

特集：新世代商品群の生産技術

29

「人馬一体」を実現する 動的ホイールアライメントの造り込み Building Quality of Dynamic Wheel Alignment to Realize “Jinba Ittai”

福永 明*1 Akira Fukunaga	井上 大河*2 Taiga Inoue	土井 洋子*3 Yoko Doi
高本 尚志*4 Takashi Takamoto	金 壯憲*5 Changhun Kim	鈴木 竜司*6 Ryuji Suzumura

要 約

マツダは、“人間中心のものづくり”を一貫した哲学として掲げ、まるで自分の体の一部のように動かせる、ドライバーの意思とクルマの動きの一体感を追い求める。そこにある安全に、快適に、思いどおりに操れる走りこそ、マツダの目指す「人馬一体」である。それを実現するために、人間特性に合わせた車両運動特性を定義し、車両組立工程においてはその車両運動特性を忠実に実現する車両構造設計と生産工程設計を行う活動に取り組んできた。現状は四輪ダイナミックアライメントテスターにより空車状態のホイールアライメントを保証している。更に、車両運動特性に直結する走行中のタイヤの動きをねらいどおりにコントロールすべきと考え、車高変化に応じたホイールアライメントの変化量（以下動的ホイールアライメント）に着目した。本稿では新型MAZDA3の量産準備での動的ホイールアライメントの造り込み活動の事例を報告する。

Summary

Under its consistent “Human-centered Monotsukuri” philosophy, Mazda pursues a sense of oneness between the driver’s intention and the vehicle’s behavior, the sense that a driver and a vehicle become one as if the vehicle were a natural extension of the driver. Driving performance that ensures safety, a sense of comfort and handling just as wanted, which is realized by this sense of oneness, is what Mazda aims at “Jinba-Ittai”. In order to realize this, we worked on a project in which we defined vehicle motion characteristics matched with human characteristics and then designed vehicle structures and production processes so that these vehicle motion characteristics could be realized accurately in the form of a product in the final assembly phase. In the current status we guarantee the wheel alignment in the empty condition by the All-Wheel Dynamic Alignment Tester. Additionally, in order to control the movement of rolling tires, as intended, which is directly linked to the vehicle motion characteristics, we focused on the variation of wheel alignment with respect to the change in vehicle height (hereinafter referred to as Dynamic Wheel Alignment). This article introduces the efforts made in the process of building the quality in Dynamic Wheel Alignment in preparation for mass production of the All-New Mazda3.

Key words : Vehicle Dynamics, Suspension System, Driving Stability, Dynamic Wheel Alignment

1. はじめに

マツダは中期経営方針に基づき、更なる本格的成長を

目指している。生産技術領域の取り組みの3本柱は【魂動デザイン】【燃費】【人馬一体】の更なる進化で、お客様に生涯顧客になっていただけることを目指している。

*1～6 車両技術部
Painting, Trim & Final Assembly Engineering Dept.

その実現に向けて、「人馬一体」では安全に、快適に、思いどおりに操れ、いつまでも楽しみたくなる気持ちよい走りの実現を目指している。ドライバーの意図どおりにクルマが動くこと、人の感覚に合った車両応答が得られることを「マツダらしい操縦安定性」ととらえ、付加価値としたい。これを量産車で実現するには、路面との唯一の接点であるタイヤの姿勢を全ての走行シーンにおいてねらいどおりに造り込むことが重要である。本稿では、「マツダらしい操縦安定性」を動的ホイールアライメントに落とし込み、量産工程で実現させるプロセスを構築し実践した内容を報告する。

2. 動的ホイールアライメント

2.1 動的ホイールアライメントとは

従来は、構成部品の寸法公差を管理した上で、完成車両静止状態でのイニシャルアライメントを調整し、完成車の動的ホイールアライメント品質を提供してきた (Fig. 1)。

一方、お客様がクルマを走行させるシーンでは段差の乗り越えや加速、減速時の車両姿勢変化、コーナリング中の車両の傾きなどに応じてタイヤは常に上下にストロークし、ストローク量に応じてタイヤの姿勢は変化する。そこでマツダは車両静止状態だけでなく、動的なホイールアライメントの変化までも工程内で造り込むことが更なる人馬一体の実現につながると考え、評価指標に動的ホイールアライメントを加えた (Table 1)。

