

特集

インサート変形解析の開発と活用*

Development and Application of Deformation Simulation for Injection Molding with Insert Terminals

浅野 圭吾

Keigo ASANO

In late years, automotive electronic control systems have been successively progressed to improve fuel-efficiency, safety, etc. of vehicles. The progress has been strongly supported by various sensors. The sensors have metal terminals for electrical connection and a fragile and environmentally-susceptible sensing unit, and the sensors are mounted at environmentally severe locations. Accordingly, they are sealed with resin for mechanical protection and waterproof. For the resin sealing with insert terminals, usually thermoplastic resin is used as an injection molding material. In the new product design stage, insertion injection molding using thermoplastic resin sometimes caused the critical problems that metal insert terminals deformed in the molding die cavity because the thermoplastic injection molding has high pressure and shearing force during molding processing. When the terminal deformation and molding pressure can be estimated by using CAE simulation in the design stage, those problems can be solved. Accordingly, for that purpose, we have performed the visualization of molding process using original transparent die, development of simulation program, and application of the simulation to experimental samples and actual products.

Consequently, as the first step of CAE simulation development, data of actual products did not match well with simulation data however data of simple experimental samples matched well with simulation data. Moreover, it is found that the developed CAE simulation is available to be used for the qualitative deformation estimation.

Key words : Injection molding with insert terminals, CAE, Visualization, Superimpose method

1. はじめに

当社では、射出成形に限らず加工に係わるCAEを総称して『加工CAE』と呼んでいる。その中では、塑性加工、ダイカスト加工、成形加工、の活用頻度が高い。専用ソフトとしての完成度が高いこともあるが、やはり『型』を用いる加工であるため、事前検討により型調整にかかる期間と回数を減らしたいためである。3つの加工分野においては、当社では設計者や型設計者が向けのソフト（簡易版ソフト）と、CAE専任者向けのソフト（高機能ソフト）を使い分けている。例えば塑性加工で言えば、ステッキングなどは簡易版ソフトを用い、多段プレスや鍛造は高機能ソフトを用いている。成形加工、主として射出成形では、簡易版ソフトではエアトラップやショートショット、ゲートバランスを評価し、高機能ソフトではソリ変形などを評価している。

本稿では、「高付加価値成形を目指す」というテーマに沿って、ソフトメーカーと共同で開発したインサート変形解析について紹介させていただく。

2. 開発の背景

当社は自動車部品会社であり、エアコンやラジエータ、スタータ、ABSなどの製品の設計製造をしている。近年自動車では、燃費向上と安全性向上を目的に、一段と電子制御化が進められており、各種のセンサが用いられ、当社も開発に取り組んでいる。これらセンサは、センシング部の保護と防水・防油性付与のため樹脂などで封止されるが、生産性向上のために熱可塑性樹脂でインサート成形されることが多い。熱可塑性樹脂でのインサート成形の課題は、ゲル封止やポッティング、熱硬化性樹脂での封止に比べ、加工時の圧力やせん断力が高く、センシング部へのダメージやインサート物の飛び出しが懸念されることである。このためセンシング部の保護やインサートの保持、あるいはインサートの位置関係を維持するための一次成形などが行われている。インサート変形がCAEで事前に評価できれば、製品設計においても型設計においても有効活用できるので、技術開発に取り組んだ。

*（社）型技術協会の了解を得て、型技術Vol.27 No.5より一部加筆して転載

3. 現象の可視化

技術開発をするためには、どのような現象が生じているのか把握する必要がある。そこで、東京大学生産技術研究所の横井教授らの研究を参考¹⁾に、金型の一部にガラスを用いキャビティ内を外から観察できるテストピース金型を製作し、成形中の挙動をハイスピードカメラで可視化した。Fig. 1にキャビティ部の概略を示す。インサートにはセンサ類でよく用いられるターミナルを模擬した金属板を用いた。実際の成形でインサートが変形し飛び出すような場合には、ターミナルの各部に印加される流動樹脂の圧力差により変形が生じているのであろうと推定し、明らかに金属板の上面下面で圧力差が生じるよう、2点ゲートにし、かつ上下でランナ長さを変更することで、流入タイミングに差が生じるようにした（下側に流入するランナの方が短い）。また大きな変形になるよう、ターミナルは片持ち支持とした。キャビティ幅とインサート幅はほぼ同じであり、インサートを包む流れといった外乱が入り込まないようにした。また、インサートの変形が大きく取れるよう、キャビティの上下は2:1の比率とした。

