

# SHINAGAWA TECHNICAL REPORT

## 電気炉用不定形耐火物について

### Monolithic Refractories for EAF

西 田 茂 史

Shigefumi NISHIDA

田 中 大 輔

Daisuke TANAKA

小松原 清 行

Kiyoyuki KOMATSUBARA

# 品川技報

# 電気炉用不定形耐火物について

## Monolithic Refractories for EAF

西 田 茂 史\*<sup>1</sup>  
Shigefumi NISHIDA

田 中 大 輔\*<sup>2</sup>  
Daisuke TANAKA

小 松 原 清 行\*<sup>3</sup>  
Kiyoyuki KOMATSUBARA

### 要 旨

近年の電気炉においては、鋼品質向上にともなう操業条件の過酷化、スクラップの低品位化などにもない、使用される不定形耐火物やプレキャストブロックの改善が進められてきた。本報では、電気炉に使用される当社の不定形耐火物とプレキャストブロックを取り上げ、それらの特徴について述べる。

### Abstract

Recently, operating conditions of electric arc furnaces (EAFs) have become severe, not only because high quality steel is being produced but also because low grade steel scrap is utilized as a raw material. Development of monolithic refractories and precast blocks for EAFs have been progressing along with the change in operation. In this paper, features of our monolithic refractories and precast blocks for EAFs are comprehensively described.

### 1. 緒言

製鋼用電気炉はアーク放電によりスクラップを溶解する炉であり、生産の柔軟性が高く需要あるいは生産品種の変動に容易に対応できる。このため、日本では粗鋼生産量の30%以上を電炉鋼が占めるに至っている。今後もスクラップの発生量はアジアにおいてさらに増加すると予想されており、電気炉法は重要な製鉄法の一つに位置付けられる。

近年の電気炉は、鋼品質向上にともなう操業条件の過酷化、スクラップ原料の低品位化が進むなど、耐火物にとっては非常に厳しい使用条件にあり、耐用性に優れた耐火物が必要なのはもちろん

### 1. Introduction

The electric arc furnace (EAF) is a batch processing facility that melts steel scrap by electric arc heating. Its flexible productivity enables the control of production level in accordance with fluctuation of steel demand as well as changes in product mix. Therefore, more than 30% of the crude steel is made by EAF in Japan. Moreover, the scrap supply in Asia is forecasted to continue to increase. Thus, the EAF process is regarded as one of the important steelmaking processes.

In recent years, the operating conditions of EAFs have become very harsh for refractories

\*<sup>1</sup> 技術研究所 第2研究部 第2研究室 室長 General Manager, Unshaped Refractories R&D Sec. No.2, Research Dept. No.2, Research Center

\*<sup>2</sup> 技術研究所 第2研究部 第1研究室 室長 General Manager, Unshaped Refractories R&D Sec. No.1, Research Dept. No.2, Research Center

\*<sup>3</sup> 技術研究所 第2研究部 第2研究室 主任研究員 Assistant Manager, Unshaped Refractories R&D Sec. No.2, Research Dept. No.2, Research Center

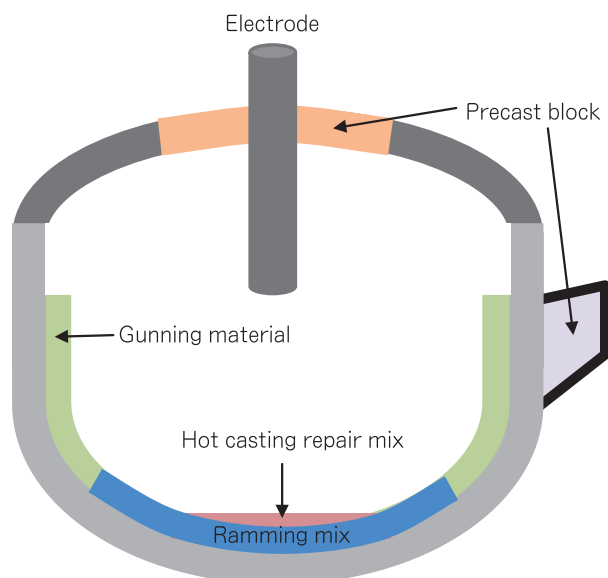
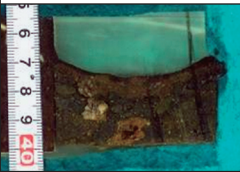
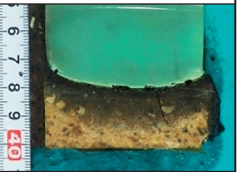


Fig.1 Outline of electric furnace.

