

# 炭化ケイ素製蓄熱体の開発と加熱炉燃焼効率の改善

## Development of SiC heat storage media and improvement of the combustion efficiency for heating furnaces



青山 明祐\*  
Akihiro Aoyama



蓬田 照久\*  
Teruhisa Yomogida



田中 慎二\*  
Shinji Tanaka



落合 朋之\*\*  
Tomoyuki Ochiai



熊谷 保之\*  
Yasuyuki Kumagai



足立 修一\*\*\*  
Shuichi Adachi



小池 康太\*\*\*  
Yasuta Koike

### 要 旨

近年加熱炉の熱効率向上のためリジェネレーティブバーナが多用されている。本バーナの蓄熱体の形状としてはボールやハニカム、材料としてはアルミナやコージェライトが一般的に使用されている。著者はアルミナに代わる材質として低熱膨張、高強度、熱伝導性、耐薬品性に優れている炭化ケイ素に着目し、表面積、熱容量、充填性の観点から形状の最適化を進めた。その結果、炭化ケイ素製蓄熱体はアルミナ製蓄熱体より優れた特性が得られることがわかった。新開発した炭化ケイ素蓄熱体をリジェネ炉に適用した結果、アルミナ製蓄熱体と比べて燃料原単位を大きく改善することができた。これらの取組み並びに実機テストにより蓄熱体の寿命評価を行った結果について報告する。

### — Synopsis —

In recent years, regenerative burner is adopted to improve the combustion efficiency for heating furnaces. Typically, the heat storage media for this burner have a shape of a ball or a honeycomb, and are made of alumina or cordierite. We focus on Silicon Carbide (SiC) for the heat storage media. It is because SiC has lower thermal expansion, higher strength, higher thermal conductivity, and higher chemical resistance as heat storage media than alumina. We optimized the shape in the media in terms of thermal conductivity and heat capacity and filling rate. As a result, the SiC performance was better than the alumina one. We applied the new developed SiC heat storage media to heating furnace with a regenerative burner. Consequently, the fuel consumption ratio has been much reduced. In this paper, we report for the result by this development and the evaluation of the life time of SiC media in actual operation.

\*: 室蘭製作所  
Muroran Plant

\*\* : 室蘭研究所  
Muroran Research Laboratory

\*\*\*: 株式会社 TYK  
TYK Corporation

## 1. 緒 言

熱間自由鍛造プレスにおいて素材を鍛造する場合、予め素材を加熱炉にて所定の温度まで加熱を行う。この加熱炉の燃料使用量を低減するためには燃焼空気温度を高めることが有効である。近年ではバーナユニットに蓄熱体を有するリジェネレーティブバーナ炉（以下、リジェネ炉）が高効率加熱炉として多用されている。本バーナ（以下、リジェネバーナ）の蓄熱体の形状としてはボールやハニカム、材料としては比熱及び密度が大きいことにより蓄熱量に優れるアルミナやコージェライトが一般的に使用されている。

本報では、蓄熱体の材質として低熱膨張、高強度、熱伝導性、耐薬品性に優れている炭化ケイ素に着目し、これを最適化することで加熱炉の燃料使用量を改善した事例について報告する。

## 2. 炭化ケイ素製蓄熱体の開発

### 2-1 蓄熱体材質の検討

リジェネバーナに組み込まれている蓄熱体に求められる特性は以下の通りである。

#### (1) 耐熱性

鉄鋼用の加熱炉において、リジェネ炉の排ガス温度は一般的に 1000℃ 以上であるため、この温度に耐える耐熱性が必要である。

#### (2) 高温耐食性

直火型の場合、加熱対象物によって炉内にアルカリ性の蒸気が存在する。そのアルカリ蒸気が排ガス内に混入し蓄熱体を通過する為、高温における耐食性が必要である。

#### (3) 耐熱衝撃性

蓄熱体は 15 ～ 60 秒の間隔で交互に高温の排ガスと室温の燃焼用空気とを熱交換するため、急峻な温度変化を繰り返す。年間に数 10 ～ 数 100 万回程度のヒートサイクルが繰り返される為、高い耐熱衝撃性が必要である。耐熱衝撃性は簡易的に式 (1) で表される。

$$R'' = \frac{\delta(1-\nu)K}{\alpha E} \quad (1)$$

$\delta$  : 破壊強度 [Pa]

