

184 運転行動モニタリングによるアダプティブ・オートメーション*

稲垣 敏之¹⁾ 伊藤 誠²⁾

Adaptive Automation via Driver Behavior Monitoring

Toshiyuki Inagaki Makoto Itoh

This paper describes a way of applying adaptive automation on the basis of driver behavior monitoring to preventive safety technology. An experiment has been conducted with a medium fidelity, moving-based driving simulator to compare efficacy and driver acceptance of two types of support: (1) warning type support in which an auditory alert is given to the driver to enhance situation awareness, and (2) action type support in which an autonomous safety control action is executed to avoid an accident when driver's intent may not be appropriate to a given situation. The result suggests that driver's acceptance of a support system varies context-dependently and that level of automation must be situation-adaptive.

Key Words: Safety, Preventive safety, Human-machine-interface / Driver behavior, Adaptive automation

1. はじめに

自動車事故のなかには、「ドライバが走行環境や自身の状態を的確に把握し、それに応じた運転をしておれば防げたであろう」とされる事故が少なくない。実際、多くの事故統計が、「安全不確認」、「動静不注意」、「わき見運転」、「漫然運転」等、状況認識の誤り、不適切な意図、疲労等に起因する事故を未然に防止できれば、理論上は事故件数を半減可能であることを示している。

ドライバは、状況を認知・予測しながら、それに見合う意図を形成して運転行動を行っているが、状況、意図、行動の間に不整合が生じると潜在的危険性が高まり、事故に至る可能性が生じる。

ドライバが潜在的危険状態に陥ることを防止する、あるいは仮に潜在的危険状態に陥ったとしても早期にそれを検出し、安全な運転行動への復帰を促すしくみを開発しようとする試みのひとつが、文部科学省科学技術振興調整費による重要課題解決型研究「状況・意図理解によるリスクの発見と回避」プロジェクト（研究代表者：稲垣敏之、研究期間：平成 16 年度～18 年度、研究費総額：5 億 9500 万円）である。

本稿では、このプロジェクトにおいて目指している新しい予防安全型自動車運転支援、すなわち、ドライバの意図と交通状況を理解し、それらに応じて支援の形態を動的に変化させ、運転者への状況認識支援や緊急時の安全制御を適切に行うことによってリスクを低減する試みを紹介する。さらに、この支援を実現させる際に注意すべき点を、認知工学実験の一例を示して明らかにする。

2. アダプティブ・オートメーション

人の状態やシステムを取り巻く周囲の環境などに合わせて人間とシステムとの間の機能配分を動的に調整することを、アダプティブ・オートメーションとよぶ⁽⁴⁾。アダプティブ・オートメーションには、クリティカル・イベント・ロジックによるものと、測定ベース・ロジックによるものがある。

クリティカル・イベント・ロジックとは、危険が差し迫っているものの余裕時間が短いため人に対応させるのが難しいなどの事象をあらかじめ定義し、この事象が発生したときにそれまで人が担当していたタスク（あるいはその一部）を機械に代替させるように機能再配分を行うものである。前方車両への追突が避けられないと判断される時点において、自動的に減速制御を行い、衝突被害の軽減を図るものは、クリティカル・イベント・ロジックの一例といえる。

一方、測定ベース・ロジックとは、たとえば、人のワークロードを測定し、それがつねに適切なレベルに保たれるように機能配分を変更する方式を指す。測定ベース・ロジックを用いる場合には、対象となる個人ごとにアルゴリズムを調整するなどの工夫⁽¹⁾が必要である。

3. 運転行動モニタリングとアダプティブ・オートメーション

3.1. 運転行動からの意図推定

予防安全型の支援を考える場合、典型的なクリティカル・イベント・ロジックで扱われる範疇（緊急性の高い事態）と典型的な測定ベース・ロジックで扱われる範疇（緊急性は低く、ドライバの負荷調整のために権限委譲を行う事態）との間に位置する状況での支援が重要になる。すなわち、直ちに事故につながるほどの緊急性を有するわけではないが、対応

*2006 年 5 月 25 日自動車技術会春季学術講演会において発表。
1)・2) 筑波大学(305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1)

を誤ると事故発生の可能性が高まるような場面である。ここでは、「現在おかれている交通の状況において、ドライバが正しく状況を認識しているか、適切な意図を形成できているか」をシステムが評価し、意図が適切でないと判断される場合には、許される時間余裕に応じて状況認識の強化や緊急時の安全制御などを行うことが考えられる。運転行動をモニタリングして、ドライバの状態を推定する研究は様々なものの（たとえば、文献(3),(7)など）、制御にまで反映させることを狙ったものは少ない。

