

特集：新型プレマシー

3

新型プレマシー ダイナミックフィールの統一感 Development of Harmonized Dynamic Feel of New Premacy

梅津大輔^{*1} 岡本隆秀^{*2} 八木 淳^{*3}
 Daisuke Umetsu Takahide Okamoto Atsushi Yagi
 虫谷泰典^{*4} 齋藤茂樹^{*5}
 Yasuyoshi Mushitani Shigeki Saito

要約

プレマシー/Mazda 5は、グローバルに展開するコンパクトミニバンとして、欧州をはじめとする各市場でクラストップレベルのダイナミック性能を備えている。新型では開発コンセプトに「ダイナミックフィールの統一感」を掲げ、ダイナミック全体を「意のままに操れるリニアさ」で統一することを目標とした。開発にあたっては、統一感の指標を定量的に設定し、ステアリングやアクセルといった各性能において具体的に改善すべき点を明確化した。その結果、「走る」「曲がる」「止まる」のつながりの良さが大幅に向上し、ドライバにもパッセンジャーにも気持ちよいダイナミックフィールを実現した。

本稿では統一感開発プロセスの紹介を通して、新型プレマシーのダイナミック性能の特徴を解説する。

Summary

Premacy has top-level vehicle dynamics in Europe and other markets as the compact minivan sold globally. The development of new model focused on “Harmonized Dynamic Feel” to achieve “linearity that enables operation as intended”. By setting due parameters, improvement needed in each attribute has been identified. The linearity among “driving”, “turning”, and “stopping” feel has improved to deliver dynamic feel for drivers and passengers.

This paper describes the development process for “Harmonized Dynamic Feel” and Premacy’s vehicle dynamics characteristics.

1. はじめに

マツダ プレマシー/Mazda 5は、日・欧・米をはじめとする各市場にグローバルに展開するコンパクトミニバンである。前モデルでは、マツダのダイナミックDNAである「反応の優れたハンドリングと性能」を実現し、各市場においてクラスベストの「走りの軽快感」を提供してきた。一方で近年、特に欧州市場においてはミニバン市場の活性化によりクラス全体のダイナミック性能レベルが底上げされつつある。そこで新型車の開発にあたっては、プレマシーの特徴である軽快な走りはそのままに、ドライバが意のままにクルマを操れる「リニアさ」を大幅に改善することをコンセプトに掲げ、改めてミニバンクラスベストの「運転の気持ちよさ」を達成することを目標とした (Fig.1)。

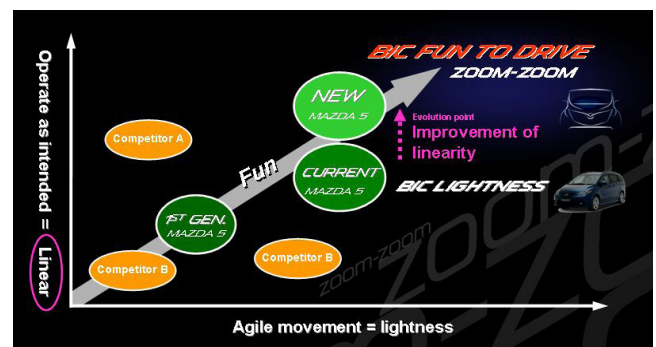


Fig.1 Development Concept

*1~3 走行・環境性能開発部
 Drivability & Environmental Performance Dept.
 *5 車両開発推進部
 Vehicle Development Promotion Dept.

*4 操安性能開発部
 Chassis Dynamics Development Dept.

2. ダイナミックフィールの統一感

2.1 開発プロセスの特徴と考え方

車両の「リニアさ」を大幅に改善するためには、走る、曲がる、止まるといった個々のダイナミックフィールを全てリニアな特性とし、車両全体としてリニアなキャラクタにまとめることが重要である (Fig.2)。この考え方を、我々は「ダイナミックフィールの統一感」と呼び、性能開発の柱としている。

統一感のある車両を創り上げるために、マツダでは各性能領域の担当者が横断的にタスクフォースを組んで、互いの影響を確認しながら開発を進めている。この活動では、ダイナミックフィールの目標を物理量で定量的に設定し、それを各担当者間で共有することが最も重要となる。本稿では、その活動の具体的な内容を紹介しながら、新型プレマシーの特徴について解説する。

