

ダイカストシミュレーションにおける 製造方法最適化手法適用例

OPTIMIZATION OF CASTING PLAN FOR DIE-CASTING PROCESS
BY NUMERICAL SIMULATION

高橋 勇¹⁾, 岡本賢一¹⁾, 関山茂樹²⁾, 山形 陽²⁾

Isamu TAKHASHI, Kenichi OKAMOTO, Shigeki SEKIYAMA and Yo YAMAGATA

- 1) 株式会社日立製作所日立研究所 (〒319-1292 茨城県日立市大みか町 7-1-1)
- 2) 茨城日立情報サービス株式会社 (〒317-0073 茨城県日立市幸町 1-22-1)

The principal subjects of the manufacturing industry are to shorten time to market, to improve quality, and to reduce the cost. Hence the optimization of the whole engineering process has become more important. In this paper, a new approach of the optimization for the die-casting process by integrating “iSIGHT™”, “ADSTEFAN”(CAE) and “CADAS”(post processing systems) is proposed. It is found to be powerful and useful method to derive the optimized casting design and casting plan to produce high quality diecasting parts.

Key Words : CAE, optimization, computer-aided optimization, diecasting, casting plan

1. はじめに

ダイカストはアルミニウム合金, マグネシウム合金, 亜鉛合金などの溶融金属を金型内キャビティに高圧・高速で射出し, 急冷凝固させることによって, ニアネットシェイプで製品を成形するプロセスであり, 他の金属加工法に較べて生産性, 製品の寸法精度, 鑄肌面などがすぐれるという大きな特徴を持っている。そのためダイカスト部品の利用範囲は多種多様にわたり自動車をはじめ電子機器, 精密機械, 家電品, 日用品まで非常に多くの用途に利用されている。このように優れた特徴を持つダイカストであるが, 反面鑄込んだ溶湯を急冷凝固させるため射出速度を高く設定し短時間に充填を完了させねばならず, 溶湯中への空気の巻き込みや溶湯の温度低下に伴う湯境, 湯回り不良などの欠陥も発生し, 品質の変動が激しいという欠点も合せ持っている。

ダイカスト鑄造品の欠陥発生防止手段としては, スリーブへの溶湯充填率, プランジャ速度, 鑄込み温度, 型温などの鑄造条件の変更, ゲートやランナの形状などの鑄造方案の変更, オーバーフローの追加などが品質に対する影響が大きく, 一般的に行われている。しかし, ダイカストの湯流れ現象は高圧, 高速, 高温の環境下での気相, 液相, 固相の混合相の非常流動現象であり, 金型内部で現象が進行するため実験的に外部から観察することも困難であり, さらに形状, 寸法や材質が異なった場合には全く異な

った挙動を示すなど非常に厄介な問題を含んでいる。これらの理由から, 最適条件の策定や欠陥の対策には技術者の経験的なノウハウに基づく試行錯誤的な手法が用いられてきたため, 健全な製品を生産するための型の試作や修正に多大な費用と労力が費やされてきた。

近年, ダイカスト部品や鑄造品の品質や価格に対する要求は厳しくなっており, これら要求に応えるための鑄造方案の最適化がますます重要となってきた。特に, 型設計段階で最適鑄造方案を策定することはダイカスト技術者にとって長年の課題であったが, ここにきてその重要性は急速に増大し, ダイカストプロセスにコンピュータシミュレーションを適用する CAE 技術の導入が活発になってきている。

本報告ではダイカストの製造方法をコンピュータ上で自動的に最適化するための新しい試みとして, 鑄造 CAE システム “ADSTEFAN” と設計最適化支援ソフトウェア “iSIGHT™” を組み合わせて適用した例について報告する。

2. ADSTEFAN 概要

(1) ADSTEFAN とは

ADSTEFAN は東北大学 新山英輔元教授, 同大学院工学研究科 安斎浩一助教授らが中心となって1992年発足した産学共同プロジェクト「鑄造 CAE 研究会(Stefan)」で開発された研究成果を技術移転機関(TLO:Technology Licensing

