

一般ドライバの運転行動に基づく予防安全

山本 敦*

車両の事故回避性能の向上を図る時には、車の特性だけでなくそれを操作するドライバの特性も十分に理解していなければならない。本稿では、緊急時の一般ドライバの運転行動の研究を通して、ABSの他に新たな予防安全装置としてブレーキアシストとVSCを開発したこと、そして三つの装備が事故回避に効果のあることを示し、さらにそれらの予防安全装置を活かし、より大幅な事故低減を図るための方策について述べた。

Active Safety Based on Average Driver's Behavior

Atsushi YAMAMOTO*

In order to improve the vehicle accident avoidance performance, it is important to fully understand the characteristic of the drivers as well as that of the vehicle. Through the investigation of average driver's behavior in a panic situation, this paper shows that BA (Brake Assist) and VSC (Vehicle Stability Control) in addition to ABS (Antilock Brake System) have been developed, that these 3 devices are effective to avoid the accident, and how to solve a problem still existing to greatly reduce the number of traffic accidents by these devices.

1. はじめに

近年、交通事故を未然に防ごうという予防安全への関心は非常に高く、その性能向上への期待はたいへん大きい。

交通安全は「人」「道路」「車」がそれぞれ関連しながら役割を果たすことで確保されている。予防安全の範疇でみると三つの中では特に「人」の役割が大きい。従って、事故回避能力はこの「人」によって大きく左右されることになる。

開発された「車」を運転するのは熟練ドライバか

ら一般ドライバまで幅広く、数で言えば後者がほとんどであることから、その「車」は彼らに適し、扱い易くなっていなければならない。そのため、車両の予防安全性能向上を図る際には、一般ドライバのことをよく把握しておくことが不可欠であり、その効果も一般ドライバの技量に合わせて確認することが大切である。

本稿では、一般ドライバが緊急状態に陥った時の運転行動を把握し、それに基づいてABS(Antilock Brake System)の使われ方の現状について述べ、またBA(Brake Assist)・VSC(Vehicle Stability Control)という新たな予防安全装置を示すとともに、それらの一般ドライバへの効果・課題について言及する。

2. ABSの使われ方の現状

*トヨタ自動車㈱第4開発センター
第1車両技術部主担当員
Project Manager, Vehicle Engineering Div.,
Component & System Development Center,
Toyota Motor Corporation
原稿受理 1998年5月13日

| 形態 | 路面 | 変化率と95%信頼区間(%) | | | | | | | | | |
|-------------|----|----------------|-----|-----|-----|-----|---|----|----|----|-----|
| | | <減> | -40 | -30 | -20 | -10 | 0 | 10 | 20 | 30 | <増> |
| ロール オーバ | 良路 | | | | | | | | | | |
| | 悪路 | | | | | | | | | | |
| 固定物正突 | 良路 | | | | | | | | | | |
| | 悪路 | | | | | | | | | | |
| 固定物側突 | 良路 | | | | | | | | | | |
| | 悪路 | | | | | | | | | | |
| 走行車への 正突 | 良路 | | | | | | | | | | |
| | 悪路 | | | | | | | | | | |

注) 良路:乾燥した舗装路 悪路:湿潤、雪、砂利路。

Fig.1 ABS装備車の事故率の増減

2-1 事故統計からみたABSの効果の推定

ABSは、既にオプションや標準設定としてユーザーへ供給されて久しい代表的な予防安全装備である。

最近、この効果についていくつかの機関から事故統計を基に検討した報告¹⁻³⁾が出されている。それらの内容はNHTSA(米国道路交通安全局)のレポート¹⁾に代表されるように、「米国ではABSの装着によって車対車の事故は減ったが、単独のロールオーバや固定障害物への側突・正突という路外逸脱事故(人身・死亡共)は増えた」というものである。最新の報告である第15回ESV国際会議でのレポート³⁾をみても、Fig.1のように、乗用車の走行中の車両への正突は減っているが、単独のロールオーバや固定障害物への側突・正突は増えていると示されている。

