

インサート成形の生産性向上のための高機能金型に関する研究(第6報) -射出成形品の変形シミュレーション-

坂東 直行 山田 俊郎 生駒 晃大

A study on a smart mold for insert injection molding (6th Report) -Deformation Simulation of Injection Molded Articles-

Naoyuki BANDO Toshio YAMADA Akihiro IKOMA

あらまし プラスチックで成形されることの多いシェル形状を想定し、単純形状を取り上げて反りの現れ方を分析した。その中で、ピュア材と複合材では、異なる反り変形モードになる場合があり、金型を共用しがたい場合があることが分かった。ここで採り上げた形状は単純なものであるが、それゆえに何が要因となり、どのような変形が生じるのかの対応付けが容易である。よって、本報は反り問題の解を効率的に見つける際に役立つと期待される。

キーワード 射出成形, 反り, 複合材

1. はじめに

プラスチック部品の射出成形における課題のひとつに成形品の反りがある。樹脂を型に流し入れるときの温度と、型内冷却して固める時の温度の差によって生じる材料収縮が原因であるため、根本的に避けがたく、対処としては予め収縮を見越した形で金型をつくる方法が採られている。金型メーカーは経験に基づいた設計ガイドラインを有しているが、成形品の複雑化、精緻化、高機能化要求が高まるなか、公差要求も厳しくなっており金型の改修を繰り返しているのが現状である。

反り問題の有効な解決策を講じるためには、従来の画一的なガイドラインに従うのみでなく、形状に応じた個別具体的な解決策も盛り込んでいく必要がある。そうしたニーズにはシミュレーションが有効である。シミュレーションのメリットの一つに、トライ&エラーを繰り返すことで要求仕様を満たす解を探索できることが挙げられるが、シミュレーションを行うには相応のモデル作成の手間と計算時間が必要であるため、シミュレーションにかかるコストに上限を設けたうえでケースを限って行うことが多い。そうした場合、よりよい解にたどり着くには反りの軽減に効果のある要因に対する目利きが必要であるが、それを複雑になりがちな実成形品のシミュレーション結果から養うのは難しい。

そうした理由から本報は、反り軽減のための有効な解決策を見つける手がかりになることを期待し、反りがどのように生じるのかを単純な形状を採り上げシミュレーションによって分析し、状況ごとに整理するものである。

2. 解析モデル

以下では、プラスチックで成形されることの多いシェル形状を題材に、単純な形状をいくつか取り上げて反りの特徴を見ていく。なお、射出位置は成形品の表裏を無視し、流動距離を短くするうえで合理的と思われる個所に1か所配置し、見えるところにある場合、円錐であらわしている。また、わかりやすくするため、変形形状は10倍に誇張して表現している。図において基準形状は半透明で、反り形状は各形状の特徴を表す面もしくは角の中央で基準形状と一致させたときの成形品の変位量を色分布と共に表している。その他の解析条件を表1に示す。

表1 解析条件

項目	内容
ソフトウェア	Autodesk Moldflow Insight Premium
要素タイプ	MidPlane
板厚プロパティ ^{※1}	4mm
メッシュサイズ	2mm
金型表面温度	成形品表面で一定 ^{※2}
充填設定	流量一定を目安にソフトが自動設定
保圧設定	充填圧力の80%で10秒
型内冷却	20秒

※1 リブを含む

※2 冷却解析を含む場合を除く

3. ピュア材

ここでは、強化材を含まないピュア材として、PPを例に反りの現れ方を見ていく。

3.1 平面形状

図1に、100mm×100mmの正方形の板材中心から射出したときの反りを示す。単純板形状の場合、収縮は面内方向に限られており、射出位置を中心とする同心円で変位している。成形品が使用される際、作用する外力に抗するため、板材の面外方向の強度補強のための高さ10mmのリブを対向する縁2辺に設けたときの反りを図2に示す。このときの変形は面内のみならず面外方向にも起こり、面中心では凹み、リブ設置線上ではうねりが起こり、リブは内側に倒れる。中心の凹みを軽減するため、図3のように中心を通るようにリブを設けても、変形抑制の効果は見られない。板の縁すべてにリブを設けた場合（図4）、リブの内倒れはある程度抑制できるが、中心は凹み、リブは弓なりに変形する。さらに、中心で交差するようにリブを設けた場合（図5）、縁のリブがうねる。面の両側にリブを設けた場合（図6）、片面時にみられた面外変形は抑制される。

