

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

「川下及び業界ニーズに対応する
低コスト・高安全な圧倒的コンパクト鋳鉄鋳造法の開発」

研究開発成果等報告書

平成29年5月

担当局 近畿経済産業局
補助事業者 一般財団法人素形材センター

目次

第1章	研究開発の概要	3
1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標	3
1-2	研究体制(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	4
1-3	成果概要	7
1-4	当該研究開発の連絡窓口	9
第2章	本論	10
2-1	長寿命中空金型開発による金型の最適化	10
2-2	温度制御を含む鋳造機の開発による装置の最適化	23
2-3	トレーサビリティによる生産条件の最適化	26
第3章	全体総括	33
3-1	補助事業の成果	33
3-2	研究開発後の課題	33
3-3	本事業による効果	33
3-4	事業化展開	33

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

鑄鉄鑄造プロセスは、主に自動車産業とともに成長してきた中で、大規模な設備・大量生産によって顧客に低コストな製品を提供してきた。また鑄鉄産業に係わる設備メーカーも大量生産向け設備の開発・提供を続けて、砂を大量に使い、広大なスペース・膨大な設備投資を伴う「生砂鑄造」が鑄鉄製造プロセスの主流となった。一方、約40年前に環境・エネルギー問題から「金型鑄造」が研究・実用化されたことがあったが、熱処理工程が加わる等のためコスト高になり、この大きな流れは変わらなかった。しかし、現在はリーマンショックや東北大震災でのサプライチェーン分断、あるいは円高基調からの急激な円安等、国内のみならず世界的に経済の変動が大きく早いため、よりリスクの低い事業・製造プロセスが求められている。鑄鉄製造においても低コストで事業リスクが少なく社会環境の変化にも強い製造プロセスでユーザニーズに応える必要がある。よって、必要量に応じた投資を實踐でき環境・エネルギーに加え労働災害の軽減をも同時に可能とする、砂を使わない圧倒的にコンパクトで安価な「金型鑄造」法を開発すべきと考えた。

(2) 研究目的及び目標

本事業では、従来の大型設備と大生産空間が必要な「鑄型に砂を使う生砂鑄造法」に代わる、新技術「中空金型」を用いて、所用スペース従来比 1/100 サイズの圧倒的にコンパクトな月産 1,000 個レベルの鑄鉄鑄造方法を開発する。

図 1.1 に従来の生型鑄造法、及び図 1.2 に本開発技術の概念図を示す。

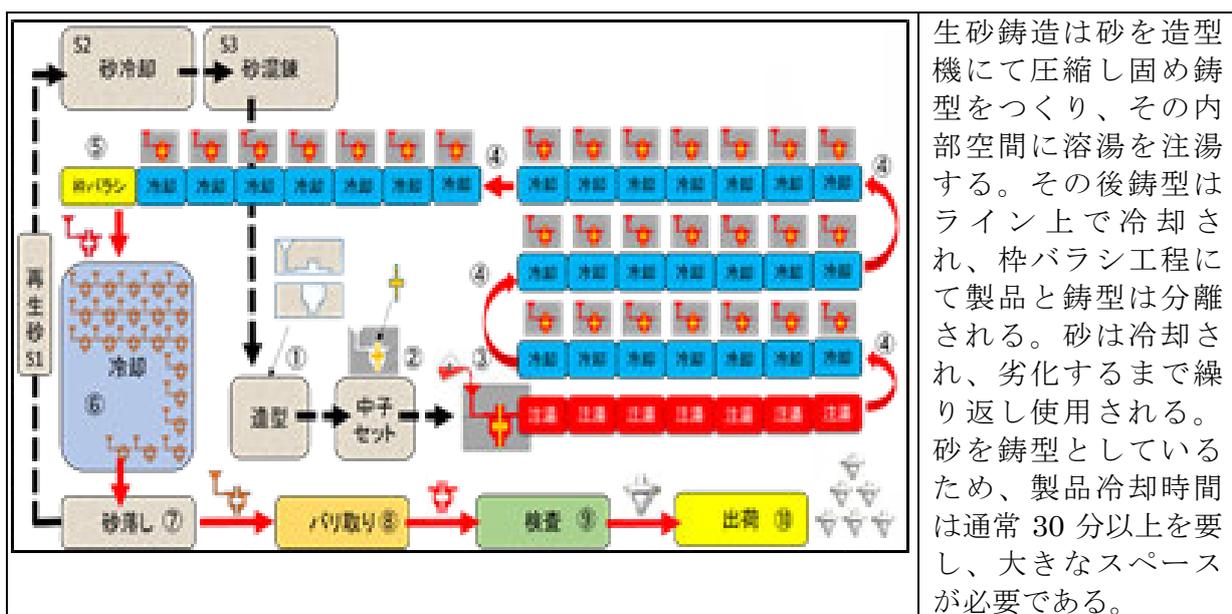


図 1.1 生型鑄造法の工程概要

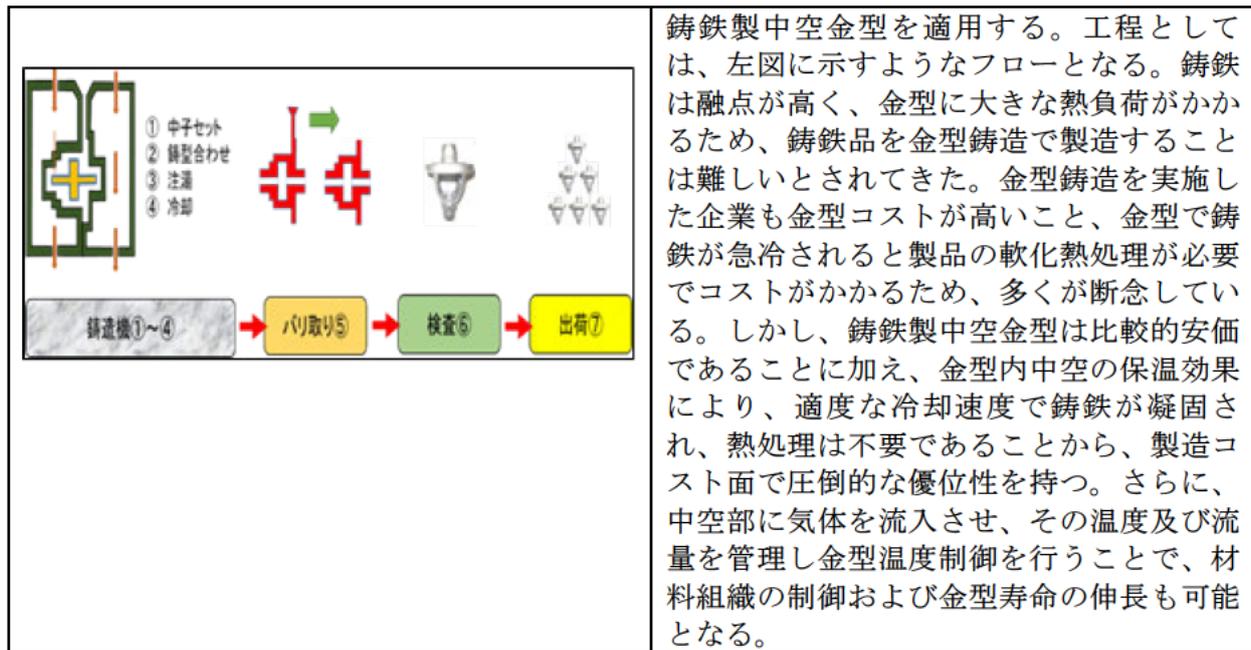


図 1.2 本開発技術の概念

このようなシステムを実現するために、本事業では下記のような 3 つのサブテーマを掲げ、それぞれの目標値を表 1.1 のように定めた。

表 1.1 本事業のサブテーマと目標値

サブテーマ	目標値
1. 高寿命中空金型開発による金型の最適化	①熱疲労を考慮した金型形状・金型材質開発
2. 温度制御を含む鑄造機の開発による装置の最適化	①金型温度計測・制御装置開発 (温度測定誤差 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 以下) ②塗型塗布装置開発(塗型塗布厚みバラつき 0.1mm 以下及び清掃時間 10 秒以下) ③鑄造機開発(サイクルタイム 5 分以下及び鑄造スペース 25m ² 以下)
3. トレーサビリティによる生産条件の最適化	①-1 基本形状金型寿命：1,000 ショット以上 ①-2 基本形状部品の高緻密化：黒鉛粒径：20 μm 以下 ②T/C 部品の高緻密化：黒鉛粒径：20 μm 以下

1-2 研究体制 (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

本事業は、図 1.3 に示すような体制で研究開発を実施した。なお、事業管理法人である(一財)素形材センター内に、研究実施機関、及び研究内容に関する識者、及びユーザで構成する推進委員会を設置し、本事業の推進を行った。

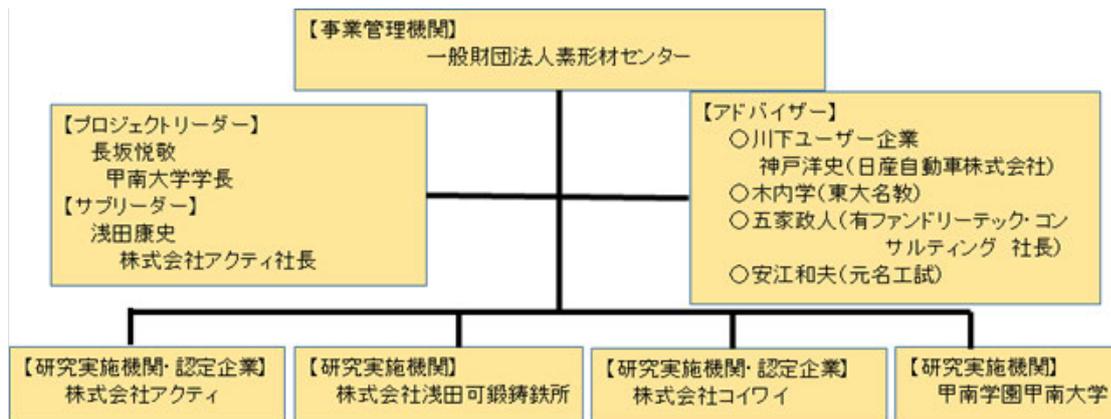


図 1.3 本事業の実施体制

①事業管理機関

名称	一般財団法人素形材センター
代表者及び役職名	横川 浩 会長
本社所在地	(〒105-0011) 東京都港区芝公園三丁目5番8号
主な事業所所在地	所在地：(〒105-0011) 東京都港区芝公園三丁目5番8号 事業所名：一般財団法人素形材センター
電話番号	03-3434-3907
FAX番号	03-3434-3698
担当者名及び役職名	松井健治 次世代材料技術室 金属材料技術部長

②研究等実施機関

名称	株式会社アクティ
代表者及び役職名	浅田康史 代表取締役
本社所在地	(〒620-0812) 京都府福知山市東平野町24番地
主な事業所所在地	所在地：(〒620-0812) 京都府福知山市東平野町24番地 事業所名：本社
電話番号	0773-21-5512
FAX番号	0773-21-5512
担当者名及び役職名	浅田康史 代表取締役

