向けた自動運転・高度運転支援システムの取り組み」セッションを企画し、合計6件の講演を行った。
- OS-1-1. 高齢社会に向けたクルマの知能化 井上秀雄(トヨタ自動車(株))
  - OS-1-2. 地方での高齢者の日常的な移動を支えるための自動運転技術  
伊藤太久磨, 鎌田 実(東京大学)
  - OS-1-3. リスクポテンシャルを用いた自律運転知能の運動計画手法  
ポンサトーン ラクシンチャラーンサク, 毛利 宏(東京農工大学)  
永井正夫(日本自動車研究所)
  - OS-1-4. 自律運転知能システムにおける人間・機械協調技術  
大桑政幸, 清水 司, 藤枝延維, 和田錦一(豊田中央研究所)
  - OS-1-5. 自動運転実現に向けた世界の動向 内村孝彦(ITS Japan)
  - OS-1-6. 道路交通社会の要望と自動運転技術の社会実装 大口 敬(東京大学)
- 3) ITS 分野における世界最大規模の国際会議 ITS World Congress 2015 において、S イノベの取組を中心とし、海外から2名のゲストを迎えつつ Special Interest Session 「Autonomous driving intelligence for elderly drivers」を企画し、S イノベ側からは合計4件の講演を行った。
- 4) ステージII 成果報告シンポジウムの実施  
 JST 戦略的イノベーション創出推進プログラム(S-イノベ)ステージII 成果報告シンポジウムを開催した。  
 「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」  
 2016年9月8日(木)13:00-17:00 東京大学工学部2号館213号室  
 協賛:公益社団法人 自動車技術会  
 企画協力:自動車技術会 アクティブセイフティ部門委員会  
 参加者:183名  
 発表内容:
- 産学連携国家研究戦略(科学技術振興機構 有本建男)
  - 運転支援・自動運転の技術動向(トヨタ自動車(株) 奥地弘章)
  - 自動運転研究におけるS-イノベプロジェクトの位置づけ(日本自動車研究所 永井正夫)
  - 高齢社会プロジェクト(プログラムオフィサ 伊福部達)
  - S-イノベステージII 成果報告「高齢者のための自律運転知能システム(神奈川工科大学 井上秀雄)
  - まとめ/質疑応答(東京大学 鎌田実)
  -
- 5) JST 戦略的イノベーション創出推進プログラム(S-イノベ)第3回シンポジウム  
 第4回次世代自動車工学シンポジウム  
 JST 戦略的イノベーション創出推進プログラム(S-イノベ)シンポジウム  
 高齢社会に向けたクルマの知能化について  
 ~リスク予測と人間機械協調技術~

日時:平成29年8月23日(水)13:00~17:30

場所:神奈川工科大学

情報学部棟12Fメディアホール

(神奈川県厚木市荻野1030)

共催 神奈川工科大学 先端自動車技術開発研究所

国立研究開発法人科学技術振興機構

企画:トヨタ自動車(株),

東京農工大学

東京大学

神奈川工科大学

(株)豊田中央研究所

(一財)日本自動車研究所

協賛:公益社団法人 自動車技術会

一般社団法人 日本機械学会  
企画協力:自動車技術会アクティブセイフティ部門委員会  
来場者数:225名

【プログラム】

司会 井上 秀雄(神奈川工科大学 教授)  
小宮 一三(神奈川工科大学 学長)

13:00 開会挨拶,

<招待講演>

13:10 自動運転・運転支援におけるセンシング技術について, 三田 誠一(豊田工業大学 名誉教授)  
13:40 ビークルダイナミクスから見た知能化への期待, 安部 正人(神奈川工科大学 名誉教授)  
14:10 (休憩) ※ 講演会場周辺ロビーでポスターセッション実施

