

## 技術理論値で挑む新世代アルミDCフレーム開発 Development of challenging new generation aluminum DC framing using technological theory values

乾 雄太 大嶋 崇之 前田 智仁



### Abstract

As aluminum has a lower specific density than steel it is an indispensable material for reducing the weight of transportation equipment. Moreover, as the material has great corrosion resistance, it can also be applied to parts with stringent appearance requirements. For our large motorcycle frame parts where there is a lot of external exposure, “CF aluminum die-cast” 1) is used, which has excellent shape transferability and can realize complicated shapes with thin walls in order to achieve lower cost, light weight, and greater designs.

Starting with “FZ6” in 2004, the application of this technology to the front frame has expanded to “TMAX,” “MT-01,” “MT-09,” and has contributed to the improvement of product presence with lightweight and high design.

Here, we introduce the fact that we were able to achieve further thinning by adopting the latest analysis method and gate design based on the technical theoretical values.

1) CF die casting = Controlled Filling Die Casting

## 1 はじめに

アルミニウムは鉄鋼に比べて比重が小さく、輸送機器の軽量化に必要な不可欠な材料である。加えて、素材耐食性も良好であるため、外観上の要求が厳しい部品に対しても適用されている。中でも、外観上の露出が多い当社の大型モーターサイクルフレーム部品には、安価、軽量、高意匠を実現するために、形状転写性に優れ、複雑な形状を薄肉で実現できる特徴をもつ「CFアルミダイキャスト」<sup>1)</sup>が用いられている。

フロントフレームへの本技術の適用は2004年「FZ6」を皮切りに「TMAX」、「MT-01」、「MT-09」と採用を拡大し、軽量・高意匠で製品のプレゼンス向上に貢献してきた。

今回、技術理論値によるゲート設計ならびに最新解析手法の採用により、さらなる薄肉化を実現することができたので紹介する。

1) CFダイキャスト = Controlled Filling Die Casting (制御充填ダイキャスト)

## 2 課題

### 2-1. 許容充填時間

図1に、ダイキャストにおける溶湯（溶融したアルミニウム合金）の流入経路を示す。スリーブに注がれた溶湯は、その後プ

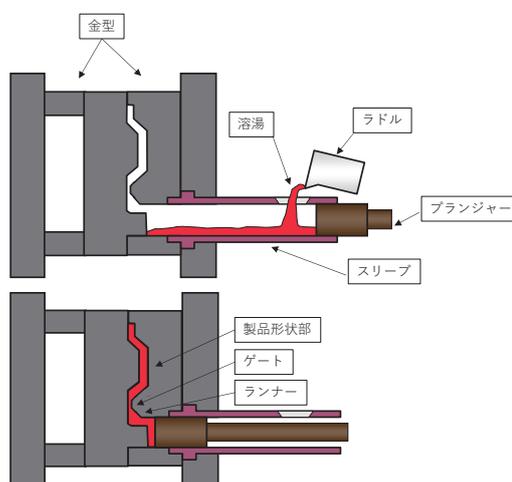


図1 溶湯流入経路

ランジャーの前進に伴い、ランナー、ゲートを経由し製品形状部に充填される。ここで、溶湯がゲートを通過し、金型を満たすまでの時間を「充填時間」と呼ぶ。

ダイキャストで良品を得るには、この充填時間を「許容充填時間」以下にすることが重要になる。許容充填時間とは、充填中の溶湯が液体状態を保つことのできる時間であり、いくつかの理論式が提唱されている。その一例を示す。

$$t = k \left( \frac{T_i - T_f + SZ}{T_f - T_d} \right) T \quad (1)$$

t:許容充填時間(s) k:伝達係数(s/mm)

T<sub>i</sub>:ゲート通過時の溶湯温度(°C)

T<sub>f</sub>:流動限界温度(°C) T<sub>d</sub>:充填前の金型表面温度(°C)

S:充填終端での固相率(%) Z:単位換算係数(°C/%)

T:製品肉厚(mm)

上式(1)から分かるように、製品が薄肉になるほど許容充填時間は短くなる。

先述したように、良品を得るには式(2)を満たす必要があるため、薄肉化においては、充填時間をより短くする必要がある。また、許容充填時間を延ばすことも有効である。

$$\text{充填時間} < \text{許容充填時間} \quad (2)$$

## 2-2. 短時間充填の課題

溶湯の流入経路において、その断面積が最小となるのが、ゲート部であり充填抵抗は最大となる。そのため、短時間で充填するためには、ある程度ゲート断面積を大きくする必要があるが、一方で、製品形状にとっては不要な部位であり、むやみに大きくしてしまうと、歩留まり、仕上げ性などの悪化を招く。

