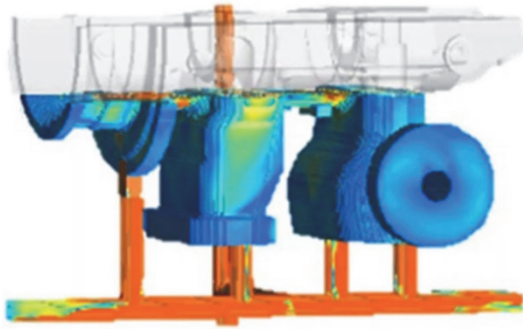


脱炭素社会の実現に向けた革新的鑄造技術の開発

Development of Innovative Casting Technology for the Realization of a Decarbonized Society



田実 洋一*¹
Yoichi Tajitsu

藤本 智之*²
Tomoyuki Fujimoto

上地 英之*³
Hideyuki Uechi

仲谷 潤之助*⁴
Junnosuke Nakatani

和田 充央*⁵
Mitsuo Wada

久保 翔史*⁵
Shoshi Kubo

三菱重工業株式会社は、2021年10月に“MISSION NET ZERO”を掲げ、2040年までに事業活動によって排出するCO₂をNET ZEROとすることを目標としている。当社の鑄造分野においては、溶解工程でのCO₂排出量が多く、これを低減するには最終製品とならない押湯の低減が必要であった。本報では、押湯を使用せず鑄造品質を確保する革新的鑄造技術の開発状況及びその適用効果について述べる。

1. はじめに

地球温暖化問題の解決は人類の重要な課題であり、日本国政府は2050年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする“カーボンニュートラル”を目指すことを宣言した。これに伴い、三菱重工業株式会社(以下、当社)でも、CO₂の直接排出量及び電力の使用に伴う間接排出量を2040年までに正味ゼロとする目標を掲げている。

鑄造分野においても、CO₂排出抑制の機運が高まっており、製造時におけるエネルギー使用量の削減や廃熱の有効利用、再生可能エネルギーの活用などに向けた取組みが加速している。図1に鑄鋼品の鑄造プロセス(熱処理除く)におけるCO₂排出量の内訳例を示す。図のとおり、原材料を1600℃程度まで加熱する溶解プロセスにおけるCO₂排出量が全体の約4割を占めていることが分かる。一方、鑄込み重量に占める各部位の内訳を図2に示すが、溶解した金属の約40%は、製品とならない押湯に使用されている。この押湯は、金属の最終凝固部に生じる収縮巣を製品内に発生させないために設置されるものである。そのため、押湯は製品より大きなモジュラス(鑄物体積/鑄物表面積)となるよう設計され、大きな溶解重量を要することとなる。この押湯は溶解材料として再利用が可能であることから、材料コストへのインパクトは小さく、収縮巣低減の手段として長年活用されてきたが、昨今の脱炭素社会実現ニーズに応えるべく、当社では押湯を使用せずに高品質の鑄物を製造する革新的砂型鑄造技術の開発に取り組んでおり、本報ではこれを紹介する。

*1 総合研究所 製造研究部 主席研究員

*2 総合研究所 製造研究部

*3 総合研究所 伝熱研究部 主席研究員 技術士(機械部門)

*4 総合研究所 伝熱研究部 主席研究員 技術士(機械部門/総合技術監理部門)

