

平成24年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「多品種・少量生産対応型ダイカスト鑄造システムの開発と実用化」

研究開発成果等報告書概要版

平成25年3月

委託者 中部経済産業局

委託先 一般財団法人ファインセラミックスセンター

## 目 次

### 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

#### 1.2 研究体制

#### 1.3 成果概要

#### 1.4 当該研究開発の連絡窓口

### 第2章 溶解方式の検討・調査

### 第3章 メルチングルツボの開発（最適化）

### 第4章新方式溶解炉の実用化

### 第6章 全体総括

#### 6.1 研究開発成果

#### 6.2 研究開発後の課題・事業化展開

### 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) 研究の目的

大量生産・大量消費の時代から、省資源・省エネルギーの時代へ推移している今、自動車産業を支えてきたダイカスト産業も対応を迫られている。ダイカストは大量生産性を追及したシステムであり、少量生産に対応すると、高い製造コストがかかる。そこで、少量生産に対して低コストで素早く対応できるダイカスト鑄造システムを構築するべく、必要な量のアルミを必要な時に短時間で溶解可能な小型溶解炉システムの開発を行っていく。

また、小型で短時間溶解が可能な炉とすることで、従来の炉では材料種を変化させてダイカスト生産をすることは不可能であったが、材料種の変更が容易に出来るようにすることで、アルミ合金種それぞれがもつ特性を活かした製品設計を可能とし、高付加価値をつけたダイカスト製品の事業展開を行っていくことを目的とする。

## 2) 研究の概要

本研究では、現在の省資源・省エネルギー化が推進される社会情勢を踏まえ、少量生産品に対して、対応が可能なダイカスト鑄造システムの実現を目指す。少量生産対応とするために、短時間でアルミ合金を溶解することのできるハイパワー溶解炉を開発し、必要な時に必要な量の合金の溶解を行う方式とすることで、少量生産品や、異種アルミ合金材によるダイカスト鑄造を実現させることを目指す。本研究で最終的に目指す技術的目標値は表 1.1-1 の通りである。

表 1.1-1 技術的値

項目	現状	目標値
溶解時間	9 時間（立上準備から 3 日）	試験機 3 分以内（実用機は 30 秒以内）
鑄造サイクルタイム	30～40 秒	30～40 秒（影響を与えないこと）
製造コスト（現状コストを 1）	1	1/10～1/5
工場 CO2 排出量	1	1/50
不良率	3%	2%

本研究では、平成 22 年度から 3 年間で、実用的なハイパワー炉を実現させ、少量生産システムを構築することで、少量受注品（補給部品）に対して、低コストで川下のユーザーに鑄造製品を提供していくことを目指している。また一方で、開発した実用炉の生産体制を整え、販売していくことを目指す。

本研究で行っていく具体的な研究項目を以下に示す。

**【平成 22 年度】**

- ・ 新加熱方式での試験炉の設計・製作
- ・ 新加熱方式での溶解実験およびその性能評価
- ・ 新加熱方式に適したルツボ材の選定
- ・ 選定したルツボ材の特性評価
- ・ 新方式で加熱した場合の溶湯の健全性の調査

**【平成 23 年度】**

- ・ 新加熱方式を用いたプロトタイプ工業炉の設計・製作
- ・ プロトタイプ工業炉の運転と性能調査
- ・ プロトタイプ工業炉用溶湯るつぼの製作
- ・ プロトタイプ工業炉用ルツボの性能評価
- ・ プロトタイプ工業炉で溶解した溶湯の健全性調査

**【平成 24 年度】**

- ・ 新加熱方式を用いた実用型工業炉の設計・製作
- ・ 実用型工業炉の長時間運転による実証試験
- ・ 実用型工業炉用ルツボの製作
- ・ 実用型工業炉用ルツボの性能評価
- ・ 実用型工業炉による溶湯の健全性調査

**【本事業の研究目標】**

溶解したアルミ合金 1kg を 60 秒間隔で供給することができる溶解炉を成立させる。開発炉でアルミ合金の溶解実験を行い、健全な溶湯であることを確認した上で、ダイカスト鑄造を行い、良品が生産できることを確認する。異種材に対しても問題がなく溶解できるシステムであることを確認する。

