

平成25年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「鋳造歩留りを10%以上向上させる新押湯方式による鋳造方法の
開発」

研究開発成果等報告書概要版

平成26年3月

委託者 中部経済産業局

委託先 一般社団法人日本鋳造協会

目 次

第1章	研究開発の概要	1
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、協力者	4
1-3	成果概要	9
1-4	当該研究開発の連絡窓口	12
第2章	本 論	13
①	新押湯方式の保温性の検討	13
②	新押湯方式の溶湯補給効果の確認と検討	19
③	実用性拡大の検討	23
④	実証実験と問題点の対策	26
⑤	事業化に向けた取組	29
第3章	全体総括	30

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) 研究背景

[特定ものづくり基盤技術の種類]

主たる技術：鋳造（従たる技術：金型）

[川下製造業者等の課題・ニーズ]

ウ. 複雑形状化

複雑形状化、一体成形化、軽量化などのいわゆる高機能鋳物の要求が高まることで、鋳造品の品質及び歩留りの確保がますます難しくなりつつある。

カ. 低コスト化

川下産業はグローバル競争の中で、円高による大きな負担を余儀なくされており、特に自動車の主たる構成部材である鋳造品の低コスト化は強い要求になっている。

[高度化指針に定める高度化目標]

エ. 品質改善の確保及び向上に資する技術の確立

高機能鋳物の要求の高まりによって、従来の押湯方案では引け巣等の欠陥をなくし健全な鋳造品を得ること、及び低コストの基本となる高い鋳造歩留りを確保することができなくなってきた。本提案では新規な発想による新型押湯方式を開発することで、品質、歩留りの両面の課題解決を目指す。

オ. コスト低減に資する技術の向上

本開発による新型押湯方式では、押湯が大幅に削減され鋳造歩留りが向上することで、大きなコスト低減が得られる。また、押湯堰の除去工数が低減され、これもコスト低減に寄与する。

[具体的内容]

鋳造は自動車を始めとする我が国産業の基盤技術である。鋳造業のコスト競争力の最大の課題は鋳造歩留りの向上であるが、この40年間、業界努力にもかかわらず平均で50%に留まっている。つまり、生産量の2倍の材料の溶解が必要で、極めてエネルギー消費が高い。その主な原因は押湯の溶湯補給効率が悪いことである。本開発では革新的な押湯方式を開発することで、溶湯を15%以上削減し、鋳造歩留り60%以上を達成する。

[特定ものづくり基盤技術の種類]

主たる技術：鋳造（従たる技術：金型）

（2）研究目的及び目標

本開発では、鋳造歩留りの改善が40年に亘って低迷している現状に鑑み、従来技術の押湯効果の低いサイド押湯方式から、押湯効果の高い揚り押湯方式に変更することで大幅な歩留り改善を目指す。下図に示すように従来技術のサイド押湯は設置位置が製品から遠いため押湯から溶湯を補給する効果が低い。これに対し、揚り押湯方式は製品の直上部に設置するので溶湯を補給する効果が高い。この効果の差によって押湯サイズを小さくして鋳造歩留りを10%以上改善しようとするものである。

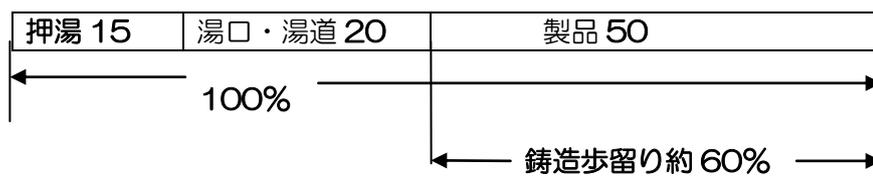
しかし、従来の揚り押湯では、一般的に高価な押湯スリーブを用いており、コスト面及び品質面、環境面から、その使用は限られた鋳物のみ用いられている。この適用は全生産量の1%程度と推測される。本開発では、これに代わる安価・無害な押湯スリーブを用い、押湯効果が同等以上の全く新規な発想による新型押湯方式を開発することで、揚り押湯が容易に用いられるようにして10%以上の大幅な歩留り改善を目指す。

○ 鋳造歩留り10%以上の向上（図式化）

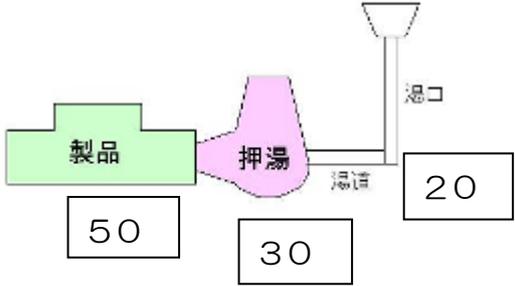
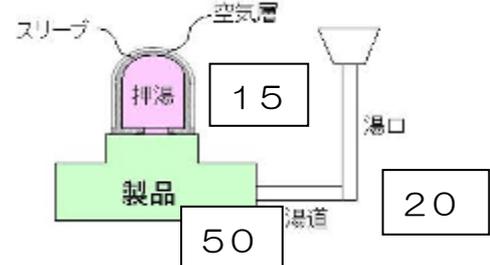
【従来技術】



【新技術】



○従来技術と新技術の比較

従来技術	新技術
<ul style="list-style-type: none"> ●サイド押湯 ●溶湯補給距離が長く、かつ押湯の冷却が速いため、効率が悪い押湯方式 ●押湯が大きい ● casting歩留り50% (製品 50 : <u>押湯 30</u> : 湯道と湯口 20) 	<ul style="list-style-type: none"> ●揚り押湯+スリーブ+空気層 ●溶湯補給距離が短く、かつスリーブ外面に断熱効果のある空気層を設けて保温性を高めた効率的押湯方式 ●押湯を小さくできる ● casting歩留り60%以上 (溶湯削減率は15%以上) (製品 50 : <u>押湯 15</u> : 湯道と湯口 20) 
<p><問題点></p> <ul style="list-style-type: none"> ・押湯の保温性が悪く、 casting欠陥が発生し易い。 ・ casting歩留りが低い。 ・多大の溶解電力を消費する。 ・押湯除去が面倒で、かつ堰残りが大きい。(仕上工数大) ・押湯の設置スペースが必要。 	<p><特徴></p> <ul style="list-style-type: none"> ・押湯の保温性が良く、 casting欠陥が発生しにくい。 ・ casting歩留り10%以上の改善が可能。 ・溶解電力15%以上の削減が可能。 ・押湯除去が容易で、かつ堰残りが少ない。(仕上工数低減) ・押湯の設置スペースは製品上で、設置スペースが削減できる。(込め数増)

○改めて本開発のポイントを整理すると次の通りである。

- ① 効率の悪いサイド押湯 ⇒⇒ 効率の良い揚り押湯へ変更
- ② 高価・有害な押湯スリーブ ⇒⇒ 安価・無害な押湯スリーブへ変更
- ③ 保温性の悪い押湯構造 ⇒⇒ 空気層による断熱保温を用いた保温性の高い新押湯方式を開発

○開発の研究課題

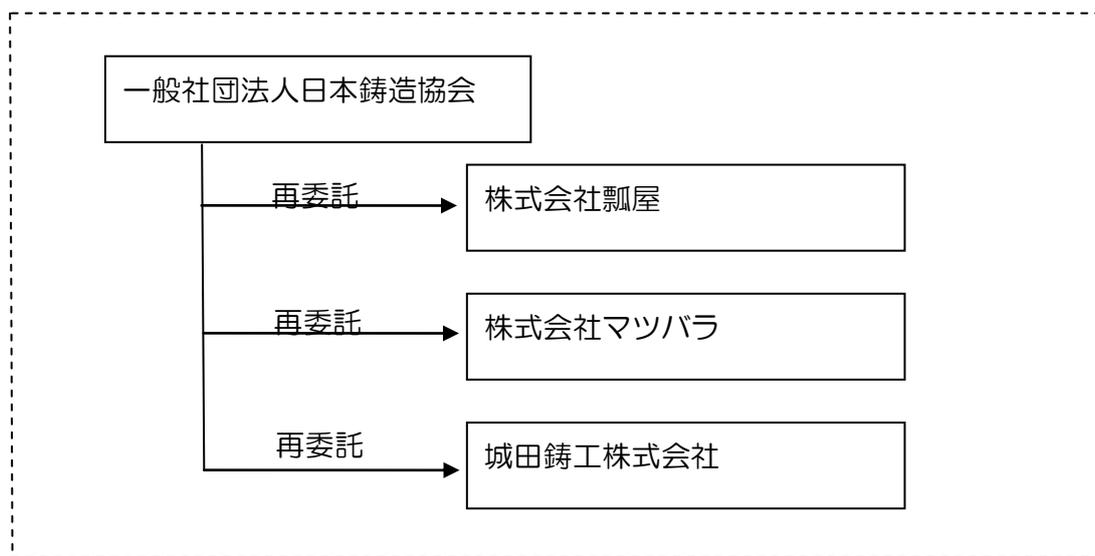
- ① 新押湯方式の保温性の検討： 高い断熱性能と十分な強度を有する押湯スリーブの形状、材質、空気層厚さを決定する。
- ② 新押湯方式の溶湯補給効果の検討： 押湯の必要補給量、ネックダウンコアの形状などを実験と凝固シミュレーションによって求める。
- ③ 実証試験： 代表的製品に対する有効性の実証実験を行う。
- ④ 実用性拡大の検討： 各種製品への適用性、サイド押湯への適用、溶湯補給効果の更なる改善などを検討する。