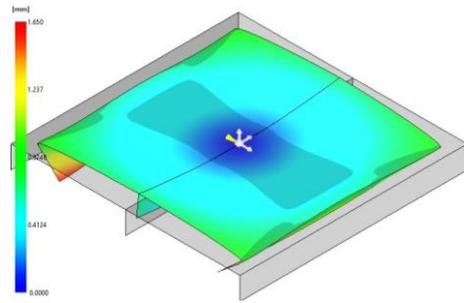


図3

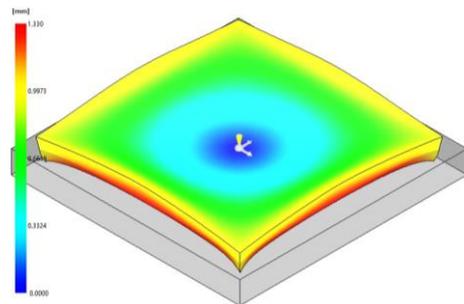


図4

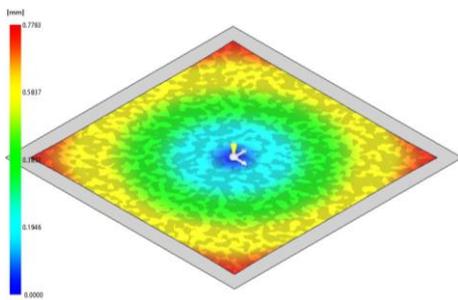


図1

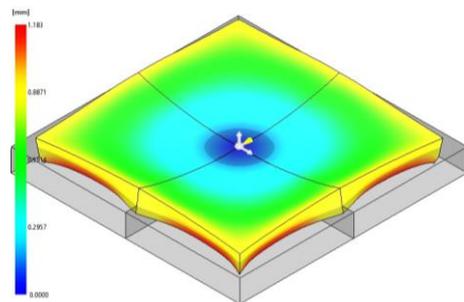


図5

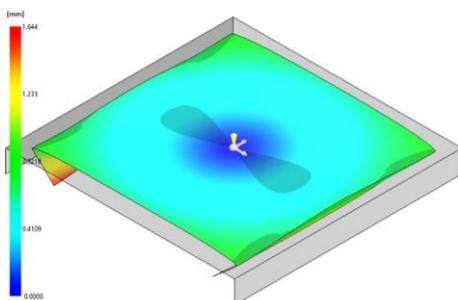


図2

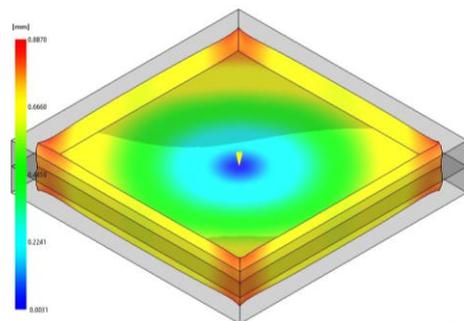


図6

3. 2 湾曲形状

板を、中心を通る直線周りに曲げた形状における反りを図7に示す。このとき、リブがないにも拘わらず面外変形し、角が反り上がる。補強のためリブを曲線に沿って設けても、片面の場合は反り抑制の効果が乏しく、逆に助長する(図8, 図9)。両面の場合(図10)は、反りがわずかながらも抑制される。面中心で交差するようにリブを設けた場合(図11)も、反りはわずかに抑制される。なお、曲面の内側で同様のリブを設けることは、金型からの成形品の取り出しを阻害するためできない。

