

平成24年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「環境に優しい薄肉化耐熱鋳鋼鋳造装置の開発」

研究開発成果等報告書

平成25年3月

委託者 関東経済産業局

委託先 公益財団法人栃木県産業振興センター

# 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
1 - 2. 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名）	1
1 - 3. 成果概要	4
1 - 4. 当該研究開発の連絡窓口	4

## 第2章 本 論

2 - 1. 従来技術	5
2 - 2. 新技術「薄肉化耐熱鋳鋼鋳造装置の開発」	5
2 - 3. 実施内容	
2 - 3 - 1. 薄肉化対象品の選択	6
2 - 3 - 2. 鋳造用合金	7
2 - 3 - 3. 低コスト化について検討すべき事項	7
2 - 3 - 4. 鋳造 CAE による健全性の確認の実施	8
2 - 3 - 5. 鋳造方案設計	9
2 - 3 - 6. 鋳造用模型の製作	9
2 - 3 - 7. 「溶解炉傾動装置」の開発と最適化の研究	9
2 - 3 - 8. 「減圧吸引装置を備えた連続鋳造実験ライン」の開発と最適化の研究	10
2 - 3 - 9. 「鋳型装填装置」「鋳型バックアップ砂充填装置」「フィルム形成装置」 「製品取出装置」の開発と最適化の研究	12
2 - 3 - 10. 研究作業及び開発設備保全の標準化	15
2 - 3 - 11. 研究開発鋳造工程の説明	16
2 - 3 - 12. 多量鋳造実験	17
2 - 3 - 13. 鋳造品の評価	17

## 第3章 全体総括

3 - 1. 複数年の研究開発成果	19
3 - 2. 研究開発後の課題・事業化展開	21

# 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

近年厳しさを増す環境規制（排ガス規制・燃費規制等）によって乗用車のパワートレインは HV 化 EV 化が進んでいる。しかし、その反面成長著しい新興国などは EV・HV 基幹コンポーネンツの整備技術や安定電源供給等のインフラ整備が進まず、2020 年迄は従来型のガソリンエンジンが採用され続けると予測されている。また、先進国であっても HV・EV 車両コスト高の側面から乗用車用ガソリンエンジンの搭載比率は依然として高い。

そうした中自動車産業は、これらの市場戦略として、省エネルギー化に有効なガソリンエンジンのダウンサイジングを進めている。また、これに伴いダウンサイジングによる出力低下を補うために有効な過給器（ターボチャージャー）の装着比率も増大している。

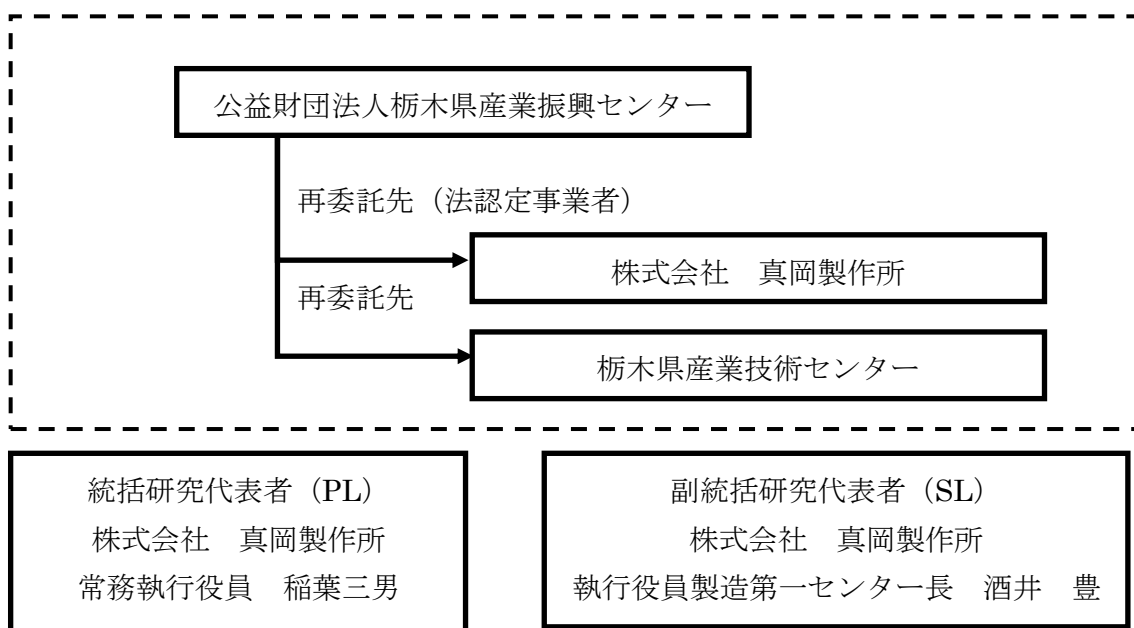
燃焼高効率化を目的とすると排ガス温度は 1,050℃にも達することから、ターボチャージャー用タービンハウジングは耐熱鋳鋼製が採用される。しかし、多量の合金を含む複雑な形状の耐熱鋳鋼製ハウジングは鋳造性が悪く、欠陥も出やすい。このことから薄肉化は難しく、軽量化の実現は困難であった。そうした状況の中、川下ユーザーである自動車産業からは実用化レベルでの軽量化（＝薄肉化）と低コスト化が要求されている。

本研究開発においては、耐熱鋳鋼製品（ターボチャージャータービンハウジング）を、従来法より安価で、かつより低エネルギーでの薄肉化鋳造が可能となる環境に優しい耐熱鋳鋼鋳造装置を開発し、川下ユーザーのニーズである、軽量化（＝薄肉化）・低コスト化に資するものとする。