Table 1に示すように、付加価値である安全、快適、楽しみの全ての項目は動的ホイールアライメントと密接に関わり合っている。特に◎の欄は寄与度が大きい項目である。

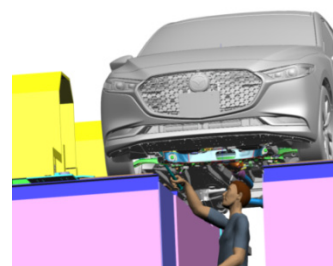


Fig. 1 Adjustment of Initial Wheel Alignment

2.2 動的ホイールアライメントの構成要素

タイヤの姿勢はホイールアライメント ((1)トー角, (2)キャンバー角, (3)キャスター角) の3つの角度で表される。車高は、フェンダー下端からホイールセンターとしている (Fig. 2)。

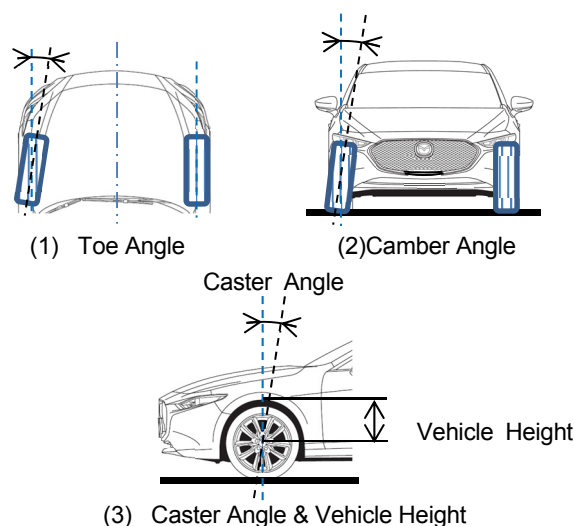


Fig. 2 Wheel Alignment

Table 1 Relationship between Value and Characteristics

Value		Inclination by Dynamic Characteristics	Dynamic Wheel Alignment				Friction of Damper
			Initial wheel alignment				
			Toe Angle	Camber Angle	Caster Angle	Vehicle Height	
Safety	Damping to Roll and Road Surface Input	◎	○	○		◎	○
	Straight Driving Stability	○	◎	◎	◎		
	Vehicle Attitude During Acceleration and Deceleration	○	○	○	○	○	◎
Comfort	Ride Comfort	○	○	○		◎	○
Precise Response	Linearity of Steering and Yaw Movement	◎	○	○	○		◎
	Line Traceability	◎	○	○	○	○	○

◎ : Strong Relationship ○ : Relationship

走行中などタイヤが上下にストロークし車高が変化する際、サスペンションのジオメトリーにより、これらの3つの角度も合わせて変化する。車高とトー角の関係を示す (Fig. 3)。動的ホイールアライメントは車高とアライメントの関係が設計のねらいである実線上を変化することが理想である。しかし量産状態においては、部品寸法のバラツキなどから点線の範囲内で動的アライメントのバラツキが発生する。

このバラツキをねらいどおりの実線状態に近づけるためには、①イニシャルアライメント、②車高、③グラフの傾き (以下、動特性の傾き) をコントロールできる必要がある、この3つが動的ホイールアライメントの構成要素である。

2.3 動的ホイールアライメントの目標値の設定

従来、生産技術では図面規格を基に寸法バラツキを小さくすることを価値ととらえて、クルマ造りを行ってきた。しかしながら、今一度本来のお客様志向における付加価値を高める業務はどうあるべきかを考え、付加価値を起点とし、それを車両運動特性、構造モデルに置き換え、構造・工法を同時に開発し量産車に織り込む業務プロセスへと変革してきた。この業務プロセス変革の上で、生産技術者自身も動的ホイールアライメントの違いを試乗により納得し、全てのお客様にねらいの運動特性を提供できる目標値を設定した。

(1)付加価値の肚落ち

生産技術部門としても目指す付加価値を肚落ちするために活動を行った。動的ホイールアライメントに関係する項目として、車高・動特性の傾きのバラツキに着目し、それぞれ意図的に2~3水準の寸法特性とした完成車を準備し、生産技術部門のメンバーで試乗を行った。試乗の結果、ほとんどのメンバーが図面中央値を再現した車両に対して完成車のバラツキ実力最大を再現した車両でフィーリングの悪化を感じ、当活動における付加価値向上の重要性を肚落ちした。

