

SHINAGAWA TECHNICAL REPORT

セメントロータリーキルンの最高温部用 クロムフリーれんがの開発

Development of Chrome-free Brick for Highest
Temperature Zone of Cement Rotary Kiln

伊賀棒 公 一
Koichi IGABO

戸 田 義 大
Yoshihiro TODA

飯 田 正 和
Masakazu IIDA

品川技報

セメントロータリーキルンの最高温部用クロムフリーレンガの開発

Development of Chrome-free Brick for Highest Temperature Zone of Cement Rotary Kiln

伊賀 棒 公 一^{*1}
Koichi IGABO

戸 田 義 大^{*2}
Yoshihiro TODA

飯 田 正 和^{*3}
Masakazu IIDA

要 旨

セメントロータリーキルンの最高温部（真焼点）用として高耐食性クロムフリーレンガELK-11CWを開発した。高温における高耐食性は原料組成や粒径，焼成条件の適正化によるマトリックス組織の制御によって得ることができた。

ELK-11CWの優れた耐食性は侵食試験と実機使用で検証された。セメントロータリーキルンには産業廃棄物起源の高カロリー燃料の使用によって不安定な燃焼が生じ，真焼点ではレンガが一時的，局所的に高温に曝される場合があるが，ELK-11CWを使用することで安定した残厚が維持できると考えられる。

Abstract

Highly corrosion-resistant chrome-free brick “ELK-11CW” was newly developed particularly for the highest temperature area (hot spot) of the cement rotary kiln. High corrosion resistance under higher temperature conditions results from a suitable matrix texture formed by optimizing the raw material composition, grain size distribution and firing conditions.

The superior corrosion resistant property of ELK-11CW was confirmed by corrosion test as well as commercial application. This desirable property ensures thicker residual lining thickness at the hot spot of the kiln where the brick surface is exposed to excessively high temperature temporarily or locally due to unstable combustion of high-calorie industrial waste.

1. 緒言

セメント産業は多くの社会インフラの建設材料であるコンクリートに使用されるポルトランドセメントを製造・供給する基盤産業である。現在の我が国においてセメントは震災の復興需要や耐震補強工事の広がりによって需要が増加しているが，それらに加えて2020年の東京オリンピック開催によりさらなる需要増が見込まれ，セメント工場は高稼

1. Introduction

The cement industry is the basic industry which produces and supplies portland cement which is used for construction of social infrastructure. Recently, demand for the cement has been increasing in Japan due to the increase in reconstruction work in the earthquake damaged area and the demand for seismic strengthen-

*¹ 技術研究所 第1研究部 Research Dept. No. 1, Research Center

*² 西日本工場 岡山製造部技術室 Technical Section, Okayama Plant, West Japan Works

*³ 技術研究所 第1研究部 第1研究部長 Manager, Research Dept. No. 1, Research Center

働率を安定的に維持していかなければならない状況にある。加えて、セメントを製造するセメントロータリーキルンには多くの産業廃棄物や副産物を受け入れ処理する重要な役割がある。2012年度はセメント1トン製造する際に使用される廃棄物が481kgに達し¹⁾、我が国の産業廃棄物処理はセメント産業によって成り立っていると言っても過言ではない。したがって、トラブルによるロータリーキルンの操業率の低下はセメントの安定供給と廃棄物処理の両方にとって影響が大きく、トラブル防止を最優先にした材質選定や管理がなされている。

セメントロータリーキルンではCaOを主体とするクリンカーを焼成するため、比較的温度の低い仮焼帯を除き、炉材には塩基性れんがが使用されている。セメントロータリーキルン内で最も高温になる焼成帯と呼ばれる部位では、高耐食性のマグネシア・クロム質れんが（以降マグクロれんが）が使用されていたが、環境面などの問題から現在はクロムフリーれんが²⁾にほとんど置き換わっている。このような状況下、真焼点と呼ばれる最も損傷が大きくなる最高温部用の高耐食性クロムフリーれんがELK-11CWを開発した³⁾。

2. 廃棄物利用による温度と耐火物の損耗への影響

産業廃棄物はセメントの原料として利用されることに加え、廃プラスチック等の高カロリー廃棄物は代替燃料として利用されている。

このような代替燃料の使用は、しばしばバーナーの燃焼を不安定にさせ、内張り耐火物の損耗を加速させる傾向がある。特に、この傾向は2000℃に達するバーナーフレームが最も近づく真焼点で顕著になる。具体的には、フレームの揺らぎが大きくなりフレームがれんがに近づくと、その部分のれんがの表面温度は一時的に高温に曝さ

ing. Moreover, an additional increase in cement demand is expected because the Olympic games will be held in Tokyo in 2020. Hence, cement plants have to retain high productivity with stable operation.

