

論文・解説

45

“魂動デザイン”を実現する金型設計技術 Mold Technology to Achieve “Soul of Motion Design”

佐藤 博紀*1 古川 智司*2 澤田 義裕*3
Hiroki Sato Satoshi Furukawa Yoshihiro Sawada

松田 善光*4 鈴木 広之*5
Yoshimitsu Matsuda Hiroyuki Suzuki

要 約

マツダは、ブランド価値の向上や卓越したデザインの実現、モノ造り革新を進めており、プラスチック領域では、ブランドにとって重要であり最大の樹脂部品であるバンパについて取り組みを進めている。

バンパは射出成形によって生産され、その金型はさまざまな機能が求められるため複雑な内部構造を持つ。しかし、複雑な構造は、魂動デザインによるバンパの魅力ある造形や大型化の実現達成に支障を与える上、投資の増加と生産性の悪化を招く。そこで、デザイン・バンパ設計の自由度と効率の両立のためには、必要最小限の機能で軽量・コンパクト・高剛性の金型造りを追求するべきと考え、金型が本来持つべき機能を定量評価する技術を開発し、「軽量・シンプル・高剛性なワンピース金型」を目指した活動の事例を紹介する。

Summary

Mazda is advancing brand value enhancement, distinctive “Soul of Motion Design”, cost improvement, and Monotsukuri Innovation. We, in charge of the plastic area, are also working on the innovation of the bumper, the largest plastic component in the car, which represents the brand.

The bumpers are manufactured by injection molding. The mold, which requires a variety of functions, has a complex internal structure. Such a complex structure, however, leads to limitation to realizing the “Soul of Motion Design”, increased investment, and lower productivity. We therefore recognized the necessity to achieve both productivity and design flexibility by pursuing technologies for developing a simple, high-rigidity and light-weight mold having minimum necessary functions.

1. はじめに

現在、マツダでは構造改革プランを進めており、技術本部では「魂動デザイン」「人馬一体」「燃費」の観点で、お客様の期待を超える価値の実現を目指している。その実現へ向けて、通常はトレードオフの関係にあるV (Value: 商品価値・性能) とC (Cost: 投資・生産性) を技術開発によってブレークスルーし、双方を両立させることが必要と考えている。これを我々はFig. 1に示すとおり、分子をVとして分母をCとした指標である「ビジネス効率」と定義し、その向上へ取り組んでいる。

そこで、プラスチック領域では次の理由から、製品のVとCを向上させるために重要な部品である、フロントバンパ・リヤバンパのビジネス効率の向上へ取り組んでいる。

- ① 魂動デザインを再現する上で重要な、フロントビュー、リヤビューを大きく占める部品である。
- ② 魂動デザインや機能要件を満たすために大型化し、

樹脂部品の中でも最大で、車両や生産設備・製造コストに占める割合が大きい。

本稿では、バンパ金型においてビジネス効率最大で魂動デザインを実現するために、金型に求められる性能を、成形工程の机上再現により定量化する技術を開発した取り組みを紹介する。

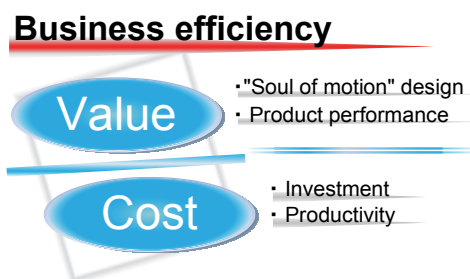


Fig. 1 Business Efficiency

*1~5 車両技術部
Painting, Trim & Final Assembly Engineering Dept.

