

特集：新型マツダデミオ

4

インテリジェントドライブ マスタ (i-DM) の概要
Outline of Intelligent Drive Master (i-DM)

沖田 齡次^{*1} 柴川 学^{*2} 佃 厚典^{*3}
Reiji Okita Manabu Shibakawa Atsunori Tsukuda
石井 洋輔^{*4} 伊藤 剛豊^{*5} 川原 直人^{*6}
Yosuke Ishii Takeatsu Ito Naoto Kawahara

要 約

運転者も楽しく、同乗者にもやさしい運転ができ、更にはその結果が燃費向上につながるような運転技術の向上を支援するシステムを目指した。このシステムは、アクセル/ブレーキ/ハンドルの運転操作により結果として生じる車の挙動を、車両が持っている車両速度及びハンドル舵角信号をもとに、乗車している人の体へ与える力を求める。その力を受ける乗車員の体の動きを、車両に搭載しているコンピュータ内で乗車員の体を仮想したバネマスモデルを使い、走行中の連続した体の動きを計算する。求められた体の動きから運転の特徴を独自に開発した評価指標により判定し、運転席前方のメータ内に装着した表示器で判定結果をリアルタイムで伝える。更に、運転開始から運転途中までの、また運転終了後にはドライビングサイクル全体の総合判定結果を評価点として表示し、自分の運転結果を振り返ることができるようにしている。このシステムを活用することにより、マツダ車を運転する多くのドライバーが楽しく運転技術の向上ができることを期待し開発したものである。

Summary

We aimed to develop the system which would help drivers improve their driving techniques so that the drivers could enjoy driving, offer a comfortable ride to passengers and consequently reduce the fuel consumption. The system calculated the effects of the G force generated by vehicle behaviors due to operation of the accelerator/brake pedal/steering wheel on drivers/passengers by using the vehicle speed and steering angle signals of the vehicles. A series of body movements of the driver/passengers during driving is simulated with the mass point of the spring mass model set in the computer of the vehicle. The computer calculates the body movements of the driver/passengers based on this spring mass model simulation. The calculated body movements are rated as per the evaluation criteria which was uniquely developed with consideration of the driving characteristics. The rating is displayed on the dashboard in front of the driver's seat on a real time basis. In addition, the ratings in the course of driving (startup to the course of driving) and after the entire driving (startup to driving end) are shown. Therefore, drivers can review their driving results and get to know their own driving habits/skills. We developed this system, hoping that our customers would enjoy driving more than ever and upgrade their driving skills by maximizing the system.

1. はじめに

我々マツダ開発部隊は、新型プレマシーで代表されるような、車のダイナミック性能を「統一感」という思想のもと、基本性能である走る/曲がる/止まるをリニアで軽快なフィールに統一させた開発を行い、楽しく気持ちよく走る車づくりを行っている⁽¹⁾。今回紹介する「Intelligent Drive Master (以下i-DM)」は、「統一感」という思想を継承しながら視点を変えた試みであり、「統一感」の思想で開

発した車の良さを、運転操作の習熟により更に効果的に引き出し、マツダ車の性能を最大限楽しんでもらいたい、との思いで開発したものである。

車の性能を高め、更にその性能を最大限に発揮するように車がドライバーの運転技術向上を支援していく、まさに“人馬一体”を目指したシステムである。

2. 運転技量の差と着目点

一般的に「運転が上手い」というのはフィーリングで感

*1, 4, 6 走行・環境性能開発部
D&E Performance Development Dept.

*2 技術企画部
Technology Planning Dept.

*3, 5 パワートレインシステム開発部
Powertrain System Development Dept.

