

特集：生産技術領域の進化

17

「魂動」デザインを際立たせる“面の連続感”実現の取り組み Realization of Continuity Surface to Achieve “KODO” Design

田中 慶和*¹ 永野 恵行*² 太田 凜*³
Yoshikazu Tanaka Yasuyuki Nagano Rin Ota
新宅 則和*⁴
Norikazu Shintaku

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、クルマをただで動きを感じ、乗ってみたいくなるデザインを追求している。それらを「魂動」デザインと称し、生命のフォルムの美しさや動きの加速感を造形に取り入れ、車両外装部品においてはその「魂動」デザインの思想を忠実に再現する取り組みを行っている。マツダでは、デザイン造形のもつ生命感や加速感をお客様への提供価値と定義し、それらを実現するための車両構造設計や生産工程設計を行う「面のアーティスト」活動に取り組んできた。車両外装の隣り合う部品が、あたかも一枚面であるかのような連続感が重要であると考え、法線ベクトルという物理特性に着目した。本稿では法線ベクトルに基づくプロセス構築と、バンパー量産準備を一例に挙げ、面の連続感実現を目指した活動事例を報告する。

Summary

Under its “human-centered monotsukuri” philosophy, Mazda pursues a vehicle design that makes all who see it feel the dynamics at first glance and invites them to drive. This is what we call the “KODO Design” concept. Exterior parts are designed to express vitality, beauty and power of motion, with the aim of giving shape to Mazda’s KODO Design language. Defining the vitality and a sense of speed presented by a design as values to offer customers, we designed a vehicle structure and developed a production process to translate them into a product. This process of works was conducted via a project named “Artist for reflection of surfaces”. Attaching importance to continuity in surfaces of adjacent exterior parts, we focused on a normal vector as the key physical property. This article describes the efforts made to realize the continuity in surfaces, taking process establishment based on the normal vector and preparation for bumper mass production as examples.

1. はじめに

マツダでは構造改革ステージ2を進めており、生産技術領域の取り組みの3本柱である【魂動デザイン】【燃費】【人馬一体】の更なる進化によって、お客様に生涯顧客となっただけのを目指している。その実現に向けて、「魂動」デザインではクルマを単なる移動手段ではなく、所有すること自体に喜びを感じていただけるアート作品のような存在となることを目指している。「魂動」デザインのねらいは、生物の持つ生命感、動きの加速感をクルマの外観で表現することであり、金属から削り出したかのような塊感がクルマ全体が必要である。塊感を量産車で実現するには、隣り合う部品が一枚面であ

るかのような面の連続感が重要と考え（Fig. 1）、お客様への提供価値としてクルマづくりを行った。本稿では、面の連続感を物理指標に落とし込み、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。



Fig. 1 Reflection of Smoothness Surface

*1~4 車両技術部
Painting, Trim & Final Assembly Engineering Dept.

2. 面の連続感

2.1 物理指標への変換

車両外装は、フェンダーやボンネット等の金属部品とバンパーなどの樹脂部品によって構成される (Fig. 2)。クレイモデルの塊感を量産車で実現するには、これら材質も質感も異なる部品間における面の連続感が重要である。一方で部品間には分割線が存在し、人間の視覚特性上その変化点には視線が無意識のうちに滞留する。「魂動」デザインの特徴の一つでもあるキャラクターラインを極力排した面によって塊感を実現するには、車両全体の外装面に映り込む風景が滑らかに連続することで分割線に視線を滞留させないことが求められる。これらを具現化するには、光の反射方向を左右する“法線ベクトル”をクルマ全体にわたり滑らかに連続させることで、塊感のある車両を実現できると考えた。

