

平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「真球人工砂を用いた高流動低温造型プロセスの開発」

研究開発成果等報告書

平成22年 3月

委託者 東北経済産業局
委託先 社団法人日本鑄造協会

目 次

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1-2 研究体制 (研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

1-3 成果概要

1-4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

最終章 全体総括

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

(1) 研究開発の背景

近年の素形材産業は国際競争により、軽量薄肉化やコストの削減、及び環境負荷低減の実現に迫られている。例えば、天然珪砂の破碎減耗による地球資源への負荷増加や、これらが産廃物化した後の投棄は環境破壊問題となっている。造型法別に見ると、生型造型法では歩留まり率の低さが高生産性への足枷となっており、有機自硬性鋳型は鋳型の硬化に要する時間が生産性を妨げている。国際社会で生き残る為には、天然珪砂ではなく人工砂を上手く取り入れて、なお且つ地球環境や歩留まりの問題に対処する必要がある。つまり、高生産性を実現しながらも健全で高付加価値な鋳物を提供し続ける事が可能な鋳型プロセスの開発が、必要不可欠である。そこで本研究の具体的目標と目標値は下記のとおりである。

(2) 研究の目的及び目標

1) 我が国で開発され、製造されているセラミック系の人工砂は、市場で広がりつつある。この砂は真球状に近い形状を有するため、表面積が小さく転がり流動充填性が良い。また、天然珪砂より摩耗破碎しにくいため、リサイクル性に優れている。

しかし従来のセラミック系の人工砂は、アルミナ系成分が主成分のため、優れた低膨張性を有するものの、鋳型の熱伝導性が悪いという欠点を有する。本開発プロセスの第一の目的は、優れた低熱膨張性を有し、かつ熱伝導性の良い人工砂の選定又は開発とする。

2) 従来の生型造型及び有機自硬性プロセスは全て湿式のプロセスであり、たとえ真球状の人工砂であっても、粘結剤混練砂を木型に詰めるために、前者は機械的な振動や圧力、後者は手動による圧縮が必要である。本開発プロセスは乾式のプロセスであるため、木型等に詰める際は、流し込みと簡単な振動又は加圧空気との混合によるブロー充填で十分であり、設備的にも生型造型機に比べて簡便に済み、また自硬性の手込めに比べると充填のための人員や時間が大幅に削減できる。本開発プロセスの目的は、充填方法の研究により、鋳型の充填性が良く、歩留まりや、作業環境の良い鋳型造型プロセスを完成させることにある。さらに、60℃以下の低温での造型を研究することで、型の歪みや砂の膨張・収縮を最小限にすることを目的とする。

3) 以上により①低膨張性かつ高熱伝導性の真球状人工砂を用い、造型方法（造型機）では②高流動性（高充填性）と低温造型を両立させることで、究極の寸法精度の鋳型が実現でき、高付加価値な薄肉軽量かつ高寸法精度の鋳物を完成させることができる。

本プロセスは、高生産性を実現しながら自動車や工作機械及び産業機械業界へ健全で高付加価値な鋳物を提供すると共に、地球環境に対する配慮も組み込んだ国際競争力のある鋳型造型プロセスとして新たに構築する。

そこで本研究の具体的目標と目標値は下記のとおりである。

目標	目標値
【1】真球人工砂の流し込み高流動充填造型プロセスの開発	人工砂の球形度：0.8以上(球の理論表面積/実表面積)であること
	1000℃時の熱膨張率：0.3%以下
	鋳型の熱伝導率 0.4 W/m・K以上
	振動加速度：0.5～3G 振動数：25～100Hz
	摩耗破碎率：0.5%以下
	鋳型充填率：60%以上 (粒度指数 60±3の砂)
	樹脂被覆砂の水分：0.5%以下
【2】高流動低温造型瞬時硬化プロセスへの開発	レジン添加量：1.5%以下
	造型温度：40～60℃
	鋳型抗圧強度：100N/cm ² 以上
	発煙のリンゲルマン濃度：0
	臭気のホルムアルデヒド濃度：3ppm以下
	樹脂被覆砂の保存期間：1ヶ月以上
	砂の回収率：99.5%以上
	FC：押し湯無し FCD：押し湯 50%減(対生型比) ガス欠陥：50%減(対生型比)
【3】高流動低温造型プロセス用の造型機の開発	鋳型寸法精度：±0.1%以内 (100cm×100cmの型)
	造型時間：1分以内 (100cm×100cmの型)
	本造型機のコスト：1000万以内 (100cm×100cmの型)

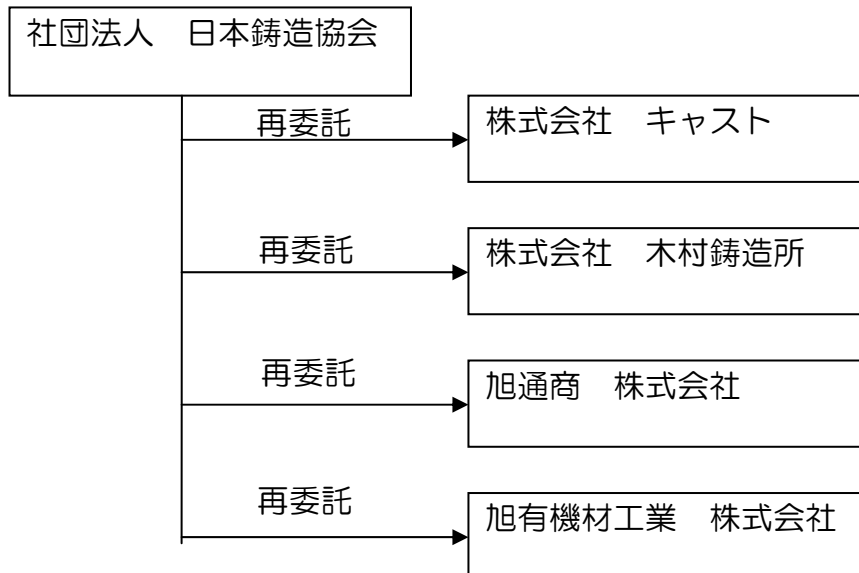
1-2 研究体制

(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

2. 研究体制

(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)
所属：株式会社 キャスト
役職：技術顧問
氏名：富沢 達

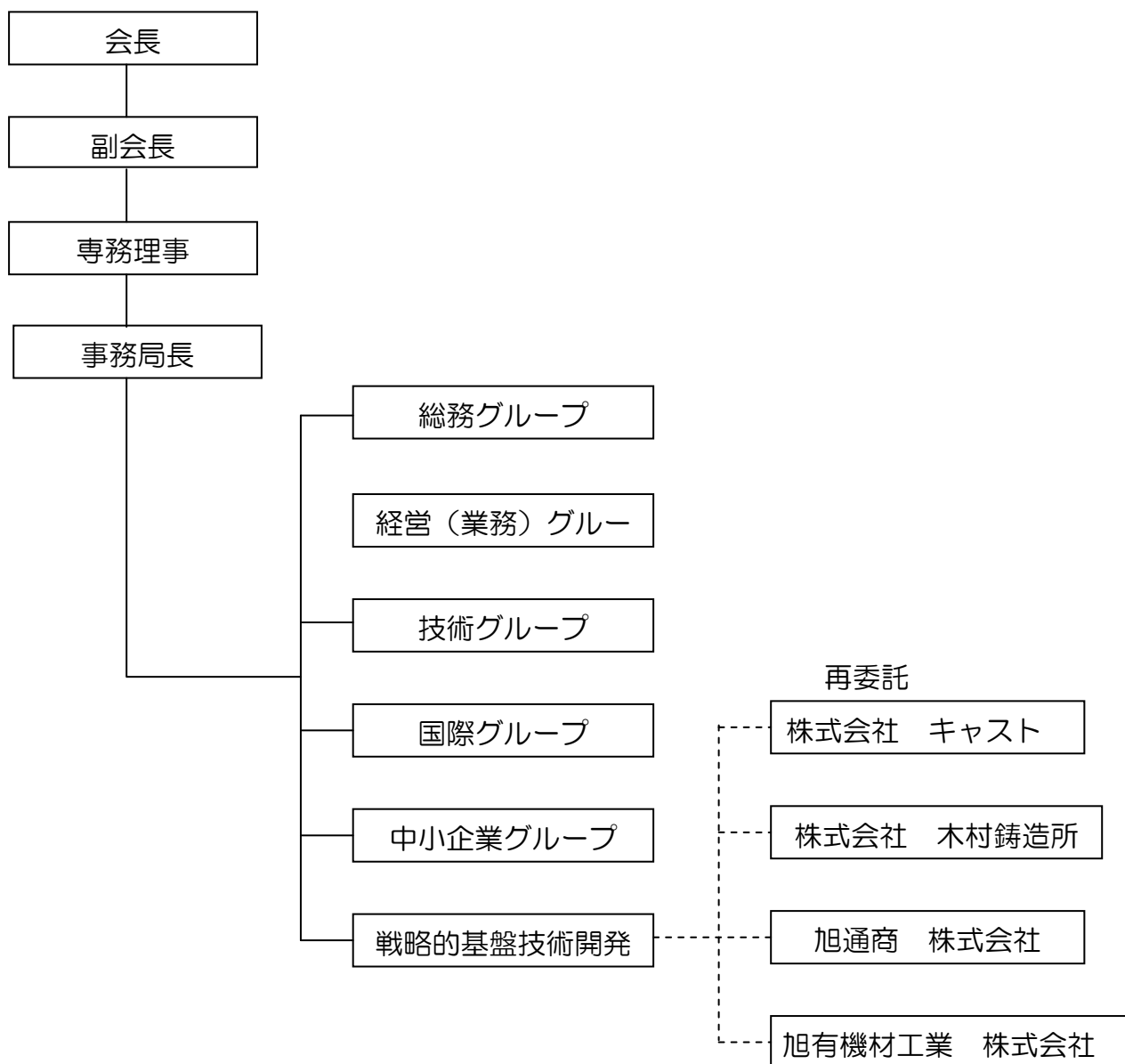
総括研究代表者代理(PL 代理)
所属：株式会社 キャスト
役職：取締役工場長
氏名：堀 滋

