

平成30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

「金型・砂型の複合工法による高品質複雑形状鋳物の開発」

研究開発成果等報告書

平成31年3月

担当局 関東経済産業局

補助事業者 株式会社 内外

## 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

(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

1-3 成果概要

1-4 当該研究開発の連絡窓口

### 第2章 本論

2-1 新規合金による鋳造工法最適化課題への対応

2-2 異なる材質の型を複合化する際の寸法課題への対応

2-3 様々な材質の型を品質管理する際の計測課題への対応

### 最終章 全体総括

## 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

世界では、環境へ配慮した自動車（ハイブリッド車、電気自動車等）が求められると共に、従来の内燃機関エンジン（ガソリン・ディーゼル）の開発も、より一層進化している。

内外は、ターボチャージャーや燃料噴射ポンプなど、排ガスや燃費に直結する「低重量・高耐久性」のアルミ金型重力铸造（グラビティ）工法製品を量産しており、顧客から高い評価を得ている。

しかし、特に自動車向けのアルミ部品は、世界的に自動車が普及していくにつれ、新興国での大量生産も活発化してきた。顧客の現地調達化傾向も高まり、今ではシンプルな量産品は国内で見積もる機会すら失われつつある。ターボチャージャー部品も同じ流れとなっており、簡単な構造のターボチャージャー部品は現調化が基本となっており、国内の大量生産案件は少ない。

ターボチャージャーは、非力なエンジンパワーを補う部品として普及が始まり、昔は特にスポーツカーなど高級車を中心に採用されてきた。世界市場の中心は、ディーゼル車が半分以上を占める欧州であり、特に非力なディーゼルエンジンには欠かせない部品であった。

しかし、昨今のターボチャージャーは、使用目的が変化してきている。年々厳しくなる排気ガス規制に適合するため、エンジンの排気量を下げて排気ガスを減らし、減少したパワーを補う重要部品として位置付けられるようになった。自然吸気エンジンが強みであったホンダですら、ダウンサイジングターボという名前でガソリン車に搭載を始めたのは、記憶に新しい。



写真1：ターボチャージャー（写真手前部品がアルミ製、奥がステンレス製。）

世界では、環境へ配慮した自動車（ハイブリッド車、電気自動車等）が求められると共に、従来の内燃機関エンジン（ガソリン・ディーゼル）の開発も、より一層進化している。昨今のターボチャージャーは、使用目的が変化してきている。年々厳しくなる排気ガス規制に適合するため、エンジンの排気量を下げて排気ガスを減らし、減少したパワーを補う重要部品として位置付けられるようになった。

「簡単なターボ部品＝新興国」、「複雑形状のターボ部品＝国内」という構図となりつつあるが、

更に次世代のターボチャージャーの多くは、高機能・高品質が求められる事となる。これは、ターボチャージャーという部品に求められる機能の違いによるもので、昔は「ターボがエンジンにプラスアルファのパワーを与える」という目的だったものが、今後は「ターボチャージャーがエンジンの性能を補う（正しく機能しないと、車の走行性能に悪影響が出る。）」という位置付けになるからである。更には、排気ガス規制の強化により、大型エンジンのみならず、ガソリンエンジンの小型車両にもターボが不可欠な時代が来る。これにより、小型軽量で機能が安定したターボチャージャーを、高品質で作り上げる技術が求められるようになってきている。

取引先様の情報によると、自動車メーカーから求められるターボチャージャーの性能改善要求は厳しく、省スペースのエンジン内部に小型ターボチャージャーを搭載する技術が必要とされ、具体的には以下が課題として挙げられている。

(a) 複雑形状化・・・EGR など別流路の分岐など複雑化した部品を省スペース空間に配置する。

(b) 軽量化・・・小排気量のパワーを補う部品である為、軽量化ニーズが高い。

(c) 面粗度の向上・・・鋳物表面を滑らかにし、空気抵抗を無くす事で効率を上げる。

(d) 耐久性の向上・・・部品の配置やEGRの影響で使用環境温度が上昇する傾向にある。

これらの課題を解決する為、本事業では「金型・砂型の複合工法による高品質複雑形状鋳物の開発」をテーマに挙げた。

## (2) 研究目的及び目標

ターボチャージャーの更なる複雑形状化への対応に加え、川下製造業から要求される製品の高度化を進めていく。具体的には、川下製造業より要求のある、ターボの高機能化+省スペース化に対応する「複雑形状化」や「軽量化」、そしてターボ性能に不可欠であるスクロール面の「面粗度の向上」。更には、より小型で薄肉形状になっていく事で懸念となる「耐久性の向上」を満足する新たな鋳造法を開発する。

