

黒崎播磨株式会社

—熱を操る科学技術で産業を支える企業—

Krosaki Harima Corporation: We Utilize Our Technology to Control the Heat and Contribute to Industries

Key-words : Refractories, Structural ceramics

後藤 潔

Kiyoshi GOTO (Krosaki Harima Corporation)

1. はじめに

黒崎播磨(株)は、世界遺産の構成要素ともなっている八幡製鉄所に必要不可欠な高品質の耐火物を供給すべく設立された黒崎窯業(1918年設立)、九州耐火煉瓦(1916年設立)などを母体として、鉄は国家なりと言われた製鉄業をはじめとする日本の産業の発展を支えてきた。現在は国内外の拠点で耐火物、ファインセラミックスの製造販売、工業炉の設計・建設・保守事業を展開している。お客様は高温産業である鉄鋼、セメント、ガラス、廃棄物処理、発電などの産業界が中心であり、一般の方々との接点は少ないものの、世界をしっかり支えていると自負している。

図1は鉄鋼製錬工程の概要である。グレーで示したのが溶鉄で、これと接するすべての部分に耐火物(黒塗部)が配置されている。鋼製の設備を熱から保護するのが耐火物の役割である。

耐火物は広義のセラミックスの一つである。セラミックスというと「やきもの」のイメージが強いが、現在の耐火物製品の過半は「やかないもの」であり、また当社では高温での使用に先立つ乾燥や予熱のいらぬ製品開発を進めている。その最先端をご紹介したい。

2. 事例

2.1 予熱不要の casting ノズル

鉄鋼の連続 casting 工程においては取鍋からタンディッシュ、あるいはタンディッシュから連続 casting 機のモールドへと溶鉄(溶鋼)を供給するためにノズルが使用される。ノズルはアルミナ、ジルコニア、黒鉛などを主成分とするパイプ状の耐火物で、外径は150~300mm、長さは1000~2000mm程度である(図2)。

ノズルを通過する溶鋼は比重7程度、温度は約1600℃であるため、流し始めには大きな機械的衝撃と熱衝

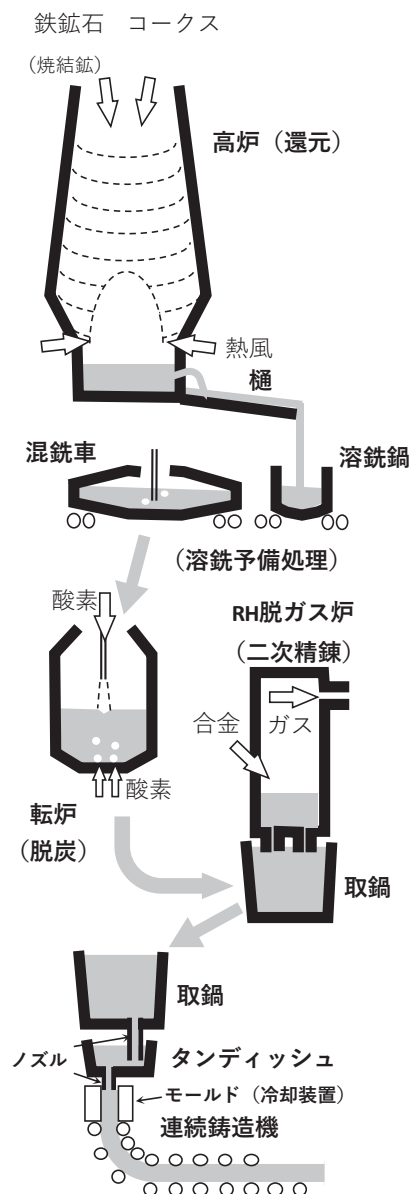


図1 鉄鋼製錬工程の概要と耐火物
黒塗部が耐火物、灰色部は溶鉄

撃が加わる。ノズルは自身でこれに耐えるだけの強さが求められるため、高度な材料技術が要求される。

ノズルは大型のセラミック製品であるため、熱衝撃による破壊を防止する目的で使用開始直前にガスバーナーなどで1000℃以上まで十分に予熱することが望ましい。しかし準備の簡素化と省エネルギー、脱CO₂を目指して、事前予熱を必要としない非常に熱衝撃に強いノズルが求められている。熱膨張係数が小さい素材を用いて気孔率の大きいノズルを製作すれば熱衝撃に強くなる。しかしそれではモールドフラックス(モールドに投入される保護潤滑剤)や溶鋼中に懸濁するスラグなどの高温溶融塩により容易に侵食されてしまう。

