

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 28 日現在

機関番号：32612

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23360106

研究課題名(和文) 車両アシスト制御システムの人間中心設計法とその評価方法の確立

研究課題名(英文) Human-Centered Design and Verification Methodology of Assist Control System for Automobiles

研究代表者

西村 秀和 (NISHIMURA, Hidekazu)

慶應義塾大学・システムデザイン・マネジメント研究科・教授

研究者番号：70228229

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 9,000,000円、(間接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：制御システム側が意図しないドライバの操作によって事故に繋がるケースがあり、ドライバの操作との相互作用を考慮した制御システム設計法はまだ確立していない。このため、当該研究では、簡易型ドライビングシミュレータを用いることにより、ドライバの認知・行動モデルとアシスト制御システムとの相互作用を考慮した制御システム設計法を確立することを目的とした。具体的に、交通事故が多発する交差点での右折におけるブレーキアシストを行うための制御システム設計について検討した。システムモデルを用いて、右折交差点環境下で制御システムがもつべき機能を明らかにし、ドライバの右折行動を考慮した制御アルゴリズムを開発した。

研究成果の概要(英文)：Control system design methodology in consideration of interaction with driver's maneuver has not been constructed and there are some accidents caused by drivers operation unintended from the control system. This study aims to propose a control system design methodology in consideration of interaction between a driver's perception and action model and the assist control system. Specifically, the control system design for assisting the right turn at an intersection where traffic accidents occur frequently was examined. By using the system model, to clarify the function control system should have under an intersection turn right circumstances, a control algorithm was developed taking into account the driver behavior.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械力学・制御

キーワード：アシスト制御 運動制御 制御システム システム設計 ドライビングシミュレータ

1. 研究開始当初の背景

歩行者、自転車、二輪自動車、四輪自動車などの移動体の交通システムにおける安全な移動を確保するため、ITS(Intelligent Transportation System)や ASV(Advanced Safety Vehicle)に関するさまざまな研究や取り組みが行われている。交通システムの中では、さまざまな移動体が相互に関連し合い、その結果として事故が発生し、大きな社会問題となっている。エアバッグやシートベルトなどの衝突安全技術の発展により、死亡事故件数は大幅な減少傾向にあるものの、障害が残るような重大な損傷を負う事故は必ずしも減っていない。こうした背景から、四輪自動車に対しては予防安全技術が導入され、ドライバの運転をアシストしドライバへの負荷を軽減させるための研究開発がなされている。しかしながら、こうしたアシストを受けた結果として、かえってドライバがリスクをとって不安全な運転を行ってしまい、制御システム側が制御範囲外に至った際のドライバの対応の遅れが大きな事故に繋がるケースがある。

車々間距離制御 (Adaptive Cruise Control (ACC)), ABS (Anti-lock Braking System), TCS (Traction Control System), 電動パワーステアリング(以下 EPS), アクティブスタビライザなどのさまざまな制御システムが自動車には実装されているものの、ドライバを陽に考慮した制御系設計法は必ずしも十分に確立されていない。例えば、シミュレーションでは、あるドライバモデルを仮定し、ドライバの操作が制御系と適合しているか否かを確認してはいるものの、ドライバの認知・行動モデルは簡素なものが用いられている。また、ドライビングシミュレータによりドライバの評価を行う方法もあるが、その評価方法が確立されているとは言えない。

ダイナミクスに基づく制御システム設計に加えて、ドライバの認知・行動モデルを明確に持ち、それを考慮する必要がある。また、ドライバ評価をいかに実施するかが重要なポイントとなる。制御システムとしては、たとえば、ITS 技術の活用より、事前に車両前方情報を積極的に利用する方法が考えられ、これによりドライバの自由度をある程度制約しておくことで、その後の対応に余裕を持たせることができる可能性がある。

2. 研究の目的

本研究「車両アシスト制御システムの人間中心設計法とその評価方法の確立」では、上述の問題を解決に導くため、ドライビングシミュレータを援用することで、ドライバの認知・行動モデルやアシスト制御システムとの相互作用を考慮した制御系設計方法と制御システムの評価方法とを確立することを目的としている。

HILS (Hardware-in-the-loop Simulation) / SILS (Software-in-the-loop Simulation)は、

一部のサブシステムができあがった段階で、他のサブシステムをハードウェアまたはソフトウェアで代用し、検証するためのものであるが、これに人を介入させることで Human-in-the-loop-simulation (以下、HuILS) となる。ドライビングシミュレータは HuILS であるが、その中でどのようにドライバの認知・行動の評価を行うべきかを明確にする必要があり、また、これをいかに制御システム設計に利用するかを当該研究では追求する。