面粗度は、ターボチャージャーの吸入空気流路（スクロール）のアルミ壁面の粗さを指している。仮に既存製品と同様の形状であっても、面粗度が向上する事により空気抵抗が減り、ターボチャージャーの性能が向上するとされている。「形状複雑化＝湾曲部増」となるため、今まで以上に面粗度がターボチャージャーの能力に影響する割合が高まると考えられ、技術革新には必ず含まれる技術課題（高度化目標）であると言える。

また、次世代ターボの開発を効率的に進め、吸排気一貫の部品供給を目的に、ステンレス製の排気側部品に関しても、「複雑形状化」「軽量化」を目指した開発を行う。排気側のステンレス部品は、国内で大手数社が独占状態にあるニッチな状態と言える。結果、川下製造業メーカーの技術開発速度に課題が生じている。国内製造業の生き残りを賭けて技術革新を進めるためには、中小企業同士が結束し、お互いをフォローし合う姿勢が欠かせない。

アルミとステンレスを比較すると、溶解温度の差異（アルミは約700℃、ステンレスは1400℃以上）があるため、複合材の型を全く同じ形状、材質で製作しても、溶湯温度、湯流れや指向性の違いなどが生じ、完成品の出来合いは全く異なる事が推察される。このため、類似型でも複数のシミュレーション、鋳造トライアルが必要となるが、個々の中小企業で開発を進めるよりも、本事業で併行開発していく方が、加速的な革新が進むと考えている。

研究開発の高度化目標は以下の通りである。

## 1. 新規合金による鑄造工法最適化課題への対応

### 1-① 新規材料の基本特性把握

川下製造業からのヒヤリングを元に、新たな材料の基本特性を把握し、「従来対応できる材料に加え、更に5品種以上の鑄造材料ラインナップを整える」ことを目標とする。

### 1-② 新規材料の溶解法構築

新たな材料に対して最適な溶解法を構築し、「溶解保持に要するエネルギーが従来のAC材と同等以下であること」を維持しながら、溶湯品質の指標である「減圧凝固レベル2級以上」を目標にする。

溶湯品質の目標を設定しないと、「何でもとにかく溶かせば良い」という考えに傾向してしまう。あくまでも国内製造業の高品質を妥協せず技術革新するため、現状同等の溶湯品質を必須とする。

### 1-③ 新規材料の鑄造法構築

様々な材料や鑄造工法の中から、「異なる3種パターン工法組み合わせによる鑄造」を目標とする。技術革新を進めるためには、自由な発想が不可欠である。3種パターン以上という目標値を設ける事で、過去には考えられなかった組み合わせが産まれる。本事業の進捗度合いにもよるが、複合材の組み込みの発想が産まれる可能性も考えている。

## 2. 異なる材質の型を複合化する際の寸法課題

### 2-① 型材質毎の基本特性把握

従来の型材質に加え、「新たに2種の型材質をラインナップに加える」ことを目標とする。

型は、製品の形状を作り出すための目的で作られ、主に寸法精度や使用環境で選択される。

これまでは、量産や試作など、コスト面を中心に型材質を選択し、金型鑄造メーカーや砂型鑄造メーカーなどと仕分けされてきた。しかし、工法を目的に応じて組み合わせる事で、これまでは常識で無かった製品が産まれる。組み合わせは、元の材質の種類が増えるほど飛躍的に数が増えてくるため、敢えてラインナップ数に目標を設け、技術革新の可能性を高める事とした。

