

追突速度低減システムの開発

Rear-end Collision Velocity Reduction System

小 高 賢 二*
Kenji KODAKA
市 川 章 二*
Shoji ICHIKAWA

杉 本 洋 一* 小田部 誠*
Yoichi SUGIMOTO Makoto OTABE
浦 井 芳 洋*
Yoshihiro URAI

要 旨

事故統計によるマクロ事故調査ならびにアンケート調査によるミクロ事故調査を行い、追突事故発生要因を探索し、それらをもとにシミュレーションにより事故解析を行った。その結果、日常運転の中で行う瞬間的な不注視による事故が多いことがわかった。このようなときに有効な事故回避支援システムの開発を行った。開発にあたり、警報効果を損なわないように警報発生のタイミングをドライバと干渉しないよう設定し、認知・判断の遅れを自動ブレーキによって補う構成とした。この自動ブレーキ作動の手法については計算および実機試験により検討し、通常のドライバ操作に干渉しない作動タイミングを設定し、ドライバの回避操作を支援する減速度の設定を行った。その結果、追突事故件数低減効果の高いシステムを構築することができた。

ABSTRACT

Factors causing rear-end collisions were investigated by performing traffic accident analysis using accident statistics and detailed traffic accident analysis using questionnaire surveys. Then, accident analysis was performed through simulations based on these factors. The results showed that many rear-end collisions are caused by momentary inattention during daily driving. Therefore, a collision avoidance assist system was developed that is effective in these situations. In developing this system, a warning timing that does not interfere with the driver was set so as not to impair the warning effects, and adopted a system structure where delays in recognition and judgement are compensated for by an automatic brake. The automatic brake activation method was investigated through calculations and actual vehicle tests. The activation timing was set so as not to interfere with normal driver operations, and the deceleration was set to assist the driver's avoidance operations. As a result, a highly effective system for reducing rear-end collisions could be constructed.

1. まえがき

運輸省(01年より国土交通省)が推進するASV計画においては交通事故削減のためにレーダ等の外界センシング技術を用いて周囲の状況を判断し、事故を未然に回避あるいは事故被害を低減するためのさまざまなシステムが各社より提案されている。ASV計画も現在二期目を迎え実用化へ向けての加速が期待されている。

レーダやカメラ等による外界センシング技術を用いて前走車との衝突を予測し、自動ブレーキを活用して衝突を回避しようとするシステムはASV第一期より提案されているが、技術面、コンセプト面ともに課題が大きく実用化には至っていない。

今回システムコンセプトとして自動事故回避ではなくド

ライバを中心に据えた事故回避支援ということに定め、また対象事故を追突事故に絞り込み、早期の実用化を目指したシステムを構築したのでこれを報告する。

2. 事故概況調査

1997年の交通死傷事故全体を調査してみると^{(1), (2)}, 追突事故が全事故の約30%と非常に高い割合を占めている(Fig.1)。次に追突事故の特徴を調査した。Fig.2は危険認知速度別にみた追突事故の発生頻度である。これをみると低中速走行時での事故が多く発生していることがわかる。Fig.3は追突事故を発生した第一当事者の人的要因を表したものである。要因としては前方不注視等の認知ミスが多いことがわかった。Fig.4は道路形態別にみた追突事故の発生

場面をあらわしたものであり、直線路での事故が約90%を占めていて、カーブ路での事故は極めて少ないことがわかった。これは事故要因として前方不注意が多いことから、カーブ路では前方を見て運転しており不注意する頻度が少ないので発生事故が少ないと思われる。Fig.5は衝突時の相手車両の状態を示したものである。これを見ると停車中の車両への追突が約90%と大部分を占めている。

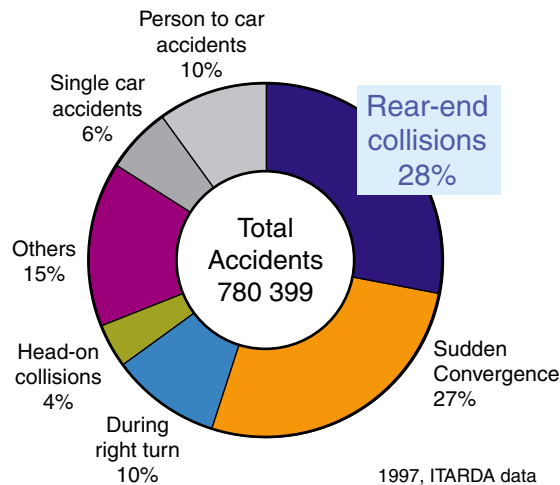


Fig.1 Construction rate of traffic accidents per year (1997)

