

平成28年度  
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業  
戦略的基盤技術高度化支援事業

「大型薄肉ダイカスト部品の洩れ・鑄巣欠陥を解決する、  
半凝固・低圧力・高速射出充填ダイカスト法の開発」

研究開発成果等報告書

平成29年3月

担当局 経済産業省中部経済産業局  
補助事業者 公益財団法人中部科学技術センター

## 目 次

第1章 研究開発の概要	1
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）	7
1-3 成果概要	8
1-4 当該研究開発の連絡窓口	8
第2章 本論	9
（1-1）スリーブ法での半凝固スラリーの安定生成への対応	9
（1-2）小型設備での半凝固スラリーの安定生成条件と鑄造条件の確定	28
（1-3）大型設備実機での大量の半凝固スラリー生成の確立	48
（2）大型平板薄肉ヒートシンク試作品の鑄造性と品質の確立	53
（3）大型立体薄肉ミッションケース試作品の鑄造性と品質の確立	59
第3章 全体総括	72

## 第1章 研究開発の概要

### 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

#### (1) 研究開発の背景

電気自動車やハイブリッド自動車・再生可能エネルギー設備等に用いられる薄肉大面積かつ液冷回路を持つ電気制御ケース（通称ヒートシンク）や電池ケース類は、今後新しい部品群として必要となり、その数量も今後は飛躍的に増大すると予測される、また、従来からの大物自動車ケース部品類も薄肉・軽量化が一段と要求される様になってきた。

ところが、現状のダイカスト鑄造法では、気泡や凝固収縮による巣穴・洩れ不良や、充填欠陥による鑄肌不良が避けられず、高不良率である事に加えて突発不良が頻発し、洩れの救済処理（含浸処理）工程も必要となっているなどから、安定生産を阻害し、管理・コスト的にも行き詰まっている。

さらに新しい要求の部品群においては、薄肉・軽量化が進むほど充填性が悪化すること以上に、製品設計的に避けられない部分的厚肉部と一般肉厚部の肉厚比が大きくなる事により、部分的厚肉部に発生する凝固収縮ひけ（巣穴）欠陥が級数的に発生する事から、洩れ等の致命的な品質不良が大量に発生しており、これまで以上に品質・コスト的にも、部品の安定供給的にも問題をかかえている。

それらを解消する有力なダイカスト製法として半凝固ダイカスト法があるが、これまでは半凝固スラリーを生成するプロセスや装置が複雑・大規模・高価であり、適用できる鑄造材料の選択幅も狭く、品質的には向上するものの、結果として、欠点の多い現状のダイカストに対しても価格競争力が得られないことなどから、コストアップが許される特殊用途を除いて量産化はほとんどされてこなかった。

本事業は、現状のダイカスト法と同様に、金属溶湯をダイカストマシンの受湯部（射出スリーブ）に注湯するだけで半凝固スラリーを得られるスリーブ法を用いた半凝固ダイカスト法を、品質工学手法で技術開発することにより高い安定性を確保し、大物薄肉ダイカストに適用することにより、価格競争力があり、かつ、品質の安定した半凝固ダイカスト技術の開発を行い、量産化を目指すものである。

#### (2) 研究目標

本事業では、鑄込み材料をダイカストマシンの射出スリーブ（溶融金属を供給する鑄込みスリーブ）に直接注湯する時に、半凝固の組織の種になる初期凝固核を大量に生成して球状組織を数十 $\mu\text{m}$ まで微細化すると同時に流速による攪拌力により、半凝固スラリーを生成できるスリーブ法を用いて技術開発するものである。

スリーブ法による半凝固スラリーの生成プロセスは極めてシンプルかつ安価であり、実験室での小

物部品では狙いの特性を得られてはいるが、また、その安定性は充分とはいえず、大物部品にむけて大量の半凝固スラリーを安定的に得るための技術開発が必要である。また、良質な半凝固スラリーを得た後も、ダイカスト成形に必要な鑄造条件も半凝固ダイカスト鑄造品を安定的に得るための条件が明確になっていないため、その鑄造条件もロバスト性の高い条件にまで高める技術開発が必要である。

今回の技術開発では、半凝固スラリー生成と半凝固ダイカスト鑄造の量産時においてロバスト性の高い鑄造技術開発を行うために、品質工学（タグチメソッド）法を適用した技術開発を実施し、選択可能な制御因子と、避けられないバラツキとなる誤差因子を割り付けての実験と解析を行うことにより、研究開発の効率化と量産での安定化を達成する。

（参考：数十年前の最初期の品質工学の研究において、伊奈製陶がタイルの品質を向上させる研究を行い、焼成炉内の温度分布が極めて悪いという条件下で、タイル組成成分に品質を安定化させる条件を見つけ出すことにより、目指す品質を安価に達成したという有名な研究がある）

本事業で実施するスリーブ法は、ダイカストマシンの射出スリーブへ直接注湯する時の溶湯の位置エネルギーを使って、初期凝固核を大量発生させ、流速による攪拌剪断力によってさらに初期凝固核の発生と球状化を行う方法である。プロセスがシンプルで、装置も簡略であり、実験室での小型設備において25 $\mu$ m程度の微細な組織の半凝固鑄造品が得られ論文発表もされており、いくつかの生成条件が明らかになってきている。

今後の課題としては、

- ①量産に向けてのスラリー生成の安定までは確認できておらず、安定性の高い半凝固スラリーの生成条件の確立が必要である。
- ②大型鑄造品に向けて大容量の半凝固スラリーを生成する領域は確認されていないので、この領域の半凝固スラリーの生成技術の確立が必要である。
- ③薄肉製品の半凝固ダイカスト法による鑄造技術の確立が必要である。

具体的対応方法について、以下に掲げ、事業を遂行した。

具体的対応方法

【平成26年度】・・・実施機関（日比野工業株式会社、国立大学法人東北大学）

【1】スリーブ法での半凝固スラリーの安定生成への対応

【1-1】小型設備での半凝固スラリーの安定生成条件と鑄造条件の確定

注湯条件（注湯方法・溶湯温度・注湯高さ・注湯方向・注湯流量・スリーブ温度等）や、材料成分（Si）量等に関するデータ収集および分析を実施する。

実験計画法でも使われるL18直交表に制御因子と想定される条件を割り付け、実生産で想定され

る誤差因子をL9直交表に割り付け、二つの直交表を掛け合わせた実験を行い、自分たちで制御出来ない誤差成分（様々な外的な条件）がばらついていても有効かつ安定的な結果をもたらす条件因子の絞り込みと水準を明確にする。

評価は、充填と凝固を同時に評価できる筒筒形状のテストピース金型を製作し、密度（空中重量と水中重量）評価と強度試験を併用し解析・分析することにより、安定性（ロバスト性）の高い有効な因子と水準を明確化する。

最終評価は、機械的性質やマクロ・ミクロ組織等の評価をおこない、狙いの特性と各条件因子との関係を明らかにする。

【平成27年度】・・・実施機関（日比野工業株式会社、国立大学法人東北大学）

【1-1】給湯装置を用いての条件を制御因子とした実験を行い、有効な条件項目と水準を確定する。

【1-2】大型設備での大量の半凝固スラリー生成に向けたオフラインでの安定化条件の確立大物製品用の数kgから十数kgの半凝固スラリー生成はまだ十分に確認されていない中で、大型設備では溶湯の成分等の変更が簡単にはできないため、小型設備で明確化された半凝固スラリーの生成条件を基に、大容量の半凝固スラリーの生成に向けたオフライン（射出スリーブ単体）での半凝固スラリー生成の確認実験と条件確立を実施する。

【1-3】大型設備実機での大量の半凝固スラリー生成の確立

最終評価は、機械的性質やマクロ・ミクロ組織等の評価をおこない、狙いの特性と各種条件因子との関係を明らかにする。

	ステップ	使用する機械装置等
①	スリーブ単体での生成試験の実施内容の検討	
②	その評価方法の検討	
③	実験段取りの構想から設計・制作	注湯装置・温調スリーブ 既存ダイカスト設備
④	スリーブ単体での生成試験の実施と解析・まとめ～確認実験	
⑤	実鑄造試験の実施内容の検討	
⑥	実験型の構想から設計・制作	
⑦	実験装置の検討	
⑧	実験装置の構想から設計・制作	
⑨	実鑄造試験の実施と解析・まとめ～確認実験	
⑩	平成27年度の研究結果の総まとめ	注湯装置（ロボット装置） 実験用金型（小・大） X線CTスキャナー装置 既存ダイカスト設備 画像解析用カメラ+ソフト 冷却注湯装置（樋） 含有ガス分析装置 実験用スリーブ（小・大）

【平成28年度】 …… 実施機関（日比野工業株式会社、国立大学法人東北大学）

【1】スリーブ法での半凝固スラリーの安定生成への対応

【1-3】大型設備実機での大量の半凝固スラリー生成の確立

平成27年度から引き続き、大型設備での大量の半凝固スラリー生成に向けたオフラインでの安定化条件の確立、大型設備実機での大量の半凝固スラリー生成の確立を目指す。

【2】大型平板薄肉ヒートシンク試作品の鋳造性と品質の確立

比較的平板な形状をもつ大型薄肉ヒートシンクの簡易実験型を用い、半凝固スラリーの鋳造時の固相率・各種温度条件・鋳造方法・鋳込み条件と充填性・凝固収縮性・粒径サイズ・各種品質特性に関するデータ収集及び分析を実施し、量産技術の確立を行う。

鋳造圧力を40MPa程度で品質を満足させ、低剛性（小型）の金型で量産鋳造できる条件を求める。

【3】大型立体薄肉ミッションケース試作品の鋳造性と品質の確立

比較的立体的で熱負荷も大きい大型薄肉ミッションケースの簡易実験型を用い、大型薄肉ヒートシンクと同様なデータ収集及び分析を実施し、量産技術の確立を行う。

鋳造圧力を40MPa程度で品質を満足させ、低剛性（小型）の金型で量産鋳造できる条件を求める。

以下に、本事業の目標値と平成28年度の研究目標を示す。

【目標値】

1. スリーブ法での半凝固スラリーの安定的生成条件の明確化
2. 凝固組織の粒径を20 $\mu$ m程度を達成する
3. 鋳込み時のスラリー固相率を40~60%程度で自由選択できる技術の確立
4. 鋳造圧力40MPa程度において品質を満足する鋳造条件の確立
5. 電気自動車等向けのヒートシンク類の鋳造生産技術として、現状プロセスを超えた品質の安定性や低コスト化。大型ヒートシンクの、洩れ・ひけ鋳巣不良を概ね3%以下を目指す
6. 従来からの部品群の品質の安定化・軽量化・低コスト化薄肉化大型ミッションケースの、洩れ・ひけ鋳巣不良を概ね3%以下を目指す
7. 鋳造圧力の低圧化による必要鋳造機の小型化

8. 金型の小型化
9. 金型の長寿命化

#### 【最終年度研究目標】

初年度から平成28年度の目標をかかげ、実施する

1. 大型設備実機での大量の半凝固スラリー生成の確立
2. 大型平板薄肉ヒートシンク試作品の鑄造性と品質の確立
3. 大型立体薄肉ミッションケース試作品の鑄造性と品質の確立

#### 【当初の目的及び目標に対しての実施結果等】

##### (1) 重点的に実施した事項

スリーブ法での半凝固スラリーの安定生成を目指し、予備実験として、大型設備実機を実施した。試作品で使用する大型実験設備より低圧力で予備を行い、更なる注湯条件の絞り込みを行った。

また、半凝固組織の特定のための評価手法の確立を実施し、大型テストピースの注湯温度・射出速度等の鑄造条件と組織観察ならびに密度の評価を行った。

結果、注湯温度を適正にした低温鑄造することによりすべての部位で「特異組織」が出現することを確認し、大型鑄造実験への目途を立てた。

大型立体薄肉ミッションケースと大型平板薄肉ヒートシンクの鑄造性を確認する上で、平成27年度に生産条件で予備実験をしたミッションケースの鑄造実験を実施した。

ヒートシンクに関しては、生産ライン上でも品質の安定が悪く、品質が良好であるミッションケースを重点に鑄造実験を実施した。品質も安定した結果が得られ、実験を完了した。

大型平板薄肉ヒートシンク試作品鑄造実験を実施したが、安定した品質を確保できなかった。

##### (2) 効果

半凝固組織の特定のための評価手法が確立できたことで、いままで不可能であった大型培品・薄肉部品に対しても半凝固スラリー生成が可能となった。その結果、大型ダイカストマシンを用いてミッションケース実験型での試作やヒートシンク実験型の設計・製作が可能となった。

今回の実施した効果として、大型立体薄肉ミッションケースについては金属組織・密度・製品内部のCT観察結果からも良好な結果が得られており、社外から打診されている製品に対してもその要求への対応が可能となった。

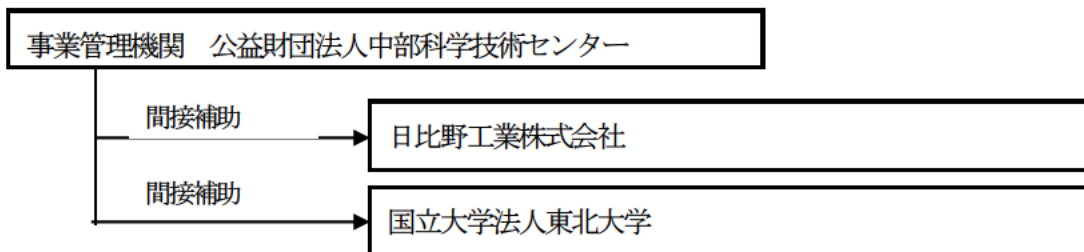
大型立体薄肉ミッションケースについては、鑄造条件を確立し、事業化に向けて、川下ユーザーで実施する評価試験に移行するための準備を進めることが可能となった。

大型平板薄肉ヒートシンクについては、現状の生產品と同等以上の品質を見出すことができなかった。従来品においても鑄造のみでは、品質確保ができていない現状、本技術での確立は不可欠であり、引き続き注湯条件を見直し、研究を実施していく。



1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

(1) 履行体制図



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】 公益財団法人中部科学技術センター

管理員

氏名	所属・役職	実施内容 (研究項目番号)
天野 賢三	研究開発推進部長	【4】
西沢 一敏	研究開発推進部 担当部長	【4】
高須 容功	研究開発推進部 主任	【4】
土谷 由貴子	研究開発推進部	【4】

【間接補助事業者】

日比野工業株式会社

氏名	所属・役職	実施内容 (研究項目番号)
浅井光一	顧問	【1】 【2】 【3】
堀健太郎	技術課係長	【1】 【2】 【3】
犬飼浩一	技術課主任	【1】 【2】 【3】
柴田宗幸	技術課担当	【1】 【2】 【3】
加藤 誠	技術課課長補佐	【1】 【2】 【3】
辻 俊彦	西尾工場工場長	【1】 【2】 【3】
那須野 達史	ダイカスト部陪限	【1】 【2】 【3】
流郷 博行	ダイカスト部次長	【1】 【2】 【3】
横山 暢彦	ダイカスト部課長補佐	【1】 【2】 【3】
山下 裕二	ダイカスト部課長補佐	【1】 【2】 【3】
新田 晋也	ダイカスト部係長	【1】 【2】 【3】
道上 一磨	技術課担当	【1】 【2】 【3】
井手 恵美	技術課担当	【1】 【2】 【3】
石川 朋子	技術課担当	【1】 【2】 【3】

国立大学法人東北大学

氏名	所属・役職	実施内容 (研究項目番号)
安斎 浩一	大学院工学研究科 金属フロンティア工学 専攻 専攻長 教授	【1】 【2】 【3】
板村 正行	大学院工学研究科 金属フロンティア工学 専攻 准教授	【1】 【2】 【3】

### 1-3 成果概要

(1) 大型機械におけるスリーブ単体でのオフライン半凝固スラリー生成実験を実施し、注湯温度および注湯高さの関係から、半凝固スラリーの生成条件を確認できた。

(2) 大型機械でのテストピース実験型を用いた半凝固鑄造実験を実施した。

大型で少溶湯量の場合は半凝固組織の生成条件の選択幅が狭くなることを確認したが、ADC12材での、この製法特有の特異組織の出現が確認できた。

(3) 大型薄肉ヒートシンク実験型での半凝固鑄造の実験・評価を実施した。

大型で少溶湯量となるヒートシンクでは、評価項目の多くで現行の製法と同等の結果を得ることができなかった。

(4) 大型薄肉ミッションケースでは、比較的安定して特異組織の出現が確認できた。

大型部品を対象としたADC12材のスリーブ法での半凝固鑄造では、これまで見てきた亜共晶組成での半凝固組織である球状の初晶 $\alpha$ と微細な共晶組成で構成された典型的な半凝固組織の出現と同率以上の確率で、特異組織が出現する事が確認できた。

(5) 最終的な不良率評価は、次年度以降にて評価を完了させる。

### 1-4 当該研究開発の連絡窓口

日比野工業株式会社 西尾工場 顧問 浅井 光一

TEL : 0563-52-2138 FAX : 0563-52-2568

E-Mail : kasai@hibino-jpn.co.jp

## 第2章 本論

(1-1) スリーブ法での半凝固スラリーの安定生成への対応 (平成26年度)

サブテーマ：小型設備での半凝固スラリーの安定生成条件と鑄造条件の確定

■実験結果 (ステップ【1-0】：実験設備類が年度末設置となるため、ステップ(1-1)の前段の実験として実施)

### ①実験に使用した金型

※溶湯比重  $2.4\text{g}/\text{cm}^3$  にて計算

品番	品名	取数	鑄込み重量	チップ直径	空打ちストローク	充填率
SA-HS32FC0	エンドカバー	1個	1160g	Φ60mm	420mm	40.7% 高充填率
143911-10020	ハウジングEPB No.1	2個+2個 セット取り	705g	Φ60mm	420mm	24.7% 低充填率
143912-10020	ハウジングEPB No.2					

東北大学の実験では低充填率で良い結果がでているが、高充填率での実験データを得るために実験実施することとした。

### ②鑄造条件

品番	品名	バスケット厚	高速区間	低速速度	高速速度	鑄造圧力	昇圧時間
SA-HS32FC0	エンドカバー	25mm	95mm (ゲート切換 65mm)	0.10m/s	0.13m/s	100MPa	150ms
143911-10020	ハウジングEPB No.1	25mm	147mm (ゲート切換 37mm)	0.30m/s	2.5m/s	87MPa	80ms
143912-10020	ハウジングEPB No.2						

③注湯・射出遅延・スリーブ温調の条件（注湯高さはスリーブ底より160mm一定）

エンドカバー				
条件 No.	注湯時湯温	湯量	射出遅延	スリーブ温調
A	640℃	1155g	0.1s	95℃
B	640℃	1138g	10.0s	95℃
C	640℃	1210g	5.0s	95℃
D	634℃	943g	5.0s	95℃
E	634℃	1000g	10.0s	95℃
F	624℃	969g	10.0s	95℃
G	620℃	1149g	5.0s	95℃
H	620℃	1143g	10.0s	95℃
J	620℃	1151g	10.0s	180℃
K	620℃	1150g	10.0s	250℃
L	620℃	1152g	10.0s	250℃
ハウジングEPB				
条件 No.	注湯時湯温	湯量	射出遅延	スリーブ温調
M	640℃	716g	0.1s	215℃
N	640℃	721g	5.0s	215℃
P	640℃	728g	10.0s	215℃
Q	640℃	711g	0.1s	90℃
R	640℃	706g	5.0s	90℃
S	640℃	717g	10.0s	90℃

■評価内容

評価 No.	評価内容
1	全体、拡大にて写真撮影：充填状態の評価
2	マイクロ組織観察：半凝固組織の確認（含む、結晶粒径）
3	X線CT観察：内部欠陥の定量的評価

■材料分析結果（ADC12）

（実験型1）エンドカバー

測定	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Ti	Pb
1回目	1.531	9.520	0.153	0.764	0.554	0.238	0.057	0.033	0.044
2回目	1.541	9.520	0.154	0.761	0.564	0.243	0.057	0.033	0.044
3回目	1.761	10.704	0.181	0.816	0.568	0.215	0.069	0.027	0.055
平均	1.611	9.915	0.163	0.780	0.562	0.232	0.061	0.031	0.048

測定	Pb	Sn	Cr	P	Cd	Hg	Al	Al4
1回目	0.044	0.026	0.016	- 0.0001	0.0016	0.0036	87.058	40.459
2回目	0.044	0.026	0.017	- 0.0002	0.0016	0.0036	87.035	35.904
3回目	0.055	0.032	0.013	- 0.0002	0.0019	0.0038	85.553	41.133
平均	0.048	0.028	0.015	- 0.0002	0.0017	0.0037	86.549	39.165

(実験型2) ハウジングEPB

測定	Cu	Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Ni	Ti
1回目	1.791	10.900	0.188	0.834	0.630	0.254	0.070	0.030
2回目	1.517	9.582	0.151	0.755	0.545	0.233	0.056	0.034
3回目	1.550	9.657	0.154	0.764	0.553	0.237	0.058	0.033
平均	1.619	9.980	0.164	0.784	0.576	0.241	0.061	0.032

測定	Pb	Sn	Cr	P	Cd	Hg	Al	Al4
1回目	0.056	0.033	0.015	0.0000	0.0018	0.0039	85.192	34.398
2回目	0.044	0.026	0.015	- 0.0002	0.0016	0.0036	87.236	42.688
3回目	0.045	0.027	0.015	- 0.0001	0.0016	0.0037	86.902	43.167
平均	0.048	0.029	0.015	- 0.0002	0.0017	0.0037	86.443	40.084

①半凝固スラリー生成においてもっとも重要な成分であるSi量は規格値9.6~12%の下限域あり、半凝固スラリー生成に対しては有利な条件である。

(凝固範囲が広がるSi量7%程度が、半凝固スラリー生成には最も理想的である)

②アルミダイカストではADC12材が95%使われており、価格も極めて安価である。

また、材料変更(図面規格の変更)には膨大な評価試験が必要となり、現実的には実現不可能といっても大げさではない事から、量産化にはADC12材での実現が必須である。

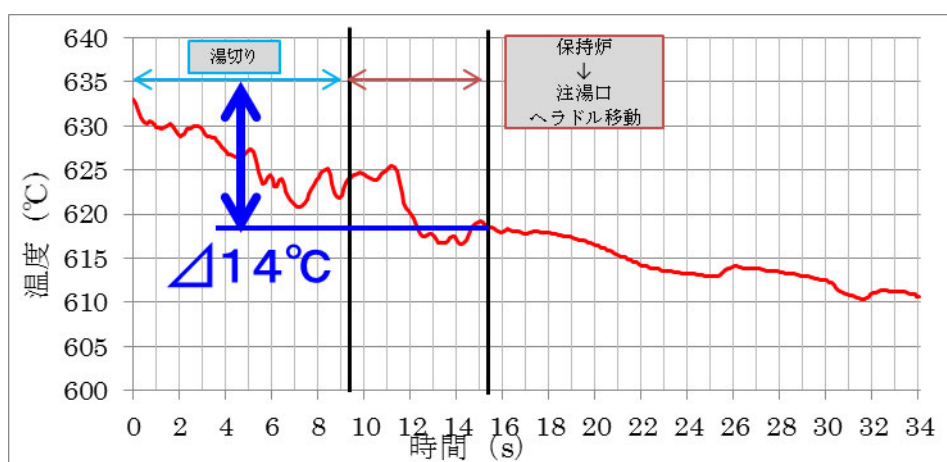
ただし、ある大手メーカーではアルミダイカスト用材料の自社規格でADC12+ADC10材を一括した規格で図示・運用されており、このメーカー向けには7.5%のSi量までの適用が可能となるが、価格的に厳しい事は避けられない事になる。

■湯汲みから注湯直前までの温度測定

溶解炉から汲み上げた溶湯が注湯位置まで移動する間の温度降下を測定し、スリーブへ注湯する温度を決定する必要がある。

①エンドカバー

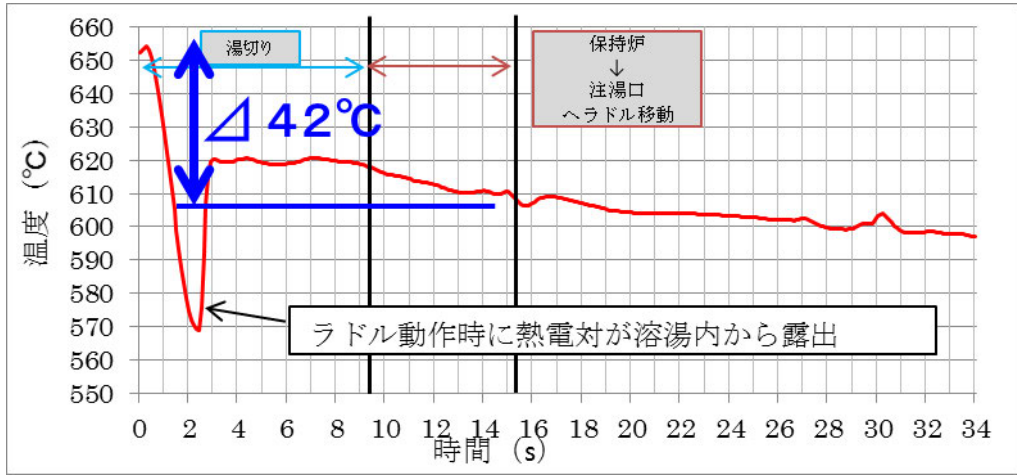
湯切り開始	633.0°C
給湯量	1160g
ラドル前釜端	619.1°C
経過時間	12.0s
温度勾配	-1.2°C/s