### 2-② 型材質毎の製法最適化

異種型を複合しても、金型鑄造と同等の生産能力を確保する目安として、「1kgのアルミニウム製品を日当たり100個生産できること(=サイクルタイム10分以内)」を目標とする。本事業は、あくまでも量産ビジネスを前提とした技術革新であるため、上述した「サイクルタイム」の視点で良否判断する基準を欠かさないようにする。尚、ステンレス等の材質に関しては、本事業の開始後に適切な目標値を設ける事とする。

### 2-③ 複合型による製造トライ

複合製法で、寸法精度を従来の図面要求値に合致させる目安として、「寸法精度 CT7」を目標にする。従来の「アルミ材料+金型」であれば、アルミの使用温度域で金型の熱膨張係数を把握すれば問題無かったが、「新規材料+異材質型」という組み合わせにより、熱膨張係数などは基礎データとして広い範囲で把握する必要がある。量産に向けた製造トライアルで、これら数値の良否を判定するために、従来のCT7を目標値とした。

### 3. 様々な材質の型を品質管理する際の計測課題

#### 3-① シミュレーション技術の開発

「シミュレーションによる温度予測値と実験結果のバラつき 10%以内」を目標とする。

本事業の最終目標である「新規材料による複合形状鋳物」を量産するには、シミュレーション技術の革新が非常に重要である。これは、部位毎に熱伝導率が異なる型を組み合わせる技術が必要とされるからであり、入力条件などは従来の解析ソフトに無い。本技術革新の進捗を把握するために、実体の測温試験を繰り返すが、達成度の目標値を設ける必要性を感じ、バラつき 10%以内とした。

#### 3-② 温度計測技術の開発

「型温度の計測ポイントと製品実体温度との差がバラつき 10℃以内」を目標とする。

上述した実体の測温試験では実際に製品温度を計測するため、熱電対の先端を溶湯内部に突き出した状態でセットする。しかし、量産時には型内部での測温結果から製品温度を推測する技術となる。

具体的な例で挙げると、(株)内外では金型上下各々の内部に、熱電対を4点ずつ差し込み、金型内部温度を常時監視している。これまでの社内実験結果から、温度センサーの先端は、製品から20mm というルールを設けている。しかし、型の材質が異なると、熱伝導率などの影響で製品温度に対する時間差異が発生したり、センサー穴を起点としたクラックの懸念などが発生する。これらを最適化する為、製品実体温度とのバラつきを 10℃以内として判断する。

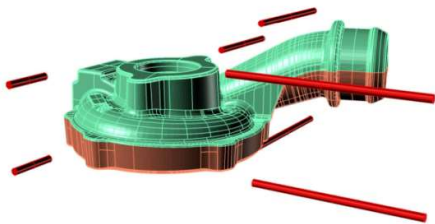


写真2：温度センサーイメージ



写真3：温度管理システム

#### 3-③ 非破壊検査技術の開発

「カラーチェックによる破壊検査結果に対し、不具合検出バラつき 10%以内」を目標とする。

本事業により、これまでアルミ鋳物専門だった為に比較的簡単であった「破壊検査」の難易度が飛躍的に上昇する。これは、アルミの破壊し易い固さも理由の1つであり、マグネシウムやステ

ンレスなどになると、破壊試験も前準備が難しくなる。同時に、複雑形状化をターゲットにしている為、入り組んだ形状の破壊（切断処理）には安全面での課題が発生する。このため、本事業を通じて非破壊検査技術の開発を行うが、装置による検査結果が正しいかどうかを判断するため、破壊検査による実体検査を同時進行させ、バラつき 10%以内を良否判断基準とすることとした。

### （3）研究の内容

課題解決のための具体的研究開発内容は以下の通りである。

#### 1. 新規合金による鋳造工法最適化課題への対応

##### 1-① 新規材料の基本特性把握

新規材料の基本特性を把握するためには、最終的な鋳造トライアルなどが有効であるが、材料毎の材料組成や温度等に伴う材料特性（流動性や熱膨張係数等）を全て網羅することは非常に困難である。また、本事業を通じて将来的な新材料に次々と対応していくためには、シミュレーション技術を高める必要がある。

シミュレーションソフトの導入を行うため、川下産業やメーカーなどの情報をベンチマークし、最適な機種を選定する作業を実施する。対象となる元素は、アルミニウム以外にもマグネシウムや鉄系（鋳鋼やステンレス含む）とする。

