

平成 23 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「アルミダイカスト用ホットチャンバ法の鑄造技術開発」

## 研究開発成果等報告書

平成 24 年 3 月

委託者 関東経済産業局

委託先 グンダイ株式会社

## 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                                  | 5  |
| 1-3   | 成果概要                                  | 7  |
| 1-4   | 当該研究開発の連絡窓口                           | 11 |
| 第2章   | 本論                                    | 12 |
| 2-1   | 射出機構の設計開発                             | 12 |
| 2-1-1 | 基礎実験用射出シリンダの設計                        | 13 |
| 2-1-2 | 基礎実験用射出プランジャの設計                       | 15 |
| 2-1-3 | 先進 SiC/SiC 複合材料プロセスの構造設計への反映          | 15 |
| 2-1-4 | 先進 SiC/SiC 複合材料とアルミ溶湯との濡れ性の評価と設計への反映  | 16 |
| 2-1-5 | 先進 SiC/SiC 複合材料とアルカリ溶剤との反応性の評価と設計への反映 | 17 |
| 2-1-6 | プランジャに採用する接合金属のアルミ溶湯への析出の評価と設計への反映    | 18 |
| 2-1-7 | 射出機構の基礎実験による特性評価                      | 19 |
| 2-2   | 溶解保持炉の開発                              | 19 |
| 2-2-1 | 溶解保持炉の設計・製作                           | 19 |
| 2-2-2 | 溶解保持炉の特性評価                            | 20 |
| 2-3   | 機構部品の開発                               | 21 |
| 2-3-1 | SiC/SiC 複合材料実機モデル部品の設計                | 21 |
| 2-3-2 | SiC/SiC 複合材料実機モデル部品の製造プロセス検討と製造       | 21 |
| 2-3-3 | SiC/SiC 複合材料実機モデルへの評価結果の反映            | 22 |
| 2-4   | 射出システムの最適化                            | 22 |
| 2-4-1 | 作動確認・強度検証                             | 22 |
| 2-5   | 射出システムの最適化                            | 23 |
| 2-5-1 | 鋳造開発                                  | 23 |
| 2-5-2 | 製品開発                                  | 23 |
| 第3章   | まとめ                                   | 24 |
| 参考資料： |                                       |    |
| 1)    | 研究開発推進委員会活動                           | 24 |
| 2)    | 特許等の準備状況                              | 24 |
| 3)    | 用語集                                   | 25 |

## 第1章 研究開発の概要

本研究開発の目的は、鑄造技術で求められる高品質要求に対し、弊社で特許出願したアルミダイカスト用ホットチャンバ工法の射出機構に、室蘭工業大学で開発研究している先進 SiC/SiC 複合材料と金属基複合材料を応用して、ホットチャンバ法の世界標準を確立することである。

平成 22 年度は室蘭工業大学との共同開発により、射出機構の設計開発、及び先進 SiC/SiC 複合材料を用いた機構部品の開発を行った。また、弊社単独の取り組みとして高周波誘導加熱方式による溶解保持炉の開発を進めた。

平成 23 年度は室蘭工業大学との共同開発により、射出機構の設計開発・製造、及び先進 SiC/SiC 複合材料と金属基複合材料を用いた機構部品の開発・製造を行う。また、弊社単独の取り組みとして高周波誘導加熱方式による溶解保持炉の開発・製造を行う。

### 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

#### 【研究開発の背景】

特定ものづくり基盤技術高度化指針のうち、以下の項目に対応する。

#### (十) 鑄造に係る技術に関する事項

##### 1. 鑄造に係る技術において達成すべき高度化目標

##### (1) 自動車に関する事項

- ・川下製造業者の抱える課題及び要請（ニーズ）

##### カ. 低コスト化

- ・自動車部品には軽量高強度、高品質で低コストという相反する要求が求められる。コストダウン要求に対し既存技術による生産性向上だけでは限界がある。アルミダイカスト業界は自動車関連企業のグローバル展開により、ここ数年で約 30%強の事業所が倒産・廃業している厳しい現実があり、日本発の鑄造技術開発による技術革新が必要不可欠である。

#### 【研究目的】

軽量高強度、高品質品の鑄造技術としては、「高真空ダイカスト法」をベースにしたものがある。しかし、鑄造設備が高額で、複雑かつ大型な金型構造による高コストのため採用は大企業に限られ、製品対象も高付加価値品に限定されている。こうした状況の中、当社は H18、19 年度の 2 年間にわたって経済産業省の研究開発補助事業「地域新規産業創造技術開発費補助事業」により、アルミダイカスト用ホットチャンバ法を応用した「ノンフロンガス対応型カーエアコン用高耐圧部品の鑄造・金型技術開発」に取組み、ある一定の目標を達成した。

事業化に向けた課題は、プロダクト技術では引け巢の発生と耐圧性能であり、製品面の目標スペックを実現するにはプロセス面の技術開発が必要で、具体的には①射出シリンダ、②プランジャ、③溶解保持炉を柱とするホットチャンバ用射出機構及び周辺装置の高度化が求められる。

このため独自に課題解決となる特許出願を行うとともに、600℃以上の高温下でも射出機能を

発揮できる材料を探していたところ、交流がある室蘭工業大学（以下室蘭工大）で、京都大学（開発の中心メンバーはすでに室蘭工大へ移籍している）との間で10年以上に渡る先進SiC/SiC 複合材料の研究並びに製造技術開発を行っていることがわかった。室蘭工大との議論を経て、当該支援事業において両者の協力で推進することの有効性を確認でき、平成22年3月に正式に発足した環境・エネルギーシステム材料研究機構（略称 OASIS）の複合環境効果評価施設（略称 FEEMA 施設）を利用し、SiC/SiC 複合材料を用いた射出機構の開発を行うこととした。また、戦略的基盤技術高度化支援事業に係るヒアリングコメントによりSiC/SiC 複合材料以外にも材質の選択を見直した結果金属基複合材料も選択肢の一つとして採用することとした。さらに、溶解保持炉も含めた周辺装置の高度化により製品の検証までを行う。

◆ プロダクト（ホットチャンバによる当社ダイカスト製品）の現状と最終目標

| 項目       | 時期<br>「地域新規産業創造技術開発費補助事業」の開発目標(18-19年度) | 現状<br>(平成22年現在) | 最終目標     |
|----------|---|-----------------|----------|
| 製品内部のガス量 | 1~3CC/100gAL                            | 目標達成            |          |
| 製品内部の介在物 | 0.1%以下                                  | 目標達成            |          |
| 製品の凝固層量  | 0.1%以下                                  | 目標達成            |          |
| 引け巣の発生   | φ0.5mm以下                                | 未達(φ2mm程度)      | φ0.5mm以下 |
| 耐圧性能     | 35MPa                                   | 未達(20MPa)       | 35MPa    |

◆ プロセス（工法=製造技術）の現状と開発項目

| 地域新規産業創造技術開発費補助事業」の開発項目 | 現状<br>(平成22年現在) | 「戦略的基盤技術高度化支援事業」の開発項目(平成22年度~)   |
|-------------------------|-----------------|--|
| ホットチャンバ用金型の開発           | 目標達成            | 1. 射出機構及び溶解保持炉の設計開発<br>・射出シリンダの開発<br>・プランジャの開発<br>・溶解保持炉の開発<br>2. 機構部品の開発<br>・SiC/SiC 複合材料部品の開発<br>3. 射出システムの最適化<br>・作動確認・強度検証<br>4. 生産技術等の確立<br>・ casting 開発<br>・製品開発 |
| ホットチャンバ用鑄造技術の開発         | 未達              |  |
| 塑性流動技術の応用               | 目標達成            |  |
| ホットチャンバと材料のマッチング        | 目標達成            |  |

## 【研究目標】

### 射出機構の設計開発

#### (1). 基礎実験用射出シリンダの設計

従来構造の課題である破損による事故回避、シリンダ内部への空気侵入に対し次の研究目標を設定する。

- ①. 材質に SiC/SiC 複合材料と金属基複合材料双方を検討し採用する。
- ②. フローティングバルブ構造(特許出願済み)を採用する。
- ③. プランジャ摺動時の応答性とシール性を実験評価し、バルブ構造の効果を確認する。
- ④. プランジャとの組合せ実験結果も踏まえ最適設計に反映させる。

#### (2). 基礎実験用射出プランジャの設計

従来構造の課題である破損による事故回避、摺動時のシリンダ内壁面とのシール不良による鑄造圧力低下及び磨耗時の交換性に対し、次の研究目標を設定する。

- ①. 材質に SiC/SiC 複合材料と金属基複合材料双方を検討し採用する。
- ②. シリンダとの摺動部分にはラジアル方向及び軸方向に可動で、容易に交換可能なリング部品を採用する。
- ③. リンガー一体型を採用し、プランジャ設計検討を行う。

