

特集：新世代商品群の生産技術

28

「魂動デザイン」の深化を実現する樹脂成形技術の開発 Development of Plastic Molding which Realizes Deepening of “Kodo design”

埤 慎一*1

Shinichi Tao

田中 宣隆*2

Nobutaka Tanaka

田中 慶和*3

Yoshikazu Tanaka

影本 真也*4

Shinya Kagemoto

要 約

マツダは、シンプルなフォルムと繊細な光の表現でクルマに命を吹き込むことを目指し、「魂動デザイン」を深化させている。その中で生産技術部門として、滑らかに繋がる面の流れによって感じる「塊感」を量産車で実現するため、車両外装の隣り合う部品が一枚の面であるかのような連続感の実現に向け取り組んできた。本稿では、バンパー樹脂成形において、デザイナーの意図をより正確に実現する生産工程設計と新たなプロセスについて紹介する。

Summary

Aiming to give a life to vehicles with the simple form and the sensitive light expression, Mazda is deepening the “Kodo – Soul of Motion” design. We, in charge of production engineering, have worked on the realization of the “continuous look” of adjacent parts in the vehicle exterior as if they are one-piece surface part, to achieve “Kodo” that we can feel from the smoothly connected surface flow in the mass production vehicles. In this paper, we introduce a production process design which accurately realizes the design intention, and a new process in the bumper resin molding.

Key words : Materials, Production・Manufacture, Bumper/Body/Vehicle Body/Exterior, Forming Process, Die/Mold, Modeling, Process, Press/Resin (Plastics)

1. はじめに

「魂動デザイン」のねらいは、命を宿したもののだけが放つ、一瞬の動きや美しさを表現することにある。それには、クルマ全体を一つの金属から削り出したかのような「塊感」が必要であり、車体に映り込む光や背景が、ズレや歪なく見えるクルマ造りを目指している。それを量産車で実現するには、バンパーとボンネットなど、隣り合う部品が一枚の面であるかのような連続感が重要である。

本稿では、デザイナーが意図する面の連続感を正確に実現するための製品構造設計から生産工程設計における取り組みについてバンパーを事例にして紹介する。

2. 面の3Dデータ評価

ねらいの面の連続感を実現するためには、バンパーが車

両に組付けられた時に、どのように光が映り込むかを定量的な指標で判断する必要がある、3Dデータで面の評価ができる仕組みとそのシステムを整備した。

2.1 車両状態の面形状の3Dデータによる再現

実際の車両では、各部品の自重や樹脂成形特有のソリ変形した複数の部品を締結することで、部品同士の引っ張り合いが生じ、部品単体の面の状態から変化している。その複雑な変形を3Dデータで再現するため、構造解析ソフトを用い、実車状態の面を再現することに取り組んだ。Fig. 1にバンパーユニットの事例を示す。まず、ユニットを構成する樹脂部品に対してソリ変形解析を実施する。次に解析で得られた各部品のソリ変形したモデルを実車同様に3Dデータで組み付けていく。その時に、締結穴や爪などの締結構造や接触する座面の形状に対し、適切な接触条件や拘

*1～4 車両技術部

Painting, Trim & Final Assembly Engineering Dept.