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)



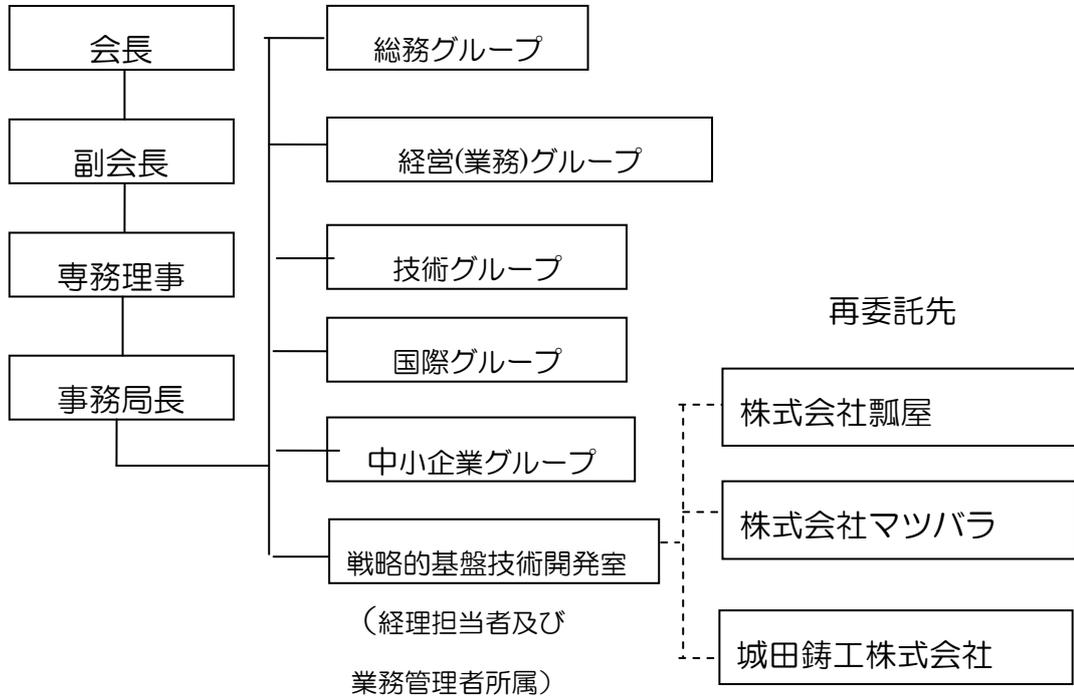
総括研究代表者 (PL)
株式会社瓢屋
技術・商品開発室部長

副総括研究代表者 (SL)
株式会社マツバラ
総務部 担当部長

2) 管理体制

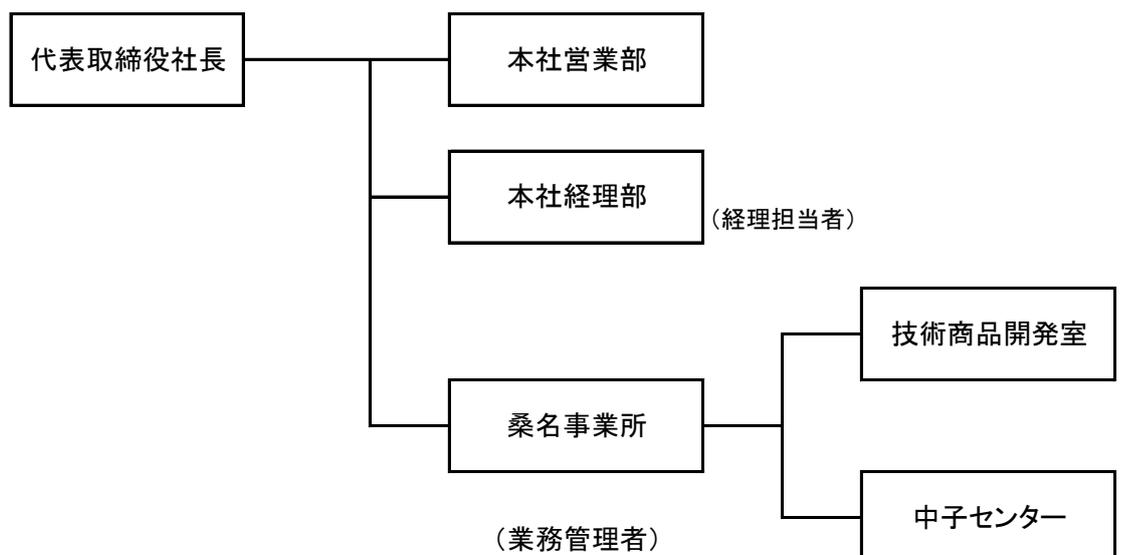
① 事業管理機関

社団法人日本鑄造協会

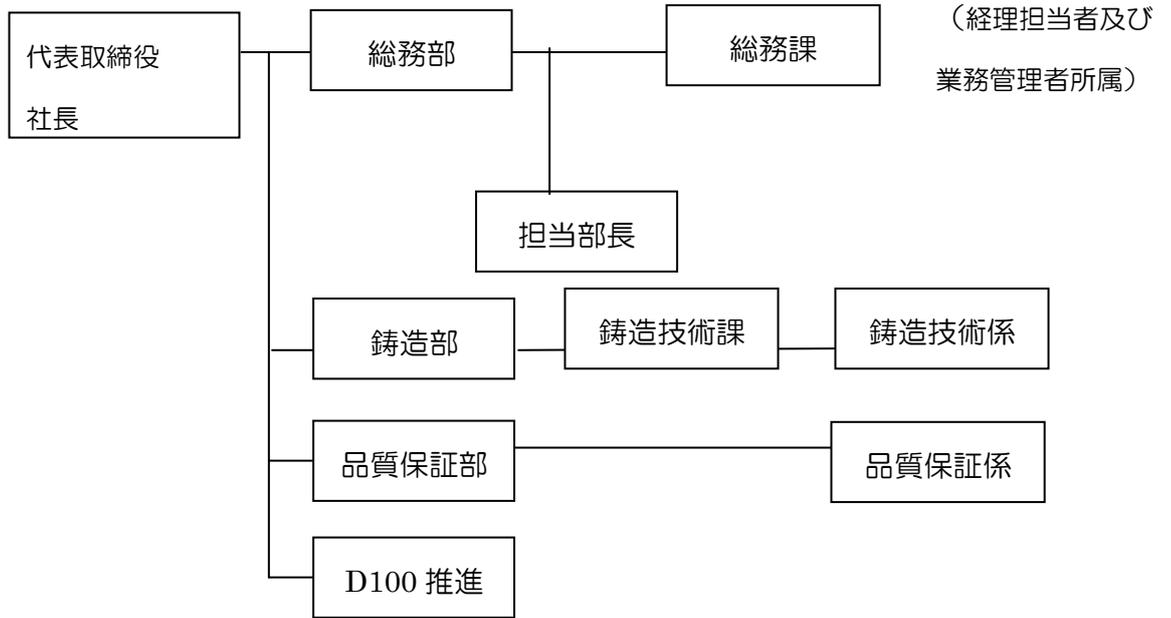


② 再委託先

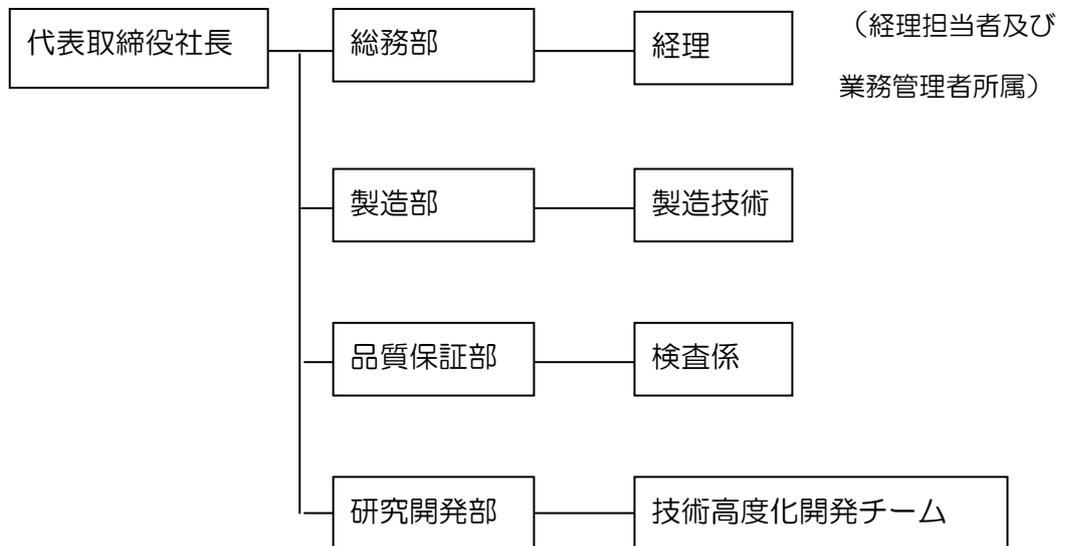
株式会社瓢屋



株式会社マツバラ



城田鑄工株式会社



(2) 管理員及び研究員

一般社団法人日本鑄造協会

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
竹田 功	戦略基盤技術開発室 グループリーダー	⑥
深井 知子	戦略基盤技術開発室 担当	⑥