## 1 - 2. 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名）

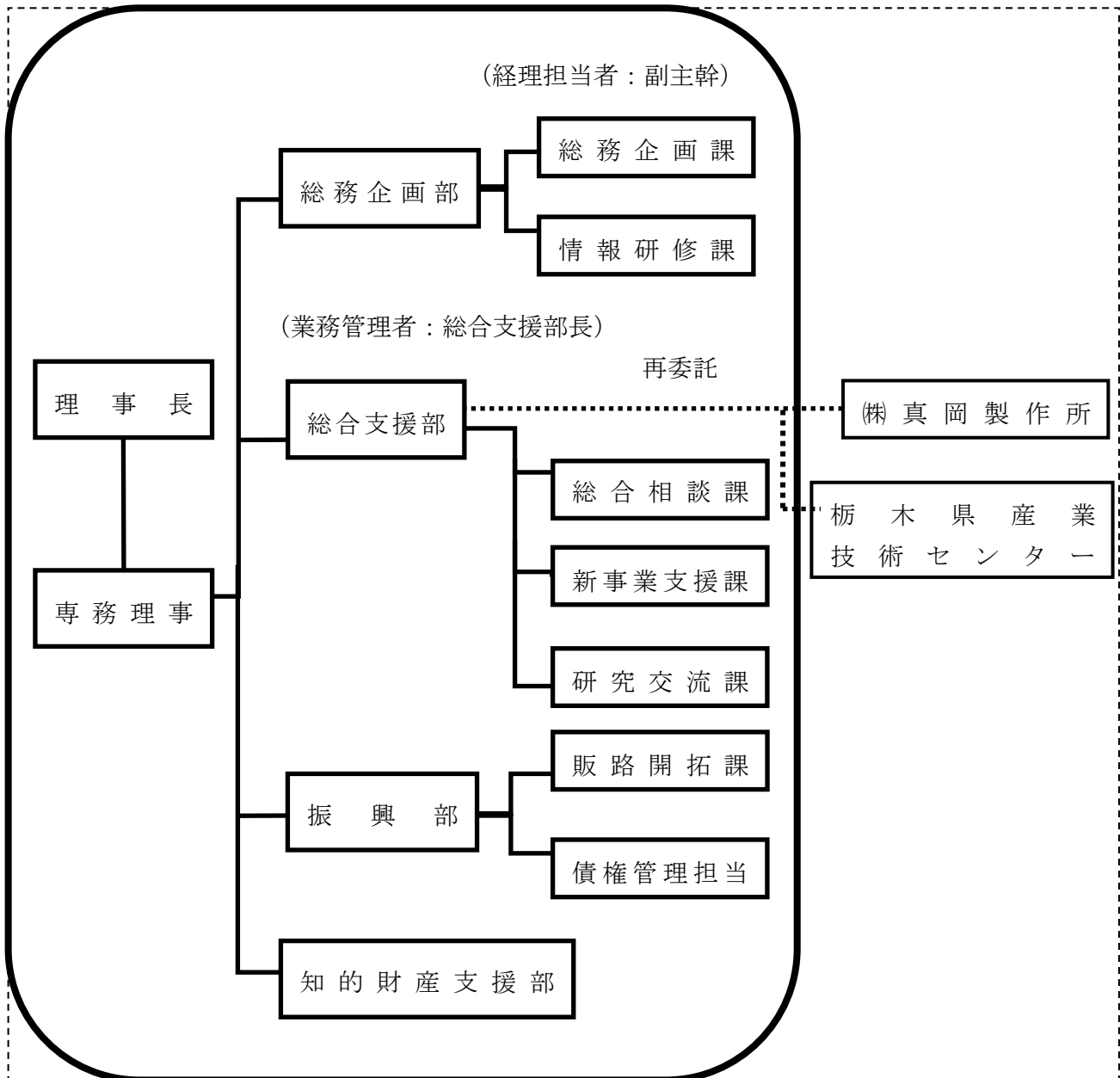
### (1) 研究組織及び管理体制

#### ① 研究組織（全体）



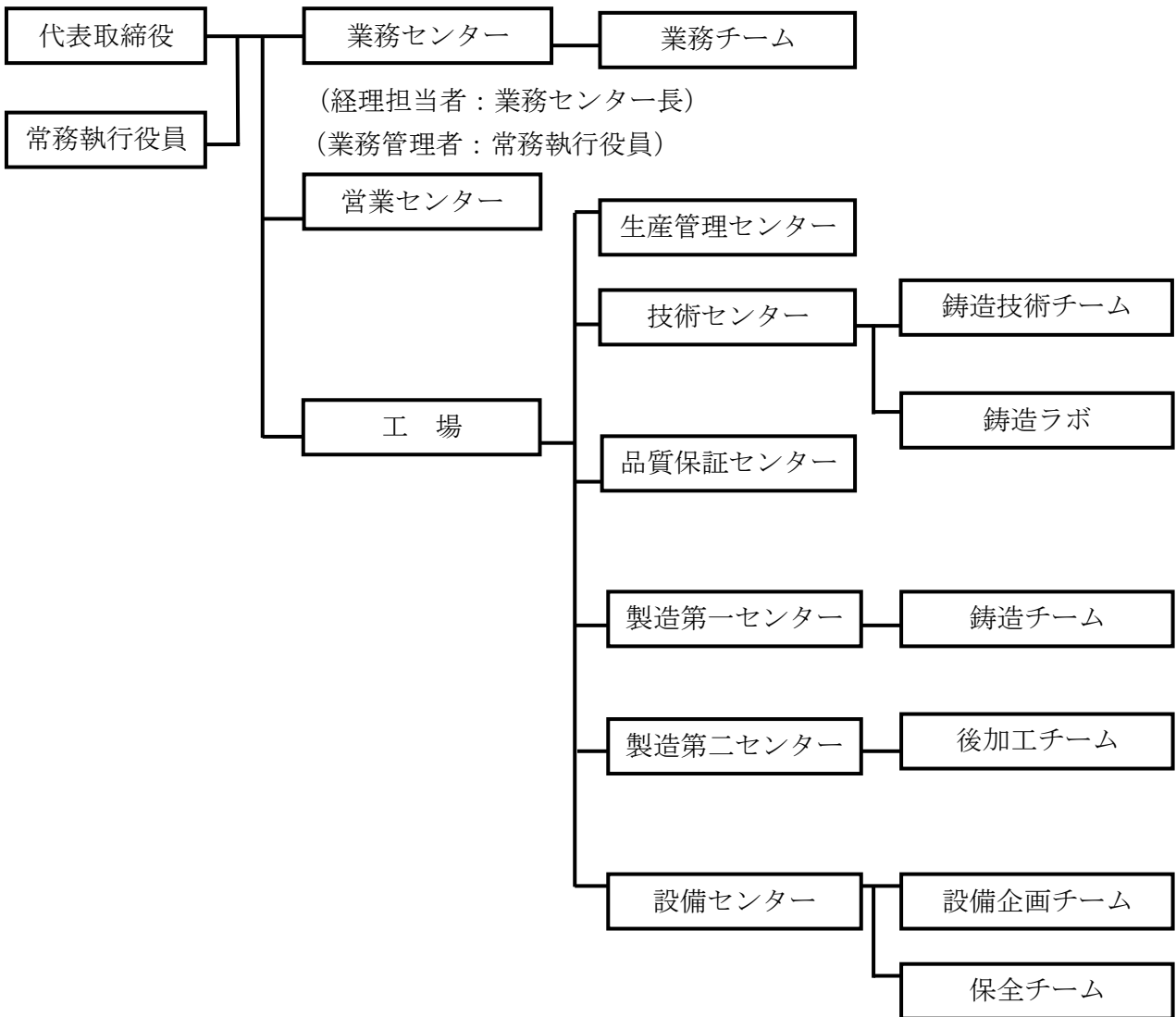
(2) 管理体制

① 事業管理機関 [公益財団法人 栃木県産業振興センター]

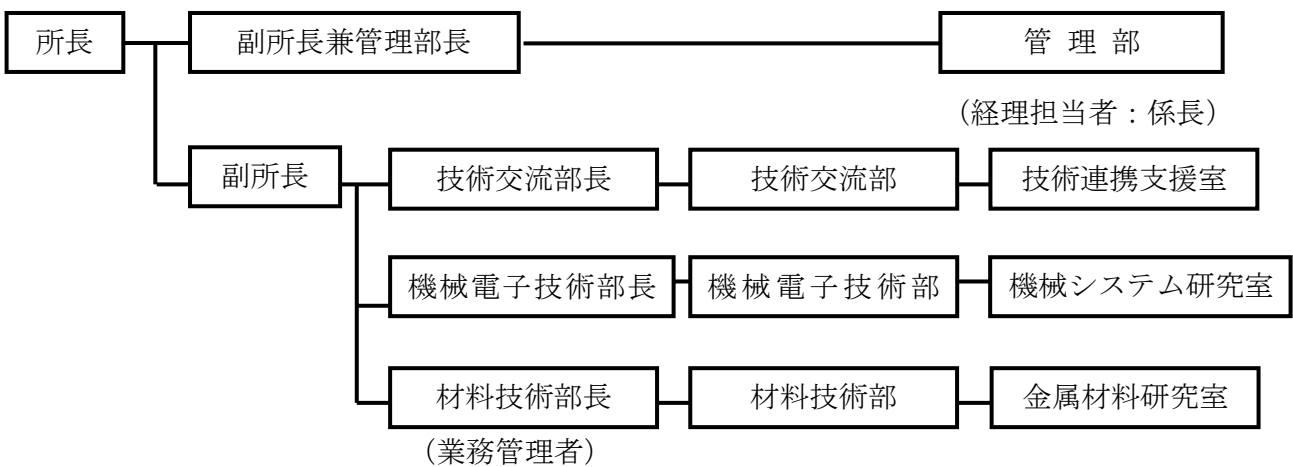


② 再委託先

[株式会社真岡製作所]



[栃木県産業技術センター]



### 1 - 3. 成果概要

本研究開発において、これまで溶解炉から取鍋<sup>1</sup>に受けて各々の鑄型<sup>2</sup>に注湯<sup>3</sup>していた工程を、取鍋を使用することなく、空隙内部を吸引した状態の鑄型に直接溶解炉より注湯できる薄肉化耐熱鑄鋼鑄造装置を開発し、最適化・高度化を行った。

これにより、従来製法に比較して

- ① 注湯歩留りが16%向上した。
- ② 産業廃棄物となる取鍋の耐火物を無くした。
- ③ 取鍋のガス加熱エネルギー（LPG）を不要にした。
- ④ 溶解炉の電気熱エネルギーの損失を減少させた。
- ⑤ 製造作業の安全性が向上し、作業負荷が軽減した。

また、[目標値]に対しては

- ① 15%の低コスト化目標に対して、38.8%の低コスト化を実現した。
- ② 10%の軽量化目標（薄肉化目標として3.5mm以下）に対して、10.4%の軽量化（肉厚3.45mm）を可能にした。

以上の通り、当初の計画期間内に目標を達成することができた。また、この装置により得られた低コスト化製品の切削特性を定量化しつつ薄肉化鑄造の最適条件を明らかにし、低コストかつ欠陥の無い薄肉耐熱鑄鋼鑄物の製造法を確立することができた。

また、日頃よりコンソーシアムメンバーが電話や電子メールにより緊密に連絡を取り合い、共同体としての合意形成をしながら研究開発を行った。また、このほかにも少人数での会議・打合せを適宜に行うことで進捗状況を把握し、課題の抽出等を検討し対策を実施することで無駄なコストの削減と効率の維持を図った。