束条件を与えることで実車状態を忠実に再現した。その結果、バンパーユニットを実車両に組み付けた時の面の状態と同等の変形を3Dデータで表現することを可能にした。

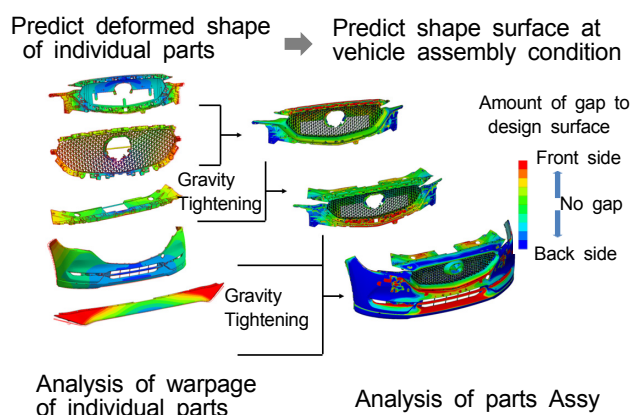


Fig. 1 Deformation Prediction by Parts Assembly

2.2 光の映り込みの3Dデータによる再現

実車では、車体にライトを当てて光を映り込ませることで、面のズレや歪みの有無を目視評価しており、これを3Dデータで再現することに取り組んだ。検証に当たり、まず実車の形状面をレーザースキャンし、デジタルデータ化することで、実車の面の状態を3Dデータで再現した。この形状面に対し、視点の位置や光源の数・位置を考慮して陰影付けを行うCADツールのレンダリング機能を使い、光を映り込ませた。黒い線が車両の形状面に映り込んだ光のラインを表している(Fig. 2)。その光のラインが、光源の位置や角度を実車と同様になるように設定・調整することで、実車と同じ光の映り込みを3Dデータで再現した。その環境の下、2.1で再現した実車状態の面に対し、このレンダリング評価を行うことで、3Dデータで光の映り込みを評価することを可能にした(参考文献(3)参照)。

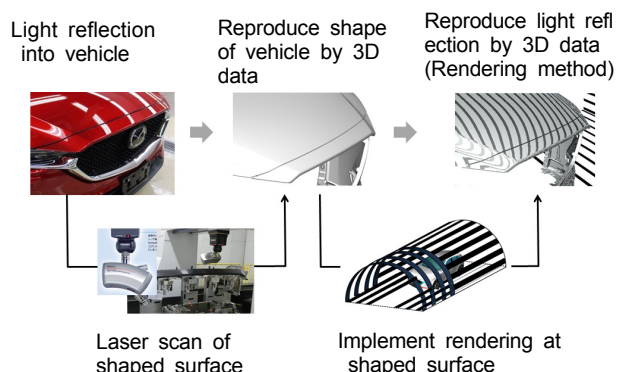


Fig. 2 Reproduce Light Reflection by 3D Data

2.3 面の評価指標の設定

これまでの車両品質は、隣り合う部品間の隙と段差の大きさを評価してきた。それに対し本取り組みでは、面の連

続感を“隣り合う部品の法線ベクトルが滑らかに繋がること”と定義し、部品間の法線ベクトルの差と光の映り込みの関係を明らかにし、これを車両品質の新たな評価指標として加えた(参考文献(1)参照)。Fig. 3は、横軸をデザイン造形曲率、縦軸を部品間の法線ベクトルの差とし、グラフより下のエリアが違和感を覚えない領域を表す。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し、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。この取り組みで、面の連続感を3Dデータで定量的に評価することを可能にした。

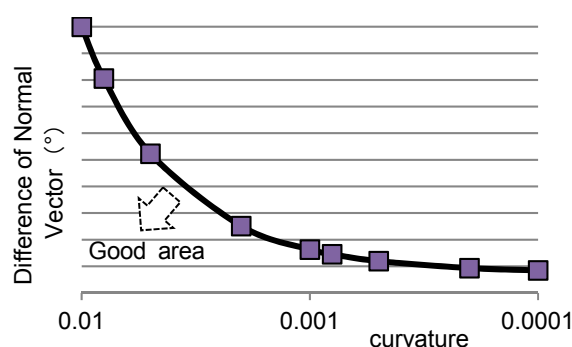


Fig. 3 Standard Normal Vector on Vehicle

3. 製品構造/生産工程設計

3.1 製品構造設計

樹脂部品であるバンパーは、金属より剛性が低いため、自らの重量に加え、構成部品が取り付けことで重力により面が変形する。そこで、自重で変形しにくい製品構造とするため、デザイン造形を再現する意匠部位と荷重を受ける骨格部位に機能を分離した。Fig. 4にバンパーユニットの骨格部位を示す。バンパーユニットに骨格構造を設定することで、重量による変形に対するロバスト性が向上できた。

