

自動車の制動時の安心感に関する研究*

The Study on the Scare and Secure for Adaptive Driver Assistant System

田中 裕章
Hiroaki TANAKA

竹森 大祐
Daisuke TAKEMORI

宮地 智弘
Tomohiro MIYACHI

入部 百合絵
Yurie IRIBE

小栗 宏次
Hirotougu OGURI

Establishing drivers' trust in automated driving systems is critical to the success of automated vehicles. The focus of this paper is on making drivers feel secure and confident during automated vehicle braking events. In this study, 10 participants drove a test vehicle and each experienced 24 different deceleration settings. Prior to each drive, we indicated to the participants the expected brake starting and stopping positions. During each drive, participants first maintained a set speed, then stopped the vehicle when they saw a signal to apply the brakes. After each drive, we asked the participants how fearful or secure they felt, and how safe they felt for the various deceleration settings they just had experienced. The results revealed that a 'jerk' braking event significantly influences drivers' perceived safety. We named it "IJ" (impression jerk). We confirmed that using this IJ we can clearly distinguish between the drivers' feelings of fear and security, and that there are differences between individual drivers.

Key words :

ADAS, Jerk, Fear, Secure (Anshin)

まえがき

公益財団法人 交通事故総合分析センター (ITARDA) の事故件数の推移によると、年々事故件数は低減傾向にあるものの、死亡者数は国内で 4000 人を超えている¹⁾。一方、事故を抑制するために、高度運転支援の研究が進められており普及が期待されている²⁾。これらのシステムとして、例えば、前方追突警報システム (Forward Collision Warning System) や、衝突被害軽減ブレーキシステム (Automatic Emergency Braking System)³⁾ があげられる。これらのシステムは、衝突を回避するために、効果的なシステムであり、ドライバーの制動操作遅れを自動車からドライバーに対して制御を要求したり、または、自動車が制御自体を提供することができる。このような制御を実現するために、ブレーキ制御とドライバーの

関係についてはさまざまな研究が進められている。例えば、事故が発生する時に、運転行動と対応能力による事故発生過程への関与⁴⁾によりブレーキ反応時間を探ったものがある。また、高井らは、ブレーキフィーリングを、(1) 踏み応えがあること、(2) 踏み増した時の応答性が良いこと、(3) ドライバの期待を上回る効きが得られること、(4) ブレーキをかけたとき車両が無駄な動きをしないこと、の 4 点の特性を上げることによりブレーキ特性を向上させた⁴⁾。さらに、宮本らは、ドライバーの速度調整操作モデルにより、ドライバーの運転操作を模擬し、渋滞の原因検証を行っている⁵⁾。また、Aziz は、長距離ドライブの乗り心地の改善について加加速度が関与していることを突き止めた⁶⁾。これらの先行研究は、乗り心地向上や制御性向上に大きく貢献している。クルマがブレーキの制御を行う際、ドライバーはどのようにそのブレーキ制

* 2016 年 8 月 22 日 原稿受理

御を感じるのかについて知ることは、ドライバが制御を信頼し、安心感を抱くシステム構築のためには重要であると考えられる。しかしながら、現在、運転時に感じるドライバの安心感や不安感について言及された研究はない。システムがブレーキを制御する衝突被害軽減ブレーキシステムの場合、ドライバは、自動車の制御に身を任せることになり、状況によっては不安を感じる場合があると考えられる。また、ドライバが、制動のためにブレーキを踏むマニュアル運転の場合においても、ドライバは自己の制御に対して不安感を抱く場合がある。さらに、同乗者も同様に自動車の制御もしくはドライバの制御に対して不安感や安心感を感じる場合がある。我々は、自動車の制動時に、ドライバがその制動に対して安心感を抱く場合と、不安感を抱く場合に着目し、両者の間で何がその感覚を作り出しているのか、その原因を解明した。