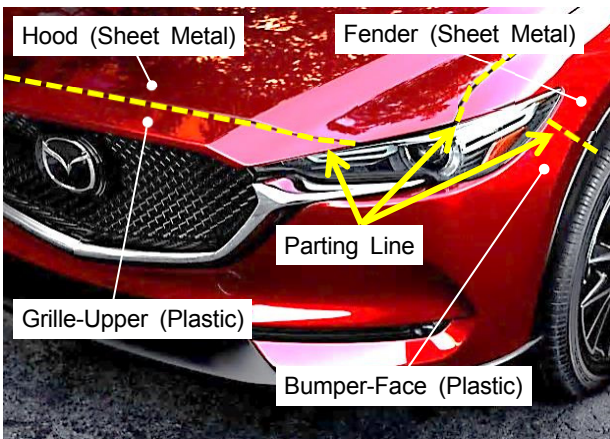


Fig. 2 Material of Vehicle Parts and Parting Line

2.2 法線ベクトルと面の連続感の関係

従来は、部品間の寸法精度の指標として、隙と段差を用いてきた。ここでは隙と段差に加えて、部品間の法線ベクトルのズレと映り込みの違和感の関係を明らかにしていく (Fig. 3)。まず、ボンネット・バンパーからなる実寸大カットモデルに蛍光灯を映り込ませ、部品の表面に映る蛍光灯ラインのズレを違和感として認識できるか官能評価を実施した (Fig. 4)。次に、実験計画法により部品間の法線ベクトルや隙・段差といった各因子を動かし、表面の形状をレーザー測定機で取得し、CADデータ上で実験モデルを再現しラインズレの距離を計測した。この時、映り込むラインズレ量と各因子の関係を整理すると式(1)になる。Sは映り込むラインズレ量(mm), $(V1-V2)/L$ は法線ベクトルの変化(°), A~Dは係数を表す。上記で得られたデータを基に各因子を説明変数、映り込むラインズレ量を目的変数として、重回帰分析によって寄与度を求めた。その結果、従来の隙・段差の因子

に比べて、寄与率96%以上で法線ベクトルがラインズレに対して影響することが確認できた。

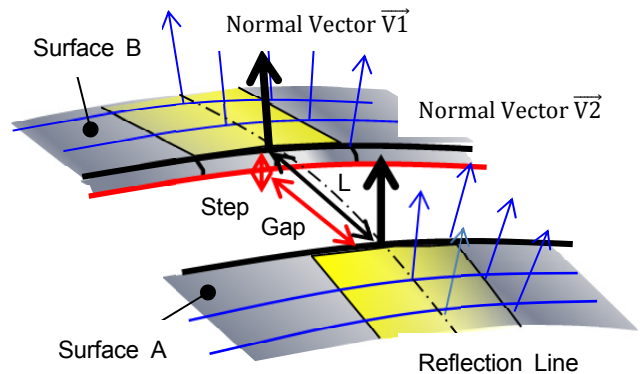


Fig. 3 Normal Vector

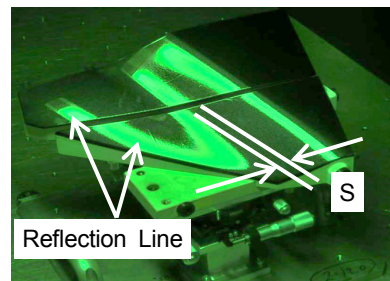


Fig. 4 Reflection Line on Solid Model

$$S = \frac{V1 - V2}{L} A + \text{Gap} * B + \text{Step} * C + D \quad (1)$$

この結果を人間工学的に考察した。人間がラインズレを識別する能力=副尺視力によると、視角3~10秒ズレが検知でき⁽¹⁾、これを角度に置き換えると約0.003°となる (Fig. 5)。車両評価を模擬した空間で理想状態の2枚の平面鏡で考えた時、段差を部品の最大許容差である2mm変化させたとしても、幾何学的にはラインズレ量は視角約0.05°である。一方の法線ベクトルではわずか1°変化させただけで視角約1.37°のズレ量となり、段差の変化に比べてはるかに視認しやすいことが分かる (Fig. 6)。このことから、車両外装において面の連続感を作り込むには法線ベクトルが重要な指標であることが確認できた。