のこと、電気炉の安定操業には適切な補修材の適用が重要な役割を果たす。当社は、このような電気炉の過酷な操業条件に対応するためにさまざまな電気炉用不定形材料やプレキャストブロックの開発、改良を継続的に進めてきた。Fig.1は電気炉の各部位に適用されている不定形材料とプレキャストブロックについて示した概略図である。それぞれの材料について、以下にその概要を述べる。

## 2. 炉床スタンプ材

アークによってスクラップ等を溶解する電気炉の炉床の一般的な内張り構造は、内張りレンガが表面を耐火スタンプ材で覆った構造であり、マグネシア質のスタンプ材が広く適用されている。しかし鋼の品質向上等のため操業条件は過酷化しており、さらなる高耐用化が求められている。このようなニーズに対しては、マグネシア質原料よりも焼結性に優れるドロマイト質原料を適用し、強固な施工体を得ることで耐スポーリング性、耐摩耗性に特化したドロマイト質スタンプ材を推奨している。Fig.2にドロマイト質スタンプ材の侵食試験後の切断面写真をマグネシア質スタンプ材と比較して示す。ドロマイト質スタンプ材は、マグネ

| Brand name      | Dolomite material                                                                  | MgO material                                                                        |
|-----------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                 | SVP-D-218                                                                          | SVP-M-971                                                                           |
| Hot face        |  |  |
| Back side       |  |  |
| Corrosion depth | 4mm                                                                                | 10mm                                                                                |

<Test conditions>

Rotating crucible method: 1550~1600°C/3h Slag: C/S=1.0

Fig.2 Cross-section of samples after corrosion test.

because of the intensive refining treatment required to produce clean steel and/or special steel from low grade scrap. Thus, it is important not only to use durable refractories but also to apply adequate repairing materials to ensure stable EAF operation. We have been continuing development and improvement of various monolithic refractories and precast blocks for EAFs in order to deal with the severe operating conditions. Figure 1 is a schematic view of the parts of the EAF where monolithic refractories and precast blocks are applied. In this paper, the features of monolithic refractories and precast blocks for the EAF are described.

## 2. Ramming Mixes for Hearth

In many cases, magnesia ramming mixes are installed onto the refractory bricks of the EAF hearth where steel scrap and other raw materials are melted by electric arc. Since modern intensive steel refining treatment promotes hearth wear, further improvement in durability of refractories is required.

In order to reduce hearth refractories wear, application of dolomitic ramming mix which is specialized in spalling resistance and abrasion resistance is recommendable. Desirable characteristics are achieved by utilization of dolomite, which exhibits excellent sinterability, resulting

Table 1 Properties of Ramming mixes

| Brand name                               |                                | Dolomite material           | MgO material |
|------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|--------------|
|                                          |                                | SVP-D-218                   | SVP-M-971    |
| Chemical composition (mass%)             | MgO                            | 75                          | 96           |
|                                          | CaO                            | 20                          | 1            |
|                                          | SiO <sub>2</sub>               | <1                          | 2            |
|                                          | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 3                           | <1           |
| Grain size distribution Max. size (mm)   |                                | 8                           | 5            |
| Material requirement (t/m <sup>3</sup> ) |                                | 2.80                        | 2.65         |
| Supply List                              |                                | AC:150t,80t,140t<br>DC:150t | AC:130t      |

シア質スタンプ材と比較してスラグの浸透も少なく、溶損量も小さい結果である。Table 1にマグネシア質スタンプ材SVP-M-971とドロマイト質スタンプ材SVP-D-218の代表品質を示す。

### 3. 吹付け補修材

電気炉の炉壁はアークや溶鋼の高熱による溶損、スラグによる溶損、スクラップ投入時の衝突による機械的衝撃により損傷を受ける。損傷部位は通常吹付け材により補修されるが、チャージ間の短時間で補修を完了することが求められるため、適用される吹付け材には、耐食性等に優れているだけでなく、高温条件でよく付着し耐剥離性に優れていることが特に求められる。当社ではFig.3に示すような実炉と同様な施工環境を再現できる大型の熱間吹付け試験装置を導入し、これを用い

in rigid structure formation. Figure 2 shows a cross sectional picture of a dolomitic ramming mix after the corrosion test compared to that of a magnesia ramming mix. It is obvious that the dolomitic material shows less slag penetration and corrosion degree than the magnesia material. The representative properties of magnesia material SVP-M-971 and dolomitic material SVP-D-218 are summarized in Table 1.

### 3. Gunning Mixes

The inner wall of electric furnaces is damaged by the following mechanisms; corrosion attributed to excessively high of arc and/or molten steel temperature, dissolution in corrosive slag, and abrasion caused by mechanical shock induced by scrap feeding. The worn areas are generally repaired by high corrosion resistance gunning material. In addition, since the gunning repair has to be completed during the short intervals between tapping and charging, excellent adhesion under high temperature installation conditions is essential so as to inhibit peeling-off.