Additionally, another important role of the cement industry is the recycling of industrial waste or by-products. In the 2012 fiscal year, 481kg of industrial waste was consumed for 1t of cement¹⁾, thus, it is not an overstatement to say that the waste recycling system of Japan is dependent on the stable operation of cement rotary kilns. Hence, reduction in the productivity of the cement rotary kiln due to operational troubles seriously influences not only cement production but also the waste treatment system. Thus, prevention of trouble is top priority for selecting and managing kiln refractories.

Since cement clinker, which is mainly composed of CaO, is burnt in the cement rotary kiln, basic refractories are used for the kiln except for the lower temperature calcining zone. Though magnesia-chrome bricks with high corrosion resistance had been used in the highest temperature zone called the “burning zone” for many years, chrome-free bricks are now used as a substitute from an ecological view point in most of kilns²⁾. In response to this situation, we have developed ELK-11CW, a high corrosion resistance chrome-free brick especially suitable for the most corrosive highest temperature area called the “hot spot”³⁾.

2. Influences of Waste Recycling on Temperature and Refractory Wear

In addition to using industrial waste as cement raw materials, high calorie waste, such as waste plastics, are used as alternatives to fossil fuels.

れる。また、高カロリー廃棄物が未燃焼のままレンが表面まで到達し、そこで遅れて燃焼する着地燃焼と呼ばれる現象が生じると局所的に高温に曝される。このような一時的、局所的な高温化はレンがの損耗を増大させる。

セメントクリンカーの温度は高温部においては1450℃程度で30%程度の液相が共存した状態であると考えられている。通常、レンが表面のコーティング層は液相架橋効果により付着し、レンがを摩耗や侵食から保護している。コーティング層が形成された表面に、一時的、局所的な高温化が生じた場合、コーティング層全体が溶融してレンが成分が溶解することで損耗が進むと考えられる。一般に化学反応の速度はArrheniusの式にもとづくので、溶解速度は温度が高くなるほど速くなる。そのため、短時間であっても曝される温度が高ければレンがの損耗速度は急激に大きくなる。

3. 最高温部用クロムフリーレンがELK-11CW

このような観点から、当社は真焼点での耐食性向上に特化したクロムフリーレンがELK-11CWを開発した。

ELK-11CWは、添加原料組成や粒度構成を最適化して焼成工程によるマトリックス組織の発達を制御することで高い耐食性を実現したレンがである。Fig. 1に開発品のELK-11CWと従来品

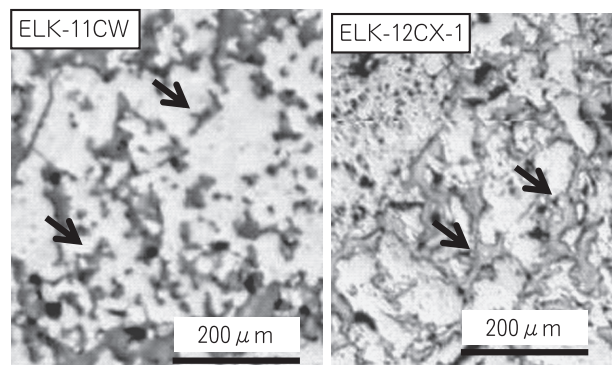


Fig. 1 Microstructures of chrome free brick matrix.

Usage of these alternative fuels sometimes causes unstable burner flame combustion which tends to accelerate refractory corrosion. In particular, this tendency becomes prominent at the hot spot where flames with temperatures of up to 2000℃ come close to the refractories. Specifically, the unstable combustion occasionally induces fluctuation of the flame direction, resulting in temporary high temperature of the refractory surface. Furthermore, “landing combustion”, caused by delayed combustion of the unburned high-calorie waste scattered on the refractory lining, creates localized high temperature areas on the refractory surface. These temporarily or locally high temperature conditions accelerate the corrosion rate of the refractories.