*5 バリューチェーン本部 鑄造センタ

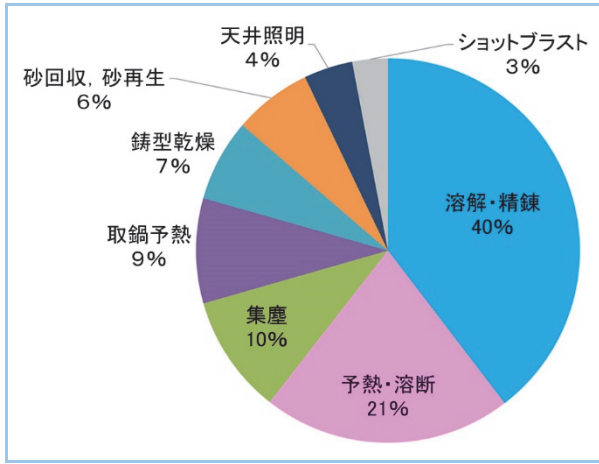


図1 鑄造プロセスにおけるCO₂排出量内訳の内訳

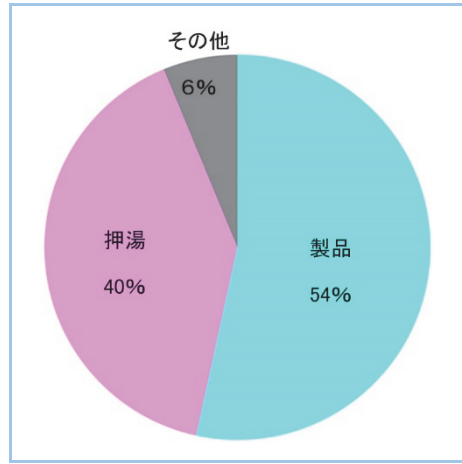


図2 鑄込み重量に占める各部位の内訳

2. 革新的砂型鑄造技術の開発

2.1 従来の鑄造方法

図3に単純形状砂型鑄鋼鑄物を例とした従来の鑄造方案を示す。鑄物の製作には、溶湯を流し込むための湯口系(湯口, 湯道, 堰)や製品内の収縮巣を抑制するための押湯や冷やし金が必要となる。これらの形状や配置を示す鑄造方案の設計方法について説明する。なお, 本報の対象とならない湯道系の設計方法については説明を省略する。

まず, 製品を形作る砂型寸法は, 材料の収縮が考慮される。図4に一般的な鋼材を例とした凝固(固相線温度到達)後の温度低下に伴う収縮率を示すが, これを反映して常温での寸法が目標値となるよう, 砂型が設計される。

次に, 鑄物の凝固(固相線温度到達)までに生じる収縮を考慮し, 押湯が設計される。固相と液相が混在する温度域において, 固相となった材料が温度低下すると収縮により巣(空隙)が生じるが, そこへ流動性のある溶湯が充填されることで, 収縮巣を抑制することができる。大気圧下において, 溶湯は重力方向に充填されるため, 下方から上方に向かって連続的に凝固させること(指向性凝固)を狙うのが一般的である。その手段としてモジュラスを考慮し, 製品部より遅れて凝固するサイズに設計された押湯を製品部の上方に配置する。更に, 局部的に凝固が遅れる部位では, 砂よりも熱伝導率が高い冷やし金を砂型に埋め込み, 強制的に冷却することも行われる。押湯サイズの異なる鑄造方案での凝固解析結果を図5に示す。図のとおり, 最後に凝固して収縮巣が生じる可能性が高い位置, 即ち最も温度が高い位置を製品部から避けるには大きな押湯が必要となる事が分かる。

