

3次元射出成形CAEシステム”3D TIMON”

3-dimensional Injection Molding CAE System “3D TIMON”

坂場 克哉¹⁾, 須賀 康雄²⁾

Katsuya Sakaba and Yasuo Suga

1) 東レ株式会社 CAEソフト事業部 (〒520-0842 滋賀県大津市園山1-1-1)

2) 東レ株式会社 CAEソフト事業部 (〒520-0842 滋賀県大津市園山1-1-1)

3D CAE becomes a key technology to complete a digital engineering system. “3D TIMON”, developed by TORAY Industries, Inc., is the only software available in the market to analyze whole injection molding process with solid elements and is capable of generating solid mesh models directly from 3D CAD data. In this paper, we introduce “3D TIMON” widely used by more than 100 companies.

Key Words : Injection molding, 3D CAD, 3D CAE, 3D TIMON

1. はじめに

射出成形はプラスチック成形加工技術と金型知識をベースにした技能依存型産業として日本が長くリードしてきた。しかし、成形機や金型加工機の自動化技術などで生産性が著しく向上して世界中に普及した。このため、国内の量産は中国やアジア諸国に移転し、金型や成形を支える中小企業が極めて苦しい状況に陥っている。

このような苦境の中、「高速な開発技術」と「短期集中型量産」に活路を見いだす挑戦が進んでおり、3ヶ月ごとの携帯電話開発や7ヶ月で新車を開発しようという要請に応えようとしている。日本のモノづくりは、今、デジタル・エンジニアリングを推進して、成形加工業にミス・ムダのないパーフェクトな1次試作品づくり(T1)の実現を求めている。³⁾

プラスチック成形加工業界では、3次元CADの普及が急拡大しているが、これまで日本では導入しても効果が薄いとされていた。これは日本のモノづくりが卓越された金型設計・部品加工に支えられ、2次元CAD設計でも開発の中でブラッシュアップされる経済性が評価されていたからである。しかし、上述したパーフェクトなT1を実現するためには、製品開発に携わる関係者が効率的に3次元CADデータを使い、仮想空間上での設計変更は何度もトライできるサイクルが必要になっている。

CAEに対しても、3次元CADと一体化し、その導入効果を飛躍的に改善させるキーテクノロジーとしての期待が高まっている。このような状況の中、著者らは、世界に先駆けて3次元CADとリンクした3次元射出成形CAEシステム「3D TIMON」を開発・販売してきた。

本稿では、日本国内で100社を超えるモノづくり企業に活用されている日本発のソフトウェア「3D TIMON」を紹介する。

2. 3D TIMONの扱う現象とモジュール構成

プラスチックの射出成形では、高温溶融状態のプラスチックが、金型内に高温で流動し(充填工程)、圧縮・冷却され固められ(保圧冷却工程)、金型から取り出されて収縮・変形する。この成形プロセスで発生する「そり・ひけ・ショート」という3大成形不良現象を、「3D TIMON」は図1に示すモジュール構成で如何に高速かつ高精度で予測する。

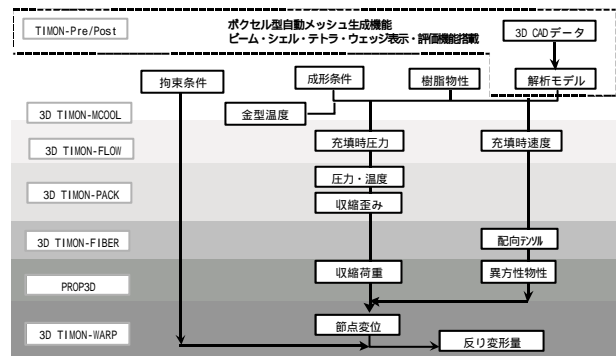


図1: 「3D TIMON」のモジュール構成

3. 3D TIMONの基礎方程式

「3D TIMON」で扱う現象の支配方程式を式(1)~(7)に示す。充填解析では、非圧縮・非ニュートン粘性流れのもと、ダルシー則に従うポテンシャル流れ(流速の各成分が、その方向の圧力勾配に比例する)を仮定している。この技術は日・米・台で特許化されており、2次元に比べて自由度が増大する3次元解析における高速化が実現している。図2にPetium 1.7GB/メモリ1GBでの解

析モデルに対する解析時間を示した。3万節点モデルで25分、大規模な19万節点モデルでも5.8時間と高速解析が可能となっている。

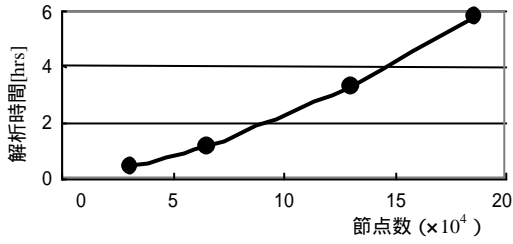


図2：節点数と解析時間の関係

保圧冷却解析は、(3)式をもとに圧縮性を考慮した流体方程式に拡張し、PVT状態を新たに加えた系で、温度・圧力・比容積を計算する。強化繊維の配向解析には、Tucker式を採用した。