### 1 - 4. 当該研究開発の連絡窓口

名 称：公益財団法人 栃木県産業振興センター

担当課：総合支援部 研究交流課

担当者：主事 関口 徹

所在地：〒321-3226

栃木県宇都宮市ゆいの杜1丁目5番40号 とちぎ産業創造プラザ内

電 話：028-670-2602 / FAX：028-670-2611

E-mail：[kenkyu@tochigi-iin.or.jp](mailto:kenkyu@tochigi-iin.or.jp) / URL：<http://www.tochigi-iin.or.jp/>

<sup>1</sup> 【取鍋（とりべ）】 炉から出る溶湯を受け運搬や鑄込みを行う容器

<sup>2</sup> 【鑄型（いがた）】 熔融金属を注入して所定の鑄物をつくる型

<sup>3</sup> 【注湯（ちゅうとう）】 熔融した金属（湯：ゆ＝溶鋼）を注ぐこと

## 第2章 本論

### 2-1. 従来の技術

従来は図1に示すとおり、溶解炉より取鍋に溶湯<sup>4</sup>を受けてから各々の鑄型に注湯していた。

#### 【欠点】

[取鍋を使用するため]

- ① 取鍋内壁の耐火物成分が鑄物に混入し、製品の品質が悪くなる。
- ② 溶湯の温度低下を最小限に抑えるために、予め取鍋をガス炎で加熱しておく必要がある。
- ③ 取鍋内での溶湯の温度低下を見越して、溶解炉内の溶湯温度を高めを設定する必要がある。
- ④ 鑄型への注湯は人力になるため、作業者への負担（高温環境下での作業・重い取鍋を持ち上げでの注湯作業などによる精神的・肉体的負担）がかかる。

[大気圧のみで鑄造しているため]

- ⑤ 鑄型内部への湯流れが悪く、欠陥が発生する。



図1 従来の方法

### 2-2. 新技術「薄肉化耐熱鑄鋼鑄造装置（図2）」の開発

本研究開発では、従来技術の欠点を克服するために図2のような薄肉化耐熱鑄鋼鑄造装置の開発を行う。

#### 【利点】

- ① 溶湯の流動性が良くなり、湯回り不良<sup>5</sup>等の欠陥が少なくなる。
- ② 中子<sup>6</sup>や鑄型から発生するガスの溶湯中への巻き込みを軽減し、ピンホール<sup>7</sup>等のガス欠陥を少なくすることができる。
- ③ 製品全体にほぼ均一な薄肉化が可能である。

<sup>4</sup> 【溶湯（ようとう）】 熔融した金属（湯：ゆ＝溶鋼）

<sup>5</sup> 【湯回り（ゆまわり）不良】 溶湯が鑄型空隙部を完全に満たすことができないときに生ずる欠陥

<sup>6</sup> 【中子（なかご）】 鑄物中空部を作る為に主型と別に作る鑄型、この鑄型を主型の中空部にはめこむ

<sup>7</sup> 【ピンホール】 溶湯中のガス含有量が多く凝固時にガスが分離して気泡を形成したり、また鑄型の水分や粘結剤から発生したガスが溶湯にまき込まれたり、鑄型空洞内（空隙部）の空気が溶湯流にまき込まれたりして気泡を形成し、鑄物内に穴を生じるもの。

- ④ 安価な装置である。
- また、[取鍋に小分けする工程を省略することにより]
- ⑤ 取鍋内壁の耐火物成分が鋳物に混入しなくなる。
- ⑥ 取鍋の加熱も不要になる。
- ⑦ 溶解炉内の溶湯温度を高め設定する必要がなくなる。
- ⑧ 作業者への負担が軽減される。

【薄肉化耐熱鋳鋼鋳造装置の構成】

- ① 溶解炉傾動装置（平成 22 年度成果）
- ② 減圧吸引装置を備えた連続鋳造実験ライン（平成 23 年度成果）
- ③ 鋳型装填装置（平成 24 年度成果）
- ④ 鋳型バックアップ砂充填装置（平成 24 年度成果）
- ⑤ フィルム形成装置（平成 24 年度成果）
- ⑥ 製品取出装置（平成 24 年度成果）

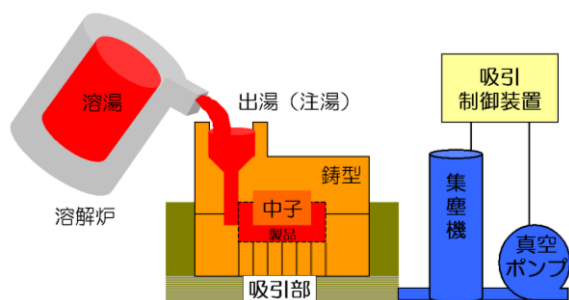


図 2 左：薄肉化耐熱鋳鋼鋳造装置イメージ図、右：装置全体

2 - 3. 実施内容

2 - 3 - 1. 薄肉化対象品の選択

薄肉化対象品として乗用車用ターボチャージャータービンハウジングを選択した（図 3）。製品の大きさは外径約  $\phi 150\text{mm}$  × 高さ約  $90\text{mm}$  に約  $15\text{mm}$  厚のフランジが付いた蝸牛状のもので、薄肉化とする部位は矢印で示す箇所であり、薄肉化前の肉厚は約  $4.5\text{mm}$  である。

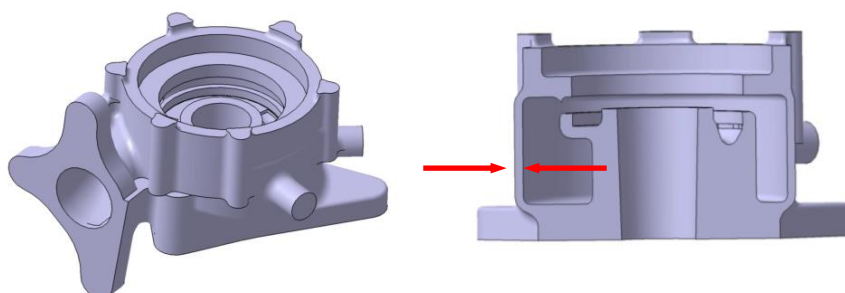


図 3 薄肉化対象品（乗用車用ターボチャージャータービンハウジング）



## 2-3-2. 鑄造用合金

鑄造用合金は、JIS G5122 で規定する SCH22 を主成分とすることにした。その理由は、従来より乗用車用ターボチャージャータービンハウジングなど耐熱排気系機械部品鑄物に用いられている実績が数多くあるからである。SCH22 の化学組成（表 1）を示す。

表 1 SCH22 (JIS G5122) の化学組成 (単位%)

元素	C	Si	Mn	Ni	Cr	P	S	Mo
JIS 規格	0.35~ 0.45	1.75 以下	1.50 以下	19.0~ 22.0	23.0~ 27.0	0.040 以下	0.040 以下	0.50 以下

## 2-3-3. 低コスト化について検討すべき事項

製造コストの原価要素は主に材料費や直接労務費の直接費と電力料やガス料などの間接費に大別される。特に耐熱鑄鋼材は Ni や Cr など高価な合金を多量に配合することから、原材料費（地金費）の割合が高い。したがって注湯歩留りを改善することは低コスト化に大きく影響することになる。そこで、歩留り率を向上させるために次の項目を検討することにした。

- ① 湯口カップに求められることは、溶解炉より出湯された溶湯を静かに早く、かつ途切れることなく適度な流速に保ちつつ、鑄型内に充填することである。
- ② 湯道は製品の最適位置に配置された押湯まで溶湯を導くことができればよい。
- ③ 押湯の役割は製品よりも遅く凝固するだけの熱量と製品が正常に凝固するために必要な溶湯を補給するだけの十分な体積があればよい。

以上のことから、注湯精度を最適化し、押湯<sup>8</sup>上部までの注湯量にすることで、湯口<sup>9</sup>カップや湯道<sup>10</sup>部分の余分な溶湯を省くことで注湯歩留りが改善できることに想到した（図 4）。