#### (3). 先進 SiC/SiC 複合材料プロセスの構造設計への反映

- ①. シャフトに鑄鉄を用いたハイブリット構造を採用する。
- ②. SiC/SiC 複合材料製の射出機構構成部品製造のために疑似 HIP 法を採用する。
- ③. リング押さえ固定用部品の固定方法としてネジ加工を採用し、固定と交換性を両立する。
- ④. 先進 SiC/SiC 複合材料によるプランジャ構造設計を行う。

#### (4). 先進 SiC/SiC 複合材料とアルミ溶湯と濡れ性の評価と設計への反映

- ①. SiC とアルミ溶湯との濡れ性及び反応性の評価を行う。

#### (5). 先進 SiC/SiC 複合材料とアルカリ溶剤との反応性の評価と設計への反映

- ①. SiC と NaOH 溶液との反応性の評価を行う。

#### (6). プランジャに採用する接合金属のアルミ溶湯への析出の評価と設計への反映

- ①. プランジャにおける SiC と鉄鋼材料との接合方法としてろう接法の検討を行う。

#### (7). 射出機構の基礎実験による特性評価

- ①. シリンダ摺動面とのシール性を確保するため、適切な隙間を実験確認する。
- ②. 確認結果を最適設計に反映させる。

## 溶解保持炉の開発

### (1). 溶解保持炉の設計・製作

従来品の課題である、溶解作業性による生産性低下、不稼動時でも温度保持を必要とする非効率性、高コストへの対策として新たな機構を有する溶解保持炉を開発する。

- ①. 高周波誘導加熱方式を採用する。
- ②. 既存ホットチャンバマシンとの互換性を図る。

### (2) 溶解保持炉の特性評価

- ①. 溶解性能・保温性能の実用性を評価する。

## 機構部品の設計開発

### (1). 実機モデル部品の設計

- ①. SiC/SiC 複合材料・金属基複合材料を設計仕様に対応した要素部材に構成し開発製造する。

### (2). SiC/SiC 複合材料実機モデル部品の製造プロセス検討と製造

- ①. 2種類のプリプレグシートの作製を行う。
- ②. プリフォーム製造プロセスの検討を行う。
- ③. 加圧焼結プロセスの検討を行う。
- ④. 機械加工後の寸法確認を行う。

### (3). SiC/SiC 複合材料実機モデルへの評価結果の反映

- ①. SiC/SiC 複合材料実機モデルでの加圧性及び磨耗性の評価を行う。

## 射出システムの最適化

### (1). 作動確認・強度検証

- ①. 設計開発した機構部品の製造を行う。
- ②. 既存ホットチャンバマシンでの作動確認・強度検証を行う。

## 生産技術の確立

### (1). 鋳造開発

- ①. 既存ホットチャンバマシンで実鋳造を行い鋳造技術の確立を目指す。

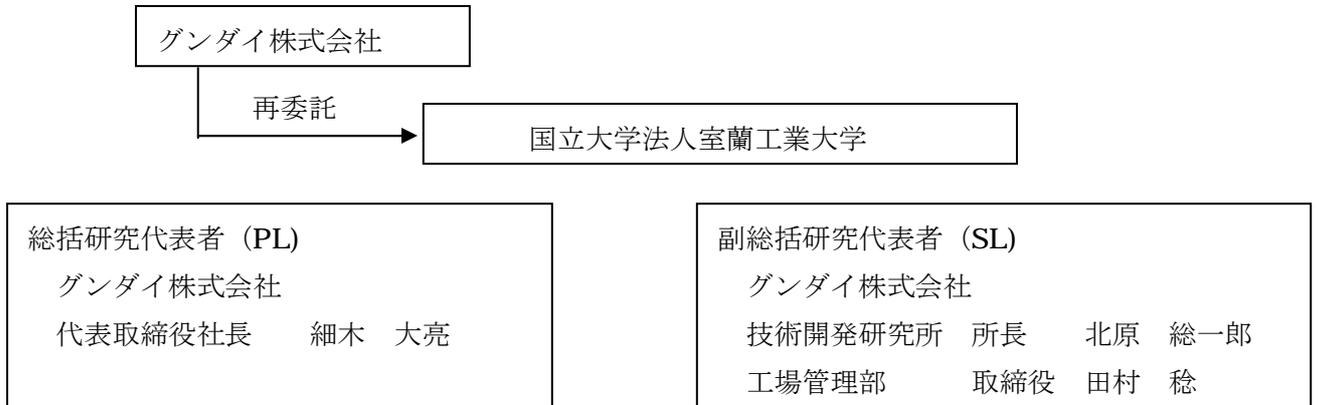
### (2). 製品開発

- ①. 実鋳造で製造した製品の評価を行う。
- ②. 評価結果をフィードバックし生産技術の確立を目指す。

## 1-2 研究開発体制

### 研究組織（全体）

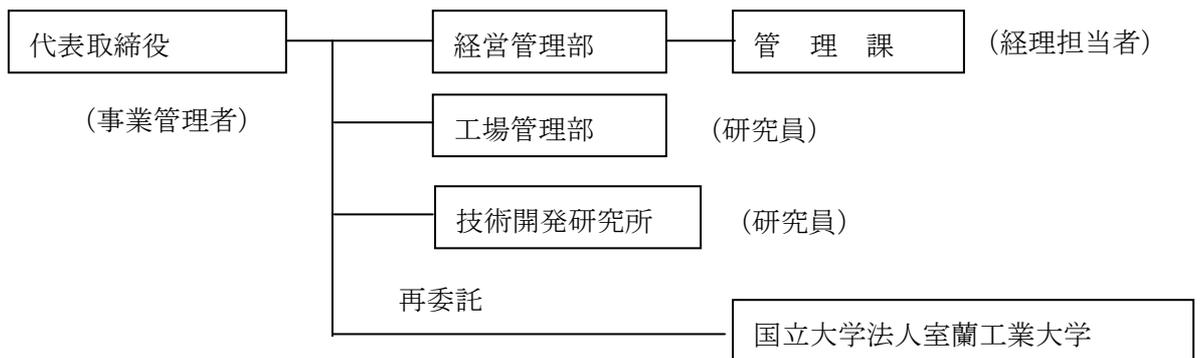
#### 1) 研究組織（全体）



#### 2) 管理体制

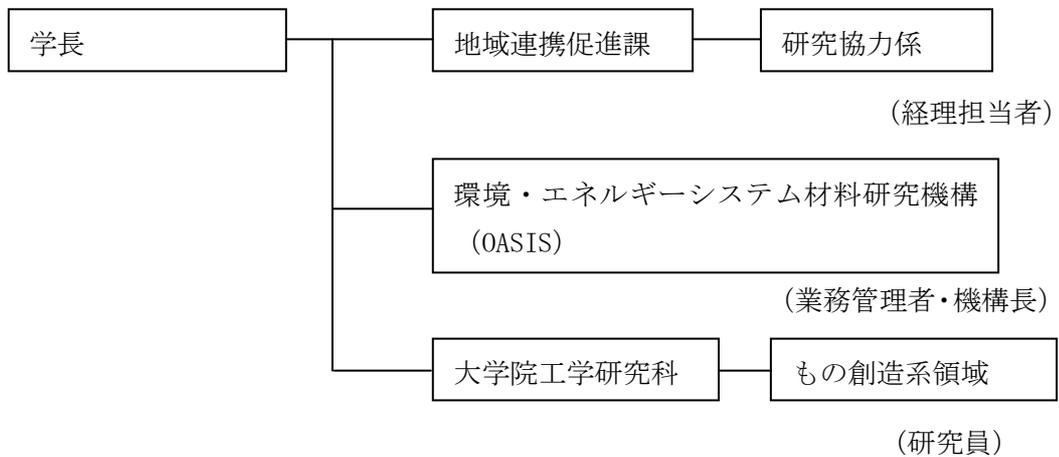
##### ①事業管理機関

[グンダイ株式会社]



##### ②再委託先

[国立大学法人室蘭工業大学]



研究者氏名

【グンダイ株式会社】

細木 大亮                      ・北原 総一郎                      ・田村 稔  
河村 正一                      ・畠山 裕基

【国立大学法人室蘭工業大学】

香山 晃      教授      ・幸野 豊      教授                      ・桃野 正      教授  
岸本 弘立      准教授      ・朴 俊秀      客員准教授      ・鄭 憲採      客員准教授

