

解説

特集「鑄鉄の溶解、溶湯性状とキュボラ溶解用バイオコックス」



岸田了一



大橋秀明

キュボラの長期間操業用耐火物の現状と課題

岸田了一* 大橋秀明* 鈴木裕之*

大田峰彦* 竹内晋之介*



鈴木裕之



大田峰彦

Review Paper

J. JFS, Vol. 89, No. 6 (2017) pp. 322 ~ 324

Special Issue on Melting of Cast Iron, Properties of Molten Metal and Biocoke for Cupola Melting

Current Situation and Problems of Refractories of Long-campaign Cupola

Ryoichi Kishida*, Hideaki Ohashi*, Hiroyuki Suzuki*,
Minehiko Ota* and Shinnosuke Takeuchi*

竹内晋之介

The work-surface of refractories of long-campaign cupola is increasingly being switched from carbon bricks to monolithic to improve performance. In this report, we describe the characteristics of monolithic refractories and describe the issues faced in realizing longer-term operations.

Keywords : Cupola Carbon-brick refractory

1. 緒言

従来キュボラ耐火物は性能の安定性や溶解溶湯との反応性の低さ及び冷却効果の大きさにより黒鉛を含むれんが（黒鉛れんが）が使用されてきた。近年になり生産効率の向上や原価低減の一環でキュボラの長期操業（ロングキャンペーン）が求められ、特に大型キュボラでは操業延長に伴う原価低減効果が大きいことより、キュボラ保有各社で長期操業への取り組みが行われている。

キュボラの長期操業への解決すべき問題点の一つとして、特にキュボラ内部の湯溜まり帯に使用する耐火物の耐用向上が求められている。キュボラ内部に使用される耐火物への要求性能は ①操業時に大きな問題が生じない安定した耐用 ②連休間や所定の期間の操業が可能な長期耐用 ③ランニングコスト低減や初期費用抑制などの低価格 ④耐火物施工時の専門技能が不要な築炉方法 ⑤使用済み耐火物の廃棄量抑制などが求められる。これらの要求を満たすために従来使用されてきた黒鉛れんがに変わり不定形耐火物の適用が推進されている。

本報告はキュボラの長期操業に対応する耐火物の構造として黒鉛れんがからの不定形耐火物の移行と各不定形耐火物の特徴と共に、キュボラ内部での各耐火物部位における解決すべき課題について報告する。

2. 耐火物構成の変化

従来キュボラ炉内に使用される耐火物は表1に示すような黒鉛（C）やアルミナ（ Al_2O_3 ）、シリカ（ SiO_2 ）及び炭化ケイ素（SiC）を含むれんが（総称：黒鉛れんが）が使用されている。湯溜まり帯には鑄鉄溶湯に安定を示す黒鉛を多く含んだ黒鉛れんが、開口部門柱にはアルミナと炭化ケイ素を主体とした比較的強度の高い黒鉛れんが、羽口近傍の溶解帯にはスラグとの反応が少ない炭化ケイ素を主体とした黒鉛れんが、パーマ部と呼ばれる背面部分には炉外からの冷却を耐火物に伝達させるため熱伝導率の高い黒鉛れんががそれぞれの特徴に応じて採用されている。黒鉛れ

表1 黒鉛れんが特性一例

採用部位		湯溜まり帯	開口部門柱	溶解帯	パーマ部
化学 成分 (mas%)	F.C.	63	5	4	89
	SiC	13	53	83	0.2
	SiO_2	-	2	8	9
	Al_2O_3	20	35	1	2
圧縮強さ (MPa)		48	71	132	15
熱伝導率 (W/mK)		8	13	15	58

依頼原稿 受付日：平成28年12月28日、受理日：平成29年3月1日

* 日本ルツボ(株) Nippon Crucible Co., Ltd.

