

CAEソフト3

鋳造シミュレーションソフト 「NovaFlow&Solid」の機能と解析例

日本ファンドリーサービス(株) 安田 敬司*
(株)セイロジャパン 玉田 勝**

近年、鋳造シミュレーションに対して、より早く、より正確に、より簡単な解析が望まれている。これは、顧客からの多様なニーズに対して迅速にかつ高品質な製品を提供するためである。スウェーデンに本社を構える、NovaCast ABは鋳造シミュレーションソフト「NovaFlow&Solid」(以下、NF&S)を1991年に発表した。以来30年近い歴史をもち、開発コンセプトは時間短縮、コスト削減および環境負荷低減ができるソフトウェアの開発としている。NF&Sはユニークなメッシング技術、計算時間短縮、設計支援などのユーザー体験を提供する。

有限体積法

流れの方程式の数値解析において、有限体積法(あ

*Takashi Yasuda: 技術開発部

〒485-0012 愛知県小牧市小牧原新田字樋下 1685
TEL(0568)75-2271

**Masaru Tamada: 営業部 副部長

〒457-0038 名古屋市南区桜本町 21
TEL(052)819-4500

るいはコントロール・ボリウム法:CVM)と呼ばれる考え方がある¹⁾。領域(メッシュ内の)を有限個のコントロール・ボリウム(Control Volume; CV)に分割し、各ボリウムに対して積分形の物理量の保存方程式を適用するものである²⁾。すなわち図1に示すように、STL形式で出力された3次元モデルをメッシュ要素数にかかわらず、正確な形状を保ったまま計算に使用できることが特徴であり、総メッシュ数を著しく節約することによって、計算に要する時間が短い。

有限差分法(FDM)では、不規則な厚さのある領域でセルサイズを変えることは非常に困難である。その結果、最も薄い領域が製品全体の最小セルサイズを決め、より大きいセルの領域にも使用される。これは、より大きなセルを境界セルとの組合せで製品全体を正確に表現できるCVMには当てはまらない。CVMは1個未満の完全なセルで温度勾配の計算が可能であるが、FDMでは通常最低3個のセルを必要とし、シミュレーション時間が最小となる断面でも同様に必要で

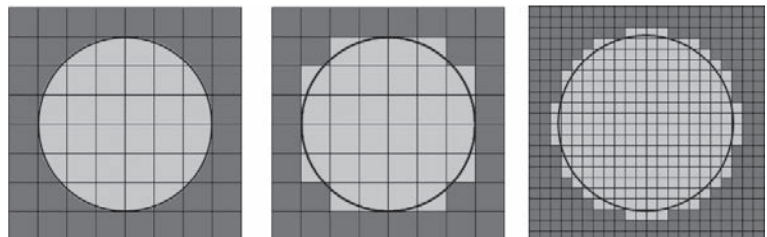
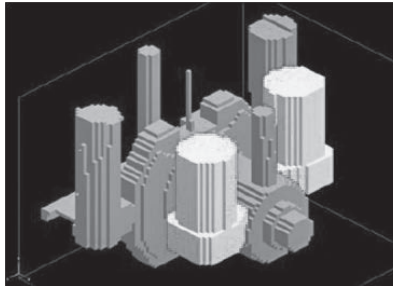


図1
有限差分法(FDM)と有限体積法(CVM)の比較

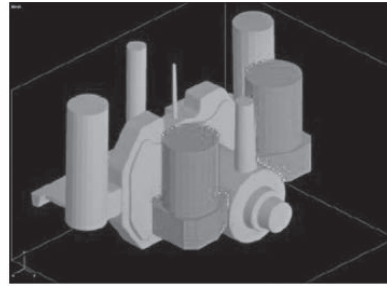
CVM
セルサイズ 10mm
総セル数 64

FDM
セルサイズ 10mm
総セル数 64

FDM
セルサイズ 3.6mm
総セル数 484



(a) FDM-42000 鋳造品エレメント



(b) CVM-42000 鋳造品エレメント

図2 FDMとCVMの描画の違い

表 従来メッシュとマルチメッシュの計算時間

	セル数	セルサイズ	計算時間
従来メッシュ	45,460,800	1.25 mm	19 H
マルチメッシュ	80% : 709,464	5 mm	0.05 H
	99% : 5,682,600	2.5 mm	0.5 H
	凝固 : 45,460,800	1.25 mm	2.05 H

