

令和 4 年 6 月 17 日現在

機関番号：32643

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K06880

研究課題名(和文) アルミニウム合金の消失模型鋳造法における模型熱分解のその場直接観察

研究課題名(英文) In-situ Direct Observation of Pattern Thermal Decomposition in Expendable Pattern Casting Process of Aluminum Alloy

研究代表者

頃安 貞利 (KOROYASU, Sadatoshi)

帝京大学・理工学部・教授

研究者番号：70215440

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：アルミニウム合金の消失模型鋳造法(EPCプロセス)における熱分解ガスや液状樹脂の形態を明らかにするために、鋳枠側面に観察用の窓を設け、EPS模型を厚さ3mmの耐熱ガラスに密着させて、湯流れ直接観察を行った。

その結果、湯流れ中、浮力による溶湯中のかんりの量の液状樹脂の上昇が観察された。このため湯流れシミュレーションシステムを構築するためには、液状樹脂の上昇を伴う二相流を考える必要があることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

発泡スチロール平板を厚さ3mmの耐熱ガラスに密着させて、アルミニウム合金溶湯の湯流れ直接観察を行った。その結果、溶湯中にかんりの量の液状樹脂の浮力による上昇が観察された。このため湯流れシミュレーションシステムを構築するためには、液状樹脂の上昇を伴う二相流を考える必要があることが明らかになった。

本研究による湯流れ直接観察の成果から、液状樹脂の溶湯中への巻込みを考慮した湯流れシミュレーションシステムが構築されると、今後樹脂欠陥の少ない鋳造品を得ることが可能となることが予想される。

研究成果の概要(英文)：In order to clarify the morphology of the thermal decomposition gas and liquid resin in the expendable pattern casting process (EPC process) of aluminum alloy, an observation window was provided on the side of the flask, and the EPS model was adhered to heat-resistant glass with a thickness of 3 mm. And the molten metal flow was directly observed.

As a result, during mold filling, a considerable amount of rising liquid resin due to buoyancy was observed. Therefore, in order to construct the mold filling simulation system, it was predicted that it was necessary to consider a two-phase flow with the rising of liquid resin.

研究分野：金属・資源生産工学

キーワード：expendable pattern aluminum alloy thermal decomposition liquid resin

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

最近の多くの鋳造 CAE システムにおいては、消失模型鋳造法(EPC プロセス)も扱えるようになってきているが、発泡ポリスチレン模型(EPS 模型)の熱分解機構や液状化の状況が十分に明確化されていない。特にアルミニウム合金の場合、熱分解ガスの発生よりも液状樹脂の割合が非常に高く、この液状樹脂の塗型膜への浸透と、これに伴う熱分解ガスの通気阻害の発生などが考えられる。このため鋳鉄の場合と比べて、湯流れ中の状況が複雑であり、厳密な湯流れシミュレーションがより困難であると予想されていた。

2. 研究の目的

EPC プロセスでは、溶湯は EPS 模型を熱分解、または液状化させて生じたキャビティに流入し、このとき生じた熱分解ガスや液状樹脂の生成物は、塗型膜を通して乾燥砂中に排出されるので、溶湯充てん機構は通常の空洞鋳型の場合と異なり非常に複雑である。

本研究の目的は、熱分解ガスや液状樹脂の生成と形態をその場直接観察によって明らかにし、EPC プロセスにおける湯流れシミュレーションシステムを構築するための基礎資料を得ることである。

3. 研究の方法

耐熱ガラスに EPS 模型を貼付け、溶湯が進入してきたときの、その上部に存在する EPS 模型の熱分解ガス層やアルミニウム合金の湯流れ状況をデジタルイメージングカメラで直接撮影する。その結果から、溶湯からの爆熱中の EPS 模型からの熱分解ガス層や液状樹脂層の挙動を観察し、熱分解ガス層厚さや湯流れ速度を求める。実験パラメーターとしては、塗型通気度を 0.18 と 1.7 の 2 種類変化させ、鋳造方案としては、押上げと落とし込み方案の 2 種類変化させる。