給湯量の多いエンドカバーでは溶解炉から注湯直前位置までに14°Cの温度低下がある。

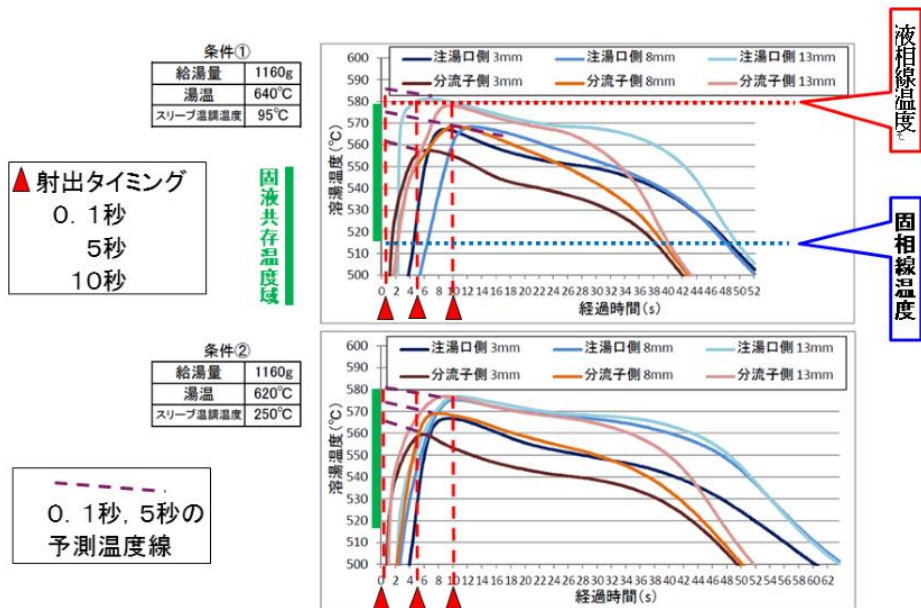
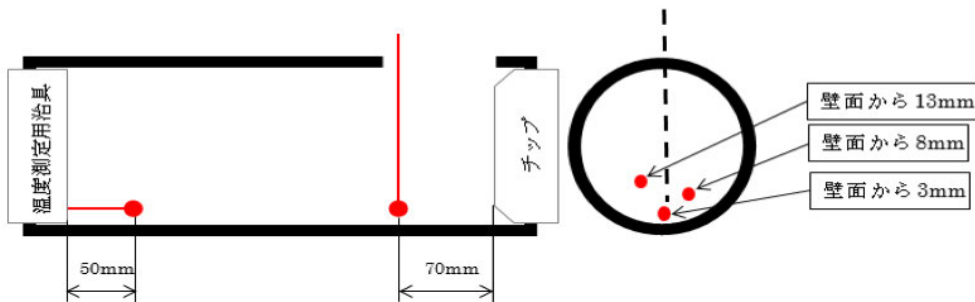
②ハウジングEPB

給湯量	705g
湯切り開始	652.4°C
ラドル前釜端	610.6°C
経過時間	12.0s
温度勾配	-3.5°C/s

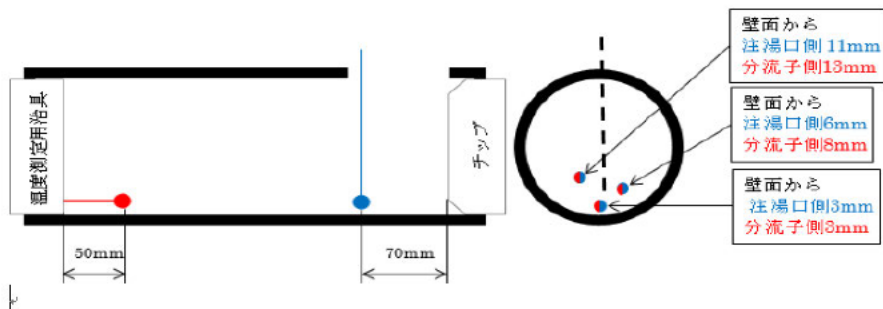


給湯量の少ないハウジングEPBでは42°Cの温度低下がある。

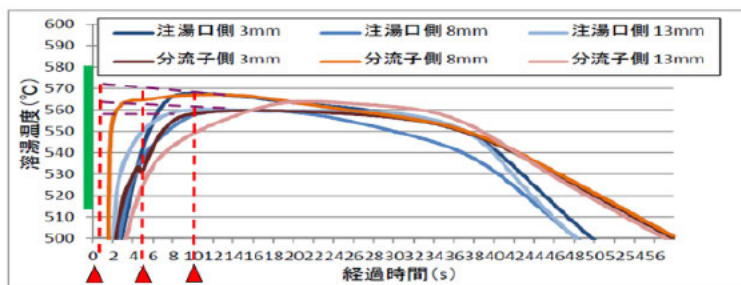
■スリーブ内での溶湯温度測定 ～エンドカバー～



■スリーブ内での温度測定 ～ハウジングEPB～



条件①	
給湯量	705g
湯温	640°C
スリーブ温調温度	215°C
▲ 射出タイミング	
○. 1秒	
5秒	
10秒	
○秒, 5秒の 予測温度線	



条件②はデータ記録ミスにて波形データ無し

温度測定は破線上に一直線に並べた方が適切である旨のご指導を板村先生より受けた。



■充填状況： エンドカバー

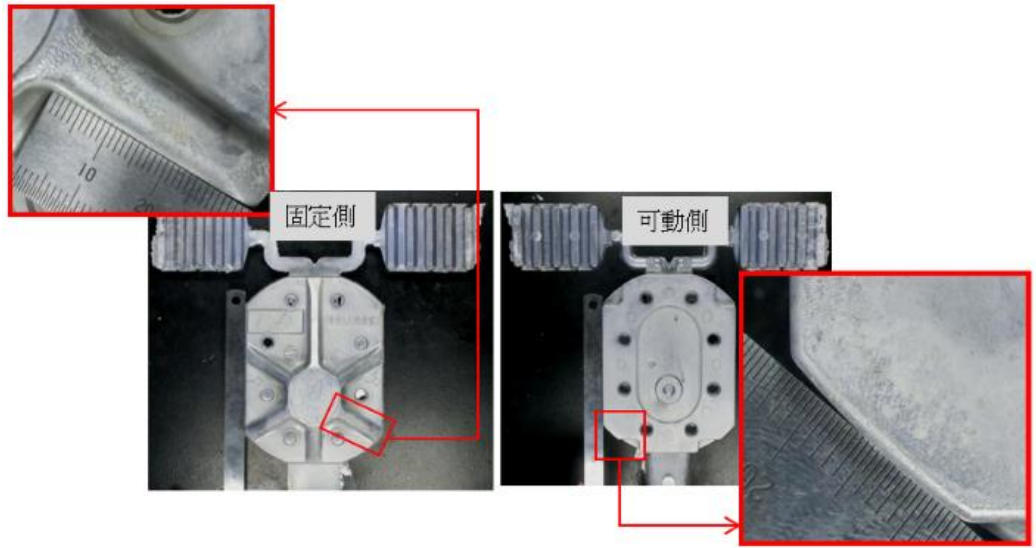
		全体、拡大写真（エンドカバー）	
条件	A		
	B		
	C		

全体、拡大写真（エンドカバー）

条件	D	
	E	
	F	

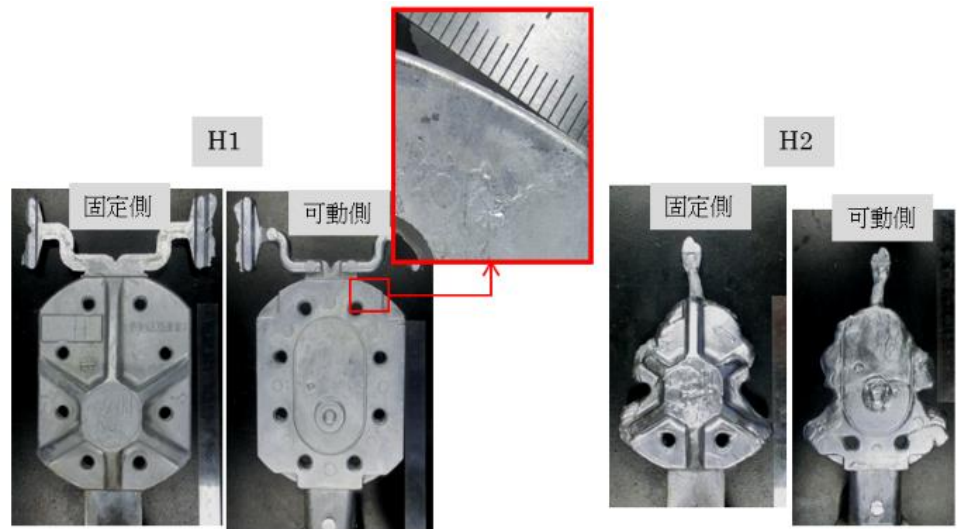
全体、拡大写真（エンドカバー）

G

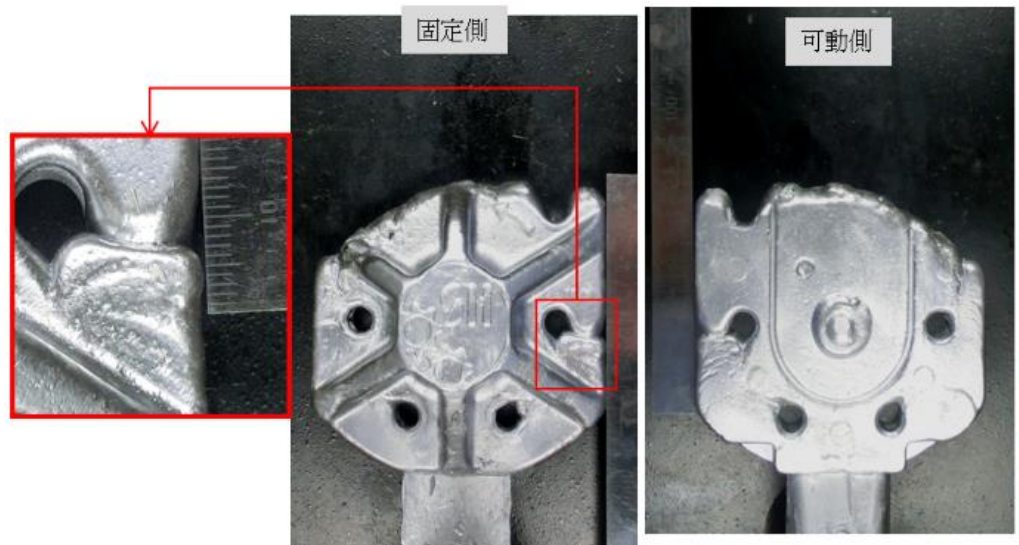


条件  
H

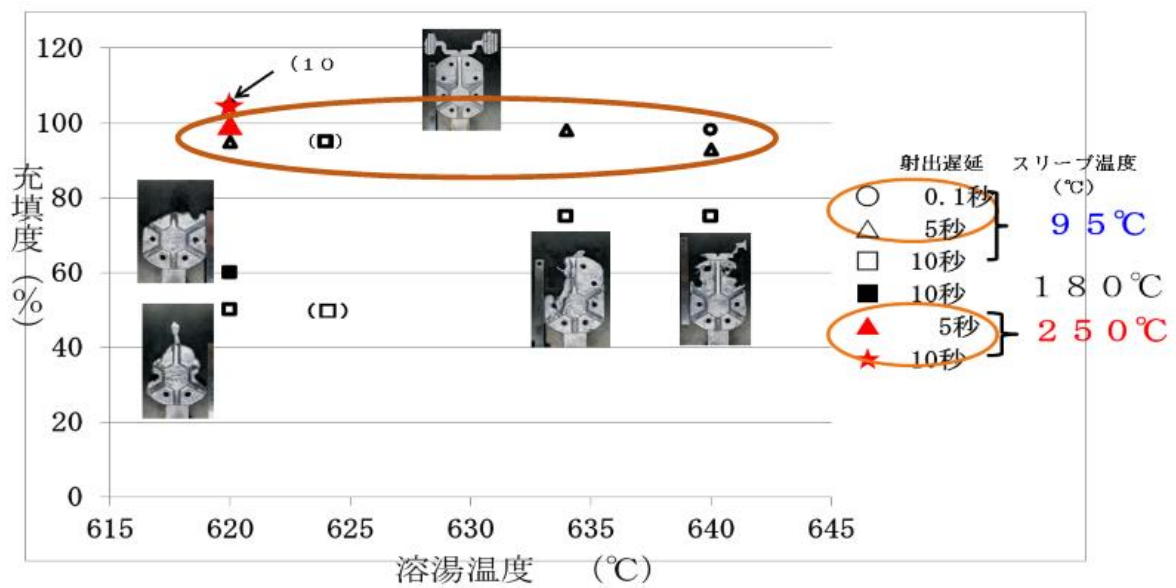
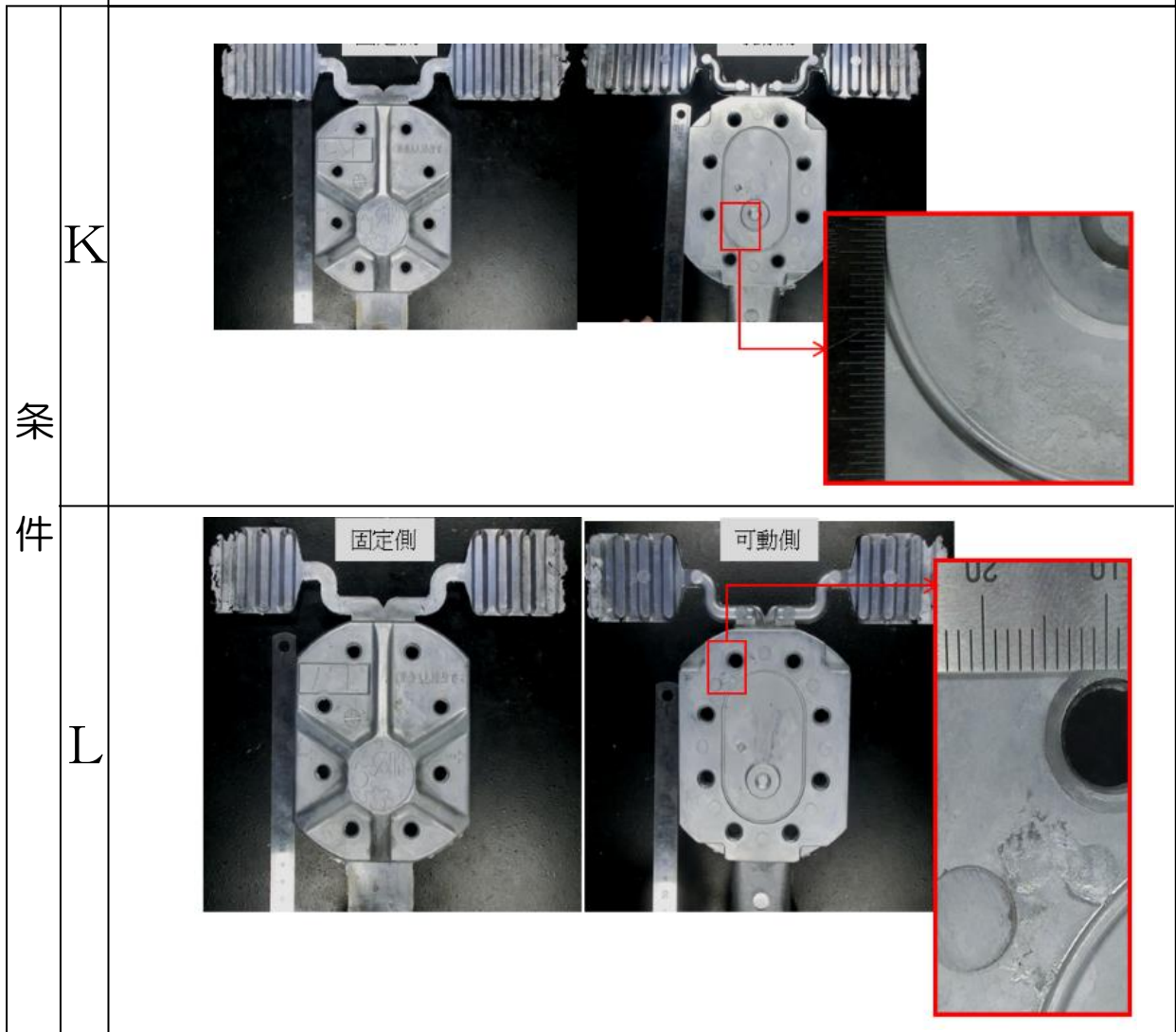
H



J

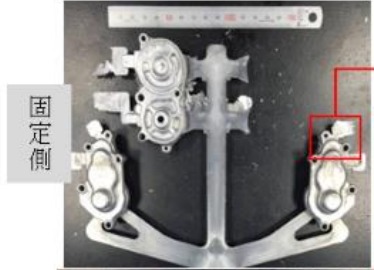
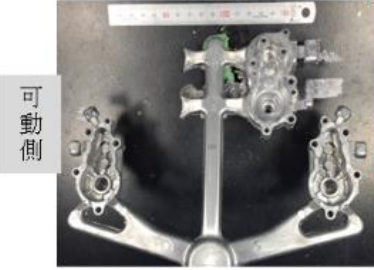

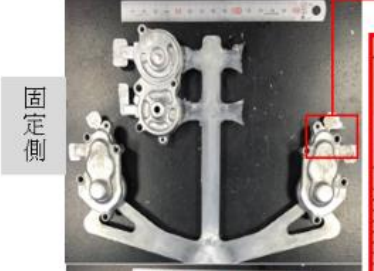
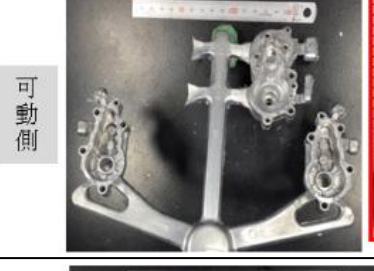

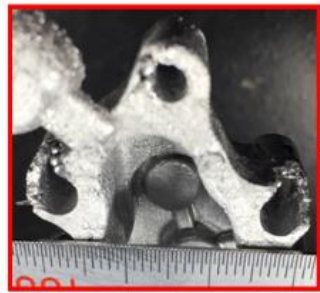

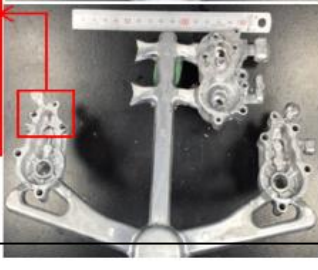


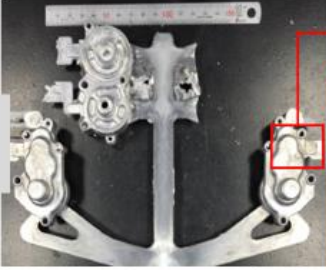


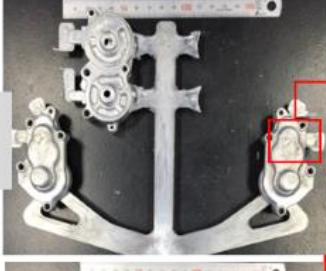


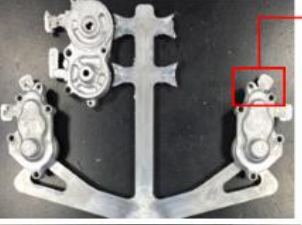


全体、拡大写真（エンドカバー）



スリーブ温度95°Cでは0.1秒と5秒まで、スリーブ温度250°Cでは10秒まで100%充填が可能であった。

■充填状況：ハウジングEPB

		全体、拡大写真（ハウジングEPB）		
条件	M	 <p>固定側</p>	 <p>可動側</p>	
	N	 <p>固定側</p>	 <p>可動側</p>	
	P		 <p>固定側</p>	 <p>可動側</p>

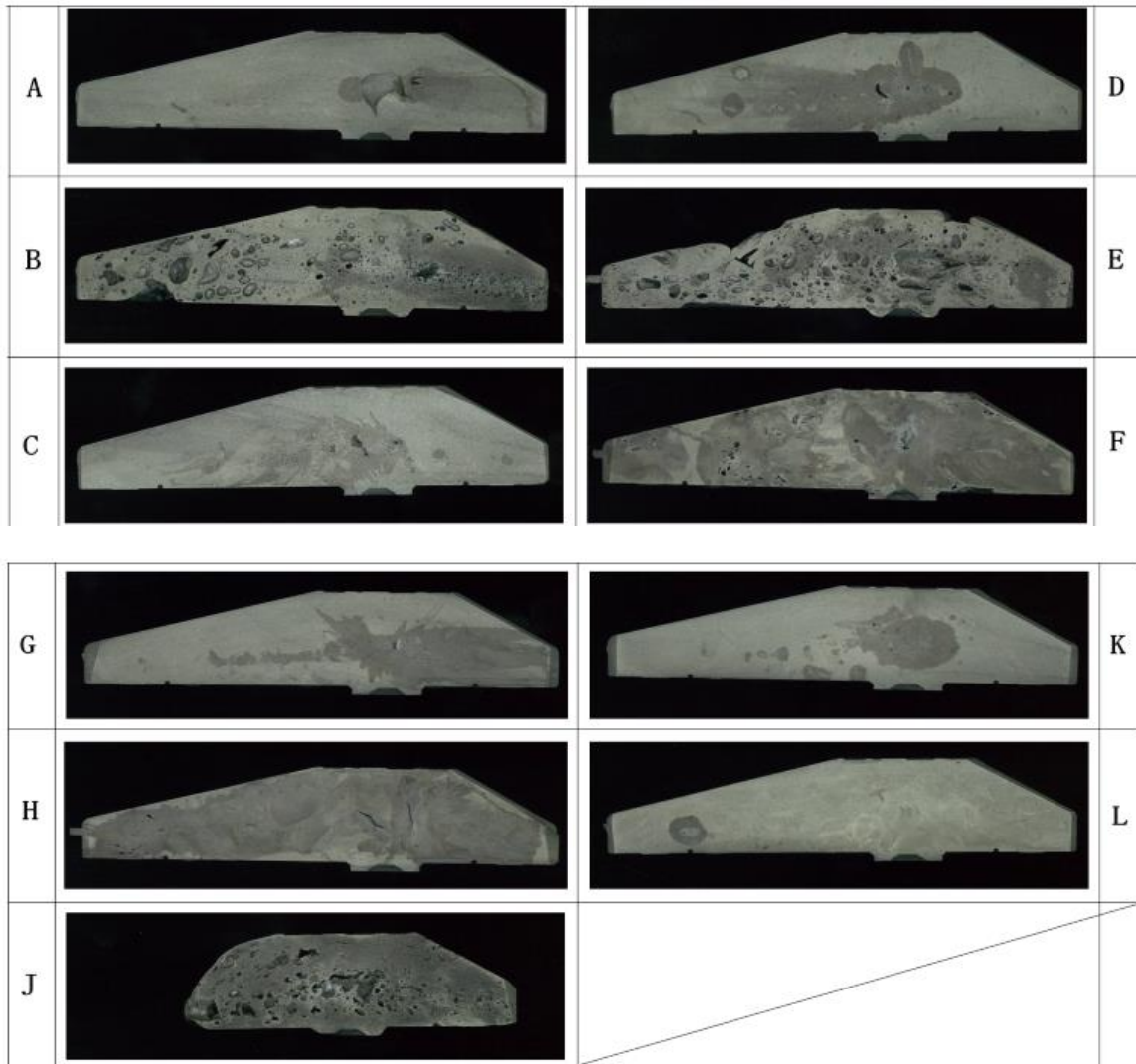
		全体、拡大写真（ハウジング EPB）	
条件	Q	<p>固定側</p>  <p>可動側</p>  	
	R	<p>固定側</p>  <p>可動側</p>  	
	S	<p>固定側</p>  <p>可動側</p>  	

