

工業加熱

INDUSTRIAL HEATING

2018/7 VOL.55 NO.4

通巻328号 隔月刊・奇数月発行

技術解説 特集 耐火物

- 耐火断熱材の基礎知識と最近の動向
- プレキャストブロックの適用と実施例
- 微多孔性断熱材の特性と適用方法
- 新規合成化合物 Al_4SiC_4 を用いた耐火物
- 鑄鉄溶解炉に使用される耐火物について
- ガラス溶解炉の最新技術

特集 耐火物

技術解説	耐火断熱材の基礎知識と最近の動向	……………	イソライト工業株式会社	中島 幸次	…	1
	プレキャストブロックの適用と実施例	……………	株式会社 TYK	副田・岩元・柳・小原	…	7
	微多孔性断熱材の特性と適用方法	……………	黒崎播磨株式会社	松尾・桂	…	14
	新規合成化合物 Al_4SiC_4 を用いた耐火物	……………	一般財団法人岡山セラミックス技術振興財団	星山・高長	…	20
	鑄鉄溶解炉に使用される耐火物について	……………	日本ルツボ株式会社	鈴木・西村	…	26
	ガラス溶解炉の最新技術	……………	株式会社ジェイテック	佐藤 敬蔵	…	31
情報	岡山セラミックスセンター(OCC)の機能と役割	……………	一般財団法人岡山セラミックス技術振興財団	溝田 恭夫	…	37
	くらしの中の物理楽 ガリレオ爺さんと与太郎さんの ^{おももしろ} ○×△□科学談義					
	空気砲の秘密	……………		西尾 宣明	…	43
閑話休題	なんちゃってサバイバル	……………		前田 章雄	…	49
会員訪問	大陽日酸株式会社	……………				55
連絡	記事募集のご案内	……………				58
	協会通信	……………				60

※「工業炉技術の変遷」第 12 回（最終回）は次号（Vol. 55 No. 5 平成 30 年 9 月号）に掲載いたします。

耐火断熱材の基礎知識と最近の動向

中島 幸次*

1. まえがき

耐火断熱材は耐火性と断熱性を合わせ持っている材料で、耐火性は主にシリカ(SiO_2)とアルミナ(Al_2O_3)に由来し、断熱性は一般的なこととして材料中の気孔を満たす空気によっている。断熱性の高低はその空気量に左右されており、つまり気孔率が大きいと断熱性は高く、小さいと低くなる。しかし気孔率の大小は重量面と強度面にも影響し、気孔率が大きいと軽くなり、小さいと高強度となる。そのため気孔率の小さいものの利点は構造物の安定性を高めることと雰囲気や処理物から発生する不純物に対する反応抵抗性が高いことにある。一方、気孔率が大きい利点は断熱性が優れることと構造物の重量低減にある。

ではこのような耐火断熱材の役割はどうかと考えると、現在は省エネルギーや CO_2 排出量削減が強く要請されている中にあるので、耐火断熱材の活用はその目的で重要な役割を担っている。これを踏まえ本稿では代表的な耐火断熱れんが(以下、断熱れんが)とセラミックファイバ(以下、CF)、保温断熱材、高性能断熱材に関して記述する。

なお本稿は「特殊鋼」(社団法人特殊鋼倶楽部)に掲載された「耐火物(耐火断熱材の基礎知識)」(Vol. 61, No. 3, p. 34-38)の改訂版となっている。

2. 断熱れんが¹⁾

断熱れんがは耐火物手帳(改訂12版, 2015年発行)によると高温でも構造材として使える耐火性と断熱材としても利用できる低熱伝導性とを合わせ持つ特殊な耐火物とされている。

標準的な断熱れんがの品質はJIS R 2611(耐火断熱れんが)に従ったA類(A1~A7)、B類(B1~B7)、C類(C1~C3)の3類7(3)種の17品種に分類されている。類を示すアルファベットは断熱れんがの重量の目安で種を示す数字は最高使用温度として表記されている。各断熱れんがの基本的な性質としてA類は低熱伝導率を特長とし、C類の特長は高強度で、B類は両者の中間の性質となっている。

この標準断熱れんがよりも高性能の断熱れんががメーカーの独自の技術で製造されており工業炉の使用目的に応じられるようになっている。現在では工業炉にはこのような高性能断熱れんがの使用が主流となっている。