シミュレーション精度の確認を行うためには、実際の鋳造トライを行い相関確認を行っていく必要があるため、トライ時に温度計測を行いながら、繰り返し実施していく事とする。

上述の基本特性に加え、特に高温域での使用が考えられるターボチャージャー製品の要求品質に対応するため、溶体化やフッ素による後処理技術の構築を図る。導入した設備を活用し、シミュレーションとの相関確認が行えるよう、トライを重ねていく。

また、実験時に発生する各種計測においては、3-②温度計測技術の開発もリンクする。

##### 1-② 新規材料の溶解法構築

新規材料の溶解法を構築するために、新たな溶解設備を導入し、エネルギーマネジメントを視野に入れた実験を進めていく。

株内外は、新規のアルミ合金以外に、マグネシウム溶解も視野に入れる。マグネシウムは発火性が高いため、防爆使用の設備に加え、不活性ガスの常時使用が条件となる。最適設備を選定し、その後、導入を進める。

主にステンレス鋳鋼を中心とした溶解法を構築する。従来製品と比べても組成などに大きな違いは無いが、主に大規模な建設機械部品など向けに数百キロ～数トンの大型製品を鋳造してきた為、小型部品に分類されるターボチャージャー部品を安定的に生産できる設備を構築していく。製品の品質バラつきを抑えるための溶湯保持温度の安定化をテーマに最適な設備を導入し、その後、工法や生産条件を最適化していく。

##### 1-③ 新規材料の鋳造法構築

新規材料の基本特性を把握し、最適な溶解方法で得られた溶湯を使用して、実際に鋳造を行う。

既存工法である金型鑄造（アルミ）、砂型鑄造（アルミ、鉄、ステンレス）などに加え、Hプロセスなどの工法も視野に入れて、最適な鑄造法を検証していく。

## 2. 異なる材質の型を複合化する際の寸法課題への対応

### 2-① 型材質毎の基本特性把握

異種材質の型を複合化させていくには、型材質毎の熱膨張係数などを正しく把握すると共に、流動解析等の鑄造シミュレーションが不可欠となる。株内外は、鑄造シミュレーションを保有しているが、本研究はアルミニウムの枠を超えた多くの材質を使用するため、異なる鑄造ソフトを活用した相関確認を行っていく事とした。

実際に異材質での鑄造を実施し、シミュレーションソフトとの相関確認を進めていく。

その際、特に熱膨張の影響による外観寸法の違いなどを素早く且つ正確に計測するため、3Dスキャナーの導入を行う。3Dスキャナーで計測された形状データは、型設計のプログラムと比較できるため、得られた実験結果を型形状に反映し易いメリットがある。こうしたシミュレーション解析や実験を通じて、どのような材質の型が、どのような材料の鑄造に適しているのかを把握し、更には得られた特性を型製作へ反映させていく事で、複雑形状鑄物を短期間で成立させる事が出来ると推察する。

### 2-② 型材質毎の製法最適化

2-①で得られた基本特性情報に基づき、複雑形状の鑄物を短期間で実現するには、型製作そのものを内製していくのが確実な手段である。型製作装置を自由に操ることで、樹脂型や金型など、あらゆる工法に対処できる。

これまでに、3Dプリンターも数多く検証してきた。確かに、何も無い所から複雑な形状を実現するには、非常に有効な工法である事は間違い無い。しかし、雇用促進や経済活性化を目標とするには、難易度の高い鑄物を

量産することに意味があると考え。こういった背景より、型製作技術を構築する考えに至った。製品モデルを型製作に置き換えるためのCAD・CAMを導入し、設計プログラムの技術構築を進めていく。その後、型製作装置を導入することで、その後の研究を加速させる予定である。型製作は、アルミに限らず鉄系（ステンレス含む）も対象とし、川下産業のニーズに応じていく。