$\nu$  : ポアソン比

$K$  : 熱伝導率 [ $\frac{W}{mK}$ ]

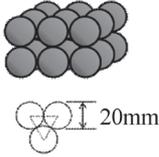
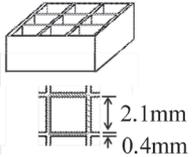
$\alpha$  : 熱膨張係数 [ $\frac{1}{^\circ C}$ ]

$E$  : 弾性率 [Pa]

#### (4) 熱伝導率と形状

ガスと蓄熱体の熱交換は熱伝達が主であり、熱伝導率が悪い材質を用いた場合、ガスとの接触面近傍は加熱されるが、ガスと接触しない材料の深部に熱が十分に伝わらない。結果的に熱伝導率の悪い蓄熱体を用いると、熱交換に寄与していないデッドボリュームが大きくなる。また、蓄熱体に熱衝撃が付与された時、外部と内部で温度差が大きくなり、蓄熱体に高い熱応力が発生する。そのため材質の熱伝導率は高い方が良い。現状、市販されているリジェネ炉には主にハニカム蓄熱体とボール蓄熱体が組み込まれている。表 1 では、市販されており容易に入手可能なボール蓄熱体とハニカム蓄熱体の特性を比較した<sup>(1)</sup>。ハニカム形状は単位容積あたりの比表面積が大きい為、熱応答性が高い。また、開口比が高く、単一方向に流体が流れるため、圧力損失が低い。一方、ボール形状は比表面積や圧力損失の特性はハニカムに劣るものの、保守性が高く、構造的に耐久性が高い。両者一長一短があるが、保守面で優れるボール形状の方が広く使用されている。蓄熱体の材質は、ハニカム形状ではアルミナ、コージェライト、ボール形状ではアルミナが主に用いられている。

表 1 蓄熱体 ボール形状とハニカム形状の比較

	ボール	ハニカム
形状		
比表面積	240 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>	1340 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup>
開口比	9%	71%
設置性	投げ入れられる	積み上げる必要がある
メンテナンス性	ボールを攪拌し汚れを研磨できる	エアード目詰まり除去 (完全ではない)
耐久性	壊れにくい	壊れやすい

過去に著者らはハニカム蓄熱体を炭化ケイ素で製作した。表 2 にハニカム形状の蓄熱体について材質毎の特性を比較した。アルミナやコージェライトと比較した時、炭化ケイ素は例えば熱伝導率や耐熱衝撃性など多くの特性において優れていることがわかる。著者らの実績では、ハニカムの場合、アルミナから炭化ケイ素の蓄熱体に切り替えることにより、3 倍以上の寿命を達成している。一方、ボール形状の場合、アルミナボールは流体と接触しないボールの深部が効率的に熱交換に寄与していない。そこで今回著者らは、熱伝導率の高い炭化ケイ素をボール形状の蓄熱体に適用することで耐久性だけでなく、熱効率においても高い効果が得られると考え、炭化ケイ素製ボール蓄熱体の製作を行うことにした。

表2 ハニカム形状としての蓄熱体材質特性

名称		アルミナ	コージェライト	炭化ケイ素
化学式		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2MgO・2Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ・5SiO <sub>2</sub>	SiC
熱膨張率(a)	×10 <sup>-6</sup> /°C	7.8	0.7	4.5
比熱	J/gK	0.8	0.8	0.7
熱伝導率(b)	W/mK	2.5	0.5	70
圧縮強度(c)	MPa	40	10	50
ヤング率(d)	GPa	300	140	400
融点	°C	1,800	1,430	2,400
熱衝撃破壊抵抗係数 (=b・c/(a・d))	×10 <sup>-2</sup>	4	5	194

### 2-2 炭化ケイ素蓄熱体の製法

図1に炭化ケイ素蓄熱体の製造プロセスの概略を示す。炭化ケイ素粉末、成形助剤、バインダー等を混合し、成形した後、脱脂工程により成形時に用いたバインダーを分解除去する。その混合物を非酸化雰囲気にて2000°C以上の高温まで加熱し焼結させる。焼結した蓄熱体をコーティングし、酸化雰囲気で焼き付ける。