(2)目標設定

車高と動特性の傾きについて目標を設定した。車高の目標は操縦安定性の評価指標を用い、全てのお客様にねらいの操縦安定性を感じてもらえるレベルを目標値とし、既存車の車高バラツキから約30%減とした。この目標値は操縦安定性の向上だけでなく、デザイン性の向上や燃費の向上にも寄与するものである。動特性の傾きの目標値は車両のステアリング特性の指標の一つであるスタビリティファクター⁽¹⁾と動特性の傾きの関係をシミュレーション検証した結果から算出し、既存車の動特性の傾きバラツキから約22%減を目標とした。

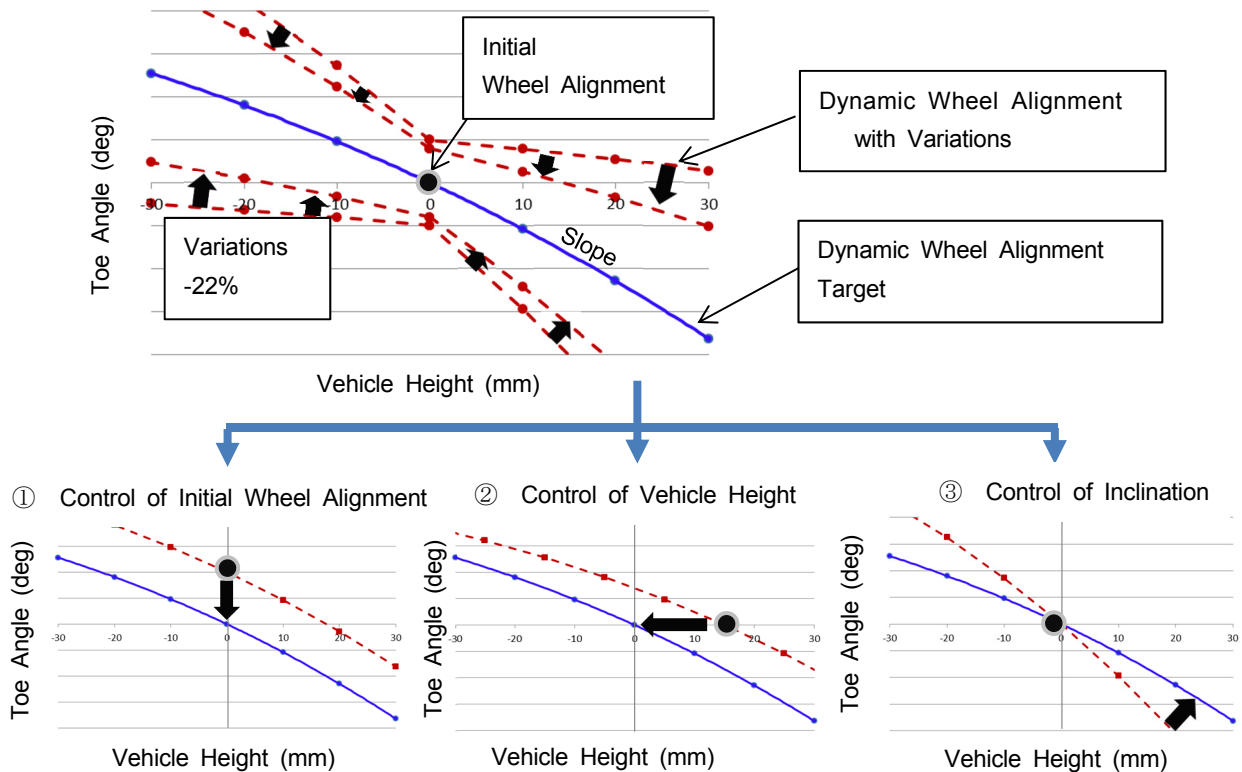


Fig. 3 Control of Dynamic Wheel Alignment

2.4 アライメントUCF

前項で設定した新たな目標を達成するためには、関連する因子の影響度を詳細に把握できた上で有効な対策を行う必要がある。しかし、完成車状態で測定できる検証方法からは、影響因子別の要因分析が困難であった。そこで新たにサスペンションユニット状態での検証が可能なアライメントUCF (Unit Coordination fixture) を検証ツールとして活用した。アライメントUCFによる検証の目的は構造モデルと実機の差を要素分析することであり、影響因子別 (①部品寸法影響, ②ボディー寸法影響, ③組立順序や④工法の影響など) に分離して検証が行える (Fig. 4)。

