

19

「魂動デザイン」実現に向けたプレス成形安定化の技術開発 Technical Development of Press-Forming Stabilization for “KODO” Design Realization

長澄 徹侍*1 安楽 健次*2 中山 光一*3
Tetsuji Nagazumi Kenji Anraku Koichi Nakayama
岡田 又治*4 浜口 照巳*5 坪根 健児*6
Mataharu Okada Terumi Hamaguchi Kenji Tsubone

要 約

まるで命が宿っているような、美しい表情を放つ、それが「魂動デザイン」。当社のお客様に、このデザインが発する生命感から、愛馬と騎手と同じような特別な絆を感じていただきたいと考えている。新世代デザインは、この生命感をキャラクターラインの抑揚や連続した陰影形状で表現していた。次世代デザインは、日本の美意識を際立たせた、限りなく虚飾を削ぎ落としたシンプルなフォルムである。その滑らかにつながる面の流れは、クルマに光が当たった際のリフレクションの移り変わりが、より自然な生命感を表現しているように感じる。本稿では、このアートともいえる滑らかな面の流れを、プレス成形部品で実現するために、金型の製作とプレス成形工程の最適化を行った取り組みについて紹介する。

Summary

Express beauty like a living creature. This is the concept behind “KODO design”. Vitality created by the design brings a special bond same as the relationship between horse and rider. The design of new generation expressed this vitality by dynamics of character line or continuous shadow shape. Design in next generation represents distinct Japanese aesthetics in extremely lean and simple form. The surface flow to connect its smoothness with changes in reflection by the car to be lightened expresses vitality more naturally. This report introduces the activity to realize the most optimal method of die manufacturing and press forming process to realize this smooth flow of surface like art.

1. はじめに

当社は「魂動デザイン」により、見る人の心を揺さぶるような、命あるモノとしたクルマ造りを目指している。「魂動デザイン」を実現するために、開発から生産領域まで強いこだわりを持ち、日々技術開発に取り組んでいる。当社のプレス金型製作部門も、「魂動デザイン」の実現に注力した取り組みを継続的に行っている。「魂動デザイン」は生き物が見せる一瞬の動きや美しさを究極の姿と考え、連続した陰影形状やキャラクターラインにより、その生命感を表現したものである(Fig. 1)。随所にデザイナーの想いが込められており、その想いまでも量産化していくことが、使命ととらえている。

このデザインのこだわりは常に進化を続けており、それに伴いプレス成形の難易度も上がっている。



Fig. 1 “KODO Design”

現状技術でどこまで形状を実現できるか次世代デザインを模したドア金型を製作し、プレス成形したところ、

*1~3 ツーリング製作部
Tool & Die Production Dept.

*4~6 車体技術部
Body Production Engineering Dept.

一部デザイン面の精度でCADモデルに対しコンマ数ミリの乖離が発生した。この状態では次世代デザインで重要となる光が当たった際のリフレクションに、ばらつきや折れが発生し、生命感が表現できないという大きな問題が判明した。次世代デザインのリフレクションを実現するためには、現状より30%の寸法精度向上が必要であった。この問題を解決するため、外板ボディーの製作プロセスに対し、前後工程の設計から量産までを見据えた技術改善を進めることにした (Fig. 2)。