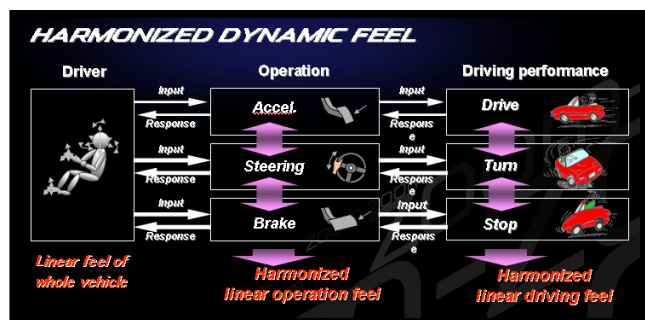


Fig.2 Concept "Harmonized Dynamic Feel"

2.2 統一感の定量指標 (G-Gダイアグラム)

ドライバが交差点やワインディング路でコーナを曲がろうとすると、通常ははじめに直線でブレーキを踏んで減速を行う。これによってフロントタイヤへの荷重を増加させ、曲がりやすい状態を作ったうえで、ブレーキを戻しながらステアリングを切り込む操作を行い、定常旋回運動へとつなげる。その後、曲がり終えて直線へ戻るときには、ステアリングを戻しながら徐々にアクセルペダルを踏み足して直線加速へと移行する。このように、一般的な走行シーンの中では減速→旋回→加速という一連の連係操作と運動が多く見られる。そこで我々は、ダイナミックフィールの統一感を向上させるためには、減速、旋回、加速という各運動間の連係性、すなわち「G (加速度) のつながりの良さ」を進化させるべきと考えた。そこで「Gのつながりの良さ」を定量的に目標設定するためのツールとして、各運動の連係状態を一度に評価可能な指標を検討した。

各運動を全体的に表現する手段の一つとして、前後及び横方向のGをX-Y座標にリサージュ図形として表した「G-Gダイアグラム」がある (例えばFig.3)。レースの世界においては、限界走行時のG-Gダイアグラムの形状と大きさ

を「タイヤの摩擦円」の概念に置き換えて、車両自体の運動限界を表現する手法として用いられる¹⁾。レース車両の場合には、摩擦円の淵に沿って運動限界まで余すことなくタイヤグリップを使っているかどうかを評価するために用いられる。一方で乗用車の一般的な走行におけるG-Gダイアグラムの意味を考えると、その形状はGのベクトルと大きさの時間経過を表した軌跡であり、前後及び横方向のGの連係を定量的に表現している。このため、低速での交差点右左折などタイヤグリップの限界に至らない一般領域においては、この形状を用いて減速→旋回→加速の「Gのつながりの良さ」を評価できると考えた。そこで今回は、速度30~50km/h程度の日常的に良く使われる車速帯においてG-Gダイアグラムを指標として用いることにした。なお本稿におけるX-Yグラフでは、直感的理解がしやすいよう、便宜的にX:横G, Y:加減速Gとして表示する。

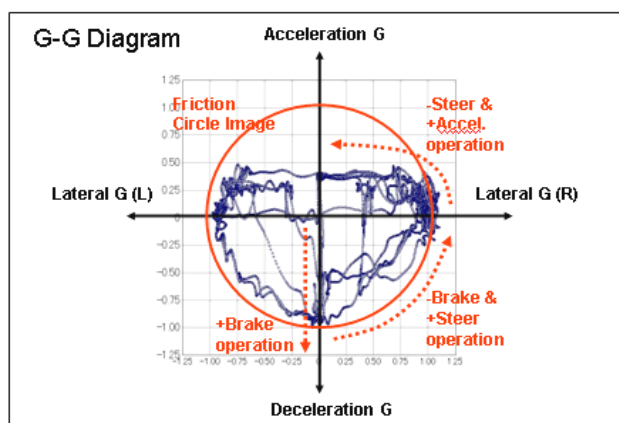


Fig.3 G-G Diagram (Limit Driving at Test Circuit)

2.3 G-Gダイアグラム形状の目標設定

では、「Gのつながりが良い」とは具体的にどんな状態であろうか。前述したように、交差点等のコーナを通過するときには通常、減速→旋回→加速という流れでGのベクトルが変化する。ここでいうつながりの良い状態とは、このベクトル変化が連続的、すなわち前者が徐々に減少すると同時に後者が徐々に増加する状態である。これをG-Gダイアグラム上で表現した場合、ひとつのコーナリングが描くG-Gの形状は、減速Gと横G、加速Gのピーク点をつなぐ円形になる。このような運動の場合、乗員の頭部は円を描くような揺れ方となり (Fig.4)、官能評価では安定した身体保持がしやすかった (社内評価結果)。