The temperature of the cement clinker in the burning zone is estimated to be 1450℃ at which the clinker contains approximately 30% of the liquid phase. Usually, a coating layer is formed on the brick surface by the liquid bridging effect to protect the brick from abrasion and/or corrosion. If the coated surface is temporally and locally exposed to the above-mentioned high temperature, the coating layer will melt completely followed by dissolution of refractory composition, resulting in wear rate acceleration. In general, the chemical reaction rate obeys Arrhenius equation, thus, the dissolution rate of the refractories rapidly increases as the temperature rises. Hence, the wear rate becomes faster even if the refractory is exposed to high temperatures for even a short time.

3. ELK-11CW; Chrome-free Brick for Hot Spot

According to the above mentioned viewpoints,

Table 1 Properties of chrome free samples

Sample		ELK-11CW	ELK-12CX-1
Apparent porosity / %		14.0	14.5
Bulk density / g·cm ⁻³		3.06	3.04
Cold crushing strength / MPa		60	56
Chemical composition / mass%	MgO	85.8	84.6
	Al ₂ O ₃	10.8	12.2
	Fe ₂ O ₃	1.2	1.0

ELK-12CX-1とのマトリックス微構造の比較を示す。ELK-11CWはELK-12CX-1に比べ、マトリックス粒子の結合組織が太く成長し、より充填された組織になっている。Table 1にまとめるように、ELK-11CWはELK-12CX-1よりも高かさ・比重・低気孔率であり、Fig. 1の組織をよく反映している。

4. 耐食性評価

4. 1 低温での耐食性

4. 1. 1 試験方法

低温でのELK-11CWとELK-12CX-1の耐食性を評価するため、通常のロータリーキルンの操業温度に相当する1400℃で侵食試験を行った。その際に、S-DIR-8CとSP-8Lもあわせて評価した。S-DIR-8Cは焼成帯で使用されていたマグクロレンがで、SP-8Lは遷移帯で使用されているスピネルレンがである。Table 3にS-DIR-8CとSP-8Lの標準品質値を示す。

試験にはFig. 2に示す連続スラグ供給式回転ドラム侵食試験装置⁴⁾を用いた。ドラムの傾斜および回転速度はそれぞれ3度と4.5rpmとした^{5), 6)}。

侵食剤はセメントクリンカー組成になるように、試薬と工業微粉原料を混合し、あらかじめ箱型電気炉で1000℃・3h仮焼してから試験に使用し

we have developed ELK-11CW, which is specialized in corrosion resistance at the hot spot.

High corrosion resistance of ELK-11CW is achieved by controlling the sintered structure of the matrix during firing and optimizing the mineralogy and grain size of the raw materials. As is obvious in Fig. 1, which compares the microstructure of the developed ELK-11CW and conventional ELK-12CX-1, a thick-bonded dense-packed structure has been achieved for ELK-11CW. As summarized in Table 1, ELK-11CW is characterized by high bulk density and low porosity, which can be attributed to the microstructure shown in Fig. 1.

4. Evaluation of Corrosion Resistance

4. 1 Corrosion resistance at low temperature

4. 1. 1 Experimental method

In order to evaluate the corrosion resistance of ELK-11CW and ELK-12CX-1 at low temperature, a corrosion test was carried out at 1400℃ which is equivalent to the temperature of the burning zone of a normally operated rotary kiln. In addition, S-DIR-8C and SP-8L were evaluated at the same time. S-DIR-8C is the magnesia-chrome brick which had been used for the burning zone and SP-8L is the spinel brick for transition zone. The typical properties of S-DIR-8C and SP-8L are shown in Table 3.

The rotary corrosion test apparatus was equipped with an automatic slag feeder and a drainer as shown in Fig. 2⁴⁾ was utilized for the evaluation. The inclination of the drum and drum rotation speed were adjusted to 3 degree and 4.5 rpm, respectively. A reactant was prepared by mixing some reagents and industrially available powder to obtain the target cement

Table 2 Chemical composition of reactant

	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O+SO ₃ +Cl
mass%	62	20	5.5	2.5	10

