

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 16 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2014～2016

課題番号：26242029

研究課題名（和文）スキルの維持向上に基づき能力限界と機能喪失に備える相補的ヒューマンマシンシステム

研究課題名（英文）Mutual compensative human machine systems based on maintaining and improving human skills

研究代表者

伊藤 誠（ITOH, Makoto）

筑波大学・システム情報系・教授

研究者番号：00282343

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 32,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、自動車の自動運転あるいは運転支援を例にとって、人とシステムがそれぞれ能力限界と機能喪失（人の場合は意識喪失）を起こしうるという現実的な前提のもと、高度に安全を確保できるためのヒューマンマシンの相互補完を実現する方法論を構築した。人間の能力限界・意識喪失への対処として、故障・能力限界を有する安全制御・プロテクション、人間の意識喪失状態の検知技術の開発を行った。また、機械の能力限界・故障への対処として、自動制御限界時のスムーズな制御権限の返還機構と、異常時対応のためのスキル維持・向上の動機づけと支援・スキル向上技術の開発を行った。

研究成果の概要（英文）：This study developed methodologies for human-machine collaboration by mutual compensation under the assumption that both human and machine are not perfect. For compensating human incapability, safety control and protection technologies were developed. Driver monitoring techniques were also developed. For compensating automation incapability, control trading methodologies were developed. Enhancing driver manual control motivation and driving skills were also developed.

研究分野：認知システム安全工学

キーワード：ヒューマンマシンシステム

1. 研究開始当初の背景

「自動車の自動運転」が現実味を帯びてきている。自動運転を適切に利用すれば、安全性向上が可能であろう。しかし、完璧なシステムの構築は不可能で、少なくとも今後数十年は、人間が安全の責任を負うという前提は崩せないだろう。そこで、人と機械のそれぞれの利点と限界を考慮に入れ、相互に補完しあうヒューマンマシンシステムの構築が重要な課題となる。今日までの自動運転研究は、要素技術の開発は高度に発達してきたが、人とシステムとがどのように補完し合えるかを体系化できた研究はまだない。

2. 研究の目的

本研究では、自動車の自動運転あるいは運転支援を例にとり、人とシステムがそれぞれ能力限界と機能喪失（人の場合は意識喪失）を起こさうという現実的な前提のもと、高度に安全を確保できるためのヒューマンマシンの相互補完を実現する方法論を構築する。人間では十分に対応できない場面では、システムが安全確保を自律的に行う必要がある。一方、システムでは十分に対応できない場面では、ドライバが安全確保しなければならない。自動運転を想定しつつも、場合によってドライバが手動運転をする必要があることから、スムーズな手動制御を実現するためには、ドライバのスキル維持向上が不可欠である。そこで、能力限界と機能喪失を考慮した相補的ヒューマンマシン協調による自動車の高度安全化を目指す。

3. 研究の方法

本研究では、次の項目に分けてそれぞれ研究を推進した。

(1) 人間の能力限界・意識喪失への対処

(1.1) 故障・能力限界を有する安全制御・プロテクション

(1.2) 人間の意識喪失状態の検知技術

(2) 機械の能力限界・故障への対処

(2.1) 自動制御限界時のスムーズな制御権限の返還機構

(2.2) 異常時対応のためのスキル維持・向上の動機づけと支援

(2.2.1) 手動操作への動機づけ

(2.2.2) 操作ガイダンスに基づくスキル維持・向上支援

(1.1) 故障・能力限界を有する安全制御・プロテクション

機械のセンシング能力に限界があることを前提として、自動化への過信に関する知見に基づき、過信抑制型のシステムとして構築し、ドライビングシミュレータを用いて検証を行った。

一連の研究を踏まえ、安全を確保しつつ、機械の挙動を理解・納得して人間が受け入れられるとともに、過信をも抑制するように、

安全制御とプロテクションを実現するシステム設計原則をまとめた。

(1.2) 人間の意識喪失状態の検知技術

疲労に伴って生じる夜間の眠気の場合に、着座接触圧に生じる影響を分析し、その成果に基づいて、覚醒度低下検出手法の構築に取り組んだ。急に生じる覚醒度低下に対しては、体動だけでは十分に検知できない場合がありうることから、運転操作に基づく覚醒度低下検出手法にも取り組んだ。

構築した手法をドライビングシミュレータに組み込んで、検証を行った。

(2.1) 自動制御限界時のスムーズな制御権限の返還機構

自動制御中機械の能力限界に達した場合、人へのスムーズな制御の移行方法の構築に取り組んだ。投入可能なコストに応じて、機械の環境認識等の能力レベルは多様であることから、能力限界の態様に応じた対処法の整理を行った。また、ドライバに自動運転システムの性能限界を知覚させる手法を構築するとともに、手動・自動運転が動的に切り替わる条件下で、安全・円滑な運航が可能であることについての検証を行った。

(2.2.1) 手動操作への動機づけ

自動制御が行われている条件下でも、定期的に手動操作を行い、操作スキルの維持・向上が必要である。ここでは、スキルを自覚させることと、それに基づくスキル向上への仕掛けを構築し、ドライビングシミュレータを用いて検証を行った。

