

平成21年度 戦略的基盤技術高度化支援事業

「RCS樹脂の蒸着化による鋳造中子成型プロセスの開発」

研究開発成果等報告書

平成22年 5月

委託者 中部経済産業局

委託先 財団法人中部科学技術センター

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	4
1. 3 研究実施場所一覧表	6
1. 4 成果概要	7
1. 5 事業化に向けた取組み（今後の展望）	9
1. 6 産業財産権等の取得状況	13
1. 7 外部発表等の状況	13
1. 8 当該プロジェクト連絡窓口	13
第2章 本 論	15
2. 1 R C S材の蒸着状態を維持するための温度制御への対応	15
2. 2 R C S材の塊状化に対応した攪拌への対応	22
2. 3 高速で精度の高い機能を有する成型装置の開発	25
2. 4 評価の実施	28
2. 5 プロジェクトの管理・運営	53
第3章 全体総括（PM）	55

第 1 章 研究開発の概要

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. 1. 1 開発の背景

(1) 社会的・経済的・技術的背景

- ・我が国製造業者の国際競争力の強化及び新たな事業の創出を図るためには、川上中小企業は、川下製造業者のニーズを的確に把握し、これまで培ってきた技術力を最大限に活用すると共に当該ニーズに答えた研究開発に努めることが望まれる。
- ・自動車産業においては、国際競争力の強化が大きな課題で、地球温暖化を始めとした環境対策、エンジン機能の効率化及び車体の軽量化 消費者対応向け機種の多様化などを含め、競争力強化のためのコスト低減が最優先課題となっている。
- ・特に、昨年末からの急激な景気後退は、自動車産業を直撃し、その影響が大波となって押し寄せている。企業存続に対する危機感を強く持って、生き残るための新たな研究開発に挑戦する絶好の機会と受止める。

(2) 研究開発動向の背景

- ・ casting業界は生き残りを掛けた技術開発に遭遇しているが、これまでの改良技術に留まらず、要素技術などによる抜本的対応との思考が進展している。特に、旧態依然たる製造設備は、他分野に比べ生産性の遅れが競争力の低下に繋がっている。
- ・当業界を取巻く研究機関（大学、公設の研究機関など）の研究離れが大きい。ものづくり技術は、奥の深さが追求されるので、これまで構築された経験値が不可欠要素となる。民間・大学・公設試の連携を強化する良い機会と受止める。

1. 1. 2 研究目的

競争が激しい自動車産業をはじめとして使用される casting製品は常にコスト低減が求められ、 casting製品の中空部を形成する中子についても同様にコスト低減が求められている。そのため、これまで中子の材料に使用される R C S 樹脂（Resin Coated Sand 樹脂： casting砂にコーティングするフェノール樹脂）を予め加熱することにより中子焼成時間を短くし、中子成型サイクルを短縮する方法が提案されているが、R C S 樹脂を高温にすると粘性が増して塊状化するため加温域を高く維持することができず、コスト低減につながるまでには至っていないのが現状である。

本研究では、R C S 樹脂を蒸着化（加温による樹脂の溶体と固体の混在化）、攪拌させることにより、塊状化を防止して高温に維持し、また、R C S 材（R C S 樹脂をコーティングした casting砂）を充填した金型の開閉・反転時間等を短くすることにより、中子成型サイクルを大幅に短縮することを目的とする。本技術を確立することにより、中子を効率的に生産することができ、自動車産業をはじめとする川下企業から要求されているコスト低減を実現する。

なお、本研究の目標は以下のとおりである。

- ・中子成型サイクルの50%短縮
- ・中子製造コストの30%低減

1. 1. 3 研究目標

本研究では、中子材料として使用される R C S 樹脂の加熱に最適な温度域を制御し、また、その R C S 材を効率良く均一加温できる加熱媒体を選定し、さらに、攪拌しながら加熱状態で搬送し、高温に維持しながら金型に充填する方法を研究して、R C S 樹脂の蒸着状態を維持するための蒸着化ユニットを開発する。

また、サーボ機構等を活用してその金型の開閉・反転時間等を短くすることで、時間サイクルを短縮する中子成型機を開発する。さらに、中子成型時に発生する凝固状態の R C S 材の残渣等を回収して再利用する装置も開発する。

上記の蒸着化ユニットと中子成型機を用いて中子を試作し、中子成型の焼成時間の短縮やコスト低減の検証を実施する。また、成型した中子の評価及びその中子を使用した casting品の評価を行うことで、R C S 樹脂の蒸着化による casting中子成型プロセスを確立する。

以下のとおりにより、実施する。

(1) R C S 材の蒸着状態を維持するための温度制御への対応

(クロタ精工株式会社、株式会社五十鈴製作所、愛知県産業技術研究所)

これまでの研究開発で蒸着化温度は 100℃以上が理想であるが、課題は R C S 樹脂の加熱による塊状化であり、塊状化防止対策としては攪拌が最適であることを確認できている。そこで、クロタ精工株式会社は、R C S 樹脂の加熱に最適な温度域を R C S 材の抗折力、ベンド、融着点、安息角を測定すること等により調査する。また、愛知県産業技術研究所は、示差熱分析等を行って R C S 樹脂の蒸着化により砂粒のバインダとして機能するメカニズムを調査する。加えて、R C S 材の加温維持に際し、生産サイクルの変化等の影響により温度バラツキが生じること等も想定されるため、温度域が制御可能な蒸着化温度制御装置の仕様をクロタ精工株式会社が決定する。当該仕様を受けて、株式会社五十鈴製作所が R C S 材の蒸着化温度制御装置を設計、試作する。

(2) R C S 材の塊状化に対応した攪拌への対応

(クロタ精工株式会社、株式会社五十鈴製作所)

①材料供給装置の開発

クロタ精工株式会社は、R C S 材を供給する材料供給装置の仕様を決定する。仕様を決定する際の技術課題として、R C S 材は樹脂が表面にコーティングされた硅砂であるため、粒度分布 (36~280 メッシュ) を有し、個々の砂粒ではそれぞれ表面積や熱容量も違う粒体であるため、温度が不均一に成り易い。従って、R C S 材を効率良く均一加温できる加熱媒体 (高温の圧縮空気や電熱ヒーター等) を調査し、また、攪拌しながら加熱状態で搬送する方法も調査しながら仕様を決定する。さらに、R C S 材による攪拌装置の磨耗、粘着防止対策等のメンテナンスも考慮に入れる。当該仕様を受けて、株式会社五十鈴製作所は材料供給装置を設計、試作する。

②R C S 材の充填 (ブロー) 装置の開発

高温、且つ蒸着化した高温 R C S 材による充填に際し、蒸着ユニットブローヘッド部での塊状化等が想定されるので、充填 (ブロー) 装置へ高温を維持しながら充填を行い、さらに装置内での攪拌を検討する。また、R C S 材充填時において高温のブローエアーを適用するなど、温度低下による塊状化等を回避させる検討を行う。さらに、高温材の取り扱いに関する作業時の安全性の確保と作業終了後の昇温した R C S 材の冷却或いは、排出・点検が容易にすることも必要である。以上を考慮した充填 (ブロー) 装置の仕様をクロタ精工株式会社が決定し、当該仕様を受けて、株式会社五十鈴製作所が設計、試作する。

③蒸着化ユニットの試作

(1) の蒸着化温度制御装置、①の材料供給装置、②の充填 (ブロー) 装置を主たる構成とした蒸着化ユニットを株式会社五十鈴製作所が試作する。

(3) 高速で精度の高い機能を有する成型装置の開発 (クロタ精工株式会社、株式会社五十鈴製作所)

①成型装置の開発

従来の中子成型装置の駆動機構は油圧或いは空圧によるもので金型の開閉・回転の敏捷性、抜型精度、型締め付け圧力等が劣るため、中子のバリ発生や寸法精度等中子の品質、生産性に課題があり、また、高温 R C S 材を使用するので充填後瞬時に反転しないと中空中子が出来ない等、蒸着化により必要とされる中子成型速度の制約もあることから、高速で精度の高い機能を有する中子成型機の開発を行う。

具体的には、サーボ機構等モータの活用やロボット化により作動時間が設定できる中子成型機の仕様をクロタ精工株式会社が決定し、株式会社五十鈴製作所が設計、試作する。

②付帯装置の開発

中空中子を作るために反転排砂した未凝固部の R C S 材の残渣等の再利用に際し、凝固状態にある R C S 材の残渣については再利用できないため、フィルタ等で凝固状態の残渣を分別する等の回収装置の仕様をクロタ精工株式会社が決定し、株式会社五十鈴製作所が中子成型機の付帯装置として設計、試作する。

(4) 評価の実施

(クロタ精工株式会社、株式会社五十鈴製作所、愛知県産業技術研究所、クロダイト工業株式会社)

クロタ精工株式会社及び株式会社五十鈴製作所は、蒸着化ユニットと中子成型機で中子を試作

し、中子成型の焼成時間の短縮やコスト低減の程度を検証する。

また、クロタ精工株式会社は愛知県産業技術研究所とともに、制御条件におけるRCS材の蒸着状況の検証として、蒸着化ユニット内のRCS材の温度分布を測定するとともに蒸着化したRCS材の表面組織観察を行う。また、試作した中子の性能として、実体顕微鏡及び顕微鏡デジタルシステム等を使用し、表面状態、充填性、焼成層及び接着密度を測定する。

充填性の難度が高く、焼成時間を要する中子を上記で試作し、クロダイト工業株式会社は、当該中子を使用して鋳造品（水道管継手部品＝ナット部品）を試作する。当該鋳造品は、規格が厳格、かつ明確な日本水道協会規格「水道用ダクタイル鋳鉄管及び異形管用接合部品（Ⅱ類ボルト・ナット類）」と日本水道協会検査規格集（ボルト・ナットの部）により寸法、形状、外観、材質等を測定し、従来の方法で鋳造された製品との比較検討・評価を行う。さらに、愛知県産業技術研究所は、鋳物への適合性として、鋳造品の外観、内部欠陥、寸法精度、引張試験、硬さ試験等の機械的性質及び組織観察の評価を行う。なお、規格が厳格な本評価により、本研究で開発した装置の優位性が確認できれば、自動車部品等への展開も容易である。

（５）プロジェクトの管理・運営

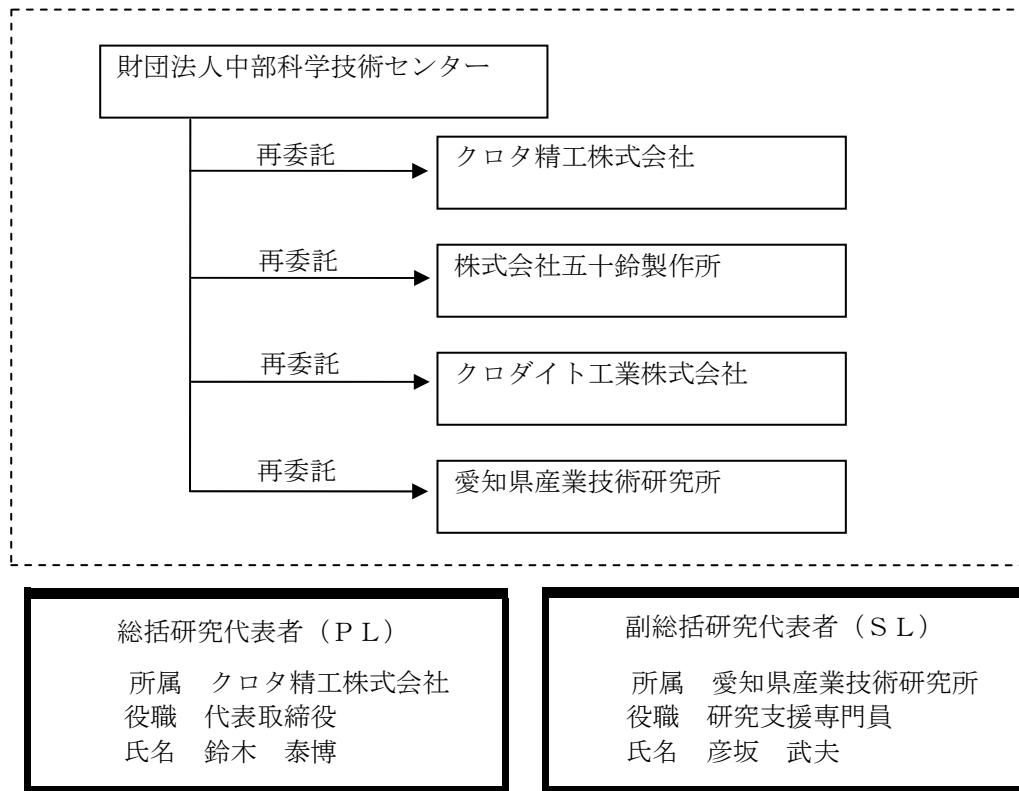
財団法人中部科学技術センター

本プロジェクトに係る研究の進捗管理、研究開発委員会の運営、成果報告書の作成等、プロジェクトの全体管理・運営を行う。

1. 2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、アドバイザー）

(1) 研究組織及び管理体制

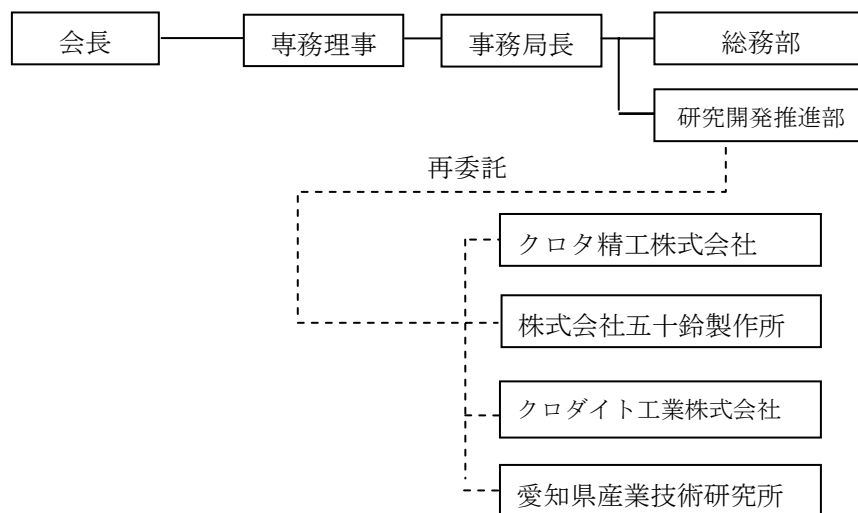
① 研究組織（全体）



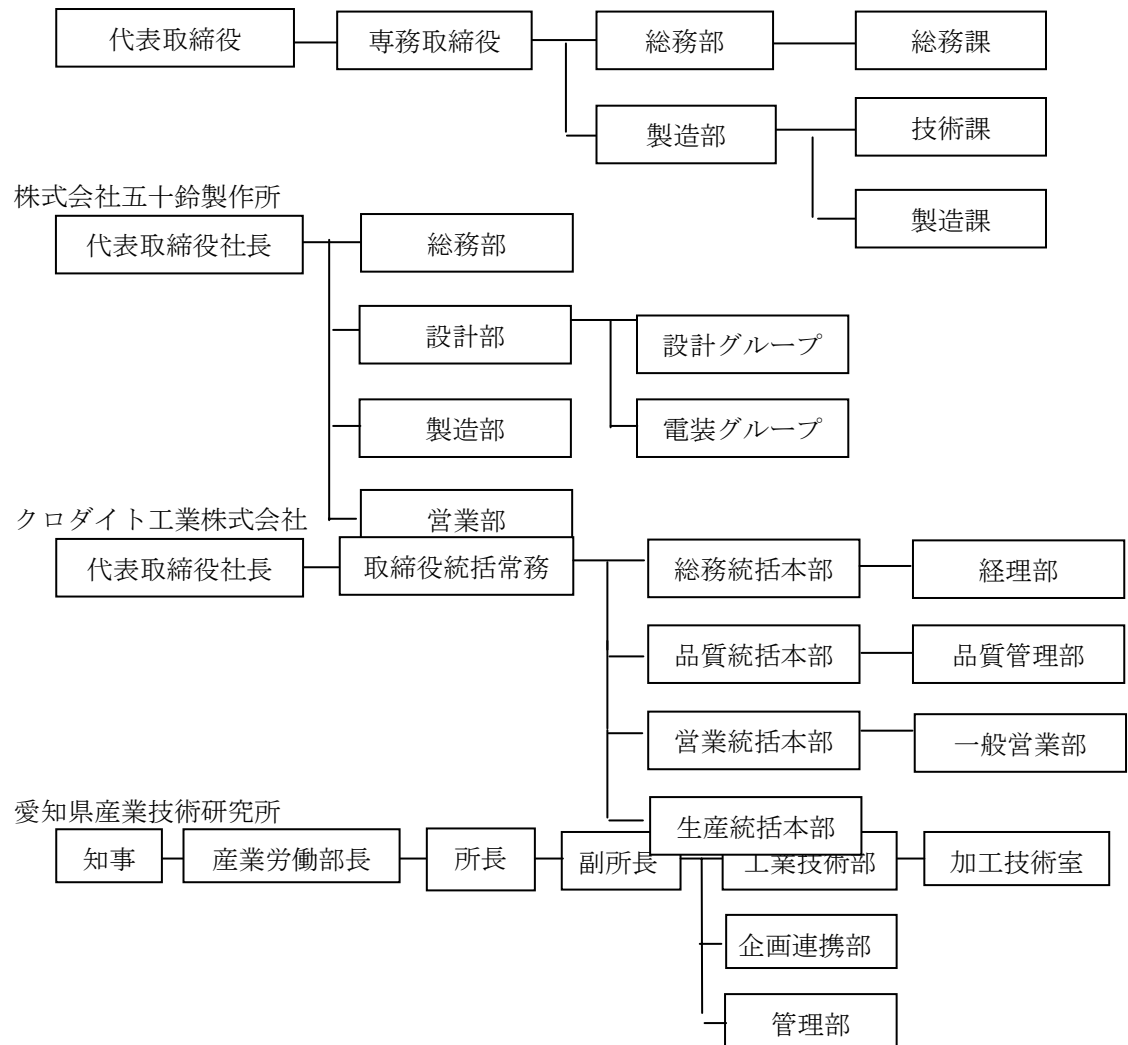
②管理体制

i. 事業管理者

財団法人中部科学技術センター



ii. (再委託先)
クロタ精工株式会社



(2) 管理員及び研究員
【事業管理者】 財団法人 中部科学技術センター
管理員

氏 名	所属・役職	実施内容 (番号)
永田 達也	研究開発推進部長	⑤
福嶋 昭	研究開発推進部 担当部長	⑤
大沢 秀敏	研究開発推進部 担当部長	⑤
平澤 進	研究開発推進部 主幹	⑤
宮島 和恵	研究開発推進部 主任	⑤
高須 容功	研究開発推進部 主任	⑤

