

(解説)

アルミ鋳造品の鑄巣予測精度向上のための物性測定技術 および湯流れ・凝固解析による鑄巣予測結果の紹介

山口真弘*¹

Introduction of Physical Property Measurement Technology to Improve Accuracy of Shrinkage Porosity Prediction for Aluminum Castings and Prediction Results from Fluidity and Solidification Analysis

Masahiro YAMAGUCHI

要旨

近年、アルミ鋳物品はエンジンブロックなどの内燃機関から電池ケースや車体など適用部品に変化が生じており、これらのアルミ鋳物品では鑄巣が強度低下に大きく影響をおよぼすため、鑄造CAEによる鑄巣の予測精度の向上が重要である。当社では鑄造CAE用の物性値を取得するための装置を所有しており、今回砂型アルミ鋳造品の試作と、鑄造CAEによる鑄巣の予測を行った。また、鑄造CAEでは、熱力学計算ソフトをもとにしたデフォルトデータと、当社で取得したデータの2ケースで解析を行い、予測精度の比較も行った。これら結果を紹介する。

Abstract

In recent years, the applications of aluminum castings have changed from internal combustion engine parts, such as engine blocks, to components such as battery cases and vehicle bodies. Shrinkage porosity causes a significant loss of strength in these aluminum castings, and it is important to improve the accuracy of shrinkage porosity prediction using casting CAE. Kobelco Research Institute, Inc. owns the equipment to acquire physical property values via casting CAE. In this study, sand mold aluminum castings have been prototyped, and shrinkage porosity has been predicted by the casting CAE. To compare the prediction accuracy, analyses have been performed using casting CAE on two cases; default data based on thermodynamics calculation and data acquired by Kobelco Research Institute, Inc. The results are presented in this paper.

検索用キーワード

アルミ鋳物、鑄造CAE、鑄巣予測精度向上、湯流れ解析、凝固解析、ホットディスク法、流動限界固相率

まえがき = モビリティ分野では、エンジンブロックなどの主に内燃機関に適用されていたアルミダイキャスト製品が、電動化に伴いサスタワーなど車体の一部へ適用されるケースが増えている。さらに、近年では複数部品を一体成形するギガキャスト製法が着目されている。いっぽうで、ギガキャスト製法は、金型を含む設備に多大なコストがかかることから、大型アルミ鋳物部品を砂型鑄造で試作および評価している報告例もあり、ダイキャストを含むアルミ鋳物品に対する注目度はますます高まっている。

アルミ鋳物品には凝固割れや鑄巣（ちゅうす）などの鑄造欠陥が発生するため、鑄造CAEを用いて事前に部品形状や製造条件の検討が行なわれている。鑄造CAEの解析ソフトウェアには、J-Mat-Proなどの熱力学計算ソフトにもとづく各物性値が入っており¹⁾、その値をもとにシミュレーションを行っている。さらに、解析精度向上のために解析モデルや基礎方程式の見直しなどによる改善が進められている²⁾。しかしながら、JIS規格の合金でも添加元素によっては成分範囲が広く、物性値にずれが生じることもあり、解析の予測精度にも影響をおよぼす。

そのため、当社では鑄造CAEの精度向上を目的とした、解析へ入力するさまざまな物性値を取得する評価手法の技術確立を行ってきた。例えば、固体の熱伝導率はレーザフラッシュ法による測定が一般的に行なわれているが、当社では熔融金属の熱伝導率も測定できるホットディスク法の開発を行った³⁾。

本稿では、鑄造CAEによる鑄巣の予測精度に着目し、砂型アルミ鋳物品の試作と、鑄造CAEの物性値を熱力学計算ソフトにもとづく値と、当社で鑄造用合金の物性値を測定した値とで比較した結果を紹介する。

1. 砂型アルミ鋳物品の試作と鑄巣調査

試作用合金はエンジンブロックやバッテリーケースに使われているADC12とし、砂型アルミ鋳物品の試作を行った。ADC12の化学成分を表1に、試作用の砂型の図面と外観を図1～図3に示す。試作型は左右2個取り

表1 ADC12の化学成分 (wt%)
Table 1 Chemical composition of ADC12 (wt%)

ADC12	Si	Fe	Cu	Ti	Mn	Ni	Zn	Mg	Al
	10.7	0.13	2.2	0.16	0.19	0.07	0.53	0.26	Bal.

