

前方障害物衝突回避支援システムの動作要件に関する調査研究

1. 目的

ドライバが運転を行っている最中に運転操作へ介入するシステム特有の問題として、ドライバとシステムの判断が不一致することが挙げられる。ドライバが安全であると思う状況で、システムが危険と判断し運転操作へ介入すれば、ドライバは違和感をもつ。緊急時に自動でブレーキを動作させる前方障害物回避支援システム（Forward Collision Avoidance Assistance System ; FCAAS）もこれに属するシステムの一つである。

一般に制動のみによる衝突回避に必要な車間距離は、制動と操舵の併用による衝突回避に必要な車間距離よりも長い。そのため、システムの制動制御のみで衝突を回避しようとすると、その開始タイミングによっては、ドライバがシステムに過度の依存や違和感をもつことが懸念される。そこで FCAAS を扱う際の現状として、制動制御の介入タイミングを考えるために、ドライバの操舵回避操作タイミングを検討することが必要となる。

このような観点から、本調査では、実路上においてのドライバの操舵回避操作タイミングを調査し、ドライバの通常の操舵回避操作と干渉しないシステムの動作タイミングを検討することを目的としている。

2. 実施内容

2.1 調査区間

首都圏における自動車専用道路として常磐自動車道を、また市街地一般道路としてつくば市内の幹線道路および細街地道路を調査区間とした。常磐自動車道においては、谷田部 IC～流山 IC（上り線）、流山 IC～つくば JCT（下り線）の両区間において調査を行った。つくば市内の一般道路は、片側一車線の対面通行区間と片側二車線で中央分離帯を有する区間で構成される。片側一車線の区間では、駐車車両も多く存在した。

2.2 被験者および実験教示内容

被験者として、20歳代後半から40代後半の日常的に運転を行っている男性15名、女性5名の合計20名を対象に調査を実施した。被験者全体の平均年齢は39.4歳で、運転歴の平均は19.4年である。

実験に際して被験者には、一定の速度を保って走行し、前方に障害物（自車両よりも低速で走行の車両、もしくは駐車車両）があれば、危険を感じない範囲内において可能な限り先行車両に接近し、それを操舵のみで回避する旨の教示を行った。

2.3 調査項目とその算出方法

ドライバが先行車両を操舵によって回避する際の先行車両との車間距離、横方向加速度、車両前方画像、ステアリング操作量の計測を行い、以下に示す6つの車両状態量を算出して調査項目とした。図 2.3-1 に車両前方画像の取得例を示す。なお、本調査においては、操舵回避開始タイミングを、ステアリング操作量が回避操作方向に対して逆操作方向に極小となる点として定義するものとする。

- ① 操舵回避操作開始時の車間距離
- ② 操舵回避操作開始時の相対速度
- ③ 操舵回避操作開始時の衝突余裕時間（Time To Collision；TTC）

TTC は先行車両との車間距離を相対速度で除した値。

- ④ 必要回避量

先行車両を回避するために必要な横方向移動量を自車両の幅を 100%として表した値で、右方向へ回避する場合には、以下の(2.3-1)式で定義する。式中の先行車両幅は以下の表 2.3-1 の値を用いた。

$$\text{必要回避量(\%)} = \frac{\left(\frac{L_r}{L_r + L_l} \times \text{先行車両幅} + 0.85 \right)}{1.70} \times 100 \dots (2.3-1)$$

表 2.3-1 適用車両幅

軽乗用車	小型乗用車	普通乗用車	小型トラック	中型トラック	大型トラック
1.40m	1.69m	1.75m	2.00m	2.20m	2.50m

- ⑤ 操舵回避操作開始時の車両中心オフセット量

自車両の車両中心と先行車両の車両中心のずれ量を先行車両の幅を 100%として表した値で、右方向へ回避する場合には、以下の (2.3-2) 式により定義する。

$$\text{車両中心オフセット量(\%)} = \pm \frac{(L_r - L_l)}{2 \times (L_r + L_l)} \times 100 \dots (2.3-2)$$

- ⑥ 操舵回避操作にともなう横方向加速度の変化量

操舵回避操作開始時の横方向加速度を基準とした、横方向加速度の変化量。



図 2.1-5 車両前方画像の計測例

2.4 調査車両

調査車両は車両幅 1.7m、排気量 2.5 リッターの 4 ドアセダンタイプである。実験中は被験者 1 名と計測員 1 名の計 2 名が乗車し計測を行う。車間距離の計測には、調査車両のフロントグリル部分に設置したレーザ・レーダを用いた。

3. 得られた成果

3.1 操舵回避操作開始時の相対速度と車間距離の関係

全被験者の高速道路区間および一般道路区間における操舵回避操作開始時の相対速度と車間距離の関係を図 3.1-1 に示す。図中の直線は TTC が一定となる直線であり、それぞれ 1.0s~6.0s を表す。

一般道路区間では停止車両等により相対速度が大きくなる状況が多いため、高速道路区間よりも相対速度の分布が広い。高速道路区間では相対速度の最大値がおおよそ 40km/h であるが、一般道路区間では 60km/h まで分布している。

高速道路区間では、殆どの点は TTC が 3.0s 以上となる領域に分布しているが、一般道路区間では 3.0s 以下の領域にも多くの点が分布する。一般道路区間では高速道路区間よりも TTC が小さくなる領域へ分布が広がっており、特に相対速度が大きい場合にその傾向が顕著である。また、TTC が最小となる点も一般道路区間の方が小さく、高速道路区間では全ての点が 2.0s 以上に分布するのに対し、一般道路区間では 2.0s 以下となる点も存在する。

