

特集：新型マツダアクセラ

8

新型アクセラにおけるボデー造り革新 ～デザインを際立たせるクルマ造り～ Innovation in Body Production for New AXELA ～Car Structure that Makes Design Conspicuous～

中野 伸哉*1
Shinya Nakano

酒井 明*2
Akira Sakai

山田 泰生*3
Yasuo Yamada

要約

車の個性化，差別化の手段としてデザインの革新が重要である。新型アクセラにおいてもデザインのこだわりを実現するために，ネガポジが入り混じり，かつシャープなキャラクタ R を実現するプレス成形技術と，それらを組み上げる車体アセンブリにおける品質保証プロセスの両立が必須となっている。また，軽量化施策により，材料が軟鋼板から精度・成形性難度の高い高張力鋼板へ変わってきており，ボデーを造り上げるプレス成形技術，車体アセンブリ技術の進化が不可欠である。新型アクセラでは，プレスでのキャラクタ R を実現する技術，高張力鋼板部品の精度保証技術，及びデザイン面の流れを遮断せずクルマ全体の一体感を生む品質保証プロセスを革新することでデザインテーマを具現化できた。

Summary

Innovation of the design is important as a means of individualizing and differentiating a vehicle. The same holds true for the new AXELA: To materialize its design consider, it is necessary to achieve both a stamping technology that involves a negative-positive process while realizing a sharp character R and a quality assurance process in the body assembly. As a weight saving measure, mild steel sheet is increasingly being replaced by high tensile strength steel sheet that is high in accuracy and high in degree of difficulty in terms of formability. For this, evolution in the stamping technology and the body assembly technology is indispensable. In the new AXELA, its design theme has been embodied through innovation of stamping technology realizing the character R, accuracy assurance technology for high tensile strength steel sheet parts, and innovation of quality assurance process that does not interrupt the flow of design and induces a sense of oneness of the whole car.

1. はじめに

グローバル競争が激しい中で存在感を示すために，One & Only のデザインが欠かせない。新型アクセラのボデー造りにおける課題のひとつが，マツダデザインの特徴である生命感あふれる面の造形を量産工程で安定的に実現することである。そのコア技術がプレス部品でのデザイン具現化技術と，プレス部品ならびに車体アセンブリの寸法精度をコントロールする技術である。特に，新型アクセラは全世界 3 つの工場

間に立ち上げる車種であり，現地で計画通り生産するための工程設計段階の検証が極めて重要となる。本稿では，新型アクセラで取り組んだボデー造り革新について，プレス領域から車体アセンブリ領域でのシミュレーションを使った検証技術の進化と，その結果を実際のクルマ造りへどう反映させたかを中心に紹介する。

2. デザイン意匠を忠実に再現

新型アクセラのデザインコンセプトは「瞬発／誘発」，よりエネルギーでテンションを効かせたリズムカル

*1～3 車体技術部
Body Production Engineering Dept.

な動きをボデーに表現している。ボデーのフロントからサイドを一杯使って走るキャラクタライン、ライン間の面が生み出す陰影に至るまで、新型アクセラにはデザインのこだわりが詰まっている。デザインのこだわりを表現するためには、キャラクタ R と面を忠実に表現すること、その流れを遮断しないことが重要となる。Fig. 1 にデザイン意匠を再現するプロセスを示した。

このプロセスに沿って、3 章でキャラクタ R の再現で重要となる線ズレ対策、4 章でデザイン意匠を表現するボデー造り、5 章でボデー精度のカギとなるプレス部品の精度向上、6 章で車体アセンブリでの精度向上、7 章で車両まで含めた寸法精度向上について事例を交えながら述べる。

