

# 特集 熟練ドライバの運転行動解析に基づく減速支援制御手法\*

## Comfortable Brake Assist System based on Analysis of Expert Driver's Behaviors

和田隆広

土居俊一

津留直彦

伊佐治和美

Takahiro WADA

Shun'ichi DOI

Naohiko TSURU

Kazuyoshi ISAJI

金子弘

Hiroshi KANEKO

Recently, various automatic assist systems for inter-vehicle distance control have been introduced in vehicles. Such systems are important equipment from the perspective of reducing driving workloads, increasing comfort, and increasing driving safety. On the other hand, when such a system intervenes in inter-vehicle distance control, the system should not cause a sense of discomfort for the driver. Accordingly, in order to develop a new system, we have proposed a perceptual risk index for the approach and proximity of the preceding vehicle based on the visual perception information of drivers with the aim of quantifying the drivers' perception. In this paper, deceleration patterns of expert drivers will be formulated using the perceptual risk index for approach and proximity of a preceding vehicle as an example of comfortable braking pattern. It was shown that the formulated braking patterns were able to generate smooth deceleration profiles in various approach conditions. In addition, brake initiation timing of expert driver will be successfully formulated using the alternative index. Subsequently, a new automatic braking system integrating these items was created and installed in an experimental vehicle to confirm the improvement in safety and comfort. Consequently, the effectiveness of the developed system was demonstrated by experiments involving 25 expert drivers.

**Key words:** Brake assist system, Deceleration model, Braking behavior, Comfort

### 1. はじめに

自動車運転において、先行車追従時の前後方向制御は基本的な運転操作の一つであり、ドライバは多大なエネルギーを割いて、これに従事している。この前後方向制御の支援を目的として、警報、制御等の支援システムが導入されている。例えば負荷軽減としては、Adaptive Cruise Control (ACC)、衝突の被害軽減にはプリクラッシュセーフティシステム (PCS) が導入されている。また最近では車速を限定して衝突を回避する衝突回避システムも市場に出始めている。

このような前後方向制御の支援は負荷軽減、快適性向上、安全確保の観点から重要である。その一方、前後方向制御の介入はドライバフィーリングとの合致が重要である。システムごとに作動する際の衝突リスクや作動要件が異なるため、システムに応じてドライバフィーリングを適切に調整する必要があると考えられる。つまり、様々なステージで作動する前後方向制御システムを統一的にデザインするには、先行車の接近に対するリスク認知特性を考慮した設計手法が要求される。本研究では減速支援制御を考え、ドライバにとって不安感が少なく快適なブレーキングの特徴を明らかにし、減速支援システムに応用する手法について研究する。

ドライバの減速行動に関する先駆的研究として、Lee は前後方向の車両接近状態に関連する視覚情報視覚から TTC (Time To Collision) が得られることを示し、これによって減速行動を解析している<sup>1)</sup>。Goodrich et al.<sup>2)</sup> は TTC と、THW (Time-Headway: 車間時間) の位相平面内で減速行動を特徴づけられるとしている。Kondoh et al.<sup>3)</sup> はこの TTC と THW を用いてドライバのリスク感覚を表現できることを報告している。一方、交通流を中心としたドライバモデルとして GHR モデル<sup>4)</sup> など多くのモデルが導出されている。しかしながら、様々な接近状況に対して適用可能な、エキスパートドライバなどのスムーズな減速行動モデルは未だ確立されていない。

一方、著者らはドライバの網膜上における先行車面積の時間変化率に基づく接近リスク評価指標である  $K_{dB}^{5)6)}$ ,  $K_{dB,c}^{7)8)}$  を提案し、これらを用いてブレーキ行動の解析を行っている。本研究ではこの指標を用いて、エキスパートドライバのスムーズな減速パターンおよび、減速開始タイミングのモデル化を行う。また導出されたモデルを減速支援システムに応用する。