①ハウジング EPB の充填状況は Q・R の条件（スリーブ温度90℃、射出遅延 0.1秒と5秒が良かったが、充分とは言えなかった。

スリーブ温度が低い方が良好な半凝固スラリー生成ができていているようである。

②試料が離型時に脱落してしまい、充填度の定量的な評価は出来なかった。

■エンドカバーのマクロ組織

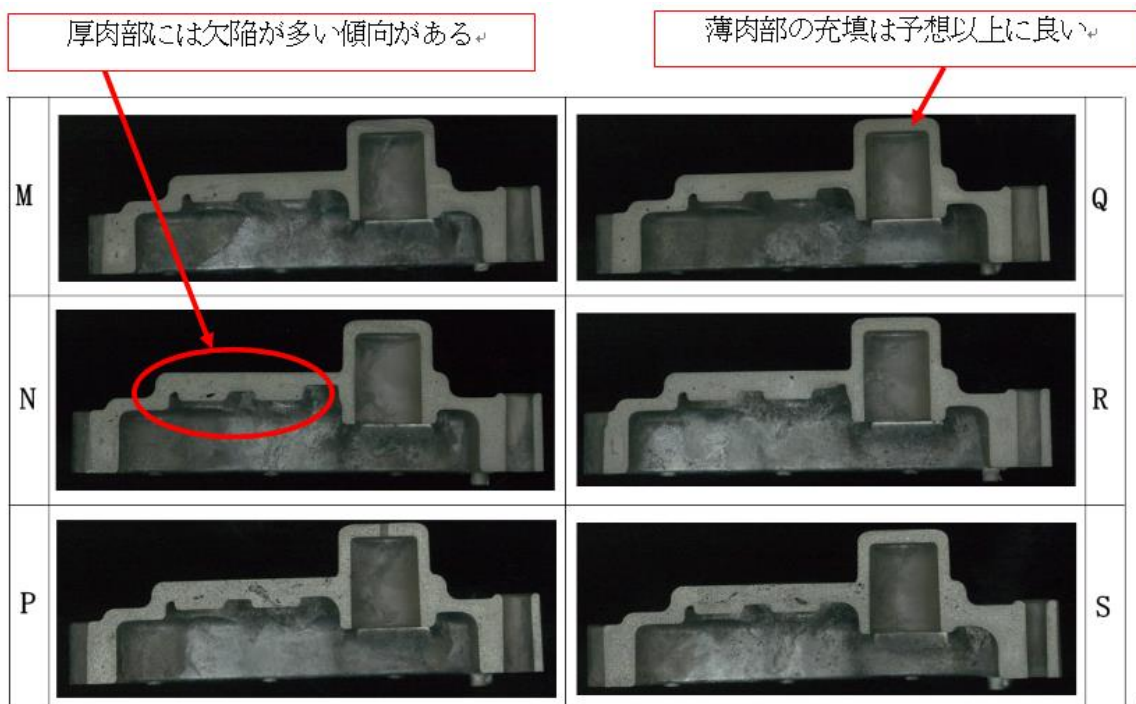


■エンドカバーのX線CTによる内部観察



- ①A・C・K・Lの外観の充填度の高いものは内部の充填性も高いが充分ではない
- ②X線CT観察による欠陥量の定量値評価は、次年度にて引き続き評価を継続した。

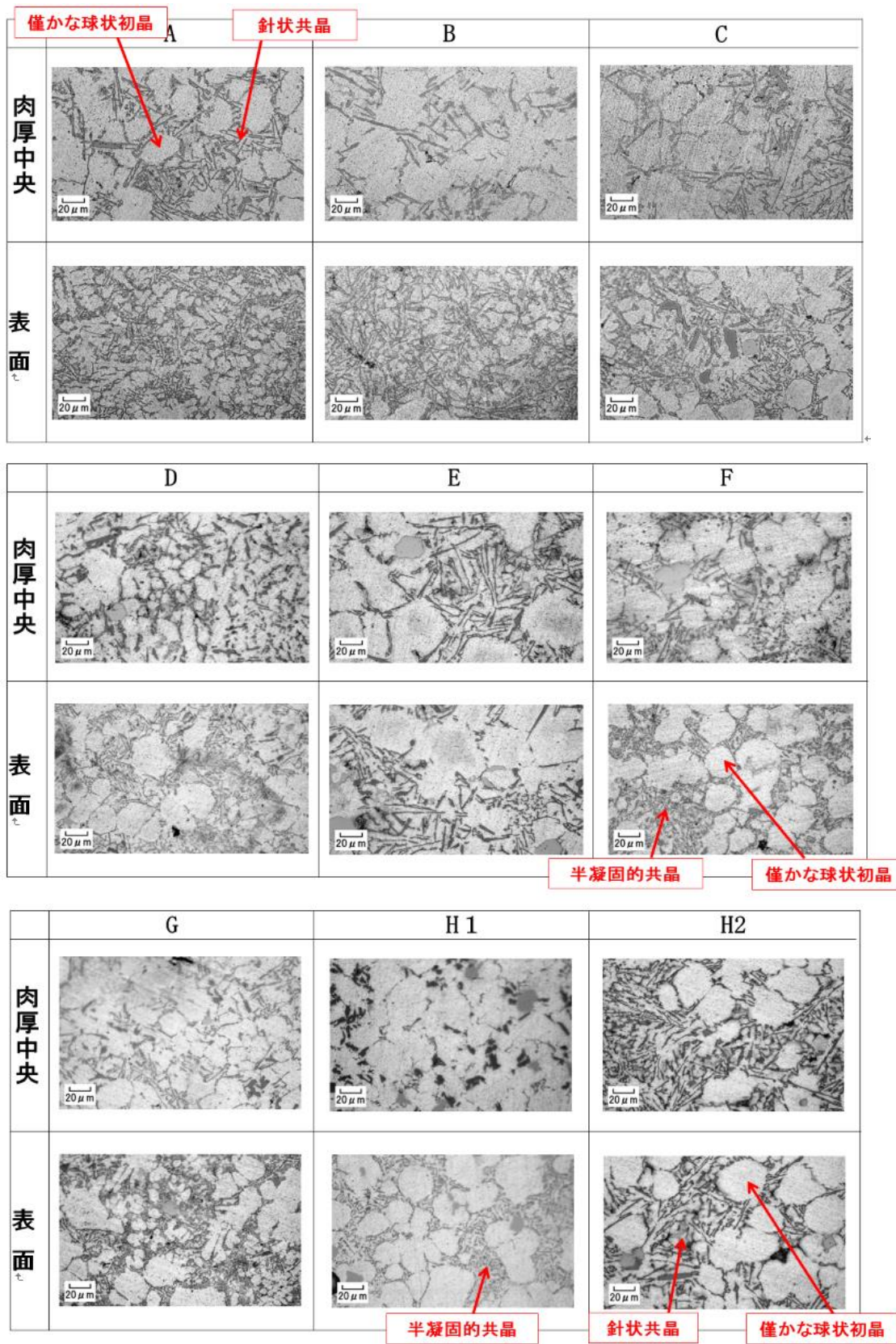
■ハウジングEPBのマクロ組織

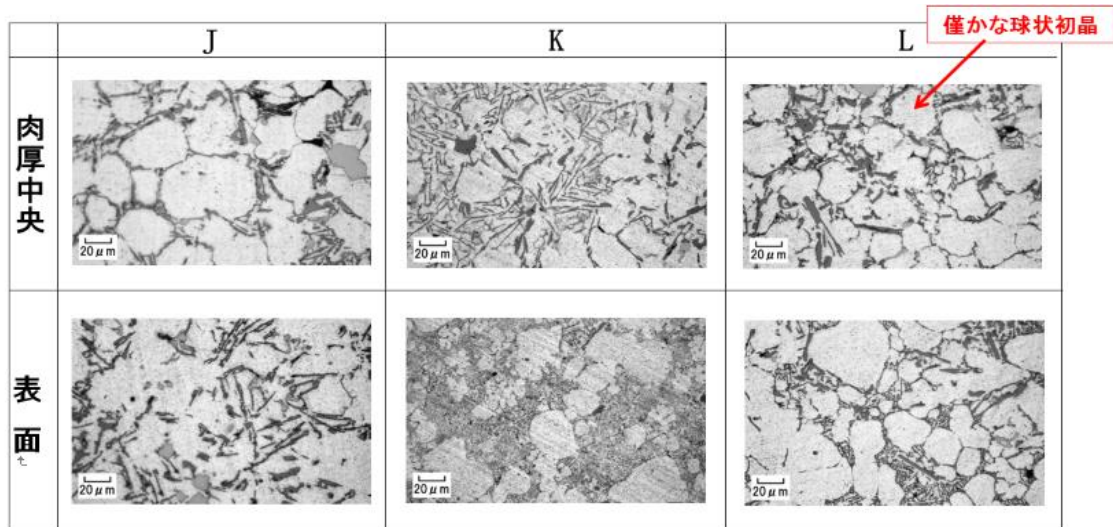






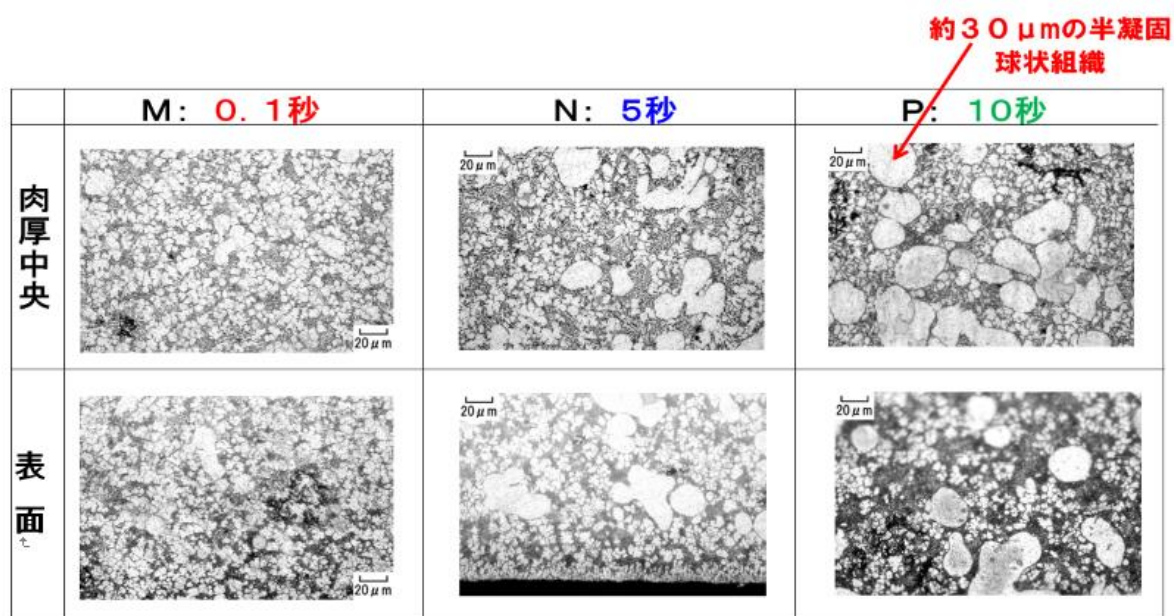
■エンドカバーのマイクロ組織

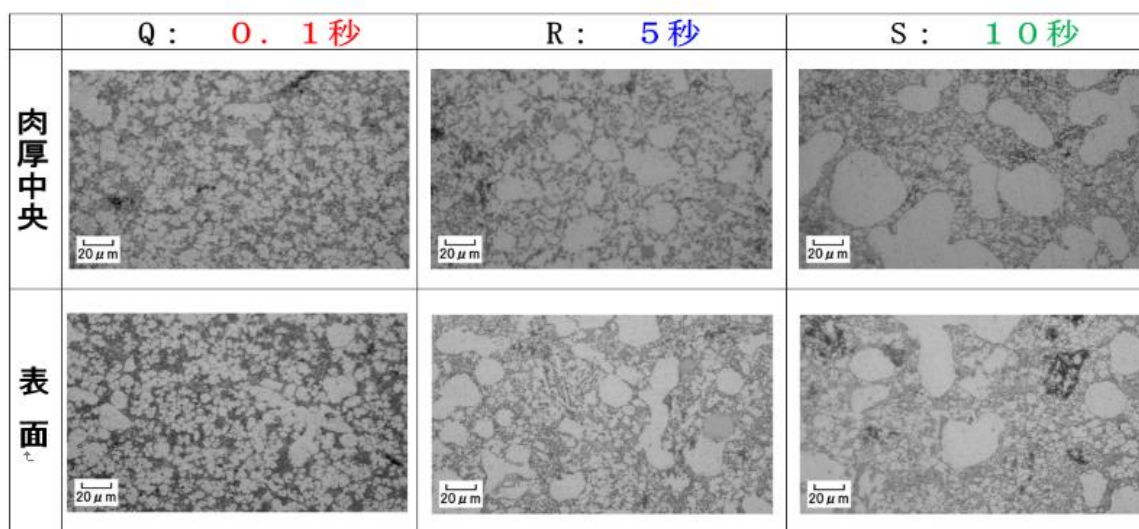




- ①外観およびマクロ観察の結果と半凝固を示す球状の初晶を有する組織間に明確な相関はないが、いくつかの試料の初晶 $\alpha$ には20~30 $\mu\text{m}$ の球状初晶が得られている。
- ②いくつかの共晶組織培地においても微細な組織となっている試料がみられ、半凝固鑄造法が初晶だけでなく共晶部にも効果を与え、伸び等に有利と考えられる組織が得られている。

■ベースEPBのマイクロ組織





- ①M・Qの射出遅延0.1秒の組織は極めて微細であるが、粒径 $20\mu\text{m}$ 程度の半凝固組織の量は少なく、数 $\mu\text{m}$ 大の液相からの急冷凝固組織が支配的であると考えられる。
- ②N・Rのスリーブ温度 $90^\circ\text{C}$ で射出遅延5秒の組織および、スリーブ温度 $215^\circ\text{C}$ で射出遅延10秒の組織Pには $20\sim 30\mu\text{m}$ の球状組織がみられ、半凝固組織がある程度生成されている。
- ③Sのスリーブ温度 $90^\circ\text{C}$ で射出遅延5秒の組織にも球状の半凝固組織がみられるが、粒径は $30\sim 50\mu\text{m}$ と大きい。その理由は明確ではないため、今後の調査が必要である。

#### ■給湯装置を用いたのスリーブ単体でのスラリー生成予備実験

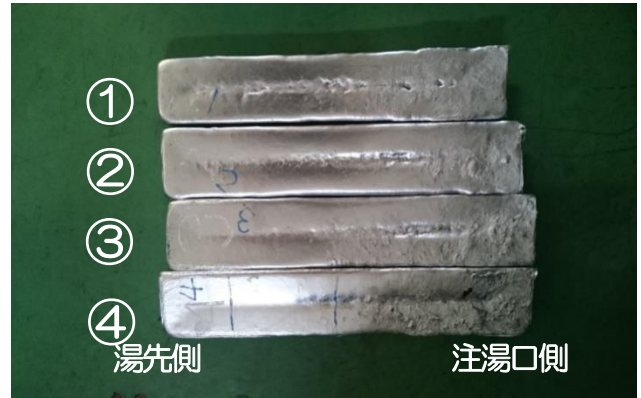
期末に給湯装置が設置されたのでスリーブ単体での注湯予備実験を実施したが、評価は未実施である。

今後、マイクロ組織の評価を行い、以後の実験条件の決定の判断材料としてゆく。

(注湯時スリーブ温度： $20^\circ\text{C}$ )

実験No.	溶湯温度*	注湯高さ	スリーブ径	铸込重量(g)	铸込体積( $\text{cm}^3$ )	铸込長(mm)	スリーブ充填率(%)
①	$650^\circ\text{C}$	150mm	$\phi 70$	1615	672.9	377	46.4
②	$625^\circ\text{C}$			1956	815.0	386	54.9
③	$645^\circ\text{C}$	250mm		1983	826.3	397	54.1
④	$660^\circ\text{C}$			1922	800.8	402	51.8

\*：溶湯温度は炉内溶湯温度、注湯開始時溶湯温度は未測定



### スリーブ単体での予備実験での問題点

- ①溶湯温度がどんどん上がってってしまう（保持用低燃焼バーナーの設定が高すぎる）
- ②レードル内の温度を測るのがむづかしい。（移動距離が長いので、温度センサーに長いコードが必要である）
- ③高い注湯位置からの注湯で、こぼれないように確実に注湯口に溶湯を入れるための調整が難しい。  
（低温のレードル内に樹脂ボールを入れて注湯動作をさせ、給湯口に入る様に調整すると湯こぼれがほぼ無くなり、実注湯時の微調整で安全に実験が実施できた）

(1-2) サブテーマ：小型設備での半凝固スラリーの安定生成条件と鑄造条件の確定

(平成27年度)

①スリーブ単体での生成試験の実施内容の検討

予備実験の結果を受け、誤差因子及び制御因子の決定と割り付けを行うが、構想としてはL9直交表(4因子×3水準)を用いて解析する。

信号因子は注湯高さとし、粒径との関係性を評価する。

制御因子は

A	給湯量
B	給湯温度
C	注湯パターン
D	注湯方向

誤差因子は、

N1	材料成分
N2	スリーブ内の粒径計測位置(スリーブ内粒径分布)

②その評価方法の検討

評価方法は、初晶粒径の望小特性で解析する

③実験段取りの構想から設計・制作

スリーブ単体での事件は、既存スリーブを用いて、今回導入した給湯装置での実験となる。

④スリーブ単体での生成試験の実施と解析・まとめ～確認実験

4月上旬の着工実施許可が出たのち、直ちに実施する。

⑤実鑄造試験の実施内容の検討

信号因子は鑄造品肉厚(重量)とし、水中重量との関係(密度)を評価する。

ただし、後々、転写性(寸法安定性)および引っ張り強度(確認実験時)での評価も予定する。

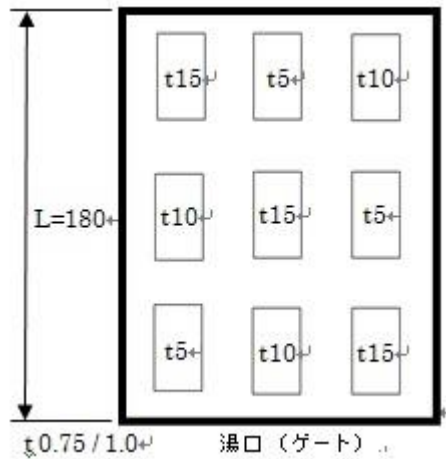
実験はL18直交表(8因子：2水準×1、3水準×7)を用いる。

制御因子は、

A	J 値 (ジェット噴流係数) = 300,500,700	$J = \rho \cdot D \cdot V^{1.71}$
B	低速射出速度	
C	溶湯固相率 (射出遅延時間)	$f_s = 8\%, 16\%, 24\%$ を基準として 検討
D	注湯ホッパーの有無および方式	
E~H	①でのスリーブ単体実験の結果を反映	

⑥実験型の構想から設計・制作

基本板厚 0.75mm と 1.0mm の板上に t5mm、t10mm、t15mm のブロックを各3個ずつ配置したものを用いる。



テストピース構想図

ガス (空気) の影響を排除するため、高真空鑄造で実験を行う。

基本板厚と充填長さの関係で、 $L/t$  が 180 と 240 となる実験型とする。

$L=180$ mm とするので、基本肉厚は 1.0mm と 0.75mm となる。

以上をうけ、誤差因子は下表となる。

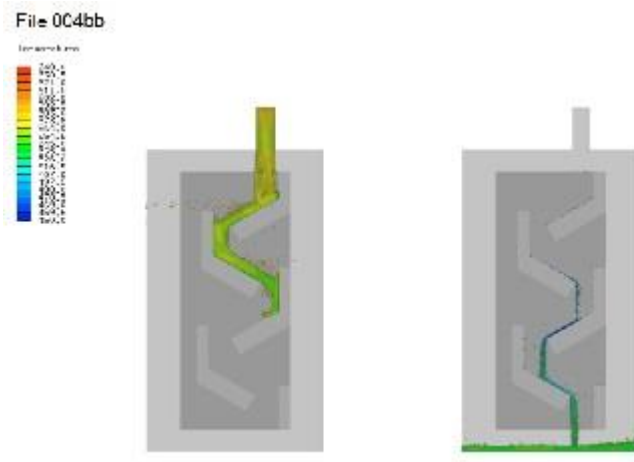
N1	$L/t = 180 (t_{1.0}), 250 (t_{0.75})$
N2	材料成分 (Si量)
N3	$t_{15}, t_{10}, t_5$ の位置

⑦実験装置の検討

L18実験の構想から、注湯装置部品 (ホッパー) の仕様決定を行う。

## ⑧実験装置の構想から設計・制作

注湯装置部品（ホッパー）の設計を行った。設計にあたっては安西研究室で開発・商品化された鋳造解析ソフトであるADSTEFANを用いて解析し、設計を確定した。

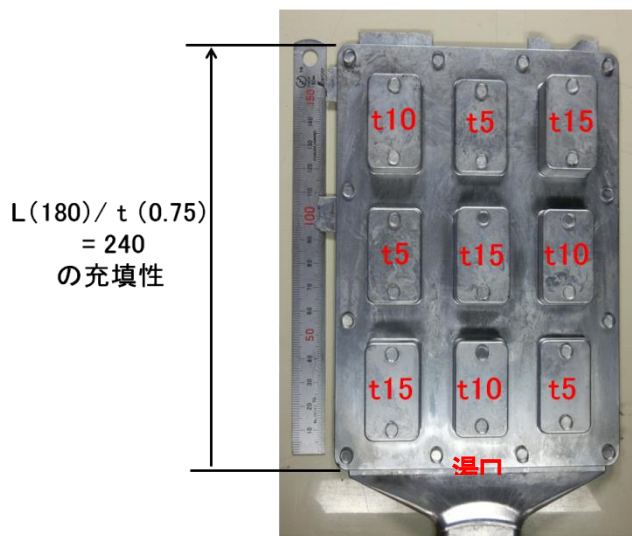


### （1-2-1）実験型の試運転（平成27年度）

実験型の試運転をかねた予備実験をおこない、同時に評価方法の検討を実施した。その結果、以下があきらかとなった。

1. 真空シールが不十分である事が分かり、施工方法を見直す必要がある
2. ADC 1 2材の標準的半凝固組織が明らかになっておらず、評価が曖昧である
3. 半凝固組織を定着評価する実験方法を確立する必要がある
4. 特異組織が出現し、通常の半凝固組織との出現条件の差および、その組織の物性値の差を調査し、これまでの半凝固組織との優位差をあきらかにすることが望ましい。





上図に示すのが実験型による鋳造品である。

厚肉部の充填が、湯口から近くても遠くても安定的に行われる条件を見出すことが目的である。

この実験では真空のためのシールが不十分であることがあきらかとなった。

また、鋳造組織を評価したところ、

- ①明確な半凝固組織を見いだす基準 が不明確で、評価があいまいになる
- ②これまで見たことのない、特異な組織が見つかった。

この特異組織は、調査の結果、豊田工業大学の恒川先生の論文に唯一みられ、この論文では高圧下での凝固が原因とされているが、普通ダイカストでも同等の高圧下凝固であるが発生はしておらず、半凝固鋳造のある条件下で発生する現象であると思われる。

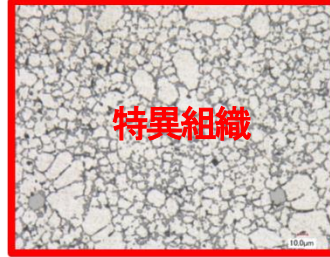
また、恒川先生のところで見られた組織と比較すると、今回の我々の組織は極めて微細であり、スリーブ法による半凝固組織の特徴を継承していることも特徴である。

光学顕微鏡

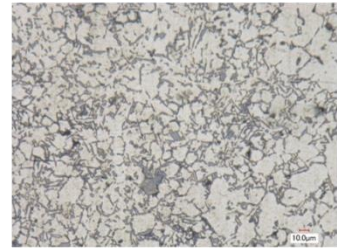
① t:5mm、ゲートから遠い(145mm)



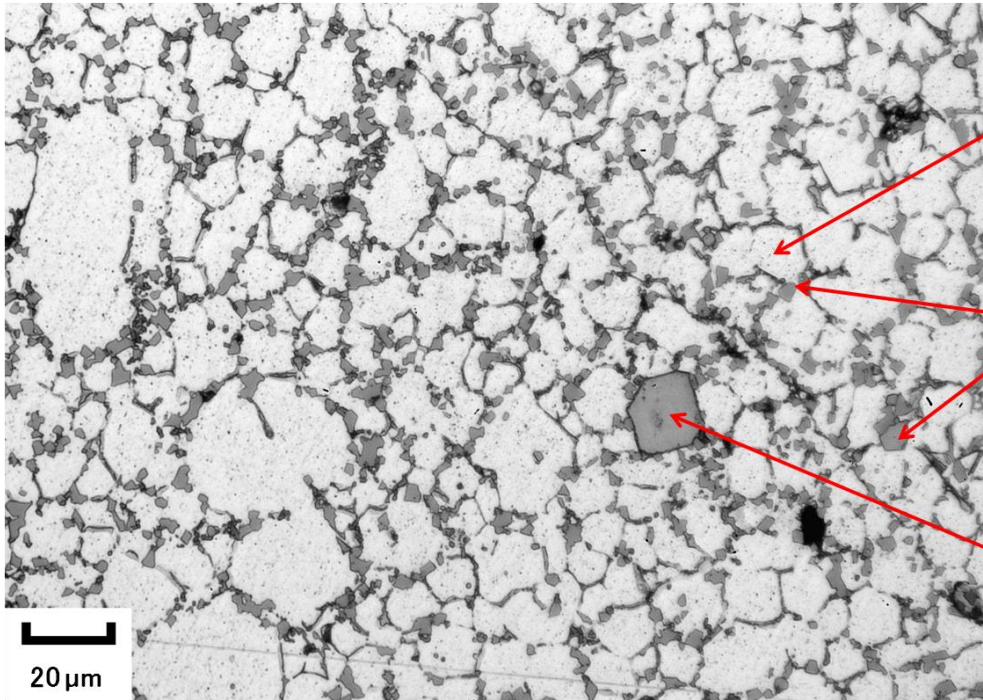
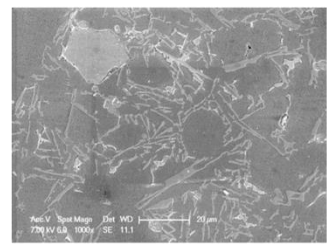
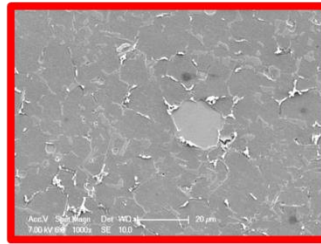
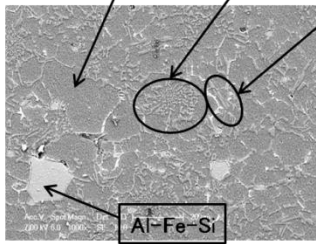
② t:15mm、ゲートから遠い(145mm)



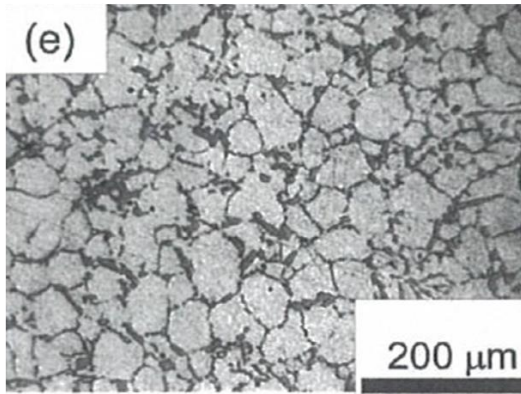
③ t:15mm、ゲートに近い(35mm)



SEM 初晶 $\alpha$  共晶 初晶Si



いわゆる通常の共晶組織が無く、粒状の初晶 $\alpha$  (Al)と、その粒間に過共晶合金の様な初晶 $\beta$  (Si)的組織(きわめて微細)が出現



Al-12Si 合金 + 超音波加振 + 水中急冷

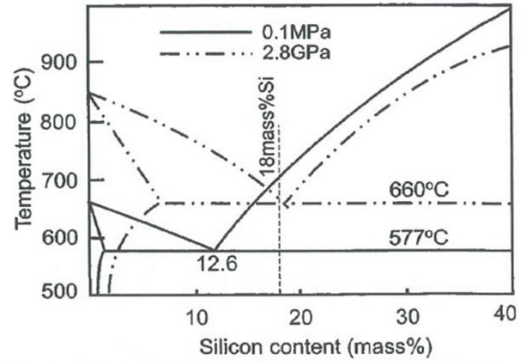


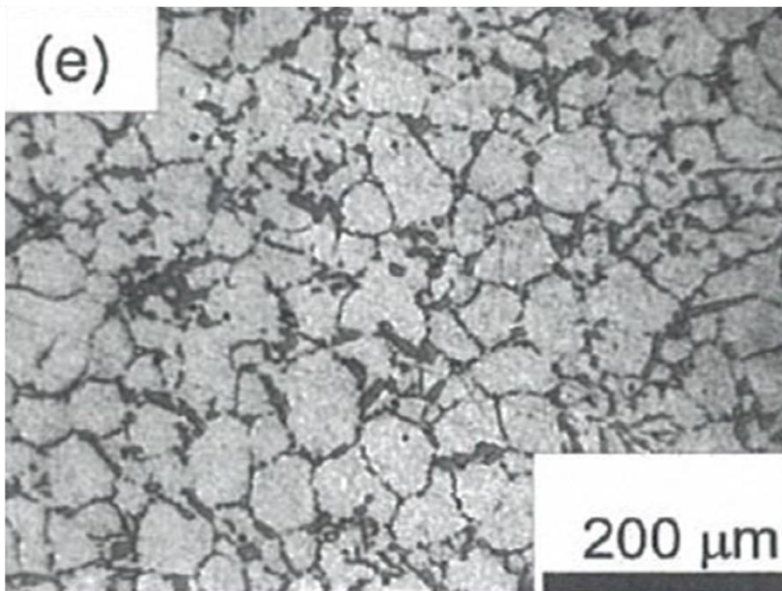
Fig. 7 Phase diagram of Al-Si system at ambient pressure and high pressure<sup>14)</sup>

高圧下におけるAl-Si系平衡状態図  
藤城ら 材料20(1971) 952

この論文では、超音波キャビテーション(1GPa以上といわれる)による局所的な高圧場の影響により初晶へのSi固溶度が上がり、塊状Siのある組織が発現したのではないかと推定している。

