

SDGs, カーボンニュートラルに 貢献可能な乾燥不要な吹き付け材の開発

Development of gunning material that can contribute to SDGs and carbon neutrality without drying process and results of application to an actual furnace.

古賀正徳*, 徳富篤史**, 松永隆志***, 西 敬****, 井手浩二*****

Masanori KOGA*, Atsushi TOKUTOMI**, Takashi MATSUNAGA***,
Takashi NISHI**** and Koji IDE*****

要 旨

耐火物でのSDGs(13:気候変動に具体的対策を),カーボンニュートラルに貢献をするための最優先課題としては,耐火物施工体の乾燥工程を省略することである。今回セメントを全く含有しない施工材料および施工法の検討を重ねた結果,乾燥工程を必要としない施工材料および施工方法の開発に至った。ここにその開発内容及び実機結果を記載する。

Abstract

In order to contribute to SDGs (13: Take urgent action to combat climate change and its impacts) and carbon neutrality in the refractory field, the top priority is omitting drying process of constructed refractory body. As a result of our studies on construction method and material that do not contain cement at all, we have developed materials and methods that do not require a drying process. Details of the development and results are described.

1 緒言

一般ごみ・産業廃棄物・バイオマス発電ボイラーなどの環境炉や非鉄処理炉において,ライニング材および補修材として主に乾式吹き付け工法が広く適用されている。一般的な乾式吹き付け材は,結合剤としてアルミナセメントを含有しており,セメントの水和物生成によって強度が発現し,施工体を形成する。施工時に吹き付け材の粉体は高圧のエアで搬送され,ノズル部で水と混合し,吹き付けされる。形成された施工体には水分及びセメントの水和物があるため,使用に供する前にこれらの乾燥・脱水が必要となる。

緻密な施工体から水分を除去する乾燥には長時間を要するため,補修工期が長くなる一因となって

1 Introduction

Dry spraying method is widely applied mainly as lining material and repair material in environmental furnaces and non-ferrous treatment furnaces such as general refuse, industrial waste and biomass power generation boilers. Common dry sprays contain alumina cement as a binder, which gives strength by hydrate formation of the cement and forms the workpiece. During construction, the powder of the sprayed material is transported by high-pressure air, mixed with water at the nozzle, and sprayed. Since the formed construction body has moisture and cement hydrates, these drying and dehydration are required before service.

It takes a long time to dry the dense workpiece to remove moisture, which prolongs repair period. In addition, during drying, a large amount of CO₂ is emitted because fossil fuels such as heavy oil are

* 不定形製造事業部 不定形技術部 マネージャー Manager, Monolithic Refractories Technology Dept., Monolithic Refractories Div.
** 不定形製造事業部 不定形技術部 Monolithic Refractories Technology Dept., Monolithic Refractories Div.
*** 執行役員 不定形製造事業部長 Corporate Officer, Senior General Manager, Monolithic Refractories Div.
**** 不定形製造事業部 不定形技術部 部長 General Manager, Monolithic Refractories Technology Dept., Monolithic Refractories Div.
***** 不定形製造事業部 不定形技術部 グループ長 Group Manager, Monolithic Refractories Technology Dept., Monolithic Refractories Div.

いる。また、乾燥では重油などの化石燃料をバーナーで燃焼して昇温するため、多量のCO₂が排出される。

今回、乾燥工程の省略、及びCO₂排出量の削減が可能となり、SDGsの目標のひとつ「13.気候変動に具体的な対策を」に貢献できる乾燥不要な吹き付け材を開発し、実炉での適用実績が得られたため報告する。

2 乾燥不要な吹き付け材の開発

2・1 A社における産廃ストーカー式焼却炉の概要と操業温度

A社産業廃棄物ストーカー式焼却炉の概要と部位ごとのおおよその操業温度を図1に示す。高温にさらされることより、ライニング耐火物としては、アルミナ含有量が高く、強度が高い施工体となるアルミナセメント含有流し込み材料が使用されてきた。その問題点としては、緻密な施工体であるため、乾燥時間が長く、時として爆裂現象が生じていた。

burned by burners to raise the temperature.

This time, we have developed a spray material that does not need to be dried and can contribute to one of the goals of the SDGs "13. Take urgent action to combat climate change and its impacts" by omitting the drying process and reducing CO₂ emissions, and we report the results of application in an actual furnace.

2 Development of spray materials that do not require drying

2・1 Outline and operating temperature of industrial waste stoker incinerator at Company A

The outline of the Company A's industrial waste stoker incinerator and the approximate operating temperature for each part are shown in Fig. 1. Alumina cement-containing castables have been used as lining refractory because they are durable under high temperature and high strength. As a problem, the drying time was long due to the dense construction body, and the explosion spalling sometimes occurred. As a repair method, a dry spraying method was used, but this material also required a long drying time because it was a cement-containing material.

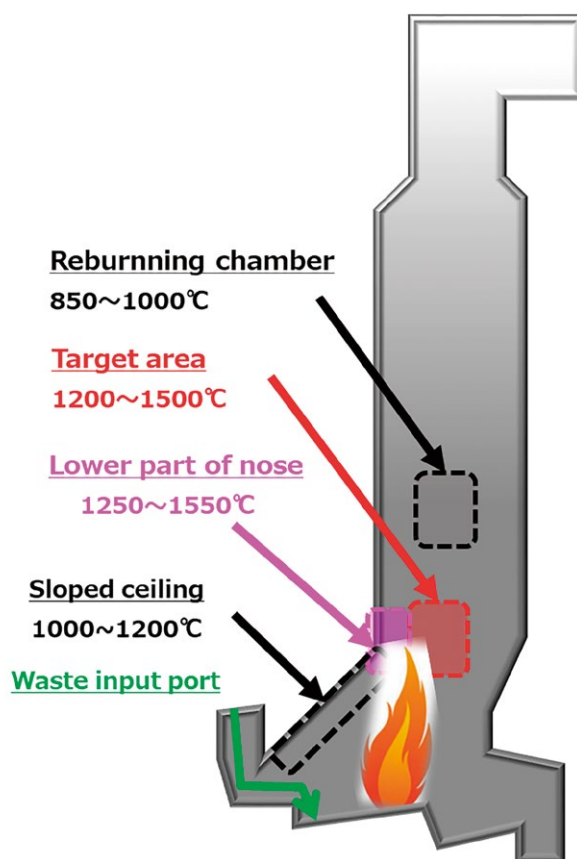


Fig. 1 Overview of Company A's industrial stoker-type waste incinerator.