ルツボに関しては、以下の機能をもたせることができないかを検討する。

「マイクロ波を吸収して予熱をする」

「アルミ溶湯が付着しにくい」

「急冷・急加熱に対して耐性がある」

「繰り返し使用に関して、十分な機械強度を有する」

これを実現させるため、チタン酸アルミをはじめとした複数の素材を組み合わせたハイブリッドタイプのルツボを設計・試作を行う。

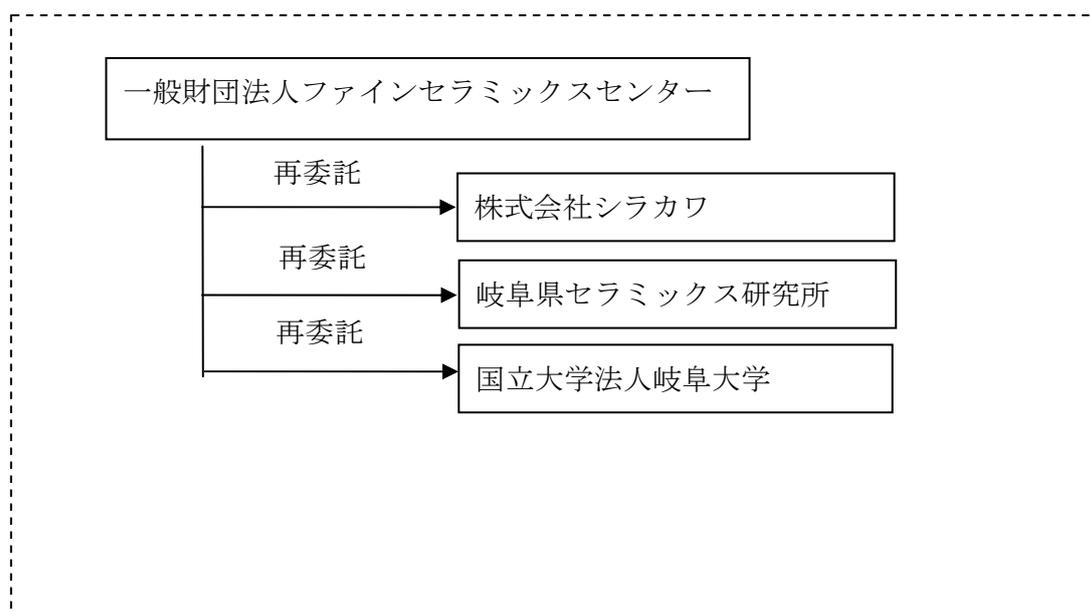
またダイカスト鋳造システムに組み込むことを前提とした実用的なルツボをデザインして試作する。

