

事例解説 3

プレス成形シミュレーションを活用した自動車部品の精度追求

オートフォームジャパン(株) 伊藤健一郎*

プレス成形向けデジタルエンジニアリングツール「AutoForm」の販売元である当社はこれまで継続してシミュレーション精度に向き合ってきた。これは25年間にわたり使用してきた当社のロゴマークに「Forming Reality (現実的な成形)」と書かれていることにも表れている。

しかし、ここで言う精度は一般的に言われている「初回トライ実部品とシミュレーション予測の合致度合」を意味するだけではない。そもそもシミュレーションソフトを導入する動機は、プレス部品の製造プロセス全体にわたって損失(たとえば、検討の手戻り、金型改修、量産不具合など)を低減することによる、高いROI(投資利益率、費用対効果)の追求であったはずである。したがって、どんなにトライ実部品とシミュレーション予測の合わせ込みを極めても、その(結果を反映した)プロセスが金型製造のリードタイムに収まらなければ高いROIは達成できないのである。また金型を製作する際の切削加工データに適切なスプリングバック見込みが織り込まれていなければ、結局、実型上で「トライアウト」→「改修」のループを繰り返すことになり、利益と日程を圧迫する。さらに工程にロバスト性がなく量産ロットごとに品質が安定しなければ、不良品の発生により長期間にわたり利益を大幅に圧迫して当初のシ

ミュレーションソフト導入の目的が達成できない。

したがって、当社の提案するシミュレーションによる精度はプレス部品の製造プロセス全体を考慮したうえで、以下の要素を含んだ「意味のある精度」である。

- ①金型製造のリードタイムの中で実現でき、かつ持続可能であること
- ②スプリングバックなどを加味した金型形状を部品公差内まで見込み切ること
- ③部品のロバスト性があること

以下に「意味のある精度」の追求について実際の事例を紹介しながら解説する。

自動車部品への適用事例

本節では Shanghai Volkswagen Automotive Company Limited (上海フォルクスワーゲン社)と当社が共同で実施した Deck lid Inner の成形事例を取り上げる。ワークフローを変更して高いROIを達成した事例である。

その指標としては、初回トライの管理寸法(±0.5 mm)の合格率に加えて、トライアウト回数と、改修量の目安として消費したトライパネル枚数および量産不良率を採用している。

本事例の製品形状と工程、およびブランク形状を図1に示す。適用材は板厚0.6 mmのEN 10346 DX 56 D+Z 100 MBである。

ロバスト性評価・見込みワークフロー

本事例のワークフローを図2に示す。「1. 工程評価」「2. ロバスト性評価」「3. 見込み評価」「4.

*(いとう けんいちろう)：技術サービス部
〒105-0021 東京都港区東新橋2-3-17
MOMENT SHIODOME 3階
TEL 03-6459-0881 FAX 03-3431-7661

