

平成29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

「革新的高歩留り鋳造法を可能にする、経験値とITを融合した
高効率鋳造方案設計支援システムの開発」

研究開発成果等報告書

平成30年5月

担当局 経済産業省 中部経済産業局
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)	5
1-3	成果概要	7
1-4	当該研究開発の連絡窓口	8
第2章	本論	9
2-1	特殊機能押湯の設計標準化	9
2-2	高効率鋳造方案設計支援システム	25
第3章	全体総括	32
3-1	補助事業の成果	32
3-2	研究開発後の課題	32
3-3	本事業による効果	32
3-4	事業化展開	32

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

鑄造業の川下産業である自動車、建設機械などの川下企業はグローバル競争力強化のため、現地生産や海外からの部品調達を積極的に進めている。海外生産の鑄造部品はコスト面で有利であるが、その品質が国内品と比べ劣ることから川下企業は問題を抱えている。鑄造技術には大胆なイノベーションがなく、他の材料・工法との競合力は低下しつつあり、川下産業のグローバル競争力強化に十分寄与できていない。

また鑄造業は海外との価格競争力がなく、生産拠点の海外移転が進行し、国内空洞化が進んでいる。そのため、業界の平均的な収益率は1~2%と非常に低い。これらの原因の一つは、平均的な鑄造歩留り(製品重量/鑄込み重量)が約50%と低いため、エネルギー効率が低く、しかもこの状況は50年間ほとんど改善がみられない。鑄造歩留りが低いことの一因は、製品の健全性を確保するために必要な押湯の鑄込み重量に占める比率が平均的に30%と高いためである。その理由は、効率の低い押湯が使われていることおよび押湯の大きさや配置の設計(鑄造方案設計)が最適でないことであり、これらの改良が課題である。

更には、鑄造業界はCADやCAM、鑄造シミュレーションの活用は進んでいるものの全体としてはITの利用が遅れている。鑄造方案設計においてもITの活用は限定的で、依然として経験と勘に依存しており、鑄造・凝固現象を正確に理解して開発された鑄造方案設計支援システムが必要とされている。

(2) 研究目的及び目標

本事業では、上記に示す川下産業、及び鑄造業界の要望に応えるため、従来の円柱状押湯に代えて押湯効率の高い2つの新規な「特殊機能押湯」方式を用いるとともに、従来設計者の経験と勘で行っている鑄造方案設計において、経験値とITを融合した高効率鑄造方案設計支援システムを開発・実用化する。

これらにより、新製品・新規品の開発期間を短縮するとともに、鑄造工場における溶解量の約30%を占める押湯の半減(溶解量の15%削減)を目指して鑄造品のコストダウンを図り、川下分野のグローバル競争力強化に貢献する。

なお、図1.1に従来技術と新技術の比較を示す。

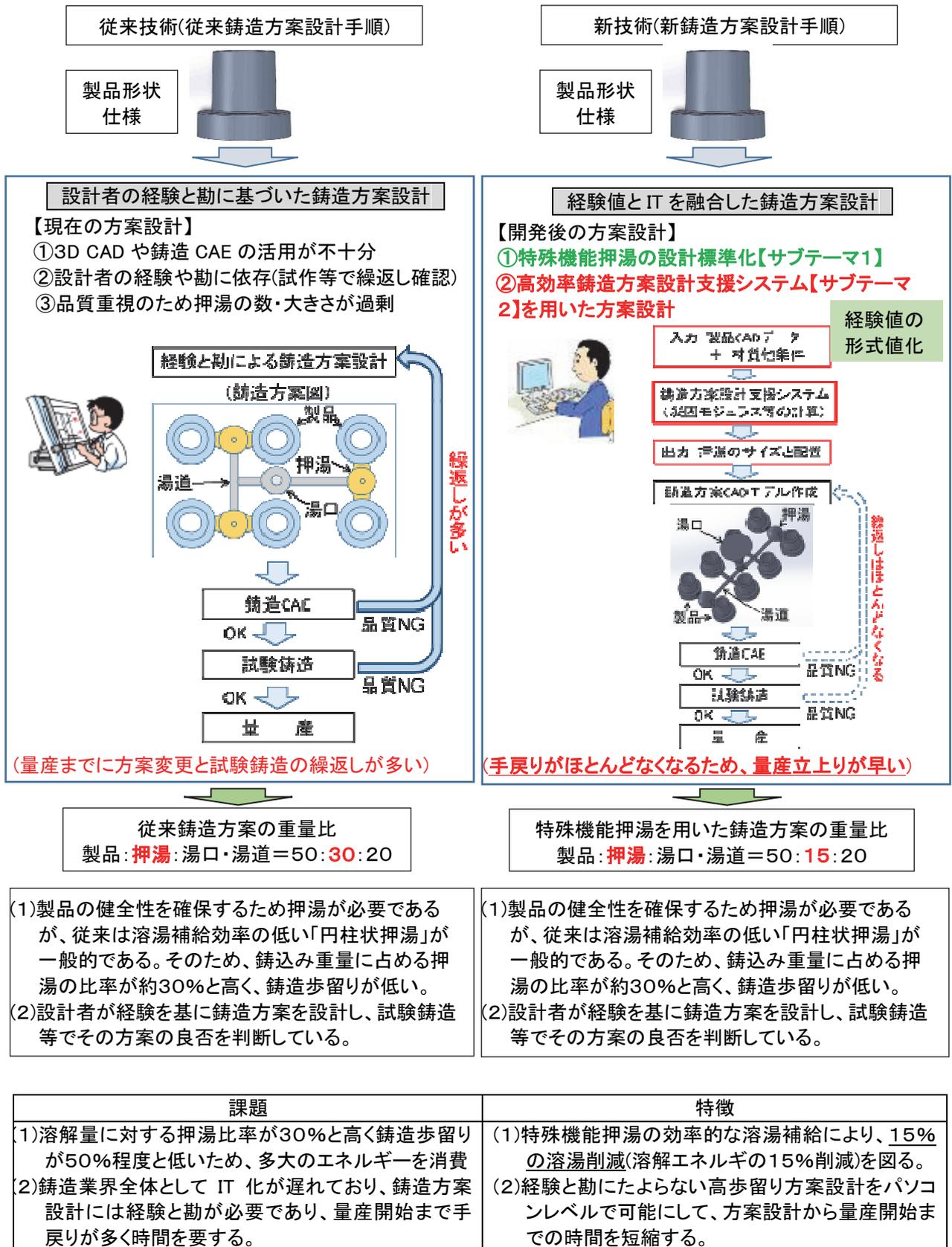


図 1.1 従来技術と開発技術の比較

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 1.2 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。

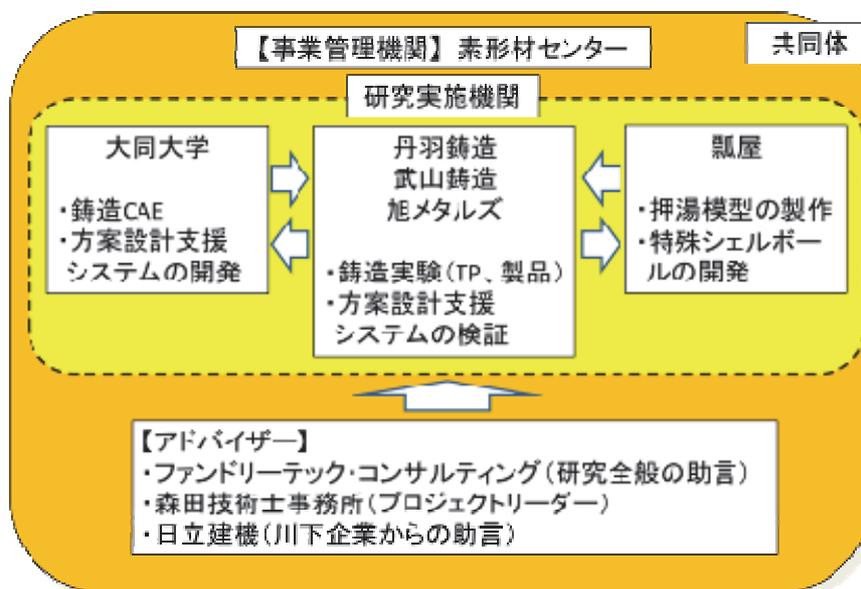


図 1.2 本事業の実施体制

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	田邊秀一 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	丹羽鑄造株式会社
代表者及び役職名	丹羽 龍 代表取締役社長
本社所在地	〒501-3219 岐阜県関市のぞみヶ丘 11 番 1
主な事業所所在地	所在地：〒501-3219 岐阜県関市のぞみヶ丘11番1 事業所名：本社工場
電話番号	0575-21-6028
FAX番号	0575-21-6031
担当者名及び役職名	坂井雄治 品質保証部技術課 課長

名称	武山鑄造株式会社
代表者及び役職名	武山光治 取締役社長
本社所在地	〒454-0049 愛知県名古屋市中川区清川町三丁目1番地
主な事業所所在地	所在地：〒869-1233 熊本県菊池郡大津町大字大津187番地 事業所名：熊本工場
電話番号	096-293-4321
FAX番号	096-293-8775
担当者名及び役職名	平野春好 取締役副社長

名称	旭メタルズ株式会社
代表者及び役職名	藤城 理賀 代表取締役社長
本社所在地	〒442-8509 愛知県豊川市穂ノ原二丁目10
主な事業所所在地	所在地：〒442-8509 愛知県豊川市穂ノ原二丁目10 事業所名：本社工場
電話番号	0533-86-2008
FAX番号	0533-89-4910
担当者名及び役職名	石川義信 生産技術部長

名称	株式会社瓢屋
代表者及び役職名	堀江秋人 代表取締役社長
本社所在地	〒456-0031 愛知県名古屋市中熱田区神宮三丁目10番地10号
主な事業所所在地	所在地：〒456-0031 愛知県名古屋市中熱田区神宮三丁目10番地 10号 事業所名：本社工場
電話番号	0594-22-4757
FAX番号	0594-22-3408
担当者名及び役職名	曾根孝明 技術・商品開発室 部長

名称	学校法人大同学園大同大学
代表者及び役職名	神保 睦子 学長
本社所在地	〒457-8560 愛知県名古屋市中南区滝春町10番地3
主な事業所所在地	所在地：〒457-8560 愛知県名古屋市中南区滝春町10番地3 事業所名：学校法人大同学園大同大学
電話番号	078-435-2754
FAX番号	078-435-2324
担当者名及び役職名	前田安郭 工学部機械工学科 教授

③研究開発推進委員会

委員長(PL)	森田 茂隆	森田技術士事務所	代表
副委員長(SL)	坂井 雄治	丹羽鑄造株式会社	品質保証部技術課 課長
委員	秋山 昇一	日立建機株式会社	生産・調達本部 生産技術センタ 生産技術部長兼素形材プロジェクトリーダー
	石川 義信	旭メタルズ株式会社	生産技術部長
	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
	坂崎 功英	武山鑄造株式会社	品質保証部品質保証 G 課長
	曾根 孝明	株式会社瓢屋	技術・商品開発室 部長
	前田 安郭	学校法人大同学園大同大学	工学部機械工学科 教授
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 2 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 1.1 の通りである。