本稿では、デザイン面成形時の初工程であり、外板ボディーの約7割の形状を決定しているドロー工程に着目した事例を紹介する。

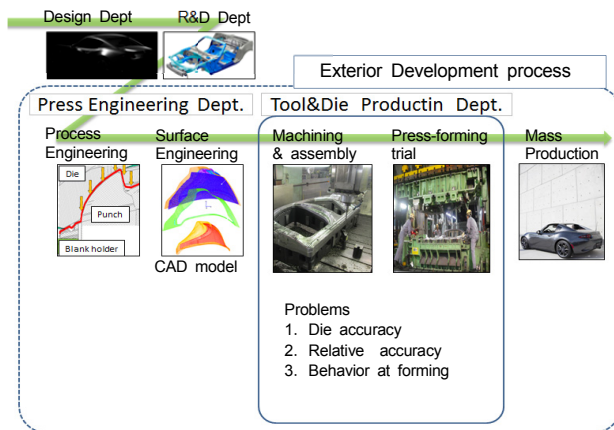


Fig. 2 Production Process of Press Die

2. 次世代「魂動デザイン」実現の課題

プレス加工のドロー工程の成形過程をFig. 3に示す。まず、①板材を金型にセットしスライドを降下、②上型とブランクホルダーにて板材をホールドして張力を加える。③その状態で上型、ブランクホルダーとも降下し、④下死点で成形完了となる。成形中の板材は、ホールド状態による張力と成形Rによる曲げ応力が加わることでより塑性変形し製品寸法が定まる。

デザイナーの意図どおりの製品パネルを成形するためには、金型自体を高精度に造り、その金型形状どおりに成形することが必要である。そのため、プレス金型製作部門の課題は大きく分けると次の3点である。

- 1) 単体精度向上 (機械加工, 手仕上げ精度)
- 2) 相対精度向上 (組み付け, 上下合わせ)
- 3) 成形時の挙動制御 (金型, 板材)

これらの課題を解決する上でプレス金型製作部門では、2010年より品質工学手法を活用している⁽¹⁾。発生する問題に対して、影響を与えている因子が何かを明確化し、よりロバスト性の高い条件を導くことで、デザインに追従できる製作技術の構築をねらっている。

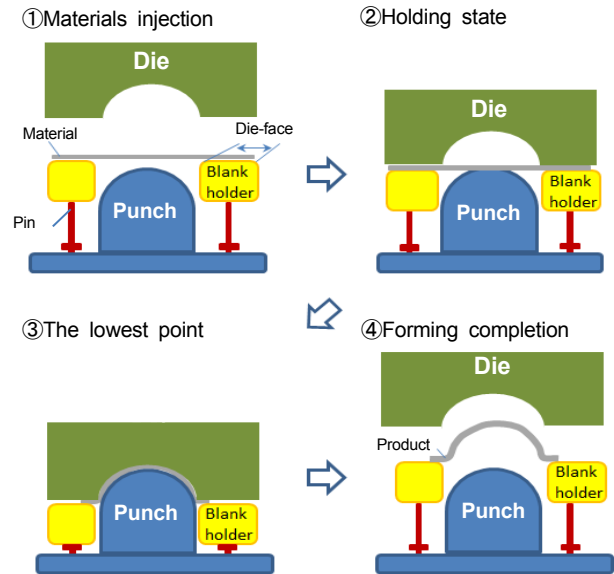


Fig. 3 Forming Process of Drawing Mold

初めに、1) 単体精度と2) 相対精度に対し、機械加工、手仕上げの金型造り込みによる精度向上や組み付け精度を向上させる取り組みを行い、静的状態における要求精度に対して効果を出してきた⁽²⁾。次に、3) 成形時の挙動制御に取り掛かった。製品パネル成形中の金型は数百トンという力が加わり変形が生じている。そのため、静的状態で保証した精度とは異なり、上下型のクリアランス量に変化が起こる。この差が起因して、板材の張り出し量にばらつきが発生し、製品パネル精度の悪化につながっていた。この挙動はプレス設備の機差や傾きの影響が強く、容易に解決できない。

一般的に板材の張り出し量をコントロールするには、絞りビードにて張力を加えるが、クルマの外板ボディーなど深さが必要なものは、絞り成形と張り出し成形を複合して成形している。絞り成形は2点の力 (静止摩擦力, 動摩擦力) を考慮する必要があり、外乱の影響を受けやすい⁽³⁾。そこで、品質工学手法を用いて上記の外乱影響があったとしても、実機での流入量のコントロールが正確に行えるロバストな成形ができないか追求することにした。

3. 品質工学を用いた課題解決

3.1 ビッグデータの活用

流入量のコントロールを行うためには、設計した絞りビードの張力が安定的に発生できる状態を決める必要があると考え、これを評価できる品質工学での目的機能を検討した。張力はブランクホルダーのはたらきにより増減している。そこで、この抵抗値を高める方法をまとめた (Fig. 4)。抵抗値の決定には、「しわ押さえ面抵抗」「ビード引き抜き抵抗」「ダイR通過抵抗」の3つがある。

