

特集：生産技術領域の進化

14

「魂動」デザインの再現に向けたこだわりのモノづくり

～プレス工程設計編～

Discerning Manufacturing for the Reproduction of “KODO” Design Part of Stamping Process Design

大谷 肇*1

Hajime Otani

岩田 成弘*2

Masahiro Iwata

西村 良治*3

Yoshiharu Nishimura

岡田 又治*4

Mataharu Okada

要 約

マツダの魂動デザインを具現化するには、クルマに命を与えようとする想いとモノづくりの技術力、そして匠の技による造り込みが不可欠である。エクステリアデザインの多くの部位を担うプレス成形部品においても、量産車として魂動デザインの具現化に携わる全ての人がデザイナーの想いを共有するとともに、技術力の向上と匠の技に磨きをかけ続けている。新世代商品群において魂動デザインをプレス成形部品で再現するには、キャラクターの造形では疾走する動物の筋肉を思わせるなど、生命感あふれる動きを表現するために新たなレベルの忠実な再現を必要とした。本稿ではプレス工程設計領域において、マツダの「モデルベース開発」の考えを礎とする新たな外観品質保証プロセスの構築に向けた取り組みを紹介する。

Summary

Thoughts and finishing by the manufacturing “MONOZUKURI” technology and the skill of “Takumi” to give a car a life are indispensable to embody “KODO” Design of MAZDA. In stamping molding parts taking many parts from the exterior design, all fields engaged in the embodiment of the “KODO” design as a mass production car, share the thought of the designer and continue to improve the “MONOZUKURI” technology and the skill of “Takumi”. A new level of faithful reproduction is needed to reproduce “KODO” Design with stamping molding parts in a new generation line of products, this is to express the muscle of the animal which ran at full speed by the molding of the character, and the full feeling of vitality movement. This report introduces the approach of the stamping process design field which for the construction of the new appearance guarantee of quality process to assume a thought of "the model base development" of Mazda a foundation.

1. はじめに

マツダはブランドエッセンスに「走る歓び」を掲げ、単にクルマの走行性能だけではなくマツダを選ぶことがお客様の自信と誇りにつながることを目指している。

「走る歓びをかたちにする」を念頭に、マツダならではの「ドライビングフィール」と「デザイン」を具現化するマツダの生産技術者が目指す姿のひとつは、モノづくりの技術力を圧倒的に向上させることで、デザイナー

による発想の上限を外してもらうことである。より自由に理想を追求し表現されたデザインをデザイナーと生産技術者がともに具現化を目指すことにある。

外装部品の多くはプレス成形にてかたち作られるが、プレス領域の量産準備業務では、それぞれの領域においてデザイン部門との対話を繰り返し、数々の量産モデルを経てひとつひとつの技術開発を積み重ねることで魂動デザインの進化を実現している (Fig. 1)。

*1～4 車体技術部

Body Production Engineering Dept.

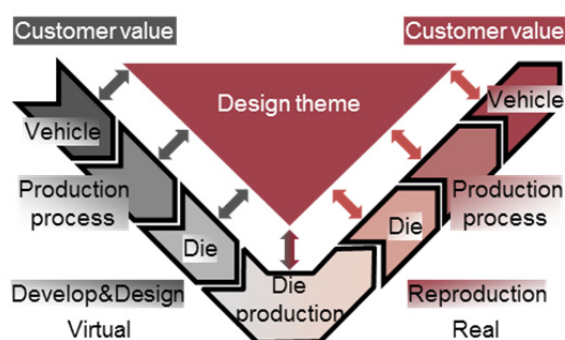


Fig. 1 V-Type of Stamping Production Readiness

2. 魂動デザイン

2.1 魂動デザイン

魂動デザインは、デザインコンセプトモデル“韌（SHINARI）”からクルマとしての具現化が始まり（Fig. 2）、新型CX-5にも採用された新世代商品群を通じてのデザインテーマである。生物が目標に向かって動き出す一瞬の強さや美しさをクルマのデザインに昇華させるとともに、クルマをただの鉄の塊ではなく、まるで生き物のように生命感を感じさせるものにしたい、それが魂動デザインである⁽¹⁾。商品群としてコアとなるデザインテーマを表現しつつ、それぞれのクルマが持つデザインキーワードをあわせて表現することで数々の商品を経ながら魂動デザインは進化を続けている。



