

平成 2 5 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「金型鑄造工法に代わる新たな鑄造プロセス
『Hプロセス』によるターボチャージャー部品の開発」

研究開発成果等報告書

平成 2 6 年 3 月

委託者 関東経済産業局

委託先 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 H プロセス工法の原理
- 2 – 2 CAE 活用による最適鋳造方案の開発
- 2 – 3 中子位置精度の向上の開発
- 2 – 4 ニアネットシェイプ化の開発
- 2 – 5 人工珪砂転換の開発
- 2 – 6 量産性向上の工程分割ライン構成の開発

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) 研究の背景と目的

近年、電気自動車及びハイブリッド車は、今後そのシェアを大きく伸ばす可能性がある。しかしながら、従来からのガソリンエンジン及びディーゼルエンジンも継続して必要とされ、これらの内燃機型エンジンが環境に対しての配慮は、サステナブルな環境維持のためにも必要不可欠である。この問題に対処するため、エンジンを小型化することによって環境配慮を行い、小型化によって低下するエンジンのパワーをターボチャージャーの装着によって補うことが自動車メーカーで進められている。このため、ターボチャージャーの需要が急速に高まっているが、現在、このターボチャージャー部品は、金型内で 1 個ずつ凝固させる生産工法が一般的であり生産性が非常に悪い。よって、同時に多数の鋳物を生産することができる『H プロセス』によるターボチャージャー部品の開発を目的とし研究を行う。

(2) 研究の目標

(a) ターボ機能向上（製品価値を高める）

従来の金型鋳造時の金型温度は、約 400℃であり、それに起因する中子位置精度は $\pm 0.70\text{mm}$ である。H プロセス工法では金型温度が約 200℃で造型できるため、熱歪を小さく抑えることが可能となることから、中子位置精度を $\pm 0.35\text{mm}$ させることを目標とする。

(b) 材料低減（製品原価を下げる）

上述した中子位置精度の向上は、設計最小肉厚での製品素材の設計が可能となり、製品重量の低減、材料使用量の削減及びエネルギーの消費の低減をすることが可能となる。

また、H プロセスによる最適方案を見出すことにより、製品重量と製品以外の湯道や押し湯部分の重量比率を最適化させ、方案歩留まりの向上を目標とする。

これら材料低減を見極め、製造原価 10%削減を目標とする。

(c) リサイクル向上（環境負荷を低減する）

従来の金型鋳造の中子に使用する砂は、天然珪砂を使用しており、そのリサイクル率は 70%程度である。H プロセスでは、砂の使用量が増えるため、日本国内で生産するにはリサイクル率の改善が不可欠となる。

天然珪砂に変わり中子砂に人工珪砂を使用し、リサイクル率を 95%以上に向上させることを目標とする。併せて、人工珪砂へ配合するレジン配合率を軽減し、リサイクル率向上に寄与することを目標とする。

(d) 事業化追求（多製品への応用性を高める）

これらの目標を達成するために、本研究では、鋳造実験を基に H プロセス工法を理論的にアプローチできる解析方法の確立、中子砂に人工珪砂を使用した技術の確立、量産性向上のための工法の確立を行う。

(3) 研究の内容

①CAE 活用による最適鑄造方案の開発

(実施：株式会社内外、株式会社津工場、群馬県立産業技術センター)

H プロセス試作型の押し湯形状、湯道形状、抜き勾配、巾木形状、加工しろがそれぞれ異なる試作型を製作し、シェルマシンの用いて試作型ごとに主型成型を行う。これらの鑄型を H プロセスのスタックモールドとして連結させ、それぞれの種類ごとの連結したスタックモールドに温度計測機及び温度センサーを複数取付け、溶解した AL 合金地金を流し込む鑄造実験を通し鑄型各内部の温度の実測を行う。

また、H プロセスの解析を行うため、押し湯、湯道形状等の方案を含む解析用 3D データを作成する。このデータを用いた H プロセス用カスタマイズ解析装置による解析結果が、温度実測データと近似値になるようにパラメータを新たに開発及び H プロセス用カスタマイズ解析装置の改造を行う。

②中子位置精度の向上の開発

(実施：株式会社内外、日型工業株式会社、群馬県立産業技術センター)

上記①の鑄造実験時に、中子位置のバラツキを測定し、そのデータと温度測定データとの相関関係を検証し、巾木形状及びそのクリアランスの研究を行い、この研究成果を基に金型の設計開発を行う。

また、シェルマシンのバイス機構の並行度を高めるため、吹込圧力、ブローヘッド圧着圧力、バイス圧力の相関関係及び吹込み砂量と金型温度維持方法を関連付けて自在にコントロール可能になるように、最適な中子成型機の選定とシーケンサーの改造を行う。また、両サイドから鑄型の余分な砂を軽減できるような入子による引抜機構を付加する等シェルマシン改造を行い最適成型条件の開発を行う。

③ニアネットシェイプ化の開発

(実施：株式会社内外、日型工業株式会社)

上記②のバイス機構の並行度向上や押出構造、抜き勾配等のシェル抜型方法の改善を検討した金型設計を考案し、抜き勾配最小化及び加工しろの最小化の研究開発を行う。また、上記①の鑄造実験時に製作したサンプル鑄物に専用の加工用治具を用いて H プロセス試作加工を施し、耐久テスト、破壊テスト等を行い、製品の性能評価を行う。その結果を次の試作型製作へ反映させる。

④人工珪砂転換の開発

(実施：株式会社内外、シモダ産業株式会社、群馬県立産業技術センター)