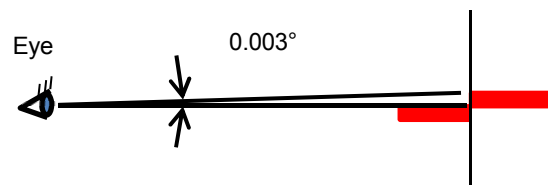


Fig. 5 Vernier Acuity

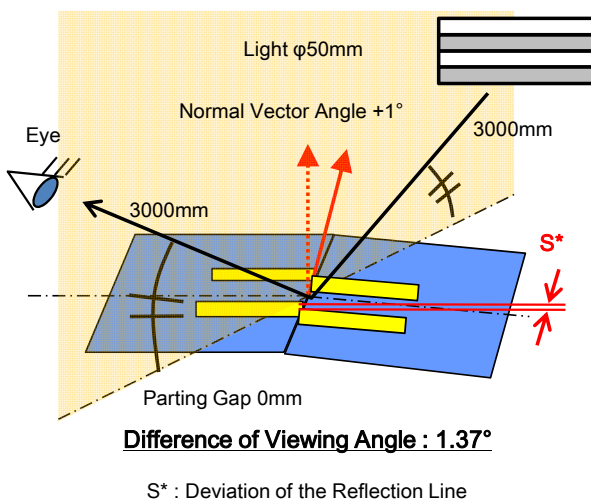
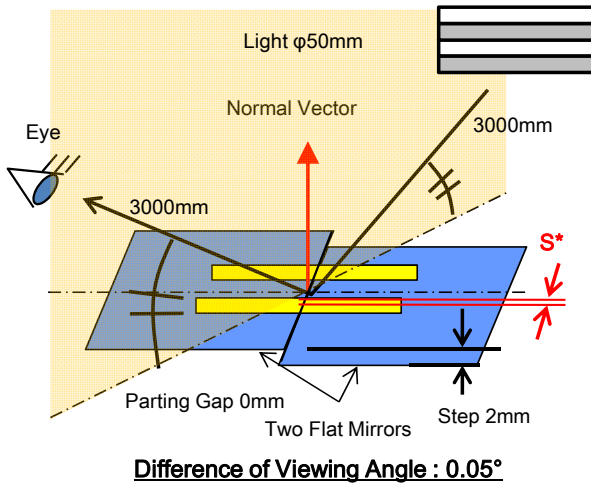


Fig. 6 Relationship between Shape and Reflection Line

2.3 法線ベクトルの評価基準策定

上記で得られた結果を車両構造設計や量産維持管理の中で運用するため、デザイン造形の曲率に対するラインズレの識別可能エリアを、副尺視力を用いてCAD上で求めた。

この結果を実車両でラインズレの違和感を覚える限界として当てはめたのがFig. 7である。グラフで表すとおり、部品間の隙ごとに違和感の限界ラインは異なり、グラフより下のエリアが違和感を覚えない領域を表す。この結果から、デザイン造形曲率の大小により違和感を覚えるエリアは変化することが確認でき、平面に近づくほど僅かな法線ベクトルのズレも視認しやすくなる。また、デザイン造形の曲率が大きく、隙間が広い程違和感の感度は下がる。これは、2面の隙間でラインが反射しない領域で、人間の脳が分離したラインを連続体として補間してとらえる“錯視現象”が強く働き、曲率変化による映り込みの急激な変化と併せて違和感の感度を下げているためだと推測される。

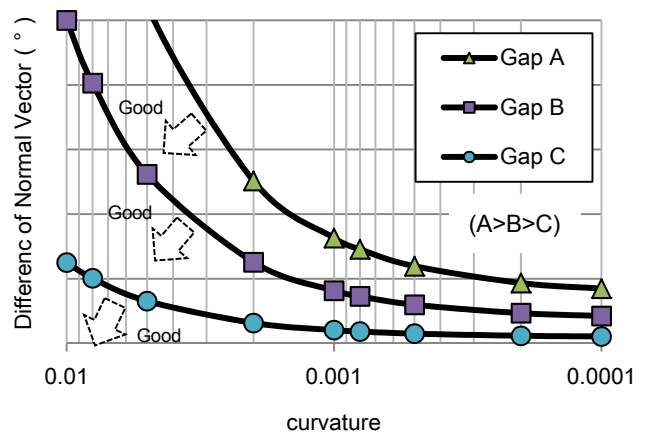


Fig. 7 Standard Normal Vector on Vehicle

2.4 法線ベクトルの評価ツール・システムの構築

法線ベクトルのズレを机上段階と実車両状態で比較検証を行うために、評価手法をメッシュモデルで統一した (Fig. 8)。これにより机上段階のFEMモデルと、形状スキャンして取得した実測STL (Stereolithography) データを同一の指標として評価できるようになる。更に、法線ベクトルのズレについては、3次元的な角度をX, Y, Zの各軸に分解し、角度情報をカラーマップで表すことで、法線ベクトルのズレが、エリア、方向、量に対して識別しやすいよう配慮した。また映り込みについても、CAD上に取り込んだ実測STLデータにレンダリング処理を施し、実車両状態の映り込みを再現させ、データ上での官能評価と法線ベクトルによる定量評価を融合させた評価手法を構築した。