じることあるものの、定量的な指標は確立されておらず、何がどう違うのか、を明確にしていく必要があった。そこでまず、社内の一般社員及び熟練ドライバ計15名に、マツダ走行試験場の同じコースを同じ車両で走行してもらい、その走行データより、運転技量の差による運転操作及び車の挙動の相違を見極めることから始めた。

2.1 運転操作の相違

まずはアクセル、ブレーキ、ハンドル操作を一般社員と熟練ドライバで比較し、以下4つの差を確認した (Fig.1, 2)。

- ① アクセル操作ON-OFF頻度→熟練ドライバは少ない
- ② アクセル踏み込み特性→熟練ドライバは滑らかに操作

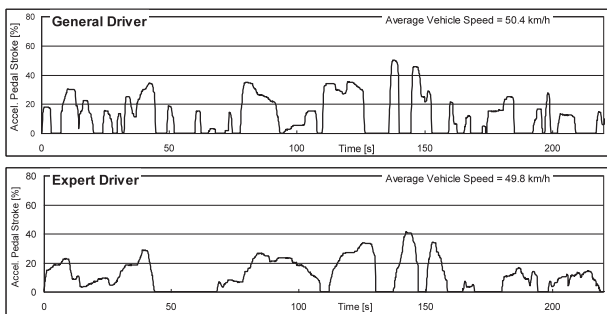


Fig.1 Difference of Acceleration Pedal Operation

- ③ ハンドル操作の早さ→熟練ドライバは早めにゆっくり
- ④ 旋回中の舵角安定性→熟練ドライバは一定舵角を維持

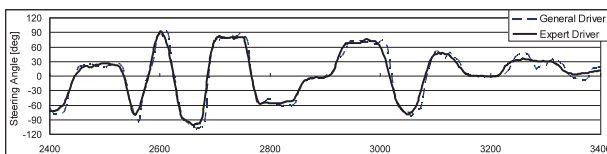


Fig.2 Difference of Steering Operation

2.2 車の挙動の相違

次に運転操作により結果的に生じた車の挙動を、一般社員と熟練ドライバで比較した。その結果、前後及び左右方向で、

- ⑤ 発生躍度 (加速度の微分値) のピーク高さ
- ⑥ 一定値を超える躍度発生頻度

に差があることを確認した。Fig.3及びFig.4にその結果を示す。縦軸の“躍度指標”とは、車速センサの信号を二階微分したうえで、ノイズ除去及び躍度発生が相対的に見えやすくする独自の処理を施したものである。またグラフ下側に示すバーは一定値を超えた躍度発生のタイミングを示す。

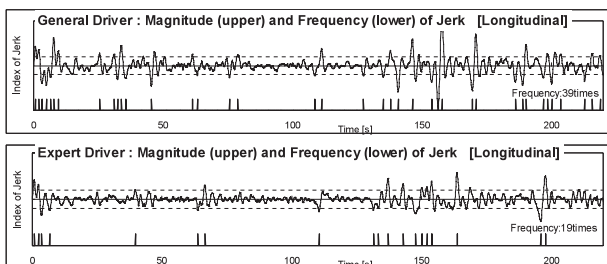


Fig.3 Difference of Jerk [Longitudinal]

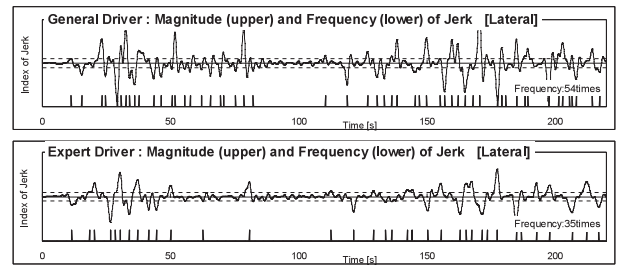


Fig.4 Difference of Jerk [Lateral]

2.3 実燃費の相違

上記に実例を挙げた一般社員と熟練ドライバの走行は、同じ走行路/距離、ほぼ同じ平均車速、同じ車両という条件下で、平均燃費は7%熟練ドライバが良い結果となった (Table 1)。

2.4 走行データ分析のまとめ

今回の走行データ分析から、運転操作と車の挙動は強い相関がありかつ一般社員と熟練ドライバでは運転操作及び車の挙動に明確な差があることが分かった。

この事実から我々は、車の挙動をリアルタイムで把握し、その情報をもとに定量的指標を設定することで運転操作の評価結果をドライバへリアルタイムに伝達、運転操作の修正、繰り返しによる習熟を促し、求めるところである“ドライバ及び同乗者が気持ち良くかつ環境にもやさしい運転”の支援をすることができる可能性を見出した。