本年度の後半には、以上の実験から得た知見を活用し、工業用実用炉とするためのデザインを行い、翌年度の製作に向けての準備を進める。

## 1.2 研究体制

### (1) 研究組織および管理体制

#### 1) 研究組織（全体）



総括研究代表者（P L）  
株式会社シラカワ

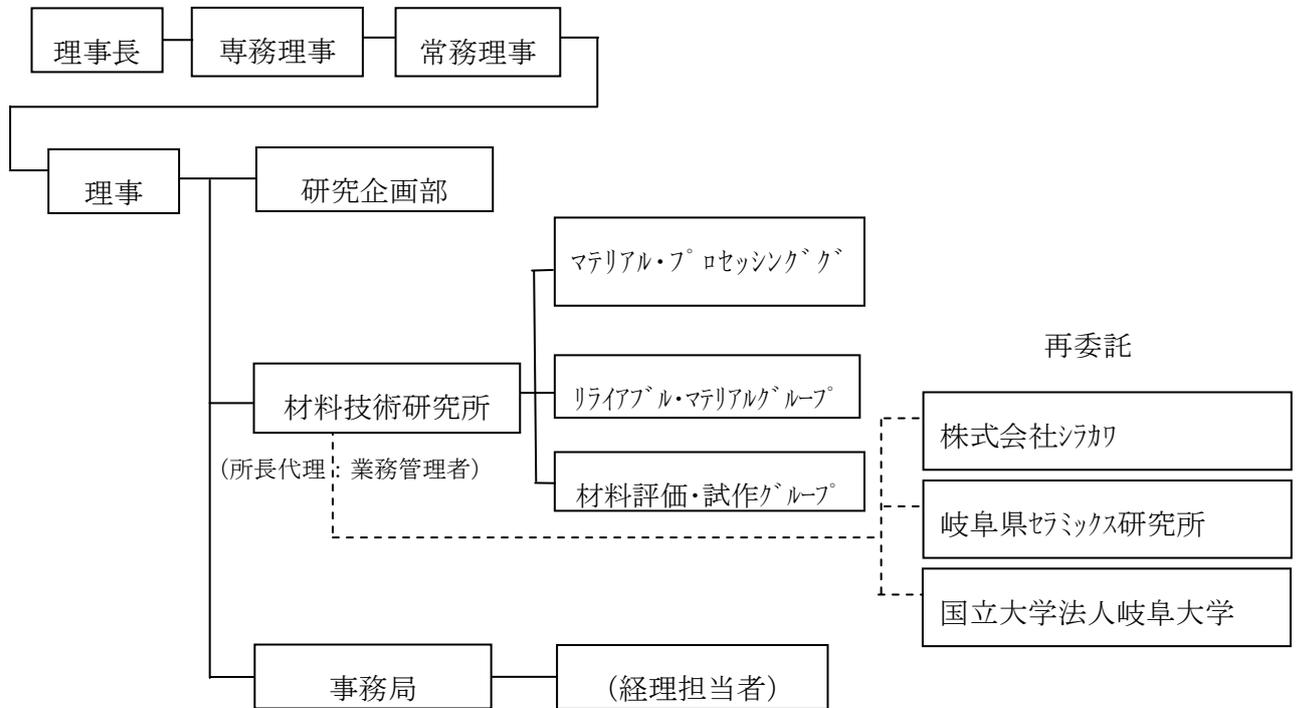
5

副総括研究代表者（S L）  
岐阜県セラミックス研究所

## 2) 管理体制

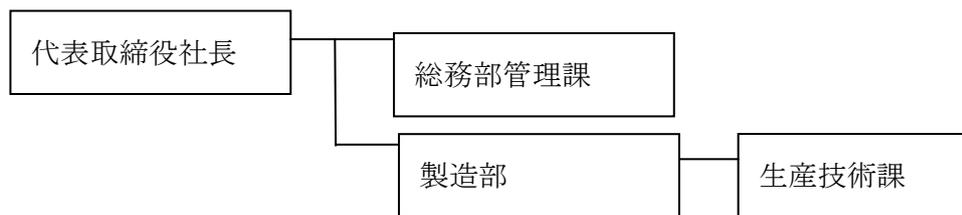
### ①事業管理者

一般財団法人ファインセラミックスセンター

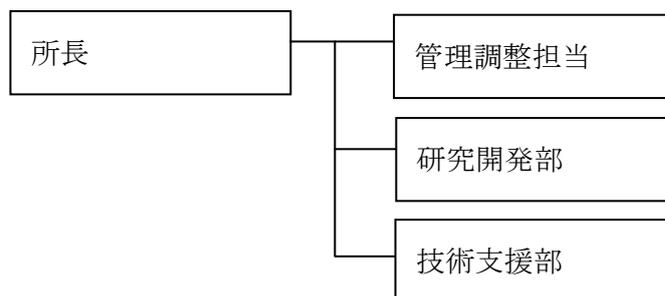


### ② (再委託先)

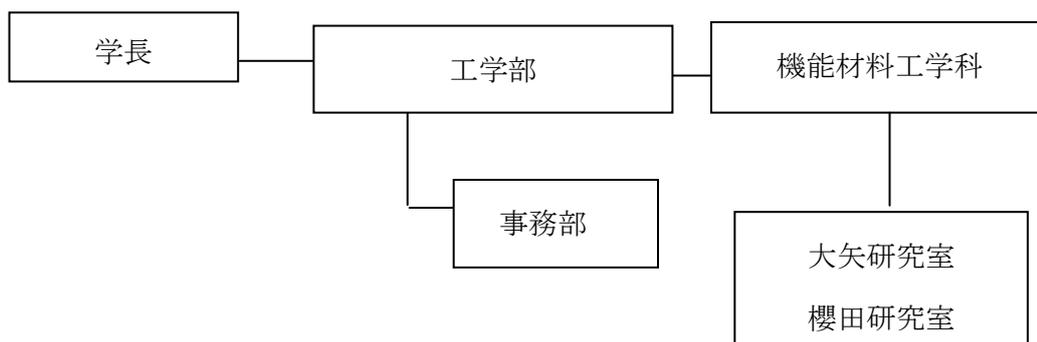
株式会社シラカワ



岐阜県セラミックス研究所



国立大学法人岐阜大学



(2) 管理員および研究員

【事業管理者】 一般財団法人ファインセラミックスセンター

管理員

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
東田 豊	材料技術研究所 マテリアル・プロセッシンググループ 参事	⑤
伊岐見大輔	材料技術研究所 材料評価・試作グループ 上級技師補	⑤

研究員

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
東田 豊	材料技術研究所 マテリアル・プロセッシンググループ 参事	①-1、②-3、③-1
北岡 諭	材料技術研究所 リライアブル・マテリアルグループ 主席研究員	①-1、②-3、③-1
伊岐見 大輔	材料技術研究所 材料評価・試作グループ 上級技師補	①-1、②-3、③-1
小川 光恵	材料技術研究所 材料評価・試作グループ 上級研究員	②-3
鈴木 佐知子	材料技術研究所 材料評価・試作グループ 上級技師補	②-3、③-2
早川 一幸	材料技術研究所 材料評価・試作グループ 上級技師補	②-3、③-2

【再委託先】

研究員

株式会社シラカワ

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
----	-------	-----------

平井 英司	代表取締役社長	①-1、②-2, 4、③-1, 2, 3
平井 隆司	製造部 技術顧問	①-1、②-2, 4、③-1, 2, 3
藤井 繁昭	製造部 生産技術課長	①-1、②-2, 4、③-1, 2, 3