4. 研究成果

(1) 湯流れ直接観察結果

図 1 に押上げ方案で EPS の発泡倍率が 60 倍の場合の湯流れ中の直接観察結果を示す。(a)が塗型通気度 $P=0.18$ 、(b)が $P=1.7$ の場合の結果であり、湯流れ距離が約 100mm における状況を示す。図 1 (a),(b)ともにせきから液状樹脂の上昇がみられ、湯先近傍まで達している。この結果から、本研究課題申請時に考えていた液状樹脂の溶湯中への巻き込みメカニズムとは大きく異なり、湯流れシミュレーションシステムを構築するためには、液状樹脂の上昇を伴う二相流を考える必要があることが明らかになった。また液状樹脂の上昇量は塗型通気度によってほとんど違いがないと思われる。鋳造品密度に対する本研究の既往の研究結果⁽¹⁾からも、湯流れ速度による鋳造品密度の変化はほとんどなく、直接観察結果と定性的に一致する。

図 2 は、図 1 と同様の結果を示し、落とし込み方案の場合の結果を示す。液状樹脂の巻き込みは、図 1 の押上げ方案の場合と同様にみられるが、巻き込まれた液状樹脂の浮力による浮上がみられる。このため湯先への液状樹脂の到達はほとんど見られない。この結果、液状樹脂の巻き込み量も押し上げ方案より少なく、既往の研究結果⁽¹⁾において、押し上げ方案よりも鋳造品密度が高くなったと考えられる。液状樹脂の挙動に対する通気度の影響はほとんどみられない。

なお、EPS の発泡倍率が 30 倍の場合の湯流れ中の直接観察結果においても、図示していないが、図 1、2 の 60 倍の場合の湯流れ中の直接観察結果とほぼ同様の結果であった。



(a) $P=0.18$ (b) $P=1.7$
図 1 押上げ方案の場合の湯流れ直接観察結果

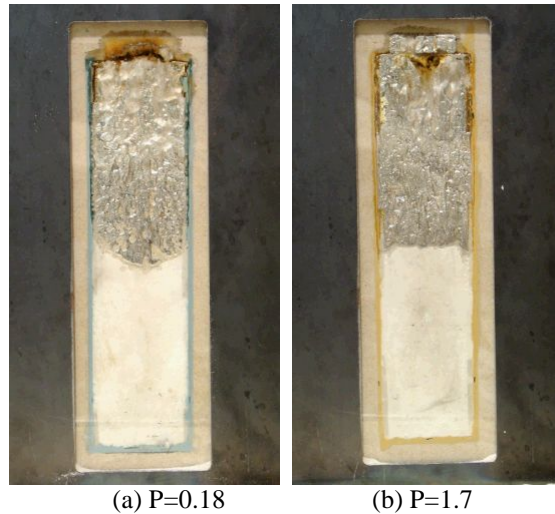


図2 落とし込み方案の場合の湯流れ直接観察結果

(2) 熱分解ガス層厚さ

図3は、押上げ方案でEPSの発泡倍率が60倍の場合の湯先近傍の状況を示したものである。(a)が塗型通気度 $P=0.18$, (b)が $P=1.7$ の場合の結果であり、湯流れ距離が約100mmにおける状況を示す。湯先より上部は未熱分解のEPS模型であるが、湯先上部近傍には灰色の部分が存在し、この部分が熱分解ガス層と判断される。図3(a)の $P=0.18$ の場合の熱分解ガス層厚さと比べて、(b)の $P=1.7$ の場合の方が薄いことがわかる。これは通気度が大きくなることによって、熱分解ガスの塗型膜を通しての排出が促進されるためであり、既往の研究結果⁽²⁾の湯流れモデルによる熱分解ガス層厚さの計算結果と同様である。