\* (社)日本ロボット学会の了解を得て、「第14回ロボティクスシンポジウム公演論文集」pp.241-246より、一部加筆して転載

## 2. 先行車への衝突リスク認知指標

同一車線を走行する先行車を追従して走行する状況を想定する (Fig. 1)。このような状況においてドライバーは先行車へ衝突リスクを視覚情報などから適切に評価して安全運転を実現している。これまでに著者らは、網膜上における先行車面積の時間変化率に基づいて衝突リスクを認知し、運転操作を行っているという仮説に基づき、次式で表されるリスク認知指標を提案している。

$$K_{dB} = \begin{cases} 10\log_{10} \left( |4 \times 10^7 \times \frac{V_r}{D^3}| \right) \operatorname{sgn}(-V_r) & (|4 \times 10^7 \times V_r / D^3| \geq 1) \\ 0 & (|4 \times 10^7 \times V_r / D^3| < 1) \end{cases} \dots\dots (1)$$

ここに  $D$  は車間距離、相対速度  $V_r$  は先行車速度  $V_p$ 、自車速度  $V_o$  とすると式 (2) で表される。

$$V_r(t) = V_p(t) - V_o(t) = \frac{d}{dt} D(t) \dots\dots\dots (2)$$

$K_{dB}$  は先行車との接近する場合に正の値をとり、値が大きいほど衝突リスクが高いことを示している。

ここで、計算を容易にするため、最終的に得られた指標は大型トラックなど、車両の大きさの影響を消去しており、車両の大きさに対するリスク感の影響は表現できないことに注意されたい。なお、指標  $K_{dB}$  によって交通事故データと、通常運転時の行動が精度良く分離できることを示されている<sup>5)</sup>。またドライバー行動をハイブリッドダイナミカルシステムによるモード遷移モデルにて記述した場合に、追従から減速モードに切り替わるトリガとして  $K_{dB}$  が有効であることが確認されている<sup>9)</sup>。

## 3. 熟練ドライバーの減速度パターンの定式化

### 3.1 減速行動計測実験<sup>9)</sup>

熟練ドライバーのスムーズな減速行動を定式化するため、自動車メーカーの自動車評価に携わるテストドライバー6名の減速行動計測実験をテストコースにて行った。一定速度で運転する自動車に対して、被験者は指定された一定速度で後方から接近していく。通常ブレーキで回避できる限界で初めてブレーキを踏むよう指示した。なお、自車速度は40, 60, 80, 100, 120 km/h の5条件、先行車速度は20,

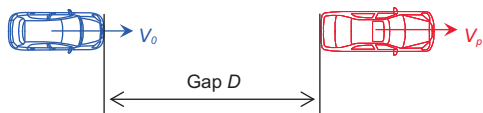


Fig. 1 Car following situation

40, 60 km/h の3条件の全ての組み合わせに対し、各条件3回ずつ実験を行った。

Fig. 2 は  $V_p = 40, V_o = 80$  km/h における被験者1名の実験結果例であり、横軸は車間距離、縦軸は上から  $K_{dB}$ 、TTC、自車減速度、相対速度である。自車が先行車に接近していき TTC が減少、 $K_{dB}$  が増加し、 $D = 50$  m 付近で減速を開始し、その後 TTC が減少から増加に転じている。ここで  $K_{dB}$  はブレーキを踏まない場合は曲線的に増加するが、実験結果ではほぼ線形に現れることが分かる。つまり、ブレーキ開始した時点の接線  $d K_{dB} / dD$  に沿って  $K_{dB}$  が変化している。この傾向は他の様々な実験条件でも、また他の被験者にも同様に見られた。加えて、ドライビングシミュレータ実験にて一般ドライバーもほぼ同様の特徴が得られることが示されている<sup>9)</sup>。以上から、ここで得られた特徴はスムーズなドライバー減速行動を代表するモデルとして妥当と考えた。