そこで、熱膨張係数は小さいが溶融塩に侵食されや

すいシリカガラスや、溶鋼に侵食されやすい黒鉛を原料から排除あるいは減量した上で耐火物の組織を緻密化し、また気孔形態を精密に制御することで熱膨張を低減した。こうして耐食性と耐熱衝撃性を兼備したノズルの開発に成功した。ノズルは使用環境に合わせて最適な主成分を選択する必要があるため、アルミナ、スピネル、マグネシア、ジルコニアそれぞれを主成分とするノズル用材料を開発した。とりわけマグネシアは、それ自体の熱膨張が大きく、熱衝撃に強いノズルを作るのが難しいが、微細組織を制御することで大幅に熱膨張を低減することができた(図3)。

予熱不要のノズルはエネルギー消費とCO₂排出を抑制でき、予熱準備なしでいつでも使用でき操業自由度が高まるなど、大きなメリットがある。



図2 ノズル¹⁾
下から2本目は流量調節用のストッパー

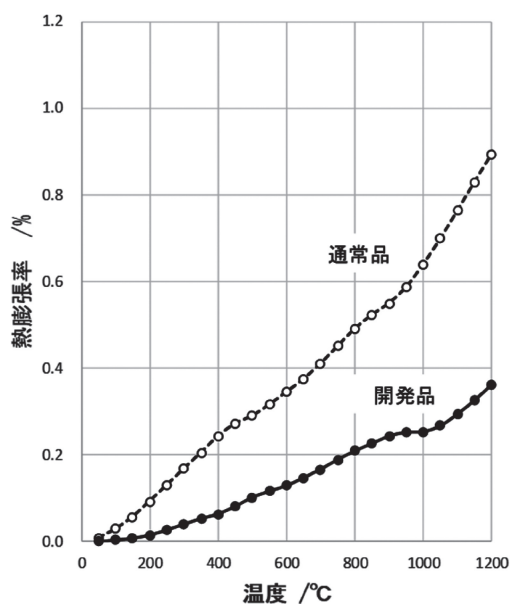


図3 マグネシア質ノズル用材料の熱膨張
いずれも炭素分 19 mass%

2.2 乾燥不要の不定形耐火物

前述した「やかないもの」の代表格が不定形耐火物である。不定形耐火物とは定形耐火物(れんが)と対をなすもので、コンクリートのように水で練って流し込み施工するキャストブル耐火物、ガンで施工する吹き付け耐火物などがある。鉄鋼用耐火物における不定形耐火物の使用比率は70%を越えている。

やかない、とはいえ、実は使用中の受熱により焼けた状態で使用される。1600℃近い溶鉄と接触することで表面から焼結が進行し、望ましい特性を発揮するように材料設計がなされている。一般的な「やきもの」が約15%収縮するのに対し、1500℃で焼成しても膨張収縮は±1%程度以内となるよう、多くの不定形耐火物は設計されている。また熱衝撃に耐え、熔融塩による侵食にも負けない。

不定形耐火物の多くは水を加えて混練されるが、受熱によって水が蒸発すると、その圧力によって破壊(爆裂)する恐れがある。このため事前にバーナー等で乾燥させる必要があるが、その際には多くのエネルギーが必要でCO₂も発生する。また蒸気を徐々に逃がして圧力の上昇を抑えるために数十時間を掛けて行う必要がある。乾燥中は耐火物を施工した設備が使用できないロスタイムとなる。

当社は廃棄物焼却炉用耐火物を、施工を含めて手掛けている。図4にストーカー式廃棄物焼却炉の模式図を示す。廃棄物は火格子の上で燃焼し、火炎と燃焼ガスは炉の上部に導かれる。炉壁には耐火物が施工されている。耐火物は火炎により強熱され、また廃棄物か

