

先進ブレーキ体験機能付き二輪車シミュレータ

Motorcycle Riding Simulator Enabling Experience of Honda's Advanced Brake Systems

青木 克仁*
Katsuhito AOKI

一見 貞直*
Sadanao ICHIMI

要 旨

先進ブレーキを装備した二輪車を普及させるために「Honda ライディングシミュレータ」を活用することを考えた。従来のHonda ライディングシミュレータの制動時の表現は従来のブレーキシステムを模したものであったことから、シミュレータの可動部によるピッチ動作と音響部によるタイヤスキール音に対し変更を加えることで実車の先進ブレーキの臨場感を体感できるものとした。また従来ブレーキと先進ブレーキの違いを容易に比較できる体験シナリオの設定をおこなった。2007年東京モーターショーで体験試乗会を実施した結果、先進ブレーキの特徴が効率よくかつ安全に体験できることを確認した。

ABSTRACT

In order to spread motorcycles with advanced brake systems, the "Honda Riding Simulator" was utilized as a way to experience advanced brakes. Since Honda Riding Simulator only reproduced the brake feeling based on conventional brake systems at the time of braking, we modified the pitching motion of the simulator and the tire squeal sound generated by the sound system in order to enable users to experience the characteristics of advanced brake systems. In addition, a scenario was created enabling easy comparison of the differences between conventional and advanced brake systems. Test-ride events of the simulator were conducted at the 2007 Tokyo Motor Show. The modified Honda Riding Simulator fulfilled the development goal of providing a safe and efficient means of enabling users to experience the feature of advanced brake systems.

1. まえがき

Honda は二輪車の安全走行を支援する有効な技術手段として、先進ブレーキシステムと呼ぶ前後輪連動ブレーキシステム(CBS)とアンチロックブレーキシステム(ABS)また両者の機能を合わせたコンバインド ABS(Combined ABS)の研究開発に注力してきた。この技術が社会に受け入れられ普及していくためにはユーザの広い認知が必要となる。そこでかねてから日本の二輪車の運転教育現場で活用されている「Honda ライディングシミュレータ」を改良し先進ブレーキの特徴を効率よく安全に体験・理解できる装置とすることを考えた。

*二輪開発センター

2. 事故状況と社会背景

WHO(世界保健機構)の2004年度の統計によると、年間に交通事故で約120万人が死亡し5千万人以上が負傷している。負傷原因による死亡の約22.8%が交通事故によるものである。この割合は戦争による負傷死(3.4%)の6.7倍にもあたる(Fig. 1)。また交通事故による死者は1990年では全死因中9位であったが2020年には3位になると予測されている。これらのことを踏まえHondaは二輪車生産のトップ企業として、二輪車の安全性向上に長年にわたり取り組んできた。

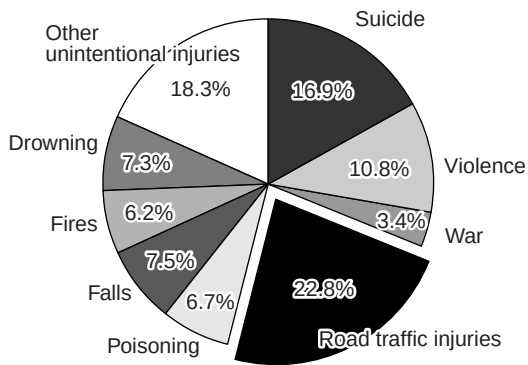


Fig. 1 Distribution of global injury mortality by cause (WHO 2004)

3. 安全技術への取り組み

3.1. 二輪車安全領域と技術

安全技術の領域は事故時の衝撃を低減する「衝突安全 (Passive Safety)」と事故に至るまでの過程における「予防安全 (Active Safety)」の二つに大きく分けられる。「予防安全」の領域はさらに事故地点までの時間的余裕によって、衝突に至る直前を起点に、ライダーの回避操作の支援、危険認知判断の支援、安全意識を向上させる運転者教育に分けられる (Fig. 2)。