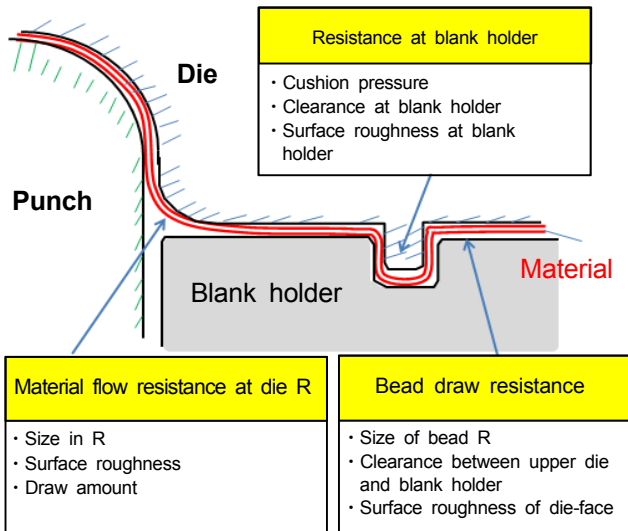


Fig. 4 Factor about Resistance Value of Die-Face

これを考慮し入力信号は、この抵抗値3つを同時に変化させることが可能な因子として、「しわ押さえ面の圧力」とした。このしわ押さえ面の作用の大小に応じて、ブランクホルダー上の「板材の残量」が変化するため、これを出力特性とした。実際に、この因子間で比例関係があるか、予備実験で確認した結果、成立することが分かった (Fig. 5)。

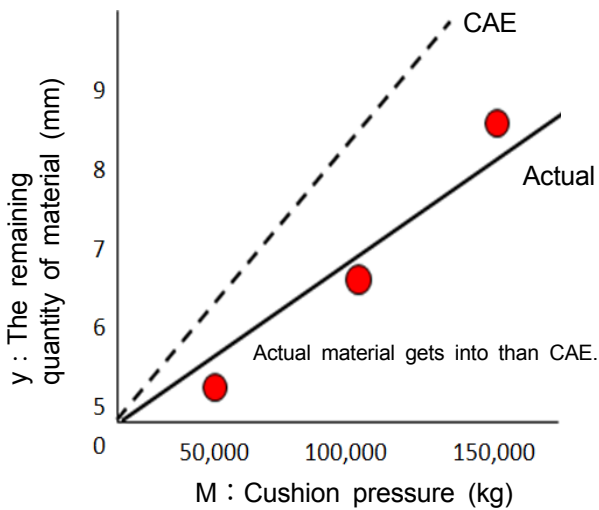


Fig. 5 Pilot Study Result

この予備実験の際に、成形中に測定可能な特性を15項目全315データ取得した。これを統計解析ソフト「R」(オープンソース)をベースとする内製ソフトの「グラフ構造化分析」(以下GSA)を用いて、各因子の相互依存関係を構造化した (Fig. 6)。

GSAとは確率論(ベイズ推定)とグラフ理論を融合したビッグデータ解析手法の1つである(4)。これは因子間の確率分布構造を推定して、交わりの少ない階層表現に自動的に最適化し、可視化するソフトである。メリットとして膨大なデータから各因子間の関係性が把握でき、相関のある新たな影響因子も見出すことができる。