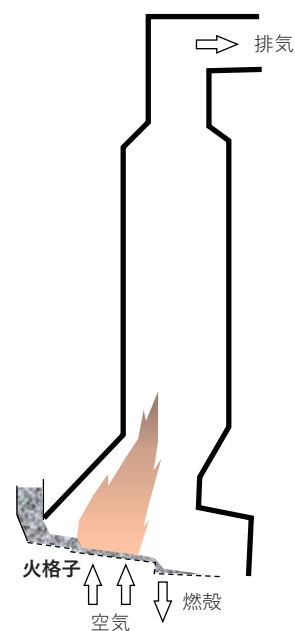


図4 ストーカー式廃棄物焼却炉の模式図

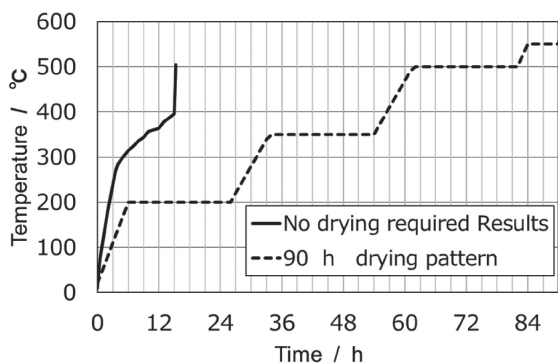


図5 焼却炉耐火物の乾燥温度パターン例²⁾
実線は開発材、破線は従来材の場合

ら来るアルカリ成分 (Na, K) により変質することもあり、剥落損耗する。このため定期的に耐火物を補修する必要がある。

補修は、固体バインダー（セメント）を混合した粉末状の耐火物を圧縮空気で気流搬送し、先端のノズルで水を加えて吹付ける方法が一般的である。施工した耐火物に熱が加わると爆裂する恐れがあるため、事前に炉を十分に冷却してから吹付施工し、その後は時間を掛けてゆっくりと乾燥する必要がある。

セメントは水和物を生成して硬化するため、施工の際には多くの水を加える必要がある。また水和物は気孔を埋めて成長するため、施工体の通気性を低下させ、蒸気の逸散を阻害するため、爆裂につながりやすい。そこで、セメントを排し、水を珪酸塩系の液体バインダーに替えた。その結果、施工体の通気性は大幅に上昇し、爆裂の可能性は大幅に低下した。またアルカリ成分との反応が軽減され、変質が軽減された。

この材料を用いることで急速加熱が可能になった。その結果、従来90時間を要した施工後の乾燥が全く不要となり、処理物の着火温度（約400℃）への昇温のみの12時間へと大幅に短縮することができ、乾燥工程で発生するCO₂発生量を約110t削減することができた（図5）。

2.3 極限環境の可視化

耐火物は1500℃を越える極限環境で使用される。しかも光や電磁波を通さない溶鉄を取り扱うため、使用状況の直接観察は困難である。状態を可視化し次の開発を進めるためにはシミュレーションは強力なツールである。

図6は連続鑄造の際に浸漬ノズルから流れ出る溶鋼の数値シミュレーションの例で、開発品(b)では溶鋼中の乱流エネルギーが小さく、すなわち無理なく流れ出てスムーズにモールドに注入されている状況が可視化できている。この開発品はお客様にご賞用頂いている。