表 1.1 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
【1-1】湯口押湯方式 の設計標準化 【丹羽鑄造、武山鑄造、 旭メタルズ】	押湯設計ツールを用いて、4 つのモデルアイテムで湯口押湯方式を設計して試験を行い、現行量産品と同等の品質が得られる湯口押湯方案設計数値(湯口モジュラス比他)を得た。	100%
【1-2】低ヘッド球状 押湯方式の設計標準化 【丹羽鑄造、武山鑄造、 旭メタルズ】	押湯設計ツールを用いて、11 のモデルアイテムで低ヘッド球状押湯方式を設計して試験を行い、9 アイテムで現行量産品と同等の品質が得られる湯口押湯方案設計数値(押湯モジュラス比他)を得た。	100%
【1-3】低ヘッド球状 押湯の頂部形状最適化 【瓢屋、丹羽鑄造、武山 鑄造、旭メタルズ】	押湯頂部形状では安定して押湯が引ける状態は得られなかったが、注湯量を減らす低湯口ヘッドおよびオフセット球状押湯が押湯の引けに有効であることがわかった。	80%
【1-4】特殊シェル ボールの製造技術開発 【瓢屋、丹羽鑄造、武山 鑄造、旭メタルズ】	中実および中空シェルボールの製造技術を確立し、押湯に対するシェルボールの体積割合および押湯からの溶湯補給をアシストする膨張剤の配合割合を最適化した。	100%

【2-1】 鋳造方案データベースの整備 【大同大学、丹羽鋳造、武山鋳造、旭メタルズ】	ねずみ鋳鉄、球状黒鉛鋳鉄、及び CV 黒鉛鋳鉄の 3 材質で、鋳造方案設計支援システム開発のための鋳造方案データベースを構築した。	100%
【2-2】 鋳造方案設計支援システムの確立 【大同大学、丹羽鋳造、武山鋳造、旭メタルズ】	押湯設計ツールを開発し、各研究機関でモデルアイテムの方案設計に試用し、問題点をフィードバックして改良し、鋳造方案設計支援システムを完成させた。事業化の計画も立案した。	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 特殊機能押湯の設計標準化

2-1-1 湯口押湯方式の設計標準化

(1)補助事業の具体的内容

湯口押湯方式の課題は、湯口・湯道系から製品部へ確実に溶湯補給することであり、そのための検討項目は次の通りである。

- ① 鋳造シミュレーションの高度化による湯道系設計手法の確立
- ② ネック部の形状最適化

具体的には、各社の代表製品アイテムで湯口押湯方式(湯道等の寸法・体積)と品質との関係を研究し、湯口押湯方式の標準化を図った。

(2)重点的に実施した事項

特殊機能押湯(湯口押湯方式【1-1 項】、球状押湯方式【1-2 項】)による鋳造実験に供した13のモデルアイテムを表2.1.1に示す。研究機関3社で製造する代表的な製品を取り上げ、ねずみ鋳鉄(FC)、球状黒鉛鋳鉄(FCD)、及び CV 黒鉛鋳鉄(FCV)の3材質について、大物から小物までをカバーするものを選択した。

本項では、まず湯口押湯方式を検討したモデルアイテムの結果を以下に述べる。なお鋳造方式の設計には、2-2 項で述べる押湯設計ツールおよび鋳造シミュレーションを活用した。

表 2.1.1 検討モデルアイテム一覧

材質		品名	製品重量	込数	湯口押湯	球状押湯	研究機関
FCD	大物 (50kg~)	ケース①	115kg	1	○		旭メタルズ
		ハウジング①	80kg	1	○	○	武山鋳造
	中物 (5~50kg)	ケース②	37kg	4	○		旭メタルズ
		デフキャリア	17kg	4		○	旭メタルズ
		バルブボディ(3787)	11kg	2		○	丹羽鋳造
	小物 (~5kg)	シリンダ①	4.5kg	4	○	○	武山鋳造
		シリンダ②	3.0kg	4		○	武山鋳造
バルブボディ(4426)		1.1kg	8		○	丹羽鋳造	
FC	大物	ハウジング②	58kg	1	○	○	武山鋳造
	中物	バルブボディ(3915)	6.3kg	4	○	○	丹羽鋳造
	小物	バルブボディ(3384)	2.0kg	4		○	丹羽鋳造
FCV	小物	バルブボディ(3365)	3.2kg	4		○	丹羽鋳造
		バルブボディ(4399)	1.3kg	6		○	丹羽鋳造

※込数：1 枠内の製品数

①ケース①の事例

材質 FCD450 の大物品のモデルアイテムとして、図 2.1.1 に示すリング状製品で湯口押湯方式を検討した。図 2.1.2 左に示す現行押湯方式に対して、湯口押湯方式を採用すれば図 2.1.2 右のように、湯口を押湯として使用するために押湯および長い湯道を必要としない。ノロの流入を防止するため、開口率 54%の 2 次元フィルターを湯口直下へ水平に設置した。押湯設計ツールを用いて、湯口モジュラス比(湯口モジュラス/製品モジュラス)を 0.78、ネックモジュラス比(ネックモジュラス/製品モジュラス)を 0.41 と設計した。



図 2.1.1 ケース①製品外観

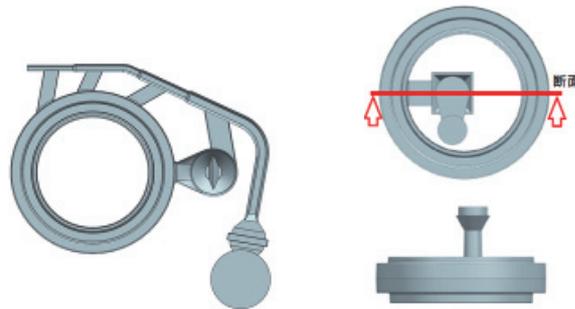


図 2.1.2 ケース① casting 方案(左:現行、右:湯口押湯)

図 2.1.3 に現行押湯方案、湯口押湯方案ともに凝固解析を示す。現行押湯方案では引け巣欠陥は予測されないが、湯口押湯方案の場合は、高確率で欠陥の発生が予測された。湯口押湯方案と凝固解析との相関を調査する上でも、鑄造試験を実施することとした。

図 2.1.4 に鑄造品の外観と切断状況を示す。湯口部分が大きくパイプ引けを起こしている。製品内部に欠陥の発生は確認できるが微小で、現行品と同等レベルであるため問題ないことから、湯口が押湯として機能していることが分かった。再現実験を行い同様の結果を得ることができた。また、材質評価を実施して問題無いことを確認した。鑄込み重量は現行方案に対し 90kg(40%)も削減でき、鑄造歩留り(製品重量/鑄込み重量、以下、“歩留り”と省略)は 88.5%であった。

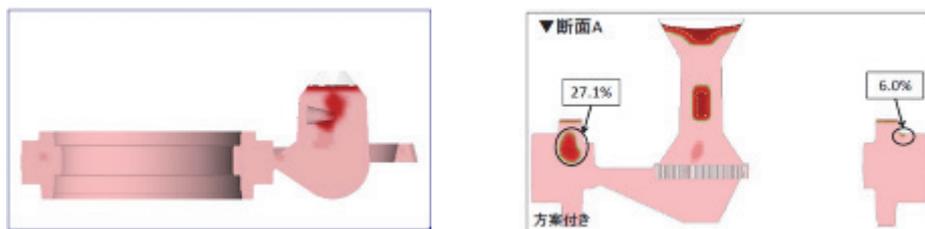


図 2.1.3 凝固解析結果(左:現行押湯方案、右:湯口押湯方案)



図 2.1.4 湯口押湯方案のケース①の鑄造品の外観と断面状況

②ケース②の事例

次に、ケース①で得られた結果を基に、材質 FCD450 の複数個込めアイテムでの効果を検討するために、4 個込めのケース②で湯口押湯方案をテストした。図 2.1.5 上に、現行押湯方案と湯口押湯方案を示す。現行押湯方案では製品 4 個に対し 2 個の共押湯を使用しているが、湯口押湯方案では製品 4 個に対して湯口を押湯として使用する鋳造方案とした。ケース①と同様、湯口直下へ開口率 54%の 2 次元フィルターを水平に設置することでノロの流入を防止する方式を採用した。

押湯設計ツールを用いて、湯口モジュラス比を 1.24、ネックモジュラス比を 0.64 と設計した。方案設計後に現行方案、湯口押湯方案共に凝固解析を実施した。図 2.1.5 下のように凝固解析の結果、現行方案では欠陥が予測されないネック部に、湯口押湯方案の場合は、高確率で欠陥の発生が予測された。但し、ケース①の場合において、湯口押湯方案と凝固解析との相関が得られなかったため、同様に鋳造試験を実施した。

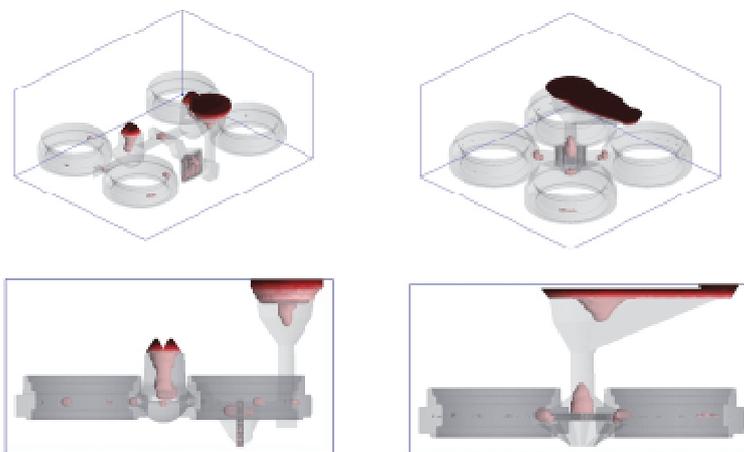


図 2.1.5 ケース②の鋳造方案と凝固解析結果(左:現行押湯、右:湯口押湯)

図 2.1.6 に鋳造品の外観と切断状況を示す。1 個込めケース①と同様に湯口部分が、押湯であるように大きくパイプ引けを起こしており、複数個込め方案においても湯口が押湯としての効果があることが分かった。図 2.1.7 に示すように、製品内部の欠陥は微小で問題になるレベルではなかった。本試験においても材質評価を実施し問題無いことを確認した。これらの結果から 4 個込めの製品でも湯口押湯方式の有効性が確認できた。鋳込み重量は現行方案に対し 49kg(23%)も削減でき、歩留りは 86.1%であった。

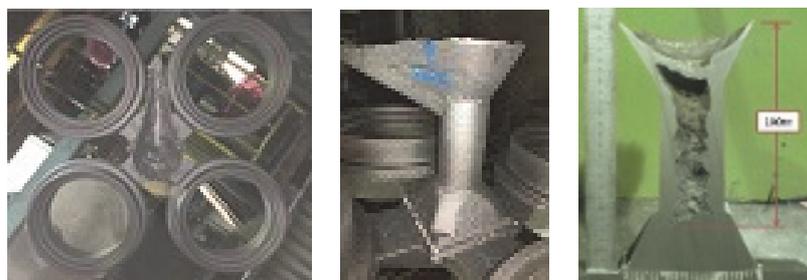


図 2.1.6 ケース②の湯口押湯方案の鋳造品の外観と断面状況

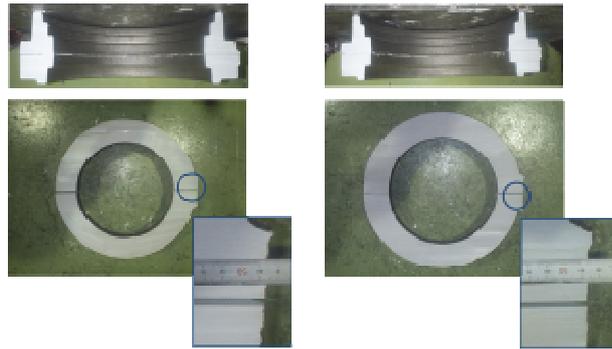


図 2.1.7 ケース②の湯口押湯方案の内部品質の状況

次に、究極の歩留り 90%を目標に、上記湯口押湯方案で鋳込み重量を 171kg から 163kg に減らして鋳造実験を実施した。結果は図 2.1.8 左に示すように、湯口に発生したパイプ引が見切り面よりも下にまで達し、製品とのネック部分に欠陥が発生した。製品内部の状況を図 2.1.8 右に示すが、ネック部分に発生した内部欠陥は、製品内部にまで到達し許容できるレベルでは無かった(赤丸部)。この結果は、通常押湯設計の際に考慮しなければならない状況と一緒であり、湯口の容量が小さいことが原因であることと一致する。すなわち、湯口押湯が押湯の働きをする証明となった。湯口押湯方式を設計する際には、製品の収缩量に応じた体積を湯口に持たす設計をする必要がある。