2. 制動と安心感の要因

2.1 運転の状態とドライバの行動

ドライバは、運転の際、周りに気を配り運転している。ドライバは周辺の危険を検知すると、その危険度の状況によって反応するか、そのまま保持するかを決める。危険が迫っていると感じた場合には、安全を確保するために減速するか、または、ハンドルを操作して危険を回避する行動をとる。佐々木は、ドライバがブレーキを操作する場合、ドライバの制動行動には個人差が大きく、共通の制動行動をとることは困難であるとしている³⁾。このことから、ドライバは、状況に応じた制動行動を、ドライバ固有のタイミングで行うことが予測される。一方、ドライバのブレーキ操作タイミングとしては、ドライバが周囲の環境を十分理解し、反応に十分な時間が与えられている場合と、周囲の状況変化（信号変化や人の飛び出しなど）に気付くのが遅れ、即座に反応しなければならない場合とに分けられる。即座に反応しなければならない場合では、ドライバは事故を防ぐためにできるだけ早くブレーキ操作をしなければならない。このような状況において、ドライバは、取り得るタイミングで制動行動をとるが、制動に不安を感じる場合と制動に不安を感じない場合（安心であった場合）とに分けられる。我々は、この不安感や安心感がどのように生じるのかについて検証

することで、安心した制動システムにつなげることができると考えた。

2.2 ドライバの感性

交通事故の要因分析により、ドライバが自動車を制動しているときの環境要因について検討した。

- (1) 自動車の動的要因…スピード、ターゲットまでの距離、減速度など
- (2) 個人の運転能力…経験年数、走行距離など
- (3) 運転環境…道路形状、車線数、車両の周辺環境など

本研究では、自動車の動的要因に着目し、スピード、ターゲットまでの距離、減速度をパラメータとして、ドライバがどんな状況で安心感を感じるのかについて究明する。

3. 実験の方法

3.1 被験者

被験者として、社内で開催される稟議委員会の証人の元、10名の被験者を選出した。10名は、男性8名、女性2名であり、運転経験が3年以下の被験者は全員が20代で、平均年齢は24.5歳である。また、運転経験が3年以上の被験者は、運転経験は平均で15年、平均年齢は、38歳である。それぞれの被験者は、週2日以上の運転を常時行っている。また、実験の実施日には、体調などが正常であることを確認した後、実験を実施した。

3.2 実験

Fig. 1に実験環境を示す。Fig. 1中に示した減速度開始ポイント（Starting point of deceleration）は、Table 1に示した平均減速度となるよう、それぞれの減速開始位置を決定した。また、運転経験の違いにより視線の滞留時間や対象への視認時間、視線移動のパターン等に影響を受けるとする先行研究の結果^{5) 7) 8) 9)}、および、道路環境により有効視野や滞留時間が変化すること^{10) 11)}を考慮し、ドライバの運転環境を極力単純化させ、運転経験、環境に差を出さないよう配慮し、被験者にはあらかじめ停止位置を示し、確認させた後、速度30km/h、50km/h、70km/hで直線路を定速走行させた。そして、指示があるまでその速度を維持させた。制動については、佐々木らの結果³⁾から、ドライバ固有のタイミングで

制動することによる制動のばらつきをなくすため、被験者は、実験者の指示したタイミング、実際には、車両に搭載したヘッドアップディスプレイによる表示とスピーカーからの音により制動開始を指示した。被験者はこの指示に従って制動を開始し、停止位置で停止するようブレーキを操作させた。ブレーキ操作の方法については、特に指示をせず、被験者に任せた。

平均減速度は、Table 1に示すように、初期速度により小さい場合のほうが小さく、初期速度が大きい場合には減速度が大きくなることを考慮して初期速度が30km/hのときには小さい範囲で、50km/h、70km/hの時には次第に大きい範囲で実験することとした。減速度の決定については、被験者が余裕を持って車両を制御できるよう、0.4 G以下の平均制動減速度となるように決めた。また、この表に従って被験者は、3つの異なる初期速度で、8つの異なる平均減速度の実験を計24回実施した。なお、減速度については被験者が制動を指示される位置を予測することを防ぐために、ランダムな順番となるよう減速位置を被験者に示した。

Fig. 1中の減速開始位置(Starting point of deceleration)は、初期速度 (Initial Speed) V_0 と平均減速度 a を用いて、式 (1) のように計算できる。

$$d = \frac{1}{2} \frac{v_0^2}{a} \quad (1)$$

被験者には、停止位置で停止した直後に、停止操作をした時に感じた安心感と不安感について、Table 2に示す5段階の指標 (Feeling Level) で回答させた。今回、安心感と不安感の指標間のレベル合わせは被験者間で特に行っていない。