### 2-③ 複合型による製造トライ

構築した型製作技術を活用し、型製作を行い、鑄造トライを重ねていく。

最終目標は、複雑形状鑄物の安定生産であるため、量産品質を維持するための温度計測なども実施する。

型材質によっては、熱伝導率の関係で温度計測にタイムラグが生じる可能性があるため、解析や実験で精度を高めていく事とする。

## 3. 様々な材質の型を品質管理する際の計測課題への対応

### 3-① シミュレーション技術の開発



上述した1-①～③や、2-①で説明した通り、新たな材料や型材質の基本特性を抑えるための解析や、従来とは異なるシミュレーション技術構築などを中心に研究を進める。全ての解析結果を、実験などを通じて相関関係を把握していく事で、より高い精度のシミュレーション技術が構築できる。

### 3-② 温度計測技術の開発

解析などの理論値に対し、本研究では実験を繰り返して計測していく事で、理論と実態の相関を確認していく。

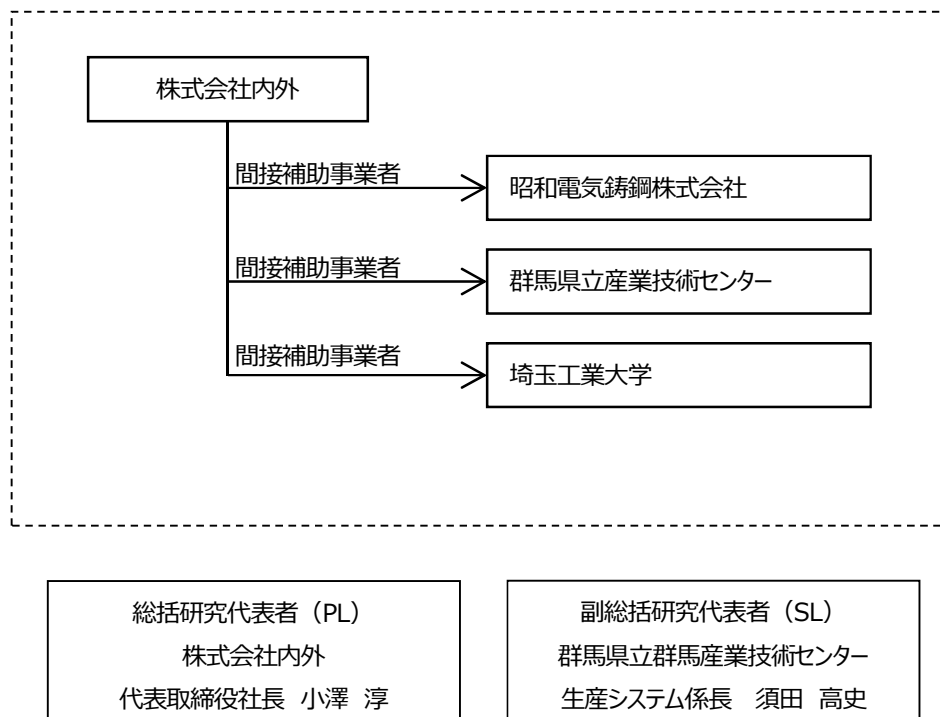
### 3-③ 非破壊検査技術の開発

本研究では、アルミのみならず、硬度の高いステンレス製品も対象となることや、更には形状が複雑化する事から、非接触式の3Dスキャナーを導入する。同じく、鋳物の内部欠陥を非破壊で確認するため、X線CTのような評価方法も視野に入れ、品質保証方法を構築していく。

## 1-2 研究体制（研究組織・管理体制・研究者氏名・協力者）

### （1）研究組織及び管理体制

#### 1）研究組織（全体）



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】株式会社内外

①管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
西村 豪文	工場長	1-①②③、2-①②③、3-①②③
岡本 三鈴	管理部 課長	1-①②③、2-①②③、3-①②③

②研究員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
小澤 淳	代表取締役社長	1-①②③、2-①②③、3-①②③
西村 豪文(再)	工場長	1-①②③、2-①②③、3-①②③
内海 直幸	生産技術部 部長	1-①②③、2-①②③、3-①②③
金子 千明	品質保証部 部長	1-①②③、2-①②③、3-①②③
原島 稔	製造部 課長	1-①②③、2-①②③、3-①②③
磯貝 智史	生産技術部	1-①②③、2-①②③、3-①②③
鈴木 直人	品質保証部	1-①②③、2-①②③、3-①②③

