

講演 4. 自動車線維持装置 (Automated Lane Keeping System) の 国連新規則における機能要件について

自動車安全研究部 ※児島 亨

自動車認証審査部 浦手 耕二

1. はじめに

国連の自動車基準調和世界フォーラム (WP29) 第 181 回会合において、高速道路等における 60km/h 以下の渋滞時等に作動する車線維持機能に限定した自動運転システムである Automated Lane Keeping System (以下、ALKS とする) の国際基準 (R157 として施行予定) が成立した。当研究所からは基準案の検討が行われた自動操舵専門家会議に出席し、要件の技術的根拠となる実験データの提供を行った。

以下、R157 における ALKS の代表的な機能要件及び当研究所が実施した実験について概説する。

2. ALKS の機能要件について

機能要件は R157 の 3 つの章に記載されている。

- ・5 章 System Safety and Fail-safe Response
- ・6 章 Human Machine Interface/operator information
- ・7 章 Object and Event Detection and Response

2. 1. System Safety and Fail-safe Response

5 章は一般要件、動的運転タスク (Dynamic Driving Task、以下、DDT とする)、緊急時動作 (Emergency Manoeuvre、以下、EM とする)、運転操作引継要求 (Transition demand、以下、TD とする) 及びリスク最小化制御 (Minimum Risk Manoeuvre、以下、MRM とする) に関する規定である。

一般要件では、作動中のシステムは合理的に予見可能かつ回避可能な衝突を生じさせないこと、各国の交通ルールの遵守、TD にドライバーが応答しない場合に MRM を実行すること及び本基準の要件を満足しない時にはシステムの作動を不可能にすること等が規定されている。

DDT の要件のうち、前後方向の車両の動きに関しては、システムの最高速度を 60km/h とすること、道路線形、周辺環境等に応じた速度の制御、静止車両、静止した道路利用者または通行止めの走行車線の手前で車両を完全停止可能なことに加え、前方の車両との最小車間時間及び最小車間距離等が規定されてい

る。また、衝突回避に関しては、先行車との最小車間距離を確保している状況において先行車がフルブレーキで制動した場合でも衝突を回避すること及び割込車両に対し衝突を回避することが規定されている他、自車よりも低い速度の割込車両や歩行者に対しても定量的な衝突回避が規定されている。

EM の要件では、衝突の危険が差し迫った場合に、必要に応じフルブレーキで制動するかまたは操舵により回避することが規定されている。操舵による衝突回避では車線境界線を越えてはならない。また、差し迫った衝突の危険が消失するかまたはドライバーがシステムの作動を停止しない限り EM を終了しないこと、車外への報知等が規定されている。

TD の要件では、システムから TD が提示された場合に、ドライバーが安全に運転操作を引継ぐための要件が規定されている。引継ぎには移行期間 (Transition phase) が必要であるとの考え方を基に、移行期間ではシステムの作動を継続すること、安全な引継ぎのために十分な時間を供給すること等が規定されている。ドライバーが TD に応答しない場合には、MRM に移行し、車両を減速・停止させるが、MRM の開始は TD の開始から最短で 10 秒後となっている。また、TD 開始後できるだけ早くドライバーが応答することが望ましいので、TD 開始後 4 秒以内に警報を強めることとなっている。強める方法には触覚警報 (ごく短時間のブレーキ制御を想定) も含まれる。

MRM の要件では、車線内 (車線を認識できない場合には周辺交通やインフラ設備から走行軌跡を導出) で減速すること、減速度は 4m/s^2 以下とすること、ハザードランプを点滅すること等が規定されている。

2. 2. Human Machine Interface/operator information

6 章は Driver Availability Recognition System、Activation/Deactivation and Driver Input、System override 及び Information to the driver に関する規定である。

Driver Availability Recognition System は、システ

ム作動中にドライバがTDに応答可能な状態であるか否かをモニタする機能である。ドライバが適切なポジションで運転席に着座し、シートベルトを着用した状態で運転操作を引き継げる状態であることを検知し、運転席へ着座していない状態が1秒以上継続するかまたはシートベルトを外した場合にはTDを提示すること等が規定されている。応答可能か否かは、過去30秒間に少なくとも2つの指標に対する判定基準が応答可能と判定されない場合には、応答可能でないと判定する。具体的な指標については、ドライバが操作するコントロール類への入力、瞬き、閉眼及び意識的な頭または身体の動きが例として示されており、製造者は判定基準の数、組合せ及び監視のインターバルの妥当性を審査機関に対し書面で提出し、審査される。