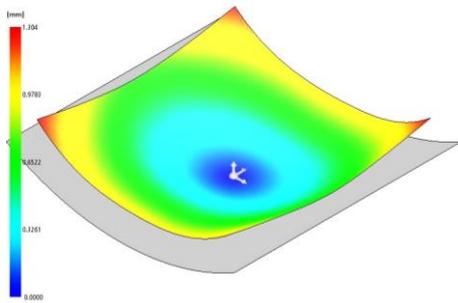


図7

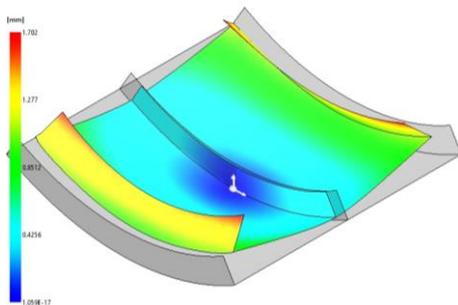


図8

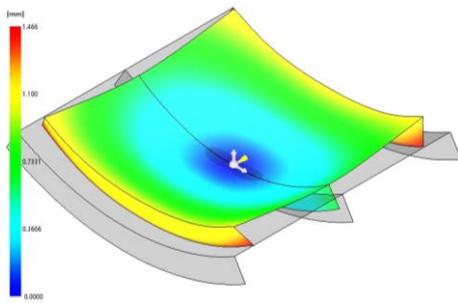


図9

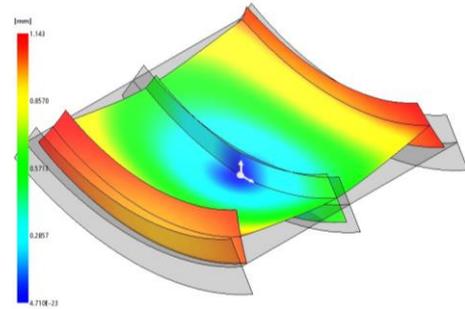


図10

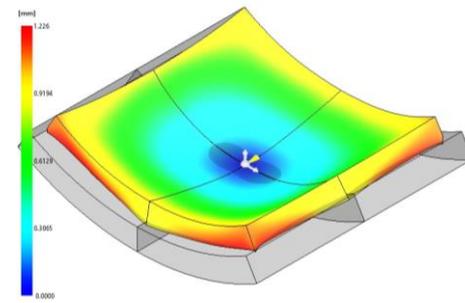


図11

3. 3 屈曲形状

板を直角に曲げた形状の場合(図12), 曲げ方向への内倒れがみられる。対して、角にリブを設けた場合(図13), 平面部の内倒れは抑制されるが、リブが内側に倒れ、平面をわずかにうねらせる。リブを平面全体に設けると変形は大きくなり、リブ設置面によってうねり形状が変わる(図14, 図15)。平面が平行に配置された形状の場合を図16に示す。ここでは変形量を等倍で表している。このとき端の平面は内倒れを起こす。対して、平行平面に直交するように平面を追加した場合(図17), リブとは異なり平面のうねりは抑制され、内倒れも軽減する。