【間接補助事業者】昭和電気鋳鋼株式会社

①管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
倉澤 昌子	企画部経理財務課・課長	1-①②③、2-③

②研究員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
手塚 加津子	代表取締役社長	1-①②③、2-③
佐藤 博之	製造部兼製造管理部・部長	1-①②③、2-③
関谷 良光	製造管理部生産技術兼生産管理課・課長	1-①②③、2-③
吉川 稔	製造管理部品質保証課・課長	1-①②③、2-③

中川 幸延	製造管理部生産技術課・係員	1-①②③、2-③
-------	---------------	-----------

【間接補助事業者】群馬県立群馬産業技術センター

①研究員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
須田 高史 (SL)	生産システム係・係長	1-①②③、2-③、3-②③
坂田 知昭	生産システム係・独立研究員	1-①②③、2-③、3-②③
青柳 大志	生産システム係・主任	1-①②③、2-③、3-②③
岩沢 知幸	生産システム係・主任	1-①②③、2-③、3-②③

【間接補助事業者】埼玉工業大学

①管理員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
吉岡 昌美	教育研究協力部 教育研究協力課	1-①②③、2-①③、3-①

②研究員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
福島 祥夫	埼玉工業大学 教授	1-①②③、2-①③、3-①
高坂 祐顕	埼玉工業大学 准教授	1-①②③、2-①③、3-①

### 1-3 成果概要

#### 1. 新規合金による鋳造工法最適化課題への対応

##### 1-① 新規材料の基本特性把握

取引先様の要求品質を満足するステンレス鋳鋼製品の研究開発に向け、熱処理や酸処理設備の導入を実施し、材料解析ソフトにて得られた特性を、実際の製品設計へ反映することが出来た。

##### 1-② 新規材料の溶解法構築

溶解から注湯までの基礎データを用いて、実際に薄肉形状鋳物を製作することが出来た。

##### 1-③ 新規材料の鋳造法構築

異種型＋異種材料の組み合わせで鋳造トライを重ねながら、複雑形状鋳物を製造することが出来

た。

## 2. 異なる材質の型を複合化する際の寸法課題

### 2-① 型材質毎の基本特性把握

材料解析ソフトにて得られた特性を、実際の型設計へ反映することが出来た。

### 2-② 型材質毎の製法最適化

導入した金型切削装置を用いて、あらゆる型材質の製作トライを実施することが出来た。

### 2-③ 複合型による製造トライ

異種材料・異種形状の型を実際に製作し、複雑形状の鋳物を製作した

## 3. 様々な材質の型を品質管理する際の計測課題

### 3-① シミュレーション技術の開発

鋳造シミュレーションソフトを用いてシミュレーションを実施し、鋳鋼・アルミなど異なる金属の検証を実施した。

### 3-② 温度計測技術の開発

複雑形状鋳物製品の品質に重要な温度の計測方法を確立した。

### 3-③ 非破壊検査技術の開発

外観形状の確認に加え、X線CT装置の導入により、複雑形状鋳物の内部品確と、厚み計測を実施し、複雑形状鋳物の品質確認方法を構築した。

## 1-4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社内外 工場長 西村 豪文  
〒370-0871 群馬県高崎市上豊岡町561-8  
TEL 027-340-1270  
FAX 027-340-1271  
E-mail: t.nishimura@aluminum-gravity.com

## 第2章 本論

### 2-1 新規合金による鑄造工法最適化課題への対応

#### 2-1-① 新規材料の基本特性把握

新規材料の基本特性を把握するためには、最終的な鑄造トライアルなどが有効であるが、材料毎の材料組成や温度等に伴う材料特性（流動性や熱膨張係数等）を全て網羅することは非常に困難である。また、本事業を通じて将来的な新材料に次々と対応していくためには、シミュレーション技術を高める必要があると考えた。

シミュレーションソフトの導入を行うため、川下産業やメーカーなどの情報をベンチマークし、最適な機種を選定する作業を実施する。対象となる元素は、アルミニウム以外にもマグネシウムや鉄系（鑄鋼やステンレス含む）とした。