2. バンパ成形の技術向上

2.1 バンパ成形の技術向上への取り組み

バンパは、溶けた樹脂を金型内部へ注入し、冷却固化した後に取り出すという射出成形工法で生産している。この工法は、種々ある量産における工法の中では転写性が高く、魂動デザインの持つ複雑な曲面やキャラクタラインの再現に適した工法で、生産効率も高く大量生産に適している。そのビジネス効率を更に向上させるために、これまで以下の取り組みにより効果を出してきた。

- ① 従来材料と比べて重量強度比を20%向上させた、高剛性材料の導入と薄肉による車両の軽量化
- ② 業界トップクラスのハイサイクル成形による、省エネと生産能力の向上
- ③ 周辺部品を取り込み同時に成形することで、型数削減と生産効率向上を実現

そして、今後バンパの付加価値を高めビジネス効率をより向上させるには、デザイン自由度や品質に与える影響が大きい金型構造での更なる改善が重要であると考えた。

2.2 付加価値とコストを両立した金型とは

ビジネス効率最大の金型を実現するには、VとC双方の向上が欠かせない。しかし、高まるデザインニーズと環境・安全といったバンパ機能を満たすため、他部品との一体感向上のための位置決めや、部品を設置する締結が必要になり、バンパ構造は複雑になる傾向にある。そのため金型構造も、Fig. 2に示すように多数のブロックを組み合わせた複雑な構造になり、強度の低下や「割り」と呼ばれる分割面が多数発生する。割りに生じる段差はバンパ表面の平滑性を阻害するが、完全に0mmにはできない。そのため今後、魂動デザインの持つ流麗な面の忠実な再現を追究していく中で、障害となることが予想された。

そこで金型造りにおいて、デザイン・バンパ設計の自由度を更に高めながら優れた生産性を達成するには、形状面に分割のない1つの部品で作られた「ワンピース金型」を目指すことが最も重要と考えた。つまり、金型構成部品点数が極少化されたシンプルな金型構造によって、バンパ裏面に存在する金型の「割り」の量をミニマム化しながら、金型を軽量・シンプル・高強度に作れるため、VとC双方の向上を実現できる。

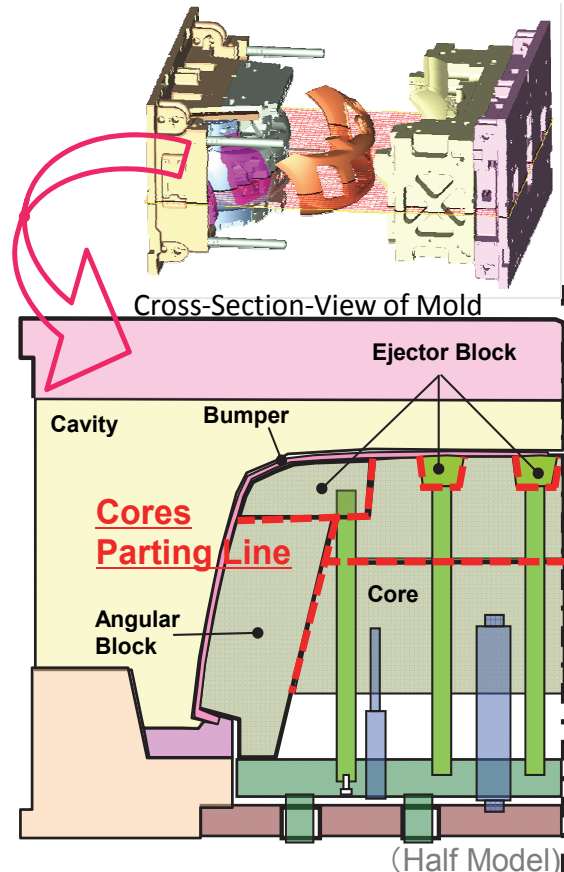


Fig. 2 Cores Parting Line

3. 金型の目指す姿へ必要な技術

目指す姿を実現するには、割りが必要な金型構造をいかに減らすかが重要である。これは、後述する「アンダーカット処理構造」と「突き出し構造」に分類され、それぞれ生産に必要な機能を金型へ持たせている。そのため、金型におけるバンパ裏面の割りをなくしてワンピース金型を達成するには、必要機能の定義とその性能を定量化して構造の可否を判断するための、以下3つの技術が必要である。