逆にGのつながりが悪い状態とは、この変化が断続的、あるいは唐突な場合であり、乗員はギクシャクした車両の動きを感じてしまう。これはG-Gダイアグラムでは十字形となり、正にGの連係がなされていない状態である。この場合、乗員の予測と車両運動との不一致によって身体保持がしにくく、特に拘束されていない頭部は各方向に度々振られることとなり、身体的な負担感や違和感が大きかった。

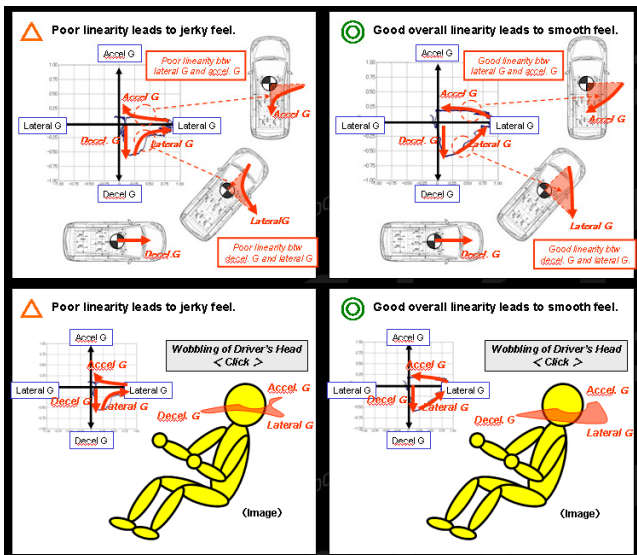


Fig.4 Example of G-G Shape

Fig.5は最大Gが同じで、G-Gの形状が円形、及び十字形と異なる車両運動を行った際の、後席パッセンジャ頸部の胸鎖乳突筋（SCM）の筋電図の一例である。SCMは、加速G及び横Gによって身体に作用する慣性力に対応して、頭部の姿勢を保持する筋である⁽²⁾⁽³⁾。G-G円形運動の場合には、コーナリングの開始から徐々に筋活動が始まり、終了までほぼ一定レベルの安定した活動を続けている。一方G-G十字形運動の場合には、横G及び加速G発生のために筋活動が応答し、ピーク点が複数現れている。これは短い時間の間に筋が収縮と弛緩を繰り返している状態である。両者の筋電図を全波整流・積分して相対比較した右側の図からは、G-G円形の場合、十字形と比較してターンインの際の筋負担が平均して7%程度低減することがわかった。以上から、最大加速度が同じ車両運動であっても、G-Gダイアグラムの形状によって乗員の筋負担には差異が生じること、またG-Gが十字形であるよりも円形であるほうが乗員の筋負担を低減できることを明らかにした。

G-G円形コーナリングについては、乗員の身体負荷以外においてもその意味が報告されている。山門らの研究⁽⁴⁾では、一般走行領域においてG-Gダイアグラムを円形にするエキスパートドライバの走りを車両運動学的に解析した結果、これが各輪タイヤへの負荷が最小となるような運転ストラテジであることが明らかにされている。

以上から、コーナリングにおけるG-Gダイアグラム形状が円形となることを、車両運動全体の達成目標として設定した。

2.4 車両特性によるG-Gダイアグラム形状の違い

これらのG-Gダイアグラムの形状、すなわちGのつながり方は、文献⁽⁴⁾⁽⁵⁾でも報告されているようにドライバのスキル、運転操作方法によって異なったものとなる。一方で、ドライバを同一に固定した場合、車両側の操作系、応答性といった動特性によってもG-Gの形状は異なることが考えられる。そこで、様々なタイプの乗用車を、同一のドライバが同一のコース、速度で同様に運転した際の、各車のG-Gダイアグラムを測定した。結果の一例をFig.6に示す。

車両AからFまでの6台を比較すると、減速Gと横G、加速Gそれぞれの最大値はほぼ同じであるが、G-G形状は円形から十字形まで幅広くばらついている。ドライバはコースを同様に走ろうとしているから、このばらつきは主に車両特性の違いによるものと考えられる。また、官能評価の結果からは、車両AのようにG-Gが円形になるほど、意のままに操れるリニアさが良く、車両Fのように十字形になるほどリニアさが悪いことがわかった。