【再委託先】

研究員

株式会社瓢屋

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
曾根 孝明	技術部長兼 商品開発室室長	①②③④⑤
五家 政人	技術顧問	①②③④⑤
山本 成人	技術商品開発室 主任	①②③④⑤
水谷 啓吾	技術商品開発室 担当	①②③④
小川 美治呂	中子センター センター長	①

株式会社マツバラ

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
川島 浩一	総務部 担当部長	①②③④⑤
重野 勝利	D100 推進室 室長	①②③④
村瀬 陽二	鑄造部 次長	②③④
鈴木 美恵	鑄造部 鑄造技術課 鑄造技術係 担当	②③④
鈴木 佳洋	品質保証部 品質保証係 担当	①②③④

城田鑄工株式会社

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
城田 大資	専務取締役	①②③④⑤
吉田 申明	品質保証部 検査係 担当	②③④
藤田 雅徳	製造部 製造技術 担当	②③④

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

一般社団法人日本鋳造協会

(経理担当者) 戦略的基盤技術開発室 担当 深井知子

(業務管理者) 戦略的基盤技術開発室 グループリーダー竹田 功

(再委託先)

株式会社瓢屋

(経理担当者) 経理部 経理課長 渡邊 大祐

(業務管理者) 桑名事業所 所長 伊藤 富吉

株式会社マツバラ

(経理担当者) 総務部 総務課長 (経理係長兼務) 田口 光行

(業務管理者) 総務部 総務課長 (労務係長兼務) 田口 光行

城田鋳工株式会社

(経理担当者) 総務部 経理 城田 裕子

(業務管理者) 総務部 経理 城田 裕子

(4) その他

【アドバイザー】

海上保安大学校

氏名	所属・役職	実施内容
前田 安郭	海上保安大学校 海上安全学講座・教授	湯流れ、凝固、引け巣の定量的予測他のシミュレーション解析全般の指導・アドバイス。

住友重機械工業株式会社

氏名	所属・役職	実施内容
河野 英貴	PTC 事業部ギヤモータ部 生産管理グループ・グループ リーダー	川下企業としての技術情報や事業化等のアドバイス

1-3 成果概要

① 新押湯方式の保温性の検討

①-1. 押湯スリーブ成型装置の製作

H24 年度

新押湯方式薄肉スリーブ（シェル）（以降新押湯スリーブ）作成のための「最小限の加圧エアーで高充填の吹込み機構」成型機の調査¹⁾の後選定し、購入した。

H25 年度

H24 年度に導入した押湯スリーブ成型装置に自動特殊マンドレル機構を追加してマンドレル型球状スリーブの製作を行った。

①-2. 押湯スリーブの製作

H24 年度

新押湯シェルスリーブの肉厚 7.5mm を標準として成型条件の仕様を決定し押湯スリーブ成型装置を用いて均一充填の新押湯方式スリーブを作製した。

H25 年度

H24 年度の研究を踏まえ、押湯スリーブ成型装置（改造）を用いて、「エアーギャップ」「球形」を持つ押湯スリーブ用の「改良スリーブ用金型」を製作し断熱押湯スリーブを作製した。

①-3. 断熱型押湯スリーブの保温性確認実験と構造決定

H24 年度

新押湯方式スリーブ（薄肉シェル+エアーギャップ）と通常押湯（スリーブ無し）の保温性比較試験を行い、通常押湯に比較して新押湯方式スリーブの保温性は 1.5～2 倍であり、エアーギャップによる空気断熱の有効性が確認できた。新押湯方式は通常押湯に比べて歩留り向上が可能であることを確認した。

H25 年度

保温性確認実験のため、「溶湯補給確認用木型 P-1」（平板）に「3D モデラー」を用いて交差肉厚部を設けて引けが出やすい模型に改造した。（模型番号 P-1-T2）同模型 P-1-T2 を用いて押湯なし、通常押湯、市販スリーブと断熱型新押湯スリーブ（以下新押湯スリーブ）の「引け性」「保温性」を比較測定した。その結果、断熱型押湯スリーブは製品面に引けが発生せず、保温性が 1.3 倍以上、（押湯重量を同一にした時の保温性は 1.6 倍）通常押湯より 56%以上重量が削減できる見通しが

立った。

同スリーブの結果より構造を決定し、「断熱効果確認スリーブ用金型」を製作した。

① 一４．保温性確保のための押湯スリーブの熱伝導率の測定

H24 年度

新押湯スリーブ用骨材 3 種（けい砂系、ムライト系、アルミナ系）の熱伝導率の測定を実施した。

その結果熱伝導率数値には大きな差が無いことが分かった。同結果より骨材による新押湯スリーブ保温性には大きな差がでないと考えられ、高価骨材（ムライト、アルミナ）を使用しなくても鋳型に通常用いられる「けい砂」で十分であることが分かった。

② 新押湯方式の溶湯補給効果の確認と検討

②ー１．押湯スリーブ内のガス圧測定と最適ガス圧の確定

H24 年度

新押湯スリーブのガス遮断性塗型の塗布[あり]と[なし]のガス圧力を測定し、ガス遮断性塗型の塗布[あり]ではガス遮蔽効果による押湯スリーブ内ガス圧向上効果があることが判明し、ガス圧力による押湯スリーブ内の溶湯補給効果向上に寄与する可能性があることが分かった。

H25 年度

押湯スリーブ背面のガス圧を測定し、溶湯補給効果があるか検討を行った。測定の結果大きなガス圧は得られず溶湯補給効果にはガス発生圧より大気圧を利用することが重要であることがわかった。すなわち、保温性を高め押湯上部が固まらないようにすることに重点を置くべきである。

②ー２．溶湯補給効果のシミュレーション検証（H25 年度のみ）

H25 年度

「溶湯補給確認用木型 P-1-T2」の方案で CAD データを作成し実際の注湯結果とシミュレーションによる検証を行った。実際の注湯結果、押湯なしでは製品面に引け性が発生し、断熱押湯スリーブでは製品面ではなく、押湯上部に引け性が発生したが、シミュレーションでもそれが検証できた。

③ 実用性拡大の検討

③ー1. ネックダウンコアの設計製作方法の確立

H24 年度

3D モデラーでネックダウンコア製作方法を確立した。

H25 年度

モジュラスを最大限にできる球形型に適応する最適な口径、形状を具備したネックダウンコアを検討し、引けがなく、除去が容易で、製品部に身食いが無い最適な構造を得ることができた。

③ー2. 溶湯補給効果の改善検討

H24 年度

当初研究テーマに挙げていなかった輻射の影響について実験項目を追加して、溶湯補給方法の改善策を検討した。計算上新押湯スリーブの輻射防止が必要であると判断されたが、空気層を密閉型とすることで防止することができた。

H25 年度

断熱押湯スリーブ内面にウィリアムスコア（突起物）を設置した。この効果により押湯スリーブ上部に引けが起これり溶湯補給効果に寄与していることが確認された。

③ー3. サイド押湯への適用検討

H25 年度

断熱サイド押湯スリーブを製作し、材質 F C 200 小物品の注湯試験を実施した。結果製品部に引けがなく押湯重量が通常押湯に比べて 53%削減できた。

④ 実証実験と問題点の対策

断熱押湯スリーブを製作し材質 FCD450 中物品の注湯試験を実施した。

製品面に引けがなく、従来の発熱型市販スリーブと同等以上の効果が確認された。

⑤ 事業化に向けた取組

H25 年度

川下産業に断熱押湯の概要を説明・PR した結果、興味を示す大手企業があった。また、鋳造メーカーも数社、興味を示している。商品化スケジュール、パンフレットや技術資料の作成、鋳造工学会等への PR 方法についても検討を開始している。

開発技術の防衛についても、この研究メンバーでの共同特許出願の準備を開始した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

社団法人日本鑄造協会 戦略的基盤技術開発室 竹田 功

電話番号：03-3431-1375、FAX:03-3433-7498

E-mail:takeda@foundry.jp

第2章 本 論

① 新押湯方式の保温性の検討

- i. 目的：新押湯方式の保温性を、押湯温度の変化を測定することで評価し、最適な断熱型の押湯スリーブ仕様を決定する。
- ii. 内容：断熱型の押湯スリーブを製作する。
- iii. 今年度の目標値・レベル：通常押湯の保温性より良い