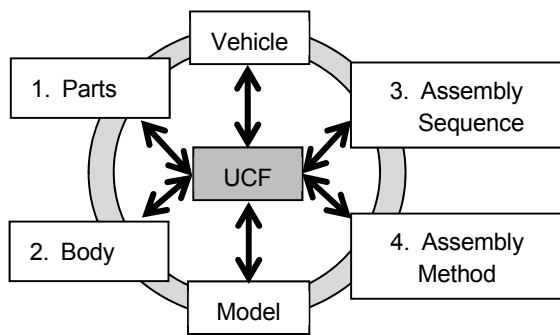


Fig. 4 Conceptual Diagram

アライメントUCFは次に示す4つの機能をもつ (Fig. 5)。
 ①サスペンションユニットとボディーの締結部位を正寸で再現。
 ②タイヤ接地面高さを自由に昇降させることで車高変化を再現。
 ③ストラット上部とタイヤ接地面下部にロードセルを配置することで、タイヤ接地反力とストラット反力を同時に測定。
 ④締結部位のハードポイントを位置変更可能な構造としており、シムを挿入することで部品のバラツキを再現。

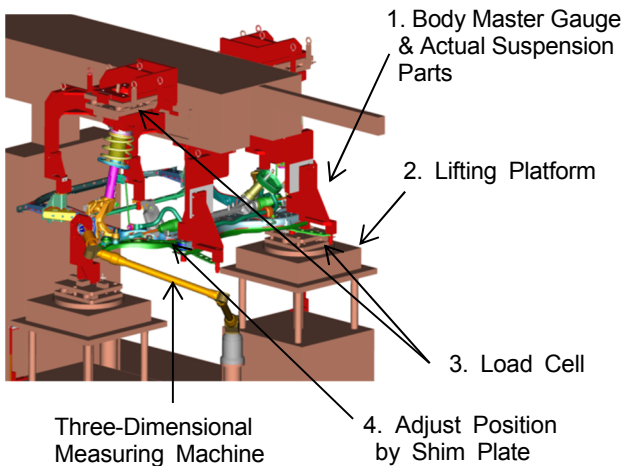


Fig. 5 Alignment Unit Coordination Fixture

このアライメントUCFにサスペンションをセットし、三次元測定機を用いてホイールアライメント、部品の取り付け位置、リンク類の形状変形等を計測することで、影響因子別とその影響量を定量的に計測することができるようになり、この結果をフィードバックすることで、構造モデルの精度を向上できる。

3. 車両構造/工程の造りこみ

従来のクルマ造りに加えて、動的ホイールアライメントの品質向上を実現させるプロセスを新型MAZDA3で構築した。先に述べた動的ホイールアライメントの3つの構成要素 ①イニシャルアライメント, ②車高, ③動特性の傾きについて、モデルの検証と車両構造、そして工程設定を通じた取り組みを以下に紹介する。

3.1 アライメントUCFを活用したモデルの実機検証

ADAMS等のサスペンションユニット単位で行うシミュレーションと実車の差について要因分析を行う場合、ボディーや部品寸法のバラツキが相互影響している実車測定値を用いての比較は困難である。そこで、モデルと同じユニット単位で、影響因子別に分離検証が可能なアライメントUCFを実機検証ツールとして活用した。

