

平成 21 年度補正予算
戦略的基盤技術高度化支援事業

「鋳鉄製プレス金型の鋳造歪抑制による
加工代低減の技術開発」

成 果 報 告 書 概 要 版

平成 22 年 3 月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人三重県産業支援センター

目次

第一章 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	
1-② 研究体制	
(1) 研究組織（全体）	
(2) 管理体制	
(3) 管理員及び研究員	
(4) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名	
(5) 研究推進委員会	
(6) 履行体制	
第二章 発泡模型の型変形と歪防止	・・・9
2-① 発泡模型のより高度な機械加工による精度向上	
2-② 発泡模型から歪みの少ない塗型模型の作製	
2-③ 塗型模型乾燥時の歪み防止の為の乾燥台の設計	
第三章 鋳型強度向上による残留応力歪防止	・・・20
3-① 鋳型強度向上による歪み防止と鋳鉄材質等による収縮率の検討	
第四章 鋳造方案によるカーボン残渣防止	・・・24
4-① 発泡模型から発生するカーボン残渣対策	
4-② PS と PMMA の混合発泡模型による最適な鋳造方案の構築	
第五章 全体統括	・・・33
5-① 成果の統括	
5-② 研究開発後の課題・事業化展開	

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

自動車用プレス金型には、一般的には鋳鉄製金型が採用されており、取り巻く状況はアジア諸国との低価格競争と短期納期が求められている。その要望に対応するため、金型製造工程のより一層の生産効率の向上と、コストダウンのために鋳造品の歪を抑え、切削加工の加工代（かこうしろ）削減が望まれている。

そのために本事業では、フルモールド鋳造法における製造工程の改善を行い、その加工代を半減することを目的とする。機械加工工数が減少すれば、コストを抑えながら省エネルギー、省資源にも有効である。

従来の鋳鉄製自動車用プレス金型の製造工程は、ニアネット形状のプレス金型用発泡模型を発泡スチロールで作製し、この発泡模型に強度をつける為と剥離（鋳型と鋳鉄）しやすくするために、焼付け防止塗料を塗布する。塗布された模型（塗型模型）のまわりを、砂と樹脂と硬化剤で包み込みこむことにより鋳型として作成し、湯道をつけて溶湯を流し込む。流し込まれた溶湯は塗型模型を溶かして、鋳物が形成される（フルモールド鋳造法）。この方法で作成された鋳鉄製品は加工代が多く（10mm）、これを切削加工して金型に仕上っている。この加工代を出来る限り少なくして鋳造することにより鋳造金型の低コスト化、低環境負荷を目指す。

鋳造製品加工代を半減する為に次の高度化目標を設定して研究開発を進めていく。

1. 精密加工による発泡模型の歪防止
2. 鋳型強度向上による歪防止
3. 鋳造方法の最適化によるカーボン残渣の防止

これらの技術開発を行なうことによって低コスト化・環境配慮の生産技術を確立する。

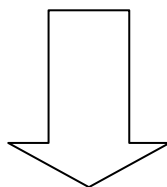
本研究開発は、鋳鉄製自動車金型プレスの製品加工代を3次元測定器により製品を測定し、従来10mm必要である加工代が半減である5mmを目標に開発を進める。

○従来のプレス金型製造方法の課題

例：型サイズ 1,790 x 780（加工代10mmの場合） 重量 1,169 kg

- ① 発泡模型作成から鋳造における工程間で歪が発生
- ② 加工代が多い（歪・カーボン残渣を加味している為）
- ③ 加工工数の増加

- ④ フライス加工用工具の短命
- ⑤ 製品加工後のドライ粉（切子）が多い



鋳鉄製プレス金型の鋳造歪抑制による加工代低減技術
開発

◇発泡模型製作時と塗型模型乾燥時に発生する歪を無くす

◇鋳型強度を上げて歪を生じさせない

◇カーボン残渣の発生しない鋳造方法の考案

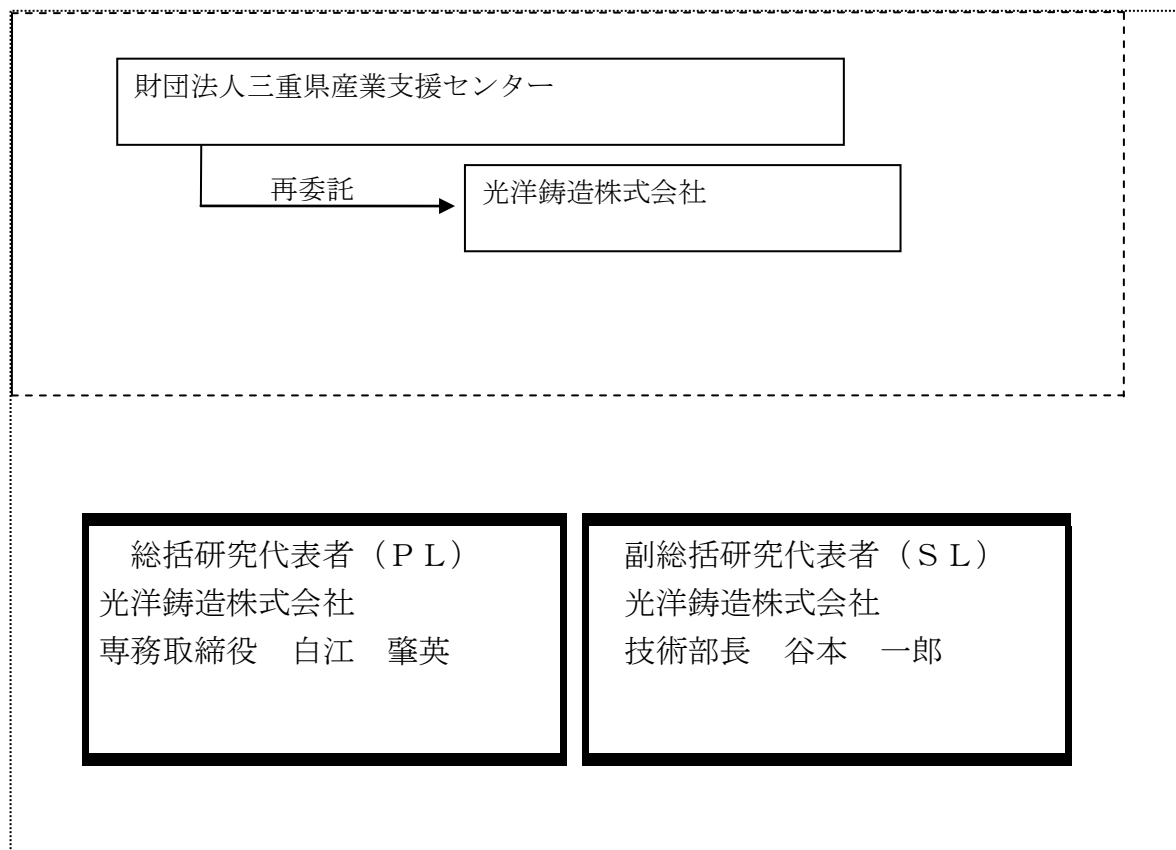
○新技術開発後

例：型サイズ 1,790 x 780（加工代半減の場合） 重量 1,136 k g

- ① 発泡模型作成時から鋳造工程間で発生する歪を抑制
- ② 歪を無くして加工代半減
- ③ 加工代 5mm 切削時間を半減
- ④ 加工用工具の長寿命化
- ⑤ ドライ粉発生量の半減

1-② 研究体制

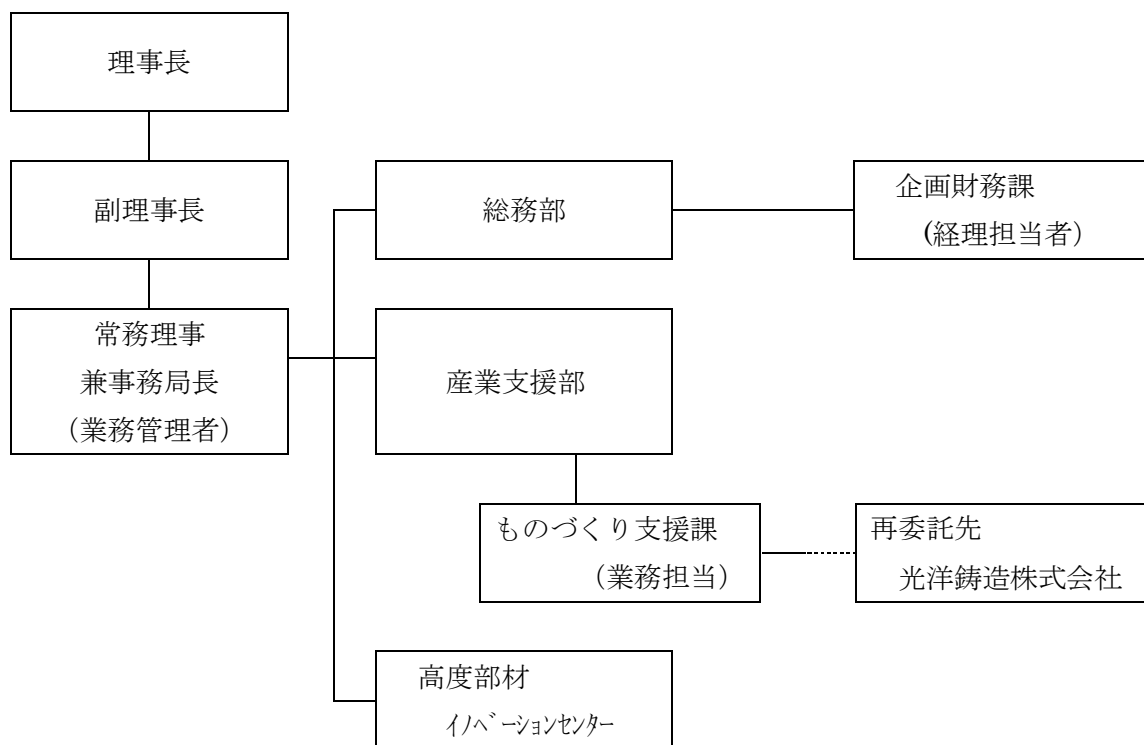
(1) 研究組織（全体）



(2) 管理体制

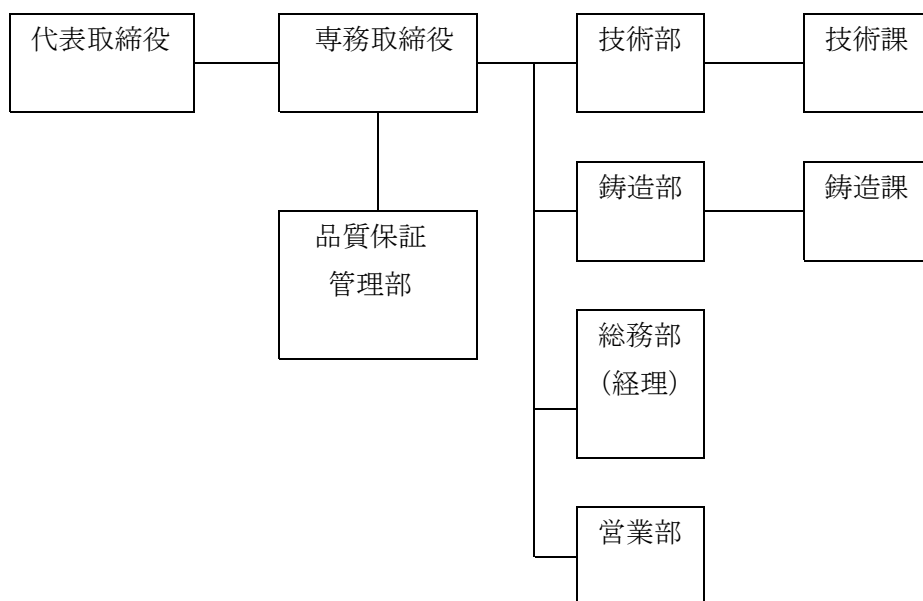
①事業管理者

財団法人三重県産業支援センター



② (再委託先)