① - 1. 断熱押湯スリーブ成型装置の製作【担当：株式会社瓢屋】

超薄肉シェル鑄型が成型可能な特殊仕様の押湯スリーブ成型装置とスリーブ用金型を製作し、断熱押湯スリーブ成型システムを構築する。

i. 研究内容

超薄肉シェル鑄型が成型可能な押湯スリーブ成型装置(図 1、2 参照) とこの装置で造型できるスリーブ用金型を設計・製作した。



図 1. 押湯スリーブ成型機と高充填吹き込み機構部（○部分）

●砂吹き込み機構図

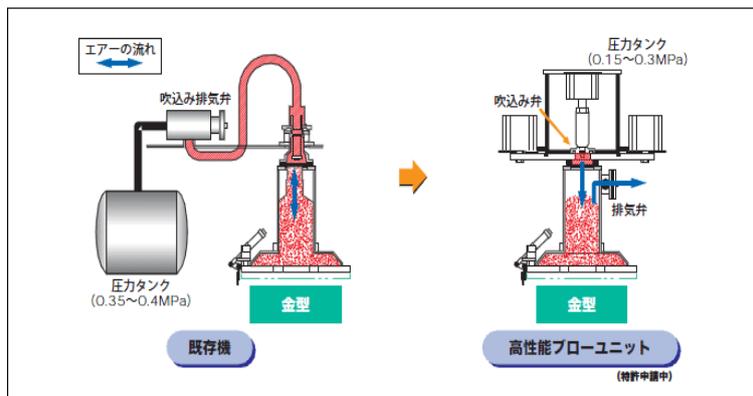


図 2. 押湯スリーブ成型装置の吹き込み機構（右が高充填機構）¹⁾

ii. 研究成果等

新押湯スリーブ成型のための設備の設置を完了し予定の押湯スリーブを作製できた。

①ー2. 断熱押湯スリーブの製作【担当：株式会社瓢屋】

押湯スリーブ成型装置やスリーブ用金型によって薄肉の押湯スリーブの成型実験を行い、完成したものを保温性実験に供する。想定される課題は、薄肉スリーブの安定した成型条件、強度、保温性を確保できる形状の決定などである。

i. 研究内容

イ) 押湯スリーブ成型条件の確立を行った。その確認条件は表1の通りである。

表 1 押湯スリーブ成型条件

項目	金型温度 (°C)	吹き込み圧力 (kgf/cm ²)	成型時間 (秒)
範囲	200~250	1.0~1.5	60~80

ロ) 押湯スリーブ高強度化の検討を行った。成型に用いる RC を高強度化し、スリーブにリブ形状を加えて高強度化を行う。

ハ) 保温性、溶湯補給向上のための新押湯スリーブ小型化の検討。球形化により高モジュラス化して保温性を高めた。

以上の研究を行って押湯スリーブ成型を実施した。

ii. 研究成果等

断熱押湯スリーブの造型材料の骨材(RCS)選定と成型条件、形状の検討を実施して、同スリーブの製作条件を確立した。その確立した条件で図3の断熱押湯スリーブが造型できた。



図 3.断熱押湯スリーブの成型例

①-3. 断熱押湯スリーブの保温性確認実験と構造決定

【担当：株式会社瓢屋、城田鑄工株式会社、株式会社マツバラ】

断熱押湯スリーブ保温性を従来品に匹敵するものとするための評価実験（溶湯補給確認用木型 図 4 での鑄造時の評価実験）及び改善策を検討する。

実験方法は、押湯キャビティを造型しこの内部に押湯スリーブを挿入し、押湯とスリーブの温度測定を行うことと製品部の引け性を調査することで各要因の影響を検討する。この結果に基づき、実用的に最適な押湯スリーブ構造を決定する。

i. 研究内容

イ) 保温性試験のための引け性評価木型の作製

溶湯補給効果確認用木型の設計を行った（図 4 参照）。

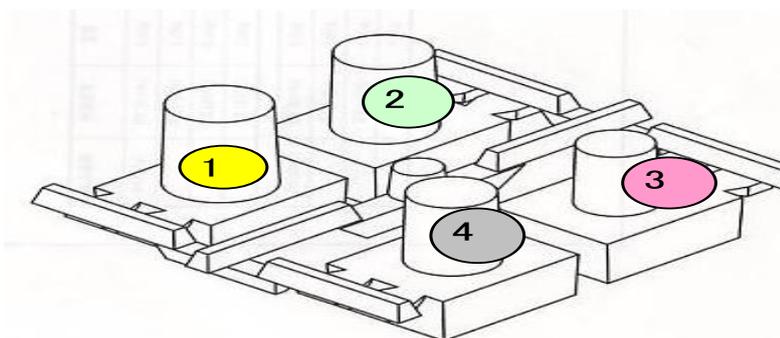


図 4. 溶湯補給確認用木型の概念図

ロ) 引け性の評価のための溶湯補給効果確認用木型の改良

製品面への引け性を確実にするには、製品面に突起物がある方が良いことがわかり改造した(表 2 図 5 参照) 引け性及び保温性を評価する溶湯補給効果確認用木型の名称を P-1-T2 とした（図 6 参照）。

