特殊インモールド法による金型内加飾成型技術の開発

生産技術部
白仁田和彦　中野太郎　田中徹
株式会社松野金型製作所
三谷勝昭
株式会社アドユニオン研究所
梶田久永

低コストで自動車用樹脂製内装部品を製造する方法の一つにインモールド成形がある．これまでのインモールド成形法では，樹脂成型後に塗装や蒸着，鍍金，印刷等の工程を行って製造している従来法と比較して，得られる製品の外観品質の面で課題があった．本報告では，特殊インモールド成形を想定した薄物成形品の解析モデルを作成し，非線形解析システムを用いて挙動解析および熱伝達解析を実施した．その結果，成形中のシートの変形挙動が明らかになり，形状形成シートのコーナー破れに対する改善策が提案できた．また，シートの有無による溶融樹脂の冷却状態の変化が明らかになり，シートがウェルドマーク不良の改善に寄与することが分かった．

１．はじめに

外観性に優れ，高品質が要求される自動車用の樹脂製内装部品は，一般に樹脂成形後，塗装や蒸着，鍍金，印刷等の工程を追加することで製造されているが，競争力を高めるために，製造コストの更なる低減が求められていた．しかしながら，樹脂成型後に，このような後工程を組み合わせて製造する従来の方法では，更なる低コスト化を実現するには限界があり，従来の製造方法に代わる新規な方法が求められている．

この低コスト化を実現する一つの方法としてインモールド成形がある．この成形法は，デザインが印刷されたシートを射出成形機の金型内に挟み込んだ後、射出することにより，樹脂の熱等でシートが樹脂に転写される方法である．しかしながら，外観性に優れ高品質の内装部品が製造できていた従来法と比較して，インモールド法は同等品質の内装部品を製造できる技術レベルには達していない．

そこで，平成 22 年度から３年間，戦略的基盤技術高度化支援事業の支援を受け，㈱松野金型製作所，㈱アドユニオン研究所及び工業技術センターで，共同研究体制を構築し，本研究で提案する特殊インモールド法による金型内加飾成型技術の開発に取り組んだ．

その体制の中で，工業技術センターは，転写フィルムの破れやウェルドマークといった成形不良と溶融樹脂温度の相関について調査検討することを分担した．本報告では，特にシート（加飾シートと形状形成シート）に関わる挙動解析や熱伝達解析を実施し，不均一な温度分布をもたらす要因の推定やその対策について検討したので，その結果について報告する．

２．実験方法

2.1 型内におけるシートの挙動解析

特殊インモールド成形における加飾シートの変形挙動は，非線形解析システムの適用によって，解析・検討した．

2.1.1 挙動解析モデルの定義

成形中に生じている加飾シートの変形状態を可視化するため，簡略化したモデルを用いて挙動解析を実施した．挙動解析モデルの概略図を図１に示す．

解析用のモデル定義には MSC.MarcMenta2010 を用い，有限要素法解析には汎用の非線形解析システム MSC.Marc2010 を使用した．

2.2 シートの影響を反映した熱伝達解析

射出成形の成形過程において，樹脂の流れがぶつかり合う位置に発生する筋状の成形不良をウェルドマークという．ウェルドマークは，溶融樹脂がぶつかり合う際，スキン層と呼ばれる固化した樹脂の層が十分に溶着できずに溝として残ったものである．溝の深さはスキン層の厚みに強い影響を受けるため，スキン層の形成状況を把握できればウェルドマークの状態（溝の深さ）をおおよそ予測できると考えら

れる．

そこで，金型と溶融樹脂間で行われる熱交換に関する解析を行い，金型接触面近傍における溶融樹脂の温度推移を調査することで，シートの介在がスキン層の形成にどの程度影響するかを確認した．

2.2.1 熱伝達解析モデルの定義

シートの介在が熱伝達に与える影響を調査するため，図２に示す「金型－樹脂」解析モデルと，図３に示す「金型－シート－樹脂」解析モデルの２種類のモデルを作成し，それらの解析結果を比較した．

2.2.2 接触熱抵抗の推定

図３に示す「金型－シート－樹脂」解析モデルにおいて，シートと金型の接触面は固体接触であるため，接触熱抵抗が存在すると考えられる．そこで橘の推定式[1)]を用いて「シート－金型間」の接触熱抵抗を推定した．

推定値の計算において必要となる接触圧力には，樹脂流動解析から算出された射出圧力値を適用した．計算の結果，接触熱抵抗の推定値 3800W/m²K が得られた．この値を熱伝達解析モデルにおける接触熱抵抗パラメータとして設定した．