2-2 事故低減効果が現れない原因

事故を確実に減らすには、こうした事実に対し原因を追求し対策を講じていかなければならない。

事故の増えた原因を推測してみると、ロールオーバと固定物への側突は事故形態からその多くが回避操作をきっかけに横滑りやスピンに至っているはずで、限界を超え易い速度で走っていたことに加え、ハンドル操作時にABSを作動させていなかったことが考えられる。一方、固定物への正突は車両姿勢が安定していることから、ABSを作動させている可能性が高い。そして、その作動により舵が効き路外方向へ向いてしまい事故に至ってしまったのだろう。また、この中で減速効果が出ず被害が大きいものはやはり回避直前の車速が高かったものと考えられる。

主な仮説を整理すると、次の三点になる。

- ①ABSを「よく効く強力なブレーキ」と誤解する等、装備したことで速く走るようになったこと

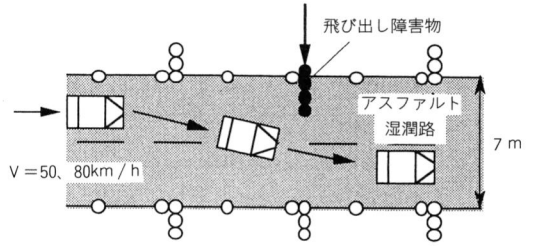


Fig.2 シングルレーンチェンジのコース概要

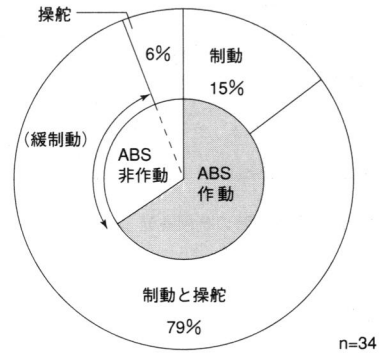


Fig.3 ドライバの回避操作の内訳(50km/h)

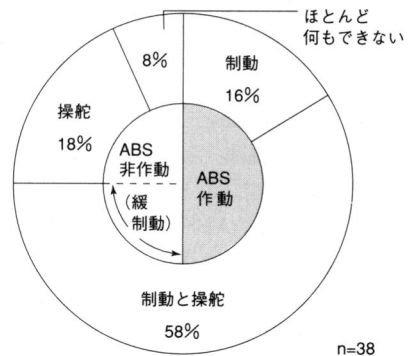


Fig.4 ドライバの回避操作の内訳(80km/h)

- ②回避はハンドル操作が主体で、ブレーキは踏んだとしてもABS非作動の緩い操作であったこと
- ③ABSにより、フル制動をしても舵が効くため路外方向に進行してしまったこと

このうち①については、「ABS装備車は非装備車に対して、2~5 mile/h車速が高い」との調査報告⁴⁾が既にされていることから、ここでは②、③について一般ドライバを対象に裏付け調査を行った。

2-3 緊急時の一般ドライバの運転行動調査

調査は、直線路上におけるシングルレーンチェンジとダブルレーンチェンジの二種類のタスクで行った。

1) シングルレーンチェンジの緊急回避

タスクはFig.2のように2車線の直線コースで、走行中に余裕時間2secで不意に飛び出してくる障

Table 1 操作条件

| | 操舵と制動 同時に操作 | 操舵後 遅れて制動 |
|----------------------|----------------|--------------|
| A B S を作動させる フル制動 | ケース 1 | ケース 2 |
| A B S を作動させない 緩制動 | ケース 3 | ケース 4 |

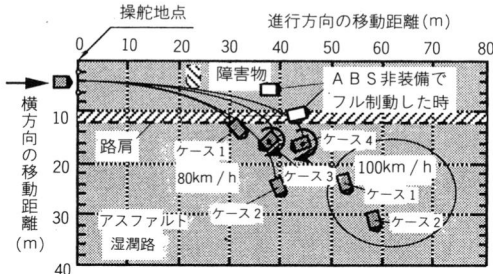


Fig.5 急制動・急操舵時の車両挙動

害物をレーンチェンジで回避するというものである。走行車速は50km/hと80km/hで、被験者は運転を職業としない22～56歳の男女を選んだ。

回避操作は詳しくみるとドライバによって異なるが、「制動のみ」「制動と操舵の両方」「操舵のみ」「ほとんど何もできない」で、大分類するとFig.3,4で示す割合に分けられる。二つを比較すると、車速が高くなると「制動と操舵の両方」の割合が減り、「操舵のみ」が増え「ほとんど何もできない」人が現れてくるのがわかる。ABSの作動状況をもみても作動させない人の割合が増える。これらの結果から“人は車速が高まるに従い操舵への依存が増し、制動操作が疎かになる傾向にある”と言える。一方、15～16%の割合で常に「制動」しか意識のない人もみられる。