In order to accurately evaluate the adhesion status of gunning mixes that were installed under extremely high temperature conditions, we created equipment for large scale hot gunning experiments that can reproduce the actual

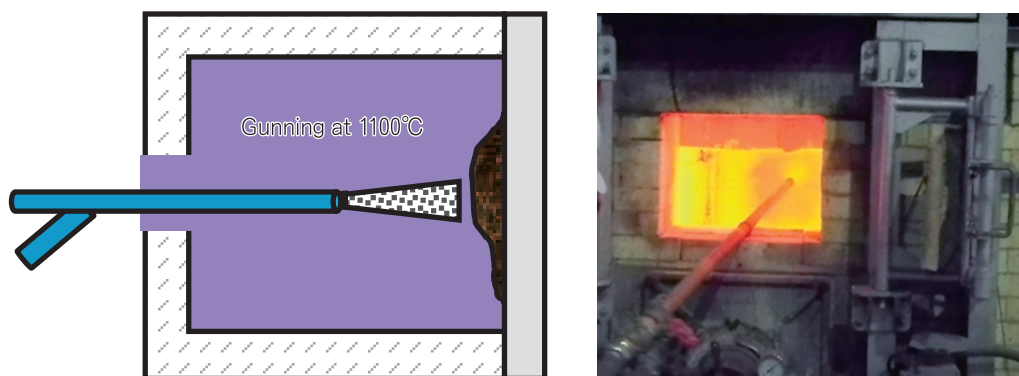


Fig.3 Diagram of large-sized examination furnace.

Table 2 Properties of gunning materials

| Brand name                                   |                  | Dolomite material | MgO material                                | MgO•SiO <sub>2</sub> material |
|----------------------------------------------|------------------|-------------------|---------------------------------------------|-------------------------------|
|                                              |                  | JTM-MD-57         | JTM-M-371                                   | JTM-MX-19                     |
| Chemical composition<br>(mass%)              | MgO              | 64                | 87                                          | 54                            |
|                                              | CaO              | 25                | 6                                           | 3                             |
|                                              | SiO <sub>2</sub> | 4                 | 2                                           | 37                            |
|                                              |                  |                   |                                             |                               |
| Grain size distribution Max. size (mm)       |                  | 5                 | 3                                           | 3                             |
| Physical properties<br>Apparent porosity (%) | 1000°C-3h        | 25                | 29                                          | 25                            |
|                                              | 1500°C-3h        | 24                | 26                                          | 24                            |
| Grade                                        |                  | High              | Middle                                      | Low                           |
| Supply List                                  |                  | AC : 90t          | AC : 130t, 150t, 70t, 40t<br>DC : 110t, 60t | AC : 130t, 150t<br>DC : 60t   |

た吹付け試験を行うことにより、高温下における付着性の的確な評価を可能としている。大型吹付け炉を加熱し、1100℃の炉内で吹付け試験を行い、高温下でも優れた付着性を実現した。また、水分添加幅も広く作業性に優れる特性を有しており、実炉でも好評を得ている。当社では、実炉での状況に合わせて対応できるラインナップがある。Table 2に吹付け補修材で使用実績のある代表品質を示す。マグネシア質JTM-M-371を基本製品とし、優れた耐食性を有するドロマイト質JTM-MD-57、緻密質マグネシア・シリカ質JTM-MX-19があり、実炉の損傷状況に合わせて選定し、いずれの製品も実機で高い評価を受けている。

#### 4. 焼付け補修材

チャージ間での炉床補修は、一般的にはスタンプリング材または吹付け材によって補修される。しかし直流電気炉の電極補修の場合には、電気伝導性が必要とされる (Fig.4)。さらに電極レンガは、通電中は特に高温となり、溶鋼と接し、溶鋼排出時にはスラグとも接触することから、それらに適応した高耐用な補修材が求められる。このようなニーズを満足すべく開発したカーボンボンド焼付け補修材は、各所においてその優れた耐用性が高い評価を受けている。この焼付け補修材は、カーボン含有することからスラグと濡れにくく耐食性に優れている。さらには高温下でも比較的長い間自

gunning status as shown in Fig.3. Our product attained excellent adhesiveness under hot gunning conditions of in commercial application through the gunning experiments performed at temperatures exceeding 1100℃ utilizing the equipment. Moreover, it also has excellent workability, which is a result of a wide tolerance range for the amount of mixing water.

We have wide lineup of gunning mixes so that a mix suitable to the individually varied EAF operating conditions can be selected. Table 2 exemplifies the typical properties of three gunning mixes, which show sufficient successful application results. Magnesia gunning mix JTM-M-371 is the standard material with general versatility. Dolomitic JTM-MD-57 and magnesia-siliceous JTM-MX-19 are materials with high corrosion resistance and high density, respectively. Those materials have been satisfactorily applied to commercially operated EAFs.