【再委託先】

研究員

クロタ精工株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
鈴木 泰博	代表取締役	①、②、③、④
杉浦 定義	専務取締役（製造・営業担当）	①、②、③、④
渡辺 辰夫	製造部 部長	①、②、③、④
石川 正美	製造部 技術課 顧問	①、②、③、④
杉浦 武之	製造部 技術課 技術員	①、②、③、④
辻 和夫	製造部 製造課 製造係長	①、②、③、④

株式会社五十鈴製作所

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
高見 透	設計部 課長	①、②、③、④
高原 一昭	設計部 電装グループリーダー	①、②、③、④
佐々木雅博	製造部 課長	①、②、③、④
成田 哲也	営業部 グループリーダー	①、②、③、④

クロダイト工業株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
野々山浩二	品質統括本部 品質管理部 課長	④
大島 謙二	営業統括本部 一般営業部 部長	④

愛知県産業技術研究所

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
彦坂 武夫	企画連携部 研究支援専門員	①、④
黒沢 和芳	工業技術部 加工技術室長	①、④
長田 貢一	現 常滑窯業技術センター 主任研究員	①、④
古澤 秀雄	工業技術部 加工技術室 主任研究員	①、④
斉藤 昭雄	工業技術部 加工技術室 技師	①、④
山本 紘司	工業技術部 加工技術室 技師	①、④

【アドバイザー】

田口 公哉	旭有機材工業株式会社 樹脂事業部 素形材・工業用樹脂営業部 中日本営業グループ 主査
土田 正信	コンサルタント

1. 3 研究実施場所一覧表

(1) 事業管理者

財団法人中部科学技術センター（最寄り駅：名古屋市営地下鉄 東山線 伏見駅）

〒460-0008 愛知県名古屋市中区栄二丁目17番22号

(2) 研究実施場所（下線部は主たる研究実施場所）

クロタ精工株式会社（最寄り駅：名古屋鉄道 三河線 碧南駅）

〒447-0887 愛知県碧南市汐田町一丁目26番地

株式会社五十鈴製作所 碧南工場（最寄り駅：東海旅客鉄道 東海道本線 三河安城駅）

〒447-8511 愛知県碧南市雁道町四丁目1番地

クロダイト工業株式会社（最寄り駅：名古屋鉄道 三河線 吉浜駅）

〒444-1302 愛知県高浜市八幡町一丁目1番地1

愛知県産業技術研究所（最寄り駅：名古屋鉄道 名古屋本線 一ツ木駅）

〒448-0013 愛知県刈谷市恩田町一丁目157番1

1. 4 成果概要

(1) R C S材の蒸着状態を維持するための温度制御への対応

(クロタ精工株式会社)

本稿の基本となる蒸着化温度に関して、予備試験（熱解析による温度と時間の相関をシミュレートした）を実施し、開発目標値の位置づけを計った。更に、蒸着化温度の上昇に伴う機械的性質の影響として抗折試験を行い、抗折力低下の課題を位置づける一方、物理的性質への影響として、R C S材の融着点及び安息角を実験し、材料の流動性の傾向を確認した。

(株式会社五十鈴製作所)

中子材料として使用されるR C S樹脂材に最適な温度領域を模索するために温度領域が任意に可変できる制御装置を設計した。

(愛知県産業技術研究所)

本研究開発では、中子製造の中核をなすシェルモールド法における中子成型でのR C S樹脂の蒸着化技術を確認し、金型に吹き込むR C S材の焼成時間及び成型装置のシステム化を図るため、各R C S材の砂粒形・表面観察、充填密度、強度、熱分析などの試験を行い、試作開発する中子成型機に用いるR C S材の加熱温度に関する基本的な性質を調べた。

各加熱処理R C S材の表面観察を走査型電子顕微鏡により観察した。適切なR C S材の加熱処理温度では充填密度の増加により焼成材の強度向上が期待できるものと推測された。

各加熱処理R C S材で焼成した引張、曲げ試験による強度特性を調べた。

R C S材の蒸着状態を維持、また、強度低下を招かない状態を保つ加熱温度を設定することができた。

(2) R C S材の塊状化に対応した攪拌への対応

(クロタ精工株式会社)

R C S材の蒸着化（加熱）に伴う材料の塊状化に関して実験した。塊状化対策として攪拌機能を最優先で検討することとした。

(株式会社五十鈴製作所)

ホッパー内でR C S材を効率良く短時間に均一加熱できるヒーター及びブローアを選定し、且つ効率良く攪拌できる装置を設計した。

(3) R C S材の充填（ブロー）装置の開発

(クロタ精工株式会社)

充填装置の機能特性（仕様）について検討した。

(株式会社五十鈴製作所)

高温R C S材の充填に際しブローヘッド内部での塊状化等による粘着を予想し装置内での攪拌及び高温エアブローを行うよう装置設計した。

(4) 蒸着化ユニットの試作

(株式会社五十鈴製作所)

- ・蒸着化温度制御装置の試作
- ・材料供給装置の試作
- ・充填装置の試作

(5) 高速で精度の高い機能を有する成型装置の開発

(クロタ精工株式会社)

高速で精度の高い機能を有する成型装置に関して検討した。

(株式会社五十鈴製作所)

従来の中子成型機は空圧によるもので速度の一定性、可変等が不確定であり品質、生産性にバラツキが発生する為、高速で高精度、数値制御出来る装置を設計した。

(6) 付帯装置の開発

(クロタ精工株式会社)

本研究開発の事業化に必要な装置で、中空中子を作る為に反転排砂した未凝固部のR C S材の残渣等の再利用に際し、凝固状態にあるR C S材の残渣については再利用できないため、回収装置の仕様を検討した。

(株式会社五十鈴製作所)

反転排砂した凝固状態にあるRCS材の再利用する為、装置を設計した。

(7) 評価の実施

蒸着化ユニットと中子成型機で中子を試作し中子成型の焼成時間の短縮、ドライサイクルの短縮を検証した。

(クロタ精工株式会社)

本装置で中子を試作した結果、蒸着化ユニットによってRCS材を昇温させることにより、サイクルタイム 100 秒を 47 秒に短縮することが出来た。連続稼動において充填装置への供給RCS材の昇温が安定せず落下時の中子割れなどの問題もあったが、焼成時間を延ばし落下時の中子割れを防止したことにより連続稼動が可能となった。

また、中子成型機の駆動を空圧からサーボ機構に変えたことによりドライサイクル（非焼成時間）を大幅に短縮することが出来た。

中子成型では、RCS材の骨材、樹脂量、樹脂種で昇温時での成型可否に大きく差があることが確認できた。RCS材の選定については、今回の実験結果を踏まえて昇温に適応できるRCS材を選定することが重要である。

材料供給装置ではRCS材の昇温に関して砂温が高温域まで上昇できたが、塊状化が激しく更なる改善が必要である。また、中子離型時の落下による割れを防止する装置を設ける必要もあると考えられる。

(株式会社五十鈴製作所)

- ・ホッパー内実砂温度を測定。
- ・ドライサイクルの測定。
- ・各砂温度による焼成時間の短縮。
- ・各種砂の砂温度と焼成時間の推移確認。

(クロダイト工業株式会社)

作業性及び casting 品の品質について評価を行った。第1回目は、現状の中子製造条件である、RCS材昇温なしで現状のRCS材を含め6種類のRCS材で実験を行った。

評価結果は、全てのRCS材において作業性及び製品の品質に問題は認められなかった。

第2回目は、現状のRCS材を除く5種類のRCS材を用いた中子、実験を行った。評価結果は、作業性において運搬時にムライト系人工骨材及びアルミナ系人工骨材のRCS材で製造した中子に割れが発生した。実験は、割れていない中子を使用し継続したがムライト系人工骨材については、鑄型セット時に割れが発生したため、実験を中止し残りの中子で実験を継続した。

鑄造した製品の評価結果は良好であり、中子が鑄型にセット出来れば、鑄造品の品質に問題は認められなかった。実験より運搬方法など作業方法に改善が必要であるが、中子が鑄型にセット出来れば現状の製品と同等の品質が得られた。

(愛知県産業技術研究所)

本試作開発した水道管継手部品中子の寸法、強度、表面粗さ、鑄型へのセッティング、鑄造品の強度、組織について検討した結果、従来品の中子と遜色なく、使用に問題ないことが分かった。今回試作機の開発から間もなく試運転も短期間で試作品を成型しなければならない状況下であったが、目標とした蒸着化による中子成型時間を半減させ、試作中子の評価までを実施することができた。しかし、今回RCS材の蒸着化における条件設定がまだ十分ではなく、引き続き実機稼動による最適な条件設定等を行う必要がある。

(8) プロジェクトの管理・運営

(財団法人中部科学技術センター)

本プロジェクトに係る研究の進捗管理として、研究開発委員会4回、研究開発委員会（分科会）を4回実施した。

また、成果報告のとりまとめを行った。

1. 5 事業化に向けた取組み（今後の展望）

1. 5. 1 調査方法

調査方法は、鑄造用中子に関して、下記する設備、材料、資料の3点から実施した。

(1) 鑄造設備

アルミ鑄物関係：株式会社五十鈴製作所、鑄鉄鑄物関係：新東工業株式会社の実態調査。

(2) 中子材料

シェル材関係：旭有機材工業株式会社の実態調査。

(3) 統計資料

鑄造関連：愛知県産業技術研究所（図書館）に保存されている鑄造関連専門誌の調査。（社）日本鑄造工学会誌：鑄造工学及び（財）素形材センター誌：素形材

1. 5. 2 調査結果の概要

① 予想される市場規模及び市場占有率

①-1. 市場規模

国内でのシェル中子の生産高は、320 億円/年が予想されるが、今後、減少の傾向にあって、中国、東南アジア諸国、インドなどに移行してゆくものと思われる。現在、アジア市場での中子生産高は、国内の約5倍が推定されるが、自動車産業の普及につれ更に拡大する傾向にある。

①-2. 市場占有率

本研究開発の市場占有率（国内の鑄造設備企業及びRCS材販売企業の意見）としては、20～30%が可能ではないかとの情報を得ている。更に、海外市場の調査も平行して実施しているが、統計的には推定の域を出ない。

② 製品化の見通し

②-1. 本研究開発終了後の製品化のための技術課題

RCS材樹脂の焼成時に発生する異臭の除去、設備のシステム化による省力化、焼成のための熱源の効率化などが上げられる。

・異臭の除去

樹脂（フェノール樹脂）の焼成時に発生する異臭で、大気中に飛散し、工場及び周辺地域からの苦情が大きな課題になっている。

・装置の省力化及び省エネルギー化

既存装置で最も遅れた要素であるが、工程間の自動化やロボットの活用による省力化及び省エネルギー化を図る必要がある。

②-2. 開発スケジュール

・本研究開発終了時点で技術と設備仕様を完了し、次ステップの自社生産においては付帯設備として組み込む。設備販売開始は、研究開発終了後3年を予定する。

②-3. 技術の評価

・省資源、省エネルギー装置は、今後の設備販売において、納入先の付帯条件を加味してフォローする。

1. 5. 3 今後の展望

①「製品化のための技術開発」が終了した後の事業化計画

・今後の展望として本研究開発成果を、販売・生産・市場獲得ごとに区分したものを下記に示す。本計画の本意は海外市場の獲得にあるため、中国、東南アジア、インドなどに通じた専門業者とのコンタクトを開始する予定である。一方、国内市場を含め、前述した鑄造設備及び材料販売企業と連携して販売ネット作りを行う。

項 目	売上高（億円）	
	3年後	5年後
1. 市場獲得と販促		
① 国内（技術譲渡によるロイヤリティ収入）	0.7	1.9
② 海外（設備販売収入）	6.0	21.0
2. 装置製作		
① 蒸着化ユニット（台数）	50	200
② 成型プラント（式）	20	60

1. 5. 4 事業化計画

1. 5. 4. 1 生産事業化計画

①クロタ精工株式会社における生産

クロタ精工株式会社の既存装置に本研究にて開発した成型プラント装置（仮称：K Sマシン）を導入して中子生産を行い、本研究開発の目的及び目標を確認する。生産量及びコスト低減額は以下のとおりとする。

生産高 : 12,000 トン/年

コスト低減額 : 3,000 円/トン（製造原価の 30%に相当する）

低減総額 : 3.6 億円/年

期間 : 評価実験は開発期間と平行して進める。計画の終了時期は、開発終了後 3 年とする。

②個別製品事業化計画（製品名：中子の生産）

②- 1. 製品・技術イメージ

項 目	製品の概要（用途、特長 など）
中子の生産	用途： シェル製鑄造用中子で、自動車部品に適用する。 長所： ①コスト低減が可能。 ②品質が安定する。

②- 2. ターゲットとする市場

- ・対象市場：鑄造業界
- ・ニーズ : コスト低減
- ・位置付け：低コストによる競争力の強化及び技術の高度化による差別化

②- 3. 当該製品分野における予想市場規模及び売上高、シェア

経過年数	1 年後	2 年後	3 年後	4 年後	5 年後
生産高（トン）	0	1,200	3,600	6,000	10,000
生産設備数量（台数）	0	2	6	10	40
コスト低減額（円/トン）	—	3,000	3,000	3,000	3,000
コスト低減総額（百万）	0	3.6	10.8	18.0	300

- ・クロタ精工株式会社の中子製品全量を対象に生産する。
- ・5 年目までに設備の切り替えを完了する。
- ・4 年目以降は、鑄造業界の生産量の減少（10%/年）を加味した。

②- 4. 事業化体制

●事業化体制

- ・生産拠点：クロタ精工株式会社の中子生産工場
- ・技術支援：株式会社五十鈴製作所、愛知県産業技術研究所
- ・技術研修：設備販売のための技術譲渡（研修）を兼ねる。

②- 5. 委託研究終了後 5 ヶ年の事業化計画

経過年数	1 年目	2 年目	3 年目	4 年目	5 年目
市場調査	業界の動向把握に努める	左に同じ	左に同じ	左に同じ	左に同じ
追加研究	環境・省エネ・省エネの研究	市場動向への対応	左に同じ	左に同じ	左に同じ
設備投資（百万）	0	15	30	30	175
コスト低減目標額（百万）	0	3.6	10.8	18	300

1. 5. 4. 2 設備事業化計画

①クロタ精工株式会社における販売ネットの構築、販売及び収益計画の実行

開発装置の事業化を行う。前記した自社での生産により構築した技術及び装置（蒸着化ユニット及び成型プラント【K Sマシン】）販売をクロタ精工及び五十鈴製作所が一体となって進める。

販売先は、中国、東南アジア、インドなど鑄造業における将来展望の図れる地域とする。一方、国内販売は、将来とも生産後退が予想されるため、装置販売の期待度は低い。従って、③項に述べる技術譲渡によるロイヤリティ販売を計画する。