なお、上記試験範囲では路外逸脱迄の再現はなかったため、熟練ドライバがいろいろな一般ドライバの操作を組合せ模擬することで車両の挙動を調査した。Table 1の操作条件の結果をFig.5に示す。図は軌跡および停止時の車の姿勢と位置を示したもので、最初のハンドル操作の舵角が90°の場合である。図中の破線は、2車線の幅7m+路肩3mの道路を想定したラインで、これを基準として右側に進行した場合を路外逸脱したと考える。仮説③に相当するケース1では操舵地点からフル制動しているが、ABSによりタイヤのグリップ力を確保でき舵が効くため、障害物を避けることができている。ただし、車両は路外方向に進行し逸脱している。ケース2も制動するまでは舵が効きフル制動後もABSにより車両は

安定するが、同様に路外方向に進行し制動開始が遅い分だけ逸脱してからの距離が長くなる。仮説②に相当するケース3・4は、制動をしてはいるがロックさせているわけではないので、ある程度はタイヤのグリップ力を確保できる。そのため、舵が効き障害物は避けられるがやはり路外方向へ進行してしまう。ただし、この路面状態ではABSが作動した時よりタイヤのグリップ力が小さいので車両姿勢は不安定となり、最終的にスピンしている。なお、図中の車速100km/hでのケース1・2を代表で示すように、いずれのケースとも車速が高くなると挙動は大きくなり停止距離も長くなる。また、回避時の舵角は90°から大きくなるに従い、車両は右向き姿勢を強め横方向の移動距離も大きくなるが、Fig.5で示す車両挙動の傾向は同様である。

以上より、緊急回避の最初のハンドル操作をきっかけに路外逸脱するのは、ABSにより舵が効く場合だけでなく、制動しない場合や緩制動でABSを作動させない場合でも起こることがわかる。車両挙動をみると、ABSが作動すると安定しほぼ正面から逸脱しているのに対し、作動しない場合は不安定となり側面から逸脱している。これらに、車速が高くなるに従いブレーキを十分踏めなくなることを加味すると、ロールオーバーと側突の多くは、ABSの機能により起きたのではなく、速度を上げてしまった上にその効果を引き出せなかったことが原因で起きたと言える。また、ABSの影響を受けた路外逸脱でも、ケース1のように80km/h位の速度で、最初からフル制動していれば減速効果で逸脱時の速度も低くなり、固定物へ正突しても死亡事故には至り難いはずである。正突死亡事故増はケース2のように制動が遅れたか、100km/hの例のように回避操舵地点での速度がより高かったことが主な理由と言える。

2) ダブルレーンチェンジの緊急回避

タスクはFig.6のように、飛び出し障害物を避けレーンを変った後その前方に固定障害物があるため、再度元のレーンに戻るといったものである。車速は70km/h、障害物の飛び出し余裕時間は2sec、路面は摩擦係数が約0.5と滑り易い条件で行った。

その結果をシングルレーンチェンジの場合と同様に分類しFig.7に示す。Fig.4と比較してみると若干車速は低いが、「操舵のみ」の割合やABSを作動させられない割合が大きい。これは、飛び出し障害物を避ける時に操舵を行ってから制動をかける特性