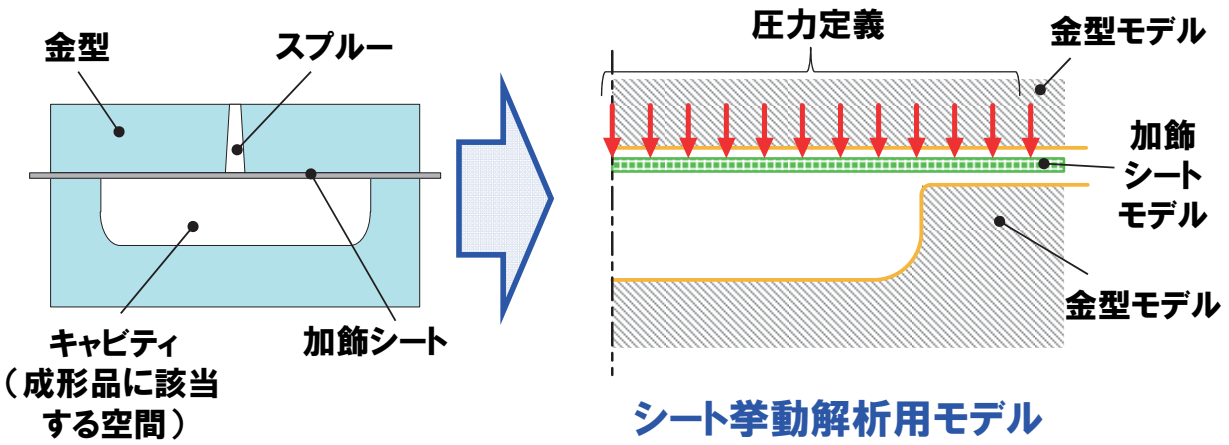

図１　挙動解析モデルの概略図

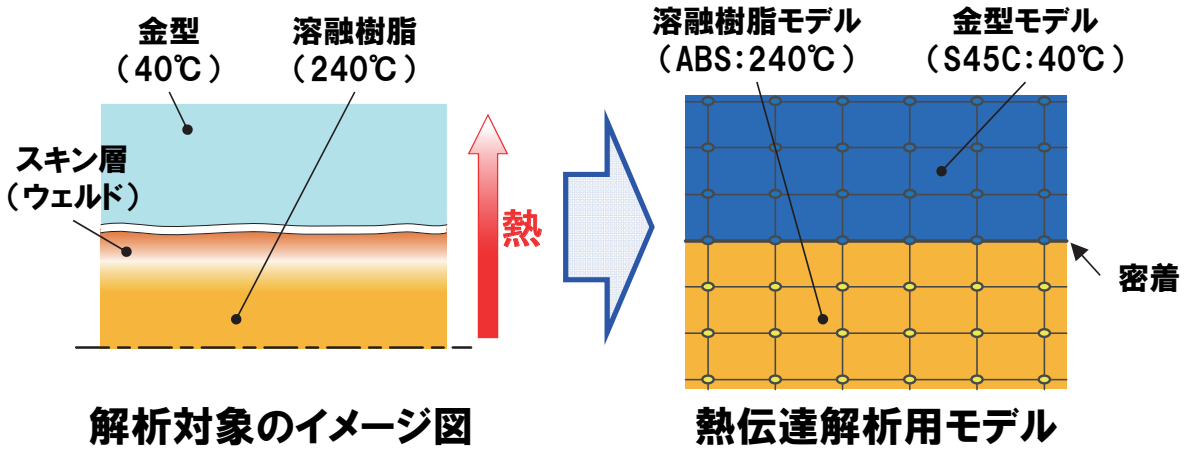

図２　「金型－樹脂」熱伝達解析モデル

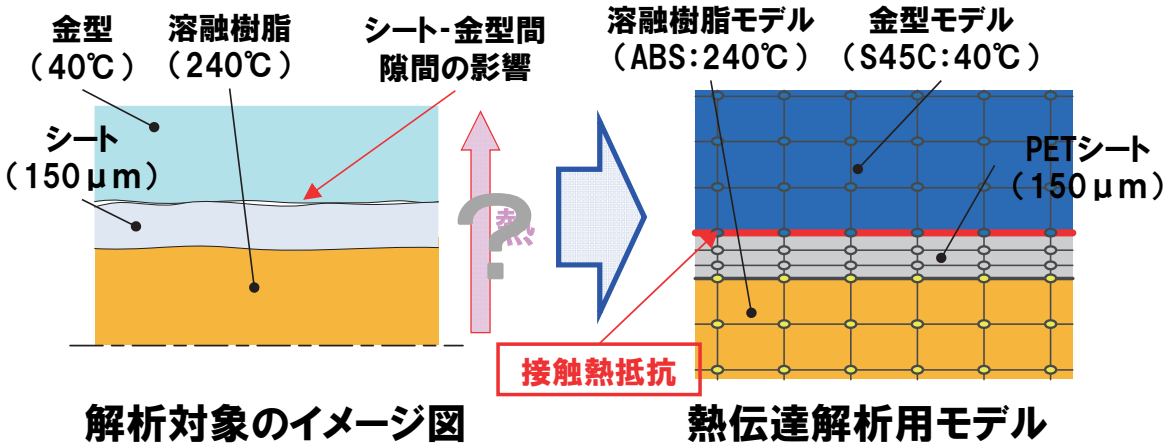

図３　「金型－シート－樹脂」熱伝達解析モデル

３．結果

3.1 シートの変形挙動解析結果

非線形解析システム MSC.Marc2010 による挙動解析結果を時系列順に出力した画像を図４から図７に示す．

図４に示す「挙動解析結果①」は解析の初期設定状態を示している．シートがコア型（図中上側の金型）とキャビティ型（図中下側の金型）に挟まれた状態をモデル化したものである．

図５に示す「挙動解析結果②」は成形開始直後の状態である．射出された樹脂圧力によりシートが変形し，キャビティの縁部に密着する様子が確認できる．

さらに成形が進むと，図６「挙動解析結果③」に示すよう，シートの中央部から金型に密着を始める．その後，シートはキャビティに倣いながら変形し，図７の「挙動解析結果④」に示すように，コーナー部が最後に密着する．