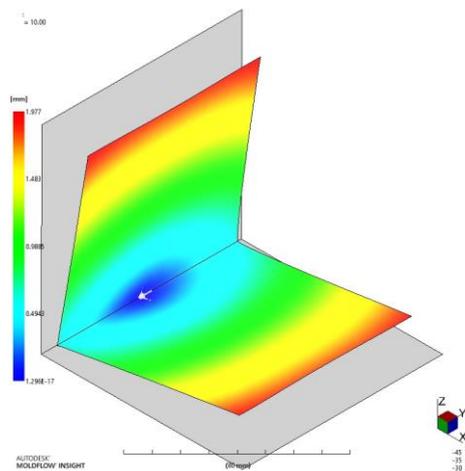


図12

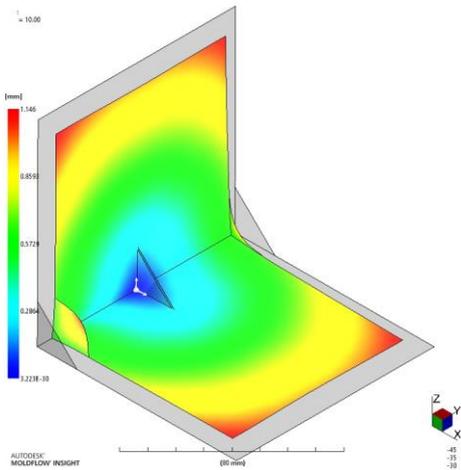


図13

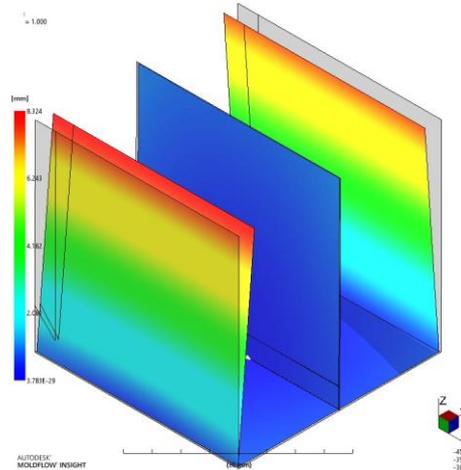


図16

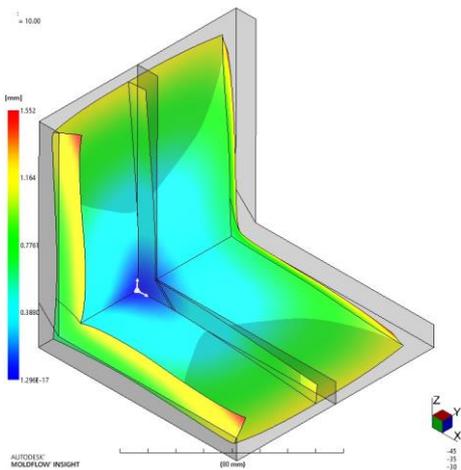


図14

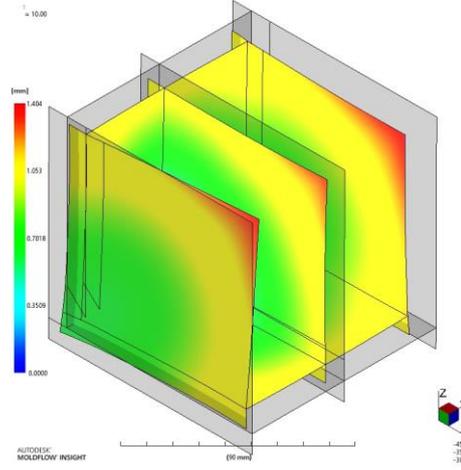


図17

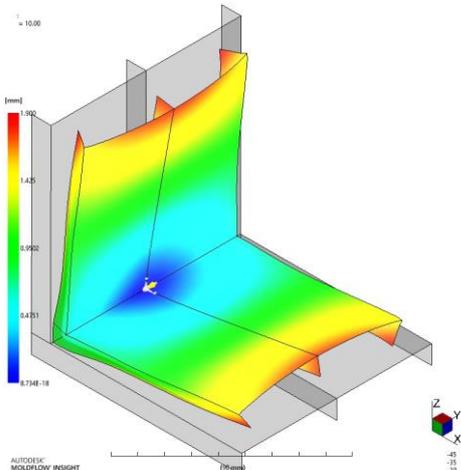


図15

3. 4 箱形状

箱形状の場合、開口端で内倒れがみられる(図18)。これは射出成形時においては金型のコアを締め付ける力となって表れるので、成形品の取り出しを困難にする。よって、箱形状を成形する場合、抜き勾配の調整が不可欠となる。なお、箱の底面は内側に向かう凸形状となる。底面の凸変形を軽減するため、内部にリブを設けることは効果が大きい(図19)が、角のみに設ける場合(図20)と、平面部全体に設ける場合で差はあまり見られない。箱の外側にリブを設けた場合(図21)、底面の凸変形の抑制効果は薄れる。内外両面にリブを設けても(図22)、内側のみの場合と比較して違いに乏しい。箱内部に、中心で交差するように平面を付加した場合(図23)、底面は外側に凸変形し、全体的な変形量は減少する。箱を形成する平面ではなく、隅にリブを設けた場合(図24)、変形抑制の効果は薄れる。