んがは操業安定性や長期耐用が可能な耐火物として広く採用されていたが、キューボラ内部への黒鉛れんがの施工には築炉れんが工の技能が必要であり、近年のれんが工後継者不足によりその技能継承は十分とは言えず、その対策が急がれていた。一方、不定形耐火物は施工時にれんが工のような特殊技能が不要な耐火物として黒鉛れんがに代わる耐火物として期待されていた。初期の不定形耐火物は長期耐用への性能不足や現地施工に伴う施工不良による品質の不安定が見られたが、近年の不定形耐火物についての研究による性能向上により、不定形耐火物の耐溶損性などの耐用向上や施工欠陥による品質のばらつきが抑制されたことでキューボラ用耐火物に採用され、特に湯溜まり帯では主に稼働面側黒鉛れんがの代わりに不定形耐火物が使用され、キューボラの長期操業に大きく寄与している。

改良された不定形耐火物の採用により大型キューボラの耐火物構造は背面側に炉外からの冷却効果を得られる黒鉛れんがと、溶湯との接触する稼働面側に不定形耐火物を配材する構造が多くなっている。不定形耐火物を適応したキューボラ湯溜まり帯の耐火物構造の一例を図1に示す。

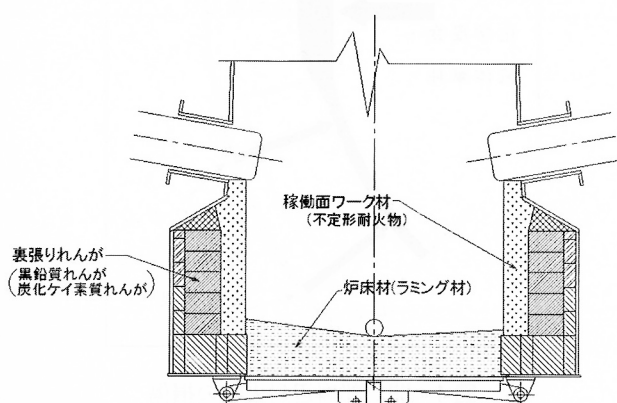


図1 不定形耐火物を適応したキューボラ炉内耐火物構造例

3. 不定形耐火物の利点と問題点

キューボラに使用される不定形耐火物はパッチング材やスタンプ材及び流し込み材等が使用されており、黒鉛れんがと各不定形耐火物の特徴を表2に示す。一般に、黒鉛れんが材質は各耐火物メーカーである程度制限されており、不定形耐火物と比較すると材質選択が限定される。不定形耐火物は黒鉛れんがなどの定形耐火物と比較して制限が

表2 キューボラ用耐火物の特徴

	長所	短所	耐用
黒鉛れんが	安定性能	築炉熟練工要	◎
パッチング材	施工が容易	施工厚みに制限	△
ラミング材	乾燥爆裂少	施工時層間欠陥	○～◎
流し込み材	性能安定	乾燥時の管理要	○～◎

少なく、化学成分や粒度構成等を調整することで耐火物の損傷形態に対応した材質の適応が可能となる。

黒鉛れんがは施工にはれんが工などの技能が必要となるが、安定した性能と高耐用が期待される。キューボラの長期操業実現にはキューボラ炉内での施工部位ごとの材質選定や操業に合わせた黒鉛れんがが特性の選択が必要となる。

パッチング材の利点は施工が容易でランマ施工の他に手施工も可能だが、施工後の乾燥時に耐火物表面に亀裂が発生することがあり、施工が厚く出来ない。短期間の補修サイクルには適合するが、耐用については他の材質には劣るため長期操業には課題が残る。

スタンプ材の利点は水分の使用が少ないため、乾燥亀裂や水蒸気爆裂の問題が比較的少ないことや高耐用が期待できるが、施工枠や築炉工（スタンプ作業）が必要であり施工時の層間欠陥防止など施工に一定の技能が要求される。

流し込み材の利点は流動性の良い特徴により比較的均質な施工を行うことが可能であり、さらに高耐用が期待出来るが、主に水混練で振動施工を行うため施工枠が必要なことや混練作業で水を使用することで施工後の乾燥時の急激な耐火物温度上昇が内部水分の急激な蒸発を誘発し耐火物表面が爆裂する可能性がある。炉内上下張り分け施工も可能で、炉内上部スラグ接触部位に炭化ケイ素量を多く配合した材質、メタル接触部にはアルミナ質に炭化ケイ素を少量配合した材質を施工する場合もある。さらに使用後の耐火物で健全部位を残して部分解体を行い、継ぎ足し補修を行うことも可能であり廃棄物の削減効果も期待できる。