2.1 断熱れんがの種類²⁾

断熱れんがを材質で分類すると(1)珪藻土質断熱れんが、(2)粘土質断熱れんが、(3)高アルミナ質断熱れんが、(4)アルミナ質断熱れんがの

* イソライト工業株式会社 K. Nakashima



プレキャストブロックの適用と実施例

副田 知美*
小原 学**
柳 憲治***
岩元 孝史****

1. はじめに

鉄鋼の電気炉やガラスの溶解炉、セメントをつくる焼成炉やゴミの焼却炉には操業温度と条件に適した耐火物が使用されている。主な適用材質では鉄鋼の電気炉ではマグネシア・カーボン、ガラスではハIALルミナ、セメントではマグネシア、焼却炉では炭化ケイ素が主要部位で使用されている。

これらの耐火物施工において、従来は定形レンガに目地モルタルをつけて積み上げていくレンガ積み工法と不定形耐火物キャストブルの流し込み工法がある。その他吹き付け材、プラスチック材（パッチング材）、ラミング材を用いた施工方法もある。現地においてはこれらいくつかの施工方法を用いて施工されている。耐火物施工はどの施工においても熟練した技能が必要であり、作業環境は一般に高所や狭所が多く、寒暖の厳しいところもある。施工に時間を要する場合は特に身体的に負担がかかり、作業環境の改善が望まれている。

本稿では、例えば工業炉等への耐火物施工において、型枠のセット → キャスタブルの混練 → 流し込み → 養生 → 乾燥 → 脱枠（型枠のバラシ）

→ 仕上げまでの一連の工程や足場の設置等々これらの作業の効率化や省人化を可能にする新たな提案をする。専用の管理された工場で製造されたプレキャストブロック（以下、「プレキャスト」に省略）を用いて各種工業炉に適用されている。それらの実施例から、具体的な効果（施工時間の低減、耐火物寿命の向上、人員の削減）を報告する。

2. プレキャストの施工例

鉄鋼、セメント、石灰、化学等の工業分野において各種工業炉プラントが建設されており、その中で多種多様な耐火物が使用されている。また自治体運用の都市ゴミ用、民間運用の産業廃棄物用の処理プラント（焼却炉、熔融炉）の中でも同じく多くの耐火物が使用されている。プラントの中で使用されている耐火物は、一般的に、その使用期間が長く（数ヶ月～10年以上のものも有り）、故に耐火物の品質安定がより求められている。

2.1 一般的な施工方法

多くのプラントは、まず現地で缶体が設置された後に、その内部で耐火物（断熱ボード類、断熱

* 株式会社 TYK 多治見製造所 製造所長 T. Soeda 連絡先 E-mail アドレス : t. soeda@tyk. jp
** 同 同 CI チームリーダー M. Ohara
*** 同 同 PC チームリーダー K. Yanagi
**** 同 機能材料研究所 部長 T. Iwamoto

微多孔性断熱材の特性と適用方法

松尾 幸久*
桂 裕 氏**

1. はじめに

国内のエネルギー消費量は産業部門が最大で、鉄鋼はその中でも消費が多い業種の一つであり(図1)、省エネ対策の一つとして断熱材が広く使用されている。

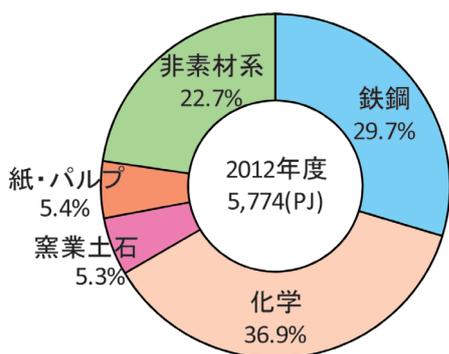


図1 製造業の業種別エネルギー消費量¹⁾

断熱材は一般に、気体の熱伝導率が物質の三態の中で最も低いという特性を利用しており、高気孔率物質である。さらに本稿で紹介する微多孔性断熱材は、粒子径が数十nm程度のフュームド金属酸化物を使用し多くの微細気孔を形成させているので、静止空気よりさらに低いという特徴を有している。