#### 4. Hot Casting Repair Mixes

In general, the EAF hearth is repaired by ramming or gunning materials during the intervals between tapping and charging. Since those materials are electrical insulators, electrical conductivity is required for materials used to repair the anode bricks embedded in the hearth

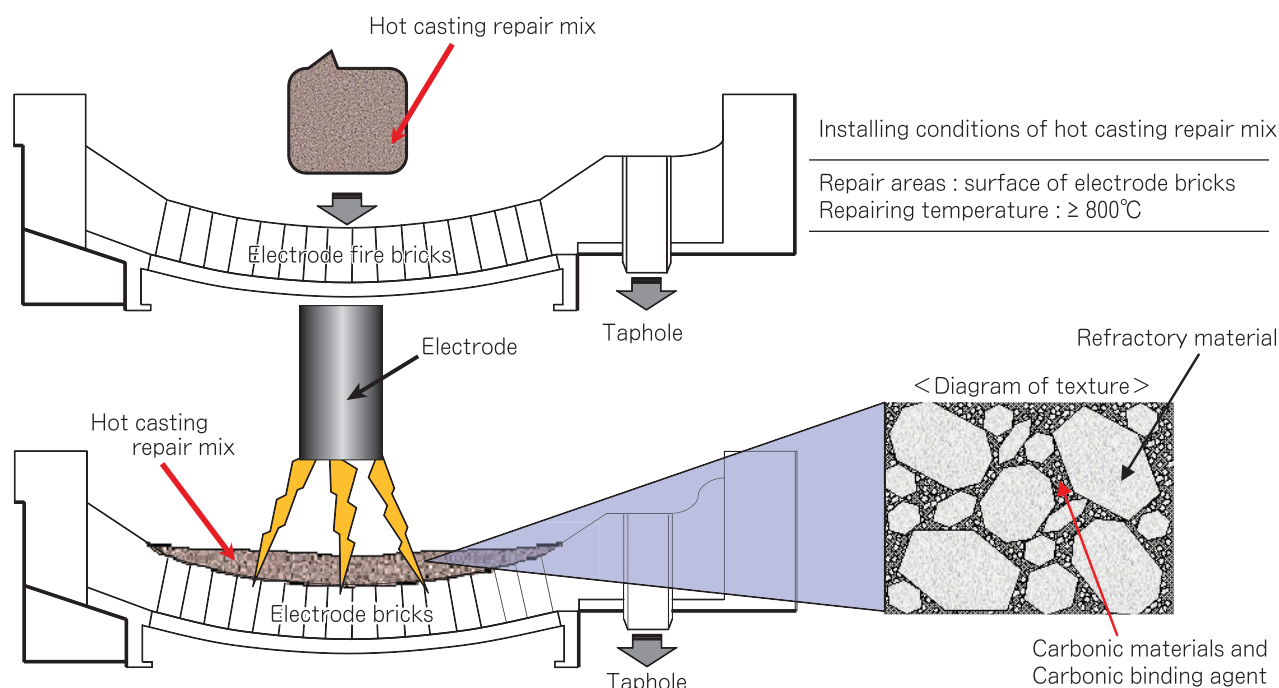


Fig.4 Schematic diagram of hearth repair of DC-EAFs.

Table 3 Properties of new quick hardening hot casting repair mix

| Brand name                             |                                | FRX-M70-D3           | FRX-A80-D11              |
|----------------------------------------|--------------------------------|----------------------|--------------------------|
| Chemical composition (mass%)           | MgO                            | 64                   | 24                       |
|                                        | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | —                    | 42                       |
|                                        | C                              | 20                   | 20                       |
| Grain size distribution Max. size (mm) |                                | 5                    | 20                       |
| Cast at 1000℃                          |                                |                      |                          |
| Apparent porosity(%)                   |                                | 26.6                 | 26.6                     |
| Bulk density(-)                        |                                | 2.51                 | 2.50                     |
| Adhesion strength(MPa)                 |                                | 2.0                  | 1.9                      |
| Hot flowability(mm)                    |                                | 219                  | 230                      |
| Hardening time(min)                    |                                | 4.8                  | 4.2                      |
| Supply List                            |                                | AC : 60t<br>DC : 60t | AC : 70t,20t<br>DC : 60t |

已流動性を維持するように設計しているため、凹凸の多い損傷部位へも確実に流れ込んでよく密着し、高い接着強度を実現している。このような特長を有しているため、電極れんが補修に限らず、炉床、EBTセット時の隙間充填用およびEBT周辺の補修にも適している。Table 3にカーボンボンド焼付け材の品質表を示す。マグネシア質FRX-M70-D3を基本製品とし、低塩基度スラグに対し

of direct current (DC) EAFs as shown in Fig.4. Furthermore, durability is also necessary since they suffer from extremely high temperature electrodes during conduction and are exposed not only to molten steel during melting and refining but also to slag during discharging.