以上から、同一ドライバが同じように運転をしても、車両特性が異なれば描くG-Gダイアグラムの形状も異なることがわかった。そこで、G-Gが円形になりやすい車両の特徴を分析し、その要因となる物理特性を明らかにすることを試みた。

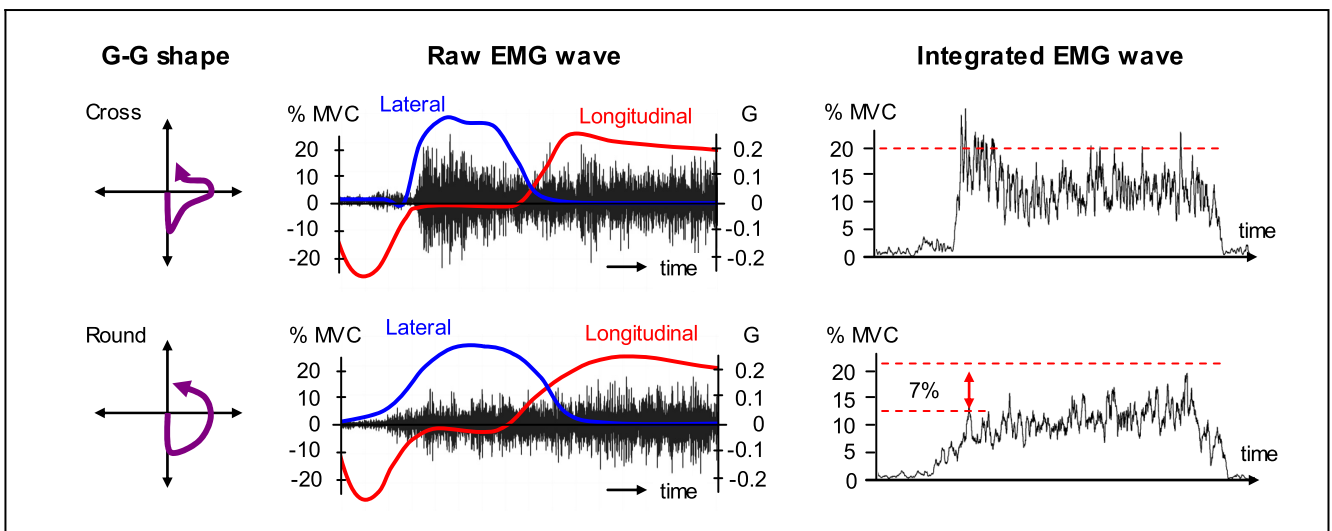


Fig.5 Activity Pattern of Neck EMG

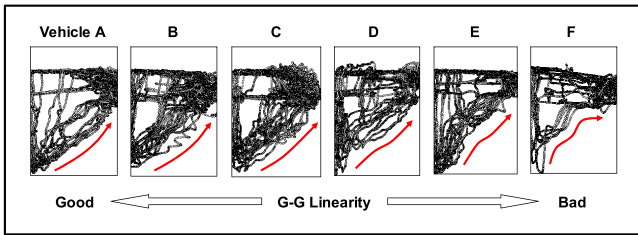


Fig.6 Majored G-G Shape

2.5 運動目標の達成手段

一般走行領域におけるG-Gの形状を決定する車両側の特性としては、おおまかに①ドライバの操作入力に影響する操作系のフィードバック特性、②操作入力に対するGの過渡応答性、という要因が考えられる。そこで、G-G形状に差異が認められた車両AからFまでの6台について①と②の特性を調査した。

①操作系フィードバック特性については、ブレーキとステアリング、あるいはステアリングとアクセルの操作フィールが、それぞれ連係操作しやすい特性となっていることが重要である。このときの連係操作は、Fig.7に示すようにA.ブレーキペダルを戻しながらステアリングを切る、B.ステアリングを戻しながらアクセルペダルを踏む、となるのが理想的である。そこで、どのようなフィードバック特性であればドライバに連係操作を誘導することが

できるのかについて検討した。その結果、全体の傾向として「操作量に対して、フィードバックの増加・減少に急激な変化点がなく、どちらかという線形に近い滑らかな曲線の変化である」場合には、入力がFig.7のような連係操作になりやすいことがわかった。