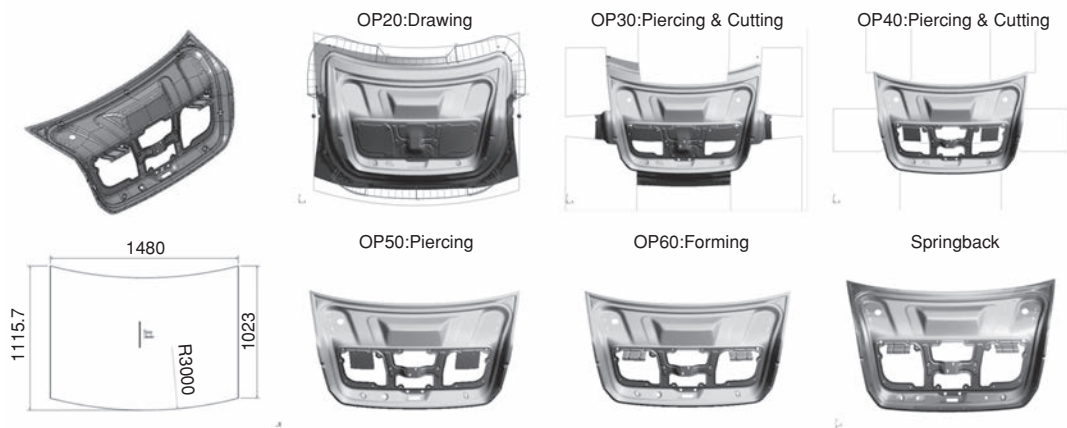


図1 事例の製品形状、工程、ブランク形状

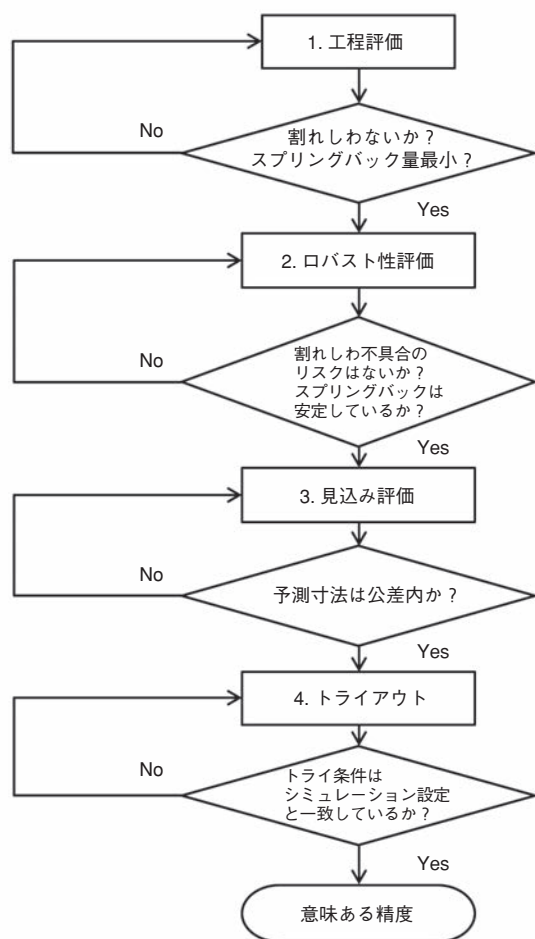


図2 ロバスト・見込みワークフロー

トライアウト」の順で実施した。本事例のワークフローと従来までのフローと変更点を以下の通りである。

- ロバスト性評価を追加した。
- 各段階で問題があれば、上流段階に戻って確実に各段階の評価を完遂するようにした。
- ソフトウェア機能を活用することで、限られたリードタイムの中で各段階の評価を完遂できるようにした。

各段階ごとの合格条件と詳細を以下に説明する。

1. 工程評価：（合格条件）割れ・しわの不具合予測なし、スプリングバック量の最小化

スプリングバックを予測するには前提として、シミュレーション上で工程設定（加工条件だけでなく余肉形状なども含む）もしくは、部品形状を変更して割れとしわをなくす必要がある。またスプリングバック量は最小化しておかないと、以降の2、3、4、すべての段階に悪影響を及ぼす。

この評価は早期に完了する必要がある。評価完了が遅延すれば限られたリードタイムの中、後段階の日程を圧迫するだけでなく、工程変更や部品形状の変更提案を上流工程にフィードバックしても、車両開発の日程に間に合わず変更ができない、もしくは金型製作後に変更になる可能性があるからである。

この段階でいち早く工程評価を完了するにはAutoForm DieDesignerが有効である。AutoForm DieDesignerはシミュレーション内で工程を考えながら、同時に金型形状を作成するソフトであり、CADを使った形状作成に比べて平易に短時間に形状作成が可能である。さらにシミュレーション内で「形状作成」→「成形性評価」が完結するので、「CAD」⇔「シミュレーションのデ