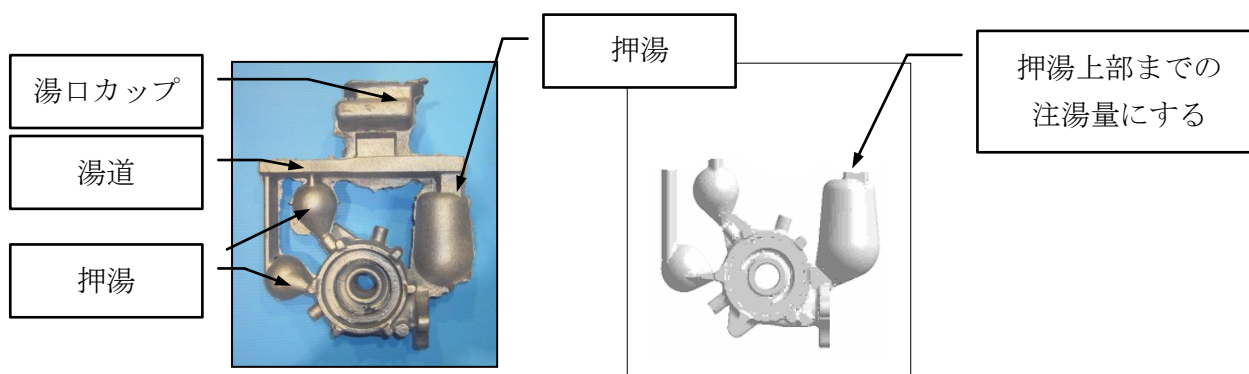


図 4 左：従来の注湯量、右：歩留りを改善した注湯量（イメージ図）

<sup>8</sup> 【押湯（おしゆ）】注湯された溶湯の凝固収縮に対し、溶湯を補給するために鑄物部に取り付けられる付属物

<sup>9</sup> 【湯口（ゆぐち）】溶湯を鑄型内に導く最初の流路

<sup>10</sup> 【湯道（ゆみち）】湯口と堰との間を連結する溶湯の流路

#### 2-3-4. 鋳造 CAE による健全性の確認の実施

注ぎ込まれた溶湯が鋳型内部に充填する過程でどのような流れ方になり、充満した溶湯がどのように凝固するのかを予測することは、健全な鋳物を得る上で非常に重要でありコストへの影響も大きい。そこで、鋳造 CAE で注湯歩留りを改善する方法を解析し健全性の確認を行った。

まず、湯流れシミュレーションの結果を図 5 に示す。押湯に注がれた溶湯は押湯を満たしながら堰<sup>11</sup>を通過してキャビティ内部に流入する。途中、空気を巻き込む乱流が見取れるが、製品全体には早く静かに充填されていることが確認できる。

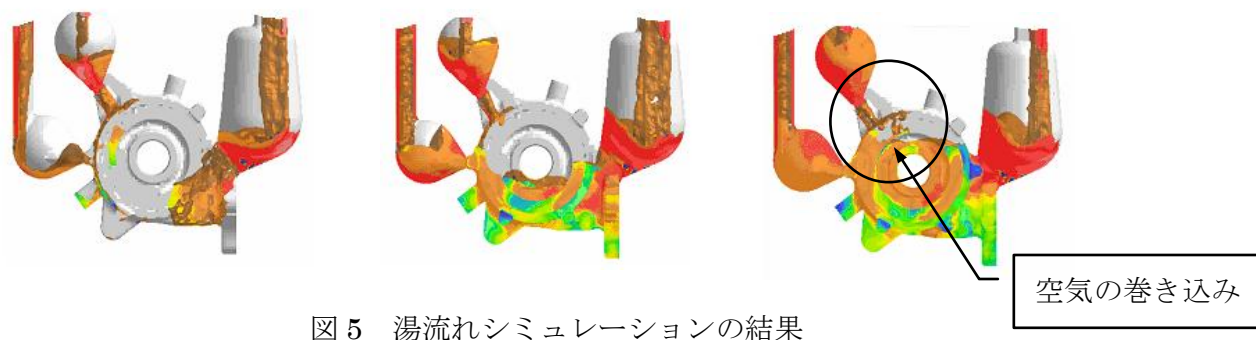


図 5 湯流れシミュレーションの結果

次に凝固シミュレーションの結果を図 6 に示す。

押湯が最後に凝固するような位置と大きさになっていることから、厚肉部と薄肉部が交差し感受性が大きく変化する箇所に溶湯補給が十分に保たれており、CAE 上では内部欠陥が皆無となっていることが確認できる。

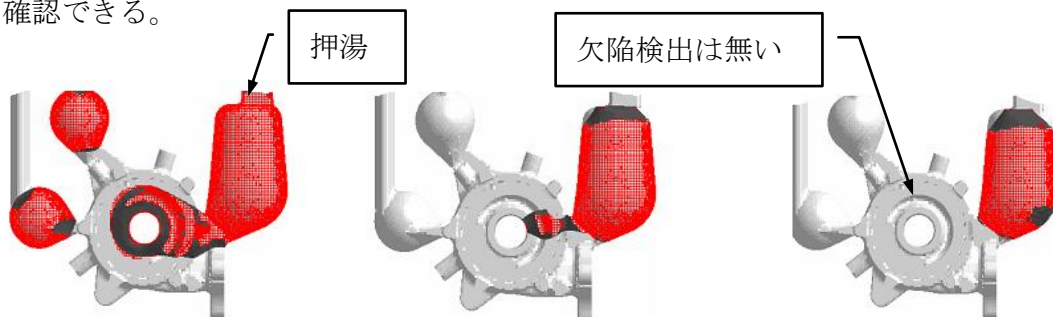


図 6 凝固シミュレーションの結果

鋳造 CAE 上の解析結果ではあるが、本注湯法でも押湯に対して必要かつ十分な溶湯補給がなされれば、湯口カップや湯道の全てが溶湯に満たされていなくても健全な鋳物ができることが確認できた。

<sup>11</sup> 【堰（せき）】湯道と鋳物部を結ぶ流路

### 2-3-5. 鋳造方案設計

鋳造 CAE の解析結果を基に減圧吸引状態で薄肉耐熱鋳鋼を鋳造する際の鋳造方案<sup>12</sup> (図 7) を設計した。本方案はフランジ部 1 箇所及び取付けボス 2 箇所の製品外周囲の合計 3 箇所から溶湯を製品部に入れる方案であり、効率良く吸引できるよう溶湯の合流点 1 箇所に、深さ 0.5mm×巾 30mm の通気孔を配した。

### 2-3-6. 鋳造用模型の製作

鋳造模型<sup>13</sup> (図 8) の製作にあたってはコールドボックス鋳型を鋳造実験に用いることから、安価で寸法精度が安定している樹脂型を選定した。この型はアルミニウム合金製の定盤に製品部と方案部をそれぞれ異なる種類の合成樹脂で型を構成したものである。また、吸引孔の形成には厚さ 0.5mm の銅製の板を自由な形状に加工してアルミニウム合金製定盤の任意の位置に取付けられる仕様とした。

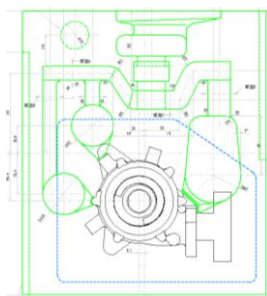


図 7 鋳造方案

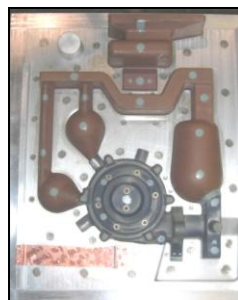


図 8 鋳造模型

### 2-3-7. 「溶解炉傾動装置」の開発と最適化の研究

#### (1) 溶解炉傾動装置の概要

溶解炉傾動装置 (図 9) は、走行軌条の上に溶解炉 (小型高周波誘導炉) を搭載した台枠を設置する。この台枠は回転する扇状の回転部と、それを支持する架台とで構成され、駆動箇所にはサーボモーター、減速機付きモーターが組み込まれており、シーケンサーで前後・左右・昇降・回転の組合せ動作を制御することで搭載した溶解炉を傾け、鋳型への直接注湯が可能となる。

また、自動計量装置と演算回路により、予め設定した溶湯量を自動で計測しながら注湯する装置である。なお、搭載する溶解炉は内径  $\phi 300\text{mm}$ 、高さ 500mm で最大溶解温度が  $1,700^{\circ}\text{C}$ 、240kW の高周波電源容量があり、電力原単位は約 570kWh /ton である。

炉室耐火材が溶湯による侵食を受けると炉室内径が変化し、注湯流線に著しい変化を引き起こす。これはガスの巻き込みや細注ぎによる湯回り不良等の不具合がおき易くなるとともに、炉室内径形状の変化は印加電力の低下による有効出力の損失をも招く。これらを防止するために、炉室形状に適合した定形坩堝を新規に製作した。なお、一回に溶解できる量は最大 220kg まで可能であり、数