また、システム設計には、機能の明確化が重要であり、あるユースケースにおいて必要な機能を抽出する必要がある。当該研究では、アシスト制御システムの設計に際して、まず最初にドライビングシミュレータ上での車両運転を通じて機能を明確化し、さらにその性能を検討することで、システム設計に必要な要求を把握する。そして、アシスト制御システムの設計に移行するというプロセスを明確にする。

3. 研究の方法

(1) Operator-in-the-loop Design の提案

当該研究では、ドライビングシミュレータ (図 1) を用いて、ドライバーとの相互作用を確認しながら、運転支援システムの設計を進める方法 (Operator-in-the-loop Design 以下、OILD と略す) を示す。運転支援システムのシステムレベルでの設計段階に必要な十分なドライビングシミュレータを構成し、ドライバーが介在した形で、交差点内での右折時の運転支援システムに必要な機能要求を明確化するとともにシステム設計を行う。ドライビングシミュレータによる検証結果から、適切な運転支援システムの構築が行えていることを確認する。具体的には、他車や歩行者が介入する交通環境を容易に模擬できるドライビングシミュレータを開発した。これを活用して交差点右折時のブレーキアシスト機能を有する運転支援システムの制御戦略を構築した。機能要求の明確化には、システムモデル記述言語 SysML (Systems Modeling Language)を用いた。

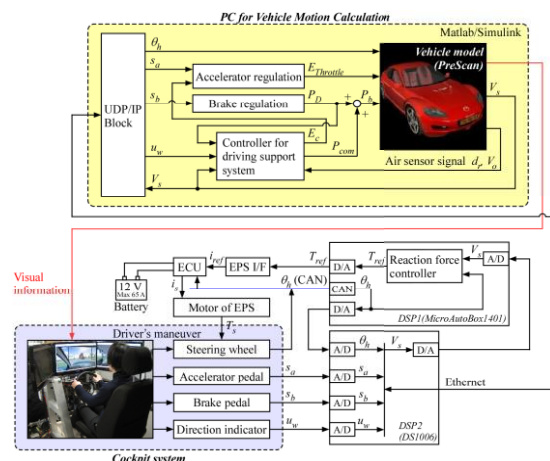


図 1 ドライビングシミュレータの構成

(2) 交通環境と制御戦略の構築

コックピットシステムとシミュレーションソフトウェア(PreScan)の中で用意されている車両モデルとの間を2台のデジタルシグナルプロセッサ(Digital Signal Processor, 以下 DSP)とEthernet通信を介して結び、Hardware-in-the-loop simulation(HILS)を実現する。次に、交差点右折の運転シーン(図2)を考慮した上で、ブレーキアシスト機能を有する運転支援システムの制御戦略を構築する(図3)。運転支援システムはドライバーの右折意志認知部、車速制限制御部、相対速度依存型プリクラッシュブレーキ部から構成される。これら各部の判断・制御条件はドライバーの運転操作と車両モデルの制動性能を加味して決定される。最後に交通環境の一例として、信号機付き交差点において事故が発生しやすい対向車と歩行者を含む右折場面を模擬し、構築した運転支援システムの制御戦略の検証実験を行う。