#### 岐阜県セラミックス研究所

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
倉知 一正	研究開発部 部長	②-1, 2, 4
茨木 靖浩	研究開発部 主任研究員	②-1, 2, 4
安達 直己	技術支援部 主任研究員	②-1, 2, 4

#### 国立大学岐阜大学工学部機能材料工学科

氏名	所属・役職	実施内容 (番号)
大矢 豊	工学部 教授	②-1, 2
櫻田 修	工学部 准教授	②-1, 2

### 1.3 成果概要

平成 22 年より平成 24 年度まで研究開発は、実用型工業炉の設計・製作を行い、連続鋳造を行いつつシステムの実用化を目指して取り組んできた。研究開発と実用化を進めるにあたり、事業管理機関である一般財団法人ファインセラミックスセンター（以下 JFCC と記す）は、アドバイザを交えてグループミーティングを定期的開催し連携を緊密にとりながら研究開発事業を進めた。

具体的に年度当初に掲げたサブの実施項目毎の成果は以下の通りである。

#### ① 新加熱方式を用いた実用型工業炉の設計・製作

新加熱方式として 915MHz のマイクロ波と導波管を用いて、高効率の溶解装置での炉の実現を目指したが、工業炉としての設計は不可能であると判断し、年度半ばでマイクロ波と導波管およびアルゴンガスを用いた加熱方式へと計画変更を実施し、設計・製作をすることができた。

#### ② 実用型工業炉の長時間運転による実証試験

項目①で製作した実用型工業炉の長時間運転による実証試験のため、ダイカストマシンを用いて、100 連続鋳造を行うことができた。

#### ③ 実用型工業炉用ルツボの製作

項目①の設計の段階で、ルツボに関して導電性が要求されることがあきらかになり、グラファイトを用いたルツボを製作、

#### ④ 実用型工業炉用ルツボの性能評価

JFCC をはじめとした各機関の性能評価を実施した上で、項目②の 100 連続鑄造実験を行い、最終確認をすることができた。

⑤ 実用型工業炉による溶湯の健全性調査

項目②の鑄造実験により製造した鑄造サンプルに関して K モールド、ガス量分析、鑄造品の良否判定を行い、炉の性能および溶湯清浄度を確認することができた。

本事業の最終年度での取組み内容に関して、年度当初に予定していた計画を全て遂行することができ、多くの知見を得ることができた。

#### 1.4 当該研究開発の連絡窓口

一般財団法人ファインセラミックスセンター 材料技術研究所 東田 豊

電話 052-871-3500

FAX 052-871-3599

E-mail [higashida@jfcc.or.jp](mailto:higashida@jfcc.or.jp)