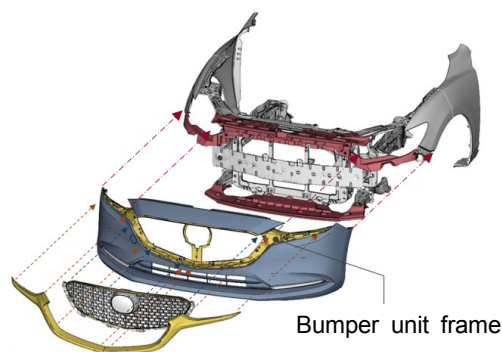


Fig. 4 Product Structure Design by Separate Functions

3.2 生産工程設計

(1) 樹脂流動解析

内外装樹脂部品の射出成形では、金型に充填する熔融樹脂が、冷却されて固化する際に収縮し、その量は充填時の樹脂の圧力・温度により決まる。バンパーのような大物樹

脂部品では、金型の樹脂注入口（ゲート）が複数必要となることに加え、製品機能を最小重量で満足させるために、製品板厚は部位毎に異なる。そのため、ゲート毎の樹脂の流動速度や距離に差が生じ、金型内の樹脂の圧力・温度が不均一になる。その結果、Fig. 5に示すとおり、部位毎の収縮率に差が生じ、面内歪み、面外曲げや倒れ込みが起こり、部品にソリ変形が発生する。そこで、樹脂流動解析を用い、製品板厚分布、ゲートのサイズや点数、樹脂の射出速度などの工程条件を調整し、収縮率の分布の差が最小になるように工程設計をしている。

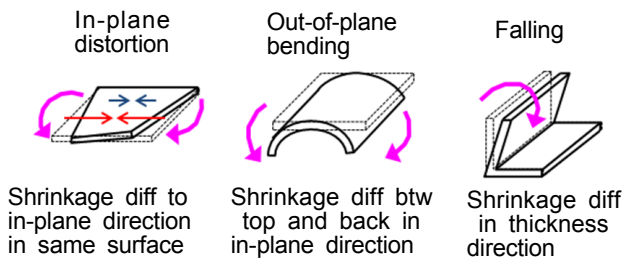


Fig. 5 Pattern of Warpage Deformation

(2) ソリ変形解析精度の向上

樹脂流動解析で収縮率の分布の差を最小にしたとしても、ソリ変形をゼロにすることは困難であり、抑制する製品構造、金型構造、生産工程をCAEで造り込むためには、ソリ変形をこれまで以上に正確に予測する必要がある。そこで、東レエンジニアリング株式会社と共同で、3D TIMON®の解析ロジックの強化に取り組んだ。より本質的な対策をCAEソフトに実装するために、成形工程で起きている実現象と現状のCAEソフトの解析ロジックを対比し、不足しているロジックを明確にし、モデル化してCAEソフトに実装した。以下に、今回CAEソフトに実装した主要な施策を紹介する（参考文献(4)参照）。

① 樹脂弾性率の温度依存性の加味

Fig. 6は、横軸が成形工程の時間軸、縦軸に弾性率を表しており、金型に充填された樹脂は、赤実線のように、冷却・固化が進むにつれて弾性率が高くなる。成形時の樹脂の収縮により発生する内部応力と成形品の剛性の釣り合いを計算するソリ変形解析は、この弾性率の経時変化を加味する必要があるが、従来のCAEでは、常温における一定の弾性率を用いていた（Fig. 6の青点線）。今回の活動で、冷却中の樹脂の温度変化に応じて弾性率を変化させるロジックを実装した。

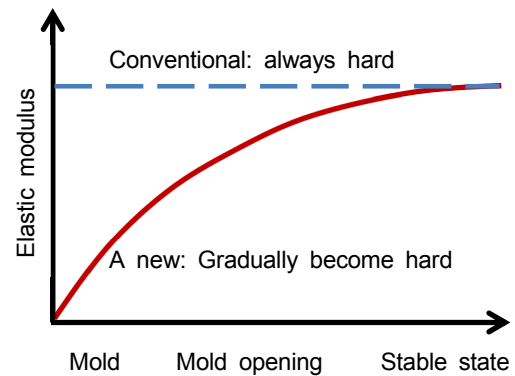


Fig. 6 Elastic Modulus by Temperature Change

② 成形品の金型拘束状態の再現

Fig. 7は、横軸が成形工程の時間軸、縦軸に型内拘束力を表しており、実際の樹脂部品は、上図のように金型を抱き抱える形状のため、金型内で成形品は収縮出来ない。従来のCAEでは、左下図のように、金型拘束状態を再現していなかった。今回の活動で、型内では成形品が金型に拘束されて収縮せず、冷却完了後、成形品が金型から解放されてから収縮するロジックに変更した。