2.2.2 操作ガイダンスに基づくスキル維持・向上支援

スキルレベルに応じたスキル向上支援の方法論を自動車運転に応用して、立命館大のドライビングシミュレータに実装した。さらに、機械による支援提供時に突然機械がダウンすることを想定して、オペレータの問題対応能力を育む方法を検討した。

4. 研究成果

(1.1) 故障・能力限界を有する安全制御・プロテクション

一連の研究の結果を踏まえ、安全を確保しつつ、機械の挙動を理解・納得して人間が受け入れられるとともに、過信を抑制するように、安全制御とプロテクションを実現するシステム設計原則をまとめた。これは、図1に示すようなヒューマンマシンシステムの枠組み、すなわち制御の共有 (shared control) を踏まえた協調制御 (cooperative control) の考え方で整理するとよいことがわかった [1]。

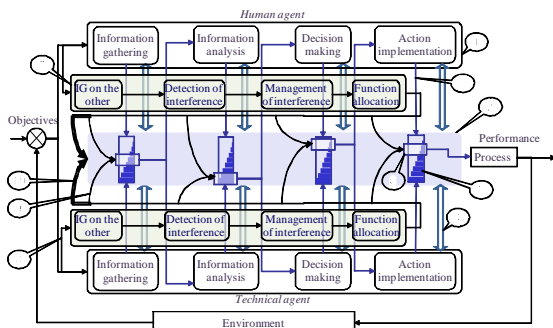


図1 Shared control を拡張した協調制御としてのヒューマンマシンシステム

(1.2) 人間の意識喪失状態の検知技術

文献[2]などで示した一連の研究の結果を踏まえ、着座接触圧や運転行動を用いてドライバの眠気を検出する方法を構築した。

ドライビングシミュレータを用いた検証の結果、運転行動に現れる手前の眠気の高まりを検出できることが確認できた(図2)。この研究成果については、現在論文発表を準備中である。

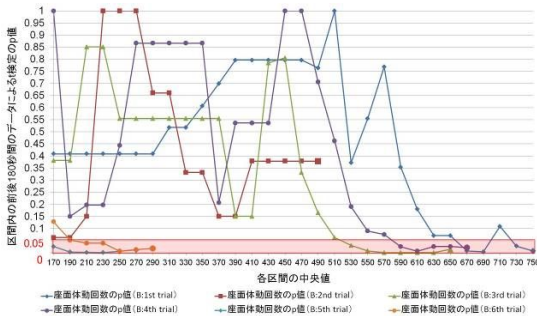


図2 眠気検出例

(2.1) 自動制御限界時のスムーズな制御権限の返還機構

文献[3]などで示した一連の研究の結果、介入の必要性を知覚しやすくするためにはハンドルに触れていることが望ましいが、必ずしも理想的な運転姿勢(10時10分の位置でハンドルを握る)ではなくても、リラックスした姿勢でハンドルに触れているだけでも効果的であることを明らかにした。また、それまでの自動運転レベルを維持できない場合に、手動運転にダイレクトに戻すのではなく実施可能なレベルでの制御を継続する方法(図3)は、運転操作を引き継ぐために前方を注視するまでの時間や操作を引き継ぐまでの時間が長くなることを確かめた(図4)。この研究成果については、現在論文発表を準備中である。

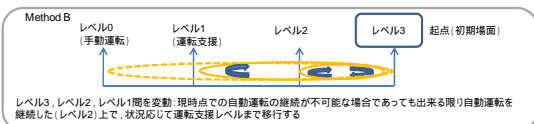


図3 自動運転のレベルを動的に切り替える方法

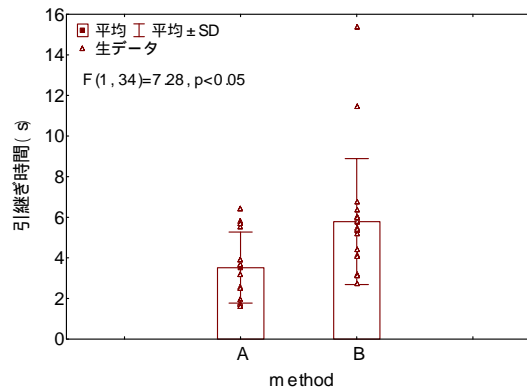


図4 運転引継ぎに必要な時間(A:常に直接手動に戻す場合,B:実施可能なレベルでの自動運転を行う場合)

(2.2.1) 手動操作への動機づけ

一連の研究の結果、スキルの自覚促進とスキル向上へと動機づける仕掛けを構築し、ドライビングシミュレータに実装した。具体的には、安全運転と円滑運転の手動操作技能の習熟を促す支援システムと、手動運転中にドライバが能動的な操作を行うことで覚醒度維持を支援するシステムを構築した(図5)[4]。