はじめに、リアサスペンションのイニシャルアライメント検証事例を紹介する。新型MAZDA3のリアサスペンション構造を示す (Fig. 6)。

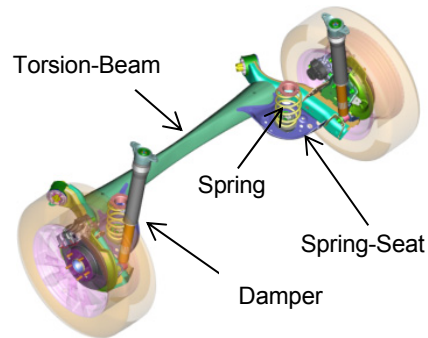


Fig. 6 Rear Suspension

新型MAZDA3のリアサスペンションはトーションビーム形式 (以下TBA) を採用している。

TBA形式のサスペンションは軽量かつスペース効率の良さを高め、力の伝達を滑らかにすることができている。一方でTBAは、アライメントを調整する構造を有しておらず、また曲げ剛性による変位によってホイールアライメントを変化させるため、精度良く曲げ変位によるホイールアライメント変化の関係を把握しておく必要があった。そのため、TBA単品状態 (無負荷状態) と完成車静的な状態 (1G状態) のホイールアライメントの変化量をモデルと実機で比較検証を行った。この結果、モデルと

実機には0.05degの差があり、このうち0.03degについては解析条件を見直した。残る0.02degについて検証を行うために、アライメントUCFを活用し車両組立工程内での組み付け作業を手順どおりに再現しながら、各作業単位でアライメントの変化を計測した (Fig. 7)。

この結果、ダンパーロアブッシュを締結する際に、ブッシュを挟み込むブラケットとブッシュの隙間の変化に連動しブラケットが撓み、ブラケット固定されているTBA本体が変形することでアライメントに影響を与えることが分かり、新たな影響因子として明らかにできた (Fig. 8)。これらの検証結果をモデルや車両構造へフィードバックし、ねらいの特性の造り込みを実施した。

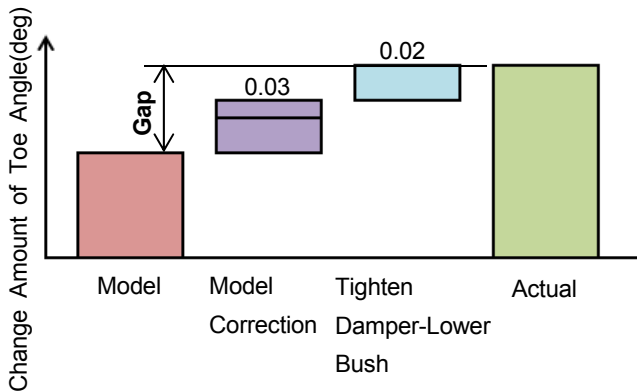


Fig. 7 Factor of Gap

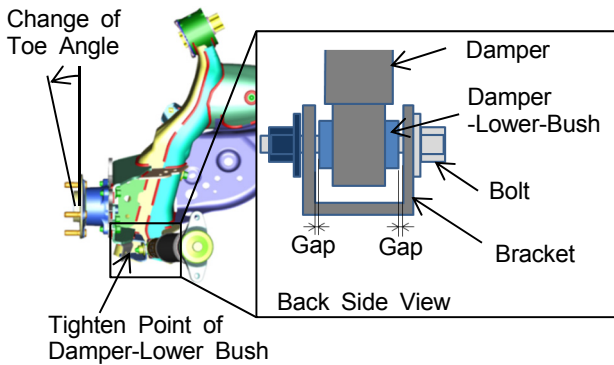
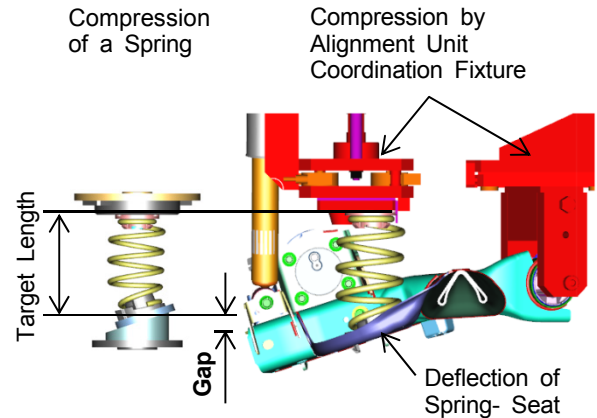


Fig. 8 Image of Toe Angle Change

2つ目に、リアサスペンションの車高検証事例を紹介する。車高はTBAへの入力荷重とスプリングの反力、及び構成部品の寸法によって決まるが、量産準備の初期段階において、スプリング反力に対して完成車の車高が低くなる現象が発生した。当活動でも、アライメントUCFを活用し、車高ズレの要因分析を行った (Fig. 9)。スプリング単品をねらいの高さまで圧縮した場合と、TBAのホイールセンター高さを規定の位置に合わせた場合のスプリング反力を比較したところ、ねらいの反力が発生していないことが分かった。その要因を調査するために三次元測定機で寸法計測し、次の2つの要因が分かった。