これらの安全ステージにおいて、Honda は安全技術の実用化に向けた研究をおこなってきており、それぞれGL1800 に搭載されたエアバッグシステム、先進ブレーキシステム、研究段階の車々間通信、日本の教習所を中心に使われているライディングシミュレータなどが挙げられる (Table 1)。

3.2. 回避操作支援の取り組み

「予防安全」に位置づけられる技術は事故発生数そのものを低減する上で役に立つ。このうち先進ブレーキはライダーの安心感を高める技術手段である。

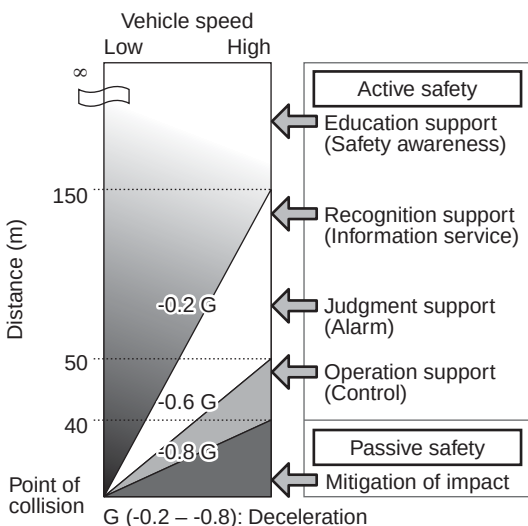


Fig. 2 Safety stages

Table 1 Safety technologies for motorcycles

	☆ In use	□ Under research
Active safety		
Safety education	☆ Riding simulators	
Recognition support	□ Inter-vehicle communication systems	
Operation support	☆ Advanced brake systems	
Passive safety		
Mitigation of injury	☆ Airbag systems	

3.3. 先進ブレーキ

従来、二輪車のブレーキ操作は前輪と後輪をそれぞれ別々におこなうものであった。ホイールベースの長さに対し四輪車に比べ重心が高い二輪車は減速時に前輪と後輪の分担する接地荷重の変化が大きい。このため、高い制動力を発揮させるためには、前後ブレーキの操作量の配分を適切に調節する必要がある。また過剰なブレーキ操作は車輪のロックを引き起こす場合もある。このような課題を解決するために開発をおこなってきた技術が先進ブレーキである。Honda は先進ブレーキとして以下のシステムを実用化した。CBS は、後輪ブレーキ用のレバーもしくはペダルだけの操作で前後両輪のブレーキに適正なブレーキ力配分がおこなわれる。ABS はブレーキを掛けすぎたとき、車輪がロックするのを防止する。Combined ABS は両者を合わせた機能を持っている。この先進ブレーキは二輪車ライダーの安心感を高めることを目的としている。我々はハードウェアの研究開発を加速すると共に先進ブレーキを搭載した二輪車の普及を図りたいと考えている。欧州で発売されている CBS, Combined ABS の既存ユーザーに対しておこなわれたアンケート調査によると、87.5%のユーザーが肯定的意見を持っていることがわかる (Fig. 3)。このように既存ユーザーに良好な評価を得ている先進ブレーキではあるが、新規ユーザーにおいていかに先進ブレーキ装着モデルを選択してもらうことができるかが普及の上で重要である。

4. 先進ブレーキの認知を広げることを目的としたライディングシミュレータ活用

新規ユーザーに対し先進ブレーキの特徴を認知させていくための手段として「Honda ライディングシミュレータ」を活用することを考えた。

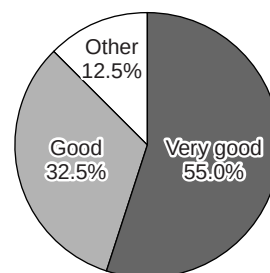


Fig. 3 User assessment of advanced brake systems

4.1. Honda ライディングシミュレータの特徴

Honda は「運転者教育」の研究も積極的に進めている。Honda ライディングシミュレータは交通安全教育において従来の「座学」を超える新しい教育手法として 1988 年に研究を開始し、混合交通で起こりうるさまざまな状況をシミュレータ上でライダーに模擬体験させることで、ライダーの危険な状況に対する予知予測能力を高めることをねらった。数年にわたる教育機器としての構成要素の研究をおこなった後、1996 年に初代機が実用に供された。このシミュレータは、ライダーが仮想の市街地を走行する中で、巧妙に設定された二輪車の典型的な事故に結びつく危険場面を体験することができる仕様となっている。今回のベースとなるモデルは二代目で、2001 年から日本の自動車教習所を中心に販売されているものである。