<S イノベプロジェクト講演>

14:40 自動運転の動向とS イノベの役割,  
永井 正夫(日本自動車研究所 所長, 東京農工大学 名誉教授)  
15:10 高齢者特性に適合する協調運転を目指して, 遠藤 照昌(トヨタ自動車 主査)  
15:40 リーンな地図情報を活用した外界環境認識技術とその発展性,  
伊藤 太久磨(東京大学 特任研究員)  
16:10 先読み運転のためのリスク予測技術の進化( Risk prediction ),  
清水 司(豊田中央研究所 主任研究員)  
16:40 運転知能のための人間機械協調技術の進化( Shared control ),  
ポンサトーン・ラクシンチャランサク(東京農工大学 准教授)  
17:10 まとめ・総評, 伊福部 達(JST S イノベ PO, 東京大学 名誉教授, 北海道科学大学 教授)  
17:30 閉会

【ポスターセッション】

- ・シェアード・コントロールによる高齢ドライバーの潜在リスク予測運転能力の向上効果,  
齊藤裕一(東京農工大学)
- ・潜在リスク予測に基づく自律運転知能システムに関する研究,  
山崎彬人(東京農工大学)
- ・自転車の急横断リスクの予測に基づいた行動適応型操舵支援システムの開発,  
佐藤文哉(東京農工大学)
- ・高齢ドライバーの諸特性照査結果と予見的制御介入への評価の関係性,  
松實良祐(東京大学)
- ・高齢ドライバーへの情報共有を用いた予見的制御介入の受容度向上手法の検討,  
曾家将嗣(東京大学)
- ・対向車を考慮した自転車追越し判定アルゴリズムの一考察,  
木部克哉(神奈川大学)
- ・Motion Planning Via Optimization of Risk Quantified by Collision Velocity Accompanied  
with AEB Activation,  
清水司(豊田中央研究所)
- ・自動走行評価拠点 Jtown,  
齋藤創(日本自動車研究所)
- ・Direct Yaw-Moment Control(DYC)と操舵支援による人間機械協調型運転支援システムに関する研究,  
井上慎太郎(トヨタ自動車)

**「第4回次世代自動車工学シンポジウム&JST戦略的イノベーション創出推進プログラム(S-イノベ)シンポジウム」を開催しました**

8月23日(水)午後、本学情報学部棟メディアホールにて、神奈川工科大学 先端自動車技術開発研究所と国立研究開発法人科学技術振興機構(JST)が共催する「第4回次世代自動車工学シンポジウム&JST戦略的イノベーション創出推進プログラム(S-イノベ)シンポジウム」が成功裏に開催されました。

本年は、「高齢社会に向けたクルマの知能化について～リスク予測と人間機械協調技術～」をテーマに、招待講演2件、S-イノベプロジェクト講演5件、および学生中心のポスターセッションと、最先端の内容を盛り沢山に紹介して頂きました。

自動車関連産業界、研究機関など、産学官機関等から第一線で活躍されている総勢200人を超える参加者があり、最新技術を熱心に聴講されました。

単なる「自動運転」ではなく、高齢者の日常の足となっているクルマが、これからは、より安全・快適に、人間と共存するモビリティとして発展するために、知能化や安全技術の進化の方向性について、各先生方から熱く講演されました。聴講された方々一同から、「大変、示唆に富んだ内容の裏、シンポジウム」「目から鱗の技術」「大変、有意義で満足！」等の感想が聞かれ、大盛況でした。



神奈川工科大学ホームページより <http://www.kait.jp/news/1423.html>

図 9-3 (S-イノベ) 第 3 回シンポジウム

6) スウェーデン王国カール16世グスタフ国王陛下・王妃陛下へのFOT車両デモ

スウェーデン王国カール16世グスタフ国王陛下・王妃陛下と高円宮妃久子様が 2018 年(水)、東京大学 高齢社会総合研究機構が中心となり町内会、NPO法人タウンサポート鎌倉今泉台が運営、産学官民が連携して商品やサービス開発に市民の声を取り入れる「鎌倉リビング・ラボ」の活動拠点である今泉台を訪問、S-イノベで開発中のFOT車両に乗車、S-イノベ関係者から国王陛下・王妃陛下に向け、研究開発の概要の説明とデモを実施。