3.1 金型強度の評価技術

射出成形金型は溶融した樹脂が高速で注入されるため、部位ごとに約40~100Mpaという非常に高い圧力が加わる。そのため金型の強度が低いと、金型が変形してシール部に隙間ができるため、その隙間から樹脂が漏れ出て固まるバリ不良が発生する。バンパ裏面に割りの多い金型は強度が低下し、シール部からのバリも増えて不良が増加する傾向にある。従来は、バリの発生を予測するために、簡易的な理論式に置き換えて計算を行う程度であったため、精度が低くバラツキがあった。ゆえに、バリ発生の予測を正確かつ定量的に行うためには、樹脂圧による金型変形量を100分の1ミリという精度で、正確に予測する技術が必要である。

3.2 アンダーカット処理機能の評価技術

自動車のバンパの外周は、車両構造と締結するために内方向にアンダーカット（折り返し）がある“つぼ”のような構造である。従来のバンパ金型構造はこのアンダーカットを処理するために大型の突き出しブロックと傾斜コアをセットで用いることが多く、Fig. 3のように突き出しながら傾斜コアを金型内側へ動作する複雑な金型構造となっていた。この複雑な構造を簡略化する手法として、バンパの素材である樹脂の材料特性を利用して、バンパを外側へ曲げてアンダーカットを処理する、外まくり構造が従来より知られてきた。しかし、バンパの剛性やまくり量によっては弾性領域を超えてバンパが変形し、ひずみを生じさせることがあり、外まくり構造採用の大きな障害となっていた（Fig. 4）。それをバンパ構造設計の初期段階で発見し、デザインや構造に影響を与えずに行う手法を検討するため、定量的な判断指標が必要である。