Activation/Deactivation and Driver Input の要件では、作動、作動停止及びドライバの操作入力があった場合のシステムの動きに対する規定がある。システムの作動及び作動停止を行う専用手段を備えること、イグニッション ON 時の初期設定は作動停止であることその他、システムが作動となる条件が規定されている。手動操作による作動停止については、作動時と同じ手段を用いること及び意図しない操作によって作動停止しないことが規定されている。ドライバが運転操作介入した場合の作動停止については、ステアリング操作によってシステムがオーバーライドされた場合またはステアリングを握った状態でブレーキまたはアクセル操作によってシステムがオーバーライドされた場合に作動停止することが規定されている。TD または MRM を実行中の作動停止については、オーバーライドの条件が成立するかまたはドライバがステアリングホイールを握り、注意力を有していることが確認された場合に作動を停止することが規定されている。システムの作動停止後は、前後方向または横方向の車両制御を連続的に行う機能へ自動的に移行することは禁止されている。

System override の要件では、ステアリング、ブレーキ及びアクセルへの入力に対する規定がある。ステアリングへの入力に対しては、ドライバの入力が閾値を超えた場合にシステムをオーバーライドし、閾値にはドライバの注意力も含むこととなっている。注意力については、ドライバの視線方向が主に前方の道路を見ていることをシステムが確認した場合、ドライバの視線方向が後写鏡を見ていることをシステムが確認

した場合またはドライバの頭の動きが主に運転操作に向けられていることをシステムが確認した場合の少なくとも1つが該当する場合に注意力を有すると判定する。製造者は審査機関に対し具体的な確認方法、判定基準等を書面で提出し、審査される。ブレーキへの入力に対しては、ドライバがシステムによって発生する減速度よりも大きい減速度を発生するブレーキ操作を行うかまたは停車状態を維持しようとした場合に、前後方向制御をオーバーライドすることとなっている。アクセルへの入力に対しては、ドライバのアクセル操作により本基準の要件から逸脱しない範囲で前後方向制御をオーバーライドすることとなっている。なお、アクセルまたはブレーキへの入力が合理的な閾値を超えた場合には、TD が提示される。

Information to the driver の要件では、ヒューマンマシンインターフェース（以下、HMI とする）に対する規定がある。システムの状態及びシステムの故障（少なくとも光学信号）、TD（光学警報に加え、音または触覚による警報）、TD 開始から4秒以内に持続的または断続的な触覚警報を含め、TD 終了まで警報を強めること、MRM 実行中であること（光学警報に加え、音または触覚による警報）及びEM 実行中であること（光学信号）を提示すること等が規定されている。

2. 3. Object and Event Detection and Response

7章はセンシングに関する規定である。前方検知距離は46m以上であること及び横方向検知距離は隣接する左右の車線の全幅を検知するのに十分な距離であることを前提に、製造者が審査機関に申告すること等が規定されている。

3. 当研究所が実施した実験の概要

3. 1. 実験の目的

本実験は、高速道路で使用する自動運転システムを対象とし、システム作動中にTDが提示され、ドライバが運転操作を引き継ぐ場面において、安全な運転操作引継ぎのために配慮すべき事項等を考察することを目的として実施した。

3. 2. 実験方法

実験はドライビングシミュレータを用いて行った。運転操作引継ぎを行う場面は、図1に示す3場面とした。計画的な事象発生例として、高速道路出口の手前でTDを提示する場面（場面A）を設定し、計画外の事象発生例として、システムの故障発生により

TD を提示する場面 (場面 B) 及び車線減少により TD を提示する場面 (場面 C) を設定した。いずれの場面も、運転操作を引き継いだ直後に運転負荷の高い状況に遭遇した場合を想定し、場面 A は高速道路出口に渋滞で停車中の車列が出現、場面 B は隣接車線より他車両が自車の前方に割込んだ後に 4m/s^2 で減速、場面 C は後方から自車よりも高い速度で他車両が接近する状況で自車が車線変更する設定とした。TD を提示する時点における自車の速度は、場面 A 及び場面 B は 100km/h 、場面 C は 80km/h とした。TD を開始してからシステムの作動を停止するまでの時間を Transition time とし、場面 A は 15 秒、場面 B 及び場面 C は 5 秒、10 秒、15 秒の変数とした。また、TD 開始後にドライバがアクセル、ブレーキまたはステアリングのいずれかを操作した時点でシステムの作動を停止し、TD にドライバが応答しない場合には、Transition time 終了時にシステムを作動停止した。

システム作動中のドライバの行為 (タスク) については、何も行わない、車載モニタによる動画視聴及びタッチパッド操作によるゲームの 3 条件とした。車載モニタによる動画視聴は、没入度があまり高くなり過

ぎず、TD の認知を阻害する可能性が低いと考えられる行為の例として実施し、TD 開始時には動画を終了して TD を通知した。タッチパッド操作によるゲームは、没入度がある程度高く、TD の認知を阻害する可能性が考えられる行為の例として実施し、タッチパッドの画面はシステムとは連動しないこととした。