3. 車の挙動と乗車員の体の動きのモデル化

3.1 車の挙動の把握

まず前後方向の加速度変化及び左右方向の加速度変化を求める必要があるが、我々は車両に通常搭載されている車速センサ及びハンドル舵角センサの信号から、逐次計算することとした。機種により搭載されているGセンサの信号を使用することも考えられるが、Gセンサ信号はノイズが大きいこと及び運転操作に関係のない路面状況が起因する加速度変化も検知することから、運転操作に直結する車速センサ及び舵角センサを使用することが適切であると判断した。

3.2 加速度の変化による仮想した体の動き

乗車している人の体をFig.5に示すバネマスモデルの質点と仮想し、この質点に車の挙動により変化する加速度を与える。この入力による質点の挙動を前後方向/左右方向それぞれの「バネマスモデル」の運動方程式 (式1) を解くことにより、リアルタイムで前後/左右方向の体の動きを求めることができる。この質点の動きを以後の運転操作による車の挙動の判定に使用する。

$$m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} + c \cdot \frac{dx}{dt} + k \cdot x = f(t) \quad \sim \quad (1)$$

x : 質点位置, m : 質量, c : 減衰係数, k : ばね定数
f(t) : 車両加減速による入力

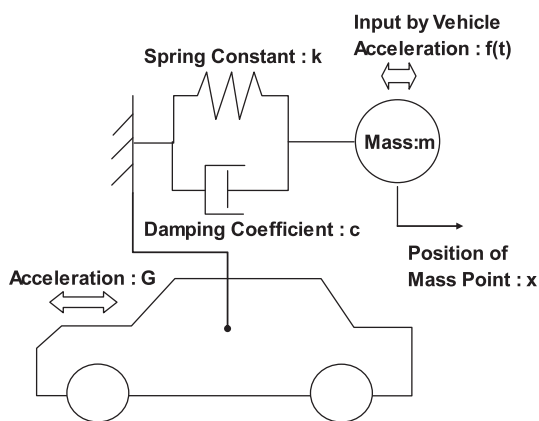


Fig.5 Imaginary Model with Spring - Mass - Damper

4. 車の挙動の判定

4.1 「丁寧な運転」と「荒い運転」の判定

(1) 指標の考え方

「運転者及び同乗者も気持ちが良い運転」の判定を行う指標を設定するため、加速度の変化による体の動きのオーバシュート現象に着目した。つまり「加速度変化によって体が前後または左右に動かされ、動きが急激な場合は振られた体の動きが“オーバシュート”し、更に体が跳ね返ってくる」という現象の定量化である (Fig.6)。

質点に力が加わり質点が動き始めると、受けている力に相当する静的安定位置に対し、質点移動の速さが持つ運動エネルギーにより、静的安定位置を通り越して移動する。

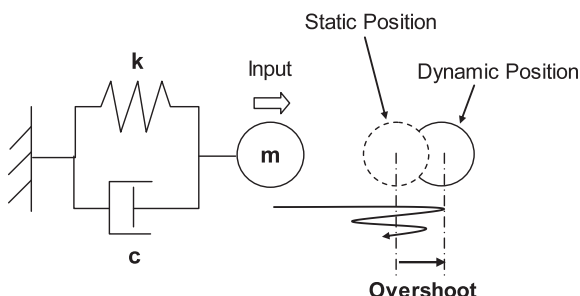


Fig.6 Definition of Overshoot

「オーバシュート」をFig.6のように定義すると、このオーバシュートが持つエネルギーは、質点が静的安定位置を通過する時の速度の二乗に比例する。このエネルギーを“Eov”，またこのオーバシュートを引き起こした加速度変化幅を“ΔG”とし、以下のように指標を定義し「荒い運転」と「丁寧な運転」の判別を行う。

$$\text{指標値 (定数)} K_{id} = F(E_{ov}, \Delta G) \sim \quad (2)$$

車両の特性、実走フィーリングから定数 K_{id} (式2) を固定し、これを超える場合を「荒い運転 (Rough)」下回る場合を「丁寧な運転 (Mild)」と定義した。

(2) 具体的計算方法

Fig.7にバネマスモデルの質点 (実線) の動きと質点に

入力される力が静的に加わった時の質点安定位置 (点線) を示す。判定は常にこの2つの線の交点、つまり加速度により質点に加わる力とバネの反力の値が一致し質点への入力がゼロとなる時点で行う。