Fig. 2 Concept Model MAZDA SHINARI

2.2 魂動デザインにおけるキャラクターの役割

魂動デザインを詳細に確認すると、際立った抑揚を持つ異なる面の集合体で形成されていることがわかる。面の抑揚には光や見る角度によってなめらかに移り変わるリフレクションの表情をボディに与えることで、見る者の感情を揺さぶる仕掛けが織り込まれている。

それぞれ異なる面の部位と部位をつなぐのがキャラクターである。魂動デザインにおけるキャラクターは単に面と面をつなぐための“R”や“ライン”ではなく、デザインを構成するひとつの面であり、隣接するそれぞれの部位の面を更に際立たせる重要な役割を担う。

3. 外観品質保証プロセスの再構築

3.1 魂動デザインにおけるキャラクターの忠実な再現

マツダのデザインは、人の心を強く動かす「動きの表現」の美しさを取り込んだクルマの造形に取り組み続け、魂動デザインでは生き物が見せる一瞬の動きの強さや美しさを「動きの表現」の究極の姿と考え、デザインテーマを大きく進化させた。

この進化に伴い、プレス成形の工程設計においても従来の考え方や工法から更なる変革が求められた。

3.2 従来までのキャラクター部外観品質保証プロセス

従来のキャラクターの造形では、よりシャープな“R”をプレス成形により造形すると、キャラクターには以下の現象が発生しデザインの再現性が失われた（Fig. 3）。

(1) キャラクター頂上部の局所的な板厚減少

成形時に発生する板厚方向の応力により、パネルの表裏における伸び量の差が極端に大きくなり局部的に板厚が薄くなる。

(2) 幅方向における弾性回復によるR値の増大

平面的な伸び量が少ないため、パネルが曲面形状から平面形状に戻ろうとする弾性回復の影響を受けている。



Fig. 3 Point Indicated by Designer

これらのプレス成形特有の現象に対して以下の技術課題に取り組んだ。

- ① パネルの表裏形状を再現する外観品質検証技術
- ② 表裏の歪差を制御する形状凍結技術
- ③ デザイナーの感性に近づく外観品質評価技術

それぞれの技術開発から新たな外観品質を保証するプロセスへと構築し、従来のデザインで求められてきたキャラクターを具現化した。

3.3 魂動デザインの進化に呼応するプロセスの再構築

これまでのプレス領域の量産準備業務では、CAEやデザイナーとの共創を基軸とした机上段階での作り込みと金型製作以降の実機段階での品質育成によりデザインの具現化を実現してきた。しかし、前述の2.2にあるようにキャラクターは魂動デザインを忠実に再現するうえでより重要性を増した。

デザイナーが言葉として発する「キャラクターが薄い」、「沈み方が意図と異なる」などこれまでより更に細やかな意匠を正確に再現するには、外観品質保証プロセス各工程での効率化や改善の範疇だけでは実現が困難だった。そこで、外観品質保証プロセスの新たな理想に向けて、マツダの「モデルベース開発」の考え^②を組み入れることで以下のように標榜した。

- ① 机上段階で品質の作り込みを完結する
 - ② 実機段階は机上段階での作り込みの確認のみとする
 - ③ 机上と実機段階の等価性に向けたフィードバック実現
- これらの方向性を実現すべく、外観品質保証プロセスの再構築を行った。

3.4 プロセス再構築に向けた課題

外観品質保証プロセスの再構築を行うには、それぞれの段階における以下の課題解決が必要だった。

- (1) 机上段階における課題
 - a) CAEによる実機での微細な現象の再現手法確立
 - b) CAEで再現した現象の定量的評価方法の確立
 - c) デザイン意図を再現させる補正方案の作り込み
 - (2) 実機段階における課題
 - d) 金型の精巧な造り込み
 - e) 机上段階と等価を保持する品質育成要領の確立
 - f) 実機段階における b.の定量的評価方法適用
 - g) 確度向上に向けた机上段階へのフィードバック
- これらの課題を、ひとつのVサイクルプロセスとして関連付けながら解決する必要があった (Fig. 4)。