*1 (株)コベルコ科研 材料ソリューションセンター 技術部

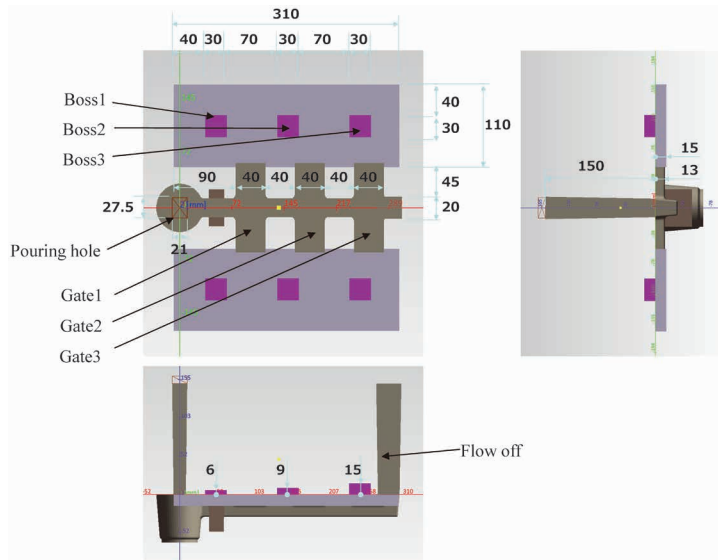


図 1 試作用砂型図面
Fig. 1 Sand mold drawing for prototype

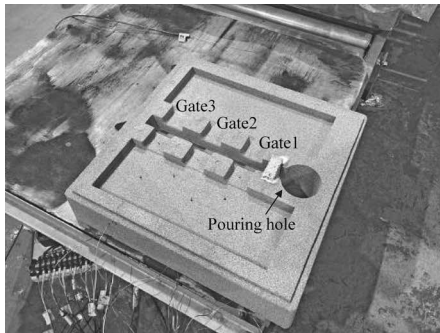


図 2 試作用砂型
Fig. 2 Sand mold of the prototype

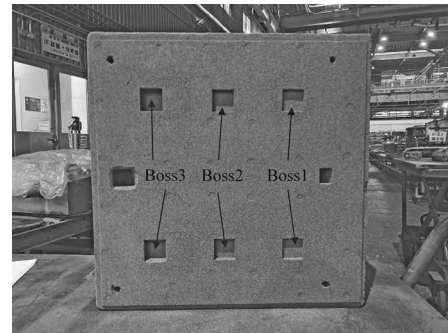


図 3 試作用砂型 (上型)
Fig. 3 Sand mold of the prototype (Upper mold)

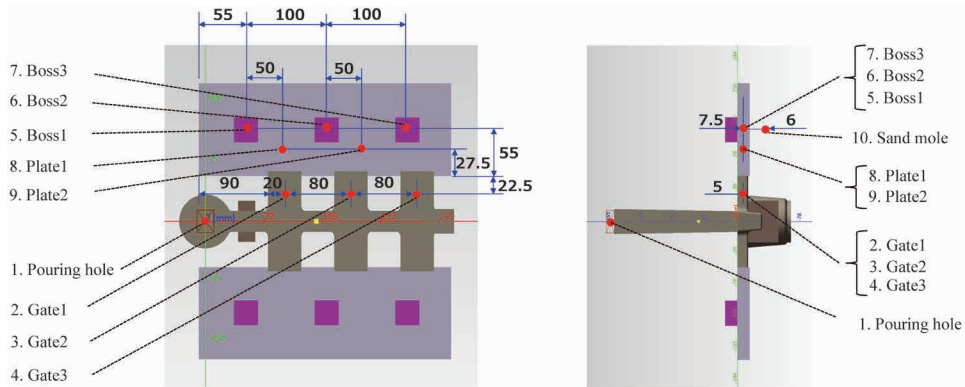


図 4 温度測定位置
Fig. 4 Location of temperature measurement

とし、1個は流路や製品部の鑄造～凝固過程の温度測定を行った。温度測定位置を図4に示す。また、鑄巣は最終凝固部に発生するため、板厚15mmの単純厚板製品に高さが異なるボス（高さ：6mm、9mm、15mm）をつけ、ボス直下を溶湯補給のない最終凝固部となる形状とした。

砂型アルミ鑄物試作品を図5に、試作品のX線透過撮影画像を図6、図7に、浸透探傷試験結果を図8に示す。鑄巣は9mmボス部(Boss2)の位置に集中しており、6mmボス部(Boss1)と15mmボス部(Boss3)の位置では確認されなかった。