我々の今回の実験は、ダイカスト鑄造による0.08 GPa(80 MPa)加圧+急冷凝固であり、圧力は1/10以下であるが、類似の現象がおきていると推定される。

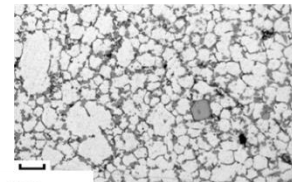
しかし、常に出現するわけではなく、さらに限定的な条件が必要であると推定される。



超音波加振による半凝固スラリー生成 → 注湯 → 水冷凝固

超音波加振法による半凝固組織の球状化組織の粒径は100 μm程度がこれまでの実績であり、今回の組織もその実績に順じた組織径となっている

スリーブ法による組織は微細になることは既知であるが、特異組織の形態は相似である。



20 μm

スリーブ法による半凝固スラリー生成 → 射出鑄造

スケールサイズを合わせた組織写真

試料No.	湯温(°C)	射出タイム ラグ (.sec)	スリーブ温 度 (°C)	低速射出速度	0.15	m/s
①量産条件	670	0.1	265	高速射出速度	2.5	m/s
②		5.0		チップ/ゲート比	19.0	
③		10.0		昇圧時間	45.0	ms
④	640	0.1	400	鑄造圧力	75.0	MPa
⑤		0.1	280			
⑥		2.5	320			
⑦		5.0	360			
⑧	600	0.1	275			
⑨		2.5	370			
⑩		5.0	365			

溶湯量:1110g  
(スリーブ充填率:28.6%)



(調査実験) 量産型を用いての欠陥低減実験と評価

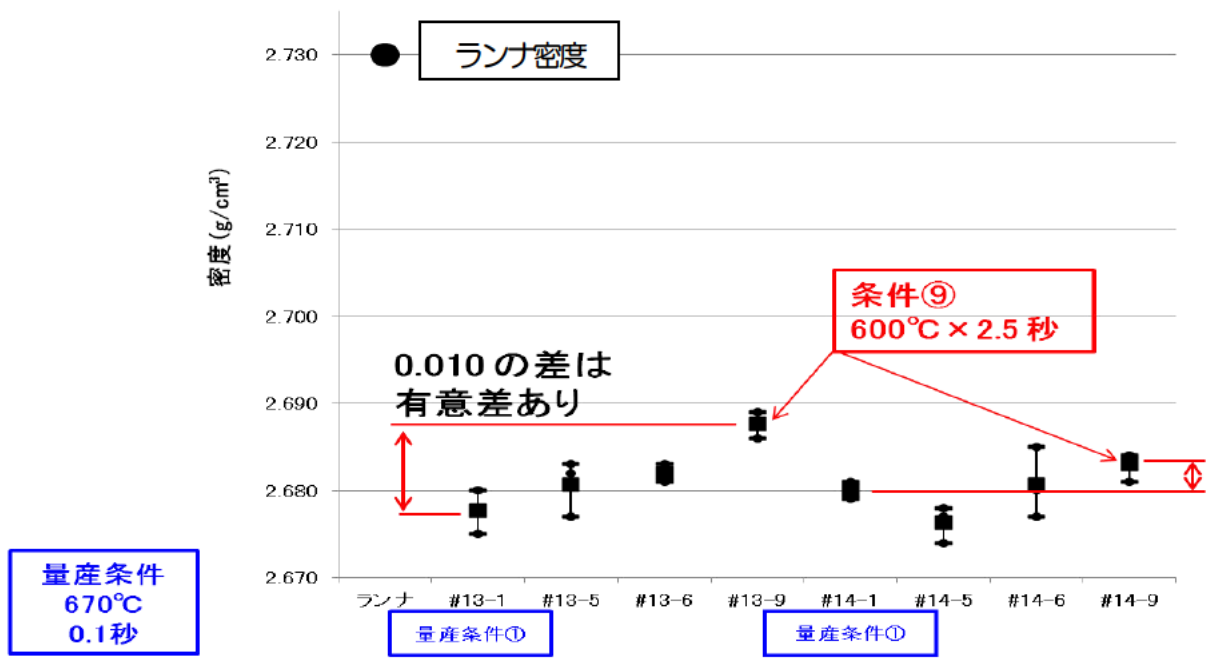
諸段取りの準備期間中に、量産型を用いての鑄造実験と評価を実施した。

その結果、

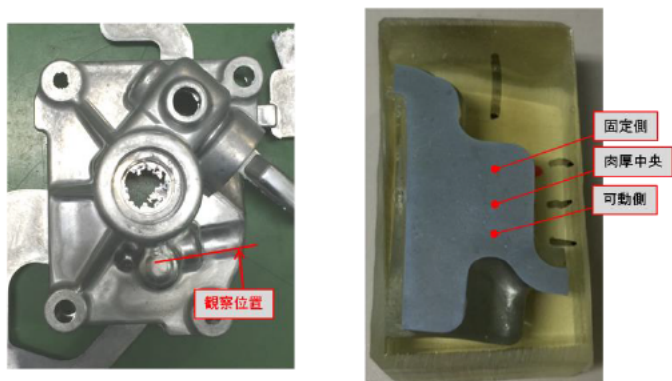
- ①充填時の固相率が定量出来た
- ②低温注湯で密度の向上が確認できた。これは充填完了後の凝固収縮量が少なくなって、密度向上したためと考えられる。
- ③低温注湯品のX線CT装置による欠陥抽出解析でも、欠陥量の低減が確認できた。
- ④密度評価による欠陥量評価とX線CT装置による欠陥量評価の値には大きな差がある事が分かった。

密度評価では極めて微細な欠陥まで評価できるが、X線CT装置による欠陥抽出では抽出できる欠陥がある程度の大きさ以上に限られる事によるものである。

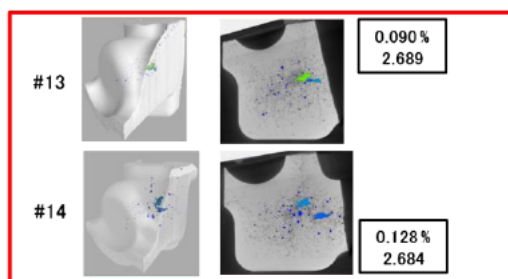
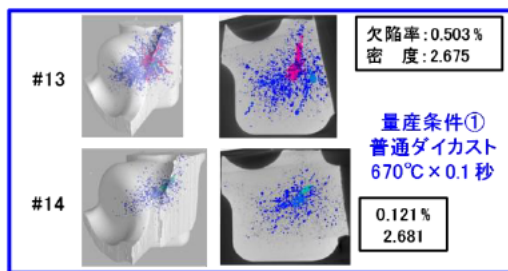
鑄物の根本的な品質評価やプロセスの評価には密度法が適しており、実製品における合格基準に対して評価するにはX線CT装置による評価が適している事が分かった。



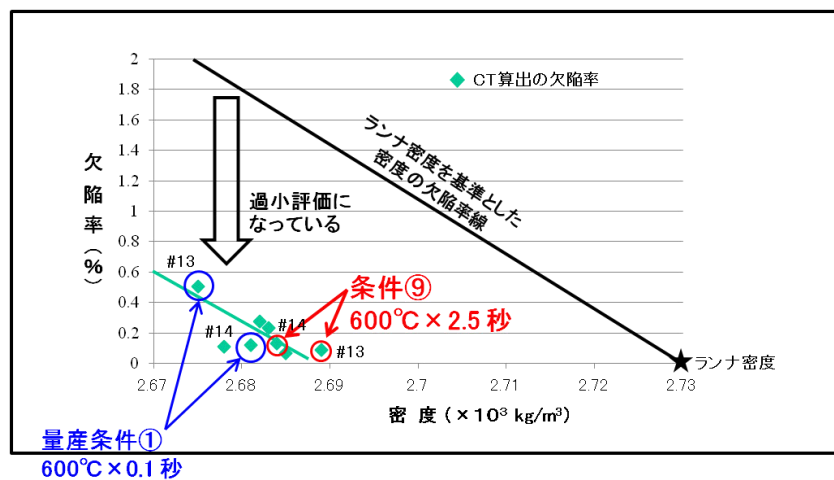
密度評価では、0.010の差があり、あきらかに緻密化しているといえる



評価位置

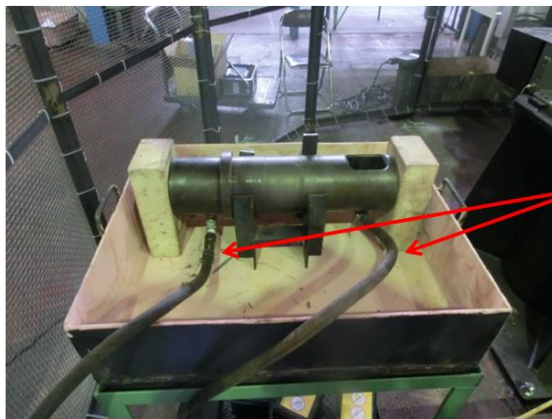


X線CT装置による欠陥抽出評価結果

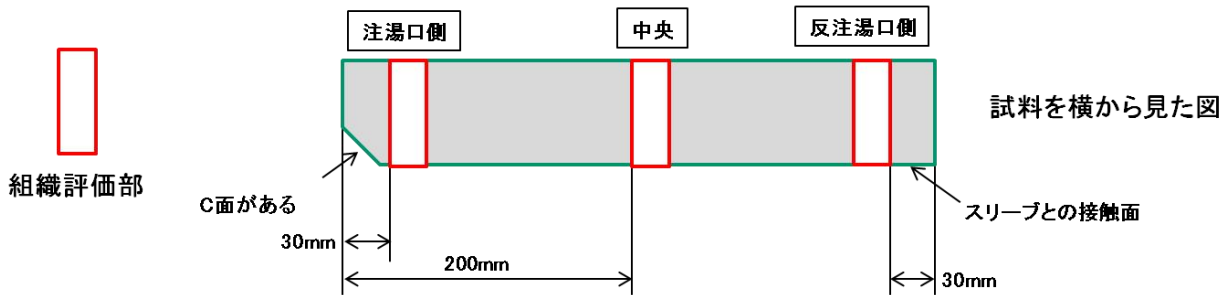


×線CT装置による欠陥率と密度評価による欠陥率には大きな差があるが、アイシングループの研究者による助言によると、Spring 8 によるCT撮像評価でも密度評価とは大きく離れた値になるとのことであり、欠陥の根本的な評価と、良・不良品の仕分け的な評価と分けて使うことが良いとのことであった。

(1-2-2) スリーブ単体でのスラリー生成実験 (平成27年度)

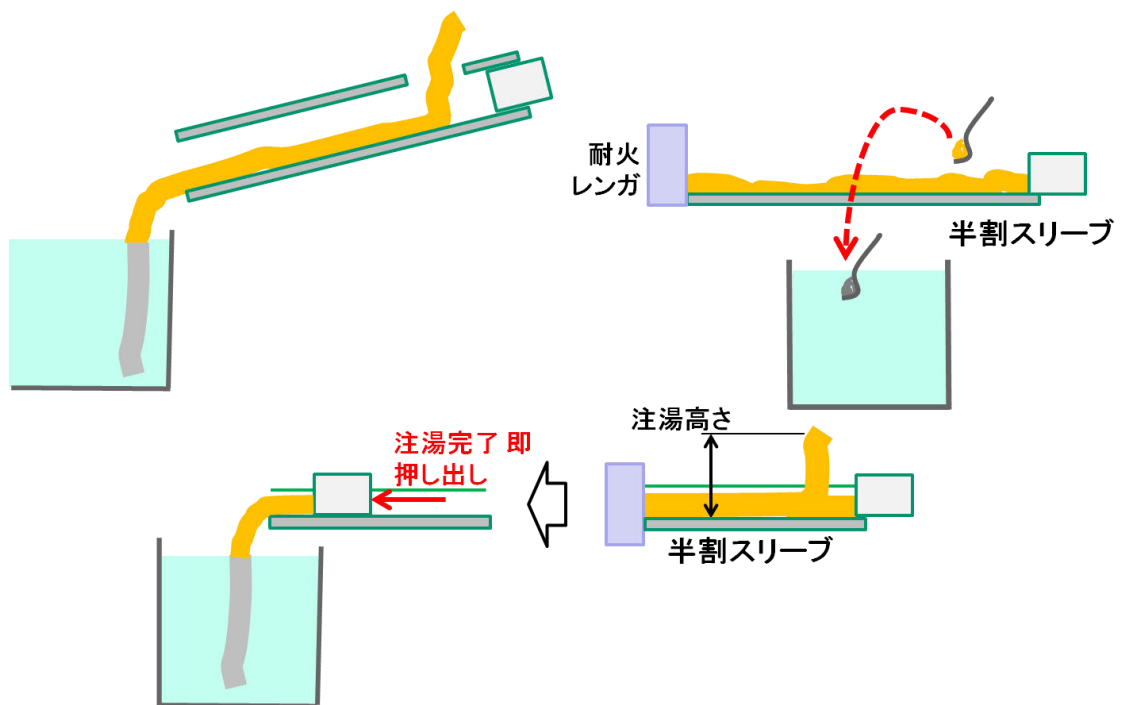


油温調  
配管

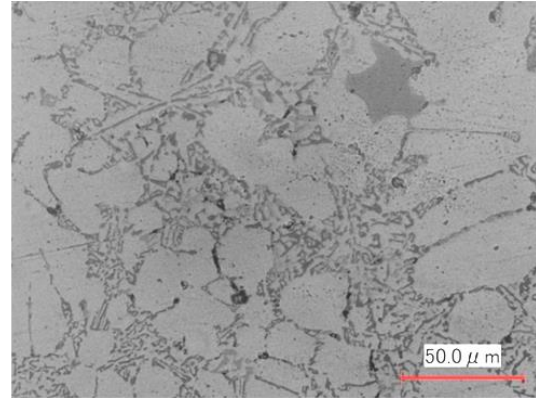
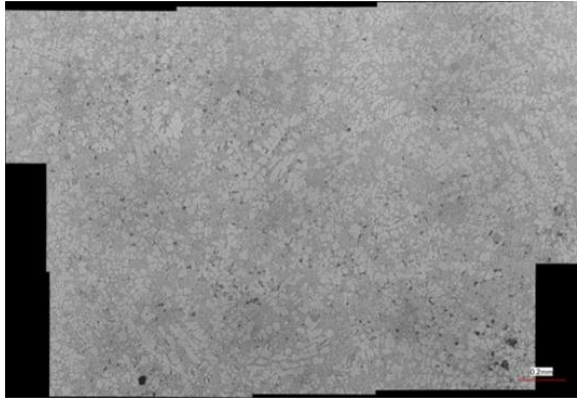


スリーブ単体でのスラリー生成実験を実施したが半凝固組織を確認することができなかった。

東北大学との検討結果より、スリーブ内で放置凝固させたことにより、半凝固組織が再溶解して消失したためと分かり、実験方法を変更することとなった。

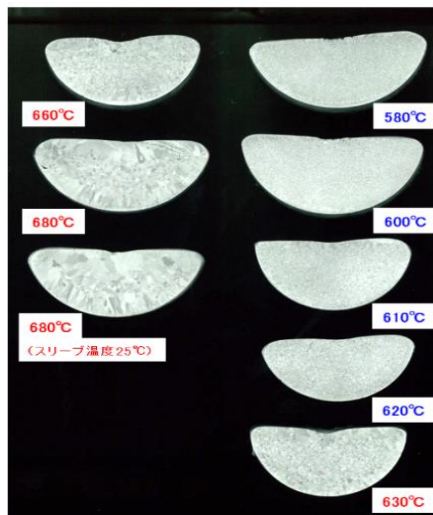


その結果、上記のいずれの方法でも半凝固組織の定着が可能であることが分かったが、実験の確実性と共通性を得るために、注湯後即時に押し出して水冷する方法を採用することとした。



注湯後即時に押し出し水冷した凝固組織

次図は最初に実施した放置凝固させた試料のマクロ組織である。620°C以下の低温注湯では全体が均一で微細な等軸晶のような凝固組織となっている。



低温注湯では、全体がほぼ同時に凝固開始温度に到達し、全体がほぼ同時に凝固を始めることで、このような凝固組織になったと考えられる。

本来、ADC12材は表皮形成型の凝固をするので、630°C以上の注湯温度の組織に見られるように、スリーブとの接触面からの柱状晶と中央部の等軸晶で構成されるのがこれまで一般的とされる凝固組織である。

高温注湯では、溶湯全体が大きな過熱度を有することから、スリーブ壁からの冷却による凝固成長部と、中央の未凝固液相部分が同時に存在するような、大きな温度勾配をもった状態で順次凝固がなされた結果である。

実铸造ではこの実験のような緩慢な凝固にはならないが、低温注湯の溶湯は、このような素性の差を有していると考えられる

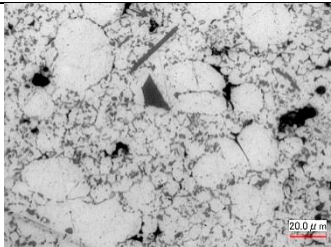
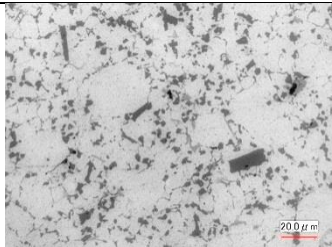
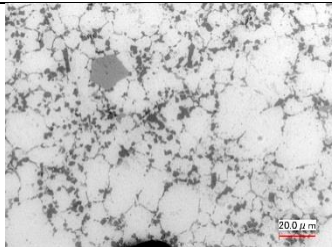
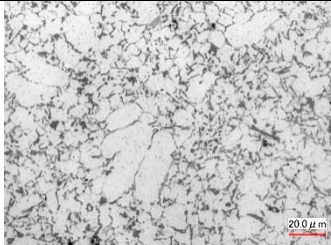
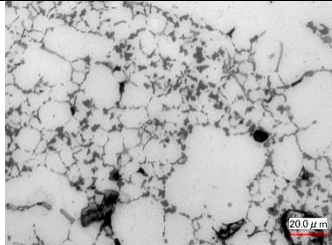
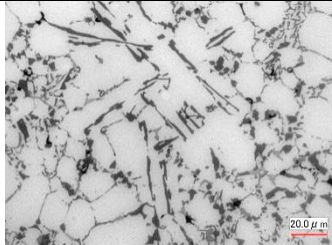

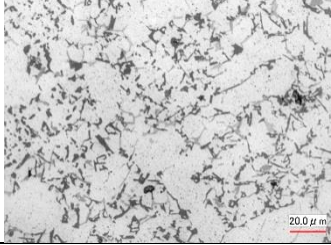
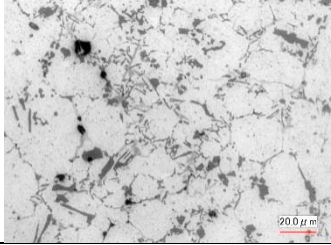


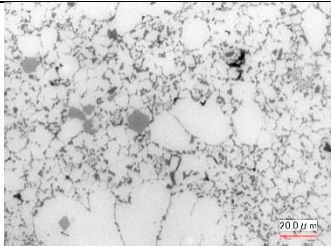
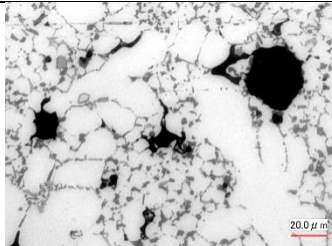
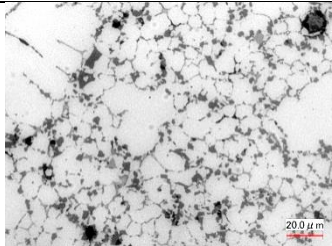
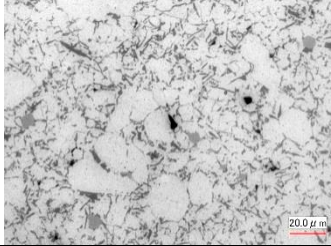
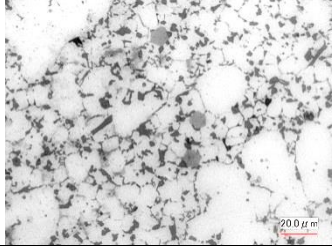
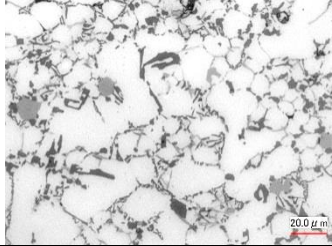
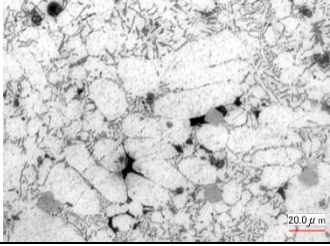
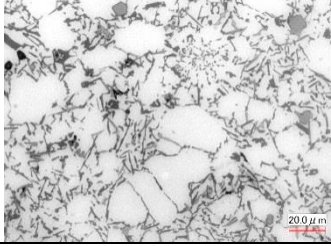
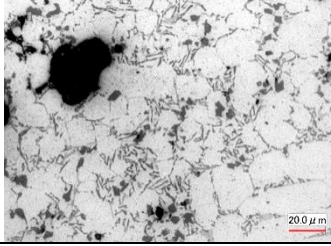
⑧実験装置の構想から設計・制作