<sup>12</sup> 【鋳造方案 (ちゅうぞうほうあん)】 製品図から鋳物製品を作る計画

<sup>13</sup> 【模型 (もけい)】 鋳型に鋳物の形を写し取るための原型となるもの

値入力や注湯実績の確認はタッチ入力可能な操作盤上のディスプレイパネルで行うことができる。

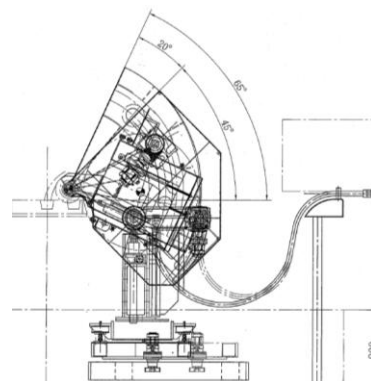
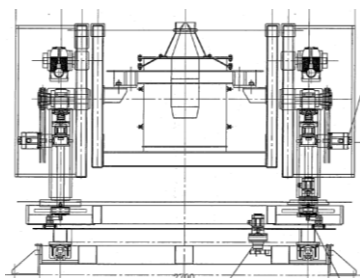


図9 溶解炉傾動装置

## (2) 溶解炉傾動装置の最適化

高い注湯精度を実現するために「溶解炉傾動装置注湯パラメータ (表2)」の数値や注湯重量水準を変化させた注湯実験を繰り返し行い、最適化パラメータを確立した。

表2 溶解炉傾動装置注湯最適化パラメータ

項目	値 (単位)	項目	値 (単位)
設定重量	10kg	出湯検出ディレイ	0.3sec
設定注湯時間	2.1sec	出湯後減速時間	0.8sec
設定注湯速度	300rpm	後傾動速度	-1,800rpm
初期傾動速度	1,200rpm	後傾動角度	5.0deg
前回転速度	1,500rpm	前回転速度	-1,500rpm
前回転角度	4.0deg	後回転角度	5.0deg

## 2-3-8. 「減圧吸引装置を備えた連続鋳造実験ライン」の開発と最適化の研究

### (1) 減圧吸引装置を備えた連続鋳造実験ラインの概要と構成

減圧吸引装置を備えた連続鋳造実験ラインを開発し、薄肉化耐熱鋳鋼鋳造装置の最適化研究を行った。本装置は、吸引用配管が接合された減圧吸引容器から調圧装置及び集塵装置を介して真空ポンプに接続される。真空ポンプにより容器に納められた鋳型全体を減圧吸引することで鋳型空隙内部の吸引効果を大きくし、鋳型の溶湯最終充填部までへの注湯が促進され、湯回り不良、ガス欠陥等の発生を抑制するとともに薄肉化を可能にする連続鋳造実験装置である。

### [構成]

#### ① 「鋳型搬送台車ライン」

四車輪方式の台車の寸法は長さ 470mm×巾 730mm、ターンバックルで 10 台が連結され、2.2kW

のインバーター制御の減速モーター及び駆動モーターにより搬送ができ、速度は最大で 12m/min である。また、インバーターによる減速が可能で、吸引用配管の着脱装置を具備し、コントロールはシーケンサー方式である。

## ②「減圧吸引容器」

容器構造はボックス型で材質は SS、底面に 2 種の金網で構成された二層の鋳型吸引フィルターがある。また、内寸は長さ 400mm×巾 582mm×高さ 599mm、外寸は長さ 494mm×巾 722mm×高さ 664mm であり、容器減圧着脱座、容器搬送・反転用天具を備えている。

## ③「吸引装置」

逆流冷却式ロータリー乾式真空ポンプの吸引圧力は常用圧力で $-0.05\text{MPa}$ 、吸引風量は吸引状態で $5.5\text{m}^3/\text{min}$  であり、吐出サイレンサー、吸引バルブ、ユニット配管等を備えている。

## ④「真空配管」

吸引装置から減圧吸引容器までの配管一式。使用材料は SGP（配管用炭素鋼鋼管）、配管寸法は最大口径 60mm、サクシオンホース、吸引カップ、真空計で構成されている。

## ⑤「高性能乾式濾過集塵装置」

乾式外面濾過ベンチュリーダスト払い落とし方式を採用し、風量は $5.5\text{m}^3/\text{min} \times -0.05\text{MPa}$  である。ダストは連続で払い落とされるが排出は手動で行い、フィルターの圧力検出はマンオメータで行う。

## ⑥「地上制御盤」

制御電源の入切、真空ポンプの起動・停止、注湯可否の確認、減圧吸引容器の乗せ換え確認、台車ストッパーの各種設定を行うことが可能で、数値入力や状態の確認はタッチ入力可能なディスプレイパネルで行う。

### (2) 減圧吸引装置を備えた連続鋳造実験ラインの最適化（吸引量の設定）

吸引量水準を $-0.01\text{MPa}$  単位で変化させた組み合わせ鋳造実験を行い、その結果に基づき鋳造条件の吸引量（＝減圧度）を設定した。吸引量が $-0.01\text{Mpa}$  以下では減圧度が不足し、肉厚 3.5 mm 以下の薄肉部には溶湯が融合せず湯境<sup>14</sup>不良が発生してしまう（図 10）。次に、吸引量が $-0.04\text{MPa}$  以上の場合、押湯の周囲にバリ<sup>15</sup>が発生し、製品には吸引量が強いためにノロ濾し（フィルター）で捕捉できなかった酸化物が製品の表面に介在する不具合が発生した（図 11）。一方、 $-0.02\text{MPa}$  ～ $-0.03\text{MPa}$  吸引した状態での湯流れは良好で湯境不良や酸化物介在などの不具合がないことが確認できた（図 12）

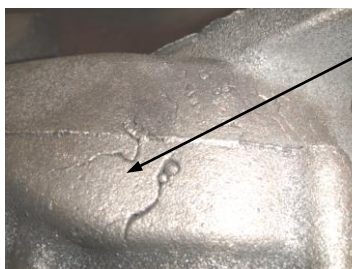


図 10

吸引量が $-0.01\text{Mpa}$  以下では減圧度が不足し、肉厚 3.5 mm 以下の薄肉部には溶湯が融合しない湯境不良が発生する。

<sup>14</sup> 【湯境（ゆざかい）】 鋳物の肉が一体とならず、一部に境目が生じる欠陥

<sup>15</sup> 【バリ】 溶湯が型の合わせ目などからはみだしたために製品にできる薄い板状の突起物

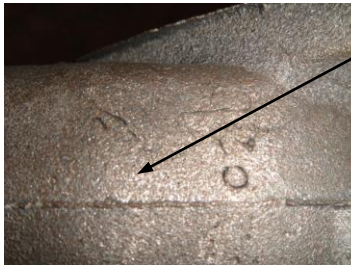


図 11

吸引量が $-0.04\text{MPa}$  以上の場合は製品には吸引量が強いためにノロ濾し（フィルター）で捕捉できなかった酸化物が製品の表面に介在する不具合が発生する。

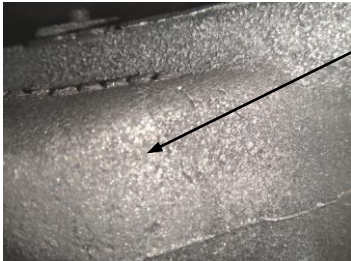


図 12

$-0.02\text{MPa}$ ～ $-0.03\text{MPa}$  吸引した状態での湯流れは良好で湯境や酸化物の巻きこみなどの不具合は無く、内部も健全であることが確認できた。

### 2 - 3 - 9. 「鋳型装填装置」「鋳型バックアップ砂充填装置」「フィルム形成装置」「製品取出装置」の開発と最適化の研究

減圧吸引容器への「鋳型装填装置」及び「鋳型バックアップ砂充填装置」、容器への「フィルム形成装置」、鋳造後の「製品取出装置」を開発し最適化した。

#### (1) 鋳型装填装置、製品取出し装置（ハンド部を除く基本仕様は同じである）の仕様

- ① 高さ 4,900mm、ベース 4,400mm、旋回半径最大 1,800mm、最小 980mm、可搬重量は 80kg（図 13）
- ② 駆動源は圧縮空気のみで電源を不要とした省エネ仕様
- ③ 固定調圧式バランスユニットを搭載したオリジナル設計の防塵・耐熱仕様
- ④ 4 種類の鋳型重量（製品重量）の設定をすることが可能。また、設定状態は圧力計の上部に取付けたエアランプで視認することができる。
- ⑤ ハンドは各々 2 種類（計 4 種類）製作した（図 13）。このハンドに取付ける樹脂製の駒や金属製の冶具により多様な鋳型の装填や製品取出し作業に対応することが可能となる。また、ハンドの交換はワンタッチクランプ方式にすることで敏速な交換が可能である。
- ⑥ 防塵対策としてシリンダー部には防塵カバー（図 14）、関節部には一定流量の圧力（ $0.05\text{MPa}$  以下）を内部にかけるエアージェットをすることで粉塵などの浸入を防ぐ仕様にした（図 14）。