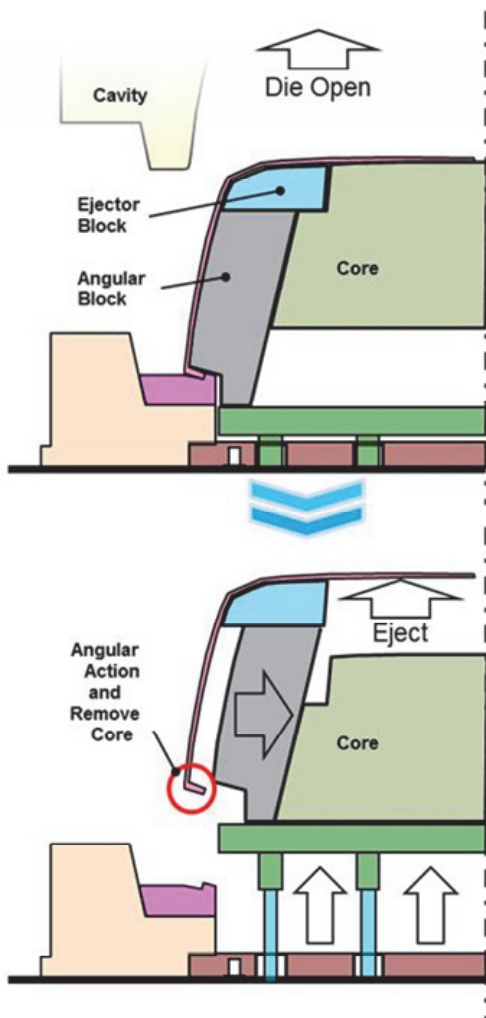


Fig. 3 Behavior of Angular Block

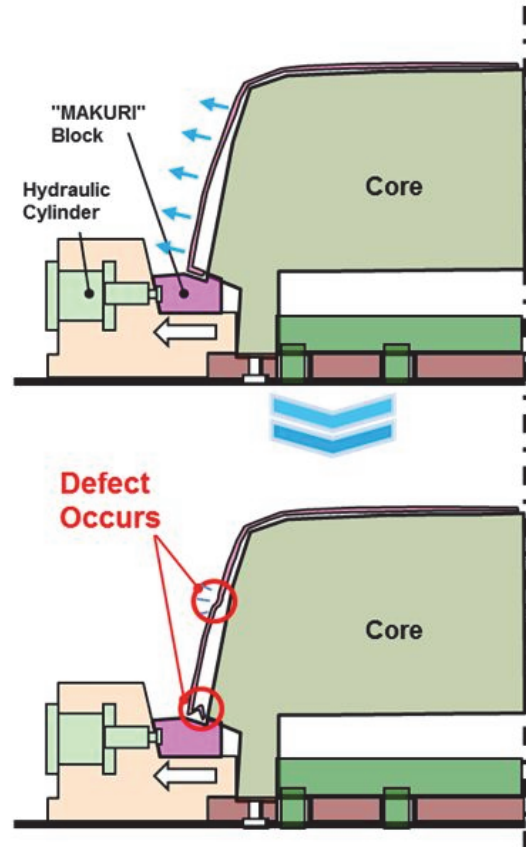


Fig. 4 Behavior of "MAKURI" Block

3.3 バンパの突き出し機能の評価技術

金型へ注入された樹脂は、冷えて固まる際に収縮して金型へ張り付くため、Fig. 5に示す突き出しブロックによって強制的に離型させる必要がある。突き出しブロックは成形完了後に突き出し変形などの不具合を発生させないために、バンパの張り付き力に対してバランス良く配置する必要がある。通常は突き出しブロックの配置を金型設計者の経験やカンに依存しており、不具合防止のため過剰に配置してしまう傾向があるため、その定量的な判断指標が必要である。

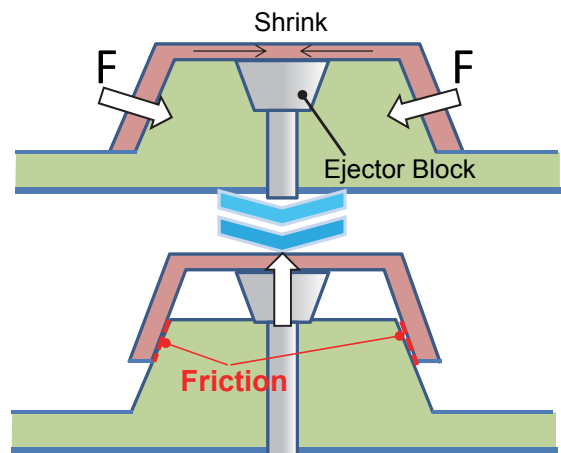


Fig. 5 Behavior of Ejector Block

4. 定量評価技術の構築

金型強度、アンダーカット処理機能、突き出し機能といった3つの金型機能を必要最小限とするために必要な技術として、からくりの解明と、これを机上で再現するための連成解析技術を構築した。これはFig. 6に示すように、「射出&保圧・冷却・アンダーカット処理&突き出し」といった一連の成形工程を解析する過程で解析結果を別の解析と連成させることで、より実態に則した結果を得る技術であり、後述する3つの主要な技術で構成されている。