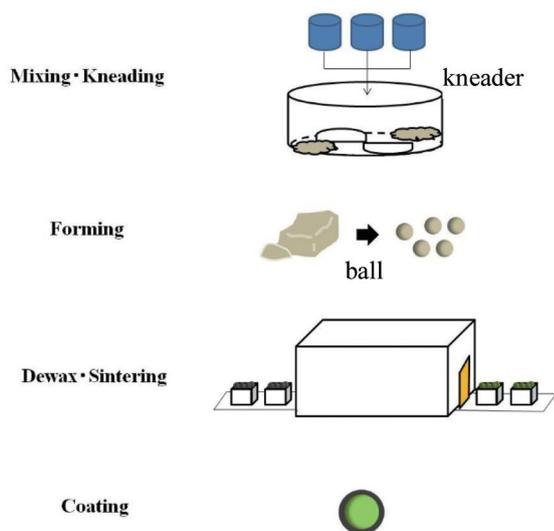
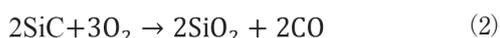


図1 炭化ケイ素ボールの製造工程概要

## 3. 開発した炭化ケイ素製蓄熱体の性質

### 3-1 炭化ケイ素蓄熱体の構成と耐酸化性

炭化ケイ素蓄熱体は純度97%以上の炭化ケイ素母材と酸化防止などの役割をするコーティング層からなる。一般に炭化ケイ素は800°C以上で酸化することが知られている。酸素濃度が高い場合、炭化ケイ素の酸化は化学反応式(2)で表すことができる。



(78)

炭化ケイ素(SiC)とシリカ(SiO<sub>2</sub>)の材料特性を表3に示す。1molの炭化ケイ素がシリカに変化した時、重量は1.5倍、体積は2.2倍となる。蓄熱体の酸化が進行するに従い、重くなり、膨張する。特に多孔体の場合、一定以上酸化が進行すると材料の脆化が始まることが分かっている。炭化ケイ素が酸化すると熱伝導率の低下や強度の低下を招くため、炭化ケイ素の多孔体を蓄熱体として使用する場合、酸化劣化を抑制することが不可欠である。それゆえ蓄熱体にはコーティングを施した。コーティングは酸素が炭化ケイ素と直接接触するのを防ぎ、結果的に酸化を抑制する役割を持っている。コーティングの概念図を表4に示す。

表3 炭化ケイ素とシリカの材料特性

	g/mol	g/cm <sup>3</sup>	cm <sup>3</sup> /mol
炭化ケイ素(SiC)	40.1	3.2	12.5
シリカ(SiO <sub>2</sub> )	60.1	2.2	27.3

表4 コーティング概念図

	加熱前	加熱後(>1000°C)
コーティングなし	SiC	SiC SiO <sub>2</sub> 多
コーティングあり	SiC コーティング	SiC SiO <sub>2</sub> 少 コーティング

また、コーティングした炭化ケイ素ボールの成分比率を表5に示す。

表5 炭化ケイ素ボール成分

化学式	SiC	その他
成分比 [wt%]	93	7%

炭化ケイ素は母材成分、その他はコーティング成分、及びコーティング材の調整成分等である。ボール1個当たりの重量特性を表6に示す。製造工程上、炭化ケイ素は多孔体となっている。

表6 蓄熱体の特性比較

	アルミナ ボール	炭化ケイ 素ボール	
ボール 直径	mm	19	19
重量	g	13.8	6.5
密度	g/cm <sup>3</sup>	3.85	1.75
気孔率	%	<2	55

コーティングした炭化ケイ素ボールとコーティングしていない炭化ケイ素ボールをそれぞれ電気炉にて1300℃で加熱し、酸化による重量の変化率を測定し、酸化速度定数を比較した。重量の増加率の算出式(3)に、酸化速度定数の算出式を式(4)に示す。

$$\Delta W = \frac{W_f - W_i}{W_i} \quad (3)$$

$\Delta W$  : 重量変化率 [%]

$W_i$  : 初期重量 [g]

$W_f$  : 加熱後重量 [g]

比較結果を図2に示す。コーティングすることで、重量の増加スピードを抑制できることを確認した。

$$\Delta W = K_p \times t \quad (4)$$

$\Delta W$  : 重量増加率 [%]

$K_p$  : 酸化速度定数 [1/h]