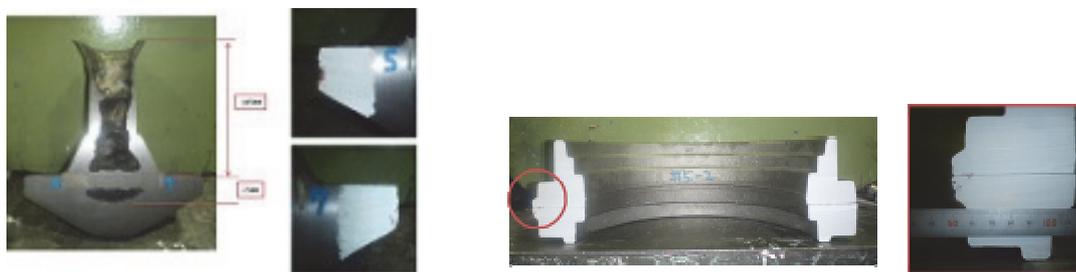


図 2.1.8 歩留り 90%を狙ったケース②の断面状況(左:湯口、右:製品)

③ハウジング②の事例

次に、図 2.1.9 左に外観を示す FC230 の大物のモデルアイテム(ハウジング②)に湯口押湯方式を適用した結果を述べる。現行鋳造方案は円柱状押湯($\phi 80\text{mm} \times H180\text{mm}$ 、1 か所)に板堰(1 か所)を用いており、歩留りは 65.6%である。テストした湯口押湯方案は図 2.1.9 中に示すように、赤丸の位置の湯口から注湯するようにし、押湯設計ツールを用いて、湯口モジュラス比 0.83、ネックモジュラス比 0.68 と設計した。鋳造品の外観を図 2.1.9 右に、製品の断面状況を図 2.1.10 に示す。湯口上部は引けており、製品内部には引け巣などの欠陥はなく健全であった。この結果、鋳込み重量は 23.4kg(26%)削減でき、歩留りは 88.6%であった。



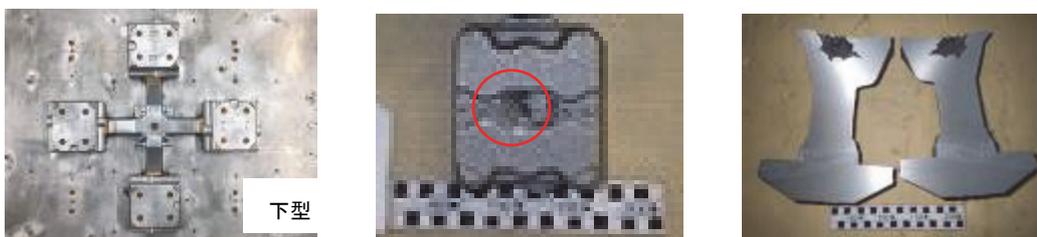
図 2.1.9 ハウジング②の製品外観(左)、湯口押湯方案(中)および湯口の外観(右)



図 2.1.10 ハウジング②の湯口押湯方案の製品切断調査結果

④バルブボディ(3915)の事例

FC300 の多数個込めの中物モデルアイテムとしてバルブボディ(3915)を取り上げた。実験に使用した模型を図 2.1.11(a)に示す。4 個込めとして湯口直下に 3 次元フィルターを配置した。現行量産と同じ $\phi 30\text{mm}$ (湯口モジュラス比 0.65)の湯口棒を用いて行った結果、湯口は引けたが、図 2.1.11(b)に示すように製品には赤丸の部位に外引け巣が発生した。 $\phi 30\text{mm}$ の湯口棒では押湯として機能していないと考え、押湯設計ツールを用いて設計し、湯口棒の外径を $\phi 55\text{mm}$ (湯口モジュラス比 0.83)に拡大して試験を行ったところ、製品に引け巣は発生しなかった。 $\phi 55\text{mm}$ の湯口の断面を図 2.1.11(c)に示す。鋳込み重量削減 15.5kg(30.7%)、歩留り 72%が得られた。同じ模型を用いて、FCV350 と FCD450 でも実験を行った。FCV350 では製品に引け巣は発生しなかったが、FCD450 では微細な引け巣が観察された。材質によって引け性が異なるため、材質ごとに最適な湯口体積を検討する必要がある。



(a)湯口押湯方案模型 (b)鋳造品($\phi 30\text{mm}$ 湯口棒) (c) $\phi 55\text{mm}$ 湯口棒

図 2.1.11 バルブボディ(3915)の湯口押湯方案

⑤湯口押湯方式の設計標準化

以上の湯口押湯方式の実験結果をまとめると表 2.1.2 の通りである。湯口から製品までの距離とネックモジュラス比は従来押湯方式と同程度の範囲で、押口モジュラス比を 0.8 以上とすることで現行品と同等の良好な品質が得られた。このように 4 つのモデルアイテムで湯口押湯方式の可能性と有効性が確認できた。

なお、量産に適用するための課題は次の通りで、補完研究で検討を進めたい。

- 成型機・成型ラインの制約を受ける湯口位置の自由度の拡大
- アイテムごとの湯口棒直径の変更方法
- 製品の収缩量を見込んだ湯口体積の設計

表 2.1.2 検討した湯口押湯方式のまとめ

材質	品名	Ms 比	Mn 比	品質
FCD	ケース①	0.78	0.41	良好
	ケース②	1.24	0.64	良好
FC	ハウジング②	0.83	0.68	良好
	バルブボディ(3915)	1.19	0.50	良好

※Ms 比：湯口モジュラス比、Mn 比：ネックモジュラス比

2-1-2 低ヘッド球状押湯方式の設計標準化

(1)補助事業の具体的内容

低ヘッド球状押湯方式の課題は押湯から製品部へ確実に溶湯補給することであり、そのための検討項目は次の通りである。

- ①球状押湯の形状最適化
- ②ネック部の形状最適化

具体的には、各社の代表製品アイテムで低ヘッド球状押湯方式(湯道・押湯等の寸法・体積)と品質との関係を研究し、低ヘッド球状押湯方式の標準化を図った。

(2)重点的に実施した事項

本項では、表 2.1.1 に示す球状押湯方式を検討したモデルアイテムの結果を以下に述べる。なお鑄造方式の設計には、2-2 項で述べる押湯設計ツールおよび鑄造シミュレーションを活用した。

①ハウジング①の事例

保温スリーブ付き押湯を 2 個用いている大物 FCD450 のハウジング①に球状押湯を適用して検討した結果、 $\phi 150\text{mm}$ の押湯を湯口側のみに配置して、高さを 20mm 上げることで現行品と同等の品質の製品を得ることができた。この時の押湯モジュラス比は 1.78、ネックモジュラス比は 0.73、歩留りは 77.9%であり、押湯保温スリーブの廃止、23.7kg(19%)の鑄込み重量削減および 23%の生産性向上の効果が見込まれる。球状押湯方式モデルと鑄造品の断面状況を図 2.1.12 に示す。

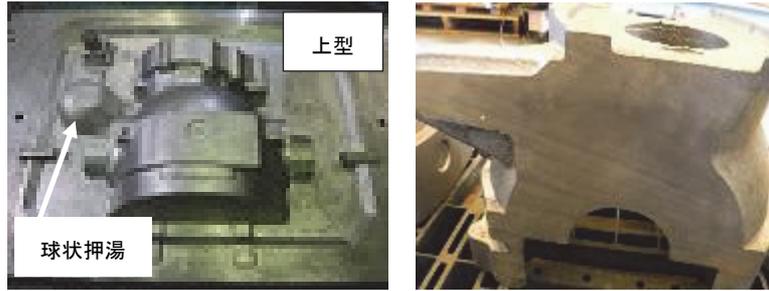


図 2.1.12 ハウジング①の球状押湯方案模型(左)と铸造品の断面状況(右)

②デフキャリアの事例

FCD450 の中物製品としてデフキャリアを取り上げた。図 2.1.13 に示す 4 個込めの配置として、押湯は製品の厚肉部に近い 5 か所に設置した。押湯形状は図に示すように、押湯モジュラス(M_c)の 1.6 倍または 1.2 倍のモジュラス(M_r)を持つ球状押湯となるように設計した。図 2.1.13 には従来円柱状押湯形状も示す。なお、 M_c は堰の肉厚の 5 倍の範囲で算出した。

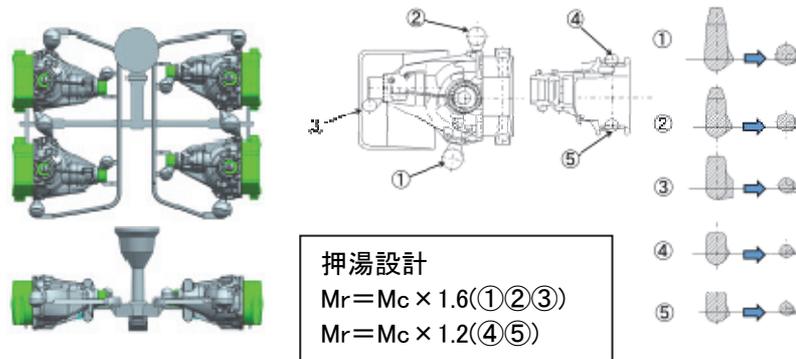


図 2.1.13 デフキャリアに低ヘッド球状押湯を適用した铸造方案

上記方案の妥当性を確認するために铸造シミュレーションを行った。図 2.1.14 に球状押湯と円柱状押湯を比較した結果を示す。各断面に引け巣が予測されている。球状押湯では断面 N・L・K に引け巣が予測されているのに対して、円柱状押湯で引け巣が予測されるのは断面 T(球状押湯の断面 N と同一部位)のみであり、铸造シミュレーションではやや球状押湯の方が引け巣は発生しやすいと予測された。