名称	株式会社コイワイ
代表者及び役職名	小岩井豊己 代表取締役
本社所在地	(〒256-0804) 神奈川県小田原市羽根尾244番地6
主な事業所所在地	所在地：(〒256-0804) 神奈川県小田原市羽根尾244番地6 事業所名：本社工場
電話番号	0465-44-2015
FAX番号	0465-44-2025
担当者名及び役職名	小岩井修二 専務取締役

名称	株式会社浅田可鍛鉄所
代表者及び役職名	浅田章介 代表取締役
本社所在地	(〒620-0853) 京都府福知山市長田野町1丁目29番地
主な事業所所在地	所在地：(〒620-0853) 京都府福知山市長田野町1丁目29番地 事業所名：本社工場
電話番号	0773-27-2058
FAX番号	0773-27-2207
担当者名及び役職名	井上裕照 技術・品証課長

名称	学校法人甲南学園
代表者及び役職名	吉沢英成 理事長
本社所在地	(〒658-8501) 兵庫県神戸市東灘区岡本8丁目9番1号
主な事業所所在地	所在地： (〒658-8501) 兵庫県神戸市東灘区岡本8丁目9番1号 事業所名：学校法人甲南学園
電話番号	078-435-2754
FAX番号	078-435-2324
担当者名及び役職名	長坂悦敬 学長

③研究開発推進委員会

委員長(PL)	長坂 悦敬	甲南大学 学長
副委員長(SL)	浅田 康史	株式会社アクティ 代表取締役
委員	増本 展祥	株式会社アクティ 顧問
	井上 裕照	株式会社浅田可鍛鉄所 技術品証課 課長
	小岩井修二	株式会社コイワイ 専務取締役
	木内 学	木内研究室 代表
	神戸 洋史	日産自動車株式会社パワートレイン開発本部 成形技術部 鑄造技術グループ シニアエキスパート
	五家 政人	有限会社ファンドリーテック・コンサルティング 代表
	安江 和夫	元産業技術総合研究所
事務局	一般財団法人素形材センター	

1-3 成果概要

1-1 節に掲げた 3 つのサブテーマに対する成果概要と当該研究開発の目標達成度は、表 1.2 の通りである。

表 1.2 各サブテーマにおける成果概要と目標達成度

サブテーマ 担当した研究実施機関	成果概要	目標 達成 度
<p>1. 高寿命中空金型開発による金型の最適化 【株式会社アクティ、株式会社浅田可鍛鋳鉄所、株式会社コイワイ】</p>	<p>中空金型については、(株)アクティ及び(株)浅田可鍛鋳鉄所による①脱炭を利用した中空化技術、②薄肉鋳鉄型をキャビティとする組み合わせ中空鋳鉄技術、並びに③(株)コイワイによる 3D プリンタを活用した中空化技術の 3 つの技術により製作した。</p> <p>各々の金型の適用部品範囲を明確にすべく塗型、型冷却の熱伝達係数評価技術を確立し、鋳造時の型温度を推定できる金型温度シミュレーション手法を開発し、その有用性を実際の鋳造時の実測金型温度と比較することにより確認した。</p> <p>以上により、ターゲット 2 部品の製品肉厚・重量に応じ、8mm 及び 2.8mm の肉厚 2 水準で基本形状中空金型を製作し、鋳造を行った。結果、金型熱応力集中部の熱疲労・表面クラックを防止した。なお型材質は FCD450 である。</p> <p>さらに、中空金型と砂積層コーティングを用いることにより、製品のチル化を抑制する保温性と金型への断熱性を満たす技術を開発した。</p> <p>連続鋳造による金型への熱影響をサーモグラフィで測定し、金型の昇温状況を確認すると併せて、3D デジタイザを用いて金型の変形の計測を行い、変形が無いことを確認した。染色浸透探傷試験による金型の確認を実施したが、亀裂は確認されなかった。</p>	100%
<p>2. 温度制御を含む鋳造機の開発による装置の最適化</p> <p>① 温度制御装置開発</p> <p>② 高品質塗型装置開発 -1 塗型塗布装置開発 -2 塗型清掃装置開発</p> <p>③ 小スペース/高サイクル鋳造機開発 【株式会社アクティ、株式会社浅田可鍛鋳鉄所、株式会社コイワイ】</p>	<p>温度制御装置開発では、初年度開発した最高温度 800℃の熱風を発生させることができる熱風発生装置を室温の工場エアを組み合わせ中空金型内に供給することにより金型温度をコントロールする装置を活用し、金型温度サイクルを最適化した。</p> <p>塗型塗布装置開発では、初年度開発した断熱特性に優れた珪藻土塗型塗布装置を活用し、金型温度サイクルを最適化した。</p> <p>また、アルミ金型鋳造に用いられる金型塗型剤を用いて膜厚を変化させて鋳造試験をしたが、塗型の耐久性と無チル化は達成出来なかったため、3D プリンタによる砂積層コーティングを開発し、生産性と金属組織を達成した。</p> <p>塗型清掃装置開発では、金型に残留した珪藻土塗型の除去方法としてショットブラストより作業性の良い「高圧エアガン」装置を導入し活用した。</p>	100%

	<p>初年度開発した小スペース/高サイクル鋳造機開発に自動化機能等を追加した。</p> <p>砂積層コーティングを用いることで、従来の砂型鋳造による廃砂量を 95%削減可能となった。砂積層コーティングを製作するためには大きな設備は不要であり、小スペース化を見込める。</p>	
<p>3. トレーサビリティによる生産条件の最適化</p> <p>①基本形状での検証</p> <p>【株式会社アクティ、株式会社浅田可鍛鋳鉄所、甲南学園甲南大学】</p> <p>②T/C 部品での検証</p> <p>【株式会社アクティ、株式会社浅田可鍛鋳鉄所、株式会社コイワイ、甲南学園甲南大学】</p>	<p>初年度に開発した鋳造温度等の自動計測技術と 2 項で開発した鋳造装置を活用し、基本形状において、①脱炭中空金型では 100 ショットで金型損傷なしを確認した。②組み合わせ中空金型で、500 ショットで金型損傷なしを確認すると共に、製品目標値である黒鉛粒径 $20\mu\text{m}$ 以下・硬度 HV250 以下を達成した。また本法では、鋳造サイクルタイム 3 分以下で金型温度は $150^{\circ}\text{C}\sim 450^{\circ}\text{C}$ と狭範囲となり、さらなる金型寿命の伸長が期待できる。</p> <p>初年度開発した鋳造温度等の自動計測技術と 2 項で開発した鋳造装置を活用し、本事業のターゲットである自動車用 T/C の 2 部品(ターボハウジング、センターハウジング)を製作した。金型については、3D プリンタを活用し強度・冷却効率を高めた中空鋳鉄金型を製作。上記の目標値をクリアした。</p>	100%

1 - 4 当該研究開発の連絡窓口

一般財団法人素形材センター 金属材料技術部

東京都港区芝公園 3 丁目 5 番 8 号 機械振興会館 3 階 301 号室 (〒105-0011)

TEL:03-3434-3907 FAX:03-3434-3698 E-mail:kinzoku@sokeizai.or.jp

URL: <http://sokeizai.or.jp/>

第2章 本論

2-1 長寿命中空金型開発による金型の最適化

(1) 補助事業の具体的内容

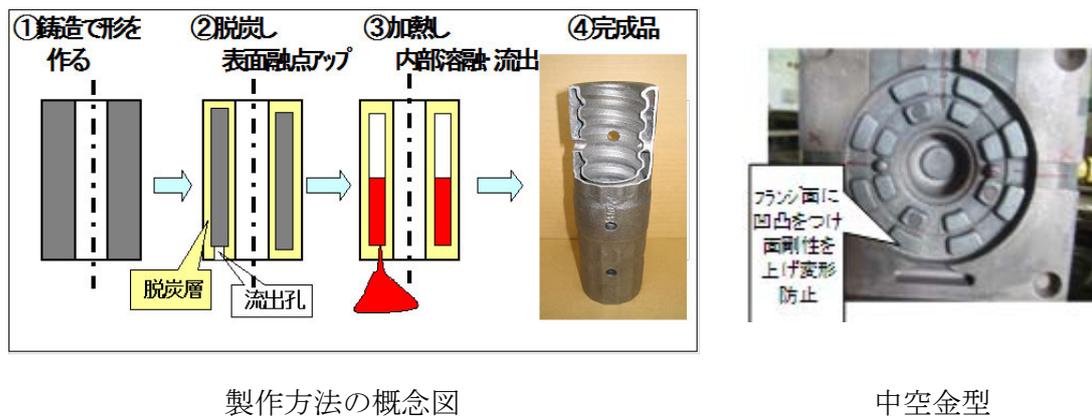
F/S 結果や文献調査・ヒアリング情報により決定した基本形状金型を使って、金型形状・金型肉厚・金型材質の相関を把握し金型の最適化を図る。

27年度は、本鑄造法に適した熱疲労を考慮した形状、材質を検討し最適と考えられる金型を試作した。続いて28年度では、金型寿命は金型最高温度に大きく依存することが定量的に把握できたので、金型最高温度を金型形状・鑄造条件により推定できるシミュレーション手法を開発し金型形状に織り込み寿命確認テストに供した。

(2) 重点的に実施した事項

(2)-1 中空金型試作水準

中空金型については、(株)アクティ及び(株)浅田可鍛鑄鉄所による脱炭を利用した中空化技術(図 2.1.1)、並びに(株)コイワイによる3Dプリンタを使用した中空化技術(図 2.1.2)の2つの方法に加え鑄鉄キャビティと鋼製の部材を組み合わせた3水準の金型を製作した。図 2.1.3 に中空金型の要件と各水準の金型の略図、狙いを示す。



製作方法の概念図

中空金型

図 2.1.1 脱炭技術による中空金型製作



図

中空金型

図 2.1.2 3D プリンタによる中空金型製作

中空金型を3水準に区分した理由は、対象製品の形状、肉厚、重量に応じて最適金型形状があるのではないかと考えたためである。なお、図 2.1.3 の従来脱炭中空型(イ)は予備テストにて型寿命が **50 ショット以下**であったため、その改善タイプの中空型(ロ)で試作した。

中空鑄鉄金型/型構造見直し(製品重量・肉厚に応じ肉厚選定)			
1.中空鑄鉄金型の要件			
①キャビティは鑄鉄を鑄肌のまま使用 (キャビティ肉厚は3~10mm程度)	→	・安価な型	
②中空部を利用し型の冷却、加熱可能	→	・型寿命確保	
		・型寿命確保・製品チル化防止	
2.中空鑄鉄金型区分			
	①脱炭中空鑄鉄型(浅田特許技術)	②組み合わせ中空鑄鉄型 (素材重量:0.5Kg以上)	③コイワイタイプ中空鑄鉄型 (3Dﾌﾟﾘﾝﾀ型使用、0.5Kg以上)
略図	イ.従来	ロ.見直し案(素材重量:~0.5Kg)	
狙い	【デフケースで寿命確認】 ・鑄造素材→脱炭・中空化 型肉厚4mm以下(デフ:3.8mm)	【センタハウジング(小型ターゲット部品)】 ・鑄造素材→脱炭・中空化 →ホルダ(黄色)に赤部で固定	【ターボハウジング(大型ターゲット部品)】 ・3Dﾌﾟﾘﾝﾀ活用一体中空鑄鉄型
	・特許技術の金型への適用 (権利化) ・デフケース(2.5Kg)寿命確認テスト 早期クラック 変形で対策必要	・型寿命アップ →熱変形(湯モレ)、クラック防止 →型を拘束しない (キャビティはフローティング、 ホルダに赤部で取り付け)	・鑄造キャビティ →同左 ・型寿命アップ →型肉厚アップ (4~10mm、デフ:8mm) →熱変形(湯モレ)、クラック防止 (方策は同左)