1つ目はスプリング反力を受けてスプリンシートが2.5mm撓んでいること、2つ目はTBA自体の部品寸法ズレによりスプリングセット位置に1.7mmズレがあることであった。この2つの寸法影響により、ねらいどおりの寸法までスプリングを圧縮できていないため、ねらいのスプリング反力を発生させることができず、結果車高が低くなっている現象であることが分かった。この結果をモデル及び部品構造にフィードバックし、ねらいの車高を実現した (Fig. 10)。



Factor of Gap	(mm)
Deflection	2.5
Variation	1.7

Fig. 9 Measurement of Deflection by Alignment Unit Coordination Fixture

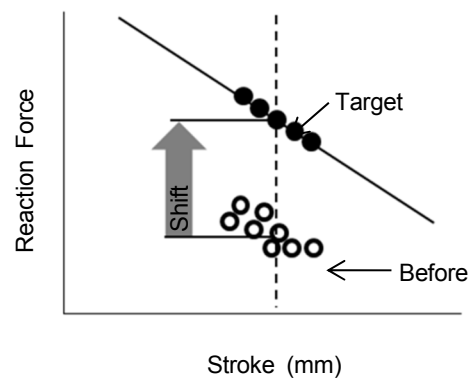


Fig. 10 Relationship of Stroke and Reaction Force

3つ目にフロントサスペンション動特性の傾き検証事例を紹介する。動特性の傾きに影響を与える部品寸法バラツキの寄与度を精度よく把握し、結果を構造に織り込むことで目標を達成する。

寄与度の把握は事前に算出したシミュレーション結果 (Fig. 11) に対して、アライメントUCFを用いて測定結

果の一致度確認を行った。実部品を使った検証では各部品のバラツキが相互に作用し、個々の部品バラツキ影響を正確に把握することが難しい。そこで本検証ではアライメントUCF上でフロントクロスメンバーを図寸どおりに再現したParts Master Gauge (以下PMG) を使用して行った (Fig. 12)。またPMGはギア&リンクやサスペンションアーム類の取り付け部位をシムプレートでXYZの3方向に調整できる構造を有しており、方向別に1つ1つ部品のバラツキを再現させることができる。クロスメンバーの部品寸法バラツキを、シムを使い再現させ、寸法バラツキと動特性の傾きの変化量の関係がシミュレーションで精度よく計算できていることを確認した。