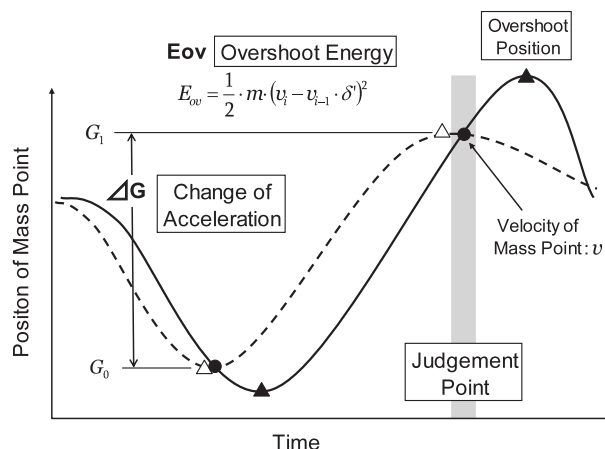


Fig.7 Calculation of Overshoot

なお、計算するバネマスモデルは連続した加速度変化を入力とし質点の動きを計算していることから、加速度変化が連続した場合は前回のオーバシュートエネルギーが減衰後の残エネルギーとして次の判定点に影響を与える。このままでは個々の加速度変化に対する正しい判定ができないことにつながるため、当システムではこの残振動の影響を除去するため、前回のオーバシュートが次の判定点において影響する残エネルギーを排除する計算上の工夫を入れ、判定点ごとに正確に評価できるようにした。

4.2 「しなやかな運転」の判定

(1) 「しなやかな運転」の定義

車を運転して楽しむためにはある大きさを持ったGの変化は欠かせない。G変化がある程度大きければダイナミック感があり、特に運転者にとっては気持ちの良い運転となる。当システムでは、運転者が望む車両速度、加速度に制約を与えるのではなく、加速度を大きく変化させるのであれば上手く変化させているかどうかというところに着眼している。大きなGの変化を上手くコントロールしている状態を、イメージと一致するよう「しなやかな運転 (Smart)」と呼称する。

(2) 「しなやかな運転」の指標

- その①: 「丁寧な運転」の領域内にありかつ加速度の変化が大きい、つまり大きなGの変化を滑らかにつないでいる (加速開始/終了, 旋回開始/終了)
- その②: 加速度絶対値がある一定以上でかつその加速度を一定値で維持している (一定Gでの加速中, 一定舵角&速度で旋回中)

4.3 運転評価の判定マップ

前記4.1, 4.2で定義した運転状態の判定マップはFig.8, 9となり、この判定マップに従い、「丁寧な運転」, 「しなやかな運転」, 「荒い運転」を判定していく。

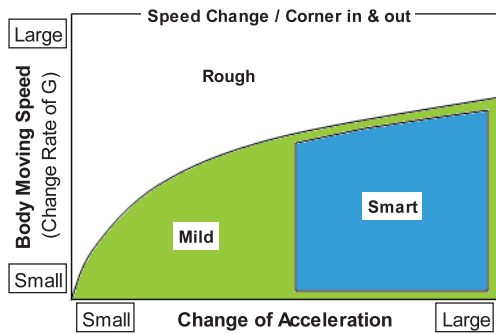


Fig.8 Judgement Map [Acceleration Change]

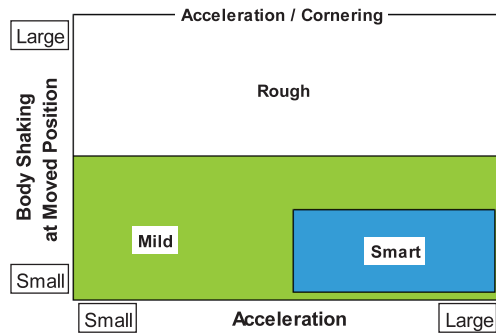


Fig.9 Judgement Map [Constant Acceleration]

4.4 加速度変化頻度の判定

(1) 加速度変化頻度と上手い運転の関係

前記2.1, 2.2の走行データ分析で、一定値を超える躍度の発生頻度が一般社員と熟練ドライバで差があることを確認した。躍度の発生は乗車員が車の挙動により強制的に体を動かされる頻度に相当し、「気持ちが良い運転」の判定には欠かせない指標と考えられる。更に2.3で述べた“実燃費への影響”も操作頻度に大きく関与していることが考えられ以下のような指標化を試みた。