図4は、図3と同様の結果で落とし込み方案の場合を示す。押上げ方案の場合と比べて熱分解ガス層は薄いことがわかる。特に(a)の $P=0.18$ の場合の方が顕著である。落とし込み方案の場合、溶湯間や溶湯-塗型膜間を熱分解ガスが上昇し、ガス層厚さが薄くなったと考えられる。

なお、EPSの発泡倍率が30倍の場合の湯流れ中の直接観察結果においても、図示していないが、図3、4の60倍の場合とほぼ同様の結果であった。

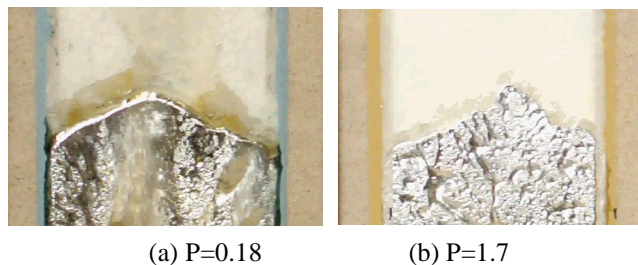


図3 押上げ方案の場合の湯先近傍の状況

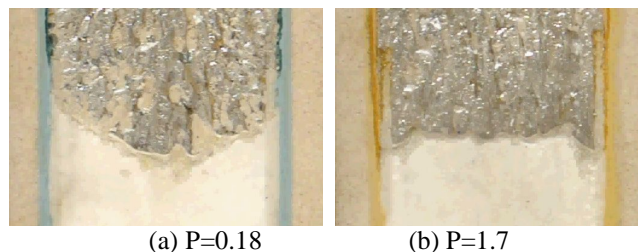


図4 落とし込み方案の場合の湯先近傍の状況

(3) 湯流れ速度と熱分解ガス層厚さの既往の湯流れモデルとの比較

図5は、湯流れ直接観察による湯流れ速度の実測値を塗型通気度に対して示したものである。(a)がEPS発泡倍率30倍、(b)が60倍の結果を示し、図中赤の○印で示している。図中の黒の○印は既往の実験結果⁽³⁾を示し、タッチセンサーによる測定値である。図中の実線は既往の湯流れモデル⁽²⁾による湯流れ速度の計算値を示す。湯流れ直接観察による湯流れ速度の実測値は既往の実験結果と同様に計算値とほぼ良好に一致することがわかる。

図6は、湯流れ直接観察による熱分解ガス層厚さの実測値を塗型通気度に対して示したものである。既往の研究による実験結果のプロットがないのは、タッチセンサーによる熱分解ガス

層厚さの測定が不可能であったためである。図中の実線は、既往の研究の湯流れモデル⁽²⁾による熱分解ガス層厚さの計算値を示す。図中○印の押し上げ方案の場合は、計算値と比べてやや大きい値であることがわかる。湯流れ直接観察では、EPS 模型の耐熱ガラスと接する面では、熱分解ガスが排出されないためと考えられる。排出可能な有効面積は、通常の実験と比べて約 60% である。また、図中●印の落とし込み方案の場合は、押し上げ方案の場合と比べて熱分解ガス層厚さは小さい値である。塗型通気度 $P=0.18$ の場合は特に顕著である。 $P=0.18$ の場合、熱分解ガス層厚さが厚くなるが熱分解ガスが浮力によって溶湯間や溶湯 - 塗型膜間を上昇し、ガス層厚さが薄くなったと考えられる。

