ノート

樹脂流動解析における充填アンバランス計算手法の検証

福田　拓哉*

Verification of Filling Unbalance Calculation Method in Resin Flow Analysis

FUKUDA Takuya*

1. 緒　　言

樹脂の射出成形は，溶融樹脂を金型内に射出・充填し，内部で固化させて製品とする成形方法である。生産効率を向上させるため，金型内にキャビティ（製品形状の凹部）を複数設けた多数個取り金型がよく適用される。多数個取り金型においては，キャビティ間の品質のバラツキを抑えるため，すべてのキャビティが同時充填されるランナー（樹脂流動経路）を設計することが望ましい。しかし，単純にランナーの長さを同一にしただけでは，各キャビティの充填量が異なる「充填アンバランス」という現象が発生する。充填アンバランスはショートショットやヒケなどの不具合や表面性状のバラツキの原因となり，成形品質に悪影響を与える[1)]。

充填アンバランスの発生原因の一つは，溶融樹脂の流動性にある。射出された溶融樹脂は，金型表面の固化層との間に大きな速度勾配を持ち，そのせん断応力に応じた熱が生じる。また，溶融樹脂のような高粘性流体は，温度や速度に依存して粘性が変化する特徴を持ち，温度上昇により粘度が低下して流動性が向上する[2)]。ランナー内での分岐や樹脂の周り込みなどにより，キャビティ間の溶融樹脂の流動性に差が生じると，充填アンバランスが発生する。よって，ランナー配置や成形条件などを調整し，流動性の差を低減する必要がある。CAE 技術はその一助となるが，充填アンバランスを再現する手法はソフトウエアによって異なるため，搭載されているアルゴリズムなどの正しい知識を身につける必要がある。当所では令和 3 年度に CoreTech System 社の Moldex3D を導入し，企業支援に役立てているが，多数個取り金型における樹脂挙動の再現については十分な検証をしていない。

そこで本研究では，今後の支援力強化のため，充填アンバランスを再現する計算手法・設定について検証した。また，Moldex3D では溶融樹脂の速度勾配に応じて発生する「せん断発熱」を考慮することが可能であり，これが計算結果に及ぼす影響を調査した。

* 上越技術支援センター

2. せん断発熱を考慮した充填解析

前述のせん断発熱を考慮する機能を利用し，せん断発熱による計算結果への影響を検証した。

2.1　計算モデルと計算条件

計算モデルを図 1 に示す。キャビティ側面にゲートを設けたサイドゲート方式で同形状の平板（30×50×2mm）4 枚（キャビティ①～④）を同時に成形する想定とした。スプルーから各キャビティまでのランナーの長さは等距離とし，分岐部には A，B の記号を付けて示す。

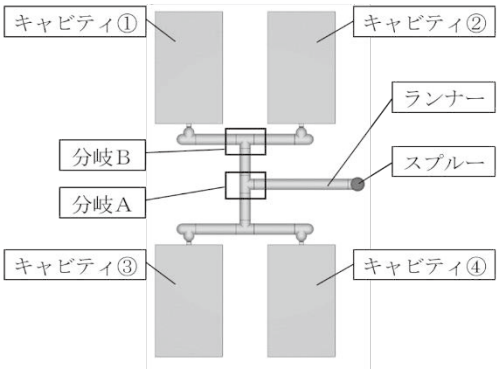

図 1　計算モデル

表 1　計算条件

グレード	温度[℃]	
	金型	樹脂
Iupilon S-3000	80	300

計算条件を表 1 に示す。金型と樹脂の温度は Moldex3D の材料データベースに登録された値を使用した。材料は温度や流速に対して粘度変化の割合が大きいポリカーボネート（PC）を選定した。また，計算は充填解析のみとし，充填時間は 1 秒とした。なお，充填時間を短くすると充填圧力が上がり，最大射出圧力の設定値を超えると充填速度に制限がかかり，既定の充填時間内に充填できないが，今回の設定では最大射出圧力を超えないことを確認している。

2.2　充填シミュレーション結果

充填率 97%時点の樹脂温度分布を図 2 に示す。最高温度の位置は，せん断発熱機能無しではスプルーで射出時相当の樹脂温度 300℃を示したが，有りではキャビティで約 316℃を示した。せん断発熱機能により，射出時よりも高い温度がキャビティで確認できた。