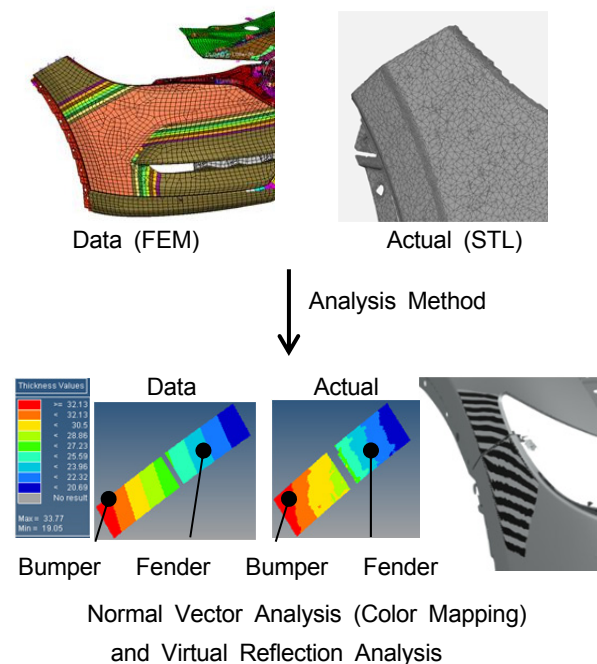


Fig. 8 Evaluation Technique of Smoothness Surface

3. 法線ベクトルに基づく車両構造／工程設計

法線ベクトルの基準と評価手法を用いて、従来のクルマづくりに加えて面の連続感を実現させるプロセスを新型CX-5で構築した。ここでは、「魂動」デザイン実現においてフロントビューやリアビューを大きく占め、樹脂部品の中でも最大で技術的にも造形実現に大きく寄与するバンパーの実例を挙げ、以下にその取り組みを紹介する。

3.1 バンパーにおける面の連続感実現への課題

バンパーは、射出成形工法によって生産され、金型内に溶融した樹脂を充填し、金型形状を転写することでねらいのデザイン造形を得ている。工法の特徴として、複雑なデザイン造形に対しても自由度が高い一方で、樹脂は熱変形や剛性による荷重変形を生じやすい。マツダではこれまでCAEと金型製作技術を融合させることで、板厚を極限まで薄肉化しつつデザイン性と製品機能性を成立させてきた。一方で、「魂動」デザインではより高い精度でボディーパネルとの面の連続感を実現する必要がある。上記に加えて面精度の向上を重点課題として取り組んだ。