副総括研究代表者 (SL)
所属：旭有機材工業 株式会社
役職：主事
氏名：小川 文幸

2) 管理体制

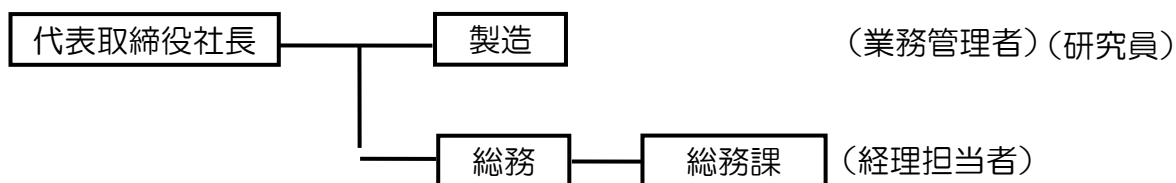
①事業管理者

[社団法人 日本鑄造協会]

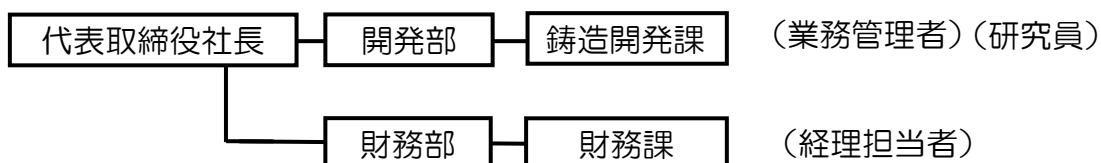


②（再委託先）

株式会社 キャスト



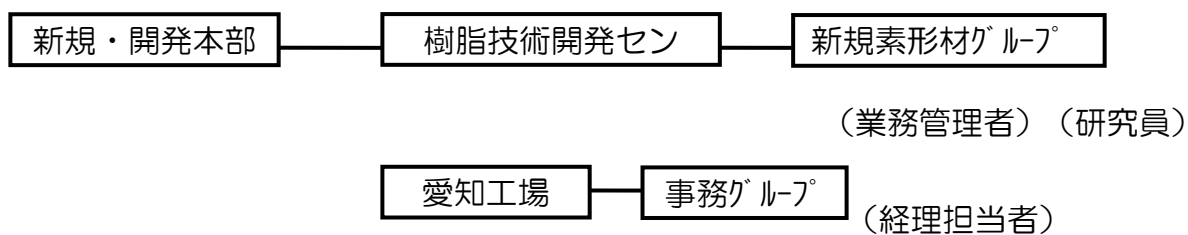
株式会社 木村鋳造所



旭通商 株式会社



旭有機材工業 株式会社



(2) 管理員及び研究員

【事業管理者】社団法人 日本鋳造協会

①管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
竹田 功	戦略的基盤技術開発室	⑥プロジェクトの管理・運営

深井 知子	グループリーダー 戦略的基盤技術開発室 担当	⑩ プロジェクトの管理・運営
翁川 良一	総務グループ グループリーダー	⑩ プロジェクトの管理・運営

【再委託先】 ※研究員のみ

株式会社 キャスト

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
富沢 達	技術顧問	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨ ⑩⑪⑫⑬⑭⑮
堀 滋	取締役工場長	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨ ⑩⑪⑫⑬⑭⑮
天王沢 勝太郎	技術部 部長	②④⑥⑦⑧⑩⑪⑫⑬
田中 栄	技術部 品質管理課 課長	②④⑥⑦⑧⑩⑪⑫⑬
本柳 秀敏	技術部 品質管理課	②④⑥⑦⑧⑩⑪⑫⑬
穂積弘樹	製造部 生産管理課 係長	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨ ⑩⑪⑫⑬⑭⑮

株式会社 木村鋳造所

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
福田葉椰	開発部 部長	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨ ⑩⑪⑫⑬⑭⑮
福尾太志	開発部 鋳造開発課 係長	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨ ⑩⑪
林 健一	開発部 鋳造開発課	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨ ⑩⑪⑫⑬⑭⑮
森 雄一郎	開発部 鋳造開発課	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨ ⑩⑪

旭通商 株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
高田吉晴	代表取締役社長	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨ ⑩⑪⑫⑬⑭⑮
塩田健策	専務取締役	①②③④⑤⑥⑦⑧⑩ ⑪⑫⑬⑭⑮
大脇昌則	営業部員	①②③④⑤⑥⑦⑧⑩ ⑪⑫⑬⑭⑮

旭有機材工業 株式会社

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
小川文幸	新規・開発本部 樹脂技術開発センター 新規素形材グループ 主事	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨ ⑩⑪⑫⑬⑭⑮
池田拓也	新規・開発本部 樹脂技術開発センター 新規素形材グループ	①②③④⑤⑥⑦⑧⑨ ⑩⑪⑫⑬⑭⑮

(3) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理者)

社団法人日本鑄造協会

(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 キャスト

(経理担当者) 総務部 部長 浅野 秀男
(業務管理者) 総務部 部長 浅野 秀男

株式会社 木村鑄造所

(経理担当者) 財務部 財務課長 田辺 顕一
(業務管理者) 財務部 財務課長 田辺 顕一

旭通商 株式会社

(経理担当者) 代表取締役社長 高田 吉晴
(業務管理者) 代表取締役社長 高田 吉晴

旭有機材工業 株式会社

(経理担当者) 事務グループ 主査 柳田昌彦
(業務管理者) 新規・開発本部 樹脂技術開発センター センター長 長田光巨

(4) 他からの指導・協力者名及び指導・協力事項

1) 研究推進会議(委員会名簿)メンバー

企業	所属・役職	氏名
株式会社キャスト	技術顧問	富沢 達 (PL)
株式会社キャスト	取締役工場長	堀 滋 (PL代理)
旭有機材工業株式会社	新規・開発本部 主事	小川 文幸 (SL)
株式会社木村鑄造所	開発部 部長	福田 葉椰
旭通商株式会社	代表取締役社長	高田 吉晴
学校法人早稲田大学	教授	中江 秀雄 (アドバイザー)
アイシン高丘株式会社	工法開発グループ 専門職	長松軒 慎一 (アドバイザー)
社団法人日本鑄造協会	戦略的基盤技術開発室 グループリーダー	竹田 功