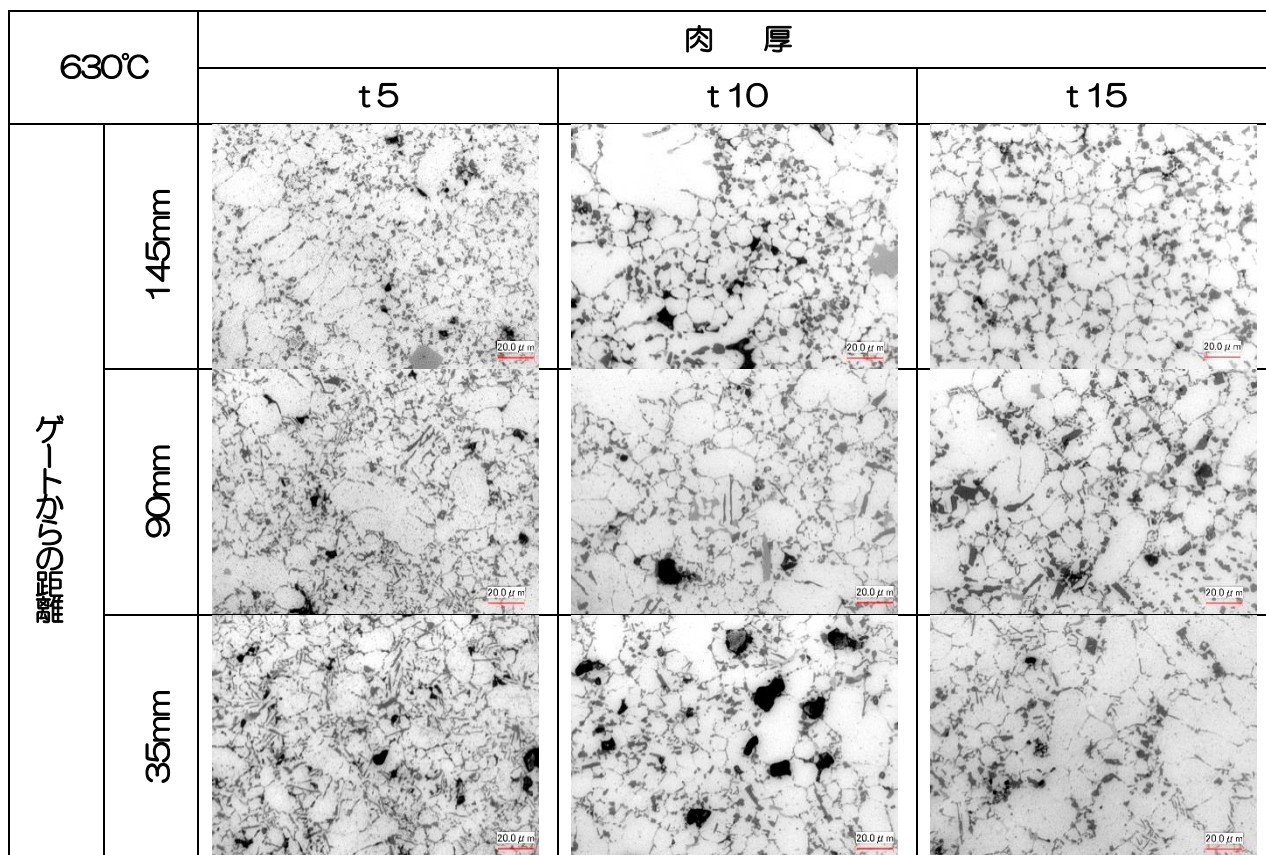
冷却注湯装置（樋または冷却板）の設計・製作を行った。



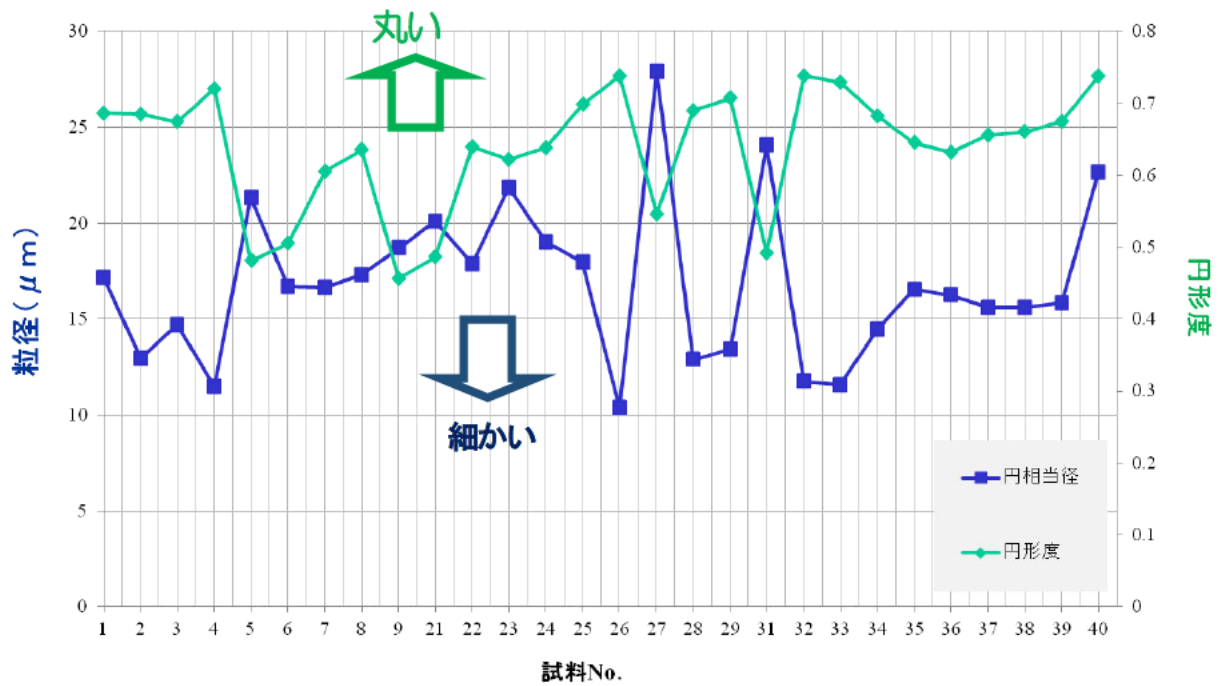
H27年度 実験型による半凝固鑄造組織

590°C		肉厚		
		t5	t10	t15
ゲートから 距離の距離	145mm			
	90mm			
	35mm			

610°C		肉厚		
		t5	t10	t15
ゲートから 距離の距離	145mm			
	90mm			
	35mm			

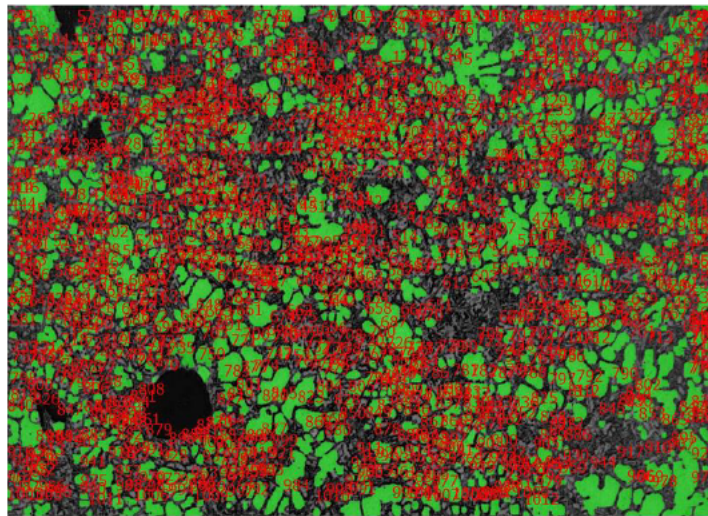


試料No.	円相当径				円形度				個数
	最小値	最大値	平均値	標準偏差	最小値	最大値	平均値	標準偏差	
1	5.49	57.407	17.166	9.202	0.096	0.912	0.686	0.192	346
2	4.253	43.643	12.956	7.151	0.137	0.902	0.685	0.182	586
3	6.705	54.484	14.705	7.225	0.129	0.923	0.674	0.188	512
4	3.17	49.832	11.488	7.931	0.128	0.921	0.72	0.185	695
5	9.363	139.348	21.328	14.965	0.022	0.902	0.481	0.212	304
6	9.39	52.395	16.679	7.226	0.097	0.907	0.505	0.19	376
7	6.687	62.235	16.65	10.265	0.091	0.901	0.605	0.21	435
8	6.705	59.341	17.302	9.001	0.16	0.967	0.635	0.173	393
9	9.39	69.159	18.7	10.382	0.056	0.903	0.456	0.221	374
21	9.363	61.704	20.078	9.884	0.045	0.885	0.486	0.204	312
22	9.416	44.889	17.877	7.034	0.165	0.932	0.639	0.191	265
23	10.099	97.444	21.851	12.307	0.085	0.807	0.622	0.191	302
24	4.728	63.294	19.01	10.404	0.125	0.948	0.638	0.203	385
25	5.802	53.373	17.95	8.135	0.148	0.956	0.698	0.174	396
26	4.041	53.123	10.38	6.081	0.089	0.931	0.738	0.173	1012
27	14.042	116.424	27.877	16.193	0.089	0.867	0.546	0.2	167
28	2.506	77.457	12.875	9.965	0.058	0.92	0.69	0.202	702
29	5.086	81.439	13.407	10.099	0.115	0.92	0.707	0.185	559
31	14.113	84.146	24.045	13.101	0.096	0.892	0.492	0.193	133
32	3.544	51.312	11.734	0.169	0.124	0.936	0.738	0.169	744
33	4.072	49.99	11.567	6.671	0.13	0.915	0.729	0.164	764
34	6.014	62.928	14.473	9.231	0.113	0.925	0.682	0.19	514
35	6.014	78.463	16.55	11.859	0.067	0.893	0.645	0.22	439
36	8.066	49.259	16.23	8.176	0.144	0.912	0.632	0.196	413
37	6.014	128.776	15.598	12.754	0.049	0.931	0.656	0.221	534
38	6.014	85.37	15.608	11.409	0.069	0.902	0.66	0.21	445
39	6.014	73.056	15.832	10.987	0.098	0.899	0.675	0.195	446
40	6.579	66.072	22.618	9.982	0.188	0.925	0.737	0.164	490



No. 26  
(×100)

610°C  
35%  
350mm



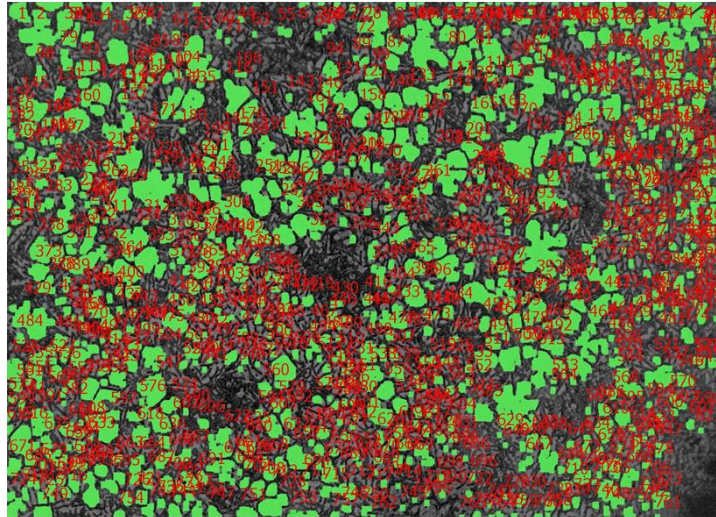
名称	フェレ水平Ⅱ	フェレ垂直Ⅱ	フェレ径比Ⅱ	物体幅最大	物体幅最小	物体幅平均	面積 μm <sup>2</sup>	円相当径	円形度
最小	2.221	2.221	13.183	2.221	0.444	2.221	12.823	4.041	0.089
最大	101.24	55.845	46.623	55.226	5.776	27.299	2216.43	53.123	0.931
範囲	99.019	53.624	33.44	53.005	5.331	25.079	2203.61	49.082	0.842
平均	12.739	9.403	38.951	8.924	2.8	6.758	113.672	10.38	0.738
合計	12891.6	9515.89	39418	9031.16	2833.37	6839.36	115036	10504.9	746.598
標準偏差	10.405	6.362	6.566	5.823	1.687	3.2	174.916	6.081	0.173
サンプル数	1012	1012	1012	1012	1012	1012	1012	1012	1012

最も粒子数の多い試料

画像解析ソフトによる結晶粒解析

No. 33  
(×100)

630°C  
20%  
350mm



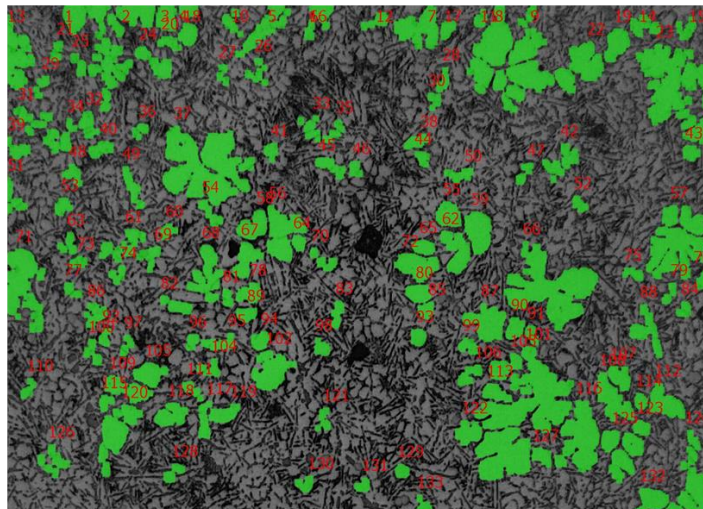
μm

名称	フェレ 水平Ⅱ	フェレ 垂直Ⅱ	フェレ 径比Ⅱ	物体幅 最大	物体幅 最小	物体幅 平均	面積	円相当径	円形度
最小	2.665	2.665	12.707	2.665	0.445	2.665	13.02	4.072	0.13
最大	84.744	58.317	46.466	50.038	7.995	28.574	1962.73	49.99	0.915
範囲	82.079	55.652	33.759	47.373	7.55	25.909	1949.71	45.919	0.785
平均	13.811	10.514	39.215	9.97	3.402	7.696	140.035	11.567	0.729
合計	10551.4	8032.84	29960	7616.76	2599.16	5879.79	106987	8836.99	556.635
標準偏差	10.893	7.392	6.423	6.625	2.061	3.635	194.541	6.671	0.164
サンプル数	764	764	764	764	764	764	764	764	764

2番目に粒数の多い試料

No. 31  
(×100)

630°C  
20%  
150mm



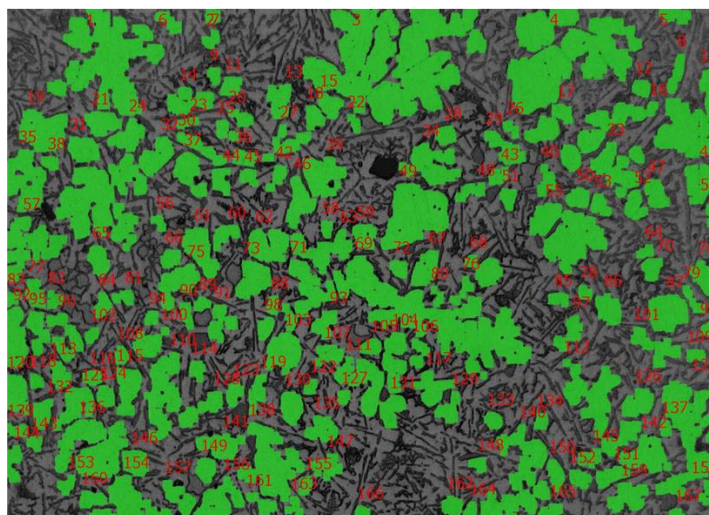
μm

名称	フェレ 水平Ⅱ	フェレ 垂直Ⅱ	フェレ 径比Ⅱ	物体幅 最大	物体幅 最小	物体幅 平均	面積	円相当径	円形度
最小	13.325	11.088	18.886	9.363	0.444	6.589	156.442	14.113	0.096
最大	133.74	98.604	48.005	95.941	7.107	52.326	5561.1	84.146	0.892
範囲	120.415	87.517	29.119	86.578	6.663	45.737	5404.66	70.033	0.796
平均	34.546	23.29	34.393	21.118	1.324	13.654	588.879	24.045	0.492
合計	4594.58	3097.52	4574.26	2808.7	176.101	1816.03	78320.9	3197.98	65.387
標準偏差	20.719	14.746	6.218	13.699	1.625	8.236	845.064	13.101	0.193
サンプル数	133	133	133	133	133	133	133	133	133

最も粒数の少ない試料

No. 27  
(×100)

610°C  
50%  
150mm



μm

名称	フェレ水平Ⅱ	フェレ垂直Ⅱ	フェレ径比Ⅱ	物体幅最大	物体幅最小	物体幅平均	面積	円相当径	円形度
最小	11.548	9.674	15.734	9.053	0.444	6.79	154.864	14.042	0.089
最大	213.203	109.58	49.682	106.308	12.881	64.857	10645.8	116.424	0.867
範囲	201.655	99.906	33.948	97.254	12.436	58.067	10490.9	102.382	0.778
平均	39.503	26.764	35.145	24.586	1.866	16.129	816.277	27.877	0.546
合計	6597.06	4469.61	5869.28	4105.83	311.545	2693.51	136318	4655.43	91.149
標準偏差	28.94	17.317	6.295	16.086	2.491	9.109	1295.06	16.193	0.2
サンプル数	167	167	167	167	167	167	167	167	167

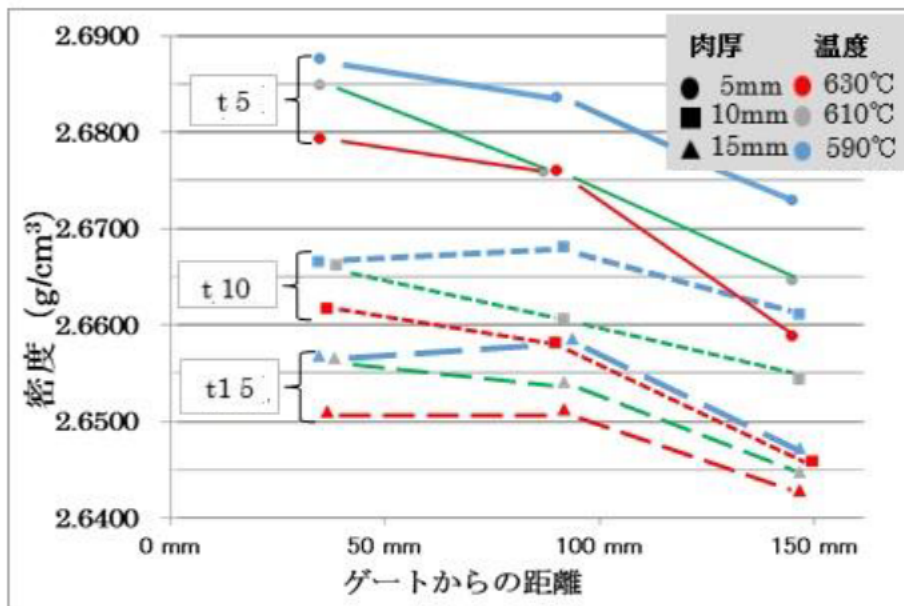
### 2番目に粒数の少ない試料

今回の小型設備での実鑄造実験結果より、現実的な注湯高さ150mmにおいて、注湯温度が590°Cの低温注湯において、10~15μmの粒径で円形度0.7以上の球状化組織が得られることがあきらかになった。

また、結果として、『微細=結晶粒数が多い=円形度が高い』という関係があきらかになった。

上図より、どの肉厚においても、どの距離においても590°Cの低温注湯品が最も高密度となっており、これは凝固収縮によるひけ欠陥がもっとも少ないを示している。

以上より、現実的な150mm高さの注湯において、590°Cの低温注湯が最適であることがあきらかとなった。

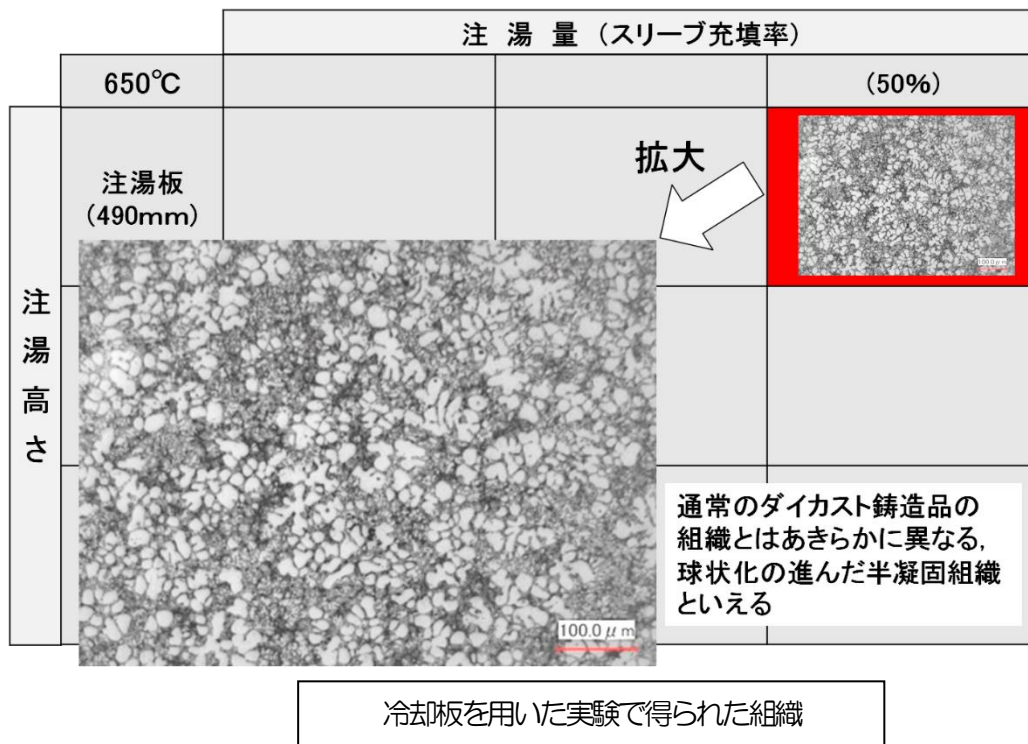


なお、下図に示すのは冷却注湯(板)装置を用いた実験であり、650°Cの高温注湯で、スリーブ充填率が50%の大容量の溶湯である。粒径は20 $\mu$ m強と、この実験の中では大きい方であるが、円形度は0.737とトップクラスの丸さを得ている。

これは、冷却注湯(板)装置の有効性の一端を示していると考えられ、実铸造試験でも再確認してゆきたい。



冷却板を用いた実験



## 含有ガス分析

下図に示す含有ガス分析装置にて試料の内包ガスの分析を行った。

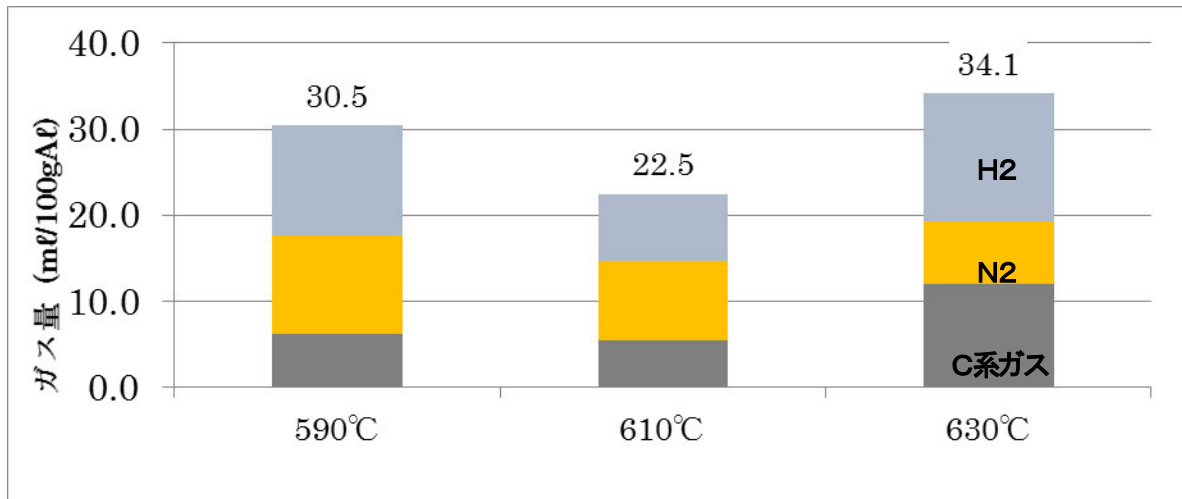
注湯温度によって含有ガス量に差がみられるが、その量および構成に明確な傾向がみられない結果となった。

H<sub>2</sub>は水分や潤滑剤、N<sub>2</sub>は空気の巻き込み、C系ガスは潤滑剤が原因であるが、さらなる調査が必要である。



含有ガス分析装置





含有ガス量と成分構成

(1-3) 大型設備実機での大量の半凝固スラリー生成の確立（平成28年度）

1) 下図に示すφ120 × L700 のスリーブを半割にしたものを用いて、大型ダイカストを前提とした大容量の注湯量での半凝固スラリーの生成実験を行った。

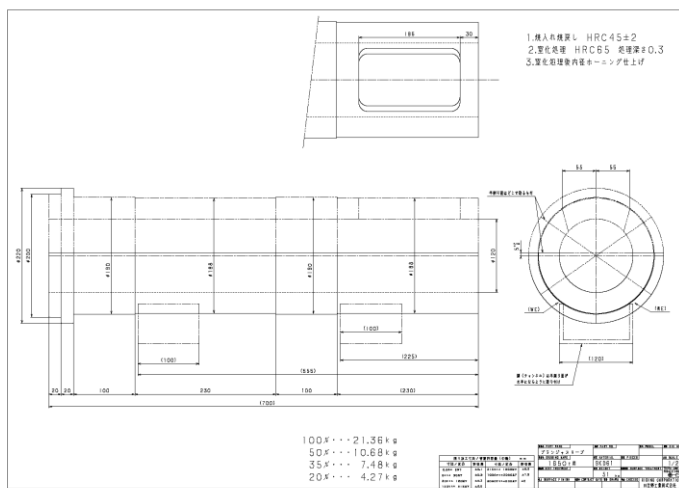
実験方法は、中・小型の生成実験で確立した、注湯直後に水槽中に押し出して水中で急冷凝固させる方法とした。注湯量は1915gで、スリーブ充填率は8.3%である。

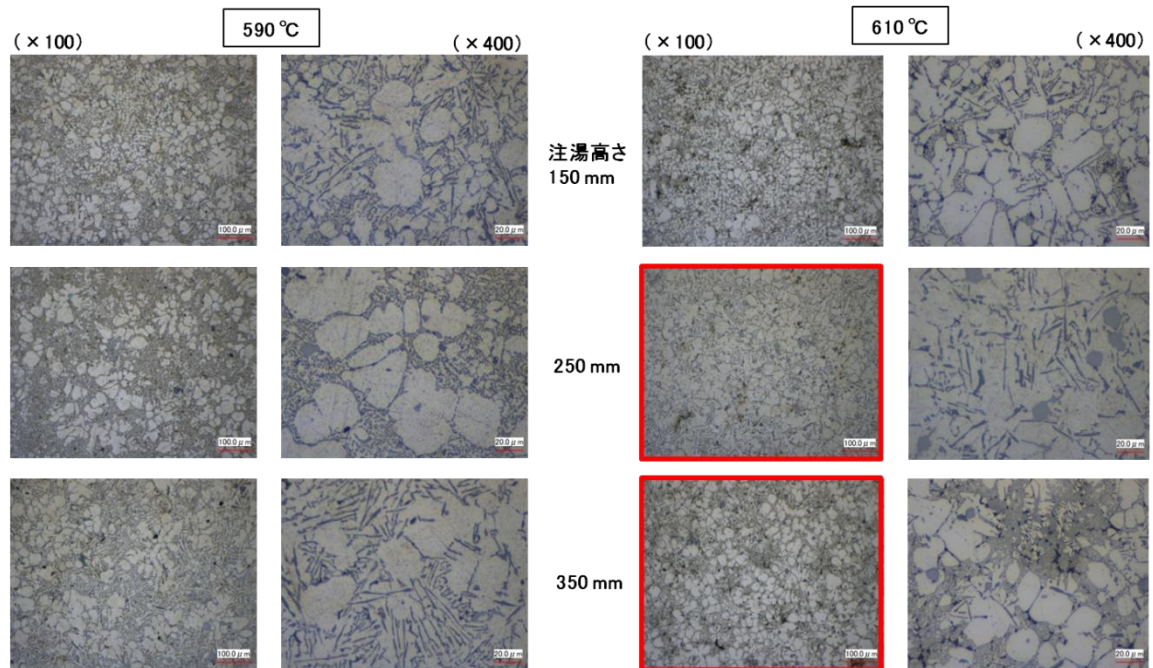
実験条件は、

注湯温度：590℃、610℃

注湯高さ：150mm、250mm、350mm

にて実施した。





この結果、注湯温度610°Cでの注湯高さ250mm と350mm において微細かつ球状化の安定した結果が得られた。

## 2) テストピース実験型でのスラリー生成試験

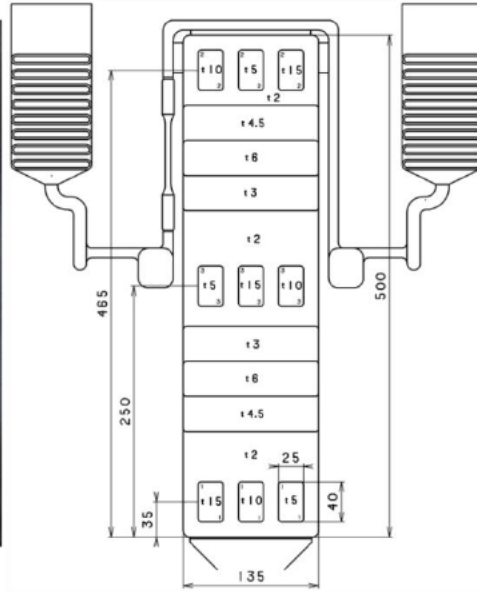
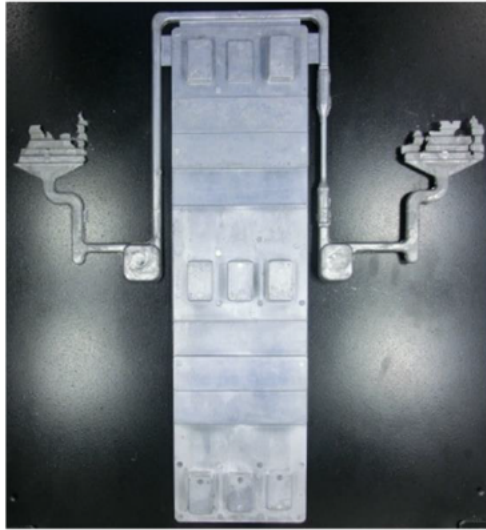
小型テストピース実験に続いて、大型テストピース実験を行った。

テストピースは流用した廃型の都合から「充填長  $L \div$  肉厚  $t$ 」で表される  $L / t = 225$  にて決定した（従来の薄肉部品群の  $L / t = 175$  程度）。

また、小型テストピースと同様に、 $t5$ 、 $t10$ 、 $t15$ の厚肉部を設けて、局部的厚肉部のゲートからの距離による影響をみられるようにした。

実験条件は表のように計画したが、高速射出速度2.1m/s はゲート(通過)速度が90m/s を越え、焼きつき等の不具合が発生したため未実施とした。また、注湯温度590°Cは、実験を行った