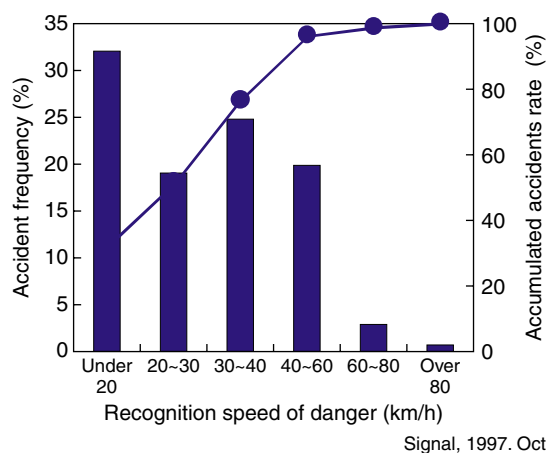


Fig.2 Rear-end collision accidents frequency and accumulated rate in relation to recognition speed of danger

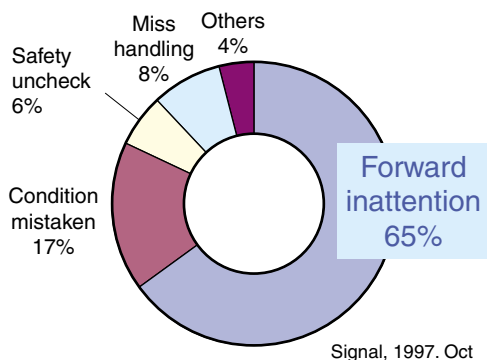


Fig.3 Factor of rear-end collision accidents

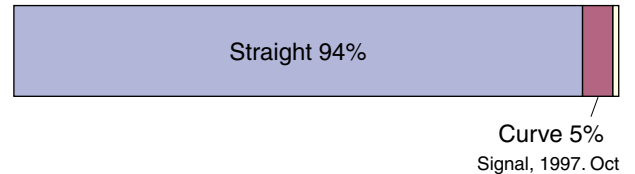


Fig.4 Road situation at rear-end collision

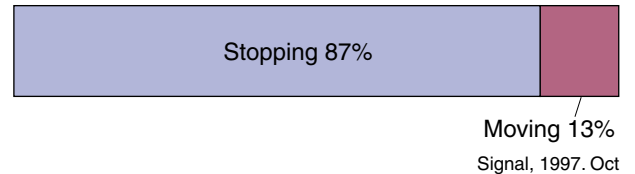


Fig.5 Condition of preceding vehicles at rear-end collision (by statistics)

以上の事故調査を通して事故発生場面としてうかぶのは、比較的ゆっくりと直線路を走行しているときに、前方不注意等により前方の車に気付くのが遅れて追突するようなシーンである。

3. 事故原因解析

3.1. アンケート調査

実際の事故がどのような状態で発生しているのかを探るためアンケート調査をおこなった。

調査としては、実際に追突事故をおこした人、およびあやうくおこしそうになった人を対象とした。始めに前方の車の状態を調べたところ追従中の前走車が事故対象として多いことがわかった(Fig.6)。この結果は前述の Fig.5 と異なっている。さらにその要因を調査したところ、Fig.7に示すように、「減速の認知が遅れた」、「予想外に減速された」といった要因で約半数を占めている。すなわち長い間脇見をしていて追突したというよりは、前方に車が存在するのは知っていたが注視を怠ったことにより追突した、もしくは追突しそうになったと考えられる。

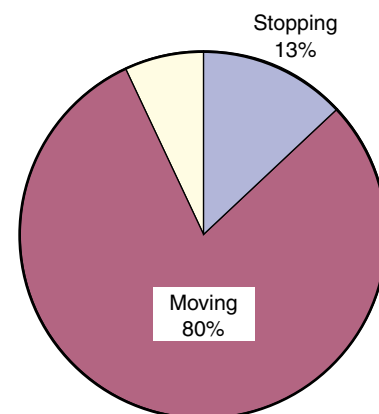


Fig.6 Condition of preceding vehicles at rear-end collision (by questionnaire)