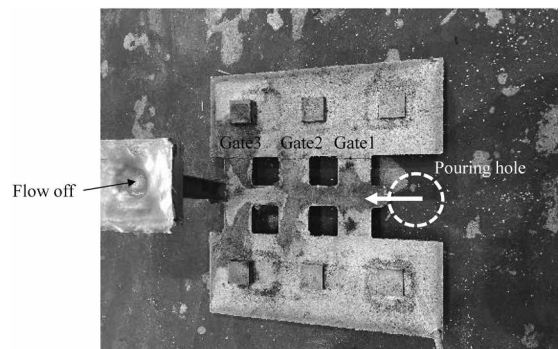


図 5 砂型アルミ鑄物試作品
Fig. 5 Prototype of sand mold aluminum casting

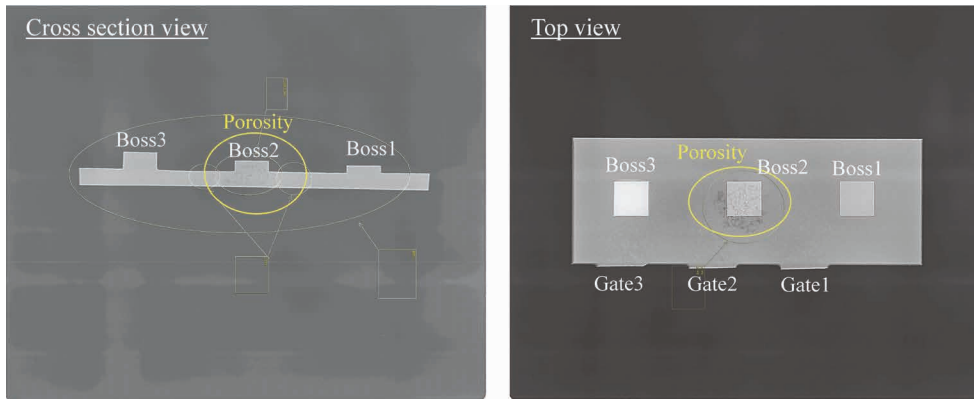


図6 X線透過撮影画像
Fig.6 X-ray radiography image

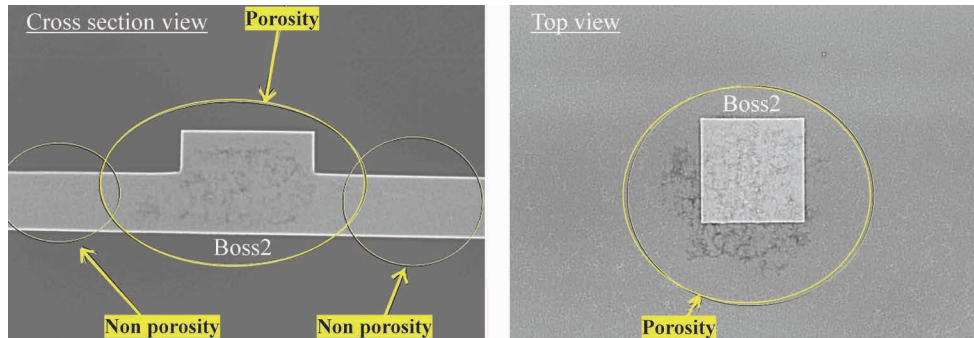


図7 X線透過撮影拡大画像
Fig.7 X-ray radiography expansion image

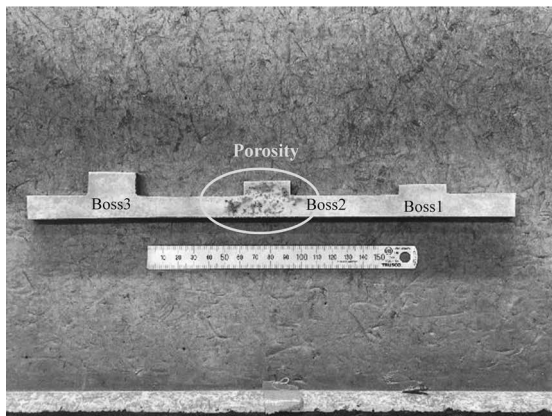


図8 浸透探傷試験結果
Fig.8 Results of penetrant test

2. 鋳造CAEによる鋳巣予測

鋳造CAEで1章の砂型鋳造を模擬した解析を行い、鋳巣の発生位置を予測した。解析に用いたソフトウェアはMAGMASOFT (Ver.5.4.2.0)、物性値はMAGMASOFTのデフォルトデータと当社で取得したデータの2ケースで解析を行い、鋳巣の予測精度を比較した。