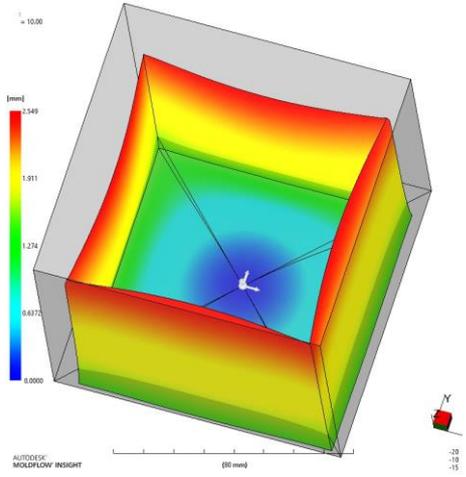


図18

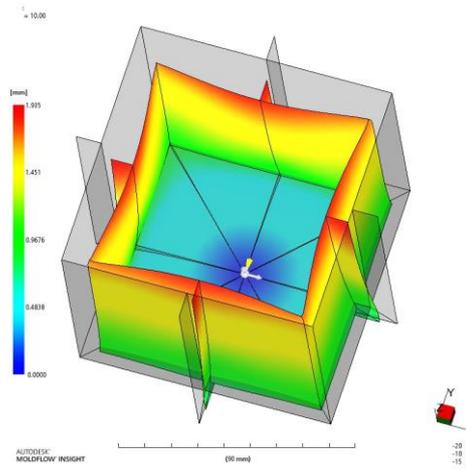


図21

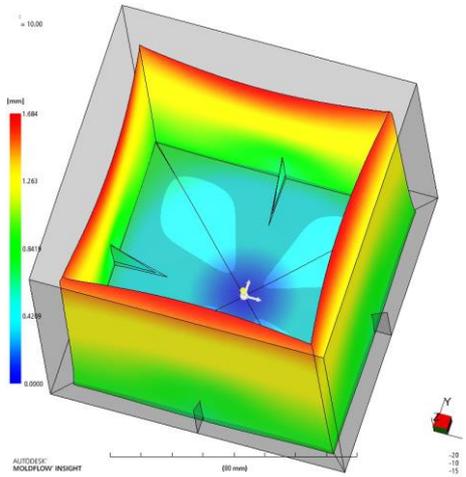


図19

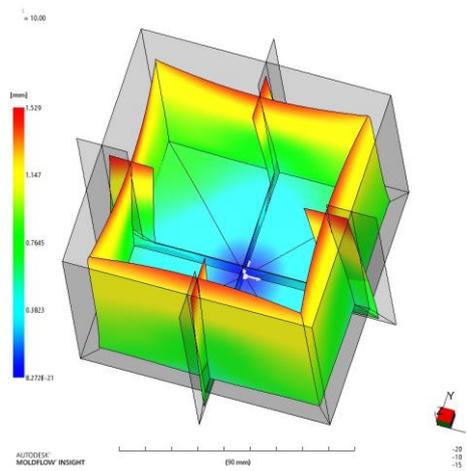


図22

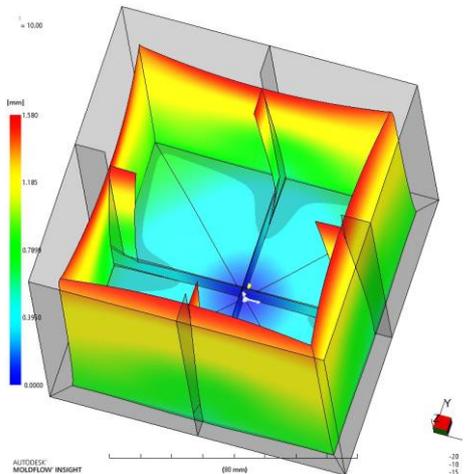


図20

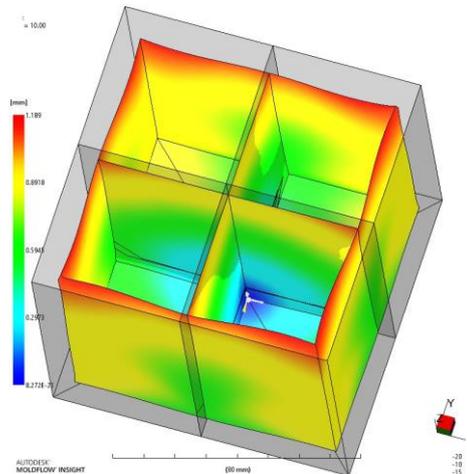


図23

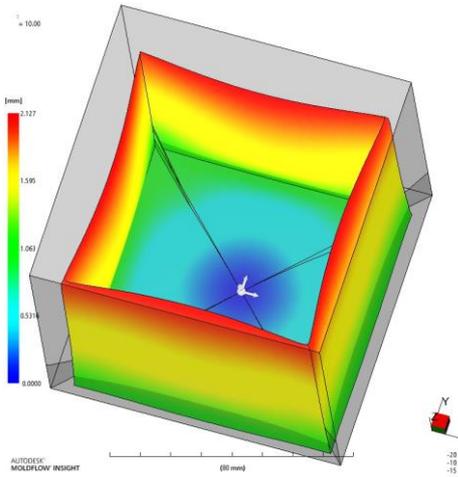


図24

4. 複合材

材料強度を向上させる強化材入り樹脂を材料に用いる場合、ピュア材とは異なる反り特性が現れると考えられる。これは、強化材には配向方向の変形を抑制する効果があるためである。そこで、炭素繊維を30%含むPPを例に反りの現れ方を見ていく。

4. 1 平面形状

ピュア材では、射出位置を中心に同心円状に分布していた変位が、角を頂点とする星形に分布を変える(図25)。また、変位量も少なくなる。平面の中心から射出したとき、同心円状に広がる流動先端は最初に板の縁の中央に到達し、そこから角へと流れを変える。隣り合う縁でも同様に流れるため、一つの角では縁にそって二方向から樹脂が充填され、結果図26に示す繊維配向となる。強化材は反りを抑制するばかりではなく、反りを増長することもある。板の縁すべてにリブを設けた場合(図27)、変形はピュア材のときよりも大きくなる。また、リブ上に射出位置を設けた場合(図28)、射出位置近傍の配向が他のリブ内の配向と一致せず、射出位置近傍はくびれ、ピュア材のときには見られなかった面外変形を誘発する。