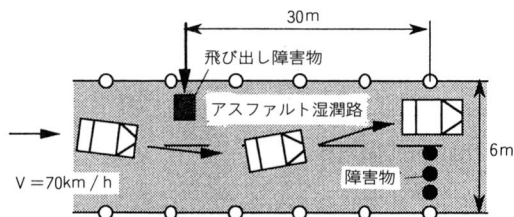


Fig.6 ダブルレーンチェンジのコース概略

の人々が、ここでは避けたレーンの側の前方に障害物があるため再度避けなければならない、その時やはり操舵を優先して行うため制動まで行う余裕がなくなった、あるいは制動を行ったとしてもABS作動まで強く踏めなくなったためと考えられる。車速が高くなることに加え、「タスクが複雑になることも操舵を主体」にさせると言える。また、最初の障害物に対して「ほとんど何もしない」「制動のみ」という人々は、その後のタスクの影響は受けないためその割合はほとんど変わっていない。

次に回避の成否について3分類し操作の内訳とともにFig.8に示す。図のように今回の条件では約1/3が「コースアウト」をした。操作の内訳をみると、「回避」と「コースアウト」はいずれも「操舵のみ」か「操舵と制動」であり「操舵」をしたことでそれぞれの結果に至っている。なお、これから、「何もしない」のは勿論であるが「制動のみ」では障害物を「はねてしまう」タスクであることがわかる。

ここで、同様の操作をしたのに「回避」できず「コースアウト」した理由を操作の内訳の比率からみると、「操舵のみ」の比率が高いことから、技量にあった速度に減速できていないことがわかる。さらに、「制動」操作をしてもABSが作動しない緩制動しかしないためスピンを誘発してしまうことや、ABSを作動させてもFig.9のようにブレーキを踏み続けることができずペダルから足を放してしまうため「コースアウト」することがわかった。

以上、1)、2)の調査で「路外逸脱」したその多くは、技量以上の速度で進入してしまい、回避時は操舵が主体となってブレーキを踏まない、あるいは踏んでも緩制動とABSを作動させなかったことや作動させても途中で離してしまった等と、その効果を十分に引き出せなかったことが原因で起きたと言える。

3. 事故回避能力向上のための方策 1

2-3節の調査から、緊急時にブレーキを強く踏

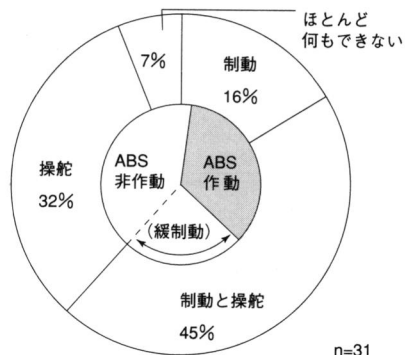


Fig.7 ドライバの回避操作の内訳 (70km/h)

| 回避の成否 | 回避 | | スピン等でコースアウト | | 飛び出しをはねる | |
|--------|-------|-----|-------------|-----|----------|-------|
| | 制動と操舵 | 操舵 | 制動 | 操舵 | 制動 | 操作回避少 |
| 操作の内訳 | 制動と操舵 | 操舵 | 制動 | 操舵 | 制動 | 操作回避少 |
| ABSの作動 | 作動 | 非作動 | 作動 | 非作動 | 作動 | 非作動 |

Fig.8 回避の成否と操作の内訳

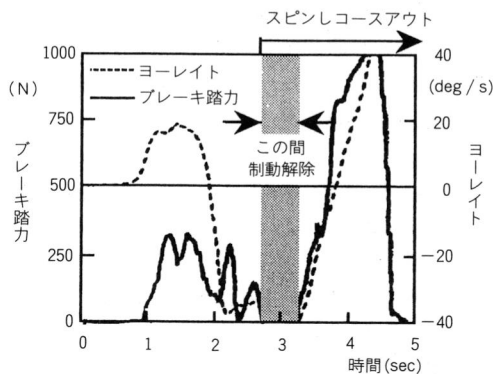


Fig.9 ブレーキ操作と車両挙動

めず、ABSを作動させられないドライバーが少なくないことがわかった。

以下に、その対処のための検討内容を述べる。

3-1 一般ドライバのブレーキ操作の把握

ブレーキ操作をより詳しく把握するため、さらに制動回避に限ったタスクで調べた。Fig.10のように、障害物が飛び出す付近はハンドル回避できないように対向車線を工事規制している。走行車速は50km/h、障害物の飛び出し余裕時間2secで、路面は乾燥状態である。被験者は18~70歳の男女に参加してもらった。