Fig. 1 The relationship of the initial speed, starting point of deceleration, and stopping position

Table 1 Mean Deceleration

初期 速度 [km/h]	平均減速度 [G]			
	Exp.1	Exp.2	Exp.3	Exp.4
30	0.075	0.100	0.125	0.150
50	0.125	0.150	0.175	0.200
70	0.175	0.200	0.225	0.250

Table 1 Mean Deceleration (Continue)

初期 速度 [km/h]	平均減速度 [G]			
	Exp.5	Exp.6	Exp.7	Exp.8
30	0.175	0.200	0.225	0.250
50	0.225	0.250	0.275	0.300
70	0.275	0.300	0.325	0.350

Table 2 Feeling Levels of Security and Fear

Feeling Levels	Perceived Safety
2	非常に安心(Very secure)
1	安心(Moderately secure)
0	どちらでもない(Neutral)
-1	不安(Moderately fearful)
-2	非常に不安(Very fearful)

4. 結果

4.1 減速度とフィーリングレベルの関係

Fig. 2(a), Fig. 2(b), Fig. 2(c)に、それぞれ初期速度30 km/h、50 km/h、70 km/hの時の10名の被験者のフィーリングレベルの結果を示す。フィーリングレベルは、減速度の増加に伴い不安を感じる割合が多くなっていることがわかる。例えば、初期速度30km/hの時には、0.125G以下、もしくは、0.2G以上の時には、安心感もしくは不安感の指標を申告した被験者が多数に及び、それらの間では混在していることが分かる。しかし、これらのデータには多数の安心感の中に不安感を抱いているという例外のデータもあった。この傾向は、(a), (b), (c)