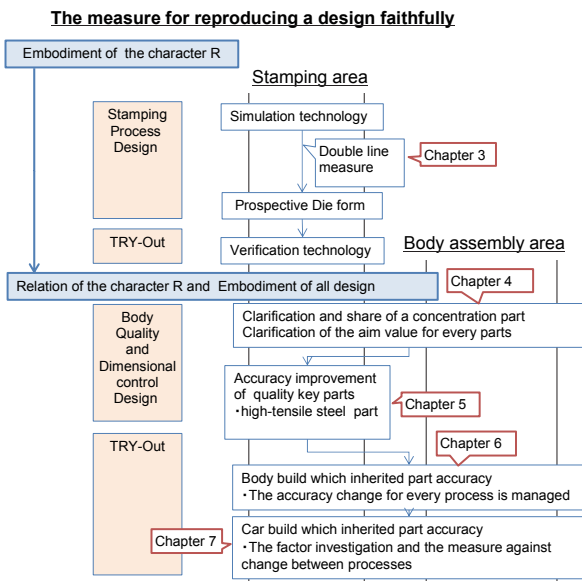


Fig. 1 The Process of Reproducing Styling

3. 線ズレ対策

3.1 キャラクタ R の実現と線ズレ対策

シャープなキャラクタ R を具現化する上で最も重要なことは、第 1 にキャラクタ R の印象をプレス部品で忠実に再現すること、第 2 にプレス成形時のキャラクタ R と鋼板の初期当たりが曲げ癖として見えないようにすることである。しかしながらこの両者は相反する関係にあり、キャラクタ R がシャープになればなるほど曲げ癖が強くなり、線ズレという外観品質不具合を発生させやすくなる。これまで、線ズレは定量評価できるまでには至っておらず、成形シミュレーションでの予測が困難だった。金型製作後に線ズレが起きてしまった場合、対策によっては割れ／しわなどの他の不具合へ発展してしまうこともあり、微妙な金型の調整を繰り返してきた。そのため、金型製作前に線ズレを定量評価し、外観品質を保証する技術が必要不可欠である。そこで、過去の事前検証結果と不具合現象とを総ざらいし、線ズレの発生メカニズム

を再度解明しなおし、検証技術の向上を果たした。その事例を次に紹介する。

3.2 見える線ズレと見えない線ズレを定量化

鋼板が金型（ポンチ側）に接触し、ある値を超えて塑性変形した場合に曲げ癖として残り、線ズレと呼ばれる不具合現象になる。この現象を机上で検証できるようにするには、その曲げ癖が見えるか否かを定量的に予測する技術が必要となる。鋼板が金型に接触した時の圧力を計算し、軌跡を追い、その過程と成形完の位置がどのような形状部になるかを総合的に検証できるようにしてきた。具体的には、メッシュのかけ方や大きさ等を工夫した計算精度向上と、塑性変形が起きる面圧の閾値や線ズレが見えない形状など、それまでの知見を基に実機との一致を確認しながら線ズレの評価技術を構築し、検証方法として確立させた。

見える線ズレか見えない線ズレかを検証できるようになったことで、対策の幅が生産工程だけでなく、デザインへも広がった。デザイン部門へ線ズレが起きないキャラクタ R を伝え、デザインの意匠を崩さない範囲でのキャラクタの形をデザイナーと一緒に決めていけるようになった。これにより、デザインと生産性を高い次元で両立し、シャープなキャラクタ R の具現化に大きく貢献している。

3.3 デザイン意匠を崩さない線ズレ対策

キャラクタ R から受ける印象は、R の大きさそのものより R の幅の影響が大きい。すなわち、R 止まり間の距離を一定にし、その中で R の大きさを変えても、キャラクタ R は同じに見える。そこで、デザイン R の幅の中で、材料と接触して痕になる部分だけ R を大きくして痕に残らない R を作る、あるいは接触部をずらすことで線ズレ対策を実施しデザイン意匠を崩さないようにした (Fig. 2)。

対策が完了するまでには、デザイン部門やボデー設計部門と数多くのやり取りと試行錯誤を積み重ね、デザイナーなど関係部門の協力を含めたキャラクタ R 実現プロセスを構築した (Fig. 3)。