$t$  : 加熱時間 [hr]

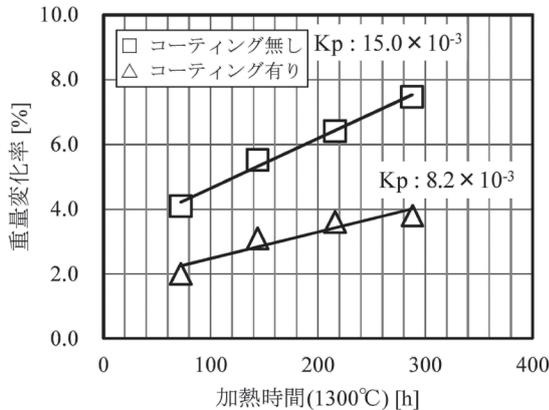


図2 コーティング実施による酸化速度の抑制効果

### 3-2 炭化ケイ素蓄熱体の耐熱衝撃性

耐熱衝撃性について市販のアルミナボールφ19mmと製作した炭化ケイ素ボールφ19mmとを比較評価した。1000℃に加熱保持したサンプルを水中に入れ急冷するサイクルを繰り返し、サイクルごとに割れの状態を比較確認した。評価は各5ヶずつのボールで行い、割れた場合×、目視によりヒビがあった場合を△、変化のない場合を○とした。評価結果を表7、図3に示す。炭化ケイ素ボールはアルミナボールに比べヒートショックによるヒビも入りやすく、ヒビが入った後も剥離しにくい。これは表2の熱衝撃破壊抵抗係数の値から説明できると考える。

表7 ヒートショック評価結果

サイクル	アルミナボール	炭化ケイ素ボール
	φ19	φ19
0	○○○○○	○○○○○
1回	○○○○○	○○○○○
2回	○○△△○	○○○○○
3回	○△△△×	○○○○○
4回	-	○○○○○
5回	-	○○○○△
6回	-	○○△△△

○ : 変化なし、△ : ヒビ有り、× : 割れ



外観



クラック強調

図3 ヒートショックテスト後品外観  
左:アルミナ 右:炭化ケイ素

### 3-3 炭化ケイ素蓄熱体の耐薬品試験

蓄熱体の材質毎に高温での耐薬品性を比較した。各材質の板上に各種腐食成分を載せ1250℃で12時間加熱した後のサンプルの溶損状態を観察した。評価結果を表8に示す。コーゼライトは高温で加熱後、激しく溶損した。一方、炭化ケイ素やアルミナはほとんど溶損しなかった。炭化ケイ素の高温でのアルカリに対する耐食性はコーゼライトより優れており、アルミナと同等レベルである。

表8 高温耐食性評価結果

		材質		
		アルミナ Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	コーンセライト 2MgO・ 2Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ・ 5SiO <sub>2</sub>	炭化ケイ素 SiC
腐食成分	水酸化カルシウム (Ca(OH) <sub>2</sub> )			
	フッ化カルシウム (CaF <sub>2</sub> )			
	アルカリ (Na,K)			

### 3-4 炭化ケイ素蓄熱体の三酸化モリブデン (Mo<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) の付着性

Mo を含有する合金の加熱炉にリジェネバーナを適用する場合、合金中の Mo が酸化して三酸化モリブデン (以下、Mo<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) となり、これが昇華して排ガス中に混入する。昇華した Mo<sub>2</sub>O<sub>3</sub> は蓄熱槽を通過する際に、昇華温度域 (795℃) で結晶化して蓄熱体に付着・堆積して蓄熱槽が閉塞するという問題がある。これまで、蓄熱槽で Mo<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が堆積した場合、アルミナボールを蓄熱槽から取出し乾式研磨をするか、意図的に蓄熱槽の温度を上げる特殊な炉の運転条件に設定し再昇華させ Mo<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を炉外に排出させる必要があった (以下、Mo 昇華と呼ぶ)。いずれの処置も手間や余分なコストがかかっていた。

そこでアルミナと炭化ケイ素の Mo<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の付着性を比較した。Mo をアルミナと炭化ケイ素の板の上ののせ 850℃ (48h 保持) で昇華させ、昇華した Mo<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が板材と反応するか否かを観測した。評価結果を表 9 に示す。アルミナには昇華した Mo<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が膜化し付着したことによる変色があった。一方、炭化ケイ素は粉末を載せた部分のみの反応であり、昇華した Mo<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の付着はアルミナに比べ少なかった。