光洋鑄造株式会社



(3) 管理員及び研究員

【事業管理者】 財団法人三重県産業支援センター

管理員

氏 名	所属・役職
片山 良夫	常務理事兼事務局長
大杉 弘和	総務部企画財務課
井上 哲志	産業支援部ものづくり支援課長
湯浅 幸久	産業支援部ものづくり支援課ものづくりグループリーダー
舟木 淳夫	産業支援部ものづくり支援課ものづくりグループ
濱條 勉	産業支援部ものづくり支援課ものづくりグループ
片岡 耕生	産業支援部ものづくり支援課ものづくりグループ
山本 勇治	産業支援部ものづくり支援課ものづくりグループ
鍵谷 清作	産業支援部ものづくり支援課ものづくりグループ
菊田 繁樹	産業支援部ものづくり支援課ものづくりグループ

【再委託先】

研究員

光洋鑄造株式会社

氏 名	所属・役職
白江 肇英	専務取締役
谷本 一郎	工場長
長崎 愛彦	技術課長
池原 智仁	品質保証管理部

(4) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

財団法人三重県産業支援センター

(経理担当者) 総務部企画財務課 主幹 大杉 弘和

(業務管理者) 常務理事兼事務局長 片山 良夫

(再委託先)

光洋鑄造株式会社

(経理担当者) 総務部主任 白江 真有美

(業務管理者) 代表取締役 白江 豊

(5) 研究推進委員会

研究推進委員会委員名簿

(敬称略・順不同)

氏名	所属・役職	備考
白江 豊	光洋鑄造株式会社・代表取締役	PL SL
白江 肇英	光洋鑄造株式会社・専務取締役	
谷本 一郎	光洋鑄造株式会社・技術部 部長	
長崎 愛彦	光洋鑄造株式会社・技術部技術課 課長	
池原 智仁	光洋鑄造株式会社・品質保証管理部	アドバイザー アドバイザー アドバイザー アドバイザー アドバイザー アドバイザー アドバイザー アドバイザー アドバイザー オブザーバー
藤川 貴朗	三重県工業研究所・金属研究室 主幹研究員	
富田 義弘	近畿大学 理工学部機械工学科 講師	
高宮 淳一郎	高尾金属工業株式会社・技術本部 技術部金型設計課 課長	
井上 哲志	(財)三重県産業支援センター 産業支援部ものづくり支援課 課長	
湯浅 幸久	(財)三重県産業支援センター 産業支援部ものづくり支援課 主幹(GL)	
舟木 淳夫	(財)三重県産業支援センター 産業支援部ものづくり支援課 主査	
山本 勇治	(財)三重県産業支援センター 産業支援部ものづくり支援課・コーディネーター	
菊田 繁樹	(財)三重県産業支援センター 産業支援部ものづくり支援課・コーディネーター	
鍵谷 清作	(財)三重県産業支援センター 産業支援部ものづくり支援課・コーディネーター	
岡本 正弘	中部経済産業局産業部製造産業課長	

(注) P L : 総括研究代表者 (プロジェクトリーダー)

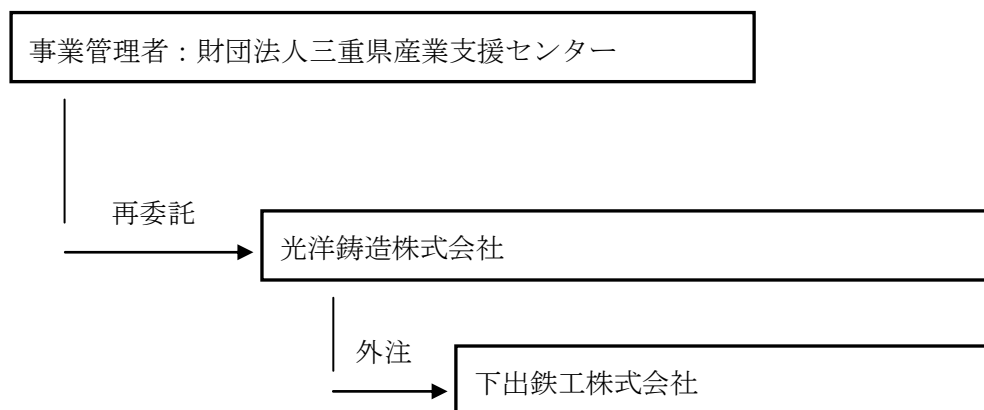
S L : 副総括研究代表者 (サブリーダー)

(6) 履行体制

【履行体制】

事業者名	住所
光洋鑄造株式会社	三重県伊賀市予野西出 2 6 2 4
下出鉄工株式会社	大阪府貝塚市王子 61 番地

【履行体制図】



第二章 発砲模型の型変形と歪防止

発砲模型の歪発生の要因として、切削加工時、塗布後の塗料乾燥時、乾燥後の重力変化によるものと判明しており、各要因を除去するにあたり三次元測定器による、発砲模型、乾燥後の発砲模型の測定値を比較することにより変形歪みを回避する。

2-① 発砲模型のより高度な機械加工による精度向上

2-①-1 研究目的及び目標

プレス金型用発砲模型を3次元CADで設計し、CAMによって加工データを作成し、高精度な模型を作製する。具体的には、マシニング加工データにより発砲ブロックを加工するための工具の送り速度、回転数など、加工する際に生じる切削誤差を分析し、ニアネット形状で高精度の発砲模型を作る為の数値を検討する。

担当：光洋鑄造株式会社

2-①-2 実験方法

i：発砲スチロール製の定盤を使用している為、使用回数が増えると定盤に加工痕が付きワークとの設置面が減少する。さらに定盤高さ精度が落ちるので、テスト材加工前には定盤を新しいものに変更し、高さを揃える。

ii：平坦加工の始点での発砲スチロールの点くぼみ(0.5mm)が発生し、点くぼみ部だけマイナスとなるので、くぼみを無くす為、工具先端形状の異なる工具(設定1-①・設定2-①)で切削を行い先端形状の違いでのくぼみ深さの確認を行う。

iii：工具長さ・材料取りなどで加工の出来ない部分は手加工となり、精度が落ちる為、長い工具を試し、精度確認を行う。(φ20、φ10)

iv：ワーク用発砲スチロールの歪み除去加工にて加工の問題で発生するビーズの飛びを減少させる為、試作工具を使用し、いろいろな回転数、送り速度を試す。

v：歪みのない定盤で組み付けを行う。

vi：高さ精度を出す為、糊を塗布後、薄く拭き取る。接着時、加圧する。



写真 1：工具 ① φ 30 ラジラス 右 先端 6 枚刃 左 先端 10 枚刃



写真 2 : 工具 φ30 フラット

右 先端刃有り 左 先端刃無

(設定 1)

NC工程設定											
保存 中止 条件複写 移動 切削条件 条件名 M5 パラメタ名 : KIKUKAWA 伸び尺 : 1.010 伸び尺原点 : (0.00, 0.00, 0.00)											
NCデータ名	工具名	色	工具長	工具タイプ	工具径 (コア)	送り速度	主軸回転数	P F 距離	T	H	
未設定	RADIUS30SAI	仕	未設定	フラット	30.00	未設定	未設定	未設定	未設定	未設定	未設定
1	BALL_20	粗	未設定	ボール	20.00	3500.00	8000.00	10.00	3	3	
kiku	RADIUS_30	仕	未設定	ラジアス	30.00 (10.00)	9000.00	5300.00	10.00	1	1	
↑	BALL_30	仕	未設定	ボール	30.00	3800.00	5300.00	10.00	2	2	
↑	RADIUS_30H	仕	未設定	ラジアス	30.00 (10.00)	4000.00	5300.00	10.00	1	1	
↑	RADIUS_30S	粗	未設定	ラジアス	30.00 (10.00)	2300.00	5300.00	10.00	9	9	
↑	RADIUS_30S	仕	未設定	ラジアス	30.00 (10.00)	2000.00	5300.00	10.00	9	9	
↑	FUL30		未設定	フラット	30.00	3500.00	5300.00	10.00	7	7	
↑	BALL_20	仕	未設定	ボール	20.00	3500.00	7000.00	10.00	3	3	
↑	BALL_10	仕	未設定	ボール	10.00	1500.00	7000.00	10.00	4	4	
↑	BALL_9	仕	未設定	ボール	9.00	1500.00	7000.00	10.00	8	8	
↑	C_30men	仕	未設定	ボール	30.00	2500.00	5300.00	10.00	5	5	

フルバック=回転数 5000 送 10000 (NC 機設定)

一 : 30 φ ラジアス・・・先端 10 枚刃

二 : 20 φ ボール・・・工具全長 365 mm 8 枚刃

三 : 10 φ ボール・・・工具全長 260 mm 8 枚刃

四 : C 面用工具・・・工具全長 410 mm 2 枚刃 角度 30°

五 : 30 φ フラット・・・先端刃有

六 : フルバック・・・工具全長 200 mm

(設定 2)

NC工程設定

保存 中止 条件複写 移動

切削条件 条件名 M5
パラメタ名 : KIKUKAWA 伸び尺 : 1.010 伸び尺原点 : (0.00, 0.00, 0.00)