シミュレーション精度の確認を行うためには、実際の鑄造トライを行い相関確認を行っていく必要があるため、トライ時に温度計測を行いながら、繰り返し実施した。

上述の基本特性に加え、特に高温域での使用が考えられるターボチャージャー製品の要求品質に対応するため、溶体化やフッ素による後処理技術の構築を図った。本事業で導入した設備を活用し、シミュレーションとの相関確認が行えるよう、トライを重ねた。

また、実験時に発生する各種計測においては、3-②温度計測技術の開発もリンクさせた。

本研究の成果として、取引先様の要求品質を満足するステンレス鑄鋼製品の研究開発に向け、熱処理や酸処理設備の導入を実施し、材料解析ソフトにて得られた特性を、実際の製品設計へ反映することが出来た。



写真4：取鍋での温度降下テスト

#### 2-1-② 材料特性のシミュレーション技術構築

新規材料の溶解法を構築するために、新たな溶解設備を導入し、エネルギーマネージメントを視野に入れた実験を進めていく計画を立てた。

新規のアルミ合金以外に、マグネシウム溶解も視野に入れた。マグネシウムは発火性が高いため、防爆使用の設備に加え、不活性ガスの常時使用が条件となる。最適設備を選定し、その後、最適設備を導入した。

主にステンレス鑄鋼を中心とした溶解法を構築した。従来製品と比べても組成などに大きな違いは無いが、主に大規模な建設機械部品など向けに数百キロ～数トンの大型製品を鑄造してきた為、

小型部品に分類されるターボチャージャー部品を安定的に生産できる設備を構築した。製品の品質バラつきを抑えるための溶湯保持温度の安定化をテーマに最適な設備を導入し、その後、工法や生産条件を最適化していった。

本研究の成果として、溶解から注湯までの基礎データを用いて、実際に薄肉形状鋳物を製作することが出来た。



写真5：マグネシウム溶解炉

### 2-1-③ 新規材料の鋳造法構築

新規材料の基本特性を把握し、最適な溶解方法で得られた溶湯を使用して、実際に鋳造を行った。既存工法である金型鋳造（アルミ）、砂型鋳造（アルミ、鉄、ステンレス）などに加え、Hプロセスなどの工法も視野に入れて、最適な鋳造法を検証した。

本研究の成果として、異種型＋異種材料の組み合わせで鋳造トライを重ね、複雑形状鋳物を製作することが出来た。

## 2-2 異なる材質の型を複合化する際の寸法課題への対応

### 2-2-① 型材質毎の基本特性把握

異種材質の型を複合化させていくには、型材質毎の熱膨張係数などを正しく把握すると共に、流動解析等の鋳造シミュレーションが不可欠となる。株内外は、鋳造シミュレーションを保有しているが、本研究はアルミニウムの枠を超えた多くの材質を使用するため、異なる鋳造ソフトを活用した相関確認を行うことが有効であると考えた。

実際に異材質での鋳造を実施し、シミュレーションソフトとの相関確認を行った。

その際、特に熱膨張の影響による外観寸法の違いなどを素早く且つ正確に計測するため、3Dスキャナーを導入した。3Dスキャナーで計測された形状データは、型設計のプログラムと比較できるため、得られた実験結果を型形状に反映し易いメリットがある。こうしたシミュレーション解析や実験を通じて、どのような材質の型が、どのような材料の鋳造に適しているのかを把握し、

更には得られた特性を型製作へ反映させていく事で、複雑形状鋳物を短時間で成立させる事が出来ると考えた。

本研究の成果として、材料解析ソフトにて得られた特性を、実際の型設計へ反映することが出来た。

### 2-2-② 型材質毎の製法最適化

2-①で得られた基本特性情報に基づき、複雑形状の鋳物を短時間で実現するには、型製作そのものを内製していくのが確実な手段であると考えた。型製作装置を自由に操ることで、樹脂型や金型など、あらゆる工法に対処できるからである。

これまでに、3Dプリンターも数多く検証してきた。確かに、何も無い所から複雑な形状を実現するには、非常に有効な工法である事は間違い無い。しかし、雇用促進や経済活性化を目標とするには、難易度の高い鋳物を量産することに意味があると考えます。こういった背景より、型製作技術を構築する考えに至った。