表9 Mo<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 付着テスト結果

	材質	
	アルミナ	炭化ケイ素
加熱前		
加熱後		

### 3-5 炭化ケイ素製蓄熱体の熱伝導率

市販のアルミナボールと製作した炭化ケイ素の比熱と熱伝導率をレーザーフラッシュ法で測定した。測定結果を図 4、5 に示す。炭化ケイ素とアルミナの比熱は高温域でもほぼ同等であった。熱伝導率はアルミナに比べ高く、高温域でもアルミナの 2 倍程度を維持していた。

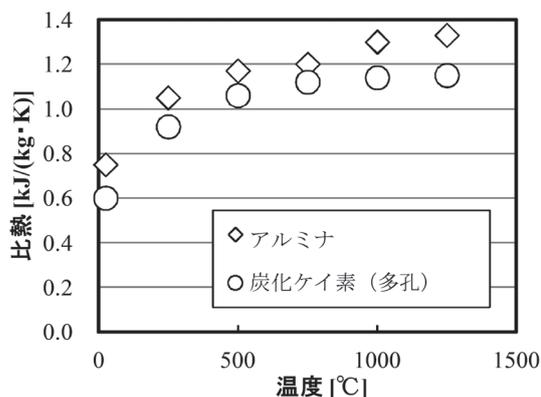


図4 アルミナと炭化ケイ素の比熱

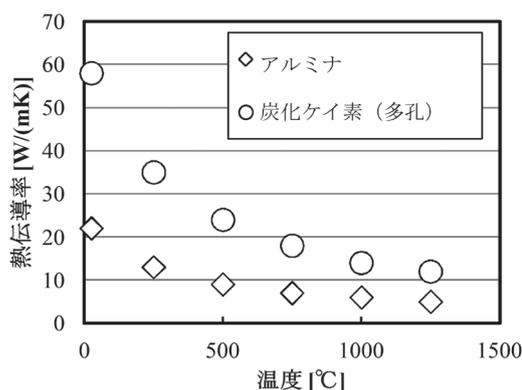


図5 アルミナと炭化ケイ素の熱伝導率

これらの値を元に、蓄熱体の内部の加熱、冷却挙動について熱伝導解析にて予測した。解析条件を以下に示す。

- ・熱伝達係数：1000 W/m<sup>2</sup>K (球曲面全域)
- ・ボールサイズ：φ 19mm
- ・非定常解析：～ 60 秒 (10 秒ステップ)

加熱時の計算結果を図6に、冷却時の計算結果を図7に示す。アルミナに比べ炭化ケイ素の方が外温に対する熱応答性が非常に高いことが分かる。これは内部まですばやく熱が伝わるため熱交換に寄与していないデッドボリュームが小さくなることを意味する。また短い時間で炉内付近の温度まで上昇するため、予熱された燃焼空気温度（以下、予熱空気温度）が上昇し、リジェネバーナの燃焼効率の向上が期待できる。熱容量が小さい問題については上記デッドボリュームの抑制により相殺できると予想した。

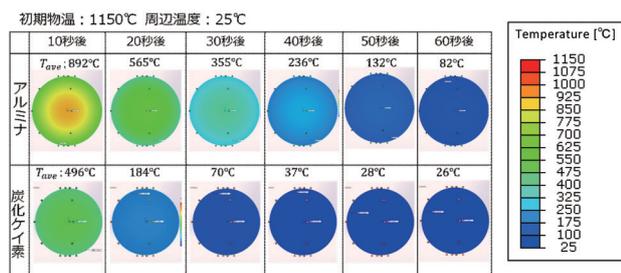


図6 熱伝導解析によるアルミナと炭化ケイ素の球内温度計算結果 (冷却)

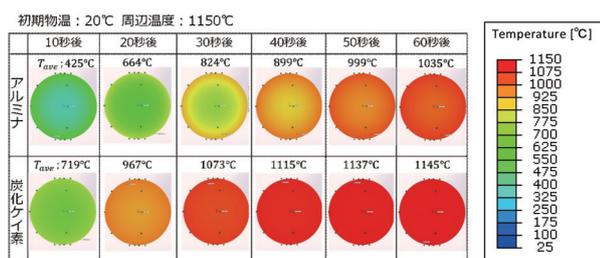


図7 熱伝導解析によるアルミナと炭化ケイ素の球内温度計算結果 (加熱)