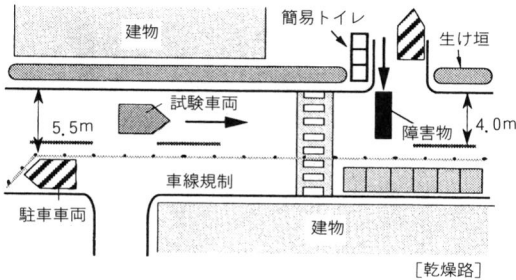


Fig.10 コースの一部概要

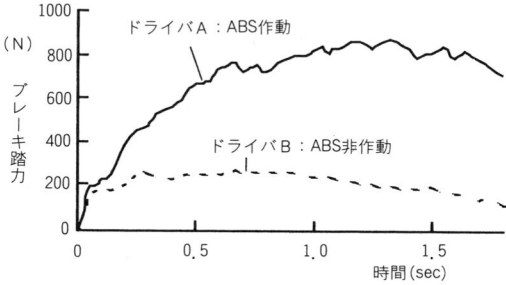


Fig.11 ブレーキ操作の比較

この時のABSの作動の有無をみると、被験者82名中46%とやはり約半数のドライバが作動まで強く踏めなかった。ABS作動と非作動それぞれのドライバの操作特性をみるためにFig.11に典型的なブレーキ踏力の時間変化を示す。非作動のドライバBは強く踏めるドライバAと比較すると、0 secからの立ち上がりだけは変わらないが、踏力が200N付近になるとそれ以上強く踏まなくなる。一方で、ドライバAはそれ以後も800N以上まで踏み込み、車速の高い初期段階からブレーキ性能を十分引き出せているのがわかる。

3-2 強いブレーキを踏めない理由

では、なぜ回避すべき障害物があっても強いブレーキを踏まないのか。その理由として、次の二つの仮説を立てた。

- ①体力不足から十分な踏力を出せない
- ②強く踏んだ経験がなく、踏み込むことを知らない
そして、検証のために二種類の調査を行った。

第一は、軽く踏んでもブレーキが良く効くように通常より効きを強めた検討車両を用い、Fig.10と同様の飛び出しタスクを与える調査である。Table 2に従来車両と検討車両のブレーキ特性を示す。調査は事前に十分な慣熟運転を実施した後、被験者がそれぞれのブレーキ特性に慣れた段階で行った。Fig.12は減速度を指標とし、熟練ドライバと不慣れなドライバについて比較した例である。緊急ブレーキに

Table 2 ブレーキ特性の比較

| | 従来車両 | 検討車両 |
|----------------------------|-------|-------|
| 6 m/s ² のブレーキ踏力 | 150 N | 90 N |
| 9 m/s ² のブレーキ踏力 | 240 N | 140 N |

注) いずれも平均値。

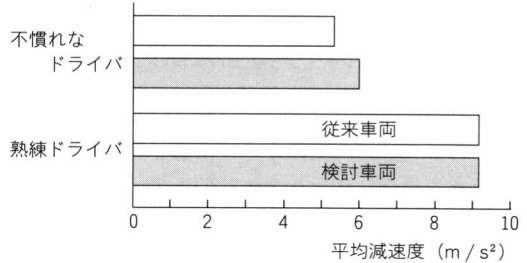


Fig.12 発生減速度の比較

不慣れなドライバは、ブレーキ特性が変わったことで1割程高い減速度を発生できてはいるが、熟練ドライバの減速度には及ばない。検討車両で従来車両の時の踏力を出せば熟練ドライバ並の減速度を出せたのであるが、通常のブレーキの効き具合を基準にしてかつ体感上6 m/s²位を強いブレーキと判断しているため、より小さい踏力で操作したものと考えられる。

第二に、ブレーキの踏み方を訓練し経験を積み高め高い減速度を出せるのか調査した。その方法は、80 km/hの定常走行からフル制動するタスクで、1回目はアドバイスなし、2回目はドライビングポジションのみ修正、3回目は踏み方そのものをアドバイスし、制動の仕方の変化を調べるものである。結果をFig.13にABSの作動状況を3段階に層別し示す。ABSを作動できた人の割合は回を重ねる度に増えている。つまり、ドライバの多くはポジションを正しくとり、経験を積みれば強く踏めるようになるのである。ちなみに、被験者の9割はドライビングポジションが不適切で、平均でシートバックを3°起こし前方へシートスライド30mmの修正が必要であった。