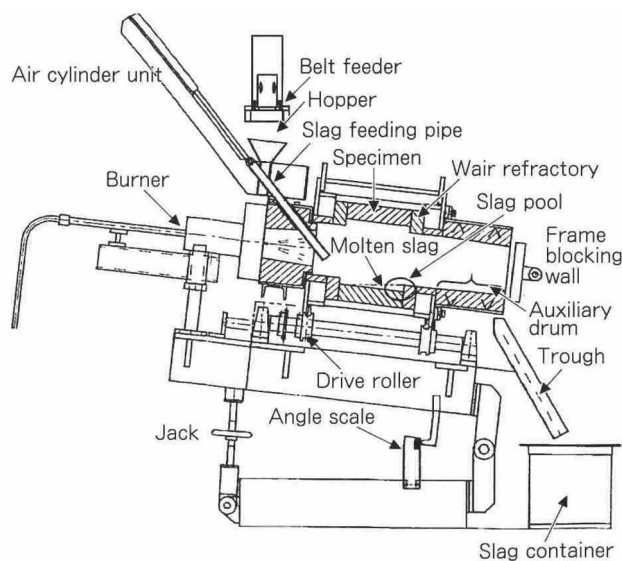


Fig. 2 Improved rotary drum apparatus for corrosion test by continuously-supplied slag³⁾.

た^{4),5)}。Table 2に侵食剤の組成を示す。

この試験は4時間実施し、2分30秒間隔で約30gの侵食剤を投入した。

4. 1. 2 試験結果

試験中、排出された侵食剤は溶融状態ではなく赤熱した固体だった。Fig. 3に侵食試験後サンプルの外観と切断面写真を示す。写真の下部側が侵食剤の排出側であり、バーナーフレームの影響で温度が最も高くなっていた。

Fig. 3の切断面からわかるように、主に遷移帯で使用するスピネルレンガであるSP-8Lは下部で溶損が見られた。一方で、焼成帯用であるELK-11CW, ELK-12CX-1およびS-DIR-8Cでは、いずれも溶損した様子は見られなかった。全てのサンプルで、稼働面から30mmの厚みで緻密層が形成されていた。

4. 2 高温での耐食性

4. 2. 1 試験方法

高温でのELK-11CWとELK-12CX-1の耐食性を評価するため、1700℃で5時間侵食試験を行った。この温度はセクション4.1で使用した連続式

Table 3 Properties of compared samples

Sample		S-DIR-8C	SP-8L
Apparent porosity / %		15.5	15.5
Bulk density / g・cm ⁻³		3.05	2.95
Cold crushing strength / MPa		49	48
Chemical composition / mass%	MgO	86.6	81.0
	Al ₂ O ₃	6.5	17.7
	Cr ₂ O ₃	11.2	
	Fe ₂ O ₃	4.0	0.1

clinker imitating composition followed by calcination at 1000℃ for 3 hours in an electric furnace^{4), 5)}. Table 2 shows the composition of the reactant.

The newly developed corrosion test was performed for 4 hours feeding 30g of the reactant every 2.5 minutes automatically.

4. 1. 2 Results

The discharged reactant during the test appeared to be a red-hot solid rather than a melt. Fig. 3 summarizes the appearances and cut sections of the specimens after the corrosion test. In the pictures, the bottom of the specimen is the reactant outlet side where the temperature was the highest since the burner flame attacks the side.

As can be seen in the cut section of Fig. 3, corrosion was observed on the bottom of SP-8L which is the spinel brick used for the transition zone while no corrosion was observed on the bricks for the burning zone, i.e. ELK-11CW, ELK-12CX-1, and S-DIR-8C. A dense layer was formed in all specimens in the area within approximately 30mm from the hot face.

4. 2 Corrosion resistance at high temperature

4. 2. 1 Experimental method

In order to evaluate the corrosion resistance of ELK-11CW and ELK-12CX-1 under high temperature conditions, a corrosion test was