Input : The remaining quantity of material

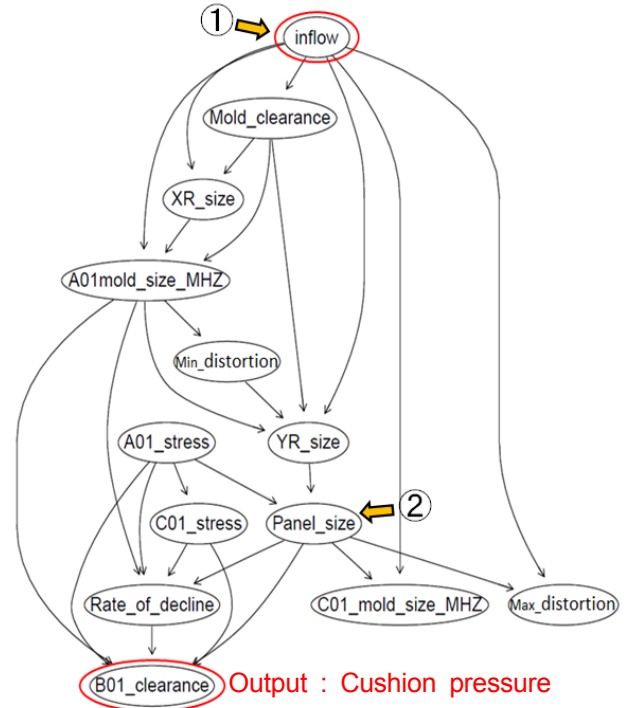


Fig. 6 GSA Result in Press Formation

GSAの結果より次の3点が判明した。

- ① 考察により求めた目的機能と同様にGSAのイン・アウトに「しわ押さえ面の圧力」と「板材の残量」が導き出された。この目的機能を用いた評価の妥当性が立証された。
- ② 板材の残量は、しわ押さえ面の圧力の制御によって変化する。その関係性の途上に製品パネル精度が存在するため、残量のコントロール精度と製品パネル精度に相関があることが分かった。
- ③ 関連性の大きい項目について実データを調査した結果、ブランクホルダーの剛性不足が判明した。これは、関係性の近いクッションピン精度にて操作することが可能であり、重要な制御因子を発見することができた。

3.2 バーチャルパラメータ設計による成形条件最適化

バーチャルパラメータ設計とは、品質工学の一つの手法である。従来の実機検証やCAE検証と異なり、検証結果を人間(エキスパート)が予想し、この知見を元に仮

想的に検証結果を算出するものである。この手法を用いた理由として、制御因子に設計要素を取り入れた際に、実験ごとに金型の形状加工が必要となり、膨大な実験費用が必要となるためである。

品質工学での制御因子を選定する上で、社内エキスパートによる因子選定に加え、GSA結果から判明したことを織り込んだ。まず、社内エキスパートを、成形技術、形状設計、製作技術の領域から計5名選び、流入をコントロールできる影響因子を15個列挙した。その中から影響の高い因子を7つ選別した。加えて、GSA結果 (Fig. 5) から1因子を追加して8因子を選定した (Table 1)。

Table 1 Control Factor, Error Factor

	Control factor	Present condition		
		good	bad	
		revel1	revel2	revel3
A	Bead R size	small	large	
B	Face roughness of the blank holder	small	middle	large
C	Clearance of the blank holder	small	middle	large
D	Relative accuracy of the blank holder	methodA	methodB	methodC
E	Inflow balance	methodA	methodB	methodC
F	Material touch area	methodA	methodB	methodC
G	Cushion pin arrangement	methodA	methodB	methodC
H	Formation oil	methodA	methodB	methodC

誤差因子は、量産条件でもロバスト性の高い成形条件を算出することをねらい、「プレス設備の機差」と「板材の降伏点ばらつき」を選定した。

次に、成形技術、形状設計、製作技術の領域から各3名の合計9名の社内エキスパートでバーチャルパラメータ設計を行った。その際に、8因子と3つの水準を変更したプレス成形のイメージが困難だったため、制御因子の項目での影響度を数値にした。その後、水準のふり幅に応じて効果の度合いを数値にした。0~9点で数値が小さいほど張力が大きいとして評価し、それらの積を求め、L18直交表に割り付けた。結果を望小特性SN比で計算した (Fig. 7)。

要因効果図から次の4点判明した。

- ① 当初は設計系 A, C, E, F の因子が特に効果が大きいと予想していた。しかし、製作系 D や、設備系 G の因子も効果的であった。金型挙動を制御できる因子として影響度が高いと考えた。
- ② F については各エキスパートとも傾向が一致しなかった。これは D の「しわ押さえ上下精度」の影響を考慮するかどうかで結果が変わっている。関係性が不明確なので実機調査が必要と判断した。
- ③ H については変化が発生することは予測しているが、安定化にどの程度効果があるか判断しきれなかった。