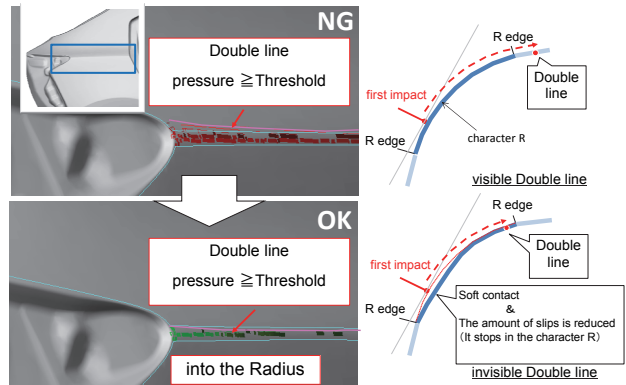


Fig. 2 The View of the Measure Against Line Gap

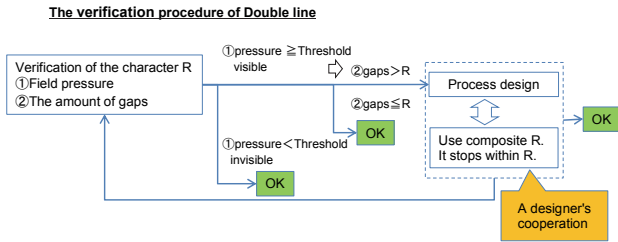


Fig. 3 The Verification Procedure of Line Gap

4. デザイン意匠を表現するボデー造り

キャラクタ R を忠実に表現した次のステップは、複数の部品にまたがるキャラクタラインと面の流れを再現することである。車の外板面は、機能と安全性からフェンダとフロントドアのような部品に分割され、部品間にパーティング隙が発生する。デザイン意匠の再現には、パーティング隙によってキャラクタラインと面の流れを分断させることなく、調和させる技術が必要となる。

4.1 パネル段差の意匠面への見え方の影響

パネルの組み付け位置がずれたり、パネル間に段差が発生したりした場合、デザイナーがこだわり抜いた光と影のバランスが、パーティングを境に変化する (Fig. 4)。

デザイン意匠の再現には、フェンダやフロントドアアウトといった個々の外板パネル精度、パネルの組み付け位置精度、パネルを組み付ける土台となるボデーシェル精度の三位一体の精度向上が求められる。

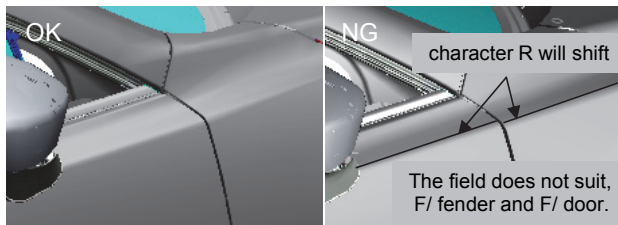


Fig. 4 Change of Shade by Panel Level Difference

4.2 パネル段差の発生メカニズム

外板パネルはボルトで締結されるため、組み付け位置をある程度調整できる。一方、パネル段差の一因であるボデーシェルは溶接で組み上げられるため手直しが効かず、高い精度で造ることがより難しい。そのパネル段差の発生メカニズムを、フェンダとフロントドアの事例で説明する。

Fig. 5 に示すように、フロントドアはドアヒンジでボデーに締結され、フェンダはアッパヒンジの上側とサイドシル下端部でボデーに締結される構造となっている。そのため、各締結面の位置関係が崩れるとフェンダとドアの段差が発生する。

4つの締結面はすべてボデーサイドアウトに接地するが、その内側にはレインフォースメントがある。アウトより

板厚が厚いレインフォースメントの方が締結面の位置精度に支配的である。このレインフォースメントは、衝突性能・プレス成型性・材料歩留まりを最適化するため分割しており、ドアヒンジとフェンダがそれぞれ別の部品に乗っている。このようにフェンダとフロントドアの段差の発生源をたどると、主に3つのレインフォースメントの部品精度に行き着く。