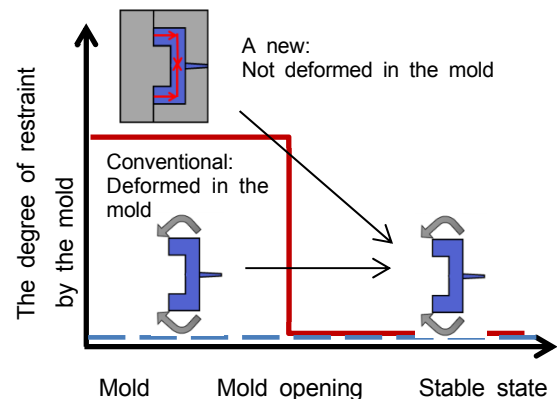


Fig. 7 Mold Restrain in Molding Parts

③ 板厚方向収縮率の算出

一般的にL字形状を持つ樹脂部品は、成形時にL字の内角側に形状が倒れ込む変形が発生する。このメカニズムはFig. 8に示すとおり、成形品の面内方向（青矢印）と板厚方向（黒矢印）の収縮率の差による幾何学的な形状の変化であることが知られている。従来のCAEでは、面内収縮率に一定の係数を掛けて板厚収縮率を算出していた。この計算では、面内方向と板厚方向の収縮比率は常に一定になるが、検証の結果、実際の成形では、製品板厚等の条件によって比率が変化することが分かった。Fig. 9は横軸を面内収縮率、縦軸を板厚収縮率を面内収縮率で割ったものである。このデータを基に板厚収縮率を、体積収縮率と面内収縮率から演算するロジックに変更した。

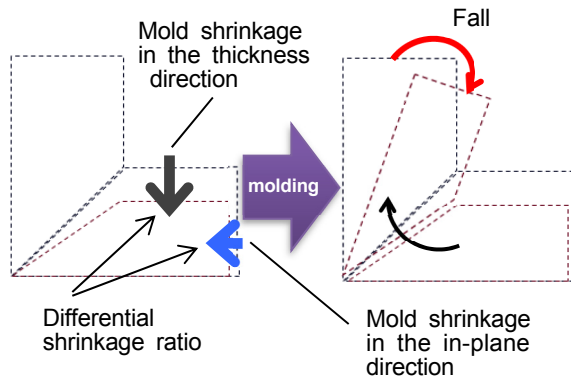


Fig. 8 Shrinkage and Fall in Thickness Direction

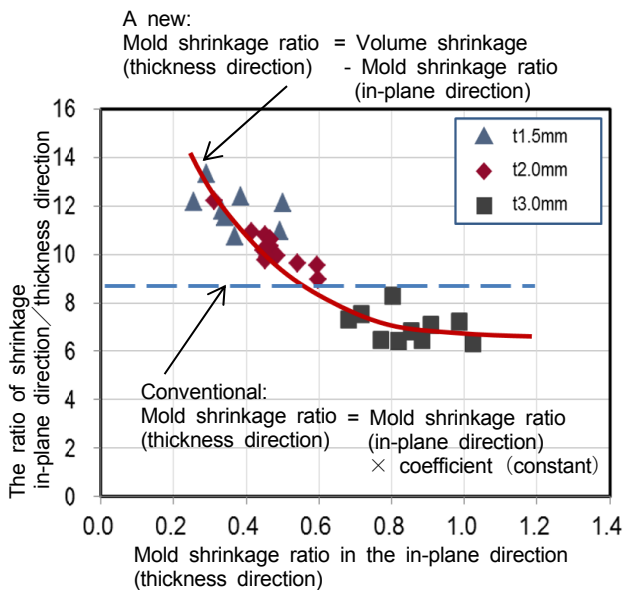


Fig. 9 Shrinkage Ratio of Thickness Direction and In-Plane Direction

4. 美しい面の創成技術

4.1 インバースプロセス

樹脂部品は、材料や工法の特性上、自重による変形や成形時のソリ変形が発生する。それらの変形を、製品設計や生産工程設計だけで完全に回避するには、膨大な時間や投資を費やす必要がある。従来のプロセスでは、製品形状に対し、収縮率分布を平均化した一定の収縮率を見込んだ金型を製作していた。今回の取り組みでは、自重による変形と部位毎の収縮率を逆算して金型に見込むプロセス（インバースプロセス）を構築した（Fig. 10）。以下にそのプロセスの概要を紹介する。