でも同様の結果である。

以上のことより、さらなる分析のため、データの相関を求めて検証する。

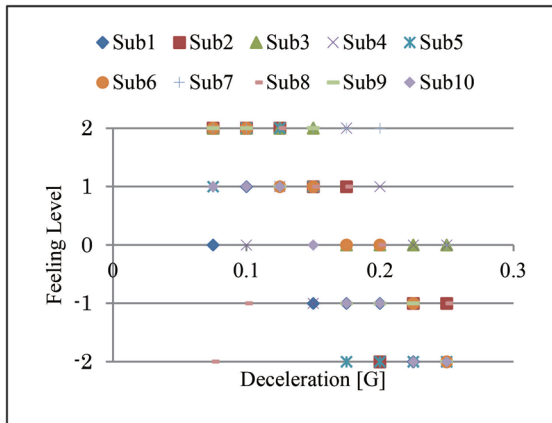


Fig. 2 (a) Feeling Levels at initial speed 30km/h

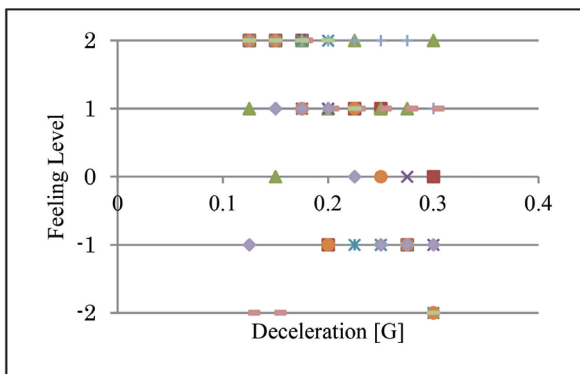


Fig. 2 (b) Feeling Levels at Initial Speed 50km/h

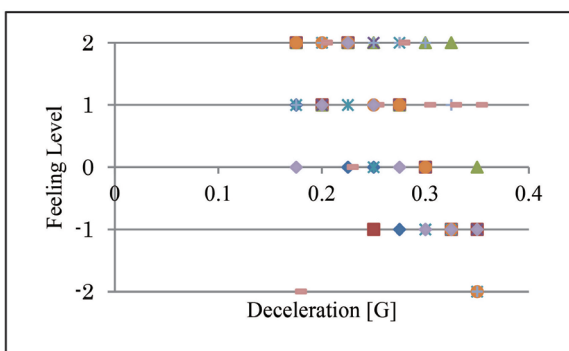


Fig. 2 (c) Feeling Levels at Initial Speed 70km/h

Table 3 Correlation Coefficient of Feeling Levels vs. Initial Speed

	30km/h	50km/h	70km/h
Sub1	-0.76376	-0.92457	-0.96225
Sub2	-0.87287	-0.68252	-0.7836
Sub3	-0.87287	0.412393	-0.38576
Sub4	-0.30242	-0.9084	-0.86453
Sub5	-0.85559	-0.90726	-0.78386
Sub6	-0.97348	-0.86225	-0.94882
Sub7	-0.62012	-0.57735	-0.54595
Sub8	0.021502	0.639002	0.455016
Sub9	-0.90851	-0.91721	-0.90144
Sub10	-0.96271	-0.50022	-0.69924

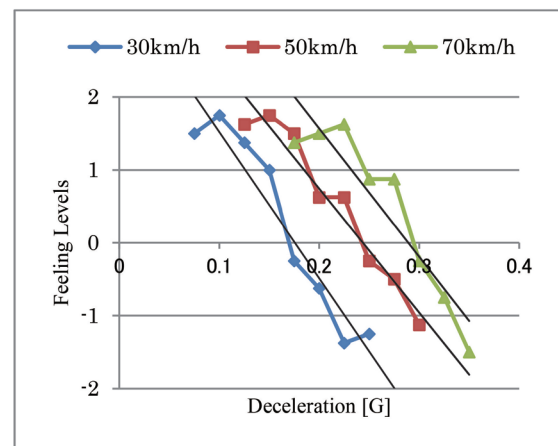


Fig. 3 Average of Feeling Level vs. Deceleration

初期速度に関するフィーリングレベルの相関係数を各被験者について求めた結果を **Table 3** に示す。

初期速度が 30 km/h の時の減速度に関する相関は、被験者 Sub8 以外は、相関係数が 0.3 以上であり、減速度に対してフィーリングレベルは相関があることが分かる。また、相関係数が 0.3 であった被験者 Sub3 と 0.62 であった被験者 Sub7 を除くと、相関係数は 0.76 以上となり、フィーリングレベルは減速度に対して強い相関があることが分かる。初期速度 50km/h と 70 km/h に対しても同様に求め、強い相関のあるデータを用いてフィーリングレベルの平均値を求めた結果を **Fig. 3** に示す。 **Fig. 3** から、被験者の感じるフィーリングレベルは初期速度が一定の場合、減速度の増加に伴いほぼ線形で減少すること

が分かる。

また、Fig. 3中に示した直線は、それぞれの初期速度におけるフィーリングレベルの線形近似直線である。Fig. 4に、近似直線のフィーリングレベルがゼロの時の値、つまり、被験者が安心と感じる境界を示す。初期速度が大きいくときには大きい減速度まで安心感を保っていることが分かる。つまり、初期速度が大きい場合には、強い減速度をかけたとしても、ドライバは不安を感じることは少ないと言える。