2.1 物性値の取得とデフォルトデータとの比較

当社で取得した物性値は、試作に用いたADC12の室温～750℃における温度依存性を含む比熱、熱伝導率、密度である。比熱はDSC法とし、測定結果から温度と固相率の関係も算出した。熱伝導率は室温～480℃の固相域をレーザフラッシュ法、600～750℃の液相域をホットディスク法で測定した。また密度は室温と600～750

℃の液相域を液中置換法で測定し、100～480℃の高温の固相域は試料の体積をTMA法で測定した熱膨張率より補正して算出した。

MAGMASOFTのデフォルトデータと当社で取得した各物性値の比較を図9に示す。当社で取得したデータの方がいずれの物性値も低い傾向を示した。固相率は、液相線温度で約10℃、固相率0.3～0.8では約20℃の差がみられた。また比熱は約300～400℃、650～750℃において当社で取得したデータの方が低い結果であった。いっぽうで、熱伝導率と密度には大きな差異は認められなかった。

2.2 物性値の違いによる解析結果の比較

2.2.1 湯流れ解析結果

MAGMASOFTのデフォルトデータをCase1、当社で取得したデータをCase2として湯流れ解析を行った。注湯開始から0.5秒、1.0秒、2.0秒、3.0秒における湯流れの状況と溶湯温度を示した結果を図10に示す。Case1では、0.5秒で溶湯がGate3に衝突するほか、主にGate1から溶湯が流入していた。いっぽうで、Case2はCase1に比べて粘性が高く1.0秒でも溶湯はGate3に到達しておらずGate1から順に流入しており、Case1とは異なる傾向を示した。鋳造時に溶湯が流入する際の温度測定結果を図11に、また各温度計測部位の最大温度および検知時間を表2に示す。Case1は湯流れ解析結果と同様に、各堰(せき)、各ボス部の検知順序は実測と一致していた。(堰3→堰2→堰1、15mmボス→9mmボス→6mmボス)いっぽうで、Case2の検知順序は実測とは逆転した結果であった。