②操作入力に対するGの過渡応答性については、入力増加に対するGの増加がリニアであるだけでなく、戻し操作に対するリニアなG減少も必要であることがわかった。

以上の検討結果を全体概念図にしたものがFig.8である。この図のように、ドライバの操作入力に対して、各操作系のフィードバック特性をリニア化すること、また各運動のG応答性もリニア化することによって、ドライバー-車両系全体の入出力をリニア化することができ、結果的にG-Gダイアグラムが円形となる状態をつくることのできる。この考え方を基に、前モデルの改善すべき点を明らかにした。

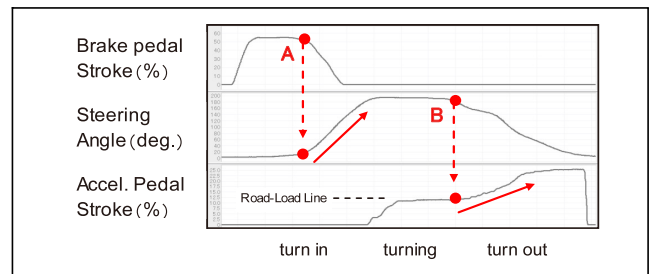


Fig.7 Example of Good Operation

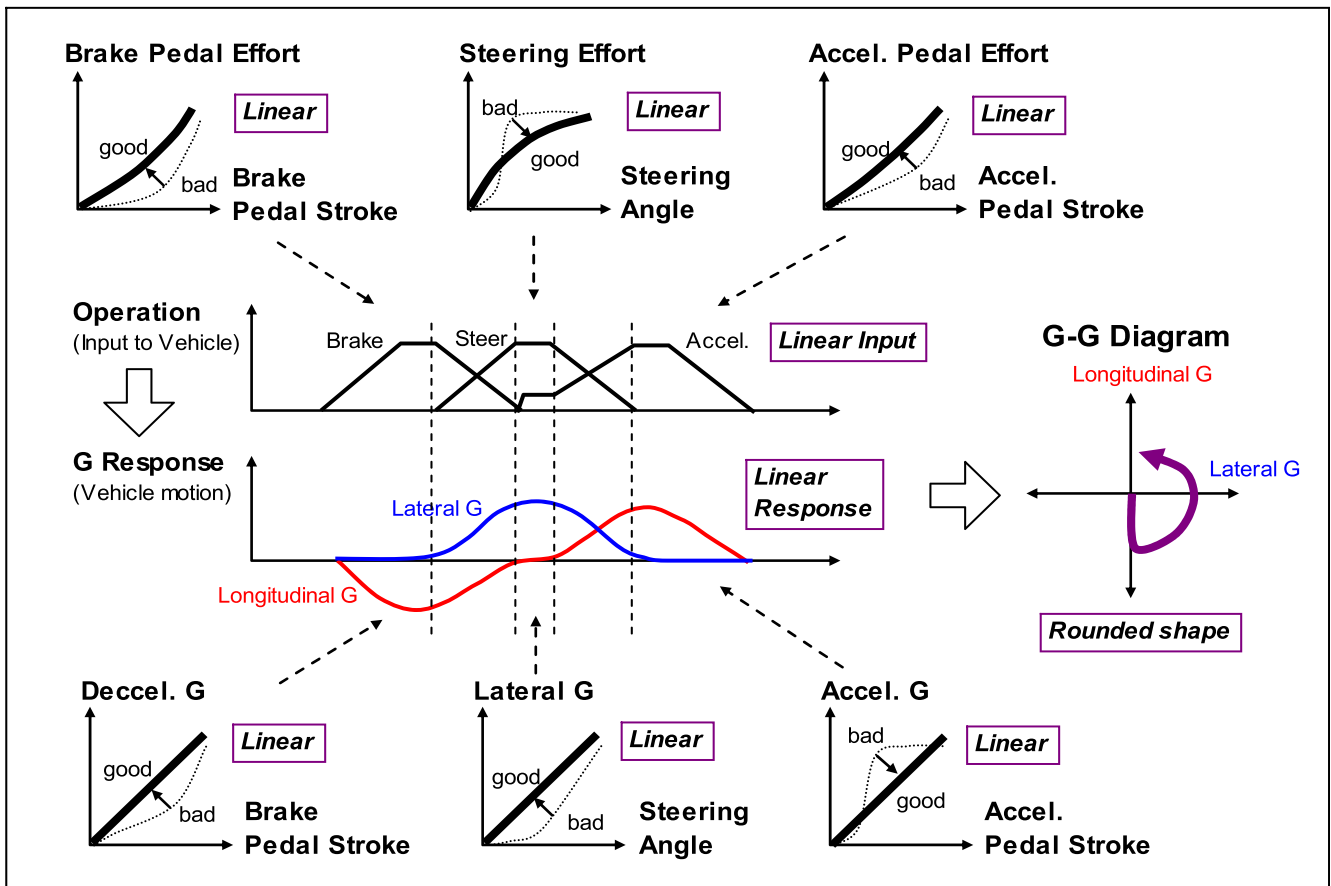


Fig.8 Operation-Dynamics Interaction Image

2.6 車両特性の目標設定

Fig.8に示した、G-Gダイアグラムの形状を円形にしやすい理想的な車両特性に対して、前モデルの特性を評価・分析した。その結果、新型で改善すべき性能項目として、

①操作系のフィードバック特性については、

- ・操舵角入力に対する操舵力フィードバックのリニアさ

②Gの過渡応答特性については、

- ・操舵角入力に対する横G応答のリニアさ

- ・アクセルペダル入力に対する加速G応答のリニアさ

が挙げられた。これらの改善目標を、操縦安定性能及び走行性能担当をはじめとした開発メンバ全員で共有した。

2.7 光るシーンの設定

以上の改善目標達成のため、新型プレマシーはパーキングなどの極低速域からヨーロッパのアウトバーンの高速域まで、あらゆる走行シーンにおいてテストを行った (Fig.9)。その中でも、日常的に使用されるミニバンの代表的な走行シーンである交差点右左折を「ダイナミックフィールの光るシーン」として設定し、特に注力して走行データを計測した。以後に示すデータはすべて、交差点右折を想定した右コーナリングにおける測定結果である。具体的な走行モードは、速度30km/hから減速して交差点に進入、右折して、再度30km/hまで加速（一時停止は行わない）とした。