装置販売費：蒸着化ユニット：600 万円/台、成型プラント：1,500 万円/式
 売上目標値を下記表に示す。

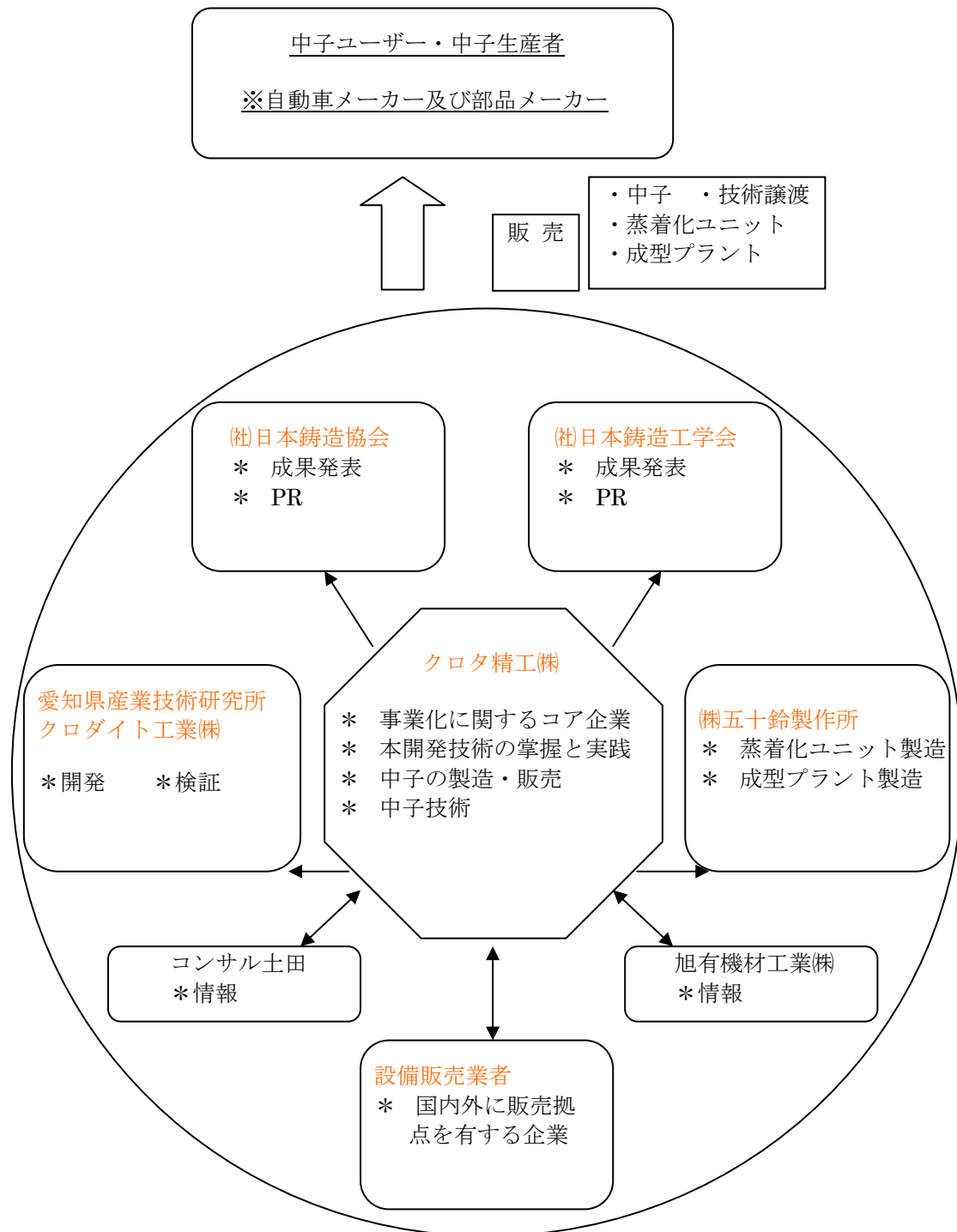
項 目	3 年後	5 年後
1. 蒸着化ユニット	3 億円 (50 台)	12 億円 (200 台)
2. 成型プラント	3 億円 (20 式)	9 億円 (60 式)
総 額	6 億円	21 億円

②委託研究終了後 5 年間の事業化計画

経過年数	1 年目	2 年目	3 年目	4 年目	5 年目
市場調査	国内市場調査及び販売拠点作り	国内販売拠点作り	—	—	—
追加研究	市場動向への対応	市場動向への対応	市場動向への対応	市場動向への対応	市場動向への対応
設備投資	追加研究成果への対応	追加研究成果への対応	追加研究成果への対応	追加研究成果への対応	追加研究成果への対応
販売（売上） （百万）	0	0	23	120	190

- ・販売拠点作りは、市場調査と平行して進める。
- ・販売活動は、初年度から開始する。

③事業化のスキーム図



1. 6 産業財産権等の取得状況

特許出願

特になし。

1. 7 外部発表等の状況

外部発表

特になし。

1. 8 当該プロジェクト連絡窓口

①事業管理者

住所：愛知県名古屋市中区栄二丁目 17 番 22 号

名称：財団法人中部科学技術センター

代表者役職・氏名： 会長 野嶋 孝

連絡先：Tel (052) 231-3043 Fax (052) 204-1469

連絡担当者所属役職・氏名：研究開発推進部 主任 高須容功

②総括研究代表者

所属組織名：クロタ精工株式会社

所属役職・氏名：代表取締役 鈴木 泰博

Tel : 0566-41-3420 Fax : 0566-48-4400

③副総括研究代表者

所属組織・氏名：愛知県産業技術研究所

所属役職：企画連携部 研究支援専門員 彦坂 武夫

Tel : 0566-24-1841 Fax : 0566-22-8033

第2章 本論

第2章 本 論

2. 1 R C S材の蒸着状態を維持するための温度制御への対応

これまでの研究開発で蒸着化温度は100℃以上が理想であるが、課題はR C S樹脂の加熱による塊状化であり、塊状化防止対策としては攪拌が最適であることが確認できている。そこで、クロタ精工株式会社は、R C S樹脂の加熱に最適な温度域をR C S材の抗折力、ベンド、融着点、安息角を測定すること等により調査する。また、愛知県産業技術研究所は、示差熱分析等を行ってR C S樹脂の蒸着化により砂粒のバインダとして機能するメカニズムを調査する。加えて、R C S材の加温維持に際し、生産サイクルの変化等の影響により温度バラツキが生じること等も想定されるため、温度域が制御可能な蒸着化温度制御装置の仕様をクロタ精工株式会社が決定する。当該仕様を受けて、株式会社五十鈴製作所がR C S材の蒸着化温度制御装置を設計、試作する。

本内容については、クロタ精工株式会社、株式会社五十鈴製作所、愛知県産業技術研究所が実施、以下にその成果を述べる。

2. 1. 1 R C S樹脂の加熱に最適な温度域の調査

(1) 蒸着化温度に関する予備実験

①加熱炉によるR C S材の蒸着化実験（事前調査）

実験結果

事前調査では低温域では変化が見られなかったが中温域で蒸着化が始まり、さらなる中温域で一部塊状化が確認できた。高温域以上では塊状化が顕著であった。

②内製R C S材昇温装置による塊状化実験（事前調査）

R C S材（天然珪砂）100kg を昇温装置に入れ昇温し、蒸着化状態の確認を行った。攪拌機能として装置下部よりエアーを供給しR C S材を高音域まで昇温させる。

実験結果

内製R C S材昇温装置では昇温させるに長時間を必要とし、昇温装置内部での塊状化が激しかったが、攪拌を目的としたエアー供給部付近では塊状化がなかった。この結果からR C S材を昇温した場合でも、常時流動させれば塊状化しないことが確認できた。

③蒸着化温度の確認（事前調査）

最適な温度域調査のための予備実験として熱解析によるシミュレーションを実施し、蒸着化による加熱温度と時間の相関を調査した。

- ・特に、製品厚みが薄い場合は、硬化時間が秒単位と短いため、装置の動きが速く、敏捷さが要求される。従って、駆動は、既存の油圧、空圧は対応出来ず、電動式を適用せざるを得ないとする。

- ・成型時間は、予備試験によれば、目標値（既存の半分以上）の達成は可能だと推測される。

- i. 本件の確認のため、愛知県産業技術研究所にて実体試験を行う。

(2) R C S材の抗折試験（事前調査）

①実験方法

- i. 10mm□のテストピースのキャビティを有する金型（5個取り）を作製した。

- ii. 上記金型を用いて、各種条件におけるテストピースを作製し、抗折試験を行った。

- iii. 従来の中子の実体試験結果と比較した。

②実験結果

- ・砂の流動性（安息角）の実験で要因を把握した結果、対応策を検討する必要がある。

(3) 蒸着化したR C S材の融着点及び安息角の確認実験

①調査方法

分析装置を用いて融着点及び安息角の実験を行った。

②実験結果

R C S材の常温状態と蒸着化（温時）状態における融着点及び安息角の実験、比較のため、R

ＣＳ材の骨材に関して、天然硅砂材（市販材料で最も一般的なもの）、ムライト系人工骨材及びアルミナ系人工骨材の３種について実験した。

蒸着化温度が上がると材料は塊状化する。対応策として攪拌機能を付帯する。

2. 1. 2 R C S樹脂の蒸着化により砂粒のバインダとして機能するメカニズムを調査

2. 1. 2. 1 実験方法及び結果

(1) 供試砂の調整方法

実験に用いたR C S材（レジンコーテッドサンド）を実験に用いた。天然硅砂の再生砂、ムライト系人工骨材（軟、硬）アルミナ系人工骨材（軟、硬）は、人工砂にそれぞれレジン进行コーティングしてある。人工砂の粒形状は天然硅砂に比べ球状である。そのため少ない樹脂量で高強度が得られ、各軟、硬材は本蒸着化に対応させた樹脂添加量であり、各砂によるシェル鑄型の強度は天然硅砂とほぼ同一である。本実験では、R C S材の蒸着状態の砂の特性を検討し、最適な加熱温度条件を把握することにあるが、加熱状態下での実験が困難であるため、事前にR C S材を所定温度に加熱後冷却してから実験に供試した。供試砂の調整は、あらかじめ所定量のR C S材を磁性皿に入れ定温乾燥器にて、室温から120℃まで加熱を施し、各所定温度に10分間保持した後、冷却させて供試砂を調整した。加熱状態のR C S材の表面状態は、室温状態に比べ表面が平滑になっていることがわかった。

(2) 各R C S材の加熱重量変化

ここでは、常温の各R C S材を50g秤量し、磁性皿にて定温乾燥器により室温から120℃まで加熱し、所定温度ごとに各R C S材を取り出してデシケーター中で室温まで冷却後精密天秤で秤量し、加熱減量を求めた。

各R C S材は温度の上昇とともに重量が減少していることが分かった。また、天然硅砂は人工砂よりも重量減少が著しい。R C S材の吸着水分の蒸発以外に樹脂の軟化・硬化反応による昇華減少が考えられる。また、天然硅砂は、人工砂に比べ粒形に劣り表面が角張って表面積が大きい。そのため、吸着水分量が多いことと、中子砂として強度を維持するため樹脂量が多いことによる。

(3) 各加熱砂の硬度及び色差

加熱処理により各R C S材は、ある中温域以上では樹脂の熱硬化反応が見られたことから、蒸着化による実機では当然ホッパー内やブロー装置内でブロッキング現象を発生し、機器の正常稼働ができなくなる恐れが考えられる。そこで、ここでは試料調整時に磁性皿で固化したR C S材の硬さを測定し検討した。

いずれのR C S材も一定の中温域までは砂粒状態を維持しており、樹脂添加量が多めの天然硅砂では、ある程度の中温域で一部硬化が生じているが硬さも小さく容易に破碎できる状態である。高温域の加熱処理ではいずれのR C S材も完全固化し、容易には破碎できなくなり、外的な力による破碎が必要である。なお、固化硬さは、生型鑄型の硬度の硬、極硬の範疇に相当する。

R C S材を加熱処理することにより樹脂の硬化反応により色合いが異なってくる。すなわち色合いによりR C S材の硬化反応状態を知ることが可能である。

測色計を用いて各加熱処理砂の色差変化を測定した。なお、ここでは室温状態の砂を基準として求めた。いずれのR C S材もある中温域までは色変化が見られず樹脂の反応があまり進んでいないことが分かる。天然硅砂では、ある中温域以上から著しく色変化し反応が促進されている。人工砂は樹脂添加量が少ないことから、それ以上の中温域以上から色変化が認められ、高温域までは樹脂の反応があまり進んでいないことが分かる。

(4) 充填密度の測定

シェルモールド鑄型の強度及び金型内の細部までR C S材の充填性を十分維持するには、加熱状態のR C S材の流動性と充填性が大きな要因を占めている。ここでは各加熱処理R C S材が充填密度に及ぼす影響を検討した。

実験は、各温度で加熱処理したR C S材をメスシリンダー（50cc）に充填し、その砂の重量を精密天秤で計量して嵩密度を測定した。また、各加熱処理R C S材の成型体の充填密度は、250℃で焼成した曲げ試験片（幅1cm×高さ1cm×長さ6cm）の重量測定から密度を求めた。

各RCS材の加熱処理温度と充填密度の関係では、いずれのRCS材の場合も加熱温度の上昇により充填密度が増加し、一定の中温域以上では減じている。すなわち一定の中温域まではRCS砂粒表層部の吸着水が蒸発、また、加熱処理砂は常温砂に比べ樹脂の軟化により樹脂表層部が丸く滑らかになったことが充填性を向上させているものと考えられる。なお、本試料砂の調整において、高温域以上の加熱処理の場合では砂全体が固化し、そのため破碎により単粒化を施していることから、砂粒表層部の樹脂剥離や形状が角張り、また、樹脂の反応硬化膨張により充填密度が著しく低下していることが分かる。これら加熱処理砂を用いて成型体を焼成した場合の充填密度も同様の傾向を示している。

(5) 高温引張強さ試験

高温引張強さ試験は、JACTのシェルモールド試験(SM-2)法により試験した。高温引張試験機(荷重容量 500N/cm²、日本鑄造技術協会推奨)を用いて各加熱処理RCS材を 250℃に加熱した試験片金型中に素早く充填して所定時間焼成した後、引張速度 25mm/分で試験した。なお、試験温度 250℃、焼成時間は 60~210s とした。

加熱処理RCS材を焼成する場合、樹脂分がバインダとしての機能を維持しているか、また、焼成時間が樹脂の熱硬化反応に影響してシェル成型体の強度に影響を及ぼすことが考えられる。

中温域、高温域で加熱処理したRCS材(天然硅砂)の焼成時間と高温引張強さの関係では、いずれの加熱処理温度の砂でも初期の経過時間までは高温引張強さが増大し、焼成時間 100s 以上ではその増加率は小さい。また、RCS材の加熱処理温度が低いものは高い強度が得られている。すなわち樹脂層の硬化反応がすでに生じている高温域処理砂では強度が低い。これらのことから、以後の実験では十分なシェル成型体の強度が得られる焼成時間は 150s とした。

各RCS材の加熱処理温度と高温引張強さの関係では、いずれの場合も加熱処理温度がある中温域での高温引張強さはあまり差が認められずにほぼ一定の値を示し、それ以上の温度では著しく低下していることが分かる。すなわちRCS材の加熱処理による樹脂の反応は、ある中温域までは後述する樹脂の示差熱分析結果からも分かるように硬化反応があまり進んでいないことが強度の低下がないものと考えられる。また、それ以上の加熱処理温度では、RCS材の硬化反応した樹脂分や塊状固化した砂粒を破碎していること、砂粒表層の樹脂の剥離や硬固化反応が生じているため、砂粒同士の融着が不十分となり強度が著しく低下したものと考えられる。

(6) 3点曲げ強さ試験

曲げ試験片は、一度に5本の試験片が採取できる金型を用いて電気炉中で 250℃に加熱を施してから各加熱処理RCS材を充填して、その温度に 150s 間保持して焼成成型し、曲げ試験片(幅 1cm×高さ 1cm×長さ 6cm)を作製した。曲げ強さ試験は、JACTのシェルモールド試験により支点間距離 5cm とした。

各加熱処理RCSの加熱処理温度と曲げ強さの関係では、いずれのRCS材も前述した高温引張強さの結果と同様な傾向を示していることが分かる。また、室温からある中温域までは本来シェル成型体が持つ曲げ強度を維持していることが分かる。これらのことから樹脂添加量及び砂の種類が異なるそれぞれのRCS材の蒸着化による加熱温度条件はある程度の中温域が限界と考えられる。

(7) 破面観察

各RCS材の曲げ試験後の破断面を実体デジタル顕微鏡により観察した。室温状態の天然硅砂は、人工砂の室温状態に比べ砂粒形状の違いにより充填密度が粗いことが分かる。また、いずれのRCS材も多く砂粒同士が互いに融着している。一方、高温域処理したRCS材の破面は、いずれの場合も室温状態に比べ充填密度が粗く、また、砂粒同士の融着が少なくないことが分かった。すなわち、これらのことが前述した充填密度、曲げ強さに大きく影響していることが分かった。

(8) たわみ試験

試験は、JACT試験法 SM-3 のたわみ試験法にて行った。試験片作製金型を 270℃の電気炉で加熱した後、金型を取り出し 250℃に降温した時点で各加熱処理RCS材を充填し、表面の余分の砂を掻き取り、直ちに電気炉中に金型を装入して 30sec 保持して焼成した後、直ちにシェル

試験片を取り出してたわみ試験器の支持台にのせ 400 g の荷重を中心部に負荷し、3 分後のたわみ量をダイヤルゲージにて測定した。シェル試験片の寸法は、長さ 180×幅 40×厚さ 5 mm の板状である。

各 R C S 材の加熱処理温度たわみ量の関係では加熱処理を高温域までの各 R C S 材を試験した。

樹脂量の多いものほどたわみ量が小さくなる傾向にある。また、加熱処理による各 R C S 材の樹脂の硬化反応が生じているある中温域以上ではたわみ量が大きくなり、焼成時における成型強度があまり期待できないことが分かった。

(9) 示差熱分析結果

示差熱・熱重量同時測定装置を用いて、樹脂を熱分析した。本来なら各 R C S 材を熱分析すべきであるが、砂粒に添加されているコーティングレジン量は天然珪砂で 3.5% と非常に少ないため、R C S 材そのものでは測定が困難である。そのためここでは事前にレジン単体を室温、中温域、高温域で加熱処理したものを測定した。

室温及び加熱処理後レジンの示差熱・熱重量分析、ここでは代表的なレジンの熱分析とした。樹脂に加熱処理を施すことにより、150℃までの重量減少率は温度が高くなるほど減少割合が小さい傾向を示した。また、室温状態の樹脂では、中温域から軟化反応が生じ、高温域では固化、さらなる高温域では完全固化する。加熱処理した樹脂では、樹脂の加熱処理温度が高いものほど軟化反応温度領域が狭く、かつ反応温度が高くなっている。すなわち中温域、高温域の加熱処理により軟化状態の温度領域が狭く、短時間で硬化反応が進むものと考えられる。