協力者

野口 徹      (国立大学法人室蘭工業大学 副学長)  
志村 邦久      (UDトラックス株式会社 車両開発主管)  
稲田 茂昭      (稲田プラズマ研究所 所長 (元群馬大学工学部教授))  
高橋 平七郎      (北海道大学 名誉教授)  
功刀 資彰      (国立大学法人京都大学大学院 工学系研究科 教授)

## 1-3 成果概要

### 射出機構の設計開発

#### (1). 基礎実験用射出シリンダの設計

- ①. 材質に SiC/SiC 複合材料と金属基複合材料双方を検討し採用する。
  - ・ 室蘭工大の開発実績及び製造技術力・ノウハウを活用し SiC/SiC 複合材料を採用した。
  - ・ 戦略的基盤技術高度化支援事業に係るヒアリングコメントにより SiC/SiC 複合材料以外にも材質の選択を見直した結果、金属基複合材料も選択肢の一つとして採用した。
- ②. フローティングバルブ構造(特許出願済み)を採用する。
  - ・ SiC/SiC 複合材料製と金属基複合材料製のバルブを採用した。
  - ・ 平面シールと傾斜シールの2種類の形状を優先させて製作し、試験に供した。
  - ・ 平面シールに凸を付けたタイプ等の複合シール効果を含む形状については、22年度の試作試験結果及び23年度の追加試験結果より採用は見送った。
- ③. プランジャ摺動時の応答性とシール性を実験評価し、バルブ構造の効果を確認する。
  - ・ 実験の可視化を図るためアクリル製シリンダを製作した。
  - ・ 可視化のため、熔融アルミの代替として同粘性を持つグリセリン溶液を実験に採用した。
  - ・ 実験の結果、傾斜シールの有効性が確認できた。
- ④. プランジャとの組合せ実験結果も踏まえ最適設計に反映させる。
  - ・ 量産時に必要とするプランジャストローク 125mm、かつ射出機構として必要な構造並びに量産化を踏まえて交換可能なバルブ本体及びリング機構を採用した。
  - ・ シリンダに SiC/SiC 複合材料を採用した場合、摺動性及びシール性等の機能面と経済性の観点から内面加工をしない方法を採用する。
  - ・ 既存ホットチャンバマシンとの互換性を評価した。

#### (2). 基礎実験用射出プランジャの設計

- ①. 材質に SiC/SiC 複合材料と金属基複合材料双方を検討し採用する。
  - ・ 室蘭工大の開発実績及び製造技術力・ノウハウを活用し SiC/SiC 複合材料を採用した。
  - ・ 戦略的基盤技術高度化支援事業に係るヒアリングコメントにより SiC/SiC 複合材料以外にも材質の選択を見直した結果、金属基複合材料も選択肢の一つとして採用した。
- ②. シリンダとの摺動部分にはラジアル方向及び軸方向に可動で、容易に交換可能なリング部品を採用する。
  - ・ SiC/SiC 複合材料と金属基複合材料によるリング部品を採用した。
  - ・ リング部品はシリンダとのシール性並びに量産性を考慮し、モノ SiC と SiC/SiC 複合材料または金属基複合材料の多層構造を有する一体品を設計採用した。
- ③. リング一体型を採用し、プランジャ設計検討を行う。
  - ・ リング保持機構に用いる部品を SiC/SiC 複合材料にネジ加工を施して製造し、摺動性試験と加圧試験に供した。

(3). 先進 SiC/SiC 複合材料プロセスの構造設計への反映

①. シャフトに鋳鉄を用いたハイブリット構造を採用する。

- ・作業時に発生する異材間での熱応力の低減を目指し、シャフトに用いる鋳鉄の組成調整を行い、SiC/SiC 複合材料と熱膨張特性の極めて近似した材質を採用した。
- ・採用した鋳鉄でシャフトを作成し、SiC/SiC 複合材料シリンダでカバーするハイブリット構造を試作し、プランジャの特性実験に供した。

②. SiC/SiC 複合材料製の射出機構構成部品製造のために疑似 HIP 法を採用する。

- ・様々なシリンダ形状を成型するために、HIP 法及び疑似 HIP 法の検討を実施した。疑似 HIP 法の量産性及び大幅なコスト低減が期待できたため、疑似 HIP 法を採用する。

③. リング押さえ固定用部品の固定方法としてネジ加工を採用し、固定と交換性を両立する。

- ・リング部品の押さえとして、鋳鉄芯材下部に直接ねじ込む SiC/SiC 複合材料によるネジ加工部品を採用した。これにより、リング構造と交換性を両立した設計を行い、部品を作製した。

④. 先進 SiC/SiC 複合材料によるプランジャ構造設計を行う。

- ・これまでの検討を元に5つの部品に分割した NITE-SiC/SiC 複合材料のプランジャを設計した。これにより、破損個所の部品のみを交換できメンテナンスを考慮した設計になっている。

(4). 先進 SiC/SiC 複合材料とアルミ溶湯と濡れ性の評価と設計への反映

①. SiC とアルミ溶湯との濡れ性及び反応性の評価を行う。

- ・SiC は反応温度 700°C 以下では、溶融 ADC12 との明確な反応層の存在は無く、問題となるような固液界面反応は認められなかった。溶融アルミによる SiC の浸食や腐食などは問題とならないと結論付ける事が出来た。ダイカスト用部材として、十分使用可能であるといえる。

(5). 先進 SiC/SiC 複合材料とアルカリ溶剤との反応性の評価と設計への反映

①. SiC と NaOH 溶液との反応性の評価を行う。

- ・メンテナンスを考慮し SiC と NaOH 溶液との反応性の評価を行う。NaOH 溶液による SiC 試料の減量は残留 Si の溶出によるものであり、健全な SiC 部分での化学反応は認められない。また、Si の溶出は表面に露出している Si のみであり、内部の Si や C は質量減少の原因とならない事が確認できた。

(6). プランジャに採用する接合金属のアルミ溶湯への析出の評価と設計への反映

①. プランジャにおける SiC と鉄鋼材料との接合方法としてろう接法の検討を行う。

- ・Ag 箔純度 99.98% と Ag-Cu ろう材を用いる方法と、ろう材を使用しない方法で SiC と炭素鋼 S45C の接合を行った。Ag-Cu ろう材を用いた場合、Ag 箔での接合と比較すると優れた接合強度が示された。

(7). 射出機構の基礎実験による特性評価

- ①. シリンダ摺動面とのシール性を確保するため、適切な隙間を実験確認する。
  - ・実験効率を考えモノ SiC 部品及び金属基複合材料で予備実験用部品を先行製作し予備実験を行い、その結果を SiC/SiC 複合材料部品及び金属基複合材料部品の設計に反映させた。
  - ・実験はサーボ式加圧ジグを用い、(1)③項で記載したグリセリン溶液内で行った。
  - ・加圧実験では、リング外側、即ちシリンダとのシール性のみを評価するため、リング内側は 0 リングでシールした。
  - ・実験は連続摺動実験と加圧実験の 2 種類を行った。
  - ・モノ SiC 部品では先ず本機構の成立性の原理実証を目的とし、(1) 作業に求められる十分な摺動性の確認と (2) 加圧実験での耐圧性能として 1 MPa が達成できる事の確認を行った (仕上げ面の精度とクリアランス設定は目的に即して決められた)。その結果、目的通りの性能が確認できた。次に、SiC/SiC 複合材料部品 A/B/C 及び金属基複合材料では上記項目 (1) 摺動性の確認を目的として実験を行い性能が確認できた。項目 (2) 加圧実験での耐圧性能の設定は計画では 0.5MPa と想定しており、想定値以上の特性の確認が行えた。
- ②. 確認結果を最適設計に反映させる。
  - ・今回の実験におけるモノ SiC 部品と SiC/SiC 複合材料部品 A/B/C の特性の相違は表面粗さとクリアランス設定の違いによるものであり、両者の最適値設定を進めた。
  - ・基本方針は変わらず、モノ SiC と SiC/SiC 複合材料の特性を生かした多層構造やハイブリッド化を含む構造設計を採用する、併せて金属基複合材料の特性を生かした構造設計も採用する。
  - ・アルミ溶湯内での基本的な評価及び実製造環境下での耐環境特性は既存ホットチャンバマシン上にて検討課題とした。

## 溶解保持炉の開発

### (1). 溶解保持炉の設計・製作

- ①. 新加熱方式を採用する。
  - ・群馬大学稲田名誉教授の指導を頂き、新加熱方式を採用した。
  - ・炉材はアルミ溶湯との共存性、特に炉壁の損耗等によるアルミの汚染の抑制に優れた材料を採用する事とした。
- ②. 既存ホットチャンバマシンとの互換性を図る。
  - ・互換性を考慮した炉構造と加熱要素の配置を行った。