Fig.9 Prototype Test in Europe

3. 新型プレマシーのダイナミックフィール

3.1 ステアリングフィードバックのリニアさ改善

操舵角入力に対する操舵力フィードバックのリニアさを改善するため、ステアリングシャフトヘラバーカップリングを追加し、操舵力のビルドアップを全体的にリニア化した (Fig.10)。これにより、ドライバはスムーズかつリニアな操舵角入力をしやすくなった。また、センター中立付近に適度なヒステリシスを設けることで、ステアリングに伝わるフィードバック情報の密度が高く、路面外乱に寛容となった。そのため高速走行における路面外乱安定性が改善され、ドライバの安心感も大幅に向上した。

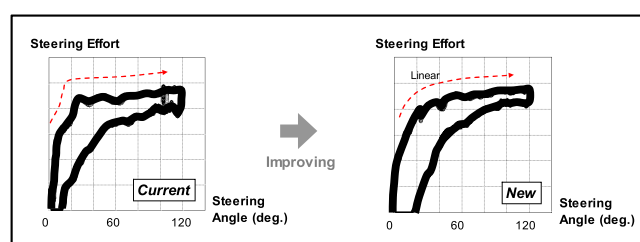


Fig.10 Steering Angle vs. Effort (Feedback)

3.2 ステアリング横G応答のリニアさ改善

操舵角入力に対する横G応答のリニアさを改善するため、シャシーの基本的な構成要素であるスプリング、ダンパ及びスタビライザに対してチューニングを行った。具体的には、極低速から限界域まで基本的に弱アンダーステア特性となるよう、ベースモデルに対して前後ロール剛性バランスを変更した。その結果、操舵角入力と車両のヨー応答に対する横G及びロール応答の位相遅れを短縮し、全体的にリニアな操縦感覚を実現することができた (Fig.11)。特に操舵初期においては横G応答遅れを大幅に改善、アンダーステア感を低減した。また乗り心地に関しては、減速Gと横Gのつながりが改善したことによって軽快感のあるダイアゴナルなロール姿勢を実現し、乗員の安心感を向上させている。