(10) 塊状化防止の検討

R C S 材は、成型装置のホッパー内での R C S 材の流動性や金型内への充填性を増すため、滑材が添加されている。ここでは、中温域の加熱処理状態における R C S 材の砂粒同士の固着の防止を図るため、滑材を R C S 材に添加して加熱処理を行い、砂粒同士の固着防止および滑材添加処理砂がシェル成型体の引張強さに及ぼす影響を検討した。いずれの滑材も添加量の増加により砂粒同士の固着が少なくその結合力も小さいため崩壊性も良いことが分かった。

高温域加熱処理天然珪砂に滑材添加量が引張強さに及ぼす影響では、いずれの滑材も添加量の増加により引張強さが低下している。滑材添加は、砂粒の塊状化防止効果は得られるが成型体の強度特性が低下するため、その添加はあまり期待できないと判断された。

2. 1. 2. 2 研究成果

本研究開発では、鋳物中子製造の中核をなすシェルモールド法における中子成型での R C S 樹脂の蒸着化技術を確立し、金型に吹き込む R C S 材の焼成時間及び成型装置のシステム化を図るため、各 R C S 材の砂粒形・表面観察、充填密度、強度試験及び熱分析などを行い、試作開発する中子成型機に用いる R C S 材の加熱温度条件に関する基本的な特性を調べた。

砂粒にコーティングされている樹脂の示差熱分析により、熱重量は加熱温度の上昇とともに吸着水分が減少し、また、加熱温度は、ある中温域以上では樹脂の軟化反応及び硬化反応が認められた。

各加熱処理後の R C S 材の表面観察を走査型電子顕微鏡により観察し、加熱処理温度の上昇とともに、砂粒コーティング樹脂表面層の滑らかさが認められたが、高温域以上の R C S 材では個々の R C S 材の砂粒同士の熔融固着により一部角張った付着樹脂層や剥離層が認められた。なお、R C S 材の加熱処理により中温域までは R C S 材同士の固着は認められず、さらなる中温域では R C S 材の一部塊状凝集化し、高温域以上では R C S 材が完全固化した。

各加熱処理砂の充填密度は、加熱処理温度の上昇とともに増加したが、逆に中温域以上では減少した。すなわち中温域までの加熱処理では、示差熱分析結果から吸着水分の減少、樹脂表面層の滑らかさの向上が図られたことにより充填密度が向上したものと考えられる。このように充填密度が増加することにより焼成成型体の強度向上が期待できるものと推測された。

次に、各加熱処理 R C S 材の焼成成型体による引張、曲げ試験の強度特性は、加熱処理温度中温域までは引張、曲げ強度の低下は認められず、それ以上の温度では急激に強度が低下した。

これらのことから、R C S 材の蒸着状態を維持、また、焼成成型体の強度低下を招かない状態を保つには加熱温度中温域までが限界であり、実用温度としては最適かと考えられ、R C S 材の

加熱処理温度条件を設定することができた。

2. 1. 2. 3 今後の取り組みと課題

本研究成果はあくまで事前に加熱処理した室温砂を用いて実験を行っているため、生産ベースにおける実機での中子成型の製造条件に直接結びつけることには若干問題があるが、加熱RCS材の樹脂の挙動、充填性、成型体の強度等の意義あるデータを取得することができた。実際、中子成型においては、生産性を第一に考える必要があり、本研究開発のRCS材の加温に対しては、ホッパー内で約 50 kg の砂の温度を開発目標である短時間で昇温させなければならない。そのため試作機のRCS材の加熱には所定の設定温度以上の熱源（熱風）で加熱を施している。現時点での試作機の稼動状態は、RCS材は中温域の加温状態ではブロッキング現象は生じていないが、その上の中温域以上ではブロック化し、稼動が困難である。

今後は、より実機の稼動状態に近い加熱RCS材を用いた実験を行い、各RCS材に最適な蒸着化条件及び中子成型体の特性を検討する必要がある。

2. 1. 3 蒸着化温度制御装置の仕様の決定

RCS樹脂の加熱に最適な温度域に関する実験結果について、以下の実験依頼及び擦合せ検討を行った。

（1）愛知県産業技術研究所への依頼試験（再確認実験）

- ①予備実験の実体確認（蒸着化に関する温度—時間のシミュレーション）
- ②抗折試験の高温試験（当社で確認した 66℃以上での結果の再確認を含め）
- ③五十鈴製作所との擦合せ事項
 - 1)蒸着化材の硬化速度の速さ及び敏捷性への対応（駆動源の電動化及び材料の塊状化防止のための攪拌及びエアレーションについて）
 - 2) 抗折力の低下への蒸着化温度の影響（材料の昇温速度、温度の均一性など）
 - 3)材料の蒸着化による融着点及び安息角への影響
- ④実体による確認実験へのフィードバック
 - 1)機械的強度実験
 - ・上記①項の実験結果の設備仕様への反映（クロタ精工株式会社で試作した中子をクロダイト工業株式会社で鋳造し実体確認する）
 - ・鋳造欠陥確認実験
 - 2)鋳造欠陥（中子のガス、強度、寸法など）の設備仕様への影響

2. 1. 4 RCS材の蒸着化温度制御装置の設計、試作

2. 1. 4. 1 プロジェクト全体における本研究開発の位置づけ

本研究においてRCS材の最適な温度域を検証する為制御可能な蒸着温度制御装置を設計、試作を行う。

2. 1. 4. 2 目的と目標

市販の中子成型機には蒸着化温度である高温域以上の昇温機能の具備した設備が無いので温度制御が可能な装置を設計、試作を行う。

2. 1. 4. 3 実施方法及び実施条件

効率良くシンプルでコンパクトな構造装置全体構成を構築する為に昇温機能有する部位をホッパーとブローヘッドに集約し高温域以上の温度条件を設定する。

2. 1. 4. 4 実験装置の概要

- （1）市販の中子成型機への取付け、設置を考慮しサイズ決定をする。
- （2）電気ヒーターとブローアを使用し送風温度は連続使用最高温度が 350℃の物を使用しRCS

S材高温域前後迄昇温する。

- (3) 加熱エアーは設定温度迄上昇、設定温度に到達した場合ブロアーの回転数を下げ、ヒーターの加熱を停止する。
- (4) 加熱エアーは一定量のRCS材のみ内部より加熱される為、次工程の物は余熱されてないのでホッパー外部より予備加熱を行う。
- (5) バブリングでの微粉防止対策として集塵機設置する。
- (6) 各部位にて砂温度を測定する。

2. 1. 4. 6 成果

- (1) 珪砂による高温域迄の昇温確認。
- (2) 天然珪砂による中温域迄の昇温及び溶着化確認。
- (3) 各温度設定と実際の温度確認。
- (4) 微分集塵の確認。

2. 1. 4. 7 今後の課題と取組み

砂を短時間に昇温させサイクル内での設定温度リカバリーも一定砂量であれば可能である事は判ったが、急激な温度変化に抗折力等が影響されるので今後は段階別の昇温も検討が必要と考えられる。

2. 1. 5 RCS材の蒸着状態を維持するための温度制御への対応（総括）

本研究開発にあたり愛知県産業技術研究所にての電気炉によるRCS材蒸着化事前調査では低温域では変化が見られなかったが中温域で蒸着化が始まり、さらなる中温域で一部塊状化が確認され、高温域以上では塊状化が顕著であった。

また、内製RCS材昇温装置を使用しての事前調査では攪拌機能が充分でなく、装置内での塊状化が激しかった。しかし、攪拌を目的としたエアー供給部付近では塊状化がなかった。この結果からRCS材を昇温した場合、常時流動させれば塊状化しないことが分かった。

鋳物中子製造の中核をなすシェルモールド法における中子成型でのRCS樹脂の蒸着化技術を確認し、金型に吹き込むRCS材の焼成時間及び成型装置のシステム化を図るため、試作開発する中子成型機に用いるRCS材の加熱温度条件に関する基本的な特性を調べた。

砂粒にコーティングされている樹脂の示差熱分析により、熱重量は加熱温度の上昇とともに吸着水分が減少し、また、加熱温度中温域では樹脂の軟化反応及び硬化反応が認められた。

各加熱処理後のRCS材の表面観察を行い、加熱処理温度の上昇とともに、砂粒コーティング樹脂表面層の滑らかさが認められた。高温域のRCS材では個々のRCS材の砂粒同士の溶融固着により剥離層があった。RCS材の加熱処理により中温域までは固着は認められず、さらなる中温域ではRCS材の一部塊状化があり、高温域以上ではRCS材が完全固化した。

次に、各加熱処理RCS材の焼成成型体による引張、曲げ試験の強度特性は、加熱処理温度中温域までは引張、曲げ強度の低下は認められず、それ以上の温度では急激に強度が低下した。

これらのことから、RCS材の蒸着状態を維持、また、焼成成型体の強度低下を招かない状態を保つには加熱温度一定の中温域までが限界であり、実用温度としては、その下の中温域が最適かと考えられ、RCS材の加熱処理温度条件を設定することができた。

機械的には高温域まで昇温させ、攪拌機能を備えた装置とする。

本研究成果はあくまで事前に加熱処理した室温砂を用いて実験を行っているため、生産ベースにおける実機での中子成型の製造条件に直接結びつけることには若干問題があるが、加熱RCS材の樹脂の挙動、充填性、成型体の強度等の意義あるデータを取得することができた。実際、中子成型においては、生産性を第一に考える必要があり、本研究開発のRCS材の加温に対しては、ホッパー内で約 50kg の砂の温度を開発目標である短時間で昇温させなければならない。そのため試作機のRCS材の加熱には所定の設定温度以上の熱源（熱風）で加熱を施している。現時点での試作機の稼動状態は、RCS材はある中温域の加温状態ではブロッキング現象は生じていないが、その上の中温域以上ではブロック化し、稼動が困難である。

今後は、より実機の稼動状態に近い加熱RCS材を用いた実験を行い、各RCS材に最適な蒸

着化条件及び中子成型体の特性を検討する必要がある。

2. 2 R C S材の塊状化に対応した攪拌への対応

(1) 機械的な攪拌装置による塊状化防止実験（事前調査）

内製R C S材昇温装置による塊状化実験の結果を踏まえ、機械的な攪拌機能を有した装置による塊状化防止の実験を行った。R C S材（天然珪砂）を昇温装置に入れ高温域まで昇温させ、塊状化状態の確認を行った。攪拌装置として食品関係の材料を混練するための攪拌機を使用した。

①実験結果

- ・塊状化の発生開始温度は、中温域近辺と思われる。
- ・塊状化は、攪拌により防止出来る。

R C S材の塊状化に対応した攪拌への対応として、材料供給装置の開発、R C S材の充填（ブロー）装置の開発を通して、各機械に攪拌を行う機能を取り込み、R C S材の塊状化に対応した検討を行う。本内容については、クロタ精工株式会社、株式会社五十鈴製作所が実施、以下にその成果を述べる。

2. 2. 1. 1 材料供給装置の開発（仕様検討）

(1) 材料供給装置の仕様調査

R C S材昇温装置メーカーを訪問し、仕様調査を行った。

①調査結果

本研究開発装置で最も判断が難しかった項目であるが、材料の昇温機能をどのように付帯させるかの検討に開発期間のほとんどが裂かれた状況であった。最終的には五十鈴製作所と検討の結果、Y社のR C S材昇温機能を付帯した装置を採用し改造を実施することにした。

②装置の概要

i. 材料加熱による主なメリット

- ・材料の流動性の向上
- ・金型温度低下の軽減
- ・成型条件が四季を通じ同一。
- ・材料歩留まりの向上
- ・充填性向上による不良低減
- ・中子の肉厚が均等になる。

ii. 材料の加熱設備の仕様

- ・空気を加熱しブローで送風する。
- ・材料温度はヒーターで行い、調整出来る。

iii. 加熱温度と時間

- ・最大温度設定する
- ・材料の供給。
- ・加熱室を設け、材料の熱効率を上げる。

iv. 環境対策

- ・集塵装置を付帯する。

2. 2. 1. 2 材料供給装置の開発（設計・試作）

R C S材の塊状化に対応した攪拌への対応として、材料供給装置の開発、R C S材の充填（ブロー）装置の開発を通して、各機械に攪拌を行う機能を取り込み、R C S材の塊状化に対応した検討を行う。

2. 2. 1. 2. 1 プロジェクト全体における本研究開発の位置づけ

本研究においてR C S材を効率良く均一加温できる媒体を調査し設計、試作を行う。

2. 2. 1. 2. 2 目的と目標

市販されているメーカーの調査を行い、特徴を生かし材料供給装置を設計、試作を行う。

2. 2. 1. 2. 3 実施方法及び実施条件

効率良く短時間に均一加温できるヒーター及びブローアを実績あるメーカー選定し改良後、温度測定を実施する。

2. 2. 1. 2. 4 実験装置の概要

- (1) 市販の中子成型機への取付け、設置を考慮しサイズ決定。
- (2) 時間に効率良く昇温出来るよう加温部位を限定。
- (3) 塊状化した場合のメンテナンス方法として点検口設置及び分割位置増加。(点検口での砂流動確認)
- (4) ホッパー形状は粘着防止対策として円錐形を採用し、温度測定。

2. 2. 1. 2. 6 成果

- (1) 攪拌状態の確認。(下部攪拌はモーター容量UP)
- (2) ホッパー部攪拌追加による加熱温度増加確認。
- (3) 砂噛みによる摺動部シール型式変更。

2. 2. 1. 2. 7 今後の課題と取組み

今後の検討によっては、ブローヘッド内での昇温、ブロー圧への逆流対応により、更に高温域に追従出来る可能性がある。

2. 2. 2. 1 R C S材の充填（ブロー）装置の開発（仕様検討）

(1) R C S材の充填装置の仕様確認

従来の方式であると、ブロープレート上にR C S材落下防止の遮蔽板が取付けてある。しかし、この方式であるとブローヘッド内での攪拌や熱風による加熱を行うと、R C S材がブロープレートから噴出してしまふなどの重大な問題があるので考慮した。

(2) ブローヘッド内仕様項目

- ①ブローヘッド内での攪拌時にR C S材の落下を防止する機構を設置する。
- ②充填室にはR C S材の蒸着化を防止するため機械的な攪拌機能装置を設置する。
- ③充填室内でのR C S材昇温機能装置を設置する。

2. 2. 2. 2 R C S材の充填（ブロー）装置の開発（設計・試作）

2. 2. 2. 2. 1 プロジェクト全体における本研究開発の位置づけ

本研究においてR C S材の塊状化に対応した攪拌への対応した機構を設計、試作を行う。

2. 2. 2. 2. 2 目的と目標

市販の中子成型機には塊状化に対応した設備が無いので攪拌を具備した機構を設計、試作を行う。

2. 2. 2. 2. 3 実施方法及び実施条件

限定スペース内での機構を構築した。

2. 2. 2. 2. 4 実験装置の概要

- (1) 市販の中子成型機への取付け、設置を考慮しサイズ決定。
- (2) 短時間に効率良く昇温出来るよう加温部位を限定。
- (3) 塊状化対応としてホッパー切出し部の攪拌。

2. 2. 2. 2. 6 成果

- (1) 攪拌状態の確認。
- (2) ホッパー部攪拌追加による加熱温度増加確認。
- (3) 砂噛みによる摺動部シール型式変更。

2. 2. 2. 2. 7 今後の課題と取組み

今後の検討によっては、ブローヘッド内での昇温、ブロー圧への逆流対応により、更に高温域に追従出来る可能性はある。

2. 2. 3 蒸着化ユニットの試作

2. 2. 3. 1 プロジェクト全体における本研究開発の位置づけ

蒸着化温度制御装置、材料供給装置、充填（ブロー）装置を構成した蒸着化ユニット試作を行う。

2. 2. 3. 2 目的と目標

各ユニットを試作する事により高温に維持しながら金型に充填する設定条件を明確化にする。

2. 2. 3. 3 実施方法及び実施条件

効率良くシンプルでコンパクトな構造装置全体構成を構築する為に昇温機能有する部位をホッパーとブローヘッドに集約し高温域以上の温度条件の設定を行う。

2. 2. 3. 4 実験装置の概要

- (1) 市販の中子成型機への取付け、設置を考慮しサイズ決定。
- (2) 電気ヒーターとブロアーを使用し、RCS材高温域前後迄昇温。
- (3) 加熱エアは設定温度迄上昇、設定温度に到達した場合ブロアーの回転数を下げ、ヒーターの加熱停止。
- (4) 加熱エアは一定量のRCS材のみ内部より加熱される為、次工程の物は余熱されてないのでホッパー外部より予備加熱を行う。
- (5) バブリングでの微粉防止対策として集塵機設置。
- (6) 各部位にて砂温度を測定。

2. 2. 3. 6 成果

- (1) 珪砂による高温域迄の昇温確認。
- (2) 天然珪砂による中温域迄の昇温及び溶着化確認。
- (3) 各温度設定と実際の温度確認。
- (4) 微分集塵の確認。

2. 2. 3. 7 今後の課題と取組み

砂を短時間に昇温させサイクル内での設定温度リカバリーも一定砂量であれば可能である事は判ったが急激な温度変化に抗折力等が影響されるので今後は段階別の昇温も検討が必要と考えられる。

2. 2. 4 RCS材の塊状化に対応した攪拌への対応（総括）

内製RCS材昇温装置による塊状化実験及び愛知県産業技術試験所の各種実験結果を踏まえ、攪拌用エアと機械的な攪拌機能を有した材料供給装置、RCS充填装置が必要と考える。