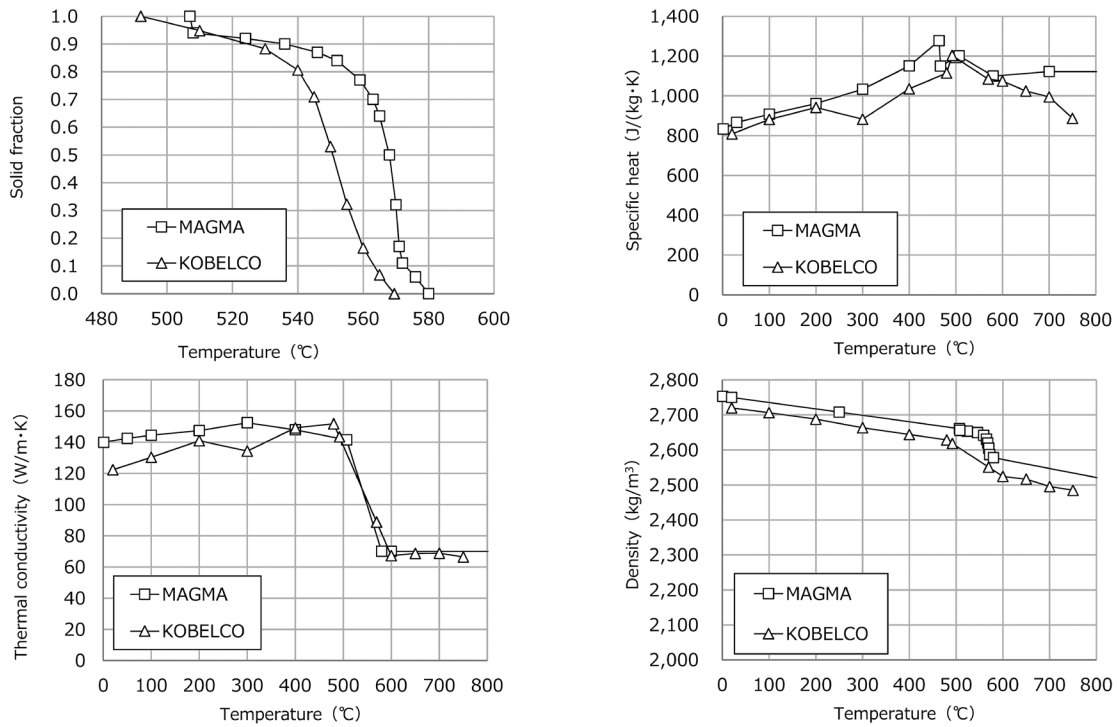


図9 各物性値の比較
Fig.9 Comparison of physical properties

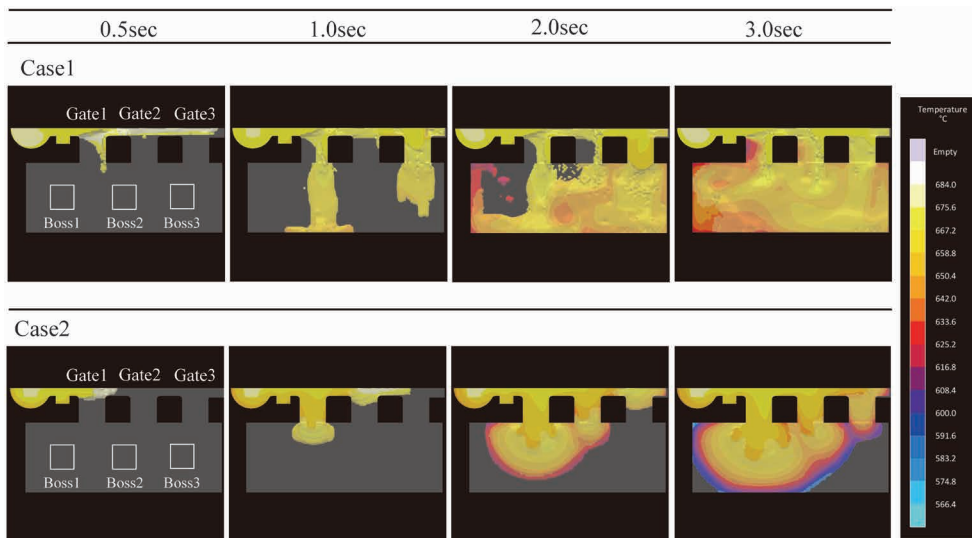


図10 湯流れ解析結果
Fig.10 The analysis result of the flow of liquid metal

Case2は、Case1に比べて650°C以上の比熱が低いため、注湯開始後に溶湯温度が早期に低下して粘性が高くなった結果、溶湯の流入速度が遅くなり実測とは異なると考えられる。

2.2.2 凝固解析結果

凝固解析による流動限界固相率到達時間の解析結果を図12に示す。Case1では湯口から遠い15mmボス部付近で、またCase2では9mmボス部付近で到達時間が最も遅くなる傾向を示し、Case2のほうがX線画像と近い結果であった。つぎに、鑄造時の温度測定結果および解析による冷却曲線を図13に示す。Case1に比べてCase2のほうが、冷却曲線が実測に近い傾向を示した。図9に示した温度と固相率の関係がCase1とCase2で異なっており、凝固発熱が起こる温度、また流動限界固相率に到

達する時間に違いがあるため、冷却曲線や解析精度にも影響をおよぼした結果、Case2のほうが凝固解析結果の精度が高くなったと考えられる。

また、健全度を比較した結果を図14に示す。図12で示した流動限界固相率の到達時間が長い部位で健全度が低くなる傾向を示した。Case1では各ボス部とも健全度が低い結果であるのに対して、Case2では9mmボス部付近で集中して健全度が低い結果となり、試作品に近い結果が得られた。

このように鑄造CAE用のデータを変えた解析結果から、同じADC12でもデータの違いで解析結果が変わること、また当社で取得したデータを用いることにより、鑄巣の予測精度が向上することがわかった。