NCデータ名	工具名	色	工具長	工具タイプ	工具径 (コー)	送り速度	主軸回転数	P F 距離	T	H
未設定	RADIUS30SAI	仕	未設定	フラット	30.00	未設定	未設定	未設定	未設定	未設定
1	BALL_20	粗	未設定	ボール	20.00	3500.00	8000.00	10.00	3	3
kiku	RADIUS_30	仕	未設定	ラジアス	30.00 (10.00)	9000.00	5300.00	10.00	1	1
↑	BALL_30	仕	未設定	ボール	30.00	3800.00	5300.00	10.00	2	2
↑	RADIUS_30H	仕	未設定	ラジアス	30.00 (10.00)	4000.00	5300.00	10.00	1	1
↑	RADIUS_30S	粗	未設定	ラジアス	30.00 (10.00)	2300.00	5300.00	10.00	9	9
↑	RADIUS_30S	仕	未設定	ラジアス	30.00 (10.00)	2000.00	5300.00	10.00	9	9
↑	FUL30		未設定	フラット	30.00	3500.00	5300.00	10.00	7	7
↑	BALL_20	仕	未設定	ボール	20.00	3000.00	5300.00	10.00	3	3
↑	BALL_10	仕	未設定	ボール	10.00	1500.00	5300.00	10.00	4	4
↑	BALL_9	仕	未設定	ボール	9.00	1500.00	7000.00	10.00	8	8
↑	C_30men	仕	未設定	ボール	30.00	2500.00	7000.00	10.00	5	5

面出し用工具 回転数 7000 送り 10000 (NC 機設定)

一：30φラジアス・・・先端6枚刃

二：20φボール・・・工具全長365mm 6枚刃

三：10φボール・・・工具全長260mm 6枚刃

四：C面用工具・・・工具全長410mm 2枚刃 角度25°

五：30φフラット・・・先端刃有

六：フルバック・・・工具全長200mm

2-①-3 実施結果

i：発泡スチロール製の定盤に加工痕が着いた定盤を除去し、新しい定盤を用意して、高さを統一した。

ii：先端6枚刃、先端10枚刃共にくぼみは発生した。送り速度・回転数を同条件とし、加工を行ったが、先端6枚刃は増加、10枚刃のくぼみ深さは減少したが、点で0.2mm程精度不良となった。

iii：手加工部位を無くす為、従来よりも全長の長い工具φ10・φ20を準備し、設定1で加工を試みたが、加工負荷により刃物が振れてしまい、切削面が荒く精度が落ちた。

iv：基準面加工時のビーズの飛び量は工具回転数を上げた設定値(7000)で減少となった。

5000回転 送り10000では、発泡ビーズのむしられたようなビーズの飛びが発生し切削面に0.1mm程のくぼみが発生した。

v・vi：施策通り組み付け実施を行い、組み付けでの高さ精度・歪みに問題は無し。



写真 3: 平坦部赤色緑部分がくぼみ発生部位



写真 4：発砲模型機械加工テスト



写真 5：サポイン用定盤



写真 6：発泡 平坦フライス加工後

2-①-4 考察

発泡模型の全長の長さや高さは問題がなかった。ただ、収縮率を考慮した鋳物尺メジャー（10/1000 伸び）では、メジャー毎により誤差が生じていた為、一つのメジャーを決めて現寸尺のメジャーを使うことで鋳造後の製品までの収縮率と精度を確認した。全長 2500mm に対して製品は 2500 ± 2 だったことから、発泡模型の精度は高く寸法精度については満足のいく結果が得られた。ただ、 $\phi 10$ と $\phi 20$ の加工時に全長が長かった為に、切削負荷により工具が振れて、精度、切削面共に課題が残った。工具は $\phi 30$ と比べると $\phi 10 \cdot \phi 20$ のように細くなると刃数より工具長が課題となってくる。くぼみに対しても課題が残り、細かい発泡模型の外観肌などの向上が今後の課題となる。

工具の試作結果						
	工具名	工具長	特徴	回転数	送り速度	結果
①	$\phi 30$ ラジアス	365	先端10枚刃	5300	9000	くぼみ減少するも0.2mm凹みあり
②	$\phi 30$ ラジアス	365	先端6枚刃	5300	9000	従来より増加傾向になり0.5mm凹みあり
③	$\phi 20$ ボール	365	先端8枚刃	7000	3500	フレが大きく寸法精度も1~2mm歪む
④	$\phi 20$ ボール	365	先端6枚刃	5300	3000	フレが大きく寸法精度も1~2mm歪む
⑤	$\phi 10$ ボール	260	先端8枚刃	7000	1500	フレが大きく寸法精度も1~2mm歪む
⑥	$\phi 10$ ボール	260	先端6枚刃	5300	1500	フレが大きく寸法精度も1~2mm歪む
⑦	C面用工具	410	角度30°	5300	2500	非常に綺麗なC面が出た。
⑧	C面用工具	410	角度25°	7000	2500	非常に綺麗なC面が出た。
⑨	$\phi 30$ フラット	365	先端刃有り	5300	4000	綺麗な平面出しが出来て精度も良好
⑩	$\phi 30$ フラット	365	先端刃無し	5300	4000	綺麗な平面出しが出来て精度も良好
⑪	フルバック	300		5000	10000	ビーズのむしられがまばらに見られた
⑫	フルバック	300		7000	10000	ビーズのむしられがまばらなく良好であった

表：1 試作工具の結果一覧

2 - ② 発泡模型から歪みの少ない塗型模型の作製

2-②-1 研究の目的及び目標

切削加工した発泡模型の強度向上を図る為と、発泡模型に溶湯が流れ込んだ時、焼付き防止をする為に塗料を塗布する。塗布した発泡模型の乾燥時には、速乾部位と遅乾部位の箇所があり、乾燥するスピードにバラツキが発生することによって発泡模型の変形に繋がる。変形を回避する為に、塗布する塗料の濃度、膜厚、乾燥炉温度と湿度の関係性を検証し、適正な乾燥条件（乾燥炉内の温度と湿度）を検討する。

担当：光洋鋳造株式会社

2-②-2 実験方法

i：乾燥炉内の温度と湿度の変化を記録を取り、日常作業においての変化を確認する。

また、乾燥炉内の場所により温度湿度の調査を行い、どのエリアが安定しているか確認をする。乾燥炉内を4つのエリア（A・B・C・D）に分けて2時間毎に計測を行う。

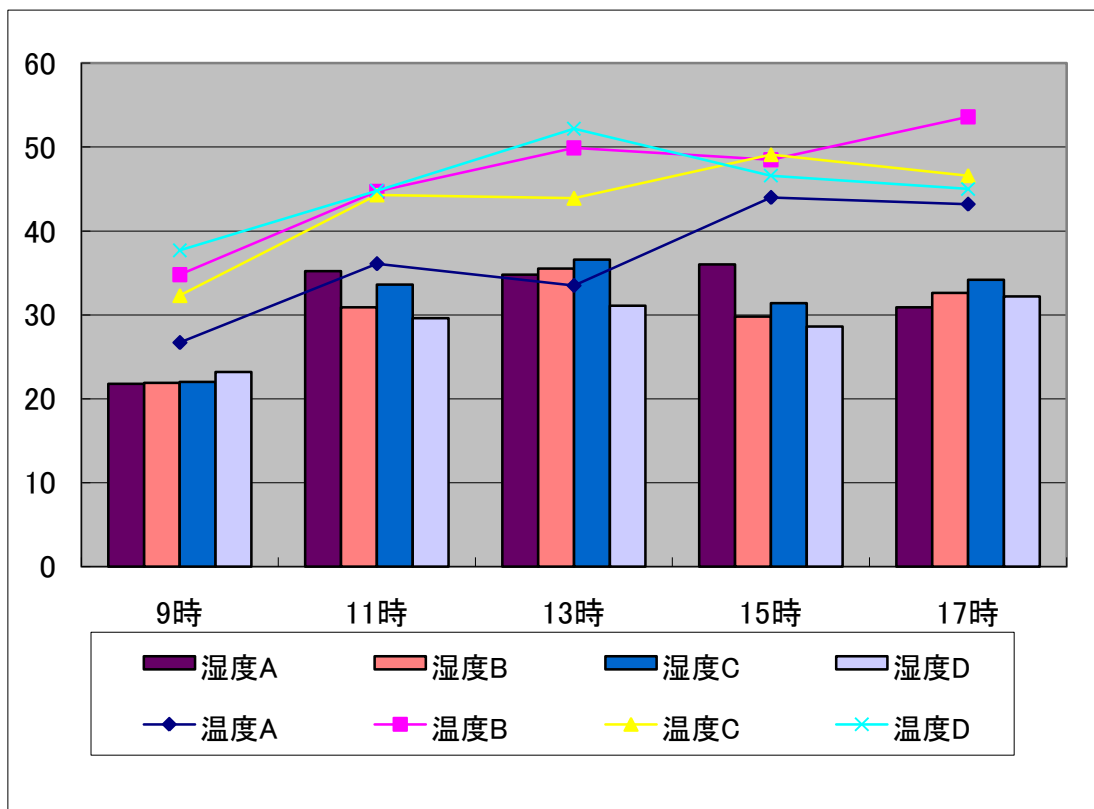
ii：扇風機の導入以前と導入後の乾燥時間を比較する。

iii：早く乾燥する個所と遅く乾燥する個所の差と要因を確認する。

iv：従来から焼付きを防止する為に塗料を2回に分けて塗料を塗るようにしている。1回目と2回目塗る際に、1回目を完全に乾燥させてから2回目を塗布する。濃度を65ボーメと設定し、一度塗り時の塗膜厚と2度塗りの塗膜厚を測りる。また、1度塗りの時の乾燥が完全に乾いてから2度目を塗った時に塗膜が分離したままか、塗料が融着し境目が無くなるのかを確認する。サンプル発泡板で1回目の塗型の塗布後乾燥したものに、2回目の塗料を塗布し、乾燥炉に入れてから10分毎に確認作業を行った。