水準のふり幅をもっと大きくすることで効果を明白にできたと考える。

- ④ 9名全員の利得平均は 2.31db (1.81~2.54db) であり、形状設計者は高めの利得となった。これは設計系因子の効果を数値的に把握し、バーチャル設計時の採点を正確に行えたと推測した。

以上 4 点を踏まえ 4 因子 (C, D, E, G) を変更し、最適条件を A2, B3, C1, D1, E1, F2, G1, H2 とした。

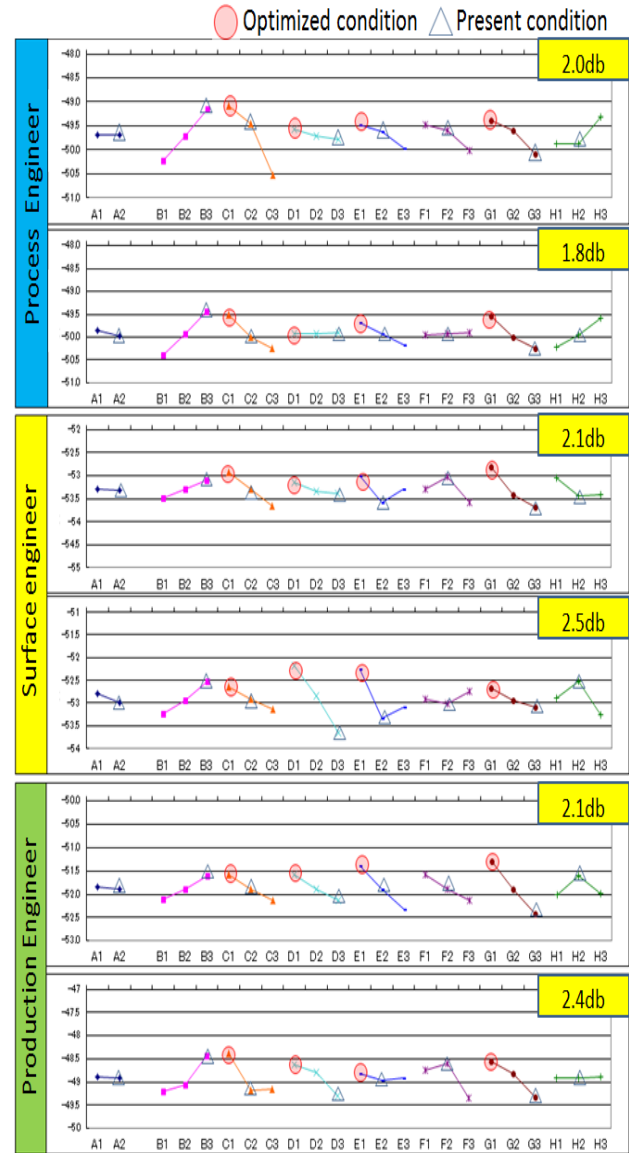


Fig. 7 VPD Result

4. 効果の確認

バーチャルパラメータ設計で求めた最適条件を実験金型にて効果の確認を行った。確認方法はFig. 8の油圧プレス機で実施した。まず金型に板材を投入し、プランクホルダーでホールドする状態まで、上型スライドを降下

させる。その時にしわ押さえ面上の板材端部にケガキ線を引く。次に下死点までスライド降下させ板材の端部とケガキ線の距離をデジタルノギスで測定し、板材の残りを求めた。実機の結果を次に示す (Table 2, Fig. 9)。

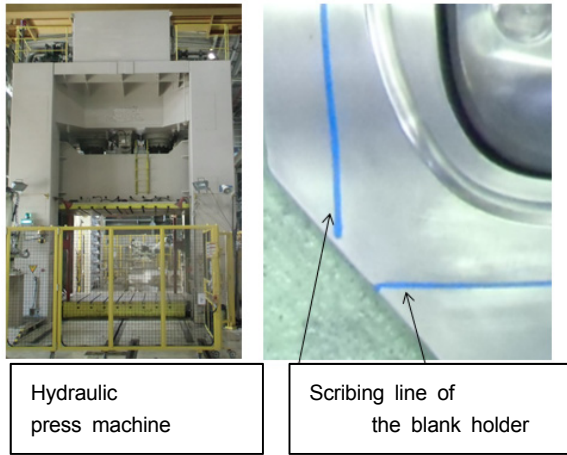


Fig. 8 Experimental Landscape

Table 2 Experimental Profit

SN ratio	Vertical Parameter			Actual
Present condition	-50.68	-54.75	-50.78	-32.86
Optimized condition	-48.63	-52.14	-48.52	-30.80
Gain	2.05	2.61	2.25	2.06
	Process Engineer	Surface Engineer	Production Engineer	