(2) 加速度変化頻度の指標化

加速度変化を示す躍度（加速度の微分値）の発生頻度をカウントすることにより定量化する。加速度変化は運転技量とは関係のない運転環境、例えば街中、高速、郊外、渋滞状況等により大きく左右されることから、単純な回数積算では正しい判定にはならない。一方、1回の加減速または一つの旋回においてはそれぞれ少なくとも2回の躍度が発生（加速の場合は加速開始と加速終了時点）することから、直前一定時間履歴（例：5sec）内での躍度発生回数をカウントし、その値が3回以上、つまり短時間内に加減速または旋回操作を2操作以上行ったところを捕まえ、操作頻度の評価指標とした。

5. システムの検証結果

5.1 運転技量と判定結果（個々の加速度変化判定）

前記4.1~4.4で説明した判定方法を具体的にソフトウェアで構築し、前記2.の走行データを使用したシステムの検証を実施、主な評価領域は以下となる。

- 1) 前後方向, 加速度+, 加速度変化+(アクセル踏込)
- 2) 同上, 加速度変化-(アクセル戻し)
- 3) 前後方向, 加速度-, 加速度変化-(ブレーキ踏込)
- 4) 同上, 加速度変化+(ブレーキ戻し)
- 5) 左右方向, ハンドル操舵側(切り込み)
- 6) 同上, ハンドル戻し側
- 7) 前後方向, 加速度+, 適度な加速度維持(アクセル)
- 8) 前後方向, 加速度-, 適度な加速度維持(ブレーキ)
- 9) 左右方向, 適度な加速度維持(旋回中)

例としてFig.10に“5) 左右方向, ハンドル操舵側”の評価結果を示す。一般社員と比べ熟練ドライバは安定した「丁寧な運転」領域に集中しかつ「しなやかな運転」領域の頻度も多い。

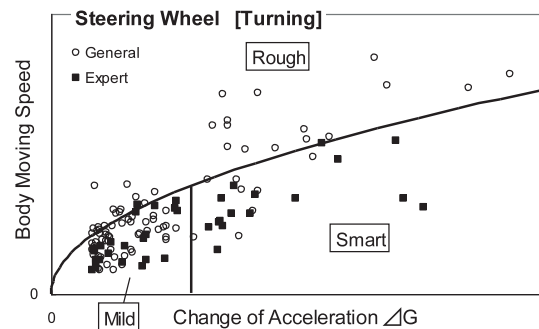


Fig.10 Evaluation Result [Turning in]

5.2 実燃費と判定結果の相関

(1) i-DM総合評価結果と実燃費

一般社員と熟練ドライバの比較結果をTable 1に示す(判定閾値は暫定)。

Table 1 Comparison of Fuel Economy [Driver]

| Driver | Average Vehicle Speed (km/h) | Evaluation by i-DM | | | | | | Average Fuel Economy (km/L) | *Perfect Score : 5 points |
|---------|------------------------------|--------------------|---------|-------|------------------------|---------|-------|-----------------------------|---------------------------|
| | | Way of Operation | | | Frequency of Operation | | | | |
| | | Longitudinal | Lateral | Total | Longitudinal | Lateral | Total | | |
| General | 50.2 | 2.92 | 1.00 | 1.40 | 4.43 | 4.46 | 4.45 | 13.7 | 7% ↓ |
| Expert | 49.7 | 4.25 | 5.00 | 5.00 | 4.92 | 5.00 | 5.00 | 14.7 | base |

(2) 個々の加速度変化と実燃費との相関

0km/hからの発進において、下記2つの項目についてそれぞれ同一走行距離での実燃費を比較した。

a) 加速時の加速度変化による比較

車速変化を「丁寧な運転」, 「しなやかな運転」及び「荒い運転」とした場合の燃費の比較結果をTable 2に示す。燃費記載値は、それぞれ複数回走行して計測した燃費の平均値を示す。