1-3 成果概要

【1】真球人工砂の流し込み高流動充填造型プロセスの開発

目標値を満たす人工砂を選定し、かつ樹脂やRCSの改良により強度が大幅に向上したのでレジン量の目標値：1.5%以下を大幅に超える0.75%を達成した。

また混練時のダマが1%以下となり、目標値3%以下を達成した。さらにプレヒート機での砂の予熱によって、流動性や充填性が向上した。

選定した人工砂Cは熱伝導度が高いため、肉厚鋳物のひけ欠陥は減少できるが、薄肉鋳物については、湯回り性を考慮し、鋳物の形状に応じて適した人工砂を選定する必要がある。

【2】高流動低温造型瞬時硬化プロセスの開発

低温で瞬時硬化に適した粘結剤と複数のガス吹き込みプロセスを開発して、選定した人工砂を適用することで、充填率が向上し、強度が目標値の5倍と大幅に上回った。また砂再生率も目標値：99.5%以上を達成した。さらにガス発生量も生型の1/2の結果が得られた。

事業化の課題としては、大型の鋳型に関しホルムアルデヒド捕捉装置が必要となる。

【3】高流動低温造型プロセス用造型機の開発

プレヒート装置・ガッシング装置・各種ガス発生装置を組み合わせた造型機を製作した。ガスシミュレーションによって最適なベント数や配置を決定し、50×55cmの鋳型で1分造型が可能となった。なお、100×100cmの鋳型造型も可能となったが、造型機の型締め力が弱くガスもれが発生し、造型時間1分以内の目標は達成できなかった。しかし、理論上は達成の目途がついた。1分造型の本プロセスで鋳造した鋳物（FCD）は、生型に対して押し湯半減という目標がほぼ達成された。

また、100×100cmの鋳型に対応し、コストが1000万円/台以内の造型機を開発・設計した。

また、主型造型用と同じ砂を使って、自動車エンジン用のシリンダーヘッド中子を追加試作した結果、90℃以下で1分以内で造型可能であることを確認した。

また、造型プロセスの特許を取得するために特許出願書を作成中（2010年4月出願予定）。

1-4 当該プロジェクト連絡窓口

社団法人 社団法人日本鋳造協会 戦略的基盤技術開発室 竹田 功
電話番号：03-6430-6511、FAX:03-6684-6757 E-mail:takeda@foundry.jp

第2章 本論

【1】真球人工砂の流し込み高流動充填造型プロセスの開発

- ・簡単な振動で容易に充填する真球人工砂の選定、及びこれを使った造型方法の開発

① 真球人工砂の基礎研究（最適な真球人工砂の選定又は開発）

- ・真球人工砂の球形度、粒度分布、組成、性能に関し、簡単な振動で充填する骨材を選定又は開発する。

i. 研究内容（平成19年及び20年に実施）

人工砂の性能を調査し、肉厚の鋳物においてひけ欠陥の出ない真球人工砂を選定又は開発する。

現在市販されている人工砂の製法について表1に示す。

表1. 人工砂の製法

人工砂の製法	説明
焼結法	原料を球状に造粒したのち、焼成により作製する。
溶融法	原料を溶融させ、溶融物にエアを吹きつけて作製する。
火炎溶融法	キャリアガスに分散させた原料を燃料ガスとの燃焼によって溶融、球状化を行なう。

ii. 研究成果

(P) 人工砂の選定又は開発

天然珪砂と各種人工砂の性能を比較した。表2に示す。

表2. 天然珪砂と各種人工砂の性能比較

		目標値	天然珪砂	人工砂A	人工砂B	人工砂C
化学成分 (%)	SiO ₂	—	99.8	37.0	33.6	13.3
	AL ₂ O ₃	—	0.04	60.3	58.9	76.3
球形度		0.8以上	0.67	0.74	0.78	0.89
PH		—	7.1	7.2	10.4	7.5
かさ密度 (g/ml)		—	1.43	1.57	1.79	2.1
真比重		—	2.65	2.78	2.84	3.37
熱伝導度(w/M・K)		0.4以上	0.62	0.40	0.32	0.60
熱膨張率 (%)		0.3以下	1.70	0.09	0.08	0.20

結果として、球形度、熱伝導度、熱膨張率の目標値を達成した人工砂Cを選定した。特に人工砂Cは他の人工砂に比べて、熱伝導が良いため鋳物のひけ欠陥に対し有効と考える。

(I) 鋳型性能

選定した人工砂Cと天然珪砂に対し、鋳型を製造して評価した（表3）。

表3. 本開発プロセス鑄型と生型、フラン型の性能比較

	骨材種類	粘結剤量 (%)	鑄型	
			抗圧力 (N/cm ²)	充填密度 (g/cm ³)
フラン型	人工砂C	0.7	127~196	1.65~1.77
	天然珪砂	1.0	101~152	1.39~1.46
生型	人工砂C	6.0	13.9	1.73
	天然珪砂	10.0	17.0	1.45
本プロセス	人工砂C	0.75	195	2.04

本開発プロセスは、同じ人工砂で比べても、抗圧力がフランと同等で充填密度は15%程度高い。

iii. 事業化や課題等

選定した人工砂Cは熱伝導度が高いため、溶湯の凝固が速く厚肉鑄物のヒケ欠陥は減少できると考えられる。しかし薄肉鑄物については溶湯の凝固が速いため湯回り性に劣る可能性がある。従って鑄物の形状に応じて、適した人工砂を選定する必要がある。

② 最適な混練ミキサー及び混練方法の探索と評価

- ・真球人工砂に対して最適な樹脂被覆が実現出来るような混練ミキサーを探索し、なおかつ最高鑄型強度が得られるような混練方法を見出す。

i. 研究内容（平成19年に実施）

- ・実験室ミキサー（10kg）で、混練ダマ量を減らす検討を行なった。
- ・旭有機材愛知工場の現場（500kg）ミキサーでの混練テストを行なった。

ii. 研究成果

試験結果を表4に示します。

- ・レジン量を1.5から0.75%に減らすことで、ダマ量が目標の1%以下となった。
- ・レジン量が0.75%でも目標強度の約2倍の強度を示した。
- ・現場ミキサー（500kgミキサー）でも、同じ性能が出せることが判明した。

表4. 実験室ミキサーと現場ミキサーの性能比較

ミキサー容量	10kg		500kg	
骨材種	人工砂C			
レジン量 (%/砂)	1.5	0.75	1.5	0.75
ダマ量 (%/砂)	2	0.5	多	少
抗圧強度 (N/cm ²)	267	182	318	195
充填密度 (g/cm ³)	2.05	2.07	1.94	2.04
充填率 (%)	60.7	61.4	57.6	60.5

iii. 事業化や課題等

- (7) 選定した人工砂Cの混練に関しては、旭有機材の3工場（広島、愛知、栃木）にある500kgミキサーで実施し、各客先にRCS（レジンコーテッドサンド）を販売し、本開発プロセスの普及を図る。
- (1) 100kg以上の大型の鋳型の製造を希望する客先には混練設備の導入に協力し、本開発プロセスのレジン販売し、本開発プロセスの普及を図る。

③ 真球人工砂の表面処理の基礎研究（表面観察）と応用

- 表面平滑度の高い真球人工砂への樹脂被覆後の樹脂剥離に関し、それを防止するための砂の表面処理方法を開発する。例えば、樹脂と砂の接着性を向上するためのカップリング剤の検討等。

i. 研究内容（平成19年に実施）

従来の樹脂は、滑剤を添加しても、流動性が改善できなかった。
新たに開発した樹脂に関し、滑剤の添加を検討した。

ii. 研究成果

新たに開発した樹脂にシェルモールド法で使用される滑剤を添加すると、強度や充填性が大幅に向上する結果となった（表5）。

表5. 新規開発品と従来品の性能比較

樹脂	従来品		新規開発品	
	人工砂 A	←	←	←
砂種	人工砂 A	←	←	←
レジン量 (%/砂)	1.5	←	←	←
滑剤	無し	有り	無し	有り
流動性	×	×	△	○
抗压強度(N/cm ²)	70	65	188	274
充填率 (%)	55.3	55.4	55.6	61.3

※TP 造型条件：インチ角金型 100℃×1分、各種ガス通気

※真球人工砂選定前であったので、人工砂 A を使用した。

- 新規開発樹脂使用RCSは滑材添加により表面状態が改善されたと考えられる。

iii. 事業化や課題等

<事業化と課題>

滑材添加によりRCSの性能が大幅に向上したので、実用化に近づいたと思われる。旭有機材工業の各工場で開催し、客先への販売を進め本プロセスの普及を図る。

④ 砂加熱用プレヒート機の実験と評価(水分の低減による充填性の向上)