Organization) である株式会社東北テクノアーチ(本社: 仙台市, 社長: 渡邊眞)を通じて事業化するもので, ソフトウェア技術の企業移転においては国内初のケースである。

(2) ADSTEFAN の特徴

○幅広い鋳造プロセスに対応

重力鋳造からダイカストにいたるまで幅広い鋳造プロセスにおける湯流れ・凝固現象を正確に解析可能。

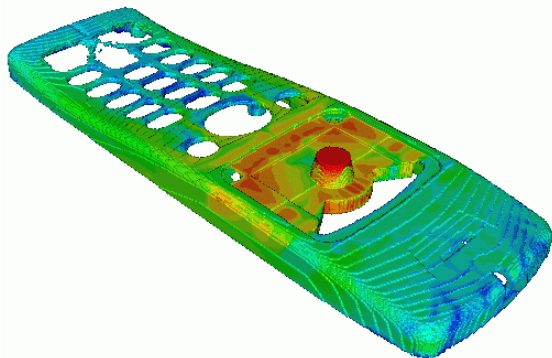


図1 携帯電話筐体解析例

○簡単な操作体系

通常 CAE システムは専門のオペレータが必要だが, 本システムは半日程度の講習で誰でもすぐ使用可能。

File				
Temp. Calc.	Back Press. Calc.	Calculation Control	Inflow Control	Continue to Solid. Calc.
No	No	Fill up	Velocity	No
Dt	quit(%)	output(%)	Viscosity	Omega
0.00000	90.0000	5.00000	0.01	1.70000
Max.iteration	eps vof	eps press.	Courant No.	Alpha
300	1.00000e-04	1.00000e-04	0.500000	1.00000
Fundamental Output	Velocity Output	Press. Output	Cooling Curve Output	Trapped Air Output
Yes	No	No	No	No
gx	gy	gz	Crit. Press. Ratio	Crit. Solid Fraction
0	0	1.980	5	1
Inflow Velocity	Material Property	Interfacial Resistance	Die Casting	AVS & CADAS Output
				No

図2 解析パラメータ設定画面

○信頼できる自由表面解析

独自の自由表面解析アルゴリズムにより3次元的に複雑な自由表面の変形, 移動現象を精度良く解析可能。

○安定した解析アルゴリズム

7年間の研究会で培ってきた数値解析技術を駆使し, 鋳造時の非定常, 非線形現象を短時間に, しかも安定的に解析可能。

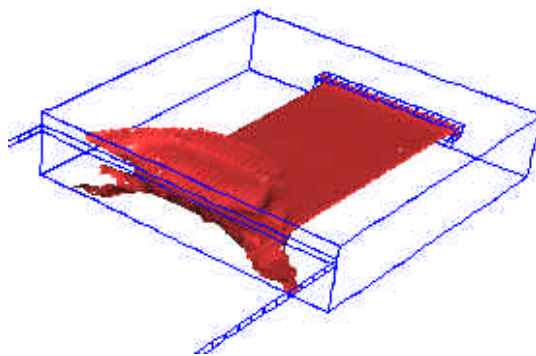


図3 慣性力支配の流れ解析例

○大規模解析モデル

独自の解析アルゴリズムにより高速・低メモリで解析可能であり, 1億要素を越える大規模解析も EWS 上で実行・評価可能。

Time = 2.2598E+00 (s)