また、補修方法として、乾式吹き付け方法による補修が実施されていたが、セメント含有材料であるために、この材料においても長時間の乾燥時間が必要であった。

2・2 従来耐火物の乾燥工程による CO₂ 排出量

A 社産業廃棄物ストーカー式焼却炉における定期補修工事での乾燥パターンを図 2 に示す。乾燥パターンは、炉の耐火物ライニング厚みとライニングされた材料の緻密性より昇温のスケジュールを設定するが、これまで 90 h の乾燥が余儀なくされていた。この時の燃料使用量は A 重油で 40.5 kl であり、二酸化炭素排出係数 (A 重油:2.71t-CO₂·kl⁻¹)¹⁾ より換算すると、約 110 t もの CO₂ 排出量に相当する。

2・3 乾燥不要な吹付材のシステム概要とその効果

今回、施工後に乾燥をせずに炉の立ち上げを可能とすることを目標とした。これまで乾燥工程を必要としていた理由は、吹き付け施工中に添加した水分を除去するためであり、乾燥工程途中での爆裂を回避するために昇温をゆるやかに長時間を掛けて行う必要があった。従来、爆裂の防止を目的に、乾燥工程で耐火物内部の蒸気圧が高くないよ

2・2 CO₂ emissions from conventional refractory drying processes

Figure 2 shows the drying pattern in the periodic repair work in the stoker incinerator of Company A industrial waste. Drying patterns was decided based on the refractory lining thickness of the furnace and the denseness of the lined material, but 90 hours of drying had been forced so far. The amount of fuel used at this time was 40.5 kl of A-grade heavy oil, which corresponds to about 110 t of CO₂ emissions when converted from the carbon dioxide emission factor (A-grade heavy oil: 2.71 t-CO₂·kl⁻¹)¹⁾.

2・3 System overview of spray materials that do not need to be dried and their effects

This time, the goal was to make it possible to start up the furnace without drying it after construction. The reason why the drying process has been necessary so far is to remove the moisture added during the spraying process, and it has been necessary to increase the temperature slowly over a long period of time to avoid explosion during the drying process. Conventionally, for the purpose of preventing explosion spalling, drying is carried out for a long time while controlling the temperature so that the vapor pressure inside the refractory does not increase during the drying process. In order to make a material that does not need to be dried, it is important that it does not explode even if it is heated rapidly, and for this, it is necessary to have high permeability. Therefore, a material system that does not use cement was considered in order to increase steam permeability,

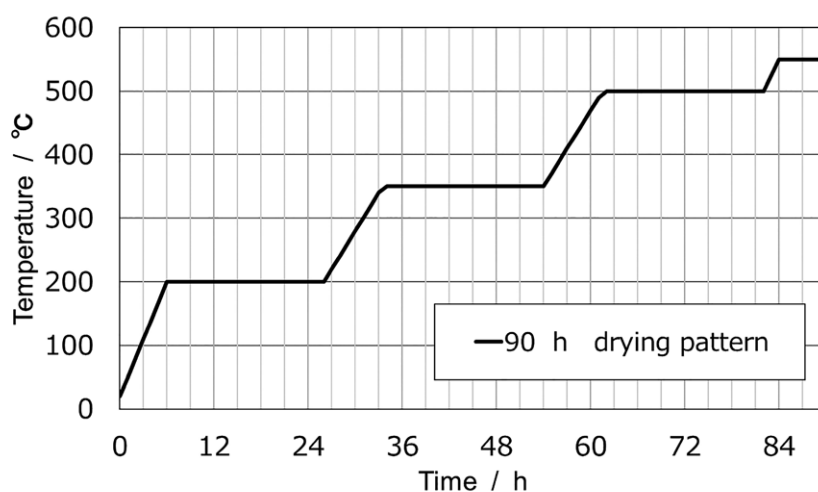


Fig. 2 Refractory drying pattern at Company A.

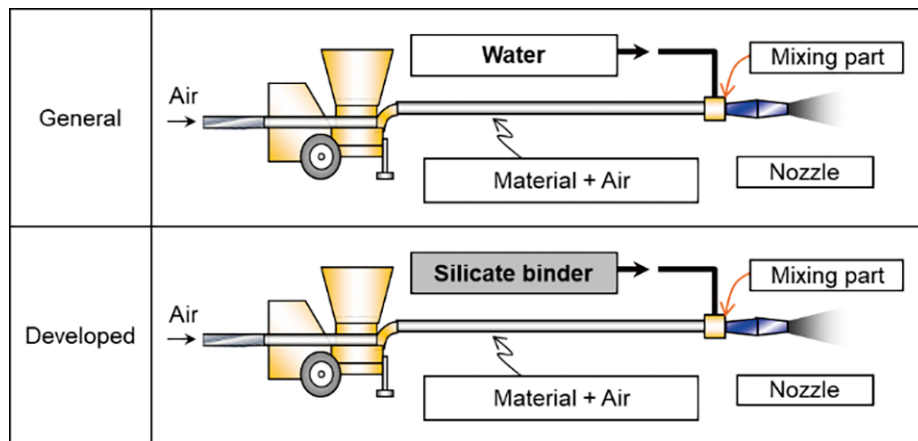


Fig. 3 Comparison of general gunning system and developed gunning system.

うに温度をコントロールしながら長時間乾燥を実施している。乾燥不要な材料とするためには、急加熱しても爆裂しないことが重要であり、そのためには高い通気性を有していることが必要である。そこで、通気性を高めるためにセメントを使用しない材料系を考えたが、一方でセメントを使用しない場合、強度の低下による爆裂が懸念されるため、強度低下は極力抑える必要があった。

一般的な乾式吹き付け工法では、**図 3** に示すとおり粉体と水をノズル部で混合する。この手法では、粉体中に配合した結合剤を水に溶解させた後に材料の凝集を瞬時に発現させる必要があるため、過剰な水分が必要になる場合が多い。さらには結合剤の溶解不足によって分散性が低下し、施工体の組織も不均質になりやすい。

これらの課題に対し、今回の検討材料では水の代わりに珪酸系溶液を用いることで、強度の向上を図った。なお、この系は従来水を通していたラインに珪酸系溶液を適用するのみであることから、一般的な乾式吹き付け装置での施工が可能である。

2・4 材料品質特性

表 1 に A 社で使用されてきた従来のセメント系吹き付け材 (材料 a)、今回開発した液状珪酸系バインダーを使用した材料 (材料 b)、および比較材料として、粉末珪酸系バインダーを使用した材料 (材料 c) の品質を示す。これらの品質は、所定の液

but on the other hand, when cement is not used, it is necessary to suppress the decrease in strength as much as possible because of the concern of explosion spalling due to the decrease in strength.

