

論文・解説

15

マツダスピードアクセラのダイナミック性能開発 Dynamic Performance Development of MAZDASPEED AXELA

谷口正明*¹ 田村章*² 稲田伸一*³ 光永誠介*⁴
 Masaaki Taniguchi Akira Tamura Shinichi Inata Seisuke Mitsunaga
 岡田義浩*⁵ 岡本哲*⁶ 星野彦一*⁷ 八木淳*⁸
 Yoshihiro Okada Satoshi Okamoto Hikoichi Hoshino Atsushi Yagi

要約

アクセラのマイナーチェンジに向けて、主に欧州で盛んになっているCカークラスのFFハイパワー車市場に真っ向から勝負するため、「ハイエンド パフォーマンス コンパクト スポーツ」マツダスピードアクセラの開発に取り組んできた。このマツダスピードアクセラのダイナミック性能の命題は、「世界最速のFFであること」「単にレーシーなハイパフォーマンスカーでなく、安全で快適な車であること」「FFの特性を生かした軽快な車であること」であった。

マツダスピードアクセラのダイナミック性能開発にあたって、以上の一見相反する命題に対し、我々は主に次の3つのカテゴリにわけて開発してきたのでその概要を説明する。

1. 高出力FFの課題克服
2. FF世界最速の走り
3. 軽快なときめきの走りの実現

Summary

For carrying out the minor change in Axela, a mission was given to us to challenge the C-car FF high power vehicle market which is becoming the mainstream in Europe : "Develop MAZDASPEED AXELA which is a high-end performance compact sports car."

Followings are propositions given to us from Program Manager in terms of MAZDASPEED AXELA dynamic performance:

- "Develop the world-fastest FF vehicle."
- "Not only achieve high performance like a racing car, but also ensure safety and comfortable feeling."
- "Produce agile vehicle by making the best use of FF characteristics."

Although these seem contradictory propositions for developing dynamic performance of MAZDASPEED AXELA, we divided them into three categories and achieved with utmost efforts:

1. Overcome various concerns to achieve high power FF.
2. Develop the world-fastest vehicle.
3. Accomplish agile and exciting drive.

Followings are summary of our activities.

*1, 7 パワートレイン開発推進部
Powertrain Development Promotion Dept.
*4 NVH性能・CAE技術開発部
NVH & CAE Technology Development Dept.

*2 操安性能開発部
Chassis Dynamics Development Dept.
*5, 6 車両実研部
Vehicle Testing & Research Dept.

*3 車両開発推進部
Vehicle Development Promotion Dept.
*8 エンジン実研部
Engine Testing & Research Dept.

1. はじめに

欧州/北米で多く存在するハイパフォーマンスFFの競争車群の中でもトップクラスのハイパワーを持ったマツダスピードアクセラは、そのハイパワーゆえに日常の快適性と運動性能を高次元で両立させるには多くの課題が存在した。本稿ではこれらの課題解決のための我々の取り組みについて紹介する。

2. 高出力FFの課題の克服

マツダスピードアクセラは、MZR 2.3L DISIターボエンジンのハイパワーを、6速マニュアルトランスミッションを介してフロント2輪で駆動する。トラクション性能の物理的限界や、トルクステア、250km/h連続走行のスタビリティ、あるいはユーザのハード走行への期待などの課題に対し、ボデー/シャシー/駆動系のハード面からのポテンシャルアップに加え、エンジントルクの制御を加えるなどのソフト面の対応を織り込んでいる。

2.1 トルクステアへの取り組み

トルクステアの発生は、ドライブシャフトの左右のねじり剛性の差が大きく影響する。ドライブシャフトの左右の剛性を等しくするためにシャフト径を左右でチューニングしている (Fig.1)。また、ドライブシャフトの折れ角についても影響が大きい。そのためボデーに対するサスペンションの高さを10mm下げ、ドライブシャフトの折れ角を極小化している。