- 樹脂被覆砂中の水分は、0.5%以上存在すると流動性を悪化させる。樹脂被覆砂を予め60℃程度に予熱することで、砂中の水分を半減し、流動性を向上させる。

i. 研究内容

砂加熱用プレヒート機を用いて、本開発RCSの予熱（60℃）の実験を行なった。

ii. 研究成果

プレヒートの温度を上げることにより、強度や充填性の向上が見られた（表6）。

表6. RCSプレヒートの効果確認

骨材	人工砂C			
レジン種	新規開発品			
レジン量(%/砂)	1.0	←	←	←
プレヒート温度(°C)	常温	40	60	80
抗压強度(N/cm ²)	179	181	196	186
充填率(%)	58.6	59.9	60.4	60.6
水分(%)	0.12	0.12	0.08	0.06

※TP 造型条件：インチ角金型100°C×1分、各種ガス通気

- ・プレヒートによりRCS中の水分の低下が見られた。その結果充填率が向上し、強度が向上したと考えられる。

iii. 事業化や課題等

プレヒート装置はシェルモールド分野で既に旭有機材工業が事業化しており、本プロセスにも適用し、RCS及びプレヒート装置の各客先への販売を進め普及を図る。

⑤ まとめ及び現場への応用対策

- ・以上の成果をまとめ、以下のプロセスへ応用展開する。

i. 研究内容

①から⑤の内容をまとめ、平成19年度の成果報告書として提出した。

平成19年度のまとめの会議を期末に集中して実施した。

まとめた結果を元に、本開発造型プロセスに応用展開した。

平成20年度以降、真球人工砂は選定した人工砂Cを用いた。

ii. 研究成果

- ・まとめ

目標値	成果
人工砂の球形度：0.8以上であること	球形度：0.89
1000°Cの熱膨張率0.3%以下	熱膨張率：0.2%
鋳型の熱伝導率0.4W/m/k以上	熱伝導度：0.6
振動加速度：0.5~3G 振動数：25~100HZ	振動充填法からブロー充填法に変更 (振動による騒音無し)
磨耗破砕率：0.5%以下	砂再生率：99.7%
鋳型充填率：60%以上 粒度指数60±3の砂	鋳型充填率：63%
樹脂被覆砂の水分：0.5%以下	樹脂被覆砂の水分：0.08% (RCS60°Cプレヒート時)

iii. 事業化や課題等

※詳細は①から④の各項目に記載

【2】高流動低温造型瞬時硬化プロセスの開発

- ・高流動性を有し、かつ低温(60°C以下)で瞬時(1分以内)に造型可能なプロセスを開

発する。

⑥粘結剤の基礎研究

- ・樹脂の構造を研究し、低温で瞬時に硬化する粘結剤を開発する。

i. 研究内容

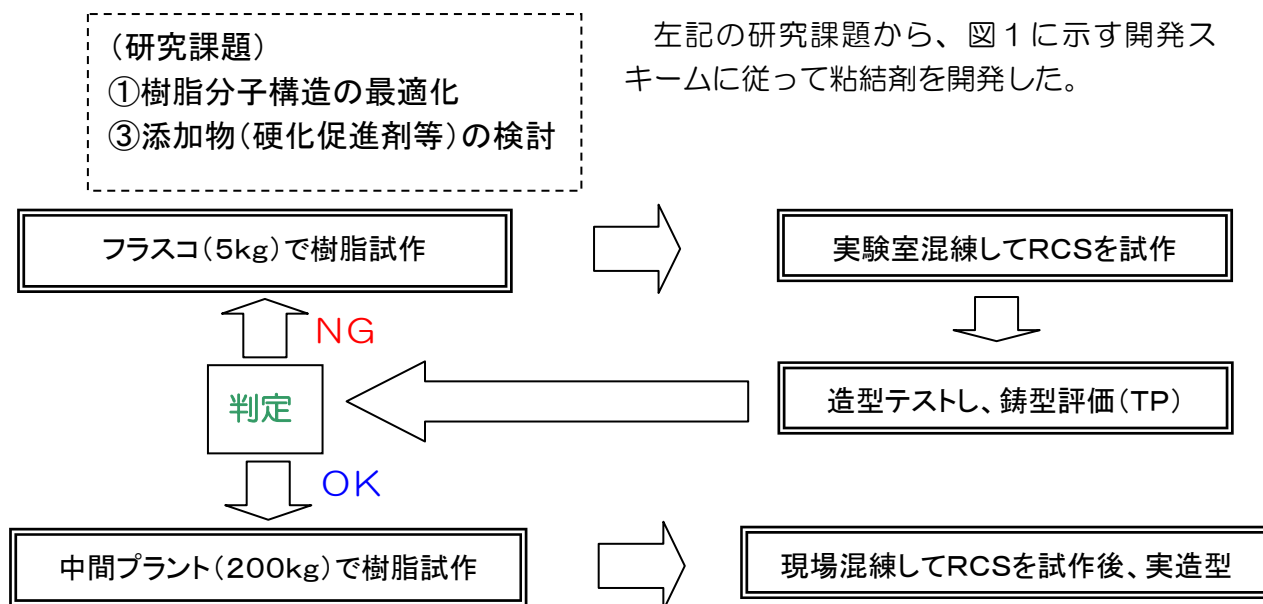


図1. 樹脂開発スキーム

ii. 研究成果

粘結剤開発の研究成果とその課題は下記表7の通りです。

表7. 粘結剤開発の研究成果及び課題

検討項目	目的	研究成果	課題
①樹脂構造の最適化	強度向上 レジン量低減	強度が向上し、樹脂量 0.75%でも抗圧力 600N/cm ² で目標達成	硬化性向上
②添加物(硬化促進剤) の検討	硬化性向上	100℃以下で1分以内に硬化 可能	表面硬度 向上

※上記はそれぞれ単独の結果で有るが、各項目の組み合わせの中での最適化を計った結果、本プロセス用の樹脂が完成した。

iii. 事業化や課題等

粘結剤については、旭有機材工業の中間プラント(200kg)で製造可能であることを確認した(5回以上試作し安定製造しており規格も制定可能)。今後の課題として、現場の大型プラント(1~3t)で、さらに製造確認する必要がある。

⑦各種ガス吹き込み硬化造型プロセスの基礎研究

- ・鑄型内への樹脂被覆砂の充填を完了させた後、各種ガスの吹き込みによって低温で瞬時に硬化させる造型方法の開発。

i. 研究内容

1 種類のガスのみではなく、数種類のガスを吹き込むことで、低温で瞬時に硬化するプロセスを開発する。

ii. 研究成果

本開発プロセスの硬化造型性能を表8に示す。

表8. 従来プロセス（シェルモールド法）と新規開発プロセスの比較

	単位	シェルモールド法	本開発プロセス	
砂種	—	天然珪砂	天然珪砂	
レジン種	—	従来品	新規開発品	
レジン添加量	%	1.5	1.5	
ガス吹き込み		無し	1種類	数種類
金型温度	℃	250	100	100
冷間抗圧強度	N/cm ²	800以上	造型不可	600以上
充填率	%	60%	—	60%

※本開発プロセスは数種類のガスを吹き込むことで、1分以内の造型が可能となった。

iii. 事業化や課題等

<事業化>

- ・数種類のガスを流して造型する本プロセス用の造型機に関し、造型機メーカーと共同で設計・開発した。
- ・客先ごとに鋳物の大きさ等の要望が異なるため、客先の要望に応じた装置を製造・販売し、本プロセスの普及を図る。

<課題>

- ・客先の要望に応じて、既存の装置の改良で対応するための簡易装置を設計・開発する必要がある。

⑧ 真球人工砂の流し込み高流動充填造型プロセスとの適合性検討

- ・高流動低温造型瞬時硬化プロセスと、流し込み高流動充填造型プロセスとの適合性を検討する。鋳型が高充填性を有し、かつ低温で瞬時に造型できる鋳型プロセスを完成させる。

i. 研究内容

流し込み高流動充填造型プロセスで選定した人工砂Cを高流動低温造型プロセスに適用した。

ii. 研究成果

本開発プロセスの人工砂Cでの鋳型性能等を表9に示す。

表9. 人工砂C適用の本開発プロセスの性能

	単位	本開発プロセス	
		天然珪砂	人工砂C
砂種	—	天然珪砂	人工砂C
レジン種	—	新規開発品	新規開発品
レジン添加量	%	1.5	0.75
金型温度	℃	100	100
冷間抗圧強度	N/cm ²	600以上	600以上
充填率	%	60%	63%
RCS安息角	°	23	19