粒度の異なる数種類の人工珪砂と必要に応じて数種類のレジンの組み合わせによる人工珪砂のレジンコーテッドサンドの試作品を作成し、シェルマシンの用いて H プロセス用のシェル主型を造型する。これらの鑄型を使用して H プロセスの鑄造実験を行い、砂種及びレジンの品質に与える影響をガス欠陥、砂の焼付き等の観点から調査する。また、鑄造後の砂の崩壊性の良否、鑄造後の砂の回収方法等、量産事業化へ向けての問題点を検証し、人工珪砂の再生率を最大限引き出すための研究を行う。

⑤量産性向上の工程分割ライン構成の開発

(実施：株式会社内外)

1 つの湯口と連結した状態のまま、効果的に砂落しが可能な設備の研究を行う。また、この研究を基に、H プロセスでの鑄造後の 10 連～15 連の鑄型を歪が発生しないように切断するため、短時間で鑄砂を崩壊可能な H プロセス用砂落とし装置の試作を行う。この H プロセス用砂落とし装置は、ワーク搬送用の電動チェーンブロックを使用し、ロックアウトユニットで砂を崩壊させ、ベルトコンベアーで排砂を自動的に回収できる装置を目標とする。

⑥プロジェクトの管理・運営

(実施：株式会社内外)