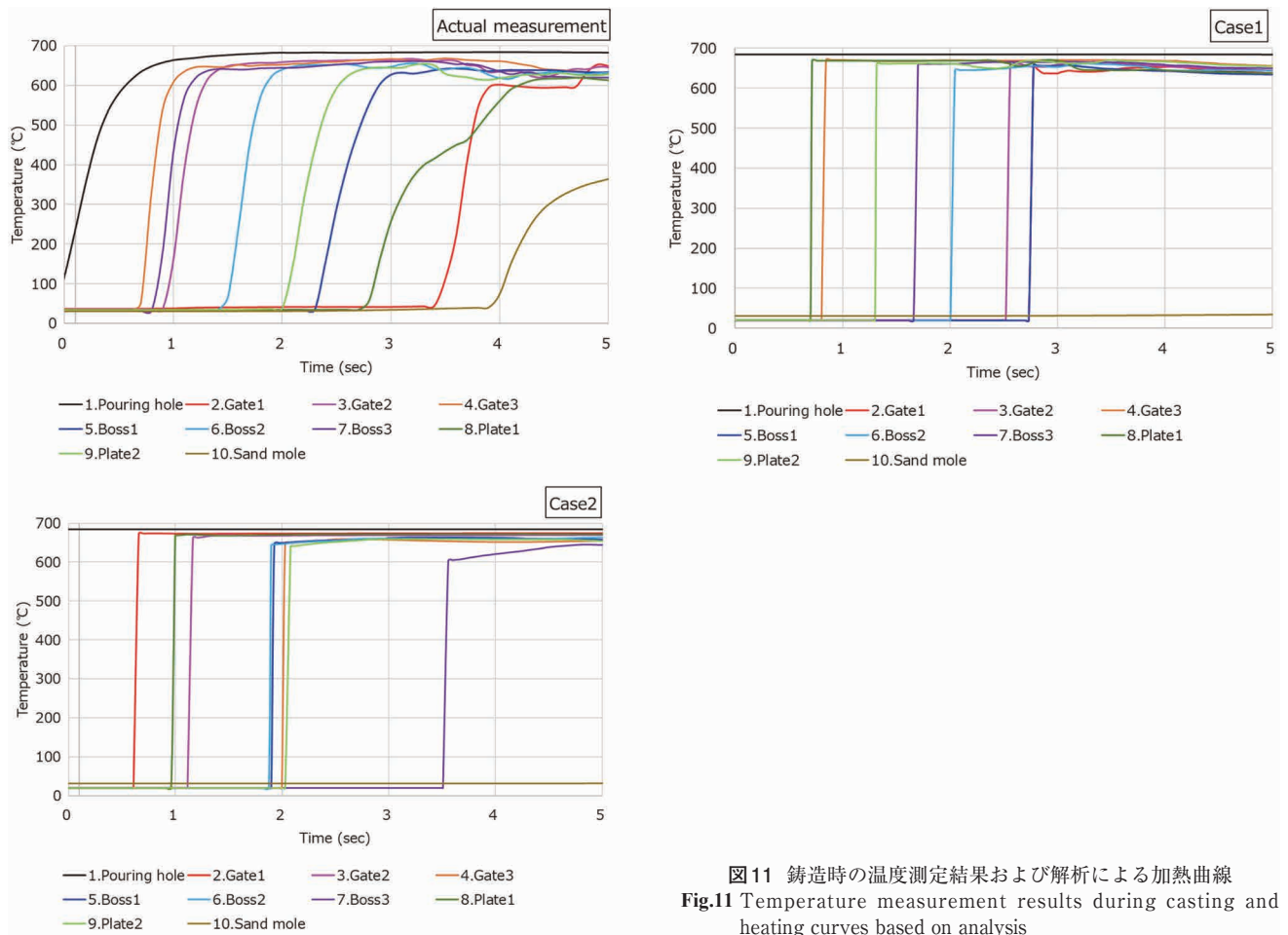


図11 鑄造時の温度測定結果および解析による加熱曲線
 Fig.11 Temperature measurement results during casting and heating curves based on analysis

表2 各部位における最大温度および検知時間
 Table 2 Maximum temperature and detection time at each location

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		Pouring hole	Gate1	Gate2	Gate3	Boss1	Boss2	Boss3	Plate1	Plate2	Sand mole
case 1	Maximum Temperature(°C)	684.0	654.0	665.9	670.3	658.5	662.2	665.9	671.0	670.1	352.2
	Detection Time(sec)	0.0	2.8	2.6	0.8	2.8	2.0	1.7	0.7	1.3	-
case 2	Maximum Temperature(°C)	684.0	675.0	670.8	659.1	662.7	663.1	645.3	671.5	658.8	340.3
	Detection Time(sec)	0.0	0.7	1.2	2.0	1.9	1.9	3.6	1.0	2.1	-
Actual measurement	Maximum Temperature(°C)	684.0	652.5	666.9	668.2	642.5	656.0	661.3	619.3	654.7	491.2
	Detection Time(sec)	0.0	3.5	1.0	0.8	2.4	1.6	0.9	2.9	2.1	-