トルクステアは、発進時や低車速での走行中、急激にエンジントルクが大きくなる場合に発生しやすくなる。また、コーナリング時にハンドル舵角が大きくなるほど、左右のスクラブ半径の差が大きくなり、発生しやすくなる。これらの問題を解決するために、駆動力の大きい1速と2速ギヤで走行する場合に、エンジントルクが急激に大きくなるように、電子制御スロットルバルブとウエストゲートバルブでトルクをコントロールすることで解決した。更に、タイトコーナ進入時等、ステアリング舵角が所定値以上になった場合にも、トルクステアが発生しないようにトルクをコントロールしている (Fig.2)。これらハードとソフトの両方の対策により、走りとトルクステアの抑制を高次元でバランスさせることができた。

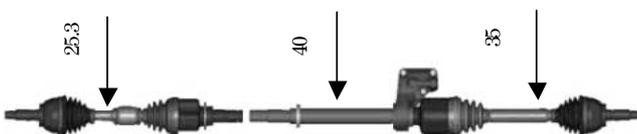


Fig.1 New Driveshaft

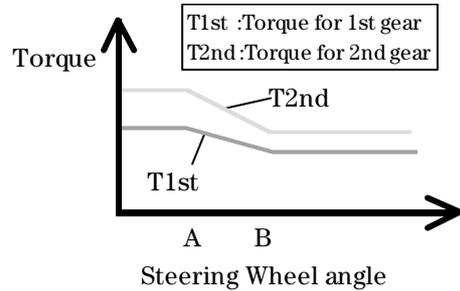


Fig.2 Engine Torque Management

2.2 コーナリング時のトラクション対策

4WDと比較して、前輪のみの駆動であるFF車の場合、コーナリング時に内輪が浮き上がり、空転すると駆動力が伝達できない。この課題を解決するために、トルクセンシング型LSDをマツダスピードアクセラ専用に新開発した (Fig.3)。これによって、ハイパワーを余すところなく使うことができ、コーナリング時のトラクション性能のみならず、操縦安定性能についても改善することができた。



Fig.3 New LSD

3. FF世界最速の走り

MZR 2.3L DISIターボのハイパワーをFF車として最大限に生かすことに注力し、FF車世界最速の走りを実現した。

大径タイヤの採用でトラクション性能を向上させ、ギヤ比を最適化することで更に加速性能を向上させている。欧州市場向け車両の最高速度についても、絶対的な数値のみならず、その高速走行を日常的に楽しめるよう、サスペンションと空力特性の改善により高速安定性能を高めることで実現した。

3.1 最高速度&動力性能

ターボエンジンのポテンシャルを、スペースの狭い車載状態で余すことなく出し切るには、インタークーラーの冷却性能を向上させることが、キーポイントとなる。

マツダスピードアクセラでは、デザインへのこだわりからボンネットスクープの採用を断念した。これと同等以上のインタークーラー冷却効率を実現するために、フロントグリル上段を開口とするインタークーラーダクトを設定し、冷却風を導入している。通気抵抗を下げるために、風

洞実験と合わせてCAEを繰り返し、最適形状を見出した。また、排気系は、排気管の内径の拡大により、排気音とともに排気効率も向上させた。これらパッケージによる出力低下の要因を排除していくことで、エンジンのポテンシャルを最大限に引き出すことができた。

既に述べたトルクステアを防ぐためのエンジントルク制御は、0-60mphの加速タイムに対して不利となるが、最終的には、トルクステアやホイールスピンを抑えながら、ベストの加速タイムとなるように最適なスペックを設定することができた。また、次に述べる空気抵抗の低減を織り込むことで、最終的にEU仕様では、最高速度250km/h、0-60mile加速タイム5.9秒（国内/USA仕様は5.7秒）を達成し、FF競合他車を圧倒し、世界最速を達成することができた（Fig.4, 5）。