- ・人工砂Cを適用することで、樹脂量を50%以下に減らすことができた。また充填率が向上し、安息角も低くなった。

iii. 事業化や課題等

鋳物に応じて要求する人工砂の特性が異なるため、その都度最適な人工砂を選定する必要がある。

⑨ 最適な乾式再生装置の探索と評価

- ・使用後の回収砂において、最高回収率が得られる再生装置を既存の乾式再生装置の中から探索・評価し、必要であれば改良・改造する。

i. 研究内容

再生機としては、(株)大洋マシナリー製の2パターンシャイナー（型式2PS-22）を用いた。

装置の機構は、砂と砂の摩擦により砂表面の異物を剥離する再生部と、吹き込みブローの力により砂の粒度調整をおこなう流動セパレータ部より成る。

以下の条件で実験を行なった。

- ・再生処理能力：0.7～1.5t/H、
- ・再生時間：30sec, 90sec, 150sec, 180sec, 210sec

ii. 研究成果

マイクロスコープの観察結果から30秒再生しただけでも、元砂と比較すると付着樹脂の量が少なくなっていることが分かった。再生砂の特性を表10に示す。

表 10. 再生砂の特性

	強熱減量(%)	水分(%)	PH	酸消費量(ml/50g)
元砂	0.48	0.06	10.1	12.2
30sec	0.29	0.03	10.0	7.3
90sec	0.22	0.02	10.0	6.2
150sec	0.18	0.02	10.0	5.3
180sec	0.16	0.02	9.9	4.8
210sec	0.15	0.02	9.9	4.5

- (ア) 30秒の再生で酸消費量が大幅に下がった。(株)木村鑄造製造所の経験上酸消費量が 10をきると十分再生されていると考えている。
- (イ) 再生前後の粒度分布を求め、集塵によるダスト分を考慮して計算により再生率を求めた。その結果、砂再生率は 99.7%となり、目標としていた 99.5%以上を達成することができた。
- (ウ) 30秒の再生での鑄型の性能を調査した。元砂に比べ再生砂を使用した R C Sの樹脂量は若干増加させる必要があるが、鑄型強度は十分な性能を示した。

iii. 事業化や課題等

<事業化>

- ・再生に関しては、太平洋駐機の 2パターンシャイナー等の研磨再生機で実施する。
- ・再生条件等は、再生時の樹脂添加量が最小になるように客先別で詰める。
- ・鑄物に応じて各客先が要望する人工砂の単独再生を基本とする。
(主型と中子をワンサンドでループさせる。)

<課題>

再生時のイグロス量を減らすために、焙焼での再生を検討する必要がある。

⑩ 本プロセス鑄型使用時の鑄物の歩留まり率とガス欠陥発生率評価

- ・完成した本プロセスを使用した鑄型を用いて作製した鑄物の歩留まり率とガス欠陥の発生率を評価する。必要であれば、再度プロセスを見直す。

i. 研究内容

現在の鑄物はガス欠陥の発生率が低く定量化が難しい。そこで生型と本開発プロセスの粘結剤被覆砂のガス発生量で評価した。

ii. 研究成果

水色の線が大手部品メーカーが実生産している生型で、黄色の線がシェル（樹脂量 2.0%）、赤の線が樹脂量 0.8%のインチ角 TP、紫の線が樹脂量 0.8%の

インチ角 TP、青の線が実機で造型したピストン型（樹脂量0.8%）から切り出した TP の1000℃のガス発生量を図2に示す。

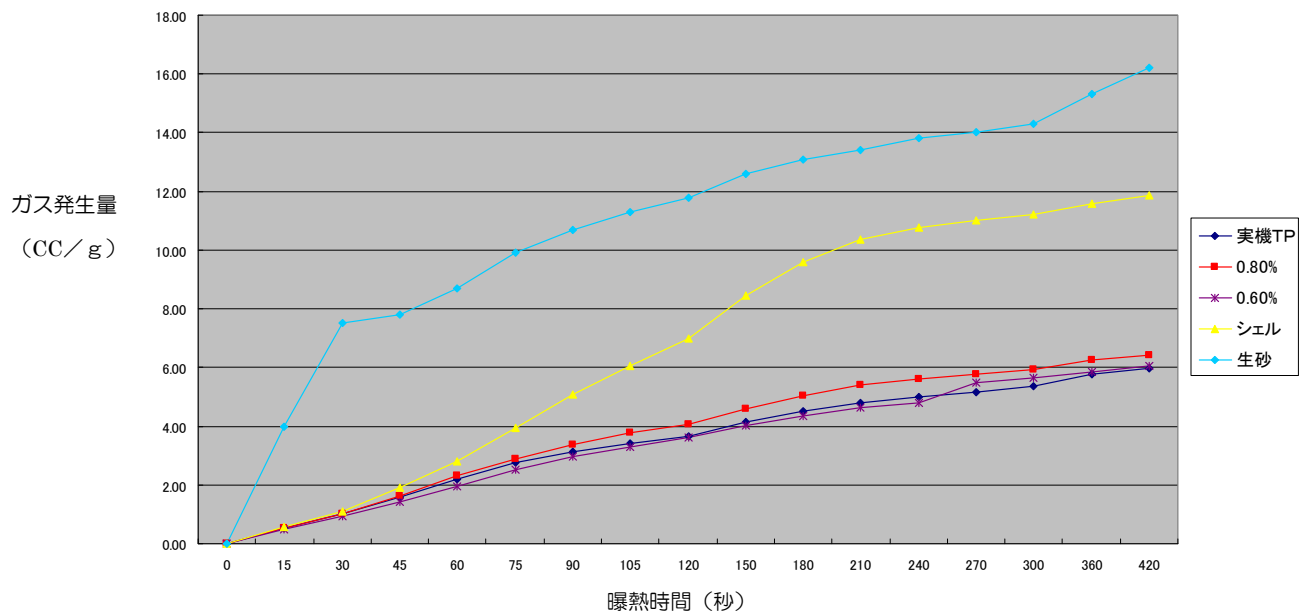


図2. ガス発生量測定結果 (1000℃)

(ア) 生型に対し、初期30秒、最終7分でも、本開発プロセス品は1/2のガス発生量となった。

(イ) 実機から切り出した TP（樹脂量0.8%）のガス発生量が実験室 TP（樹脂量0.6%）にガス発生量が近似しているのは、実機 TP の方が実験室 TP よりも十分乾燥しているためと考えられる。

iii. 事業化や課題等

実際の客先での量産テストにより、ガス欠陥との相関を取る必要がある。

選定した人工砂Cは比重が重いため、必要に応じて比重の軽い人工砂を選定する必要がある。

⑩ まとめ及び現場への応用対策

⑥から⑩の成果をまとめ現場への応用展開を図る。

i. 研究内容

⑥から⑩の内容をまとめ、平成20年度の成果報告書として提出した。

また平成21年度の成果報告書にも一部まとめる予定。

平成20年度及び平成21年度にまとめの会議を期末に集中して実施した。

まとめた結果を元に、本開発造型プロセスに応用展開した。

ii. 研究成果

- ・高流動低温造型プロセスの開発のまとめ

目標値	成果
レジン添加量：1.5%以下	0.6~0.8%
造型温度：40~60℃	造型温度：50~90℃
鋳型抗圧強度：100N/cm ² 以上	600N/cm ²
発煙のリンゲルマン濃度 0	発煙量 0
臭気のホルムアルデヒド濃度：3ppm以下	ホルムアルデヒド濃度：1ppm以下 (50×55cmの鋳型)
樹脂被覆砂の保存期間：1ヶ月以上	1ヶ月以上(11月時点)
砂の回収率：99.5%以上	99.7%
FC：押し湯無し	FC：薄肉鋳物のみ*
FCD：押し湯50%（対生型比）	FCD：押し湯50%減
ガス欠陥：50%減（対生型比）	ガス発生量で代替 ガス発生量：50%以下（対生型比）