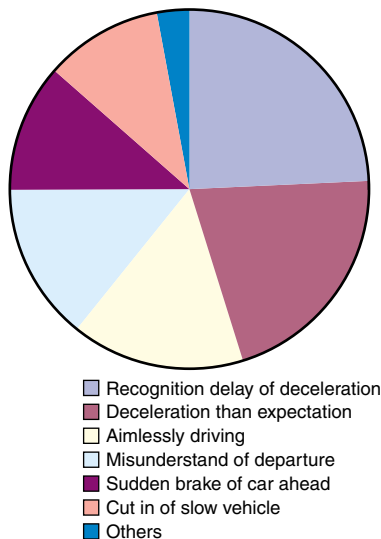


Fig.7 Factor of rear-end collision (by questionnaire)

3.2. シミュレーション解析

事故概況結果およびアンケート調査結果をふまえ、どの程度の前方不注視のときに事故が発生するかを解析した。すなわち覚醒度の低下等によりある程度長い時間不注視をしていれば追突してしまうのも当然と思われるが、事故件数の多さからみたときに、多くのドライバーが長い時間の不注視を行っているとは考えにくい。またアンケート調査からもそのような要因は浮かんでこなかった。

そこで短い時間すなわち瞬間的な不注視により事故が発生し得るかの可能性をシミュレーションにより探った。

アンケート結果より事故の発生が多い場面として前走車への追従走行中において、ドライバーが瞬間的な不注視をしたときに前走車が減速した場合を想定した。

条件として、前走車との追従走行時の車頭時間(=相対距離/自車速)を1.5秒とし、ドライバーが不注視をした瞬間に前走車が減速(減速度0.3G)するものとする。ドライバーは所定の不注視時間後に前方を注視し、認知・判断・減速操作を行うものとする。このときのドライバーの反応時間(注視開始～減速度発生)を1.3秒⁽³⁾、⁽⁴⁾減速操作時の発生減速度を0.8Gとした。シミュレーションにおいてはドライバーの不注視時間を三段階に変更して行った。

シミュレーション結果を Fig.8 に示す。ここで横軸は追従走行中の速度であり縦軸は衝突時の相対速度を示している。Fig.8から分かるように、不注視時間により差はあるものの、低中速走行時には追突してしまうが、高速域においてはドライバーが減速操作をすることで追突していない。この結果は事故が低中速時に多いという Fig.2 の結果と傾向が一致する。また Fig.8 の中で太線で示した部分は前走車が減速により停止した後に自車が追突している場合を表している。このように走行中から止まった車に衝突した場

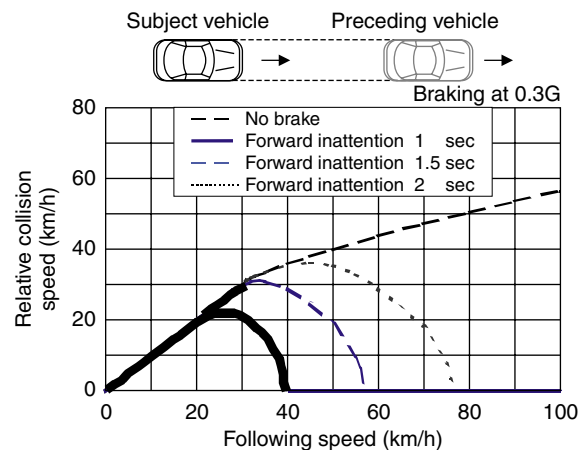


Fig.8 Result of simulation (at following situation)

合においても、事故統計上では停車車両に追突したということになり、この結果は Fig.5 の結果と傾向があう。またアンケート結果によっても追従中の前走車に追突する場面が多いという結果とも傾向があう。このことは必ずしも長い時間の不注視だけが停車車両に追突する要因ではなく、低中速走行時には瞬間的な不注視によっても追突事故は発生し得ることを示している。

次に、すでに停車している停車車両に追突する場面を想定しシミュレーションを行った。この場合はシミュレーションとして停車車両を何秒前に認知したかをパラメータとして行っている。そしてドライバーは停車車両を認知後、所定の反応時間(前述の1.3秒)をもって減速操作を行った結果である(Fig.9)。結果をみると、追突前2～2.5秒前に認知すれば低中速走行時には追突しないことがわかる。この場合すでに停車している車両に対し相当長い時間不注視を行い、衝突約2秒前に初めて認知した場合でなければ追突しないことからこのようなドライバーが多いとは考えにくい。