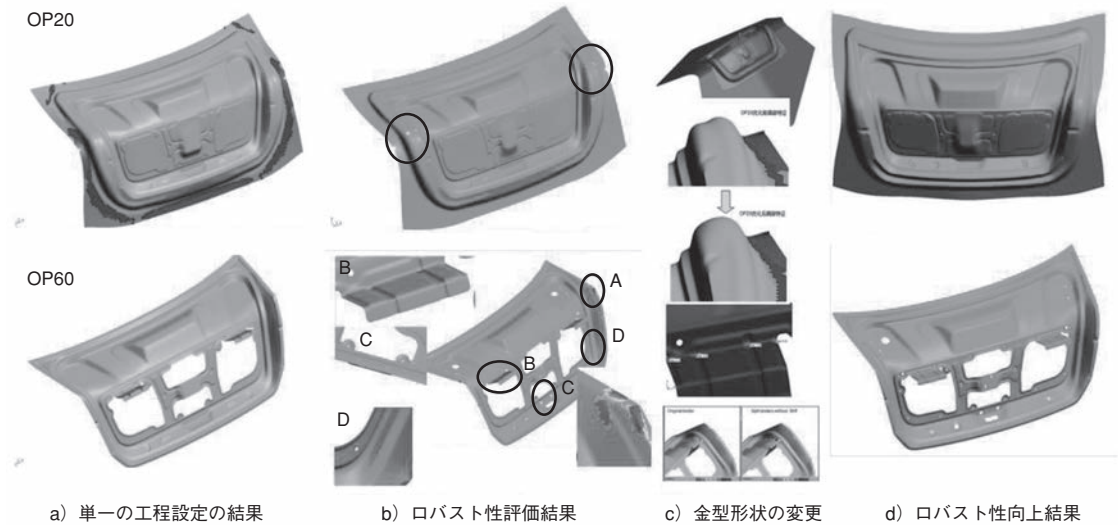


図3 ロバスト性評価の改善事例

ータ設定」での間違いや余計な工数が発生しない。

またスプリングバックを最小化するには AutoForm DieDesigner とともに、後述する AutoForm sigma を用いた。この組み合わせにより、本事例においては曲げ刃の成形タイミングを変化させて複数シミュレーションを実施して、スプリングバック量を最小にする設定を得た。

2. ロバスト性評価：(合格条件) 量産時に想定されるばらつきが存在しても割れ・しわや不具合なし、スプリングバック量のばらつきが要求公差幅に入っていること

工程設定の初期段階にて単一の条件のみではなくロバスト性を考慮して加工条件や余肉形状を設定する必要がある。ロバスト性が良くなければ、単一でのシミュレーション評価が量産で再現できず不具合発生の要因となる。また、ロバスト性の改善は、多くの場合、部品形状もしくは工程設定での変更が必要であり、いち早くフィードバックする必要がある。

シミュレーションにてロバスト性を評価するには、ばらつきが生じる条件を変化させて、シミュレーション上の条件を複数設定して計算実施を実施する必要がある。また計算実施後に、その結果を統計的に処理して評価するという複雑な手法が必要となる。本事例では、この一連のばらつき計算設定と評価を自動化するソフト AutoForm Sigma を用いた。AutoForm Sigma は材料の特

性値や PAD 圧、材料セット位置から金型形状まで様々な変数を設定すると統計処理と計算を実施して、割れ・しわ・スプリングバックなどの評価値がどのようなばらつきを示すかを統計的かつ視覚的に評価することができる。

AutoForm Sigma を用いた割れのロバスト性評価の改善事例を図3に示す。a) 元の単一シミュレーション結果では問題なしの結果であるが、b) ロバスト評価では割れのリスクが検出された。そのためにc) 金型形状設定(余肉、部品形状)の修正を実施した結果、d) ロバスト性が向上して、量産時に想定されるばらつき条件での割れのリスク予測はなくなった。

同様にスプリングバック量についても評価を行い、部品の要求公差幅に収まるように金型形状設定を修正した。

3. 見込み評価：(合格条件) 予測スプリングバック結果が部品形状の寸法許容差内

多くの場合、公差内精度を達成するには、スプリングバックとは逆向きに金型形状を修正して「見込む」必要がある。シミュレーション上にて予め見込みを設定しておかなければ、実金型にて繰り返しトライアルと見込み改修を行うことになり、利益を悪化させる。

