自動ブレーキの減速パターンに関する研究

○牧原孝之（芝浦工業大学大学院） 春日伸予（芝浦工業大学）
廣瀬敏也（交通安全環境研究所） 澤田東一（芝浦工業大学）

Study on Deceleration Pattern of Automatic Braking

Takayuki Makihara, Nobuyo Kasuga, Toichi Sawada (Shibaura Institute of Technology)
Toshiya Hirose (National Traffic Safety and Environment Laboratory)

1. 緒言

近年、自動車の全自動化に向け、自動ブレーキシステムが開発されている。現行のシステムでは安全に停車できることを第一に考えられており、システムが作動したときの車両の挙動が、乗員にとって違和感が無いかどうかは考慮されていない。その結果、乗員が全自動の自動車に対して不信や不安を抱く可能性がある。そこで、多くの人にとって違和感のないブレーキ操作のパターンを検討し、その特性を自動ブレーキシステムの設計にフィードバックする必要があると考えられる。

本研究は、人が行う自動車のブレーキ操作を解析し、安全かつ安心感のある自動ブレーキの減速パターンを検討することを目的とする。

2. 自動ブレーキシステム

現在、自動ブレーキシステムは追従走行において車間距離を維持するために作動したり、衝突事故の被害を軽減させるために作動したりと、様々な局面で活躍している。本研究における自動ブレーキシステムは、前方に静止している障害物や停止線に対し、衝突することなく完全に停止できるものとする。

3. ブレーキ開始のタイミング評価実験

3・1 実験方法

本研究において、実験は被験者を危険に晒すことなく、実験条件を容易に設定・変更することが可能で、3軸回りの運動が可能なドライビングシミュレータ（以下、DS）を用い、高速道路や一般道を模擬した直線路で行う。

運転者がブレーキを開始するタイミングは、前走車との相対速度と車間距離に影響を受けるとされる⁽¹⁾。そこでTTCを変化させ、運転者にとって安心できるブレーキ開始のタイミングを検討する。TTCは車間距離を相対速度で除した衝突予測時間のことである。

被験者は表1に示す走行条件で自車両を走行し、道路上に提示された白線を基にブレーキを開始する。白線の位置はTTCにより決定され、被験者は前方に停止している車両を目標にブレーキペダルを操作し、自車両を停止する。実験後、被験者はブレーキを開始したタイミングにおいて、図1に示す尺度を用いて安全性、安心感について主観的評価を行う。なお、被験者は20代男性8名とし、試行回数は5回とした。

3・2 実験結果および考察

図2に被験者bの安心感における全速度での

Table1 Parameter of experiment of starting to brake

velocity (km/h)	50,100,150
Time To Collision (s)	4,5,6,7,8,9

Fig.1 Subjective rating scale

Fig.2 Relation of TTC and subjective rating (Sub.b, “安心感”)

Table2 TTC of

Velocity (km/h)	Subject							
	a	b	c	d	e	f	g	h
50	—	6	5	—	6	—	6	5
100	6	6	6	6	6	5	7	5
150	—	8	6	6	6	7	6	5

TTCと主観的評価の結果を示す。なお、結果は平均値である。全速度において、TTCが減少するとブレーキ開始のタイミングに対する安心感の評点が低下している。これはTTCが小さすぎると運転者が安心できないことを示している。また、速度が高いほど評点が僅かに低下する傾向を示している。

これより、速度が高くなるとより早いタイミング、すなわち大きなTTCでブレーキを開始する傾向を示していると考えられる。

自動ブレーキシステムの作動条件としてTTCを用いるのならば、できるだけ多くの運転者にとって安心できるTTCを設定することが望ましい。そこで全被験者、全速度において、安心感の評点が「0」以上となる最小のTTCを抽出し、その値を表2に示す。表2においてTTCの値が未記入の欄は、実験条件内で評点が「0」以上となるTTCの最小値を特定できなかったことを示す。表2より、ほぼ全被験者、全初速度において評点が「0」以上となる最小のTTCは6s前後であ

Fig.3 Deceleration pattern

るという結果が得られた。図2と表2の結果を合わせ、ブレーキ開始のタイミングはTTCが6s以上であれば多くの運転者が安心できるであろうと考えられる。

よって本研究では、自動ブレーキシステムの作動条件を「TTCが6sのとき」と設定した。

4. 自動ブレーキのパターン評価実験

4・1 実験方法

ブレーキ開始のタイミング評価実験で得られた結果を基に、乗員にとって安心できる自動ブレーキの減速パターンを検討する。

図3に本研究で使用する自動ブレーキの減速パターンを示す。ブレーキ開始のタイミング評価実験で全被験者が行ったブレーキペダル操作を分析したところ、ほとんどのブレーキペダル操作が4種類（図3のA, B, C, E）のパターンに分類できることが分かった。この4種類とDのような徐々に減速度を大きくしていくものを合わせ、本研究では全5種類の減速パターンを用いた。

被験者は初速度50km/h、100km/hで走行する自車両に乗車する。その後、前方の停止線に対してTTCが6sになると自車両が図3の減速パターンを用いて自動でブレーキを開始し、停止線の手前で停止する。被験者は一切の操作を行わず、DSが自動で全ての操作を行う。実験後、被験者は体感した減速パターンについて、安心感、違和感の有無、ブレーキ開始地点の妥当性の3項目について主観的評価を行う。なお、被験者は20代男性10名とし、試行回数は5回とした。

4・2 実験結果および考察

図4に被験者fの安心感における主観的評価の結果を示す。なお、結果は平均値である。速度が高くなると評点が僅かに低下する傾向がみられるが、全パターン中Cは最も評価が高く、Dは最も評価が低かった。他の評価項目についても同様の結果が得られた。CとDの大きな違いは、ブレーキ開始から最大減速度が発生するまでの

Fig.4 Relation of Deceleration pattern and Subjective rating (Sub.f, “安心感”)

Fig.5 Relation of velocity and headway distance (50km/h)

時間である。DはCに比べ最大減速度の発生する時間が遅いため、目標に近づく速度が速く、最後は急停止に近い状態となる。これらの事象は図5からも読み取れる。図5は初速度50km/hにおける、CとDの実験開始から終了までの、自車両の速度と停止線との距離の関係を示している。Cはブレーキ開始から停止まで直線に近い形状となっているが、Dは下方に大きく膨らんだ形状となっている。これらのことより、ブレーキ開始後、自車両の速度と停止目標までの距離の関係が直線的になると、乗員は安心できると考えられる。しかしブレーキを開始するTTCが小さくなりすぎると、いくら直線的でも急停止に近い制御となってしまうため、ブレーキ開始のTTCを十分に確保することが必要となる。

5. 結言

本研究より、乗員にとって安全かつ安心感のある自動ブレーキのパターンとして以下のことが明らかとなった。

- (1) ブレーキ開始のTTCは、6s以上が望ましい。
- (2) 自車両の速度と停止目標までの距離の関係が直線的になる減速パターンが望ましい。

今後は自動ブレーキシステムが作動した時の減速度の最大値や立ち上がり、すなわちジャークについて乗員の許容性などの調査を進め、乗員のことをより考慮した自動ブレーキシステムの開発を行う必要がある。

参考文献

- 1) 後藤、廣瀬、春日、澤田：「前走車追従における制動開始時の感性評価」、日本人間工学会関東支部第36回大会講演集、79-80、2006