株式会社内外において、本プロジェクトの管理を行う。

研究の進捗状況を検証するとともに、研究実施で発生する課題等について、随時研究実施者と調整を行う。

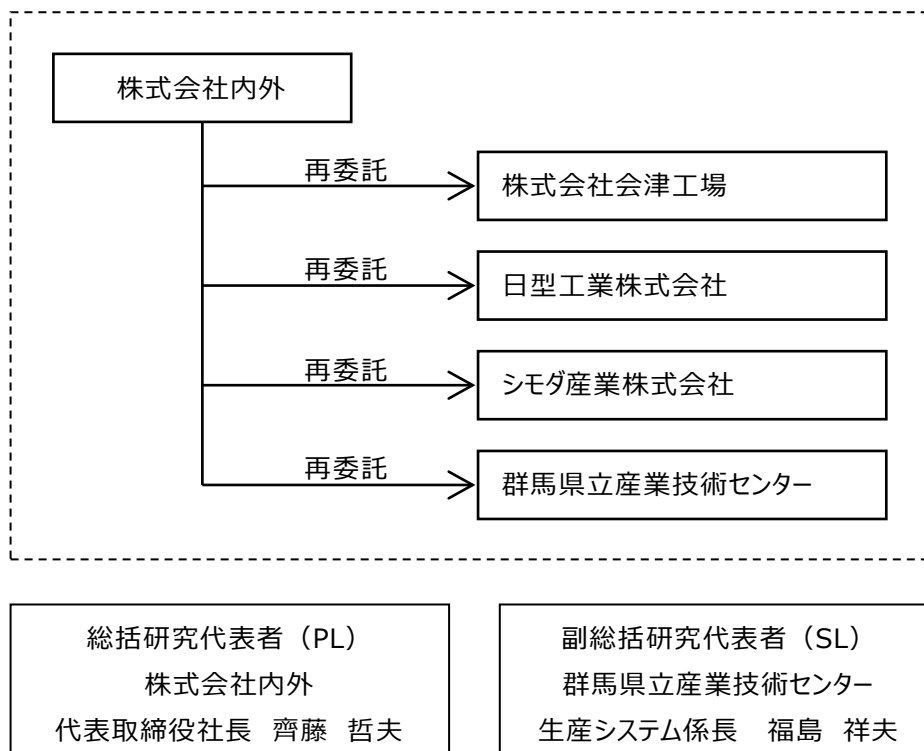
再委託先事業者が作成する証憑書類について、指導及び確認を行う。

研究開発推進委員会を委託契約期間内に 4 回程度開催する。

1 - 2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

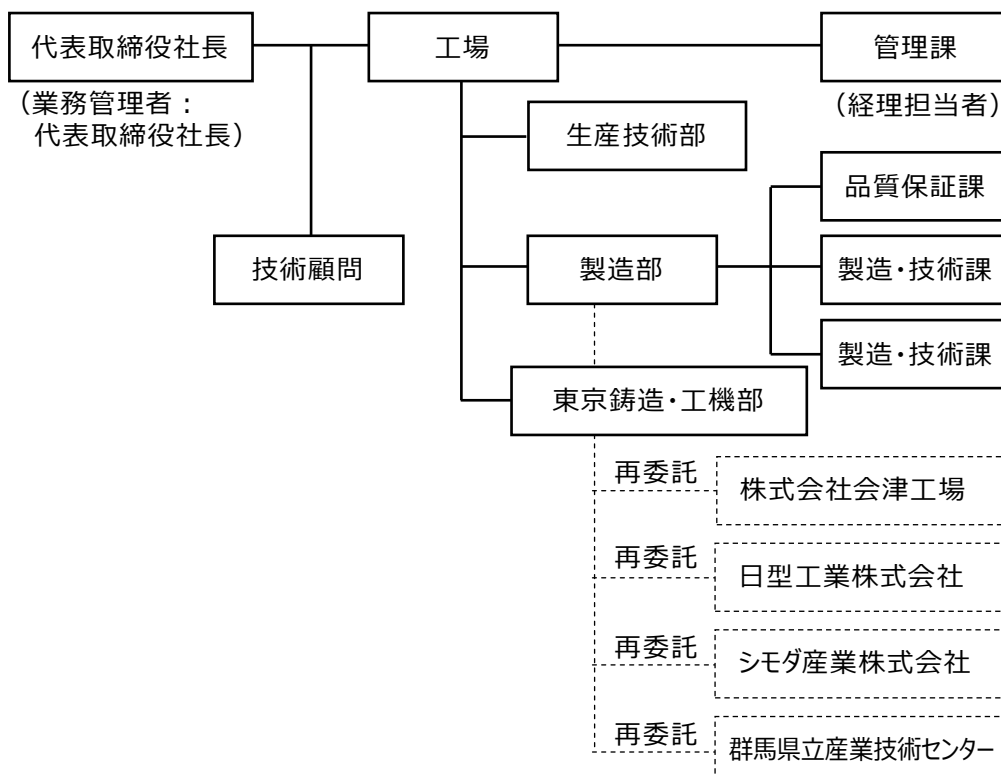
1) 研究組織（全体）



2) 管理体制

①事業管理機関

[株式会社内外]



②再委託先

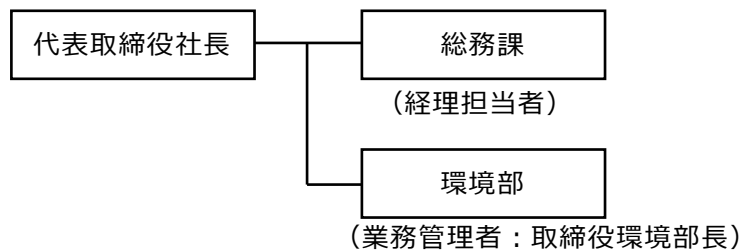
[株式会社社会津工場]



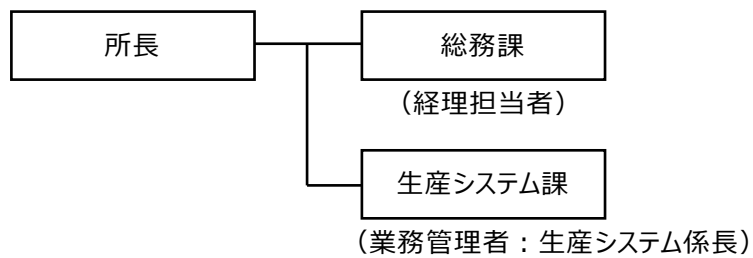
[日型工業株式会社]



[シモダ産業株式会社]



[群馬県立産業技術センター]



(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）
齊藤 哲夫	代表取締役社長	⑥
小澤 淳	取締役工場長	⑥

②研究員

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
齊藤 哲夫（再）	代表取締役社長	① ② ③ ④ ⑤
小澤 淳（再）	取締役工場長	① ② ③ ④ ⑤
狩野 和広	(株)東京鑄造所出向 工機部 部長	① ② ③ ④ ⑤
内海 直幸	生産技術部 部長	① ② ③ ④ ⑤
大井 治一	技術顧問	① ② ③ ④ ⑤

【再委託先】

(研究員)

株式会社会津工場

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
鈴木 直記	代表取締役社長	①
渡部 哲夫	技術部長	①

日型工業株式会社

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
渡辺 隆範	代表取締役社長	② ③
笠松 士郎	開発グループ 開発リーダー	② ③

シモダ産業株式会社

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
霜田 彰	代表取締役社長	④
霜田 真紀子	取締役営業部長	④

群馬県立産業技術センター

氏名	所属・役職	実施内容（番号）
福島 祥夫	生産システム係長	① ② ④
野口 貴生	独立研究員	① ② ④
須田 高史	独立研究員	① ② ④

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

株式会社内外

(経理担当者)	管理課	岡本 三鈴
(業務管理者)	代表取締役社長	齊藤 哲夫
(業務管理者)	取締役工場長	小澤 淳

(再委託先)

株式会社会津工場

(経理担当者)	総務部 経理担当	梁取 千保
(業務管理者)	代表取締役社長	鈴木 直記

日型工業株式会社

(経理担当者)	総務 経理担当	笹澤 和代
(業務管理者)	代表取締役社長	渡辺 隆範

シモダ産業株式会社

(経理担当者)	総務課長	小熊 高志
(業務管理者)	取締役環境部長	霜田 真紀子

群馬県立産業技術センター

(経理担当者)	総務課 副主幹	阿部 正
(業務管理者)	生産システム係長	福島 祥夫

(4) 他からの指導・協力者

研究開発推進委員会 委員

氏名	所属・役職	備考
齊藤 哲夫	株式会社内外 代表取締役社長	委 PL
小澤 淳	株式会社内外 取締役工場長	
狩野 和広	株式会社内外 (株)東京鋳造所出向 工機部 部長	
内海 直幸	株式会社内外 生産技術部 部長	
大井 治一	株式会社内外 技術顧問	委 SL
福島 祥夫	群馬県立産業技術センター 生産システム係長	
野口 貴生	群馬県立産業技術センター 独立研究員	
須田 高志	群馬県立産業技術センター 独立研究員	
鈴木 直記	株式会社会津工場 代表取締役社長	委
渡部 哲夫	株式会社会津工場 技術部長	
渡辺 隆範	日型工業株式会社 代表取締役社長	委
笠松 士郎	日型工業株式会社 開発グループ 開発リーダー	
霜田 彰	シモダ産業株式会社 代表取締役社長	委
霜田 真紀子	シモダ産業株式会社 取締役環境部長	
萩田 淳史	三菱重工業株式会社 ターボ技術部長	