Fig. 2に可視化実験の一例を示す。透明樹脂（PC：ポリカーボート）を用い高速ビデオで撮影した映像からおこした、1サイクル内の連続した画像である。①は樹脂がキャビティに流入する前、②は樹脂がキャビティの30%ほどに充填した状態、③は60%ほどに充填した状態、④はほぼ充填が完了した状態、を示している。ランナ長さの違いから、②では下側の充填が速いことが解る。しかし、キャビティに括れが設けてあるためか、上側の流れが途中から速くなり、③では上下の充填差がほとんどなくなっていることが解る。インサートの変形に着目すると、②で上側の金型壁面に接触するまでの大きな変形を生じ、③では上側を流れる樹脂により変形が少し戻るが、④でも変形は元に戻り切っていないことが解る。

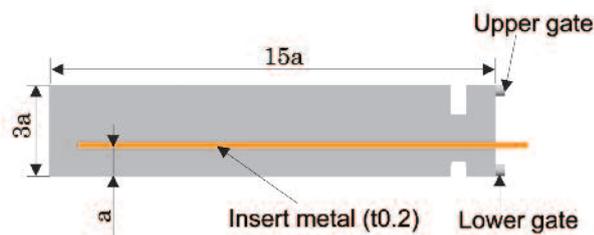


Fig. 1 Schematics of die cavity for test piece

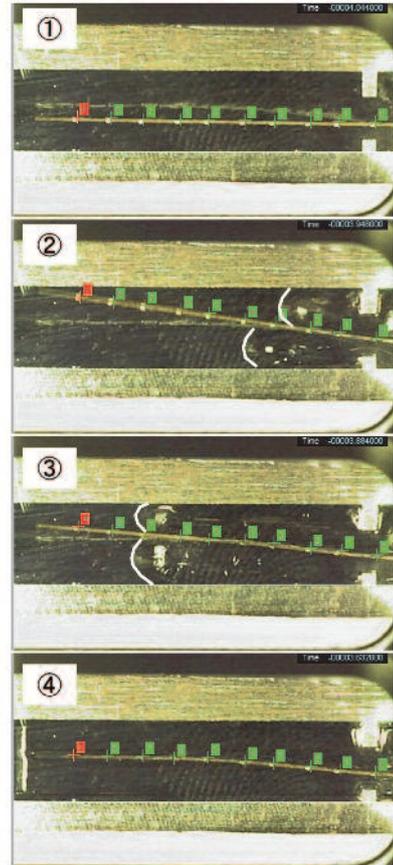


Fig. 2 Photos of insertion terminal deformation

4. CAE開発

当時、幾つかのCAEソフトメーカから、インサートあるいは金型のコアの変形を計算するソフトは発売されていた。しかしこれらのソフトはどうやら充填完了時あるいはその直前の状態から変形を計算しているらしく、今回の現象可視化から判明した事象からすると、計算誤差大であることが予想された。このようなインサートの変形現象を解析するためには、樹脂の流動解析と構造解析を連成させる必要がある。つまり流動解析で樹脂の流れをほんの少し進めたら（例えば、全100step中の1step）、その結果を構造解析に読み込みインサートの変形を解析、その結果を基に流動解析を実施する、この繰返しを成形開始から充填完了まで繰り返す解析、という意味である。このようなシステムを構築しなければならないが、当社が単独で開発し、CAEソフトのバージョンアップ毎に変更して行くのは非現実的である。そこで、CAEソフトを開発している、東レエンジニアリング株式会社に協力いただき、3D-TIMONに搭載するための共同開発に取り組んだ。

インサートの変形は、インサートの上下面に負荷さ

れる圧力の差により生じると考えられるため、流動解析で算出されるパラメータのうち、圧力に着目することとした。これを構造解析の境界条件として活用する。構造解析では、インサートの変形が大きくなると金型に接触し変形モードが変化するため、金型との接触判定が必要である。その後、インサートの変形に合わせて流路の変更（モデルの変更）を実施し、次のステップに移行する。これが計算のおおよその順序であり、この計算のフローチャートをFig. 3に示す。

形状モデル化・解析手法に関しては、金型接触以降も計算を継続するために、ボクセルベースの重ね合わせ法を採用した。Fig. 3に示すように金型との接触では接触判定を行い、計算が破綻しないようにした。

この開発したシステムと実機（Fig. 2の②の状態）との比較検証がFig. 4である。インサートが金型に接触しかけるほど変形していることが再現できている。樹脂の到達位置の比較では数%の計算誤差があるが、実用可能なレベルと考えられる。Fig. 5には、観測点の変形量を経時変化で比較検証したグラフを示す。Fig. 4に言及した計算誤差の影響か、CAE結果の変形開始がわずかに遅れているが、金型に接触する時点ではほぼ一致している。