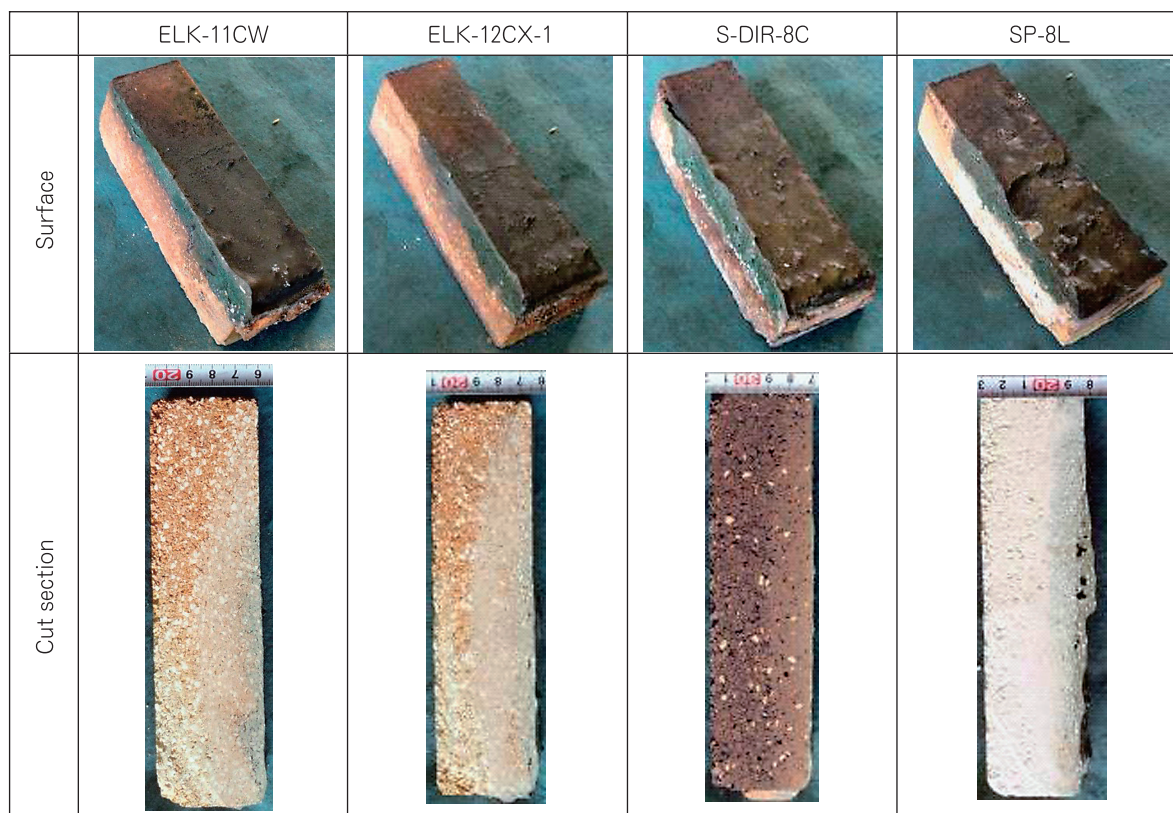


Fig. 3 Appearance of samples after corrosion test at 1400°C.

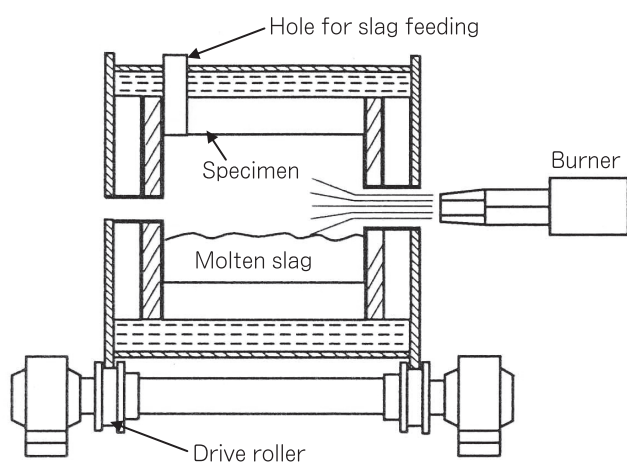


Fig. 4 Rotary drum apparatus for corrosion test at 1700°C.

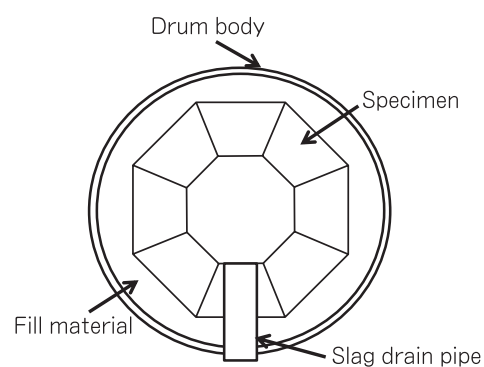


Fig. 5 Cross-section of rotary drum apparatus for corrosion test at 1700°C.