ある。CVMの特徴は以下のとおりである。

- ① メッシュ量を1/20以下に削減。
- ② シミュレーション時間を最大1/10に削減。
- ③ ファイルサイズを1/10以下に圧縮。
- ④ FDMと同等以上の精度。
- ⑤ 3次元モデルを0.01 mm以下の公差で完全なメッシュ描写。
- ⑥ エアー巻込み、空気圧、充填時間、壁面接触および背圧にガス計算を使用。
- ⑦ 完全自動メッシュ切り。
- ⑧ 1セルより少ない場所を通過しての充填が可能。
- ⑨ 2以下のセル（端数セル）が使用されたとき、正確な熱勾配を得る。

メッシング

CVMでは、要素のFDMメッシュ切りと体積分率(VOF)の組合せは、鋳造品の外側の輪郭によって100%制御されたメッシュを作成する。これらの「境界要素」は、従来技術よりはるかに少ない要素で鋳造品を描画することが可能になる(図2)。従来のFDMシステムと同じ精度を得るために、FDMと比べ、セルのサイズを倍以上に増やすことが可能である。また、従来技術が適切に機能するために最低3個の要素を必要としているのに対し、CVMは1個のセルの部分だけを通して鋳造品を満たすことも可能である。

ガス計算は、エアー巻込みとガスポロシティの潜在的な危険領域をシミュレートするのに使用される。CVMはメッシュ要素がより少ないため、ガスのシミュレーションも従来技術よりはるかに短縮されている。

マルチメッシュ機能

マルチメッシュ機能は、充填計算中または凝固計算中に複数回メッシュサイズを切り替える機能である。メッシュサイズは増減が可能であり、例えば薄いゲートをもつ大物鋳物ではゲート前後、コールドチャンバダイカストのスリーブ充填の挙動においても、計算時間を大幅に短縮し、かつより高い精度の結果を得ることが可能である。

表にマルチメッシュ機能の有無による計算時間の違いを示す。計算に用いたPCスペックは、CPU: Intel® Core™ i7-3930 3.2 GHz 6コア、メモリ: 16 GB、グラフィックボード: Nvidia Quadro 2000D、OS: Windows10 Professionalとした。マルチメッシュ機能を利用した計算は、注湯開始から充填率80%までをセルサイズ5 mm、充填率99%までを2.5 mm、凝固完了までを1.25 mmのメッシュとした(図3)。一方で、注湯開始から凝固完了までをすべてセルサイズ1.25 mmで計算した。従来法による計算時間はおおよそ19時間、マルチメッシュ機能による計算時間はトータルで3時間に短縮されたにもかかわらず、図4に示すように湯流れ予測精度は損なわれない。また、最終的な収縮の予測結果も同等の精度を保つことが可能である。

ダイカスト鋳造方案設計ツール 「NovaShot 2.0」

「NovaShot 2.0」はダイカストの方案設計を支援す

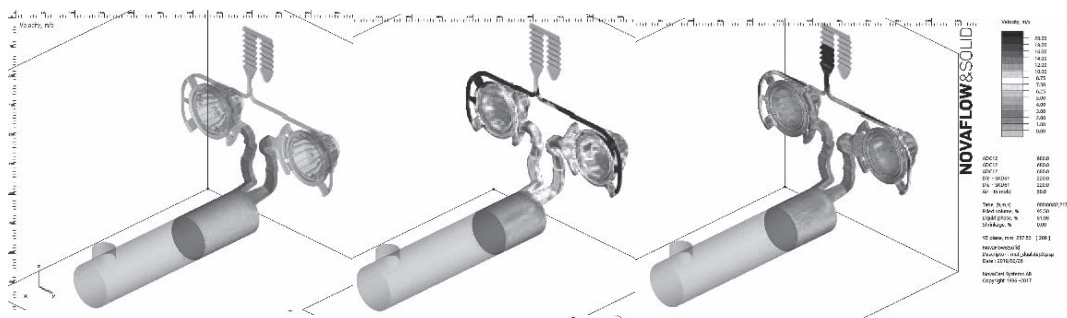


図3 メッシュの切替えタイミング (左から充填率0~80%、80~99%、99%-凝固)