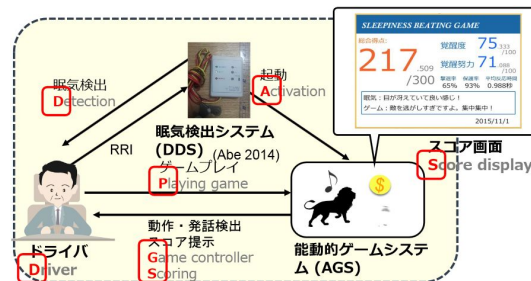


図5 能動的な操作によって覚醒度維持を支援するシステム

(2.2.2) 操作ガイダンスに基づくスキル維持・向上支援

自動車の後退駐車為例に、力覚操作ガイダンスとスキル向上支援を同時に行う手法を構築し、シミュレータ上で検証を行った。その結果、支援がない状態に戻っても、高いパフォーマンスが維持可能であることを確認した(図6)[5]。

さらに、機械によるガイダンス時あるいはプロテクションスタンバイ時に突然機械がダウンすることを想定して、オペレータのスキルをはぐくむ方法を shared control として実現し(図7)、その有効性をドライビングシミュレータを用いて検証した。

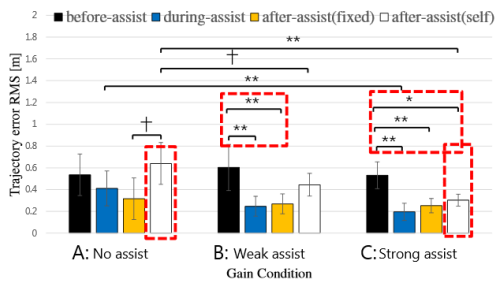


図6 スキル向上効果

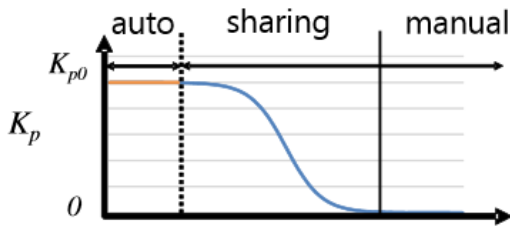


図7 自動運転から手動運転をつなぐ shared control

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 22 件)

- [1] Marie-Pierre Pacaux-Lemoine, Makoto Itoh: “Towards vertical and horizontal extension of shared control concept”, Proc. IEEE SMC Conference, 6 pages, 2015. 査読有
- [2] Makoto Itoh, Ryo Ishikawa, Toshiyuki Inagaki: “Evaluating Body Movements of a Drowsy Driver with Pressure Distribution Sensors,” Prof. FAST-zero, Gothenburg, Sweden, pp. 267-272, 2015. 査読有
- [3] Genya Abe, Makoto Itoh: “Driver’s trust in automated driving when passing other traffic objects”, Proc. IEEE SMC Conference, 6 pages, 2015. 査読有
- [4] 伊部達朗, 平岡敏洋, 阿部恵里花, 藤原幸一, 山川俊貴, 運転中の能動的行為によるドライバの覚醒維持効果と運転安全性, 自動車技術会論文集, Vol.48, No.2, pp.463-469 (2017.3) 査読有
- [5] Shintaro Tada, Kohei Sonoda, Takahiro Wada, “Simultaneous Achievement of Workload Reduction and Skill Enhancement in Backward Parking by Haptic Guidance”, IEEE Transactions on Intelligent Vehicles (accepted), 2017. 査読有

〔学会発表〕(計 37 件)

- [6] Makoto Itoh: “Toward Overtrust-Free Autonomous Driving Systems,” Chalmers University (スウェーデン), 2014年10月8日. (招待講演)

- [7] 伊藤誠: 「ドライバの状態推定のための着座接触圧の利用について」, 計測自動制御学会オープンライフデータ取得・蓄積・利活用のための計測制御システム技術に関するワークショップ, 東京, 2015年12月10日(招待講演)
- [8] 和田隆広, “Shared Control による 権限共有 / 委譲機能を有する 運転支援手法”, 自動車技術会 アクティブセーフティ部門委員会 (招待講演) 2016年9月9日自動車技術会 (東京都千代田区)

〔図書〕(計 3 件)

- [9] 伊藤誠 (編著), 丸茂喜高 (編著), 平岡敏洋, 和田隆広, 安部原也, 北島創: 交通事故低減のための自動車の追突防止支援技術, コロナ社, 186 ページ, 2015
- [10] 伊藤誠: 「運転支援システムのヒューマンファクターと表示機器の要件」車載ディスプレイの開発と HMI 技術, 視認性向上, 技術情報協会, pp. 3-10, 2015
- [11] Makoto Itoh: “Managing the risks of automobile accidents via human-machine collaboration,” in P. Millot (Ed) Risk Management in Life critical Systems, pp. 319-334, ISTE-Wiley, London, Oct. 2014

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.css.risk.tsukuba.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

伊藤 誠 (ITOH MAKOTO)
筑波大学・システム情報系・教授
研究者番号: 00282343

(2) 研究分担者

平岡 敏洋 (HIRAOKA TOSHIHIRO)
京都大学・情報学研究科・助教
研究者番号: 30311749

和田 隆広 (WADA TAKAHIRO)
立命館大学・情報理工学部・教授
研究者番号: 30322564

安部 原也 (ABE GENYA)
一般財団法人日本自動車研究所・安全研究部・研究員
研究者番号: 30426259