1 - 3 成果概要

① CAE 活用による最適鋳造方案の開発

これまでに、鉄鋳物しか実績が無かった H プロセスをアルミ鋳物に適用する試みからスタートした。当初は、湯廻り不良などの問題が発生したが、「H プロセス」という工法のシミュレーションが存在しなかったことから、H プロセスの実験時に数多くの熱電対を差し込み、シミュレーションとの相関を図った。その結果、H プロセス工法でアルミ鋳物を造り上げる事に成功した。更に研究を重ねた結果、シミュレーション技術の高度化を行い、H プロセスの最適方案設計を確立する事に成功した。

② 中子位置精度の向上の開発

H プロセスの特徴である、金属製の主型を使用しない工法のメリットを活かし、中子の位置精度向上を追求した結果、繰り返し試験における位置精度の寸法確認により、H プロセスの有効性を実証する事が出来た。ターボチャージャーにおける中子位置精度は、性能安定に重要な意味を持つため、更に高度化が求められるターボチャージャー市場において、非常に有効な技術であることが確認された。

③ ニアネットシェイプ化の開発

H プロセスの特徴であるシェルでのスタック方式により、金型工法で必要とされる抜き勾配を軽減し、製品重量の大幅な軽量化に成功した。更には、鋳造後の製品としては金型工法では成し得ない製品形状を取得する技術開発に成功した。本試みで得られた H プロセス製品は、鋳造後に切削加工や組み立てなどで成立する製品に変わり得る可能性を秘めており、今後は新たな需要を発掘していきたいと考える。

④ 人工珪砂転換の開発

H プロセスは、金属製の主型を使用しない代わりに、シェル砂を多く使用する。鋳造後は、シェルの解体作業が必須となるため、従来の天然珪砂と人工珪砂の違いを確認し、鋳造後の崩壊性において人工珪砂の有効性を確認した。更に、砂種毎の熱伝導性などにも着眼した試験を繰り返し、金型工法と同等までは行かないが、シェル砂型でも鋳物の指向性に効果的な型設計方法を開発した。

⑤ 量産性向上の工程分割ライン構成の開発

H プロセスの事業化に向け、シェルマシンをはじめ、砂落とし装置、切断装置の他、溶湯ポンプも導入した。これら H プロセス用にカスタマイズした装置をレイアウトした「H プロセス量産ライン」を構築した。

1 - 4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社内外 取締役工場長 小澤 淳
〒370-0871 群馬県高崎市上豊岡町 561-8
TEL 027-340-1270
FAX 027-340-1271
E-mail j.ozawa@aluminum-gravity.com

第 2 章 本論

2 - 1 H プロセス工法の原理

従来のアルミニウム鋳造では、試作は砂型、量産は金型で行われるのが一般的である。金型工法は、砂型と異なって繰り返し鋳造が可能となるため、大量生産に適している。しかし一方で、基本的には 1 個ずつ（写真 1 参照）の鋳造となるため、注湯⇔凝固のサイクルで生産能力が決まってしまう。（写真 3 参照）

これに対し、H プロセスは砂型による鋳造工法ながらも、複数のスタックを可能とするため（写真 2 参照）、1 回での鋳造数量が多くなる。（写真 4 参照）

結果として、時間当たりの製品取得数は砂型成型サイクルとなるため、量産工法として適している。



写真 1：金型鋳造方案



写真 2：H プロセス方案



写真 3：金型鋳造注湯作業



写真 4：H プロセス注湯作業

このように、生産性に関しては、1 回あたりの製品取得数（H プロセススタック数）が大きな要素となるが、主型を砂型にすることでの寸法精度向上も大きなメリットとなる。

従来法では金型で製作した中子を、金型で鋳造するが、その温度の開きで寸法誤差の原因が発生する。

例）中子成型時は金型温度が約 200℃だが、鋳造時の金型は 400℃前後になる。

設計時には、この温度差に基づく熱膨張の計算が必要だが、温度バラつきを加味した安全率が不可欠となる。一方の H プロセスは、中子と同様に主型も約 200℃で成型するため、寸法誤差が少なくなると同時に温度管理が容易となる。よって、安全率を少なく設計することが可能となり、鋳造時の中子バラつきが改善される。

中子の位置精度向上は、ターボの機能を安定させる効果は勿論、ターボスクロールの肉厚寸法誤差も精度を高めることが可能となるため、安全率を加味した駄肉を減らすことが可能となる。

2 - 2 CAE 活用による最適鑄造方案の開発

H プロセスは、鑄鉄製品のみで量産実績を持つ工法であり、アルミ鑄物に適用できるかどうか実験での検証を行うところから開発がスタートした。

先ず初めに、金型鑄造品のデザインを H プロセス方案に変更し、凝固シミュレーションを実施した。

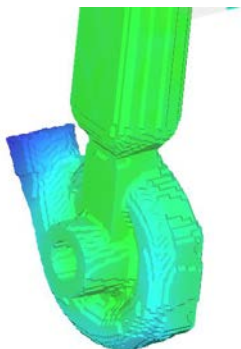


図 1：凝固シミュレーション（金型鑄造）

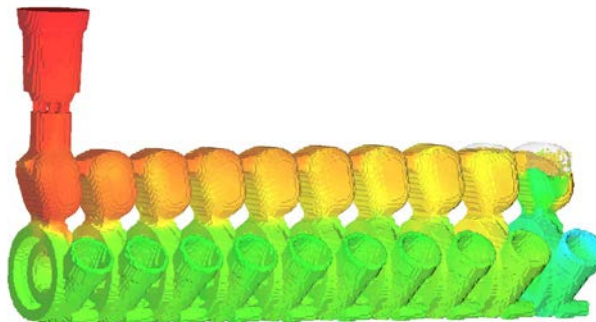


図 2：凝固シミュレーション（H プロセス）

新たにデザインした H プロセス方案で実験を行ったところ、スタック全体に湯が回らず、写真 5 のような湯廻り不良の製品が出来上がってしまった。



写真 5：H プロセス実験中に発生した湯廻り不良

本課題を解決するためには、金型鑄造のシミュレーション技術を、H プロセス用にカスタマイズするという課題があった。そこで、スタック内へ熱電対を挿入し、シミュレーションとの差異を数値化する事で、解析に必要なパラメータを探る実験を繰り返し行った。