4.2. 構成

高い教育効果を与えるためには、ライダーにあたかも実際の走行を体験したと感じさせるような臨場感が必要であるとの考えに基づき、当シミュレータは、ACサーボモータで可動する乗車部と、現実感のある視界映像・質の高い音響生成機能を有している (Fig. 4)。

4.3. 映像・音響・可動部

映像システムは、3Dグラフィックアクセラレータを用いて現実感のある高品位な視界映像を毎秒 30 コマ生成している。

また音響システムは、実際の音をサンプリングした音源をもとにデジタル処理してリアルタイムに音を生成している。例えば自車のエンジン音はエンジン回転数と負荷に応じて生成され極めて現実感が高い。そのほかの自車の状態を表現する音として、ステップ接地音、タイヤスキール音、衝突音などがある。サーボモータで可動する乗車部は走行時の加減速感、ロール感覚、衝突時の衝撃、ステアリングハンドルの操作感覚をライダーにフィードバックすることができる。本シミュレータは、失敗に至るまでの経緯をより現実感を持って体験できる点で優れている。

5. 先進ブレーキ体験機能の搭載

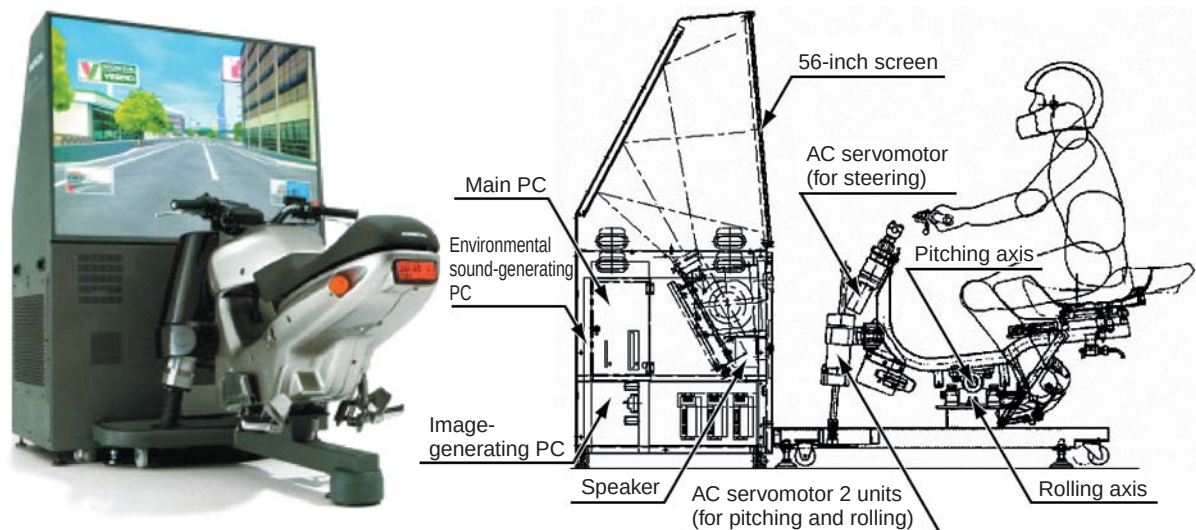
今回、先進ブレーキの内、CBS と Combined ABS の特徴を体験させることを目的として従来のライディングシミュレータの改良をおこなった。