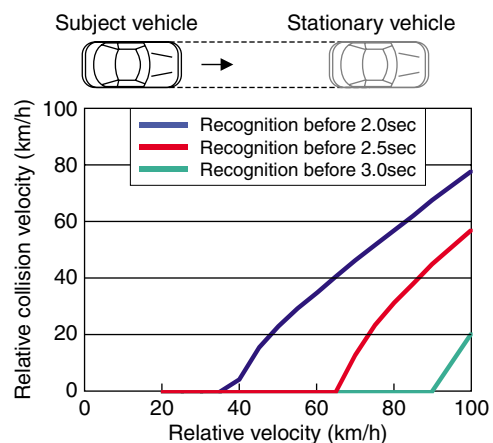


Fig.9 Result of simulation (at stationary vehicle)

3.3. 運転中の不注視時間

ここで日常的な運転の中でどの程度の前方不注視を行うかアイカメラを用いて計測した(Fig.10)。条件として運転走行中に通常行う操作として安全確認やオーディオ操作等を行ったときに視線が前方から離れる時間を計測している。横軸が不注視時間を示し縦軸はその頻度を示している。Fig.10の結果から分かるように、例えばステレオ操作や、メータを確認するという日常的な操作でも1~2秒程度の瞬間的な不注視が生じることが分った。すなわちこのような日常頻繁に行う動作による前方不注視中において、前走車が減速した場合には追突事故が発生し得ることがわかった。このことが、低中速走行時に追突事故が多く発生している原因と考えられる。高速走行時においては、車間距離を多くとる傾向があり、また高速走行をしているという緊張感から前方不注視をする頻度は少ないと考えられる。

以上の解析結果から、正常に運転をしていても生じる瞬間的な不注視による追突事故を回避するために効果的な事故回避支援システムの開発を行うことに研究の目的を定めた。また自動回避ではなく事故回避支援システムとすることで、不安全運転を助長せずドライバの過信を招かないようにシステム構築を行なった。

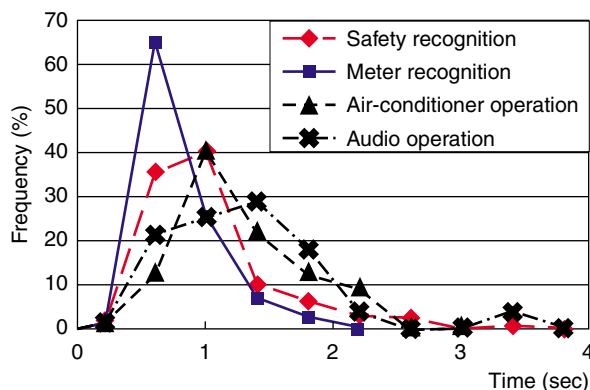


Fig.10 Forward inattention time

4. システムの考え方

4.1. 自動ブレーキの考え方

事故回避支援システムといった場合、第一には危険なときに音声等で警報を行いドライバへの認知支援をする警報システムが考えられる。この場合はドライバがその警報を聞いて判断・操作を行なう余裕時間を見込んだタイミングで警報を作動させることが必要である。

そこでドライビングシミュレータを用いて警報に対するドライバの反応時間を調査した。条件として前走車への追従走行中にドライバに脇見をさせ、その間に先行車が減速を行い衝突予測の2秒前に警報音を発生させる。Fig.11はドライバが警報音を聞いてからブレーキ操作を開始したと

きの反応時間を示している。これをみると反応として0.6~1.4秒程度時間を要していることがわかる。したがって警報システムの場合にはドライバが自ら減速するために必要な時間に加え、この反応時間を見込んだタイミングで警報を発生させる必要がある。

しかしながら多くのドライバに適合させるために余裕時間を多くとった場合、正常時に頻繁な警報となる可能性があり、ドライバが警報に慣れてしまうことで警報本来の意味が薄れてしまうおそれがある。一方警報タイミングを遅くしていった場合、警報を聞いてから判断・操作へ移行する余裕時間が少なくなり結果として警報の効果が十分得られない可能性がある。

そこで本システムにおいては、通常時にはドライバに干渉せず危険なときには効果的な事故回避支援システムとするために自動ブレーキを用いた。すなわち警報発生タイミングを極力ドライバと干渉しないように設定し、警報本来の意味を失わないようにした。また判断・操作の遅れを補うために自動ブレーキを用いる構成とした。