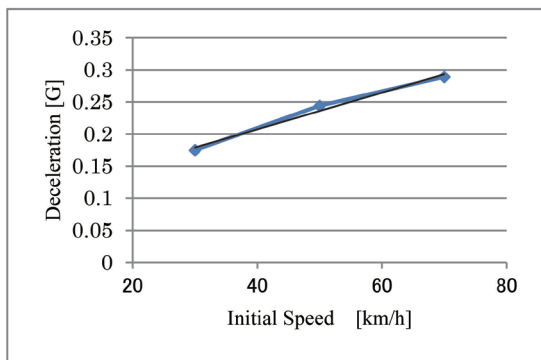


Fig. 4 The limit of the feeling level = 0 vs. initial speed

4.2 減速時の減速度波形

これまで、減速度に関するフィーリングレベルが強い相関があるデータについて、その特性を解析してきた。一方、Table 3に示したように、相関がないと判断したデータが存在する。これらのデータを解析するために、減速度と時間の関係について立ち返って解析する。Fig. 5(a)に、被験者 Sub5 の初期速度 70 km/h、平均減速度が 0.2 G の時の減速度の時間変化を示す。この時のフィーリングレベルは 2、つまり、自分のブレーキに対して不安を感じていないときの波形である。被験者 Sub5 は、時間 0 でアクセル制御からブレーキをかけるためにブレーキに足を移行させ、time = 1.73 sec でブレーキをかけ始め、さらに、減速度が最大減速度の値 D_{max} になる時間 t_a の間、減速度を増加させ、それ以降緩やかに減速させている (Fig. 5(a) 参照)。

また、Fig. 5(b) は、Sub5 の初期速度 30 km/h、減速度 0.175 [G] の時の減速度の時間変化を示す。この時のフィーリングレベルは -2 つまり、不安を感じたと回答している。

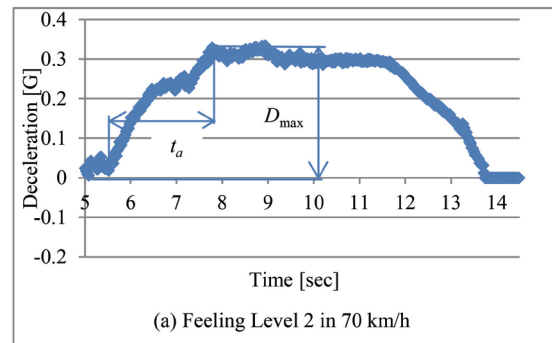


Fig. 5(a) Waveform for Deceleration vs. time at 0.175G

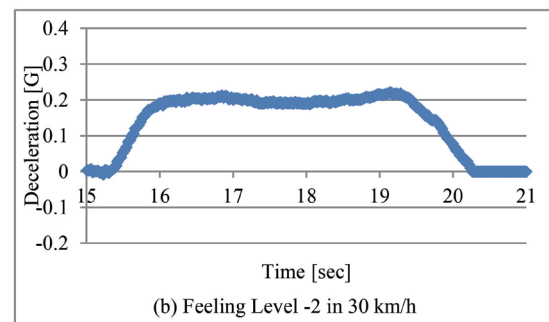


Fig. 5(b) Waveform for Deceleration vs. time at 0.15G

我々は、このブレーキを踏み始めた後に現れる加加速度に着目して、不安感と安心感との関係を探ることとした。つまり、新たな関数、初期加加速度 IJ (Impression Jerk) を式 1 で示す関数として定義し、フィーリングレベルとの関係を調査した。

$$IJ = \frac{D_{max}}{t_a} \quad (2)$$

ここで、最大減速度 D_{max} : ブレーキを踏み始めた後に現れる減速度の最大減速度の値 [G]

最大減速度域時間 t_a : ブレーキを踏み始めてから D_{max} に達するまでの時間 [sec]

4.3 初期加加速度の特性

Fig. 6 に、初期速度 30 km/h と 50 km/h、70 km/h の時の被験者 Sub5 の初期加加速度に対するフィーリングレベルを示す。これまでの分析で、初期速度によりフィーリングレベルが変化すると考えていたが、初期加加速度を指標として使用することにより、安心感と不安感がはっきりと分けられることが分かる。

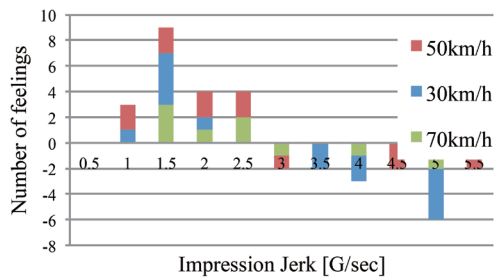


Fig. 6 Feeling Levels vs. Initial Impression of Sub5

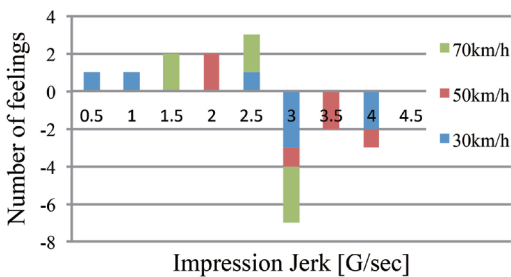


Fig. 7 Feeling Levels vs. Initial Impression of Sub7

確認のため、**Fig. 7**に、被験者 Sub7 の初期加加速度に対するフィーリングレベルを示す。Sub7は、初期加加速度を導入することにより、不安感と安心感を生じさせる境界が3G/secから4G/secの間にあることを示すことができる。