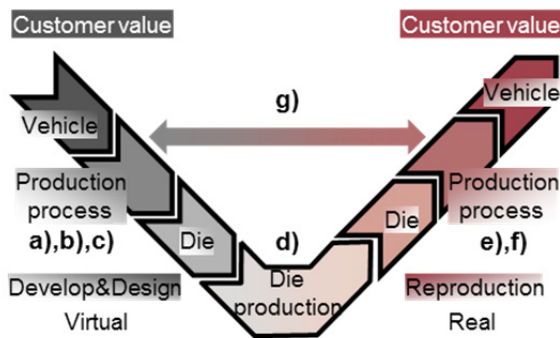


Fig. 4 Model Based V-Type Development Process

4. 机上段階の取り組み

4.1 CAEによる実機での微細な現象の再現手法確立

実機パネルにおけるキャラクターの鮮鋭さが損なわれる微細な現象をCAEにより再現するため、これまでに成形性評価を主体としたシェル要素による解析を実施した。しかし、大きく二つの課題が挙げられた。

- (1) パネル表裏それぞれの挙動再現性の限界

シェル要素では板厚方向での中立位置にのみ要素が配置され、パネルの上面・下面は仮想的に表現される。また、シェル要素では板厚の変化など板厚方向における成形過程のパネルの挙動をより正確に再現するには限界がある。

(2) 要素サイズ微細化の限界

シェル要素における最小の要素サイズは、板厚以上のサイズが望ましいとされる。主にフィレットR部などの形状において、板厚方向の曲率半径中心側へオフセットした要素の干渉による悪影響を防ぐためである (Fig. 5)。したがって、数十 μm レベルのキャラクターの変化を再現するには要素サイズの点から考えると大きな乖離がある。

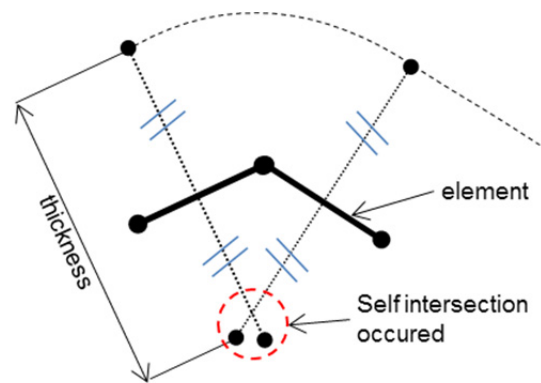


Fig. 5 Intersection Caused by Offset Elements

そこで、直接お客様の目に触れるパネルの板外側と裏側にあたる板内側のそれぞれの挙動を実要素で表現し、板厚方向の成形過程をより正確に表現することが可能なソリッド要素の適用により解決を試みた (Fig. 6)。

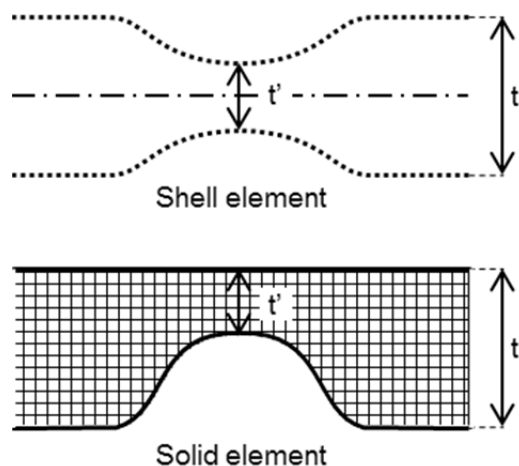


Fig. 6 The Difference of Representation by Elements

しかし、外装部品形状全体をソリッド要素で表現すると、メモリー消費量の増加や計算時間の増大など新たな課題が明らかになった。そこで、キャラクター部の評価

要領に適したソリッド要素による解析要領を以下のように構築した。

- ① 平板状態から下型接触直前までの成形過程を製品形状全体でシェル要素を用いて計算する。
- ② キャラクター部内で鮮鋭さを確認する部位を選定し、鮮鋭さを阻害する現象が評価可能な大きさと要素サイズのソリッド要素を配置する (Fig. 7)。
- ③ ①で算出した応力状態をソリッド要素に引き継ぎ、下死点までの成形完了過程を計算する。
- ④ 除荷時の応力解放によるスプリングバック現象をソリッド要素で計算する。