(1) 自重変形インバース

前述3.1で述べたように、バンパーの機能を分担し、自重変形に強い製品構造としたが、それだけでは解消できないわずかな自重変形が発生する。そのわずかな変形を金型に見込むため、構造解析ソフトを用い、構成部品を組み付けたバンパーユニットに対してマイナス方向に自重を掛ける

ことで、自重変形を逆算した製品モデルを作成する。

(2) ソリ変形インバース

自重変形インバースを行ったバンパーの製品モデルをインプット形状とし、ソリ変形解析を実施する。その結果得られるソリ変形したモデルに対し、3D TIMON®のソリ変形逆算機能を使用して、変形を逆向きに反転した形状モデルを作成し、再度ソリ変形解析を行う。これを繰り返してソリ変形後のモデルと製品モデルの形状が近似するまで収束計算を行い、最終的に得られた逆算形状モデルを出力する。そのモデルを使用し、後述する4.2金型設計に示す手法により、自重変形と部位毎の収縮率を予め予測した金型サーフェスモデルが完成する。

一定の収縮率のみを見込む従来のプロセスでは、製品形状と金型形状が相似形だったのに対し、本プロセスでは、製品モデルと金型モデルが異なった形状となるが、この金型で成形したものが自重及びソリ変形した結果、製品モデルと一致した形状になる。

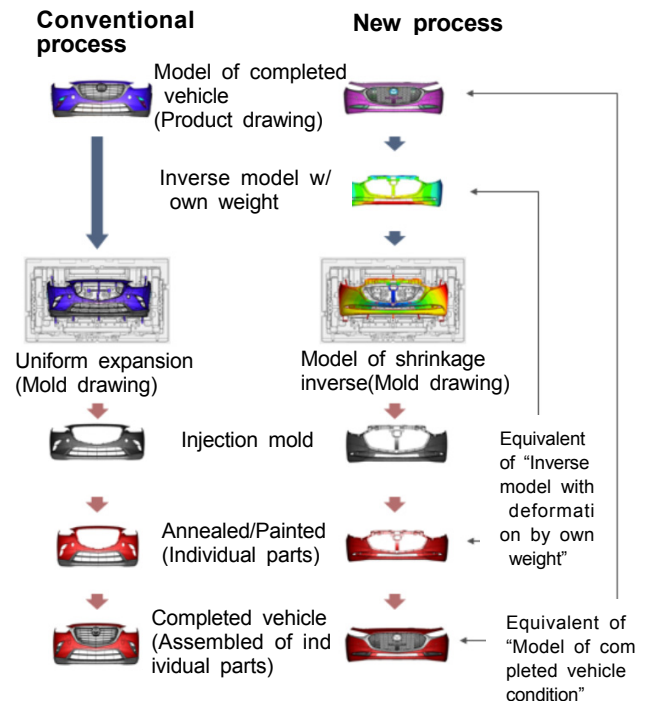


Fig. 10 Inverse Process

4.2 金型設計

ソリ変形インバースモデルは点群モデルの為、金型設計モデルとして点群をサーフェス化する必要がある。そこで、製品サーフェスモデルを、ソリ変形インバース後の点群モデルを基に変換する手法を構築した（Fig. 11）。インバース前のサーフェス面とインバース前後の点群データを用いて、各点群の変位量に応じて元のサーフェスを追従させ、インバース後のサーフェス面を自動創成する。この際サーフェスの面品質が、デザイン意匠としての品質を確保できるように、点群への追従量と面の滑らかさが両立するパラ

メータを設定した。これを行うにあたり、(株)電通国際情報サービスのご協力の下、「Omnicad for NX」を用い、点群からサーフェス面を自動創成する仕組みを構築した。