当社では平成7年以来、微多孔性断熱材の輸入・加工、製造・販売を行うとともに、評価・効果・適用に関する研究、熱伝導解析および利用者への断熱設計の提案、ならびに新規ニーズに応じた材料開発を行ってきた。

そこで、本稿では微多孔性断熱材(以下、本断熱材と称す)の特性を概説するとともに、ユーザーの視点を含めた本断熱材の適用方法について述べる。

2. 材料設計と製造方法

フーリエの法則で熱流束は $q = -\lambda \cdot dT/dx$ で表される。この熱伝導率 λ は比例定数であるが、材料内部では実際には伝導、気体および輻射による伝熱が起きるので(図2)、通常の断熱材では低熱伝導率化には限界がある²⁾。そこで、本断熱材は気体分子の伝熱の抑制、固体伝導の抑制および輻射の抑制を図っている。

気体分子の伝熱は分子の衝突による熱伝達なので、分子同士が衝突しないよう平均自由行程以下の気孔径を形成させれば良いことになる。気体分子を空気とした場合の平均自由行程を計算すると、比較的低温から断熱効果を発揮させるに

* 黒崎播磨株式会社 Y. Matsuo
** 同 Y. Katsura

新規合成化合物 Al_4SiC_4 を用いた耐火物

星山 泰宏*

高長 茂幸**

1. はじめに

温度変動のある炉で使用される耐火物は、使用温度域において通常8～20%程度の気孔率を有しており、この点がエンジニアリングセラミックス等の緻密質セラミックスとは大きく異なる。耐火物は気孔を有することによって温度変動の厳しい条件下でも長期に亘って破壊（熱スポーリング）することなく使用することが可能で、気孔は耐火物の重要な構成要素と言える。また耐火物に要求される基本的な性能として容積安定性があるが、高温下で容積を一定に保つには、適度な気孔を有しながら焼結、収縮を防止しなければならない。このことから数mm～数十 μ mの骨材粒子を使用し骨材同士を干渉させて収縮を防止する粒度配合技術が誕生し、現在に至るまで耐火物の組織設計の基本となっている。骨材と微粉を組み合わせる組織を形成させるので、必然的に耐火物には一定量の気孔が含まれることにもなっている。

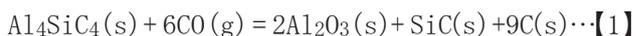
重要な構成要素でありまた必然的に導入される気孔であるが、耐火物の耐食性や耐摩耗性などを向上させる際には、気孔を極力減らすことが求められる。一般的に、耐火物の気孔を低減させる方法として次の方策がとられている。

① 緻密な原料を骨材に使用する

- ② 残留分の多いバインダーを選定する
- ③ 高密度充填に適した粒度分布となるように粒度配合を調整する
- ④ 成形条件を最適化して緻密に充填する
- ⑤ 加熱、焼成工程で永久膨張が起こらないように工夫する
- ⑥ タール含浸などで気孔を充填する
- ⑦ 添加物の反応膨張を利用して気孔を低減する

それぞれの項目において現在も改良が進められているが、中でも高温の化学反応を利用する⑦項については、今後さらに発展する可能性が秘められていると思われる。

本稿で紹介する新規合成原料 Al_4SiC_4 ¹⁻¹¹⁾ の封孔効果も⑦項に該当する気孔低減技術であり、【1】式の反応による体積膨張を利用するものである。



この反応が進行したときの体積変化は理論値で+116% (Cの比重を1.6とした場合) と計算され、大きな体積膨張を伴うことから、これをうまく利用して気孔率の低減を図ろうとする手法である。以下、 Al_4SiC_4 の反応機構¹²⁾ と耐火物への適用事例¹³⁻¹⁶⁾ を紹介する。

* 一般財団法人 岡山セラミックス技術振興財団 Y. Hoshiyama
 ** 同 S. Takanaga

鑄鉄溶解炉に使用される耐火物について



鈴木 裕之*



西村 有司**

1. はじめに

耐火物とは、高温で軟化または溶融しにくい非金属無機材料であり、種々の原料、材料などを加熱、焼成、溶融、分解するための工業窯炉の構築に使用される非金属材料である。

耐火物の定義として JIS には、「使用温度が 1500℃ 以上の定形耐火物及び最高使用温度が 800℃ 以上の不定形耐火物、耐火モルタル並びに耐火断熱レンガ」とされている。