### (2). 溶解保持炉の特性評価

- ①. 溶解性能・保温性能の実用性を評価する。
  - ・コンデンサ部の加熱トラブルに対しては、強制冷却を採用した。
  - ・放熱を防ぎ、溶解、保持性能の向上を図るため、溶解保持炉外周に熱遮蔽被覆を設置した。
  - ・溶解性能の向上を図り、溶解性の確認が出来た。
  - ・既存ホットチャンバマシンとの互換性を確認できた。

## 機構部品の設計開発

### (1). SiC/SiC 複合材料実機モデル部品の設計

- ①. SiC/SiC 複合材料・金属基複合材料を設計仕様に対応した要素部材に構成し開発製造する。
  - ・金属基複合材料部品はP-CVDを行いアルミ溶湯への析出を防止した。

### (2). SiC/SiC 複合材料実機モデル部品の製造プロセス検討と製造

- ①. 2種類のプリプレグシートの作製を行う。
  - ・プリプレグシートを作製した。
- ②. プリフォーム製造プロセスの検討を行う。
  - ・作製したプリプレグシートを用いて、プランジャの構成部品の要求性能に応じてプリフォームの積層構造を検討した。
- ③. 加圧焼結プロセスの検討を行う。
  - ・HP より熱間等方加圧(HIP)や擬似HIPが加圧を行う上で適しているためAタイプではHIPを用い、Aタイプの一部とB、Cタイプでは量産性を考慮し擬似HIPを用い加圧焼結を行う。
- ④. 機械加工後の寸法確認を行う。
  - ・全ての部材において、当初設計した寸法(クリアランス)を達成していることを確認した。本研究を通して、SiC/SiC 複合材を用いて、十分なクリアランスを維持しプランジャ・シリンドラの構造が確立出来ることを実証した。

### (3). SiC/SiC 複合材料実機モデルへの評価結果の反映

- ①. SiC/SiC 複合材料実機モデルへの製造プロセスの最適化を行う。
  - ・加圧性ととも数回の実験でも摩耗は確認されなかった。モノSiC部品とSiC/SiC複合材料部品A/B/Cの相違は表面粗さによることが判明した。さらに高精度にクリアランス・表面粗さを設定し、現状の摺動性を確保しつつ加圧性を向上させる製造プロセスの最適化を行う。

#### 1-4 当該研究開発の連絡窓口

窓口 : グンダイ株式会社  
担当者 : 技術開発研究所 所長 北原 総一郎  
住所 : 〒372-0854 群馬県伊勢崎市飯島町 540 番地 2  
連絡先 : Tel(0270-32-7111) Fax(0270-32-6530)  
E-mail (sk-117@gundai.co.jp)

## 第2章 本論

### 2-1 射出機構の設計開発

・従来構造の課題である酸化皮膜の発生によるキズ・破損による摺動抵抗増加に伴う射出機構の破損事故回避、シリンダ-プランジャ間での溶湯の漏れ及びシリンダ内部への空気侵入に対し、射出機構の設計開発を行う。現行の射出機構の問題点と今事業で設計開発した実製造用の射出機構の構想を下図に示す。

・基礎実験用の射出機構を設計開発し、特性評価を行う。評価結果は実製造用の射出機構の設計開発にフィードバックさせる。

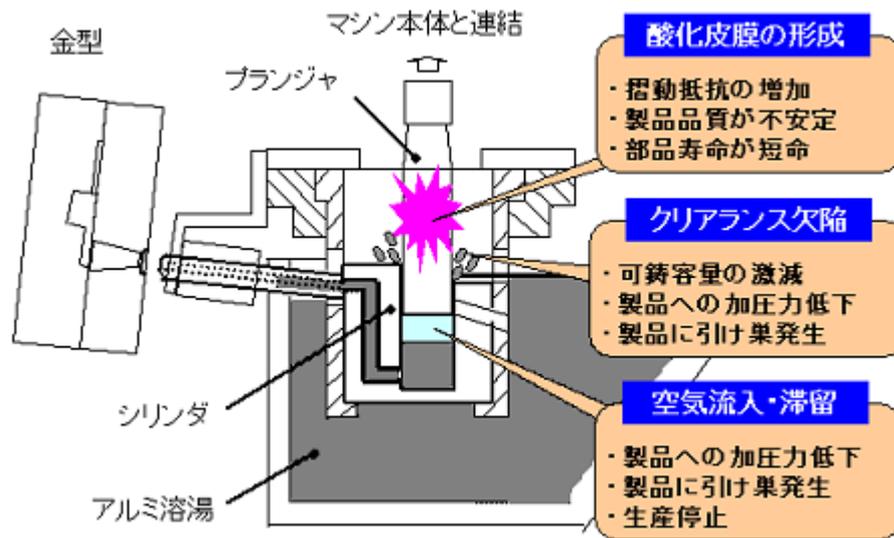


図 2-1.1 現行射出機構の問題点

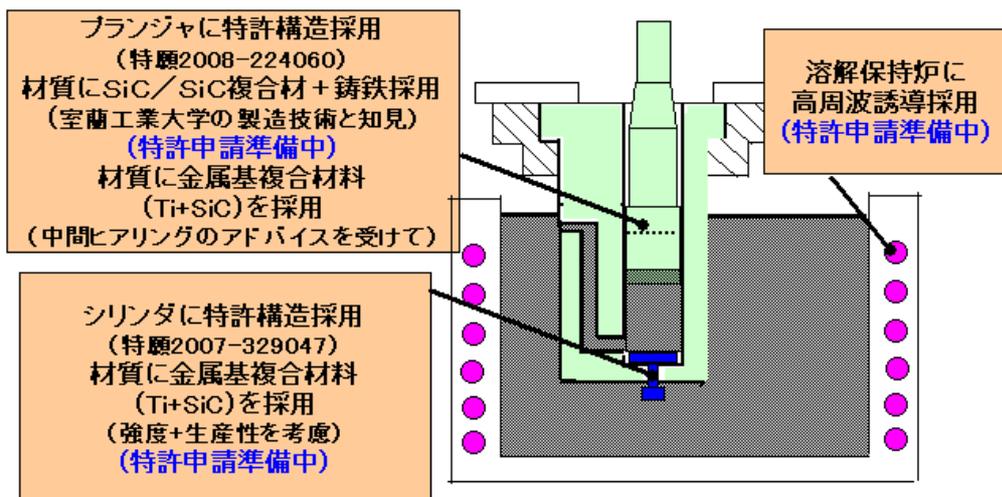


図 2-1.2 新開発の射出機構の構想

### 2-1-1. 基礎実験用射出シリンダの設計

①. 材質に SiC/SiC 複合材料と金属基複合材料双方を検討し採用する。

・室蘭工大の開発及び製造技術力を活用し SiC/SiC 複合材料を採用した。

室蘭工大では原子力、航空宇宙向けの製造技術力を蓄積している。今回は一般産業用のため、グリーンシート及びプリプレグシートと呼ばれる中間素材の製造技術検討を行い、これらの中間素材の積層成型によるプリフォームを擬似 HIP 法により最終成形する一貫した製造プロセスを内製化し、量産性とコスト競争力のある製造法に基づく部品製造技術の確立を目指した。

・シリンダの設計においてはコアの部分の材料である SiC/SiC 複合材料の強度特性の実用温度域での安定性を考慮し、更に、繊維強化構造の最適化によりシリンダに求められるフープ応力・軸方向応力を満たす材料設計を行う事で、内径 40mm のシリンダで肉厚 2mm が十分であることを確認し、設計を行った。この事による軽量化効果は大きく、繰り返し使用における形状の安定性や熱衝撃・熱疲労における安定性はモノリシックセラミックスでは実現できない、優れた基本特性となるものと期待される。これらのプロセスの核となるプリプレグシートの作成や擬似 HIP 法は何れも特許の対象となるものであり、特許申請作業を行う予定である。

・シリンダ長 90mm の円筒形状で、実験用にプランジャストローク 50mm を確保した。後述する実験での評価を可視化するため、アクリル製容器等を用いることを考慮し、実験に最低限必要な寸法とした。

・また、戦略的基盤技術高度化支援事業に係るヒアリングコメントにより SiC/SiC 複合材料以外にも材質の選択を見直した結果、金属基複合材料も選択肢の一つとして採用した。