図 2.1.3 中空金型の要件と各水準の金型の略図、狙い

(2)-2 中空金型温度シミュレーション手法の開発

金型寿命と金型温度には強い相関があり、①金型寿命と金型温度の相関を定量的に把握、②金型温度を大きく左右する中空金型の肉厚、塗型厚さ、型冷却条件との相関を定量的に把握する必要がある。このことから、中空金型温度が計算できるシミュレーション手法を開発した。

(2)-3 中空金型温度シミュレーション手法(熱伝導・凝固シミュレータ)の開発

熱伝導・凝固シミュレータは、2次元および軸対象体を対象として、熱伝導、熱伝達を直接差分法で解き、液相から固相への相変態における凝固潜熱の発生は温度回復法によって扱うことにした。なお、中空金型の特性を予測するために、空洞部の熱伝達係数を変化させることができ、かつ、繰り返し鑄造プロセス(金型温度を連続計算しつつ、サイクルタイムごとに溶湯が注入され抜型されるまでは凝固計算を行う)を可能にした。また、手軽に何度もシミュレーションが行えるように、MS-EXCEL、Visual BASIC を用いて開発を行った。

①熱伝導

通常、熱の移動量は単位時間当たり単位断面積を通過する熱量(これを熱流束(W/m²)という)で表す。この熱移動現象は熱伝導と呼ばれ、次のフーリエの法則で説明できる。

フーリエの法則：熱伝導により単位時間当たり単位断面積を通過する熱量 \dot{q} （熱流束）は温度勾配に比例する。

このフーリエの法則を1次元の場合に対して数式で表現すると次のようになる。

$$\dot{q} = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \quad \dots \text{式(1)}$$

ここで、 T : 温度 [K]、 x : 座標 [m]、 $\partial T/\partial x$: 温度勾配 [K/m] である。また、比例定数 λ は熱伝導率 [W/(K·m)] と呼ばれ、物質によって決まった値をとる。 λ の値が大きい物質ほど熱がよく伝わる。右辺の符号は、熱の流れる方向に $\partial T/\partial x$ が負となるので熱流束を正に表すようにつけたものである。熱はこのフーリエの法則に従って移動するが、移動した結果としての収支は必ず保存される。これが熱エネルギー保存則である。つまり、

時刻 t から $(t + \Delta t)$ の間にある領域に蓄積される熱量 Q
 $= \Delta t$ 間に流入する熱量 Q_{in} - Δt 間に流出する熱量 Q_{out} \dots 式(2)
 となる。

この熱エネルギー保存則を微小領域に適用して数式で表現することを考える。

図 2.1.4 で中央部分の微小領域内において、密度 ρ [kg/m³]、比熱 C_p [J/(kg·K)]、温度 T [K] が一定であるとする。蓄積される熱量 Q は次のように表される。

$$Q = \rho C_p V T^{t+\Delta t} - \rho C_p V T^t \quad \dots \text{式(3)}$$

また、同一物質であり共有面積 S で隣接している微小領域(図 2.1.4 右側、微小領域同士の中心位置は Δx だけ離れているとする)の温度を T' とすると Δt 間に熱伝導で流入する熱量 Q_{in} はフーリエの法則を適用して次のように表される。

$$Q_{in} = \lambda \frac{S}{\Delta x} (T' - T) \Delta t \quad \dots \text{式(4)}$$

さらに、共有面積 S で隣接している他方の微小領域(図 2.1.4 左側、微小領域どうしの中心位置は Δx だけ離れているとする)の温度を T'' とすると Δt 間に熱伝導で流出する熱量 Q_{out} は次のように表される。

$$Q_{out} = \lambda \frac{S}{\Delta x} (T'' - T) \Delta t \quad \dots \text{式(5)}$$

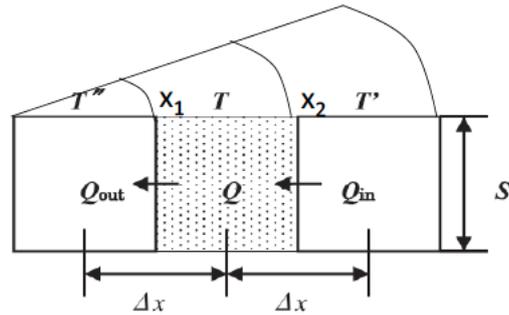


図 2.1.4 微小領域での熱移動

$Q = Q_{\text{in}} - Q_{\text{out}}$ であるから、

$$\rho C_p V \frac{(T^{t+\Delta t} - T^t)}{\Delta t} = \lambda \frac{S_1}{\Delta x} (T'' - T) + \lambda \frac{S_2}{\Delta x} (T' - T) \quad \dots \text{式(6)}$$

となる。一般に物理現象を記述するには微分方程式が用いられるが、微分方程式のままではコンピュータで解くことができない。離散化しなければならない。離散化の方法にはテーラー展開による有限差分法、変分法やガラーキン法による有限要素法、微小要素をまず考えて物理現象を直接差分式で記述する直接差分法などがある。上記の例は、直接差分法によって熱伝導現象を離散化式に表した例であり、このまま大規模問題にも適用することが可能である。

ちなみに、一般の3次元領域に対する熱伝導基礎微分方程式は、以下のとおりである。つまり、 x 方向、 y 方向、 z 方向それぞれに対してフーリエの法則から導かれる熱移動項の和が微小時間での蓄熱項と等価であるという意味である。

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad \dots \text{式(7)}$$

②熱伝達

温度の異なる壁面と移動流体間に生じる熱交換を熱伝達という。図 2.1.5 に示すように表面温度 T_s の固体が、温度 T_a の流体に接しているとき、流体と物体表面間にある温度差($T_a - T_s$)が熱伝達を起こす駆動力になり、固体表面を通し単位時間あたり流入する熱量 \dot{q}_s は熱伝達率 h [$W/(m^2 \cdot K)$]を導入して、次のように表すことができる。

$$\dot{q}_s = h (T_a - T_s) \quad \dots \text{式(8)}$$

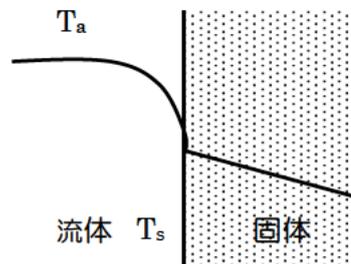


図 2.1.5 固体と流体の境界における温度分布

例えば、高温の雰囲気炉内に常温の固体を挿入した場合に、まず、表面からの熱伝達によって熱が固体内に流入し、その後、固体の内部を熱伝導によって熱が移動していく。

③接触熱抵抗

2 つの固体が接触している場合、真の接触面積は見かけの接触面積より小さいために 2 つの接触面の間には温度差 ($T_{s1} - T_{s2}$)が生じる。この場合の接触界面での熱流束は、熱抵抗 R を導入して次のように表すことができる。

$$\dot{q}_s = (T_{s1} - T_{s2}) / R \quad \dots \text{式(9)}$$

ここで、 $h_R = 1/R$ とおくと式(8)と式(9)は同一形式となり熱伝達と同じように扱うことができる。ここで、 h_R を伝熱係数あるいは熱伝達係数と呼び、熱伝達率と区別している。図 2.1.6 に接触熱抵抗がある場合の直接差分法による離散化式の考え方を示した。すなわち、 Q_m は熱伝達係数、物質A内部の熱伝導(熱伝導率 λ_A)、物質B内部の熱伝導(熱伝導率 λ_B)の 3つを考慮して、式(10)のようになる。

$$Q_{in} = \frac{S}{\frac{1}{h_R} + \frac{\Delta x_A}{\lambda_A} + \frac{\Delta x_B}{\lambda_B}} (T_A - T_B) \Delta t \quad \dots \text{式(10)}$$

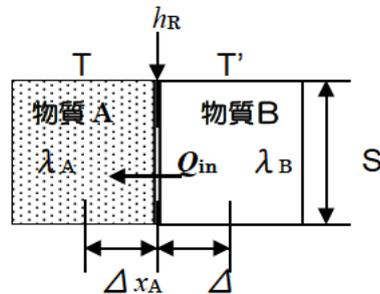


図 2.1.6 接触熱抵抗がある場合

④凝固現象について

金属で凝固が始まるためには固相の核が必要であり、核生成の機構には均質核生成と異質核生成がある。実際の凝固問題では、異質核生成になることが多く、多元系の非平衡凝固である。ここでは熱加工プロセスの最適化というマクロ的な視点から凝固現象をとらえる。すなわち、凝固現象を知るために、直接測定できるもののひとつに温度履歴がある。ある形状のキャビティに充満した熔融金属(液相)が冷却されていく過程の温度変化をみると例えば図 2.1.7 のようになる。

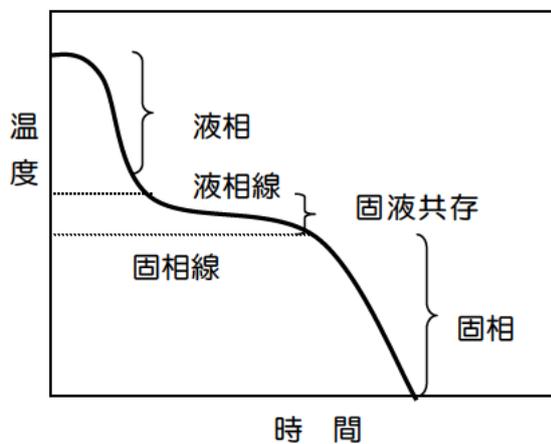


図2.1.7 冷却時の温度変化

液相域において温度が低下した後、温度曲線の勾配が緩やかになる領域が観察される。これが凝固の進行を示したもので、勾配が緩やかになる起点の温度、つまり凝固の始まる温度が液相線温度(T_L)である。しばらく緩やかな勾配が続き、やがてまた勾配が急になる起点が存在する。これが凝固終了温度、つまり固相線温度(T_S)である。これ以降は固体が冷却されていく。液相線温度と固相線温度の間は液相と固相が混じった領域であり、固液共存域と呼ばれる。

温度に注目するとすれば、凝固時の熱収支が解かり、図2.1.7のような冷却カーブが予測できればよいことになる。液相だけの領域、固相だけの領域では前回説明した熱伝導計算をそのまま適用することが可能である。それでは、液相線から固相線の間の領域では何が起きているか。実は、液相状態と固相状態では原子の運動状態や原子間の相互作用が異なり、液相の内部エネルギー E_L は、固相の内部エネルギー E_S よりも大きい。したがって凝固により液相が固相に変化するには、 $\Delta E_L = E_L - E_S$ の内部エネルギー変化が必要である。この内部エネルギーを凝固潜熱； L (J/kg) と言い、実用合金の場合には液相線温度以下の領域で失われる熱量に相当する凝固潜熱が放出され固相率（固相の割合; f_s ）が増えると考えることが可能である。つまり、潜熱の放出量に見合うだけの固相が生成されたとして、その潜熱の放出によって冷却曲線のカーブが緩やかになるものといえる。