なお、このような支援ができるためには、周囲の交通の状況をシステムが理解できる技術が必要であるとともに、ドライバの意図を推定する技術が不可欠である。「状況・意図理解によるリスクの発見と回避」プロジェクトは、状況理解とドライバの意図推定の両側面からアプローチするものである。

ドライバの意図は直接知りうるものではなく、顕在化された行動から推測しなければならない (Fig. 1)。意図をできる限り正確に理解するためには、自動車への入力であるステアリングやペダル操作のみに基づくのではなく、視線や体の動きなどの情報を活用する必要がある。現在、これらの情報からの意図推定技術の開発を進めている。

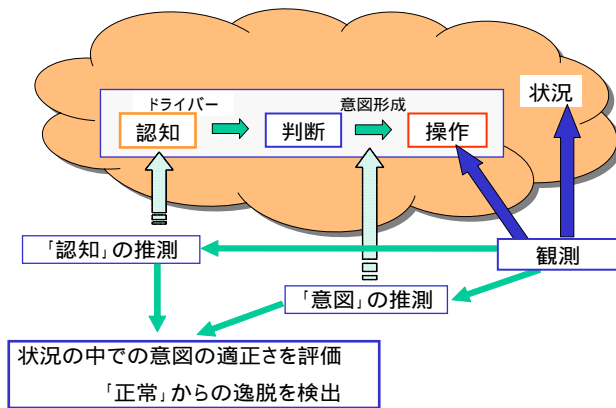


Fig. 1 Inference of intention on the basis of behavior monitoring

3.2. 適用例

交通状況の理解とドライバ意図の推定とに基づくアダプティブ・オートメーションを、Fig. 2 に示す状況を用いて示す。

自車 (H) が先行車 A を追い越すために車線変更しようとしている状況を考える。自車に搭載されたシステムが自車よりも高速で後方から追い越そうとしている他車 C を検出したものとする。それとほぼ同じ頃に他車 B が自車を追い越したことを確認した自車のドライバは、他車 C が迫っていることに気づかぬまま、車線変更しようとしたものとする。このような状況において、システムがステアリングをやや重くしたり (ソフトプロテクション)、右方向へほとんど回せないほどに重くする (ハードプロテクション) ことにより、車線変更をすることの危険性をドライバに伝えたり (状況認識

の強化)、他車 C との衝突を未然に防ぐ (ステアリング操作の権限委譲による安全制御) ことが考えられる。

一方、Fig. 2 の状況で、ドライバが追越車線の車両の動向に注意を集中させているものとする。このとき、ドライバは、何度もサイドミラーを見たり、顔を右へ向けて直接追越車線を視認したりする。システムは、ドライバの顔の向きや視線の向きの検出によって、ドライバの前方への注意が十分でない判断すると、安全制御機構を待機させ、先行車 A の減速に備える。もし先行車 A が減速してこなければ、自車の車線変更完了後、システムは通常状態にもどる。もし先行車が急減速する場合には、緊急ブレーキなどの安全確保のための措置を講ずる。

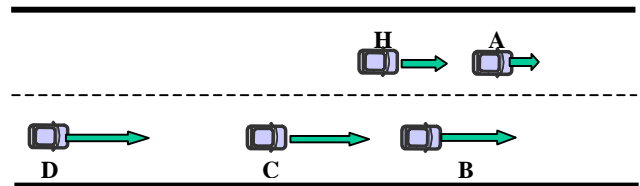


Fig. 2 An example in which machine intelligence may be given decision authority

4. 状況と意図の齟齬のもとでのアダプティブ・オートメーションの有効性とドライバ受容性

権限の委譲がシステムの判断でなされる場合、ドライバがシステムの制御を理解できなかったり、思いもよらない制御に驚くことにより、ドライバがシステムを受け入れなくなることが懸念される。このことから、アダプティブ・オートメーションの機構を有するシステムは、安全性の確保のみならず、ドライバによる受容性の観点から評価する必要がある。

本稿では、交通の状況とドライバの意図とに齟齬がある場面において、音声の警告による状況認識の強化あるいはハードプロテクションによる安全制御が、安全性の確保やドライバ受容性にもたらす影響を実験により調べる。

4.1 実験の方法

本実験には、日常的に自動車の運転を行っている 10 名の大学・大学院生 (8 名男性, 2 名女性, 年齢 21 - 24 歳) が参加した。実験には、動揺装置つきドライビングシミュレータ (本田技研製) における、片側 2 車線 1 周約 6km の環状高速道路コースを用いる。なお、運転席前方に、7 インチのディスプレイを設置し、システムからの支援情報を提示する。