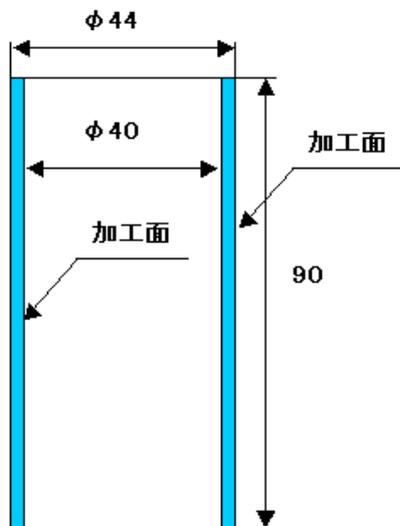


図 2-1-1.1 シリンダ設計図



図 2-1-1.2 製作したシリンダの写真

- ②. フローティングバルブ構造(特許出願済み)を採用する。
- ・ 室蘭工大の開発及び製造技術力を活用し SiC/SiC 複合材料を採用した。
  - ・ 特にフローティングバルブにおいては繰り返し作業時における溶融アルミとの相互作用や異物混入等によるシール面の損耗の影響を少なくする事を考えた。
  - ・ バルブシール面は平面シール (Aタイプ) と傾斜シール (Bタイプ) の2種類を製作した。
- バルブ部品には実験の際に必要な亚克力製のシャフトを接着した。
- ③. プランジャ摺動時の応答性とシール性を実験評価し、バルブ構造の効果を確認する。
- ・ 実験の可視化を図るため亚克力製シリンダを製作した。
- バルブ単体の機能性を評価できる亚克力製シリンダを製作した。



図 2-1-1.8 アクリル製シリンダの写真  
(内部にバルブを組み込み)

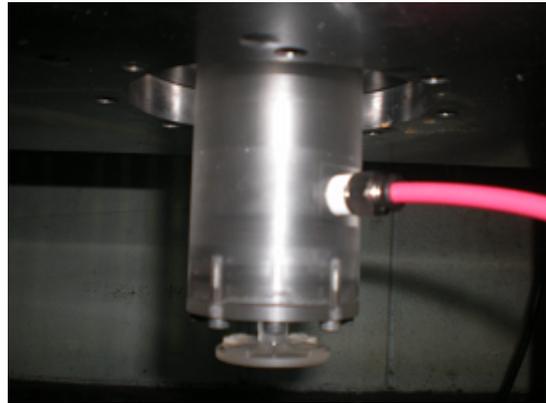


図 2-1-1.9 実験装置に設置した写真  
(左の部品を 180 度回転し取付け)

- ・ 可視化のため、溶融アルミの代替として同粘性を持つグリセリン溶液を実験に採用した。  
グリセリン濃度は実験により【グリセリン 1300cc に対し水 100cc】が確認できた。
  - ・ サーボ加圧ジグを用い、プランジャを上下させた時のバルブ摺動性を実験により確認を行った。  
ストロークは、実製造時は 125mm を想定しているが、今回は基礎実験のため費用対効果も考慮し 60mm とした。実験の結果、タイプ A, B 共に上下に可動し応答性に問題はなく、仮想ノズルからの空気の流入もなく、良好だと言える。次に、プランジャを下方に加圧させバルブシール性の確認を行った。  
平面シールの A タイプは加圧力 257N でバルブ部より漏れが発生したが、傾斜シールの B タイプは加圧力 473N でも漏れの発生はなかった。実験前確認で、500N で亚克力部品の一部に亀裂が生じたため、加圧力は 500N 以下で確認を行った。
- ④. プランジャとの組合せ実験結果も踏まえ最適設計に反映させる。
- 量産性の面から、SiC/SiC 複合材料でフローティングバルブを設計し、本体構造は金属基複合材料で設計開発する方向で検討する。

## 2-1-2. 基礎実験用射出プランジヤの設計

①. 材質に SiC/SiC 複合材料と金属基複合材料双方を検討し採用する。

・室蘭工大の開発及び製造技術力を活用し SiC/SiC 複合材料を採用した。また、戦略的基盤技術高度化支援事業に係るヒアリングコメントにより SiC/SiC 複合材料以外にも材質の選択を見直した結果、金属基複合材料も選択肢の一つとして採用した。

シリンダ同様に、グリーンシートと呼ばれる素材、擬似 HIP 成形プロセスを内製化し、量産性とコスト競争力のある製造法で製作した。

②. シリンダとの摺動部分にはラジアル方向に可動し、交換可能なリング部品を採用する。

・SiC/SiC 複合材料によるリング部品を採用した。

現行射出機構はシリンダ、プランジヤ共に SiN 系材料を使用し、上部からの吊り下げ構造を採用している。しかし、シリンダとプランジヤのストロークラインが一致せず、既存品では摺動時にカジリによる停止不具合が発生した。これを解決するため、SiC/SiC 複合材料の特性を活かし、ラジアル方向に可動するリング構造を採用した。

・リング部品はシリンダとのシール性を考慮し、 $\phi 40 \times 45$  の一体品とした。リングは複数枚を重ねる方法もあるが、シール性（シール長さに比例）の他にリング構造が必要となり量産性に支障がある。このためリング一体品を設計採用した。

③. リング一体型を採用し、プランジヤ設計検討を行う。

・リング一体品を採用した場合の設計を行った。リングを一体式としてシリンダ内径を  $\phi 60$  とし、プランジヤ本体にリング本体を挿入し、リング押さえを挿入・接合する案から検討を開始した。具体的な検討内容としては a) リング外径公差、b) リング厚さ、c) リング押さえ固定方法、である。

a) リング外径公差についてはアルミ溶湯はリング外面-シリンダ内壁面でシールされるが、アルミ溶湯の粘性および濡れ性による検討が必要であり、3種の公差について検討を実施することとした。

b) リング厚さについてはリング内径とプランジヤ本体間に隙間が生じるために、この部分にアルミ溶湯が進入する可能性があるためこの経路においてもシール性の確保が重要となる。リング-内面-リング上端部とプランジヤ本体との接触面積を確保することが必要であり、リング厚さの最適化が必要であるが、暫定的にリング厚さを 5mm 確保することとした。c) リング押さえ固定方法は拡散接合法、ロウ付け法、機械的な固定法を検討し、ロウ付け法及びに予備的な実験を実施することとした。

## 2-1-3. 先進 SiC/SiC 複合材料プロセスの構造設計への反映

① シャフトに鋳鉄を用いたハイブリット構造を採用する。

・量産性、コストおよび苛酷環境における長期間の繰り返し溶射に伴う耐久性を考慮して、鉄鋼材料を構造材料として用いて SiC/SiC 複合材料を耐磨耗・耐アルミ溶湯材料として用いるハイブリット構造を採用することとした。鉄鋼材料を芯材に用いると SiC と熱膨張率が異なるために高温のアルミ溶湯中での破壊の可能性が生じるが、鋳鉄においては熱膨張率の調整が可能であり、熱膨張率を SiC と同等に調整してハイブリット構造のプランジヤ製造を可能とした。また、鋳鉄のアルミへの溶解を防ぐ為、外周は SiC/SiC 複合材料でカバーする構造を採用した。

② SiC/SiC 複合材料製の射出機構構成部品製造のために疑似 HIP 法を採用する。

・様々な SiC/SiC 複合材料の形状部材を成型するために、石英管にプリフォームを真空封入後に高

温環境でガスを圧力媒体として加圧焼成を行う熱間等方加圧法（HIP 法）及び量産性を考慮しホットプレス装置を用いて黒鉛粉末を圧力媒体としてプリフォームを加圧する擬似 HIP 法の検討を実施した。リング押さえ固定用部品の固定方法としてネジ加工を採用し、固定と交換性を両立する。

・リング部品の押さえとして、鋳鉄芯材下部に直接ねじ込む SiC/SiC 複合材料によるネジ加工部品を採用した。リング部品はシリンダとの摺動による磨耗を考慮し、量産時にはシリンダより磨耗性の高い材質を採用する。当該開発では SiC/SiC 複合材料を採用する事で、従来の SiC 系材料では不可能であったネジ加工を採用し、リング構造と交換性を両立した設計を行い、部品を製作した。

④. 先進 SiC/SiC 複合材料によるプランジャ構造設計を行う。

・これまでの検討を元に現状のプランジャ・シリンダの形状を基礎として NITE-SiC/SiC 複合材料のプランジャを設計した。NITE-SiC/SiC 複合材料でパイプ状、円盤状、ネジ状部材を製作する。

・ハイブリット構造では NITE-SiC/SiC 複合材料は鋳鉄芯材を被覆するジャケット材およびにシール性を維持するリング材であるために、5 つに分割して必要とされる部分の寸法精度を確保したことが本設計上の大きな特徴である。プランジャを駆動させるためピストンと連結される鋳鉄をカバーする中心軸管、シリンダと接触しシール性を維持するリング、リングを中心軸管と固定するための上部支持ネジと下部支持盤、さらに下部支持盤と中心軸管を結合させるための“下部支持ネジ”である。このような 5 つの部位に分けたことによりメンテナンスの際に破損個所の部位のみを交換出来るようにし、メンテナンスを考慮した設計となっている。