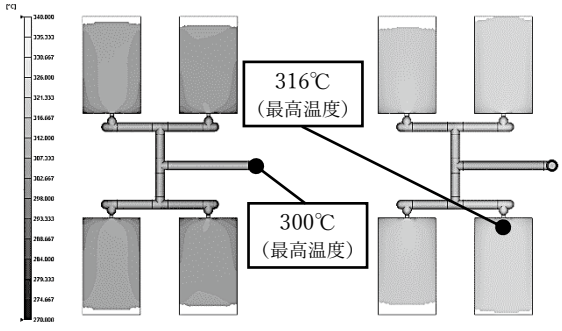

図 2　充填率 97%時点の温度分布（左：せん断発熱機能無し，右：せん断発熱機能有り）

表 2　ゲート寄与率とゲート部温度

せん断発熱機能	ゲート寄与率[%]		ゲート部温度[℃]	
	キャビティ①	キャビティ②	キャビティ①	キャビティ②
無し	25.29	24.75	296.9	294.8
有り	24.68	25.20	311.1	314.8

充填解析終了時にキャビティ①，②へ充填された溶融樹脂の体積比率（ゲート寄与率）とゲート部温度を表 2 に示す。4 つのキャビティへ均等に充填された場合，各キャビティのゲート寄与率は 25%となる。それに対し，せん断発熱機能無しではキャビティ①が，有りではキャビティ②が 25%を超え，キャビティの充填量に偏りがみられた。また，ゲート部の樹脂温度が高いほど，充填量は多い傾向がみられた。

分岐 A までの直進部における，充填開始から 0.13 秒時点でのランナー断面の速度勾配分布と温度分布を図 3，図 4 に示す。図 3 では，せん断発熱機能の有無に関わらず，壁面近傍の速度勾配の大きい様子がみられた。一方で，図 4 の温度分布において，せん断発熱機能無しでは射出時の温度相当で樹脂が進行しているのに対し，せん断発熱機能有りでは壁面近傍の大きな速度勾配を示した層において温度上昇がみられた。速度勾配に応じたせん断熱が，溶融樹脂温度に反映されていることがわかる。

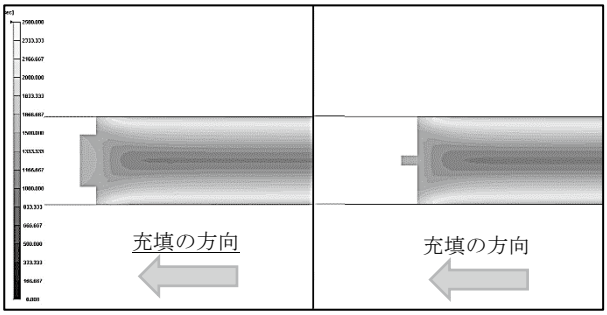

図 3　速度勾配分布（左：せん断発熱機能無し，右：せん断発熱機能有り）

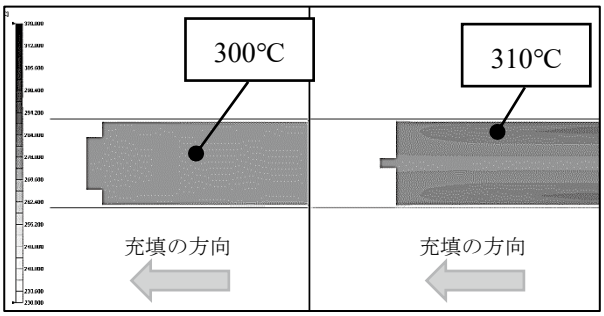

図 4　温度分布（左：せん断発熱機能無し，右：せん断発熱機能有り）

分岐 A における充填時間 0.13～0.16 秒間の 0.01 秒ごとのランナー断面の温度分布を図 5，図 6 に示す。分岐後の 0.16 秒で比較すると，せん断発熱機能無しでは外回りが，有りでは内回りが高温になっている。0.13～0.15 秒の温度分布から，直進時に高温の樹脂が流れる層が分岐後の温度分布に影響を与えているものとわかる。なお，せん断発熱機能無しで壁面近傍が低温になっているのは，低温の金型への伝熱によるものと考えられる。