In the general dry spraying method, powder and water are mixed at the nozzle as shown in **Fig. 3**. In this method, excessive moisture is often required because the agglomeration of the material occur instantaneously after dissolution of the binder formulated in the powder into water. In addition, due to the lack of dissolution of the binder, the dispersability decreases, and the structure of the workpiece tends to become heterogeneous.

To address these issues, silicate solutions were used instead of water in the materials studied in this study to improve their strength. Since this system only applies a silicic acid solution to the line in which water was conventionally passed. Therefore, it is possible to apply conventional gunning system.

2・4 Material quality characteristics

Table 1 shows the quality of the conventional cementitious sprays used by Company A (material a), the materials using the newly developed liquid silicic binder (material b), and the materials using the powder silicic binder (material c) as a comparison material. These qualities were measured in samples molded to a size of 160 × 40 × 40mm from the material kneaded with a given liquid volume.

By changing the binder from powder (material c) to solution (material b), the strength after drying at 110°C for 24 hours and the strength after firing at 1400°C for 3 hours were improved.

Table 1 Properties of materials containing 70% of Al₂O₃
a: conventional (alumina cement binder), b: developed (liquid silicic binder),
c: conventional (powder silicic binder).

Material Number	a	b	c
Type of Binder	Cement	Liquid Silicate	Powder Silicate
Chemical composition / mass%			
Al ₂ O ₃	70	71	72
SiO ₂	23	20	19
CaO	4		
Permanent linear change / %			
After firing 1400 °C×3 h	-1.2	-0.2	-2.7
Bulk density / g·cm ⁻³			
After drying 110 °C×24 h	2.29	2.30	2.18
After firing 1400 °C×3 h	2.30	2.29	2.38
Modulus of rupture / MPa			
After drying 110 °C×24 h	8	5	3
After firing 1400 °C×3 h	11	16	13
Cold crushing strength / MPa			
After drying 110 °C×24 h	31	18	4
After firing 1400 °C×3 h	49	73	81

量で混練した材料を 160 × 40 × 40 mm のサイズに成形したサンプルにて測定した。

結合剤を粉体 (材料 c) から溶液 (材料 b) に変更したことで、110 °C × 24 h 乾燥後の強度および 1400 °C × 3 h 焼成後の強度が向上している。

また、液状珪酸バインダーを使用したことで、トータルの添加液量を減量できたことから焼成後収縮率も減少に至っている。

3 乾燥性

3・1 通気性

爆裂を防止する方法としては材料の通気性を大きくして、材料内部に発生する水蒸気圧を小さくすることが有効である。図 4 に材料 a, b の 110 °C × 24 h 加熱後、250 °C × 3 h 加熱後の通気率を示す。開発材料 b はセメント系吹き付け材 a よりも、通気率が大幅に高いことがわかる。これはセメントを含まないためにカルシウムアルミネート水和物を生成しないことによる効果と推定される。

3・2 急加熱時の内部蒸気圧の推定

材料 b について急加熱時に発生する内部蒸気圧

In addition, the use of liquid silicate binders reduced the total amount of added liquid, resulting in a decrease in shrinkage after firing.

3 Dry

3・1 Permeability

As a method to prevent explosion, it is effective to increase the permeability of the material and reduce the water vapor pressure generated inside the material. Figure 4 shows the aeration rates of materials a and b after heating at 110°C for 24h and 250°C for 3h. It is found that material b has a much higher aeration rate than cementitious sprayed material a. This is presumed to be the effect of not producing calcium aluminate hydrate because it does not contain cement.

3・2 Estimation of internal vapor pressure during rapid heating

To estimate the internal vapor pressure generated during rapid heating for material b, a drying test with rapid heating was carried out using samples with embedded thermocouples and electrodes. Schematic diagrams of the sample and surrounding members are shown in Fig. 5. The samples were placed in a cylindrical steel frame to prevent furnace from damage in case of an explosion, and insulation wool was attached to the bottom and sides to heat from top one side as much as possible.

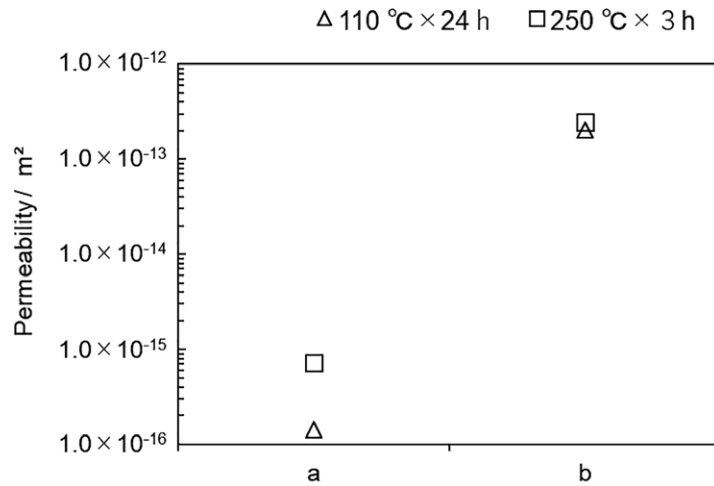


Fig. 4 Permeability of material a and b.