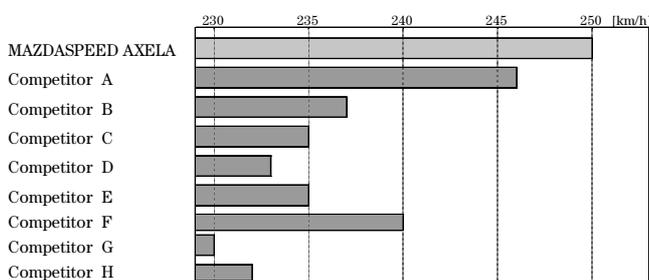


Fig.4 Maximum Vehicle Speeds

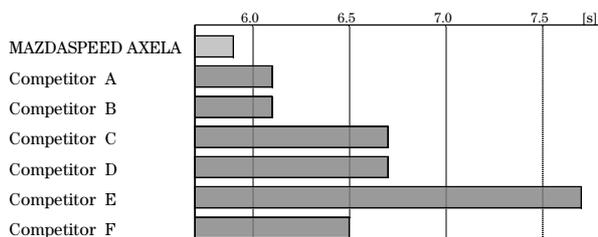


Fig.5 0-60mph Acceleration Time

3.2 空力性能

空力性能の狙いとして、1) 最高速250km/hを実現するためのCD値（空気抵抗係数）の低減、2) 250km/hに及ぶ高速域でも安定して、かつ軽快に意のままに操れる高速走行安定性の実現の2点に注力して開発を行った。

1), 2) の性能を実現するために、まず図面段階で床下の形状まで考慮した空力シミュレーションを実施し、床下/ボデーサイドにおいて効果的にCD値、CL値（揚力係数）を改善できるポイントを見出した（Fig.6）。この改善ポイントをもとに、欧州仕様5ハッチバックベース車に設定した床下パーツに加えて、マツダスピードアクセラ専用の床下パーツを追加設定した（Fig.7）。

更に、従来、風洞実験のみにより空力性能開発を行っていた試作車による育成段階において、高速での走行安定性を極限まで高めるべく、高速走行テストに空力エンジニアも参画し、サスペンションのセッティングに合わせた空力チューニ

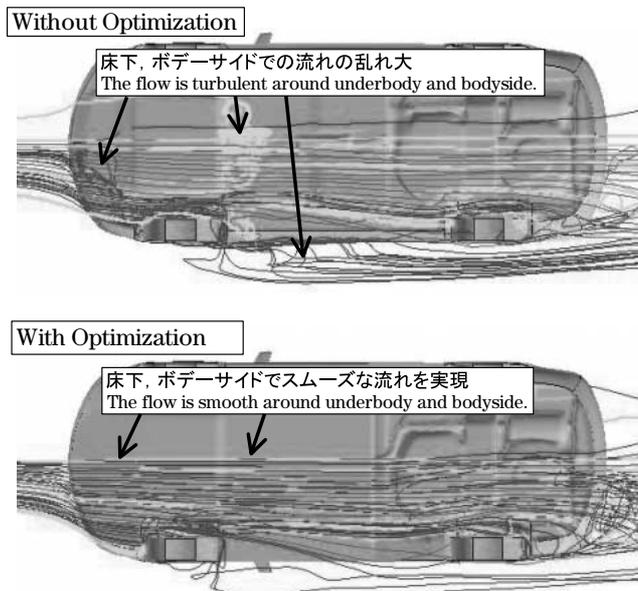
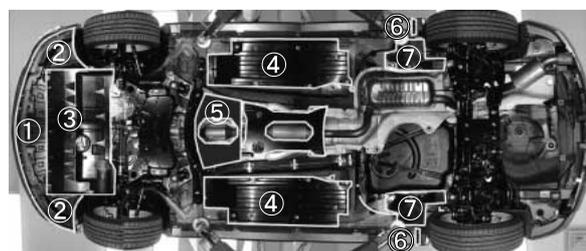


Fig.6 Aerodynamic Optimization for Underbody Using Computational Simulation



- ①Front Lip Spoiler
- ②Front Tire Deflector
- ③Engine Undercover
- ④Center Floor Undercover
- ⑤Center Tunnel Undercover
- ⑥Rear Tire Deflector
- ⑦Rear Undercover