#### 4. 炭化ケイ素蓄熱体使用による焼効率の改善

##### 4-1 リジェネ炉への適用

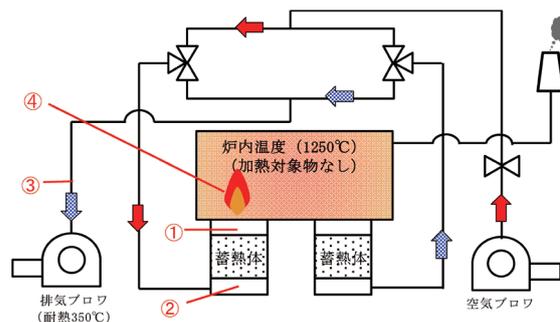
弊社ではリジェネ炉の導入に伴い、従来の金属レキュペレータ方式と比較して予熱空気温度が高温化し、最大30%もの燃料消費量の改善を果たしている。今回開発した蓄熱体により、予熱空気が更に高温化出来れば、更なる燃料消費量の改善が期待できる。一方、蓄熱体の熱伝導率が高いため、排ガス温度が酸露点以下に低温化することによる配管腐食リスクが高まる。したがって、実機加熱炉に炭化ケイ素蓄熱体を導入し、予熱空気、排ガス温度、燃料使用量について評価した。また、炭化ケイ素製蓄熱体の寿命についても実機操業にて評価した。

##### 4-2 炭化ケイ素蓄熱体の実機適用の効果

###### (1) 試験条件

新規開発した炭化ケイ素蓄熱体を実機の加熱炉に用いて、燃料使用量の改善効果を検証した。図8に実機試験

に用いた加熱炉の簡易流路図を示す。加熱炉の燃料は重油を用いている。燃料使用量はバーナに取り付けた流量計にて測定し、予熱空気温度と熱交換後の排ガス温度を各々蓄熱槽の前後に取り付けたサーモカップルにて測定した。また、蓄熱体の熱伝導率が高くなったことで排ガスの温度が酸露点以下まで下がり、配管を腐食するリスクを評価するため、排気ファン出口手前の温度（以下、排ガス温度と呼ぶ）を測定した。



場所	項目	目的
①	予熱空気温度	熱効率の確認
②	蓄熱器下部温度	熱効率確認
③	排気ファン出口温度	酸露点確認 (危険予知)
④	燃料使用量	熱効率確認

図8 試験加熱炉の簡易流路図

燃料使用量を評価するために、図9に示す加熱パターンにて加熱した。800℃の加熱は加熱炉の耐火物の保有熱のバラツキを低減するための予備処理であり、燃料使用量評価の対象からは除外した。また、加熱炉の中に素材は装入せず評価した。

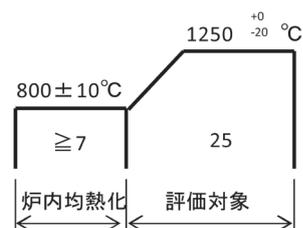


図9 試験条件

###### (2) 予熱空気温度

図10に試験中の予熱空気温度の推移を示す。炭化ケイ素製の予熱空気温度は1080℃であり、アルミナ製のそれと比較して70℃高い。また、炭化ケイ素製の昇温時間はアルミナ製よりも約2.3h短い。昇温期の重油の流量はいずれの条件でも同等であり、燃焼による発熱量は同じと考える。一方、炭化ケイ素製の方が高い予熱空気温度であるため、投入熱量が増加、すなわち気炎温度が上昇して昇温時間が短縮したと判断する。