Therefore, we developed carbon-bonded hot casting repair mixes in order to deal with the requirements. Superior durability of materials is appreciated in many EAFs. Thanks to the suitably arranged carbonaceous materials, these hot casting repair mixes show good electrical conductivity as well as poor wettability to molten slag, resulting in excellent corrosion resistance. Additionally, the materials are designed to maintain self-fluidity under high temperature for a longer time. Therefore, they spread widely on the hearth and completely fill the damaged rough surface followed by tight adhesion that ensures high adhesive strength.

According to the above desirable characteristics, they are also suitable for following

Table 4 Properties of precast blocks for EAF lid

| Brand name                   |                                | CST-A72PB          | CST-A720PB          | CST-A780PB |
|------------------------------|--------------------------------|--------------------|---------------------|------------|
| Chemical composition (mass%) | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 79                 | 77                  | 77         |
|                              | SiO <sub>2</sub>               | 19                 | 18                  | 10         |
|                              | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | —                  | 3                   | 10         |
| Linear change (%)            | 110°C-24h                      | -0.03              | 0.00                | 0.00       |
|                              | 1000°C-3h                      | -0.10              | -0.20               | -0.03      |
|                              | 1500°C-3h                      | +0.30              | +0.45               | +0.15      |
| Modulus of rupture (MPa)     | 110°C-24h                      | 5.9                | 6.9                 | 4.5        |
|                              | 1000°C-3h                      | 11.8               | 9.8                 | 10.5       |
|                              | 1500°C-3h                      | 14.7               | 14.7                | 11.0       |
| Cold crushing strength (MPa) | 110°C-24h                      | 33.3               | 25.5                | 25.0       |
|                              | 1000°C-3h                      | 65.7               | 58.8                | 60.0       |
|                              | 1500°C-3h                      | 73.5               | 112.8               | 75.0       |
| Apparent porosity (%)        | 110°C-24h                      | 16                 | 13                  | 15         |
|                              | 1000°C-3h                      | 17                 | 16                  | 18         |
|                              | 1500°C-3h                      | 17                 | 17                  | 18         |
| Supply list                  |                                | A : 85t<br>B : 20t | B : 100t<br>B : 20t | B : 100t   |

て高耐食性を有するFRX-A80-D11もラインナップしている。

## 5. 電気炉炉蓋用プレキャストブロック

電気炉炉蓋は中心の小天井部と外周の大天井部から構成されている。過去には、小天井部に高アルミナ質ラミング材、大天井部に珪石れんがあるいは不焼成マグクロれんがが広く使用されていた。現在は、外周部の水冷化が進み、中心の小天井部のみに耐火物が使用され、耐食性、耐熱スポーリング性に優れるクロム含有アルミナ質プレキャストブロックが用いられることが一般的となっている。当社では、小天井部、大天井部の使用条件に応じたさまざまな製品をラインナップしている。Table 4に炉蓋用として使用実績のあるプレキャストブロックの代表品質を示す。高アルミナ質CST-A72PBは耐熱スポーリング性に優れた特性を有している。また、クロム含有アルミナ質CST-A720PBは耐食性と耐熱スポーリング性の両立を実現しており、実炉で高い評価を受けている。

## 6. マッド材

マッド材は高炉の出銑口閉塞材として以外にも

applications; repair of hearth itself, filling gaps around EBT tube during EBT tube installation, and repair of peripheral area of EBT tube. The typical properties of the carbon-bonded hot casting repair mixes are summarized in Table 3. Magnesia FRX-A80-D11 is the base material with general versatility. FRX-M70-D3, which is the material developed on the bases of FRX-A80-D11, shows excellent corrosion resistance particularly for low basicity slag.

## 5. Precast Blocks for Furnace Lid

The EAF lid is comprised of a central small ceiling part and circumferential large ceiling part. In the past, high alumina ramming mixes were widely used for the small ceiling part and silica bricks or unburned magnesia-chrome bricks were widely used for the large ceiling part. Nowadays, refractories are generally used only for small central ceiling part because water cooling technology has been applied to the periphery.

As refractories for the small central ceiling part, chrome-containing aluminous precast blocks are widely applied due to high corrosion resistance and superior thermal shock resistance. We have various lineups of refractories for the small ceiling part as well as large ceiling part in order to adjust the properties for individually varying operating condition. The typical properties of successfully applied precast blocks for the EAF lid are provided in table 4. CST-A72PB (high alumina) shows superior thermal shock resistance. CST-A720PB (chrome-including alumina) is used in many actual EAFs because of superior corrosion resistance and thermal shock resistance.