なお、レインフォースメントの精度はアンダボデーと接合することにより変化することがあるが、これについては6章で述べる。

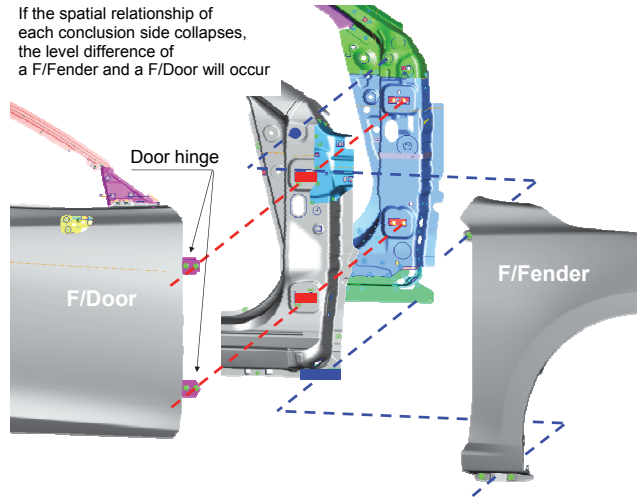


Fig. 5 Conclusion Structure F/Fender and F/Door

4.3 外観折り合いと工程・部品の関連付け

でき上がったモノを見てから先に述べたような精度不良の発生源の特定を始めても、期間やコストの制約からできる対策は限られてくる。現物で起きうる不具合を想定し事前に根本対策を打つため、外観折り合いとそれに関連する工程・部品を一覧表にまとめ (Table 1)、重点的に管理すべき工程・部品を洗い出した。CX-5 や新型アテンザの量産準備の中で、当初予想していなかった工程の関連も明らかになってきており、得られた知見は随時新型車に反映させている。

Table 1 Body in White QFD Table

BIW QFD table		Process - Tooling												Product											
		XXX				XXX				XXX				XXX				XXX				XXX			
Quality Characteristics		XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX	XXX
Front	Bonnet	F. Bumper	Cap	Fluht																					
	Stonnet	Head Lamp	Cap	Fluht																					
	F. Fender	F. Bumper	Fluht																						
	Bonnet	F. Fender	Rear	Cap																					
Door	R/D	F. Fender	Fluht																						
	R/D	Cap	Fluht																						
	R/D	SF	Cap																						
	R/D	SF	Fluht																						
Rear	L/G	SF	Fluht																						
	L/G	R. Bumper	Cap																						
	R. Comb Lamp	L/G Lamp	Cap																						
	R. Spoiler	SF	Fluht																						
	SF	R. Bumper	Cap																						
	L/G	ROOF	Fluht																						

ボデー造りでは、ボデーのカギとなる部位の精度を狙い値に導き、かつそれらの部品を変形させずに溶接し組み付けなければならない。そのためにも、まずはボデーを構成しているプレス部品の精度向上が必須である。次章ではプレス部品の精度向上について述べる。

5. プレス部品の精度向上

5.1 ハイテン部品の成形方案の革新

外観折り合いに影響が大きく重点的に管理すべき部品の一例として、ヒンジレインフォースメントの精度向上の取り組みを紹介する。ヒンジレインフォースメントはフロントドアヒンジの締結面及びフェンダ締結面を持つ部品との接合面を有している。また、軽量化と安全性を両立させるため高強度のハイテンが用いられ、狙いの精度を出すことが難しい。プレス部品の成形方法は、絞り成形とフォーミング成形（≒曲げ成形）に大別される。ハイテン部品の場合、その硬さから通常はフォーミング成形すべきだが、形状の起伏が激しい場合はシワをコントロールするために絞り成形となる。絞り成形では、材料の流入量により与歪量が増加するため、精度バラツキやすい。これを解決するために、1工程目で浅く成形を行い、シワがない状態で形状を出し、2工程目で正規位置まで成形する、精度のばらつきを最小にする成形方法（Fig. 6）を考案し、新型アクセラに取り入れた。