以上の調査から、ブレーキを強く踏めないのは、

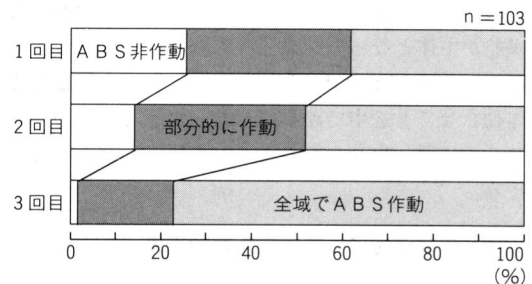


Fig.13 訓練による踏み方の変化

ほとんどの人が、体力が不足しているからではなく、経験がなく高い減速度を出すことのためにためらいがあるため、仮説では②が主である。

3-3 ブレーキ性能を引き出す方法

車が備えているブレーキ性能を十分に引き出すためには、ドライバ側に訓練を積んでもらうことが大切で、それは効果のある対策の一つと言える。ただし、「人はミスをする」ということを前提にすれば、車側でのバックアップも必要である。

その方法をドライバの運転行動に立ち返り検討した。まず、緊急時と通常時で踏み方に特徴がないかを調べた。Fig.14にそれぞれのブレーキ踏力の時間変化を示す。この図をみると、斜線部で示すブレーキ踏み始めの立ち上がり方が大きく異なることがわかる。つまり、緊急時と通常時ではブレーキの踏み込み速度と量が異なっている。これは熟練ドライバでも同じである。そこで、これらの物理量で緊急時と通常時の違いを区別することに着目し、ある設定値以上になると緊急状態と車側が判断して、この時だけ軽い踏力でも高い減速度が発生するシステムを開発することにした。

Fig.15にシステムの構成例を示す。緊急状態の検出手段には、ブレーキペダルの回転中心部に付けたストロークセンサを用い、ストローク速度と量が設定した閾値以上の場合に、ABS・BAコンピュータよりブースタのソレノイドバルブを駆動し、大気を

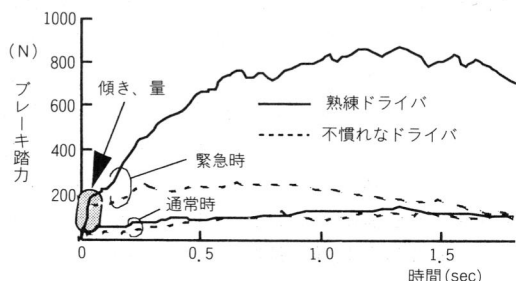


Fig.14 緊急時と通常時のブレーキ操作

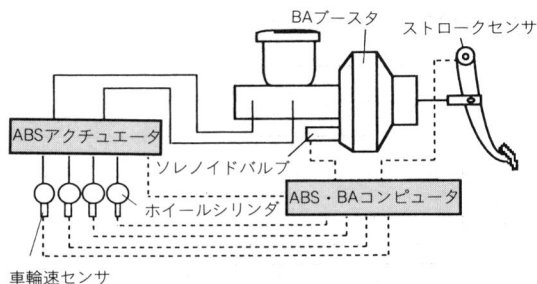


Fig.15 システムの構成

導入して、通常より出力を増大させるのである。

3-4 システムのドライバへの適合性と効果

本システムは、緊急時には作動することが求められるが、反面通常時は運転の妨げにならないように全く作動しないものでなければならない。これは、不慣れなドライバ・熟練ドライバ共通の要求性能である。そのため、アシスト作動の閾値はいろいろなドライバのさまざまな走行環境下におけるブレーキ操作を調べて設定した(Fig.16参照)。また、この調査の過程でアシストの仕方としては、単にフル制動の状態にするのではなく、アシストしつつもブレーキコントロールできる余地を残しておくことが、操作性を向上するうえで必要であることがわかった。