図 13 鋳型装填装置、製品取出装置外観（右：ハンド）



図 14 防塵カバーの取付け、関節部へのエアージェット

## (2) 装置の概要

### ①鋳型装填装置

水平に組み上げられた鋳型の手掛け部（複数の凹部）にハンド部に取付けられた樹脂製の駒を合せてクランプする。次にクランプした状態の鋳型を 90° 反転し垂直にする。予め設定されたバルブ圧により、鋳型をわずかな力で速く安全かつ正確に減圧吸引容器内に装填することができる（図 15）。



図 15 鋳型装填方法

## ②製品取出装置

注湯後一定時間を経過した後、減圧吸引容器からバックアップ砂を排出し、鑄型から製品取出し装置を使い鑄造品を取出す。このとき取出した製品の温度は約 300℃、この装置により高温の製品をわずかな力で速く安全かつ正確に製品を搬送できる（図 16）。また、クランプ/アンクランプの操作は操作盤上での両手押しボタン操作とし、遊び手などが不意に挟まれる事故を防止する仕様になっている。

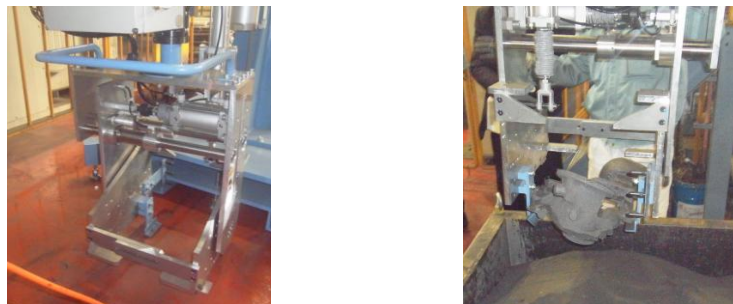


図 16 製品取出し方法

## (3) 鑄型バックアップ砂充填装置

### [装置の仕様]

- ① 脱着式サンドホッパーの寸法は 1,300×1,500×3,700Hmm、容量は 1.9 m<sup>3</sup>。
- ② 砂量はサンドホッパー内に取付けた下限レベル計により検出する。
- ③ 砂充填能力は一時間あたり 5 トン。

### [装置の概要]

サンドホッパーからトラフに供給された砂は、シャフトに取付けられた回転するパドルにより前方へ送られ、先端のシュートから減圧吸引容器内に充填される。また、砂の流量はサンドホッパー底の調整口手動流量調整ゲートを前後させて調整することができ、トラフを左右に 20° ずつ水平方向に動かすことで鑄型周囲への砂充填が容易に行える（図 17）。



図 17 鑄型バックアップ砂充填装置



### (3) フィルム形成装置

#### 1) 装置の仕様

- ① 発振器の最大出力は 35W
- ② 発振周波数は 40kHz
- ③ 振幅値は 12  $\mu$  m
- ④ 出力調整ツマミでパワーを 30% (MIN) から 100% (MAX) まで無段階に調整をすることが可能
- ⑤ ハンドピース (超音波カッター) により切断を行う
- ⑥ 発振の ON/OFF はフットスイッチで行う

#### 2) 装置の概要

一定振幅、一定周波数の電気振動を持続して発生させるによりセラミック振動子を振幅拡大させる発振器によって増幅された振動は、刃の取り付けられたハンドピース (超音波カッター) の先端方向への強力な振動となり伝わる。この超音波振動によって、粘り気のある PP 製フィルムを軽い力でカットすることができる (図 18)。フィルムロールからフィルムを両手で引き伸ばして容器上面全面を覆いカッターガイドでフィルムを押える。切断する際はハンドピースの刃先をカッターガイドに合せ、ゆっくりと滑らせるようにする。また、フットスイッチを踏み込んだときのみ発振し、フットスイッチから足を離すと発振は停止する。また、刃は容易に交換が可能な替刃式である。なお、防塵対策として発振器を格納するコントローラ BOX の内部に 0.4MPa のエアーパージをかけることで粉塵などの浸入を防ぐ仕様としている。



図 18 フィルム形成方法

### 2 - 3 - 10. 研究作業及び開発設備保全の標準化

作業や設備保全の標準化は、知識を伝え知識を劣化させない手段であり、研究実施者全員がミスをせずに作業やメンテナンスができることを目的として作成した。

これらはマニュアルとしての機能を持ち、安定した品質と設備の機能維持及び改善を行う時のベースになるものである (図 19)。

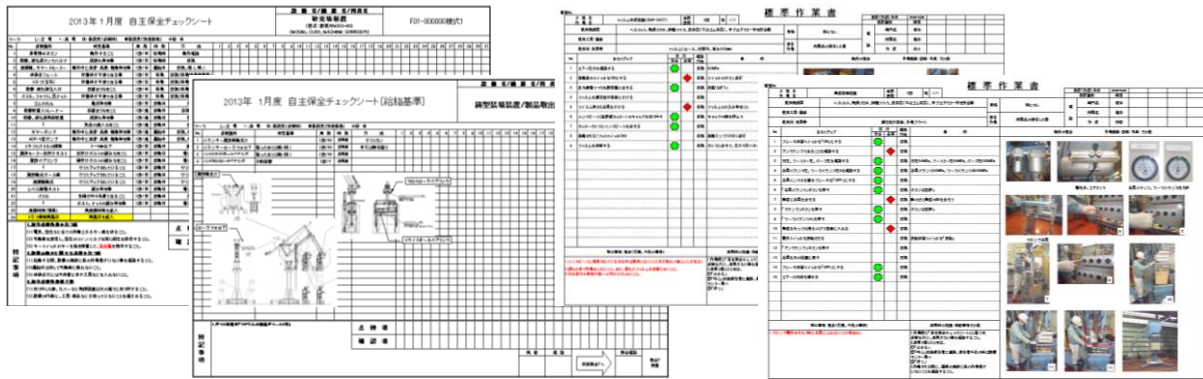


図 19 自主保全チェックシート、標準作業書

## 2 - 3 - 11. 研究開発鑄造工程の説明

鑄型に中子を組み込み、ノロ<sup>16</sup>濾し（フィルター）をセットした後、不定形耐火物が配合された糊で左右の鑄型を接着する。次に鑄型バックアップ砂充填装置により減圧吸引容器の底部に底砂を充填し、鑄型装填装置を用いて減圧吸引容器内に収納する。

鑄型の上部に樋をセットした後、再び鑄型バックアップ砂充填装置により容器と鑄型の周囲にバックアップ用の砂を充填し、樋を除く全てを埋没させる。砂を均したあとにフィルム形成装置により減圧吸引容器の上部全面を PP 製厚み 0.05mm シール用フィルムで覆いフィルムのズレや捲くれを防ぐ為に治具で固定する。次に合金配合に基づいた材料を溶解し 1,650℃まで昇温させ、化学成分の分析をし、除滓した後、出湯準備に入る。

次に真空ポンプを動作させ、真空ポンプの吸引配管の先端に取り付けられた吸引カップを容器減圧着脱座に接合し、吸引力を作用させて容器内部を吸引することで鑄型内空隙部を減圧する。また、減圧吸引容器内部を吸引することでバックアップ砂により鑄型が締めつけられ、型締め治具や重錘を必要としなくなる。

溶解炉傾動装置は、予め設定した注湯重量（鑄込み重量）に実計測重量が到達した時点で鑄型内が溶湯で満たされたと認識し、サーボモーターで溶解炉を瞬時に逆傾させ“湯切り<sup>17</sup>”をすることで鑄込みを完了する。鑄込み完了の後に吸引バルブが開放され、吸引カップが容器減圧着脱座より外れ、注湯済み鑄型を収納した減圧吸引容器を載せた台車を駆動モーターで一台車分移動する。同時に連結された未注湯鑄型を収納した減圧吸引容器が炉の中心である注湯位置まで移動→停止し、同様に注湯を開始する。この時、注湯する溶湯は通電した溶解炉で保持されているので、一定の温度を保つことができる。なお、注湯開始から注湯終了、鑄型の移動までのワンサイクルタイムは約 9 秒(sec)であり、時間 (sec) あたりの注湯重量は約 4.8kg/sec である。溶解炉内に残る溶湯が一枠注湯重量 (10kg) に満たない場合は、自動で注湯動作を終了し、溶解炉を溶解位置へ移動させ、排湯容器（スターティングブロック）に溶湯を排湯する。そして、注湯後一定時間が経過したら減圧吸引容器からバックアップ砂を排出し、鑄型から製品取出装置を使い鑄造品を取出し台車に積載する。