### 3.2 熟練ドライバーの減速行動の定式化

実験で得られた熟練ドライバーの減速度パターンの特徴を以下に示す (Fig. 3)。

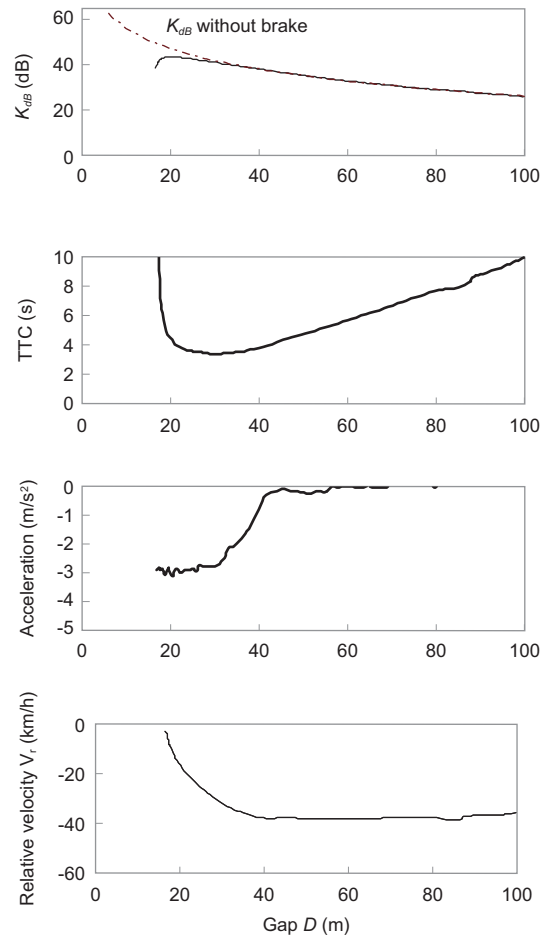


Fig. 2 Deceleration profile of the test driver

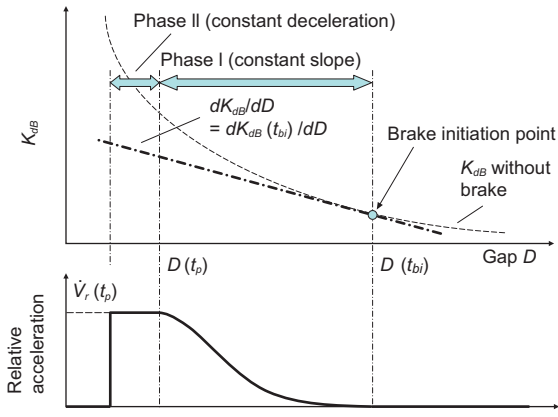


Fig. 3 Schematic image of the deceleration profile of an expert driver

- (P1) 勾配一定相：ブレーキ開始直後から、 $K_{dB}$ - $D$  平面にて  $K_{dB}$  が勾配一定に変化する。つまり、 $dK_{dB}/dD = dK_{dB}(t_{bi})/dD$  である。ここに  $t_{bi}$  はブレーキ開始時刻である。
- (P2) ピークホールド相： $V_r = 0$  まで減速度のピークがホールドされる。

3.3 勾配一定相のドライバ減速モデリング

減速支援が目的であるため、接近状態のみを考え、かつ  $|4 \times 10^7 \times V_r / D^3| \geq 1$  を満たすと仮定すると、 $K_{dB}$  の定義式 (1) は式 (3) に書き換えられる。

$$K_{dB} = 10 \log_{10} (4 \times 10^7 \times \frac{-V_r}{D^3}) \dots\dots\dots (3)$$

式 (3) を車間距離  $D$  で微分して、次式を得る。

$$\frac{dK_{dB}(t)}{dD(t)} = \frac{10}{\ln 10} \left( \frac{\dot{V}_r(t)}{V_r^2(t)} - \frac{3}{D(t)} \right) \dots\dots\dots (4)$$

また勾配一定の特徴は、次式で表現される。

$$\frac{dK_{dB}(t)}{dD} = \frac{dK_{dB}(t_{bi})}{dD} \dots\dots\dots (5)$$

式 (4) を式 (5) に代入し、相対減速度について解いて減速プロファイルモデル式 (6) を得る。

$$\dot{V}_r(t) = \left( \frac{3}{D(t)} - \frac{3}{D(t_{bi})} + \frac{\dot{V}_r(t_{bi})}{V_r^2(t_{bi})} \right) V_r^2(t) \dots\dots\dots (6)$$

また、式 (3) を式 (5) に代入し、相対速度  $V_r$  について解いて式 (7) を得る。

$$V_r(t) = V_r(t_{bi}) \frac{D^3(t)}{D^3(t_{bi})} \exp \left\{ \left( \frac{\dot{V}_r(t_{bi})}{V_r^2(t_{bi})} - \frac{3}{D(t_{bi})} \right) (D(t) - D(t_{bi})) \right\} \dots\dots (7)$$