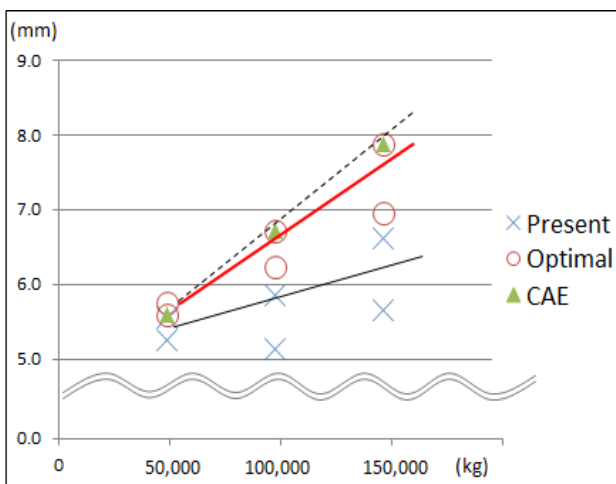


Fig. 9 Real Trial Result

バーチャルパラメータ設計で算出した平均値2.31dbに対し、実機の利得は2.06dbと同等となり、再現性があると判断した。現行条件に比べ製品パネルの成形安定性が38%向上する結果となった。実際の板材端部の比較を Fig. 10に示す。

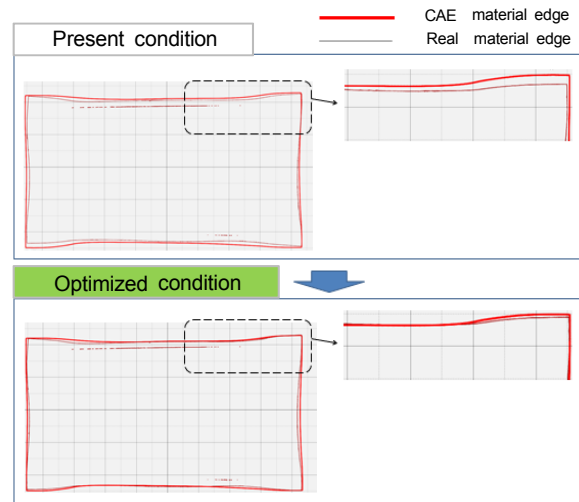


Fig. 10 Change in Material Remaining Amount

現行条件はホールド状態から下死点までで板材が多く入る傾向だった。最適条件でしわ押さえ面の精度対策を行うことで、流入量が少なくなった結果、張りが強まった。CAEで算出した形状精度に近い製品パネルを取得することができ、現行条件に対し寸法精度が32%向上した (Fig. 11)。