## 6. Taphole Clay

Along with the blast furnace (BF), taphole clay is used for plugging the molten metal

Table 5 Properties of taphole clay for electric arc furnace and blast furnace

| Brand name                   |                                | CAM-CC-4  | CAM-AS-14  | CAM-AA-3                    | CAM-AN-28     |
|------------------------------|--------------------------------|-----------|------------|-----------------------------|---------------|
| Application for              |                                | Slag hole | Metal hole |                             | Blast furnace |
| Chemical composition (mass%) | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 13        | 35         | 34                          | 25            |
|                              | SiO <sub>2</sub>               | 41        | 6          | 6                           | 14            |
|                              | C                              | 24        | 16         | 17                          | 14            |
|                              | SiC                            | —         | 19         | 19                          | 28            |
|                              | Special additives              | —         | 10         | 10                          |               |
| Cold crushing strength (MPa) | 1500°C-3h                      | 12.6      | 17.6       | 18.2                        | 41.3          |
| Apparent porosity (%)        | 1500°C-3h                      | 29.6      | 35.8       | 35.5                        | 23.7          |
| Bulk density (-)             | 1500°C-3h                      | 1.61      | 1.91       | 1.92                        | 2.22          |
| Remarks                      |                                |           |            | Improved spreading property |               |

ガス化溶融炉や非鉄金属の精錬炉、合金鉄用電気炉の出湯口の閉塞材としても使用されている。Table 5に合金鉄用電気炉向けマッド材と代表的な高強度低気孔率タイプの高炉向けマッド材製品についてまとめた。合金鉄用電気炉向けマッド材はいずれも高炉向けマッド材に比べて低強度高気孔率である。高炉向けマッド材は、高炉の大型化にともなう高出鉄操業に対応するため、高強度低気孔率化へとシフトしていった。さらに、窒化珪素原料の活用により出鉄時間の延長効果が認められ、原単位低減が図られるようになった。一方、高炉向け以外のマッド材は、バインダー含有量が多く低強度高気孔率である場合が多い。これは、一般的に電気炉などは高炉に比べて小型な炉であるため、付帯設備であるマッドガンや開孔機もコンパクトで簡便なタイプが多く、それゆえ、閉塞開孔作業に支障をきたさないように充填性と開孔性を重視した材質設計にしているためである。

合金鉄用電気炉の出湯口の特徴として、スラグ孔とメタル孔とが別々に独立して存在する構造になっている (Fig.5)。高炉の出鉄口とは異なり、スラグ孔からは溶融スラグを排出し、メタル孔からは溶融メタルを排出する操業を行っている。従って、それぞれの出湯口に適した材質を選定する必要があり、スラグ孔にはスラグ排出性と耐スラグ性を両立させるためシリカ、カーボンリッチな材

tapping hole of the gasification melting furnace, nonferrous metal refining furnace and ferroalloy smelting EAF. Table 5 shows the typical properties of taphole clays for ferroalloy smelting EAFs and BF. The taphole clay for BF has been improved to achieve high strength and low apparent porosity in accordance with increase in productivity associated with enlargement of BF inner volume, which tends to intensify the load to taphole clay. Furthermore, applying silicon nitride as raw material achieves long tapping time in BF, resulting in lower unit consumption of taphole clay. On the other hand, taphole clay for uses other than the blast furnace exhibits lower strength and higher apparent porosity since it generally includes a large amount of binder. These features are necessary for EAF taphole clays since the ability of the mud-gun and drilling machines used with EAFs are poorer than those for BF. Therefore, we designed a material focusing on stable injection and easy drilling properties.

Ferroalloy smelting EAFs have a separate metal taphole and slag taphole (Fig.5). Unlike blast furnace operation, molten slag and metal are discharged from the slag taphole and metal taphole, respectively. Therefore, taphole clay should be suitably selected for each taphole. For

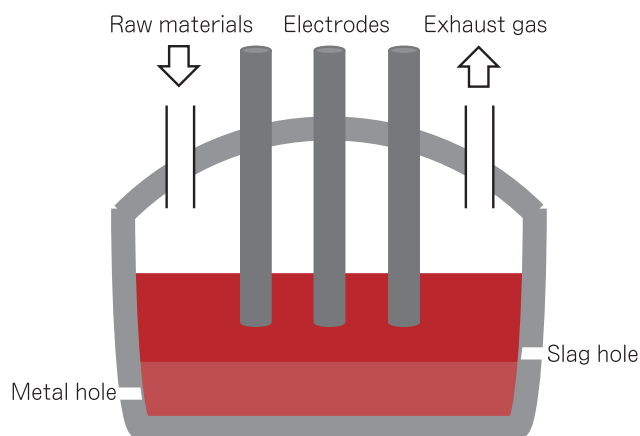


Fig.5 Schematic illustration of electric arc furnace for ferroalloy.