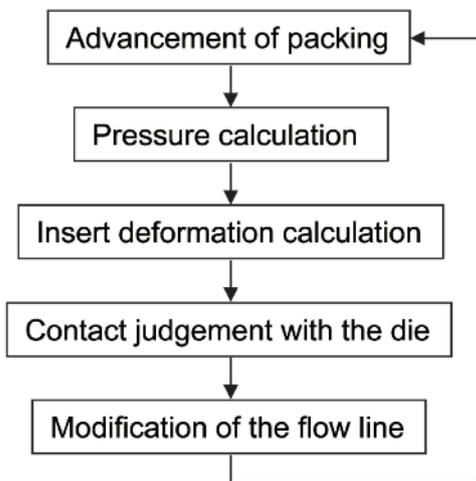


Fig. 3 Flow chart of simulation

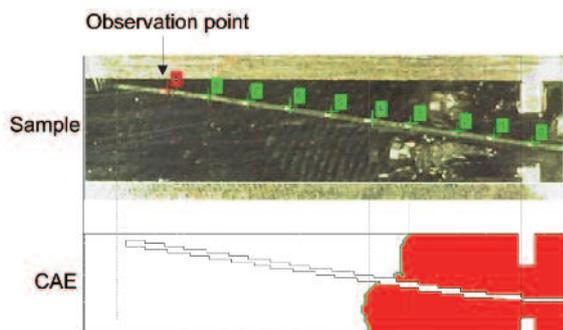


Fig. 4 Deformation comparison between experimental samples and CAE simulation

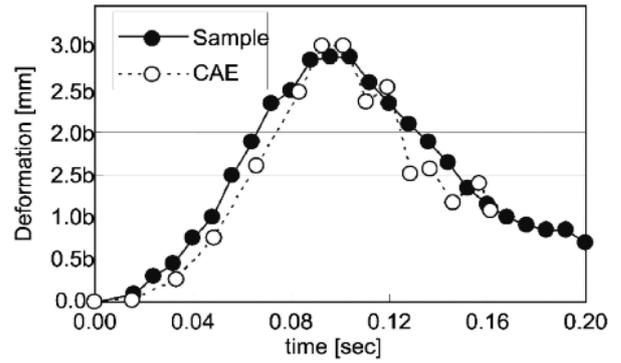


Fig. 5 Time change of deformation

5. 製品適用

開発したインサート変形解析を実際の製品、Fig. 6に示すあるセンサカバーに適用し、実力を評価した。Fig. 7に変形評価結果を示す。テストピースほどにはやはり一致せず、部分的に接触判定でミスしている部分はあるが、全体的な変形を定性的に評価する分には使用可能レベルではないだろうか。以降、数製品に適用し、大変形が懸念される製品での設計検討に役立っている。

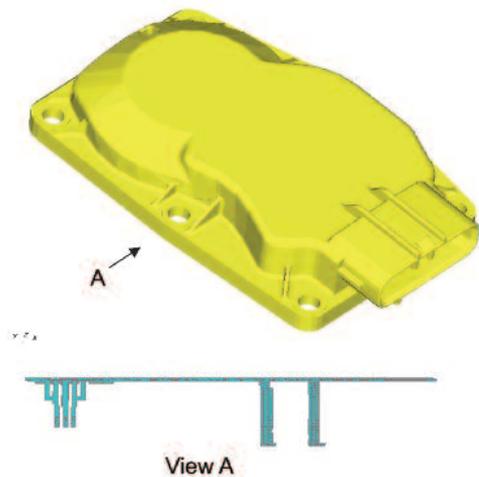


Fig. 6 Image of the simulated product sample: external form and insertion terminal

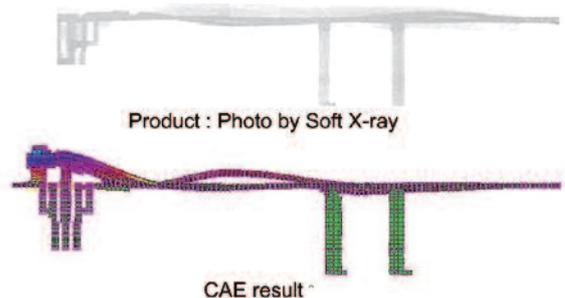


Fig. 7 Deformation comparison between actual products and CAE simulation

6. おわりに

高付加価値成形を実現しようとする、まだCAEで計算できない領域であるか、ニーズが高くなく市販ベースになっておらず、開発が必要な場合が多い。他方、CAEは数値計算であるため、必ず計算誤差を伴っている。それはモデル化で生じた誤差であるかもしれないし、現象を数式化した際に生じた誤差かもしれない。CAEを使って行くには、上記を踏まえた上で、自分なりの使い方をノウハウとして蓄積する必要があると思う。本稿にて紹介した当社の取組みが読者諸氏の参考になれば幸いである。

<参考文献>

- 1) 例えば 横井秀俊, 村田泰彦, 坂本一郎: 成形加工 6 (5), 349 (1994)

<著 者>



浅野 圭吾
(あさの けいご)
生産技術研究部
第3生技研究室
ダイカスト加工技術開発に
従事