表 2. 交差部の肉厚条件と製品引けの状態

注湯条件 FCD450 1380℃ 押湯なし、フラン鑄型2枠鑄込み（各n=2）

突起物 mm	なし	45	52	56	61
引け (n=2)	0	1	2	2	2

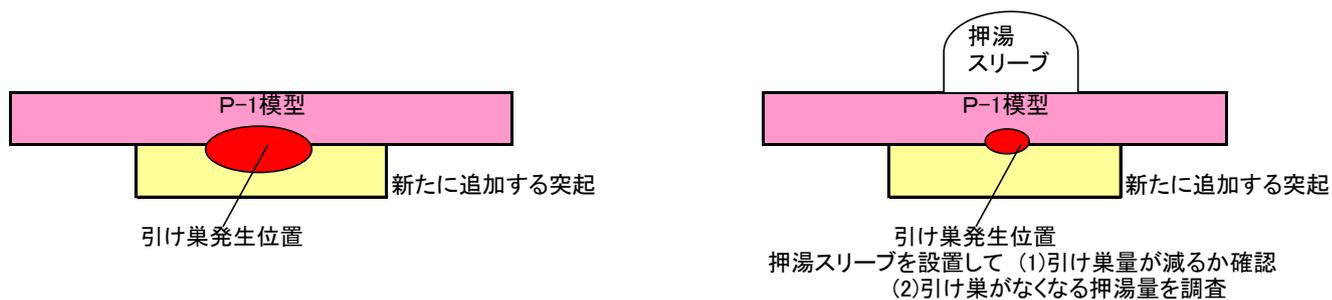


図 5. 溶湯補給木型と押湯スリーブ引け性評価概念図



図 6.P-1-T2（突起物Φ50×52mm）の中央部分の細かい引け巣

ハ) 断熱押湯スリーブの保温性確認実験

P-1-T2 模型に断熱押湯スリーブ、通常押湯、市販スリーブなどを「温度測定用データロガー」を用いて保温性比較試験を実施した。図 7 にその一例を示す。

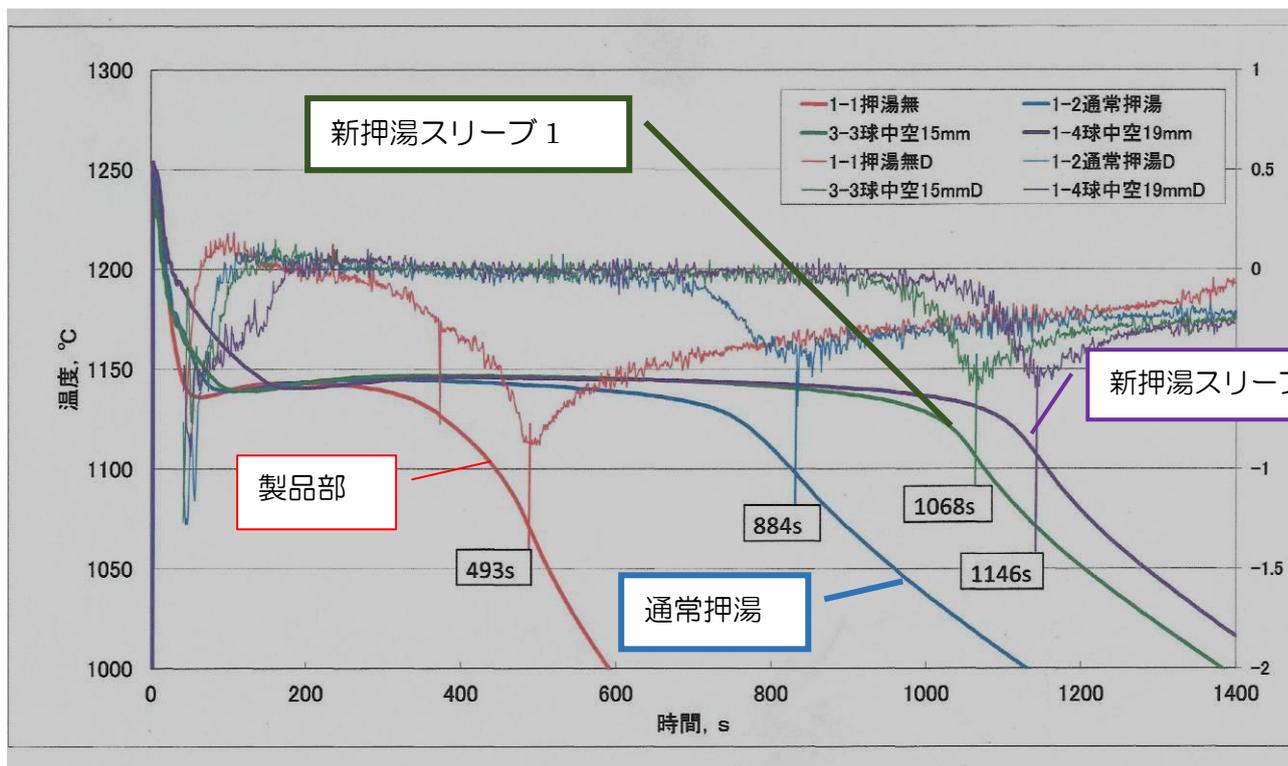


図 7.通常押湯と新押湯スリーブとの保温性比較

ii. 研究成果等

溶湯補給効果確認用木型を用いて断熱押湯スリーブの保温性と引け性を確認した結果、通常押湯に比べて保温性が 1.3 倍以上（押湯重量を同一にした時の保温性は 1.6 倍）、押湯重量 56%以上削減できる見通しが立った（図 7、表 3 参照）。

表 3.各押湯の保温性比較表

	通常押湯	新押湯スリーブ	市販スリーブ
方式	鋳型内押湯	断熱押湯	発熱型押湯
共晶完了時間（秒）	800	1050	1390
共晶時間（秒）	750	1025	1020
モジュラス	1.44	1.5	1.33
重量比	100	70	70
共晶完了時間を合わせた時の重量比	100	44	—
製品部の引け巣	なし	なし	なし

①-4. 保温性確保のための押湯スリーブの熱伝導率の測定（H24 年度のみ）

【担当：株式会社瓢屋】

保温性の高いシェル鋳型を追及するために、熱伝導測定装置を用いて鋳型の熱伝導を測定する。

i. 研究内容

(イ)熱伝導率の測定

新押湯スリーブ用骨材 3 種（けい砂系、ムライト系、アルミナ系）の熱伝導率の測定を実施した（図8参照）。

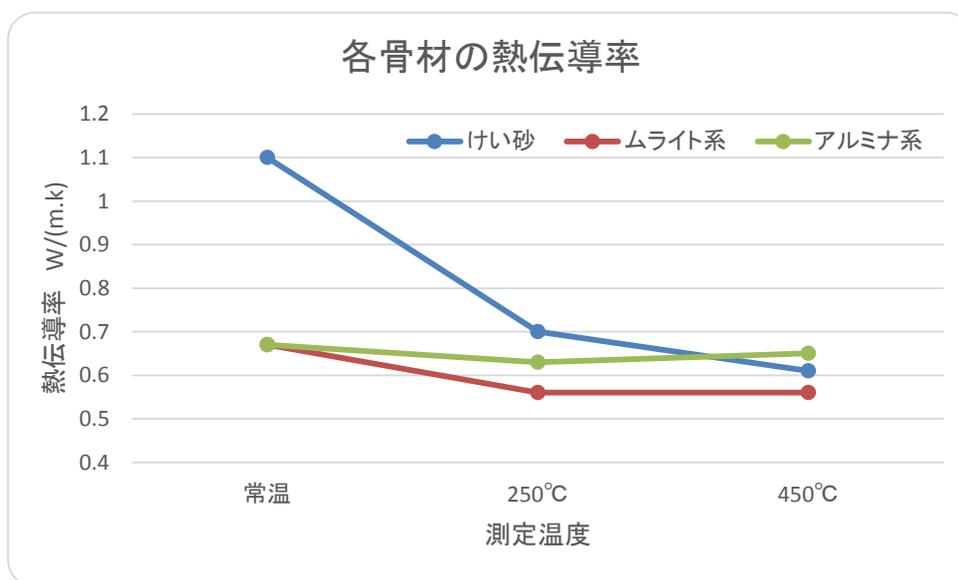


図 8. 押湯スリーブ用各骨材の熱伝導率

ii. 研究成果

イ) 3種骨材の熱伝導率は差が小さく押湯保温性に大きな影響はないことが分かった。

ロ) ただし けい砂では常温時の熱伝導率が若干大きいことがわかり、できるだけ薄いシェル層をつくり押湯スリーブを早く昇温させることで保温性を高めることができると考えられる。

② 新押湯方式の溶湯補給効果の確認と検討

- i. 目的：断熱型押湯スリーブを用いたときの、実際の押湯スリーブの給湯効果を、対象とする大きさの製品模型を用いて、検証する。
- ii. 内容：A) 押湯の溶湯補給効果の確認実験給湯効果をもとめるための押湯内ガス圧の測定を行う。
B) 溶湯補給効果を凝固シミュレーションで検証する。
- iii. 今年度の目標値・レベル：通常押湯や発熱型スリーブ同等以上

②-1. 押湯スリーブ内のガス圧測定と最適ガス圧の確定

【担当：株式会社瓢屋、城田鑄工株式会社、株式会社マツバラ】

溶湯補給効果を改善するために、塗型、押湯スリーブ内ガス圧付加などを検討する。

i. 研究内容

断熱押湯スリーブ背面や通常押湯背面に「ガス圧測定パイプを挿入して（図9参照）注湯時の「ガス圧測定機」で測定を行った。

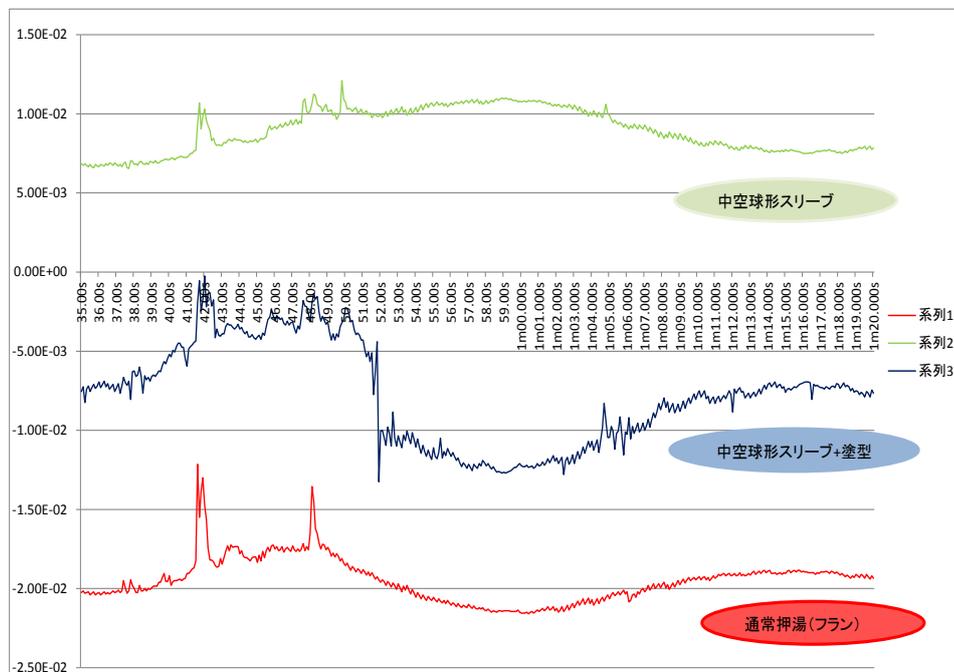


図9 押湯部のガス圧測定比較

ii. 研究成果等

- イ) 断熱押湯スリーブ鑄型から発生するガス圧はごくわずかであり、（1ml 空気圧の 1/100 程度）注湯後 10 秒～60 秒のガス圧のみで押湯内部に空洞部を作ることは困難であることがわかった。
- ロ) 押湯スリーブへの塗型はガス圧を高める可能性があることがわかった。

②-2. 溶湯補給効果のシミュレーション検証

【担当：城田鑄工株式会社、株式会社マツバラ】

（平成25年度の実施内容）

押湯スリーブ注湯試験で得られる引け量などの実測値とシミュレーションソフトを用いて凝固シミュレーション解析との比較を実施する。将来各種鑄物形状の製品に対応して、押湯スリーブの設計（モジュール、形状、取り付け位置等）を短時間に容易に行うことができるようにして市場適用化を図る。

i. 研究内容

イ) シミュレーションソフトの選択

鑄鉄シミュレーション実績があり、国内開発ソフトであること、サポート体制が充実していること等から JSCAST Ver11 > 3-D SOLIDIFICATION ANALYSIS SYSTEM Ver11.0.0.6 を選択した。