被験者に与えるタスクは、およそ時速 80km/h を維持しつつ、通常は左車線を維持して安全に走行させるものである。コース上に数箇所、車線が規制されている所があり、車線規制の手前約 450m に到達したところで路車間通信によりディスプレイ上に「車線規制」の情報が提示される (Fig. 3)。自車線が

規制されている場合には、追越車線への移動が許されるが、追越車線を走行している車両との衝突防止に努める必要がある。また、追越車線が規制されている場合には、自車線に割り込んでくる車両との衝突を避けなければならない。他車の動向は、視覚情報のみで与えられるものとする。すなわち、エンジン音などで他車の動向を知ることはできない。



Fig. 3 Driving simulator

また、被験者には運転中に一桁同士の暗算を行わせた。3秒毎に、たとえば「2 + 3は？」と問う音声を提示し、口頭で解答させる。このサブタスクを課す理由は、交通の状況に対するドライバの予測能力が低下した状態、すなわち状況認識の能力が低下した状態を模擬するためである。

車線規制に伴う自車あるいは他車の車線変更に際し、衝突を回避するための支援を被験者内要因とする。これは、自動化レベル(LOA)⁽⁶⁾の観点から議論することができ、本稿では次の3つを取り上げる。

- (a) 支援なし(LOA1)。
- (b) 警報支援(LOA4)。衝突の危険が高まったと判断される場合、すなわち、自車が車線変更しようとしてステアリング操作をしたことにより追越車線の他車と接近するか、あるいは、他車が追越車線から割り込んでくることによって自車と接近する場合に、音声による警告を発する。
- (c) 操作支援(LOA7)。状況に応じて2種類がある。
 - (c-1) 追越車線の他車と接近しているときに、車線変更すべくステアリング操作が行われ、衝突の危険が高まったと判断されるときに、システムがドライバの入力を打ち消すようにステアリング操作を行い、自車線内を維持する
 - (c-2) 前方の車両などと接近して緊急ブレーキが必要と判断されるときに、システムが自動ブレーキ操作を実行する

実験の手順は、次のとおりである。すなわち、タスクについての教示とシミュレータ自体やタスク、提示される表示に慣れるための練習走行の後、本実験として、それぞれの支援形態ごとに3種類のシナリオで走行させた。最初にLOA1で

の走行後、半数の被験者はLOA4での走行を続けていき、最後にLOA7を経験する。残りの半数は、逆の順番で走行を行う。

本実験においては、走行中のステアリング操作量、アクセル・ブレーキペダル踏み量、方向指示器操作の有無、他車との距離、自車・他車の速度・位置を計測した。また、各支援形態での走行終了後、支援システムの事故回避に対する有効性と受容性に関する主観評価を、10段階のスケールで回答させた。

4.2 実験の結果と考察

本稿では、紙面の都合上、シナリオ1と3の結果を示す。

(1) シナリオ1

シナリオ1では、4箇所自車線の規制があり、そのうち2箇所(ケース1、ケース2)で追越車線から自車より高速な車両(F)が後方から接近してくる。自車が車線変更しようとする頃、Fは自車から死角の位置にあり、注意深く右後側方を見なければFを発見することができない。

各支援形態につき、Fとの衝突事故はTable1のように発生している。マクニマー検定の結果、LOA1とLOA4の間($z=3.175$, $p=0.002$)、LOA1とLOA7の間($z=2.846$, $p=0.004$)で高度に有意な差が認められた。

Table 1 Number of accidents in scenario 1

LOA	ケース1	ケース2
1(支援なし)	6/10	7/10
4(警報)	1/10	0/10
7(ステアリング操作)	2/10	1/10

被験者の主観評価の結果をFig.4に示す。Wilcoxonの順位和検定の結果、有効性に関する評価については、LOA4(警報支援)とLOA7(操作支援)との間で差異は認められなかったが、受容性評価に関しては有意な差が検出された($z=2.366$, $p=0.018$)。

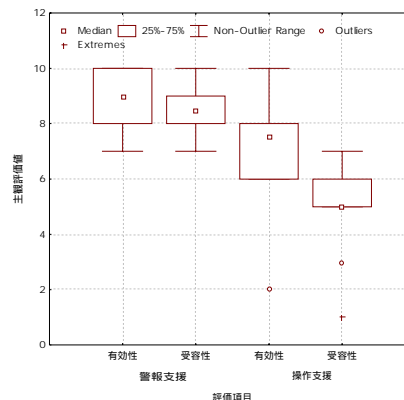


Fig. 4 Subjective ratings in scenario 1

以上の結果を総合すると、シナリオ 1 のような状況では、本実験における警報支援と操作支援とを比較した場合、警報支援の方が望ましいといえる。

(2) シナリオ 3

シナリオ 3 では、4 箇所追越車線の規制があり、そのうち 2 箇所（ケース 1、ケース 2）において、追越車線を走行していた高速な車両（F）が、自車と先行車（L）との間に割り込んでくる。L は F に比べ速度が小さいため、割り込み直後に F は急な減速を行う。自車は、F との衝突を避けるために減速する必要がある。