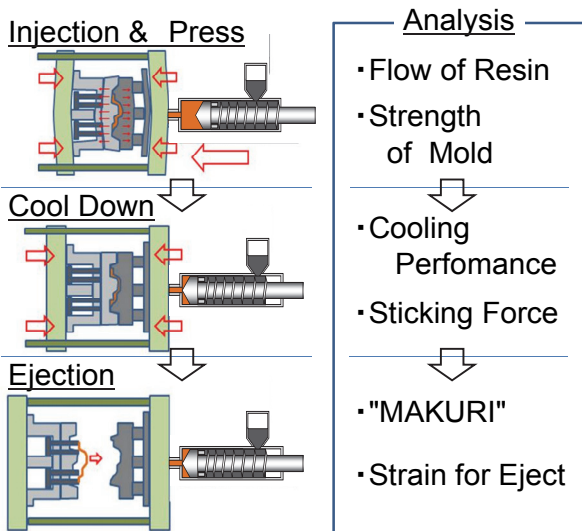


Fig. 6 Analysis Performed in Process

4.1 金型構造解析と樹脂流動解析の連成解析技術

金型が成形時に変位する量を正確に予測してバリ不良を防止するため、金型構造解析に用いる樹脂圧力に樹脂流動解析の結果を用いた連成解析技術を構築して、その精度を向上させた。具体的には、金型をFEMモデルで再現して、設備への固定を想定した拘束を掛けた解析モデルを作成する。その解析モデルに摩擦係数、材料物性値を入力し、バンパ面へ樹脂流動解析で計算された圧力を付与する解析である。通常、金型構造解析と樹脂流動解析は異なる解析モデルを用いており、簡単に圧力を連成することはできない。そこで、異なる解析モデルでも圧力情報の共有が容易となるように、解析作業工程と圧力付与のロジックを整備し、短時間で高精度な連成を可能とした。その結果、従来の樹脂圧力を一定の力で均一に付与する解析と比べ、樹脂流動解析によって得られる緻密な樹脂圧力分布を金型構造解析で再現することで、実態に近い金型変位量が算出できるようになった。更に任意のタイミングでの樹脂圧付与が可能のため、射出・保圧・冷却と成形中に変動する樹脂圧によって時系列で変化する金型の変位も確認可能になった。そして、この解析結果から金型変位量を算出し、バリ不良の発生評価を行う。これらの取り組みにより、金型の割りに

よる強度低下によって、樹脂圧による金型変位量が許容値を超えて不良の発生が予測される場合は、設計段階で金型を補強するなどの対策を織り込むことが可能となった。

4.2 外まくり解析技術

ワンピース金型の実現に必要な不可欠な外まくりを可能とするため、実際のひずみと解析値との一致を目指し、バンパのひずみの量や位置の調査といった実際の現象を基に、材料物性や解析モデルの作り方、判定基準の調整や見直しを行った。その結果、バンパの塑性変形や傷付きを定量評価するための外まくり解析技術を構築できた。

外まくり解析は金型構造解析と同様に、タイヤアーチ部周辺の金型構造とバンパ形状をFEMモデルで再現し、金型モデルとバンパモデルの間に接触条件を設定した解析モデルを作成する。その解析モデルに、摩擦係数、材料の物性値を入力して、アンダーカット処理に必要な量を強制変位させる解析である。この解析からバンパのひずみ量と変位量を算出して外まくりの可否を判断する。この際、可否判断へ用いる基準を一律ではなく部位別に数値を変更したり、可視部以外へひずみを分散させ、まくりが成立する範囲を広げている。例えば、魂動デザインに影響しないバンパ最下部に、スリットを入れるなどの対応策を施し、ひずみの基となる応力を効果的に分散させる手法が挙げられる (Fig. 7)。

この解析技術によって、バンパ裏面に割りの出ないまくり構造を広く採用できるようになり、魂動デザインを阻害せずにアンダーカット処理ができるようになった。更に、割りをなくすだけでなく、従来の傾斜コア構造では成立しないFig. 8のような形状にも、本技術を適用してまくり構造とすることで成立できた事例もある。