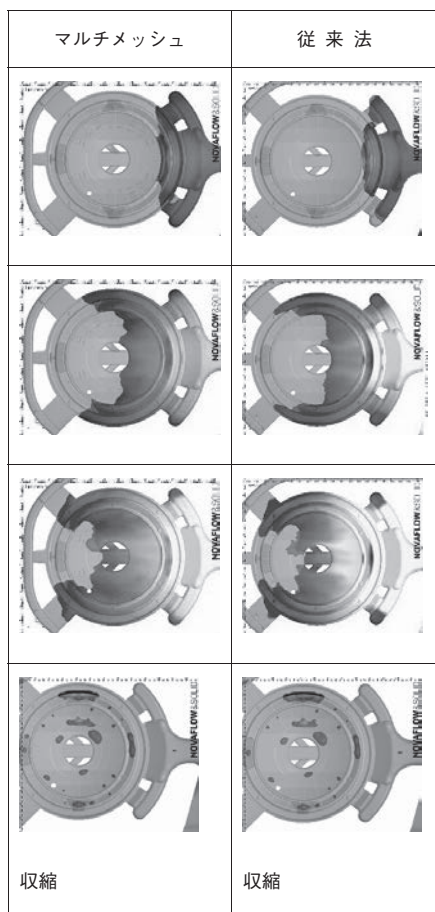


図4 充填時間ごとの液相表示の違い

る。ツール内において、最適なダイカストマシンの選定、鋳造温度、ゲート断面積、射出条件およびガス抜き方を計算する。ダイカストマシンの選定は型締め力、および製品表面の欠陥などによる要求品質に応じて、適切なマシンかどうかを検討する。鋳造データと

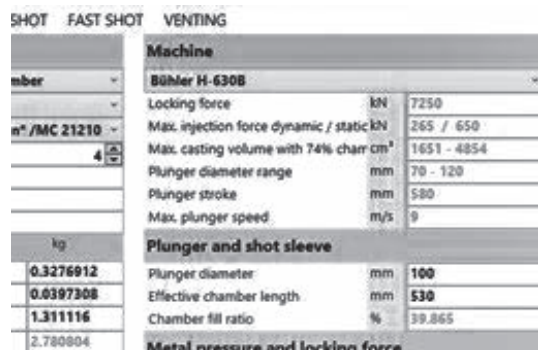


図5 NovaShot 2.0 入力画面の一部

して、合金種類、投影面積、体積などの基本的な情報を入力し、これらからスリーブ充填率や型締め力も考慮され、ダイカストマシンの選定を支援する (図5)。

次に低速射出条件を検討する。データを与えることで、限界の低速射出速度 (スリーブ内で乱流が生じる速度) が計算される。また、射出速度の切替え位置も取得できる。図6のグラフではスリーブ内の温度低下が計算され、これは射出スリーブの計算を省略し、ピケットからの計算をする場合、その初期温度の設定に役立つ。

高速射出条件は、金型条件 (材料やキャビティ到達温度、離型剤皮膜など)、ゲート断面積、ランナー断面積、金型流量係数、高速射出速度、バルブ開度などのパラメータから計算され、充填時間、ゲート速度、充填時固相率、 PQ^2 線図が得られる。 PQ^2 線図は高速射出速度と型開き力の関係を示す。充填時間は主に肉厚に依存し³⁾、NovaShot 2.0 では充填時固相率は20~30%の場合、良好な表面品質が得られるとする。すなわち、図7の点が斜線領域に存在するようにゲート断面積と射出速度の検討が必要である。