設備では溶湯保持炉中の溶湯に一部凝固が発生したことから、実験終了後の量産に不具合が発生する恐れがあるため未実施とした。



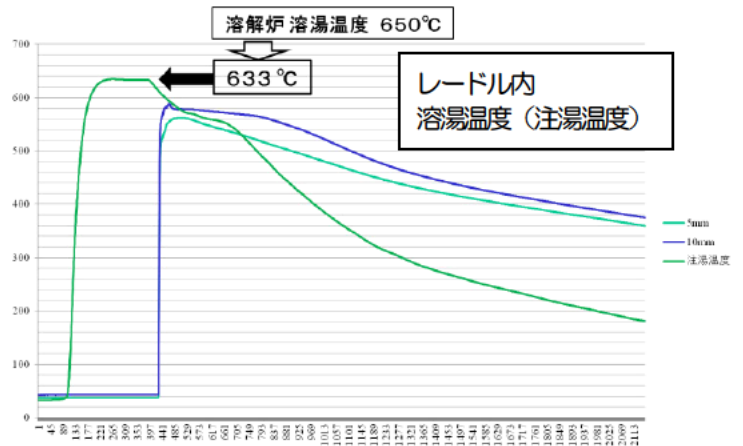
実験条件表

	350 t	800 t
チップ径	70 mm	100 mm
空打st	400 mm	565 mm
鑄込み重量	g	1914 g
充填率	%	17.26 %
ゲート比	52.5	42.9
溶湯速度	78.75 m/s (1.5 m/s時)	77.22 m/s (1.8 m/s時)

制御因子	水準		
	1	2	3
高速射出速度	1.5 m/s	1.8 m/s	2.1 m/s
注湯温度	590°C	610°C	630°C

実験条件

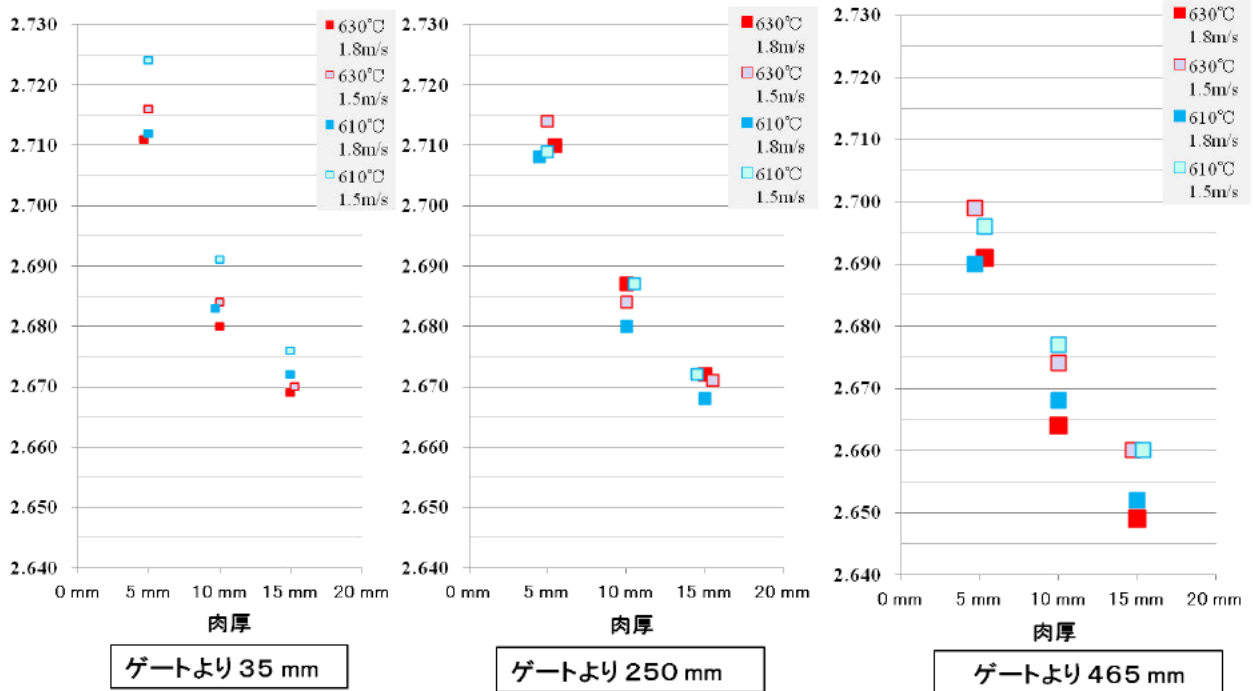
No.	高速射出速度	F1
1	1.5 m/s	590°C
2	1.8 m/s	590°C
3	2.1 m/s	590°C
4	1.5 m/s	610°C
5	1.8 m/s	610°C
6	2.1 m/s	610°C
7	1.5 m/s	630°C
8	1.8 m/s	630°C
9	2.1 m/s	630°C



590°Cと 2.1m/s を含む条件 (塗り潰し)

は実験を実施出来なかった

スリーブ先端での溶湯温度曲線



ゲートより35mmの位置では溶湯温度の低い610°Cの密度が若干高いが、ゲートから遠くなるにつれ、その差は小さくなる傾向がある

局部的厚肉部の密度

	ゲートから 35mm		ゲートから 465mm	
	610°C × 1.5m/s	630°C × 1.8m/s	610°C × 1.5m/s	630°C × 1.8m/s
t5				
t10				
t15				

局部的厚肉部の組織

注湯温度610℃ではスリーブ内で緩慢な凝固による粗大な組織がみられる。

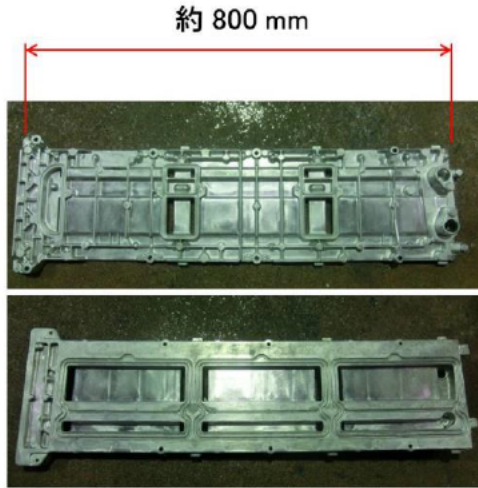
ゲートから一番遠い部位に半凝固特異組織がみられる。ただし、t5 部にはスリーブ内での緩慢な凝固で発生したと考えられる粗大な組織が若干みられる。

大型スリーブではスリーブ内で凝固進行してしまうと半凝固組織の出現率が下がる。

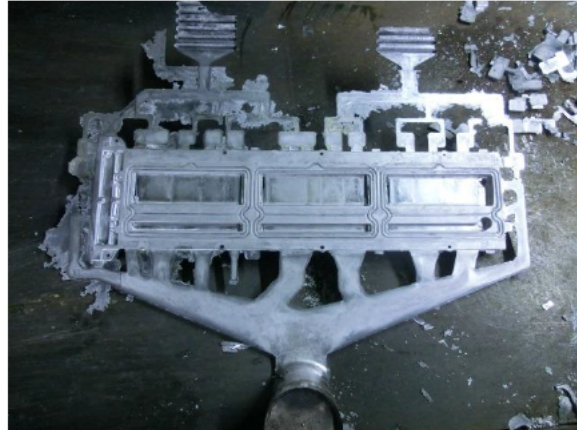
必ずしも注湯温度は低いほうが良いとはいえず、適切な温度を選定する必要があることが明らかとなった。

(2) 大型平板薄肉ヒートシンク試作品の鋳造性と品質の確立 (平成28年度)

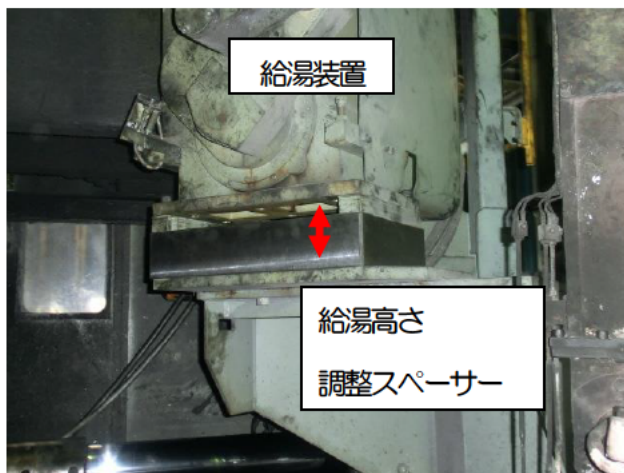
写真に大型平板薄肉ヒートシンク試作品を示す。



HV車用 液冷式 電気制御ケース  
(ヒートシンク)



鋳放し(ランナ付き)素材



給湯高さの変更状態

【2-1】第1回実験

実製品実験型を用いた鋳造実験では、①スリーブ内での溶湯の攪拌力を調整するための給湯高さの変更と、②低圧鋳造での鋳物品質を評価するため、増圧の有、無しを実験条件に加えて実施した。

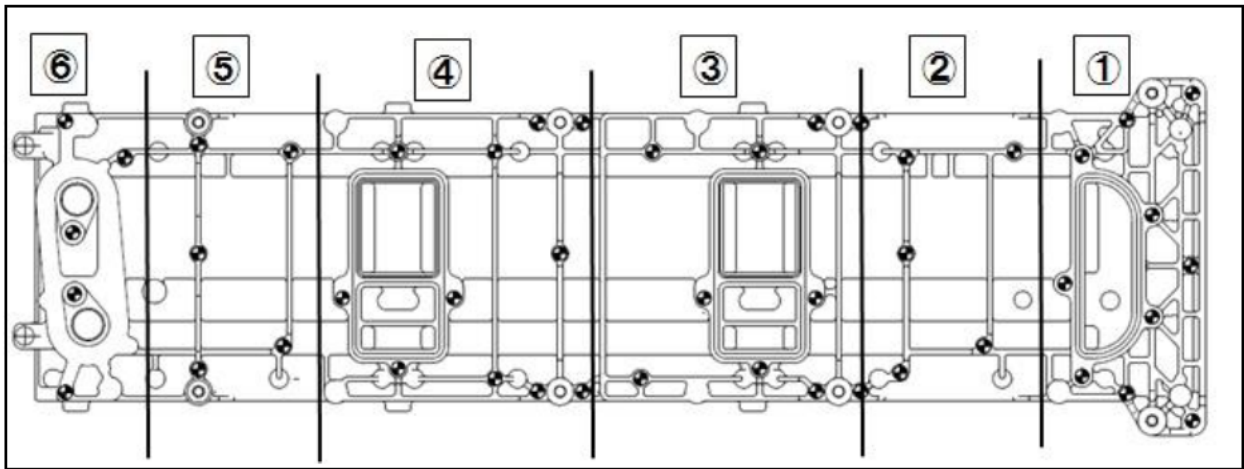
給湯高さは、注湯点からスリーブ底までの寸法を指し、標準状態の 100 mm に対して、+100mm と+200mm の3水準で実施した。

増圧有は鋳造圧力60MPa であり、増圧無しは鋳造圧力30MPa になる。

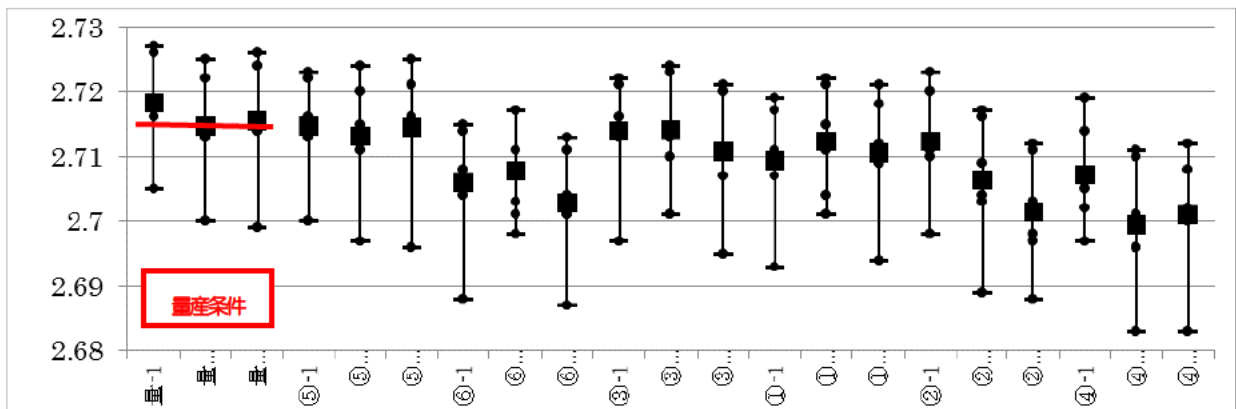
注湯温度以外的高速射出速度と高速射出区間距離は通常条件と同じ条件で実施した。

第1回 実験条件表

	保持温度	注湯温度	高速速度	高速区間	ダイタイム	給湯高さ	増圧
通常条件	700°C	670°C	22 m/s	190 mm	15 sec.	標準 (100mm)	有
条件①	630°C	600°C					有
条件②						無し	
条件③						有	
条件④						無し	
条件⑤						有	
条件⑥			無し				



試料分割区分



密度測定結果

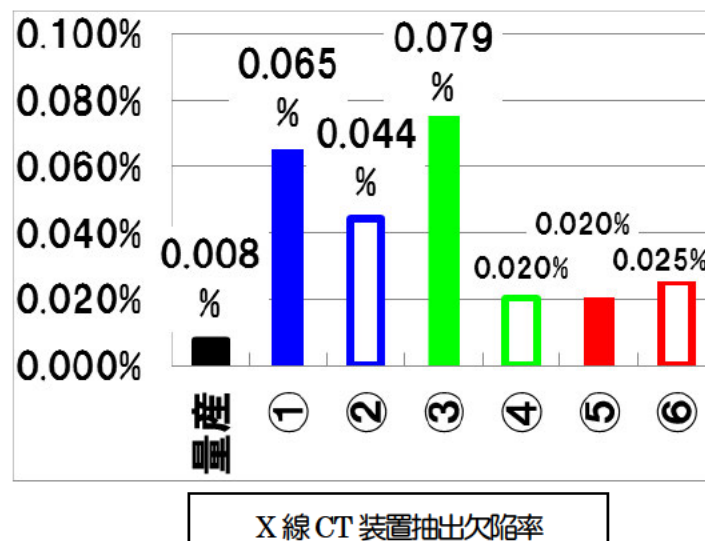
密度測定結果では、量産条件が最も高い結果となり、半凝固条件は何れも量産条件には届かなかった。また、増圧無しは増圧有に比べて低い密度となった。



X線CT装置により抽出した欠陥率では量産条件品の欠陥率が最も低く、半凝固鑄造品のどの条件も量産条件品の3~10倍の値となった。また、増圧無しの②④条件は、それぞれ増圧有の①③条件より低い値となった。本来なら、増圧有が有利であるがさらなる調査が必要である。

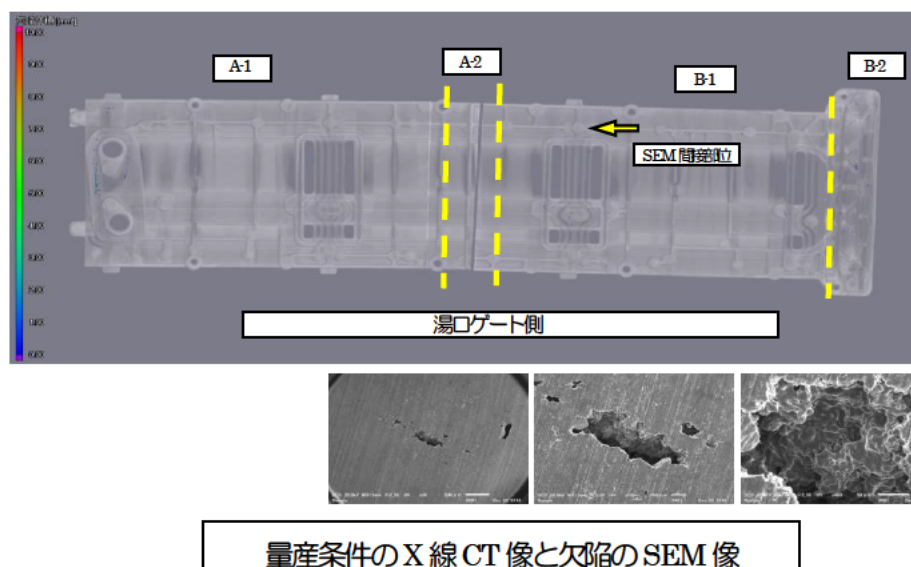
⑤⑥条件は増圧有・無しともに低い値となったが、条件の違いとの関係はさらなる調査が必要である。

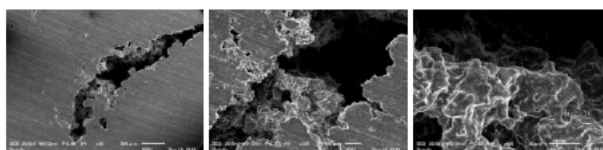
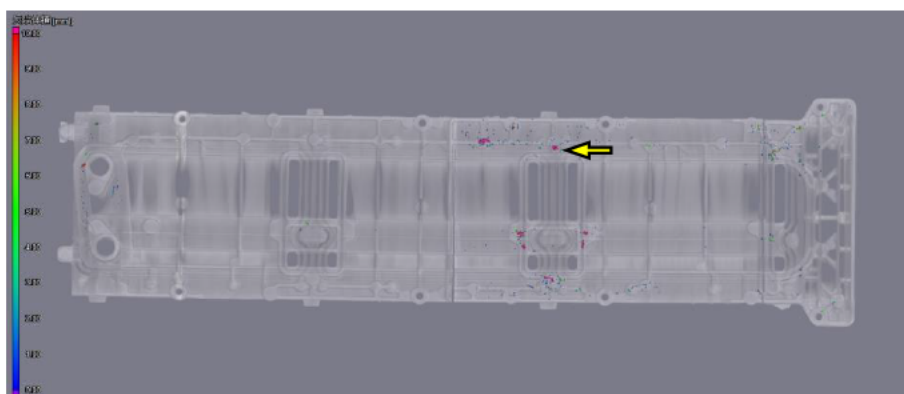
欠陥のSEM像観察では、条件④ではあきらかなガス欠陥による穴がみられたが、他はほとんどが、ひけ欠陥とガス欠陥の混在した欠陥であった。



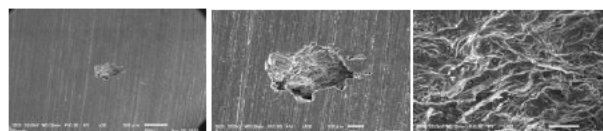
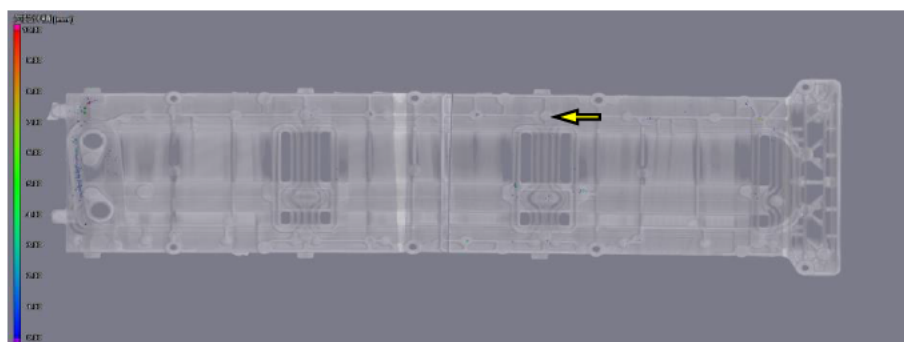
組織観察においても、すべての条件品であきらかな差がみられなかった。

第1回実験では、注湯温度が少し低すぎたのではないかと考え、第2回は少し温度を上げた方が良く考える。





条件①のX線CT像と欠陥のSEM像



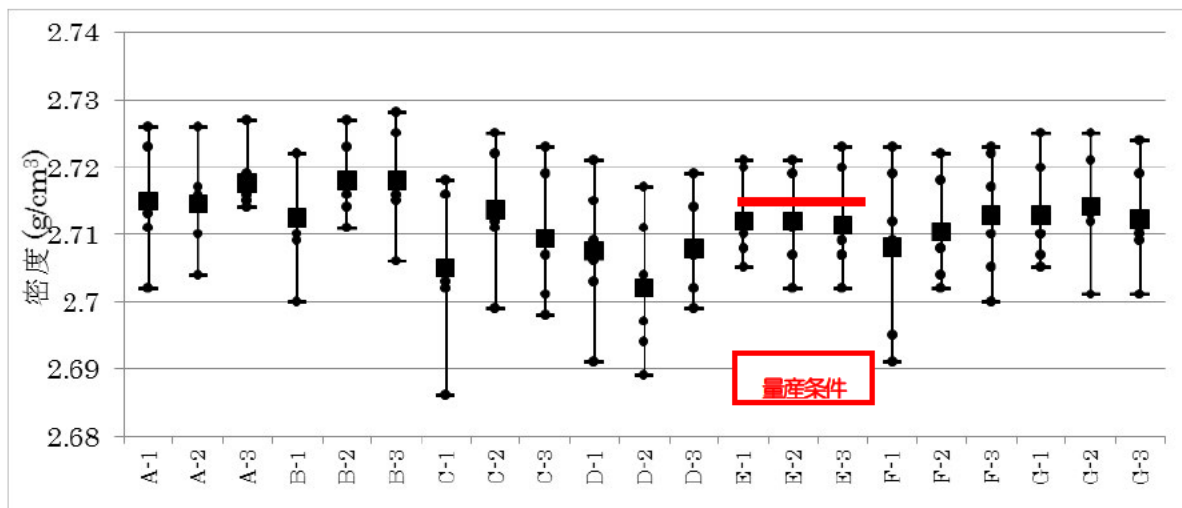
条件④のX線CT像と欠陥のSEM像

【2-2】第2回 実験

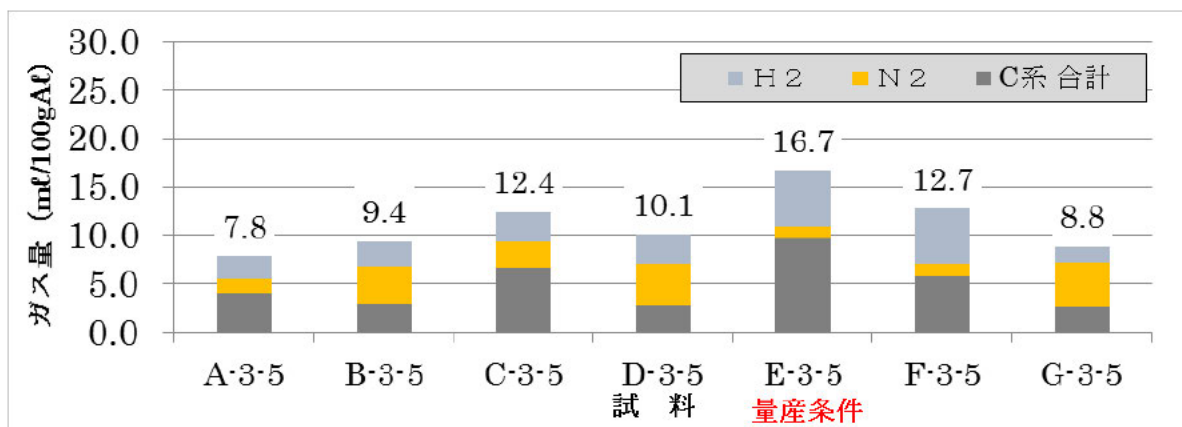
第1回実験結果より、注湯温度600℃は低すぎたのではないかと検討結果を受け、第2回実験では注湯温度を630℃として実験を行った。

第2回 実験条件表

	保持温度	注湯温度	高速速度	高速区間	ダイタイム	給湯高さ	増圧	
条件A	700℃	680℃	2.2 m/s	190 mm	15 sec.	+200 mm	有	
条件B							無し	
条件C	650℃	630℃					有	
条件D							無し	
条件E 標準条件	700℃	680℃				標準	有	
条件F	650℃	630℃				標準	100 mm	無し
条件G								



第2回 密度結果



第2回 含有ガス量結果

630℃注湯で、注湯高さが標準となる100mm高さとなる条件F・Gにおいて量産条件に近い密度を得る事ができた。一方、200mm高さからの注湯品の密度が低くなり、バラツキも大きい結果となった。しかし、含有ガス量の傾向と条件間に明確な相関が得られていない。

不良率を含めた総合品質の評価を今後実施することとする。

組織観察でも、優れた半凝固組織が得られておらず、半凝固スラリーの生成をさらに追究する必要がある。

大型ダイカストマシンでの少注湯量製品では、半凝固スラリー生成について、さらに研究・調査を行う必要がある。

(3) 大型立体薄肉ミッションケース試作品の铸造性と品質の確立（平成28年度）



写真に大型薄肉ミッションケースの試作実験評価品を示す。

量産品の基本肉厚が 3.5 mm であることに對して試作品の基本肉厚は 2.5mm である。この基本肉厚の違いが鑄造品に与える主だった懸念を考える。

①大型の薄肉ダイカスト鑄造品では全体の充填が困難となる。ここで、充填長さ(L)と基本肉厚(t)の比を $L/t$ として示すことができる。 $L/t$ が大きいという事は鑄物の充填し易さに対して不利なことになり、薄肉の鑄物の充填の困難さを表す指標となる。

量産品ミッションケースの $L/t(3.5)=175$ であり、試作品の $L/t(2.5)=240$ となる。

他の量産品においても薄肉とされる部品の $L/t=175$ 程度であり、今回の薄肉ミッションケースの $L/t(2.5)=240$ は困難であることがわかる。

②部品中の局所的な厚肉部（取り付けねじのボス等や、フランジ面の剛性向上のためのリブ形状等）の厚さは、量産品でも薄肉試作品でも設計上の変わりが無いため 20mm 程度である。この厚肉部は凝固が最も遅れる部位となり、凝固が遅れる部位には凝固収縮による穴欠陥が生じる。この凝固収縮に溶湯補給（おし湯）する経路が基本肉厚部となるため、基本肉厚部の肉厚の差が凝固遅れ部への溶湯補給性の差となる。