潜熱放出による発熱量は、

$$\rho L \frac{\partial f_s}{\partial T} \quad \cdots \text{式(11)}$$

で表される。熱伝導の式と組み合わせると、

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \rho L \frac{\partial f_s}{\partial T} \quad \cdots \text{式(12)}$$

となる。変形すると

$$\rho \left(C_p - L \frac{\partial f_s}{\partial T} \right) \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z} \right) \quad \cdots \text{式(13)}$$

となる。

したがって、固相率 f_s と温度 T の関係がわかれば、熱伝導計算と同様に容易に解くことができることになる。温度と固相率の関係は状態図から知ることができる。ただし、一定温度で凝固する純金属や共晶凝固の場合、包晶凝固の場合などでは固相率は温度によって一義的に決定できないので注意が必要である。もっとも単純には、線形仮定を置いて、

$$T = T_L - (T_L - T_S) f_s \quad \cdots \text{式(14)}$$

とおける。

ここでは、凝固が始まって、微小時間ごとに、まず潜熱の放出を考えずに熱伝導計算を行い、その液相線温度からの温度低下量 $\Delta T (= T_L - T)$ に見合う熱量が潜熱として放出されたとして液相線温度まで温度を回復させる温度回復法を適用した。

今ある領域(体積 V)で固相率が Δf_s だけ増大したとすると、それに対する潜熱放出量 Q_s は次式で表される。

$$Q_s = \rho V \Delta f_s L \quad \cdots \text{式(15)}$$

これと、液相線温度からの温度低下量 ΔT ($= T_L - T$)に見合う熱量が等しいので

$$Q_s = \rho C_P V \Delta T \dots \text{式(16)}$$

となり、 $\Delta f_s = C_P \Delta T / L$ が求められる。この分の固相が増加した結果として液相線温度を求めることができる。これらを Visual BASIC でコーディングし、図 2.1.8 のような熱伝導・凝固シミュレータを開発した。

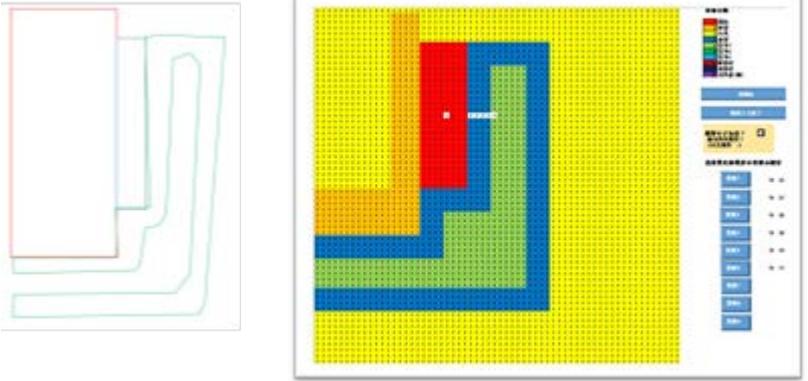
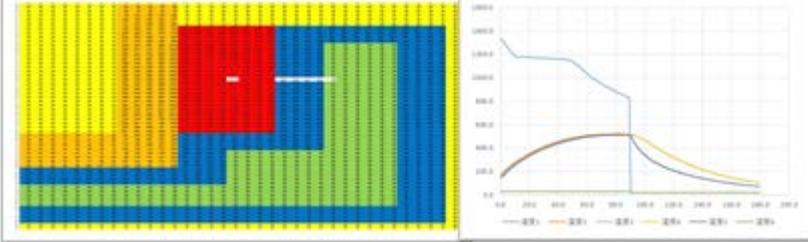
<p>①プリプロセッサ・シート</p> <ul style="list-style-type: none"> ●ワークシート上にメッシュ生成 ●物性インデックス(物性識別カラー)マウスクリックで入力 ●軸対称体/2次元モデルの選択 	
<p>②ソルバー・シート</p> <ul style="list-style-type: none"> ●各物性値、初期条件 ●出力条件を設定し、「開始」ボタンをクリックすることで計算 ●繰り返し铸造の計算 ●抜型後の金型温度計算 	
<p>③計算結果出力・シート</p> <ul style="list-style-type: none"> ●ワークシートに温度、固相率、凝固時間を出力 ●適宜、等高線グラフ、時間-温度曲線などで表示 	

図 2.1.8 熱伝導・凝固シミュレータのイメージ

⑤シミュレーション手法の確認

シミュレーション手法の確認として、図 2.1.8 に示すようなターボハウジングを想定した中空な組み合わせ金型に対して、熱伝導・凝固シミュレータを適用し、金型の温度変化を解析した。なお、図 2.1.9 に示すように、抜型後は金型のみ温度計算を継続し、次のショットに備えることとした。

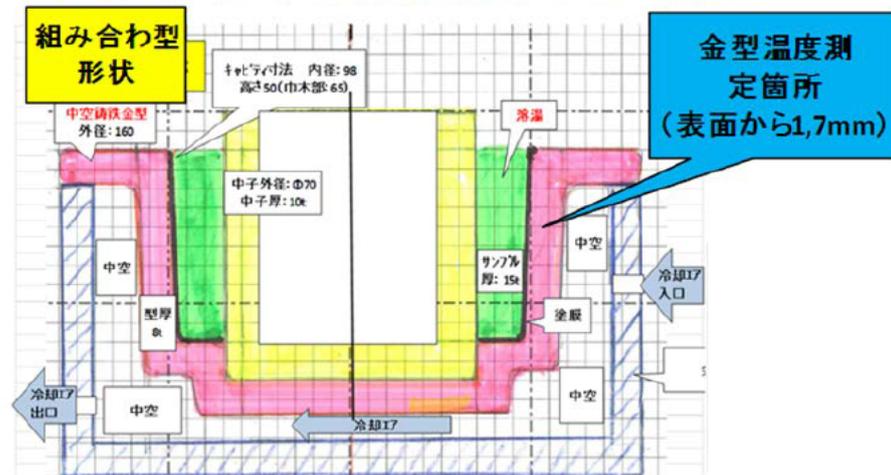


図 2.1.8 中空組み合わせ型(軸対称、ターボハウジング想定)

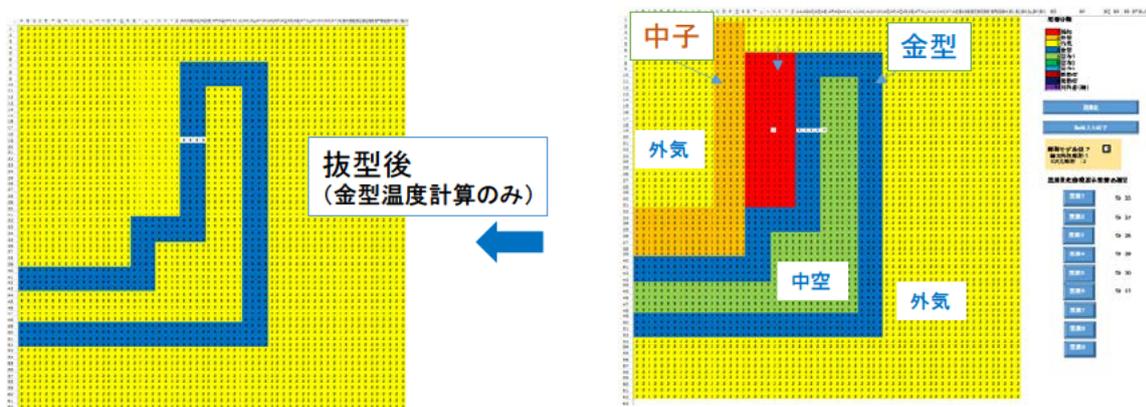


図 2.1.9 抜型後の温度計算の考え方(中空)

繰り返し鋳造における鋳物、および金型の温度変化シミュレーション結果例を図 2.1.10 に示す。繰り返し鋳造を行っても、金型温度は上昇していないことがわかる。

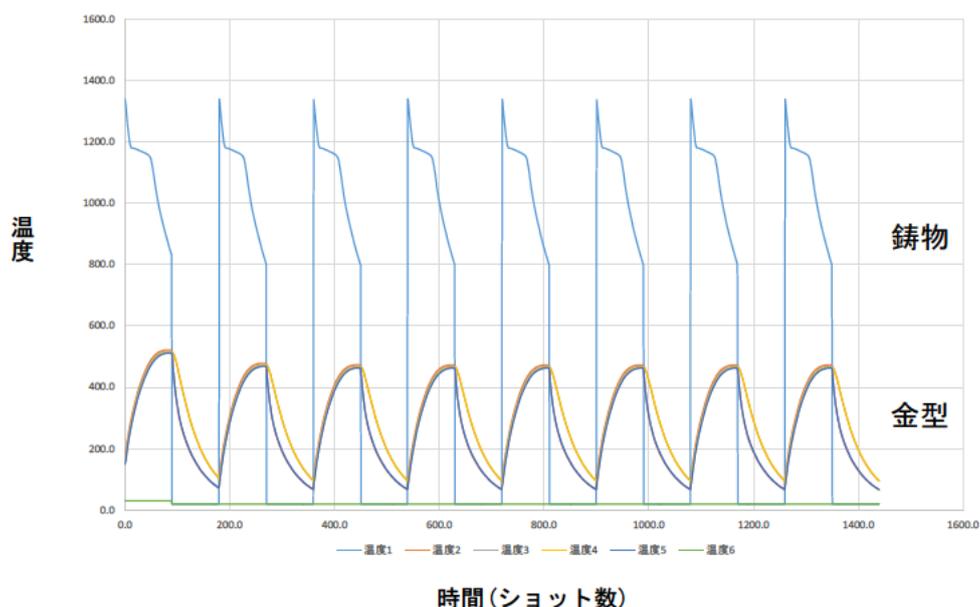


図 2.1.10 繰返铸造による铸件と金型の温度変化シミュレーション結果(中空金型)

次に同様の铸件形状に対して、中実金型を用いた場合のシミュレーション結果を図 2.1.11 に示す。

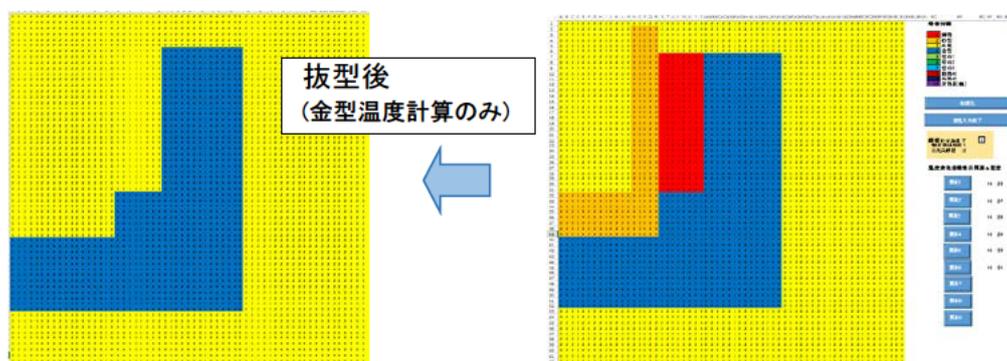


図 2.1.11 拔型後の温度計算の考え方(中実)