3.4 勾配一定相の減速プロファイルの特徴

先に得られた減速プロファイルモデルの特徴を調べるため、簡単のため一定速度で走行する先行車に一定速度で接近している状況を想定する。このとき、ブレーキ開始以前では相対加速度が零となり、式 (6)、(7) はそれぞれ式 (8)、(9) になる。

$$\dot{V}_r(t) = \left( \frac{3}{D(t)} - \frac{3}{D(t_{bi})} \right) V_r^2(t) \dots\dots\dots (8)$$

$$V_r(t) = V_r(t_{bi}) \frac{D^3(t)}{D^3(t_{bi})} \exp \left\{ -\frac{3}{D(t_{bi})} (D(t) - D(t_{bi})) \right\} \dots\dots (9)$$

$$= V_r(t_{bi}) d^3(t) \exp \{ 3(1 - d(t)) \}$$

ただし  $d(t) = D(t)/D(t_{bi})$  とおいた。式 (8) から、 $V_r = 0$  になると相対減速度が 0 になり、それ以外は常に正、つまり減速することが分かる。さらに式 (9) から、 $D = 0$  のとき  $V_r = 0$  となり、それ以外では常に  $V_r < 0$  であることが分かる。つまり、導出された減速プロファイルは

$[V_r, D]^T = [0, 0]^T$  に収束するプロファイルである。

Fig. 4 に、式 (8)、(9) によって得られた減速度および相対速度プロファイルを示す。 $V_r = -20$  km/h とし、減速開始距離  $D = 25$  m と 50 m とした。図を見て分かるように、式 (8)、(9) という簡単な式にてスムーズな減速パターンが生成できる。特に減速開始時は比較的減速度の立ち上がりが急であるが、最後の減速度の抜きはスムーズである。

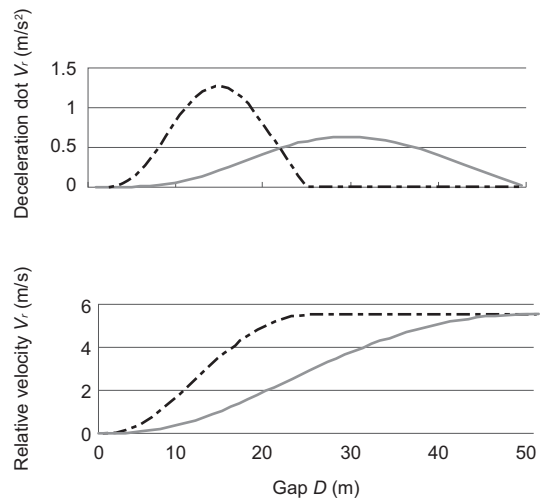


Fig. 4 Calculated deceleration and velocity profile

なお他の接近状況でも同等のスムーズなプロファイルが得られた。減速プロファイルの生成法としては滑らかさを求め、例えば Minimum jerk theory などから生成する研究<sup>10)</sup>があるが、本研究のような非対称なプロファイル生成は見あたらない。

ここで、ブレーキ開始タイミングと減速度ピークの関係について考察する。式(8)の時間微分を零とおき、次式を得る。

$$\dot{V}_r(t_p) = \frac{1}{2} \frac{V_r^2(t_p)}{\left(1 - \frac{D(t_p)}{D(t_{bi})}\right) D(t_p)} \dots\dots\dots (10)$$

また、式(8)を式(10)に代入し、次式を得る。

$$D(t_p) = \left(1 - \frac{\sqrt{6}}{6}\right) D(t_{bi}) \dots\dots\dots (11)$$

式(9)、(11)を式(10)に代入し、ピーク減速度が次式で求められる。

$$\dot{V}_r(t_p) = \frac{\sqrt{6}}{2} \left(1 - \frac{\sqrt{6}}{6}\right)^5 \exp(\sqrt{6}) \frac{V_r^2(t_{bi})}{D(t_{bi})} \dots\dots\dots (12)$$

$V_r(t_{bi})$  は先行車と自車の接近状況から決まる。これに対してドライバがブレーキを開始する車間距離を決めれば、ピーク減速度が一意に定まることを意味している。逆にピーク減速度を定めればそれを実現するための減速開始車間距離が定まる。興味深いことにピーク減速度とブレーキ開始距離は反比例の関係にある。これは路面状態などから、例えば減速度を半分にするためには倍の車間距離で減速を開始するという簡単なストラテジをドライバが取っていると見ることもできる。なお、小さな車間距離で減速を開始するとピーク減速度が大きくなるが、そのピーク減速度が実現できるという前提の下では、本プロファイルは