この解析要領により従来と同程度のリソースにより微細な現象の再現を実現し業務適用を図った。

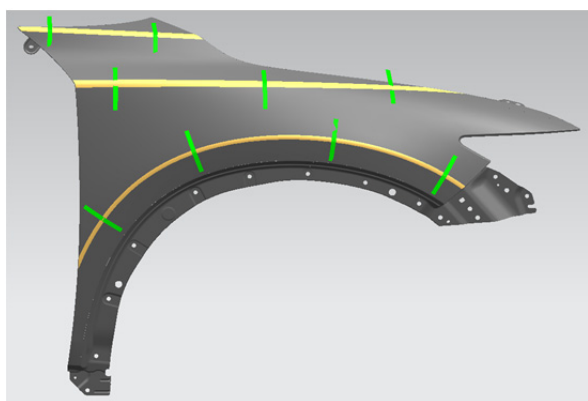


Fig. 7 Arrangement of Solid Elements

4.2 CAEで再現した現象の定量的評価方法の確立

ソリッド要素により再現した現象から、方案の良し悪しを判断するために定量的な評価要領の確立が必要となった。当初、ソリッド要素の板外側と評価平面の断面線を曲線化し、頂上部で曲線上の3点からR値を算出することで定量化を実現した。しかし、この評価要領では二つの課題が顕在化した。

(1) 頂上部のみの評価指標

魂動デザインのキャラクターは幅方向の断面線でみると、フィレットRのような一定の曲率はなく、非一様の曲率を持つ曲線としてとらえることができる。よって頂上部から算出したR値では頂上部のみの先鋭さは把握できるものの、アプローチ部の様子を評価することができないためデザイナーの想いと乖離していく可能性がある。

(2) 折れ線からの曲線化時に生じる形状のばらつき

CAEモデルと評価平面の交線は折れ線で表現される。折れ線をNURBS曲線化する際に次数やセグメント数などを与えるが、入力値の変化に対して出力曲線の形状変化がより大きくなり、妥当な値を得るには入力調整の繰り返しが必要となった (Fig. 8)。

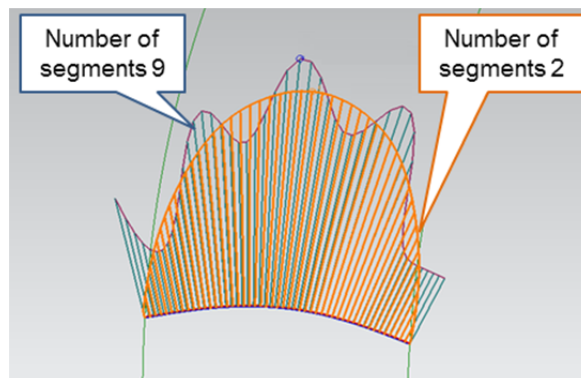


Fig. 8 Difference of Shape by the Parameter

これらの課題解決に向けて、評価領域をアプローチ部も含めたキャラクター全体とするとともに、連続的な情報への変換を必要とせずメッシュや折れ線など離散化された情報のまま扱うことを念頭に評価要領を検討し、GOM社製ソフトウェアGOM Inspectを用いて評価手順を実現した。手順の大きな流れは以下のとおりである。

- ① 基準となる製品形状のCADモデルに対して、定義した評価平面とキャラクター部での断面線を得る。この断面線の両端を線分で結び弦とし、断面線との偏差が最小となる仮想円Aを定義する。CAEモデルについても同様に仮想円Bを定義する。
- ② 仮想円Aの弦と同じ長さ、位置になるよう仮想円Bの位置合わせを行う。この時の共通の弦における各仮想円での矢高を算出し、仮想円Aの矢高から仮想円Bの矢高を引いた値を評価指標とする (Fig. 9)。