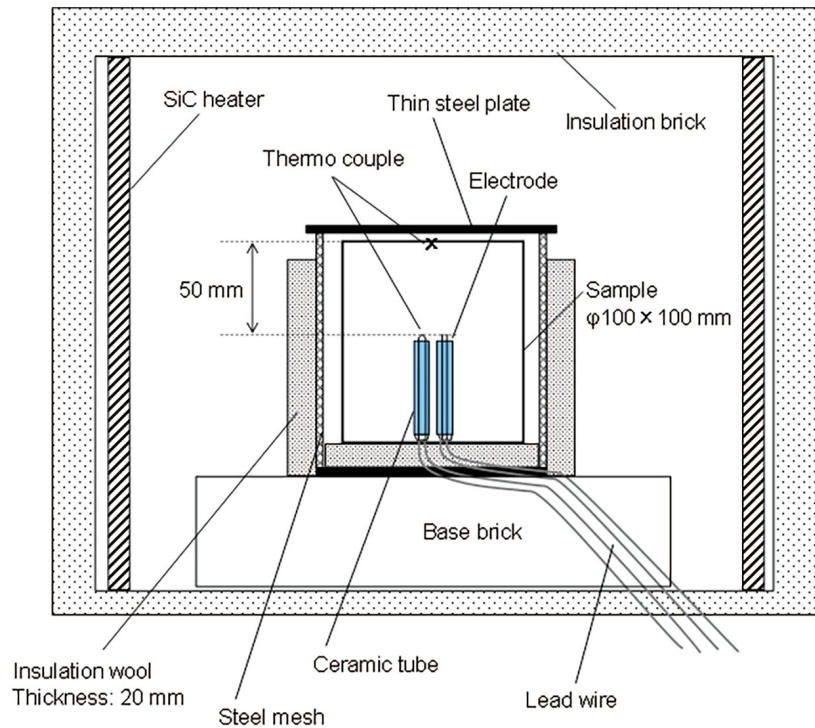


Fig. 5 Schematic figure of the testing setup to obtain estimated value of internal vapor pressure during drying. Sample size: 100mm in diameter and 100mm in height.

を推定するために、熱電対と電極を埋め込んだ試料を用い、急加熱による乾燥試験を実施した。試料および周辺部材の概略図を図5に示す。試料は万一の爆裂に備えて円筒型の金枠内に配置し、また、できるだけ上面からの片面加熱となるように底面と側面に断熱ウールを取り付けた。電極および熱電対は絶縁性と密閉性を考慮してセラミックチューブに通した上で隙間を耐熱シール材で充填し

The electrodes and thermocouples were passed through a ceramic tube in consideration of insulation and sealability, and the gap was filled with a heat-resistant sealant.

The electrode embedded inside the material is used to measure the electrical resistance value inside the material, and the moisture content inside the material can be known from the electrical resistance value. When water content is sufficient, the internal vapor pressure roughly matches the saturated vapor

た。内部に埋め込んだ電極は材料内部の電気抵抗値の測定に用いられ、電気抵抗値から材料内部の含水状態を知ることができる。含水が十分にある場合、内部蒸気圧は飽和蒸気圧曲線とおおむね一致する²⁾ので、電気抵抗値と熱電対により得られた温度とを合わせて用いることで、内部蒸気圧の推定が可能である³⁾。評価には表1に示す材料bを用い、電気炉の温度条件は650℃とした。

図6に試験結果の一例を示す。材料の内部温度は加熱開始から約800sで100℃程度となり、約1000sまでその温度を維持している。この間の電気抵抗値は低く、まだ含水した状態であることを示している。その後約1350sから電気抵抗値が増加しており、電極を埋め込んだ試料中央部の含水量が低下したことが推察される。内部蒸気圧の推定値を図6に併せて示しており、その値は、最大で0.04MPa程度と本材料の強度と比較して非常に小さく、爆裂を引き起こすほどの内部蒸気圧は発生しないことが分かった。なお、試料は試験後に切断して断面を観察したが、内部亀裂などは確認できなかった。

3・3 実際の吹き付け施工体の急加熱試験

材料bは、急加熱時の内部蒸気圧が非常に小

pressure value²⁾, so it is possible to estimate the internal vapor pressure by using the electrical resistance value together with the temperature obtained by the thermocouple³⁾.

Figure 6 shows an example of the test results. The internal temperature of the material becomes about 100℃ about 800s after the start of heating, and the temperature is kept until about 1000s. The electrical resistance value during this period is low, indicating that the water is still contained. After about 1350s, the electrical resistance increased, suggesting that the water content of the central part of the sample where the electrode was embedded decreased. The estimated internal vapor pressure is shown in conjunction within Fig. 6, and the value is very low, about 0.04 MPa at the maximum, compared with the strength of this material, and it is found that internal vapor pressure does not high enough to cause explosion. The specimen was cut after the test and the cross section was observed, but no internal cracks were observed.

3・3 Rapid heating test of sprayed body

Material b was found to have very low internal vapor pressure during rapid heating and excellent explosion resistance. Next, tests were conducted using a large dry experimental furnace assuming a real furnace from spraying to rapid heating (Figs. 7 and 8). The construction thickness was more than 200 mm, and it was cured at room temperature for

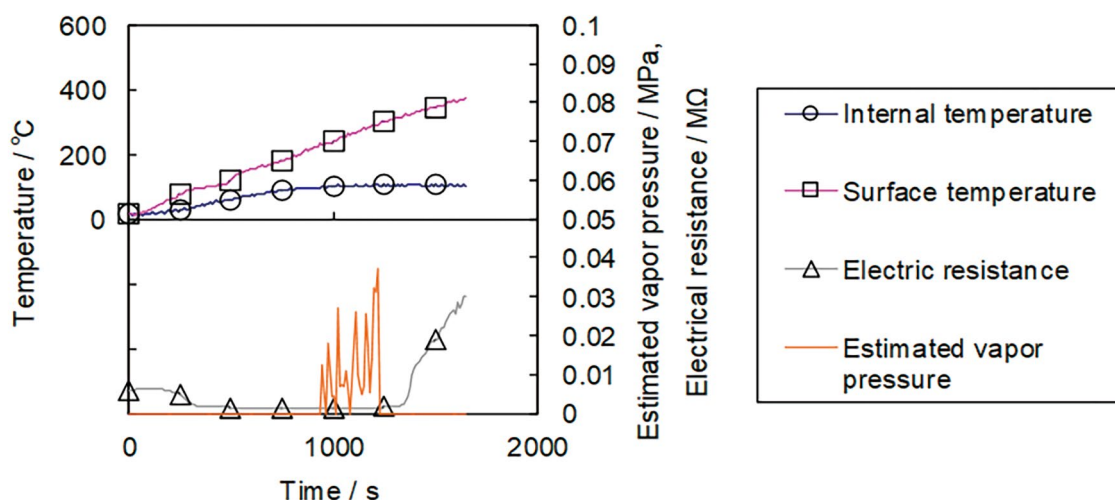


Fig. 6 Estimated internal vapor pressure by measured result of electric resistance.