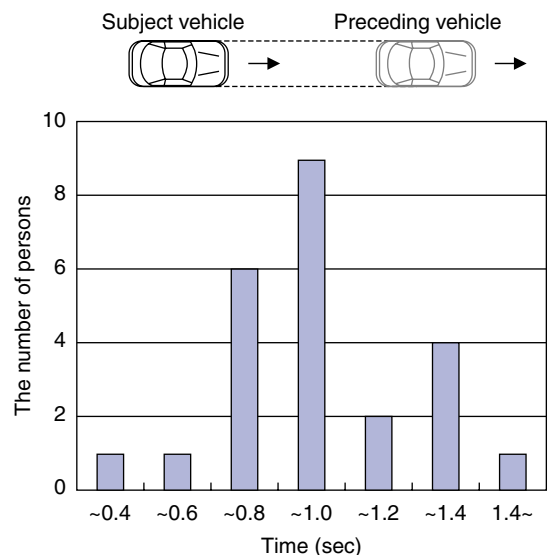


Fig.11 Driver's response time (by driving simulator)

4.2. 制御タイミングの検討

一般にブレーキのみによる衝突回避に必要な距離は、ステアリング操作による衝突回避に必要な距離より長い場合、ブレーキ制御のみで確実に衝突を回避しようとする、ドライバのステアリング回避操作と干渉する可能性がある⁽⁵⁾。

そこでシステムの作動タイミングを検討するにあたりドライバのステアリングによる回避操作のタイミングを実験により測定した。Fig.12は相対速度をもって先行車に近づいていったときに、ステアリングで回避操作を開始した距離を計測した結果である。横軸が相対速度、縦軸は回避操作開始時の距離である。グラフ中の各記号はドライバが「通常

の回避操作」、「やや危険な回避操作」、「かなり危険な(限界)回避操作」と感じたポイントを示している。グラフ中のラインは衝突までの余裕時間(=相対距離/相対速度)を示している。

上記の結果より、本システムでは警報発生タイミングとして以下の二点を考慮した。第一には警報が頻発することでドライバが警報に慣れてしまい警報本来の意味が失われること。第二には警報が発生するまでは不注視をしても大丈夫という警報への過度の頼り切りをおこさないこと。このような観点から通常運転で頻発せず、また警報時にはドライバが危険を感じるタイミングとして「やや危険な回避操作」と感じる衝突予測の約1.7秒前と設定した。また自動ブレーキ(緊急ブレーキ)発生タイミングは、ドライバ操作との干渉が極力ないよう「かなり危険な回避操作」、すなわち通常運転のなかでは行なうことの極めて少ないタイミングである衝突予測の約1秒前と設定した。

4.3. 自動ブレーキ設定の考え方

警報を発生させるタイミングは「通常の回避操作」を割り込んだ時点であり追突の危険性が高まっている状態である

ので、ドライバに確実に認知できるものでなくてはならないと考えた。そこで音による警報だけでなく、体感的に伝えられる手法として弱い自動ブレーキを用いた警報を併用した。このブレーキを警報ブレーキと呼ぶこととする。警報ブレーキの強さ(減速度)については様々な検討や実験を繰り返し、0.1～0.2G程度が妥当であることがわかった。このような設定により、ドライバに対し音に加えた警報効果を高めるとともに、ドライバの減速操作遅れを補う効果も得られる。また、この時点でハンドル回避操作をするようなドライバにとっても操作を妨げない設定である。

次に衝突予測の約1秒前に作動する自動ブレーキ(緊急ブレーキと呼ぶ)の減速度については、追突が予測される状況であるので自動ブレーキとして最大値を発生させるという考え方があった。しかし警報ブレーキからの減速を含め、「減速+ステアリング回避操作」の併用により衝突を回避できる可能性があることが実験を通し確認できた。そのため緊急ブレーキ発生時のドライバの姿勢変化等によるドライバの回避操作性への影響を考慮して緊急ブレーキの強さを設定した。またドライバが危険を認知しブレーキ操作を行った分の制動力は自動ブレーキの制動力に上乗せとなる