## 第2章 全体総括

### 2.1 研究開発成果

実用型ワンショットメルト炉システムを用いて、ダイカストマシンとの連動を実施、連続 100 回の連続鋳造を試み、鋳造サイクルタイムを調査したところ、材料投入から出湯、鋳造までの 1 サイクルが平均約 50 秒となった。この内訳は、加熱に要している時間は 40 秒、2 ルツボを回転移動させている時間、ノロを除去するのに要している時間とあわせて 10 秒であった。一次側ルツボ（溶解用ルツボ）内の溶湯温度が 800℃以上と高く、加熱時間を短縮し一次ルツボ内での湯温を低く押さえるなどの措置をとれば鋳造のサイクルタイムを 40 秒以下となるはずである。連続鋳造中の金型の温度は、定常状態で 300℃に達していたが、従来炉を用いて鋳造する際、金型温度は 300℃前後で適温とされており、この炉システムを用いても鋳造に支障を与えないことが確認できた。

100 回連続鋳造試験の結果から加熱部でのエネルギー効率を試算すると 70～75%にも達していることが分かった。

湯温の安定性については、高出力マイクロ波・DC プラズマアーク発生装置で加熱、溶解した直後の温度は 800℃以上となっているが、樋を通してスプール炉に注湯したあとは 620 ±5℃に保持できていることが確認でき、溶解直後の溶湯温度のバラつきを、スプール炉によって調整できていることを確認できた。

スプール炉内の溶湯の品質を K モールド法で評価したところ K 値が 0.2 で B ランクであった。従来炉でも K 値は 0.4 で B ランクであることから、従来炉の溶湯の品質に比べて良品の湯となっており、問題ないことが確認された。また、この実験で鋳造した製品に関して平成 22 年度に導入したガス量測定装置を用いて 49 ショット目、70 ショット目、87 ショット目の品質のばらつきを調査したところ、49 ショット目の鋳造品は 16cc/100g、70 ショット目の鋳造品は 15cc/100g、80 ショット目の鋳造品は 13cc/100g であった。80 ショット以上になると鋳造プロセスとして安定した品質となることが知られており、従来炉を用いて鋳造した場合のガス量が 15～16cc/100g であることから、従来炉以上の品質で鋳造できることが分かった。

最後に鋳造品の組織観察を行い、その鋳造品の組織に異常がないか検証し、品質には全く影響を与えていないことが分かった。

以上の結果からダイカストマシンとの連動による鋳造工程で従来炉と同等に機能することがわかった。

## 2.2 研究開発後の課題

先ず、本事業を開始する前に目指した技術目標等に対する達成度と今後の課題について述べる。

### 【溶解時間について】

連続鋳造を実施し、ヒートシンク（試作）の鋳造を実施した結果、800g のアルミ合金に対して、定常状態で 800～850 °C まで、35 秒前後で加熱・溶解することに成功した。

$$(\text{実効エネルギー}) = (C_p \cdot \Delta T \cdot m) + (C_v \cdot m) + (C_p' \cdot \Delta T' \cdot m')$$

ここで  $C_p$  : アルミ比熱  $C_v$  : アルミ潜熱

$\Delta T$  : アルミの加熱温度  $\Delta T'$  : ルツボの加熱温度

$m$  : アルミ重量  $m'$  : ルツボ重量

ここで定常状態において、 $C_p=0.96\text{J/kg/K}$ 、 $C_v=394.8\text{J/kg}$ 、 $\Delta T' = 50\text{K}$ 、 $C_p' = 1.3\text{J/kg/K}$ 、 $m' = 4\text{kg}$  であることから、実効的に投入されたエネルギー量は、 $\Delta T=830\text{K}$ 、 $m=0.8\text{kg}$  とすると、40 秒で 1210kJ 投入できたことになる（エネルギー効率 76%）。一方で、 $\Delta T=650\text{K}$ 、 $m=1.0\text{kg}$  とした場合、必要とされる実効エネルギーは、1280kJ であることから、期待される溶解時間は、 $1280/1210 \times 40 = 42$  秒である。目標としたアルミ 1kg あたり 30 秒以内での溶解をわずかに達成することができなかった。目標へ到達するための方策としては、「加熱器出力を 40kW→57kW へハイパワー化」が考えられる。