$[V_r, D] = [0, 0]$  を平衡点にもち、ちょうど  $V_r = 0$  になった時点で先行車と接触するプロファイルである。なお実際にはピークホールド相のように減速度がより大きく働くため、衝突を生じないことが示されている<sup>8)</sup>。

#### 4. 熟練ドライバの減速開始タイミングの解析

第3節の実験におけるブレーキ開始タイミングを  $K_{dB,c}$ - $D$  平面で整理したところ、他の指標と比べると特徴的な分布が得られたが、先行車減速条件などにおいてバラツキが認められた。これは  $K_{dB,c}$  は相対速度と車間距離という2台の車両の相対運動のみから決まる指標であり、先行車もしくは自車の絶対速度の影響が反映されていないことが一因と

考えた。そこで  $K_{dB}$  に先行車速度の項を加えた新たな指標として、以下の  $K_{dB,c}$  を導入する<sup>7)8)</sup>。

$$K_{dB,c}(a) = \begin{cases} 10\log_{10}\left(14 \times 10^7 \times \frac{-V_r + aV_p}{D^3}\right) \\ (14 \times 10^7 \times (-V_r + aV_p)/D^3 \geq 1 \text{ and } V_r \leq 0) \\ 0 \text{ (else)} \end{cases} \dots (13)$$

つまり、 $K_{dB}$  の  $-V_r$  の項を  $-V_r + aV_p$  に置き換えた。ここでブレーキ開始タイミングにおける  $K_{dB,c}(a)$  の分布が  $K_{dB,c}(a) - D$  平面において、以下の曲線で表されると仮定する。

$$\phi(V_r, V_p, D) = K_{dB,c}(a) - b\log_{10}D - c = 0 \dots (14)$$

実車実験の結果を用いて最小自乗法にて各係数  $a, b, c$  を求めた結果、 $a = 0.2, b = -22.66, c = 74.71$  と求めた。回帰曲線とブレーキタイミングにおける  $K_{dB,c}$  の分布を Fig. 5 に示す。式(14)がよくブレーキ開始タイミングを表現していることが見て取れる。そこで式(14)をブレーキ判別式と呼ぶこととする。

交通事故マイクロデータと通常運転のブレーキタイミングを解析したところ、事故データは本判別式より上側に、通常運転データは下側に分布した。通常運転時が判別式の上側にあったのは0.7%以下であり、その逆は0%であり、精度良く事故データと通常運転が切り分けられた (Fig. 6)。

#### 5. ドライバ減速モデルに基づく減速支援制御手法の提案

導出したドライバ減速モデルから、ドライバが何らかのエラーによって減速を開始しない場合に、自動的に減速を行う減速支援システムを提案する。このようなシステムの実現にはブレーキ開始タイミングと、その後の減速プロファイルが重要であるが、第3、4節で導出した熟練ドライバの減速モデルを適用する。