実験に使用する HMI はモニタ画面上への表示及びスピーカからの音とした。表示については、TD 開始時に、間もなくシステムが作動を停止することを告げる表示を開始し、システムが作動を停止した時点で作動停止を告げる表示に切り替えた。音については、TD 開始時に、報知音 (ピンポン) 及び間もなく作動を停止 (解除) することを告げる音声を 1 回提示し、システムの作動を停止した時点で報知音 (ピピピピ) 及び作動停止を告げる音声を 1 回提示した。

実験協力者は日常的に運転を行う 30 代～50 代の非高齢の男女 10 名及び 60 代後半～80 代前半の高齢の男女 10 名で構成した。「独立行政法人自動車技術総合機構交通安全環境研究所における人間を対象とする実験に関する倫理規程」に基づく事前審査を受け、実験開始前に被験者に実験内容の説明を行い、同意を得た上で実施した。実験前の練習走行では、高速道路出口の手前で TD を提示し、運転操作を引き継いだ後、手動操作で出口路を走行 (渋滞車列は出現せず) する場面を 1 回実施した。

実験に使用したドライビングシミュレータは、車両に発生する加速度等を体感でき、運転操作引継ぎ時のステアリング操作をより現実に近い形で再現するため、システム作動中は道路線形等に応じてステアリングホイールが自動で転舵するものとした。

3. 3. 実験結果

実験結果の例として、場面 B の結果を説明する。

図 2 は TD を開始後、ドライバがステアリングホイールを握るまでの時間を、タスクの条件及び Transition time の条件ごとに集計した結果である。タスクの条件によらず、Transition time が長くなる程、ステアリングホイールを握るまでの時間の 75%ile 値が増大している。この理由は、一部のドライバは TD 開始後も作動停止の通知まではシステムの作動が継続することを理解しており、TD を開始後、しばらく様子を見て応答したためである。また、高齢者の 1 名はタッチパッドの条件で TD に応答しなかった。

図 3 は Transition time が 5 秒の条件において、TD

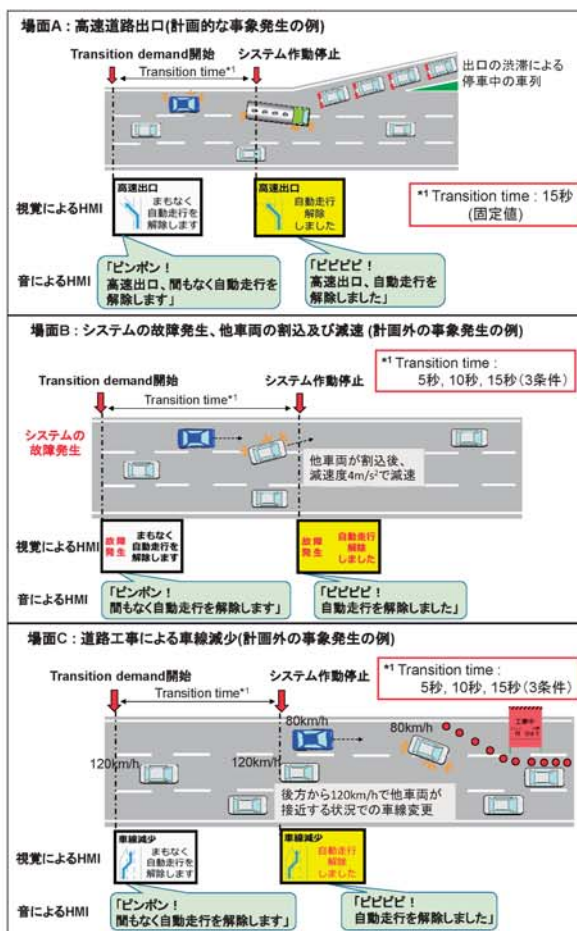


図 1 実験場面の概要

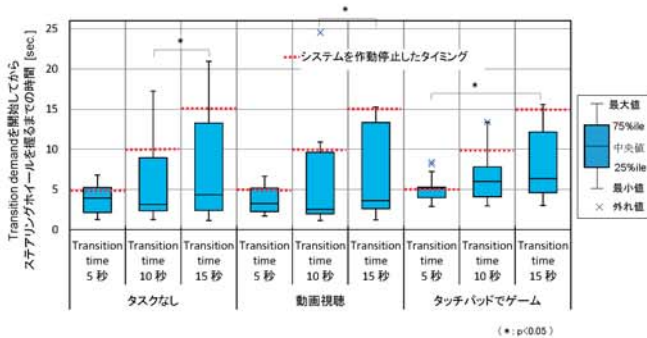


図2 ステアリングホイールを握るまでの時間 (全条件)