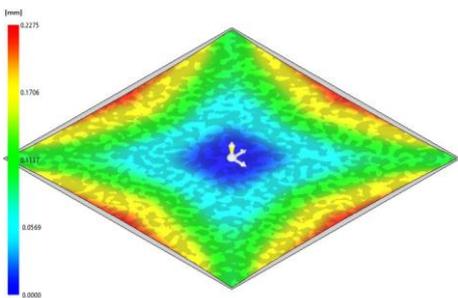


図25

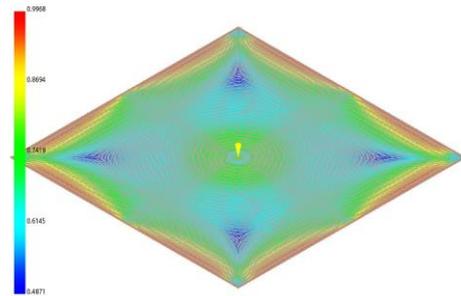


図26

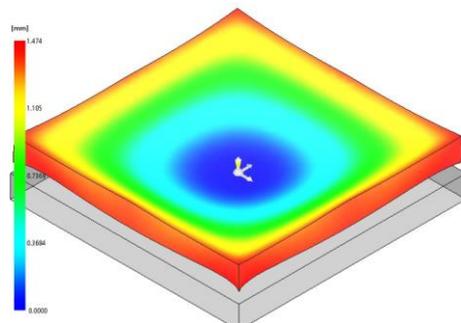


図27

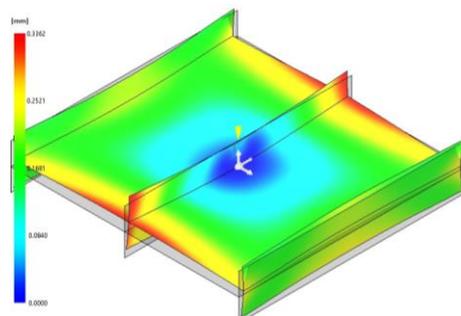


図28

4. 2 湾曲形状

湾曲形状の場合は、変形のモードが変わり、中心がもり上がり曲線の縁が下がり、直線の縁が内側へまがる双曲放物面となる(図29)。これは、射出位置を縁に設け、面内の繊維配向を変化させても(図30,31,32,33,34)、同様である。変形モードの変化は、リブを設けた場合(図35, 図36)も起こる。なお、変形量は総じて、ピュア材と比較して、少なく抑えられている。ここから、成形品に湾曲形状が含まれる場合反り変形のモードが変わるため、ピュア材と複合材では異なる金型設計が求められる。