本事例では①工程評価段階にてできる限りスプリングバック量を最小化し②ロバスト性評価にてロバスト性を担保したのち、AutoForm Com-

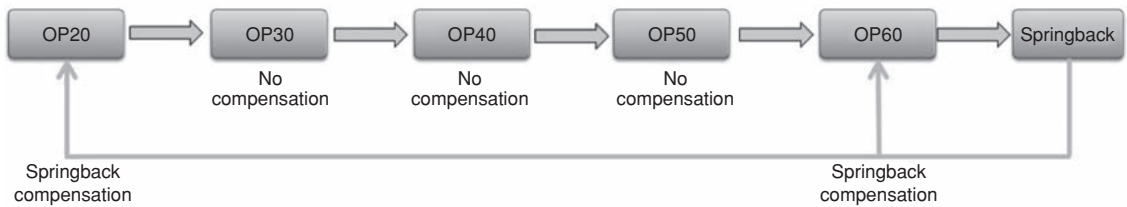


図4 見込み戦略

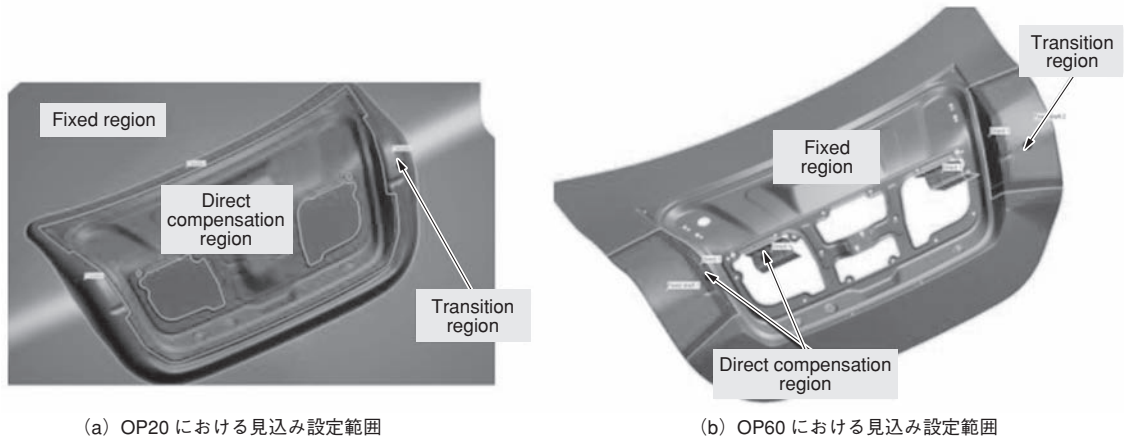


図5 見込み部位

compensator にて見込みを実施した。AutoForm Compensator はシミュレーション結果のスプリングバック量に対して、逆向きに金型形状を変形させることのできるソフトである。各工程の金型形状を短時間（事例では1分以内）に変形させて見込み形状を作成することができるため、変形させる工程および金型部位、その倍率を任意に変化させてCADを用いた見込み形状作成とは違い、短時間に見込み形状作成とシミュレーション評価を繰り返すことができる。結果として最適な見込み戦略（工程、金型部位）を検討した上で、シミュレーション上で部品の要求公差内に入る見込みを作成することができる。

本事例においては、工程はOP20およびOP60を見込み（図4）、部位についてはOP20では部品形状部分、OP60では製品内フランジとリストライク湾曲部を見込む戦略（図5）が最適であると判断した。そのうえで、 $\pm 0.5\text{ mm}$ の要求公差に対して、 $\pm 0.3\text{ mm}$ 内にシミュレーションのスプリングバック結果が入るように繰り返し計算を行ったところ、2回の繰り返し計算のみで合格条件の $\pm 0.3\text{ mm}$ を達成した。

4. トライアウト：（合格条件）シミュレーション設定条件とトライアウト設定条件が一致

シミュレーション評価ではできるかぎり、後述するトライで実施可能な条件を再現して実施する。逆に型製作後はシミュレーション評価での条件を再現してトライアウトを実施する。その結果としてシミュレーションとトライアウトの設定条件が一致することになり、正しい予測と再現が実現することになる。具体的には以下の7つの項目の一致が不可欠である。