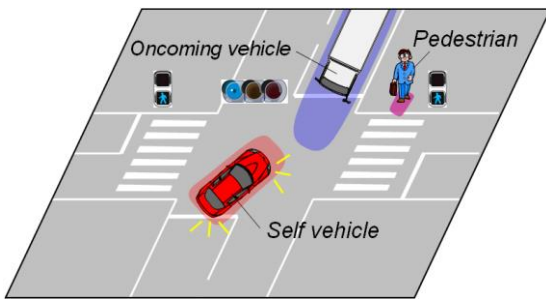


図2 交通環境の検討

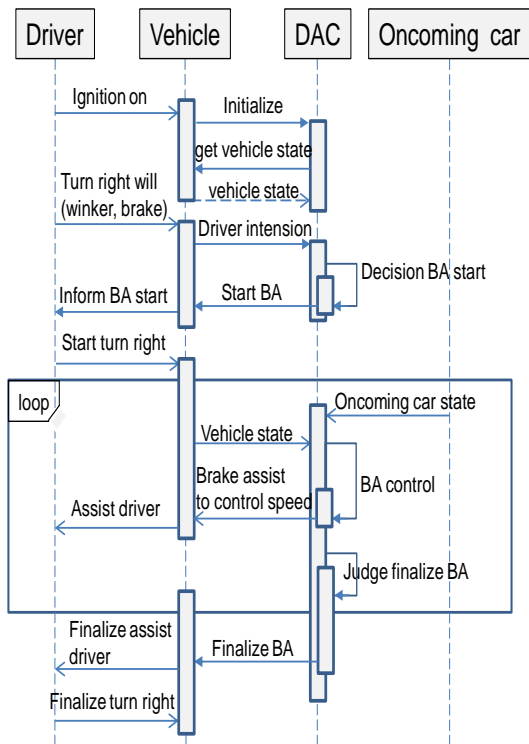
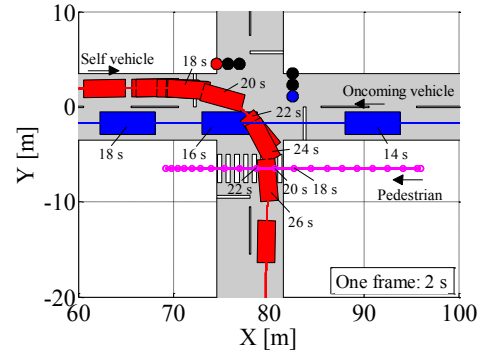


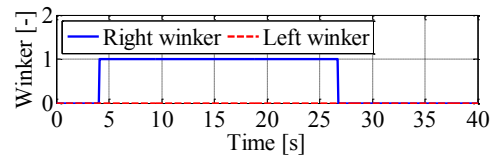
図3 シーケンス図によるシナリオの記述による機能の抽出

4. 研究成果

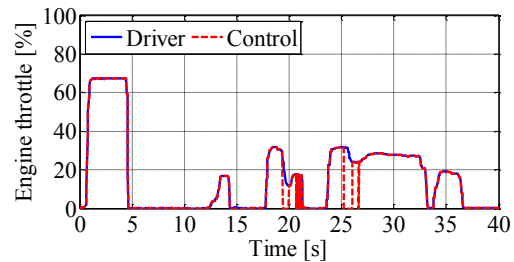
図3のドライバーと自車両と対向車と、そして、開発対象である運転支援システムの間の相互作用を示すシーケンス図から、開発対象である運転支援システムの機能が次のとおり明確になる。



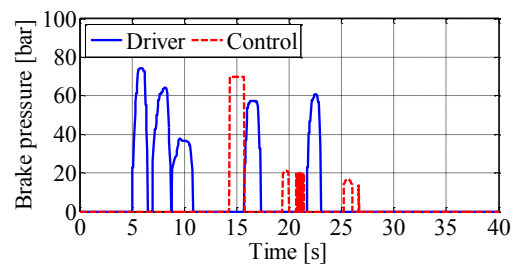
(a) 車両軌跡



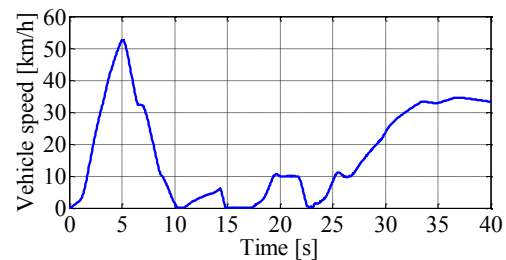
(b) ウィンカー信号



(c) スロットル開度



(d) ブレーキ圧



(e) 車速

図4 制御システム設計の一例

(1) ドライバーの右折意志の認知: ウィンカーおよび車速情報からドライバーの右折意図を認知する。

(2) 車速制限制御: 誤った急加速により対向車や歩行者と衝突することを防止する。

(3) 相対速度依存型プリクラッシュブレーキ: 対向車との衝突を避けるため、自車と対向車との相対距離と相対速度に応じて適切にブレーキをかける。

以上3つの機能をもとに、ドライビングシミュレータでドライバーとの相互作用を確認しながら、運転支援システムの設計を進めることができる。

ドライビングシミュレータにより運転支援システムの設計を進める過程で取得した結果の一例を図4に示す。図2のとおり、交差点内で、対向車線からは対向車(トラック)が走行してきており、トラックが交差点を通り過ぎるタイミングで歩行者が横断歩道を横断することとした。車両モデルは車長4.425 m、車幅1.86 mのオートマチック車で、シミュレータに用いるソフトウェアの制約から、左ハンドルとなる。走行路の道幅(片側車線)は3.5 mとした。信号機は $t = 10$ sで赤信号から青信号に切り替わるものとした。