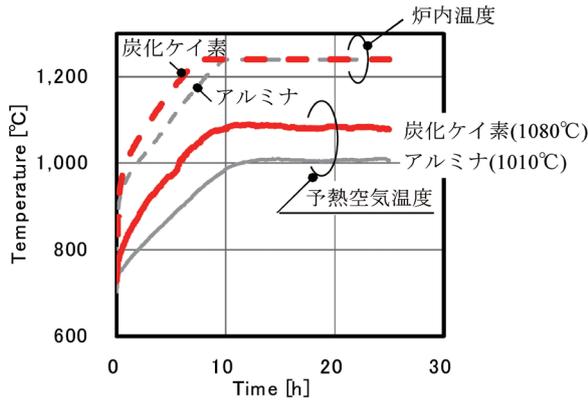


図10 予熱空気温度の推移

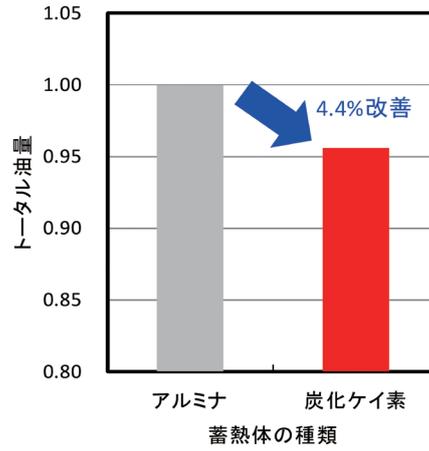


図12 トータル油量の比較

(3) 排ガス温度

図11に試験中の最低の排ガス温度の比較を示す。排ガス温度は炭化ケイ素製の方がアルミナ製よりも高い結果となった。試験炉の炉内酸素濃度と燃焼ガスに含まれる二酸化硫黄の含有量から酸露点を計算すると約150°Cとなる。したがい、いずれの蓄熱体を使用した場合でも排ガス温度は酸露点以下とならないため、配管腐食の懸念は小さいと判断出来た。

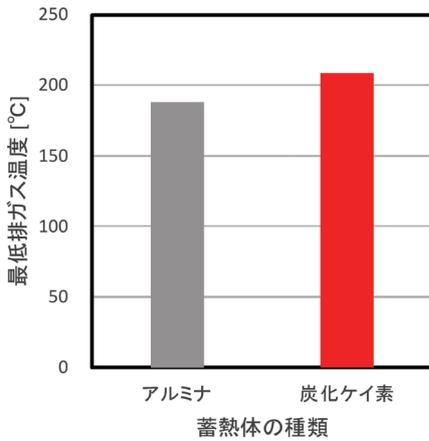


図11 最低排ガス温度の比較

(4) 燃料使用量の比較

図12にアルミナ蓄熱体の場合の燃料使用量と炭化ケイ素蓄熱体の場合の燃料使用量を比較した結果を示す。燃料使用量はアルミナを1.0とした時の割合で表した。

炭化ケイ素製の燃料使用量はアルミナ製のそれと比較して4.4%改善されていた。試験炉のO<sub>2</sub>濃度、各試験における予熱空気温度、炉内温度が公差範囲内となっている時の累積使用油量から炭化ケイ素の場合とアルミナの場合の燃焼ガス損失熱量を計算すると、炭化ケイ素の方が4.8%小さいことから、炭化ケイ素製蓄熱体を使用した方が高い予熱空気温度となることで燃料使用量が少なくなったと推察する。

(5) 炉内温度のばらつき

炉内の温度を6点測定し、最高温度から最小温度を引いた値を比較した結果、炭化ケイ素製のバラツキはアルミナ製のそれよりも約1°C大きいものの、有意な差では無いと考える。

4-3 蓄熱体の実機操業による寿命評価

(1) 寿命予測

炭化ケイ素ボールの想定される破壊モードとしては、熱衝撃による割れ・腐食による割れ・メンテナンス時の物理衝撃による割れ・酸化による脆化に起因する割れなどがある。炭化ケイ素はアルミナボールに比べ、熱衝撃や腐食や物理衝撃に優れている為、炭ケイ素製蓄熱体の主な破壊モードは酸化による脆化と考えられる。そこで実機に導入したときの炭化ケイ素の酸化状況を評価した。実機に蓄熱体を導入し、一定期間ごとに最も条件が過酷な蓄熱体最上部からサンプルを採取し、酸化の進行度を測定し寿命を予測した。過去の炭化ケイ素ハニカム蓄熱体の知見から、炭化ケイ素の含有量が50%以上減少すると膨張が始まり脆化することが分かっている。炉内から飛来した付着物の影響を無視するため、重量変化量ではなく素材に含まれる炭化ケイ素の減少量を指標とした。炭化ケイ素の減少量の計算方法を式(5)に示す。

$$\Delta C_{sic} = \frac{C_i - C_f}{C_f} \times 100 \quad (5)$$

$\Delta C_{sic}$ : SiC含有量減少率[wt%]