鋳鉄はアルミ溶湯と反応して損傷を受けるために、アルミ溶湯が鋳鉄に接しないように鋳鉄芯材は SiC/SiC 複合材料ジャケットで覆われる。プランジャ内部の鋳鉄芯材は熱膨張率(NITE-SiC/SiC :  $4\sim 5 \times 10^{-6}/K$ )に合わせて製造され、アルミ溶湯中でも密着を維持してアルミの侵入を防ぐ構造をとる。

プランジャ・シリンダの形状よりパイプ形状の組み合わせた構造を採用した。NITE-SiC/SiC 複合材料においてはパイプ形状の製作において実績があるため、今回の様な円柱形の形状の作製においてパイプ形状の NITE-SiC/SiC 複合材料の組合せで製作する事を採用した。

## 2-1-4 先進 SiC/SiC 複合材料とアルミ溶湯との濡れ性の評価と設計への反映

①. SiC とアルミ溶湯との濡れ性及び反応性の評価を行う。

・SiC/SiC 複合材料をプランジャ、シリンダとして使用する際の最大の課題は材料表面を形成する SiC と溶融アルミニウムとの濡れ性に基づく溶融アルミの漏えい限界値の設定とその際の加圧力との関係である。

・SiC との共存性評価の対象としては主たるダイカスト製品において用いられる ADC12 合金を選定し、液相形成温度から実作業での溶融アルミ温度の範囲で実験を行った。実験は溶融アルミへの SiC の浸漬実験として実施した。

・試験終了後の表面観察により濡れ性の評価及び反応性の評価とした。

・SiC の溶融 ADC12 中浸漬実験装置内の温度は熱電対で測定し、アルミナルツボ中で溶解された ADC12 が所定温度に達してから、試料支持棒を上部より挿入し、試料を浸漬した。なお、本装置内は Ar 雰囲気とし、ADC12 表層の酸化を防止した。所定時間浸漬後、支持棒を上方に引き上げ空冷した。本実験で用いた SiC は先進反応焼結法(香山らの特許)で製造された SiC 板であり、高純度の SiC の粒界に Si が帯状または微細粒状で残留しているものである。一方は明確に残留 Si が認められるものであり、他方は光学顕微鏡レベルでは確認できない程度の微細残留 Si が残留して

いるものである。

・図 2-1-4 に SiC 試料(上記の反応焼結法で作成したものであり、残留 Si は極めて少ないほうの試料である)を ADC12 融液に 700℃、10hr 浸漬した結果を示す。反応温度 700℃以下では、熔融 ADC12 との明確な反応層の存在は確認できない。SiC との反応は SiC 粒界での浸食という形態を通常はとるが、このような形態の侵食は全く確認されていない。一方、付着しているアルミ層においては通常の急冷凝固組織を有する部分(同図では白色に見える)と微細結晶粒の部分(同図では黒い網目状の模様が見える部分)が識別できる。微細結晶粒の形成の機構については今後、微細組織の解析と微小領域での化学分析を行うことにより解析を進める予定であるが、反応焼結法において残留していると思われるごく微量の C と熔融アルミとの反応が固液界面においておこり、結果として微細結晶粒が形成された可能性は否定できない。

・いずれにしても、問題となるような固液界面反応は認められず、静止状態の熔融アルミによる SiC の浸食や腐食などは問題とならないと結論付ける事が出来る。よってダイカスト用部材として、十分使用可能であるといえる。

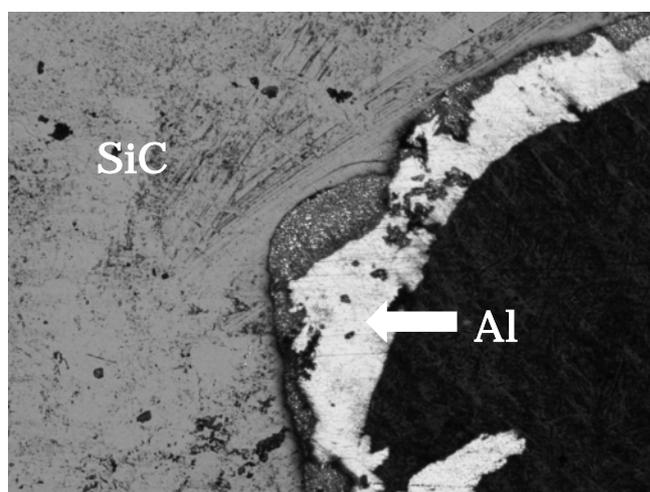


図 2-1-4 熔融アルミに浸漬後の SiC 試料表面 SEM 像

## 2-1-5. 先進 SiC/SiC 複合材料とアルカリ溶剤との反応性の評価と設計への反映

### ①. SiC と NaOH 溶液との反応性の評価を行う。

・SiC/SiC 複合材料部品のメンテナンスの際には付着したアルミニウムを除去するために NaOH 溶液でアルミニウムを溶解し清浄にする工程が想定される。そのため SiC と NaOH 溶液に対する耐食性の定量的な評価は最低限必要であり、部品設計の根幹をなすものとなる。

・実験方法としては NaOH 溶液の入ったビーカーに残留 Si 有無の 2 種類の SiC 試験片(前節で示した反応焼結法による試料)を用い、NaOH 濃度、浸漬温度、浸漬時間を変化させ耐食性を検討した。耐食性の評価方法としては試験前後における重量変化量の測定を採用した。

・浸漬条件は NaOH50g/100cc 水溶液、液温 50℃のものである。Si 相が残留した SiC 試料では、浸漬時間の経過とともに重量減が顕著となる。一方、残留 Si が無い SiC 試料の場合は、NaOH による溶出はほとんど認められず、時間の経過にともなう減量増加も観察されなかった。

・この結果は NaOH 溶液による SiC 試料の減量は残留 Si の溶出によるものであり、健全な SiC 部

分での化学反応は認められない事、また、Si の溶出は表面に露出している Si のみであり、内部の Si や C は質量減少の原因とならない事を示している。

・本実験では特に確認は行わなかったが、以前、京都大学で行った強アルカリ溶液 (NaOH 試薬原液) での反応性評価では室温の試験において 1 時間の浸漬では質量減少は認められていない。

## 2-1-6. プランジヤに採用する接合金属のアルミ溶湯への析出の評価と設計への反映

①. プランジヤにおける SiC と鉄鋼材料との接合法としてろう接法の検討を行う。

・プランジヤには鋳鉄と SiC/SiC 複合材料のハイブリッド構造を採用しており、設計上は熔融アルミと鋳鉄との接触は無いようになっている。また、SiC と熔融アルミとの反応性は 2-1-4 節で行ったが、SiC の熔融アルミによる損傷(損耗)は全くないと評価されている。しかし、本部品で採用したハイブリッド構造においては熱衝撃や熱疲労、又は想定外の外力や衝撃力による SiC/SiC 複合材料部分での亀裂の発生による SiC と鋳鉄の接合部における熔融アルミとの接触が起こる事は可能性として否定できない。

・従って、SiC と鋳鉄の接合法の検討と、それらの接合部における熔融アルミとの反応性の検討を行うこととした。まず、プランジヤにおける SiC と鉄鋼材料との接合法としてろう接法の検討を行った。

・ろう材には鉄とセラミックの接合に比較的使われている、Ag 箔純度 99.98% と Ag-Cu ろう材を用いる方法と、ろう材を使用しない方法で SiC と炭素鋼 S45C の接合を行った。接合には、加圧圧力: 1~5MPa、接合温度: 800~1000℃、Ar 雰囲気で行った。接合部の評価法としては、JIS R 1601 に準拠して 4 点曲げ試験を行った。

・ろう材を使用しない場合は、いずれの条件においても接合されなかった。この事は SiC の組織安定性を反映したものであり、条件の最適化によってはそれなりの接合強度を得られる可能性を否定するものではないが、本部品の接合法として単純な SiC と炭素鋼の反応による使用可能な強度を有する接合部は得られない事が示された。

・Ag 箔を使用した場合においては、接合プロセス後において接合は確認できたが、接合強度が弱く SiC と S45C との反応層の FeSi 部分で割れが進展した。SiC と Ag の反応が十分に期待できる接合条件でない事を考えると、この組合せでの接合の可否を論ずるには不十分であるが、プロセス的には採用対象となりえない事は明確と判断される。