各種の工業炉に使用される耐火物では、高温で長時間の加熱あるいは温度変化に対して材料自体が化学的・機械的变化をしにくい性質が必要となる。金属系の材料は、高温での連続使用に適さず、この様な用途には適していない。

また工業炉の場合は単に温度要因のみでなく、鉄、銅、アルミ、ガラスなどを溶融するときには溶融物との接触や加熱に際し発生するガス、スラグ、粉じんなどとの接触を考え、耐火物の耐溶損性や耐浸透性などを考慮する必要がある。

本稿では特に鑄造現場で使用される鑄鉄溶解炉（保持炉を含む）に使用される耐火物について記述する。

2. 鑄鉄溶解炉について

鑄鉄鑄物製品の製造現場では、鑄鉄溶湯を得るために溶解～保持工程があり、工業炉として主としてキュボラや誘導炉が使用されている。従来はキュボラによる溶解が主体であったが、近年は、環境改善や CO₂ 削減などから、るつぼ型誘導炉による溶解が多くなっている。

キュボラは、コークスの燃焼熱を利用して鉄を溶解させるシャフト型の溶解炉で、その大きさや機能から、煉瓦～不定形まで様々な種類の耐火物が使用される。

誘導炉は、電磁誘導によって金属内に発生するジュール熱で溶解を行う電気炉の一種で、鑄鉄溶解工程における誘導炉では、るつぼ型誘導炉が多く使用され、耐火物に主ライニングとして耐熱性と経済性からシリカ質の不定形耐火物が一般に使用されている。

同じ誘導炉でも、溝型誘導炉は主として溶湯保持に使用され、国内では主ライニングとして耐食性（耐溶損性）に優れるアルミナ質不定形耐火物が一般に使用されている。

* 日本ルツボ株式会社 H. Suzuki

** 同 Y. Nishimura



ガラス溶解炉の最新技術

佐藤 敬蔵*

1. はじめに

ガラスは日常生活で最もよく使用する素材の一つで、最古のガラスは約 4500 年前にメソポタミア地方で作られたと考えられている。

そして、紀元前 1 世紀ごろにはシリアで溶けたガラスを鉄パイプの先に付け、シャボン玉のようにふくらませる「吹きガラス」と呼ばれる技法が発明された¹⁾と言われている。

この「吹きガラス」技法の発明により、ガラス容器を簡単に作ることが出来るようになり、ガラスは人類にとって欠かせない素材になった。

本稿では、ガラスびんや窓ガラスなどとして毎日の生活で必ず目にするソーダ石灰ガラス用ガラス溶解技術の最新情報を紹介する。そして、4 項では日本で開発された従来のガラス溶融技術と全く異なる「気中溶解」法 (NEDO「エネルギーイノベーションプログラム・革新的ガラス溶融プロセス技術開発」, 2008 ~ 2013 年) について紹介する。

2. 連続式ガラス溶解炉 (タンク炉) の概要

2.1 連続式ガラス溶解炉の歴史

現在一般的に使用されている連続式ガラス溶解炉は 1867 年にシーメンス兄弟 (ドイツ, 長兄はシーメンス社創業者) らにより考案された「シーメンス式ガラスタンク炉」と呼ばれる蓄熱式平炉 (反射炉) がその原型である²⁾。

この「シーメンス式ガラスタンク炉」によりガラスの大量連続生産が可能になった。さらに、1925 年に高アルミナ質電鍍れんが (商品名コルハートブラック), 1942 年に AZS ($Al_2O_3-ZrO_2-SiO_2$) 系電鍍れんがが開発されてガラス溶解炉の寿命が飛躍的に延びた。最近では 15 年程度連続で運転されることが多い。

現在広く使用されているびんガラス用ガラス溶解炉は、ガラス原料 (以下バッチ) を溶解する溶解室、溶解したガラスを成形ラインへ分配するディストリビューター (作業室, 清澄室とも言う), 溶解室とディストリビューターをつなぐスロート、溶解ガラスを成形に適した温度に調整する

* 株式会社ジェイテック K. Sato