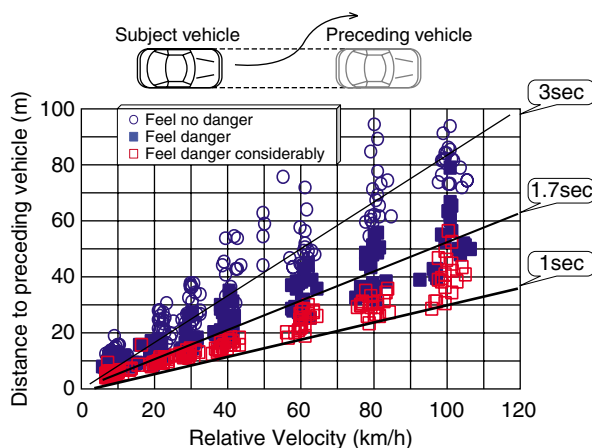


Fig.12 Avoidance operation timing test

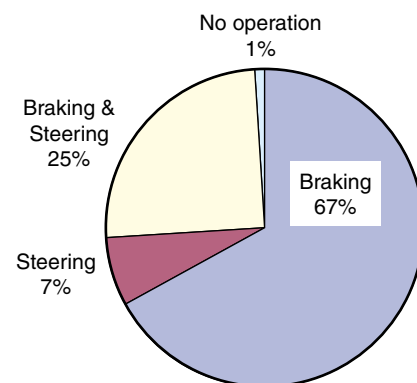


Fig.13 Avoidance operation at rear-end collision

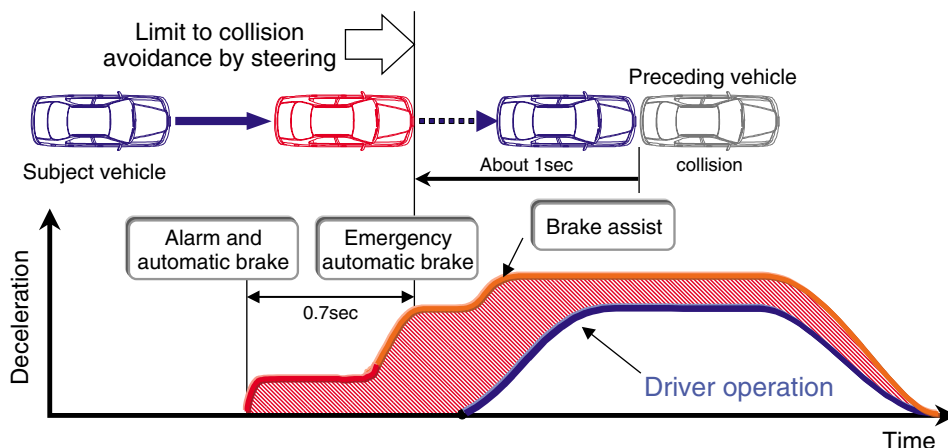


Fig.14 System operation

ようにしている。

アンケートの結果、追突事故を起こしたあるいは起こしそうになったときには、約 70%がブレーキを踏んでおり (Fig.13)、ドライバ操作と自動ブレーキの併用で最大減速度を発生させることは容易と考えられる。また自動ブレーキで減速することにより、衝突までの余裕時間が増すためドライバが判断・操作するための余裕時間も増す。そのため、これまで判断・操作を行う反応時間が遅くブレーキ操作のできなかったドライバにもブレーキ操作がしやすくなる効果が期待される。一連の作動モードを Fig.14 に示す。

5. システム概要

5.1. システム構成

システム構成を Fig.15 に示す。先行車両の認識には、対環境性に優れたミリ波レーダを用いた。主な仕様を Table 1 に示す。測距離としては、100m程度であり、これは相対速度100km/hにて約3秒先を検知する能力を持つ。また検知角としては、左右16°の範囲をもち直線路および緩やかなカーブ路での先行車の検知を行う。

車両には自車の状態量として自車速を計測する車輪速センサ、旋回量を計測するヨーレートセンサを備え、自車進路を Fig.16 に示すようにして推定し、障害物位置での自車の推定横移動量を求めている。そしてシステム作動時にドライバへ警報を行う警報ユニットを備えている。また自動ブレーキ発生のために油圧アクチュエータを搭載している。

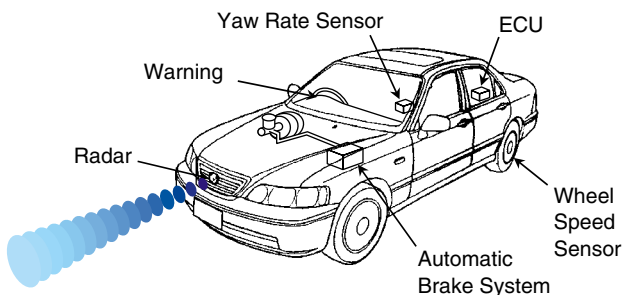


Fig.15 System configuration

Table 1 Major specifications of radar sensor

Detection Area	Horizontal 280 mrad Vertical 66 mrad
Maximum Range	100 m
Range Resolution	0.1 m
Range Accuracy	±1.0 m
Sampling Time	0.1 sec