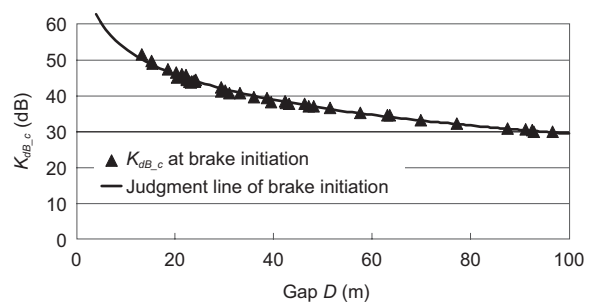


Fig. 5  $K_{dB,c}$  at brake initiation and judgment line



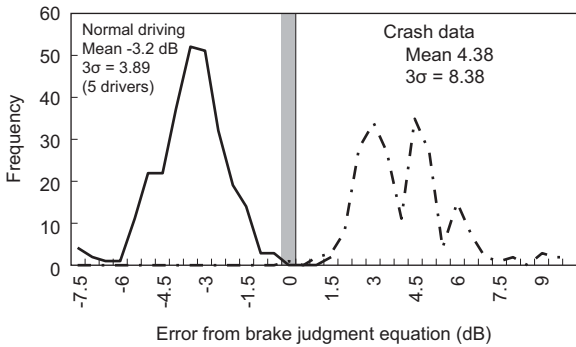


Fig. 6 Discrimination of crash data and normal driving<sup>7)</sup>

5.1 減速開始タイミングの決定手法

前節で、エキスパートドライバの減速開始タイミングを、ブレーキ判別式にてモデル化した。本節ではこのモデルを減速支援制御手法の開始タイミング決定に応用する。ここで、導出されたブレーキ判別式はドライバが減速を開始する平均的位置であるため、そのままシステムに導入した場合には、ドライバが減速を開始しようと思ったときにシステムが介入してくることとなり、ドライバは自分がブレーキを踏まなくとも、システムが減速してくれるという過信が生じ、万一のシステムエラー時に危険な事態に陥ることが指摘されている。そこで、本研究では危険側にオフセット  $\Delta c$  をつけることでその問題を回避する。つまり式 (15) を満たされた場合に制御を開始する。

$$\phi(V_r, V_p, D) \geq \Delta c \quad \dots\dots\dots(15)$$

なおこの  $\Delta c$  を変更することにより自動ブレーキ開始タイミングが変更でき、これによって例えば個人差の吸収が可能となる。

5.2 減速度パターンの生成手法

第3節の熟練ドライバの減速パターンの定式化より、(P1) 勾配一定相、(P2) ピークホールド相が得られたが、ピークホールドは先行車状態変化など環境変化に対してロバスト性が確保されにくいと考え、勾配一定相の減速パターンに基づき、減速支援システムの減速度パターンを生成することを考える。

基本的には式 (9) に基づく速度制御を基本にする。減速支援開始後は現在の距離  $D$  における目標速度が式 (9) に基づき計算される。ただし式 (9) は距離  $D=0$  にて  $V_r=0$  になるため、安全マージンが必要である。そこで式 (9) にオフセット項を付加し、 $D = 0$  において  $V_r = V_{r\_offset} > 0$  が成立するように、目標速度プロファイル  $V_r^d(t)$  を次式で生成する。

$$V_r^d(D) = V_r(t_{bi})d^3(t)\exp\{3(1-d(t))\} + V_{r\_offset}(1-d(t)) \quad \dots\dots(16)$$

本オフセットにより、 $D > 0$  にて  $V_r = 0$ 、つまり衝突しないプロファイルが実現できる。例として Fig. 7 に  $V_{r\_offset} = 1$  m/s とした場合に生成された速度プロファイルを示す。

5.3 減速支援制御手法のコンセプト

以上の検討の結果、以下の減速支援制御手法が得られた (Fig. 8)。

- (1) 時々刻々得られる  $V_r(t)$ ,  $D(t)$ ,  $V_p(t)$  もしくは  $V_o(t)$  を用いて、 $\phi(V_r, V_p, D)$  を計算し、不等式 (14) が満たされた場合に、減速支援制御を開始する。
- (2) 目標速度プロファイルを、式 (16) に基づいて求める。なおブレーキへの減速度指令としては例えば式 (17) で与えられるようなシンプルな速度の比例フィードバックが考えられる。
- (3)  $V_r \geq 0$  が満たされたら減速支援制御を終了する。