5.1. 再現したい先進ブレーキの特徴

・CBS

従来ブレーキに対し後輪片側のみのブレーキ操作において以下の特徴を持っている。

- (1) 同じブレーキ操作で高い減速度。
- (2) 後輪から先にスリップ限界に達する。



Riding unit	Replaceable system for motorcycle or moped Operation system of equivalent actual vehicle	Sound system	PCM 2ch stereo
Motion	Roll angle: 15 deg Pitch angle: 10 deg Steer angle: 30 deg 3 AC servomotor	Power source	100 V / 15 A
		Power consumption	1.5 kW
Imaging unit	CGI system 56-inch screen 30 frames per second	Length x height x width	2330 x 1740 x 1182 mm
		Total mass	312 kg

Fig. 4 Honda riding simulator

・ Combined ABS

上記 CBS の特徴に加え車輪ロック防止機能を付加したシステムで以下の特徴を持っている。

- (1) 車輪ロックまでは CBS として作動し、それ以上は Combined ABS として作動する。
- (2) ABS 作動中は路面の摩擦係数に応じた減速度。
- (3) 四輪車の ABS 作動に比べ、二輪車はタイヤ回転速度変動を車体・ハンドルを通して感じやすい。

我々はシミュレータの可動部と音響部を有効に使い、上記の先進ブレーキの特徴を再現することを考えた。

5.2. 音響と可動部による先進ブレーキ表現

加減速計算と可動部ピッチ動作の制御フローを Fig. 5 に示す。ライダーの操縦動作は実車と同等な操作部にあるセンサから 33 msec ごとにコンピュータに取り込まれる。運動特性は二輪車の車両諸元を定数として運動方程式で記述されている。時刻ごとの運動状態はルンゲ・クッタ・ギル法を用いて積分をおこなうことで求められている [Fig. 5 内の (2)]。

5.2.1. CBS の表現

5.1. 節で示した CBS の特徴の(1)と(2)を再現するように、後ブレーキに入力された操作量を前ブレーキに配分するように計算をおこなっている [Fig. 5 内の (1)]。後輪が制動限界に達していることはスキール音などの音響で表現している。当シミュレータは乗車部を前後方向に動かすモータを持っていないため加減速運動は乗車部のピッチ動作に置き換えて表現している。減速時は減速度に応じて乗車部前側を沈み込ませるように動かす。シミュレータ上ではライダーの姿勢が前のめりになり腕に自分の体重が掛かることで減速感を感じられるようにしている。実車のピッチ動作はサスペンションの伸び縮みによるものであるが、シミュレータのピッチ動作は加減速動作を表現している点で異なった意味を持つ。シミュレータにおいては前述のように減速度の大きさを乗車部のピッチ動作で感じさせているため、実車の姿勢変化とは異なる動きとなるが計算された減速度が大きい場合、より大きなピッチ動作で減速度を表現するようにした。

5.2.2. Combined ABS の表現

コンピュータ内部に定義された走行地点の路面摩擦係数をもとにライダーのブレーキ操作が車輪のロック限界に達している場合 ABS 作動と判定する。今回 ABS 自体の性能予測が目的ではないことから、ABS の動作自体に対するシミュレーションはおこなわず ABS の挙動表現に用いる作動周期は路面の摩擦係数ごとの実測データを基にしている [Fig. 5 内の (3)]。車輪ロックまでは CBS としての動作をおこない Combined ABS の特徴(1)を再現している。実車の挙動を体感させるため ABS 作動時には路面の摩擦係数に

Com: Coefficient of pitching motion of longitudinal acceleration and deceleration component
Cfm: Coefficient of pitching motion of front brake operation component
Crm: Coefficient of pitching motion of rear brake operation component
Ngain: Smoothing coefficient of longitudinal acceleration and deceleration depending on velocity
Cbf-Cbr: Brake force distribution coefficient
Pabs: Amplitude of pitching motion expressing ABS operation
Bfi: Rider's front brake input
Bri: Rider's rear brake input
Bfc: Front brake force
Brc: Rear brake force
hz: ABS operation cycle depending on road μ
E: Adjusted longitudinal acceleration and deceleration
Pit: Pitch angle of motion unit
T: Elapsed time
dt: Time increment