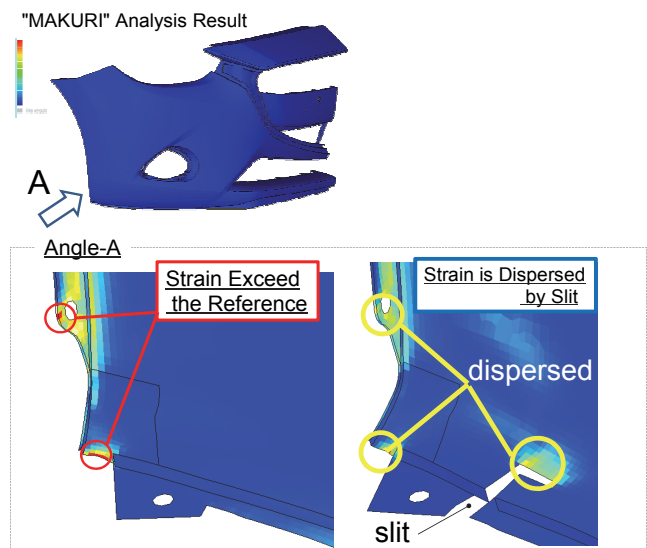


Fig. 7 Improvement by Slit

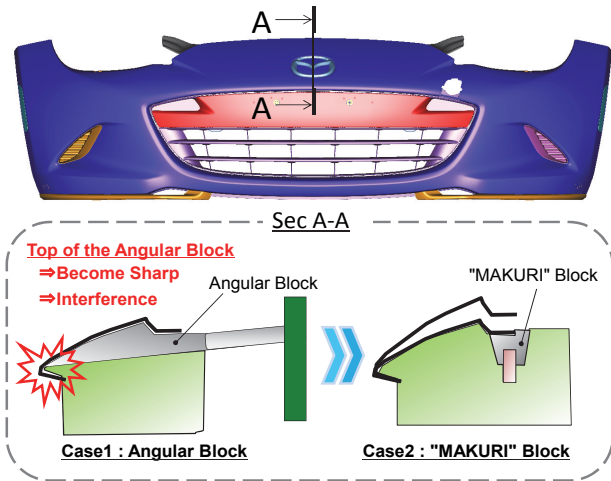


Fig. 8 "MAKURI" Applied to New Point

またこの解析は、ひずみ量を確認できるだけでなく、外まくり時に発生する反力とバンパのまくり時（曲げ時）の軌跡も可視化できる。これにより、Fig. 9のようにまくり構造を設置する部位とバンパのまくり量との関係を確認することで、設置する構造の数や大きさを必要最小限に抑えて金型構造の簡易化が可能になった。

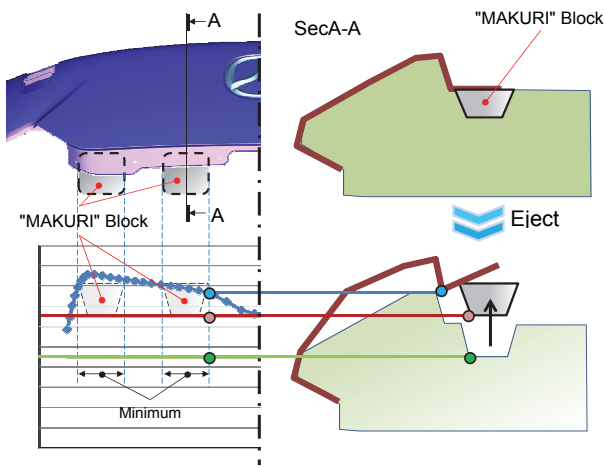


Fig. 9 Visualize the Behavior of the Bumper

4.3 張り付き・突き出し変形解析技術

突き出し機構の適正配置技術を構築するため、まずバンパが収縮によって金型に張り付く力と、バンパの突き出しの際に発生する抵抗力が、温度や突き出し速度などの条件にどれだけ影響されるかを、実験によって解明した。その結果を基に、必要最小限の突き出しレイアウトを達成する適正配置技術を可能とする、張り付き解析技術と突き出し解析技術の2ステップの連成解析技術を構築することができた。