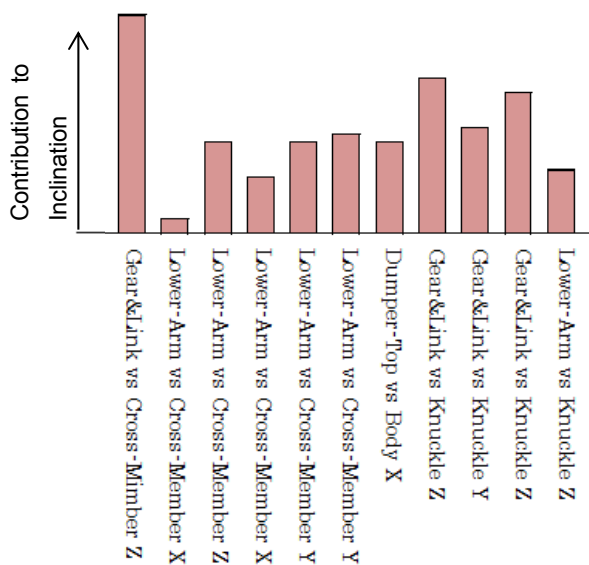


Fig. 11 Contribution to Inclination

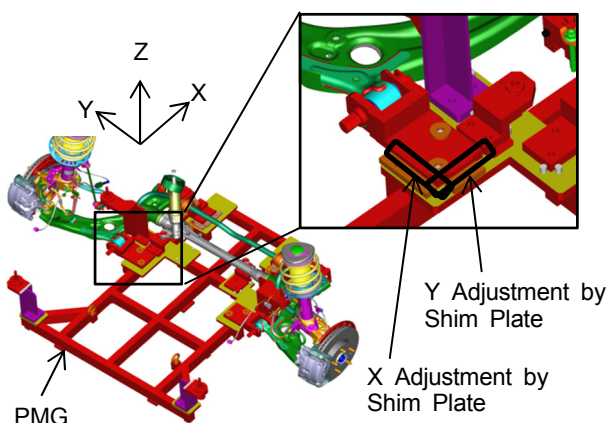


Fig. 12 Parts Master Gauge

この結果を受け、機械加工部位に比べ部品バラツキが大きい板金部品で、かつ動特性の傾きの寄与度が高い部位であるギア&リンクの締結座面であるフロントサスクロスメンバーWL位置の部品寸法公差設定の見直しを行っ

た。従来、位置度や面輪郭度などの幾何公差を設定しているが、更に高い工程能力を保証するため、重要管理特性の設定を行った。

これらの活動の結果、ねらいの特性に造り込むことができ、目標とした既存車の動特性の傾きバラツキから約22%減を達成した (Fig. 13)。

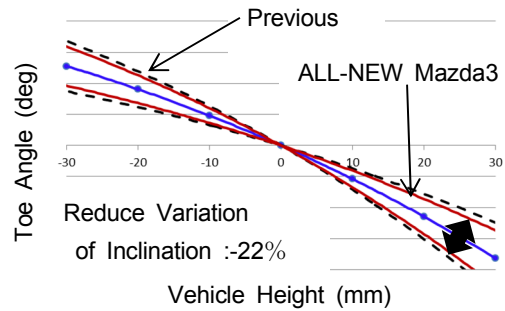


Fig. 13 Improvement Rate of Variation by Inclination of Dynamic Characteristics

3.2 BOMと生産システム改善による車高バラツキ縮小の取り組み

車高バラツキの低減を目指し、新たな部品構成と生産指示システムを導入した。従来はエンジン・トランスミッション・駆動形式等の主な車両仕様ごとに重量範囲を算出し、その範囲に対して適切なスプリングを設定していた。新型MAZDA3からは、シートやオーディオ仕様などのお客様選択部品も含めて重量をきめ細かく算出し、かつ車両四輪それぞれの輪重を部品重量と重心から計算する。その輪重情報と生産管理システムをリンクさせ最適なスプリングを選択する工程を導入した。また、サプライチェーン各社にも当活動への理解・協力をいただき、部品公差の縮小も実現できた。これらの結果、新型MAZDA3では従来から車高バラツキを37%低減し、目標を達成できた (Fig. 14)。

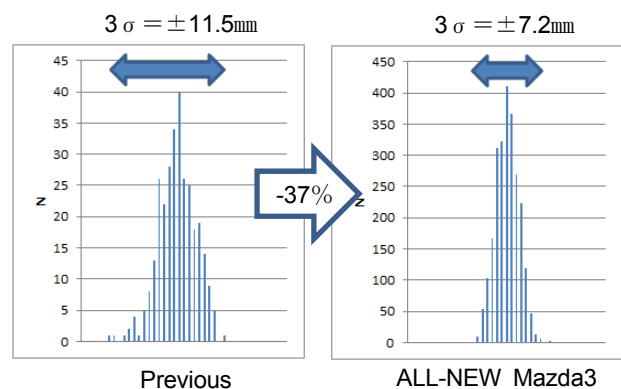


Fig. 14 Improvement Rate of Vehicle Height Variation

4. 量産維持管理

量産工程において、これまではイニシャルアライメントの計測のみを行っていたが、車高傾向監視による中央値ズレやバラツキの早期発見と是正及び輪重情報の精度向上を目的に、完成車の車高と輪重の計測を行う工程を導入した (Fig. 15)。