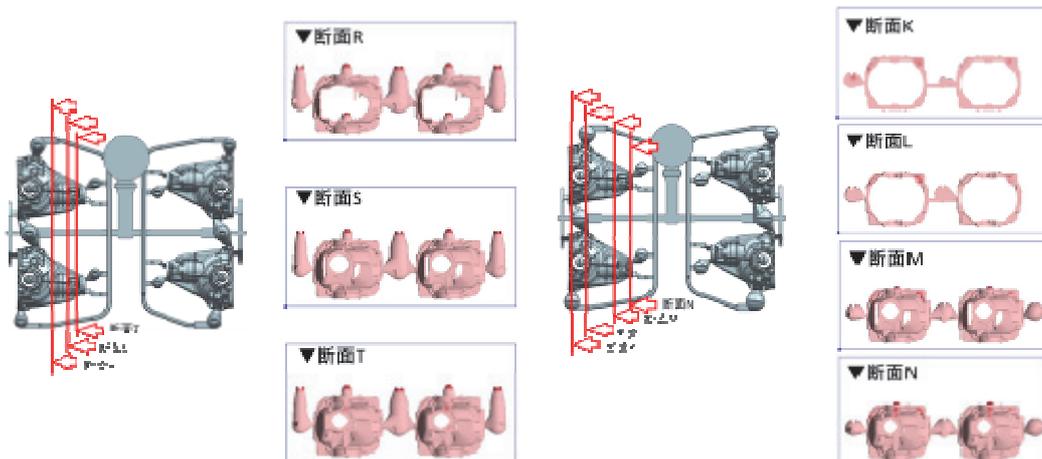


図 2.1.14 デフキャリアの铸造シミュレーション結果(左:円柱状押湯、右:球状押湯)

上記検討結果を基に実験模型を製作して、従来の円柱状押湯と球状押湯で鑄造実験を行った。図 2.1.15 に各押湯の断面状況を示す。いずれの押湯方式でも外観は良好で内部品質も同程度であり、歩留りは 35.6%から 39.2%に向上し、鑄込み重量は 14.9kg(9%)削減できたが、円柱状押湯に対して球状押湯は頂部が引けにくいことが確認された。この課題に対し、球状押湯の頂部形状の影響や鑄込み量削減による湯口ヘッドの影響を検討したが、研究期間内に全ての球状押湯の頂部が引ける条件を見いだせなかった。



図 2.1.15 押湯の断面状況(上:円柱押湯、下:球状押湯)

③バルブボディ(3787)の事例

中物 FCD450 のバルブボディ(3787)に球状押湯を適用して検討した結果、 $\phi 118\text{mm}$ (モジュラス比 1.50)以上の球状押湯で押湯は引けるものの、 $\phi 175\text{mm}$ (モジュラス比 2.20)としても引け巣が生じ現行品と同等の品質は得られず、研究期間内では適正押湯方案は見いだせなかった。製品外観と球状押湯方案鑄造品外観を図 2.1.16 に示す。



図 2.1.16 バルブボディ(3787)の球状押湯方案鑄造品外観

④シリンダ①の事例

現行方案では冷し金を用いている、小物 FCD450 で 4 個込めのシリンダ①で、球状押湯を適用して検討した結果、押湯の数を半減して、模型を上下反転し、 $\phi 80\text{mm}$ の球状押湯の高さを 140mm とすることにより、現行品と同等の品質の製品を得ることができた。製品の配置の制約から $\phi 80\text{mm}$ 以上のスペースをとることができなかつたため、高さ方向に押湯を拡大して検討した。模型の上下反転の効果は、図 2.1.17 に示す凝固解析の結果から凝固の方向性が強まったものと考えられる。この時の押湯モジュラス比は 2.18、ネックモジュラス比は 0.69、歩留りは 65.7%であり、効果としては冷し金の廃止、4.6kg(14%)の鑄込み重量

削減および 17%の生産性向上が見込まれる。球状押湯方案模型と鑄造品の断面状況を図 2.1.18 に示す。

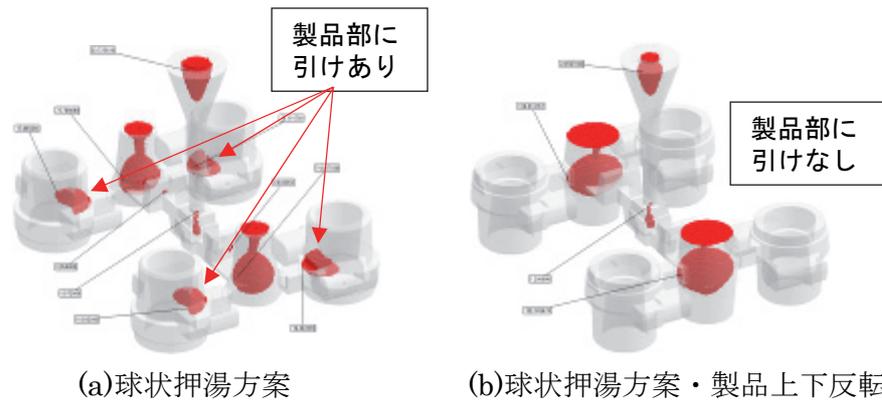


図 2.1.17 シリンダ①の凝固解析結果(ソフト:TopCAST、収縮率 5%で判定)

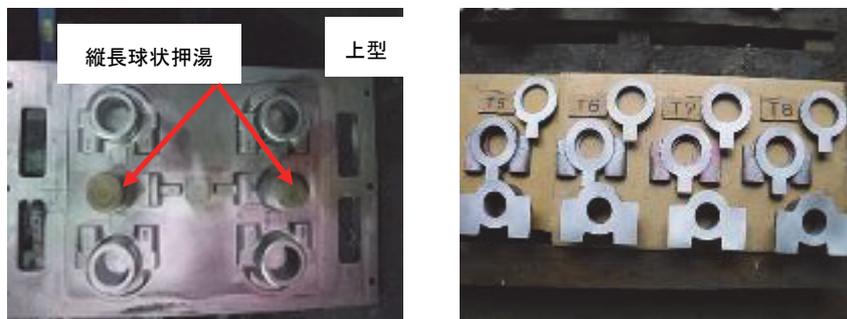


図 2.1.18 シリンダ①の球状押湯方案模型(左)と鑄造品の断面状況(右)

⑤シリンダ②の事例

小物 FCD450 で 4 個込めの製品に 4 個の押湯を用いるシリンダ②において、球状押湯を適用して検討した結果、押湯の数を半減して、 $\phi 100\text{mm}$ 球状押湯の高さを 120mm とすることにより、現行品と同等の品質の製品を得ることができた。このアイテムも製品の配置の制約から $\phi 100\text{mm}$ 以上のスペースを取ることができなかつたため、高さ方向に押湯を拡大して検討した。この時の押湯モジュラス比は 4.08、ネックモジュラス比は 0.66、歩留りは 47.6%であり、効果としては 3.6kg(13%)の溶湯削減および 14%の生産性向上が見込まれる。球状押湯方案模型と鑄造品の断面状況を図 2.1.19 に示す。



図 2.1.19 シリンダ②の球状押湯方案模型(左)と鑄造品の断面状況(右)

⑥バルブボディ(4426)の事例

小物 FCD450 のバルブボディ(4426)に球状押湯を適用して検討した結果、 $\phi 74\text{mm}$ (押湯モジュラス比 2.03)以上で押湯頂部は安定して引けるものの、 $\phi 80\text{mm}$ (押湯モジュラス比 2.20)としても引け巣が発生するものもあって製品の品質は安定せず、研究期間内では適正押湯方案は見いだせなかった。製品外観と球状押湯方案模型を図 2.1.20 に示す。

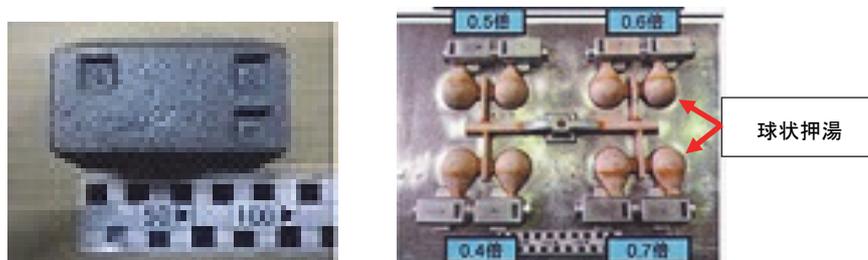


図 2.1.20 バルブボディ(4426)の製品外観(左)と球状押湯方案模型(右)

⑦ハウジング②の事例

大物 FC230 で 1 個込めのハウジング②に球状押湯を適用した結果、 $\phi 100\text{mm}$ 球状押湯を用いることにより、現行品と同等の品質の製品を得ることができた。この時の押湯モジュラス比は 1.88、ネック部モジュラス比は 0.68、歩留りは 78.9%であり、効果としては 15.2kg(17%)の鋳込み重量削減が見込まれる。球状押湯方案模型と鋳造品の断面状況を図 2.1.21 に示す。



図 2.1.21 ハウジング②の球状押湯方案模型(左)と鋳造品の断面状況(右)

⑧バルブボディ(3915)の事例

中物 FC300 で 4 個込めの製品に 2 個の押湯を用いるバルブボディ(3915)に球状押湯を適用して検討した結果、 $\phi 130\text{mm}$ の球状押湯で健全な製品を得ることができた。この時の押湯モジュラス比は 1.87、ネックモジュラス比は 0.50 であり、歩留り 50.4%、鋳込み重量削減効果は 0.5kg(1%)である。製品外観と球状押湯方案模型を図 2.1.22 に示す。

FC および FCV では、押湯頂部が引ければ健全な製品が得られることから、液体収縮時に押湯から製品部に確実に溶湯補給できるように球状押湯の高さを上げるオフセット(図 2.1.23)を検討した結果、 $\phi 112\text{mm}$ の球状押湯を押湯直径の 1/4 に相当する 28mm 上方にオフセットさせることで健全な製品を得ることができた。この時の押湯モジュラス比は 1.60、ネックモジュラス比は 0.50 であり、歩留り 54.7%、鋳込み重量削減は 4.4kg(9%)が見込まれる。

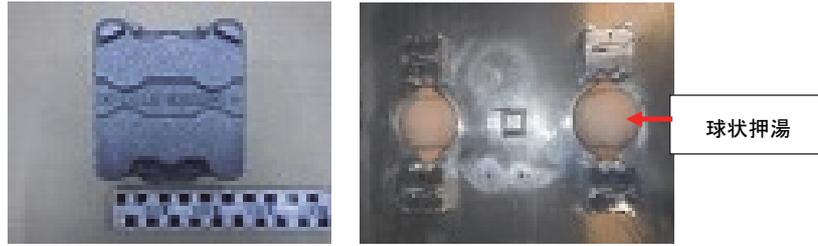


図 2.1.22 バルブボディ(3915)の製品外観(左)と球状押湯方案模型(右)

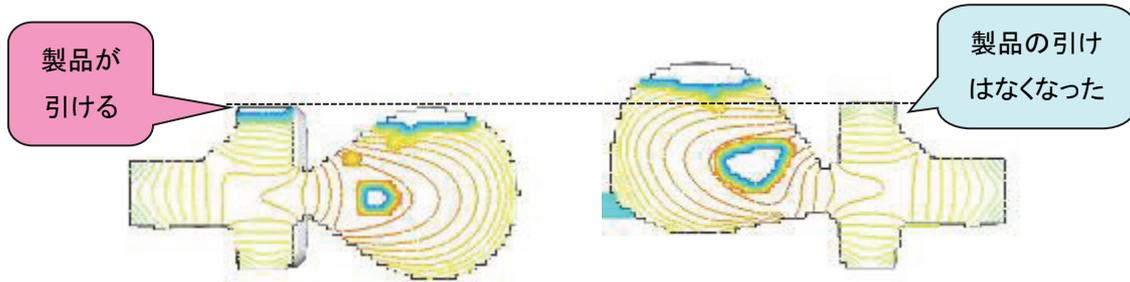


図 2.1.23 オフセット球状押湯説明図(左:通常球状押湯、右:オフセット球状押湯)

⑨バルブボディ(3384)の事例

小物 FC300 のバルブボディ(3384)に球状押湯を適用して検討した結果、 $\phi 50\text{mm}$ の球状押湯で健全な製品を得ることができた。この時の押湯モジュラス比は 1.77、ネックモジュラス比は 0.53 であり、歩留り 55.5%、鑄込み重量削減 1.4kg(9%)が見込める。製品外観と球状押湯方案模型を図 2.1.24 に示す。