このようにしてシステムの細部仕様を決め、緊急時の効果と通常時に妨げにならないことの確認を行った。以下に代表例二点について述べる。

効果はFig.10と同様の方法でシステムを任意に装備/非装備状態にできる車両を使い調査した。コースには2ヵ所の飛び出し箇所を設け、同一ドライバにそれぞれの状態でタスクを与えた。Fig.17に評価指標の一つとして制動距離を用いて整理した結果を示す。システム非装備では停止距離が11~18mであるのに対し、装備で作動させた場合は11~13mになり、ドライバ毎の制動距離のバラツキを抑えられて

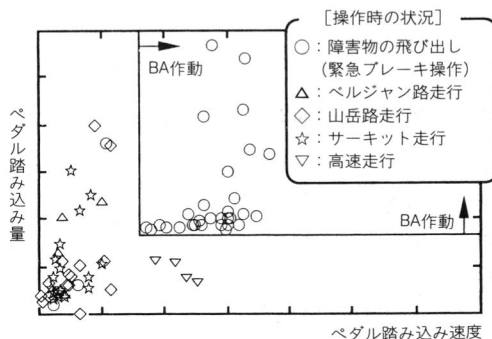


Fig.16 ブレーキアシストの閾値の設定

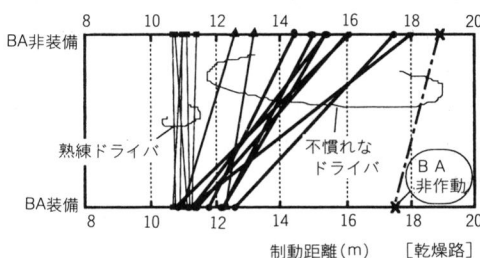


Fig.17 ブレーキアシスト装備/非装備の制動距離の比較

側突事故に至り易いスピンを抑止できていることがわかった。しかし、本システムでもFig.20の5%のドリフトアウトにみられるように、タイヤのグリップ力を増加させるシステムではないので、限界以上の速度になれば効果は現れない。

5. ABS作動事例からみた効果の有無

この章ではABS装備車でその作動が明確な事例に絞り、ABSの事故回避への関与を考察してみる。

2章の効果の推定では、ABS車の事故といっても装備されていただけで「ABSが作動していたのか」「作動した結果事故が起きたのか」という点があはつきりしない。そのため、仮説を立て実験による検証が必要であった。ここではABS装備車を使用したことのある一般ドライバーに、「作動させたことがあるか」「どのような状況で作動したか」「作動の結果どうなったか」等を直接ヒアリングし分析してみた。

全国7ヶ所で18~70歳の男女365名にヒアリングし、実際の交通環境下で故意ではなく無意識のうちに作動させたと答えた61件の事例をTable 3の五つの基準で分類して、その中からABS作動の影響が非常に小さいケースを除いた44件をFig.22に示す。図からわかるように、8割がABSの作動で車両姿勢を安定させられたり、強いブレーキ操作をしなが

らハンドル操作が可能だったことで事故回避・事故予防できていた。従って、確実に作動させればABSが効果を発揮し事故に陥りにくいのである。一方で、事故に至った事例まではなかったが、不安を感じたというドライバーが存在したことも事実である。内訳をみると、「ポンピングをした」「反力に驚いて放した」とブレーキ操作が適切でなかったり、「停止距離がかえって伸びた」というケースもあった。これらについては、勿論システム側で対処しなければいけない点もあるが、ドライバーがシステムに対してその特性をよく理解していれば未然に防げたものでもある。365名の約半数が「ABSは短い距離で止まれるようにするシステム」と思っていたことや、Fig.23に示すようにABS装備車を所有していても少なくともその半数は作動を試みたことがない等が、

Table 3 分類の基準

| ランク | 分類の基準 |
|-----|---------------------|
| 5 | A B S 作動により事故回避できた |
| 4 | A B S 作動により安心感が増した |
| 3 | A B S 作動の影響がたいへん小さい |
| 2 | A B S 作動により不安感が増した |
| 1 | A B S 作動により事故に至った |