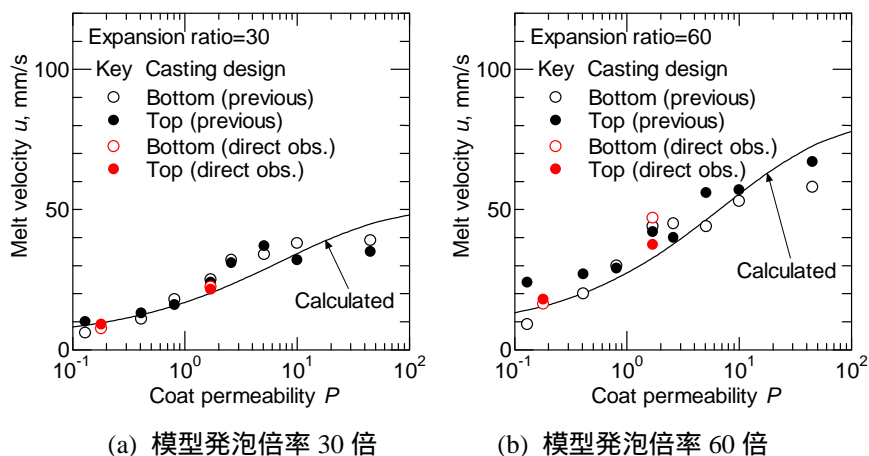


図 5 湯流れ速度の湯流れ直接観察結果と湯流れモデルおよび既往の実験結果との比較

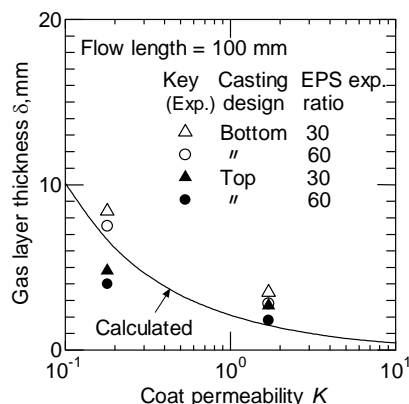


図 6 熱分解ガス層厚さの湯流れ直接観察結果と湯流れモデルとの比較

< 引用文献 >

- (1) Effect of Melt Velocity on Density of Aluminum Alloy Castings in Expendable Pattern Casting Process, S. Koroyasu, Materials Transactions, Vol.63, pp.629-635, (2022)
- (2) 消失模型鑄造法におけるアルミニウム合金溶湯の簡易湯流れモデル, S. Koroyasu, Journal of Japan Foundry Engineering Society, Vol.81, pp.377-383, (2009)
- (3) Effects of Reduced Pressure, Casting Design and Heat Transfer Resistance of Liquid Resin on Mold Filling in Expendable Pattern Casting Process of Aluminum Alloy, S. Koroyasu, Materials Transactions, Vol.61, pp.528-533, (2020)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 12件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Koroyasu Sadatoshi	4. 巻 63
2. 論文標題 Effect of Melt Velocity on Density of Aluminum Alloy Castings in Expendable Pattern Casting Process	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 629 ~ 635
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2320/matertrans.F-M2021857	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Koroyasu Sadatoshi	4. 巻 62
2. 論文標題 Effects of Reduced Pressure and Casting Design on Mold Filling in Expendable Pattern Casting Process of Thin Wall Aluminum Alloy Castings	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 MATERIALS TRANSACTIONS	6. 最初と最後の頁 1569 ~ 1575
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2320/matertrans.F-M2021843	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 埴安 貞利	4. 巻 93
2. 論文標題 薄肉アルミニウム合金鋳物の消失模型鋳造法における湯流れに及ぼす減圧及び鋳造方案の影響	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 鋳造工学	6. 最初と最後の頁 121 ~ 127
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11279/jfes.93.121	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 S. Koroyasu	4. 巻 61
2. 論文標題 Effects of Reduced Pressure, Casting Design and Heat Transfer Resistance of Liquid Resin on Mold Filling in Expendable Pattern Casting Process of Aluminum Alloy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Materials Transactions	6. 最初と最後の頁 528-533
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.2320/matertrans.F-M2019868	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 頃安 貞利	4. 巻 91
2. 論文標題 薄肉アルミニウム合金の消失模型鑄造法における 湯流れに及ぼす塗型の断熱性の影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 鑄造工学	6. 最初と最後の頁 743-746
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 頃安 貞利	4. 巻 91
2. 論文標題 アルミニウム合金消失模型鑄造法の湯流れに及ぼす減圧と鑄造方案及び液状樹脂伝熱抵抗の影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 鑄造工学	6. 最初と最後の頁 737 ~ 742
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11279/jfes.91.737	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 頃安 貞利	4. 巻 91
2. 論文標題 アルミニウム合金消失模型鑄造法の湯流れに及ぼす減圧と鑄造方案及び液状樹脂伝熱抵抗の影響	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 鑄造工学	6. 最初と最後の頁 737 ~ 742