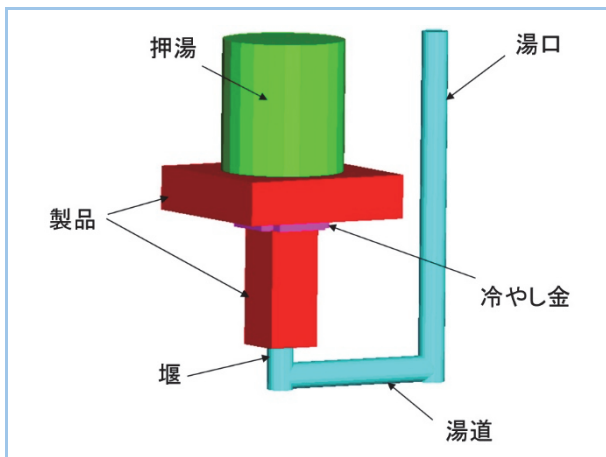


図3 鑄造方案図

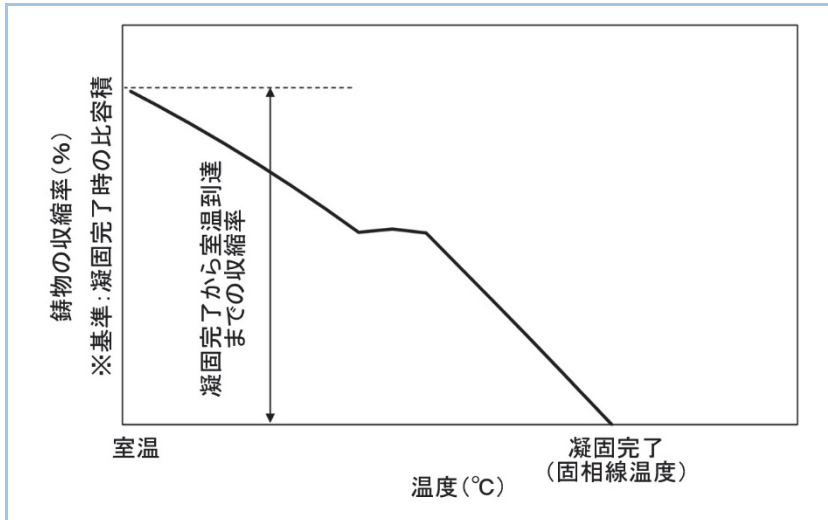


図4 凝固完了から室温到達までの鋳物収縮率

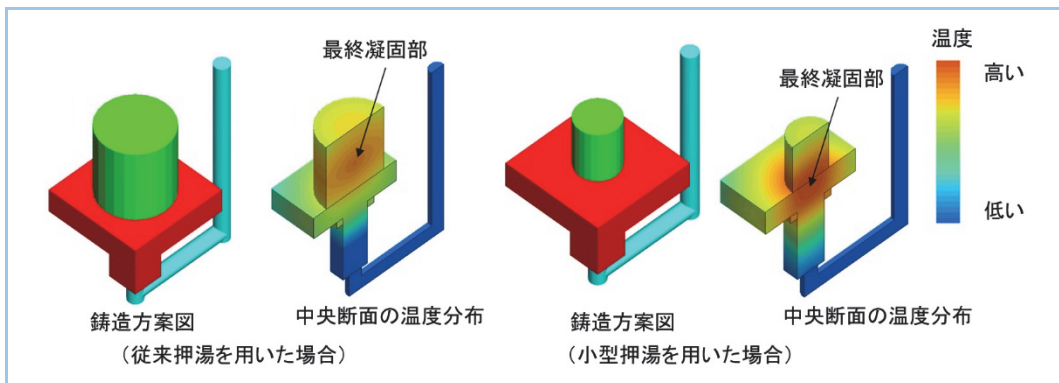


図5 凝固時の温度分布

2.2 革新的鋳造技術

当社は、従来とは異なる押湯を使用しない革新的鋳造技術を開発した。本鋳造方案の設計手順について説明する。

1) 製品部の砂型設計

従来同様、凝固完了から常温到達までの収縮量を考慮して設計する。

2) 鋳造姿勢

鋳造姿勢は、製品形状での凝固解析結果を参考に、最終凝固部が上方となる姿勢とする。

3) 液相残存状態での収縮巣対策

図 6 に鋳込み温度から凝固完了までの鋳物収縮率を示すが、収縮率は鋳物の材質によって求まるものである。この収縮体積分を製品上面に嵩増しし、ここから製品部へ溶湯を補給することが革新的鋳造技術の基本思想である。溶湯を連続的に補給する手段として、冷やし金や保温材を用いる。製品形状にもよるが、製品下方に大型の冷やし金、製品上方に小型の冷やし金を配置することで、指向性凝固を実現する。これだけでは、大気に晒される嵩増し部の上面は、急激に温度低下するため、嵩増し部からの溶湯供給が困難となる。これを回避するために、上面に発熱機能を持つ保温材を配置する。

この革新的鋳造技術において、凝固収縮分を考慮して嵩増しした砂型を設計するが、材料の温度降下に伴う密度変化へ対応するためのものであり、嵩増しによって溶解重量は増加しない。即ち、砂型から鋳物を取り出す際は、湯口系を除き最終製品形状となっている。

本技術では、押湯を使用せず複数種類の冷やし金を適正に配置する必要があり、この設計には鋳造シミュレーションを活用した。実用化には、現象を高精度に再現できるシミュレーション技術に加え、人的作業の多い鋳造プロセスにおいて、製造ばらつきを抑制する高度な現場管理技