分岐 B のランナー断面の温度分布を図 7 に示す。こちらも分岐 A と同様の傾向がみられる。また，せん断発熱機能有りの場合，壁面近傍の高温の樹脂がコーナーの内側で壁面に沿って進展することから，分岐時に同じ方向への曲がりが続くと樹脂温度は高くなる傾向がみられる。その結果，温度によって溶融樹脂の粘度が変化し，流動性の異なる樹脂が各キャビティに充填されることで，充填量の差が発生すると考えられる。

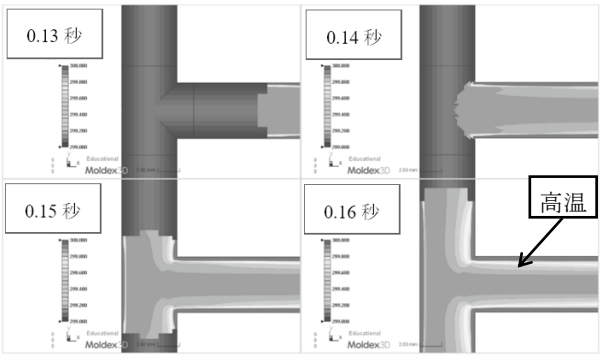

図 5　分岐 A 温度分布（せん断発熱機能無し）

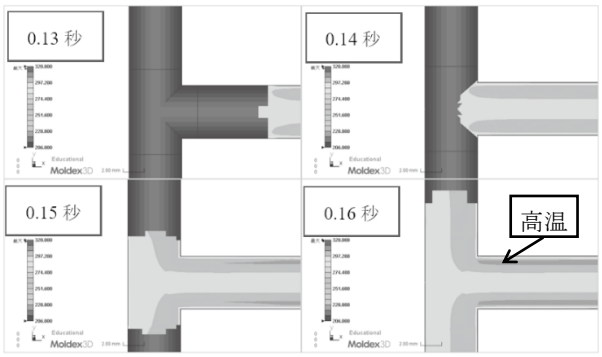

図 6　分岐 A 温度分布（せん断発熱機能有り）

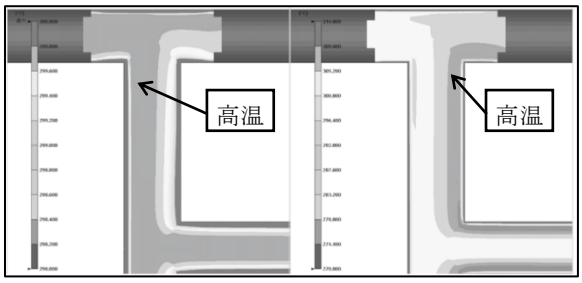

図 7　分岐 B 温度分布（左：せん断発熱機能無し，右：せん断発熱機能有り）

以上の結果から，せん断発熱を考慮した解析によりランナー内の樹脂挙動を確認し，せん断発熱による影響と，それによるランナー内樹脂温度の分布の違いから，充填アンバランスの発生原因について考察することができた。

なお，せん断発熱機能を有効にした場合であっても，計算時間の増加割合は 1%程度であった。せん断発熱は成形における樹脂の挙動を再現する重要な要素であり，大幅な計算時間の増加がみられないことから，有効化が推奨される。

3. 結　　言

(1) せん断発熱を考慮した樹脂流動解析により，ランナー内の樹脂挙動を確認し，キャビティごとに充填される樹脂の温度の違いで充填アンバランスが発生することを確認した。

(2) ランナーの分岐で同じ方向の曲がりが続くと，溶融樹脂の温度が高くなる傾向がみられた。

参考文献

1) 児玉勝洋，藤原健輔，丹下章男，山下勝久，野々村千里，横山敦士，“射出成形品の表面性状に関する研究　第 1 報　―多数個取り金型内の樹脂流動の影響―”，成形加工，第 19 巻，9 号，2007，pp.582-588.

2) 大阪市立工業研究所　プラスチック読本編集委員会，プラスチック技術協会，プラスチック読本,（株）プラスチックス・エージ，1954，pp.50-52.