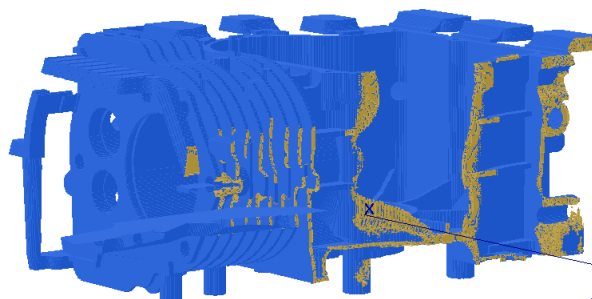


図4 1.2億要素ダイカスト流れ解析例

○3次元CADデータの利用

CAD データ(STL フォーマット)から直接メッシュデータを作成可能であり, 形状データの入力作業を大幅に効率化することができる。

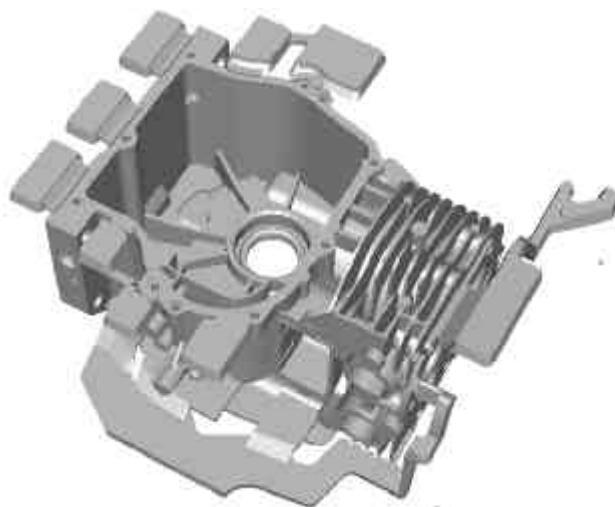


図5 3次元CADデータ形状

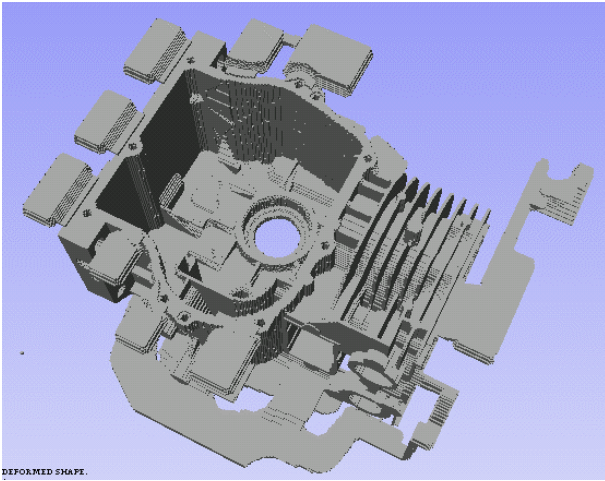


図6 FDM メッシュ(1420 万メッシュ)

3. iSIGHT™概要

(1) iSIGHT™とは?

iSIGHT™はソフトウェア・ロボット的一种と言える。人間が行う作業を代行してくれるソフトウェアの形態を持っており、アプリケーション・コードの起動、入力データ・ファイルの書き換え、出力データ・ファイルの読み込み等を自動的に行うことによって、設計支援に必要な CAE や CAD プログラム等の自動化、統合化を可能としている。ユーザの繰り返し作業を代行するとともに、最適化手法の適用によって、効率の良い設計や設計サイクル短縮を可能としている。(図7)

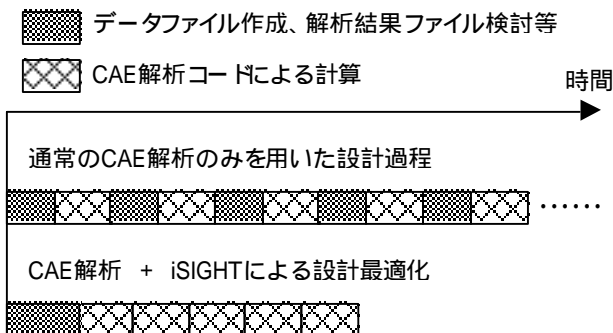


図7 設計過程の比較

(2) iSIGHT™の機能

a) 設計の自動化・統合化

CAE アプリケーション等のプログラムもしくはプログラム群をファイル I/O ベースでリンクし、プログラムの内容変更や修正することなく、プログラム実行の自動化・統合化を行える。

b) 設計の最適化

大規模 / 小規模、線形 / 非線型、連続系 / 離散系などの様々な状況に対処すべく、iSIGHT™には以下の 11 の最適化手法と Response Surface Method に代表される 3 つの近似手法および 5 つの定義済み実験計画法が用意されている。またそれらを組み合わせることによりハイブリッドな最適化戦略を構築し、単一手法の場合に比べてより高い設