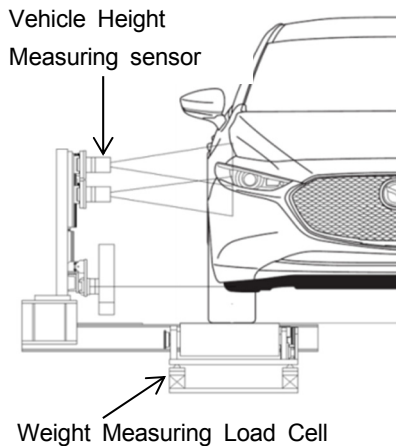


Fig. 15 Measuring Vehicle Height
in Dynamic Alignment Tester

この車高計測は、既存のホイールアライメントを計測する3つのセンサーを活用し、またフェンダー下端の高さを測定するセンサーを追加した (Fig. 16)。

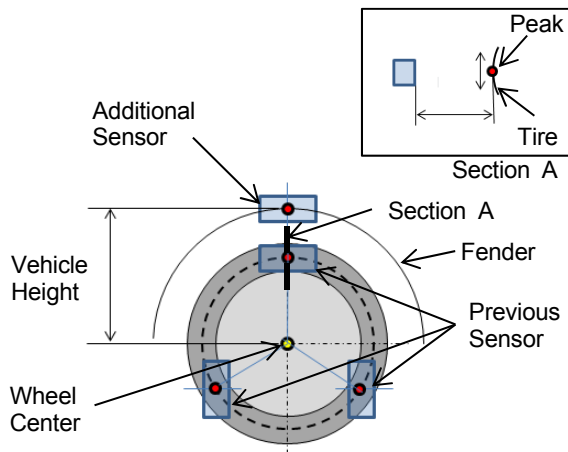


Fig. 16 Measurement of Vehicle Height

従来のホイールアライメント計測ではセンサーとタイヤ表面の距離を精度よく測定することが重要であり、その距離の差からトー・キャンバー値を算出していた。今回は同センサーを用いてタイヤ中心座標も算出したが、タイヤ径方向の測定精度も重要となったため、新たにタイヤ径方向のタイヤピーク測定ロジックを開発し、従来のセンサーを活用しながらホイールアライメントとホイー

ル中心座標の算出が精度よくできるようになった。

併せてストラット組立工程においてもストラット組立時にストラット反力を計測する工程を導入した (Fig. 17)。

これらにより、ストラットと完成車の荷重と車高データを対で関連付けて管理できるようになった。このデータを用い量産車の品質維持管理が行えるプロセスを構築し、また次期車種を更なる品質向上させるために当データの活用を図る。

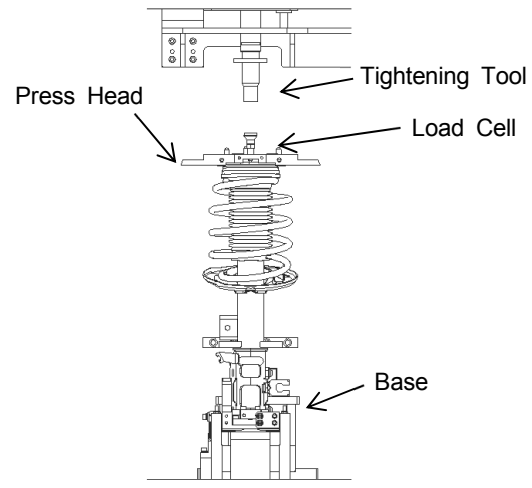


Fig. 17 Measuring Load of Strut
in Assembly Device

5. 結果と今後の課題

今回、動的ホイールアライメントの造り込みという考えに基づき、モデル段階からイニシャルアライメント、車高、動特性の傾きについて、ねらいどおりの特性を実現させる車両構造設計、生産工程設計を取り入れたクルマづくりのプロセスを構築した。今後の課題は、この考えを全ての部品とクルマづくりへと発展させ、マツダが進めるMBD開発の進化につなげることである。

6. おわりに

「人馬一体」を達成する「マツダらしい操縦安定性」を量産車で忠実に再現するため、サスペンション領域における動的なホイールアライメントの造り込みに取り組んだ。本稿では従来詳細な検証が困難であったサスペンションの挙動を、アライメントUCFを活用し挙動を明らかにできたことで、その結果を車両構造、生産工程に反映できた。今後もお客様に感動を提供し続けるため、更なる技術開発を継続していく所存である。

参考文献

- (1) 安部：自動車の運動と制御，山海堂，pp.70-72 (1992)

■ 著 者 ■



福永 明



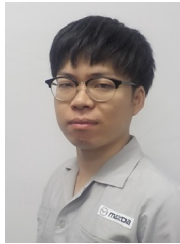
井上 大河



土井 洋子



高本 尚志



金 壯憲



鈴木 竜司