2. 3 高速で精度の高い機能を有する成型装置の開発

高速で精度の高い機能を有する中子成型機の開発を行う。また、フィルタ等でRCS材の溶融凝固状態の残渣を分別する等の回収装置の開発を行う。

本内容については、クロタ精工株式会社、株式会社五十鈴製作所が実施、以下にその成果を述べる。

2. 3. 1. 1 成型装置の開発（仕様検討）

成型装置の仕様検討は、蒸着化技術の対応に向けて、クロタ精工株式会社、株式会社五十鈴製作所、愛知県産業技術研究所が一体となって進めた。主な検討結果を以下に示す。

（1）成型装置の基本仕様

①RCS材の加熱

- i. 加熱機能はRCS材を高温域まで昇温可能であることとする。
- ii. 材料供給装置で予備加熱を行う。加熱媒体及び加熱方式は（1）①i項と同じとする。

②塊状化の防止

- i. ホッパー及びブロー部は、加熱することにより温度が高く成るので塊状化の傾向が高い。従って、RCS材昇温部には攪拌装置を設け、機械的に対応する。
- ii. 材料供給部（予備加熱）は、温度が低いので塊状化の傾向が低い。従って、エアレーションにて対応する。

③装置の駆動

- i. ドライサイクル（非焼成時間）の短縮の為、油圧・空圧より、敏捷性に勝る電動システムにする。
- ii. 装置の動きが繊細かつ機敏に成るので、これに対応した制御システムを開発する。
- iii. 装置のサイクルタイムを短縮するため作動工程のラップ化を図る。

④安全対策

- i. 非常停止機能を設置する。
- ii. 加熱媒体に空気を使用するため空気漏れには万全を施す。
- iii. 加熱媒体の配管部は手、足、体が接触しても火傷、怪我しない様対策する。
- iv. 駆動部分には巻き込まれ防止装置を設置する。

2. 3. 1. 2 成型装置の開発（設計・試作）

高速で精度の高い機能を有する中子成型機の開発を行う。また、フィルタ等で凝固状態の残渣を分別する等の回収装置の開発を行う。

2. 3. 1. 2. 1 プロジェクト全体における本研究開発の位置づけ

従来の中子成型装置は空圧シリンダーによる金型開閉・回転の為、速度UPに限界があるので、速度制御可能な装置の設計、試作をする。

2. 3. 1. 2. 2 目的と目標

中子成型機ドライサイクルを半減し、中子製造コストの30%低減を目指す。

2. 3. 1. 2. 3 実施方法及び実施条件

市販の中子成型機で空圧シリンダーをACサーボモーターに変更し数値制御を行いサイクル短縮する。

2. 3. 1. 2. 4 実験装置の概要

- （1）市販の中子成型機への取付け、設置を考慮しサイズ決定。

(2) 各部のACサーボモーター化。

2. 3. 1. 2. 6 成果

- (1) ブローヘッド部走行速度の任意化。
- (2) 転倒部の回転速度、角度の任意化。
- (3) バイス部の型閉め力、型締め寸法の任意化。
- (4) ドライサイクルの短縮

2. 3. 1. 2. 7 今後の課題と取組み

ドライサイクル半減に対し若干不足しているのでベルトコンベア昇降をACサーボ化する事により更なる短縮が可能。型締め力は任意設定可能ではあったが最初の設計値が低かった為次回は1.5～2倍程度の推力が必要。

2. 3. 2. 1 付帯装置の開発（仕様検討）

今回の中子については無垢の製品であったが、中空中子を成型する場合に反転排砂を行う。その際、高温のRCS材が排出され塊状化するので細粒化しリユースが可能な付帯装置を検討した。

(1) 検討事項

- ①高温により塊状化したRCS材の破碎する装置の設置。
- ②破碎した高温のRCS材を冷却する装置の設置。
- ③細粒化したRCS材を分級する機能の設置。

2. 3. 2. 2 付帯装置の開発（設計・試作）

2. 3. 2. 2. 1 プロジェクト全体における本研究開発の位置づけ 凝固状態にあるRCS材の残渣を分別回収する装置を設計、試作する。

2. 3. 2. 2. 2 目的と目標

反転排砂した凝固状態にある残渣を分別回収し再利用出来る状態にする。

2. 3. 2. 2. 3 実施方法及び実施条件

排砂シュートに滞留したRCS材を定期的に空圧シリンダーにて崩壊させ、エアブローにて冷却をする。

2. 3. 2. 2. 4 実験装置の概要

- (1) 凝固状態にある残渣をシュート上で堰き止め空圧シリンダーにて崩壊。
- (2) エアブローにより冷却
- (3) 振動モーター併用により崩壊、搬送。

2. 3. 2. 2. 1 成果

空圧シリンダーにより崩壊性確認。

2. 3. 2. 2. 1 今後の課題と取組み

エアブローをクーラー等で冷却すれば効率大。空圧シリンダー付近の周囲温度が高いのでエアブローと合わせ冷却すれば更に効果大。

2. 3. 3 高速で精度の高い機能を有する成型装置の開発（総括）

RCS材の加熱機能はRCS材を高温域まで昇温可能であり、加熱媒体として空気をうい、送風過程に設けたヒーターで行うこととする。

塊状化の防止はホッパー及びブロー部を加熱することにより温度が高くなるので塊状の傾向

が高い。従って、RCS材昇温部には攪拌装置を設け、機械的に対応する。材料供給部（予備加熱）は、温度が低いので塊状化の傾向が低い、充分な攪拌機能を有する装置にする。

装置の駆動はドライサイクル（非焼成時間）の短縮のため油圧・空圧より敏捷性に勝る電動システムにする。装置の動きが繊細かつ機敏に成るので、これに対応した制御システムを開発する。装置のサイクルタイムを短縮するため作動工程のラップ化を図る。

安全対策は非常停止機能を設置する。加熱媒体に空気を使用するため空気漏れには万全を施し、加熱媒体の配管部は手、足、体が接触しても火傷、怪我しない様対策する。また、駆動部分には巻き込まれ防止装置を設置する。

上記の機能を備えた成型装置を依頼し、製作した。

2. 4 評価の実施

製作した成型装置の機能（中子の焼成時間及び稼働時間の短縮）及び成型した中子の評価（鑄造欠陥、寸法精度、コストメリット など）について評価実験を行った。

本内容については、クロタ精工株式会社、株式会社五十鈴製作所、愛知県産業技術研究所、クロダイト工業株式会社が実施、以下にその成果を述べる。

2. 4. 1. 1 蒸着化ユニットと中子成型装置で中子を試作し、中子成型の焼成時間の短縮やコスト低減の程度を検証

（1） 蒸着化ユニットと中子成型装置概要

①蒸着化ユニットと中子成型装置

RCS材供給部分に蒸着化ユニットを設置した中子成型機である。駆動部分に関しては機械の動きを高速化するためサーボ機構を採用した。

中子成型装置全体を写真 2.4.1.1.1 に示す。



写真 2.4.1.1.1 中子成型装置全体

②蒸着化ユニット（材料供給装置）

従来のRCS材は常温で充填（ブロー）装置へ供給されているが、焼成時間を短縮させるためにRCS材を昇温・蒸着化させ、塊状化防止のため攪拌機能を有した材料供給装置。

③蒸着化ユニット（充填【ブロー】装置）

RCS材を金型に充填させるため、昇温・攪拌機能を装着した充填（ブロー）装置。

④中子成型機駆動装置（サーボ機構）

従来の中子成型機は空圧によるもので速度の一定性、可変等が不確定であり品質、生産性にバラツキが発生するため、成型機を高速・高精度で数値制御が可能なサーボ機構を採用した。

R C S材の昇温状態及び機械の駆動状況については以後の項目で示す。

（２）R C S材の選定項目

R C S材は量産で使用している天然珪砂をベースに実験を行うが、環境問題にも配慮して鑄造時の煙発生量を削減出来るR C S材についても調査を行い、レジン量については骨材の強度が同等となるように決めた。R C S材の選定及び性能確認については、以下に、決定した。

天然珪砂、ムライト系人工骨材（硬・軟）、アルミナ系人工骨材（硬・軟）

（３）R C S材の性能確認

抗折力、ベンド（たわみ）、融着点、安息角を調査した。

①金型にてテストピースを成型、抗折力測定機にて抗折力を測定した。

②金型にてテストピースを成型、ベンド測定機に乗せて 400 g の錘をのせてベンド（たわみ量）を測定した。一般的にはベンドの数値が小さい程、R C S材が早く硬化し、数値が大きい程、R C S材の硬化が遅くなると考えられている。

③R C S材を安息角測定機に静かに注ぎ、角度を測定した。安息角とはR C S材の流動性を表す数値であり、数値が小さい程、R C S材の流動性が良いと考えられている。

④R C S材を融着点測定機に載せて加熱後、エアで飛ばして融着点を測定した。融着点とはR C S材に含まれるレジンの軟化する温度である。

（４）R C S材性能調査結果

R C S材昇温による影響について抗折力、ベンド（たわみ量）、安息角を確認した。

（５）中子成型評価

中子成型はS 20 mmナット板芯中子で行った。中子の重量は 3000g、縦×横×厚さは 359 mm×273 mm×18 mmとなっている。S 20 mmナット板芯中子を写真 2.4.1.1.2 に示す。

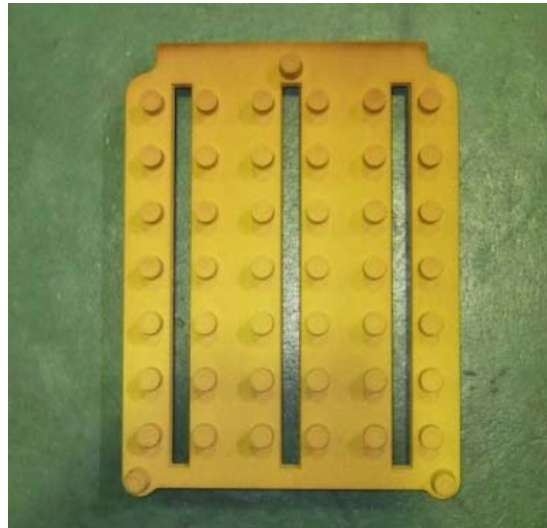


写真 2.4.1.1.2 S 20 mmナット板芯中子

①砂温の変化による焼成時間短縮の成型実験

選定したR C S材を中温域及びその上の中温域に昇温させ、焼成時間を 20 秒～70 秒にて中子成型した。

成型実験評価で砂温中温域、焼成時間 40 秒の条件では天然珪砂は問題なく成型できる。他のR C S材はテストピースの状態では 5 種類とも同等の強度があったが中子離型時の抵抗が大き

いために割れた。要因としてはR C S材の骨材熱伝導率の低さによる焼成不足、昇温時におけるR C S材の強度劣化が考えられる。このことから強度を統一したレジン量の少ないR C S材を選定したが、昇温焼成には対応できないことが分かった。

ただし、本研究の目標である、中子成型時間半減のためさらに短い焼成時間の鑄造評価用中子が必要であったので、中子落下による割れを防止するためにマットなどを使用してサンプル中子を成型した。また、砂温が常温での鑄造評価用中子については従来中子成型機を使用して成型を行ったが中子割れは発生しなかった。

②砂温の変化による焼成時間別の焼成層確認

本装置を使用して各R C S材で従来条件と今回開発するR C S材昇温条件で成型したS 20 mm ナット板芯中子を切断してメタノールに1分間浸し、ブラシにて未焼成部分を除去した後に、焼成層の各肉厚寸法をノギスにて測定した。焼成層の各肉厚寸法箇所は写真 2.4.1.1.3 に示す。表 2.4.1.1.1 に従来条件と昇温条件による焼成層の比較を示す。

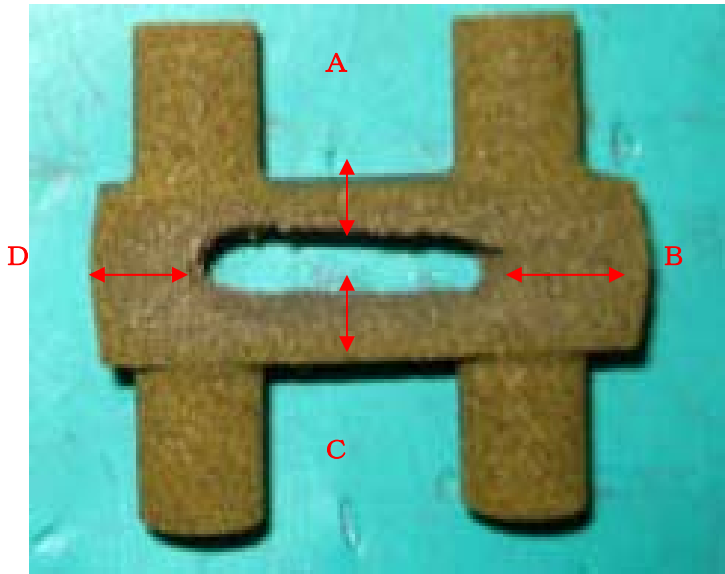


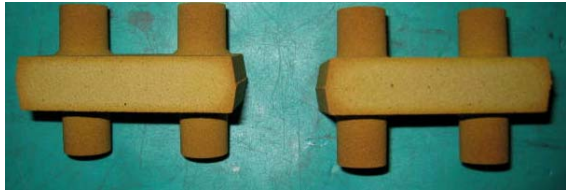
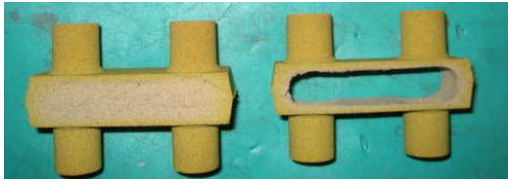
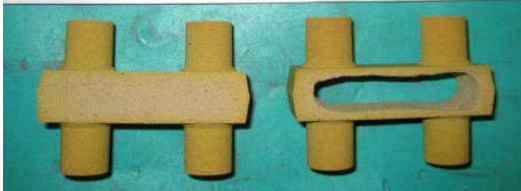
写真 2.4.1.1.3 肉厚寸法測定箇所

天然珪砂とアルミナ系人工骨材硬では完全硬化していた。ムライト系人工骨材硬は焼成が5 mm 以上あったが、ムライト系人工骨材軟、アルミナ系人工骨材軟は焼成層が4 mm 程度であった。このことからムライト系人工骨材、アルミナ系人工骨材軟は焼成層不足のため、今回の中子成型には不安がある。

焼成層は5 mm以上必要と考えられるが、天然珪砂については5 mm近くの焼成層が出来ている。他のR C S材については焼成層が2～3 mm程しかない。このことから、天然珪砂だけが成型できる可能性があると考えられるが、他のR C S材では成型が対応できない。

表 2.4.1.1.1 従来条件と昇温条件による焼成層の比較

従来条件による成型	昇温条件による成型
天然珪砂	天然珪砂
	
評 価	評 価

中心部まで焼成できている	中心部に未焼成層が見られる
ムライト系人工骨材硬 	ムライト系人工骨材硬 
評 価	評 価
中心部が一部未焼成である	外周に焼成部が見られるが中心部は殆んど未焼成層である
ムライト系人工骨材軟 	ムライト系人工骨材軟 
評 価	評 価
中心部が未焼成である	外周に焼成部が見られるが中心部は殆んど未焼成層である
アルミナ系人工骨材硬 	アルミナ系人工骨材硬 
評 価	評 価
中心部まで焼成できている	中心部に未焼成層が見られる
アルミナ系人工骨材軟 	アルミナ系人工骨材軟 
評 価	評 価
中心部まで焼成できている	中心部に未焼成層が見られる

(6) 蒸着時における中子の表面観察

本装置により焼成した各RCS（昇温）材のS20mmナット板芯中子の表面状態及び破断面を

デジタル実体顕微鏡で観察した。天然珪砂は、ムライト系（硬、軟）、アルミナ（硬、軟）に比べ、砂粒径も若干大きく、充填密度も低い、樹脂量の多いもののほど表面粗さが小さく、焼成時における砂粒間に樹脂が充填されることにより平滑さが得られていることが確認できた。また、微細な砂粒径のムライト系、アルミナ系は充填密度が高く、表面観察ではかなり平滑のように見られるが樹脂量が少ないもののほど平滑さが小さい。

（７）標準作業組合せ票による成型工程時間の比較

従来中子成型機と本装置を使用しての成型サイクルを標準作業組合せ票にて比較した。

（８）評価

本装置で中子を試作した結果、蒸着化ユニットによってＲＣＳ材（天然珪砂）を中温域に昇温させることにより硬化速度が速くなり、短時間での焼成が可能であった。よって、サイクルタイムを半減に短縮することが出来た。但し、この焼成では連続稼動において充填装置への供給ＲＣＳ材の昇温が安定せず落下時の中子割れなどの問題もあったが、焼成時間を延ばし落下時の中子割れを防止したことにより連続稼動が可能となった。

また、中子成型機の駆動を空圧からサーボ機構に変えたことによりドライサイクル（非焼成時間）も大幅に短縮することが出来た。

中子成型では、ＲＣＳ材の骨材、樹脂量、樹脂種で昇温時での成型可否に大きく差があることが確認できた。ＲＣＳ材の選定については、今回の実験結果を踏まえて昇温に適応できるＲＣＳ材を選定することが重要である。