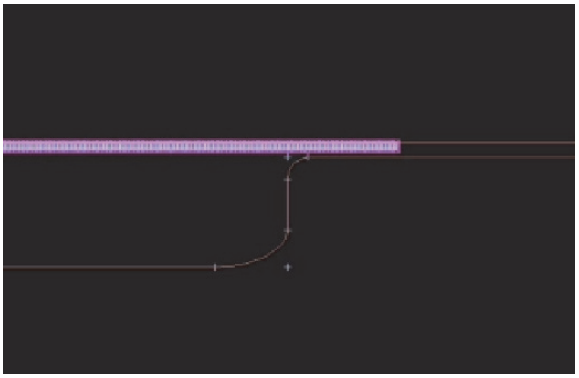

図４　挙動解析結果①

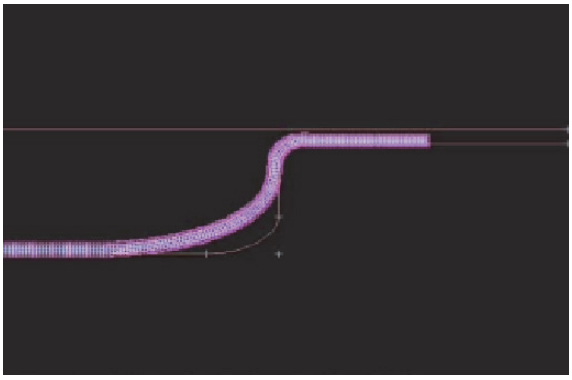

図６　挙動解析結果③

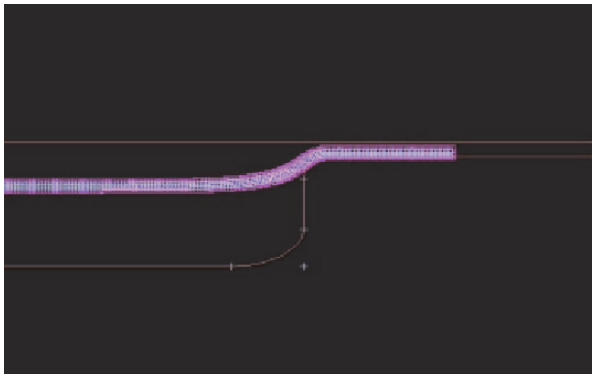

図５　挙動解析結果②

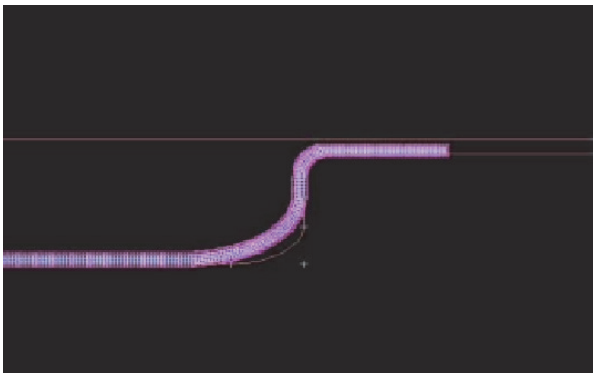

図７　挙動解析結果④

3.2 シートの影響を反映した熱伝達解析結果

「金型－樹脂」解析モデルの熱伝達解析結果を図８に,「金型－シート－樹脂」解析モデルの熱伝達解析結果を図９に示す.

成形直後の樹脂表層において，シートの有無の影響で 50℃以上の温度差が見られる．シートの介在により，表層部近傍の樹脂（スキン層近辺）の熱伝達特性が変化したためと考えられる．