・Ag-Cu ろう材を用いた場合、Ag 箔での接合と比較すると優れた接合強度が示された。4 点曲げ試験結果と破面観察結果については、SiC 部位で割れが発生進展している状態も観察されている。SiC へのろう材の浸透は SEM 像の解像度範囲では認められず、炭素鋼組織へのろう材の拡散も組織上は判定できない。認められる接合層の厚さ(約 20 μm)は挿入したろう材の初期厚さ(100 μm)の高温変形とも解釈できるものであり、本実験で得られた接合強度は化学的な接合というよりは微細な表面の凹凸部へのろう材の圧入によるロッキング効果による接合強度の発現とも理解できる。いずれにしても、本接合法による部品の作成も実用の可能性は低いと現時点では判断せざるを得ない。本検討と別途行った SiC/SiC と炭素鋼との熱膨張係数の差を利用するいわゆるやきばめ法 (Thermo-fitting Method) では、プランジヤに求められる高いせん断強度の発現が定性的に確認されている。

## 2-1-7 射出機構の基礎実験による特性評価

① シリンダ摺動面とのシール性を確保するため、適切な隙間を実験確認する。

- ・実験効率を考え、シリンダとプランジャ用にモノ SiC 部品を先行製作し予備実験を行い、その結果を SiC/SiC 複合材料部品 A/B/C の設計に反映させた。

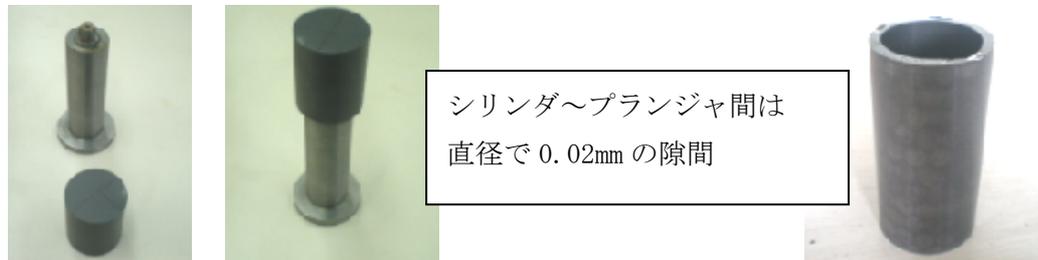


図 2-1-7.1 モノ SiC 部品と実験用に製作した鉄製部品（右側はシリンダ）

- ・実験はサーボ式加圧ジグを用い、記載したグリセリン溶液内で行った。

摺動抵抗、加圧力を測定するため、上述した射出シリンダでの実験と同様の装置と溶液を用い実験を行った。

- ・実験は連続摺動実験と加圧実験の 2 種類を行った。

連続摺動実験はプランジャの上下動に伴い、シリンダ内に溶液を浸入させながら行い、加圧実験はシリンダ下部にカバーを設置し、プランジャを下方に加圧する方法を採用した。

・上記条件下においては摺動抵抗もなく作動した。加圧実験において、加圧実験での耐圧性能の設定でモノ SiC 製プランジャ・シリンダにおいては最終目標が約 10MPa であることからその 10 分の 1 の値である 1MPa を今回の目標として、それに対し約 1.6MPa という想定値以上の特性の確認が行えた。

- ・次ページ以降に実験結果を 2-3-3 節で詳しく記述してある SiC/SiC 複合材料部品 A/B/C タイプの結果も合わせて報告する。

②. 確認結果を最適設計に反映させる。

- ・モノ SiC 材料と SiC/SiC 複合材料の特性を生かした構造設計を採用する。

シール性を必要とするリング並びにアッパーリング部品にはモノ SiC 材料が適しており、前年度までの実績のある SiN 材料との併用が適している。プランジャ本体には折損等の心配がない SiC/SiC 複合材料と金属基複合材料が適している。

## 2-2 溶解保持炉の開発

### 2-2-1. 溶解保持炉の設計・製作

①. 新加熱方式を採用する。

- ・群馬大学稲田名誉教授の指導を頂き、新加熱方式を採用した。

弊社は過去にビューラー社（スイス）の半凝固鑄造法による開発を進めたことがある。その際、ビレットと呼ばれるアルミ円柱棒を新加熱方法により、数ステージに分けて逐次、530℃まで半溶解させる方法を検討した事があった。当該開発では約 100Kg のアルミ溶解と 670℃での保持を開発

目的とするため、稲田先生の知見を活用した新加熱方式を採用した。

・ 炉材は SiC 系材料を採用した。

アルミ溶解保持用の炉材には SiC 系材料、ステンレス、黒鉛等を検討していたが、アルミ溶湯内に析出せず、一定の強度がある SiC 系材料を炉材に採用した。

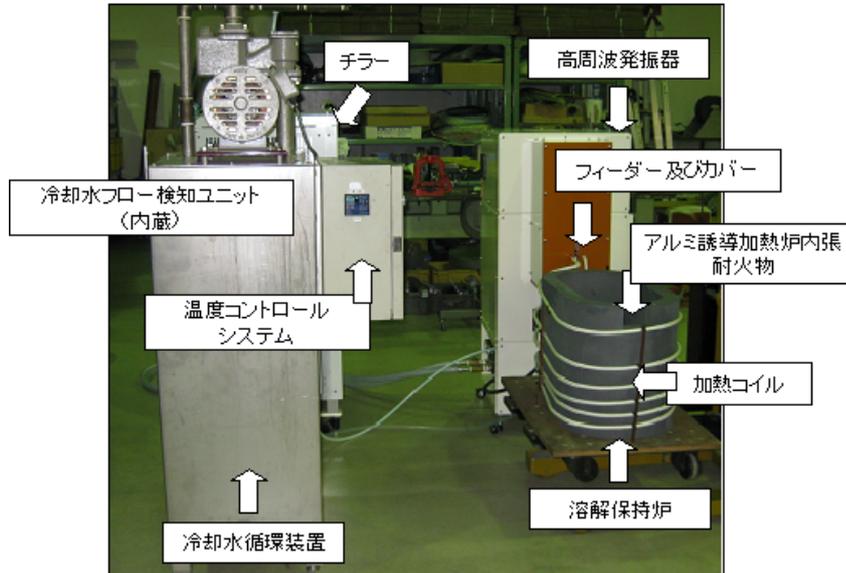


図 2-2.1 高周波誘導加熱炉の構成

②. 既存ホットチャンバマシンとの互換性を図る。

・ 互換性を考慮した炉を採用した。

既存ホットチャンバマシンを用い、平成 18, 19 年度の助成金事業で実施した製品開発に再度挑戦するため互換性を必要とする。互換性に必要な設計要件は、アルミ保持量、アルミ溶解の補給スペース、金型へのアルミ供給用ノズル部品の切欠きと押さえ板の取付け、そして、マシン側の昇降盤と支柱との関係を考慮する事である。アルミ溶解量に関しては必要最小限として、実用化に向けた高周波誘導加熱のスペックを確立する必要がある。

【主要スペック】

アルミ保持量：100Kg

出力：20KW

発振周波数：20-40KHz

2-2-2. 溶解保持炉の特性評価

①. 溶解性能・保温性能の実用性を評価する。

・ 溶解保持炉内に黒鉛シートを設置し溶解性能及び保持性能の確認を行った。

また、既存ホットチャンバマシンとの互換性の確認も行った。

結果として溶解性能の実験を繰返し、主要スペックに十分であることが確認できた。

## 2-3 機構部品の開発

### 2-3-1 SiC/SiC 複合材料実機モデル部品の設計

- ①. SiC/SiC 複合材料を設計仕様に対応した要素部材に構成し開発製造する。
  - ・プランジャ・シリンダの設計要件として、部品の強度特性に加えて環境との共存性があり、最も重要なものとして熔融アルミとモデル部品との反応の評価に基づく寿命予測がある。SiC/SiC 複合材料を設計仕様に対応した要素部材に構成し開発製造した。

### 2-3-2 SiC/SiC 複合材料実機モデル部品の製造プロセス検討と製造

- ①. 2種類のプリプレグシートの作製を行う。
  - ・プリプレグシートは SiC/SiC 複合材料を製造するための中間素材として現在開発中のものであり、2種類のプリプレグシートを作製した。
- ②. プリフォーム製造プロセスの検討を行う。
  - ・プリフォーム製造プロセスの検討を行った。
- ③. 加圧焼結プロセスの検討を行う。
  - ・NITE-SiC/SiC 材料の作製において加圧焼結を行う。板状の場合はホットプレス (HP) を用い、加圧と加熱を行い焼結させるが、今回の様なパイプ状の場合、HP より熱間等方加圧 (HIP) や擬似 HIP が加圧を行う上で適しているため A タイプでは HIP を用い、A タイプの一部と B、C タイプでは量産性を考慮し擬似 HIP を用い加圧焼結を行った。
- ④. 機械加工後の寸法確認を行う。
  - ・擬似 HIP 後の焼結体を設計した寸法 (クリアランス) に合わせる為、機械加工及び鏡面研磨仕上げを行ったものを図 2-3. 11 に示す。全ての部材において、当初設計した寸法 (クリアランス) を達成していることを確認した。組立てたプランジャ・シリンダの外観写真を示す。本研究を通して、SiC/SiC 複合材料を用いて、十分なクリアランスを維持しプランジャ・シリンダの構造が確立出来ることを実証した。