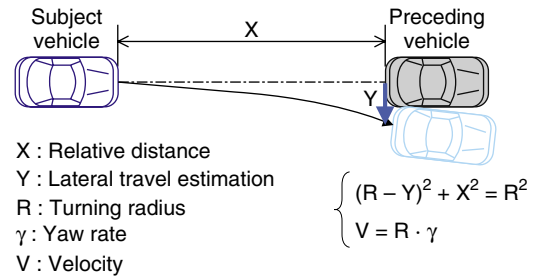


Fig.16 Prediction of the vehicle locus

5.2. 制御ロジック

Fig.17 に基本的な制御フローを示す。レーダにより先行車を認識し、自車との相対距離(X1)、相対速度、方位角を求める。また自車の状態量から自車進路を推定し、推定横移動量を算出する。そして障害物の位置と自車の推定横移動量から、自車と障害物とのラップ量(重なり具合)を求め、ハンドルで障害物を回避するために必要な自車の横移動量(Y)を求める。次にその横移動をするために必要な相対距離(X2)を算出する。そして算出した距離と障害物との相対距離から危険性判断を行い、自動ブレーキの制御を行う。ここで X1 が X2 より近くなったとき(X1 < X2)に自動ブレーキを作動させている。

このようにして、自車と先行車との位置関係において、自車が先行車の真後ろに位置する場合(フルラップ)と、オフセットして位置する場合とでは、ステアリングによる横回避量に差があるため、この横回避量の違いを危険性に置き換えて判断を行っている。

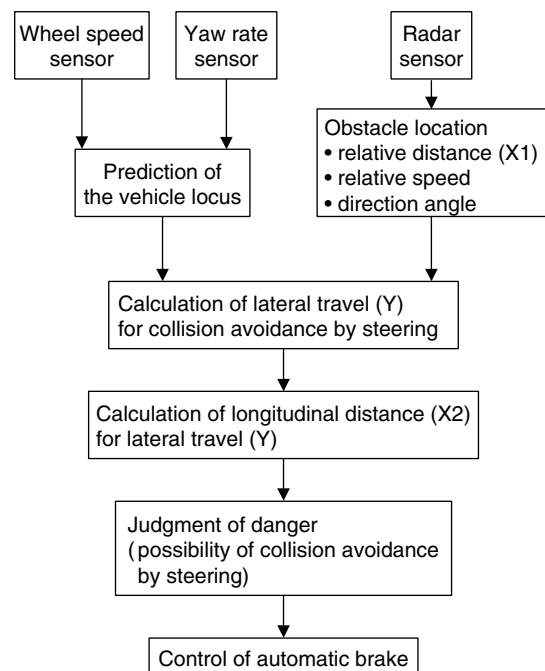


Fig.17 Block diagram of basic control

6. システムの効果

6.1. シミュレーション結果

シミュレーションによりシステム作動時の効果を明らかにした。また自動ブレーキの効果をみるために警報(音)だけのシステムの場合を比較している。警報を聞いてからドライバのブレーキ操作までの反応時間は、Fig.11 に示したドライビングシミュレータによる反応時間結果の平均値として1秒を用いた。またシステム作動時には緊急ブレーキの発生減速度を $0.6G$ とした。

追従走行から先行車が減速する場合を想定しシミュレーションを行った。条件として、追従時の車頭時間を1.5秒、先行車の減速度を $0.3G$ とする。このとき先行車が減速することで自車とのあいだに相対速が発生し相対距離が縮まり衝突危険性が大きくなったときにシステムが作動し始める。ドライバは初期の警報音発生1秒後にブレーキ操作を行うものとする。ドライバ操作時の減速度は $0.8G$ とした。結果をFig.18に示す。横軸が追従中の速度、縦軸が衝突時の相対速度である。自動ブレーキ付のシステムの場合、低中速走行時では追突が回避されており、高速側では衝突速度が下がっていることがわかる。この結果およびFig.2の結果より瞬間的な不注視により生じる追突事故を大きく低減することが可能と考えられる。

また自動ブレーキのない警報(音)だけによる場合は、警報(音)から同じ反応時間(1秒)でドライバがブレーキ操作をしても自動ブレーキ付のシステムと比較した場合に衝突速度低減量は小さくなっている。したがって、警報システムの場合にはより早いタイミングでの警報が必要となり、本システムの優位性が確認された。