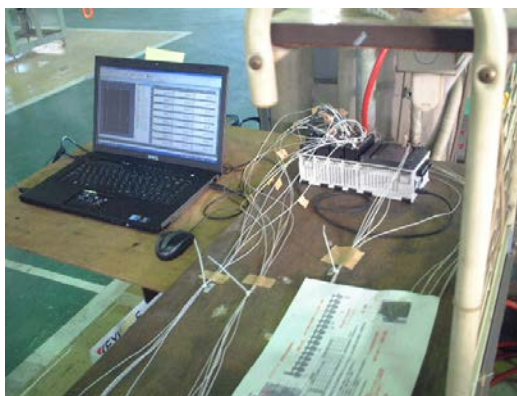
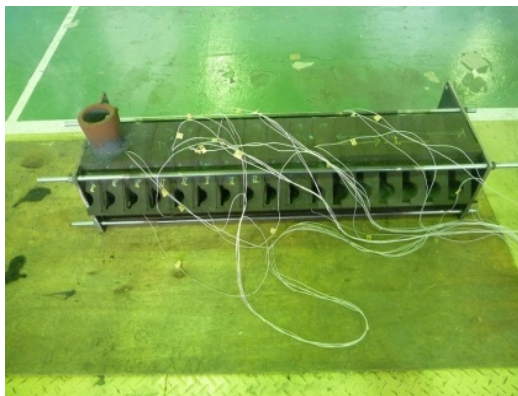


写真 6、7：H プロセス実験で、スタックへ温度計測用の熱電対を設置した様子。



写真 8、9：H プロセス実験で、温度計測をしながら注湯作業を行う様子。

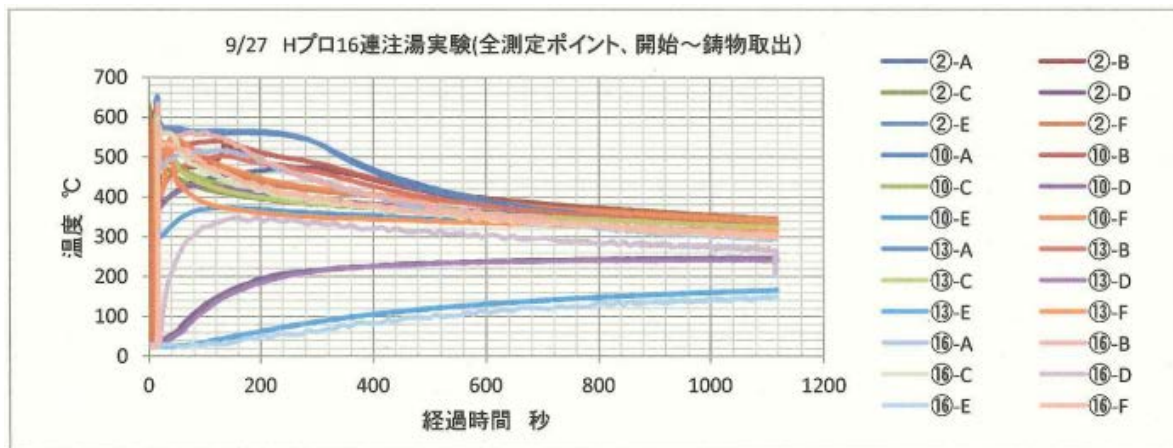


図 3：H プロセスの実験で得られた温度計測データ

こうした繰り返し実験の結果、多くのデータを H プロセスのパラメータとして活用する事が出来るようになり、H プロセス工法でも金型鑄造品と相違無い外観の製品を完成させることが出来た。



写真 10：H プロセス工法で完成した製品。

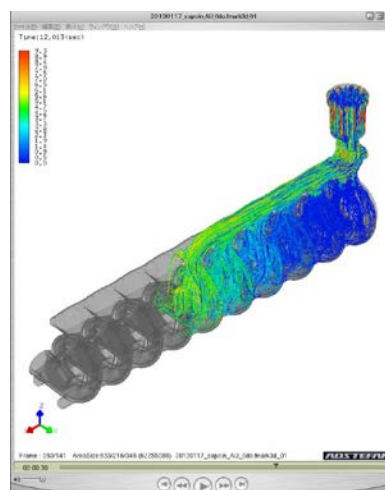


図 4：H プロセス用の湯流れ解析

2-3 中子位置精度の向上の開発

ターボチャージャーは、中子位置の精度で性能の安定性が大きく左右される。従来の金型工法では、約 400℃の金型に中子をセットする関係で、熱膨張による寸法誤差に加え、サイクルタイムを遵守するために必要な作業面でのクリアランスが必要とされてきた。これらの寸法誤差は、中子の位置精度のバラつきという結果に繋がり、ターボチャージャー性能のバラつきを生じさせる。