結果として、溶湯補給性が劣ると局所的厚肉部に発生する凝固収縮による穴欠陥（ひけ巣）が大

きくなる。

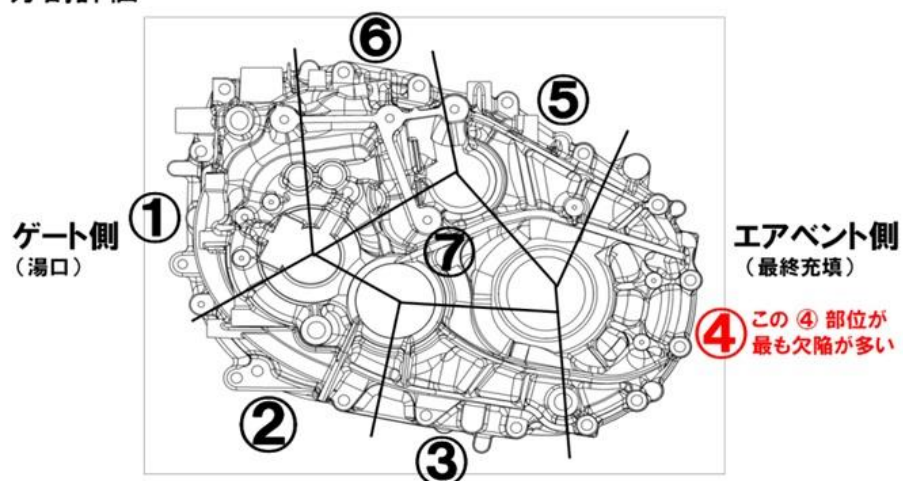
以上より、充填性と溶湯補給性に着目して実験評価をすすめることとする。

### 【3-1】第1回実験

第1回実験として、注湯温度のみを3水準とり、他の条件は通常条件のままとした。

第1回 実験条件					
	保持温度	注湯温度	高速速度	ゲート速度	高速区間
通常条件	680℃	655℃	2.5 m/s	59.9 m/s	220 mm ゲート高速
①	640℃	610℃			
②	620℃	590℃			

### 分割評価

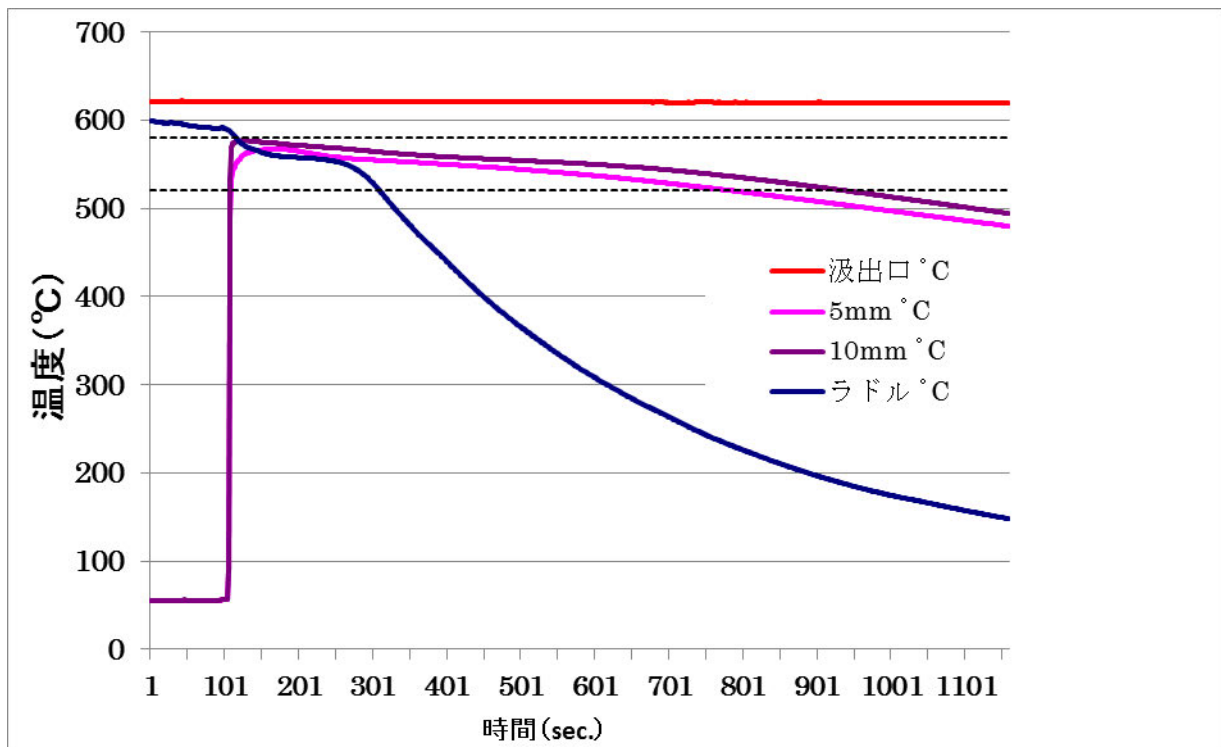


分析評価は上図のように7分割して実施した。

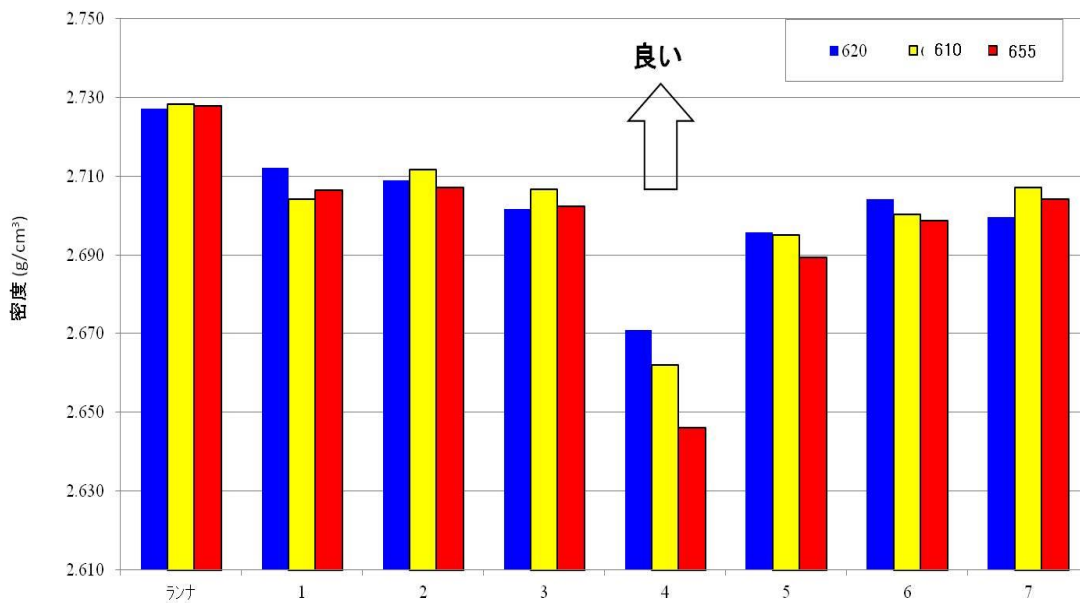
④部位がゲート(湯口)から一番遠い最終充填部となり、鋳造品としての品質の最も低い部位となることから、評価は④部位を主として実施する。

以下の図に溶湯温度の推移曲線を示す。注湯温度590℃を狙ったもので、注湯口から一番遠い(約500mm 先)スリーブ先端側で測定したものである。

大凡、狙い通りの温度域で注湯できていることが分かる。



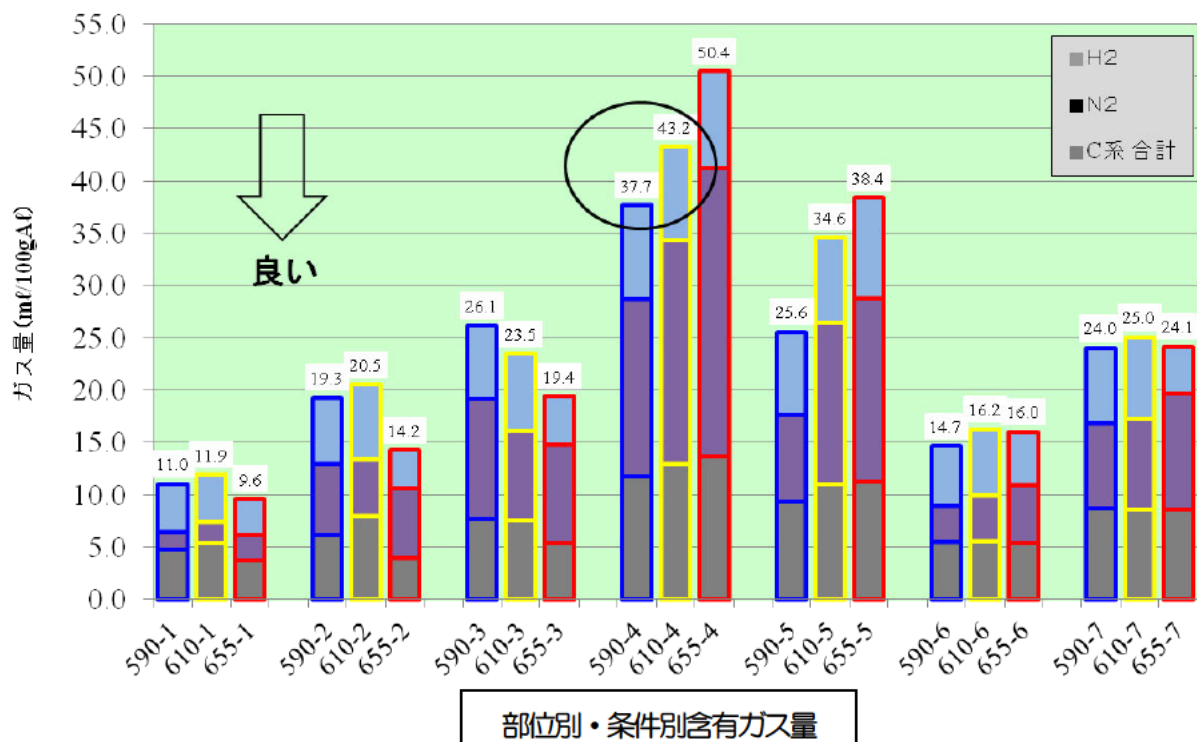
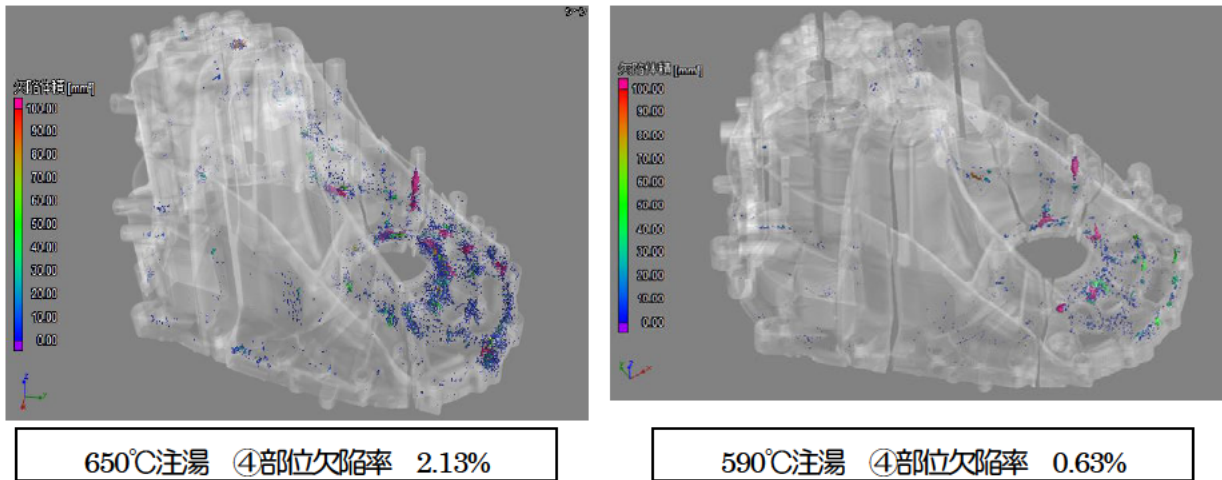
注湯温度590°Cの溶湯温度曲線



ミッションケースの部位別の密度

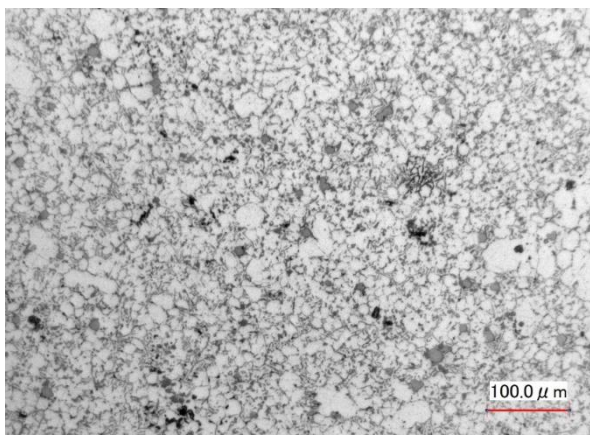
部位別の密度評価において、ゲートから一番遠い部位④は全体では低い部位になるが、注湯温度650°Cの量産条件よりも低温注湯の590°C、610°Cの方が高い密度が得られた。

X線CT装置による欠陥抽出評価でも、量産条件 650℃注湯の欠陥率 2.13% に対して、590℃注湯の欠陥率は 0.63% となった。

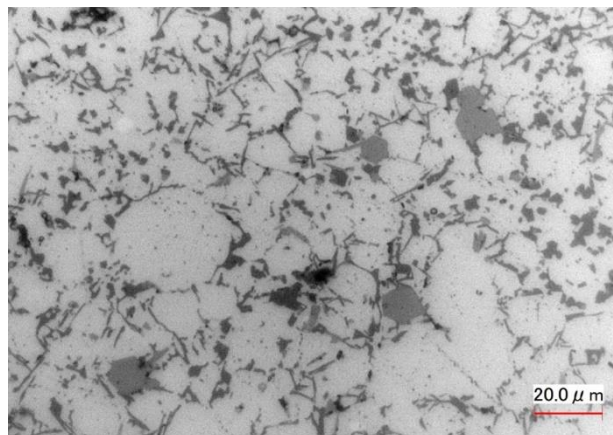


含有ガス量においても、部位④において注湯温度が低くなるほど含有ガス量が少なくなっている。半凝固スラリーは高温注湯の液相の流れよりも高粘性の流れになっている故と考える。しかし 20ml/100gAl を超える部位が多くあることから、これらの部位のガス量低減の取り組みが必要と考える。





×100



×400

590℃注湯 ④部 厚肉部の組織

組織観察において、④部の厚肉部等の多くの部位に特異組織が出現している。

繰り返しになるが ADC12 材のスリーブ法による高速射出充填ダイカストではこのような組織が高頻度で出現する事が通常と考えられる確率が高まってくる。

大型薄肉ミッションケースの第1回実験のまとめとして、外観鑄肌は良品限度ギリギリであり、含有ガス量も絶対量として決して少ないとはいえない。

### 【3-2】第2回鑄造実験

第1回実験の結果を受けて、含有ガス量の低減や、外観鑄肌品質の向上を通じて、内部欠陥(主にガス欠陥)のいっそうの低減を追究する必要がある。

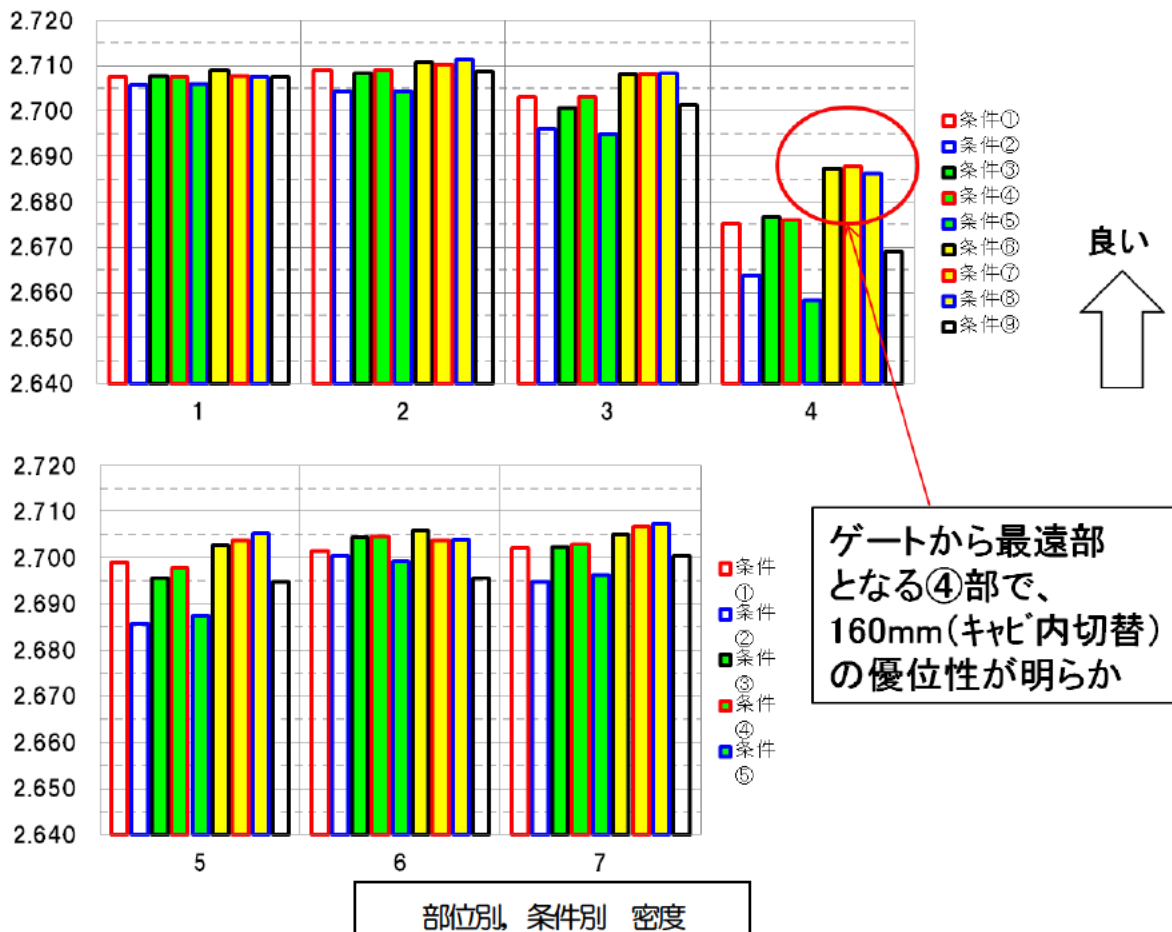
今回の実験では、注湯温度は第1回の実験をもとに、590℃はギリギリで低すぎるのではないかという意見が大きかった(液相線温度:約580℃に近すぎる)ことから、10℃上げて、590℃と610℃の間をとって600℃に固定し、鑄込み条件である高速射出速度と高速射出区間をそれぞれ3水準とって、鑄込み条件に集中して実験を実施した。

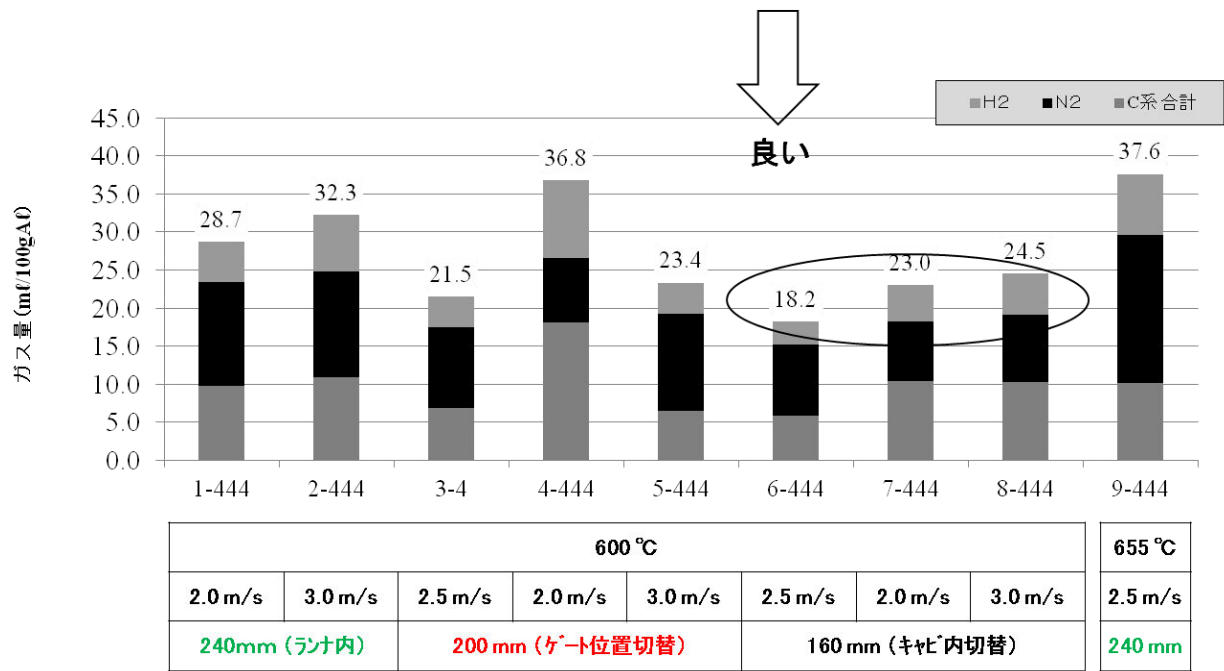
高速(射出)区間は、鑄込み空間にあるガスを低速射出で排気しておいて、製品部は高速充填するという工程である。ここで、低速射出から高速射出へ切り替えるポイントの基準をゲート位置とするのが基本であり、200mm位置がそのゲート位置にあたる。ゲート位置を基準に±20%で水準設定したので、製品部容積の20%分早く概ねランナ内から高速射出する条件が240mmの条件であり、製品部に20%分低速で流し込んでから高速射出する条件が160mmの条件である(通常、キャビティ内高速と称される)。ただし、キャビティ内高速では、低速で充填された製品部に湯流れ・充填欠陥が発生することがあり、その見極めが重要である。

第2回 鑄造実験表

	保持温度 (°C)	注湯温度 (°C)	高速速度 (m/s)	ゲート速度 (m/s)	高速区間 (mm)	ダイタイム (s)
通常条件	680	655	25	59.9	240	17
条件⑨	630	600	25	59.9	240	12
条件①	↑	↑	2	47.9		↑
条件②	↑	↑	3	71.9		↑
条件③	↑	↑	25	59.9	200	↑
条件④	↑	↑	2	47.9		↑
条件⑤	↑	↑	3	71.9		↑
条件⑥	↑	↑	25	59.9	160	↑
条件⑦	↑	↑	2	47.9		↑
条件⑧	↑	↑	3	71.9		↑

密度評価を下記グラフに示す。20%分低速で流し込んでから高速射出する条件が 160mm の条件である（通常、キャピティ内高速と称される）。グラフ中で黄色の塗りつぶしで示されるのが高速（射出）区間 160mm の条件であり、ゲートからの最遠部である④部や③⑤部であきらかに高い密度（穴欠陥が少ない）であることが分かる。

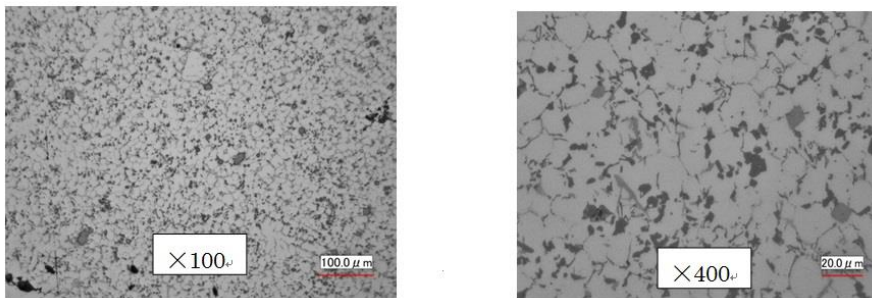




④部の実験条件と含有ガス量

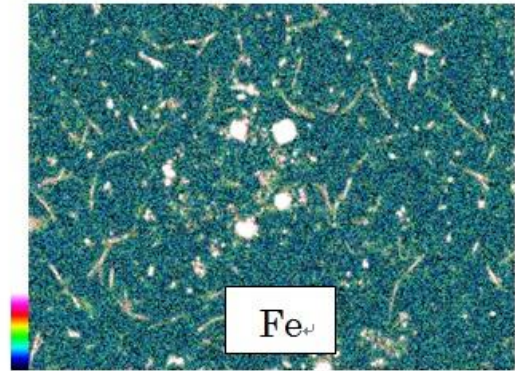
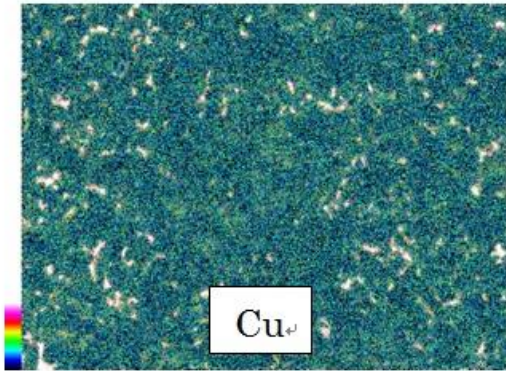
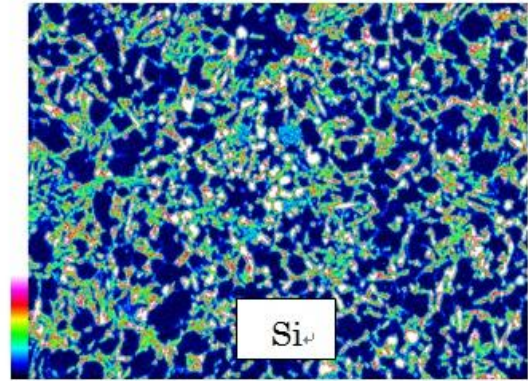
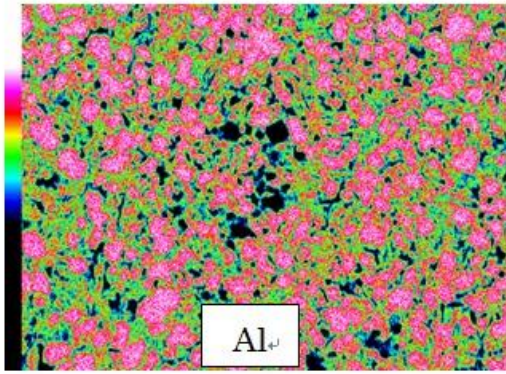
含有ガス量評価ではキャビティ内切替となる高速(射出)区間 160mm の条件が安定的に少ない含有ガス量となっている。これは鑄込み空間のガスの排気が良好であったということである。

また、このキャビティ内高速である 160mm の条件では、外観鑄肌品質は高速(射出)区間距離の長い 200mm や 240mm の条件よりも良好で、余裕のある良品状態であり、懸念された低速溶湯による不具合もなかった。これらは、キャビティ内の残存ガスが少ない状態では、高速射出による残存ガスに発生する背圧によって流動充填が阻害されなかったことによると考えられる。