ロ) シミュレーションの条件

シミュレーションを実施するにあたり使用した物性値を表に示す。なお各物性値は JS-CAST 設定値を利用した（表 4 参照）。

表 4 各種物性値

物性値項目	製品（鋳物）	鋳型	スリーブ	空気
材料名称（記号）	FCD450	鋳型	シェル砂	空気
解析上の表記	FCD450	SAND	ShellCore	Air
初期温度（℃）	1300	20	20	20
液相線温度（℃）	1165	—	—	—
固相線温度（℃）	1106	—	—	—
密度（g/cm ³ ）	6.7	1.5	1.73	0.0012
比熱（cal/g℃）	0.197	0.2	0.2	0.24
熱伝導率（cal/cm・s・℃）	0.068	0.002	0.00135	0.0002
凝固潜熱（cal/g）	65	—	—	—
動粘性係数（cm ² /sec）	0.021148	—	—	—

ii. 研究成果等

イ) 凝固解析

凝固解析により断熱押湯スリーブ押湯は注湯後 900 秒の段階で 88.5cm³（×比重 7=0.62kg）押湯全体の約 27%が未凝固の状態
で保持されていることがわかった（表 5、図 10 参照）。同未凝固部
分の場所はネックコア部付近であり断熱押湯スリーブの溶湯補給効
果が高いことへの裏付けになると考えられる。

表 5 凝固解析による製品、押湯部の未凝固率

	製品部	通常押湯	断熱押湯スリーブ
900 秒時未凝固体積 cm ³	0	15.6	88.5
未凝固率（%）	0	2.6	26.6

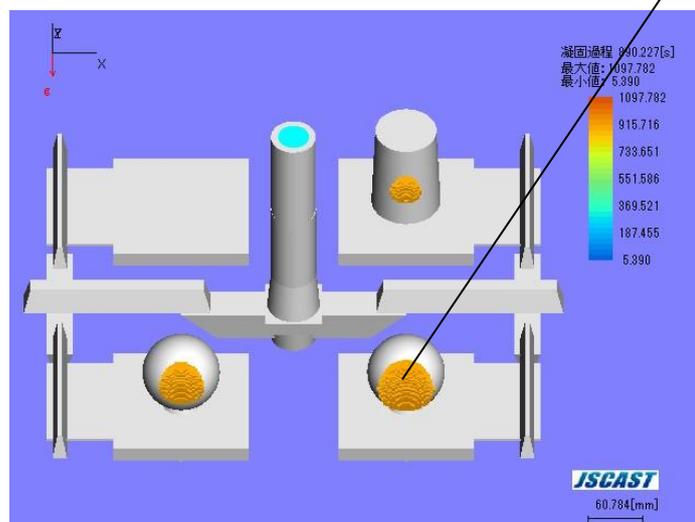
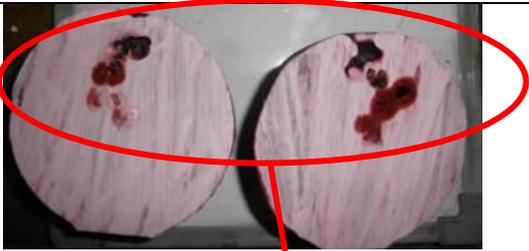


図 10.凝固解析シミュレーション

□) 実測写真との比較

実際の引け性注湯試験結果とシミュレーションの比較を行った
 (表 6、図 11 参照)。その結果シミュレーションで引け巣発生危険域と予測された部分と実際の注湯引け性状態とが良く一致しており、同シミュレーションが断熱押湯スリーブ最適化の有効なツールとなることを確認した。

表 6 中空球形スリーブ押湯シミュレーションと実際の引け性試験断面写真

断熱押湯スリーブ押湯と製品部	押湯なし製品
	
	<p data-bbox="804 1066 1043 1099">製品部に引け発生</p>

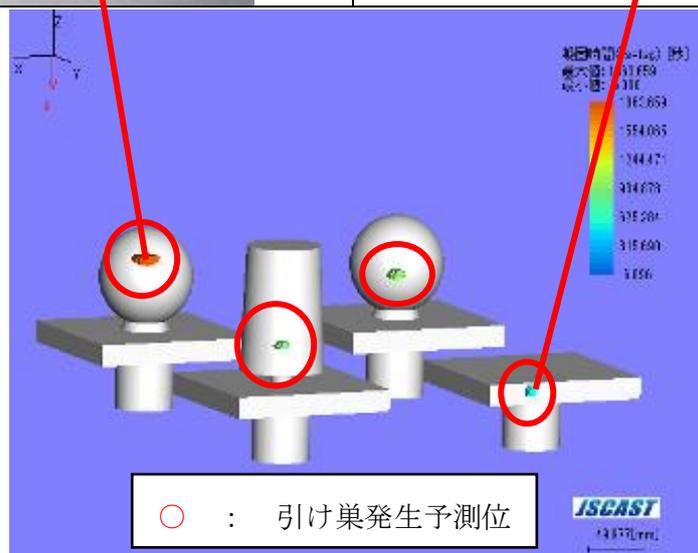


図 11.ホットスポット（最終凝固部）予測位置（引け発生予測場所）シミュレーション

③ 実用性拡大の検討

- i. 目的：新型押湯方式を多くの製品に簡便に適用するために、スリーブの下部に付けるネックダウンコアの設計製作方法を確立する。
- ii. 内容：3D-CADデータの利用、簡易型取り装置などを組合せた方法を考案。
- iii. 今年度の目標値・レベル：従来の押湯スリーブ方式にはない新規な方法を確立。

③-1. ネックダウンコアの設計製作方法の確立

【担当：株式会社瓢屋、城田鑄工株式会社、株式会社マツバラ】

種々の製品形状に対して揚り押湯が設置できるようにするため、押湯スリーブの下部を構成するネックダウンコアを製品形状に簡便に適合できるような設計製作方法を確立する。

最適なネックダウンコア形状を検証後、量産型構造を決定する。

i. 研究内容

溶湯補給性と鑄造後バラシ時の押湯除去の容易さとのバランスを追究した形状最適化を行った。

ii. 研究成果等

断熱押湯スリーブのネックコア最適化（図12参照）により製品部の引けがなく、除去が容易で、製品部に身食いが無い最適な構造を得ることができた。



図 12.ネックコア

③-2. 溶湯補給効果の改善検討

【担当：城田鑄工株式会社、株式会社マツバラ、株式会社瓢屋】

各種の製品に適用すると、押湯効果が不十分な場合が現れるので、溶湯補給効果をさらに高める方法(ウィリアムスコア、ガス圧付加など)を検討する。

(イ)新押湯方式スリーブの輻射防止方法の検討

(ロ)保温性向上のためのその他技術的要素の開発

●特殊ウィリアムスコアの活用

i. 研究内容

イ) 輻射防止の検討

断熱押湯中心部、断熱押湯シェル鑄型部（押湯溶湯接触部から約 4.5mmのシェル肉厚部）、空気保温層 3 点の温度測定を実施した（図 13 参照）。シェル鑄型部（溶湯接触部から 4.5mm のシェル肉厚部）は 100 秒ほどで 950℃まで上昇した。断熱効果を期待している空気保温層は 280℃まで徐々に上昇し、300℃以下に留まった。このことから、この空気層の断熱保温性は極めて高いことがわかった。