7) JST-S イノベ×NEDO 次世代人工知能「安全かつ安心な社会を実現するための自律運転知能システム研究開発の現状と展望」合同ワークショップ

日時:平成 30 年 6 月 3 日(日)10:00~16:00

場所:AIM 3F 313

主催:JST-S イノベ高齢社会/NEDO 次世代人工知能「運転知能システム」合同チーム

概要:本ワークショップでは、JST S-イノベ「高齢社会を豊かにする科学・技術・システムの創成」および NEDO「次世代人工知能・ロボット中核技術開発」において、自律運転知能および危険予測 AI の研究開発者らによる研究発表、先進技術紹介を行い、一般参加者も交えて、今後の社会実装に向けた課題の共有とディスカッションを行った。

プログラム:

講演(JST-S イノベ高齢社会)

10:00~10:30 ・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

井上 秀雄 (神奈川工科大学)

10:30~11:00 ・リッチな地図情報を活用した外界認識技術とその発展性

伊藤 太久磨 (東京大学)

11:00~11:30 ・先読み運転のためのリスク予測技術の進化(Risk prediction)

ポンサトーン・ラクシンチャーンサク (東京農工大学)

11:30~12:00 ・運転知能のための人間機械協調技術の進化(Shared Control)

井上 慎太郎 (トヨタ自動車株式会社)

8) ITS World Congress 2019 Special Session

2019年10月23日 ITS世界会議2019(シンガポール)にて、「Sイノベスペシャルセッション」を企画し、Sイノベ参加機関の研究者と海外の研究者のによって、合計6件の講演を行った。



**AP 06: AUTONOMOUS DRIVING INTELLIGENCE SYSTEM AND FUTURE CHALLENGES OF ADAS IN URBAN ENVIRONMENTS**

Wednesday, 23 October 2019 | 16:00 - 17:30 | Nicoll 2

As an innovation of driver assistance technology, this main core of the session is based on the research project aiming to develop "Autonomous Driving Intelligence System" to prevent risk of accidents and enhance driving safety for elderly drivers in order to improve DoL and vitalise the aged society. The session is also planned to integrate the related researches in wide international spectrum in order to exchange the latest information from speakers about the advanced technology development and technical challenges in the context of advanced driver assistance systems.

The key technologies in the session include

1. sensor fusion and localisation;
2. risk prediction; and
3. human machine interface.

Challenges in crash avoidance in complex scenario, e.g. intersections will be addressed and Field operational test (FOT) in urban area will be shown. HMI design to realise good cooperation with ADAS is also an important issue to increase driver acceptance.

**Organiser:**

Pongsathorn Raksincharoensak, Tokyo University of Agriculture and Technology, Japan

**Moderator:**

Pongsathorn Raksincharoensak, Tokyo University of Agriculture and Technology, Japan

**Speakers:**

Shintaro Inoue, Toyota Motor Corporation, Japan

Hideo Inoue, Kanagawa Institute of Technology, Japan

Takuma Ito, The University of Tokyo, Japan

Yiik Diew Wong, Nanyang University of Technology, Singapore

Roman Henze, Technical University of Braunschweig, Germany

Shengbo Li, Tsinghua University, China

Xiupeng Shi, Nanyang Technological University, Singapore

Chai Chen, Tongji University, China



図 9-4 ITS World Congress 2019 Special Session Programme

【東京農工大学】

- 1) 2013年10月15日～18日 東京ビッグサイトにて、第20回 ITS World Congress Exhibition 開催期間中に、プロジェクトの内容および自動運転実験車両を展示した。



図 9-5 ITS 世界会議展示会(東京ビッグサイト)

- 2) 2013年11月25日～26日 東京ビッグサイトにて、第43回東京モーターショーの開催期間中に、SMART MOBILITY CITY 2013において障害物回避自動運転デモンストレーションを行った。



図 9-6 東京モーターショーでの自動運転デモンストレーション  
(東京ビッグサイト)

- 3) 2014年自動車技術会春季大会学術講演会にて、アクティブセイフティ部門委員会の企画セッションの中で、参画機関の研究者によって、「予防安全と運転支援システム I～高齢社会に向けた自律運転知能システム」セッションを企画し、合計6件の講演を行った。
- 4) 2015年自動車技術会春季学術講演会にて、アクティブセイフティ部門委員会の企画セッションとして、名古屋大学 COI プロジェクトと連携した「予防安全と運転支援システム I～高齢者のための知能化モビリティ」セッションを企画し、S イノベ側からは合計3件の講演を行った。
- 5) 2016年5月21日～9月10日 東京農工大学科学博物館 企画展「人もクルマもアクティブに！のぞいてみよう、自動運転の最前線」において、本プロジェクトの技術内容の展示を実施し、一般の人向けに情報発信した。