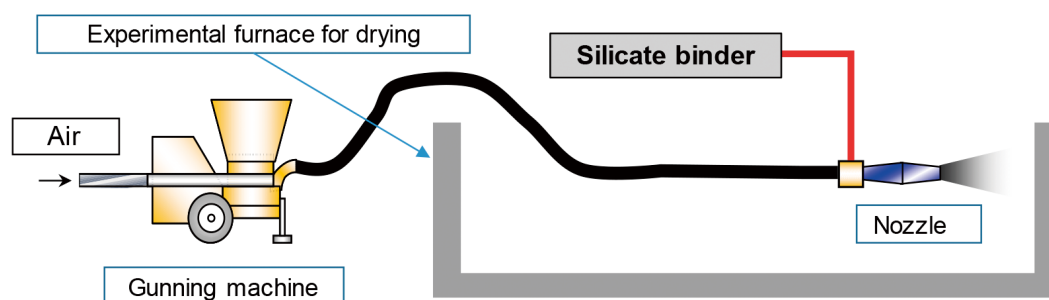


Fig. 7 Schematic figure of gunning system in an experimental furnace.



Fig. 8 Photo of experimental furnace for drying.



Fig. 9 Result of quick heating experimental.

さく、耐爆裂性に優れることがわかった。

次に大型乾燥実験炉を用いて、吹き付けから急加熱までの実炉を想定した試験を実施した(図7, 8)。施工厚みは200 mm以上とし、常温で24 h養生した後に、1 hで800 °Cまで急加熱した。図9に急加熱後の吹き付け施工体の状態を示す。実機を想定した急加熱でも爆裂現象は生じず、施工体に亀裂や剥離も見られず、健全な状態であることが確認できた。

4 アルカリ浸透抑制

ストーカー式焼却炉における耐火物の損傷は、ノーズ上部・ターゲット部においては、アルカリ浸透起因の構造スポールが主体と考えられる。これは、焼却物残渣であるクリンカー中のアルカリ源が高温操業により低粘性化し、施工体内へ浸透し組織の脆弱化を引き起こす現象である。

24 hours, then rapidly heated to 800°C in 1 hour. Fig. 9 shows the condition of the sprayed body after rapid heating. It was confirmed that there was no explosion spalling even in the rapid heating assuming an actual machine, and no cracks or laminations were observed in the construction body, so that it was in sound condition.

4 Alkaline penetration inhibition

Refractory damage in a stoker incinerator is considered to be mainly caused by structural spalls caused by alkali infiltration in the upper part of the nose and the target. This is a phenomenon in which the alkali component in the clinker, which is an incinerator residue, becomes less viscous due to the high-temperature operation, penetrates into the construction body and make it brittle.

In this study, the alkali penetration test of conventional material a in Table 1 and material b, which does not require drying, was carried out with the test contents shown in Fig. 10. From the results of slag analysis by Company A, it was assumed that

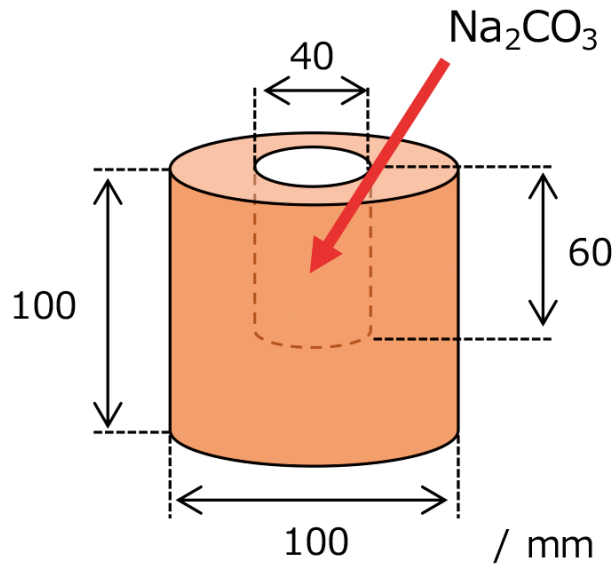


Fig. 10 Crucible shape alkaline penetration test metod.

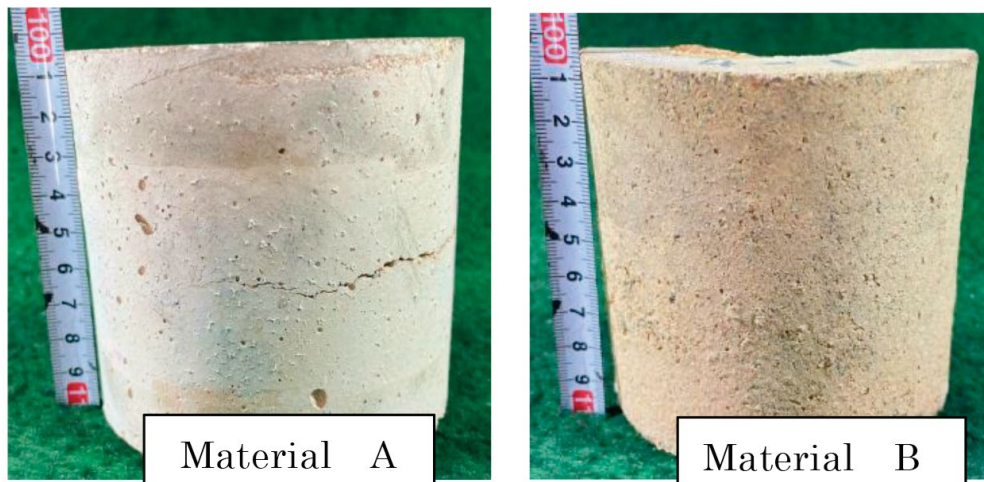


Fig. 11 Photo of sample surface after alkaline penetration test.

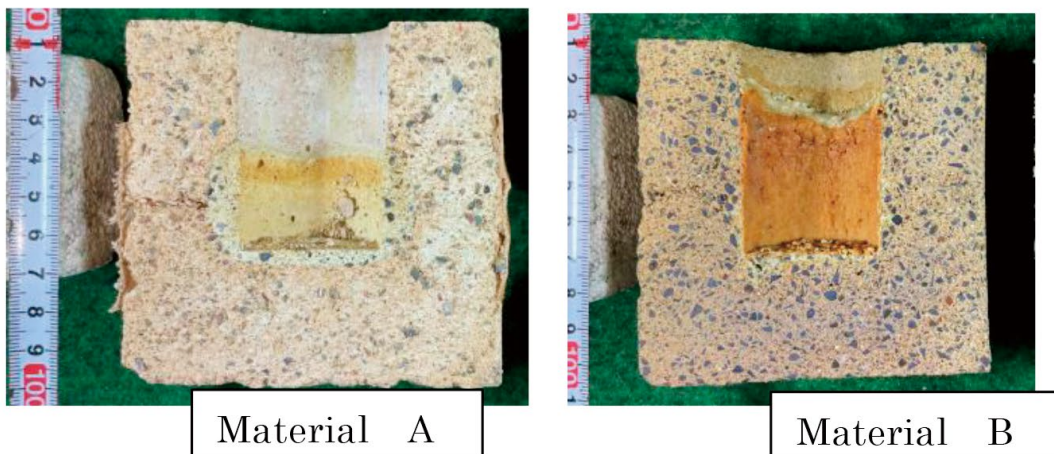


Fig. 12 Photo of sample cut surface after alkaline penetration test.