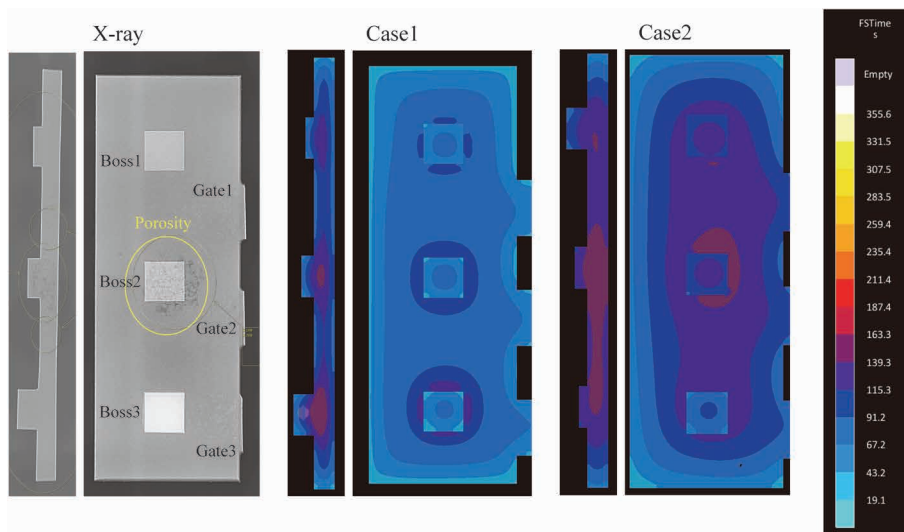


図12 流動限界固相率到達時間解析結果
 Fig.12 The analysis result of the time required to reach the flow limit solid fraction