本シナリオの場合、F との衝突事故の回数は Table 2 のとおりとなった。マクニマー検定の結果、LOA1 と LOA7 との間（ $z=2.268, p=0.023$ ）で有意な差が認められた。

Table 2 Number of accidents in scenario 3

LOA	ケース 1	ケース 2
1 (支援なし)	5/10	2/10
4 (警報)	0/10	2/10
7 (減速操作)	0/10	0/10

主観評価については、有効性評価・受容性評価ともに、LOA4（警報支援）と LOA7（操作支援）との間で差異は認められなかった。

他車 F の減速に対する自車のブレーキ圧の最大値について支援形態間で比較をする。分散分析の結果、LOA の主効果が有意であった（ $F(2,16)=29.019, p<0.00001$ ）。Tukey の HSD 検定によると、LOA7（操作支援）と LOA1（支援なし）・LOA4（警報支援）との間でそれぞれ危険率 1% で差が有意であった。

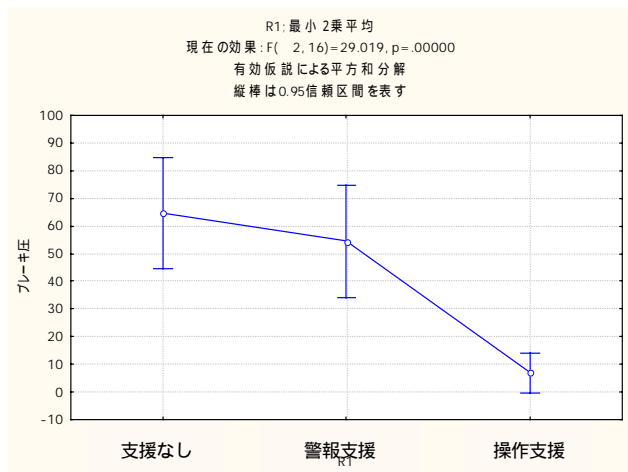


Fig. 5 Maximum brake stroke in scenario 3

以上を総合すると、シナリオ 3 のような状況では、本実験における支援形態の間では、操作支援が望ましいといえる。

5. おわりに

本稿で示した実験の結果は、行為実行までを自動化する支援については、適切に制御方法やインタフェースをデザインしないと、たとえ安全性を確保できてもドライバーには受け入れられないものとなりうることを示している。ドライバーの受容性を高めるデザインとして、たとえば、ステアリングをやや重くする程度にとどめる「ソフトプロテクション」とする方法や、オートメーション・サプライズを防止するための「自動化レベル 6.5」⁽⁵⁾を採用することが挙げられる。

また、シナリオ 3 の結果が示すように、LOA7 の自動化でも問題のない場面もあることから、アダプティブ・オートメーションのデザインにおいて、権限を委譲させる際の自動化レベルは、その交通状況に適したものを選定する必要があることが示された。交通状況の分類とそれに応じた自動化レベルを明らかにすることが今後の課題となる。

謝辞

本研究は、平成 17 年文部科学省科学技術振興調整費重要課題解決型研究プロジェクト「状況・意図理解によるリスクの発見と回避」の一部として行われたものである。データの取得・解析に尽力していただいた筑波大学第三学群情報学類永井義朝君に謝意を表す。

参考文献

- (1) 伊藤, 稲垣: 運転に対する注意低下の検出のためのセンサフュージョンアプローチ, 自動車技術会 2006 年春季大会 (2006)
- (2) 稲垣敏之: 状況・意図理解によるリスクの発見と回避, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol. 7, No. 1, pp. 13-18 (2004)
- (3) A. Amiditis, et al.: Real time traffic and environment monitoring for automotive applications, Proc. International workshop on modelling driver behavior in automotive environments, pp. 125-131 (2005)
- (4) T. Inagaki: Adaptive Automation: Sharing and Trading of Control, In: E. Hollnagel (Ed.), Handbook of Cognitive Task Design, Chapter 8, pp. 147-169, LEA (2003)
- (5) T. Inagaki, et al.: Human interaction with adaptive automation: Strategies for trading of control under possibility of over-trust and complacency, Proc. AugCog International (2005)
- (6) T. B. Sheridan: Telerobotics, Automation, and Human Supervisory Control, MIT Press (1992)
- (7) G. J. Witt: Safety Vehicle(s) using adaptive Interface Technology (SAVE-IT) Program, DTRSS7-02-R-20003 (2003)