図 2.1.12 に示すように、中実金型の場合は、ショット数が増すにつれて金型温度が上昇していく。このように、シミュレーション結果からも金型を中空化することによって金型への温度効果が確認できる。

以上のような熱伝導凝固シミュレータを開発すると共に、金型温度、注湯温度、型温度制御エアの出口、入口温度等重要製造要因の自動計測とともに最適条件の抽出を可能とした。

次項では、開発したシミュレーション手法の活用について述べることとする。

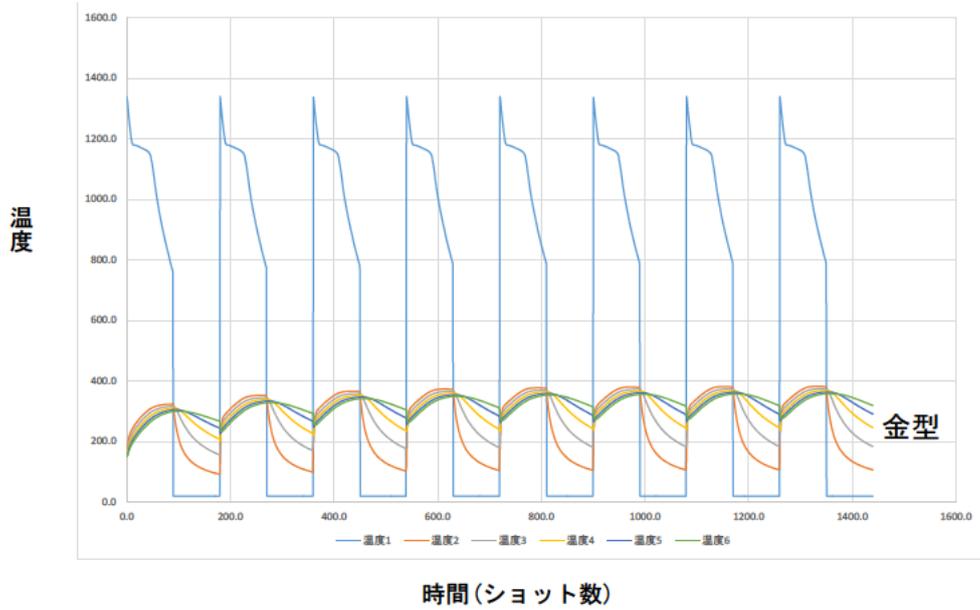


図 2.1.12 繰返铸造による铸物と金型の温度変化シミュレーション結果(中実金型)

(2)-4 シミュレーション手法の活用

①塗型熱伝達係数の算出

次に開発した熱伝導・凝固シミュレータを活用し塗型の熱伝達係数を算出した。ここでは金型を想定したφ30×L120mmの鋼試片に所定厚さの塗型をスプレーし、1300°Cの溶湯に浸漬した(図 2.1.13)。底面から40mmの箇所に挿入した熱電対の指示温度が50°Cから500°Cになるまでの時間を実測し、開発したシミュレータによりに各塗型厚さの熱伝達係数を求めた(図 2.1.14)。

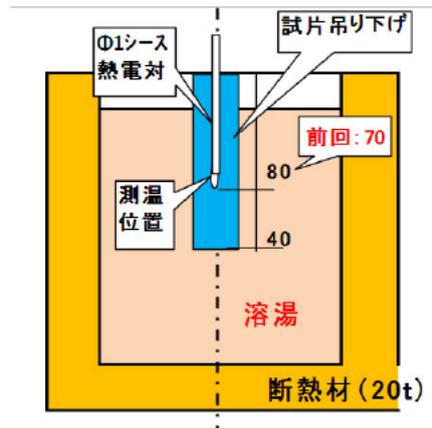


図 2.1.13 サンプル浸漬状況

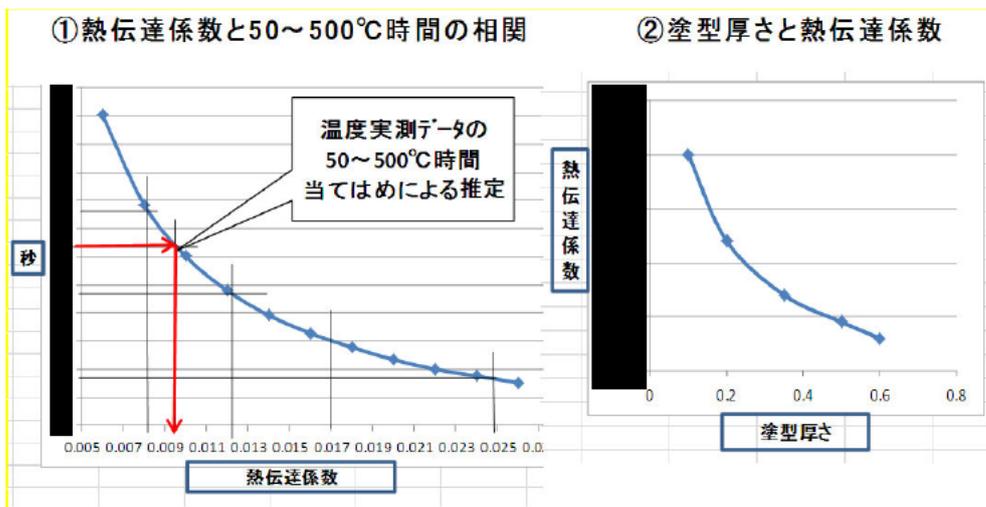


図 2.1.14 塗型厚さと熱伝達係数の相関

②金型冷却熱伝達係数の算出

前項と同一の試験片を 500℃に加熱して、図 2.1.15 に示す冷却塔に吊り下げ、塔の下方からエアを噴出させ、噴出エア量と試験片が 400℃から 100℃になるまでの時間を実測しその相関を求めた。塗型の場合と同様に開発したシミュレータにより、図 2.1.16 に示すような噴出エア量と熱伝達係数の相関を求め、今後の casting 条件の設定に活用することとした。

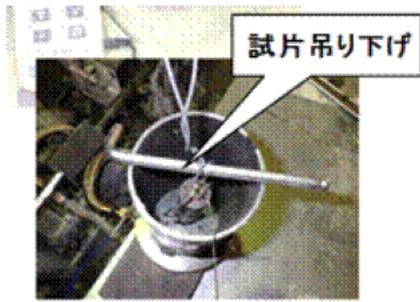


図 2.1.15 加熱サンプルの強制空冷

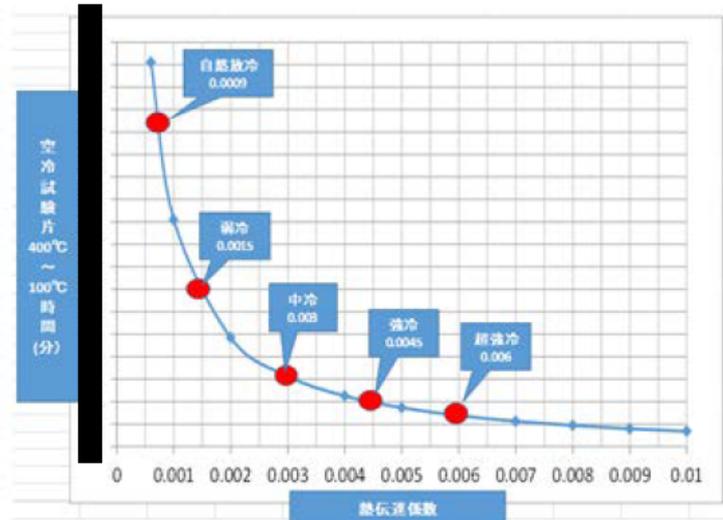


図 2.1.16 強制空冷エア量と熱伝達係数の相関

③中空金型温度の算出と試作試験による検証

シミュレータで金型温度を算出した金型形状(前出の図 2.1.8)について、解説結果と casting 試作試験による比較検証を行った。なお、試作試験に使用した組み合わせ型の形状、及び casting 試作試験の手順(塗型スプレー→中子セット→金型予熱→注湯)は図 2.1.17 のとおりである。

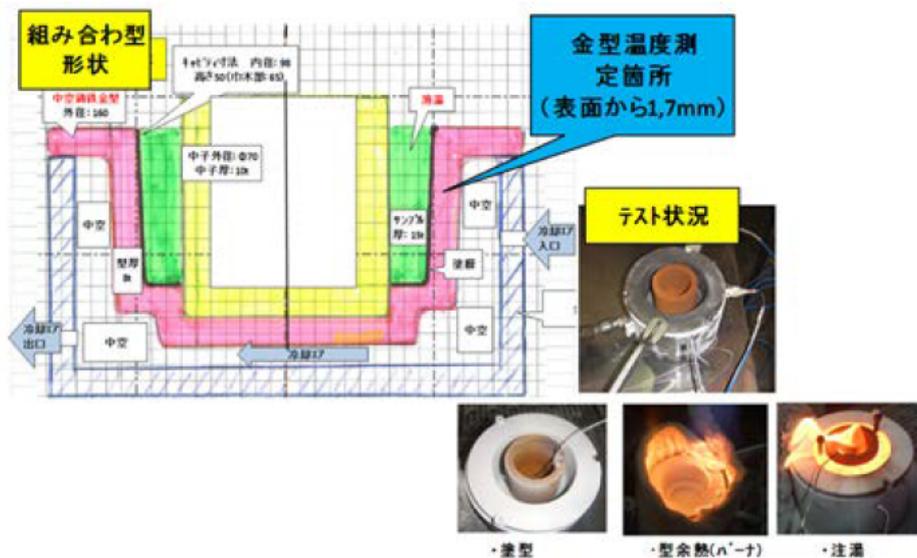


図 2.1.17 組み合わせ中空金型形状と試作試験の手順

図 2.1.18 に試作試験した各要因と水準、そして型温度実測値とシミュレータによる計算結果の比較を示す。上段は型温度が低い場合で、下段は型温度が高い場合である。なおシミュレータによる計算に際しては、塗型厚み、エア冷却に関しては①項と②項で求めた各々の熱伝達係数を用いた。

実測値とシミュレーション計算結果の差は、同図からわかるように、型温度が低い場合で 43℃、型温度が高い場合で 25℃となった。また温度変化のカーブも類似していることから、本シミュレーションを用いることにより型温度の推定が可能であることが確認できた。