２．４．１．２ 蒸着化ユニットと中子成型機で中子を試作し、中子成型の焼成時間の短縮やコスト低減の程度を検証

２．４．１．２．１ プロジェクト全体における本研究開発の位置づけ

蒸着化ユニットと中子成型機で中子を試作し中子成型の焼成時間の短縮を検証する。

２．４．１．２．２ 目的と目標

蒸着化ユニットにての温度条件、焼成時間を操作盤上にて変更し確認する。

２．４．１．２．３ 実施方法及び実施条件

操作盤面上のタッチパネルにてサーボ機構の速度、推力及び焼成時間を任意変更し中子状態を確認する。

2. 4. 1. 2. 4 実験装置の概要

(1) タッチパネルにて金型条件任意変更。写真 2.4.1.2.1 にタッチパネル画面を示す。

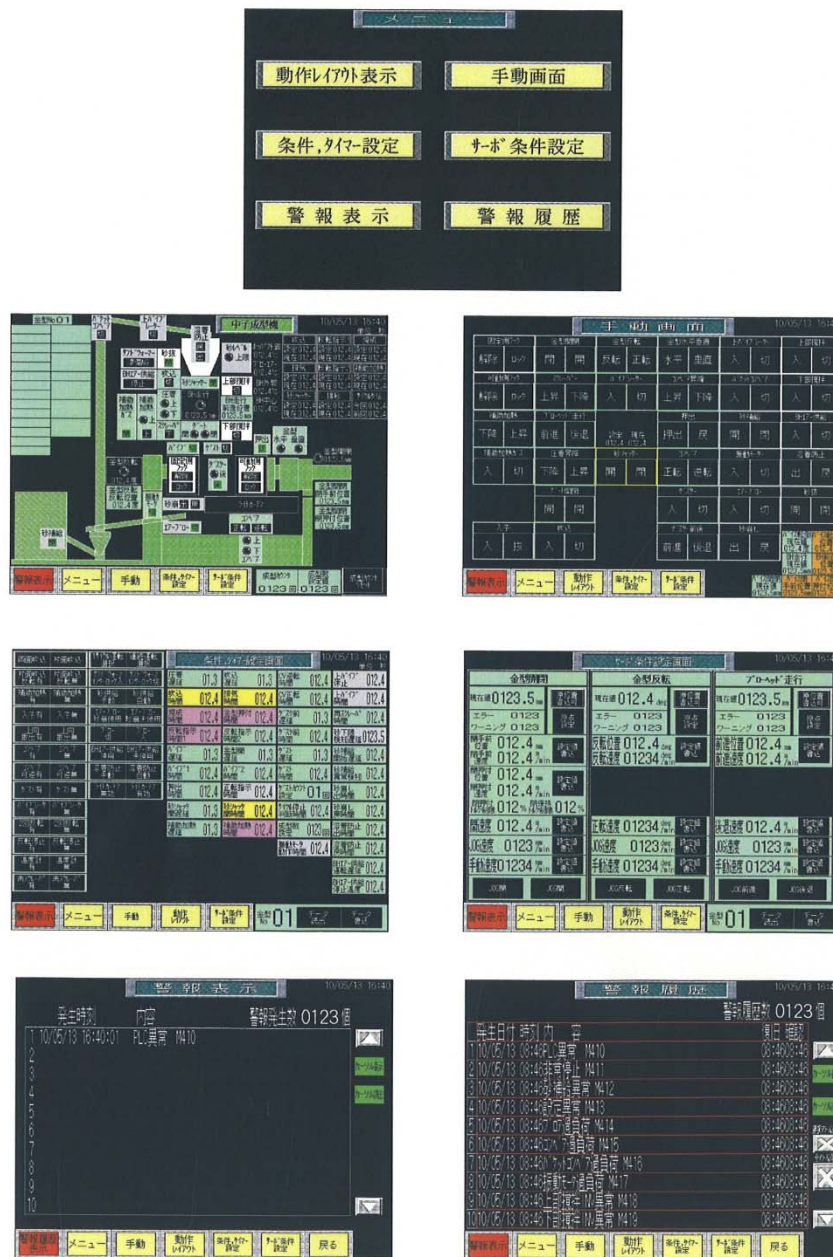


写真 2.4.1.2.1 タッチパネル画面

(2) サーボ機構の速度、推力の任意設定。写真 2.4.1.2.2 タッチパネル画面を示す。

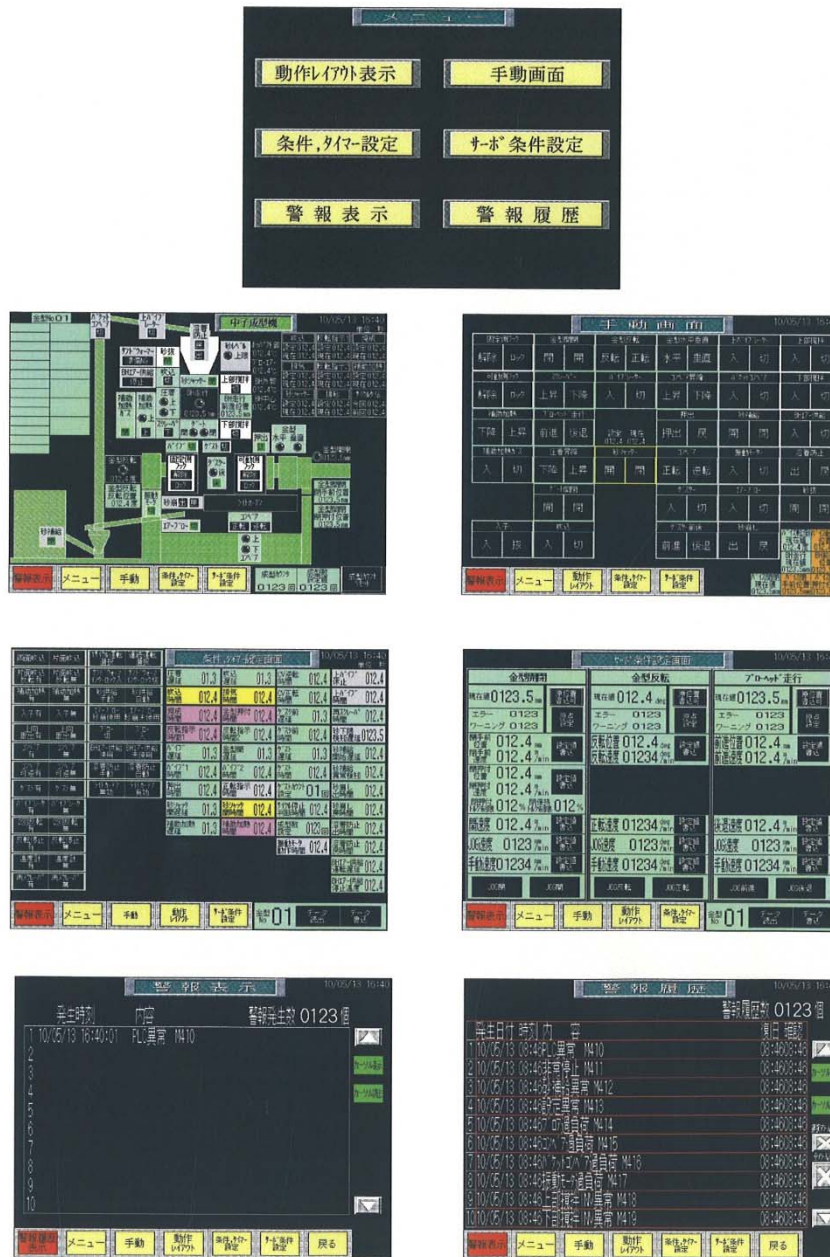


写真 2.4.1.2.2 タッチパネル画面

2. 4. 1. 2. 5 結果 ドライサイクルを短縮

2. 4. 1. 2. 6 成果

タッチパネル採用により非常に見易く条件変更もデータ入力も簡易に出来、使い易い。

2. 4. 1. 2. 7 今後の課題と取組み

設備全体が一つの盤面で確認可能なシステム構築が望ましいと考えられ、今後の仕様の検討とする。

2. 4. 2. 1 制御条件における R C S 材の蒸着状況の検証

(1) R C S 材蒸着ユニット概要

①蒸着化ユニット（材料供給装置）

従来のＲＣＳ材は常温で充填（ブロー）装置へ供給されているが、焼成時間を短縮させるためにＲＣＳ材を昇温・蒸着化させ、塊状化防止のため攪拌機能を有した材料供給装置である。

②蒸着化ユニット（充填【ブロー】装置）

ＲＣＳ材を金型に充填させるため、昇温・攪拌機能を装着した充填（ブロー）装置である。蒸着化ユニット（充填【ブロー】装置）。

（２）ＲＣＳ材の蒸着状況の確認

選定した各ＲＣＳ材を中温域及びその上の中温域に昇温させ、焼成時間を任意に設定しＲＣＳ材の蒸着状況を確認した。

ＲＣＳ材の蒸着状況実験では、各ＲＣＳ材に於いては砂温中温域で蒸着状況が良好でＲＣＳ材の塊状化が無かった。しかし、人工砂に於いては塊状化が発生した。また、砂温をその上の中温域に昇温した時では人工砂では蒸着状況が概ね良好と考えられる。塊状化が無かった要因としては融着点が上の高温域の前後と高いことが起因していることがうかがえる。ムライト系人工骨材軟、アルミナ系人口骨材軟に関しては融着点その下の高温域前後と低いために塊状化が進んだと考えられる。

（３）評価

本装置で中子を試作した結果、材料供給装置ではＲＣＳ材の昇温に関しては砂温が中温域まで上昇できたが、攪拌機能が不十分で塊状化が激しく中子成型が出来なかったので攪拌機能の更なる改善が必要である。

２．４．２．２ 制御条件におけるＲＣＳ材の蒸着状況の検証

クロタ精工株式会社及び株式会社五十鈴製作所は、蒸着化ユニットと中子成型機で中子を試作し、中子成型の焼成時間の短縮やコスト低減の程度を検証する。

また、クロタ精工株式会社は愛知県産業技術研究所とともに、制御条件におけるＲＣＳ材の蒸着状況の検証として、蒸着化ユニット内のＲＣＳ材の温度分布を測定するとともに蒸着化したＲＣＳ材の表面組織観察を行う。また、試作した中子の性能として、実体顕微鏡及び顕微鏡デジタルシステム等を使用し、表面状態、充填性、焼成層及び接着密度を測定する。

充填性の難度が高く、焼成時間を要する中子を上記で試作し、クロダイト工業株式会社は、当該中子を使用して鋳造品（水道管継手部品＝ナット部品）を試作する。当該鋳造品は、規格が厳格、かつ明確な日本水道協会規格「水道用ダクタイル鋳鉄管及び異形管用接合部品（Ⅱ類ボルト・ナット類）」と日本水道協会検査規格集（ボルト・ナットの部）により寸法、形状、外観、材質等を測定し、従来の方法で鋳造された製品との比較検討・評価を行う。さらに、愛知県産業技術研究所は、鋳物への適合性として、鋳造品の外観、内部欠陥、寸法精度、引張試験、硬さ試験等の機械的性質及び組織観察の評価を行う。なお、規格が厳格な本評価により、本研究で開発した装置の優位性が確認できれば、自動車部品等への展開も容易である。

本内容については、クロタ精工株式会社、株式会社五十鈴製作所、愛知県産業技術研究所、クロダイト工業株式会社、以下にその成果を述べる。

（１）表面観察

従来機の中子成型装置で焼成した各ＲＣＳ（室温）材の水道管継手部品中子の表面状態をデジタル実体顕微鏡で観察した。天然珪砂は、アルミナ系人工骨材（軟、硬）、ムライト系人工骨材（軟、硬）に比べ、砂粒径も若干大きく、充填密度も低いが、後述する表面粗さ測定結果から樹脂量の多いものほど表面粗さが小さく、焼成時における砂間隙に樹脂が充填されることにより平滑さが得られている。また、微細な砂粒径の人工骨材は充填密度が高く、表面観察ではかなり平滑なように見られるが樹脂量が少ないものほど平滑さが小さい。

（２）水道管継手部品中子（ナット）の突起部（鋳物ではナットの孔部に相当）の剪断強度

中子成型では、金型温度、焼成時間、ＲＣＳ材の蒸着温度、成型肉厚が中子の強度に大きく影

響される。特に今回の比較対象はR C S材の蒸着化により短時間で焼成して成型するため、当然前述した各成型条件の中で中子の肉厚が成型強度に影響される。また、鋳型内に中子が実際装着され、鋳鉄溶湯が直接流入した場合、突起部の強度が弱くて破損すれば不良の発生となってしまう。そこで、突起部の剪断強度を調べた。試験方法は、図 2.4.2.2.1 に示すように中子を固定して突起部に垂直荷重を負荷して試験した。

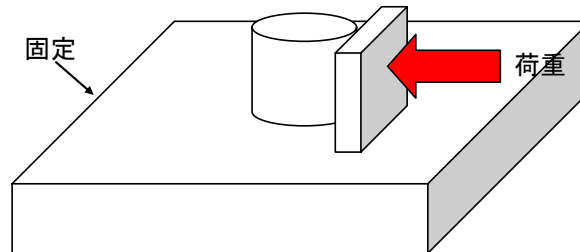


図 2.4.2.2.1 水道管継手部品中子（ナット）の突起部（鋳物ではナットの孔部に相当）の剪断荷重試験

試作開発した中子は、現行の中子に比べいずれのR C S材においても破壊荷重が低い傾向を示した。

このことは、本実験では実験回数が少なく、製品形状を考慮した個々のR C S材に対する蒸着化条件及び焼成時間が十分検討できていない状況下であるためこのような結果が得られたものと考えられる。また、各R C S材の焼成体の強度は、砂粒の形状により樹脂添加量を考慮し、ほぼ同一の強度が得られるように設定してあるが、R C S樹脂添加量の違いによっても破壊荷重が異なっていることが分かる。今後は、さらに実験回数を重ね、個々のR C S材に適した蒸着化温度、焼成時間、金型温度等の条件設定を図る必要がある。

（3）表面粗さ

現行及び試作開発した水道管継手部品中子（ナット）の平面部をレーザ顕微鏡により、表面粗さ測定を行った。

いずれのR C S材も試作開発中子は現行中子に比べ表面粗さが粗いことが分かった。また、樹脂添加量の多いR C S材ほど表面粗さが小さいことが分かった。このことは、現行中子は十分に表面の焼成が行われ、堅固に砂粒同士が固着し、かつ樹脂量が多いR C S材は焼成時での樹脂の軟化により、金型面に接した砂粒隙間に樹脂が充填され、表面の平滑さが得られているものと考えられる。一方、試作開発中子は成型装置のホッパー内で蒸着化を図っているため、樹脂の軟化と一部の樹脂は硬化反応を始めるため、焼成時には樹脂の軟化時間が短くなり砂粒隙間に樹脂が十分に充填されないことが考えられる。したがって、適切な蒸着化状態維持するには、R C S材の短時間での加熱昇温とブロー装置内での保持時間を極力短くする必要がある。

（4）研究成果

試作開発した中子と現行の中子の表面観察、粗さ、強度を比較検討した。R C S材の天然珪砂は、アルミナ系人工骨材（軟、硬）、ムライト系人工骨材（軟、硬）に比べ、砂粒径も若干大きく、充填密度も低い、表面粗さ測定結果から樹脂量の多いものほど表面粗さが小さく、焼成時における砂隙間に樹脂が充填されることにより平滑さが得られている。また、微細な砂粒径のアルミナ系人工骨材、ルモナスは充填密度が高く、表面観察ではかなり平滑のように見られるが樹脂量が少ないものほど平滑さが小さい。

試作開発した中子のせん断強さは、現行の中子に比べいずれのR C S材においても破壊荷重が低い傾向を示した。

適切な蒸着化状態維持するには、R C S材の短時間での加熱昇温とブロー装置内での保持時間を極力短くする必要がある。

（5）今後の課題と取組み

中子成型では、金型温度、焼成時間、RCS材の蒸着温度、成型肉厚が中子の強度に大きく影響される。特に今回の比較対象はRCS材の蒸着化により短時間で焼成して成型するため、当然各成型条件の中で中子の肉厚が成型強度に影響される。また、適切な蒸着化状態維持するには、RCS材の短時間での加熱昇温とブロー装置内での保持時間を極力短くする必要がある。そのため、今後は、さらに実験回数を重ね、個々のRCS材に適した蒸着化温度、焼成時間、金型温度等の条件設定を図る必要がある。

2. 4. 3 従来の方法で铸造された製品との比較検討・評価

目的：RCS材を変えたもので铸造し作業性及び铸造品の評価をする。

1. 中子（2010.4.13に受け取り）表 2.4.3.1 に従来方法で成型した中子製品の測定結果を示す。

（1）寸法（縦×横×厚さ）・重量

表 2.4.3.1 従来方法で成型した中子製品の測定結果

項目	寸法（mm）			重量（kg）
	縦	横	厚さ	
①天然珪砂（再生砂）	358.9	272.4	18.2	3.00
②ムライト系人工骨材硬	359.1	272.5	18.3	3.35
③ムライト系人工骨材軟	359.0	272.5	18.2	3.35
④アルミナ系人工骨材硬	359.1	272.6	18.2	3.35
⑤アルミナ系人工骨材軟	359.1	272.5	18.3	3.35

寸法：差が縦で 0.2mm 横で 0.2mm 厚さで 0.1mm

重量：差が 0.35 kg 天然珪砂が軽く、ムライト系人工骨材とアルミナ系人工骨材が重い。

（2）外観（目視で通常品との比較）表 2.4.3.2 に外観確認結果、写真 2.4.3.1 に各RCS材の成型した中子製品を示す。

表 2.4.3.2 外観確認結果

項目	表面粗さ	色
①天然珪砂（再生砂）	同等	同等
②ムライト系人工骨材硬	細かい	
③ムライト系人工骨材軟		
④アルミナ系人工骨材硬		
⑤アルミナ系人工骨材軟		明るい