$$G = -k_p(V_r^d(D) - V_r(t)) \quad \dots\dots\dots(17)$$

ここに  $k_p$  はフィードバックゲインである。

- (3)  $V_r \geq 0$  が満たされたら減速支援制御を終了する。

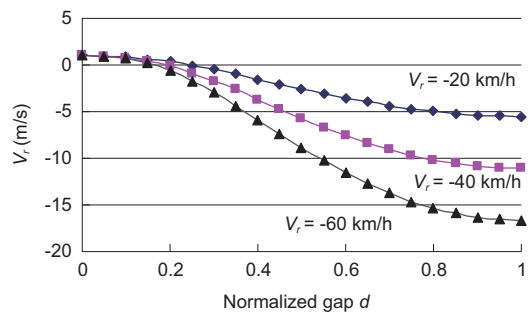


Fig. 7 Generated velocity profile of the brake assist system

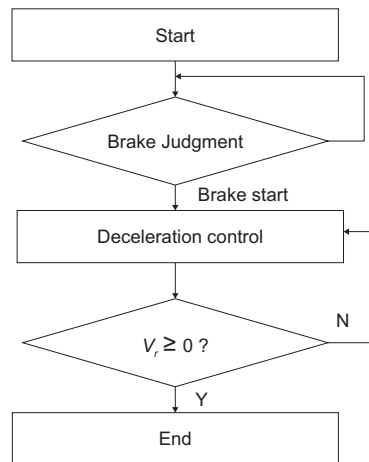


Fig. 8 System flow of automatic braking system

## 6. 減速支援制御手法の評価実験

### 6.1 評価実験の概要

前節で提案した制御法を実車に実装し、テストコース内にて実験を行った。被験者は本研究に直接携わっていない25名のテストドライバ(平均年齢54.2才)である。走行条件は、相対速度一定条件として $V_p = 60$  km/h,  $V_o = 100$  km/h, 先行車減速条件は $V_p = V_o = 60$  km/hの状態から、減速度 $1$  (m/s<sup>2</sup>)にて先行車を減速させた。初期車間距離は平均19.4 m (SD: 3.7 m)であった。

### 6.2 減速支援開始タイミングの評価

減速開始タイミングは、ドライバの通常値に設定するとドライバのシステムに対する過信や煩わしさを招くおそれがあるため、試行錯誤により $\Delta c = 1$  (dB)とした。被験者に対し、自分のブレーキ開始タイミングと比較してどう感じるかを聞き取り、実験者がそれを自分より早い、自分とほぼ同等、遅い、の三つに分類した (Fig. 9)。オフセット $\Delta c = 1$  (dB)としたため、21名が遅いと判定したが、4名が自分と同等と答えた。このため、さらにオフセットを個人毎に決定する仕組みが必要であることを示している。

### 6.3 減速プロファイルのスムーズさの評価

被験者に対し、減速支援システムの減速のスムーズさと安心感について質問し、実験者がそれを、怖い、自分のブレーキと同等、安心できるの三つに分類した。本来は6.2節の実験と同一のオフセットとすべきであるが、過信を排除するオフセットでは危険をかなり感じてからブレーキ支援が開始されるため、ブレーキプロファイルへの注意がまわらず、減速プロファイルの詳細な感想を得られないことが判明したため、オフセットを小さめにとり、 $\Delta c = -3$  (dB)として実験を行った。Fig. 10に示すように、ほとんど全ての被

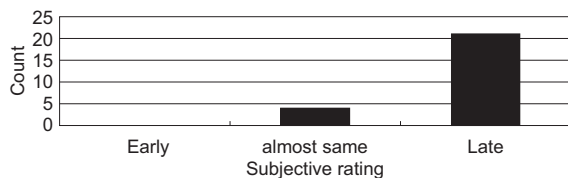


Fig. 9 Subjective evaluation of the brake initiation timing

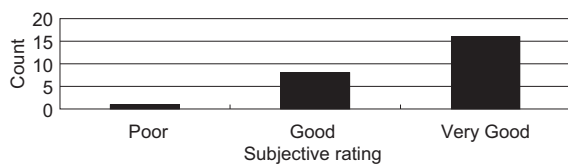


Fig. 10 Subjective evaluation of the brake profile

験者が自分と同等もしくは安心感があると答えた。自由コメントでは減速開始時と終了時のプロファイルが非常にスムーズであるというコメントが多く、本手法の有効性が示された。

## 7. おわりに

比較的緊急度の低い状態を含めた様々なステージで作動できる可能性を有する、減速支援制御システムの実現を目指し、まずエキスパートドライバの減速行動のモデル化を行った。その結果、視覚入力に基づくリスク認知指標によってエキスパートドライバの減速パターンおよび減速タイミングのモデルを導出した。また減速モデルを用いて、減速支援制御の制御開始タイミング決定手法および、減速プロファイル生成手法を導出し、減速支援制御アルゴリズムを提案した。実車実験の結果、介入タイミングもよく、かつ減速パターンも不安感が少ない事を示した。本手法は様々なステージで作動する、快適な減速支援制御の設計へ応用できると考える。

減速支援など制御が介入するような場合には特にドライバのシステムへの過信が懸念されており、過信を防ぐデザインが非常に重要であるため<sup>11)12)</sup>。ブレーキ開始タイミングとプロファイルの関連を含め、今後の検討課題である。加えて本支援手法はスムーズな減速制御を実現するため周辺交通流に及ぼす影響は小さいと期待できる。その検証も今後の課題である。