: MAZDASPEED AXELA Specification
: Europe Specification

Fig.7 Aerodynamic Optimization Parts Installed Underbody

ングを行った。具体的には、ドイツアウトバーンでの高速走行テストにおいて、フロントタイヤデフレクタ形状の変更により、250km/hまでの高速域でも操舵時にしっかりとした手応えがあり安心して走行できる仕様を見出した。この仕様をもとに、風洞実験及びドイツのニルブルグリンクでの走行テストを重ね、ブレーキ冷却性能も考慮した上で、フロントタイヤデフレクタ形状を最適化した（Fig.8）。

以上により、CD値、CL値をそれぞれ、CクラスのFFハイパワー競合車比ではトップレベルのCD = 0.31, CLF = 0.03, CLR = 0.03にまで低減した。この空力性能の改善の結果、最高速250km/hを達成させた上、250km/hまでの高速域においても軽快かつ安心感の高い高速走行安定性を実現し、動力性能、走行安定性能の両面で「FF世界最速の走り」を実現させた。



Fig.8 Front Tire Deflector

4. 軽快なときめきの走りの演出

マツダスピードアクセラの開発にあたって、我々は単なるハイパフォーマンスカーではなく、アクセラの持つステアリングフィール、乗り心地の良さや、日常での使い勝手を犠牲にせず、快適性とダイナミック性能を高次元でバランスさせることに注力してきた。

そのために、FFならではの軽快なステアリングハンドリング、リニアなトルク感、そして刺激のかつ心地よいスポーティなサウンドなどを高次元でバランスさせ、ときめきの走りを実現した。

4.1 ステアリング/ハンドリング

(1) 狙い

マツダスピードアクセラでは、ハイパワーモデルにふさわしい“俊敏かつ正確で姿勢変化の少ない操縦安定性”と“フラットで減衰感に優れた乗心地性能”を高次元でバランスさせることを目標に掲げ開発を行った。その実現手段として次の項目に注力した。

- ① 高い運動性能を実現するためのマツダスピードアクセラ専用のサスペンションチューニング
- ② 正確なステアリング性能実現のためのステアリングギヤ支持剛性/フリクションの最適化
- ③ サスペンションからの入力を受け止めるボデー剛性の大幅な向上

(2) 構造の特徴

① 専用サスペンションのチューニング

高いコーナリング性能を実現するため215/45R18大径タイヤを採用し、ハイグリップタイヤを支える専用サスペンションを設定した。

- 1) 前後スタビライザの大径化(前 26mm,後 25mm)
- 2) 前後バネレートUP(前33N/mm,後31.8N/mm)
- 3) 専用ダンパのチューニング

② ステアリングギヤのチューニング

路面からのフィードバック感を高めるため、油圧式パワーステアリングを採用した。やや重めの味付けをしながら、ステアリングギヤマウント剛性UP(ベース車比約2倍の横剛性)、フリクションの最適化を施している。

③ ボデー剛性の向上

ベース車体から大幅な追加補強を織り込み、局部剛性とボデー剛性のバランスを向上させた。

- 1) フロントカウルメンバを補強しサスペンショントップガセットと直接結合(ストラットタワーバー効果)
- 2) リヤサスペンションタワー内倒れ低減のためロアガセット追加
- 3) アンダーフロアのトンネル部補強の大型化(#2 & #3トンネルメンバー一体化及び閉断面化)

(3) 商品性

操縦安定性能特性の一例として周波数応答特性を示す(Fig.9)。マツダスピードアクセラは競合車と比べてヨー共振周波数、ヨーレイトゲイン、ピーク定常比がすべて優位にあり、俊敏な操縦性と高いリヤグリップによる優れた安定性が両立できた。また、0.4G旋回時のロール角を競合車比較した結果を示す(Fig.10)。競合車比較では明らかに姿勢変化が少なくスポーティフィールの一助となっている。