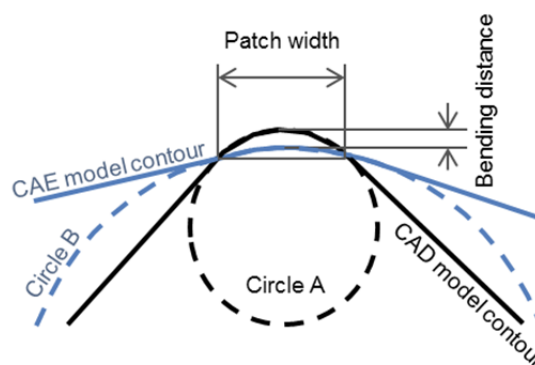


Fig. 9 The New Evaluation Index

当評価指標ではこれまでの課題の解決に加え、正の値であれば仮想円Aの半径に対して仮想円Bの半径は小さく「キャラクターがきつい」、負の値であれば仮想円Bの半径は大きく「キャラクターが薄い」という値の正負符号とデザイナーが想い発する言葉との相関性を確立する可能性を見出すことができた。当評価指標をこれからの机上段階での作り込みでの指標とした。

4.3 デザイン意図を再現させる補正方案の作り込み

CAEで明らかになった現象への対策として、成形後のパネルがデザイナーの想いどおりになるよう、金型形状のキャラクター部に補正を織り込む必要がある。

しかし、従来の金型形状面設計では意匠面を編集する作業は稀であり作業可能な設計者も限られていた。そこで、キャラクター部の補正要領を確立するべくデザイン部門に協力を得ながら、ともに取り組みを行った。

デザイン部門との会合で最初に行ったことは、デザイナーが発する言葉とCADモデルとの相関性を見出そうと、今一度、デザイナーが想うキャラクターの意図を深く理解することだった。次に、具体的な面の張り方や要点など詳細なレベルまで問いかけ、対話を繰り返すことで必要な知識やスキルを習得し、補正要領をひとつひとつ積み重ねた。キャラクター部における補正の要件は主に以下のように集約される。

(1) デザイン意匠を再現するための頂上部先鋭化

CAE結果より明らかになった成形によるデザイン意匠との違いの度合いに応じて、キャラクター頂上部をCADモデルと比較し、より先鋭になるよう、しかし、「きつすぎる」ことがないように、曲率半径の偏差を指標としながら補正を行う。

(2) キャラクター部と隣接面との連続性保持

デザインの意図を継承しながら補正を実現するには、キャラクターに隣接する面との関係を維持することが求められた。生産技術領域における通常の形状作成ではフレットR作成時のようなG1（接線）連続性までで要件を満足していた。しかし、意匠面のキャラクター部の補正ではG2（曲率）連続性が求められる。

(3) キャラクター全体のフォルム維持

隣接面との連続性保持とともに、キャラクターの面自身においても補正により大きく形を崩さないことが求められた。例えば、キャラクターの幅を広げたり、面端から頂上部に至るアプローチ部における曲率を大幅に変化させたりすることは、キャラクターとその周辺のリフレクションを崩してしまい、デザイナーの意図からかけ離れてしまう（Fig. 10）。

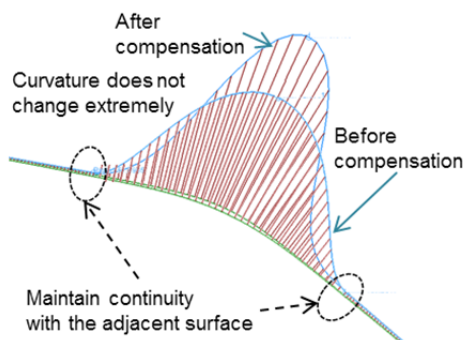


Fig. 10 Shape Correction Requirements

上記の相反する要件を全て満たした金型形状面を設計できるよう、設計者のモデリングスキル向上をはじめ補正形状作成や評価方法など一連の作業要領を整備した。

4章までの取り組み内容を含め、机上段階での作り込みを行うPDCAサイクルを確立し、金型製作部門や実機での品質保証領域など実機段階へと引き継ぐ業務プロセスへと変革した。

5. 実機段階の取り組み

5.1 机上段階との等価を保持する品質育成要領の確立

実機段階での取り組みは、金型の精巧な造り込みから始まる。4.3で述べた「補正形状」をプレス部品に反映させるには補正形状と金型が完全に一致することが必要であり、この取り組みはプレス金型製作編にて紹介する。