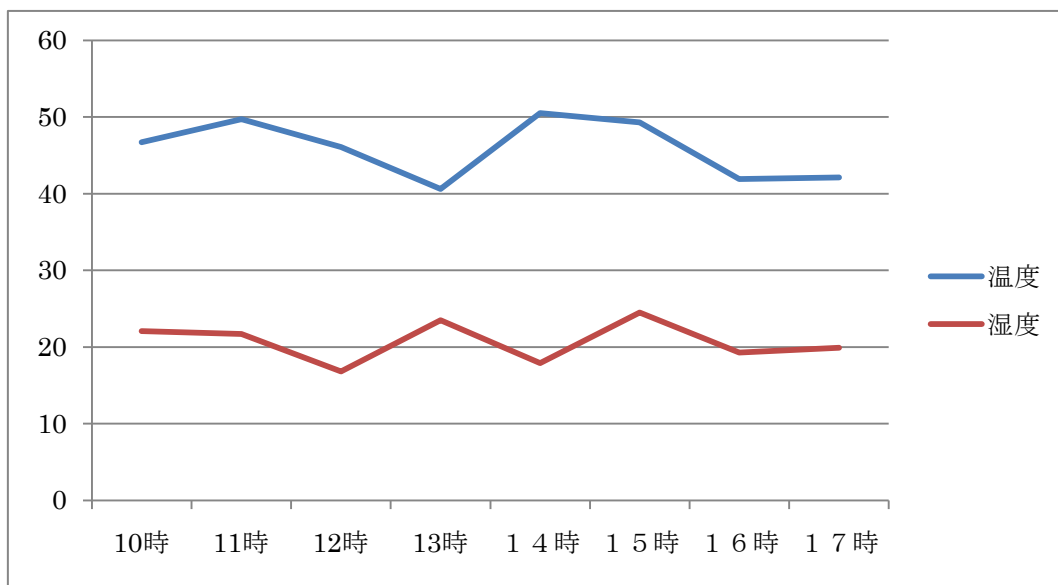
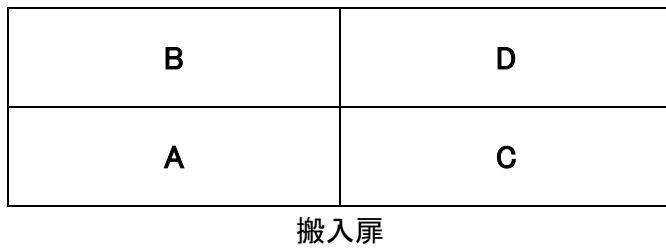
2-②-3 実施結果

i：乾燥炉内の温度と湿度の変動は、午前中は塗布完了後の発砲模型が出入りすることから温度が上昇し難い。また、それに伴い湿度も塗料を塗布してすぐにでは、水分が高く湿度が上昇してしまう。乾燥炉内のエリア別で温湿度を確認すると、搬入口付近が塗型製品が出入りすることからA・CとB・D比較すると最大10度近く差が生じており湿度も最大7～8%の差が生じてエリア毎でも乾燥条件が変わる。

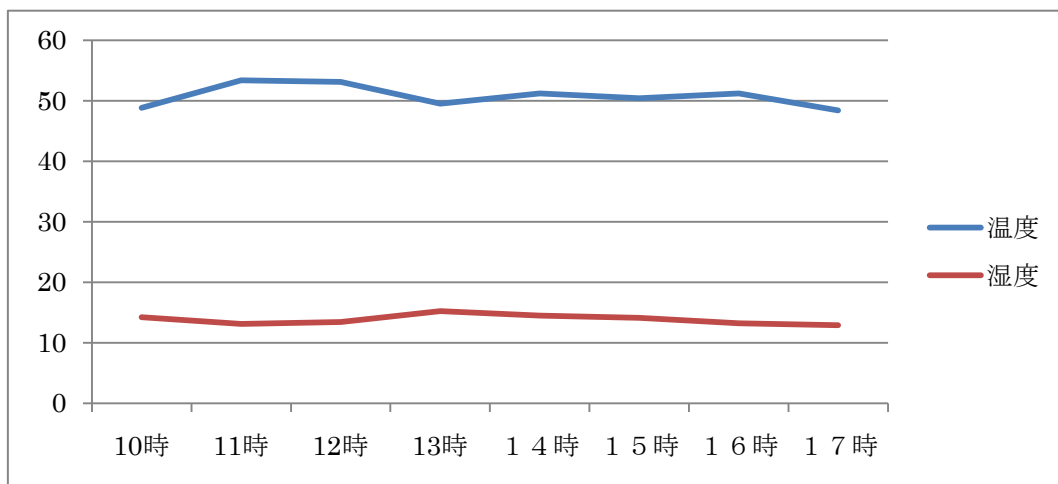


グラフ1：乾燥炉内エリア別 温度・湿度の変化

図 1： 乾燥炉内のエリア図



グラフ 2：1/30 乾燥炉内の温度と湿度（扇風機導入前）



グラフ 3：2/28 乾燥炉内の温度と湿度（扇風機導入後）

ii：扇風機の導入以前と導入後の結果、導入後は乾燥時間が従来と比べて約30%くらいの時間が短縮された。また、導入後は湿度が平均的に10～15%になったことから乾燥時間については、温度よりもむしろ湿度との関係性が強いことが分かった。

iii：模型形状にもよるが、乾燥する置き方により乾燥時間が変化することが解った。定盤のような単純構造の形状ない箇所は乾燥が早く1時間くらいで塗料の表面は乾燥している。しかし、複雑構造で凹み部の深さが深い場合は風の通りが悪く乾燥時間も非常に長くなる。また、複雑形状の箇所を重点的に乾燥させようとして、乾燥し難い箇所へ風が当たるように工夫しても、塗料後の模型の重みと熱によるで変形歪が生じた。

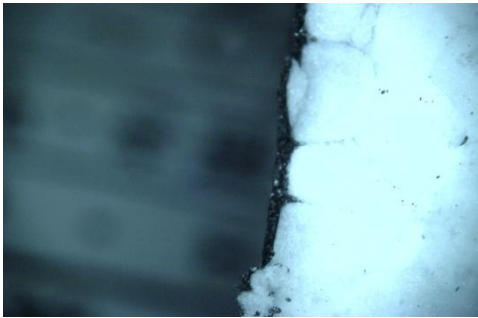
2度目・塗布作業終了後乾燥開始

	時間	温度(℃)	湿度(%)	1層	2層	合計	表面状態	塗膜
①	10分後	48.2	32.1	0.5	0.5	1	指跡残る	別
②	20分後	51.1	30.8	0.5	0.5	1	指跡残る	別
③	30分後	49.7	28.0			1	指に薄く付着	融着
④	40分後	50.3	29.9			0.9	付着なし	融着

表 2：2 回目塗布後の表面状態及び塗膜の融着について（濃度 65 ボーメ）



写真 7： サンプル発泡板 サイズ：600 x 300 x 35



破断面の拡大 塗料浸透確認

iv：1回目の塗型が完全に乾いてから2回目を塗布しても、1層目と2層目は最初に分離しているが、時間が経つにつれて融着していることがわかった。また、1層での塗膜厚は約0.5mmになっており、発泡サンプル板に対して塗膜は均一になっていた。

2-②-4 考察

従来に比べて、扇風機を導入することにより乾燥時間が非常に早くなった。それについては、温度が一定で変化せず、湿度が低くなっていたので、湿度が乾燥時間に影響を与えていることが解った。また、乾燥室内ではエリア毎で乾燥条件が変わるために製品の形状や凹み部の深さを考慮して乾燥エリアを選択する必要がある。

通常の塗布作業で塗膜厚が1.0～1.2くらいになる。塗膜が厚過ぎるとガスを逃す通気性が悪くなり、また薄過ぎても焼付きなどの不具合に繋がる。試作テストの傾向を見てると現状の設定である65ボーマが最適と思われる。表2の結果から塗料を塗る際には、1度塗りが完全に乾燥していても、その後1層目と2層目が融着し同化することから、1度目の塗布後の乾燥時間は完全に乾燥するまで時間を取る必要がなく、作業効率の向上することが解った。

塗布後の模型を乾燥させる条件として、乾燥炉内の温度が一定に保たれており、湿度が10～15%前後で安定しているほうが良い。また、塗布作業は1回目の表面の乾燥状態は、指に薄く着く程度で2層目の塗布作業を行っても鋳造後の製品には影響がないことが解った。製品形状によっては乾燥する部位に差が生じる為に、乾燥方法を工夫しなくてはならない。

2-③ 塗型模型乾燥時の歪防止の為に乾燥台の設計

2-③-1 研究の目的及び目標

乾燥時の塗布量による重力変形に対して、塗型模型は中心線に対してそりが生じ、そのため上型面に5mmの加工代をつけている。さらに発泡模型と乾燥台の接地表面が多いと塗型の接地箇所に焼き付きが生じ、塗料の剥離による塗型模型に不具合が発生している。これらの課題に対応するため、乾燥台の通気性を高め、接地面積を少なくすることで均一に乾燥できる乾燥台の設計を検討する。

担当：光洋鋳造株式会社

2-③-2 実験方法

i：乾燥台を角パイプの□45で作製していたのを丸パイプを採用し、従来の45mmの面で接触していたのを丸パイプを採用することで2～3mmの線で支えるようにする。

ii：塗型作業場の作業台の水平出しをして、塗料の塗布作業時に歪が発生しないようにす

る。

iii：乾燥台の高さを従来では 250 mmであったが 400 mmを採用し、下からの風通りを良くするように設計した。また、扇風機を地面に設置することで下からの風を人工的に送るようにする。

iv：2 回塗布し完全に乾燥した模型を三次元測定機にて測定し、歪の発生量を確認する。



写真 8：丸パイプによる設計



写真 9：塗型作業台の歪み



写真 10：塗型作業台の歪み除去作業



写真 11：乾燥炉内



写真 12：乾燥炉の温度と湿度を表示



写真 13：地面からの送風機



写真 14：天井からの送風機

2-③-3 実施結果

i：丸パイプ（写真 8 参照）を採用することで、接地面が従来の 10 分の 1 以下になった。それにより塗型の剥離や焼付きの不具合が非常に少なくなった。今回のテストした定盤では、サイズが台のほうが小さかった為に、1 回目にテストしたものは変形歪が生じていた。また、接地面が少なくなると重量が重たいものになると食い込みの不具合が発生した。

ii：塗型作業場の作業台が、歪んでいるように見えたので測定したところ、場所によっては 3～5mm 歪んでいたので修正作業を行った。

（写真 9・10 参照）

iii：乾燥台の高さを 250 mm から 400 mm に高くすることにより、風の通りが良くなり全体的に満遍なく乾燥をするようになった。

（写真 13・14 参照）

iv：塗型完了後の定盤にコードターゲットシールとレギュラータラゲットシールを貼り付けて、360 度方向から 2m 以上離れた位置より、ニコン TM-30 にて写真撮影を行った。写真データを XYZ（三次元測定解析ソフト）に取り込み、全 82 ヶ所の各レギュラータラゲットシールから交差を抽出した。最高基点と最低基点の二つの最大高差は 2.1379mm となった。