具体的には、まずバンパの張り付き力解析を行う。外まくり解析と同様に解析モデルを作成し、線膨張係数などの

物性値を入力する。更に、実験型で成形を行うことで解明した、張り付き力に与える影響が大きい因子も入力する。解析の結果として、樹脂の収縮によってバンパが金型へ張り付く力が可視化される。更に、この張り付き力と突き出しブロックが発生する突き出し力の及ぼす影響との相関式を用いて、突き出しが必要な部位を、張り付き力を中心とした円で表現した。これを基に突き出し配置をすることで、容易に突き出しブロックの配置を必要最小限にできる (Fig. 10)。

次に、バンパの突き出し変形解析を行う。先の張り付き解析により得られた突き出し構造の位置を基に、解析モデルに突き出し構造のFEMモデルを追加し、突き出し構造のモデルを強制変位させる。その際、突き出し時のバンパと金型の摩擦係数は、実験によって突き出し速度に依存することが判っているので、その値を入力する。これらの条件から突き出し変形解析を行い、アウトプットとして、ひずみ量、突き出し量、バンパの突き出しに必要な力が確認できる (Fig. 11)。

これら2つの解析を連成して行うことで、過剰になりがちであった突き出し構造を、必要な場所に必要な数だけ配置することができた。

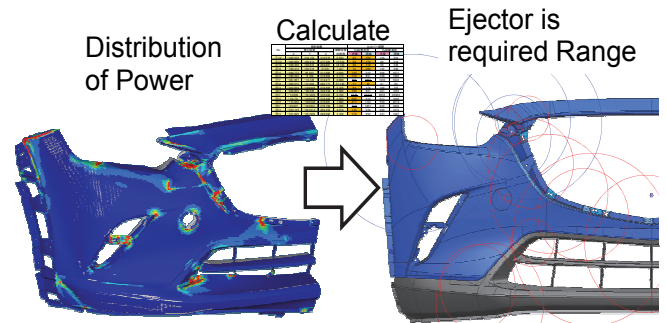


Fig. 10 Analysis Result of the Sticking Force

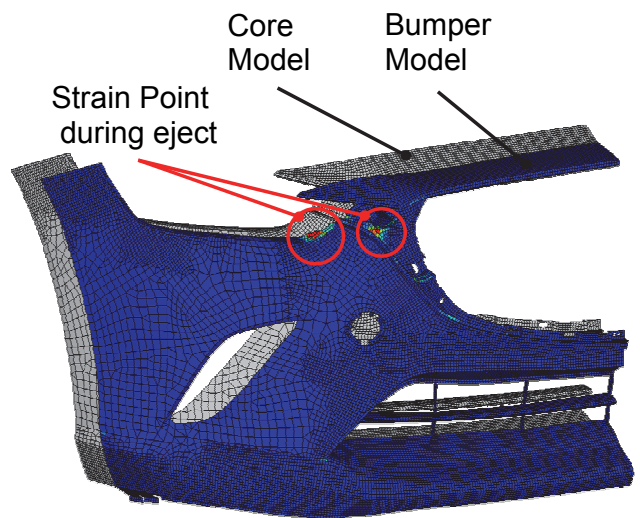


Fig. 11 Visualization of Strain in Eject Process

5. 結果

今回、バリ不良の発生やまくり変形、及び突き出しブロックの適正配置を予測する技術を開発した。これを活用し、金型構造をシンプル化してバンパ裏面の割りを極少化するワンピース化を進めてきた。その結果、魂動デザインの実現に貢献しつつビジネス効率を最大化する金型を設計する手法を構築できた。具体的な事例として、Fig. 12でCX-7からCX-5を経て、CX-3で開発したフロントバンパ金型での改善の様子を示す。図中の左図が実際の金型モデルで右図がそれを簡略化した絵である。