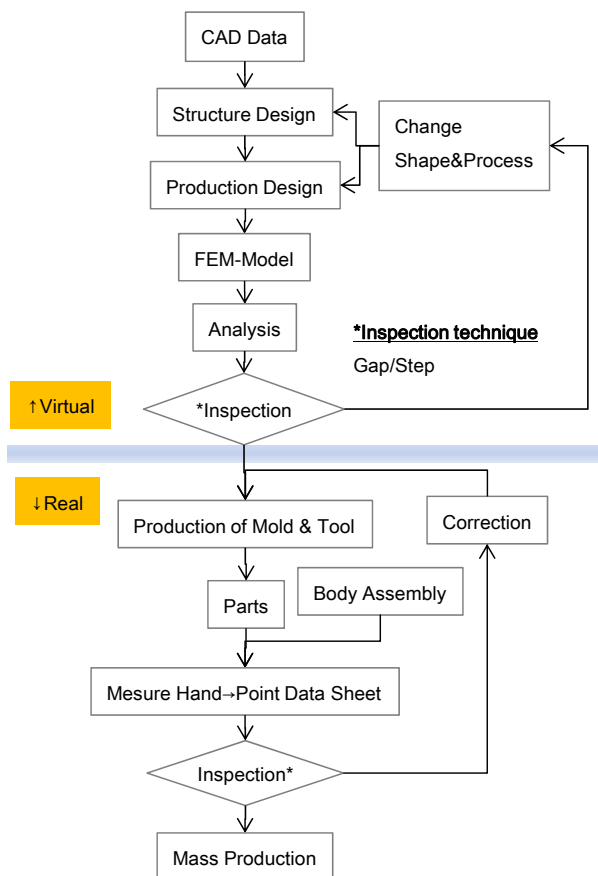


Fig. 9 Previous Process

3.2 机上評価における面の連続感実現

Fig. 9に従来の隙・段差を軸とした品質作り込みプロセスを、Fig. 10に新たに構築した面の連続感実現プロセスを示す。特徴として、車両構造設計の初期段階よりデザイン意図を理解して構造と工程をコンカレントに開発する。更にCAE技術を活用し、バンパー生産工程や重力による変形やバラつきに対して、法線ベクトルのズレが基準値以下になるまで机上で車両構造と生産工程を作り込む。これにより実部品ができた後の金型修正回数をゼロにしつつ面の連続感を実現させる。

車両構造設計においては、荷重を受ける骨格部位とデザイン造形を再現する意匠部位との機能分離を進め、構造によるロバスト性を向上させた。

生産工程設計においては、バンパー成形から完成車組み付け状態に至る全工程をCAE上で再現させる連成解析手法を構築した。これにより、面の連続感を実現するための金型や塗装治具などの工程設計を、車両構造設計の初期段階から机上で実施することが可能となった。

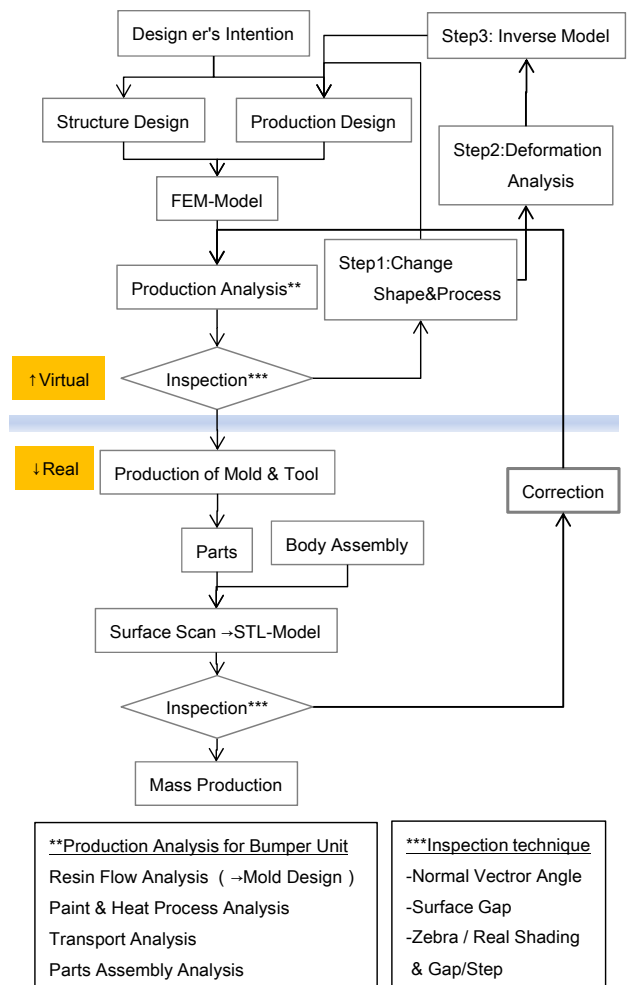


Fig. 10 New Process

ここでは、特に映り込み実現への重要度の高いバンパー金型設計について詳細を述べる。金型設計にあたっては、樹脂の持つ反り収縮メカニズムにより、変形量が最小となる板厚分布、ゲートレイアウト、流動パターンを検証し金型設計を行う。一方で、反り変形は金型内で樹脂が収縮する際に、温度や圧力に分布を持つことで発生する現象であり、成形条件では完全に解消することができない。このことはテストピースによる実験とCAEロジック構築の取り組みにより明らかになった⁽²⁾。特に、断面がL字形をした部位ではその傾向が顕著であり、工程設計だけでは面の連続感を実現できないことが机上段階で明らかになっている。そこで、CAEにより得られた反り変形量を基に、反り変形後にねらいのデザイン造形が得られるよう“逆算モデル”を作成し、この逆算モデルを使用した金型形状設計プロセスを新たに構築した。そして、逆算モデルを使用して反り変形解析などの生産工程解析を繰り返し実施し、完成車状態で法線ベクトル