## 2-3. 充填時間延長の課題

前項、式(1)から分かるように、充填時間を延ばすにはいくつかの手法があるが、製品形状や材料物性に起因する因子が多い。その中で、金型温度は材料物性や製品形状に縛られず、比較的制御が可能なため、今回は金型表面温度を高くする検討を実施した。

ダイキャストの金型の熱収支は、溶湯からの入熱と金型の内部冷却、空気中への放熱、離型剤と呼ばれる油剤の塗布による抜熱でバランスしている。入熱、放熱の制御は難しく、今回は対象外とした。内部冷却もしくは外部冷却を少なくすることで抜熱を減らし、金型温度を高くできるが、今回、特に金型表面温度が重要となるため、外冷を減らす手法を選択した。

現在使用している離型剤は、水溶性希釈離型剤というタイプ

で、離型に必要な有効成分を乳化し、水と混ぜている。離型被膜の形成には、水分の気化が必要だが、気化により金型表面の熱を大幅に奪う。そこで今回は、油性原液タイプの離型剤を採用することにした。このタイプの離型剤は、高温での離型性が良く、また、ほとんど型の熱を奪わない。

しかし、課題は残る。高温状態の金型(鉄)は溶湯(アルミニウム)と化学反応を起こしやすく、「焼き付き」と呼ばれる不良が発生する。また、熱膨張による金型の反りが大きくなることで、金型の隙間が増え、高速高圧で溶湯を充填した際に発生する「バリ」の問題がある。

## 3 解決手段

### 3-1. ゲート断面積最適化

最適断面積の理論値を導出するための理論式の精度向上を行ったので詳細を後述する。

2-2項のデメリットを最小化するためには、鑄造機の射出能力に応じて最適断面積を導出する必要がある。この計算には図2に示すPQ<sup>2</sup>線図が広く用いられている。

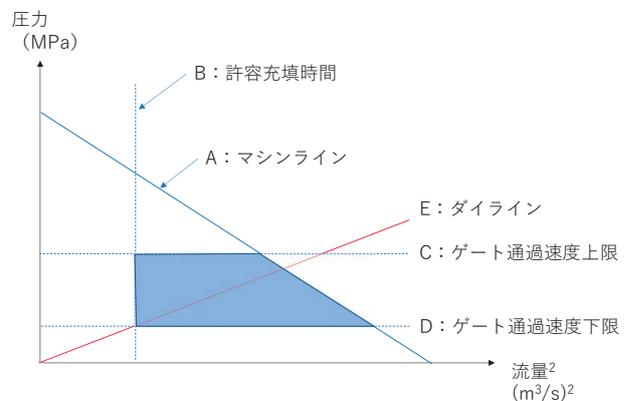


図2 PQ<sup>2</sup>線図

図中Aのマシンラインは鑄造機の「射出能力」を表し、B、C、Dはそれぞれ、「許容充填時間」「ゲート通過速度上限」「ゲート通過速度下限」を表す。Eはダイラインと呼ばれ、以下の式(3)にて表すことができる。ゲート断面積を大きくしていくと、傾きが小さくなっていく。

$$P = \frac{\rho Q^2}{2C^2 A_g^2} \quad (3)$$

P:圧力(Pa) ρ:溶湯密度(kg/m<sup>3</sup>)

Q:ゲート流量(m<sup>3</sup>/s) C:流量係数

A<sub>g</sub>:ゲート断面積(m<sup>2</sup>)

A～Dで囲まれた範囲をプロセスウインドと呼び、このエリアの中央を横切るようなダイラインが引けるゲート断面積が、最適な断面積とされている。

このように、各ラインを引く理論式は提唱されているが、実績に合わせて補正が必要となる。特にダイラインを表す式の「流量係数」については0.5~0.6の範囲で設定することを提唱されているが、ゲート厚さや材料によって変化すると報告もあり、はっきりしない。

そこで、我々は金型に圧力センサを設置し、式(3)の溶湯圧を計測することで、流量係数の値をより正確に把握、ダイラインの精度を上げ、薄肉化するために必要な断面積を精度よく導出した。