- ① ブランク材の機械的特性値と板厚
- ② ブランク形状とロール方向
- ③ ブランクホルド時のブランク位置
- ④ ドロー成形後の流入量
- ⑤ ダイマーク、ショックラインなどの流入傷幅
- ⑥ 金型の形状およびPAD、ブランクホルダーなどの動作
- ⑦ 測定条件（測定姿勢、検査治具の固定方法&位置）

本事例においてもシミュレーションとトライアルの設定条件の一致を行った。

このワークフローにおいてすべての段階を完遂

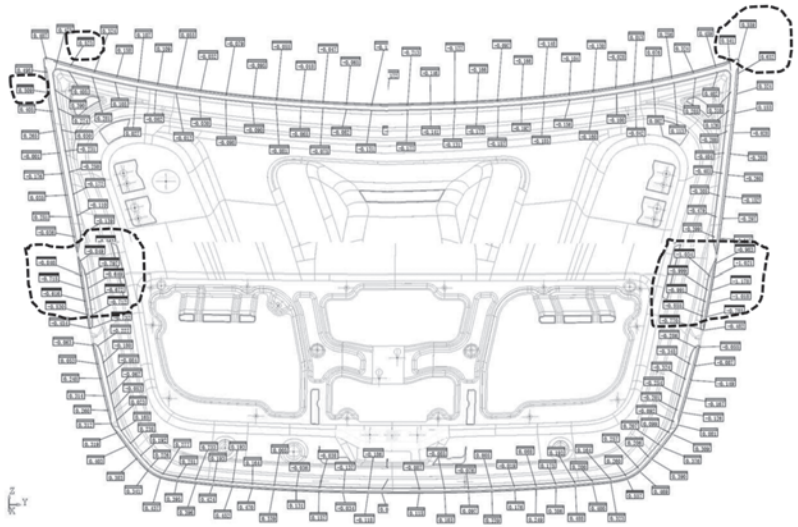


図6
寸法測定結果

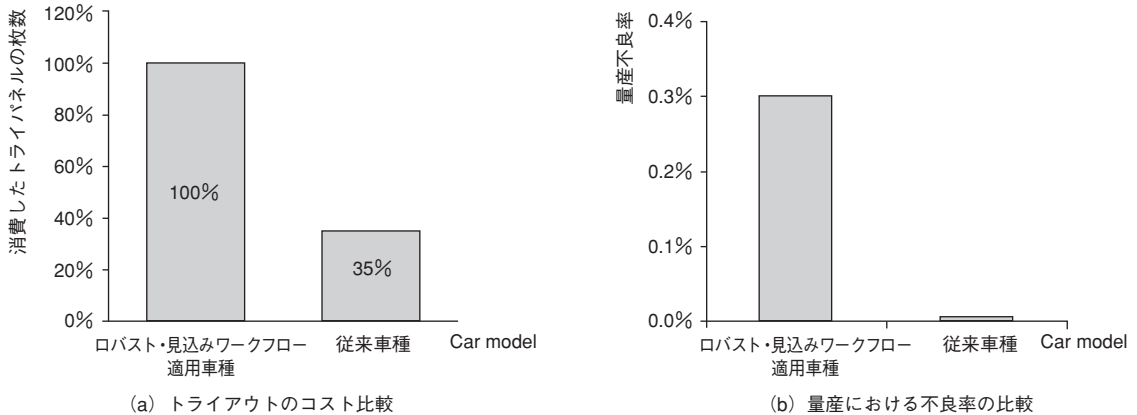


図7 ROI指標の結果

しなければ、「意味のある精度」の達成は困難になる。たとえば、3.見込み評価をやり切らずに型製作に着手してしまえば、たとえ4.トライアウトでよく一致したとしても、部品の要求公差に収めるには追加のトライアルと見込み変更の改修が必要になる。また2. ロバスト性評価を実施せずに型製作に着手してしまった場合は、品質が安定せずに長い量産期間にわたり不良品を発生し続けるリスクを内包することになり、利益を大きく棄損する可能性がある。