その一方で、H プロセスは中子と主型が共にシェルで成型される事から、寸法のバラつきは少ない。更に、スタックするサイクルは鋳物品質へ影響しないことから、作業面のクリアランスは最小限に抑える事が出来る。

このような理論の元、完成した H プロセス製品の中子位置精度を、従来の金型製品と比較検証した。

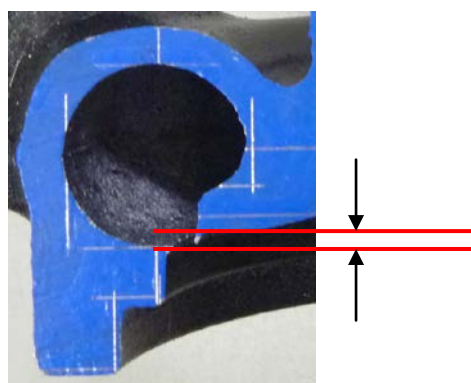


写真 1 1、1 2 : ターボチャージャーの性能を左右するディフューザー段差



写真 1 3 : ディフューザー段差の計測

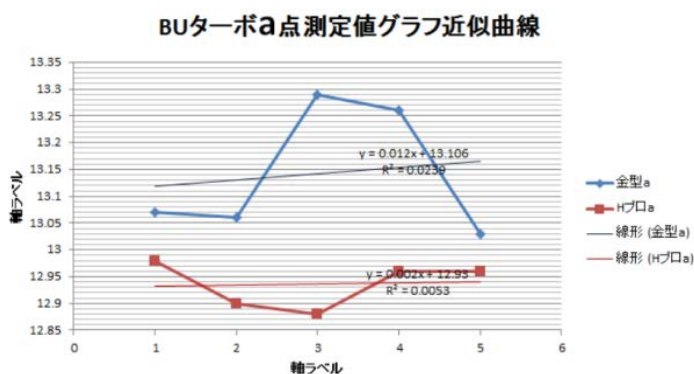


図 5 : H プロセスの中子位置バラつき（赤グラフ）

従来の金型鋳造製品と比較検証を行った結果、図 5 に示すように、H プロセスの中子位置精度が優れている事が実証できた。

2-4 ニアネットシェイプ化の開発

中子位置の精度が高まることで、鋳物肉厚のバラつきが抑えられることから、顧客要求の肉厚に対し下限を狙う事が可能となる。

また、Hプロセスはシェル砂型工法であることから、金型鋳造では欠かせない「抜き勾配」を緩和する事が可能となり、製品に要する「駄肉」を少なくすることが出来る。



写真 1 4 : 製品肉厚の比較。(左 : H プロセス品、右 : 金型鋳造品)



写真 1 5 : 製品重量の比較。(左 : H プロセス品 950g、右 : 金型鋳造品 1,300g)

上記写真に示すように、Hプロセス工法により、製品の大幅なスリム化を行うことに成功した。

また、更なる製品の高度化を達成する実験を行った。



写真 1 6、1 7 ニアネットシェイプモデル 左より金型、Hプロ、加工品 上より金型、Hプロ、加工品

写真左端の金型鋳造品より、全体的にニアネットシェイプになっている上、金型では抜型できない形状が成立している。本開発により、切削加工や他部品との連結を省略した鋳造製品の可能性が生まれた。

2-5 人工珪砂転換の開発

Hプロセスは、金型の主型を使用しない工法であるため、砂の選定が品質に大きく影響する。本開発では、砂の熱伝導性などの基礎実験を行うことで、Hプロセスに最適な砂種を選定した。