計向上とその効率化を得ることが可能。

最適化手法

- Modified Method of Feasible Directions
- Method of Feasible Directions
- Sequential Linear Programming –ADS
- Sequential Quadratic Programming –DONLP
- Successive Approximation Method
- Exterior Penalty
- Genetic Algorithm
- Genetic Algorithm with Bulk Evaluation
- Simulated Annealing
- Directed Heuristic Search (DHS) *Patent Pending

近似手法

- Response Surface Model
- Taylor Series Model
- Variable Complexity Model

実験計画法

- Orthogonal Array
- Central Composite Design
- Parameter Study
- Full Factorial
- Latin Hypercube
- Data File (ユーザ定義による手法)

4. ダイカストプロセスの最適化

ダイカストプロセスでは製品として致命的な欠陥が発生することがあり、これを避けるための製造方法(方案)の検討が重要となる。従来、方案の最適化は技術者の「経験」と「勘」に頼った試行錯誤的な手法が主流であり、最適条件設定には膨大な時間と手間を要してしまう。ここでは、ダイカスト CAE “ADSTEFAN” と設計最適化支援ソフトウェア“iSIGHT™”とを接続する事によりこれらの時間や手間をいかに低減できるかについて検討を行った。

(1) 製造条件最適化の概要

今回用いたダイカスト成型品形状モデルを図8に示す。

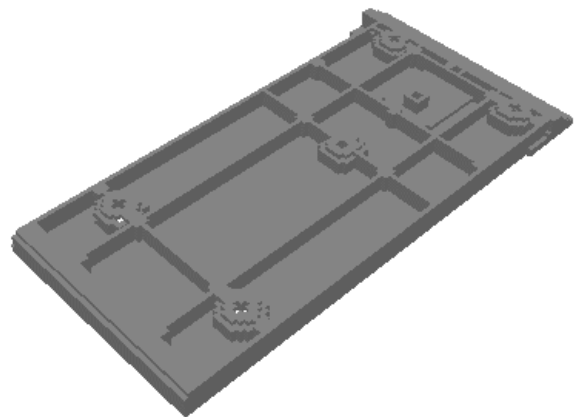


図8 最適化適用部品外観

本部品は最小肉厚 1.5mm であり、実際ダイカストで製造する際、型内を金属溶湯が流れながら温度を奪われ、途中で

凝固してしまう充填不良や湯境いなどの欠陥の発生が懸念される。ダイカストの現場では過去の類似部品の例からゲート位置（流入位置）ゲート幅、射出速度（切り替えタイミングを含む）などを設定し、最適な製造方案を設定している。しかし、これらの条件の組み合わせは無限にあるため、条件決定には経験や勘が大きな役割を果たしている。本適用例ではこれらの最適化作業を自動的に行うことを検討した。

最適化のプロセスは、「iSIGHT™」-「ADSTEFAN Pre」-「ADSTEFAN Solver」-「CADAS」を繰り返し実行する事により実現できた。このプロセスがループしている間は、「iSIGHT™」がプロセス管理するため、ユーザによるオペレーションが不要となる。

各ソフトウェアの主な役割を以下に示す。

- ・iSIGHT™：アプリケーション起動、パラメータ設定、目的関数、制約条件評価
- ・ADSTEFAN Pre：ゲート位置の変更、メッシュ作成
- ・ADSTEFAN Solver：流れ解析の実行
- ・CADAS：解析結果の評価（平均温度算出）