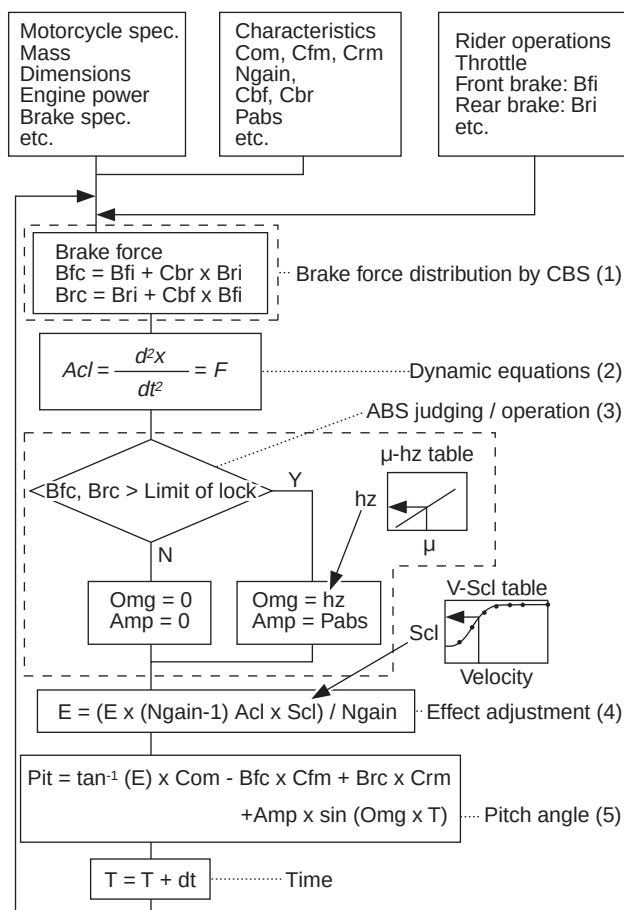


Fig. 5 Motion system control flow

応じた減速度分のピッチ動作で Combined ABS の特徴(2)を表現し、ABS 作動を表現する路面摩擦係数で決定された周期のサイン波成分を付加 [Fig. 5 内の (5)] することで Combined ABS の特徴(3)を再現している。サイン波成分の振幅は官能評価で決定した。ABS 作動時のスキール音は、従来ブレーキのスキール音に ABS 作動周期の半周期のサイン波のマイナス部分を折り返した波形を掛け合わせる処理をして発生させている (Fig. 6)。なお、当シミュレータの可動部を動かす際の考慮点として、計算された加減速度は高周波のノイズを含み発進・停止の際は不連続になるため、そのままの形でピッチ角に置き換えることはせず、低速で小さな値となる加減速度調整係数を掛け、さらに平滑化をおこなった値をピッチ動作に用いている。また、二輪車の場合、ピッチ方向の慣性モーメントが四輪車よりも小さい

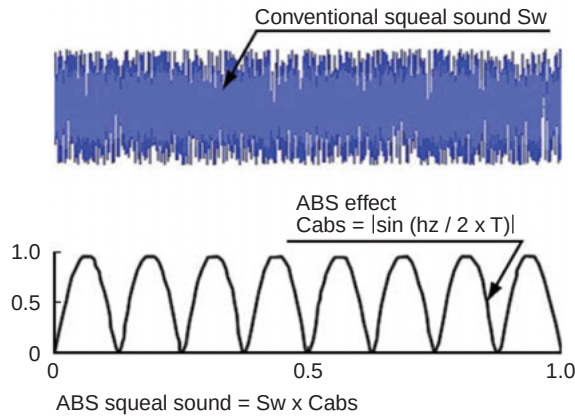


Fig. 6 ABS squeal sound

めブレーキ操作に対して車体の姿勢がすばやく反応することが特徴であり、その表現のためにブレーキ操作に基づいてピッチ動作を増加させる表現もおこなっている〔Fig. 5内の(4), (5)〕。次に、シミュレータ上で従来ブレーキとCBSの制動計算の結果を比較した例を Fig. 7 に示す。後ブレーキのみの制動をおこなった結果で減速とピッチ動作をグラフ化したものである。