$\phi 50\text{mm}$ よりやや小さい $\phi 45\text{mm}$ の球状押湯(モジュラス比 1.60)で直径の 1/4 に相当する 11mm 上方へオフセットさせて試験を行った結果、押湯頂部は引けたが、製品には引け巣が生じるものがあり品質は安定しなかった。

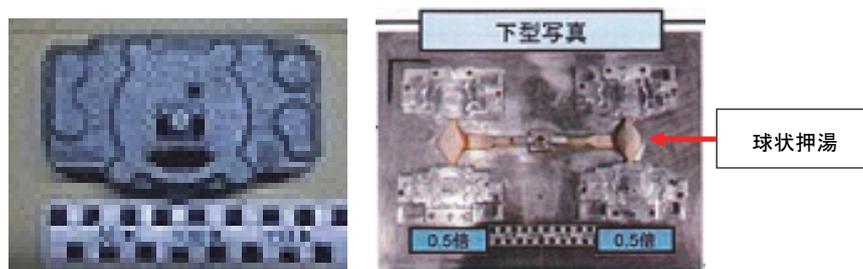


図 2.1.24 バルブボディ(3384)の製品外観(左)と球状押湯方案模型(右)

⑩バルブボディ(3365)の事例

小物 FCV350 で 4 個込めのバルブボディ(3365) に球状押湯を適用して検討した結果、 $\phi 68\text{mm}$ の球状押湯で健全な製品を得ることができた。この時の押湯モジュラス比は 1.99、ネック部モジュラス比は 0.50 であり、歩留り 61.9%、鑄込み重量削減 6.6kg(18%)が見込める。同じ球状押湯でネックモジュラス比 0.70 でも試験を行ったが、製品の品質は安定しなかった。製品外観と球状押湯方案模型を図 2.1.25 に示す。

$\phi 68\text{mm}$ より小さい $\phi 56\text{mm}$ の球状押湯(モジュラス比 1.60)で直径の 1/4 に相当する

14mm 上方へオフセットさせて試験を行った結果、押湯頂部は引けたが、製品には引け巣が生じるものがあり品質は安定しなかった。

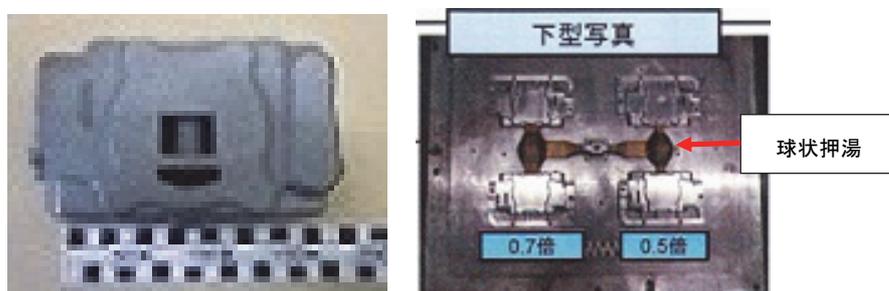


図 2.1.25 バルブボディ(3365) の製品外観(左)と球状押湯方案模型(右)

⑪バルブボディ(4399)の事例

小物 FCV350 のバルブボディ(4399)に球状押湯を適用して検討した結果、 $\phi 100\text{mm}$ の球状押湯で健全な製品を得ることができた。この時の押湯モジュラス比は 2.0、ネックモジュラス比は 0.48 であったが、歩留りは現行の 46.0%から 36.2%に悪化してしまった。製品外観と球状押湯方案模型を図 2.1.26 に示す。

そこで、このアイテムにも押湯のオフセットを検討した結果、押湯直径の 1/4 に相当する 17.5mm 上方にオフセットした $\phi 70$ の球状押湯で健全な製品が得られた。この時の押湯モジュラス比は 1.40、ネックモジュラス比は 0.48 であり、歩留り 47.7%、鑄込み重量削減 0.6kg(3%)が見込める。

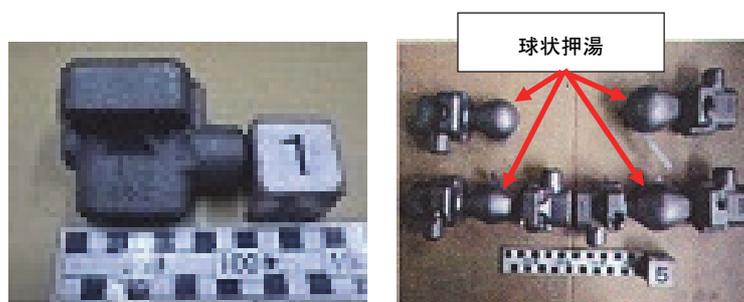


図 2.1.26 バルブボディ(4399)の製品外観(左)と球状押湯方案鑄造品(右)

⑫球状押湯方式の設計標準化

以上の湯口押湯方式の方案をまとめると表 2.1.3 の通りで、以下の結論が得られた。

- 11 のモデルアイテムで球状押湯を検討し、押湯を球状にすることにより、9 アイテムで現行品と同等の品質で 3%~19%の鑄込み重量削減の効果が得られた。残り 2 アイテムは研究期間内で安定した品質を得るための条件を見いだせなかった。
- 球状押湯の押湯モジュラス比は 2.0 程度が必要であり、押湯直径の 1/4 上方にオフセットさせると押湯モジュラス比を 1.4~1.6 に下げることができる。
- ネックモジュラス比は、0.4~0.7 の範囲では小さい方が押湯は引けやすい。
- 押湯は小さくなるほど頂部が引けにくくなり、少なくとも $\phi 50\text{mm}$ は必要である。

表 2.1.3 検討した球状押湯方案のまとめ

材質	品名	押湯形状(mm)	Mr 比	Mn 比	品質
FCD	ハウジング①	φ 150 球	1.78	0.73	良好
	デフキャリア	φ 40~84 球オ	1.6/1.2	0.4	不安定
	バルブボディ(3787)	φ 175 球	2.20	0.50	不安定
	シリンダ①	φ 80×高さ 140	2.18	0.69	良好
	シリンダ②	φ 100×高さ 120	4.08	0.66	良好
	バルブボディ(4426)	φ 80 球	2.20	0.40	不安定
FC	ハウジング②	φ 100 球	1.88	0.68	良好
	バルブボディ(3915)	φ 130 球	1.87	0.50	良好
		φ 112 球オ	1.60	0.50	良好
	バルブボディ(3384)	φ 50 球	1.77	0.53	良好
φ 45 球オ		1.60	0.53	不安定	
FCV	バルブボディ(3365)	φ 68 球	1.99	0.50	良好
		φ 56 球オ	1.60	0.50	不安定
	バルブボディ(4399)	φ 100 球	2.00	0.48	良好
		φ 70 球オ	1.40	0.48	良好

※Mr 比：押湯モジュラス比、Mn 比：ネックモジュラス比、オ：オフセット押湯

2-1-3 低ヘッド球状押湯の頂部形状最適化

(1) 補助事業の具体的内容

押湯頂部形状と引けの関係を研究して、押湯頂部が引ける条件を明確にして確実に頂部が引ける押湯形状を確立し、実製品でその効果を検証した。

(2) 重点的に実施した事項

押湯頭頂部の形状を 3D CAD を用いて設計し、模型原型を製作した。生型の球状押湯の場合、鋳型強度や砂充填密度が弱く尖った形状やシマの深いものは成型が困難であることを考慮して、図 2.1.27 に示す球状頭部にノッチ形状や V 溝構造を有した模型を設計した。成型された低ヘッド球状押湯の頂部形状最適化品で鋳造試験を実施して、効果の度合いを検証した。

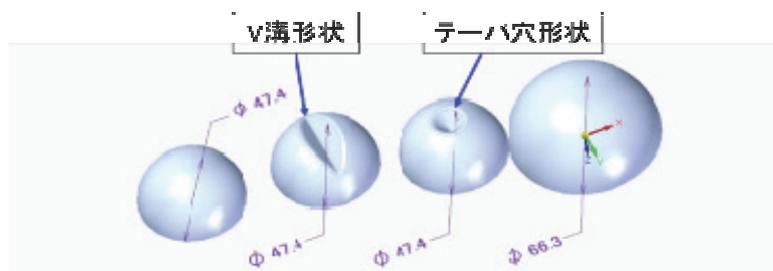


図 2.1.27 設計した押湯頂部形状

φ 130mm(モジュラス比 1.54)の球状押湯の頂部が引けないハウジング①で、図 2.1.28 に示す V 溝形状、ウィリアムコアの設置およびピン形状の付加を検討したが、安定して押湯頂部に引けを生じさせることはできなかった。次に、押湯の高さを現行品と同等と

するために、図 2.1.29 左に示すφ130mm 球状押湯の上にカップ形状(上φ50mm/下φ80mm×高さ120mm)を付加したところ、同図の右に示すように押湯が確実に引けることを確認した。押湯にはモジュラス比に加え、ある程度の高さも必要であると考えられる。

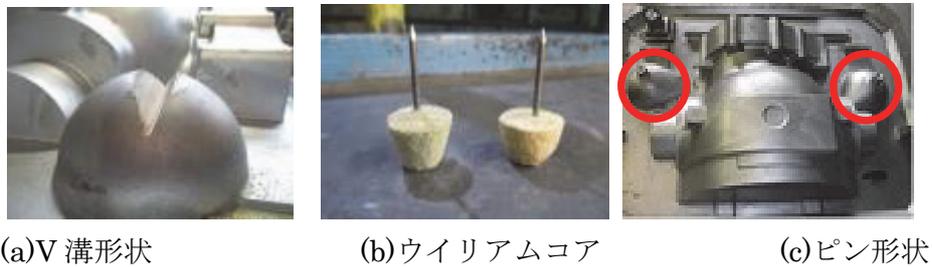


図 2.1.28 ハウジング①で検討した押湯形状



図 2.1.29 球状押湯へのカップ形状付加(左:押湯模型、右:押湯の断面状況)

以上まとめると、

- 押湯頂部が安定して引ける形状は見いだせなかった。
- 但し、押湯を高くすること、押湯の容量を増やすことおよび鑄込み量を減らして湯口高さを下げることは押湯頂部の引けに効果があることがわかった。

2-1-4 特殊シェルボールの製造技術開発

(1)補助事業の具体的内容

過去の実施者らの研究で、押湯内に設置した特殊シェルボールが引けを誘発する結果が得られていることから、特殊シェルボールの安価な製造方法を確立して、実製品でその効果を検証した。

(2)重点的に実施した事項

φ10～φ50mm のシェルボールを試作するための金型を製作して、特殊シェルボールの大きさの影響、中空/中実の影響、添加剤の影響を鑄造実験で検討した。

開発した特殊シェルボールの製法方法は図 2.1.30 に示す通りで、レジンコーテッドサンドを 140～180℃に加熱した金型にブロー圧で吹込んで成型し、30～100 秒後に抜型して取出す方法である。中空品は半割品を成型して、接着剤で貼り合わせた。



金型 → 成型 → 抜型 → 焼成

図 2.1.30 特殊シェルボールの製作手順

①押湯に占めるシェルボールの体積割合の影響

上記の方法で成形したφ10～50mmの中実シェルボールで、シェルボールと押湯の体積割合の影響を基礎実験用試験片で検討した。鑄造に用いた模型はφ56.8mmの球状押湯と厚さ30mmのTPの組み合わせで、材質はFC300であり、シェルボールなしでは押湯頂部が引けずに製品部に引け巣が生じるものである。結果は表2.1.4に示すように、体積割合で4～15%の時に有効であることが分かった。