今回、表 1 の従来材料 a と乾燥不要な材料 b のアルカリ浸透試験を図 10 に示す試験内容で実施した。A 社のスラグ分析結果よりアルカリ成分の中の特に Na_2O が大きな影響を及ぼしているものと推測し、炭酸ナトリウムを浸透剤として使用した。サンプルは直径 100 mm、高さ 100mm の円筒形状に直径 40 mm、深さ 60mm の穴を設けた形状とした。サンプルを 1000 °C で焼成した後、炭酸ナトリウム 21g を投入し、1000 °C で 12 時間焼成した。焼成後サンプルを切断し、アルカリ浸透性を比較した。その結果を図 11, 12 に示す。従来セメント系材料 a は、アルカリ浸透が深く、外周に亀裂が発生、バースティングしている (図 11)。一方、開発材料 b は外周に亀裂は無く、アルカリ浸透が稼働面側で抑えられている (図 12)。

5 母体との接着性

吹き付け材を補修用として用いた場合の損傷形態の一つとして、母材との接着性が弱く接着界面から剥離することが挙げられる。その接着性を評価するため、図 13 に示す装置⁴⁾を用い、アルミナれんがと吹き付け材施工体との常温でのせん断接着強さを測定した。手順は以下の通りである。

Na_2O , in particular, among the alkali components, had a great influence on the slag, and sodium carbonate was used as a penetrant. The sample was formed in a cylindrical shape with a diameter of 100 mm and a height of 100 mm with a hole 40 mm in diameter and 60 mm in depth. The samples were fired at 1000°C, then the hole was filled with 21 g of sodium carbonate and fired at 1000°C for 12 hours. After firing, the samples were cut and alkaline permeability was compared. The results are shown in **Figs. 11 and 12**. Conventionally, the cementitious material a has deep alkali penetration and cracks and bursting in the outer periphery (**Fig. 11**). On the other hand, the developed material b has no crack in the outer circumference and alkali penetration is suppressed on the working surface side (**Fig. 12**).

5 Adhesiveness to the mother

One of the damage which occurs for the sprayed material used as a repair material is that the adhesion to the base material is weak and peels off from the adhesive interface. To evaluate the adhesive properties, we measured the shear bond strength between the alumina brick and the sprayed material workpiece at room temperature using the apparatus⁴⁾ shown in **Fig. 13**. The procedure is as follows.

- ① Place a closure plate with uniform notches on a brick of 60% Al_2O_3 composition. Spray the material into a hole on the closure plate.

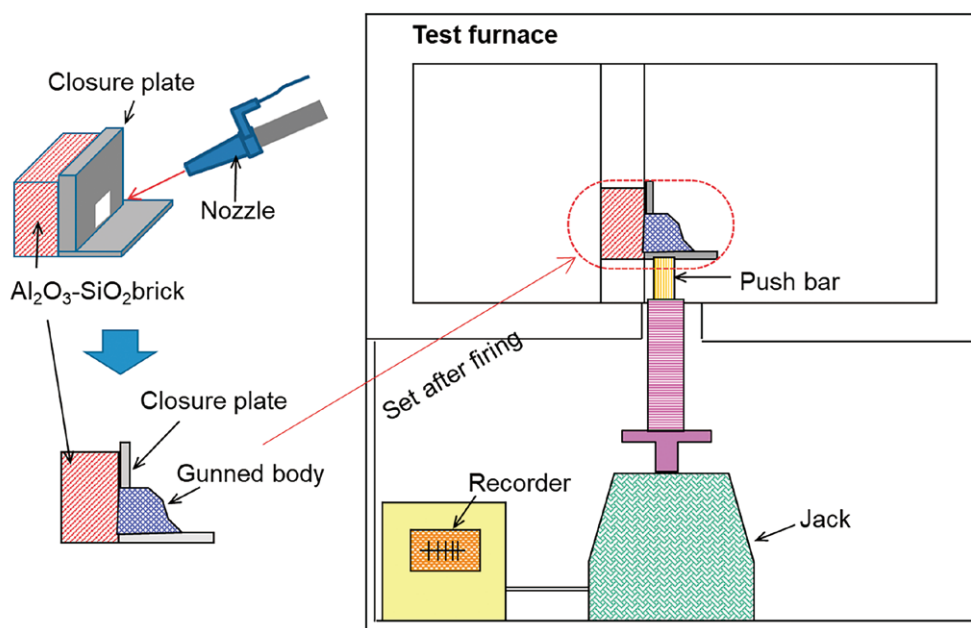


Fig. 13 Schematic of adhesive shear strength measurement method.

- ① Al₂O₃ 組成 60 % のれんがに一様な切り欠きを設けた枠プレートを取り付けて、切り欠き枠内に吹き付け
- ② 吹き付けた施工体をれんが、切り欠き枠と共に加熱処理を実施（加熱処理温度は 110℃, 800℃, 1000℃, 1200℃として、それぞれ 3 h とした）
- ③ せん断接着強さ測定装置上に加熱処理した施工体をセットし、破断強度を測定。

せん断接着強さの結果を図 14 に示す。セメント系の材料 a はせん断接着強さが低く、試験破断面はれんがと吹き付け施工体の界面であったのに対し、珪酸系溶液を使用した材料 b は低温から高温に至るまで接着強さがセメント系の材料 a に比較して 3 倍以上せん断接着強さが高い。特に 1000℃ 処理後のサンプルでは、破断面は吹き付け施工体の内部であった。従って材料 b の接着強さは施工体強度よりも高く、得られた測定結果よりも高いと言える。珪酸系粉末を使用した材料 c は、珪酸系溶液を使用した材料 b よりも、せん断接着強さは低いが、セメント系の材料 a よりも、2 倍以上せん断接着強さは高いものであった。

従来セメント系では得られなかった高接着性が確保できたことで、環境炉などの耐火材ライニングの保護効果が向上し、炉の延命へ大きく貢献できるものと考えられる。

- ② The sprayed construction body was heated with bricks and closure plate.
(The heat treatment temperature was 110, 800, 1000 and 1200°C for 3 hours, respectively.)
- ③ Heat treated workpieces were set on a shear bond strength measuring device to measure breaking strength.