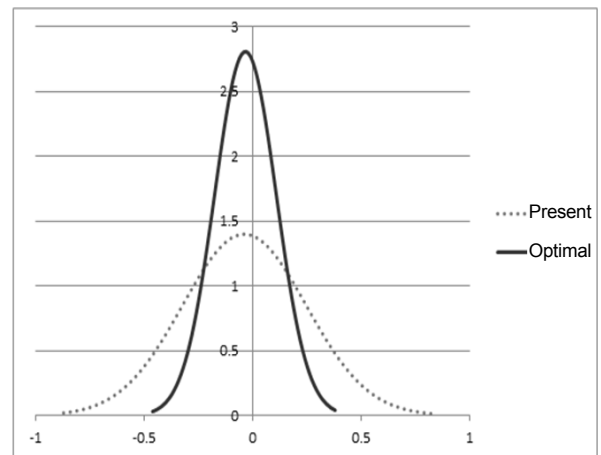


Fig. 11 Regular Distribution Map of Product Precision

同時に張り出しが強化された影響で、ブランクホルダーでホールド時に発生していた折れしわの外観不具合も解消できた (Fig. 12)。

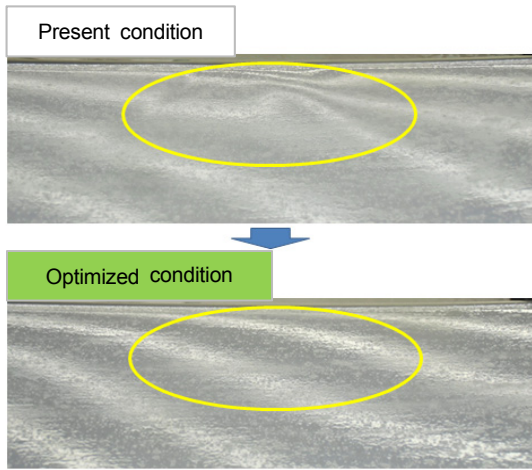


Fig. 12 Hold Cancellation of Wrinkles

この製品パネルに対しリフレクション品質を確認したものを下記に示す (Fig. 13)。形状精度が向上し、ゼブララインもCADモデルに近づいていることが分かる。結果として、次世代デザインの重点ポイントである形状面の連続性が格段に高まり、リフレクションによる生命感の演出が実現可能となった。

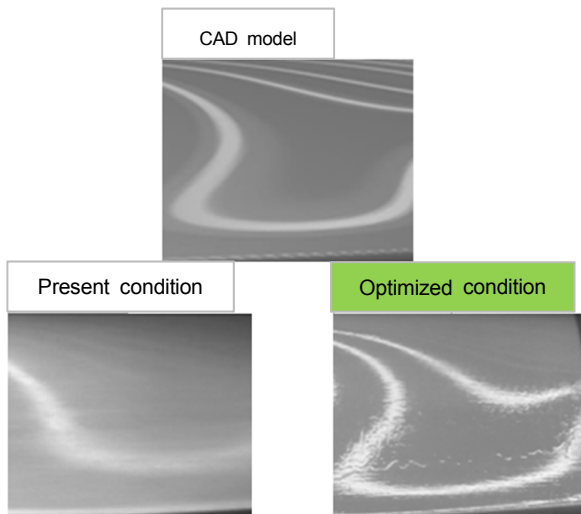


Fig. 13 Comparison of Reflection Quality

5. まとめ

本取り組みにより次の3点を達成した。

- ① 金型の挙動を制御しうる、影響因子を設定しロバスト性の高い成形条件を算出することができた。結果として、実機で流入量のコントロールが正確に行える条件を見出し製品パネルの寸法精度 32%向上が実現できた。
- ② ビッグデータ解析手法を因子選定の際に活用する新しいアプローチ方法を提案できた。結果、エキスパートの知見外の新しい制御因子を見出し、本取り組みの重

要な因子の1つを選定できた。

- ③ バーチャルパラメータ設計を取り入れることで、実機検証を必要としない「試作レス」で成果を出すことができ、量産準備期間の短縮と検証費用 85%の削減につながる事が分かった。

今後もプレス金型製作部門として金型精度や成形技術の向上にこだわりを持って取り組んでいく。そして、進化し続ける「魂動デザイン」に込められた想いを、更に色濃く具現化し、お客様の人生の輝きにつながるクルマを提供していきたい。

参考文献

- (1) 長澄徹侍ほか：バーチャル設計を用いた金型の形状合わせ技術の向上，第 25 回品質工学研究発表大会予稿集，pp. 194-197(2017)
- (2) 中原寛海ほか：平面高精度加工技術の確立，第 24 回品質工学発表大会予稿集，pp. 290-293(2016)
- (3) 吉田弘美：技術大会シリーズプレス加工大全，井水治博，pp. 75-76(2015)
- (4) 日本規格協会：標準化と品質管理 Vol. 69 No. 6，pp. 16(2016)

■ 著 者 ■



長澄 徹侍



安楽 健次



中山 光一



岡田 又治



浜口 照巳



坪根 健児