図 2-3-1 NITE-SiC/SiC 複合材料の外観写真

### 2-3-3 SiC/SiC 複合材料実機モデルへの評価結果の反映

①. SiC/SiC 複合材料実機モデルでの加圧性及び磨耗性の評価を行う。

・当初射出機能評価として加圧性だけを考慮し目標値を 10MPa と設定したが、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 製プランジャ・シリンダでは 3 回程度の射出で摩耗した為、本研究では摺動性も射出機能評価方法として新たに考案し、予備実験としてまずモノ SiC 製プランジャ・シリンダで検証した。その場合、加圧目標値をモノ SiC 製では約 1MPa、NITE-SiC/SiC 製では約 0.5MPa とし、数回の実験を通すことで摺動性を評価した。まず、モノ SiC 部品の加圧実測値は約 1.6MPa であり十分な加圧性ととも数回の実験でも摩耗は確認されなかった。繊維・界面を施した SiC/SiC 複合材料では、モノ SiC 部品と比較し表面粗さが劣る為、約 0.5MPa を加圧目標値と設定したが、加圧実測値は約 0.6MPa であり目標値を達成する加圧性ととも数回の実験でも摩耗は確認されなかった。モノ SiC 部品と SiC/SiC 複合材料部品 A/B/C の相違は表面粗さによることが判明した。

## 2-4 射出システムの最適化

### 2-4-1 作動確認・強度検証

①. 上述した、機構部品において実铸造用の機構部品の製造を行った。作成した機構部品を図 2-4.1 に示す。



図 2-4.1 製造した機構部品

②. 既存ホットチャンバマシンに設置し動作確認を行った。

試作開発した溶解炉及び射出シリンダ・射出プランジャを既存ホットチャンバマシンに取付動作確認を行った。取り付けの状態を図 2-4.2 に示す。取り付けを行い互換性の確認を行った。



図 2-4.2 試作開発に使用した既存ホットチャンバマシン

## 2-5 生産技術の確立

### 2-5-1 鋳造開発

既存ホットチャンバマシンとの互換性の確認は出来たが、既存ホットチャンバマシンが震災の影響から動作不良が確認されたため、安全性の確認及びメンテナンスの必要が生じ開発を中止せざるを得なかった。

### 第3章 まとめ

取引先、川下企業のUDトラックス㈱のアドバイザー(志村開発主管)によると、電気自動車の市場投入に伴い軽量化への市場ニーズは世界的に高く、アルミダイカスト製品の高品質化(高強度、高耐圧)ニーズも増加傾向にある。

競合技術としては「高真空法」「半凝固法」があるが、前者は1000トン以上の大型鑄造機用であり対象製品では競合しない。後者は対象製品では競合するが、半凝固のため流動性に欠け複雑形状への対応力が低く用途が限定され、中小製品の品質化が可能となる当該技術開発の事業化が急務となっている。

このような環境下において弊社と室蘭工業大学は、随時、研究開発推進委員会を開催し、情報の共有化と開発進捗確認を行い計画の遂行を図ってきた。この結果、今試作開発の課題に関してはほぼ計画通りに実行し所定の成果を上げた。

既存ホットチャンバマシンの確認を行い、アルミニウム合金溶湯内での検証を行い、アルミニウム用ホットチャンバ鑄造技術の確立を目指す。

#### 参考資料：

##### 1) 研究開発推進委員会活動

グンダイ㈱と室蘭工業大学との距離的ハンディを克服し、開発を円滑に進めるため、次の日程で研究開発推進委員会を開催した。

|     |                 |        |           |
|-----|-----------------|--------|-----------|
| 第1回 | 平成22年 7月30日     | 室蘭工業大学 | OASIS 会議室 |
| 第2回 | 平成22年 8月18日～19日 | 室蘭工業大学 | OASIS 会議室 |
| 第3回 | 平成22年10月 8日     | 室蘭工業大学 | OASIS 会議室 |
| 第4回 | 平成22年11月 2日     | 室蘭工業大学 | OASIS 会議室 |
| 第5回 | 平成22年11月24日     | グンダイ㈱  |           |
| 第6回 | 平成22年12月 8日     | 室蘭工業大学 | OASIS 会議室 |
| 第7回 | 平成23年 3月 3日     | グンダイ㈱  |           |
| 第8回 | 平成23年 7月26日     | 室蘭工業大学 | OASIS 会議室 |
| 第9回 | 平成23年11月 9日     | グンダイ㈱  |           |

##### 2) 特許等の準備状況

射出機構のハイブリット構造：SiC/SiC 複合材料、モノ SiC 材料及び鑄鉄の各々の特徴を活かしたハイブリット構造のプランジャを出願準備中

SiC/SiC の製造プロセス：プロセスの核となるプリプレグシートの作成や擬似 HIP 法は何れも特許の対象となるものであり、特許申請作業を行う予定である

高周波誘導溶解保持炉：量産性を考慮した必要最小限の出力制御で、放熱を抑えた断熱構造を有する溶解保持炉を出願準備中

### 3) 用語集

**SiC/SiC 複合材料 (SiC/SiC 複合材、SiC/SiC) :** 炭化ケイ素系繊維を強化材とし、炭化ケイ素系セラミックスを母相とした、セラミックス複合材料。

**SiC 繊維 :** 炭化ケイ素系繊維。炭化ケイ素を主成分とした直径 10 $\mu$ m オーダーで長さが 1000m オーダーの繊維。

**スラリー :** 炭化ケイ素粉末と助剤を有機溶媒中に分散させ泥状の流動体のこと。

**グリーンシート :** スラリーを薄く延ばしフィルム状にしたもの。

**プリプレグシート :** 複合材料の原料で、繊維を一方方向に引き揃え、その繊維の周りに母相原料を付着させた薄いシート状の物。

**被覆技術 :** 材料の表面に異なった物質や異なった構造を形成させ、表面特性から来る利用上の制約を軽減させる技術。高温での表面酸化を軽減させるための酸化防止被覆や高い熱負荷に耐えるようにする耐熱被覆等が知られる。

**HP :** ホットプレス (Hot Press) の略称。上下一方向から加圧と加熱を行い、材料を押し固めること。

**ホットプレス装置 :** 高温で加圧できる設備

**HIP :** 高温等方圧加工 (Hot Isostatic Pressing) の略称。高温で高圧ガスを用い、あらゆる方向から同じ圧力で加圧して材料を押し固めること。

**擬似 HIP :** HIP と異なり圧力媒体に高圧ガスではなくカーボンビーズなどの紛体を用い、ホットプレス装置と擬似 HIP 専用のモールドを用い、あらゆる方向から同じ圧力で加圧して材料を押し固めること。

**オートクレイブ :** HIP 同様に高温で高圧ガスにより、あらゆる方向から同じ圧力で加圧して材料を押し固めること。HIP との違いは目的物を耐熱バックに封入しバックを真空引きしながら加熱・加圧することができる。

**ニアネット成型 :** 目的とする部材の形状、大きさに極めて近い形状に成型すること。

**フェノール樹脂 :** 熱硬化樹脂の 1 種。機械的特性、耐熱性、耐燃性に優れ、安価な樹脂。

**アルミダイカスト :** 溶融した高温のアルミニウム合金を、大気圧より大きな力で精密な金属内部に高速で短時間に圧入し、同一形状の製品を大量生産する製造方法である。軽量化・環境対応により、使用用途は自動車部品をはじめ多くの製品に採用されている。アルミダイカスト製品の高品質化を阻む最大の要因は鑄造欠陥である。鑄造欠陥は鑄造プロセス自体の問題と使用する溶融アルミニウム合金の品質との組合せに支配される。

**ホットチャンバ法 :** ダイカスト法はコールドチャンバ法とホットチャンバ法に大別される。アルミ材料は溶湯保持温度が約 680 $^{\circ}$ C と高温で射出部材との反応性が高いため、射出機構が外部にあるコールドチャンバしかなかった。セラミック材料の進歩により、アルミニウム溶湯内でも機能するセラミック製の小型射出機構を持つホットチャンバマシンが開発され、小物薄物部品の生産が開始された。ホットチャンバ法はアルミニウム合金溶湯が空気に接触する部分が少なく、また溶湯温度の低下が少ないため、介在物並びに凝固層の発生が抑えられる。