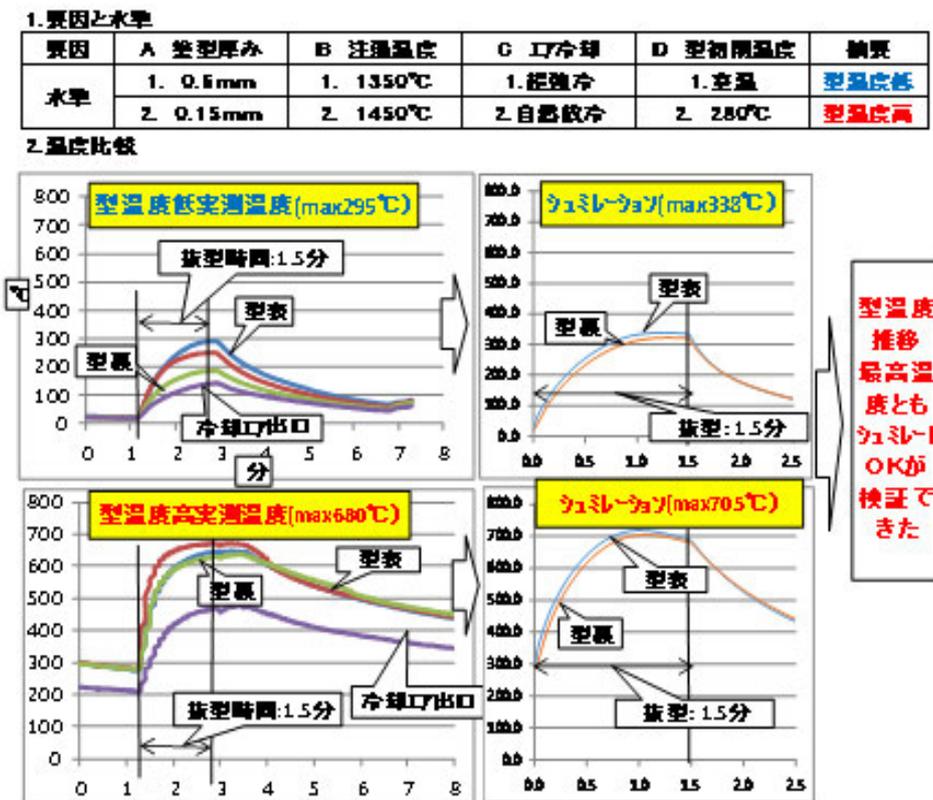


図 2.1.18 試作テスト時の要因と水準、金型温度の実測値と計算値の比較

2-2 温度制御を含む鋳造機の開発による装置の最適化

(1) 補助事業の具体的内容

中空金型の利点を活かし、製品の硬度コントロール及び金型寿命の伸長を図るため、温度制御・塗型機能を持つ、簡易な鋳造機を開発する。

(1)-1 温度制御装置開発

F/S 実績により、必然的に金型肉厚が薄くなる中空金型においては、金型を冷却し金型最高温度は 600℃以下とし、最低温度を 200℃程度として温度幅を小さくすることが金型寿命目標達成には欠かせないことが判明している。このためには金型を加熱する必要も考えられる。幸い中空金型は金型構造が空気等気体による冷却、もしくは加熱に適しているので金型温度制御が容易にできる。この点を考慮した金型温度制御システムを開発する。

(1)-2 高品質塗型装置開発

熱負荷の大きい中空金型での金型寿命・緻密組織の目標達成のためには、溶湯と金型表面を熱遮断する塗型の均一な塗布が必須である。塗型材質は F/S 結果より断熱特性の高い珪藻土系が適していることを見出しており、この塗型に応じた塗型装置を開発する。

(1)-2-1 塗型塗布装置開発

珪藻土塗型は珪藻土を水に溶いて使用するが、数分で珪藻土が沈殿するので、F/S では塗型液供給パイプ・塗型スプレインズルの詰まりが大きな課題となった。この詰まりを防ぐためにはタクトタイムの短縮・塗型液供給回路の短縮・水による洗浄作業工程追加等が考えられる。これらを織り込んだ塗型塗布装置を開発する。

(1)-2-2 塗型清掃装置開発

塗型品質確保のためには、塗型前に金型を清掃し、塗型残さを除去することが必須である。よってソフトブラストを採用し、単位時間内に塗型残さが除去できる塗型清掃装置を開発する。

(1)-3 小スペース/高サイクル鋳造機開発

小スペースで高サイクルな鋳造機を開発する。本鋳造機は温度制御装置及び塗型装置が搭載可能なものとする。

27 年度は、温度制御装置、高品質塗型装置(塗型塗布及び清掃)、及び小スペース/高サイクル鋳造機をそれぞれ開発した。28 年度は、昨年度開発した上記装置を更に改良して、上記の目標値を満足することとした。

- ・金型温度計測・制御装置開発 (温度測定誤差±10 度以下)
- ・塗型塗布装置開発(塗型塗布厚みバラつき 0.1mm 以下及び清掃時間 10 秒以下)
- ・鋳造機開発(サイクルタイム 5 分以下及び鋳造スペース 25m²以下)

(2) 重点的に実施した事項

温度制御装置、高品質塗型装置、及び小スペース/高サイクル铸造機の構成を図 2.2.1 に示す。同図に示されるように温度制御装置と高品質塗型装置は、铸造機を動作させるために必要な付帯設備に相当する。

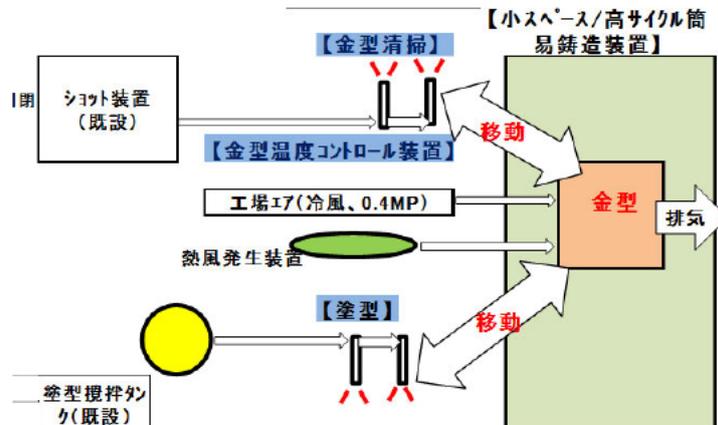


図 2.2.1 小スペース/高サイクル铸造機(金型温度制御・清掃・塗型機能付き)の構成

(2)-1 温度制御装置開発

最高温度 800℃の熱風を発生させることができる熱風発生装置と室温の工場エアを組み合わせ、中空金型内に供給することにより金型温度をコントロールする。冷却エア、熱風の温度、流量は可変で設定可能であるとした。

(2)-2 高品質塗型装置開発

①塗型塗布装置開発

珪藻土塗型は断熱特性に優れているが、すぐ沈殿するため作業性が悪いので、その弱点を改善した塗型スプレー装置を開発した。塗型スプレー作業はロボットも考えたが、現状は人手によっている。

また、図 2.2.1 に示すような塗型膜厚を高精度で測定できる膜厚計を開発し、塗型膜厚ばらつき 0.1mm 以内を確認した。



図 2.2.1 高精度塗型膜厚計

②塗型清掃装置開発

金型に付着した珪藻土塗型は除去・清掃する必要がある。本プロジェクトではショットブラストによる清掃装置と、高圧エアによる清掃装置を開発した。

(2)-3 小スペース/高サイクル铸造機開発

(2)-1 項及び(2)-2 項の装置を付帯した図 2.2.2 のような小スペース/高サイクル铸造機を開発した。なお、この铸造機は以下のような特長を持つものである。

- 型開閉シリンダにより、金型予熱、中子セット、型締め、注湯、開枠、抜型、金型清掃、塗型作業が連続してできる。

- ▶ 中子セット、塗型、塗型清掃作業が最適な姿勢でおこなえるよう金型回転可能。
- ▶ 本装置と高周波溶解炉と作業スペースを含めた鑄造スペースは 15m²である。

また、生産性を考慮し複数型も搭載できる装置(図 2.2.3)を製作した。通常の金型鑄造機はタイバーが 4 本あり操作性時自由度が少ないが本装置はタイバーがなく 3 方向からの鑄込みが可能になり、フレキシビリティが高い。そのため金型の複数取り付け、同一金型での製品の複数取りも可能となる。

前者装置は条件変更を容易とし、本研究開発に掛かる基本的特性を捉えることを主眼に開発し、後者装置は最適条件の検証用として開発した。

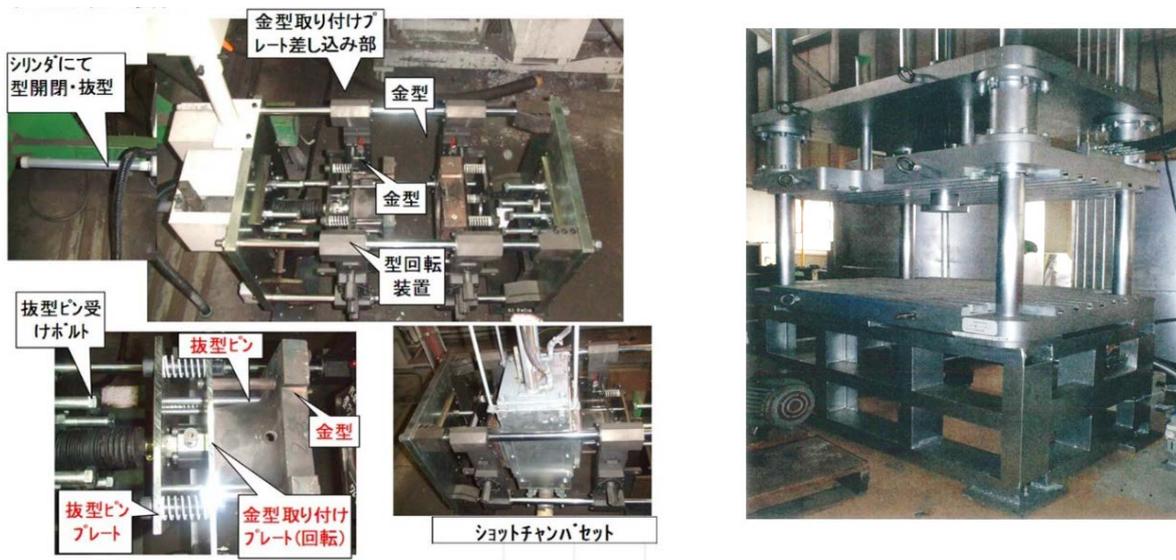


図 2.2.2 小スペース/高サイクル鑄造機の外観及び構成



図 2.2.3 コンパクト金型鑄造機

2-3 トレーサビリティによる生産条件の最適化

(1) 補助事業の具体的内容

(1)-1 基本形状での検証

基本形状金型において、2-2 項で開発した装置を使用し、試作テストを行う。金型条件・金型温度等の生産条件を紐付けし、トレーサビリティ手法を活用し、データ解析することにより、金型寿命目標及び材料組織緻密化目標の達成に向けた各生産条件の最適化を行う。

(1)-2 T/C 部品での検証

事業化ターゲット部品である T/C 部品において、2-2 項で開発した装置を使用し、試作テストを行う。このテストにおいては、前項で抽出した生産条件に基づき、トレーサビリティを活用し、実製品にも適用できる最適条件を求める。

27 年度は、トレーサビリティシステムの基本仕様決定、及び基本形状金型での検証実験の準備、ターゲット T/C 部品の金型製作を行った。28 年度は、2-2 節で述べた中空金型温度シミュレーション手法と連動したトレーサビリティシステムにより鑄造条件を最適化する。その条件下でレベルアップした鑄造装置を使って、基本形状金型とターゲット部品で型寿命確認テストを実施し、下記の目標値を達成する。