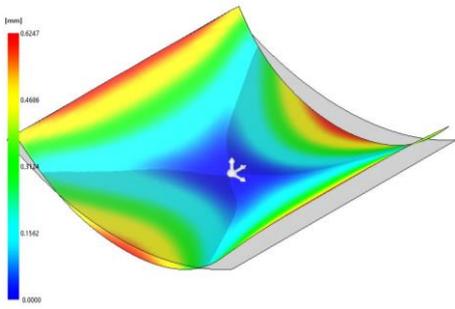


図29

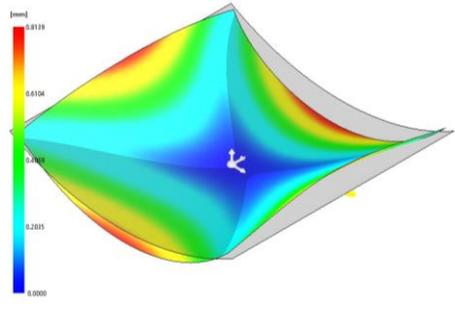


図33

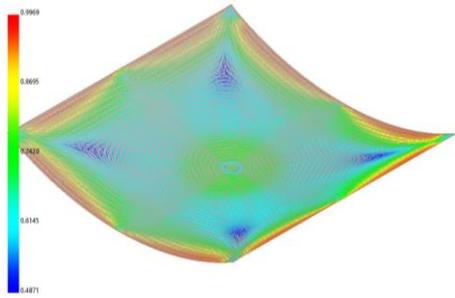


図30

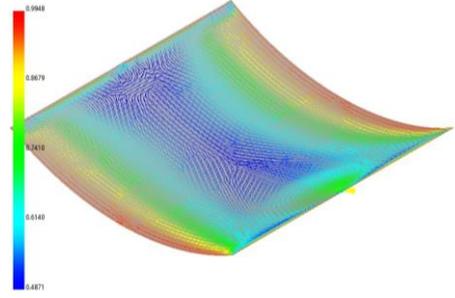


図34

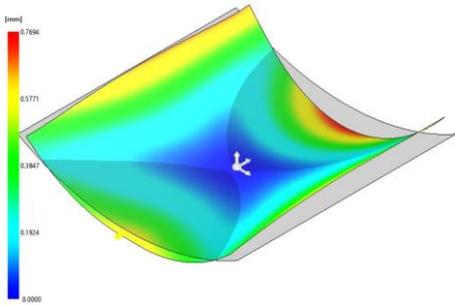


図31

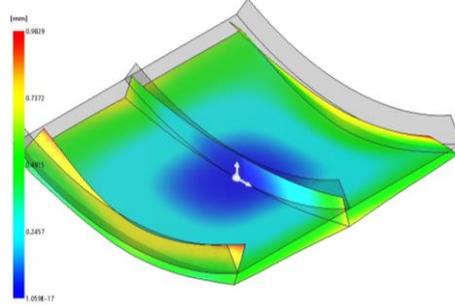


図35

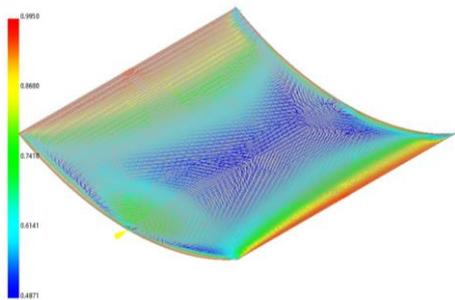


図32

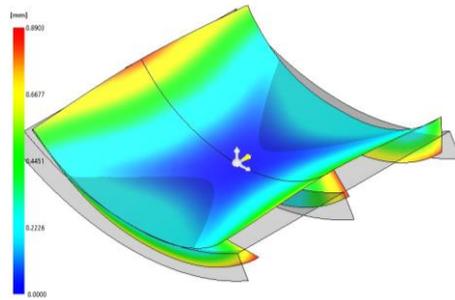


図36

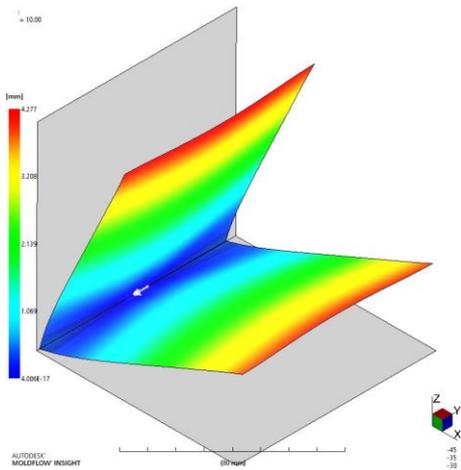


図37