離型した後の成形品のそりは、保圧工程で決定される収縮開始時の比容積から常温・大気圧下での比容積までの差から計算された収縮歪を線膨張率と熱荷重に換算し、熱変形解析を実行し、予測する。

Darcy's Law

$$u_i = -S \frac{\partial P}{\partial x_i} \quad (i = 1, 2, 3) \quad (1)$$

Viscous Flow

$$\frac{\partial P}{\partial x_i} = m \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} \quad (2)$$

Incompressible Mass Conservation

$$\frac{\partial u_1}{\partial x_1} + \frac{\partial u_2}{\partial x_2} + \frac{\partial u_3}{\partial x_3} = 0 \quad (3)$$

ここに u_i は流速成分、 P は圧力、 S は流動コンダクタンス (4式) μ は粘度である。

$$\frac{\partial^2 S}{\partial x_j \partial x_j} = f(m, x_k) \quad (4)$$

Energy Conservation

$$rC_v \frac{DT}{Dt} = k \frac{\partial^2 T}{\partial x_j \partial x_j} + m \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)^2 + 2m \left(\frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right)^2 \quad (5)$$

ここに T は温度、 k は熱伝導率、 C_v は定積比熱、 t は時間である。

強化繊維の配向解析には、Advani and Tucherによって導かれた次式を採用した。

$$\frac{Da_{ij}}{Dt} = F(w, g, C_1) \quad (6)$$

$$a_{ij} = P_i P_j \mathbf{y}(P) dP \quad (7)$$

ここに a_{ij} は配向テンソル、 w は渦度、 g は変形速度、 C_1 は干渉係数、 P_i は繊維方向余弦、 $\mathbf{y}(P)$ は配向確率密度関数である。

4. 3D-CADデータの活用

「3D TIMON」の解析モデル作成機能が搭載されたTIMON-Pre/Postは、3次元CADデータのSTLファイルを介して、即座にボクセル型メッシュが生成が可能であり、図3の自動車部品例に示すように従来3日以上要していた解析モデル作成時間の大幅な短縮を実現している。

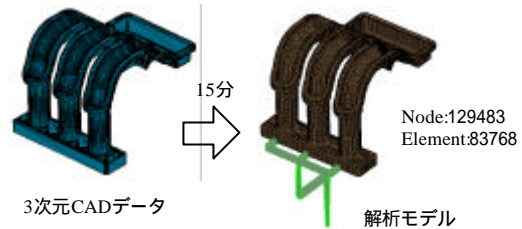


図3：CADデータからの解析モデル作成例

5. 適用例

表1に「3D TIMON」での解析適用例の1部を示した。これらは、実際にユーザーが現場で製品肉厚・リブの最適設計や成形条件の適正化などに使用している適用例で、開発期間の短縮・コスト削減などに効果をあげている。

表1：3D TIMON解析適用例

モデル	用途	適用目的	解析のポイント
ギア	機構部品	肉厚・ゲート設計	軸受部と刃先直径の収縮率の均一化
パワーモジュール	電子部品	肉厚・リブの設計	インサート部品を考慮したそり予測
コネクタ	電子部品	肉厚・リブの設計	ゲート位置による低そり対策探索
カウルグリル [*]	自動車外装	肉厚・リブの設計 ゲート位置探索	型締力予測による成形機サイズ選定 充填末端への保圧効果の確認(ひけ対策)

*) 表中のカウルグリルは、シェル要素での解析例である。「3D TIMON」は、3次元ソリッド要素だけでなく2次元のシェル要素でも解析可能な柔軟なシステムである。

6. 3D TIMONの今後の展開

著者らは、3次元射出成形CAEシステムのパイオニアとして、今後も3次元CAD日本のモノづくり企業で要求されている精度・速度・機能の実現に挑戦していく。

3次元CADとの親和性をさらに高めた100万要素を超える大型モデル用の超高速解析システムを開発中で、また、富士通(株)、ファナック(株)と共同で、解析結果を実際の生産条件に変換して量産立ち上げ時間を大幅に短縮する革新的な生産技術「Moldest」の開発も進めている。

参考文献

- 1) 射出成形辞典, 産業調査会, pp418-426, 2002
- 2) 須賀康雄: 射出成形に押し寄せるデジタル・エンジニアリングの波, 第1回ものづくり情報技術総合研究, 理研シンポジウム, pp115-120, 2002
- 3) R.Nakano, T.Tanaka. :Example of 3D Injectin Molding CAE Directly Connected with 3D CAD Proc. of 14rd Annual Meeting, The Polymer Processing Society, pp321-322, 1998