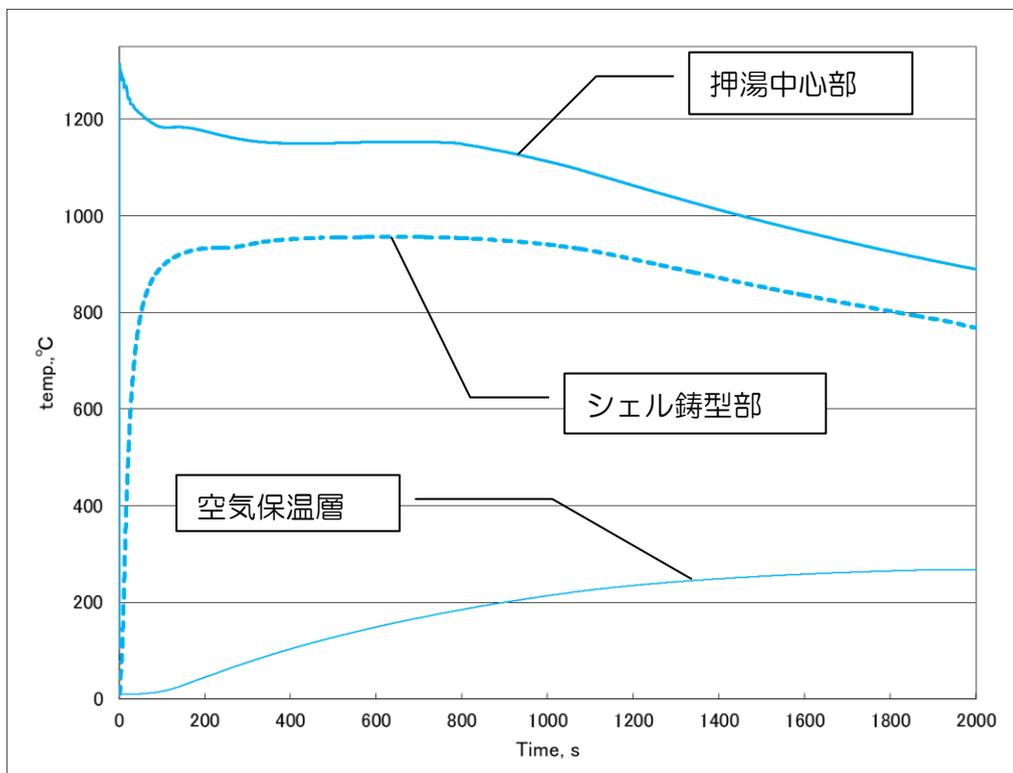


図 13. 押湯中心部、シェル鑄型部、空気層部分の温度変化

ロ) ウィリアムスコアの活用

断熱押湯スリーブ内にウィリアムスコアを設計した。

ii. 研究成果等

イ) 中空球形スリーブのシェル肉厚部は 100 秒ほどで 950℃に達し、押湯内部が共晶中は同じように 950℃の温度を保持していることがわかった。また断熱押湯スリーブ空気層内は徐々に温度が上昇していることが確認され熱移動はほとんどないことがわかった。スリーブシェル肉厚部や空気層が一定温度に保温されることが確認できた。

ロ) ウィリアムスコアを付けることによって注湯後押湯ウィリアムスコア部分のシェル砂が炭化して残留していることが確認された。④-1 項の中物品での実証試験ではウィリアムスコアが起点となって押湯上部に大きな引けができこれが溶湯補給性を向上させて製品面の引け不良を防止していることが確認された。

③-3. サイド押湯への適用検討

【担当：株式会社瓢屋、城田鑄工株式会社、株式会社マツバラ】

制約上サイド押湯にせざるを得ない鑄造製品への適用化を検討する。現状のサイド押湯に適合できるようにネックダウンコアの形状を検討して製作する。

i. 研究内容

イ) サイド押湯の設計

「断熱押湯効果確認スリーブ用金型」を製作し、断熱サイド押湯を製作した (図 14 参照)。



図 14.断熱サイド押湯

ロ) サイド押湯方案製品の注湯試験の実施

材質 FC200、製品重量、8.35kg

通常押湯、断熱押湯スリーブの2点で注湯比較試験を行った。

試験結果を表7に示す

表7 断熱サイド押湯スリーブの注湯試験結果

実証試験 NO	③-3		
製品名	ケーシング		
材質	FC200		
製品重量 kg	8.35		
断熱押湯種類	断熱サイド押湯スリーブ	通常サイド押湯	押湯なし
押湯重量 kg	2.2	4.15	—
押湯削減率%	53	—	—
製品引け有無	無し	無し	外引け
課題	スリーブ湯漏れ	—	—
評価	○	△	×

ii. 研究成果等

- イ) 押湯無し方案の製品は製品上部に引けが発生した。
- ロ) 断熱サイド押湯スリーブをセットした製品には外ヒケは発生しなかった。ただし破れが発生し湯漏れが一部あった。
- ハ) 押湯重量は通常押湯：4.15kg 断熱サイド押湯：2.2kgで53%削減することができた。

④ 実証実験と問題点の対策

- i. 目的：断熱押湯スリーブの実用化と鑄造歩留り向上
- ii. 内容：①～③で検証された断熱押湯スリーブ、ネックダウンコアを用いて実際の鑄造製品への適用化を行う。
- iii. 今年度の目標値・レベル：各製品で設計されている押湯量より50%以上削減か10%以上の鑄造歩留り向上

④-1. 中物品での実証実験

【担当：株式会社瓢屋、城田鑄工株式会社、株式会社マツバラ】

最適な断熱押湯スリーブを製作し、FCD材の対象品1アイテムについて実証実験と改善対策を行う。

i. 研究内容

イ) 注湯試験

肉厚変動の部分で引けが発生しやすく、従来は市販発熱スリーブを使用している中物製品を選び注湯試験を実施した（図15、16、17、18、表8参照）。

材質 FCD450、注湯温度 1412℃

製品重量 約 17.6kg

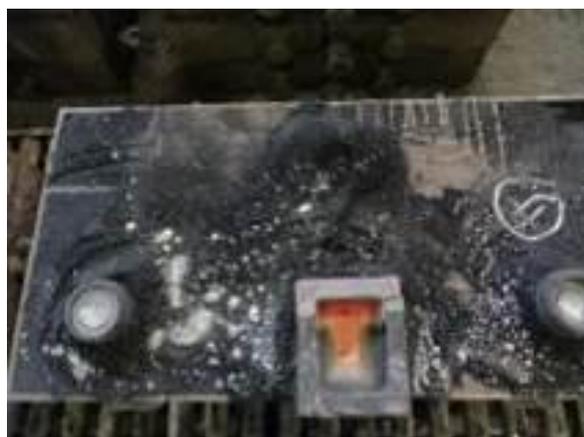


図 15.注湯

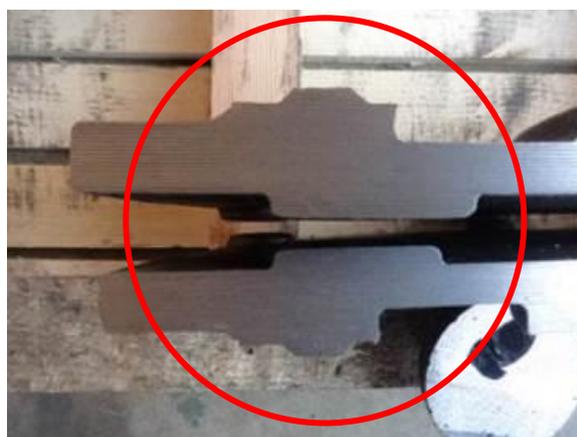


図 16 製品面切断写真（引け無し）



図 17 断熱押湯スリーブ押湯部の引け状態断面写真

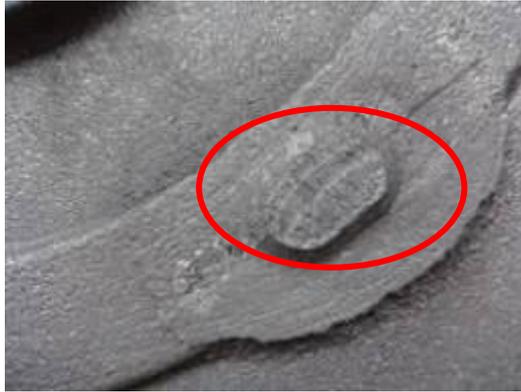


図 18 ネックコア部の切断状況

表 8 断熱押湯スリーブと市販スリーブ注湯比較試験

実証試験 NO	④-1	
製品名	カバー	
材質	FCD 450	
製品重量 kg	17.6	
断熱押湯種類	断熱サイド押湯スリーブ	市販発熱型スリーブ
押湯重量 kg	2.19	2.45
押湯削減率%	10	—
製品引け有無	無し	無し
評価	○	○

ii. 研究成果等

- イ) 断熱押湯スリーブは製品面に引け不良（図 16 参照）はなく、現在使用中の市販スリーブと同等の結果が得られた。
- ロ) 押湯重量は市販スリーブ 2.415kg、断熱押湯スリーブ 2.19kg で保温性の高い発熱型市販スリーブに比べても約 10%の重量削減効果があった（表 8 参照）。
- ハ) 押湯部切断により押湯上部に大きく引けが発生しており溶湯補給効果が大きいと判断できる（図 17 参照）。またウィリアムスコア付近から押湯引けが発生しており、同コアが引け発生に寄与していることが確認できた。
- ニ) ネックコア部もハンマー打突で簡単に除去でき、身食いや外引け等の铸造不良も見られなかった（図 18 参照）。

以上より断熱押湯スリーブはダクティル肉厚変動品において、引け防止が確認され、歩留り向上やコスト低減の見通しが得られた。

⑤ 事業化に向けた取組

【担当：株式会社瓢屋、城田鑄工株式会社、株式会社マツバラ】

開発する技術の事業化に向けて下記内容を検討する。

- イ) 川下企業へのアプローチ
- ロ) 開発技術の防衛方法と差別化
- ハ) 開発技術のPRと普及活動の検討

i. 研究内容

1) 顧客提案方法、PR普及活動の検討

- 顧客への紹介、販売方法について検討した。
- 2014年の一般社団法人日本鑄造協会の鑄造ジャーナル5月号に2年間の開発研究の成果を投稿し事業化のPRと技術の普及活動をする。
- その他学会等への発表