<sup>16</sup> 【ノロ (のろ)】 溶解に際して、装入地金の酸化物と溶剤およびライニング材の反応によって生じるかす

<sup>17</sup> 【湯切り (ゆきり)】 溶解炉を瞬時に逆傾させて注湯動作を止めること

### 2-3-12. 多量鑄造実験

本装置を用いて多量鑄造実験を実施し、注湯歩留りと製品の健全性を確認した。注湯量のバラツキが 9.5kg~10.3kg の範囲で発生したが、注湯歩留りは 45.6%~49.4%となり、従来法の 29%と比較して歩留りが約 16%向上した。また、浸透探傷試験法で製品内部欠陥の有無を確認したが、いずれの製品にも内部欠陥は認められず、良好な結果であった（図 20）。

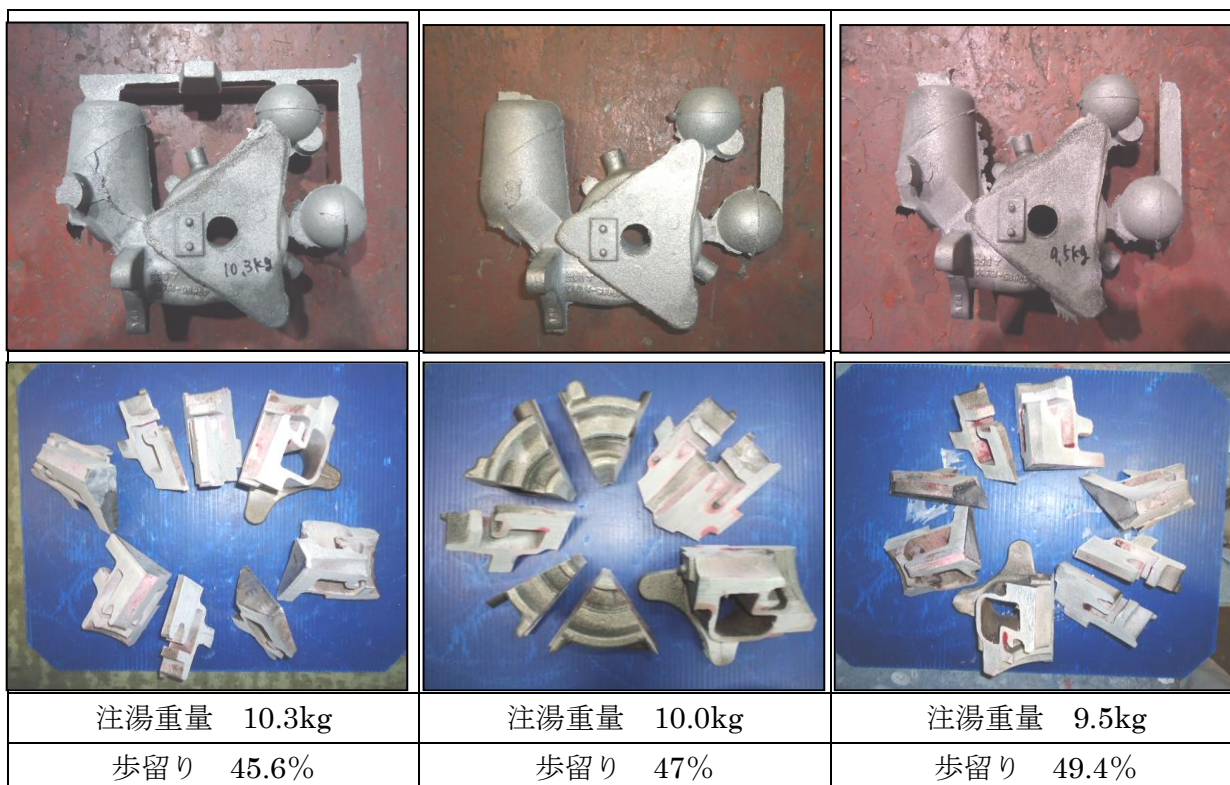


図 20 多量鑄造実験による歩留りと浸透探傷試験法による内部欠陥の確認

### 2-3-13. 鑄造品の評価

低コスト化を図るために種々の条件で鑄造した鑄造品について、以下の評価を行った。

- 1) 材料試験
- 2) 金属組織の観察
- 3) 切削特性の評価

#### 1) 材料試験

低コスト化鑄造品の機械的性質を表 3 に示す。なお、低コスト化前の鑄造品も表と同等の機械的性質であった。

表 3 低コスト化鋳造品の機械的性質

	耐力 N/mm <sup>2</sup>	引張強さ N/mm <sup>2</sup>	伸び %	硬さ HB
常温	315	502	7.2	201
1,000℃	62	104	27.9	—

## 2) 金属組織の観察

低コスト化鋳造品の金属組織を図 21 に示す。なお、低コスト化前の鋳造品も図と同様の金属組織であった。

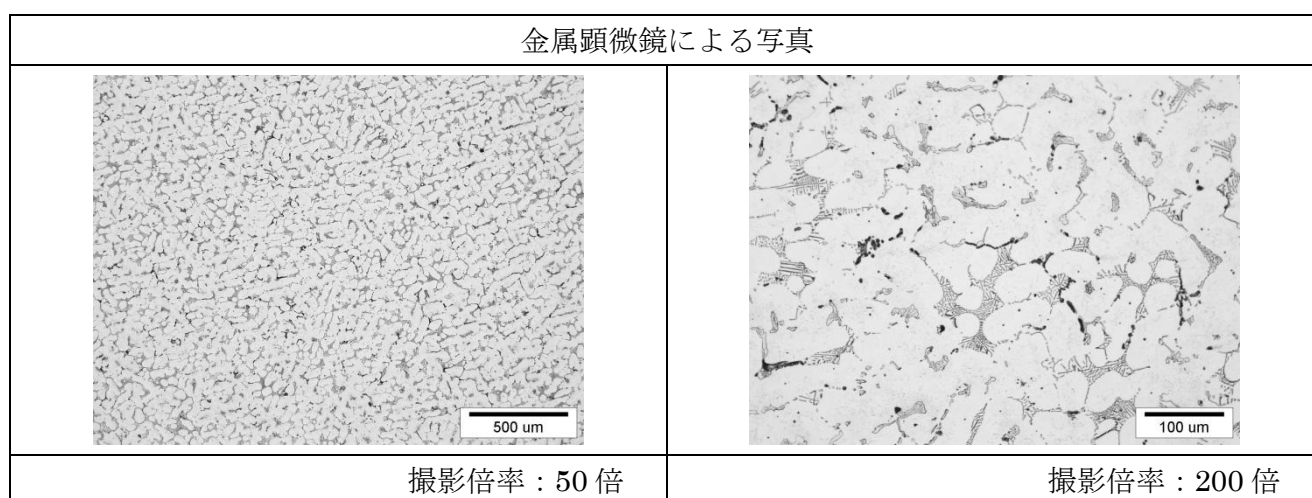


図 21 低コスト化鋳造品の金属組織

## 3) 切削特性の評価

平成 23 年度、24 年度に渡り、鋳造実験で作製した実部品について切削試験を実施し、被削性を評価した。

平成 23 年度は、吸引方法、最小肉厚、化学成分の異なる 9 種類の実部品について評価を行った。平成 24 年度は、戻り材配合割合 50%（以下、RS50%）及び 70%（以下、RS70%）の 2 種で鋳造した実部品を対象とした。

なお、試験片の採取箇所、使用工具及び切削条件などは、2 カ年とも同一とした。

### 1) 切削抵抗及び切削温度の評価

平成 23 年度の切削抵抗の測定結果を図 22 に示す。切削抵抗及びその変動に明確な違いは現れなかった。次に、切削温度の測定結果を図 23 に示す。切り屑の温度に試験片の違いによる明確な差は確認できなかった。一方、工具先端の温度は、快削成分 (Mn,S) を少量にした試験片 A が 330℃ と高温になった。その他の試験片に差は認められなかった。平成 24 年度では、RS70%の切削抵抗がわずかに低い傾向を示したが、配合割合の増加による大きな影響は認められなかった。