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11279/jfes.91.737	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 S. Koroyasu and A. Ikenaga	4. 巻 1
2. 論文標題 Effect of Vibration Condition on Appearance of Casting in Expendable Casting Process using Artificial Sand	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 5th Annual Conference on Lost Foam, V-Process and Full Mold Casting Technology in Hefei, China	6. 最初と最後の頁 43-49
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 SADATOSHI KOROYASU, AKIRA IKENAGA	4. 巻 1
2. 論文標題 Effect of Artificial Sand Filling on Appearance and Dimensional Accuracy of Casting in Expendable Pattern Casting Process	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Transactions of 24th Annual Conference on Lost Foam, V Method and Full Mold Casting Technology in China	6. 最初と最後の頁 31-36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sadatoshi Koroyasu	4. 巻 58
2. 論文標題 Effect of Coat Permeability on Mold Filling in Expendable Pattern Casting Process of Thin Wall Aluminum Alloy Casting	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Materials Transactions	6. 最初と最後の頁 635-640
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2320/matertrans.F-M2017803	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 頃安貞利, 範国三男, 嶋田祐典	4. 巻 89
2. 論文標題 人工砂を用いた消失模型鑄造法における鑄型の熱吸収性と模型変形に及ぼす砂流動性の影響	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 鑄造工学	6. 最初と最後の頁 510-515
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 池永明, 衣川眞司, 頃安貞利	4. 巻 90
2. 論文標題 消失模型鑄造法における振動塗型槽を用いた場合の塗型付着性に及ぼす振動条件の影響	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 鑄造工学	6. 最初と最後の頁 11-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 頃安貞利
2. 発表標題 消失模型鑄造法におけるアルミ ニウム合金鑄物の外観に及ぼす振動 方式の影響
3. 学会等名 日本鑄造工学会第179回全国講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 頃安貞利
2. 発表標題 アルミニウム合金の消失模型鑄 造法における湯流れ中の模型溶融に よる液状樹脂の挙動
3. 学会等名 日本鑄造工学会第179回全国講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 頃安貞利
2. 発表標題 消失模型鑄造法における鑄造品の外観に及ぼす充てん砂の振動流動性の影響
3. 学会等名 日本機械学会関東支部 2020茨城講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 頃安 貞利
2. 発表標題 消失模型鑄造法における鑄造品の寸法精度に及ぼす鑄枠の振動条件の影響
3. 学会等名 日本機械学会関東支部 2019茨城講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 頃安 貞利
2. 発表標題 人工砂を用いた消失模型鑄造法における鑄造品の外観に及ぼす振動条件の影響
3. 学会等名 日本鑄造工学会第174回全国講演大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 頃安貞利
2. 発表標題 消失模型鑄造法における鑄造品の外観と寸法精度に及ぼす充てん砂の影響
3. 学会等名 日本機械学会関東支部2018茨城講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 頃安貞利
2. 発表標題 人工砂を用いた消失模型鑄造法におけるアルミニウム合金鑄物の外観と寸法精度
3. 学会等名 日本鑄造工学会第172回全国講演大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 頃安貞利
2. 発表標題 薄肉アルミニウム合金の消失模型鑄造法における溶湯流動長に及ぼす塗型の断熱性の影響
3. 学会等名 日本機械学会関東支部2017茨城講演会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 頃安貞利
2. 発表標題 消失模型鑄造法による薄肉アルミニウム合金鑄物の湯流れに及ぼす減圧の影響
3. 学会等名 日本鑄造工学会第170回全国講演大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関