TTC の平均値は、高速道路区間で 7.7s、一般道路区間で 6.6s となっており、TTC の最小値は高速道路区間で 2.3s、一般道路で 2.0s である。

以上のように、本調査の結果においては、高速道路区間と一般道路区間を比べると、一般道路区間では高速道路区間を走行する場合よりも TTC が小さくなるような形態で分布し、TTC の最小値は一般道路区間に存在し、それは駐車車両を回避する状況であった。

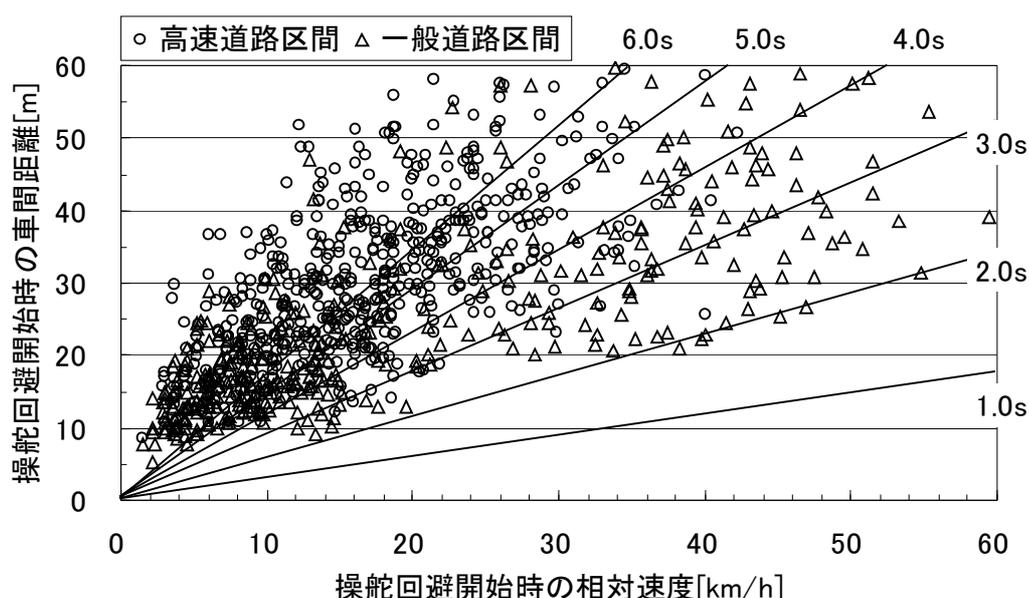


図 3.1-1 操舵回避操作開始時の相対速度と車間距離の分布

3.2 調査結果のまとめ

全被験者の全走行区間における各調査項目の平均値、最小値、最大値、および 10%ile 値、25%ile 値、50%ile 値、75%ile 値、90%ile 値、を以下に示す。

表 3.2-1 調査結果

	横方向加速度の 変化量 [m/s ²]	操舵回避操作開始時					必要回避量50%時		
		相対速度 [km/h]	車間距離 [m]	TTC [s]	必要回避量 [%]	オフセット量 [%]	相対速度 [km/h]	車間距離 [m]	TTC [s]
平均値	0.7	17.9	28.8	7.2	81.4	-22.9	17.1	19.6	5.0
最小値	0.0	1.5	5.2	2.0	10.4	-95.5	1.5	4.6	1.3
最大値	1.9	62.0	112.0	28.6	166.3	59.1	58.8	81.6	21.1
10%ile値	0.3	5.4	13.5	3.5	50.0	-50.0	6.4	9.4	2.3
25%ile値	0.5	9.1	18.0	4.7	64.2	-37.3	9.8	12.4	3.1
50%ile値	0.6	15.0	26.6	6.3	81.9	-21.9	14.7	17.2	4.3
75%ile値	0.8	24.0	36.8	8.8	98.5	-8.0	22.0	24.4	6.0
90%ile値	1.1	35.2	47.0	11.8	113.8	5.4	31.3	32.0	8.4

3.3 ドライバと操舵回避操作と干渉しないシステムの動作要件に関する考察

車間距離-相対速度の平面における操舵回避の物理的限界は原点を通る直線となり、この直線の傾きは TTC を示す。これに準じて一定の余裕距離をもち、ドライバが操舵回避を行うと仮定すると、ドライバの操舵回避直線を一次関数で表現することが可能であると考えられる。本調査結果において、操舵回避操作開始時の車間距離を相対速度域 5km/h ごとの最小値を用いて、直線近似した結果が (3.3-1) 式である。この直線はドライバの操舵回避操作の特性を表す直線と考えることができる。

$$\text{車間距離}[m] = \frac{1.58}{3.6} \times \text{相対速度}[km / h] + 4.3[m] \quad \dots (3.3-1)$$

システムの動作開始タイミングとして、本調査における TTC の最小値 (2.0s) 一定や上記の操舵回避直線による方法が考えられる。しかし、このタイミングによるシステムの動作開始は、操舵回避操作開始を遅延無く取得した場合のみに適応が可能である。実際には操舵回避操作のタイミングをその時点で決定することは難しく、この遅延によりドライバの操舵回避操作に干渉する部分が発生することが考えられる。また、相対速度が小さい場合においては、ドライバは制動による回避操作を行うことが考えられ、これとシステムによる制動制御との操作干渉が懸念される。

4. 研究成果の利用

本調査の成果は、ISO/TC204/WG14 の国内審議を担当する走行制御分科会、およびその下部組織である FCAAS サブワーキンググループに提出され、FCAAS の動作用件に関するミニマムリクワイアメント策定のためのバックデータとして活用される。