質が適している。

一方、メタル孔では耐メタル性に優れるアルミナリッチな材質が適している。しかしながら、高炉には充填されたマッド材を保持するものとして、炉内部にコークス等が存在するのに対し、電気炉内部にはマッド材を保持するものがないため、深度が確保しにくく、メタル孔付近の炉内側の炉壁れんがの損傷が大きくなる場合があり、マッド材の材質改良による炉壁れんがの保護が期待されている。このような電気炉特有の使用条件に対応すべく、炉壁れんがへの付着性向上を期待して、展開性向上を図った改良品CAM-AA-3を実機へ適用したところ、従来品CAM-AS-14よりも安定した深度を確保できる結果を得た。マッド材の展開性の評価方法および評価結果をFig.6, 7に示す。マッド材の展開性は、直進方向と横方向に穴の開いた試験ホルダーを用いてマッド材を押し出したときの直進方向と横方向に排出されるマッド材の重量比  $((Y1 + Y2)/X)$  によって評価している。この重量比が大きいほど展開性が良い特性であることを示している。

## 7. 出鋼樋

電気炉の出鋼樋用耐火物には、耐食性のほか、耐摩耗性、耐スポーリング性が求められる。材質は、アルミナ・炭化珪素・カーボン質が主体であ

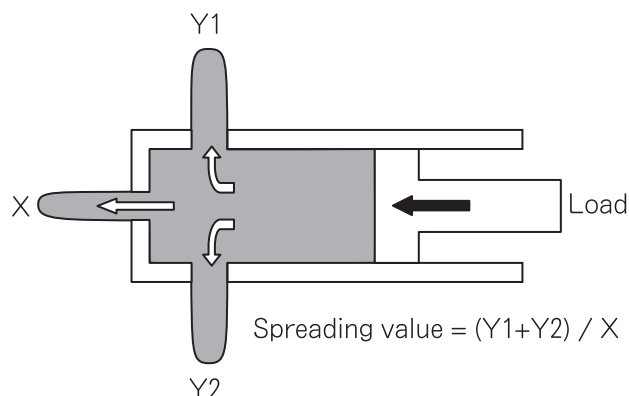


Fig.6 Schematic illustration of spreading property measurement.

the slag taphole, carbon-rich siliceous material is suitable in order to achieve sufficient slag drainage efficiency as well as slag corrosion resistance. On the other hand, alumina-rich material, which is superior in metal corrosion resistance, is suitable for the metal taphole. However, it is difficult to keep a stable taphole length because nothing prevents taphole clay from floating up by buoyancy, just like the coke packed layer in a BF hearth. Hence, serious damage of wall brick around the molten metal entry point occasionally occurs.

In order to deal with this issue, CAM-AA-3, which has improved spreadability in the furnace after injection, was used in an actual EAF. As a result, the taphole length became longer and more stable than that of conventional taphole clay CAM-AS-14. The evaluation method and results of spreadability are shown in Figs. 6 and 7, respectively. Spreadability is evaluated by the discharged weight ratio of injection direction and perpendicular direction, i.e.,  $(Y1+Y2)/X$ . A large value of this ratio means it is a material with good spreadability.

## 7. EAF Launder

As for EAF launder material, abrasion resistance and thermal spalling resistance are

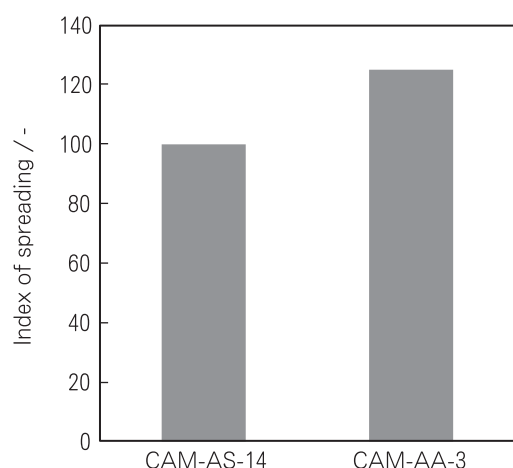


Fig.7 Index of spreading for CAM-AA-3 based on CAM-AS-14.