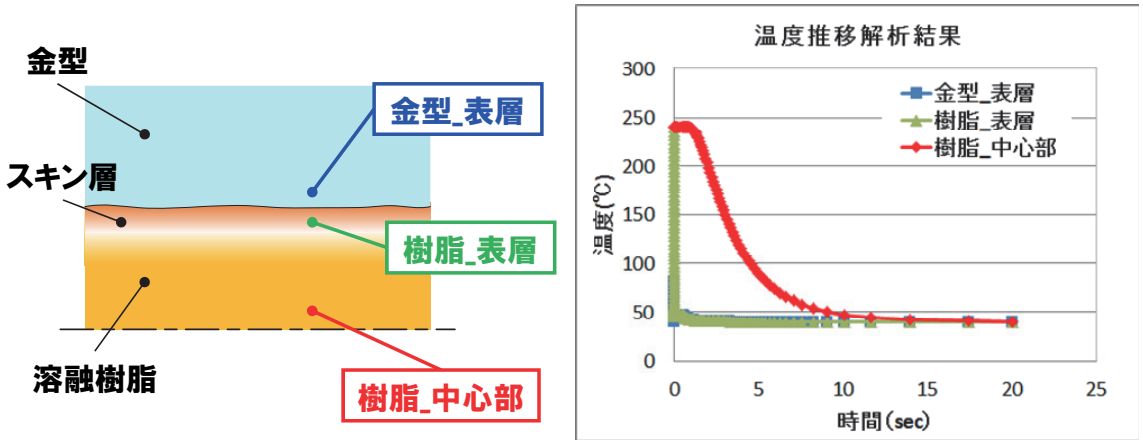

図８　熱伝達解析結果（シート無し）

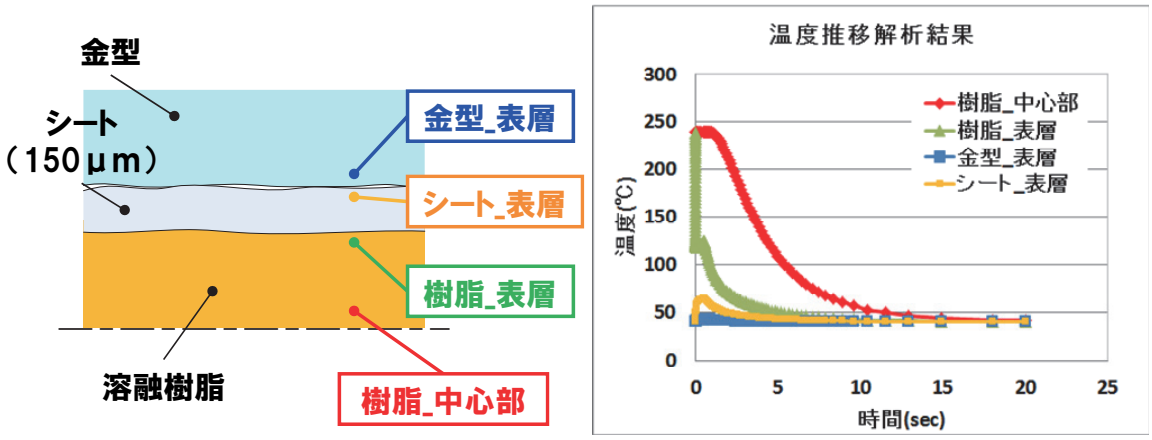

図９　熱伝達解析結果（シート有り）

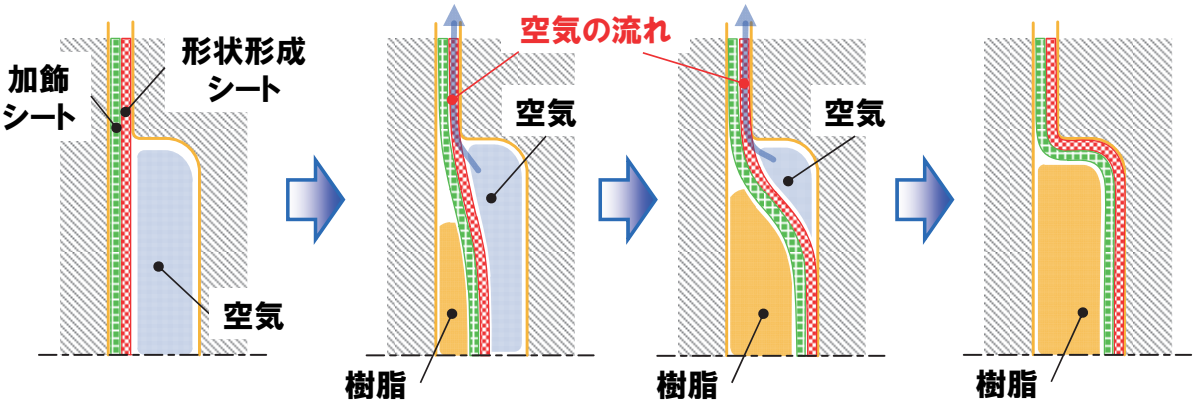

図 10　形状形成シートによる改善効果

４．考察および改善策の提案

特殊インモールド成形を想定した薄物成形品の解析モデルを作成し，非線形解析システムを用いて挙動解析および熱伝達解析を実施した．解析を実施するにあたり，シートの影響を反映した解析モデルを適用し，成形中のシートの変形挙動やシートの介在が溶融樹脂の冷却状態に与える影響について調査した結果，次のことが明らかとなった．

(1)「コーナー破れ」に対する改善

非線形解析システムの変形・接触解析機能を用いてシートの挙動解析を実施し，成形中のシートの変形挙動を明らかにした結果（図４～７）に基づき「コーナー破れ」不良の対策について改善策を考える．

成形が進行するに伴い，シートは「キャビティ縁部」,「キャビティ中央部」,「キャビティコーナー部」の順に金型に倣いながら密着する．この過程において，キャビティ内に残存する空気はコーナーに押しやられ逃げ場を失い，断熱圧縮により高温に達すると考えられる．その結果，熱の影響を受けてシートのコーナー破れが発生していた可能性が高い．