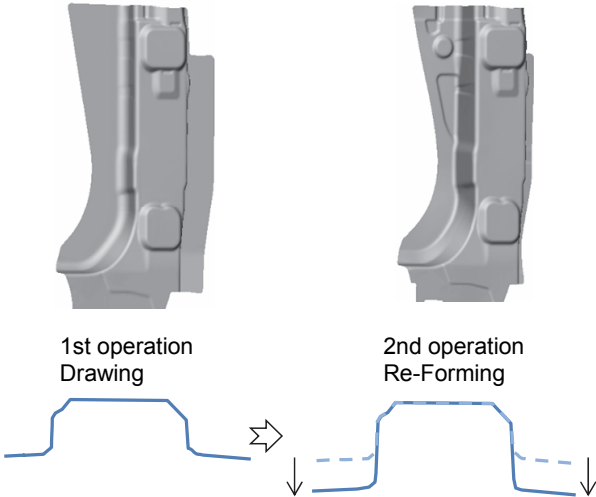


Fig. 6 Forming of the High Tensile Strength Steel Parts

5.2 フォーミング成形による精度向上

この方案により、初部品の精度 OK 率（面精度±1.0mmの中に入る率）が飛躍的に向上した。それまで初加工品で精度 OK 率 80%程度だったものが、この工法の採用により、初加工品の精度 OK 率をほぼ 100%まで向上させることができた。Fig. 7 は、緑色が 0 近傍を、赤色が車外方向を水色が車内方向を示す。機能面は一部を除き狙いの約半分にあたる±0.5mm 内にすることができた。結果、ボデーシェルでのフロントドアヒンジ精度の向上を

果たし、ドアとフロントフェンダのキャラクタ R を途切れなく流すことに貢献できている。

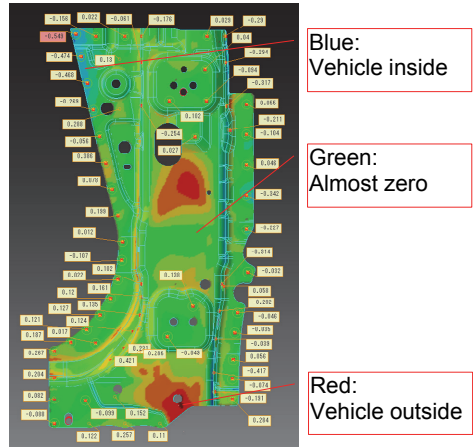


Fig. 7 First Build Part Accuracy for F/Pillar Rein-F

6. 車体アセンブリにおける精度向上

6.1 精度変化の予測技術の確立

車体アセンブリ工程には、プレス部品の精度を変化させることなく溶接し組み上げる機能が求められる。その機能を実現する工程の基本要素が、治具による部品の位置決め方法を規定する加工基準と、溶接し治具を解放した後も拘束時の精度を保持するための仮付打点である。

加工基準と仮付打点の設定にあたり、これまでも自重によるたわみを剛性解析ソフトでシミュレーションしてきた。CX-5 以降、部品接合面の隙や干渉、スポット溶接の増打ちによる精度変化の予測にも適用範囲を拡大している。Fig. 8 は、アンダボデーとボデーサイドの接合面干渉によるボデーシェルの精度変化をシミュレーションした一例である。この例では、フロントドアヒンジの上下の締結面とリアドアヒンジの上下の締結面にねじれが生じており、完成車としてはフロントドアとリアドアの段差が発生すると予測される。部品の精度、車体アセンブリでのスポット溶接で精度が変わることが検証できるようになった。

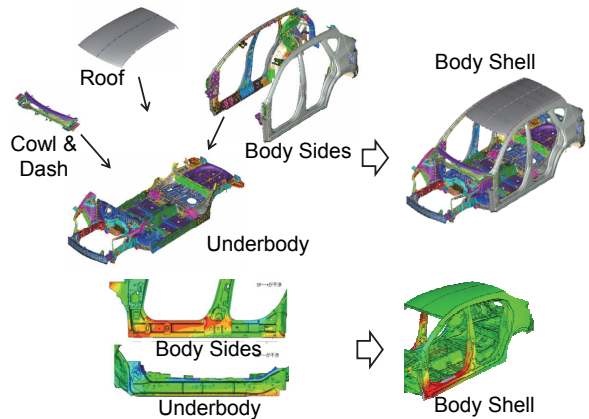


Fig. 8 The Simulation of Mating Surface Influence

6.2 重点管理接合面の特定

このシミュレーション技術を用い、まず接合面精度や増打打点といったノイズに対して影響を受けにくくするように加工基準と仮付打点の適正化を行った。その上で重点的に管理すべき接合面の部位の絞り込みを行った。Fig. 9 は、アンダボデーとボデーサイドの接合面のそれぞれの部位が、外板パネルのどこの段差にどれだけ影響を及ぼすかを算出したものである。