この例では同様のブレーキ操作でCBSの方が従来ブレーキの約 1.78 倍の減速をおこなっている。

ピッチ動作は前述のように減速度表現のための増加分を加え、約 2.28 倍となっており高い減速度を体感させるものとなっている。また、ABS 作動時の実車とシミュレータの比較をおこなった例を Fig. 8 に示す。実車の車輪速度とシミュレータでのピッチ動作を一つのグラフの上に重ね合わせたものである。これはドライアスファルトにおける制動の例である。実車の前輪は約 8 Hz の周期で速度が変動している。シミュレータにおいても約 8 Hz のピッチ角変動を発生させており実車の車輪速度の変動による減速度を表現した動きとなっている。その際、発音されているタイヤスキール音の振幅波形を Fig. 9 に示す。発生している音の波形も 8 Hz の周期となっている。実車の特徴を表しているこれらの表現により先進ブレーキの動作が現実感をもって体感できるものとなった。

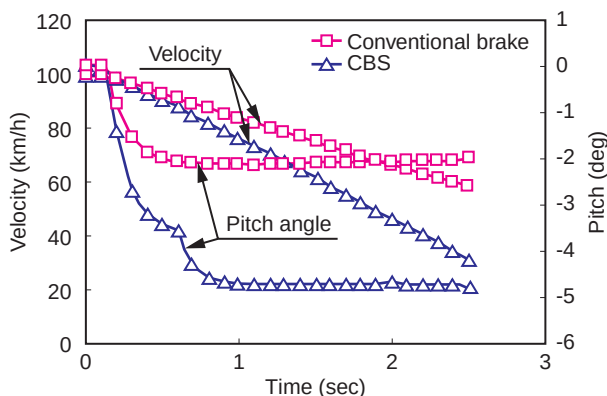


Fig. 7 CBS versus conventional brake

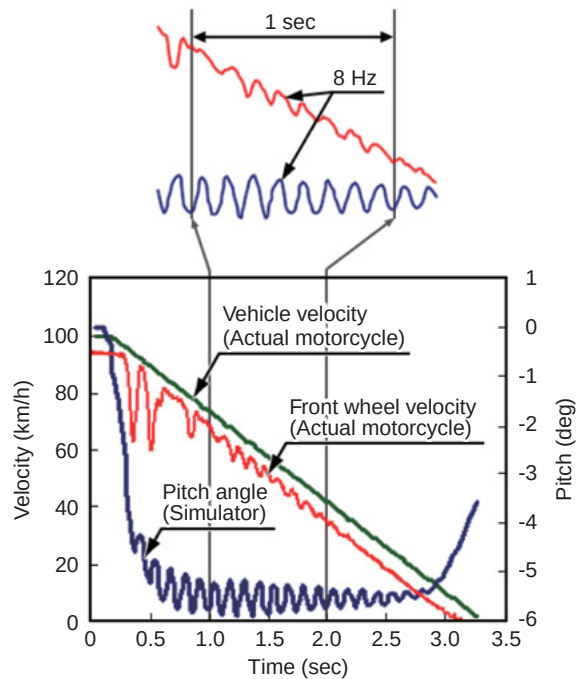


Fig. 8 Pitching motion as feeling of deceleration

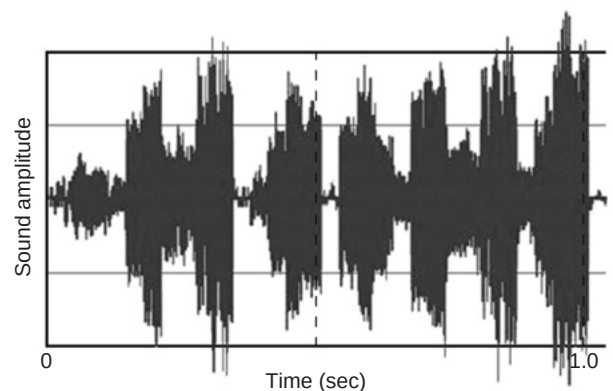


Fig. 9 Squeal sound during ABS operation

5.3. 体験シナリオ

従来ブレーキと先進ブレーキ装着の切替えは、シミュレータ操作卓上のモニタに表示されるブレーキシステム変更メニューを操作することで変更できるものとした。当初、ライダーがシミュレータ上の仮想市街地を走行する間にブレーキシステムを変更し、先進ブレーキと従来ブレーキの違いを体感させるアイデアがあった。しかし、危険場面に入ったところでの走行速度や危険に対する対応がライダーによってさまざまであり、他の要因に注意が向き、ブレーキシステムの違いを理解できない場合が多いことがわかった。このためブレーキシステムの違いをより分かりやすく比較できるように専用の走行コースを用意した。また、短時間で効率よく体験できることも考慮し、ライダーは市街地ではなく単純な直線路を走行するものとした。ライダーが走路両側を見通せないように直線路の両側に植え込みを施した映像とし、ライダーが直線路を走行して所定の速度に達したとき、前方の植え込みの中からトラックが飛び出して進路をふさ

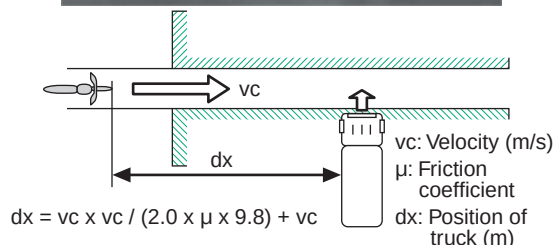