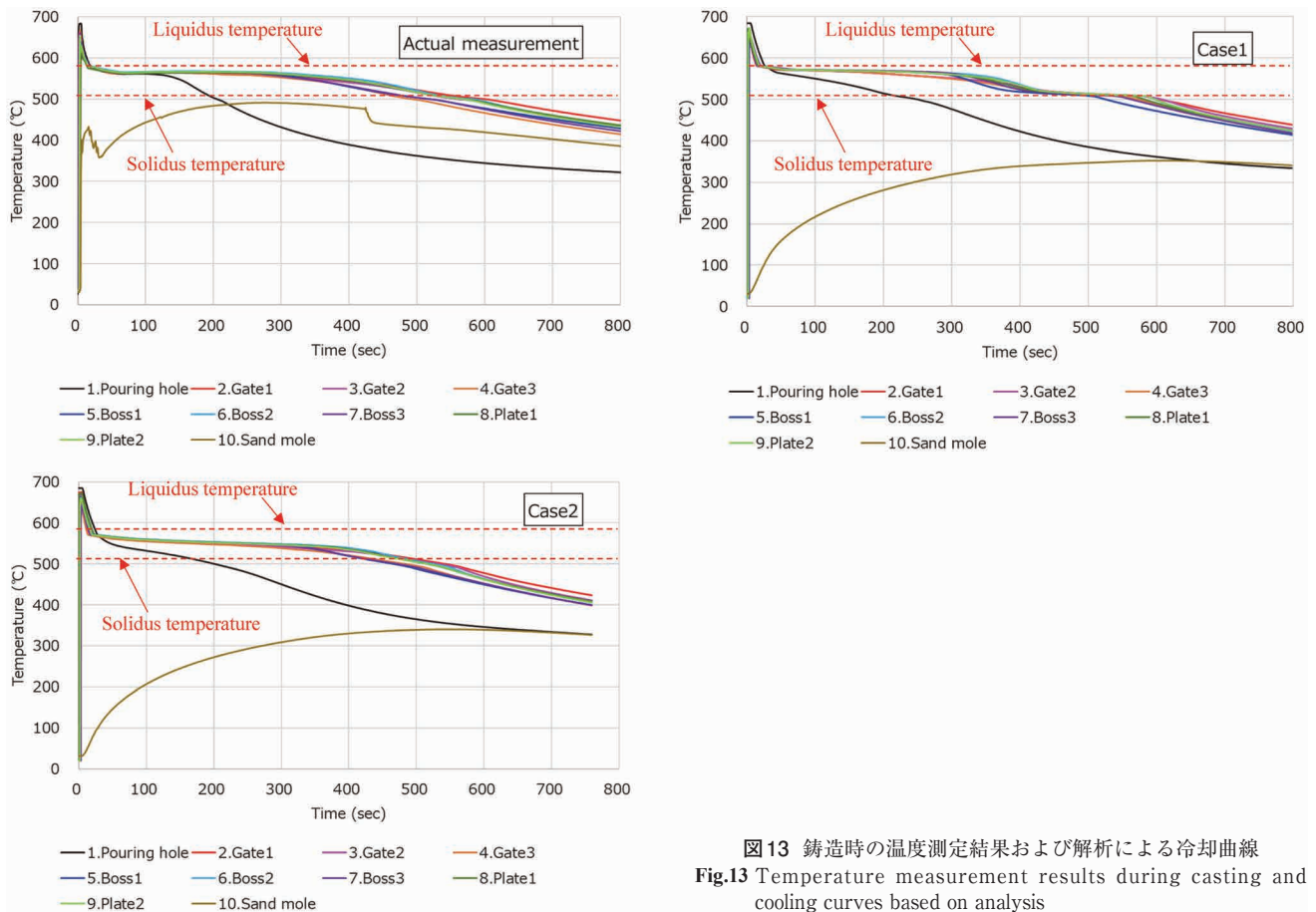


図13 鋳造時の温度測定結果および解析による冷却曲線
 Fig.13 Temperature measurement results during casting and cooling curves based on analysis

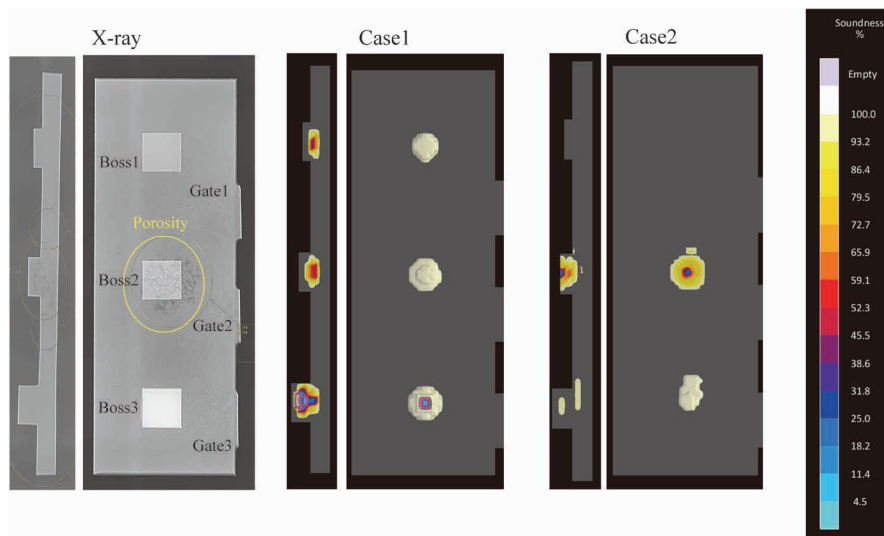


図14 健全度解析結果
 Fig.14 The analysis result of the soundness

むすび= 今回の鋳造CAEではCase1, Case2ともに砂型の各物性値や砂型とアルミ溶湯の熱伝達係数などはMAGMASOFTのデフォルトデータを用いている。そのため、今回取得した物性値以外のデータも実験により求めた結果を入力すると、今回実測と合わなかった湯流れ解析も含めてさらに予測精度を向上できる可能性はある。また、今回取得した物性値は、砂型だけではなくダイキャスト製品における鋳造CAEの予測精度向上にも寄与すると考えられることから、現在その試作と解析も進めている。

砂型やダイキャストなどアルミ鋳物品の車体への適用

にあたり、衝突解析などの強度解析を行う上で、強度へ影響をおよぼす鋳巣発生位置の正確な予測も重要である。そのため、鋳造CAEによる予測精度の向上に対するニーズもますます高まることが予想される。

今後も、さらにお客様の要求に応えられるよう、新たな測定技術を確認し、お客様へ提案できるよう精進したい。

参考文献

- 1) 木島秀弥. 鋳造工学. 2014, Vol.86, No.12, p.951-956.
- 2) 三中西信治. 鋳造工学. 2023, Vol.95, No.1, p.34-40.
- 3) 足立渉ほか. こべるにくす. 2022, No.55, p.19-20.