り、れんがやプレキャストブロック、緻密質プレキャストブロックのHARTROCK等が適用されている。Table 6に代表的なプレキャストブロック製品についてまとめた。CST-AT-319PBは耐食性を重視してアルミナを増量し、焼結抑制と耐スポーリング性を向上させるためにカーボンを増量した材質である。この製品を実機に適用したところ、従来品CST-AL-15PBよりも大幅な耐用向上が認められた。そのほかにも、各ユーザーにお

required as well as corrosion resistance. EAF launder mainly consists of  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -SiC-C material and is supplied as bricks, precast blocks and HARTROCK which is high density precast blocks. Table 6 shows the typical properties of precast blocks for EAF launder. CST-AT-319PB, which contains a larger amount of alumina and carbon, shows superior corrosion resistance and spalling resistance. High corrosion resistance is achieved by increasing the amount of alumina and increase in carbon content suppresses excessive sintering, resulting in improvement of spalling resistance.

By application of this material to a commercially operated EAF launder, considerable improvement in durability was recognized in comparison with conventional material CST-AL-15PB. In addition,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{SiO}_2$  precast block CST-A6321PB and  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - $\text{Cr}_2\text{O}_3$  precast block CST-A8165PB also achieved a longer service life in commercial application because of their excellent corrosion resistance and thermal spalling resistance. Moreover, it is advantageous for precast blocks and HARTROCK to be applicable in various shapes, e.g., whole launder

Table 6 Properties of precast blocks for EAF launder

| Brand name                   |                         | CST-AL-15PB | CST-AT-319PB | CST-A6321PB | CST-A8165PB |
|------------------------------|-------------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
| Chemical composition (mass%) | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | 70          | 75           | 72          | 77          |
|                              | $\text{SiO}_2$          | 9           | 2.5          | 22          | —           |
|                              | SiC                     | 15          | 15           | —           | —           |
|                              | C                       | 2           | 3            | —           | —           |
|                              | $\text{Cr}_2\text{O}_3$ | —           | —            | —           | 20          |
| Linear change (%)            | 110°C-24h               | -0.03       | -0.02        | +0.03       | —           |
|                              | 1000°C-3h               | 0.00        | -0.01        | -0.25       | —           |
|                              | 1500°C-3h               | +0.80       | +0.18        | +0.51       | —           |
| Modulus of rupture (MPa)     | 110°C-24h               | 8           | 6            | 15          | 8           |
|                              | 1000°C-3h               | 4           | 5            | 20          | 24          |
|                              | 1500°C-3h               | 11          | 7            | 17          | 28          |
| Apparent porosity (%)        | 110°C-24h               | 15.6        | 14.7         | 12.9        | 11.0        |
|                              | 1000°C-3h               | 22.7        | 15.6         | 16.9        | 15.9        |
|                              | 1500°C-3h               | 20.8        | 15.7         | 18.4        | 17.3        |
| Bulk density (-)             | 110°C-24h               | 2.80        | 3.09         | 2.67        | 3.41        |
|                              | 1000°C-3h               | 2.70        | 3.06         | 2.63        | 3.38        |
|                              | 1500°C-3h               | 2.68        | 3.06         | 2.61        | 3.31        |

いてアルミナ・シリカ質のプレキャストブロック CST-A6321PBやアルミナ・クロム質のプレキャストブロック CST-A8165PBを実機に適用したところ、耐食性と耐スポーリング性の両立による耐用向上が認められ、それぞれ工程化に至っている。また、樋全体を一体化して製品として提供できるプレキャストブロックやHARTROCKは、品質特性を維持しつつ、さまざまな形状に適用できる利点がある。今後も既存の材質系や形状にとられない柔軟な材質設計思想により、各ユーザーのニーズに応じた材料提案を行っていく。

## 8. 結言

本報では、最近の当社における電気炉用不定形材料の開発製品について紹介した。日本においてはエネルギーと環境の観点から、効率の向上と多様な原料への対応を図った電気炉プロセスの変革は今後も継続し、それに対応した耐火物の開発が望まれている。このような状況のなかで電気炉用不定形耐火物および補修材の担う役割は非常に大きいと考えられる。今後も、補修方法も含めた材料の改良・開発に努め、電気炉の円滑な操業に寄与したいと考える。

monoblock, without property fluctuations since they are made of monolithic refractories.

We will continue to suggest suitable material according to customer requirements. We remain flexible in thinking, and try to remain free from conventional ideas when designing materials and shapes.

## 8. Conclusion

In this article, the developed monolithic products and precast blocks for EAFs were introduced. From the viewpoint of energy and the environment in Japan, it is natural to assume that innovation in EAF processing technologies will continue for the purpose of efficiency improvement and utilization of various kinds of steel scrap as raw materials. Further development of the refractories is required in order to optimize properties for the various operating conditions. Monolithic refractories for EAF initial linings and repair materials should play important roles. We will continue to develop and improve not only material but also the installation method to ensure stable EAF operation.