2) 断熱押湯スリーブ採用によるコストダウン、品質向上等の検討

- 参画メンバー現場製造員の押湯に関する使用状況を確認した。
- 鑄造メーカーでの押湯方案の状況情報収集を行った。

3) 開発技術の防衛方法と差別化

- 参画企業で、共同特許取得に向けた準備をする。
- 得られたデータや鑄造品成果を技術パンフレットにまとめてPR用資料として使用していくための準備をする。

ii. 研究成果等

研究内容の検討項目を平成27年度 補完研究で実施していく。

第3章 全体総括

(1) テーマの選定と時代背景

鑄造業界は大エネルギー消費型産業との自覚があり、各種講演会に参加しても省エネルギーや鑄造歩留り向上に関する事例発表が多い。特に溶解に関するエネルギー、電力削減はコスト低減とも直結し、今回の断熱押湯スリーブの開発により押湯重量低減技術が普及すれば同スリーブの大きな市場開拓となるばかりでなく、日本鑄造業界が海外との競争力強化に繋がるものと確信している。

(2) 研究体制

鑄型材料を供給し鑄型を成型する会社、鑄物を生産する会社、研究開発経験があり同技術の基幹提案者、学識経験者が参加して各得意分野を生かして、効率的な開発を進めることができた。繰り返し行った注湯試験により鑄物凝固過程における多くの情報が得られ、またシミュレーションによる検証にも生かされ、それらを解析することで新断熱押湯スリーブを開発することができた。

(3) 開発された断熱押湯スリーブの特徴

今回開発された断熱押湯スリーブは、高い保温効果を実現し溶湯補給効果を高くすることにより鑄造品の「引け不良」を防止し、押湯重量の削減目標を達成することに成功した。

新断熱押湯スリーブの特徴は以下通りである。

- 1) 通常の方策中に設置される押湯より保温性が高く、約56%押湯重量を低減できる（押湯が半減することにより鑄造歩留りは10%以上の向上となる）。
- 2) 必要最小限の小さなネックコア（製品と押湯をつなぐ首部）形状により鑄造バラシ後の押湯の除去が容易であり作業工程の軽減に寄与する。従来は鋸刃切断していたものが、ハンマー等で簡単に折れるようになった。
- 3) 一般の鑄物砂を骨材とし、同スリーブ成型方法も容易で生産性も高くできるため従来の市販スリーブより安価で供給が可能である。
- 4) 一般の鑄物砂を骨材としており、主型（生型、フラン鑄型）と同じ骨材であるため、同スリーブが崩壊して主型へ混入しても影響が少なく、スリーブ混入に起因するガス欠陥、鑄肌あれ等の鑄造欠陥が発生しない。

(4) 新断熱押湯スリーブの開発総括

今回の断熱押湯スリーブ開発での鋳物注湯試験では、当初想定されない結果や知見が多くあり、材料を供給する側の開発思考のみでは、使用する側（鋳造現場）の状況把握が少なく、適用性に限界があることが分かった。

今後は以下の課題をクリアして商品化を目指す。

- 1) 断熱押湯スリーブの量産化と低コスト化
- 2) 断熱押湯スリーブの鋳造時の不具合対策
- 3) 断熱押湯スリーブの商品バリエーションの充実
- 4) 鋳造データの充実と押湯重量低減実績データの蓄積
- 5) シミュレーションによる各鋳造方案の最適な断熱押湯スリーブの設計・提案
- 6) 講演会発表、展示会などによる市場へのPR
- 7) 技術パンフレットの作成
- 8) 共同特許による確立技術の防衛

「鋳造歩留りを10%以上向上させる新押湯方式による鋳造方法の開発」の2年間で得られた成果をもとに商品化を実現し、参画企業の収益性向上と鋳造業界全体の競争力向上に貢献していく所存である。

専門用語等の解説

	専門用語	解 説																				
1	押湯	鋳物製品の引け巣欠陥を防止するために欠陥発生部に溶湯を補給する役目を果たすため、鋳物に付加されるもの。この大小が鋳造歩留りの高低を左右する重要な要素である。																				
2	サイド押湯	製品の側面に設ける押湯																				
3	揚り押湯	製品の上部に設ける押湯																				
4	断熱性	主に熱伝導率の低さによって決まる熱の移動を防止する性能を示す特性値。押湯の保温性の指標となる。																				
5	押湯スリーブ	押湯キャピティの内面に設置して押湯の保温効果を高めるもの。																				
6	ネックダウンコア	押湯スリーブの下部に用いる堰を形成する部材。押湯直径よりも小さな直径の堰（首部）とするのでこの名がある。																				
7	方案要素	通常は、製品：押湯：湯道：湯口から構成される。また、湯道と湯口を合せて湯道系と称す。																				
8	鋳造歩留り	製品重量／全鋳込重量×100（％）で示される生産性を表す指数。																				
9	空気層による断熱効果	押湯スリーブ外面と押湯スリーブの間に設けた空気層。空気は無代の高能率断熱材で、本開発ではこれを有効利用する。																				
10	エアギャップ	空気層と同義語																				
11	断熱押湯	本開発で押湯スリーブの外面に空気層を設けることで、押湯の断熱性を大幅に高めた押湯構造。																				
12	押湯の必要補給量	製品部の引け巣欠陥を防止するために押湯から補給すべき溶湯補給量。																				
13	中子	中空の鋳物を製造するために砂型で製作して主型にセットして用いる鋳型。																				
14	シェル	鋳型製作方法の1種、正式にはシェルモールド法というシェル砂（RCS）を加熱された金型（200～300℃）に充填し、所定時間（30～300秒）加熱硬化させて成型物を得る工法。																				
15	シェル砂（RCS）	RCS=Resin Coated Sandの略称 シェルを成型するための骨材材料。鋳物砂にフェノール樹脂、硬化剤をコーティングして加工された砂のことをいう。																				
16	ひけ巣	溶湯の凝固収縮により鋳物内部に生じる粗い内壁を持つ空洞。 押湯が適切でないと発生する。 鋳物製品の圧力漏れや応力割れなどの重大な欠陥を及ぼす。																				
17	モジュラス	<p>注湯された鋳物の凝固時間の指標となるもの。フボリノフ則ともいう。</p> <p>鋳物製品が凝固するまでの時間は形状に依存し、モジュラスが大きい程凝固時間が長い傾向にあり、以下の式で表される</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 鋳物凝固時間は体積Vと表面積Aに支配される ・ 凝固時間$\propto c(V/A)^2$ cは各鋳造材質係数 ・ 製品部より押湯が遅く凝固するための一般式 $M_{sp}(\text{押湯モジュラス}) = 1.2 \times MG(\text{製品部モジュラス})$ <p style="text-align: center;">100mm角の各物体のモジュラスと鋳物重量</p> <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <thead> <tr> <th></th> <th>立方体 </th> <th>円柱 </th> <th>球 </th> <th>実用ドーム </th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>モジュラス (cm)</td> <td>1.67</td> <td>1.67</td> <td>1.67</td> <td>1.67</td> </tr> <tr> <td>鋳物重量 (比重7.2)</td> <td>7.2kg</td> <td>5.7kg</td> <td>3.8kg</td> <td>4.7kg</td> </tr> <tr> <td>凝固時間 (FC係数c=4.8)</td> <td>13.4分</td> <td>13.4分</td> <td>13.4分</td> <td>13.4分</td> </tr> </tbody> </table>		立方体 	円柱 	球 	実用ドーム 	モジュラス (cm)	1.67	1.67	1.67	1.67	鋳物重量 (比重7.2)	7.2kg	5.7kg	3.8kg	4.7kg	凝固時間 (FC係数c=4.8)	13.4分	13.4分	13.4分	13.4分
	立方体 	円柱 	球 	実用ドーム 																		
モジュラス (cm)	1.67	1.67	1.67	1.67																		
鋳物重量 (比重7.2)	7.2kg	5.7kg	3.8kg	4.7kg																		
凝固時間 (FC係数c=4.8)	13.4分	13.4分	13.4分	13.4分																		

18	ブローホール	鋳物が凝固する際に鋳型等から発生するガスによって生じる空洞の大きいものをブローホールと呼ぶ。ガスの逃げ場がない場合に発生するため、ガス発生量、鋳型通気度に影響される。
19	フラン鋳型	鋳物を製作するための鋳型製作方法の一種。フラン樹脂を使用して自硬化反応にて硬化する。主に非量産鋳物の主型として用いられる
20	生型	鋳物を製作するための鋳型製作方法の一種。天然のベントナイト（粘土の一種）を使用して水を配合して成型される。主に量産用主型として用いられる。
21	主型	中子の外側を形成する外側の鋳型のことをいう。主型は繰り返し再生して使用される。

参考文献

- 1) 新東工業(株) カタログ
- 2) 鋳鉄の鋳造方案図解集（アグネ社発行、高橋良治著）
- 3) 鋳造伝熱工学（アグネ技術センター発行 新山英輔著）