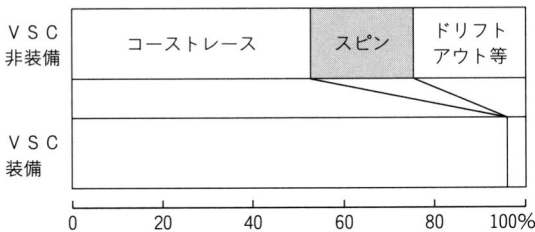


Fig.20 旋回走行での比較

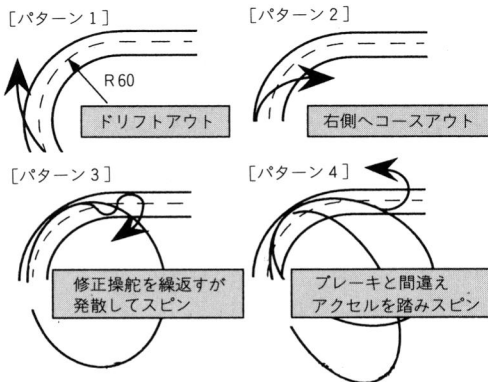


Fig.21 コースアウト時の車両挙動

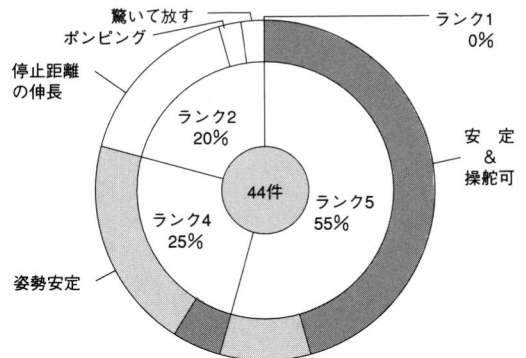


Fig.22 ABS作動事例の効果の割合

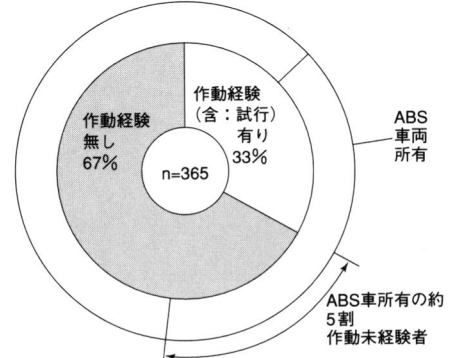


Fig.23 ABS作動経験の有無

ABSについて十分理解していないであろうことを裏付けている。

6. あとがき

ABS車の路外逸脱事故が増えた理由は、緊急時の一般ドライバの運転行動と車両挙動の実験解析および作動事例の分析から、ABSが悪いのではなくドライバの過信による速度オーバーと荒い操舵そしてABSを作動できなかった可能性の高いことを示した。

対策としてシステムではブレーキ操作を補助するブレーキアシスト、ハンドル操作に伴う横滑り防止としてVSCを追加すれば、一般ドライバの回避成績が上がることを確認した。ただし、これらはいずれもタイヤのグリップ力を効率よく使おうとするもので限界能力を上げるものではない。ABS装備でみられたように過信による速度オーバーに対しては効果が現れない。速度オーバーを防止するシステムは未だなく、この点についてはドライバに委ねている。そのためドライバには装備しているシステムのことをよく理解したうえで使ってもらわないといけない。

予防安全システムを装備した人が皆運転が荒くなるわけではないが、その効果を十分に発揮させて画期的な事故低減を図るためにはシステムの提供とともにシステムに対する啓蒙活動が重要である。

参考文献

- 1) Charles J. Kahane : Preliminary Evaluation of the Effectiveness of Antilock Brake Systems for Passenger Cars, NHTSA Technical Report, DOT HS 808206, Dec.1994
- 2) L. Evans : ABS and Relative Crash Risk under Different Roadway, Weather, and Other Conditions, SAE Technical Paper No.950353
- 3) Ellen Hertz, et al. : Analysis of the Crash Experience of Vehicles equipped with ABS, 15th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, No.96-S9-O-03, May 13-17, 1996
- 4) B. O'Neill : Insurance Institute for Highway Safety, Status Report, Vol.29, No.2