図4(d)より、青信号に切替わると、ドライバーはブレーキペダルを解放し、クリープ効果で交差点に進入しながら、図4(c)に示すように約 $t = 12$ sでアクセルペダルを踏込んでいる。図4(d), (e)より、対向車の接近により $t = 14.3 \sim 15.75$ sの間でブレーキアシストが作動し、車両が停止していることがわかる。対向車が過ぎ去ると、ドライバーは約 $t = 17.4$ sで再発進し、図4(e)に示す車速が10 km/hを越えた直後(約 $t = 19.4 \sim 21.5$ sの間)に車速制限制御が動作している(図4(d))。車速を10 km/h以下に制限するようにブレーキアシストが働くことで、横断歩道を横断中の歩行者との衝突回避に寄与する。

なお、図4(c)に示されるようにドライバーはアクセルペダルが踏込んでいるにもかかわらず、ブレーキアシスト介入時のため、制御により0%にできている。右折を終えて、ウィンカーがOFFになると、ブレーキアシストの介入は無くなり、運転支援システムがその制御ループから外れる。なお、同様の条件で別のドライバーが車速10 km/h以下を維持し、対向車や歩行者の存在を適切に認識した上で安全な右折行動をとる場合、ブレーキアシストが介入することがないことを確認している。

当該研究では、ドライビングシミュレータを援用することで、ドライバの認知・行動モデルやアシスト制御システムとの相互作用を考慮した制御系の設計方法と制御システムの評価方法を確立する指針を示すことができた。今後、自動運転システムの導入も加速する方向にあり、当該研究の成果が活用できると考えている。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計8件)

- ① Masaki Takahashi, Shoichi Hiraoka, Takuma Suzuki, Gain-Scheduling H ∞ Control to Improve Ride Comfort and Driving Stability for Vehicle Active Suspension, Vehicle Engineering (ISSN Online: 2328-1669, ISSN Print: 2328-1677), 査読有, 掲載決定
- ② 北村憲康、桑田佳奈、立山義祐、小木哲朗、西村秀和: 事故多発環境における高齢ドライバーの運転適性と安全確認行動の関係について、自動車技術会論文集、査読有、Vol.44、No.4、pp.1067-1072、2013.7
- ③ Shintaroh MURAKAMI, Hidekazu Nishimura, Front-Steering Assist Control System Design for a Motorcycle Stabilization during Braking, Journal of System Design and Dynamics, 査読有, Vol. 6, No. 4, 2012, pp. 431-446.
- ④ Shaopeng Zhua, Shintaroh Murakami, Hidekazu Nishimura, Motion analysis of a motorcycle taking into account the rider's effects, Vehicle System Dynamics, International Journal of Vehicle Mechanics and Mobility, 査読有, Vol. 50, Issue 8, 2012, pp.1225-1245.
- ⑤ 鈴木卓馬, 高橋正樹, 車速による車両ダイナミクスの変化を考慮した自動車用アクティブサスペンションの制御系設計, 日本機械学会論文集, 査読有, C編, 78-786, 2012, pp. 446-461
- ⑥ Kei-ichi YAMAMOTO, Hidekazu NISHIMURA, Control System Design of Electric Power Steering for a Full Vehicle Model with Active Stabilizer, Journal of System Design and Dynamics, 査読有, Vol.5, No.5, 2011, pp.789-804
- ⑦ 村上晋太郎, 朱紹鵬, 西村秀和, タイヤコーナリングフォースの非線形特性を考慮した二輪自動車に対する前輪操舵アシスト制御, 日本機械学会論文集, 査読有, C編, Vol.77, No.775, 2011, pp.822-835
- ⑧ 高橋正樹, 小瀬村領一, 平岡翔一, 鈴木卓馬, 可変剛性スタビライザを有するセミアクティブサスペンションシステム(第2報 車両のロール剛性配分制御), 日本機械学会論文集, 査読有, C編, 77-784, 2011, pp. 4434-4447

[学会発表] (計14件)

- ① Shintaroh Murakami, Hidekazu Nishimura, Modal Analysis of a Motorcycle Motion During Braking for