① 砂型の温度バランスコントロール

砂毎の熱伝導性を確認するため、下図の実験モデルを製作し、温度計測を実施した。

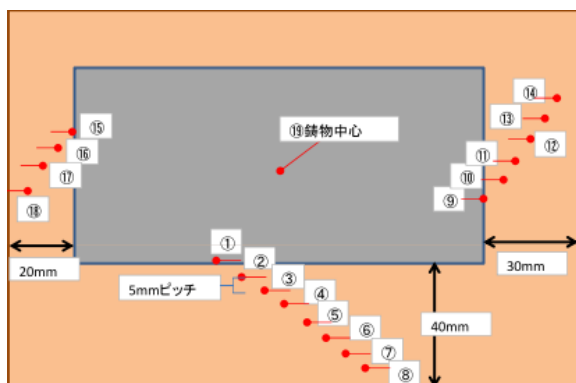


図6：ラボ試験用シェル砂型



写真18：ラボ試験用シェル砂型

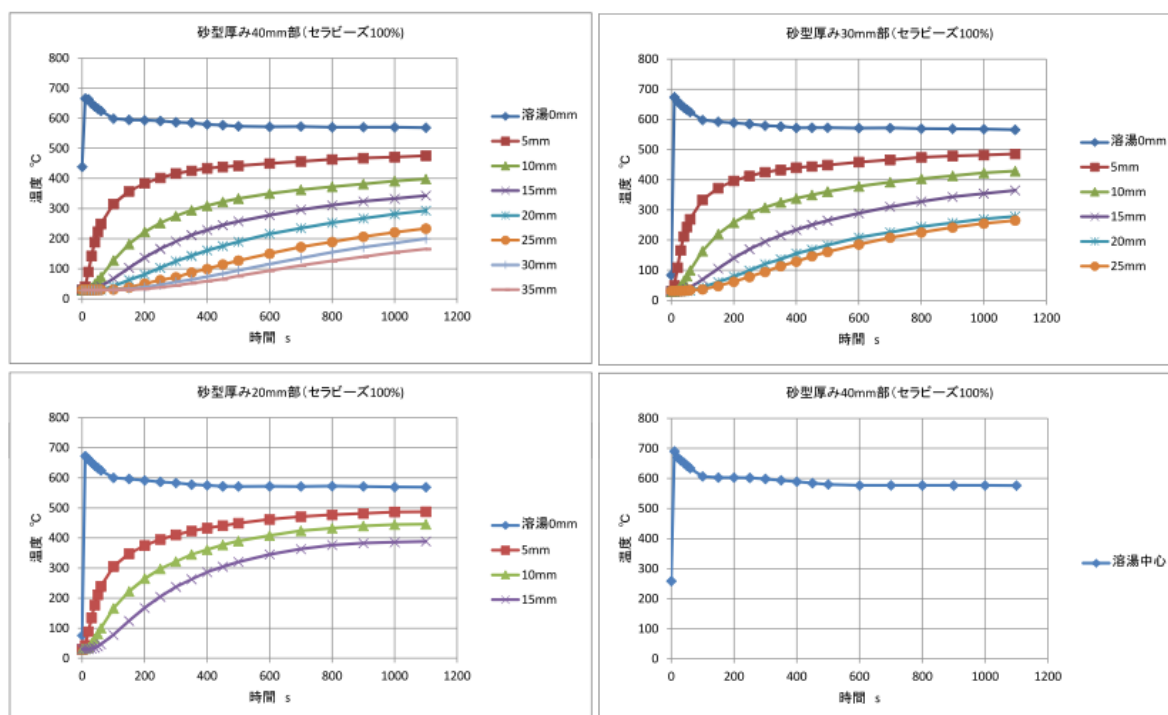


図7：実験で得られた温度グラフ

研究の結果、砂種毎に熱伝導性が異なり、更にはシェル型の厚みによって温度環境が変化する事が判った。金型鋳造で使用している冷却システムが使えない中で、こうした基礎データを元に型設計を行うことで、シェル砂型でのHプロセスにおいても、鋳物の指向性をコントロール出来ると考える。

② シェル砂型の強度検証

熱伝導実験と併行して、Hプロセスの事業化において重要と考える「崩壊性」に関しても調査を行った。

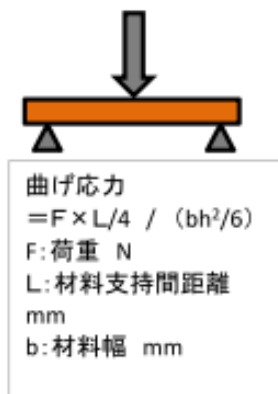


図 8 : シェル砂型の強度試験用サンプル



写真 1 9 : シェル砂型の強度試験方法（サンプルの切り出し形状と試験の様子）

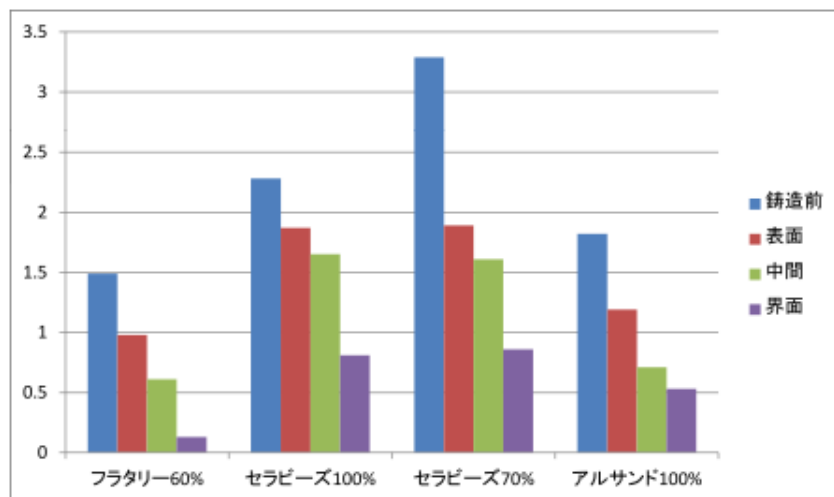


図 9 : シェル砂型の強度試験結果

研究の結果、アルミ溶湯に近い部位（＝温度が上昇した部位）ほど強度が低下している様子が判る。

特に、熱伝達率が低かったフラタリーは、アルミ溶湯への接触部位が著しく強度低下しており、温度と強度の関係性を伺う事ができる。

このように、アルミ鋳物の指向性設計と併行して、崩壊性（量産性）も理論的に検証できる事を実証した。

2-6 量産性向上の工程分割ライン構成の開発

本研究で導入した H プロセス用量産装置を配置し、実際の量産を可能とするラインを作る事とした。
量産ラインのレイアウトを検討するに当たり、従来の金型鑄造工程と比較しながら、工程設計を行った。

1. 金型鑄造工程

横軸は時間(Hr)のイメージ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
シェル成型	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
アルミ溶解	→		→		→		→		→		→		→		→	
鑄造（注湯）	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→
仕上げ	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→	→

2. Hプロセス工程

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
シェル成型	→	→	→	→		→	→	→	→		→	→	→	→		
アルミ溶解				→					→					→		
鑄造（注湯）					→					→					→	
仕上げ						→					→					→