製品モデルを型製作に置き換えるためのCAD・CAMを導入し、設計プログラムの技術構築を進めていく。その後、型製作装置を導入することで、その後の研究を加速させる予定である。

型製作は、アルミに限らず鉄系（ステンレス含む）も対象とし、川下産業のニーズに応じていく。本研究の成果として、導入した金型切削装置を用いて、あらゆる型材質の製作トライを実施することが出来た。



写真6：金型切削装置

### 2-2-③ 複合型による製造トライ

構築した型製作技術を活用し、鋳造トライを重ねていく計画を立てた。最終目標は、複雑形状鋳物の安定生産であるため、量産品質を維持するための温度計測なども実施する計画であった。

型材質によっては、熱伝導率の関係で温度計測にタイムラグが生じる可能性があるため、解析や実験で精度を高めていく事を目標とした。

本研究の成果として、異種材料・異種形状の型を実際に製作し、複雑形状の鋳物を製作することが出来た。

## 2-3 様々な材質の型を品質管理する際の計測課題への対応

### 2-3-① シミュレーション技術の開発

上述した1-①～③や、2-①で説明した通り、新たな材料や型材質の基本特性を抑えるための解析や、従来とは異なるシミュレーション技術構築などを中心に研究を進める計画を立てた。全ての解析結果を、実験などを通じて相関関係を把握していく事で、より高い精度のシミュレーション技術が構築できると考えたからだ。

本研究の成果として、鋳造シミュレーションソフトを用いてシミュレーションを実施し、鋳鋼・アルミなど異なる金属の検証を実施することが出来た。

### 2-3-② 温度計測技術の開発

解析などの理論値に対し、本研究では実験を繰り返して計測していく事で、理論と実態の相関を確認していく計画を立てた。

本研究の成果としては、複雑形状鋳物製品の品質に重要な温度の計測方法を確立することが出来た。

### 2-3-③ 非破壊検査技術の開発

本研究では、アルミのみならず、硬度の高いステンレス製品も対象となることや、更には形状が複雑化する事から、非接触式の3Dスキャナーを導入する計画を立てた。同じく、鋳物の内部欠陥を非破壊で確認するため、X線CTのような評価方法も視野に入れ、品質保証方法を構築していくことを目標とした。

本研究の成果として、外観形状の確認に加え、X線CT装置の導入により、複雑形状鋳物の内部品質確認と、厚み計測を実施し、複雑形状鋳物の品質確認方法を構築することが出来た。



写真7：非接触式3D スキャナ



## 最終章 全体総括

(1) 複雑形状鋳物の開発を完成させることが出来た。

川下ユーザーのニーズを把握し、雑形状鋳物の開発目標を更に高度化し、実際に、製作するまでに至った。

また、開発した複雑形状鋳物は、製造特許を出願（PCT 国際出願）することが出来た。

(2) 複雑形状ターボチャージャー部品（吸気側：アルミもしくはマグネシウム系）は、将来的に、小型軽量で複雑化していくため、製品を高品質で量産実現する技術は、規制強化に伴うターボチャージャー部品のニーズに合致していく。ターボチャージャーの市場そのものは、今後も拡大していく事が予測されている。更には、本技術を用いれば数点の部品を組み立てている製品を一体化させる事が出来るため、自動車部品としてのニーズは高いと考える。

複雑形状ターボチャージャー部品（排気側：ステンレス系）は、当初計画でも述べた通り、ステンレス製品の対応が出来る国内企業は大手数社に絞られており、川下製造業でステンレスを必要とする企業は「言い値」に近いビジネス形態となっている。結果として、国内のターボチャージャーメーカーが、世界的な価格競争力に課題を持っているのが現状である。本事業を通じて、ターボチャージャーの排気系部品の開発・適合を進めるが、顧客要求値を満足できた時には国内外からの受注が期待できる。更には、小型の複雑形状でステンレス製品が作れるようになると、溶接や複数部品の組み立てで割高であったステンレス製品のコスト改革が出来ると考えており、本事業の波及効果は大きい。

今後、本開発の事業化に向け、川下製造業メーカーと協議し、より具体的な開発プロジェクトとして価値を高めていく予定である。

以上