※凝固シミュレーションで対応し、鋳物形状により押し湯無しは可能

iii. 事業化や課題等

詳細は⑥から⑩の各項目に記載

【3】高流動低温造型プロセス用の造型機の開発

- ・本プロセスの実造型機を設計・開発する。

⑫ 高流動低温造型プロセス用造型機の製作（下記付帯装置とセット）

- ・下記の各種の装置を組み合わせて実造型機を設計・製作する。

⑫-1 各種ガス吹き込み造型用の型の製作と実験評価

- ・各種ガスが通気しやすい型の設計・製作と改良を繰り返し、最適な型の条件を見出す。

i. 研究内容

- ・1~2年目は、型に対するベントの種類と数を検討した。
- ・3年目は、ガスシュミレーションを実施し、型に対するベントの大きさや位置等を研究した。

ii. 研究成果

ガスシュミレーションによって、最適なガスベントの大きさや位置が決定し、100×100cmのピストン6個取りの鋳型（100~250kg）の造型や造型時間短縮が可能となった。

- ・ガッシング装置により2~3種類のガスを通気して硬化させる。
- ・金枠と鋳型を型から抜型して造型終了。

iii. 事業化や課題等

ガスシュミレーションによって、最適なベント数や配置が短時間で決定できる。型に関しては、今回のガスシュミレーションを実施した型メーカー等に協力して頂いて、本造型プロセスの普及を図る。

⑫-2 造型用振動テーブルの探索と評価（固有振動数のテスト等）

- ・ 鑄型の最密充填を実現する最適な振動加速度及び振動数を探索し、容易に型の隅々まで充填する振動テーブルを設計・開発及び改良する。

i. 研究内容

本造型プロセスはさらさらの乾燥砂のためにブロー充填が可能であり、鑄型の最密充填に適している。また振動による騒音も無い。よって、振動テーブル充填方式からブロー充填方式に変更した。

ii. 研究成果

ブロー充填により、シェルモールド法と同等以上の鑄型充填率を示した。特に人工砂Cを用いると最大で鑄型充填率63%を達成し目標値を達成した。

iii. 事業化や課題等

今回の造型機（試験機）に対応できる100kg以下の主型や中子ではブロー造型が適しているが、100kgを越す鑄型は簡易型の振動機が必要と考えられる。

⑫-3 鑄型造型機の製作と評価

- ・ 各種ガス発生装置等を装備した実造型機を設計・開発する。

i. 研究内容

- ・ 造型機メーカーと共同で、本開発プロセス用の造型機を設計・開発し、造型機（試験機）を作製した。
- ・ 今回の造型機（試験機）を設計・開発・製造した造型機メーカーに、造型機に関する要望や改良点を提出・協議して、100×100cmに対応した造型機を共同で設計・開発した。

ii. 研究成果

- (P) 図3に製作した造型機（試験機）の概要を示す。
- ・ RCSはサンドタンクに供給される。
 - ・ バケットエレベーターを経て、RCSプレヒート機に供給される。
 - ・ プレヒート機によりRCSを40～80℃に暖める。
 - ・ 次いでコアシューターで金枠を置いた型にブロー充填する。
 - ・ 金枠を置いた型を右側のガッシング装置に送る。

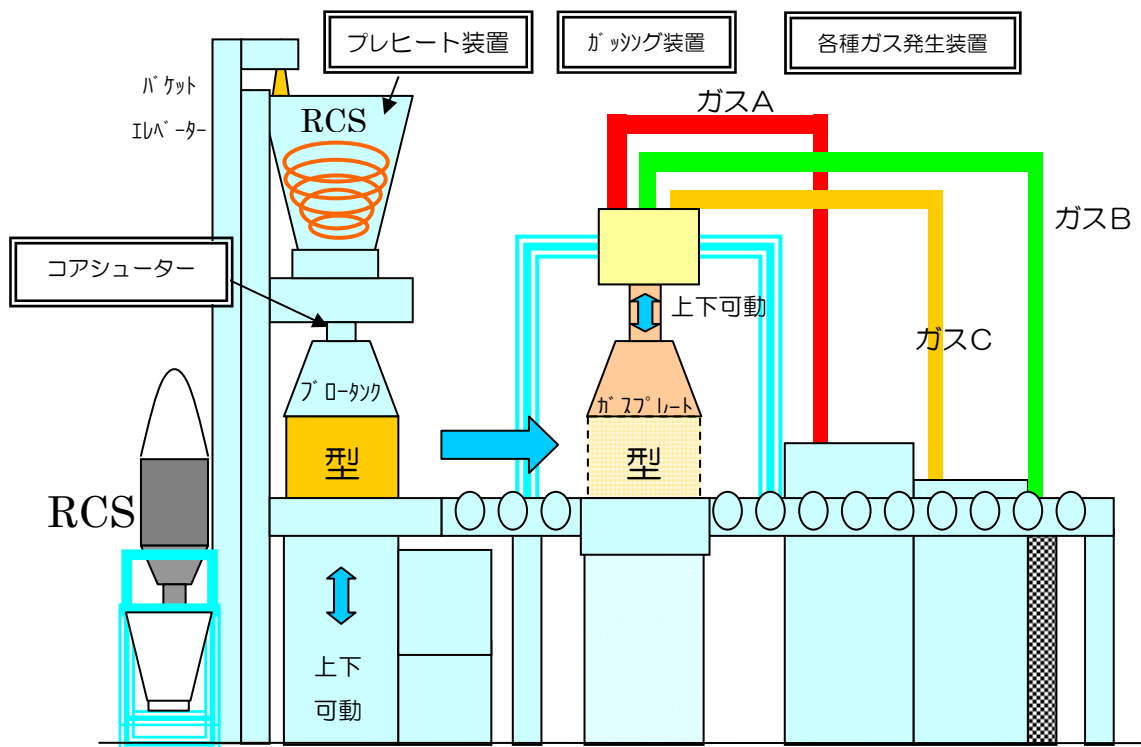


図3. 造型機（試験機）

- (イ) 主型造型用と同じ砂を使って、自動車エンジン用のシリンダーヘッド中子を追加試作した結果、90℃以下で1分以内で造型可能であることを確認した。
- (ロ) 造型機メーカーより、両者で協議した事項を含めた1000万円以下の造型機的设计図と仕様書(100×100cm用)が完成した。

iii. 事業化や課題等

実造型機は、客先毎で大きさ（例えばある客先では120×120cmの要望があることを聞いている）や性能が異なるため、今回設計した実造型機（100×100cm用）をベースとして設計・製造・販売する予定。

- (ア) 100kg以下の主型や中子に関しては、シェルモールドやコールドボックスの中子を対象としてカーメーカー等に紹介し普及を図る。

最初に最も複雑なシリンダーヘッド中子を造型・鋳造しアルミ分野での普及を図る。

次いで他の中子や主型で造型・鋳造して鋳鉄や鋳鋼分野の客先への普及を図っていく。

上記造型機（試験機）をベースに、客先の既存設備（シェルマシンやコールドボックスマシン）の改造で対応を図る。

- (イ) 100kg以上の鋳型に関しては、客先の要望に応じて新規に実造型機を設計・製造・販売して客先への普及を図る。

⑬ 実作業での現場テスト

- ・実際の現場の操業において、本造型機の性能をチェックし、実際の鋳物の寸法精度・製造の歩留まり率・ガス欠陥率をチェックする。

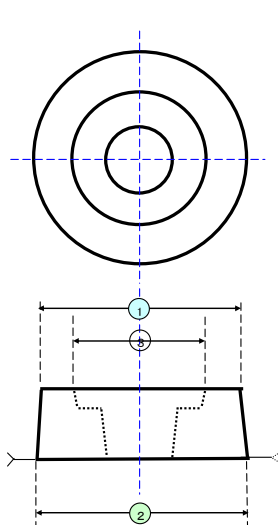
i. 研究内容

ピストン鋳物（FCD製）に関し、鑄造試験により（i）寸法精度（ii）外観評価（iii）内部欠陥調査を実施した。

ii. 研究成果

ii-1 寸法精度

表 11. 鋳物寸法検査結果



鋳型種類	箇所	人工砂			珪砂		
		平均値		標準偏差	平均値		標準偏差
		mm	伸び尺	mm	mm	伸び尺	mm
フラン型	外径①	211.5	9.6/1000	0.22	211.6	9.0/1000	0.60
	外径②	214.0	8.5/1000	0.33	214.3	6.7/1000	0.53
	内径③	138.1	5.7/1000	0.19	138.0	6.2/1000	0.27
生型	外径①	212.0	7.7/1000	0.27	213.1	2.5/1000	0.14
	外径②	214.3	5.9/1000	0.25	215.5	0.4/1000	0.21
	内径③	137.5	11.5/1000	0.16	138.1	7.1/1000	0.10
本プロセス	外径①	211.8	9.2/1000	0.19	—	—	—
	外径②	213.5	12.4/1000	0.19	—	—	—
	内径③	137.3	10.9/1000	0.13	—	—	—