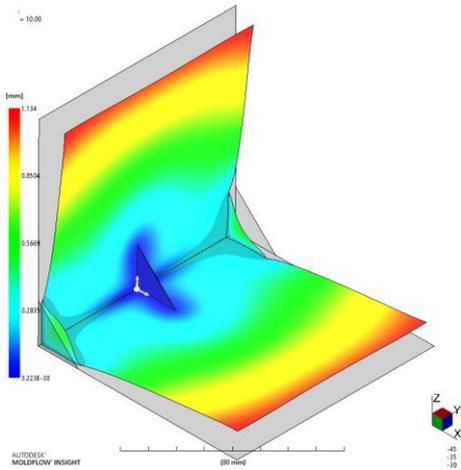


図38

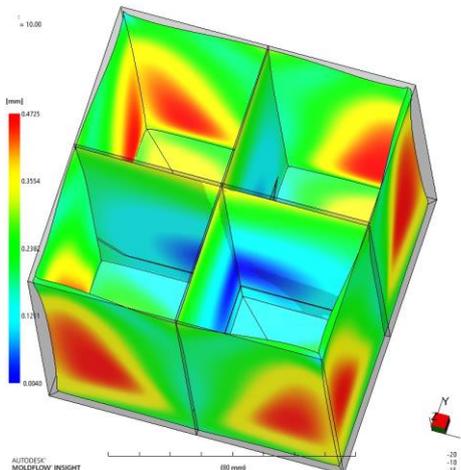


図39

4. 3 屈曲形状

屈曲形状においては、変形を大きく増長させてしまうことがある（図37）。リブを設けた場合（図38）、屈曲線の内反りが外反りになるなど、変形モードが変わることがある。

4. 4 箱形状

底面が外に凸変形するモードがなくなるほか（図39）、変形モードの目立った違いはない。なお、変形量は抑制される。

5. まとめ

本報では、シェル形状を想定し、反りの現れ方を見てきた。その中で、ピュア材と複合材では、異なる反り変形モードになる場合があり、金型を共用しがたい場合があることが分かった。

ここで採り上げた形状は単純なものであるが、それゆえに何が要因となり、どのような変形が生じるのかの対応付けが容易である。本報が、反り問題の解を効率的に見つける際に役立てば幸いである。