図 9-7 研究者によるギャラリートーク



## 【東京大学】

### 1) オーガナイズドセッションの開催

2014年自動車技術会春季大会学術講演会にて、アクティブセイフティ部門委員会の企画セッションの中で、参画機関の研究者によって、「予防安全と運転支援システム I~高齢社会に向けた自律運転知能システム」セッションを企画し、合計6件の講演を行った。

### 2) 2015年度の「社会人ための ITS 専門講座」にて S イノベの取組を紹介

東京大学生産技術研究所次世代モビリティ研究センターからの依頼により、「地方での高齢ドライバ支援を目指した自律運転知能システムの開発」と題して講演を行った。

## 【トヨタ自動車】

### 1) 2014 IEDM(International Electron Devices Meeting)会議出席(講演)

(2014.12.13-12.19, サンフランシスコ)

#### ① 基調講演にて発表

“Research into ADAS with Driving Intelligence for Future Innovation”

→S イノベの内容の紹介を含む、クルマの知能化と将来動向の講演。IEDM 会議はこれまで 60 年の歴史があり、シリコンバレーの半導体業界の大元になっている会議。これまで、要素思考の強い基調講演が多かったのに対し、ニーズ側の基調講演を依頼され実施。自動車業界のホットなテーマを、日本の高齢者社会対応の S イノベのテーマを含めて紹介し、大変、好評であった。シリコンバレーの要素と自動車ニーズとの直接的な繋がりはあまりなく、半導体業界からはこのような繋がりを深めて行きたい意見が多数でいた。聴衆は約 3000 名と大会議であったことから、今後の動向を示すことができ、日本の産学連携プロジェクトのプレゼンス向上に役立てたと思う。

#### ② 本会議を通じてのシリコンバレー半導体デバイス業界の動向

→半導体デバイスは多くの進化を遂げており、3D と言われる、いくつかの素子の 3 層構造により、デバイスの能力を大幅に向上できる発表が多数、見受けられた。特に画像処理や、イメージング、マシーンラーニングなど今後の世界に有望な技術発表があった。ニーズ側のクルマの知能化など、ダイレクトに先進要素技術に触れることもシナジーからイノベーションの機会と感じられた。

### 2) インド出張 KPIT(ソフトエンジニアリング会社)訪問 ADAS/Automated Drive 議論

(2015.3.10-3.13, インド Pune, バンガロール)

#### ① ADAS/Automated Drive のミドルウェア、構造の動向

→KPIT では、ドイツ OEM, Tier1 サプライヤ、米国 OEM 等から多くの依頼を受けており、本分野においてプラットフォーム構築、機能安全構築、標準化などの為のノウハウを蓄積している。謂わば、“Tier0.5”とも言える役割を果たしている。ソフトウェア技術や、Validation 技術にも長けており、インド人のロジカル思考の長所を生かし OEM 等からの要求を分析し(要求分析, Requirement Management 等)、具体的な仕様に落とし、ソフトウェアを実装し、更に、実機検証していくまでの能力を有している。又、人材も豊富で、プネ、バンガロールに開発部隊をもち、それぞれ約 10000 人規模。欧州の強さの源泉を支えている様子。今後も、標準化に際しては、欧州動向だけでなく、KPIT の様な下支え会社とも連携し、日本との繋がりも強めていく。

#### ② その他

ムンバイの町中など、まだまだ、貧富の差は大きく、発展途上ではあるが、KPIT の若いエンジニアたちが、最新の ICT 技術に長けており、また、その活力もある。これまでの 10 年に比べ、これからの 10 年は、メガシティを中心に ICT 技術が入り、急速な発展を遂げる可能性が高い。交通システムの知能化や、モビリティの電動化、情報デバイスの進化など、消費者の生活の進展とともに、今後、注目していく必要がある。