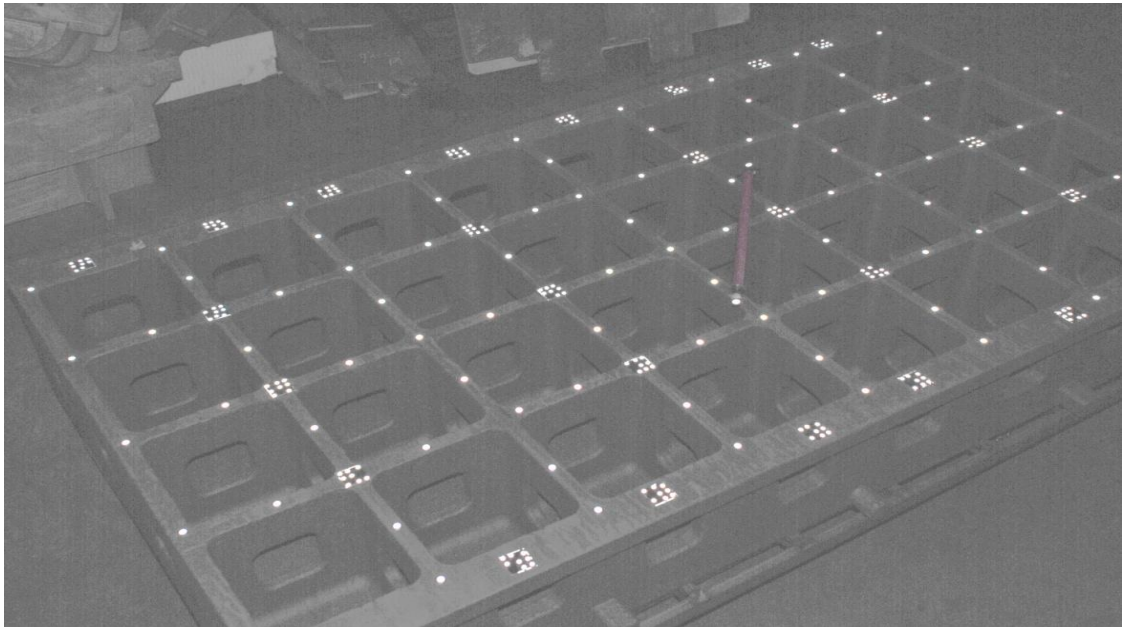


写真 15：三次元測定機による塗型模型の歪測定

2-③-4 考察

丸パイプを採用する事により、焼付きや塗型の剥離などの不具合は減少した。乾燥台に製品の接地面が少な過ぎると食い込みなどの問題が発生し、今後改善を図りたい。塗型後の製品を三次元測定器にて測定した結果、最大高差が 2.1379mm ということから、乾燥台が製品よりも小さい場合は、歪むが発生する可能性が高い。また、違う定盤を測定してみると、最大高差が 1.5mm というのもあり、塗型の段階での歪を今後 1mm 以下を目標にしてい。ただし、測定を行った塗型模型の測定面には塗型剤が 2 層に分けて塗布されており、多くの凹凸面となっている。なるべく段差を無くす為に測定前にサンドペーパーで測定面の凹凸を均した後に三次元測定を行った。

また、乾燥方法によっては塗型の自重で変形することがあるので、以下に変形を防止する事が出来るかを検討したい。

第三章 鋳型強度向上による残留応力歪防止

鋳型の強度を向上させることにより、変形歪みを回避する。

3-① 鋳型強度向上による歪防止と鋳鉄材質等による収縮率の検討

3-①-1 研究の目的及び目標

鋳型強度を上げれば歪の防止になるが、強度が強すぎれば鋳鉄の収縮率が変化してく

る。最適な鋳型強度を目指し、珪砂と人工球砂の混合比率、混合した砂を固める樹脂と硬化剤の配合比をテストピースにて検証し、理想的な配合データを導き、そのデータから実際の鋳型で生じる収縮率を求める。また、試作鋳造品の残留応力を鋳造CAEシステムにより解析し、模型形状での変形に対して捨て棧(部分的な強度補強)での補強対策を検討する。鋳鉄材質(FC・FCD 材質組織である黒鉛形状を確認の為、試料を自動研磨機により研磨し、デジタル携帯顕微鏡にて確認)による歪及び収縮率の関係性のデータを収集し、歪発生の少ない鋳型を検討する。

担当：光洋鋳造株式会社

3-①-2 実験方法

- i：φ50 の鋳型強度測定用のテストピースを作製して、珪砂と人工砂（エスパール）との配合比を7パターンとり各強度試験を行い確認をする。
- ii：伸び尺確認用サンプル板を鋳造して伸び尺の収縮率を確認する。メジャーは現寸のものを使用する。
- iii：サポイン用定盤を鋳造用 CAE システムを用いて解析を行い、実際の製品との歪み量を解析し整合性を確認し、補強用の捨て棧が必要か検討する。また、上型造型後模型の歪み量があるか測定を行い変形歪を確認する。
- iv：製品に実でテストピースを設置し、顕微鏡にて材質の確認を行う。

3-①-3 実施結果

i：砂の強度試験の結果、エスパールが100%の砂では樹脂量が0.8%の場合、従来の使用していた砂と比較すると鋳型強度は6%向上した。しかし、樹脂量1.2%では①の珪砂（古砂）の鋳型強度よりも⑦人工砂100%のほうが鋳型強度が低かった。各配合を試験して、パターン毎に表2にまとめた。

硬化剤量により、鋳型強度は約2倍と変化した。また、エスパールと珪砂との混合したものでは最大10%の向上が見られた。

フラン鋳型強度試験 24時間後の鋳型強度				
	砂の混合比率		硬化剤量	
	珪砂	エスパール	0.8%	1.2%
①	100	0	51	92
②	75	25	56	89
③	70	30	54	89
④	65	35	51	84
⑤	60	40	50	80
⑥	55	45	54	83
⑦	0	100	54	85

表3：24時間後の鋳型強度（単位：Kg/cm²）

ii：実際の鋳物の収縮率を調べるために②・③・④・⑤・⑥の混合比で鋳込みテストを行った。諸条件として樹脂量は 0.8% で造型後は 24 時間以上放置をして条件を同様にした。それにより、収縮率が弱冠変動はあるものの大きく寸法精度が変化したということもなかった。また、表 3 の結果より人工砂と珪砂の配合率により収縮率を調査した。収縮率は 1% ±0.2 くらいで従来の設定値である 10/1000 の伸び尺で対応可能であった。

表 4：人工砂と珪砂との配合と収縮率（硬化剤 0.8%）

iii：CAE 鋳造シミュレーション解析ソフト（JSCAST Ver. 9）を用いて変形量を解析した。図 1 の鋳造方案での解析では、定盤が製品の端から真ん中に掛けて弓なりに反っている解析結果が得られた。解析結果からは、約 0.9% の収縮が見られ収縮率の試験結果と見ていても、大きく変異がないことが解る。歪み量の測定値はおおよそ 2mm 前後でこの鋳造方案では問題がないことが伺えた。

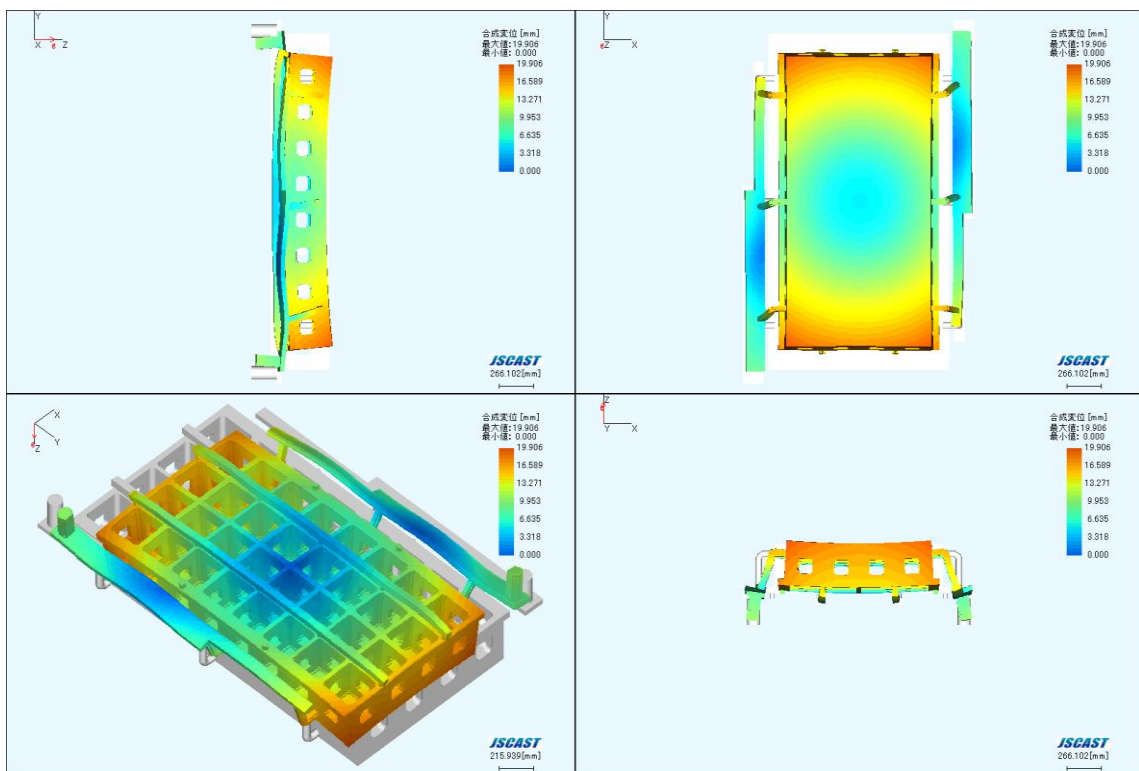


図 1：変形量（X 変位）

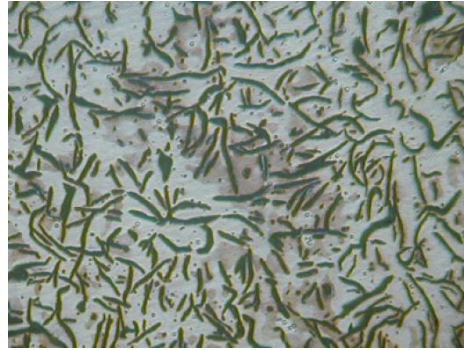
発泡模型の上型造型後の歪みを確認する為に今回アドバイザーである会社の製品で調査した。上型造型後、おおよそ 2 時間硬化させてから枠を反転し発砲模型の歪み量を測定した。造型後では端から真ん中に掛けて弓なりに約 2mm 歪みが発生し、また端 4 か所の内 1 ヶ所のみが 2mm ダレたような歪みがあった。

iv：試作サポイン用定盤に実体テストピース設置し FC と FCD の材質を確認した。自動試料研磨装置を活用し、携帯型デジタル顕微鏡にて組織を撮影し確認を行った。