$C_i$ : 初期 SiC 含有量[wt%]

$C_f$ : 使用後 SiC 含有量[wt%]

評価結果を図13に示す。炭化ケイ素の減少量が30%を超えたあたりから炭化ケイ素の減少速度が鈍化した。鈍化後の炭化ケイ素の減少量の傾きから、炭化ケイ素

ボールは少なくとも 10,000h 以上使用できると予想できる。  
また、酸化の進行による蓄熱体の性能の変化はなかった。

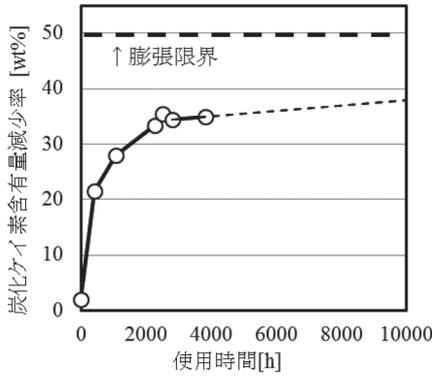


図 13 実炉使用時間と炭化ケイ素の減少量

(2) Mo<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 付着率の評価

アルミナボールを使用した場合、Mo<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が表面に付着するため 2～3 ヶ月ごとに乾式研磨をする必要があった。これに対して炭化ケイ素ボールを使用した結果、3 ヶ月間の使用でも Mo<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の付着は重量比で 2% 程度であり、それ以降は 10 ヶ月間の使用でも更なる付着がなく、乾式研磨をすることなく使用できた。したがって、事前の Mo<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 付着テスト結果の通り、炭化ケイ素の方が Mo<sub>2</sub>O<sub>3</sub> との反応性が低いことを実機炉でも確認することが出来た。

以上より、従来のアルミナボールを炭化ケイ素ボールに置換することでリジェネ炉の Mo<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の乾式研磨作業や Mo 昇華操業作業を省略できる可能性を見出した。

(3) 寿命改善に向けた取り組み

更なる長寿命化に向けてコーティングの最適化を実施した。酸化速度を抑制するため、コーティングの成分とコーティング方法を調整した。2-3 項と同様の方法で改善効果を評価し、図 2 に追加した結果を図 14 に示す。新塗布条件の方が単位時間当たりの重量変化率が 80% 小さく、コーティングの最適化により酸化進行速度をさらに鈍化させることができた。新塗布条件の寿命は現在実機炉で評価中である。

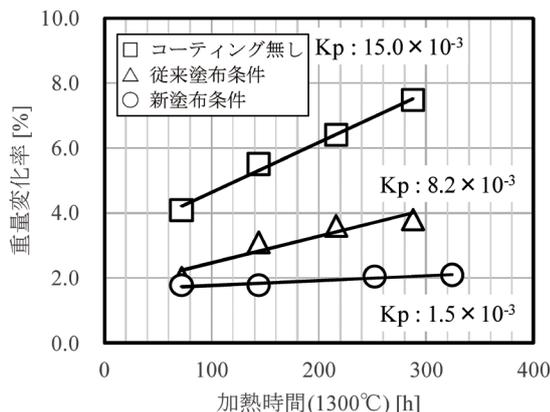


図 14 従来コーティング方法と改良コーティングの酸化速度の抑制効果

5. 結 言

本報告ではリジェネ炉に用いる新たな蓄熱体として炭化ケイ素製蓄熱体を開発した。実機の加熱炉で性能評価した結果、予熱空気温度が従来のアルミナ製よりも高くなり、燃料使用量 4.4% の低減を果たした。排ガス温度が酸露点以上であるだけでなく、Mo<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の付着がアルミナ製よりも少なく、保守性の観点でも同等以上の優れた性能を示した。寿命については現在継続して評価中であるが、10,000h 以上の使用が可能であることを確認した。

参 考 文 献

(1) Toshikazu Akiyama, Satoru Ishizuka : Development of High Temperature Air Combustion Technology and its Application to High Performance Industrial Furnaces (2015)