The results of shear bond strength are shown in Fig. 14. While cementitious material a had low shear bond strength and broke at the interface between the bricks and the sprayed workpiece, material b using silicic acid solution had more than three times higher shear bond strength than cementitious material a from low to high temperatures. In particular, in the sample after 1000°C treatment, the fracture surface was inside the sprayed construction body.

Therefore, it can be said that the bond strength of material b is higher than the strength of the workpiece itself, and higher than the measured results. Material c using silicate powder had lower shear bond strength than material b using silicate solution, but more than twice as high shear bond strength as material a using cement solution.

By ensuring high adhesion which was not obtained by conventional cement system, the protective effect of refractory material lining such as environmental furnace is improved, and it is considered to contribute greatly to the life extension of furnace.

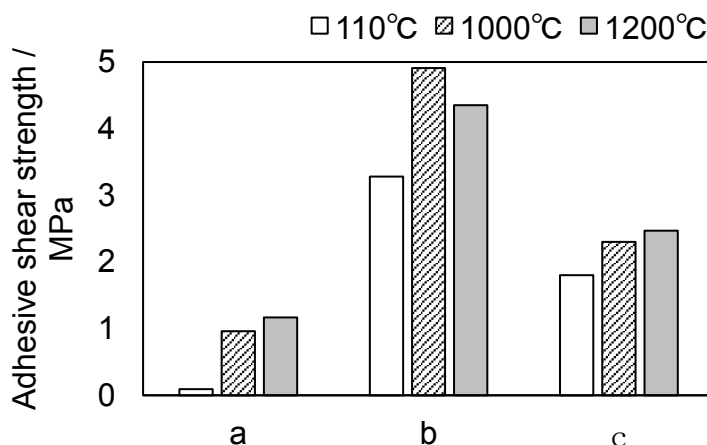


Fig. 14 Adhesive shear strength of various materials.

6 実炉結果

6・1 通常炉内補修への適用結果

開発した材料bをA社産業廃棄物ストーカー式焼却炉に適用した。施工部位は、燃焼帯傾斜天井部、ターゲット部など広範囲に適用され、30～40mmの施工厚みであった。施工状況を図15に示す。リバウンドロス率は5%程度であり、従来のセメント系吹き付け材と同等以上の付着性であった。吹き付け施工体は常温で2日間養生され、水分除去のための緩やかな昇温をすることなく、炉を立ち上げる際の急昇温のみ実施後、操業を開始したものの、爆裂は確認されなかった。

また、炉の稼働から6か月経過後の耐用状況を図16に示す。一部、付着したスラグを剥がしているが、内部はスラグの浸透がほとんどない状態であった。また、従来のセメント系材料では6か月後にほとんどが剥離する状態であったが、開発材の剥離損傷はほとんど見られず、アルカリ浸透抑制および優れた接着性による母体の保護効果が確認できた。

6・2 緊急補修（炉外）への適用結果

A社産業廃棄物ストーカー式焼却炉では燃焼効率を高める操業へ変更されたことで、再燃焼室上部の鉄皮が赤熱する現象が発生した。

そこで材料bを用いて炉外より熱間300℃で緊



Fig. 15 Photo of actual furnace construction.

6 Actual reactor results

6・1 Results of application to normal in-core repair

The developed material b was applied to the Company A's industrial waste stoker incinerator. It was applied to a wide range of areas, such as the combustion zone inclined ceiling and target, and the construction thickness was 30 - 40mm. The construction process is shown in Fig. 15. The rebound loss was about 5%, and the adherence was equal to or higher than that of conventional cementitious sprays. The sprayed construction body was cured at room temperature for two days, and the operation was started after only rapid warming at the time of starting up the furnace without gradual warming to remove moisture, but no explosion was confirmed.

Figure 16 shows the condition of the gunned body after 6 months of operation. Although some of the adhering slag was peeled off, the interior was almost free of slag penetration. Although most of the conventional cementitious materials exfoliated after six months, the developed materials showed little exfoliation damage, confirming the protective effect of the mother body due to alkali penetration suppression and excellent adhesion.

6・2 Results of application to emergency repair (outside furnace)

In the stoker type incinerator of industrial waste of Company A, the steel shell in the upper part of the recombustion chamber became red-hot because the operation was changed to increase the combustion efficiency.

Therefore, an emergency repair was carried out using material b at 300°C hot from outside the



Fig. 16 Photo of gunned body after 6 months.

急補修を実施した。その状況写真を図 17～20 に示す。炉内温度は約 300℃であったが付着性良好であり、厚み 100～150mm でネック部を施工し、その後急昇温で炉の立ち上げが実施され、24 時間で緊急補修が完了した。補修を施した施工体においては、その後 3 ヶ月炉内補修工事が実施されるまで耐用した。

このような鉄皮が赤熱し緊急を要する補修の場合、従来のセメント系の材料では熱間施工が不可能で、炉を常温まで冷却後、常温で吹き付け且つ施工体の乾燥が必要となり、図 21 に示すように最低でも 5 日間の炉の停止が必要であった。しかし、今回開発品である材料 b を用いることで、炉を常温まで冷却することなく炉外からの熱間施工が可能となり、1 日で補修が終了且つ施工体乾燥の時間を要すことなく、すぐに操業が開始できた。これにより、操業停止日数が大幅に短縮でき、操業機会ロス低減へも大きく寄与できた。

7 まとめ

環境炉や非鉄処理炉のライニング材及び補修材として使用される乾式吹き付け工法において、アルミナセメントレスで溶液バインダーを用いた材料を開発し、乾燥不要で操業に供する技術が確立した。

A 社産業廃棄物ストーカー式焼却炉に本開発品を適用した結果、乾燥を必要とせず、図 22 に示すように 78 h の乾燥工程を省くことができ、約 110 t の CO₂ 発生量を抑制することができた。今後の



Fig. 17 Photo of steel shell red-hot part.

furnace. A picture of the process is shown in Figure 17 - 20. The temperature in the furnace was about 300°C, but the adhesion was good. The neck was constructed with a thickness of 100 - 150mm, and the furnace was started up after a rapid temperature rise. The emergency repair was completed in 24 hours. The repaired workpiece lasted for three months after the repair work.