### <参考文献>

- 1) Lee, D.N. : "A Theory of Visual Control of Braking Based on Information about Time-To-Collision" , Perception, Vol. 5 (1976), pp. 437-459.
- 2) Goodrich, M.A., Boer, E.R., Inoue, H.A. : "Characterization of Dynamic Human Braking Behavior with Implications for ACC Design" , Proc. IEEE Conf. on Intelligent Transportation Systems (1999), pp. 964-969.
- 3) Kondoh, T. Yamamura, T. Kitazaki, S. Kuge, N. and Boer, E.R. : "Identification of Visual Cues and Quantification of Drivers' Perception of Proximity Risk to the Lead Vehicle in Car-Following Situations" , Proceedings of Driving Simulation Conference Asia/Pacific (2006), CD-ROM.
- 4) Gazis, D. C., Herman, R., and Rothery, R. W. : "Nonlinear Follow-the-leader Models of Traffic Flow" , Operations Research, Vol. 9, No.4 (1961), pp. 545-567.

- 5) 伊佐治和美, 津留直彦, 和田隆広, 今井啓介, 土居俊一, 金子弘 : “前後方向の接近に伴う危険状態評価に関する研究 (第1報) - ドライバ操作量に基づく接近離間状態評価指標の提案 -”, 自動車技術会論文集, Vol. 38, No.6 (2007), pp. 271-276.
- 6) Wada, T., Doi, S., Imai, K., Tsuru, N., Isaji, K., and Kaneko, H.: “Analysis of Drivers’ Behaviors in Car Following Based on A Performance Index for Approach and Alienation”, SAE Transactions, Journal of Passenger Cars - Mechanical Systems, SAE paper 2007-01-0440 (2008), pp. 306-320.
- 7) 伊佐治和美, 津留直彦, 和田隆広, 土居俊一, 金子弘 : “接近離間状態評価指標を用いたブレーキ開始タイミングの解析”, 自動車技術会論文集, Vol. 41, No.3 (2010), pp. 593-598.
- 8) Wada, T., Doi, S., Tsuru, N., Isaji, K., and Kaneko, H. : “Characterization of Expert Drivers’ Last-Second Braking and Its Application to Collision Avoidance System”, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, Vol. 11, No.2 (2010), pp. 413-422.
- 9) Akita, T., Inagaki, S., Suzuki, T., Hayakawa, S., Tsuchida, N. : “Analysis of Vehicle Following Behavior of Human Driver Based on Hybrid Dynamical System Model”, Proc. IEEE Multi-conference on Systems and Control (2007).
- 10) Hiraoka, T., Kunimatsu, T., Nishihara, O., and Kumamoto, H. : Modeling of Driver Following Behavior based on Minimum-jerk Theory, Proceedings of 12th World Congress on Intelligent Transport Systems (2005), CD-ROM.
- 11) 鈴木桂輔, 丸茂喜高, “ドライバのシステム依存を低減するための衝突防止支援システムの制御開始タイミングに関する研究”, 日本機械学会論文集 (C編), Vol. 69, No.688 (2003), pp. 3236-3242.
- 12) 伊藤誠, 平岡敏洋, 丸茂喜高, 稲垣敏之, “追突回避支援に対する過信とその防止”, 日本機械学会 交通・物流部門大会 講演論文集, (2008), pp. 439-442.



< 著 者 >



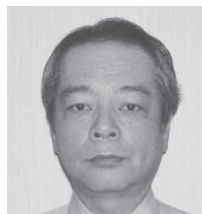
和田 隆広  
(わだ たかひろ)  
香川大学工学部 知能機械システム  
工学科 准教授 博士 (工学)  
交通予防安全システム, リハビリ  
テーションシステムなど, 人間機械  
システムの研究に従事.



土居 俊一  
(どい しゅんいち)  
香川大学工学部 知能機械システム  
工学科 教授 工学博士  
機械振動, 車両運動および交通予防  
安全技術の研究に従事



津留 直彦  
(つる なおひこ)  
研究開発3部  
ドライバ特性研究, 安全運転支援  
システムの開発に従事



伊佐治 和美  
(いさじ かずよし)  
研究開発3部  
ドライバ特性研究, 安全運転支援  
システムの開発に従事



金子 弘  
(かねこ ひろし)  
株三城 光学研究所 所長 博士 (工学)  
快適なメガネの光学特性とフィッ  
ティングの研究に従事