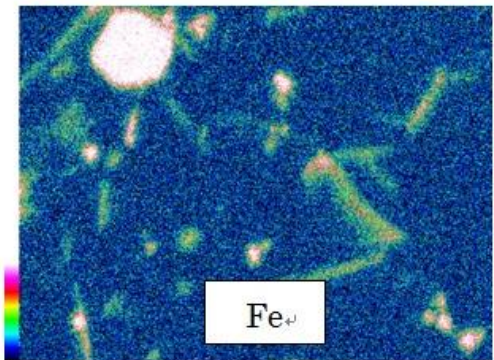
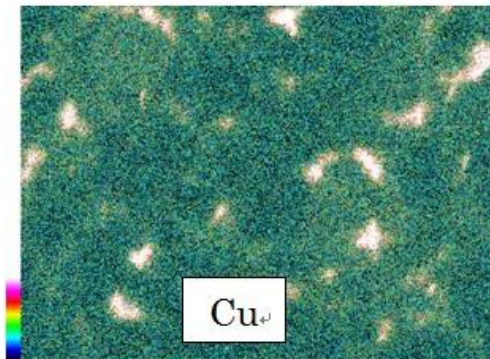
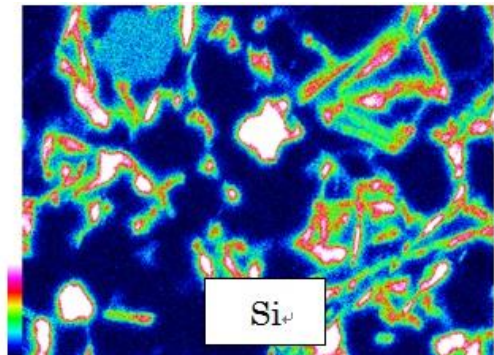
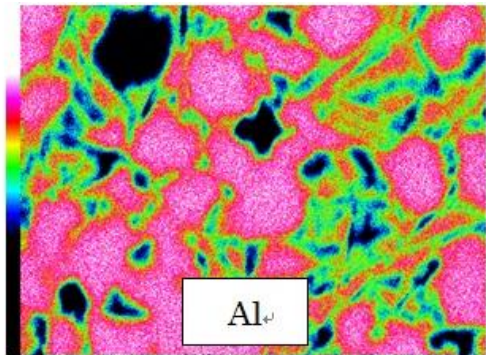


条件①品の ④部 厚肉部 の組織

組織観察平面において、多くの部位にこのプロセス特有といえる特異組織が出現している。明確な特異組織とはいえない組織部でも特異組織につながる組織形態をしており、一般的な普通ダイカストのデンドライト組織はほとんど見受けられず、スリーブ法による半凝固組織がほぼ全体を支配しているといえる。そこで、再度これらの特異組織を詳細に調査を実施した。



特異組織の EDS 分析像 (×400)

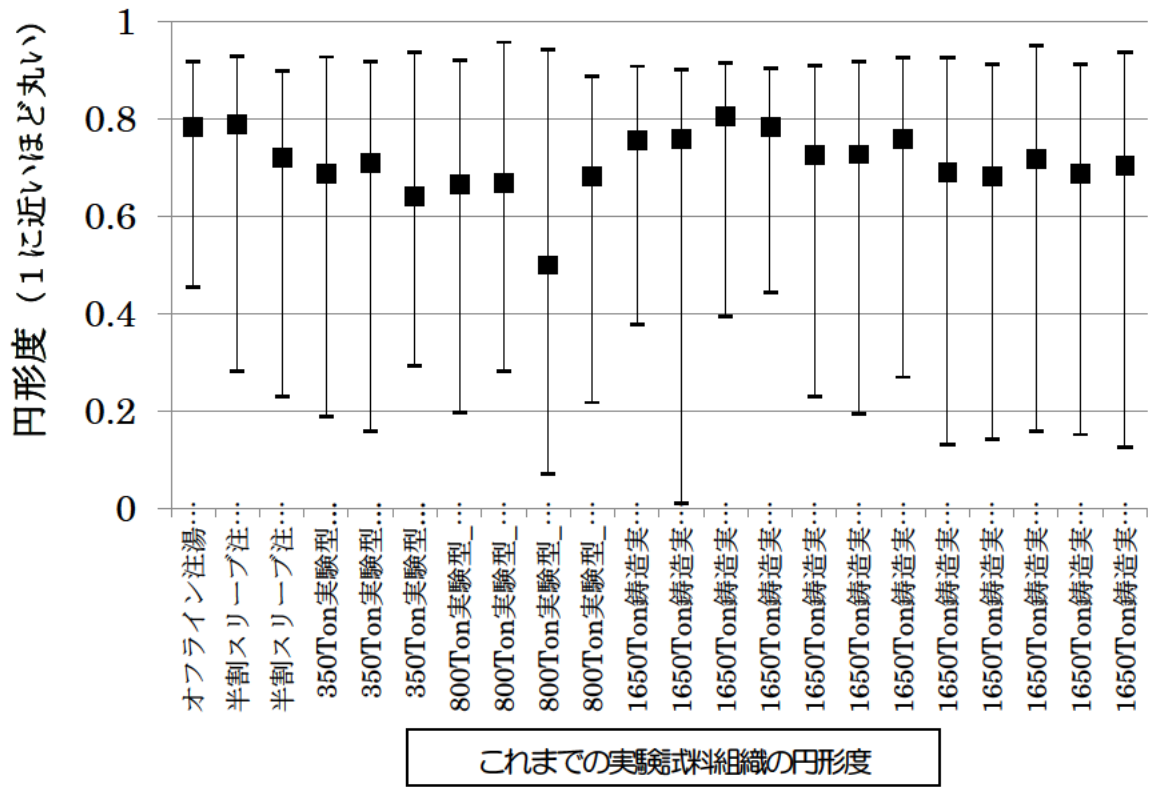
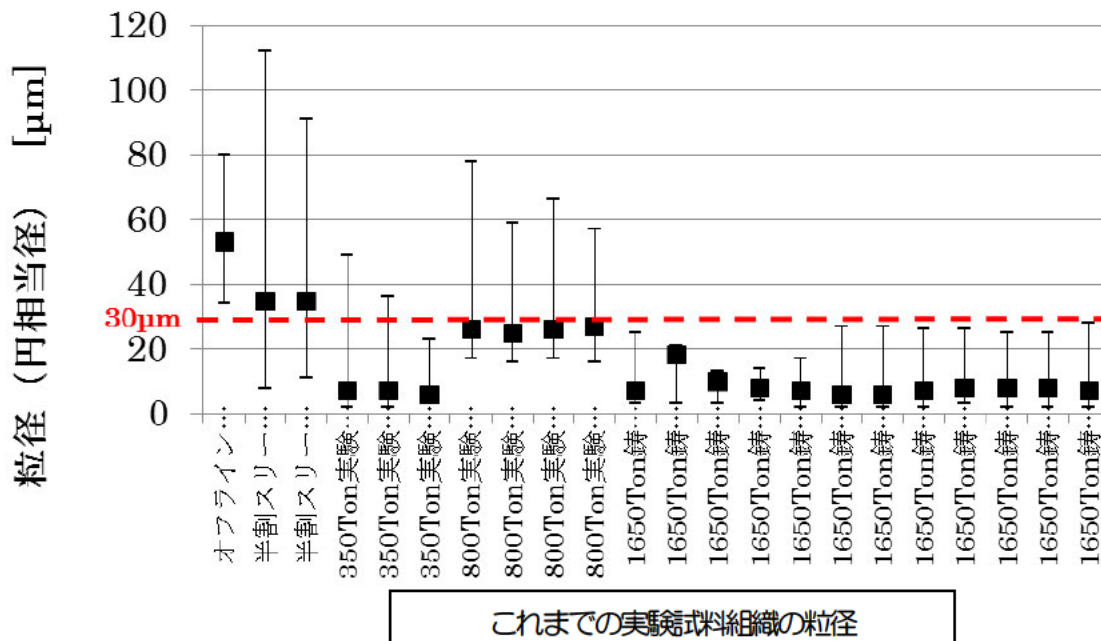


特異組織の EDS 分析像 (×1500)

SEM+EDS 分析の結果、初晶 $\alpha$ (Al)中の Cu 分布等について調査したが、半溶湯鑄造法にみられるような、平衡状態図を過剰に超えるCuが分布している様子はみられなかった。

さらに、これまでの試料の結晶粒径とその円形度について調査した。

これまでの実製品形状の実鑄造品において、結晶粒径は平均値で  $10\mu\text{m}$  以下、最大径でも  $15\sim 30\mu\text{m}$  以下と微細な粒径が得られていた。スリーブ法による半凝固実鑄造では確実に  $30\mu\text{m}$  以下の粒径の半凝固組織が得られていることが確認できた。



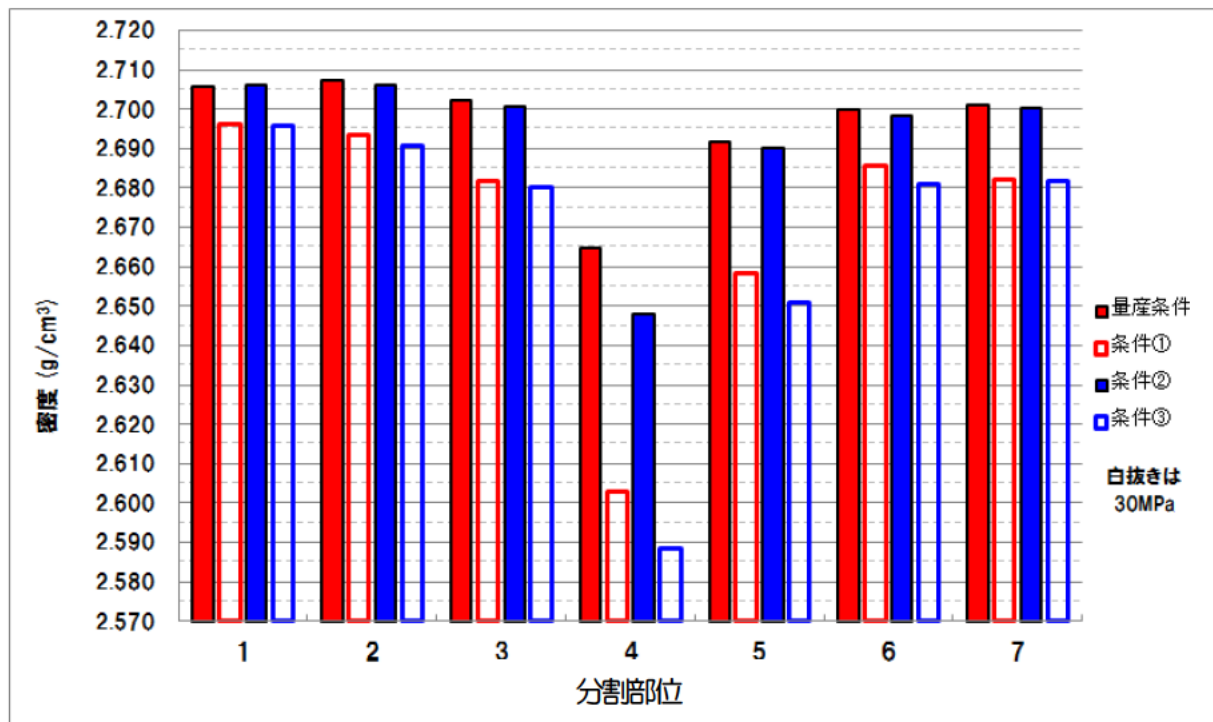
### 【3-3】第3回鑄造実験

第2回鑄造実験にて純粋に鑄造条件(機械条件)のみを調査し、ガスの巻込み等に対する条件の最適化が達成できた。残された課題として、低圧力化、給湯高さ、不良率を調査するための実験を実施した。計画した全8実験条件中4条件を実施したところで金型が破損し、中断した。

今年度中に修理は完了できないため、平成29年度へ課題を引き継ぐこととした。

	保持温度	注湯温度	高速速度	高速区間	ダイタイム	給湯高さ	圧力
量産条件	680℃	655℃	2.5 m/s	240mm	17 sec.	標準	60MPa
条件①				100mm		30MPa	
条件②				200mm		60MPa	
条件③	630℃	600℃			12 sec.	+200mm (300mm)	30MPa
条件④						標準	60MPa
条件⑤	630℃	600℃	2.5m/s	200mm	12sec.	+200mm	30MPa
条件⑥						標準	60MPa
条件⑦						100mm	30MPa

金型故障前に実施出来た実験条件



高温注湯条件試料の密度

今回の実験では低温注湯の半凝固条件の実験が実施できなかったため、高温注湯の結果のみの評価となった。

高温注湯では、量産条件がもっとも良い密度となり、鑄造圧力を下げても、注湯高さを高くしても密度は低くなるという結果となった。

これは、普通ダイカストを基本とするほぼ液相状態の高温溶湯では、充填～凝固完了までの間の凝固収縮量は同量であることから、圧力の差が溶湯補給量の差となり、低圧条件は密度が低い結果となったと考えられる。

また、注湯高さを高くしたものは注湯時の液相溶湯の乱れから空気等のガス巻きみが増えたためと考えられる。第2回実験では高速区間の短い条件が良い結果となったにも関わらず、今回の高温注湯品ではすべて量産条件品よりも低い密度ことから、注湯中の液相溶湯の乱れによるガス巻きみが、高速区間の短い（低速区間が長い）ことによる射出空間内の排気を有利にする条件を上回った悪効果になったと考えられる。

また、注湯温度が低いことから、射出充填～凝固～冷却までの型締時間が17秒から12秒に短縮され、サイクルタイムが87秒から82秒となり6%の生産性向上も可能となることわかった。

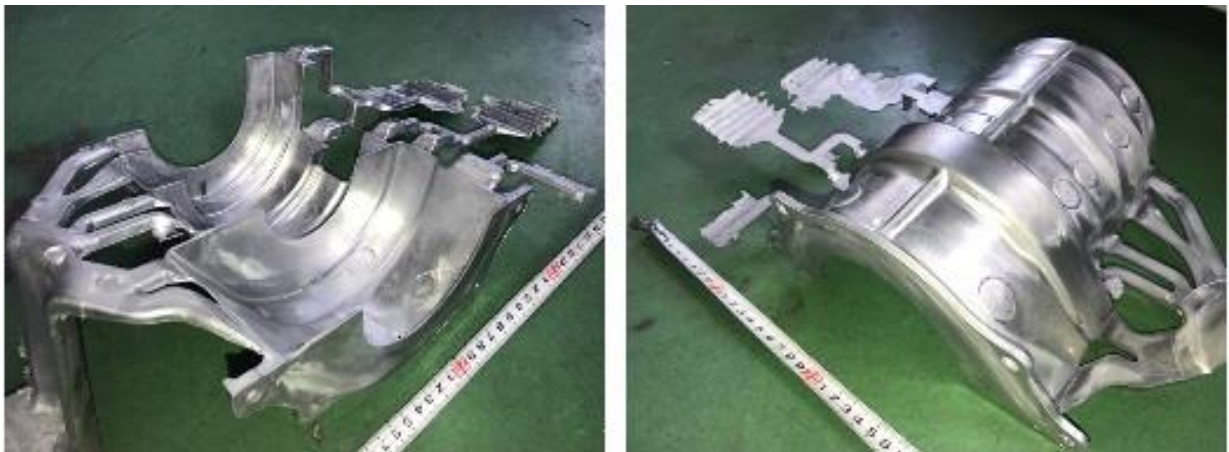
平成29年度には、金型修理を終えてから再度の実験を行い、薄肉ミッションケースの半凝固鑄造の確立を進めてゆく。

#### （市場調査）

平成28年11月24日～26日に開催された日本ダイカスト会議・展示会に、当件に関する出展をした。この催しは一般社団法人日本ダイカスト協会が主催する技術発表と展示会で、パシフィコ横浜を会場として隔年開催されている。日比野工業は過去4回出展しており、前回（サポイン初年度）に続いて当件に関する展示も実施した。（東北大学・安西研究室も独自にブースを構えて、スリーブ法による半凝固鑄造に関する出展を行った。）



展示会 ポスター



展示会出展 薄肉鋳造品

展示出展にあたり、これまでの半凝固ダイカストでは対象とはされてこなかった薄肉品をアピールするために、写真に示す薄肉品を鋳造して展示した。この部品はミッションケース内のオイルの飛散を抑制する部品で、従来品は複数の板金プレス部品を溶接組立した部品であったが、1ピースの薄肉ダイカスト品としてチャレンジして量産化されている現行生産品であり、叩くと板金プレス品のような音がする。充填長Lと肉厚tは280mmと1.2mmで  $L/t \div 230$  という難易度の高い部品であり、量産では中型の800Tonのダイカストマシンで、一般部品の溶湯温度680℃よりも高い700℃で生産している。今回の展示品作成にあたっては注湯温度590℃にて良好な結果が得られた。現状の量産鋳造では充填性（鋳肌品質）が不安定であったり、湯口からの溶湯が直撃する製品部の金型とアルミ材の間



に溶着による焼き付き等の不具合が発生していたが、低温注湯のスリーブ法による半凝固鑄造では、そのような不具合も発生せず、鑄造性は良好であった。

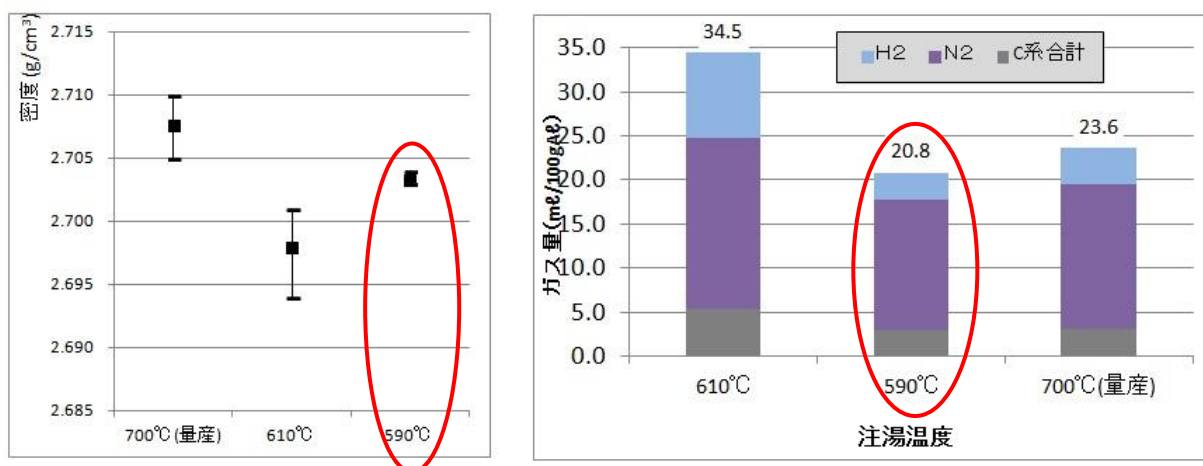
展示を見た方々からは、薄肉品は通常よりも高温の溶湯でなければ満足な充填は達成できないし、溶湯の保有熱量の少ない半凝固鑄造では薄肉品の鑄造は不可能と考えておられたことからたいへんに驚いた旨の感想が多数得られ、数社から量産化の時期等についての問いかけがあった。

#### 展示出展品実験結果及び評価

展示会への出展品の半凝固鑄造にあたっては、注湯温度を 590℃と 610℃の2水準で実施し、量産鑄造品(溶湯温度 700℃)との比較も実施した。

前記のように、低温注湯による半凝固鑄造品は 590℃注湯も 610℃注湯も鑄肌品質や鑄造性は良好であった。

さらに注湯温度 590℃の条件品は、密度は 2.70 を超えバラツキも小さく、含有ガス量は最も少ない結果となり、バランスの良い結果が得られた。



展示会出展品の密度と含有ガス量

### 第3章 全体総括

#### 【1-1】スリーブ法での半凝固スラリーの安定生成への対応（平成26年度）

##### （1-1-1）サブテーマ：小型設備での半凝固スラリーの安定生成条件と鑄造条件の確定

東北大学の研究において成果が確認されているスリーブ法による半凝固ダイカスト法を、初めて自社工場内にて実施し、研究設備は導入されていないが、既存の設備・金型を用いた実験において、半凝固鑄造の制御因子となる条件およびその考え方を理解することができた。

また、不完全ではあるが、ADC12材にて目標を含む大きさの半凝固組織を確認できたことも大きな成果であった。

品質工学での取り組みにあたり、半凝固ダイカストの『基本機能』とは何かを品質工学の研究会の場や先生方と何度も議論し、多くの意見・アドバイスを頂き、前記の実験結果とあわせて、具体的な実施内容を明確にする事ができた。

#### 【1-1】小型設備での半凝固スラリーの安定生成条件と鑄造条件の確定（平成27年度）

初年度からの継続で実験方法および半凝固組織の評価方法について詳細に確認することができた。

#### 【1-2】大型設備での大量の半凝固スラリー生成に向けたオフラインでの安定化条件の確立

#### 【1-3】大型設備実機での大量の半凝固スラリー生成の確立（平成28年度）

小型設備にて確立してきた注湯方法や評価方法を大型設備を対象に適用実施し、大型設備でのスリーブ法による半凝固鑄造を確認した。少注湯量での課題が確認できた。

#### 【2】大型平板薄肉ヒートシンク試作品の鑄造性と品質の確立（平成28年度）

スリーブ法による低温注湯の半凝固鑄造法により、普通ダイカスト法の半分の圧力で、高温注湯である普通ダイカスト法と同等の鑄造品を得ることができた。しかし、問題の多い現行品と同等ではまだ十分な品質とはいえない。さらに、大型設備で少注湯量となるヒートシンクでは半凝固組織の出現条件の幅がせまいため、より安定した条件の確率を見出すことを引き続き実施する。

#### 【3】大型立体薄肉ミッションケース試作品の鑄造性と品質の確立（平成28年度）

現行の基本肉厚3.5mmに対して2.5mmと薄肉化設計のミッションケースの試作を実施した。

高温注湯である普通ダイカスト法に対して、低温注湯であるスリーブ法による半凝固鑄造で欠陥の少

ない鑄造品を得ることができた。組織の確認でも、半凝固の組織と考えられる特異組織が安定的に広範囲に確認できており、ADC12材のスリーブ法による高速射出充填半凝固鑄造法が成立することを確認できた。

金型破損で低圧化と不良率評価が一部見達となっているため、量産化・事業化に向けて継続実施してゆくこととする。

(補助事業の成果に係る事業化展開について)

○想定している具体的なユーザー、マーケット及び市場規模等に対する効果

【川下企業（顧客）からのニーズ】

- ・現状工法であるダイカストは量産中の品質が不安定であり、新規部品である電気自動車やハイブリッド自動車において大電流を扱う液冷式ヒートシンクでは洩れ・鑄巣の問題をかかえ、洩れの救済処置である含浸処理を当初から正規工程として量産に入っているものも多く、高コストとなっている。また、絶対数が少ないためになんとか量産対応できているが、今後の数量増大に向けて品質の安定化が急務となっている。
- ・従来からのミッションケース類でも洩れ・鑄巣により品質が不安定である事が慢性的な状況であるが、更なる薄肉・軽量化が求められているなかで、これらの慢性的品質問題はさらなる悪化が予測されることから、技術的なブレイクスルーによる品質の安定化が求められている。

【想定する市場】

- ・電気自動車・ハイブリッド自動車等や再生可能エネルギーの電気制御機能部では、電気エネルギーへの移管が順次進むことより、大容量化に伴う発熱量の増大に対応した、安定した品質の大型の液冷式ヒートシンクが求められている。
- ・自動車等の電気エネルギーへの移管期にも、絶対的に安価である従来からの化石燃料を用いる自動車のニーズは当面の間は大量にあり、これらの部品群では一段の薄肉・軽量化が必要になる

【販売促進戦略】

- ・今回のアドバイザーである既存顧客との連携の基に、早期に量産向けサンプル出荷までこぎつけ、機能評価を終えて量産開始へつなげる。
- ・また、これらの技術により、コンポーネントメーカーである顧客の品質・価格競争力や品質信頼性が高まることにより、既存の顧客自動車メーカーの枠をこえた、世界的な供給の武器になる。

○研究開発成果に係る製品等（※）

- ・製品等の名称 製品等の概要（用途、特徴等）

ヒートシンク

電気自動車・ハイブリッド自動車や発電機器等に用いる電気制御のケースであると同時に発生熱の液冷機能をもつことから、冷却媒体の洩れのないことが求められる。

自動車のミッションケース類や、油圧制御部品

従来からある部品群であるが、いっそうの薄肉軽量化が求められている。

雨水等の浸透から高圧媒体の洩れまで、耐液圧性を要すると同時に、強度・剛性面での低下は許されない。

○事業化見込み（目標となる時期・売上規模）

事業化に至るまでのスケジュール						
製品等の名称		ヒートシンク				
開発事業者		日比野工業(株)				
想定するサンプル出荷先		三菱電機(株)				
スケジュール	年度	H29年度	H30年度	H31年度	H32年度	H33年度
	サンプルの出荷	→	→			
	追加研究		→			
	設備投資		→			
	製品等の生産			→	→	→
	製品等の販売			→	→	→
売上見込	売上高(千円)			20,000	80,000	200,000
	販売数量(単位を記載)			5,000個	20,000個	50,000個
	売上高の根拠	初年度:1車種(年産5,000台での採用) 次年度:3車種程度までの採用(年産20,000台での採用) 3年目:5~7車種程度までの採用(年産50,000台の採用)				
製品等の名称		薄肉化ミッションケース				
開発事業者		日比野工業(株)				
想定するサンプル出荷先		アイシン・エーアイ(株)				
スケジュール	年度	H29年度	H30年度	H31年度	H32年度	H33年度
	サンプルの出荷	→	→			
	追加研究	→				
	設備投資		→			
	製品等の生産			→	→	→
	製品等の販売			→	→	→
売上見込	売上高(千円)		15,000	30,000	45,000	60,000
	売上高の根拠	初年度:1車種(年産5,000台での採用) 次年度:2車種程度までの採用(年産10,000台での採用) 3年目:2~3車種程度までの採用(年産15,000台の採用)				

○事業化に至るまでの遂行方法や今後のスケジュール

平成29年度の上期において、事業期間中に完了できなかった実施事項を終了する。具体的には ①ヒートシンクの鑄造品質（基本品質から低圧化まで）の確立 ②ミッションケースの鑄造品質（低圧化）の確立 ③ヒートシンクおよびミッションケースの不良率および機械的性質（引張試験・硬度等）の確認である。

平成29年度下期以降において、(2) 項のスケジュールに追いつくかたちでのサンプル品の出荷まで行い、以後、当初計画した量産化に向けてのスケジュールを実施してゆく予定である。

○成果（試作品）の無償譲渡や無償貸与

なし。

○補助事業の成果に係る知的財産権等について

(1) 知的財産権の出願及び取得並びに論文掲載の有無

なし。

(2) ライセンス契約等による事業展開

なし。