表面粗さ：ムライト系人工骨材及びアルミナ系人工骨材の表面が細かい

色：アルミナ系人工骨材が少し明るく、黄色に近い色になっていた

(3) 中子写真

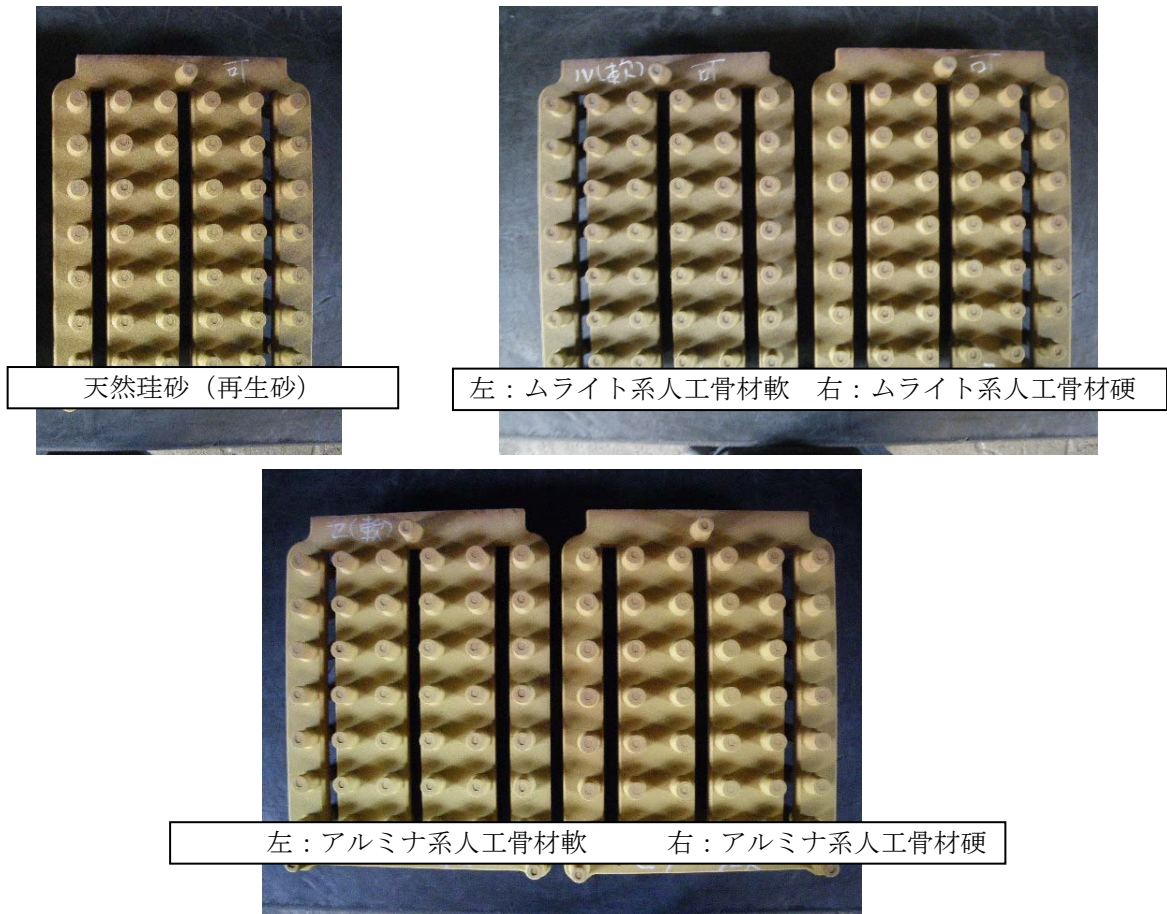


写真 2.4.3.1 各R C S材の成型した中子製品

硬さは確認できなかったが、測定における取扱いで、崩れることもなく問題はないと思われる。

2. 造型

(1) 中子振込み機（コアフレーム）セット状況

・コアフレームに中子をセットし、中子の収まり状況を確認

①セットのしにくさ、セット後のがたつき取り付け後に取り外しガイド部の崩れ確認

中子振込み機（コアフレーム）セット状況を写真 2.4.3.2 に示す。表 2.4.3.3 に中子振込み機（コアフレーム）セット状況を示す。



写真 2.4.3.2 中子振込み機（コアフレーム）セット状況

表 2.4.3.3 中子振込み機（コアフレーム）セット状況

確認項目	状況
セットのしにくさ	差はなし
セット後のがたつき	全てがたつきなし
ガイド部の崩れ	全て崩れなし

（２）鋳型セット状況

・セット後、中子を取り外し位置決め部（ロケータースタッド）のこすれを確認
鋳型セット状況を写真 2.4.3.3 に示す。表 2.4.3.4 に鋳型セット状況を示す。



写真 2.4.3.3 鋳型セット状況

表 2.4.3.4 鋳型セット状況

確認項目	状況
中子を取り外し位置決め部こすれ	全ての鋳型の崩れ（こすれ）なし

３．注湯

・注湯後の鋳型から発生するガスを煙の量で確認（煙が少ない方が環境によい）
注湯状況を写真 2.4.3.4 に示す。表 2.4.3.5 に注湯時の煙発生結果を示す。



写真 2.4.3.4 注湯状況

表 2.4.3.5 注湯時の煙発生結果

項目	注湯時の煙発生量
①天然珪砂（再生砂）	多い
②ムライト系人工骨材硬	少ない
③ムライト系人工骨材軟	
④アルミナ系人工骨材硬	
⑤アルミナ系人工骨材軟	

・ 作業性のまとめ

造型、注湯作業で中子による作業性の差はなかった。レジンの量が多いと煙の発生が多くなるが、今回の差であれば作業性には、特に影響が無かったことが確認できた。

4. 抜き取り

抜き取り作業状況を写真 2.4.3.5 に示す。



写真 2.4.3.5 抜き取り作業状況

5. 砂落とし、ショット

(1) ショット後の製品

ショット後の製品を写真 2.4.3.6 に示す

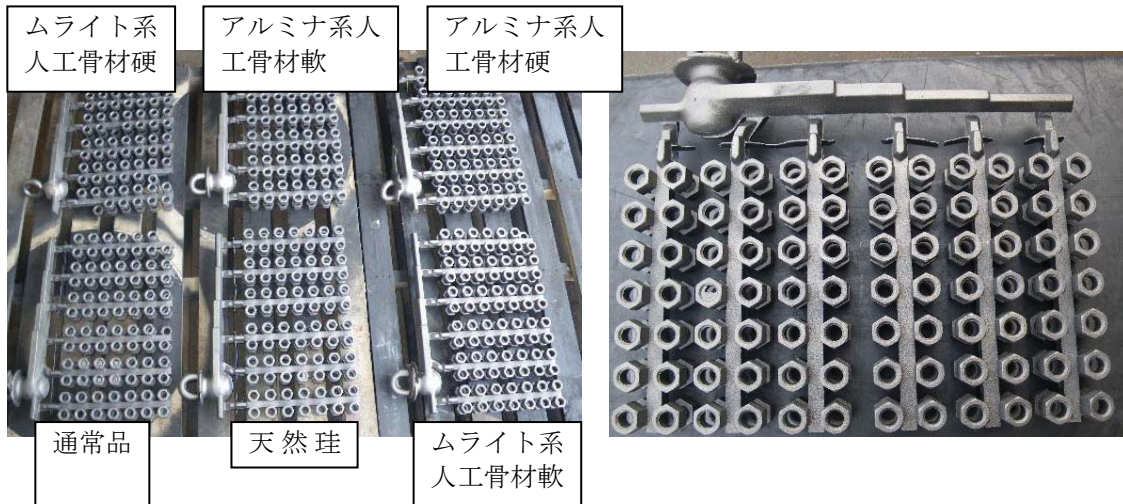


写真 2.4.3.6 ショット後の製品

・ 製品の評価は鋳物の左上を No. 1 とし下へ連番をつけた。

上段：No. 1～No.84 下段：No. 1～No.84 （1 枠：168 ケ込め）

製品取出し後、湯口、水平湯道と垂直湯道が 6 本となる。製品取出し後状況を写真 2.4.3.7 に示す。



写真 2.4.3.7 製品取出し後状況

6. 製品評価

(1) 寸法・外観を上段と下段で中子の4すみと中央計10箇所を測定した。表 2.4.3.6、7、8、9、10 に製品評価を示す。

表 2.4.3.6 製品評価

①天然珪砂（再生砂）

項目			高さ (mm)	内径 (mm)	外観
			20～23	17.3～18.3	
上段	左上	No.1	20.6	17.7	良
	左下	No.7	20.6	17.6	良
	中央	No.25	20.5	17.6	良
	右上	No.36	20.5	17.7	良
	右下	No.42	20.7	17.7	良
下段	左上	No.1	20.6	17.6	良
	左下	No.7	20.6	17.6	良
	中央	No.25	20.7	17.6	良
	右上	No.36	20.6	17.6	良
	右下	No.42	20.6	17.6	良
平均			20.60	17.63	—
標準偏差			0.06	0.05	
工程能力			3.16	2.40	

表 2.4.3.7 製品評価

②ムライト系人工骨材軟

項目			高さ (mm)	内径 (mm)	外観
			20～23	17.3～18.3	
上段	左上	No.1	20.5	17.6	良
	左下	No.7	20.6	17.7	良
	中央	No.25	20.6	17.7	良
	右上	No.36	20.6	17.7	良
	右下	No.42	20.7	17.6	良
下段	左上	No.1	20.6	17.7	良
	左下	No.7	20.6	17.6	良
	中央	No.25	20.5	17.7	良
	右上	No.36	20.7	17.7	良
	右下	No.42	20.7	17.8	良
平均			20.61	17.68	—
標準偏差			0.07	0.06	
工程能力			2.90	2.11	

表 2.4.3.8 製品評価

③ムライト系人工骨材硬

項目			高さ (mm)	内径 (mm)	外観
			20～23	17.3～18.3	
上段	左上	No.1	20.6	17.7	良
	左下	No.7	20.7	17.8	良
	中央	No.25	20.6	17.6	良
	右上	No.36	20.6	17.8	良
	右下	No.42	20.7	17.7	良
下段	左上	No.1	20.5	17.7	良
	左下	No.7	20.6	17.7	良
	中央	No.25	20.6	17.6	良
	右上	No.36	20.7	17.7	良
	右下	No.42	20.6	17.7	良
平均			20.62	17.70	—
標準偏差			0.06	0.06	
工程能力			3.44	2.11	

表 2.4.3.9 製品評価

④アルミナ系人工骨材軟

項目			高さ (mm)	内径 (mm)	外観
			20～23	17.3～18.3	
上段	左上	No.1	20.6	17.8	良
	左下	No.7	20.5	17.6	良
	中央	No.25	20.5	17.7	良
	右上	No.36	20.6	17.7	良
	右下	No.42	20.6	17.7	良
下段	左上	No.1	20.6	17.8	良
	左下	No.7	20.7	17.6	良
	中央	No.25	20.6	17.6	良
	右上	No.36	20.6	17.7	良
	右下	No.42	20.5	17.7	良
平均			20.58	17.69	—
標準偏差			0.06	0.07	
工程能力			3.22	1.86	

表 2.4.3.10 製品評価

④アルミナ系人工骨材硬

項目			高さ (mm)	内径 (mm)	外観
			20～23	17.3～18.3	
上段	左上	No.1	20.7	17.8	良
	左下	No.7	20.5	17.6	良
	中央	No.25	20.5	17.7	良
	右上	No.36	20.6	17.7	良
	右下	No.42	20.6	17.6	良
下段	左上	No.1	20.6	17.6	良
	左下	No.7	20.7	17.6	良
	中央	No.25	20.7	17.8	良
	右上	No.36	20.7	17.6	良
	右下	No.42	20.6	17.8	良
平均			20.62	17.68	—
標準偏差			0.07	0.09	
工程能力			2.76	1.45	

寸法：高さ 平均は 20.58～20.62 標準偏差は 0.06～0.07 工程能力は 2.76～3.44

内径 平均は 17.63～17.70 標準偏差は 0.05～0.09 工程能力は 1.45～2.40

外観：中子による差は無く、粗さは 35 S 位（鋳造表面粗さ標準版で確認）

寸法と外観ともに問題なし

(2) 材質 上段と下段で中子の4すみと中央 計 10 箇所測定を実施した。測定箇所を写真 2.4.3.8 に示す。表 2.4.3.11、12、13、14、15 に測定結果を示す。

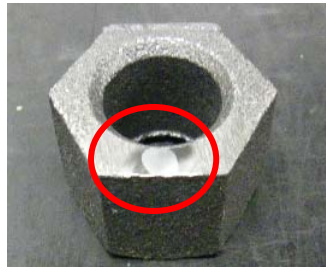


写真 2.4.3.8 測定箇所

表 2.4.3.11 測定結果

①天然珪砂（再生砂）

項目			黒鉛球状化率	パーライト率	セメントタイト率
			80%以上	30%以下	3 %以下
上段	左上	No.1	100	5	0
	左下	No.7	100	0	0
	中央	No.25	100	0	0
	右上	No.36	100	0	0
	右下	No.42	100	0	0
下段	左上	No.1	100	5	0
	左下	No.7	100	0	0
	中央	No.25	100	0	0
	右上	No.36	100	0	0
	右下	No.42	100	0	0

表 2.4.3.12 測定結果

②ムライト系人工骨材軟

項目			黒鉛球状化率	パーライト率	セメントタイト率
			80%以上	30%以下	3 %以下
上段	左上	No.1	100	5	0
	左下	No.7	100	0	0
	中央	No.25	100	0	0
	右上	No.36	100	0	0
	右下	No.42	100	0	0
下段	左上	No.1	100	5	0
	左下	No.7	100	5	0
	中央	No.25	100	0	0
	右上	No.36	100	0	0
	右下	No.42	100	0	0

表 2.4.3.13 測定結果

③ムライト系人工骨材硬

項目			黒鉛球状化率	パーライト率	セメントタイト率
			80%以上	30%以下	3 %以下
上段	左上	No.1	100	0	0
	左下	No.7	100	5	0
	中央	No.25	100	0	0
	右上	No.36	100	0	0
	右下	No.42	100	0	0

下段	左上	No.1	100	5	0
	左下	No.7	100	5	0
	中央	No.25	100	0	0
	右上	No.36	100	5	0
	右下	No.42	100	0	0

表 2.4.3.14 測定結果

④アルミナ系人工骨材軟

項目			黒鉛球状化率	パーライト率	セメンタイト率
			80%以上	30%以下	3%以下
上段	左上	No.1	100	5	0
	左下	No.7	100	0	0
	中央	No.25	100	5	0
	右上	No.36	100	0	0
	右下	No.42	100	0	0
下段	左上	No.1	100	5	0
	左下	No.7	100	5	0
	中央	No.25	100	0	0
	右上	No.36	100	0	0
	右下	No.42	100	0	0

表 2.4.3.15 測定結果

⑤アルミナ系人工骨材硬

項目			黒鉛球状化率	パーライト率	セメンタイト率
			80%以上	30%以下	3%以下
上段	左上	No.1	100	5	0
	左下	No.7	100	5	0
	中央	No.25	100	0	0
	右上	No.36	100	0	0
	右下	No.42	100	5	0
下段	左上	No.1	100	0	0
	左下	No.7	100	0	0
	中央	No.25	100	0	0
	右上	No.36	100	0	0
	右下	No.42	100	0	0

材質：黒鉛球状化率 100%、パーライト率 0～5%、セメンタイト率0%

製品評価まとめ

・5種類の中子で鋳造した製品寸法、外観、材質に差はなし。中子の表面が細かいムライト系人工骨材、アルミナ系人工骨材で鋳造した製品の鋳肌について、ショット後では通常品と差はなし。

7. その他

(1) 成分分析 表 2.4.3.16 に成分分析結果を示す。

表 2.4.3.16 成分分析結果

(単位：%)

項目	C	Si	Mn	P	S	Mg
D415-118ch	3.72	2.64	0.20	0.024	0.002	0.033

(2) 機械的性質 表 2.4.3.17 に機械的性質結果を示す。

表 2.4.3.17 機械的性質結果

項目	強さ	伸び	硬さ
	420N/mm ²	10%以上	HB230 以下
D415-118ch	453	21	159

8. まとめ

今回の試作評価の結果、中子による作業性及び鑄造した製品の品質に差はなかったことが確認できた。

目的： R C S 材を試作装置で成型した中子で鑄造し、作業性及び鑄造品の評価をする※評価方法は「第 1 回 試作評価」と同じにした。

1. 中子

(1) 寸法(縦×横×厚さ)・重量 表 2.4.3.18 に昇温条件で成型した中子製品の測定結果を示す。

表 2.4.3.18 昇温条件で成型した中子製品の測定結果

項目	寸法 (mm)			重量 (kg)
	縦	横	厚さ	
①天然珪砂 (再生砂)	358.6	272.0	18.2	3.00
②ムライト系人工骨材硬	359.0	272.4	18.3	3.30
③ムライト系人工骨材軟	359.1	272.4	18.3	3.30
④アルミナ系人工骨材硬	359.0	272.4	18.3	3.30
⑤アルミナ系人工骨材軟	359.0	272.4	18.3	3.35