図 2. 鋳物寸法検査箇所

寸法検査結果は上記表 11 の通りである。

(ア) フラン型

- ・真球人工砂と珪砂の間で、鋳物寸法の平均値に差はみられない。バラツキは真球人工砂の方が小さくなっている。

(イ) 生型

- ・珪砂よりも真球人工砂の方が鋳物寸法は小さい、すなわち真球人工砂の方が張り気が小さい。

(ウ) 本プロセス

- ・本プロセスの寸法のバラツキは 3σ で $\pm 0.4 \sim \pm 0.6$ となっている。同じ真球人工砂で比較するとフランや生型よりもバラツキが若干小さい。

ii-2 外観評価



図.4 鋳込テスト品の外観写真（本開発プロセス）
結果として、本開発プロセス品を使用して鋳造した鋳物は、塗型無しでも良好な鋳肌が得られた（図4）。

ii-3 内部欠陥と押湯寸法

フラン自硬性鋳型・鋳込みテスト品のひけ調査結果を表12に示す。

(ア)フラン型

- ・ 押湯サイズ $\phi 90 \times H90$ 、 $\phi 100 \times H100$ とも珪砂、真球人工砂ともにすべてひけが生じていない。

(イ)生型

- ・ 押湯サイズ $\phi 90 \times H90$ は、珪砂、真球人工砂ともにすべてひけが生じている。
- ・ $\phi 100 \times H100$ では珪砂には微小なひけが生じ、真球人工砂には発生していない。生型のひけ発生有無の境界がこの付近と考えられる。

(ウ)本プロセス

- ・ 押湯サイズ $\phi 100 \times H100$ とも珪砂、真球人工砂ともにすべてひけが生じていない。
- ・ 生型のひけ発生有無の境界 $\phi 100 \times H100$ に対して体積半減の $\phi 80 \times H80$ の押湯ではUTでは検出できなかったが、切断後のカラーチェックで微小なひけが確認された。本プロセスのひけ発生有無の境界がこの付近と考えられ、生型に対して押湯半減という目標はほぼ達成された。

表12. フラン型、生型、本プロセスとの内部欠陥比較

鑄型種類	押し湯 (直径)	人工砂			珪砂		
		UT	切断	押し湯切断	UT	切断	押し湯切断
フラン型	Φ100	○	○	ヒケ無し	○	○	ヒケ無し
	Φ90	○	○	ヒケ無し	○	○	ヒケ無し
	—	—	—	—	—	—	—
生型	Φ100	○	○	ヒケ無し	○	微小ヒケ	ヒケ有り
	Φ90	×	ヒケ有り	ヒケ有り	×	ヒケ有り	ヒケ有り
	—	—	—	—	—	—	—
本プロセス	Φ100	○	○	ヒケ無し	—	—	—
	—	—	—	—	—	—	—
	Φ80	○	微小ヒケ	微小ヒケ	—	—	—

※Φ100の押し湯に対し、Φ80の押し湯が体積比で約50%減となる

iii. 事業化や課題等

<事業化>

今回テストしたピストンのような肉厚鑄物に関しては、熱伝導度の高い人工砂Cが最も適していると考えられる。客先の他の肉厚鑄物に関しても、テストして事業化を進める。

<課題>

一方、薄肉鑄物に関しては湯回りの関係から熱伝導の低い人工砂を選定する必要がある。よって客先の鑄物のニーズに合う人工砂を選定し、テストして事業化を進める。

⑭ 装置の作業性の確認と改造

- ・本造型機の作業性を確認し、必要であれば改造する。

i. 研究内容

造型機の作業性を確認した結果、数種のガスのガス回り性に問題があり、50×55cmのピストン型（1個取り）の造型時に全体にガスが届かず、硬化不良の箇所があった。

ガス回り性を改良するために均等にガスが鑄型に通気するように造型機を改造した。

ii. 研究成果

- ・ガス回り性を改良した結果、鑄型の造型不良は改善された。
- ・50×55cmのピストン型（1個取り）で1分造型を達成した。

iii. 事業化や課題等

100×100cmの実造型機的设计においても、今回の改造を考慮した設計とした。

⑮ まとめと標準化

⑪から⑬項の成果をまとめ標準書等を作成し、本プロセスの普及を図る。

i. 研究内容

⑪から⑬項の内容をまとめ、平成20年度の成果報告書として提出した。

また平成21年度の成果報告書にも一部まとめる予定。

平成20年度及び平成21年度にまとめの会議を期末に集中して実施した。

ii. 研究成果

鋳型寸法精度、造型時間と造型機のコスト共にも目標を達成した（表13）。

表13 高流動低温造型プロセス用の造型機の開発の成果

目標値	成果
鋳型寸法精度：±0.1%以内 (100×100cmの型)	鋳型寸法測定結果：0.08~0.17% (100×100cmの型)
造型時間：1分以内 (100×100cmの型)	造型時間：2分以内 ^{※1} (100×100cmの型) ----- 造型時間1分 (50×55cmの型)
本造型機のコスト：1000万以内 (100×100cmの型)	1000万以内の 造型機的设计図と仕様書完成 ^{※2} (100×100cmの型)

※1；造型機の型締め力が弱いために、ガス漏れが起こり未達となった。

ガス漏れが防止できれば、理論上1分以内は可能と考える。

※2；但し付帯設備は別売

iii. 事業化や課題等

※詳細は⑫から⑭の各項目に記載

最終章 全体総括

【1】真球人工砂の流し込み高流動充填造型プロセスの開発

①真球人工砂の基礎研究

- 目標値を満たす人工砂を選定した。本開発プロセスは、同じ人工砂で比べても抗圧力がフランと同等で充填密度は15%程度高いことが確認できた。

②最適な混練ミキサー及び混練方法の探索と評価

- 実験室混練でダマ量が目標の1%以下となった。またレジン量が0.75%でも強度は目標値の2倍を実現した。さらに現場ミキサー（500kg ミキサー）でも同等の性能が出せることが判明した。

③真球人工砂の表面処理の基礎研究（表面観察）と応用

- 従来の樹脂では、滑剤を添加しても流動性が改善できなかったが、新開発の樹脂にシェルモールド用滑剤の添加で、強度や充填性が大幅に向上した。

④砂加熱用プレヒート機の実験と評価（水分の低減による充填性の向上）

- 砂の流動性を悪化させる樹脂被覆砂（RCS）中の水分を減らすために本開発RCSの予熱（60℃）実験を行い、プレヒートの温度を上げることで、強度や充填性の向上が確認できた。