(写真 17・18・19 参照)



写真 17：FC300 組織



(デジタルマイクロスコープ DG-3 にて撮影)

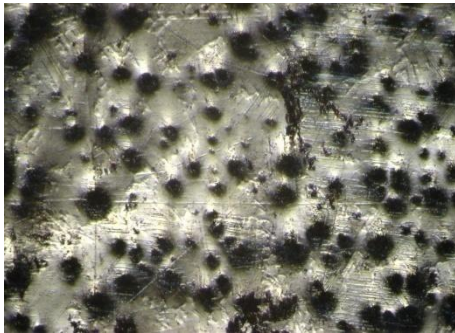
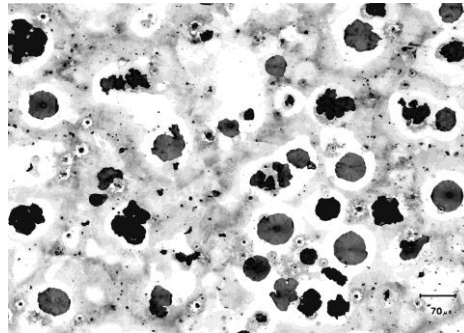


写真 18：FCD600 組織 バフ処理前



ナイトール処理



写真 19：自動試料研磨装置にて研磨作業



3-① - 4 考察

人工砂の比率について文献の調査やメーカーと打ち合わせをした結果、配合を多くすると人工砂特有の冷却作用が働き、製品に引け巣の不具合が多発するということが解った。

このことから、人工砂の配合は 30～35%前後が鋳型強度も比較的の高いことも踏まえて最適な数値と思われる。硬化剤量が 0.8%と 1.2%では鋳型強度にも大きく差があり、溶解後のバリシ作業時の砂の崩壊性を踏まえた作業効率と樹脂と硬化剤の使用量から発生する

コストを検討すると硬化剤 0.8%以下でも十分対応が可能ではないかと思われる。伸び尺テストでは、配合パターンから分析すると全体的に傾向はみられるもののどの配合でも大差はないように思われた。しかし、伸び尺テストした製品が板状のものであることから造型時に変形や凝固作用時に歪みが生じたものもあったことも考慮しなくてはならない。

収縮率など実験の結果から従来通りである 10/1000 の伸び尺が適当であることが解った。CAE（ casting シミュレーション JSCAST Ver. 9）において測定した結果から見ても収縮率が適当であることも伺えた。しかし、シミュレーションのパラメータの設定により様々結果が予想されることから、変形量の解析を継続して行い数値の決定を行いたい。また、造型後の変形についても懸念され、造型時の変形を詳しく分析していく必要があると思われる。

高尾金属工業㈱の製品では、発泡模型の塗型乾燥時に歪み検査をしているが、歪み検査方法は定盤に置いての端の接地面 4 点しか確認しておらず、中心地点に対して歪んでいるかの確認作業が出来ていなかったもので、検査方法の改善を行いたい。

鑄型強度については、人工砂と珪砂を混合することで硬度は向上することが確認出来た。しかし、人工砂が新砂であったことから、当社の古砂と粘着がうまくいっていなかったのか部分的に鑄型強度の弱い箇所が確認された。砂の混錬時に、人工砂の偏析であったり砂と樹脂、硬化剤が混錬不良によって鑄型強度不足ということも考えられる。

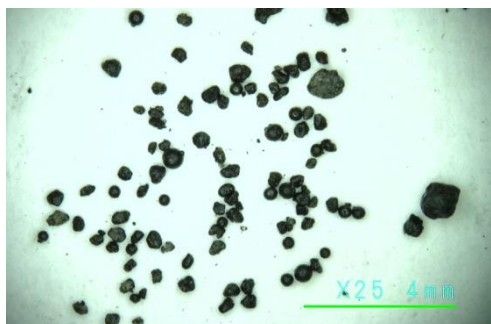


写真 20：珪砂と人工砂

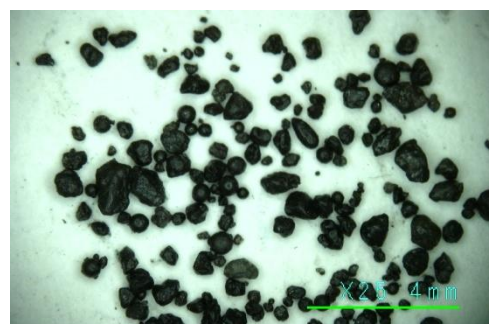


写真 21：珪砂と人工砂

第 4 章 鑄造方案によるカーボン残渣防止

4-① フルモールド鑄造法では、製品の角部分などに、未ガス化による発泡スチロールから発生するカーボン残渣が発生し易い箇所となる。そのため加工代を設け、その部分の切削加工により対応している。また、加工代内で不純物が取れない場合に、その原因をデジタル顕微鏡で観察し、不具合要因であるカーボン残渣、湯垢、または砂噛みに対応した、加工代を少なくする為の新しい鑄造方案を構築する。

4-①-1 及び 4-②-1 研究の目標及び目的 発泡模型から発生するカーボン残渣対策

塗型模型のガス化が行われずにカーボン残渣が発生する問題を防ぐ為、鋳型内での湯流れを CAE による湯はかせ・残渣逃がしの箇所の検討を行う。

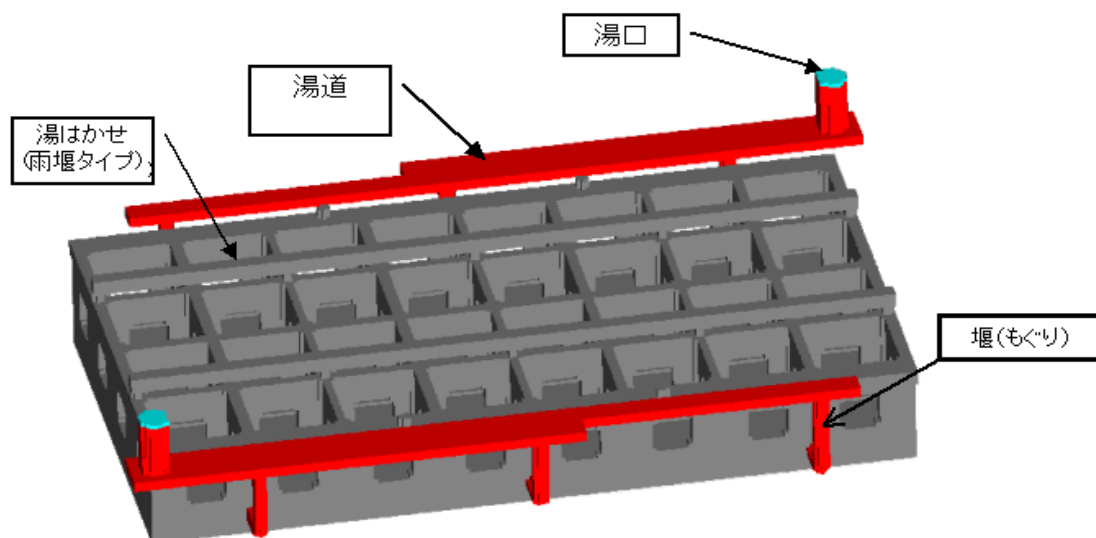
PS（ポリスチレン）と PMMA（ポリメチルメタクリレート）の混合発泡模型による最適鋳造方案の構築

鋳型内での残渣逃がし等の箇所の検討に加え、発泡材質についても検討が必要である。現在、発泡材質が PS の場合、カーボン残渣を無くす為には加工代を 5mm 以上必要としている。この加工代を少なくする対策として、発泡模型の下型面は PS を使用し、上面の残渣が出来やすい箇所に対してカーボン残渣発生が少ない PMMA を使用し残渣対策を行うことが有効な方法である。しかし、PMMA を使用すると溶湯ヘッドと発生するガス圧力との差によって湯の吹き返しが発生する問題が生じてくる。その問題に対応するため、湯口、湯道、堰などの比率を考慮した最適な鋳造方案を構築する。

担当：光洋鋳造株式会社

4-①-2 及び 4-②-2 実験方法

- i : CAE（鋳造シミュレーションソフト JSCAST Ver.9）にて鋳造方案時の湯流れ、温度境界線、未充填箇所、凝固形態、ヒートスポットの確認を行う。また、残渣発生箇所の予測を行い湯はかせの箇所を選定する。
- ii : 鋳造方案を 4 パターンに分けて注湯温度、鋳込み速度を確認し、実物の製品を機械加工時に残渣の発生量と箇所の確認を行う。
- iii : 鋳造方案テスト用定盤を鋳造後を機械加工をする。鋳造欠陥の確認を行うために、2mm 毎に切削し、残渣の深さ、歪み量、その他欠陥の有無の確認を行う。
- iv : PMMA のガス圧による逆流を防ぐ鋳造方案をパターン毎に湯口、堰の比率の確認を行う。
- v : 鋳込み速度を速める為に、溶湯圧に対してガス圧を素早く逃すガス抜きパイプを製品の上型面に設置し、製品から直接ガス抜きを行う。



鑄造方案の名称

4-①-3 及び 4-②-3 実施結果

i : 鑄造方案の解析結果を見てみると、湯流れ解析ではリブの交差点の温度低下、溶湯の充填し難い箇所などが可視化できるようになった。今までは、鑄型の中でどのような変化が起こっているのか想像でしかなかったが、様々な方向から解析を行うことで仮説をもとに鑄造方案の検討が行えるようになった。