寸法：差が縦で 0.5mm 横で 0.4mm 厚さで 0.1 mm

重量：差が 0.35 kg 天然珪砂が軽くムライト系人工骨材とアルミナ系人工骨材が重い。

(2) 外観 (目視で通常品との比較) 表 2.4.3.19 に外観確認結果を示す。

表 2.4.3.19 外観確認結果

項目	表面粗さ	色
①天然珪砂（再生砂）	同等	同等
②ムライト系人工骨材硬	細かい	
③ムライト系人工骨材軟		
④アルミナ系人工骨材硬		
⑤アルミナ系人工骨材軟		
		明るい

表面粗さ：ムライト系人工骨材及びアルミナ系人工骨材の表面が細かい

色：アルミナ系人工骨材が少し明るく、黄色に近い色になっていた。

硬さ：ムライト系人工骨材硬で凸部 2 箇所中子を持ち上げた時に、1 箇所が根本から破損。
 造型場所へリフトで移動した時に①天然珪砂 (再生砂) 以外の中子割れが発生。
 造型は割れが発生していない中子を使用。

2. 造型

(1) 中子振込み機（コアフレーム）セット状況

・コアフレームに中子をセットし中子の納まり状況を確認した。表 2.4.3.20 に中子振込み機（コアフレーム）セット状況を示す。

表 2.4.3.20 中子振込み機（コアフレーム）セット状況

項目	セットのしにくさ	セット後のがたつき	ガイド部の崩れ
①天然珪砂（再生砂）	通常品と差はなし	がたつき大	なし
②ムライト系人工骨材軟			
③ムライト系人工骨材硬			
④アルミナ系人工骨材軟			
⑤アルミナ系人工骨材硬			

中子全てにがたつきがあり、コアフレームへの密着が弱い。

(2) 鑄型セット状況

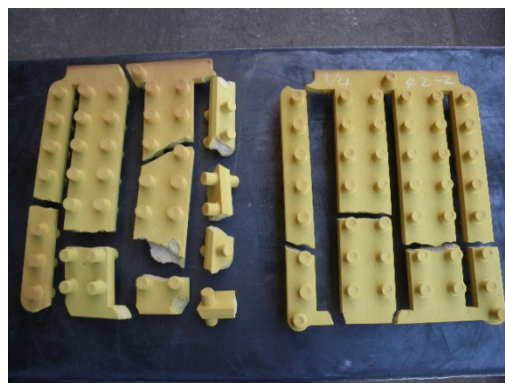
コアセッターで中子セット後、中子を取り外し位置決め部（ロケータースタッド）のこすれを確認した。表 2.4.3.21 に鑄型セット状況を示す。

表 2.4.3.21 鑄型セット状況

項目	確認結果
①天然珪砂（再生砂）	こすれあり小
②ムライト系人工骨材硬	挿入時、中子がコアフレームから外れ脱落
③ムライト系人工骨材軟	
④アルミナ系人工骨材硬	こすれあり小
⑤アルミナ系人工骨材軟	

こすれの原因はコアセッターが、鑄型へ中子を装着するために前進した時に、中子とコアフレームの密着が弱く、上側が浮き斜めの状態で挿入したためにこすれが発生した。

破損した中子を写真 2.4.3.9 に示す。



左 ムライト系人工骨材軟

右 ムライト系人工骨材硬

左 アルミナ系人工骨材軟

右 アルミナ系人工骨材硬

写真 2.4.3.9 破損中子

3. 注湯

注湯後の鑄型から発生するガスは、煙の量で判定（少ない方が環境によい）表 2.4.3.22 に注湯時の煙発生量を示す。

表 2.4.3.22 注湯時の煙発生量

項目	注湯時の煙発生量
①天然珪砂（再生砂）	多い
②ムライト系人工骨材硬	（中子装着できなかったため、注湯はなし）
③ムライト系人工骨材軟	
④アルミナ系人工骨材硬	少ない
⑤アルミナ系人工骨材軟	

煙の発生は、レジン量が増えれば多くなると確認した。

作業性のまとめ

- ・中子
天然珪砂以外は移動で割れ発生（強度不足の可能性あり）
- ・造型
全ての中子で、コアフレームとの密着が弱く、装着時に中子が外れて落下する可能性あり。
- ・注湯
中子がセットできれば問題なし
- ・作業性評価
天然珪砂以外は、中子の割れる可能性があるために作業方法の変更が必要。

4. 製品評価（②ムライト系人工骨材軟、③ムライト系人工骨材硬は casting 不可のためなし）
casting 品の砂落としを行い、製品の寸法、外観を確認。

（1）寸法・外観

上段・下段で中子の4すみと中央 計10箇所測定した。表 2.4.3.23、24、25 に測定結果を示す。

表 2.4.3.23 測定結果

①天然珪砂（再生砂）

項目			高さ（mm）	内径（mm）	外観
			20～23	17.3～18.3	
上段	左上	No.1	20.6	17.6	良
	左下	No.7	20.5	17.6	良
	中央	No.25	20.6	17.6	良
	右上	No.36	20.6	17.5	良
	右下	No.42	20.7	17.5	良
下段	左上	No.1	20.5	17.7	良
	左下	No.7	20.6	17.6	良
	中央	No.25	20.5	17.5	良
	右上	No.36	20.7	17.7	良
	右下	No.42	20.6	17.6	良
平均			20.59	17.59	—
標準偏差			0.07	0.07	
工程能力			2.81	1.38	

表 2.4.3.24 測定結果

④アルミナ系人工骨材軟

項目			高さ (mm)	内径 (mm)	外観
			20～23	17.3～18.3	
上段	左上	No.1	20.7	17.6	良
	左下	No.7	20.5	17.6	良
	中央	No.25	20.7	17.5	良
	右上	No.36	20.6	17.6	良
	右下	No.42	20.6	17.5	良
下段	左上	No.1	20.5	17.6	良
	左下	No.7	20.5	17.6	良
	中央	No.25	20.6	17.6	良
	右上	No.36	20.6	17.5	良
	右下	No.42	20.6	17.7	良
平均			20.59	17.58	—
標準偏差			0.07	0.06	
工程能力			2.81	1.56	

表 2.4.3.25 測定結果

⑤アルミナ系人工骨材硬

項目			高さ (mm)	内径 (mm)	外観
			20～23	17.3～18.3	
上段	左上	No.1	20.5	17.6	良
	左下	No.7	20.6	17.6	良
	中央	No.25	20.6	17.5	良
	右上	No.36	20.7	17.6	良
	右下	No.42	20.6	17.6	良
下段	左上	No.1	20.5	17.6	良
	左下	No.7	20.5	17.6	良
	中央	No.25	20.6	17.5	良
	右上	No.36	20.6	17.6	良
	右下	No.42	20.5	17.5	良
平均			20.57	17.57	—
標準偏差			0.06	0.05	
工程能力			2.97	1.96	

寸法：高さ 平均は 20.57～20.59 標準偏差は 0.06～0.07 工程能力は 2.81～2.97

内径 平均は 17.57～17.59 標準偏差は 0.05～0.07 工程能力は 1.38～1.96

5. 製品評価 表 2.4.3.26、27、28 に製品評価結果を示す。

表 2.4.3.26 製品評価結果

①天然珪砂（再生砂）

項目			黒鉛球状化率	パーライト率	セメンタイト率
			80%以上	30%以下	3 %以下
上段	左上	No.1	100	10	0
	左下	No.7	100	5	0
	中央	No.25	100	5	0
	右上	No.36	100	5	0
	右下	No.42	100	0	0

下段	左上	No.1	100	10	0
	左下	No.7	100	5	0
	中央	No.25	100	0	0
	右上	No.36	100	5	0
	右下	No.42	100	10	0

表 2.4.3.27 製品評価結果

④アルミナ系人工骨材軟

項目			黒鉛球状化率	パーライト率	セメントタイト率
			80%以上	30%以下	3 %以下
上段	左上	No.1	100	10	0
	左下	No.7	100	0	0
	中央	No.25	100	5	0
	右上	No.36	100	5	0
	右下	No.42	100	5	0
下段	左上	No.1	100	5	0
	左下	No.7	100	5	0
	中央	No.25	100	0	0
	右上	No.36	100	10	0
	右下	No.42	100	5	0

表 2.4.3.28 製品評価結果

⑤アルミナ系人工骨材硬

項目			黒鉛球状化率	パーライト率	セメントタイト率
			80%以上	30%以下	3 %以下
上段	左上	No.1	100	5	0
	左下	No.7	100	5	0
	中央	No.25	100	0	0
	右上	No.36	100	0	0
	右下	No.42	100	5	0
下段	左上	No.1	100	10	0
	左下	No.7	100	0	0
	中央	No.25	100	0	0
	右上	No.36	100	5	0
	右下	No.42	100	5	0

材質：黒鉛球状化率 100%、パーライト率 0～10%、セメントタイト率 0 %

製品評価のまとめ

3 種類の中子で铸造した製品の寸法、外観、材質は問題なし
 外観は、若干アルミナ系人工骨材の中子による铸造品が細かい
 铸造品表面粗さ標準板で比較
 天然珪砂（再生砂）：35 S 位
 アルミナ系人工骨材軟、アルミナ系人工骨材硬：25～35 S 位

6. その他

(1) 成分分析

表 2.4.3.29 に成分分析結果を示す。

表 2.4.3.29 成分分析結果

(単位：%)

項目	C	S i	M n	P	S	M g
D511-117 c h	3.79	2.7	0.22	0.020	0.002	0.035

(2) 機械的性質

表 2.4.3.30 に機械的性質結果を示す。

表 2.4.3.30 機械的性質結果

項目	強さ	伸び	硬さ
	420N/mm ²	10%以上	HB 230 以下
D511-117 c h	462	20	163

8. まとめ

今回の試作評価の結果、鑄造した製品の品質に差は認められなかったが、運搬を含め取扱いで天然珪砂（再生砂）以外の中子に割れが発生した。運搬など、取扱い方法を検討し中子が鑄型にセットできれば、鑄造品の品質は問題ないと思われる。

2. 4. 4 鑄物への適合性

各 R C S 材による現状の水道管継手部品中子（ナット）及び同部品の試作開発中子を用いて鑄型に鑄込んだ球状黒鉛鑄鉄の湯道部分を切り出し、JIS Z 2201 4 号に準じた試験片（平行部径：12mm）を作製して試験した。

表 2.4.4.1 から分かるよう各 R C S 材による鑄物の強度、伸び、硬さに及ぼす影響は若干差は認められるが、問題ない範囲内と考えられる。また、伸びが低いのは引張試験片に湯道を使用しているため伸びが小さい結果となっている。

表 2.4.4.1 現行中子に鑄造した球状黒鉛鑄鉄鑄物の引張強さ、伸び及びブリネル硬さ

試料		引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	ブリネル硬さ (HBW10/3000)
試料番号	名称			
2-1	ムライト系人工	456	7	154
2-2	骨材（軟）	463	8	154
3-1	ムライト系人工	477	10	160
3-2	骨材（硬）	465	8	155
4-1	アルミナ系人工	480	12	158
4-2	骨材（軟）	469	11	154
5-1	アルミナ系人工	482	13	159
5-2	骨材（硬）	470	12	156

各 R C S 材による現行の水道管継手部品中子（ナット）及び同部品の試作開発中子を用いて鑄型にセットして鑄込んだ球状黒鉛鑄鉄の湯道部分を切り出し、JIS Z 2201 4 号に準じた試験片（平行部径：12mm）を作製して試験した。なお、試作中子でムライト系人工骨材（軟、硬）については中子の強度が弱く輸送中に割れ、コアセッターへの取り付け時に破損して鑄込み試験ができなかった。

現行及び試作開発中子に注湯した鑄物の引張強さ、硬さに及ぼす影響は若干差が認められるが、

製品上問題ない範囲内の値と考えられる。また、伸びについては、天然珪砂材では現行品と試作品の差は見られないが、アルミナ系人工骨材材については若干の差異が認められ、別鑄込みのJISYブロック鑄型試験片値に比べ、全体に伸びが低いのは湯道を用いて試験片を作製しているためと考えられる。

2. 4. 5 評価の実施（総括）

本試作開発した水道管継手部品中子の寸法、強度、表面粗さ、鑄型へのセッティング、鑄造品の強度、組織について検討した結果、従来品の中子と遜色なく、使用に問題ないことが分かった。しかしながら、RCS材の種類、特に樹脂添加量の少ないムライト系人工骨材は強度不足から輸送途中で割れ、また、コアセッターでの取り回し中に割れ発生が見られた。

今回試作機の開発から間もなく試運転も短期間で試作品を成型しなければならない状況下であったが、目標とした蒸着化による中子成型時間を半減させ、試作中子の評価までを実施することができた。しかし、今回RCS材の蒸着化における条件設定がまだ十分ではなく、引き続き実機稼動による最適な条件設定等を行う必要がある。

RCS材の蒸着化による中子成型では、これまでの室温RCS材の焼成に比べ、焼成成型条件の違いにより成型体の割れ、特に蒸着化による樹脂の硬化反応が進み、強度不足を生じやすい。

また、これまで中子が必要とされる明確な強度が明らかにされていなく、ユーザーからの強度の提示が必要と考えられる。鑄型にセットされた中子は溶湯の流入圧力に耐える強度、ガス発生量の少ない樹脂添加量が課題であるが、中子はユーザーの工場で生産されることが少なく、中子成型メーカーが製造するのが一般的である。そのため、成型機での中子成型性も重要であるが、中子の輸送及び取り回しの扱いでの割れが発生しないことが必要不可欠である。

一般に、中子成型では、金型温度、焼成時間、成型肉厚が中子の強度に大きく影響される。特に今回の比較対象はRCS材の蒸着化により短時間で焼成するため、当然各成型条件の中では、蒸着化温度と焼成時間、金型温度と焼成時間及び中子の肉厚が成型体の強度に及ぼす影響を検討する必要がある。さらに適切な蒸着化状態を維持するため、RCS材の短時間で加熱昇温とブロー装置内での保持時間を極力短くして成型サイクルタイムの短縮と装置内でのRCS材のブロック化防止並びにより一層の生産性の向上を図る必要がある。そのため、今後は、補完研究により、さらに実験回数を重ね、個々のRCS材に適した蒸着化温度、焼成時間、金型温度等の条件設定を図る必要がある。

2. 5 プロジェクトの管理・運営

2. 5. 1 研究開発委員会の開催

①第1回研究開発委員会

開催日：平成22年1月26日（火）

開催場所：碧南市ものづくりセンター

②第2回研究開発委員会

開催日：平成22年3月11日（木）

開催場所：株式会社五十鈴製作所 碧南工場

③第3回研究開発委員会

開催日：平成22年4月28日（水）

開催場所：株式会社五十鈴製作所 碧南工場

④第4回研究開発委員会

開催日：平成22年5月14日（金）

開催場所：碧南市ものづくりセンター

2. 5. 2 研究開発委員会（分科会）の開催

①第1回研究開発委員会（分科会）

開催日：平成22年2月10日（水）

開催場所：クロタ精工株式会社

②第2回研究開発委員会（分科会）

開催日：平成22年2月25日（木）

開催場所：クロタ精工株式会社

③第3回研究開発委員会（分科会）

開催日：平成22年3月30日（火）

開催場所：クロタ精工株式会社

④第4回研究開発委員会（分科会）

開催日：平成22年4月15日（木）

開催場所：株式会社五十鈴製作所 碧南工場

第3章 総括

第3章 全体総括

平成21年度の戦略的基盤技術高度化支援事業の一環として採択に預かり、当社（クロタ精工株式会社：技術調査及び設備仕様の開発）を含め、愛知県産業技術研究所（基礎技術の創出及び応用技術の開発）、株式会社五十鈴製作所（成型装置の設計・製作）、クロダイト工業株式会社（開発製品の評価）の協力のもと、本研究開発が盛況のもとに終了することが出来ました。

今回テーマとして掲げました「RCS樹脂の蒸着化による鋳造用中子成型プロセスの開発」は、今日の自動車産業の国際競争力の強化に欠かせないコスト低減策として、必要不可欠な課題であり、また、鋳造業界の発展並びに私たちを取巻く中小企業の生き残り策として、真剣に真正面から取り組まなければならない内容であったかと思われます。

今回の研究開発は、私たちが過去経験したことのない鋳造用中子の成型技術を見直すもので、まさしく思い切った技術開発への挑戦であり、期待と不安が交錯したものではなかったかと痛感しております。結果的には、研究開発の目標としました成型サイクル50%低減を、ほぼ達成することができました。次段のコスト低減30%は、今後のランニングの結果次第になりますが、成果の中核となりますサイクルタイムの短縮が実現できた事から判断しまして、達成への感触を十分に感じ取っております。

今回の研究開発を通じて、企業姿勢並びに中小企業の開発の在り方に対して、光明と活路を見出すことが出来たのではないかと考えております。更に、今回の斬新な技術開発が、スタッフや作業者に勇気とやる気をもたらしてくれたことは云うに及びません。

経営者の務めは、開発成果を大切に育てることだと考えております。今回の成果を基盤とし、本件の事業化に邁進してまいります。業界の発展、中子産業の生き残り策、企業の活性化、労働者の雇用と育成など多岐に亘って大きな効果をもたらすものではないかと確信しております。

本研究開発のフォロー事項は、量産時における問題点の改善、設備のシステム化と自動化、省資源、省エネルギー化並びに環境整備など解決すべき多くの事がございます。本研究開発終了後も引き続き開発を継続してまいります。前記しました本研究開発の支援企業及び研究機関の方々には更なるご支援をお願いしたい所存です。

総括研究代表者 鈴木 泰博