⑤まとめ及び現場への応用対策

- 以上の内容を初年度の成果報告書にまとめ、目標値を達成した人工砂を用いて、以下の高流動低温造型瞬時硬化プロセスに応用展開した。

【2】高流動低温造型瞬時硬化プロセスの開発

⑥粘結剤の基礎研究

- 強度向上のための樹脂構造の最適化と、硬化性向上のための添加物（硬化促進剤）の検討の結果、最適化の組み合わせを計り、本プロセス用樹脂が完成した。

⑦各種ガス吹き込み硬化造型プロセスの基礎研究

- 数種類のガスを吹き込むことで、低温で瞬時に硬化するプロセスを開発し、1分以内の造型が可能となった。

⑧真球人工砂の流し込み高流動充填造型プロセスとの適合性検討

- 流し込み高流動充填造型プロセスで選定した人工砂Cを適用することで、樹脂量を50%以下に減らすことができ、また充填性も向上した。

⑨最適な乾式再生装置の探索と評価

- 乾式再生装置の30秒の再生で鋳型強度は十分な性能を示し、砂再生率は99.7%で目標値を達成した。

⑩本プロセス鋳型使用時の鋳物の歩留まり率とガス欠陥発生率評価

- 本開発プロセス品はFCDで押し湯が半減でき、1/2のガス発生量となった。鋳物の歩留まり率やガス欠陥発生率は客先での鋳物の量産時に確認する（対生型）。

⑪まとめ及び現場への応用対策

- 以上の内容を平成20年度の成果報告書にまとめ、造型機の開発に応用展開した。

【3】高流動低温造型プロセス用造型機の開発

⑫ 高流動低温造型プロセス用造型機の製作

⑫-1 各種ガス吹き込み造型用の型の製作と実験評価

- 型に対するベントの種類と数を検討しながら、ガスシミュレーションによって、50×55cm の鋳型で1分造型が可能となった。なお、100×100cm の鋳型（100～250kg）の造型や造型時間の短縮が可能となった。
- ⑫-2 造型用振動テーブルの探索と評価
 - 乾燥砂のためブロー充填により、シェルモールド法と同等以上の鋳型充填率が得られ目標値を達成したが、100kg を超す鋳型には振動機が必要と考えられる。
- ⑫-3 鋳造型機製作と評価
 - 実造型機は、客先ごとに大きさや性能が異なることを踏まえ、1000万円以下の100×100cm用造型機の設計図と仕様書が完成した。
 - 主造型機と同じ砂を使って、自動車エンジン用のシリンダーヘッド中子を追加試作した結果、90℃以下で1分以内で造型可能であることを確認した。
 - 造型機メーカーと共同で、設計・開発し、造型機(試験機)を作製した。100kg以上の鋳型に関しては、客先の要望に応じて設計・製造を行い、普及を図る。
- ⑬実操業での現場テスト
 - 本開発プロセス品を使用して鋳造したピストン鋳物（FCD製）は、寸法精度・外観とも良好で、ひけについても生型に対し押し湯半減の目標は達成できた。
 - 今回テストした肉厚品には、熱伝導度の高い人工砂Cが適していると考えられるが、薄肉鋳物に関しては客先のニーズに合った熱伝導度の低い人工砂を選定する必要がある、テストして事業化を進める。
- ⑭装置の作業性の確認と改造
 - 造型機のガス回り性の改良により、造型不良は改善された。特に50×55cmのピストン型（1個取り）で1分造型を達成した。
- ⑮まとめと標準化
 - 高流動低温造型プロセス用の造型機の開発に関して、100×100cmの型では、鋳型寸法精度や造型機のコストの目標値は達成できた。尚造型時間の目標1分以内は達成できなかったが、造型機の型締め力を上げガス漏れが防止できれば、理論上目標達成は可能と考える。
 - 造型プロセスの特許を取得するために特許出願書を作成中（2010年4月出願予定）

本研究により、前述のような成果得ることができ、3年間の目標を達成することが出来た。これについては、今後、次のとおり市場展開を行う。

- (i) 本研究で開発したプロセス用樹脂やRCSの製造設備や能力は十分有り、販路も充分あり、旭有機材工業と旭通商を中心に事業化を展開する計画である。
- (ii) 造型機に関する特許を申請し、取得後、各設備メーカーと調整し、1,000万円内の設備の製造販売を展開していく計画である。
- (iii) 開発した造型機の製造販売に関しては、まずは小物鋳物用設備で実績を作り、次いで大物用設備に展開する計画である。

- (iv) 事業化後の普及活動は、「日本鑄造協会誌」「鑄造ジャーナル」「他業界誌」「日本鑄造協会の各種委員会」「開発設備の設置企業での見学会」「展示会等」等で PR しながらメンバー全員で進める。

専門用語等の解説	
1) 生型	→ 粘土を粘結剤とした鑄型。不定形の天然珪砂に粘土(ベントナイト)を混合し、水や添加剤を付与させて可塑性をもたせた状態で突き固める造型方法。我が国における全鑄物生産量の約 60%が生型によって生み出されている。
2) 天然珪砂	→ SiO ₂ を主成分とする砂であり、地殻のおよそ 60%を占める、この世に最も多く存在する鉱物。耐熱性に優れると同時に安価で入手可能なことから、鑄型構成材料の中心的存在として古くから現在まで使用され続けている。天然資源として産出される天然珪砂は温度域によって結晶変態が起こるため、その際の熱膨張が鑄物の寸法精度を低下させている。また、サイクル使用によって表面の破碎・磨耗が進み、微粉まで進行してしまうと産廃物となり、環境・資源に悪影響を及ぼすこととなる。
3) 人工砂	→ 我が国で製造方法が開発された、人工の砂。天然珪砂の弱点改善と環境保護対策として産み出された。セラミック系が主流で、低熱膨張性と耐破碎磨耗性、耐熱性を全て有する。また、真球に近い形状であるため、表面積が小さく転がり流動充填性が良好である。最近、市場で徐々に拡大する傾向にある。
4) 流動鑄型	→ 通常は、鑄型を構成する物質が自由流動性を持っている場合、これを人力若しくは機械的な力で充填可能な鑄型を指す。だが、現実問題として完全な充填は非常に難しく、硬化方法も複雑であるのが一般的である。
5) ニアネットシェイプ	→ 機械や電気による後加工の手間及びコスト低減を狙いとするもので、最終製品の形状に近い形状を初期段階から得る事をいう。
6) 歩留り率	→ 回収率とも言い、主に、プロセスの途上で何らかのロスが発生する場合に用いられる。数値自体の意味は、インプット量を基本にした際のアウトプット量の比率を表している。通常、ロスの削減に成功すると歩留り率は上昇する。プロセスの種類に依らず、製造・生産現場等では特に重要視されている概念である。

7) イグロス (Ig-Loss) → イグニッションロスの通称で、強熱減量や灼熱減量とも言う。加熱すると気体となって残留しない物の事。ここではとくに、砂表面に付着残留する樹脂や硬化剤及びその他の物質について、砂重量に対して占める割合のことを指す。
8) 破碎率 → 【(破碎後の粒度指数/破碎前の粒度指数) × 100%】で表されるもの。
9) 超音波探傷試験 (UT) → パルス状の超音波を接触子を通じて被検体へ送り込み、内部欠陥または底面から反射し戻ってくる状況により、内部欠陥を判断する方法
10) 浸透探傷試験 (LPT) → 鋳物などの表面に開口している微細な亀裂ひげ、ポロシティなどの欠陥を調べる非破壊検査法の一つ。油、石油などに染料又は蛍光発光剤を配合した浸透液を被検材の表面に塗って割れの内部に浸透させ、浸透後洗浄し、白色の現像剤をスプレー塗布すると割れの中から表面に吸い上げられて、目では見えない割れも検出できる。他にカラーチェックとも言う。
11) シェルモールド法 → 熱硬化性の鋳物砂を焼成して鋳型を作る方法。熱硬化性の鋳物砂は、一例としてフェノール樹脂を粘結剤とし、ヘキサメチレンテトラミンを硬化剤として砂に混合して乾態の樹脂被覆砂（レジンコートサンド）を作製する。乾態のため流動性や充填性は良いが、焼成温度が250～300℃と高く、発煙や臭気の問題がある。
12) コールドボックス法 → 常温の中子取りの中へ合成樹脂添加砂を吹き込み、次いでアミン系のガスを吹き込んで硬化させて鋳型を成型する方法。樹脂被覆砂は湿態のため流動性や充填性がシェルモールド法に劣る。またアミン臭の問題がある。
13) シリンダーヘッド → 自動車用エンジンを構成する部品の一つ。ピストン部を有するブロック部の上部を構成し、吸気や排気の弁がある部分。走行中は高温になるため、水冷用の中空部（ジャケット部）が必要で、その中空部（ジャケット部）を構成するため一般にシェルモールド法の中子を用いる。最終的には、鋳造後崩壊したシェル中子を叩いて取り出し、中空部（水回り用のジャケット部）とする。
14) プレヒート → シェルモールド法のレジンコートサンドを予め40～60℃に加熱して置くことで、冬場や夏場の寒暖差による中子成型不良を防ぐ方法。また成型時間を短縮でき、成型温度も低下できる。プレヒート装置は旭有機材工業が販売している。
15) ベント → コールドボックス等のガス硬化プロセスにおいて、ガスを型内にムラなく通気させるように、スリット又は網状の中空部を有する孔を適所に空けるために用いる。丸い形状で大きさや種類は異なる。
16) 再生砂 → 鋳造後の鋳型を回収し、研磨若しくは焙焼により元に戻した砂。再度粘結剤を加えて鋳型として使用する。研磨や焙焼の度合いによりパインダーの一部が残り鋳型に悪影響を与えることがある。