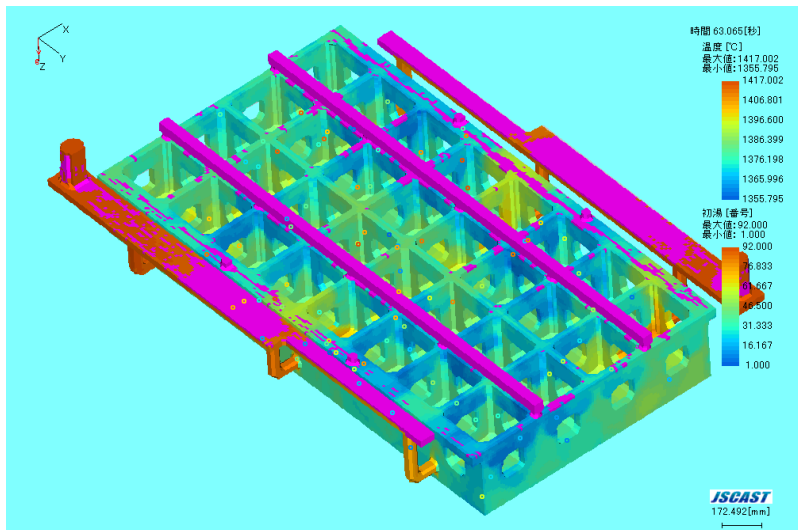


図 2 : 定盤の未充填箇所 (ピンク色表示箇所)

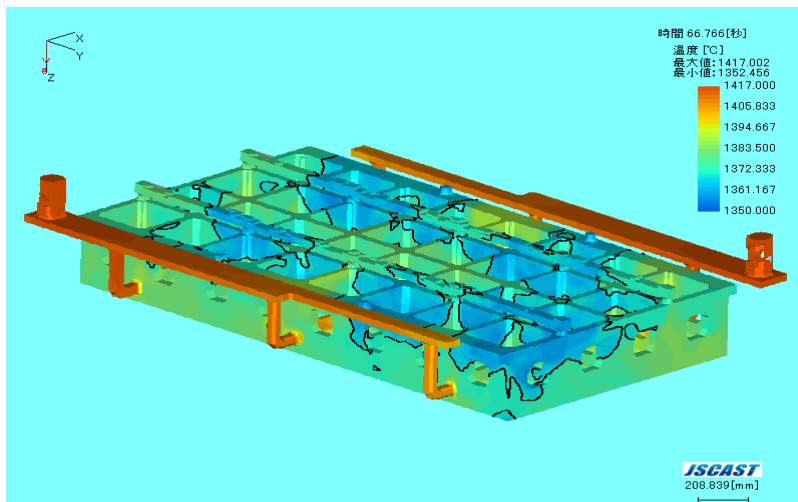


図 3 : 温度境界線 (青色が温度低下の早い箇所)

図 2 の未充填箇所を確認すると、フランジ部分に多く残っており、残渣の発生する要因があるものと考えられる。また、図 3 の温度境界線を確認すると、リブの交差するところと湯口から遠いところが温度低下が早いものと思われる。また、溶湯の流れる方向により発

泡スチロールの燃焼の仕方も変わってくる。そこで、フルモールド鋳造法とキャビティモールド鋳造法の溶湯の流れ方を確認してみた。図 4 はキャビティモールド鋳造法で、図 5 がフルモールド鋳造法になる。キャビティモールド鋳造法では、発泡が燃焼するガスが発生しないことから前方に進んで溶湯が広がるのか解る。それに比べて、フルモールド鋳造法は溶湯がガス圧に押されながら広がることから扇型に広がりを見せるようになっている。

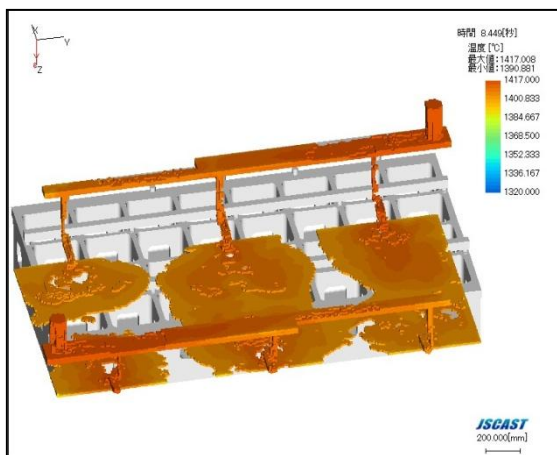


図 4：キャビティモールド鋳造法

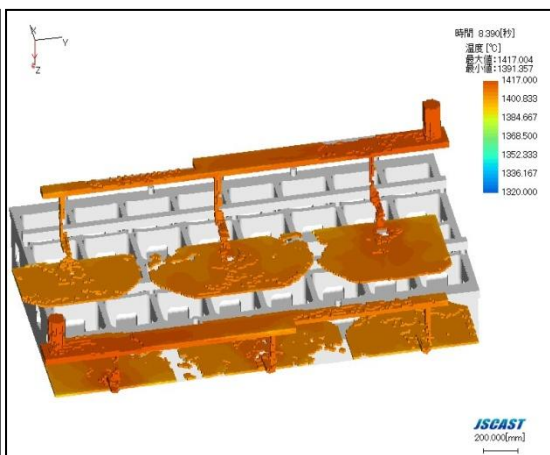


図 5：フルモールド鋳造法

残渣の発生要因として考えられるのは、製品の底から溶湯を押し上げていく場合は、製品の端が未ガス化して残渣となり残る。残渣は、発泡スチロールが完全燃焼せずに煤状のものが鋳鉄中に残留すると考えられる。

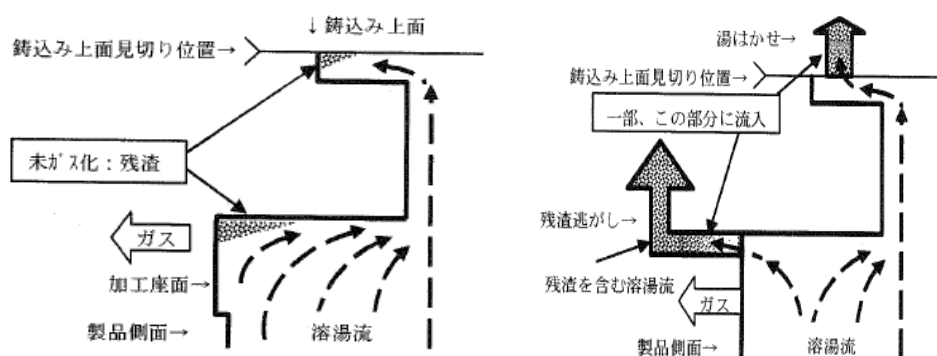


図 6：残渣発生箇所とその対策

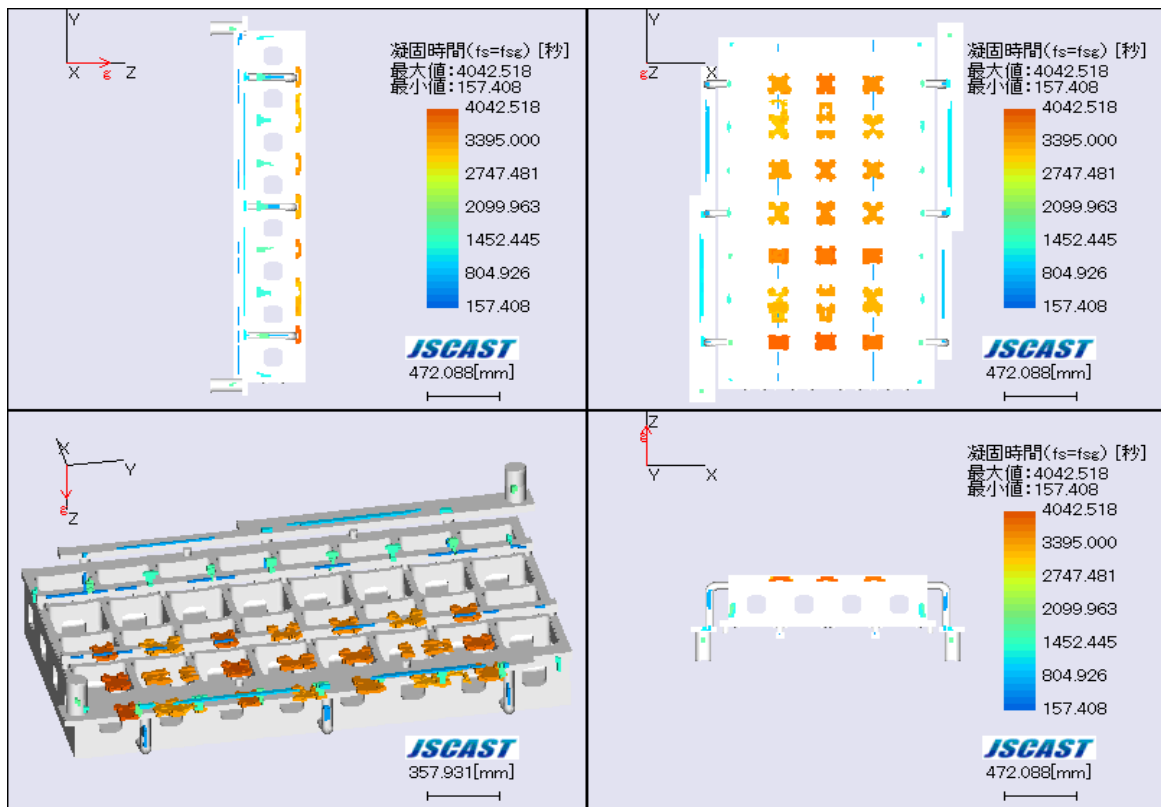


図 7：ヒートスポット

- ii： 鋳造方案の解析の結果から、3 パターンの鋳造方案により製品の試作を行った。
- iii： パターン毎に機械加工後の鋳造欠陥を確認する為に 2mm 毎に加工を行い最大 10 mm で加工完了とした。

◎鋳造方案のねらい及び結果

製品名：サポイン用定盤 製品重量：3300 k g

解枠作業：すべて注湯後 50 時間放置後

試作定盤①：鋳込み速度 約 50 k g /sec 鋳込み温度 1417℃

発泡素材 EPS (M3A) 100% 素材材質：FC300

結果：機械加工完了後 フランジ面 2 か所 (残渣 φ5 前後)

吹き返し なし

歪み：中心点が 2 mm ほど下がっていた。全体歪みの最大高差は 2.5 mm 程度で良好であった。

外観：良好。この 4 パターンテストした中では、一番綺麗だった。

鋳込み速度を上げる為に、湯口を 2 か所にして同時に溶湯を流し込むことにより、従来よりも早く鋳込む。湯口 1 ヶ所に対して湯道に φ50 のもぐり堰を 3 本づつ設置した。また、