- Its Stabilization Control System Design, ASME 6th Annual Dynamic Systems and Control Conference, 査読有, (Palo Alto, USA), 21-23, Oct. 2013
- ② Shintaroh Murakami, Hidekazu Nishimura, S. Ono, S. Hano, Motion Analysis of A Motorcycle in Rear Wheel Lifting and its Comparison with Riding Tests, Bicycle and Motorcycle Dynamics 2013, 査読有, (Narashino), 10-13, Nov. 2013
- ③ 西村秀和, 山本敬一, ドライビングシミュレータを用いた運転支援システム設計, 日本機械学会 2013 年度年次大会, 2013 年 9 月 11 日, 岡山大学
- ④ ユンソンギル, イルハムドリフィディアント, 森崇, 西村秀和, 超小型電気自動車の操縦安定化制御システム設計, 日本機械学会, 「第 13 回運動と振動の制御」シンポジウム, 2013 年 8 月 27 日, 九州産業大学
- ⑤ ユンソンギル, イルハムドリフィディアント, 森崇, 西村秀和, インホイールモータを搭載した超小型電気自動車の操縦安定化のためのシステム同定と H_{∞} 制御系設計, 自動車技術会春季学術講演会 2013 年春季大会学術講演会, 2013 年 5 月 23 日, パシフィコ横浜
- ⑥ 山本敬一, 西村秀和, ドライビングシミュレータを活用した運転支援システムの制御戦略構築, 自動車技術会春季大会 2013, 2013 年 05 月 22 日, 横浜
- ⑦ Kenichiro Ito, Yoshisuke Tateyama, Hasup Lee, Hidekazu Nishimura, Tetsuro Ogi, Information Presentation Using Head-Up Display for Motorcycle Rider, ASIAGRAPH 2013 Forum in Hawai'i, 査読有, pp.107-108, Hilo, Hawaii, 2013.4.25-27
- ⑧ Yoshisuke Tateyama, Tetsuro Ogi, Development of Applications for Multi-node Immersive Display using OpenCABIN Library, ASIAGRAPH 2013 Forum in Hawai'i, 査読有, pp.67-70, Hilo, Hawaii, 2013.4.25-27
- ⑨ Shintaroh Murakami, Hidekazu Nishimura, Stabilization of a Motorcycle During Braking, 5th Annual Dynamic Systems and Control Conference and 11th Motion and Vibration Conference, 査読有, 2012 年 10 月 18 日, Florida, USA
- ⑩ 北村憲康, 糸田佳奈, 小木哲朗, 西村秀和, 立山義祐, 山田純嗣, 野寄純平, 事故多発環境におけるシニアドライバーの注意・確認行動の特徴について, 自動車技術会 2012 年春季大会 (2012), 20125050, 横浜
- ⑪ 立山義祐, 山田純嗣, 野寄純平, 山本敬一, 糸田佳奈, 北村憲康, 西村秀和, 小

木哲朗, 没入ドライビングシミュレータでの狭路運転行動観察, 日本機械学会 第 21 回設計工学・システム部門講演会論文集 (2011), pp.529-531, 米沢

- ⑫ 山本敬一, 森幸弘, 西村秀和, 立山義祐, 小木哲朗, 北村憲康, 3 次元没入型ビークルシミュレータのシステム開発と応用, 日本機会学会 第 19 回交通・物流部門大会講演論文集 TRANSLOG2010 (2011), 川崎
- ⑬ Junji Yamada, Yoshisuke Tateyama, Tetsuro Ogi, Keiichi Yamamoto, Junpei Noyori, Hidekazu Nishimura, Kana Kumeta, Noriyasu Kitamura, Evaluation as Analyze System of Driving Behavior by Comparison between an Immersive Driving Simulator and a Real Car, ASIAGRAPH 2011 in Tokyo, 査読有, 2011 年 10 月 20-22 日, Tokyo
- ⑭ Masaki Takahashi, Ryoji Kosemura, Shoichi Hiraoka, Takuma Suzuki, Roll Stiffness Distribution Control with Variable Stiffness Stabilizer for Improvement of Road Holding, 22nd International Symposium on Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks (IAVSD2011), 査読有, 2011 年 8 月 15 日, マンチェスター, イギリス

〔図書〕 (計 1 件)

西村秀和 (監訳) 他, システムズモデリング言語 SysML, 東京電機大学出版局, 2012, 582 ページ

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

<http://lab.sdm.keio.ac.jp/nismlab/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西村 秀和 (NISHIMURA, Hidekazu)
慶應義塾大学・大学院システムデザイン・マネジメント研究科・教授
研究者番号：70228229

(2) 研究分担者

小木 哲朗 (OGI, Tetsuro)
慶應義塾大学・大学院システムデザイン・マネジメント研究科・教授
研究者番号：00282583

(3) 連携研究者

高橋 正樹 (TAKAHASHI, Masaki)
慶應義塾大学・理工学部・准教授
研究者番号：10398638