### 【鋳造サイクルについて】

鋳造サイクルは、前項の図 4.3.1 において述べたとおり、実効的な計測値として 50 秒での鋳造サイクルであった。溶解時間は、目標とした 40 秒以内のサイクルに間に合っているが、その他のプロセスにより 13 秒超過する結果となった。

ハイパワー化により溶解時間が 30 秒に短縮できれば達成することが出来ると考えている。

### 【製造コストについて】

アルミ溶湯生成に係る部分の製造コストの評価を行う。現在、材料費として ¥200/kg であるのに対して、ピレット形状のものは、+¥10/kg との情報を材料メーカーから得ている。従来炉で、アルミを溶解に利用しているガス量は、1 個の製品（1kg アルミ）あたり、¥103.26/kg。したがって、燃料費として、¥92/個がかかっている。一方、今回のワンショットメルト炉では 0.48kWh/個であった。電気代は ¥16.4/kWh であることから、¥7.87/個であった。また、プラズマガスであるアルゴンガスについて、1 個あたり 6 リットル利用

することから、¥7/個であった。以上をまとめると、1 個の製造あたりに必要とされる製造コストは

従来炉 : (LPG ガス代) =¥92

新方式炉 : (材料費差額+電気代+アルゴンガス代) =¥10+¥7.87+¥7

となり、67 円のコスト低下を実現することができた。目標値である 1/5 に対して 1/4 であった。

#### 【CO<sub>2</sub>排出量について】

LPG ガスを使った従来炉では、1 ヶ月あたり LPG ガスを 2094m<sup>3</sup> (5370kg) 利用している。このことから1 ヶ月で、CO<sub>2</sub>の排出量を計算すると 3kgCO<sub>2</sub>/kg として、16110kgCO<sub>2</sub>である。一方で、電気を利用した新方式炉に関しては、1 個あたり 0.48kWh の電力で溶解できることから 1 ヶ月あたり 12000 個製造したとして、5760kWh を利用したことになり、0.481kgCO<sub>2</sub>/kWh の電力係数を使用して計算すると、2771kgCO<sub>2</sub>を排出したことになる。CO<sub>2</sub>の排出量を 1/5 に抑えることができたものの、技術目標値 1/50 に達することができなかった。

#### 【不良率について】

ワンショット炉を用いて、100 ショットの連続鋳造を実現することができた。出来上がった製品に対して不良率調査を行った。50 ショットまでは金型の温度が 300℃以下で安定していないことから、安定した品質の製品が取れなかった。50 ショット目以降は金型の温度も安定し、品質の良い製品が出来るようになったので 50 ショット目以降の製品について不良率を調査した。1 ショットあたり 2 つの製品が取れるので、50~100 ショットで 102 個の製品が出来る。102 製品のうち不良は、8 個であった。8 個の不良のうち 3 個はダイカスト操作側の問題で離型剤の塗布不足により起こった不良（めくれ）であることが分かった。残りの 5 個の不良に関してはスプール炉温度が低いことによる湯流れ不良が原因であった。従来炉では、650±5℃で制御しているところ、今回のワンショット炉では 620±5℃であった。今回の炉が原因で発生した不良の不良率は 5/102 で 4.9%、この 30℃の差を無くすことで不良率は減らせると考えられる。

#### 【ルツボの耐久性について】

連続鋳造実験を行った後、システムの消耗度を調査したところ、溶解ルツボに関して、新品のルツボであるのに対して、使用後のルツボの肉厚が著しく減少していることがわかった。

また、溶解ルツボの出湯口を見ると、消耗が激しくなっていることもわかった。ルツボの消耗状態を確認すると、ルツボの内径は最大で 5mm 程変化しているものの、さほど消耗しておらず、大幅に減少しているのは外周周りであることがわかった。また、内部の上面から底面までの深さを調べたところ、全く変化（消耗）はなかった。これらのことから、空気層に触れているところで酸化が進行し、黒鉛が燃えて消失したのに対して、湯が触れているところ（底部など）については酸化しないため、消耗は抑えられていることがわかった。ルツボの材質の消耗が予想以上に大きいことがわかった。アルミ溶湯と触れる部分は溶損しない炭素材等が必要であるが、それ以外の部分に関しては、鉄などで十分であることから、セラミックと鉄とのハイブリッド型ルツボを作製することで問題は解決すると考えている。それ以外の部分に関しては、特に消耗している部分は見受けられなかった。