図 1 0 : 金型鑄造工程と H プロセス工程の比較資料

金型鑄造工程は、各々の工程が常時稼働しており、1 個ずつ生産していくイメージである。

一方の H プロセスは、シェル成型したロット毎に注湯していく工程であるため、工程バランスが金型鑄造工法と異なる。

このような検証を行った結果、シェル成型後のスタックを溜められるレーンを設置し、一定数のスタックが完成した段階で一気に注湯を行うレイアウトで設計した。

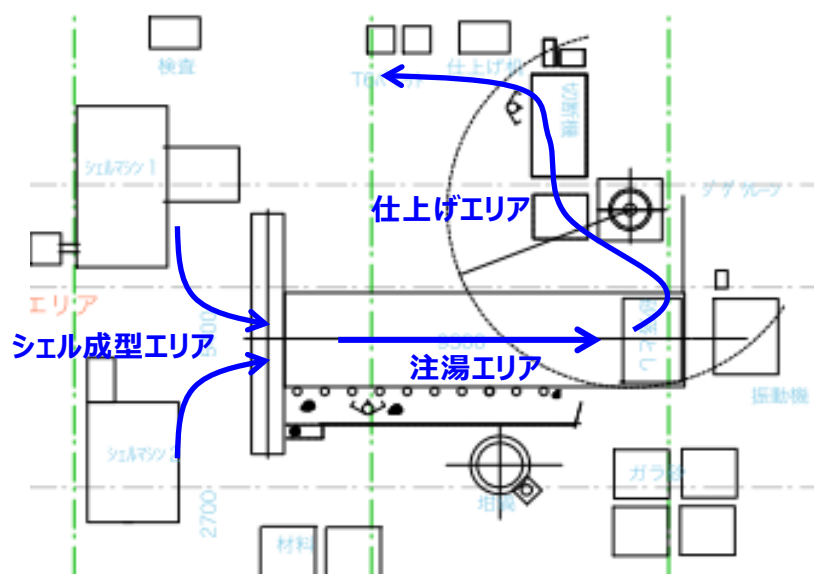


図 1 1 : H プロセス量産ラインのレイアウト



写真 2 0・2 1 : H プロセス量産ラインの全景

設置した量産ラインでトライアルを行った。

完成品を外観、内部検査したが、これまでの開発経緯で得られた製品と相違無く、H プロセス工法での適切な品質を持った製品を量産する事が出来ると考える。

今後は、本ラインを効率的に運用する方法を検討し、品質面、コスト面で製品を高度化していく。

最終章 全体総括

本研究により、H プロセス工法によるアルミ鋳物製品（ターボチャージャー部品）の生産を実現化する事が出来た。改めて、研究開発の目標に対する達成度を、以下にまとめる。

(a) ターボ機能向上（製品価値を高める）

- ・主型、中子と共にシェルを使用することで中子の位置精度を高め、ターボチャージャー機能を左右するディフューザー段差のバラつきを低減させる事が出来た。試験サンプル数の関係で、当初の目標である具体的なバラつき値低減（ $\pm 0.70\text{mm} \rightarrow \pm 0.35\text{mm}$ ）は実証していないが、実測値のデータより概ね半減を達成できたと考える。
- ・中子位置精度向上による肉厚低減や、抜け勾配の低減により、製品の軽量化に成功した。
近年の新規開発においては、特に自動車部品となると 1g 単位で軽量化が求められる状況となっている。そのような中で、10～20%の軽量化を可能とする H プロセスは、燃費規制の強化と共に必要とされる技術に成り得ると推察する。

(b) 材料低減（製造原価を下げる）

- ・上述の通り、製品重量の大幅低減を達成した。また同時に、H プロセス工法は従来の金型鋳造よりも押し湯サイズを低減できる事が実証できた。これらの重量減より、金型鋳造で必要とするアルミ材料に対し、H プロセスは約 30%の低減が可能になると推察する。
- ・鋳物完成品での重量低減以外にも、ニアネットシェイプ化により切削加工時の切粉量も低減可能となる。
これらの効果を最大限に発揮するため、「H プロセス鋳造 + 内製加工」をビジネスモデルにしていく。

(c) リサイクル向上（環境負荷を低減する）

- ・人口珪砂を用いた実験を行った結果、熱伝導性や崩壊性に優れる砂種を見極める事が出来た。
更には、面粗度の向上も可能となり、ターボチャージャーの高度化を可能とする。
人口珪砂は完全なリサイクルが可能であり、地球環境にも優しいため、今後も更に高度化を目指す。
- ・H プロセス用の量産ラインを導入したが、その際には砂の回収機能にも拘った。その結果、自社内で使用する範囲では、99%以上の回収率を達成した。但し、砂メーカーのリサイクル時にも減耗やロスが生じるが、量産前の少量で試算すると、現段階で十分な回収率（実績値）を得るのは難しい。
今後は、量産を想定したトライを重ね、トータルでのリサイクル率を追求していく。

(d) 事業化追求（多製品への応用性を高める）

- ・本開発により、製品設計段階でのシミュレーション活用や、人工珪砂を使用した量産技術、また各種 H プロセス用にカスタマイズ化された装置を使用することで、H プロセスによるアルミ鑄造の量産化を実現可能とする事が出来た。
- ・H プロセスの量産フローを検証した結果、サイクルタイムが絶対条件の金型鑄造では常時アルミ溶湯を保持する必要があったが、H プロセスは注湯時のみ溶湯を準備すれば問題無いことが判った。
エネルギー消費型である鑄造業において、新たな製造法が見出せたと考えている。
- ・H プロセスは、鑄造時に必要となる金属製金型が不要であり、更に鑄造機も必要としない事から、低投資型の鑄造方法だと言える。同時に、高度な金型メンテナンス技術を必要としない為、例えば新興国などでの立ち上げも難易度が低いと言えることから、「メイドバイジャパン」技術として、広く世界で発展していく事を期待している。

以上