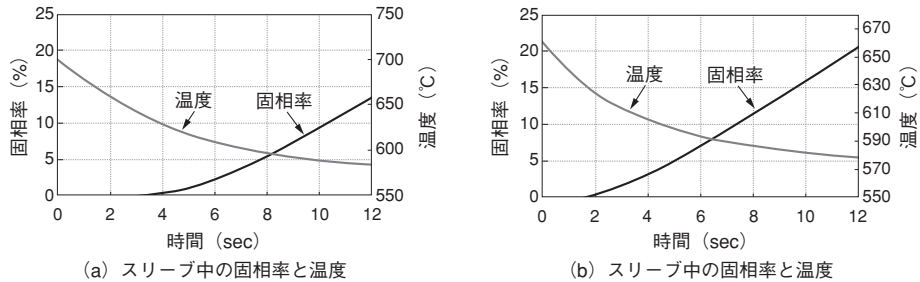


図6 スリーブ内の温度低下および固相率の関係

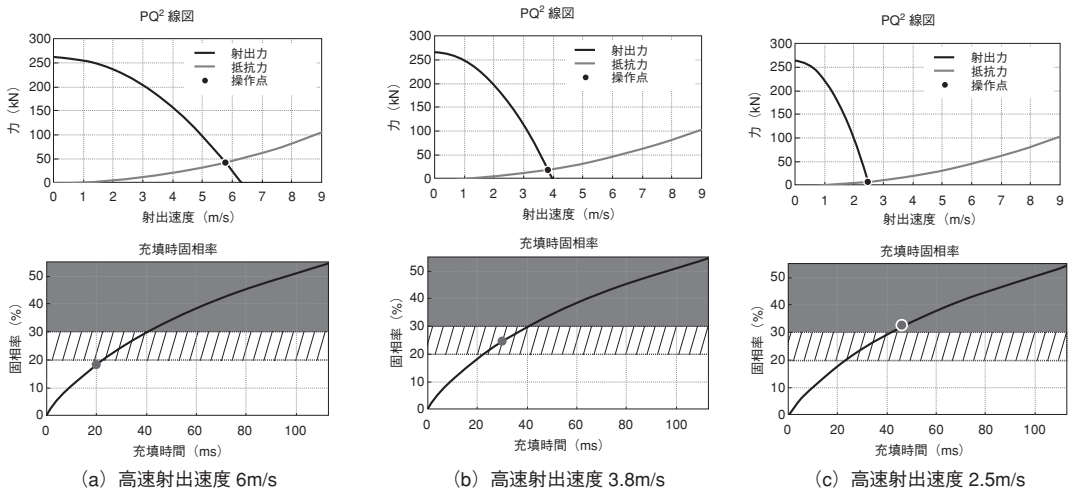


図7 計算されたPQ²線図と充填時固相率の関係

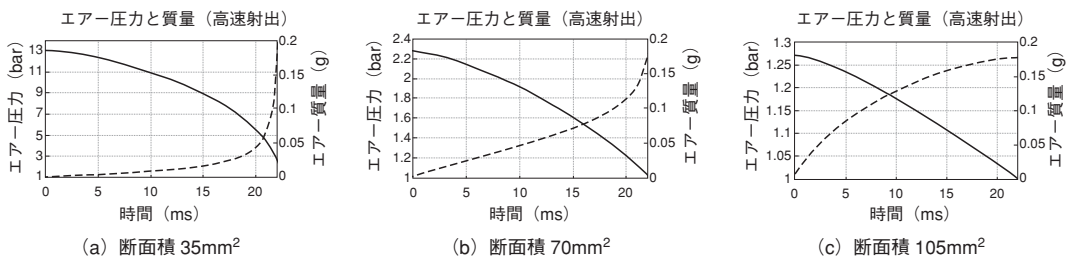


図8 ベント評価

ベント設計はキャビティ内の初期圧力や外気圧、ベントの性質などから必要断面積の推定が可能である。入力した条件から、必要ベント断面積は約 89 mm² と計算された。図 8 に断面積ごとの計算結果を示す。破線はエア圧力の変化を示す。充填終盤において強いエア圧力の増加が認められ、これはすなわちベント断面積の不足を示す。同図(b)は断面積 35 mm² のベントを 2 個設置した。エア圧力が比較的緩やか

に増加しているものの、まだ不足していることを示している。同図(c)は 35 mm² のベントを 3 つ設置し、総断面積は 105 mm² とした。この場合、エア圧力の増加は小さくなり、ベント断面積は十分であることが判断可能となる。

NovaShot 2.0 を利用した解析例

投影面積 425 cm²、最小肉厚 5 mm、表面の品質も

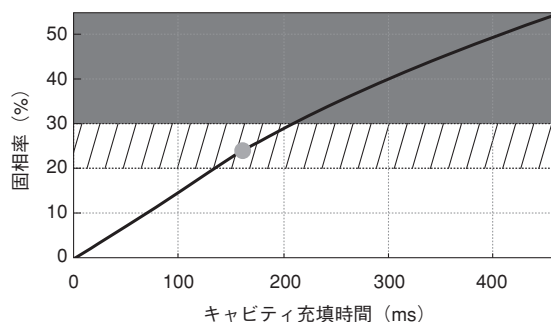


図9 計算された充填時間固相率

要求されるサンプルの製品は、型締め力 170 t 以上が要求された。仮にプランジャ径を $\phi 50$ mm、スリーブ充填率を 60% に設定する。選択した鋳造機、プランジャスリーブ長などの情報から、ガス巻込みのない低速射出速度が計算され、今回の場合は 0.57 m/s 以下となる。低速射出から高速射出への切替え位置は、プランジャストロークと充填率との関係から予測可能である。