## 2.3 事業化展開

### 1) ワンショットメルト炉の用途開発

異種材アルミ合金のダイカスト鑄造用として特徴をもたせた炉とすることは第 4 章の冒頭で説明したとおりである。特殊なアルミ合金をみると、JIS 規格にある AD3 のような耐候性に優れた材料以外にも、90W/m/K の熱伝導率をもつ AD12 に比べて、186W/m/K（～2 倍）の高熱伝導率をもつ特殊アルミ合金や、引張強さ・延性・耐力に優れた合金などがラインナップされている。特殊な性質を引き出しているのはわずか数%の割合で含まれる構成元素による効果であるため、コンタミを起こさないことが必須であり、湯替えが容易な特殊炉が必要とされる。通常炉では対応できない特殊な用途を想定することでイニシャルコストに見合う費用対効果を生み出せると考えている。

### 2) 異種材の製品製造に係る工場運用

このような用途で当面利用されることを想定し②ダイカスト工場での運用状況を予想する。特殊材の受注は AD12 材による鑄造品に比べて、新塊ベースで生成されているため、材料コストが高く適用部品が限定される。この点を考慮すると、アルミ製品の全製品について異種材へ移行するわけでないため、適用部品の品数は少ないことが予想される。そこで通常のホーム炉にかわってワンショットメルト炉へ導入される割合は、5%（100 ラインの生産工場で 5 ライン）程度と想定される。導入されたラインは特殊アルミ合金の受注品を鑄造し、その仕事がない期間は AD12 品の鑄造ラインへ変化させるといった生産スケジュールを組む

ことになるため、湯替えの段取りを如何に簡便に実施できるかが重要なポイントになると予想される。

工場運用へワンショットメルト炉を導入し生産を始めるにあたり、アドバイザーである美濃工業株式会社の協力のもと、数万ショットの鑄造サイクルに対して、安定性、メンテナンス性を確認し、残された課題の抽出を行い、運用に耐える仕様まで改良を行う。専用のビレットを 5kg インゴットから生産できる炉、鑄造機を導入し、一連の鑄造体制を構築した上で、客先からの受注をはじめめる。メンテナンス性および安定性が確保された時点で、ダイカスト展示会や TECH BIZ EXPO など見本市でのユーザーとのマッチングを図る。また、④の炉販売を促進し、他のダイカストメーカーへ普及させるためには、リサイクル体制を再構築する必要があり、工場で再処理していたリターン材に関して、リサイクルメーカーとの協議を進め、引き取り体制の検討および構築を進めていく予定である。

### 3) アルミ合金材料の供給体制

この状況を想定した上で、③材料供給体制について考える。今回、1kg 容量のルツボに材料を納めるために  $\phi 25 \times h25$  のアルミ合金材料を溶解する方式を採用した。一方で、現在アルミ合金を販売している材料メーカーD 社などに参考意見を聴いたところ、5kg インゴットで供給する体制で統一されている現状の報告を受けた。この結果、年間のインゴットとワンショットメルト用ビレットの予想生産量のバランスから考えると実用初期段階では相当に対応が難しいことがわかった。そこで④ワンショットメルト炉の販売が促進された状況に至る前の段階では株式会社シラカワまたは協力会社である美濃工業株式会社において、アルミ材料の加工を担当し、ワンショットメルト炉専用の小塊に加工し供給する体制をとる必要があると考えており、今後その対応する体制の検討を進めていく予定である。

### 4) 炉本体の販売

アルミ合金の材料供給体制を整えるためにも、④ ワンショットメルト炉の販売促進が重要となる。そのためには②で調査したメンテナンス性および安定性が求められる。その上で湯替え段取りを前提とした炉システムの構造を設計するとともに、燃費、CO<sub>2</sub>削減効果、装置の設置面積が小スペースで済むなど工場運用する上でのメリットをもったものとして販売炉を実現させ、見本市などでの展示を積極的に進め、販路を拡大していく予定である。