術が求められ、これらをもって実用化に至った。

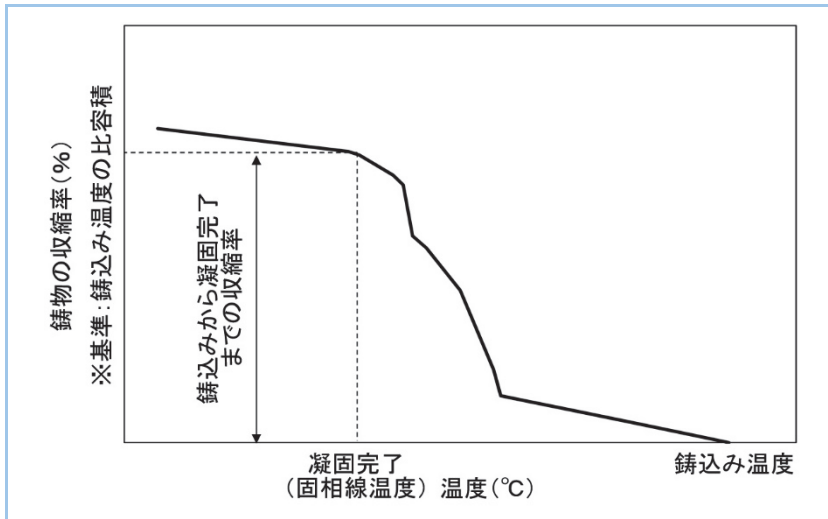


図6 鋳込み温度から凝固完了までの鋳物収縮率

3. 革新的鋳造技術の適用検証

本手法の実用化に向け、図7に示す数トンクラスの鋳物を対象に、従来手法及び革新的鋳造方法にて試作を行った。革新的鋳造技術は、鋳造解析における収縮率の評価にて、従来方案と同等の品質となることを確認した後に試作検証を行い、内部欠陥が全くないことを確認した。本工法により、冷やし金の使用個数は6%増加したものの、図8のとおり押湯削減により溶解重量を40%低減できた。更に、押湯を形作る砂型が不要となることで、造型作業に要する時間や樹脂・硬化剤の使用量も削減でき、溶解エネルギー以外の副次的な効果も認められた。

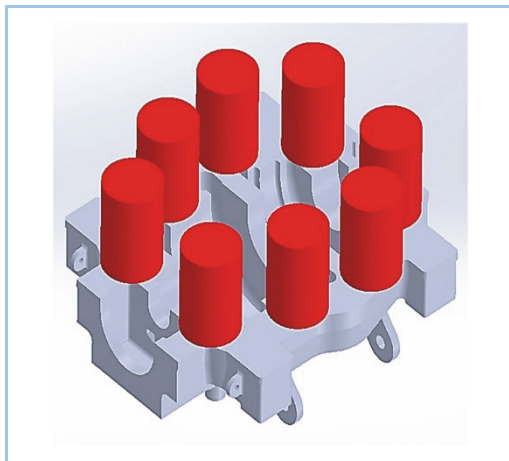


図7 革新的鋳造技術適用検証部品
(表示: 製品+従来技術における押湯)

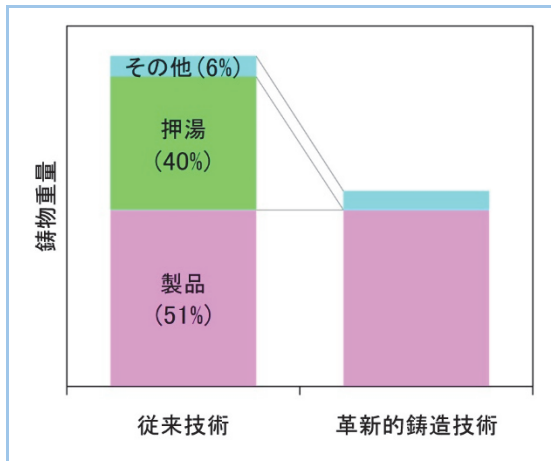


図8 溶解重量の内訳

4. 今後の展開・まとめ

溶解重量を低減することで溶解エネルギーを大幅低減する革新的鋳造技術を開発した。これにより、溶解重量を40%低減でき、溶解時の消費電力並びにCO₂排出量を40%削減できることを確認した。本工法は実機鋳物に本格適用しており、今後も複数部品への適用拡大していく計画である。そのため、冷やし金最適配置設計に対するマンパワー負荷軽減をも念頭に、機械学習を活用した自動方案設計技術の適用も進めており、脱炭素社会の実現に今後も貢献していく。