このサーフェスを使用して金型設計・製作し、バンパー成形、車両組み付けすることで、重力による自重変形と成形時のソリ変形がキャンセルされたデザイン意図通りのバンパーを得る事ができる。

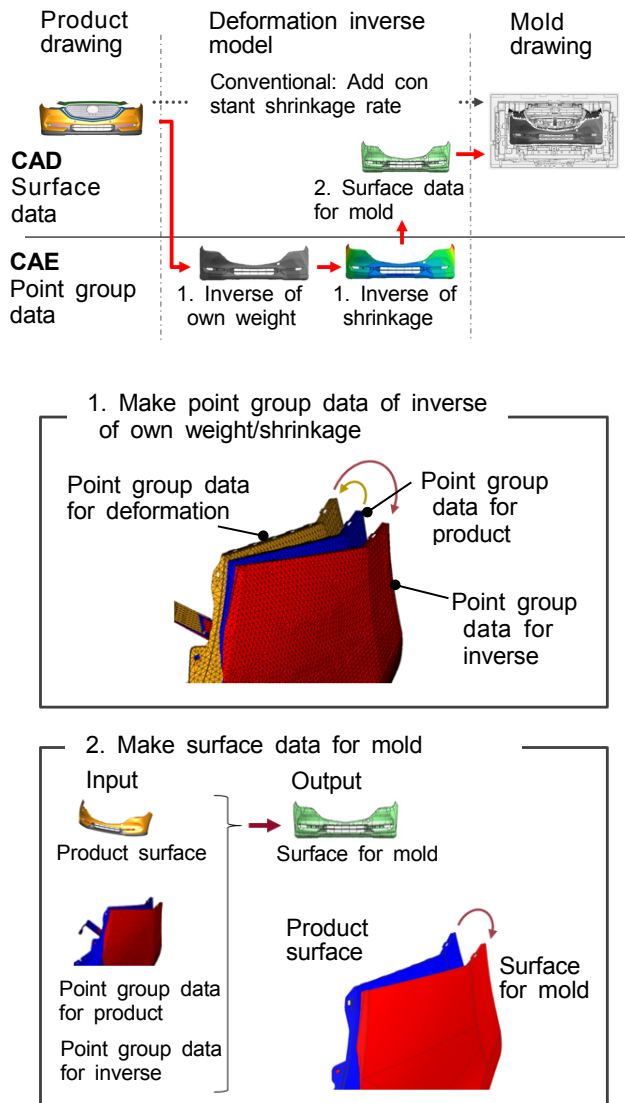


Fig. 11 Automatic Creation of Surface with Point Group

5. 結果

上記の取り組みをダイキョーニシカワ(株)と共同で実施し、新型MAZDA3では、部品間を跨ぐ連続的な光の映り込みを実現できた。Fig. 12に新型MAZDA3のバンパーに適用した結果を示す。



Grill upper



Front bumper



Rear bumper

Fig. 12 Light Reflection in Vehicle

6. おわりに

本稿で紹介した取り組みは、樹脂部品共通の課題を解決できる技術である。今後は、更なるCAE精度向上への取り組みを進めると同時に、バンパー周辺部品に対して今回紹介した技術とプロセスを展開し、デザイン意図をより高いレベルで実現していく。

参考文献

- (1) 田中ほか：魂動デザインを際立たせる“面の連続感”実現の取り組み, [マツダ技報, No.34, pp.93-98 \(2017\)](#)
- (2) 藤末ほか：魂動デザインの実現に向けた樹脂部品の面精度保証プロセスの構築, 型技術, Vol.32 No.13, pp.72-73 (2017)
- (3) 上西ほか：魂動デザインの実現に向けた樹脂部品にお

ける面精度向上の取り組み, 型技術, Vol.32 No.8,
pp.64-65 (2017)

- (4) 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 No.13,
pp.38-39 (2016)

- (5) “ Omnicad ” Copyright©2019 Omnicad All Right
Reserved
“ NX ” Copyright©2019 Siemens All Right Reser-
ved

■ 著 者 ■



埴 慎一



田中 宣隆



田中 慶和



影本 真也