むすび

以上述べたように、ドライバーが停止に向けた制動をかけているときには、不安感と安心感を抱く場合がある。本論文は、その違いを解明するために、加速度に着目し、実験を行った。得られた結果は以下の通りである。

1. 減速度の大きさにより安心感と不安感が発生する。
2. 減速度が大きい場合と小さい場合とで比較すると、減速度が小さい場合の方が小さい減速度で不安を感じる割合が大きい。
3. 初期スピードが大きいほど、不安を感じ始める減速度は大きい。
4. 新たに導入した最大減速度をブレーキを掛け始めた時間から最大減速度に達するまでの時間で割った値、すなわち初期加加速度により不安を感じる値と安心を感じる値を分離できる。

今後は、個人差の要因について調査するとともに、制御への反映をおこなう。

なお、本論文は、2015年10月に開催された ITS World Congressにて発表した内容に追記したものである。

参考文献

- 1) 公益財団法人 交通事故総合分析センター．交通統計 平成25年版．公益財団法人 交通事故総合分析センター，2014年．
- 2) 内閣府．SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）自動走行システム研究開発計画．内閣府，2014．平成26年3月27日版．
- 3) 小高賢二ほか．衝突軽減ブレーキとE-プリテンション．自動車技術会，2005．pp79-84．Vol.59, No.12.
- 4) 佐々木政治．自動制御装置に対するドライバーの安心感に関する実験的検討．(財)日本自動車研究所，2001．pp39-42．Vol.23, No. 11.
- 5) UnderwoodChapman, P, Bowden, K., and Crundall D.,G.,. Visual search while driving: skill and awareness during inspection of the scene. Transportation Research Part F, 2002. pp 87-97. Vol. 5.
- 6) AzizT. Towards understanding the development of driver's mental model of a Lane Departure Warning system while driving. Journal of Advanced Mechanical Design. : Systems and Manufacturing, 2014. Vol. 8, No. 3.
- 7) UnderwoodChapman, etc.G.,. Selective searching : the role of wxperience in hazard detection and general surveillance. Erfonomics, 2002. pp1-15. Vol. 45.
- 8) Visual attention while driving : sequence of eye fixation made by experienced and novice drivers. Ergonomics, 2003. pp629-646. Vol. 46.
- 9) wikmanNiminen, T., and SummalaAnna-Stina,. Driving experience and time-sharing during in-car tasks on roads of different width. Ergonomics, 1998. pp358-372. Vol. 41, No. 3.
- 10) T.Miura. Visual search in intersections - An underlying mechanism -. IATSS RESEARCH, 1992. pp42-49. Vol. 16, No. 1.
- 11) Bartmannetc.A. Street environment during speed and field of vision. 出版地不明 : In Gale, 1991. A.G. (Ed).
- 12) 関根道昭 松平金雄．自動運転技術に関わる国際ガイドラインの概要と課題．2014
- 13) 宇野 宏 予防安全性向上のためのドライバー特性研究．国際交通安全学会，2011年．Vol. 36. No.1, pp24-32.

著者



田中 裕章

たなか ひろあき

ADAS 推進部 情報 HMI 開発室
自動車の安心分野の研究に従事



竹森 大祐

たけもり だいすけ

ADAS 推進部 情報 HMI 開発室
自動車の安心分野の研究に従事



宮地 智弘

みやち ともひろ

DP-Mobility IoT 推進室
自動車の安心分野の研究に従事



入部 百合絵

いりべ ゆりえ

愛知県立大学 情報科学部
音声処理とヒューマンインターフェースの
研究に従事



小栗 宏次

おぐり ひろつぐ

愛知県立大学 情報科学共同研究所
高度情報処理と医用生体工学の研究
に従事