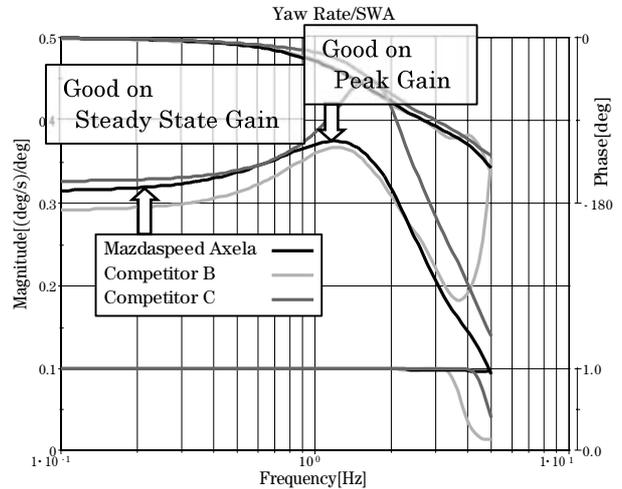


Fig.9 Frequency Response Test (120km/h)

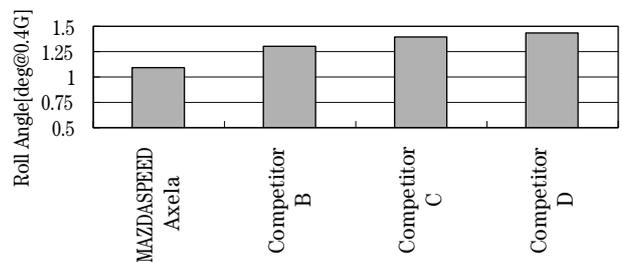


Fig.10 Roll Angle at 0.4G Cornering

4.2 スポーティサウンド

走りにふさわしいスポーティサウンドを目標とし、エキゾーストサウンドとエンジンサウンドの開発を行った。

エキゾーストサウンドについては、シミュレーションを駆使して仕様を詰め、更に細部のチューニングテストを繰り返すことで決定した。その結果、車外騒音規制と迫力あるサウンドの両立、更に心地良いサウンドを実現すること

ができた。具体的には、Fig.11に示す通りテールパイプの大幅な大径化により低周波音を強調し、サイレンサ内部構造のチューニングによりエンジン回転の4次や6次成分を強調した。これにより、始動時から迫力あるサウンドを実現し、アクセルを踏めば更にハーモニックで心地良いサウンドを実現することができた。

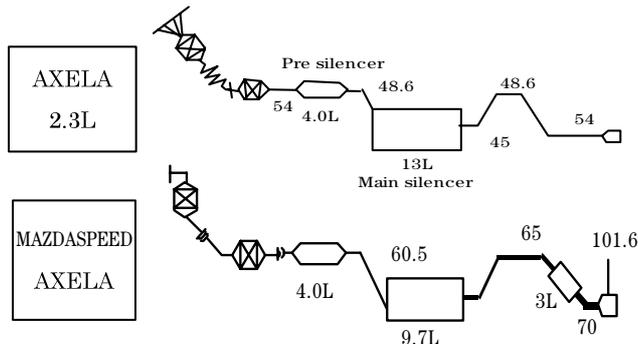


Fig.11 Specification of Exhaust System

エンジンサウンドについては、振動伝達音をチューニングした。具体的には、#3エンジンマウント部の共振を軽快な音となる周波数(300~500Hz)にチューニングし、加速時にエンジンロールすると、早く強く車内に伝わるようにマウント特性を変更した。また排気ハンガーの振動についても、ハンガーラバーの硬度アップにより狙いの周波数を、積極的に車内に入力させた。なお、これらの変更にあたっては不快な振動やこもり音などの弊害が出ないように配慮した。これにより、マツダスピードアクセラの最大の売りである“圧倒的な加速感”を味わえる場面で、軽快なエンジンサウンドを演出することができた。

Fig.12にアクセラ2.3Lとマツダスピードアクセラの全開加速時の車内音を示す。横軸はエンジン回転数、縦軸は音の周波数、色が音のレベルで、囲った部分がスポーティサウンドとして強調した2つのサウンドである。