表 2.1.4 押湯に対するシェルボールの体積割合の影響

シェルボール直径(mm)	シェルボール体積(cm ³)	押湯に対する体積割合(%)	鑄造品の品質
50	65.4	68.2	×
40	33.5	34.9	×
30	14.1	14.7	○
20	4.2	4.4	○
10	0.5	0.6	×
シェルボールなし		0	×

※球状押湯直径：56.8mm、押湯体積：96.0cm³、鑄造材質：FC300

②シェルボールの中実、中空、焼成の影響

次に、φ30mmシェルボールで中空、中実、焼成の影響を検討した。用いた模型および材質は上記①と同じである。焼成の目的は、鑄造時に発生するガスを低減し、押湯の温度低下を防止することである。結果は表2.1.5に示すように、中実よりも中空の方が鑄造品の品質は良く、焼成するとさらに有効であることがわかった。このメカニズムを検討したが未解明であり、今後の補完研究で解明していきたい。

表 2.1.5 中空、中実、焼成の影響

シェルボール	φ30 中空	φ30 中空焼成	φ30 中実
シェルボール外観			
鑄造品の品質	△	○	×

得られた結果をまとめると以下の通りである。

- シェルボールは従来のシェル中子成型技術を用いて製造できることを確認した。
- シェルボールと押湯には最適な体積割合があることを確認した。
- シェルボールは中空にした方が製品の引け巣防止に効果があり、またシェルボールをよく焼成した方がより効果が大きいことが分かった。
- 上記のメカニズムは未解明で、補完研究等によって究明したい。

テストした 13 のモデルアイテムの成果をまとめて表 2.1.6 に示す。特殊機能押湯を適用して現行品と同等以上の品質で鑄込み重量が削減できたアイテムは 11 であった。湯口押湯が適用できたものは、従来の押湯方案では得られない 70%~90%の高歩留りが得られ、現行品に対し 23~40%のも鑄込み重量削減を示している。また、球状押湯が適用できたものでは現行品に対し 3~19%の鑄込み重量削減を示した。

鑄込み重量が削減できた 11 のモデルアイテムの平均でみると鑄込み重量削減率は 20%程度、全モデルアイテムで見ても約 17%の鑄込み重量削減となり、目標の 15%削減は達成できた。また、鑄込み量の低減に伴って 20%程度の生産性の向上が見込めるほか、押湯保温スリーブや冷し金の廃止などによるコスト低減の可能性も示すことができた。

表 2.1.6 検討モデルアイテムの結果一覧

材質	品名	製品重量 (kg)	込数	現行歩留り (%)	検討した押湯方式	テスト歩留り (%)	鑄込量削減率 (%)
FCD	ケース①	115	1	52.3	湯口	88.5	40
	ハウジング①	79.5	1	63.2	球状	77.9	19
	ケース②	36.8	4	66.3	湯口	86.1	23
	デフキャリア	17.2	4	35.6	球状	39.2	9
	バルブボディ(3787)	10.7	2	50.0	球状	—	—
	シリンダ①	4.5	4	56.3	球状	65.7	14
	シリンダ②	3.0	4	41.7	球状	47.6	13
	バルブボディ(4426)	1.1	8	30.0	球状	—	—
FC	ハウジング②	57.7	1	65.6	湯口	88.6	26
					球状	78.9	17
	バルブボディ(3915)	6.3	4	49.9	湯口	72.0	31
					球状	54.7	9
バルブボディ(3384)	2.0	4	50.6	球状	55.5	9	
FCV	バルブボディ(3365)	3.2	4	51.1	球状	61.9	18
	バルブボディ(4399)	1.3	6	46.0	球状	47.7	3

2-2 高効率鑄造方案設計支援システム

2-2-1 鑄造方案データベースの整備

(1)補助事業の具体的内容

従来押湯および特殊機能押湯を用いて試験片および実製品で鑄造実験を行い、押湯の大きさなどの鑄造方案および材質などと製品品質の関係を研究して、鑄造方案設計支援システム開発のための鑄造方案データベースを整備する。

(2)重点的に実施した事項

表 2.2.1 に示す方法と条件により試験片を用いて鑄造実験および鑄造シミュレーションを行い、モジュラス比と品質との関係のデータを収集した。試験片形状の一例を図 2.2.1 に示す。

表 2.2.1 試験片を用いた鑄造実験条件

項目	内容
造型機	丹羽鑄造の F1 造型機
枠サイズ	300×250×100/100mm
試験片	平板 3 種類(幅 50mm、長さ 100mm、厚さ 10、30、50mm)
ネック部	モジュラス比 : 0.45、0.55、0.67 ネック長 15mm、幅 : 厚さ = 2 : 1 を基本にする
押湯部	なし、球状押湯(モジュラス比 : 1.0、1.2、1.4)
材質	3 材質(FC300、FCD450、FCV350)
品質評価	試験片の外引け、内引け(比重、カラーチェック) 押湯の引け方・引け量
温度測定	代表的な 3 条件(表 2.2.2 の No.15、19、23)で、製品部、ネック部、押湯部および鑄型の数か所を計測
その他	熱分析(ATAS)で溶湯性状を確認

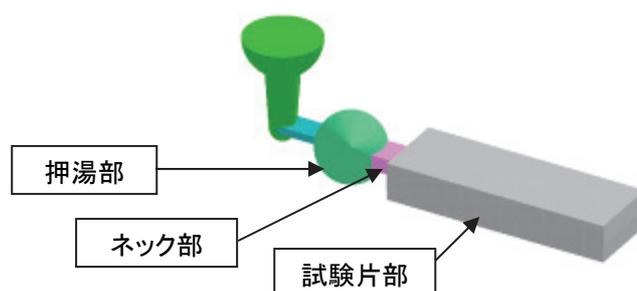


図 2.2.1 試験片形状の一例

表 2.2.2 に示すような基礎実験条件により、試験片肉厚 10mm、30mm、50mm に変動させると共に、製品品質として外引け(体積)、内引け(比重、カラーチェック)を評価し、データベースとして蓄積した。

表 2.2.2 基礎実験条件

No.	TP	モジュラス比			TP、mm				ネック、mm				球状押湯、mm		押湯	
		厚さ	Mc	Mn	Mr	長さ	幅	厚さ	Mc	長さ	幅	厚さ	Mn	直径	Mr	体積
1	10	1.0	0.45	なし	100	50	10	3.85	15	10.4	5.192	1.73	-	-	-	-
2			0.45	1.0	100	50	10	3.85	15	10.4	5.192	1.73	23.1	3.85	6435	1673
3			0.45	1.2	100	50	10	3.85	15	10.4	5.192	1.73	27.7	4.62	11119	2409
4			0.45	1.4	100	50	10	3.85	15	10.4	5.192	1.73	32.3	5.38	17657	3279
5			0.55	なし	100	50	10	3.85	15	12.7	6.346	2.12	-	-	-	-
6			0.55	1.0	100	50	10	3.85	15	12.7	6.346	2.12	23.1	3.85	6435	1673
7			0.55	1.2	100	50	10	3.85	15	12.7	6.346	2.12	27.7	4.62	11119	2409
8			0.55	1.4	100	50	10	3.85	15	12.7	6.346	2.12	32.3	5.38	17657	3279
9			0.67	なし	100	50	10	3.85	15	15.5	7.731	2.58	-	-	-	-
10			0.67	1.0	100	50	10	3.85	15	15.5	7.731	2.58	23.1	3.85	6435	1673
11			0.67	1.2	100	50	10	3.85	15	15.5	7.731	2.58	27.7	4.62	11119	2409
12			0.67	1.4	100	50	10	3.85	15	15.5	7.731	2.58	32.3	5.38	17657	3279
13	30	1.0	0.45	なし	100	50	30	7.89	15	21.3	10.66	3.55	-	-	-	-
14			0.45	1.0	100	50	30	7.89	15	21.3	10.66	3.55	47.4	7.89	55650	7049
15			0.45	1.2	100	50	30	7.89	15	21.3	10.66	3.55	56.8	9.47	96163	10151
16			0.45	1.4	100	50	30	7.89	15	21.3	10.66	3.55	66.3	11.05	152704	13816
17			0.55	なし	100	50	30	7.89	15	26.1	13.03	4.34	-	-	-	-
18			0.55	1.0	100	50	30	7.89	15	26.1	13.03	4.34	47.4	7.89	55650	7049
19			0.55	1.2	100	50	30	7.89	15	26.1	13.03	4.34	56.8	9.47	96163	10151
20			0.55	1.4	100	50	30	7.89	15	26.1	13.03	4.34	66.3	11.05	152704	13816
21			0.67	なし	100	50	30	7.89	15	31.7	15.87	5.29	-	-	-	-
22			0.67	1.0	100	50	30	7.89	15	31.7	15.87	5.29	47.4	7.89	55650	7049
23			0.67	1.2	100	50	30	7.89	15	31.7	15.87	5.29	56.8	9.47	96163	10151
24			0.67	1.4	100	50	30	7.89	15	31.7	15.87	5.29	66.3	11.05	152704	13816
25	50	1.0	0.45	なし	100	50	50	10.00	15	27.0	13.5	4.50	-	-	-	-
26			0.45	1.0	100	50	50	10.00	15	27.0	13.5	4.50	60.0	10.00	113097	11310
27			0.45	1.2	100	50	50	10.00	15	27.0	13.5	4.50	72.0	12.00	195432	16286
28			0.45	1.4	100	50	50	10.00	15	27.0	13.5	4.50	84.0	14.00	310339	22167
29			0.55	なし	100	50	50	10.00	15	33.0	16.5	5.50	-	-	-	-
30			0.55	1.0	100	50	50	10.00	15	33.0	16.5	5.50	60.0	10.00	113097	11310
31			0.55	1.2	100	50	50	10.00	15	33.0	16.5	5.50	72.0	12.00	195432	16286
32			0.55	1.4	100	50	50	10.00	15	33.0	16.5	5.50	84.0	14.00	310339	22167
33			0.67	なし	100	50	50	10.00	15	40.2	20.1	6.70	-	-	-	-
34			0.67	1.0	100	50	50	10.00	15	40.2	20.1	6.70	60.0	10.00	113097	11310
35			0.67	1.2	100	50	50	10.00	15	40.2	20.1	6.70	72.0	12.00	195432	16286
36			0.67	1.4	100	50	50	10.00	15	40.2	20.1	6.70	84.0	14.00	310339	22167

基礎実験の結果を表 2.2.3 に示す。これらより以下のことがわかった。

- FCD では厚肉の方が品質は良好であるが、FC・FCV ではそのような傾向はみられない。
- 押湯モジュラス比は大きい方が品質は良好。
- ネックモジュラス比は、小さい方が良い場合と大きい方が良い場合があり傾向は一定しなかった。
- 押湯の観察結果から、押湯頂部が引けないと外または内部に引け巣が発生する。