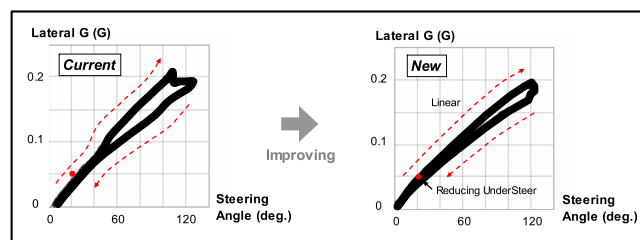


Fig.11 Steering Angle vs. Lateral G

3.3 アクセルー加速G応答のリニアさの改善

アクセルペダル入力に対する加速G応答のリニアさを改

善するため、各エンジンのエレキスロットル入出力特性をチューニングした。日本・欧州向けコアガソリンエンジンであるi-stop付き2.0L DISIでは、ペダル開度に対するエンジントルクの割付けをほぼ均等化することで、Fig.12に示すようにドライバのペダル操作に対するGの過渡応答特性を線形化した。これよりリニアフィールが向上し、これまで以上にドライバの意に沿った加速が可能となった。

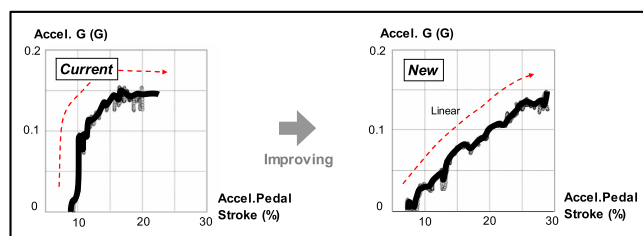


Fig.12 Accel. Pedal vs. Accel. G

3.4 ダイナミックフィール全体の統一感

以上の各性能項目の改善により、交差点右折モードにおけるG-Gダイアグラムの形状は、前モデルの十字形から理想に近い円形へと改善した (Fig.13)。具体的には以下の改善効果を組み合わせることで、G-G形状を円形化することができた。

- ・ステアリングフィードバックのリニアさ改善により、ドライバのブレーキ戻し操作に係して操舵しやすくなったこと
- ・ステアリング横G応答のリニアさ改善により、減速Gの減少に係して遅れなく横Gが増加するようになったこと
- ・アクセル加速G応答のリニアさ改善により、横Gの減少に係して適切に加速Gが増加するようになったこと

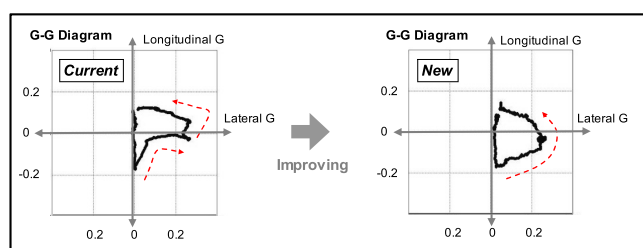


Fig.13 G-G Diagram of New Premacy (Right)

このように新型プレマシーでは、目標である「Gのつながりの良さ」を大幅に改善することで、ダイナミックフィール全体のリニアさを向上し、統一感を進化させることができた。

4. まとめ

新型プレマシーは「ダイナミックフィールの統一感」を開発コンセプトとし、G-Gダイアグラム等の定量的な指標を用いて目標を設定と開発を行った。その結果、操作系のフィードバック特性とGの過渡応答性を改善し、ミニバントップレベルのGのつながりの良さを実現、リニアフィールの向上を達成した。

マツダでは、今後も「統一感」をキーワードに車両全体の動的質感向上に取り組む。

参考文献

- (1) William L. Milliken : RACE CAR VEHICLE DYNAMICS, SAE (1995)
- (2) Iwamoto, Y. : Analysis of a driver's neck muscle activity and acceleration of a vehicle, Neurosci. Res.55, Suppl.1, p59 (2006)
- (3) Ozaki, S. : Can we evaluate Kansei by physiological measurement? , Kansei Engineering International 6, p25-28 (2006)
- (4) 山門 誠 : 横運動に係して加減速を制御する車両の横運動特性に関する検討, 自動車技術会学術講演会前刷集 No.8-08, p9-14 (2008)
- (5) 原中喜源 : サーキットのコーナー進入における旋回制動時のプロドライバと一般ドライバの運転挙動の比較, 人間工学 Vol.46, No.1, p68-78 (2010)

■ 著 者 ■



梅津大輔



岡本隆秀



八木 淳



虫谷泰典



齋藤茂樹