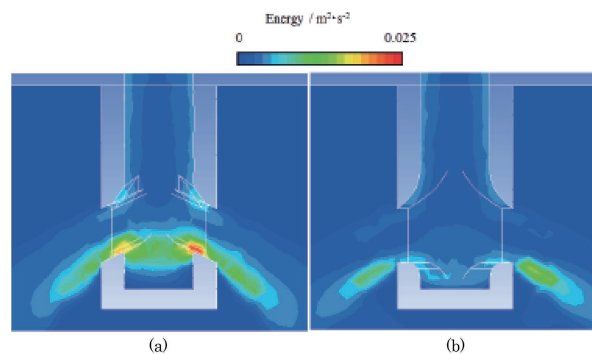


図6 浸漬ノズル吐出孔付近の流体解析例³⁾
流れ出る溶鋼の乱流エネルギーを示す

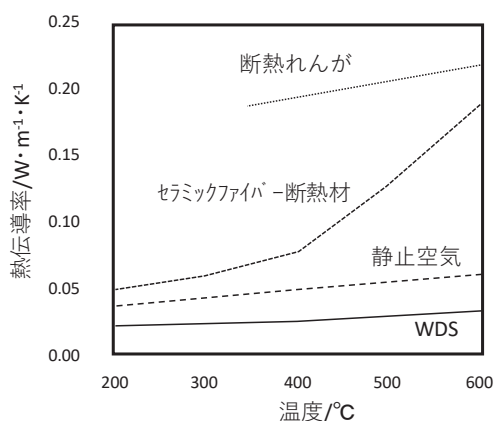


図7 各種断熱材の熱伝導特性
WDSの熱伝導率は静止空気よりも低い

3. カーボンニュートラルへの取り組み

耐火物製品の「やきもの」から「やかないもの」へのシフトは着実に進んでいる。不定形耐火物をはじめ、定形耐火物（れんが）でもバインダーの脱脂なしの製品も多い。しかし焼成工程を経る製品も依然として存在することから、その不焼成化、あるいは焼成温度低減技術開発に取り組んでいる。当社ではCO₂排出量を2030年には2013年比で50%削減し、2050年には実質的なカーボンニュートラルを目指す。

また「熱を操る」技術でお客様のカーボンニュートラルにも貢献している。先の事例は乾燥や予熱の際に発生するCO₂の削減に貢献している。また耐火物の本質的な役割である断熱作用により、炉の熱ロスを低減し、お客様の省エネルギーとCO₂排出抑制に貢献している。使用可能温度域は耐火物よりも低いが、特筆すべき断熱材であるWDS[®]（図7）は静止空気を凌ぐ断熱性を誇る高機能ナノ断熱材で、さまざまな産業機器に適用され、水素と酸素から効率的に電気と熱を作り出す家庭用燃料電池にもご使用頂いている。

4. 学生会員の皆様へ

当社は耐火物とその関連事業と共に、ファインセラミックス事業も展開しています。各種測定機用基準器やミラーに使われている超低熱膨張セラミックス、半導体製造装置用セラミックス、マシナブルセラミックス、電子部品焼成用セッターなどが代表的な製品です。

無機をはじめとした材料に関する知識、経験、素養は、いずれも当社にとってはかけがえのないものばかりであり、存分に活かして頂けると思います。いま活躍している社員も学生時代は耐火物に馴染みがなかった人がほとんどですが、社内教育制度「クロサキハリマカレッジ」とOJTを通じて数年でプロフェッショナルに成長しています。

私たちが提供する製品・サービスは、今の社会に必要な不可欠なものばかりであり、創業時の「国家を支える」という心意気は、支えるものが世界になった今も変わりません。主要なお客様である鉄鋼業界は、世界的にはまだまだ成長が予測されています。2021年に20億tであった世界の粗鋼生産量は、今後さらに増えると予測されます。これは豊かな社会への世界の人々

の希求であり、これにぜひ貢献していきたい。他方、製鉄はCO₂を多く排出する産業であり、これは製鉄プロセスの変革を強く促しています。鉄鋼製錬プロセスの歴史は耐火物技術の歴史であり、私たちは今、歴史の転換点に立っています。今こそあなたの力が必要です。

黒崎播磨ホームページ <https://www.krosaki.co.jp/>

文 献

- 1) 当社ホームページ, <https://www.krosaki.co.jp/fireproof>
- 2) 古賀正徳, 徳富篤史, 松永隆志, 西 敬, 井手浩二, 耐火物, 74, 428-429 (2022).
- 3) 溝部有人, 立川孝一, 栗栖譲二, 植木正憲, 耐火物, 69, 58-66 (2017).

筆 者 紹 介



後藤 潔 (ごとう きよし)

1986年筑波大学地球科学研究科修士, 新日本製鉄(現日本製鉄)(株)入社。1994年Sheffield大学Ph.D. 2017年黒崎播磨(株)入社, 技術研究所副所長, 現在に至る。

[連絡先] 〒806-8586 福岡県北九州市八幡西区東浜町1-1 黒崎播磨株式会社 技術研究所

E-mail: goto.gr5.kiyoshi@krosaki.co.jp