- ・基本形状金型寿命：1,000 ショット以上
- ・基本形状部品の高緻密化：黒鉛粒径：20 μ m 以下
- ・T/C 部品の高緻密化：黒鉛粒径：20 μ m 以下

(2) 重点的に実施した事項

(2)-1 基本形状金型での検証

① トレーサビリティシステムの導入

トレーサビリティシステム導入の目的は、鑄造条件等の最適化にある。そのためには、まずトレーサビリティシステムの基本仕様を決定し、金型温度、注湯温度、型温度制御エアの出口、入口温度等、重要製造要因の自動計測を可能とした。

同時に 2-2 節の中空金型温度シミュレーション手法により各種鑄造要因の抽出、標準値の予測を行い、要因を計測して、金型・鑄造条件の最適化を行った。

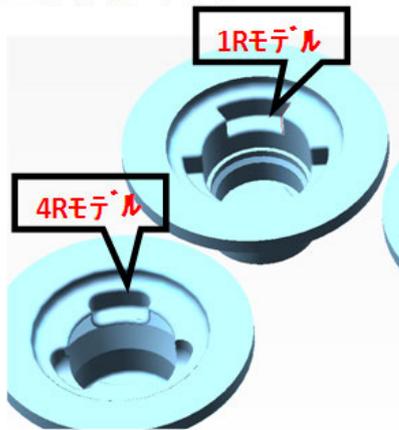
② 基本形状での組み合わせ金型での寿命確認試験

これまでの成果で最適化した表 2.3.1 に示すような鑄造条件で、図 2.3.1 の組み合わせ金型を用いて金型寿命の確認試験を実施した。なお金型材質は FCD450 である。

表 2.3.1 寿命確認テスト鑄造条件

出湯温度	1400℃ 對い(注湯温度:1350℃)
金型余熱温度	150℃ 對い
鑄型厚み	0.4mm 對い
鑄型時間	35秒
金型冷却	常時強制冷却

【基本形状モデル】



【基本形状金型】

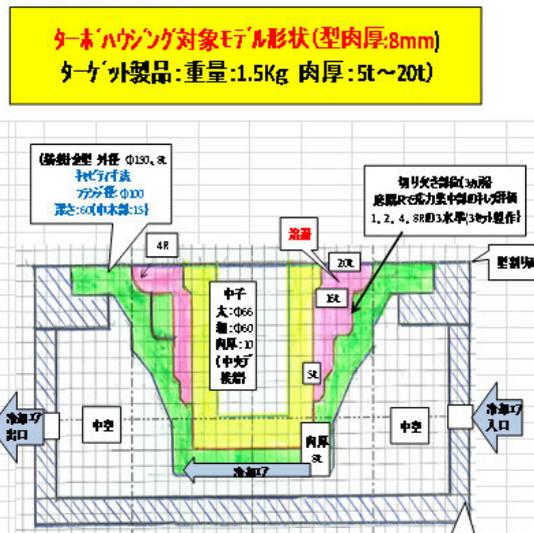


図 2.3.1 基本形状金型、形状モデルと組み合わせ中空金型構成

図 2.3.2 は本検証における鋳造工程で、鋳造装置に金型をセットし、塗型・中子セット、型締め、注湯カップをセットした状況を示す。また寿命試験での鋳造サイクルは、鋳造品 1 個当たり 3 分程度で行った。



図 2.3.2 鋳造工程(金型をセット→塗型・中子セット→型締め→注湯カップセット)

連続して 26 ショット鋳造した時の型温度と冷却エアの温度を図 2.3.3 に示す。なお、型温度は型表面から 2mm の位置に $\phi 1\text{mm}$ のシースタイプ熱電対を挿入して測定した。

この実験結果によれば、金型温度サイクルは、ほぼ目標値 $200^{\circ}\text{C}\sim 450^{\circ}\text{C}$ の範囲に収まっており、高断熱性の珪藻土系塗型と冷却エアによる金型冷却の効果が現われているものと考えられる。なお金型温度の測定精度については、正しい温度の測定は困難で評価は難しいが、同図の冷却エア温度が非常に安定な推移を示していることなどを考えると、目標の金型温度測定精度 $\pm 10^{\circ}\text{C}$ はクリアしていると考えられる。また 525 ショット後の金型表面損傷状況を図

2.3.4 に示す。型損傷危険部位(4tの薄肉部、1Rの底部)においても、クラック等の金型損傷がなかったことより、型寿命目標 1000 ショットはクリア可能と判断した。

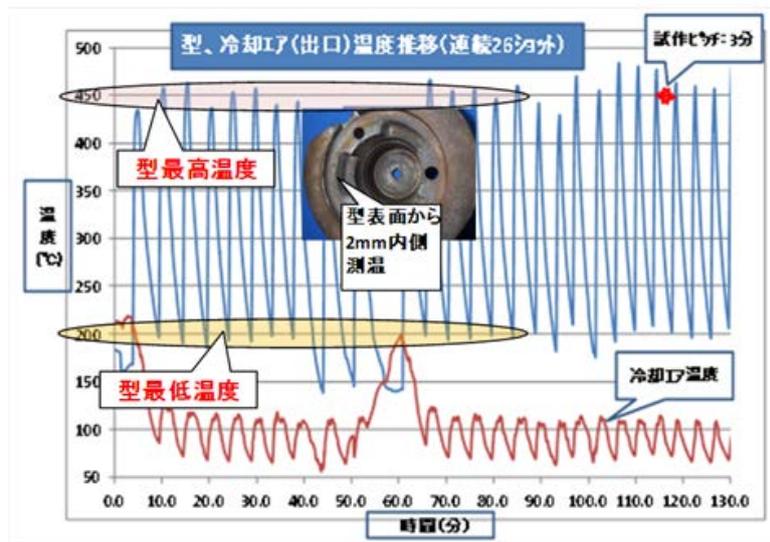


図 2.3.3 連続 26 ショット 鋳造時の型温度と冷却エアの温度推移



図 2.3.4 525 ショット後の金型表面損傷状況

③組織・硬度確認

型寿命確認テストの試作サンプルの硬さ、組織を確認した。図 2.3.5 及びに図 2.3.6 に硬さ、組織測定箇所、そしてその測定結果を示す。

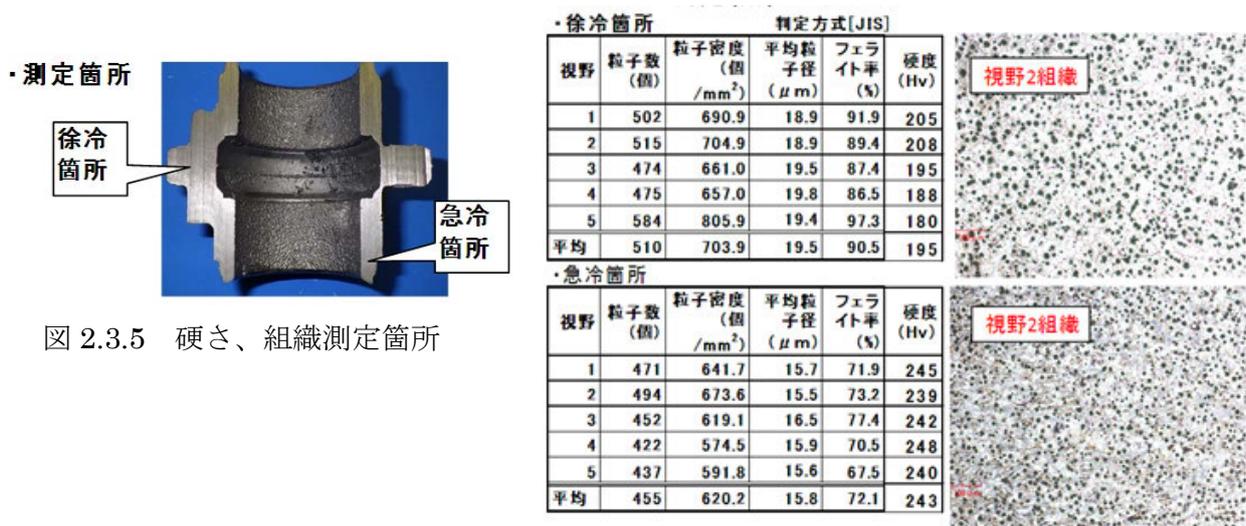


図 2.3.5 硬さ、組織測定箇所

図 2.3.6 硬度、組織測定結果

これらの測定結果から、組織の粒子径及び硬さは、サンプルの徐冷及び急冷部ともに、目標としている以下のスペックをクリアしていることがわかる。

- ・粒子径：200 μ m 以下
- ・硬さ：HV250 以下

④ 基本形状での脱炭中空金型での寿命確認試験

前項で述べた組み合わせ中空型と同様の手順で、(株)アクティが所有する特許技術で製作した脱炭中空金型を用いて、繰り返し铸造による金型寿命の確認試験を実施した。図 2.3.7 に脱炭中空金型の構成(センターハウジング対象モデル形状、重量 0.5kg、肉厚 5~13mm)、図 2.3.8 に X 線スキャナで撮影した金型の中空化状況を示す。

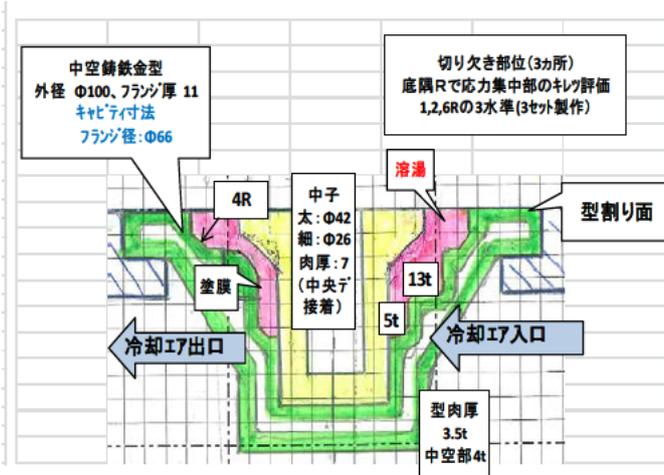


図 2.3.8 脱炭中空金型の X 線スキャナ画像

図 2.3.7 脱炭中空金型構成

図 2.3.9 に繰り返し铸造による金型温度変化を示す。この寿命確認試験の铸造サイクルタイムは 1 個当たり 2 分程度である。脱炭中空金型の厚肉部(狙い：2.8mm)では、塗型や型空冷しても、最高金型温度は 600℃を示しており、最高金型温度の目標値としている 450℃よりも 150℃高くなっている。この金型寿命試験は 103 ショットまで実施し、図 2.3.10 に示すように金型表面の損傷は皆無であった。