6.2. 実車テスト結果

次に実車を用いて対停止物に対する衝突速度低減効果を計測した。実験方法としては自車正面に車にみたとた障害物を設置し、そこに向かって走行する。衝突の危険性が高まったときにシステムが作動し始める。このときも警報の

約1秒後にドライバがブレーキ操作を行っている。実験結果をFig.19に示す。横軸が相対速度(自車速度)、縦軸が衝突時の速度である。結果から分かるように相対速度の低い低中速走行時には衝突を回避しており、相対速度の高い高速走行では衝突速度低減となっている。

いずれの場合においても、Fig.2に示したように事故の起きている速度域は低中速域が大半であるのでシステムの効果は十分発揮されることが考えられる。

7. まとめ

ミリ波レーダを用いた外界センシング技術と自動ブレーキを用いることで、ドライバの認知・判断・操作遅れを補い、追突事故における衝突速度低減に効果的なシステムの開発を行い、以下の結果を得た。

- (1) 追突事故は日常運転における瞬間的な不注視で起こりえる。
- (2) ドライバ操作への干渉を防ぎ、回避操作を支援するシステムを構築した。
- (3) 本システムが追突事故の大部分を占める低中速時の事故数低減に効果のあることがわかった。

このようなシステムを実用化するにあたっては、誤作動・不作動は重大な問題である。今後さまざまな環境条件のもとで信頼性検証を十分に行うことが必要である。

また同時にシステムを用いるユーザの意識変化も考慮しなくてはならない。本システムは、あくまでドライバの減速操作遅れを補う事故回避支援システムであり、自動回避システムではない。ドライバがシステムに頼り切りをおこし、かえって不安全な運転を助長するものであってはならない。またセンシングの限界等により、あらゆる場面の追突事故が防げるわけではなく、システム限界をわかりやすく伝えることも必要と考える。これらのことを踏まえ、運転責任は従来と変わらずドライバにあるという原則を認識してもらうことが重要と考える。

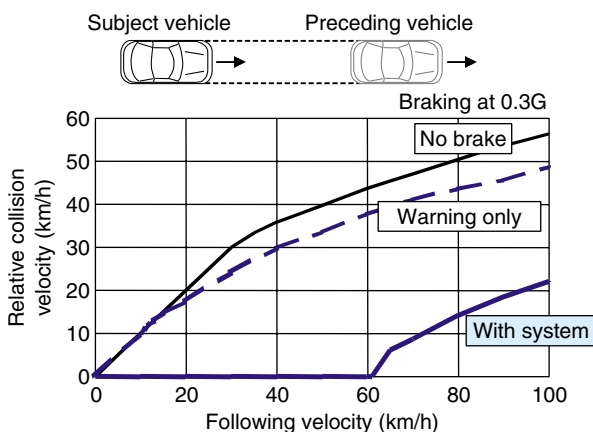


Fig.18 System effect (by simulation)

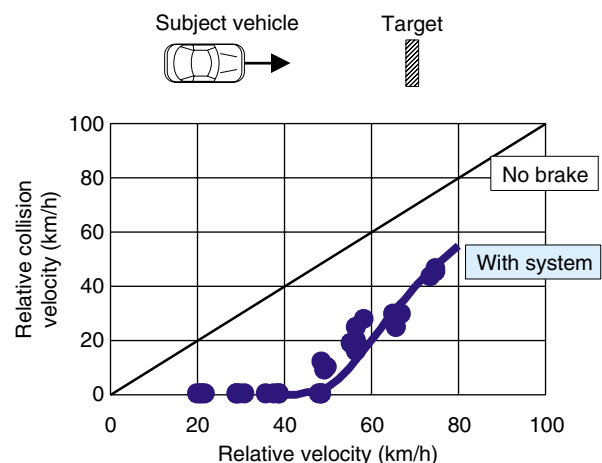


Fig.19 System effect (by actual test)

参考文献

- (1) 交通統計 平成9年版：(財)交通事故総合分析センター
- (2) シグナル, 1997 年10 月号
- (3) George T.Taoka: Brake Reaction Times of Unalerted Drivers, ITE Journal March 1989
- (4) Nancy L.Broen., et al.: Braking response times for 100 driver in the avoidance of an unexpected obstacle as measured in a driving simulator: Proceedings of the human factors and ergonomics society 40th annual meeting, 1996
- (5) 藤田ら:レーダーブレーキシステム, 自動車技術会 学術講演会前刷集, No.186(1994)9437845

■ 著 者 ■



小高 賢二



杉本 洋一



小田 部 誠



市川 章二



浦井 芳 洋