ガス抜きを促進させる為に、製品から直接ガスを逃すためにガス抜きパイプを設置した。



写真 22：機械加工



写真 24：機械加工完了



写真 23：残渣発生（ $\phi 5\text{ mm}$ ）



写真 24：残渣（ $\phi 2\text{ mm}$ ）

試作定盤②： 鋳込み速度 約 25 kg/sec 鋳込み温度 1420°C

発泡素材 EPS (M3A) 70% PMMA (AX) 30% 素材材質：FC300

結果：機械完了後 フランジ面 2 か所 リブ 3 か所

内訳：残渣 3 か所 砂噛み 1 か所 その他 1 か所

吹き返し 有り

歪み：全体歪みの最大高差 1.5 mm 良好

外観：普通

湯口を 1 か所にし、溶湯の流れは下からの押し上げと上から溶湯を落とす雨堰方案を実施。溶湯の充填を促進させる。湯道から $\phi 50$ のもぐり堰を 3 本横からの鋳込み、上からは雨堰が入るようにする。

注湯時に吹き返しが発生し、鋳込み時間が遅くなった。

吹き返しが発生することにより塗型の飛ばされが発生した。



写真 25：定盤②

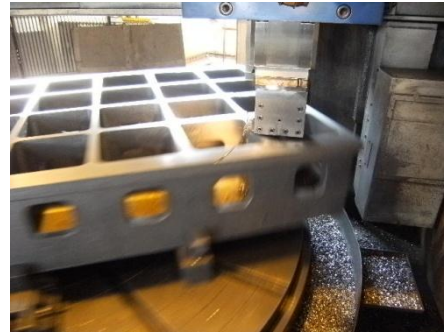


写真 26：ターニングにて加工中



写真 27：機械加工（4mm 加工）
加工完了後は無くなっていた



写真 28：砂噛み

試作定盤③：鑄込み速度 45Kg/sec 鑄込み温度 1392℃

発泡素材 EPS (M3A) 30% PMMA (AX) 70% 素材材質：FCD600

結果：機械加工完了後 フランジ面 5 か所 リブ 8 か所

内訳：残渣 5 か所 砂噛み 4 か所 その他 4 か所

吹き返し 多少あり

歪み：全体歪み量の最大高差 5mm

外観：非常に悪い

湯口は 1 ヶ所から注湯し、湯口径はφ120 を使用し鑄込み高さを従来より 300mm ほど高くした。湯道は下からの押し上げのφ50 のもぐり堰を直接湯道まで持っていく、湯口の断面堰を大きくする。

鑄込み速度は、パターン②と比較して約 1.8 倍程のスピードで入ったが、湯道のもぐり堰が定盤の真ん中から入っていることにより、湯の充填が悪く、鑄肌についてはその他の試作品に比べると一番汚く、リブの交差点と定盤の側面の残渣が非常に多かった。



写真 29：定盤③



写真 30：鑄肌不良



写真 31：砂の飛ばされ 加工完

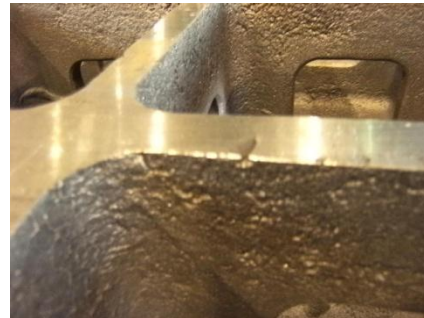


写真 32：塗型飛ばされ
4mm 加工時

パターン④：鑄込み速度 約 48 k g /sec 鑄込み温度 1386℃

発泡素材 PMMA (AX) 100% 素材材質：FCD700

結果：機械加工完了後 フランジ面 2 か所 リブ 4 か所

内訳：残渣 5 か所 砂噛み 1 か所

吹き返し なし

歪み：全体歪み量の最大高差 3.5mm

外観：若干悪い

鑄込み速度を上げる為に、湯口を 2 か所にして同時に溶湯を流し込むことにより、従来よりも早く鑄込む。湯口 1 ヶ所に対して湯道にφ50 のもぐり堰を 3 本づつ設置した。外観は綺麗で見た目も良かったが試作定盤①の FC 材と比較すると見劣りがあった。

当社では、いままでも材質が FC よりも FCD の場合は外観や残渣に関しては悪い傾向がある。それについては、溶湯から発生するスラグの問題なのか、または溶湯の粘性の問題があるのかは、現状では把握出来ていない。



写真 33：定盤④



写真 34：砂噛み



写真 26：ノロ噛み
4mm 加工時 10mm では無くなった



写真 27：フランジに残渣発生
10mm 加工時

品名	鑄込速度 Kg/sec	鑄込温度 ℃	発生箇所		不具合内容			外観 鑄肌
			フランジ	リブ	残渣	砂噛み	その他	
定盤①	50	1417	2	0	2	0	0	◎
定盤②	25	1420	2	3	3	1	1	○
定盤③	45	1392	5	8	4	4	4	×
定盤④	48	1350	2	4	5	1	0	△

表 6：鑄込み結果一覧

4-①-4 及び 4-②-4 考察

フルモールド鑄造法での定盤を鑄鉄材質と発泡材質と鑄造方案にわけて、4 パターンで試作した。結果は、材質 FC の試作定盤①が良好であった。残渣の発生状況を確認すると、解析結果で出たようにフランジとリブの交差点が一番問題の発生することが解った。湯はかせの形状も試作時は雨堰タイプのものを採用したが、リブの交差点を重点的に対処したほうが効果が見られたかもしれない。

鑄肌に関しては、鑄込み速度が重要になってくるので、鑄込み速度を上げる方案の検討

を引き続き調査しなくてはならない。また、堰をかためておいてしまうと充填速度が遅くなり、製品の铸肌にも影響がある可能性があることが解った。PMMA の吹き返しが発生する要因として、铸込み速度が遅く、PMMA から発生するガス圧に負けてしまう。雨堰や押し上げなど湯道が分散した場合にも発生する。また、湯道が製品とストレートの場合も発生することが解った。

铸造方案については、まだ課題が多く残渣レスを目指して引き続き調査を行っていききたい。

第5章 全体統括

5-① 成果の統括

本プロジェクト事業では、铸铁製プレス金型の铸造歪み抑制による加工代低減を目標に研究開発をしてきた。サポイン用試作定盤では、発砲模型から铸造品を作製する上で、歪量が一部 5mm 前後のがあったものの全体的に 2~3mm と歪量を低減することが出来た。

まず、発砲模型の高精度化を目指した。模型精度は全長の長さや高さは問題がなかった。全長 2500mm に対して铸造後の製品は 2500 ± 2 だったことから、発砲模型の精度は高く寸法精度については満足のいく結果が得られた。

塗型模型の乾燥方法では研究開発前と比べると、扇風機を導入することにより乾燥時間が非常に早くなった。塗型模型の最適乾燥方法は温度が一定で変化せずに、湿度が 10~15% 以下であることが解った。しかし、乾燥室内ではエリア毎で乾燥条件が変わるために製品の形状や凹み部の深さを考慮して乾燥エリアを選択する必要がある。また、製品形状によっては乾燥する部位に差が生じる為に、乾燥方法を工夫しなくてはならない。

塗膜が厚過ぎるとガスを逃す通気性が悪くなり、また薄過ぎても焼付きなどの不具合に繋がる。試作テストの傾向を確認すると現状の設定である 65 ボーメが最適であった。

人工砂の比率について文献の調査やメーカーと打ち合わせをした結果、配合を多くすると人工砂特有の冷却作用が働き、製品に引け巣の不具合が多発するということが解った。

このことから、人工砂の配合は 30~35% 前後が铸型強度も比較的の高いことも踏まえて最適な数値であった。硬化剤量が 0.8% と 1.2% では铸型強度にも大きく差があり、溶解後のバリシ作業時の砂の崩壊性を踏まえた作業効率と樹脂と硬化剤の使用量から発生するコストを検討すると硬化剤 0.8% 以下でも十分対応が可能と思う。伸び尺テストでは、配合パターンから分析すると全体的に傾向はみられるもののどの配合でも問題がないと思われた。

しかし、伸び尺テストした製品が板状のものであることから造型時に変形や凝固作用時に歪みが生じたものもあったことも考慮しなくてはならない。

収縮率など実験の結果から従来通りである 10/1000 の伸び尺が適当であることが解った。CAE (铸造シミュレーション JSCAST Ver. 9) において測定した結果から見ても収縮率が

適当であることも伺えた。

フルモールド鋳造法での定盤を鋳鉄材質と発泡材質と鋳造方案にわけて、4パターンで試作した。残渣の発生状況を確認すると、解析結果で出たようにフランジとリブの交差点が一番問題の発生することが解った。湯はかせの形状も試作時は雨堰タイプのものを採用したが、リブの交差点を重点的に対処したほうが効果が見られたかもしれない。

鋳肌に関しては、鋳込み速度が重要になってくるので、鋳込み速度を上げる方案の検討を引き続き調査しなくてはならない。また、もぐり堰の設置箇所をかためておいてしまうと充填速度が遅くなり、製品の鋳肌にも影響がある可能性があることが解った。PMMA の吹き返しが発生する要因として、鋳込み速度が遅く、PMMA から発生するガス圧に負けてしまう。雨堰や押し上げなど湯道が分散した場合にも発生する。また、湯道が製品とストレートの場合も発生することが解った。

5-② 研究開発後の課題・事業化展開

5-②-1 技術課題

発砲模型の機械加工による精度向上では、 $\phi 10$ と $\phi 20$ の加工時に全長が長かった為に、切削負荷により工具が振れて、精度、切削面共に課題が残った。工具は $\phi 30$ と比べると $\phi 10 \cdot \phi 20$ のように細くなると刃数より工具長が課題となってくる。くぼみに対しても課題残り、細かい発泡模型の外観肌などの改善が今後の課題となる。

変形量の鋳造解析シミュレーションは鋳型強度などのパラメータの設定により様々結果が予想されることから、変形量の解析を継続して行い数値の決定を行いたい。

また、造型後の変形についても懸念され、造型時の変形を詳しく調査していく必要があると思われる。

鋳造方案では、発泡スチロールの残渣が全体的に残り、鋳造解析シミュレーションを行い鋳造方案の研究開発が引き続き行いたい。

問題点は、まだ残るものの発泡模型から鋳造後の定盤については、歪み量は2~3mm以内に収める成果を上げることが出来た。しかし、実際のプレス用金型においては複雑構造の製品が多く、依然課題が残る。

5-②-2 事業化展開

上記した技術的課題解決と併せて、事業化へのアプローチとして、

- ・本研究開発技術成果を実製品に適用する為、アドバイザーである高尾金属工業株式会社に協力をして頂き解決を行う。
- ・本研究開発技術が確立した際には、鋳鉄製プレス金型を採用される企業にPRを行い、鋳造歪みを抑制した加工代の低減した商品の販売を進める。