In the case of emergency repair due to the red-hot steel shell, hot construction is impossible with conventional cementitious materials. After cooling the furnace to room temperature, spraying at room temperature and drying of the workpiece is required, which requires stopping the furnace for at least 5 days as shown in Fig. 21. However, by using the newly developed material b, hot construction from outside of the furnace was possible without cooling the furnace to room temperature, and the repair was completed in one day and the operation was started immediately without taking time to dry the workpiece. As a result, the number of days in which operations were suspended could be drastically shortened, and this contributed greatly to the reduction of the loss of operating opportunities.

7 Summary

In spraying method used as lining material and repair material of environmental furnace and non-ferrous treatment furnace, a technology was established using solution binder instead of alumina cement and to make it available for operation without drying.

As a result of applying this developed product to Company A's industrial waste stoker incinerator, drying was not required and 78 hours of drying process could be eliminated as shown in Fig. 22, and CO₂ generation of about 110 t could be suppressed.



Fig. 18 Photo of area to be gunned.



Fig. 19 Photo of gunning process.



Fig. 20 Photo of repaired part.

Days	1	2	3	4	5
Conventional emergency repair method (inside furnace)	Cooling	Cooling	Scaffolding	Gunning, Scaffolding removal	Drying (24hrs)
New repair method (outside the furnace)	Cooling, gunning, heating (Operation)				

Fig. 21 Comparison of number of days between conventional emergency repair pattern and new repair method.

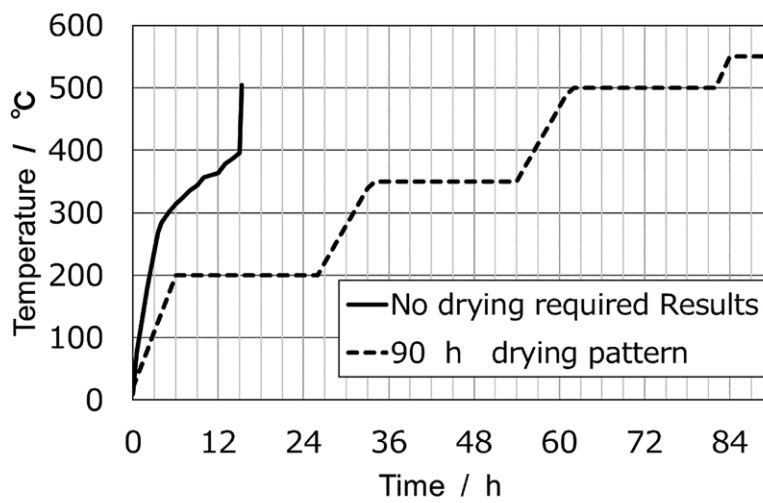


Fig. 22 Drying pattern of the furnace in Company A.

カーボンニュートラル (CO₂ 排出量ゼロ) に大いに貢献できるものである。また、これによって、燃料費用を大幅に低減できた。さらには、炉の立ち上げが 78 h 短縮できたために、ごみピット内に焼却待ちで滞留するごみ発生量低減にもつながった。このことは油含有ごみの重量圧力による火災防止にも貢献し、環境防災面でも改善がなされた。さらに、緊急補修時に熱間での施工、早期の炉の立ち上げが可能であり、炉の停止時間を最小限に抑えることができた。今後、本開発品が国内外のお客様において使用され、お客様客先へのメリットもさることながら、SDGs および CO₂ 排出量ゼロの環境へ貢献することを期待する。

文 献

- 1) 経済産業省・環境省：特定排出者の事業活動に伴う温室効果ガスの排出量の算定に関する省令, (2021-7-9).
- 2) 神田美津夫, 上野治幸, 木脇祐和, 江口忠孝: 耐火物, **40** [5] 270-364 (1988).
- 3) 神尾英俊, 萩原世也：第 1 回鉄鋼用耐火物専門委員会報告集, 耐火物技術協会 (2013) pp.117-126.
- 4) 本田和寛, 松永隆志：耐火物, **67** [11] 546-552 (2015).
- 5) 古賀正徳, 徳富篤史, 神尾英俊, 松永隆志：耐火物, **73** [9] 426-431 (2021).

本論文は以下の報文び加筆・再構成して転載したものである。

古賀正徳 他：第 21 回環境と耐火物研究会報告集, 耐火物技術協会 (2022) pp.19-32.

This will greatly contribute to carbon neutrality (zero CO₂ emissions) in the future. In addition, the fuel cost was significantly reduced by this. Furthermore, since the start-up time of the furnace was shortened by 78 hours, the amount of garbage remaining in the waste pit waiting for incineration was reduced. This also contributed to the prevention of fires caused by the weight pressure of oil-containing garbage, and improved the accident prevention aspect. In addition, hot construction and early start-up of the furnace at the time of emergency repair can minimize the shutdown time of the furnace. We hope that this product will be used by customers in Japan and abroad in the future, and that it will contribute to SDGs and an environment with zero CO₂ emissions, not only to the benefits to customers.

References

- 1) The Ministry of Economy, Trade and Industry the Ministry of the Environment: Ministerial Ordinance on Calculation of Greenhouse Gas Emissions from Business Activities of Specified Emitters, (2021-7-9).
- 2) Mitsuo Kanda, Haruyuki Ueno, Hirokazu Kiwaki and Tadataka Eguchi: Taikabutsu, **40** [5] 270-364 (1988).
- 3) Hidetoshi Kamio and Seiya Hagiwara: Proceedings of the 1st Annual Meeting of Technical Committee of Refractories for the Iron and Steel, Technical Association of Refractories, Japan (2013) pp. 117-126.
- 4) Kazuhiro Honda and Takashi Matsunaga: Taikabutsu, **67** [11] 546-552 (2015).
- 5) Masanori Koga, Atsushi Tokutomi, Hidetoshi Kamio and Takashi Matsunaga: Taikabutsu, **73** [9] 426-431 (2021).

This paper is reprinted with some additions and reconstructions to the following paper:

Masanori Koga et al.: Proceedings of the 21st Symposium on Environment and Refractories, Technical Association of Refractories, Japan (2022) pp.19-32.