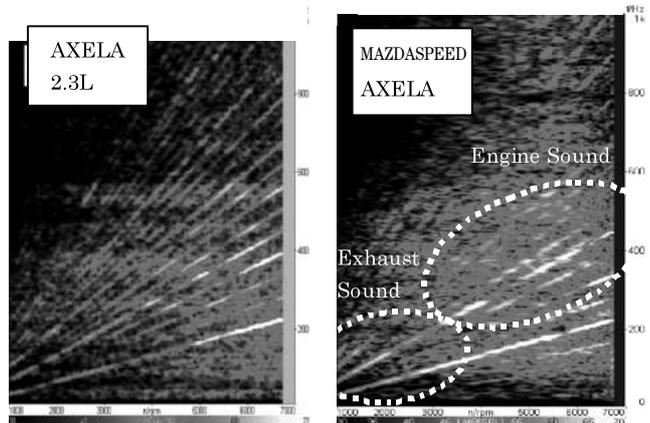


Fig.12 Sound in Car at 2nd WOT

4.3 リニア感とターボの楽しさを両立するトルク感の育成

(1) 狙い

マツダスピードアクセラでは、ドライバーが意のままに操れる「リニアな特性」と、「ターボ車としての楽しさ」を併せ持ったトルク特性を演出することを目標に開発を行った。

リニアな特性とは「エンジンの回転上昇と、ドライバーのアクセルの操作に対して、期待通りのトルクが発生すること」と定義している。

例えば、コーナ脱出時にアクセル操作に応じたトルクが発生し、思い通りに加速ができることをいう。

(2) 狙いの特性実現に向けて

① リニア感とターボらしさの両立

リニアについては、先に述べたようにある程度明確な定義があるが、“ターボ車としての楽しさ”については明確ではなかった。

私たちは全世界のターボ車を乗り比べ、チームで協議を重ねた結果、「ターボ車の楽しさは、過給によるトルクの盛り上がりを感じる加速感にある」と考えた(Fig.13のような加速度特性を表す加速感)。

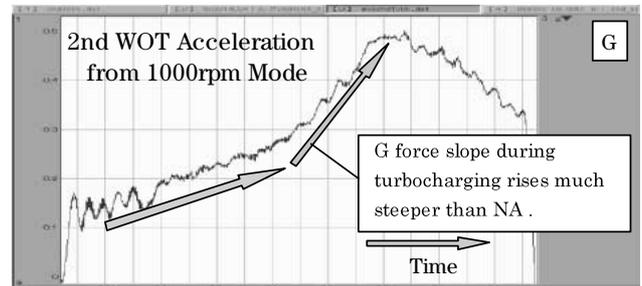


Fig.13 Conventional Turbocharger G Force

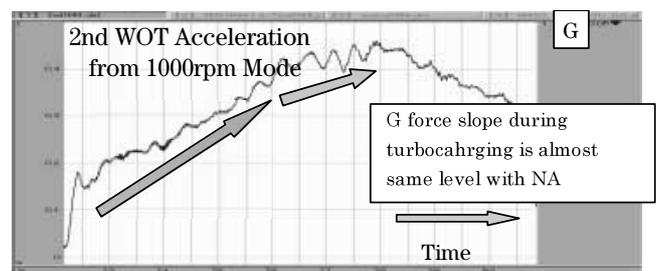


Fig.14 Linear G Force Change

しかし、このような加速度特性は扱い難しく、マツダスピードアクセラの狙いのひとつであるリニアな特性の点からは外れてしまう。逆にリニアで扱いやすさを重視したFig.14のような味付けを行った場合、ターボらしさが失われる。この相反する特性の最適値を求め、狙いの特性を実現するために、加速度の波形(G波形)からターボらしさを定量的に表現し目標設定することとした。

まず、アクセルを踏み込んだ際の過給の立ち上がり方に注目し、過給時にドライバーが受ける感覚とその時のG波形

を分析した。その結果、ドライバは4つの点から過給時の特性を判断していることが判った。その4つの視点から、“ターボらしさ”という指標を創り目標値とした。

指標に用いたポイントは下記点 (Fig.15)

- I : 過給開始時の加速度変化
- II : 過給開始から加速度が最大になるまでのG波形
- III : 加速度最大値
- IV : 過給前後のG変化

この4つの視点それぞれに目標を立て、それを達成することで、ターボらしさとリニアな特性の最適値を求めることができ、Fig.16のような狙いのトルク特性が実現できた。