Fig. 10 Brake test course

ぐというシナリオにした(Fig. 10)。これは市街地でありがちな「出会い頭」事故を模した設定である。トラックの飛び出す位置は、自車が所定の速度から減速をおこなった際、路面 μ で決まる最も短い制動距離に、1秒分のブレーキ反応遅れに相当する「空走距離」を加えた位置に設定した。試乗をおこなうライダーにはトラックが出現したら衝突しないよう速やかにブレーキを掛けて停止するように指示して走行を開始させる。この緊急制動体験は従来ブレーキによる制動と先進ブレーキによる制動の二回をおこなうものとし、走行後に結果として反応の速さを示す空走距離とブレーキ開始から停止するまでに要した制動距離をモニタ上に表示する。また、事故が起きた場合、事故の理由(車輪のロック・トラックとの衝突)を表示する。このシナリオはシンプルであるため、ライダーがブレーキシステムの違いを比較して理解することを容易にした。

6. 2007年東京モーターショーでの体験試乗会の実施

モーターショーは自動車業界の最大の祭典であると共に、企業活動を内外に発信し企業理念をアピールできる場である。この点で先進ブレーキの認知普及を目的とした活動をおこなうためにふさわしい場である。我々は「先進ブレーキ体験シミュレータ」を2007年東京モーターショーにおいてHonda二輪ブースに設置し、約2週間にわたる体験試乗会を実施した。体験シナリオは6.3.節のものを用いて、先進ブレーキとしてCombined ABSを設定した。また、トラックが登場するときの自車速度は国内の一般道路の最高速度である60 km/hに設定した。

一般来場客を迎えたショーの期間中、1台のシミュレータで2255人が先進ブレーキの体験をおこなった。試乗者

は一日平均140人であった。一人の試乗に要する手間は実車を用いておこなうことに比べ少なくて済むため、効率のよい体験試乗会が実施できた。また、走路上に突然トラックが飛び出してくる場面設定は実車でおこなうことがきわめて困難であるが、シミュレータの特質を活かし安全に先進ブレーキの体験が実施できた。

7. むすび

東京モーターショーでの試乗者に対する試乗後の感想聞き取りにおいては、ほとんどが先進ブレーキを好意的に評価するものであった。従来ブレーキの制動で事故を起こした試乗者も事故を起こさなかった試乗者も、先進ブレーキの制動時における安心感を体験し、先進ブレーキを理解・納得できたと思われる。本シミュレータは先進ブレーキの特徴を効率よく安全に訴求する装置として活用できることがわかった。今後は、ライダーの先進ブレーキに対する過信を防ぐ観点での安全教育過程における本シミュレータの活用なども考えていきたい。

■著者■



青木 克仁



一見 貞直