Table 2 Comparison of Fuel Economy [#1]

| Change of Vehicle Speed | Item | Evaluation by i-DM | | |
|---------------------------|-----------------|--------------------|-------|-------|
| | | Mild | Smart | Rough |
| 0→40km/h Distance:140m | Ave. F/E (km/L) | 11.31 | 10.19 | 9.28 |
| | Comparison | base | 10% ↓ | 18% ↓ |
| | Number of times | 8 | 12 | 6 |
| 0→80km/h Distance:320m | Ave. F/E (km/L) | 7.83 | 7.06 | 6.27 |
| | Comparison | base | 10% ↓ | 20% ↓ |
| | Number of times | 4 | 6 | 5 |

b) 加速時の操作頻度による比較

0km/hから60km/hまでの加速を、「1段階」、「2段階」及び「3段階」とした場合の燃費の比較結果をTable 3に示す。燃費記載値は、それぞれ複数回走行して計測した燃費の平均値を示す。

Table 3 Comparison of Fuel Economy [#2]

| Distance | Item | Evaluation by i-DM | | |
|----------|-----------------|------------------------------|--|-----------------------------|
| | | Smart 0→60 Once Accel. | Frequent Operation 0/30/60 2times Accel. | 0/20/40/60 3times Accel. |
| 190m | Ave. F/E (km/L) | 7.21 | 6.08 | 5.83 |
| | Comparison | base | 16% ↓ | 19% ↓ |
| | Number of times | 10 | 6 | 5 |

5.3 検証結果のまとめ

前記5.1, 5.2のように、一般社員と熟練ドライバの運転技量の差を車の挙動情報から定量化できることを確認でき、更にこのシステムの評価結果は実燃費との相関もあることを確認した。

6. 判定結果のメータ表示

6.1 リアルタイム表示

運転操作判定結果のドライバへの伝達は運転席前方のメータ内ディスプレイで行う。Fig.11はマツダが新たに開発したエンジンSKYACTIV-Gを搭載した新型デミオにおけるi-DMシステムの判定結果のメータ表示例を示す。

判定結果は「丁寧な運転」、「しなやかな運転」、「荒い運転」の3つであり、メータ表示においてもそれぞれの判定結果を「緑」、「青」、「白」(白はゲージとして3段階表示)としている。色分けは運転者が容易に判別しやすく、判定結果とイメージが一致するような色を選択した。



Fig.11 Indication of Evaluation Result

Fig.11の表示は、運転中の個々の加速度変化の判定結果を表示するが、もう一方の指標となる「操作頻度」の判定結果については、運転中に表示されてもドライバが理解するには難しいと予測されることから、リアルタイム表示には適さないと考え、ドライビングサイクル終了時の総合評価点を算出する中で加味することとした。

6.2 運転終了後の総合評価結果表示

運転終了後には、運転中のリアルタイム判定結果を1ドライビングサイクルの総合評価結果として5点満点法で表示する。総合評価点が低かった場合は、運転中に「荒い運転」または「操作頻度が高い」と判定された中で、最も多かった操作(アクセルorブレーキorハンドル)をドライバへメッセージとしてメータ内に表示し、運転後に確認できるシステムとした。

7. まとめ

仮想モデルを使った人の体の動きの定量化と独自に開発した評価指標を用い、運転操作による車の挙動を判定することが可能である。またこの判定結果は燃費とも強い相関があることも確認した。i-DMシステムの支援に従い運転技量を向上することで「楽しく気持ちの良い運転」のみならず、地球環境にもやさしい運転の支援が期待できるものとする。現在このシステムを活用することで運転技量及び実燃費が向上することを検証中であり、実証結果により更にシステムの改善・育成を行う計画である。

8. おわりに

日頃気がつかない自分の運転操作の特徴を、このシステムを活用することにより客観的に判定でき、自分自身が楽しく運転できるようになるだけでなく、同乗者にもやさしい運転技術の向上に役立てることができると期待している。更には、この運転技術の向上は、実燃費の向上にも役立ち、環境への貢献にもつながるものと期待している。

参考文献

- (1) 梅津ほか：新型プレマシー ダイナミックフィールの統一感, マツダ技報, No.28, p.13-18 (2010)

■ 著 者 ■



沖田 齡次



柴川 学



佃 厚典



石井 洋輔



伊藤 剛豊



川原 直人