表 2.2.3 基礎実験 TP の鑄造実験結果のまとめ

TP 肉厚 (mm)	Mr 比	Mn 比	FC300		FCD450		FCV350	
			外引け	内引け	外引け	内引け	外引け	内引け
10	1.2	0.45	◎	×	×	×	×	×
		0.55	◎	×	×	×	×	×
		0.67	◎	×	×	×	×	×
30	湯口 押湯	0.45	◎	◎	×	×	◎	◎
		0.55	◎	◎	◎	×	◎	◎
		0.67	◎	◎	◎	×	◎	◎
	1.0	0.45	×	×	×	×	×	×
		0.55	×	×	×	×	×	×
		0.67	×	×	×	×	×	×
	1.2	0.45	×	×	×	×	×	×
		0.55	×	×	△	×	×	×
		0.67	×	×	△	×	×	×
	1.4	0.45	△	◎	◎	×(小)	△	△
		0.55	○	○	◎	×	△	△
		0.67	○(小)	◎	◎	×	△	△
50	1.2	0.45	△	△	◎	◎	×	×
		0.55	×	×	◎	×(小)	×	×
		0.67	×	×	◎	×(小)	×	×

※Mr 比：押湯モジュラス比、Mn 比：ネックモジュラス比

5 個の結果 ◎：全て健全、○：4/5 が健全、△：2/5-3/5 が健全、×：健全は 1/5 以下

また、鑄造シミュレーションで用いる基礎データの収集のため、鑄鉄溶湯については熱物性値計算ソフト JMatPro を用いて基礎データを算出するとともに、鑄型データについては円筒法を用いた温度測定を行った。図 2.2.2 に温度測定位置を示す。更に、円筒法による温度測定結果を基に鑄造シミュレーションソフト TopCAST を用いて、シミュレーションにおける物性値の同定を行った。表 2.2.4 に同定完了後の物性値を示すと共に、各鑄造材質の実測とシミュレーションの冷却曲線を図 2.2.3 に、シミュレーションの引け量を表 2.2.5 に示す。なお欠陥判定には収縮率を用い、判定は収縮率 7%以上とした。これらの結果をデータベースとして蓄積した。

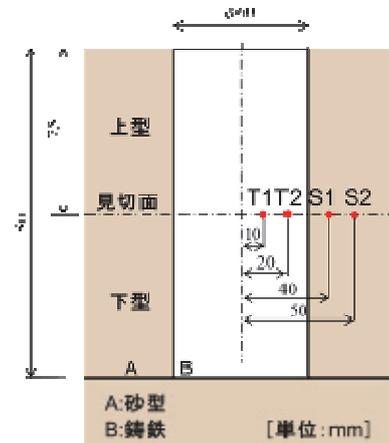


図 2.2.2 温度測定位置

表 2.2.4 同定完了後の物性値

	砂型	空気	FC300	FCV350	FCD450
密度 [kg/m ³]	1500	1.293	6728 (液相) 6918 (固液間) 7182 (固相)	6758 (液相) 6946 (固液間) 6938 (固相)	6714 (液相) 6842 (固液間) 6843 (固相)
比熱 [kJ/kg · K]	0.83 7	0.99	0.30 (液相) 1.01 (固液間) 0.01 (固相)	0.50 (液相) 1.09 (固液間) 0.01 (固相)	0.81 (液相) 0.93 (固液間) 0.01 (固相)
熱伝導率 [W/m · K]	0.84	0.03	33.7 (液相) 30.5 (固液間) 30.1 (固相)	33.3 (液相) 29.8 (固液間) 38.6 (固相)	33.4 (液相) 33.8 (固液間) 38.2 (固相)
潜熱 [kJ/kg]			198.0	176.3	207.4

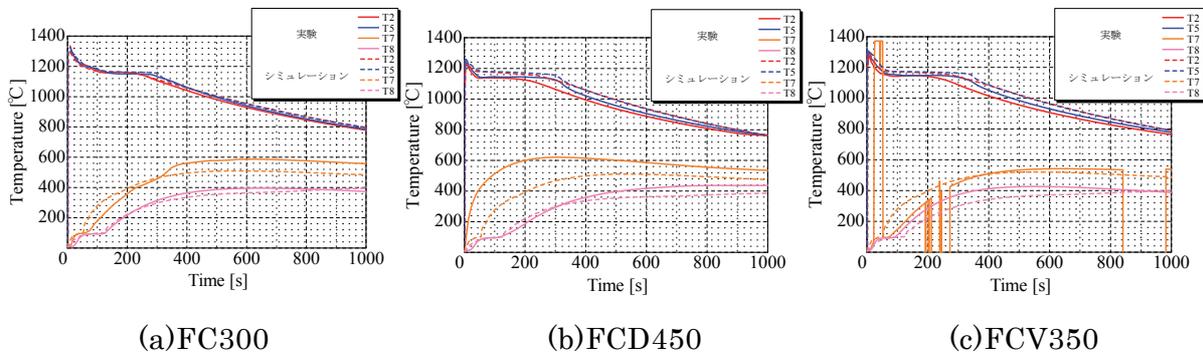


図 2.2.3 各材質の冷却曲線(実測とシミュレーション)

表 2.2.5 シミュレーションで求めた基礎実験 TP の引け量(単位 : cm³)

TP 肉厚(mm)	Mr 比	Mn 比	FC300	FCD450	FCV350
10	1.2	0.45	0.968	0.301	0.548
		0.55	0.968	0.301	0
		0.67	0.619	0.152	0
30	湯口押湯	0.45	14.768	3.240	9.639
		0.55	12.073	1.406	7.755
		0.67	15.061	1.570	7.116
	1.0	0.45	11.136	3.672	2.577
		0.55	9.751	0.793	2.353
		0.67	11.244	1.032	2.578
	1.2	0.45	5.859	0.208	0.451
		0.55	2.133	0.133	0.127
		0.67	2.754	0.081	0.027
	1.4	0.45	1.836	0.158	0.127
		0.55	1.134	0.108	2.152
		0.67	1.971	0.081	0.027
50	1.2	0.45	2.376	0.162	0.162
		0.55	6.372	0.459	4.617
		0.67	9.423	4.644	7.356

※Mr 比 : 押湯モジュラス比、Mn 比 : ネックモジュラス比

2-2-2 鑄造方案設計支援システムの確立

(1)補助事業の具体的内容

2-2-1 項のデータベースを基に、鑄造メーカ 3 社が保有する経験値を加味して鑄造方案設計支援システムの基本システムを開発した。そして、開発した鑄造方案設計支援システムを各鑄造メーカで試行して課題を抽出し、その結果をフィードバックしてシステムを確立した。

(2)重点的に実施した事項

初年度、高い歩留を実現する鑄造方案を設計するために、2-2-1 項の結果を参考にして、球形押湯と湯口押湯を駆使した「鑄造方案設計支援システム(押湯設計ツール)」の設計を行い、プログラム Ver.1.0 を作成した。続いて、最終年度に Ver.1.0 を鑄造メンバーに配付して実際に使用することで問題点と改良点を抽出した。抽出した内容に関して修正版の仕様書を作成し、Ver.1.1 を完成させた。以下に Ver.1.0 と Ver.1.1 の概略を説明すると共に、図 2.2.4 に操作画面の一部を示す。

(1) Ver.1.0

- 製品の 3D CAD を STL 形式で取り込んで製品モジュラスを算出する。この時、任意の位置で分割することにより、分割した製品モジュラスを計算することができる。
- 押湯の数、材質、モジュラス比等を設定して計算させると、球状押湯の直径やネック寸法を求めることができる。

(2) Ver.1.1：以下の機能の追加、変更を実施

- STL 表示機能を追加
モデル形状の確認や、押湯の設置位置の検討をし易くするため、市販の外部ツールを起動して STL 表示が行えるように機能を追加した。
- 大物鑄物の分割の指定方法の変更
大物鑄物は、押湯が複数になることがある。現状、簡易的にそれぞれの押湯の影響範囲を分割方向(6 方向)と分割距離で指定している。今回の開発では、位置および方向を座標値で指定できるように指定方法を変更した。
- 多個取り対応
現状は、多個取り(1つの押湯に複数の製品が付く)の場合でも、ネックの値は複数製品を合計した値で表示をしている。今回の開発では、1つの製品の値を表示するように変更した。
- ディタートを使用した計算の説明を変更(凝固時間→鑄込み時間)

鑄造方案設計支援システム(押湯設計ツール)の使用例を図 2.2.5 に示す。厚肉部が 2 か所存在するために堰を 2 か所設ける必要がある製品において、2 分割して製品モジュラスを求め、その製品モジュラスから各部に付ける球状押湯の直径とネック寸法を求めた。