寄与度の高い接合面精度及び打点を重点管理することで、品質保証の確実性の向上と効率化を果たせるように進化させている。

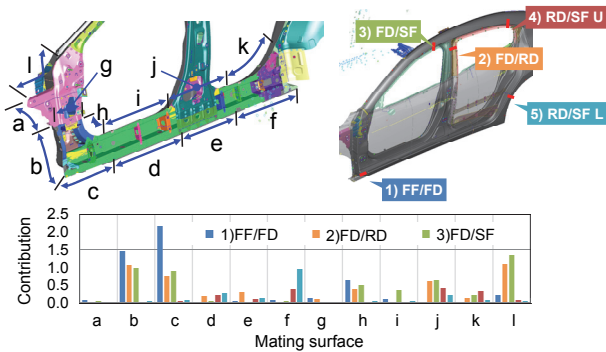


Fig. 9 Contribution of Mating Surface to Step between Panels

6.3 実車の品質育成

机上検証と並んで重要なのが、実車での検証である。ここでは、実車検証について紹介する。まず、加工基準・仮付打点の妥当性、接合面影響のシミュレーション予測精度を開発確認車で確認した。非接触三次元測定機を用いてアンダボデーとボデーサイドの接合面をそれぞれ測定しデータを突き合わせ、隙・干渉量を算出した。シミュレーションで予測されるボデーシェル精度変化と、実際の開発確認車のボデーシェル精度との相関が取れたことから、外観折り合いへの寄与度を踏まえ部品修正の部位と狙い値を決めた。設備トライアル・パイロット生産では、先ほどの外観折り合い工程・部品展開表 (Table 1) に従いサブ工程まで遡り、1 工程ずつ治具精度・部品精度・アセンブリ精度変化を確認した。このような地道な検証と修正を積み重ねた結果、アンダボデーとボデーサイドの接合面は狙いの状態となり、フェンダとフロントドアの狙いの段差を再現できた。

6.4 自動組み付けによる精度変化の抑制

これまで、プレス部品とボデーシェルの関連に着目して進めてきたが、車体アセンブリ単体でもデザインの具現化に貢献してきている。ここでは、車体アセンブリ工程で特にバラツキ幅の大きい人が調整している工程の寄与度を下げることに着目し、ボデー完成後の補正量と補正時間のミニマム化を達成した事例を紹介する。これまで担当者の経験や技術力に依存していたボンネットやド

アなど蓋物の組み付けにおいて、ロボットや治具などの工程機能ごとのバラツキを検証し、最適な条件を導き出した。結果、無調整化を達成できた。

導き出した条件の一例として、Fig. 10 にボンネット搬送時の保持位置を挙げる。本工程ではロボットに取り付けられたバキュームパッドを有する搬送ツールでボンネットを保持したままボンネットヒンジをボデーに対して締め付けるため、ヒンジ部の精度と剛性が重要となる。青色表示が 0.1mm 以下、緑色で 0.4mm 以下の変位を示しており、搬送用バキュームパッド位置の違いによりボンネットの搬送時の精度変化と締め付け時の精度変化を抑制した。同様な机上検証を繰り返し、良品条件を並べ、車体アセンブリ工程に織り込んだことで補正レスを実現した。

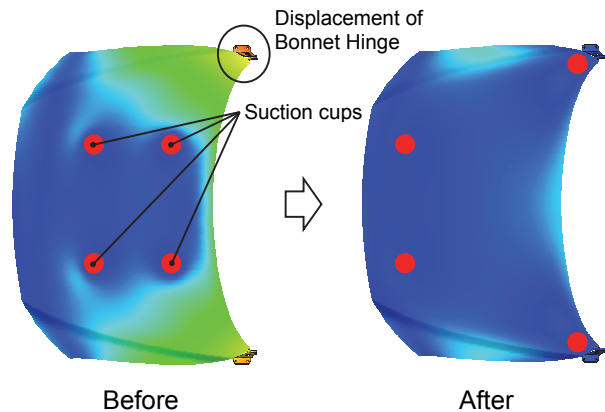


Fig. 10 Accuracy Displacement by the Difference in a Conveyance Maintenance Position