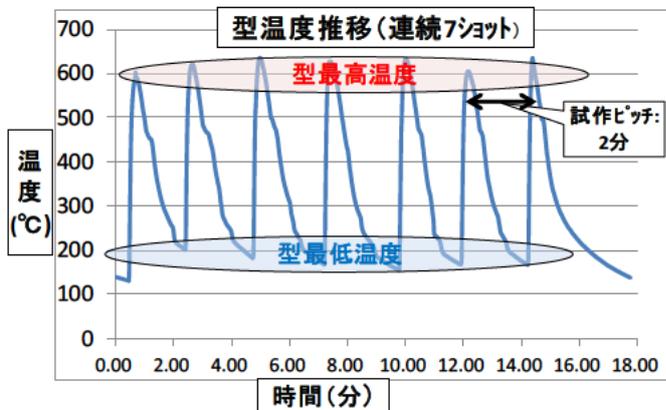


図 2.3.9 繰り返し铸造による金型温度変化

図 2.3.10 103 ショット後の金型表面

(2)-2 金型塗型(コーティング)の有効性確認

鋳鉄の無チル化と長寿命を達成するためには、金型と溶湯が直接触れないようにする工夫が必要であり、金型のコーティングが不可欠である。

今回使用した焼成を必要とする金型塗型では鋳物の硬さは JIS 規格を外れる値を示し、鋳物内部には、チル組織の出やすいとされる FCD 材においても図 2.3.11 に示すようなチル組織が確認された。また、塗型剤そのものの耐久性が足りず、複数回の使用には耐えられない。それに加えて、乾燥を十分に行っても、鋳物の外観には、図 2.3.12 に示すように大きなふかれと見られる欠陥が発生した。

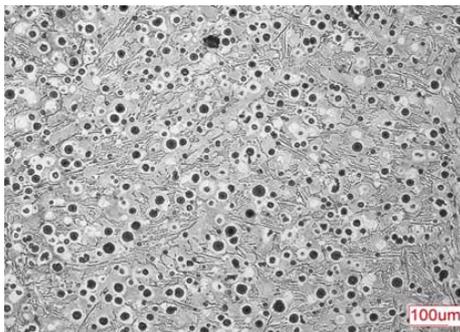


図 2.3.11 鋳物内部のチル組織



図 2.3.12 鋳物外観にみられる欠陥(ふかれ)

チル化とふかれを抑制しコンパクトに生産するために、3D プリンタを活用した砂積層コーティングを開発した。これは塗型施工部分に、図 2.3.13 に示すような 2mm 程度の厚みを有したものを金型にはめて使用する。その結果、チル組織の抑制につながり、図 2.3.14 に示すような健全な鋳造組織が得られると共に、に外観にもふかれ状の欠陥はなくなった。



図 2.3.13 2mm 厚みの砂積層コーティング

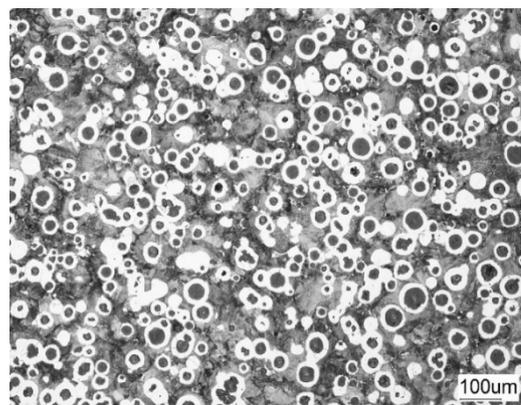


図 2.3.14 砂積層コーティングを用いた鋳物の金属組織写真

更に、鑄造試験によりチル組織が発生しやすいとされる FC 材を用いても、図 2.3.15 に示すようにチル化抑制できていることを確認した。

当初の鑄造実験においては、厚み 2mm 一定の砂積層コーティングでは注湯時に破損する部位があったが、原因を究明することにより溶湯が金型に触れることで溶損することがわかった。その対策に砂積層コーティングを造型するための 3 次元モデルの一部を設計変更し、コーティング厚みを増やすことで溶損の問題は解消された。この条件で鑄造実験したターゲット部品の概観を図 2.3.16 に示すが、健全な鑄造品を得られている。

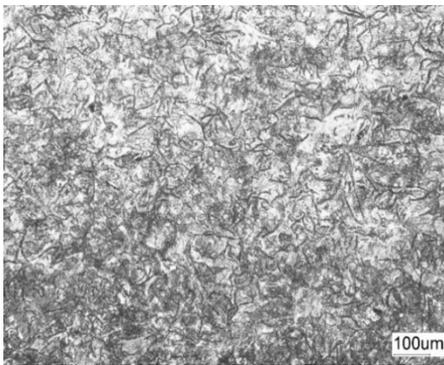


図 2.3.15 砂積層コーティングを用いた FC 材の金属組織



図 2.3.16 ターゲット部品外観

(2)-3 T/C 部品での検証

ターゲット 2 部品として、図 2.3.17 に示すような自動車用ターボ部品のセンターハウジングとターボハウジングを選定した。両部品とも 3D プリンタを活用し金型の強度、冷却効率を高めた一体型の中空金型を製作し、試作試験に供した。



図 2.3.17 ターゲット部品の外観

このうち、ターボハウジングの試作試験結果について、以下のように報告する。試作試験は、図 2.3.18 に示す一体型の中空金型、中子、及び注湯スリーブを用いた。試作試験当初

は中子からのガスに起因するガス欠陥、中子の位置決め不良による形状欠陥等が多発したが、トレーサビリティによる条件最適化により、図 2.3.19 のように、寸法精度、外観品質ともに満足できる結果を得られ、また組織(铸造組織の粒子径 $18.3 \mu\text{m}$)、硬度(HV240)についても、いずれも目標値をクリアした試作品を製作することができた。

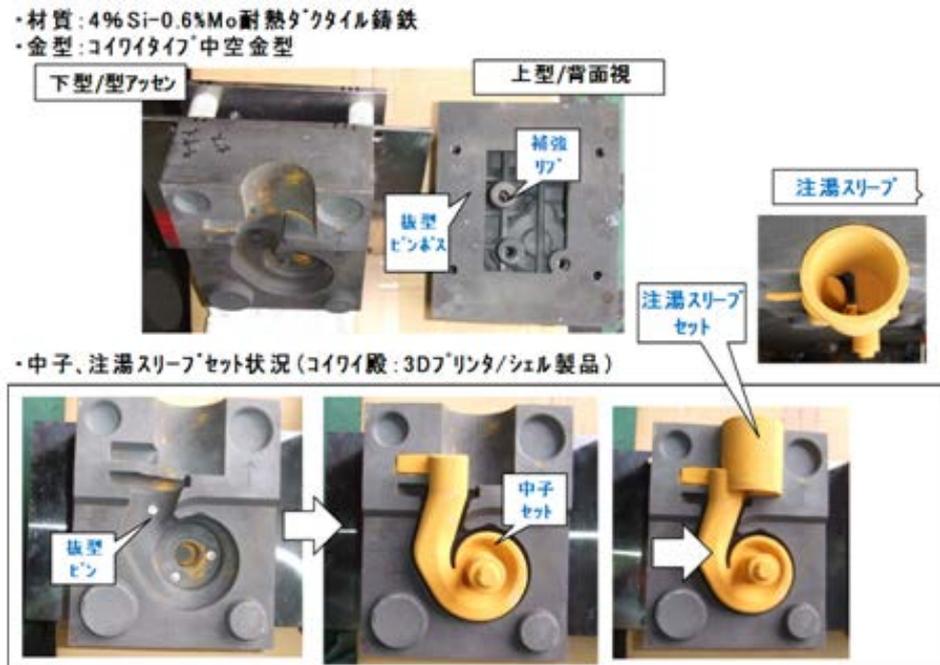


図 2.3.18 一体中空金型、中子、注湯スリーブ



図 2.3.19 ターボハウジング試作品の品質確認結果

第3章 全体総括

3-1 補助事業の成果

第2章で記載した各サブテーマに対する成果概要と目標達成度については、1-3節の成果概要に掲載している。

3-2 研究開発後の課題

本研究開発において、3kg程度の中・小物鋳鉄鋳造部品に対しては製品重量・製品肉厚に応じた金型を選定すれば、金型寿命 1000 ショット及びサイクルタイム 3 分でチルのない鋳造部品が製造できる目処を得た。しかしながら、量産化に向けて、以下のような検討が必要である。

- ① 連続鋳造における金型管理手法の確立
- ② 砂積層コーティングの最適化
- ③ 本技術で得られた製品の品質保証方法の確立
- ④ ①～③を織り込んだ量産用鋳造機の開発

今後は、これらの事項に関するデータを得て、実製品への適用を目指していきたい。つまり、QCD が確保できる量産技術を確立することが重要であると考えている。

3-3 本事業による効果

圧倒的にコンパクトで低コストである本製造プロセスは、既存鋳鉄部品・既存鋳鉄製造プロセスへの波及も期待できる。つまり、本研究成果を元にし、コンパクトな鋳造設備が開発できれば、川下ユーザに対しては、鋳鉄部品の安価な提供・部品の軽量化が可能となる。また鋳鉄部品メーカーに対しては、作業安全性が高く、事業リスク低い鋳鉄製造プロセスの提供が可能になる。

3-4 事業化展開

(1)想定している具体的なユーザ、マーケット及び市場規模等に対する効果

本プロジェクトにおける事業化として以下の2つと考えている。

1st ステップ	自動車向けターボチャージャ(T/C)用鋳鉄部品の製造販売 (1)製品の名称 T/C 用鋳鉄部品 (ベアリングハウジング、タービンハウジング) (2)概要 ①用途：主に自動車に使用される T/C の構成部品 ②特徴：複雑形状・耐熱材質・専用部品であり、多品種かつ量は大量～少量まで様々
2nd ステップ	小物鋳鉄部品の製造販売及び金型・製法のライセンス販売 (波及効果)

(2)事業化見込み

想定する市場としては、国内のターボチャージャ(T/C)メーカーに対し、自動車向け T/C 鋳鉄部品を販売する。その後、海外市場への販売も視野に入れる。

また、販売促進戦略としては、T/C メーカーに対し、本研究開発の特定の段階において製品サンプルの評価を依頼する予定である。ユーザを巻き込み共同開発を行うことで、開発完了後すみやかに販売へ道筋をつける。なお、目標時期や売上規模を次に示す。

(3)事業化に至るまで遂行方法やスケジュール

製品等の名称		1st ステップ ターボチャージャ(T/C)用鋳鉄部品				
開発事業者		(株)コイワイ、(株)浅田可鍛鋳鉄所、(株)アクティ				
想定するサンプル出荷先		国内ターボメーカー 他				
スケジュール	事業年度	29年度	30年度	31年度	32年度	33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		→	→	→	→
	特許出願					
	出願公開					
	特許権設定					
	ライセンス付与					
売上見込	売上高 (千円)	30	1,800	1,800	18,000	54,000
	販売数量	100	6,000	6,000	120,000	360,000
	売上高の根拠	<ul style="list-style-type: none"> ・ 29年度当初は、対象 T/C 部品のサンプル出荷を行う。 ・ 30年度から、実製品の製造・販売を開始。 ・ 当初は、年産 300 個程度の非量産品をターゲットとし、20～30 種類に拡販する。(単価は 300 円と想定) ・ その後、需要に合わせて設備投資を行い、量産品の生産・販売を行う。(単価は、150 円と想定) ・ 5年後には、年商 5 千万円を超える計画である。 				