が基準内に入るまで机上段階で金型データを作り込んだ。Fig. 11の上図はグリルアップパー、下図はリアバンパーへの適用事例を示す。Aの反り変形によりBのようにデザイン面の法線ベクトルが変化する。その対策として、Aの反り変形量からCの破線部の形状を逆算により導き出し、金型形状へ反映させる。その結果Dのねらいどおりの法線ベクトルとデザイン造形を得られた。

3.3 要具設計・製作における面の連続感実現

プラスチック領域では、「軽量・シンプル・高剛性なワンピース金型」を目指し技術開発を行い、新型CX-5においてもワンピース金型をフロントバンパー型に採用し、デザイン性と高い生産性を実現してきた⁽³⁾。今回、この過程で得られた解析技術を進化させ、デザイン面の更なる忠実再現を目指した。金型製作工程においては、従来の接触式測定機による定点精度保証から、金型デザイン面全体の法線ベクトルを非接触測定機により計測し、ねらいのデザイン造形を実現する高精度な金型作りに取り組んだ。Fig. 12の上図はデザインデータ、下図は金型キャビティの実測STLデータにレンダリング処理を施した結果を示す。法線ベクトルによる定量評価に加え、ゼブラパターンによる映り込み評価を併用しながら、部品内におけるデザイン意図どおりの面の流れを追究することが可能になった。