結果

本事例の初回トライ部品の寸法測定結果を図6に示す。測定治具上にてシミュレーション設定と

同様な条件で測定した結果である。事例では80%の測定ポイントにて、HEM合わせ面に限定すれば95%の測定ポイントにて±0.5mmの公差内に寸法を制御することができた(破線で囲んだ部位以外が寸法OK部)。

またトライアル回数と改修量の指標として、初回トライから金型出荷に使用したトライ材の枚数を前車種と比較した[図7(a)]。本事例のフローを適用する前の車種と比較して65%の削減となった。さらに量産中の不良率をロバスト・見込みフロー適用前の車種と比較した[図7(b)]結果は適用前車種では約0.3%の不良率だったものが、工程のロバスト性が向上したことにより、大きく改善して約0.01%になった。

結論

本事例ではロバスト・見込みワークフローを適用した効果として、基本的な7つの項目確認を行うのみで特別な調整を行っていないにも関わらず、トライアウト→金型改修サイクルの65%の削減、量産中の不良率が約30分の1となった。

このことは、初回トライの合致度合に注力するのではなく、前工程における、工程設定（割れ・しわの改善、部品形状と工程変更によるスプリングバック量の最小化）、ロバスト性評価（量産ばらつきを少なくするように設定）、見込み評価（金型形状見込みをシミュレーションデータ上でやり切る）を合わせて考慮することによって「意味のある精度」を得られることを示している。さらにこのワークフローはAutoFormをプロセス全体

に適用することにより、限られたリードタイムの中でも持続可能である。このことはプレス部品のプロセス全体を考慮することが、シミュレーション導入における高いROIを継続して達成するには最も重要であることを示している。

当社では、経験豊かなプレス分野のエンジニアの出身者も多く在籍しており、本事例のようなコンサルティング活動を全世界で数多く実施している。読者の中で、高いROIを達成するためのシミュレーション適用に関心がある方は是非とも当社にお声がけ頂きたい。

参考文献

- 1) Xiojing Zhang, Peter Grimm and Bart Carleer, Weimin Jin, Gang Liu and Yingchao Cheng, Robust Process Design and Springback Compensation of a Decklid Inner, Numisheet 2014

精度に対する ROI（投資利益率、費用対効果）—ご留意いただくべき点について—

オートフォームジャパン(株) 代表取締役社長 マルコ・A.クリベリ

薄板プレス成形シミュレーションの予測精度を高めるために、過去から現在に至るまでに市販されなどの主要なプログラムを使用したとしても、結果の精度はすべて同じレベルであることが証明されています。精度を高めるために必要な機能やパラメータ設定に関しては多くの指摘があります。しかし、シミュレーションの設定が実成形の設定と一致しなければ、高精度は期待できないという事実は、見落とされがちです。また1回のシミュレーションで高精度の結果を算出したとしても、選択した工程が不安定だと、予測結果の変動幅が非常に大きくなる恐れがあります。

超高張力鋼の増加に伴い、金型の変形が結果の予測精度に与える影響について関心が高まっています。そして金型の変形を正確に予測することで、大きな効果が期待できることも事実です。特に欧州や米国よりも金型が軽量な傾向にある日本では、より顕著な効果が見込まれます。その一方で高張力鋼の増加に関しては、摩擦のモデル化についても、使用するトライボロジ・データの信頼性の高さが同様に重要であり、また同じく大きな効果を得ることができるでしょう。

つまり結論として、金型の変形やトライボロジといったパラメータを考慮することは重要ですが、一方では選択した工程がロバストであり、また実際のトライアウトや生産の環境を考慮したパラメータを設定することで、シミュレーションの精度が飛躍的に高まることも証明されています。金型の変形等のパラメータの導入により単一のシミュレーションとトライアウトのマッチング率を向上させることは、トライアウト回数を減らすこととイコールではなく、リードタイムの短縮と費用対効果の確実な改善を意味しません。究極的な目標である高いROIは、その原動力となる「品質」「コスト」「リードタイム」「機能」の最適化、そしてIndustry 4.0に提唱される工程全体の効率的なデジタル化によってのみ実現することができます。