この問題に対し，特殊インモールド成形における形状形成シート（布製）の改善効果を示した概略図が図 10 である.残存する空気側に形状形成シートを配置することで，空気の逃げ道が常に確保され，残存空気から樹脂への置換がスムーズに達成される．残存空気は圧縮されることなく金型外に排出されるため，加飾シートが金型形状に倣いやすい状態を維持できる．併せて，コーナー部における温度上昇が発生しにくくなると考えられる．

(2)「ウェルドマーク」に対する改善

非線形解析システムの熱解析機能を応用し，シートが介在することで溶融樹脂の冷却状態がどのように変化するか調査した結果に基づき「ウェルドマーク」不良の対策について改善策を考える．

図９に示した解析結果の温度推移グラフから，シートが介在しない場合，金型との接触面に近い表層付近の樹脂温度は，成形直後に瞬間的に冷却されることが分かる．金型内に流れ込んだ溶融樹脂が直接金型と接触するため，接触面近傍おいて瞬間的にスキン層が形成されると考えられる．

それに対し，シートが介在する場合，表層付近の樹脂の冷却速度が緩やかになっている．これは，シートと金型間に存在する熱抵抗が，成形初期段階における溶融樹脂の急激な冷却を防いでいるからであり,この効果がスキン層の形成を遅延させることで,ウェルドマーク不良の改善に寄与すると考えられる．

５．おわりに

非線形解析システムを用いて挙動解析および熱伝達解析を実施することで，特殊インモールド成形が転写フィルムの破れやウェルドマーク不良の改善に効果的に作用するという示唆を得ることができた．ただし，実際の成形試験結果との整合性確認が十分であるとは言えない．今後，実成形試験におけるサンプルの取得と解析結果との関連性を追跡調査していくことが望まれる．

参考文献

1) 橘 藤雄，“接触面の熱抵抗に関する研究”：日本機械学会誌，55-397（1952），102-107.