次に、ゲート断面積を任意に与えることで、 PQ^2 線図が描写される。充填に必要な高速射出速度の範囲を検討することが可能であり、1.0 m/s 程度の場合、充填時間 150 ms、固相率 25% 程度で製品部に充填されると計算された (図 9)。高速射出速度 0.7 m/s では固相率 30% を超え、1.5 m/s では 20% を下回る計算結果となった。

計算された最適なベントを設置し、高速射出速度をそれぞれ 0.7、1.0、1.5 m/s で計算した結果を図 10 に示す。0.7 m/s ではゲート近傍にわずかに充填不足が認められるが、1.0 m/s では十分に充填され、ゲート付近においては欠陥予測も少ない結果を示した。

以上のように、NovaShot 2.0 を方案設計ツールとして利用することで、鋳造機の選択、ゲート断面積およびベント断面積の検討、射出条件の最適化を容易に行うことが可能である。

☆

NovaFlow&Solid の主な特徴と機能を以下にまとめる。

- ① CVM を用いることにより、FDM と比較して著しくメッシュサイズを削減しつつ高い解析精度を実現した。

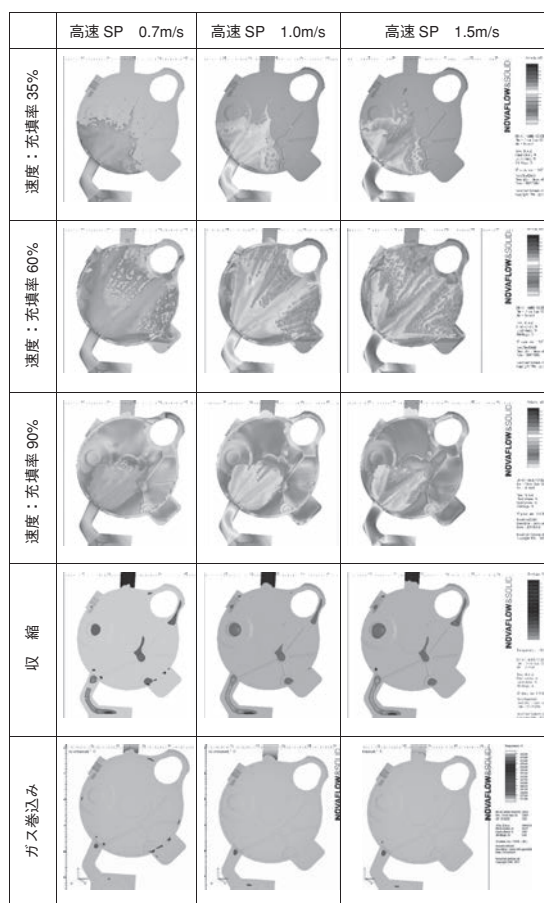


図 10 高速射出速度の違いによる欠陥予測差

- ② マルチメッシュ機能は、解析中にメッシュサイズを複数回切り替える機能であり、解析精度を低下させることなく、解析時間の大幅な短縮が可能になる。
- ③ NovaShot 2.0 はダイカストの鋳造方案設計支援ツールとしての活用が可能である。

*解析の一部は(株)三河金属様のご協力により実施致しました。

参考文献

- 1) 谷口伸行：有限体積法による流れ解析スキームの再評価、生産研究、Vol.48、No.2 (1996)、pp.40-45
- 2) J.H.Ferziger、M.Perić 著、小林敏雄、谷口伸行、坪倉誠訳：コンピュータによる流体力学、シュプリンガー・フェアラーク東京 (2003)
- 3) 金内良夫：ダイカストの鋳造条件選定における PQ^2 線図と J 値の活用、日立金属技報、Vol.23 (2007)、pp.27-32