を開始後、ドライバがステアリングホイールを握るまでの時間を、タスクの条件ごとに集計した結果である。中央値で見ると、タッチパッド操作の場合は他の条件に比べ、ステアリングホイールを握るまでの時間が1~2秒増大している。一方、75%ile値で見た場合には、タスクの条件による違いはほぼ見られず、比較的多くのドライバにとって、タスクの条件によらず、概ね5秒以内にステアリングホイールを握ることが可能であることが分かった。

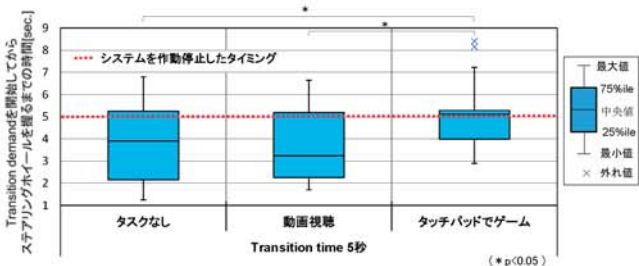


図3 ステアリングホイールを握るまでの時間 (5秒)

図4はTDを開始後、隣接車線他車両が自車の前方に割込んだ際に、ドライバがブレーキ操作を行ったタイミングをタスクの条件及びTransition timeの条件ごとに集計した結果である。縦軸の0秒は、割込車両の左前輪が車線境界線に到達した時点を示している。多くのドライバは割込車との車間距離を確保するため、割込車が減速を開始(図中、青色破線)する前にブレーキ操作を開始している。また、50%ile値で見

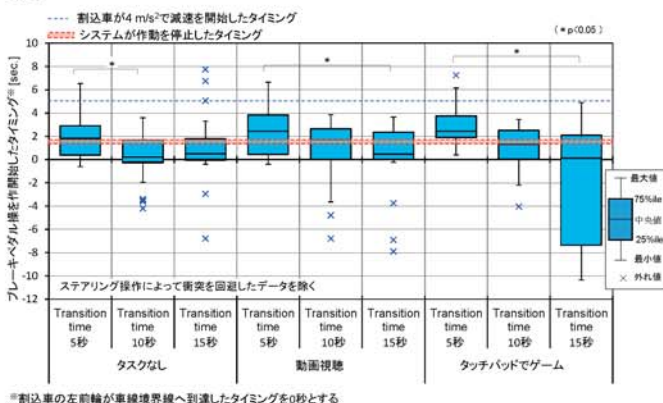


図4 ブレーキペダル操作開始タイミング

ると、Transition timeが10秒及び15秒の条件ではシステムが作動を停止(図中、オレンジ色破線)する前にブレーキ操作を開始している。図3ではTransition timeが長くなる程、ステアリングホイールを握るまでの時間が長くなる傾向が見られたが、一方で、図4の結果はTDが10秒程度以上確保された場合には、より早く危険対象から離れる方向へ運転行動が変化するドライバも存在することを示している。

3. 4. 実験結果まとめ

本実験では以下の知見が得られた。

- ①多くのドライバは、TDを開始後、概ね5秒以内にステアリングホイールを握ることが可能である。一方で、ドライバが運転操作を引き継いだ直後に、周囲の状況を確認してより安全な運転行動を行えるようにするためには、更なる時間的な余裕を確保することが望ましい。本実験の結果からは、Transition timeを10秒または15秒とした場合に、より早いタイミングで危険対象から離れる操作を行うことが可能になることが分かった。
 - ②一部のドライバでTransition timeが長くなる程、TDへの応答が遅くなる傾向が見られたことから、ドライバに迅速な応答を促すHMIが必要である。
 - ③運転操作を引き継いだ直後に危険事象に遭遇するリスクを低減するため、システムはTransition timeの間に速度を低下させる等、より安全な方向に車両の動きを制御することが望ましい。
 - ④システム作動中に、システムと連動しないツールを用いて比較的没入度の高いタスクを行うと、TDの認知を阻害する場合がある。
- 実験結果は自動操舵専門家会議で報告した²⁾。このうち、上記①はTD開始後MRM移行までの最短時間10秒の規定、上記②はTD開始後4秒以内に警報を強める規定、上記③は移行期間中の速度低下を許容する規定の根拠となった。

4. まとめ

引き続き、当研究所は日本の提案内容の新たな基準案等への反映及び技術的根拠となる実験データの提供を行っていく予定である。

5. 参考文献

- 1) UN ECE, "ECE/TRANS/WP.29/2020/81"(2020)
- 2) UN ECE, "ACSF-17-07"(2018)