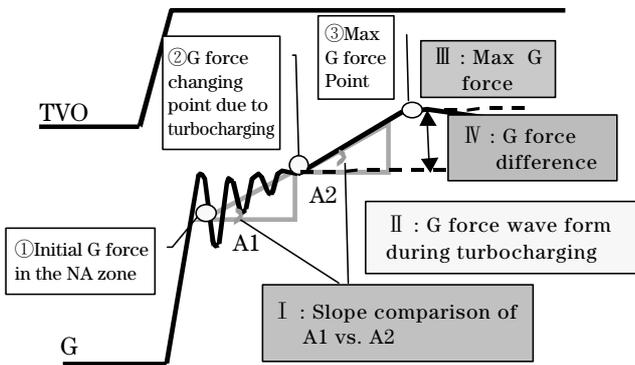


Fig.15 Definition of Turbo Engine Car G Force

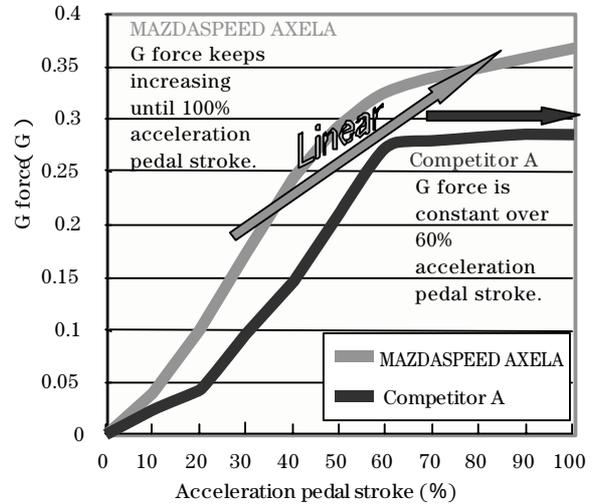


Fig.17 Correlation between Acceleration Pedal Stroke and G Force

5. おわりに

世の中にハイパワーのFF車は数多く存在するが、マツダスピードアクセラはその中でも他を圧倒するパワーを持つ。それを快適性 / 実用性を損なわずに実現させることができた。このような今までにない車を、多くの難問を解決して、世に送り出したことは我々エンジニアの大きな誇りである。

著者



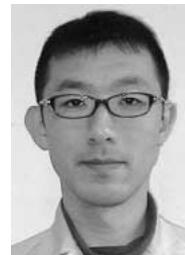
谷口正明



稲田伸一



光永誠介



岡田義浩



岡本 哲



星野彦一



八木 淳

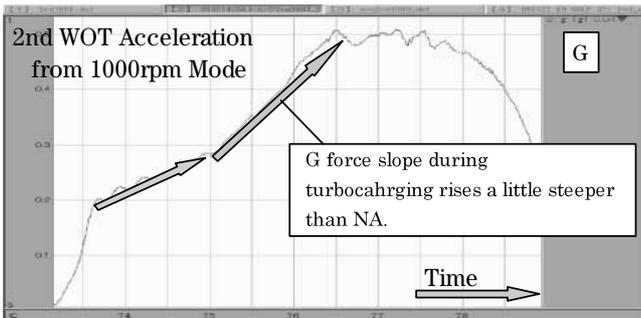


Fig.16 MAZDASPEED AXELA with Both Linear and Turbocharger-Like G Force

② アクセル操作に対するリニア感の育成

Fig.17はアクセル開度に対して発生する加速度を表した図である。

マツダスピードアクセラと競合車Aを比較したところ、競合車Aはアクセル開度60%以上から加速度の変化が見られない。マツダスピードアクセラは100%まで加速度の変化があり、どの開度からアクセルを操作しても車が反応することが判る。

マツダスピードアクセラは、ドライバのアクセル操作に対して期待通りのトルクを発生し、思い通りに加速できるリニアな特性に仕上がっており、我々の狙いを実現することができた。