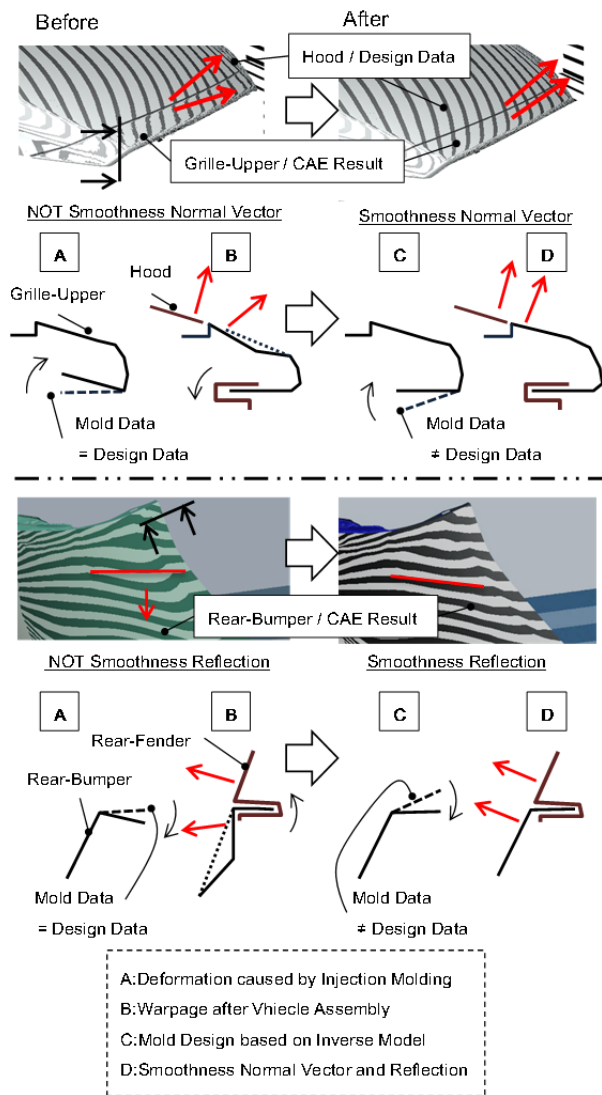


Fig. 11 Example for Mold Design on Invert Model

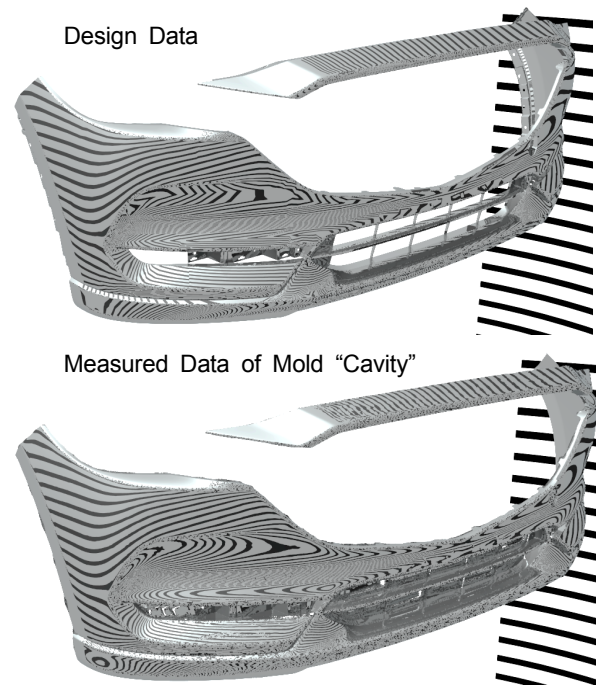


Fig. 12 Comparison of Design and Mold Cavity of Reflection Analysis

4. 映り込み品質の量産維持管理

量産工程において、面の連続感や法線ベクトルを保証された部品を安定的に生産し、完成車の映り込みを実現するために、バンパーや完成車の検査工程において外観検査ブースを新たに設置し、量産品の面の映り込みの検査工程を導入した。バンパー検査においては、CADデータ上で検査ブース内の照明ピッチ、バンパーの位置を再現させ、データ内での映り込み画像と実バンパーの映り込みの結果を比較し、安定品質のバンパー供給体制を構築した。現在は検査及び比較・合否判定を官能評価に頼っているが、今後はカメラ式の画像判別システムを構築し、定量的かつ自動判定を目指し更なる面品質向上を図る。

5. 結果と今後の課題

今回、法線ベクトルによる滑らかな映り込み実現という考えに基づき、机上段階から部品間の面の連続感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。Fig. 13にこのプロセスを導入した新型CX-5の映り込みの様子を示す。今回は、バンパーの事例を紹介したが、大型樹脂部品であるバンパーの変形は工程間の搬送・保管中のクリープ変形、塗

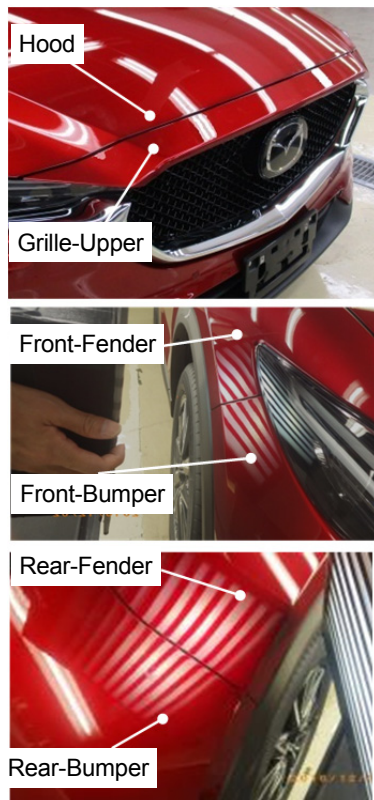


Fig. 13 Reflection of New CX-5

装乾燥時の熱変形などが複雑に関わりあった現象であり、継続した机上保証レベルの向上が必須であると考えている。また、従来の「製品図面通りの金型を作る」という考え方を、「提供価値である面の連続感を実現する金型形状はどうあるべきか」に変えて実践した。この考えを他の樹脂部品のみならず全ての部品とクルマづくりへと発展させていくことが今後の課題である。

6. おわりに

「魂動」デザインの持つ生命感や動きの加速感を量産車で忠実に再現させるため、車両外装における面の連続感の実現に取り組んだ。本稿では面の連続感や違和感といった定性的な指標を、法線ベクトルという物理指標でとらえ、曲率と隙による法線ベクトルのズレ基準値を明らかにした。更に、机上段階で面の連続感を実現させる車両構造や生産工程・要具製作プロセスの構築を行った。今後もお客様に感動を提供し続けるために、更なる技術開発を継続していく所存である。

参考文献

- (1) 三橋ほか：画像と視覚情報科学，コロナ社，pp.72 (2009)
- (2) 下野ほか：魂動デザインの実現に向けたそり変形解析技術の構築と金型づくり，型技術，Vol.31，pp.38-39 (2016)
- (3) 佐藤ほか：“魂動デザイン”を実現する金型設計技術，マツダ技報，No.32，pp.257-262 (2015)

■ 著 者 ■



田中 慶和



永野 恵行



太田 凜



新宅 則和