精巧に造り込まれた金型を用い、机上検証の完全な再現及び検証精度のスパイラルアップをねらい構成した以下の三段階のプロセスに沿って品質育成を行う。

5.2 机上検証での前提条件の具現化

机上検証結果を実機で再現するには検証において設けられた前提条件の正確な具現化（机上と実機の一致）が不可欠である。品質育成過程の節々で一致の確認と整合を行い、次節への不一致の流出を防ぐことで机上と実機の一貫性を保証しているが、その過程において二つの課題が明らかになった。

ひとつは、一致の確認手段は統一されているものの良否を判定する閾値がなく判断は担当者ごとの考え方により差があり、これが品質育成過程において手戻りとして現れ、都度是正するために多くの工数を費やした。

もうひとつは、机上検証の前提条件が多岐にわたるために、品質育成の限られた期間内に大小全ての一致を確認することができず、未確認の条件を残した金型が次節へ進むことがあった。

これらを解決してより正確に具現化させるため、現在は一致の確認を以下の4項目に集約し、閾値を統一した。

a. 工具（金型）寸法の一致

金型の造り込みの確認（プレス金型製作編参照）

b. 材料寸法及び材料特性の一致

特性値が量産規格の上下限に収まっていることの確認。

c. 成形条件の一致

成形前材料位置／成形後のエッジ位置／成形後の板伸縮／成形圧力の値が一致していることの確認。

d. 金型と製品の相対位置の確認

成形前後において金型と製品の相対位置にズレが生じていないことの確認。

上記項目の確認により、効率良く振れない具現化を品質育成期間内に収め、かつ机上と実機の一貫性及び再現結果の信頼性を高めることができた。

5.3 実機における現象の定量的評価

アウトプット（最終製品）の3次元測定結果を元に4.2で述べた評価指標値を算出し評価したが、評価指標値が正負ゼロであってもそれが本当にデザイナーの想いを反映した形状であるのか、自主判断できないことが課題となった。

これを解決するために評価指標値にデザイナーの主観による評価（パネルレビュー）を合わせて最終評価を行った。評価指標値とデザイナーによる評価結果に基づき再補正を繰り返す過程から、二つの評価には相関性があることが判り、公約数を評価指標値の閾値として定義することで定量的な評価方法として確立した（Fig. 11）。

今後はこの閾値の精度をより高めることで、評価指標値のみで品質育成を自己完結できるようにすることが目標である。

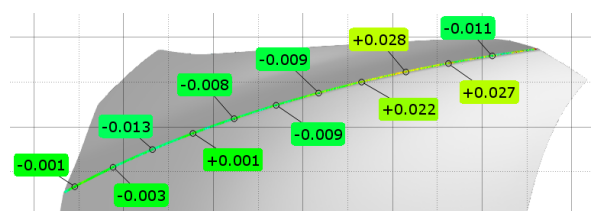


Fig. 11 Results with New Evaluation

5.4 検証精度の向上への机上段階へのフィードバック

モノづくりを机上段階で完結させるには検証精度を高度に進歩させることが必要であり、そのために実機での再現結果について以下の二つに主眼をおいてフィードバックしている。

(1) 前提条件と実機の不一致

品質育成過程において一致として扱っている前提条件であっても、実際には存在するわずかな差異とそれが及ぼす再現結果への影響。

(2) 机上検証の前提条件にない生産性ノイズ

現在一致を確認していない金型使用環境・設備環境・材料特性等の状況と再現結果との相関。

これらの情報を品質育成のPDCAを繰り返す中から抽出し机上検証の精度のスパイラルアップにつなげている。

6. おわりに

3章で述べたVサイクルにおける外観品質プロセスを回し続けるとともに、デザインをはじめとする他部門との共創活動もより高めていく。

そして、魂動デザインの進化による新たな課題、例えばキャラクターのピークへ向けたアプローチ形状再現や、ベースとなる意匠面のリフレクション再現などの解決に取り組み、お客様価値の向上を図っていく。

参考文献

- (1) 中牟田ほか：次世代デザインテーマを具現化したコンセプトモデル「靱」の開発，マツダ技報，No.29，pp.68-75 (2011)
- (2) 藤川智士：マツダの目指すモデルベース開発，マツダ技報，No.31，pp.44-47 (2013)

■ 著 者 ■



大谷 肇



岩田 成弘



西村 良治



岡田 又治