4. 更なる長期操業への課題

キューボラ内耐火物の寿命はその溶損速度が温度やスラグ塩基性等の操業条件によって変化することから各炉で異なり、またその損傷形態も千差万別である。しかしながら共通する事象としてはほぼ後述の溶損形態が確認されており、それぞれの部位で発生する事象に対応する炉材開発と熱間部分補修及び休止時の短期間全体補修方法の確立が必要である。

タップホール部は図2に示すようにメタル・スラグによる化学的溶損に出湯時の流体摩耗が加わり、短期的に出湯口の孔経拡大が生じる。タップホールブロックなどでの耐用向上を図っているが現在は無補修での長期操業に対応できず、2～3週毎にコークスバンキング時に炉外から不定形耐火物で補修を行っている。タップホール部分の耐火物材質改善や炉外からの補修方法が課題となる。

羽口近傍耐火物はコークス品質の低下に伴うコークス座屈等により送風の跳ね返りが発生することで、図3に示すように羽口近傍の高温化に起因する耐火物表面の高温化が進行し、さらに炉壁溶解傾向も増加しておりこれまでより耐熱性が高く、かつ急激な温度変化に対する抵抗性の向上が課題となる。

タップホールやスラグホールなどの開口部周辺耐火物

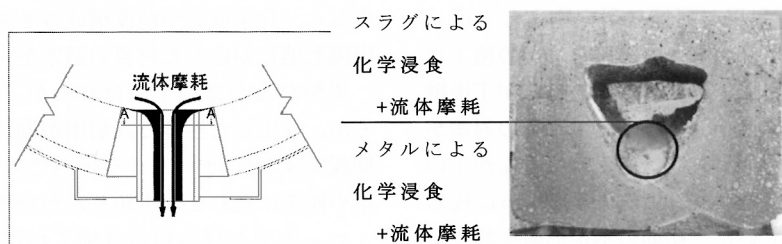


図2 タップホールの耐火物損傷による出湯口径拡大

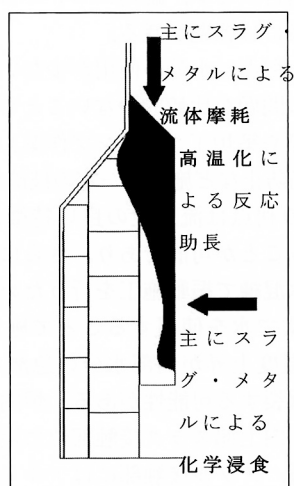


図3 羽口近傍耐火物の損傷

は図4に示すように炉外からの冷却効果を得ることが難しいため炉内耐火物の冷却効果が少なく、他の一般壁と比較して溶損速度が速くなる傾向にある。

5. まとめ

キューボラ炉内耐火物については操業計画に沿った耐火物補修が必要であり、施工能力や設備などを総合的に判断した補修計画や耐火物の選定が必要となる。耐火物の損傷については損傷形態より対策を検討することになるが、不

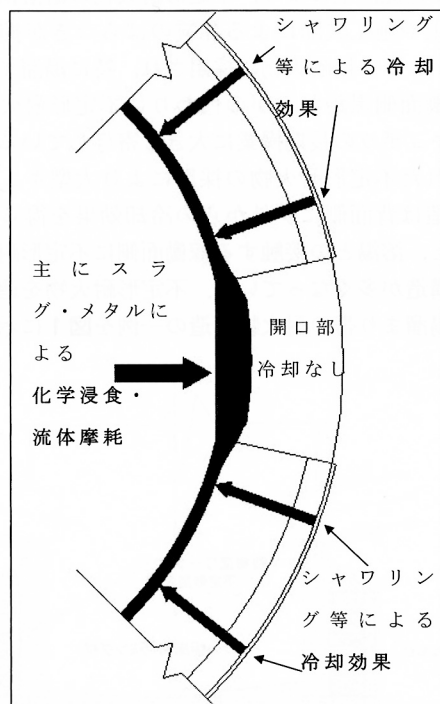


図4 開口部周辺耐火物の損傷

定形耐火物では化学成分や粒度構成を少しずつ調整することが可能であり対策を取りやすいため、キューボラの操業変更に伴う材質改良も定形耐火物と比較して容易である。