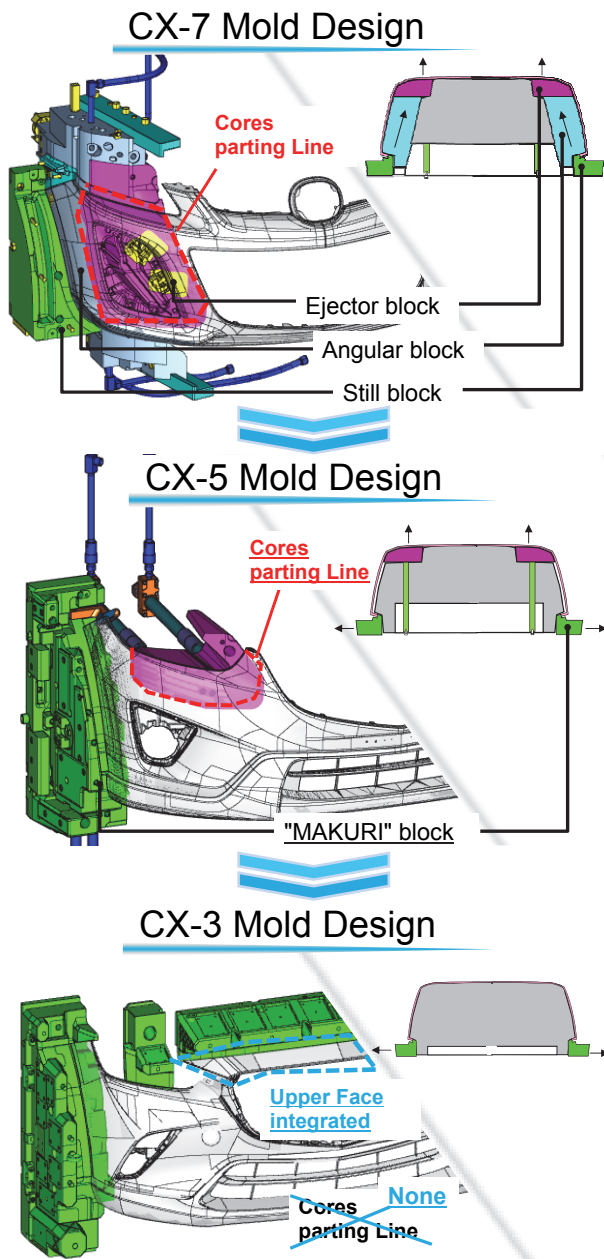


Fig. 12 Progress of Mold Design

CX-7では傾斜コア構造のため大きな割りがバンパ上に存在していた上、金型構造も複雑であった。CX-5ではまくり構造の適用により金型構造は幾分シンプルになったが、依然としてヘッドランプ下のアンダーカット処理のための中型エジェクタブロックの割りがバンパ裏面に存在していた。そしてCX-3では、CX-5では中型エジェクタブロックを適用していた部位にまくり構造を採用することで、魂動デザインを阻害する割りをなくすことができた。

更にボンネットの先端を構成するアッパーフェースの一体化成形も行い、その際にアッパーフェースへFig. 8に示すようなまくり構造を採用することで、魂動デザインを忠実に再現しつつ投資削減を同時に達成できた。

6. おわりに

車両のブランド価値を向上させるためには、内外装に多数使用されているプラスチック部品の質感や折り合いなどの商品価値を向上させ、魂動デザインや人馬一体をより高めていくことが重要と考える。これをビジネス効率最大で行うためのソリューションの1つとして、更なる金型設計技術の開発を今後も進めていく所存である。

参考文献

- (1) 得平ほか：バンパー金型構造のシンプル化への取組み、型技術, Vol. 28 No. 5, pp.64-69 (2013)
- (2) 佐藤ほか：“魂動デザイン”を実現する金型における、生産性の最大化に向けた金型構造解析技術の構築, 型技術, Vol. 29 No. 9 pp.31-35 (2014)

■ 著 者 ■



佐藤 博紀



古川 智司



澤田 義裕



松田 善光



鈴木 広之