（２）最適化条件設定

図 9 は「iSIGHT™」における設定画面の例である。

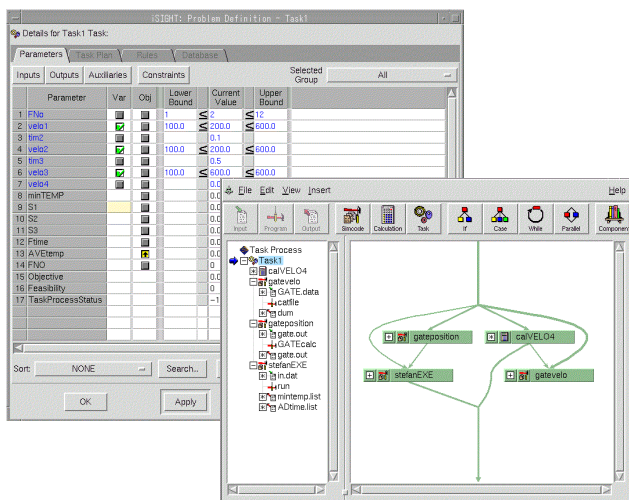


図 9 条件設定画面

最適化のパラメータとしてはゲート位置、ゲート初期速度、ゲート最終速度、および切り替えタイミングを変化させた。欠陥の発生の主因が熔融金属の温度低下に起因することから、目的関数としては充填終了時の平均温度を用い、制約条件としては各トライとも充填完了時間 0.25 秒となるようゲート速度を設定した。

（３）形状最適化の結果

図 10 は最適化計算の途中経過を表示する Monitor の画面である。各設計変数、評価関数の値が変化し、最適値に推移していく様子が見える。

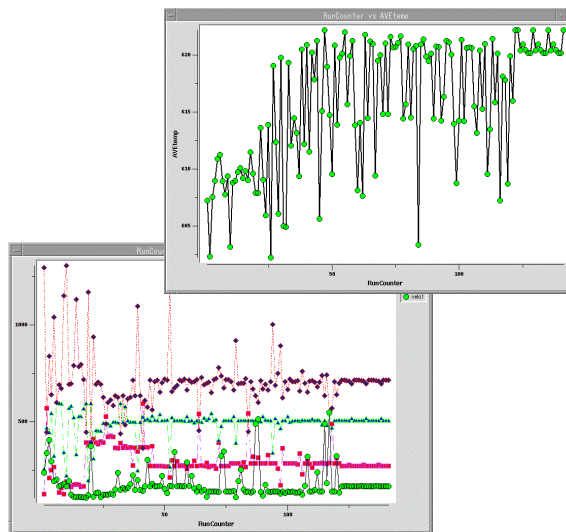


図 10 ゲート速度、平均温度の変化

最終的に最適化された形状を図 11 に示す。

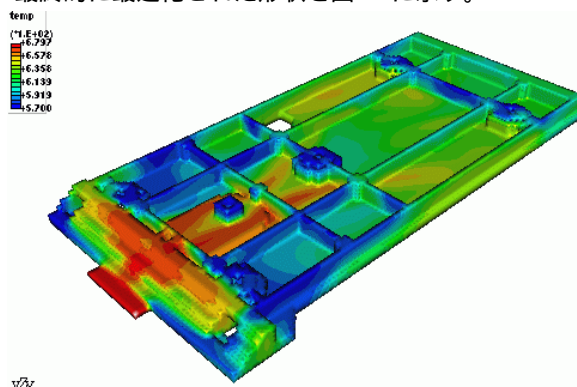


図 11 最適化形状

最適化された設計変数は下記ようになった。

- ・流入速度（ ）は初期値
 $velo1=166.7864 (200.0)$ $velo2=270.2997 (200.0)$
 $velo3=501.5098 (600.0)$ $velo4=713.6253 (600.0)$
- ・充填時間： $Ftime=0.2486$ 秒
- ・平均温度： 895.5 K

5. おわりに

最適形状を手作業にて求めるには、業務経験と時間が必要不可欠である。試行錯誤しながら形状モデル、製造条件を変更・解析・評価を行なっていくからである。ここでは、システム統合による形状最適化としてCADとCAEとの接続を含めた技術について説明してきた。設計変数と制約条件が少なかったが、異なるアプリケーション同士を連携させ最適製造条件を自動的に導き出すことができた。これにより、今後のダイカスト設計・製造業務への適応も可能となった。