### 3-2. 内冷最適化

ダイキャスト1サイクルにおける金型表面の温度変化を少し詳細に見てみる。温度、時間変化を図3に示す。ここでAは充填開始時間である。許容充填時間に影響する型温度とは、点Aにおける金型表面温度である。それに対して、前項で挙げた「焼き付き」に対して最も影響する金型表面温度は、点Bのピーク温度である。充填時の温度は高く、ピーク温度を下げることで両立を試みる。そのためには、今までの勘、コツによる冷却配置ではなく、精度を上げた焼き付き解析で「焼き付き」発生を予測することが必要になる。

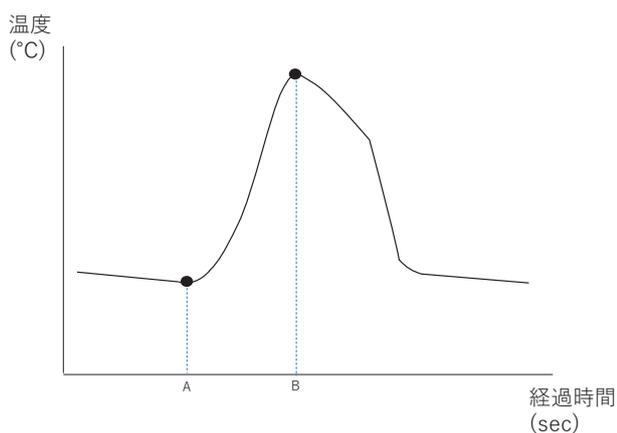


図3 ダイキャスト1サイクル中の金型表面温度変化

焼き付き解析の精度向上のため、机上試験により導出した、離型剤被膜形成上限温度や金属の拡散を考慮し、「焼き付き」が発生する金型上限温度の理論値を導出した。また、解析する3Dデータおよび解析条件を、より現実に近づけることで、型温度解析自体の精度向上を行った。

事前予測精度上げることで、試作段階で製造要望を入れた

製品形状を提案することができ、金型の過熱部位の発生を無くすことができた。

また、この高精度金型温度解析により、熱変形予測精度も向上した。これにより局所的な熱変形を抑制する冷却配置が実施でき「バリ」の発生を抑えることができた。

## 4 結果

### 4-1. 軽量化

前項までの取り組みにより、「MT-09」の新フレームは、当社ダイキャストフレームとしては最も薄い最低肉厚1.7mmを実現できた。リアフレーム、リアアームを含めた骨格合計で前モデル比約2.3kgの軽量化に繋がっており、アジャイルな走りを一層引きだてるフィーチャーとなっている。

### 4-2. 製造ブランディング

2020年には、ヤマハ発動機の製造ブランディング活動、“ヤマハの手”<sup>\*</sup>のコンセプトに則り、価値ある一手間として、本技術を紹介させていただいた。

本技術によって、我々の製品が少しでも多くのお客さまの目に触れ、「MT-09」を選んでいただくきっかけとなれば幸いです。

<sup>\*</sup>ヤマハの手 HP:

[https://global.yamaha-motor.com/jp/design\\_technology/craftsmanship/](https://global.yamaha-motor.com/jp/design_technology/craftsmanship/)

## 5 おわりに

温暖化への対応は、“脅威”から“成長の機会”へとその認識が変化してきた。証拠に、「ESG投資」は世界で約35兆ドルとの報告もある。

当社でも「環境計画2050」を策定し、事業活動を含む製品ライフサイクル全体の二酸化炭素排出を2050年までに2010年比で9割削減する目標を打ち立てている。本稿で紹介したような軽量化の技術開発は、燃費向上への貢献や、LCA(Life Cycle Assessment)の削減など、今後益々その役割が重要となるだろう。

### ■参考文献

- [1] 金内良夫:ダイキャストの鑄造条件選定におけるPQ<sup>2</sup>線図とJ値の活用, 日立金属技報, Vol. 23, (2007).
- [2] 山崎吾郎, 川谷龍勢:ダイキャスト湯口方案のノンパラメトリック最適化技術, ヤマハ発動機技報, No. 53, (2017).

[3] GLOBAL SUSTAINABLE INVESTMENT REVIEW 2020

<http://www.gsi-alliance.org/wp-content/uploads/2021/08/GSIR-20201.pdf>

■ 著者



**乾 雄太**

Yuta Inui

生産本部  
製造技術統括部  
PT 技術部



**大嶋 崇之**

Takayuki Oshima

生産本部  
製造技術統括部  
PT 技術部



**前田 智仁**

Tomohito Maeda

PF 車両ユニット  
PF 車両開発統括部  
SV 開発部