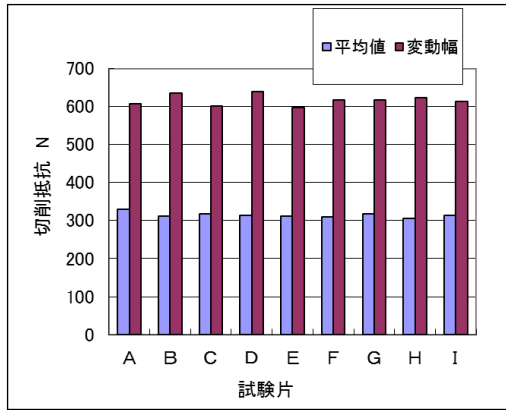


図 22 切削抵抗の測定結果

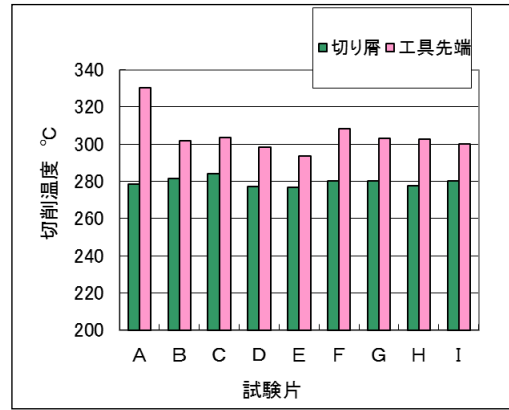


図 23 切削温度の測定結果

## 2) 加工面品位の評価

切削抵抗の測定に用いた試験片について、表面粗さ測定機を使用し最大高さ Rz を評価した。

平成 23 年度は、化学成分の異なる記号 A～F の 6 個について評価した。結果を図 24 に示す。

平成 24 年度は、RS50% 及び RS70% の各 3 個について評価した。結果を図 25 に示す。

最大高さ Rz の図面指示値  $12.5 \mu\text{m}$  と比較し、全ての試験片において十分に小さい値となっており、良好な加工面が得られることを確認した。

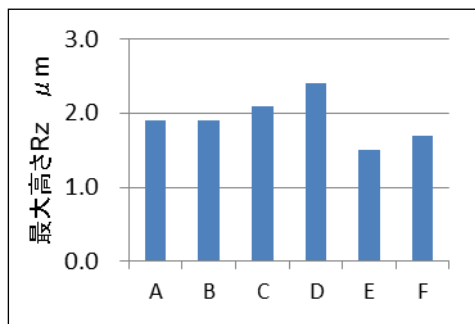


図 24 化学成分での比較

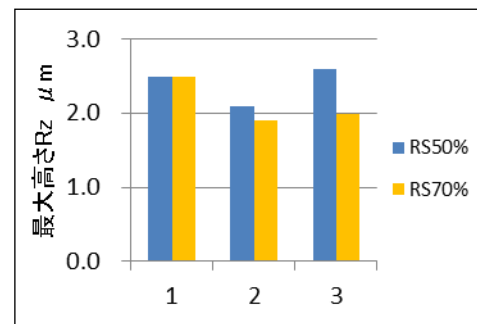


図 25 戻り材配合割合での比較

## 3) 工具寿命試験

マシニングセンタを使用し、フェースミル 1 枚刃による加工を実施した。一定時間加工した後に、ツールホルダを取り外し、デジタル顕微鏡で工具の逃げ面摩耗を拡大観察、工具摩耗量を測定した。平成 23 年度及び 24 年度を通じて、化学成分あるいは戻り材配合割合の増加による影響は認められなかった。

# 第 3 章 全体総括

## 3 - 1. 複数年の研究開発成果

取鍋を使用することなく空隙内部を吸引した状態の鋳型に直接溶解炉より注湯できる自動注湯装置を開発し、最適化・高度化したことにより、産業廃棄物である取鍋の耐火物排出を無くすと共に、取鍋のガス加熱エネルギーを不要にすることができた。また、取鍋に受けた時に生じる温度低下分を見込んだ高温溶解を不要にすることで電気熱エネルギーの損失を減少させた。

また、鑄型空隙内への溶湯充満量は湯口カップを満たすまでという、これまでの注湯方法に対する概念を見直し、鑄造シミュレーションによって押湯の最適な体積と配置を予測し、この押湯に対して必要かつ十分な溶湯を確実に補給することで、湯口カップや湯道の全てが溶湯に満たされていなくとも、健全な鑄物ができるということが確認でき、画期的な低コスト化を実現することができた。また、吸引の必要な鑄型の箇所に吸引孔を設け、減圧吸引容器で鑄型全体を吸引する方法が薄肉化鑄造には有効で、模型各々に通気孔を容易に設定することが可能なことから、多量生産はもとより少量多品種生産のいずれの生産方式にも適合可能である。

これらにより、少なくとも従来法より良い製品をより低コスト、省エネルギーで製造することが可能であることを実証することができた。

[定量的目標値の達成度は従来製法に比較して]

① 15%の低コスト化に対して 38.8%の低コスト化を可能にした (表 4)。

表 4 従来製法と新製法にかかる費目割合

項目 \ 費目	原材料費 (地金費)	電力費 (電気熱エネルギー消費の削減)	副資材費	消耗品費 (ガスエネルギー消費の削減) 人件費
従来製法品の原価割合 (100)	75.3%	5.6%	8.2%	10.9%
新製法 (61.2)	43.1%	3.1%	6.8%	8.2%
改善・改良項目	① 鑄造歩留りを 29%から 45%へ (図 26) ② 肉厚を 4.5mm から 3.5mm へ薄肉化 (軽量化)	① 溶解温度を 1,700 °C から 1,650°Cへ ② 保持温度の短縮 (通電時間の短縮)	① 取鍋施工費削減 (取鍋を使用しない) ② 鑄型砂費の低減	① 取鍋ガス加熱費削減 ② 注湯人件費低減 ③ 作業負荷軽減 (効率向上)

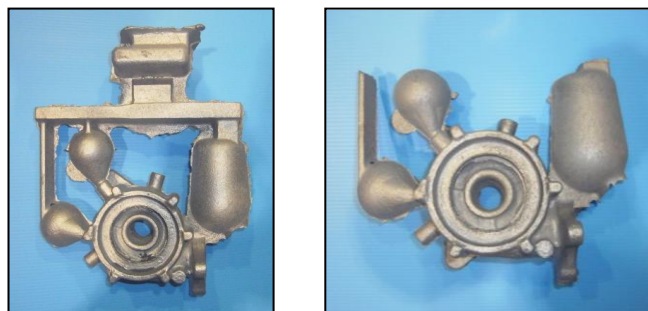


図 26 左：従来製法の鑄造歩留り、右：新製法の鑄造歩留り

- ② 薄肉化により従来品に比較して 10.4%の軽量化（肉厚 3.5mm 以下）を実現した（図 27）。



図 27 左：薄肉化前の製品、右：薄肉化製品

### 3 - 2. 研究開発後の課題・事業化展開

#### 事業化に向けての課題と対処方法

平成 24 年に川下ユーザーから受注を果たし、本開発装置により生産した試作品を納入した。引き続き現在も引合いがあり、個別の生産方法の検討と事業化に向けての課題とその対処の準備を進めている。

##### [課題]

川下ユーザーからは試作品を完成部品とするための機械加工仕上げを要求されている。耐熱鋳鋼は難削材に分類され、切削性が悪い。このため、量産に際しては安定した部品品質を維持する為の最適な切削加工をシステム化する必要がある。この課題に対して、研究開発終了後もコンソーシアムメンバー（株真岡製作所と栃木県産業技術センター）が適切に連携して以下の取り組みを行い、課題への対処をする。

##### [課題への対処]

- ① 効率よく機械加工仕上げができる工作機械（CNC 旋盤、CNC マシニングセンター）のオペレーション技術の確立を行う。
- ② 品質を確保するための工具選定及び工具毎の切削条件の研究を行い、合理的な加工を行う。  
また、それぞれの取付方法、切削工具、加工順序及びその条件を最適にシステム化することで、安定した品質と合理的な加工原価を実現する。

また、上記課題の追究をするとともに、本プロジェクトでの成果を基に、多様な製品に対しても高歩留りの注湯法が適用可能な方式を確立する。また、市場動向の変化を的確に掴んだマーケティングリサーチと川下ユーザーからの情報収集とアドバイスを継続して受け、その結果を反映させた、より市場要求のある具体的な薄肉耐熱鋳鋼製品を製造できる装置へと高度化させることで一日も早い事業化を目指す。