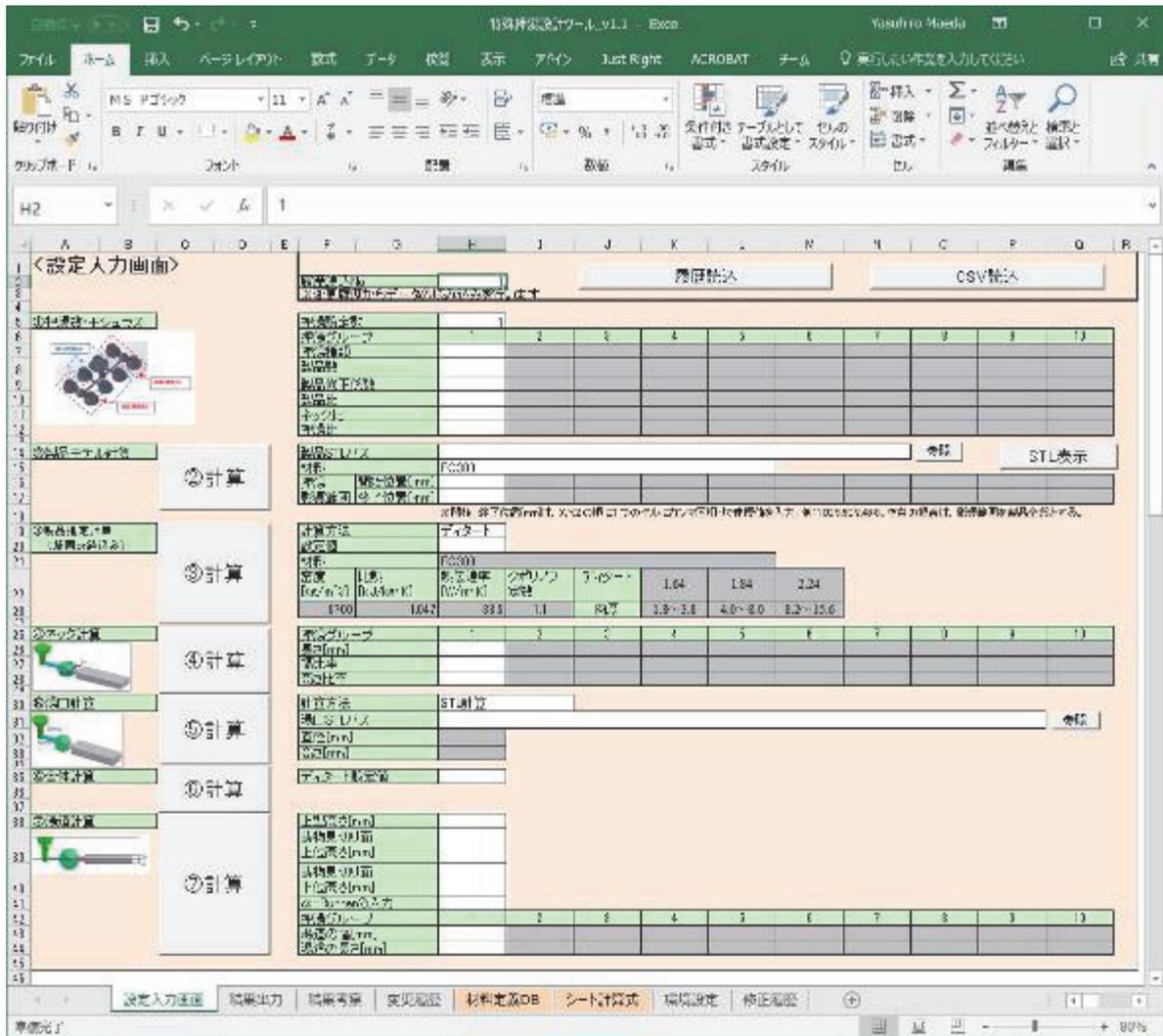


図 2.2.4 铸造方案設計支援システム(押し湯設計ツール Ver.1.1)の画面例

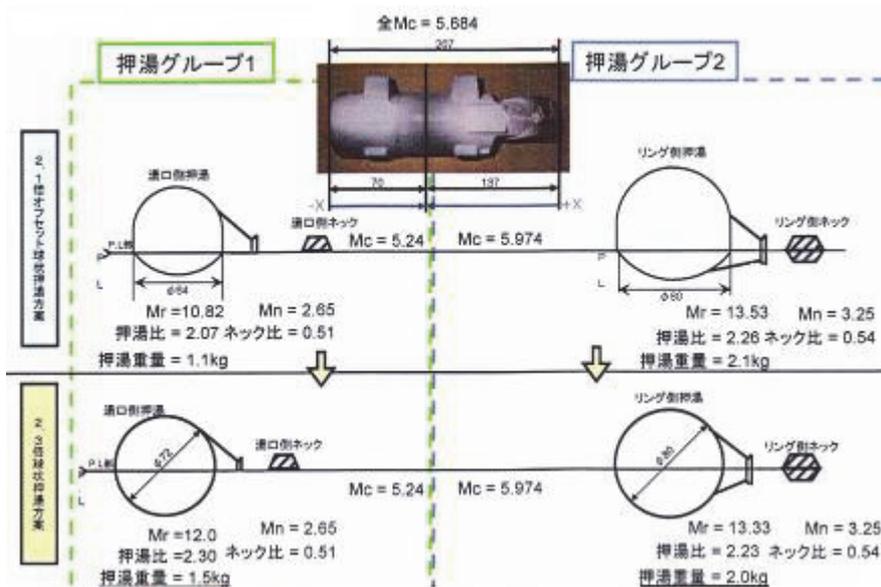


図 2.2.5 铸造方案設計支援システム(押し湯設計ツール)を用いた球状押し湯設計例
(製品を2分割したモジュラスから球状押し湯を設計)

また、鋳造方案設計支援システム(押湯設計ツール)の事業化については表 2.2.6 に示すように、ソフトベンダー(株式会社トヨタコミュニケーションシステム：TCS)の協力を得て、セキュリティ機能などを追加した販売版を作成し、リリースしていく計画である。

表 2.2.6 鋳造方案設計支援システム(押湯設計ツール)の事業化

<p>【成果物の事業化の取組】</p> <ul style="list-style-type: none">• ユーザから見たソフト普及のための取り組み• 製品モジュラスを任意に計算でき、任意部分の必要押湯量が計算できる• 円製品など任意にモジュラス計算ができる、機能をさらに追加を要望し反映を検討している• システムの使用方法については、瓢屋メンバーも勉強して普及に向けた取り組みを実施していく。• 支援システムソフト普及に向けた準備・・・価格、保守費用、使用マニュアル、教育、カタログ <p>【設計支援システムソフト概要】</p> <ul style="list-style-type: none">• 球状押湯の計算ツール• 実験データに基づき、鋳鉄・生型用に特化• CAD データ(STL ファイル)が必要 <p>【事業化案】</p> <p>供給体制</p> <ul style="list-style-type: none">• TCS(製作と初期トラブル対処,ライセンス発行)⇒ 瓢屋(販売窓口) <p>販売価格など</p> <ul style="list-style-type: none">• 1本 5～10万円 (サポートはせず売切りにする)• コピー防止のためのパスワードの設定(パソコン1台に1ソフト) <p>販売促進</p> <ul style="list-style-type: none">• 素形材センターや鋳造工学会等発表、展示、教育ソフトとして活用• 販売目標 100本

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

第2章においても、一部、記載しているが、本研究開発成果を事業化に結び付けるまでには、今後、以下のようなことを解決する必要がある。

- モデルアイテムで非常に高い鋳込み重量削減効果が得られた特殊機能押湯を量産適用するための課題の明確化およびその解決
- 開発した特殊シェルボールが効果を示す条件の明確化およびより効果を高めるための改良
- 開発した鋳造方案設計システム(押湯設計ツール)を鋳造メーカーに販売するための鋳造工学会や鋳造協会における PR 活動

3-3 本事業による効果

本研究開発では、特殊機能押湯を用いることにより、試験を行った全モデルアイテムの単純平均で約 17%の溶湯削減に加え生産性向上の可能性も示すことができた。この成果は、年間生産量約 400 万トンで、溶解電力量約 56 億 kWh を消費している鋳鉄鋳物全般に大掛かりな設備投資なしで鋳造方案の変更のみで活用できる。したがって、本技術が確立されれば業界全体に容易に普及でき、大幅なコスト低減および 17%程度の省エネルギー効果を全国展開することができる。

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

グローバル競争力の一層の強化が求められる自動車・産業機械産業等などの川下産業が対象となる。

本技術の完成によって、国内鋳造各社が海外展開するにあたり、新規な特殊機能押湯及びこれを可能にする鋳造方案設計支援システムを活用することで、高歩留りの鋳造法をベースにした生産が可能になり、高い競争力を発揮できるようになる。

電力多消費産業である鋳造業は、電気料金の高騰により厳しい経営状況に置かれており、頂部の引けを安定して誘発できる押湯は低ヘッド球状押湯方式との組み合わせ及びに鋳造方案設計支援システムは鋳造歩留り改善によって、溶解エネルギー削減に寄与するものと考えられる。

(2) 事業化見込み

品質に対する市場の要求は年々高くなっているため、川下の出荷先は製造方法の変更には慎重であり、新技術への切り替えは一气には進まないと想定される。しかし、製品特性への悪影響は考えられず、健全な製品歩留まり向上が期待できるので、実例を示せば短時間で普及するものと考えている。

鑄造シミュレーションソフトを駆使している鑄造メーカーはアドインパック、サブソフトとして導入することで、効率的な押湯方案設計が容易になると考えられる。また、鑄造シミュレーションソフトを所有しない会社でも、本ソフトは押湯を含めた方案設計が可能になる。

なお、事業化の体制は以下を想定している。

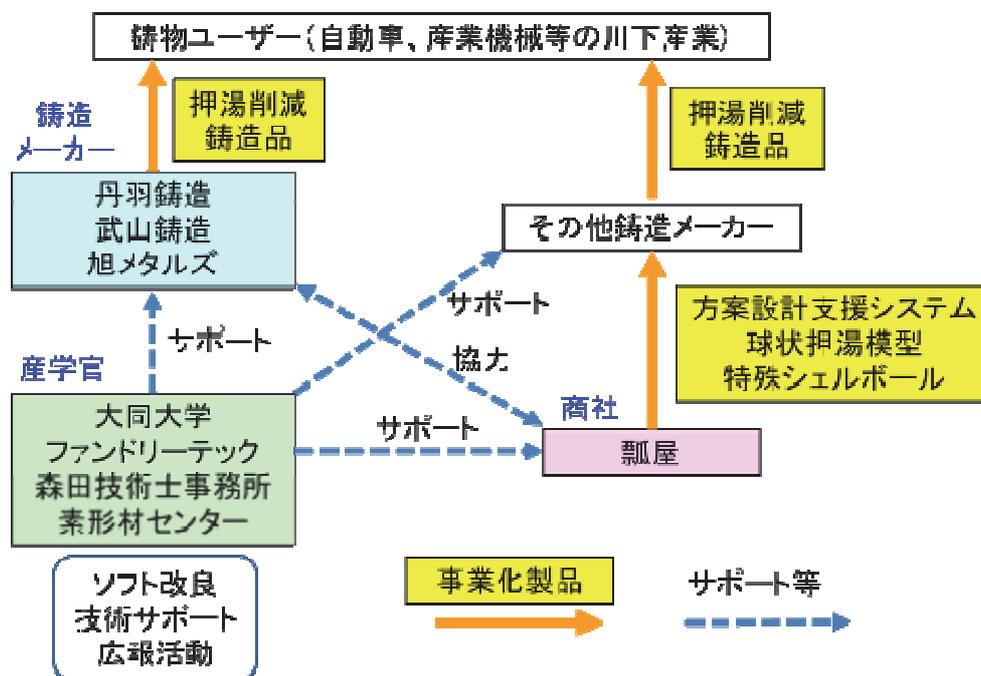


図 3.1 事業化体制図

(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		(1)特殊機能押湯を適用して製造した鑄造製品				
開発事業者		丹羽鑄造株式会社、武山鑄造株式会社、旭メタルズ株式会社				
想定するサンプル出荷先		自動車メーカー、建設機械メーカー、農業機械メーカー等				
スケジュール	事業年度	平成 30 年度	平成 31 年度	平成 32 年度	平成 33 年度	平成 34 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)	760,000	950,000	1,140,000	1,330,000	1,520,000
	販売数量(単位を記載)	2,880	3,600	4,320	5,040	5,760
	売上高の根拠	<ul style="list-style-type: none"> ● 今後の上記開発事業者3社合計の全売上高と全販売数量を次のように想定 全売上高： 19,000,000 千円/年 全販売数量： 72,000 トン/年 ● 研究終了後の平成 30 年度に、上記全製品の4%に本開発技術を適用し、その後年1%ずつ適用製品を増やしていく。 				

製品等の名称		(2)押湯頂部の引けを安定して誘発できる押湯				
開発事業者		株式会社瓢屋				
想定するサンプル出荷先		鑄造メーカー				
スケジュール	事業年度	平成 30 年度	平成 31 年度	平成 32 年度	平成 33 年度	平成 34 年度
	サンプルの出荷・評価	→				
	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)	2,000	4,000	10,000	10,000	10,000
	販売数量(個)	10,000	20,000	50,000	50,000	50,000
	売上高の根拠	すでに開発をすすめている、断熱押湯スリーブに補助材として今回開発する押湯頂部の引けを安定して誘発できる押湯(シェルボール等)を挿入して、より効果を高め、主型サイド押湯用、ステンレス鑄鋼用等用途を広めて売上高を向上させる。				

製品等の名称		(3)高効率鑄造方案設計支援システム				
開発事業者		学校法人大同学園大同大学、ソフトベンター				
想定するサンプル出荷先		鑄造メーカー				
スケジュール	事業年度	平成 30 年度	平成 31 年度	平成 32 年度	平成 33 年度	平成 34 年度
	サンプルの出荷・評価	→				
	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)	12,500	25,000	25,000	25,000	25,000
	販売数量(本)	25	50	50	50	50
	売上高の根拠	<p>このシステムはモジュラス計算等で CAD ソフトが必要であるため、当初は鑄造シミュレーションソフト所有の鑄造メーカーに限定されるだろう。初年度はそのうちの 5% への販売を想定し、国内の鑄造シミュレーションソフト所有会社推定数 $500 \times 5\% = 25$ 本、価格は鑄造シミュレーションソフト年間ライセンス料の約 50% の 500 千円を想定し、売上高は 12,500 千円。</p> <p>その後、有用性評価の高まりとともに、販売経路は広がっていくと推定され、平成 31 年度からは 2 倍の販売数を想定。</p>				

(4) 成果(試作品)の無償譲渡や無償貸与

事業終了の暁には、試作品や支援システムを参加機関に提供し、さらに改善する。