7. 完成車に至るまでの精度変化抑制

7.1 車体工程以降の精度変化

車体工程から完成車までの間でボデーの精度が変化することがある。例えばドアでは、塗装乾燥炉内での車室内と車室外の温度差により熱伸び（熱歪）が発生する。この時点で、車体で使用している硬化シーラが熱伸び発生中に硬化すると、外郭精度が変化する。このような変化は影響因子が多く、解析/対策ともに時間がかかる。この塗装での熱影響の変化を、開発部門や塗装部門等と一体となり抑制したフロントドアの事例を紹介する。

7.2 ドアの熱歪による精度変化を抑制

塗装の乾燥炉で起こっている変化の仮説を立てるため、まず部品ごとに乾燥炉での温度変化を測定した。Fig. 11 は、縦軸に温度、横軸に時間の経過を取ったグラフである。ドアアウトとインナのシーラが硬化する温度に達した時点で、インパクトバーの温度が上昇しきっていないことがわかった。ここから、熱膨張差による精度変化が原因という仮説を立て、その要因追求と対策案を作り、最も効果的な策へと絞り込んで行った。結果、インパク

トバー近くに溶接を追加する案が最も効果的だとわかり、対策した。最終的に車体から塗装後の状態でドア外郭段差の変化量は 0.3mm 以下と良好な結果が得られた (Fig. 12)。

このように、車体に部品精度を狂わせることなく組み付ける、または車両までの精度変化を確認対策するために、これまで培ってきた解析ツールと手法を総ざらいし、車体アセンブリの各工程へ展開した。これにより、バラツキを抑えた車体アセンブリ工程の実現と、量産準備の初期から不明値の解析に時間を取られることのない高効率の実機検証を実現した。

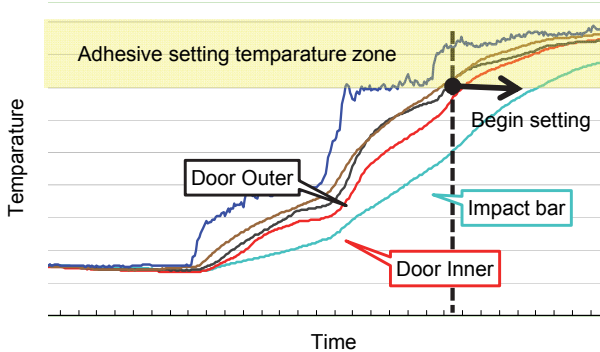


Fig. 11 The Temperature Change in [Classified by Parts] a Drying Furnace

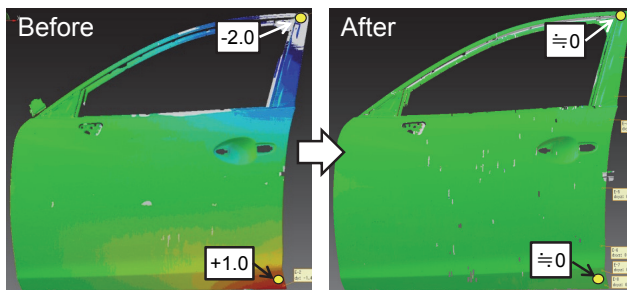


Fig. 12 The Accuracy Improvement of a Door

8. おわりに

One & Only のデザインを意識し、マーケティングはもちろん、デザインから製造、販売に至るビジネスの流れに、これまで積み上げてきたプレスと車体アセンブリの技術を、一貫したプロセスとして組み込んだ。生産工程では、プレス加工から始め車体アセンブリ以降の塗装や車両組立など全生産工程での変化も考慮し、一連の流れのひとつとしてのボデー造りに取り組んだ。新型アクセラのデザイン実現の裏側には、このようなプロセス革新と技術の詰め込みがあることをお分かりいただけたと思う。

デザイン・開発・生産技術各部門の担当者が、膝を突き合わせ、共に知恵を出し合い、情熱をぶつけ合う距離

感はマツダならではの強みである。今後もこの強みに磨きを掛け、グローバルな競争の中で存在感を示し続ける。

この新しいプロセスにより新型アクセラでは造りの良さを実感できる折り合いはもとより、デザインテーマである「瞬発/誘発」を存分に表現できた。ボデーに表した、よりエネルギーでテンションを効かせたリズムカルなデザインを楽しんでください。

■ 著 者 ■



中野 伸哉



酒井 明



山田 泰生