回転ドラム侵食試験装置の使用範囲を超えていたため、試験は通常の回転ドラム試験装置で実施した。Fig. 4, 5に装置の概要を示す。

Fig. 5のドラムの断面図に示すように、内張り

carried out at 1700°C for 5 hours. For the experiment, a conventional rotary corrosion apparatus without an automatic slag feeder was employed since the temperature exceeded the upper limit

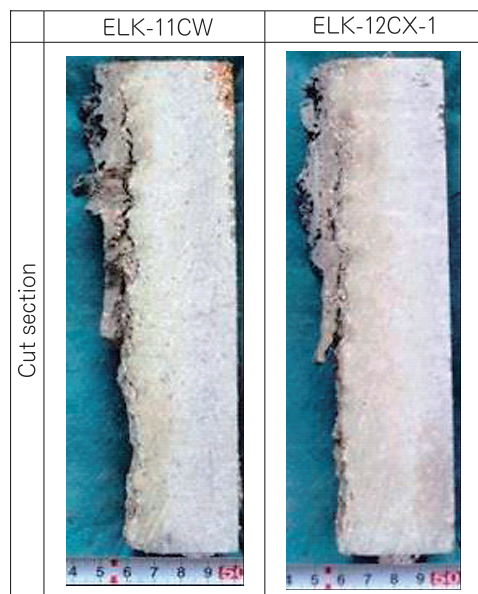


Fig. 6 Appearance of the chrome free bricks after corrosion test at 1700°C.

した試験片の一つに排滓口をあらかじめ開けておき、一時間毎に炉内の侵食剤を排滓し、新たな侵食剤を1.2kg投入した。侵食試験は排滓口に栓をして行った。侵食剤は低温での試験と同様のものを使用した。

4. 2. 2 試験結果

試験中、侵食剤は溶融した状態で排滓されており、ドラム内で完全に溶融していた。

Fig. 6, 7にELK-11CWとELK-12CX-1の試験後試料の切断面写真と損傷量をそれぞれ示す。どちらの試料も溶損による稼働面の凹凸が明瞭であり、緻密層も背面まで形成され、多量のCaO含有液相による溶損が進行していた。ELK-11CWはELK-12CX-1に比べ約10%損傷量が低減され、どちらのれんがでも全域で緻密層の形成が認められた。

5. 実際の焼成帯で使用されたれんがの解析結果

本セクションでは、ELK-11CWとELK-12CX-1を低熱負荷部位と高熱負荷部位に適用した結果を示す。

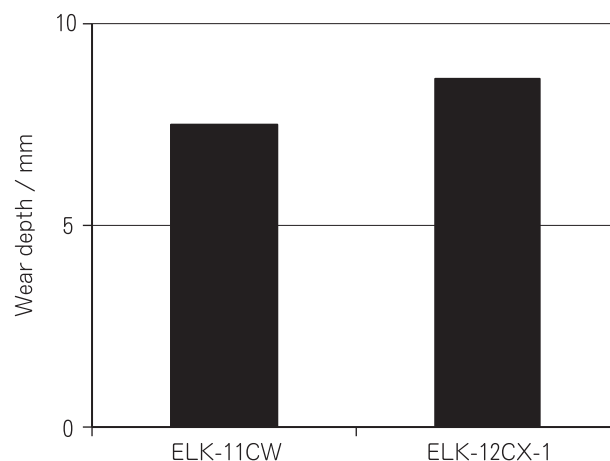


Fig. 7 Wear depth of chrome free bricks after corrosion test at 1700°C.

of the apparatus described in section 4.1. Figs. 4 and 5 schematically show the apparatus.

Every one hour, old reactant was drained and fed 1.2kg of fresh reactant through a hole installed in one specimen in the assembly as shown in Fig. 5. The hole was plugged during the corrosion process. As in subsection 4.1, the state of the slag was inspected during the test. The composition and preparing method of the reactant was identical to those indicated in section 4.1.1.

4. 2. 2 Results

In this experiment, complete melting of the reactant during the test was confirmed.

Figs. 6 and 7 show the cut sections of the specimens after the test and the corrosion depth, respectively. ELK-11CW showed 10% less corrosion than ELK-12CX-1. For both specimens, dense layer formations in a whole range of thicknesses were recognized.

5. Investigations of Bricks Used in Burning Zone

In this section, investigation results of used

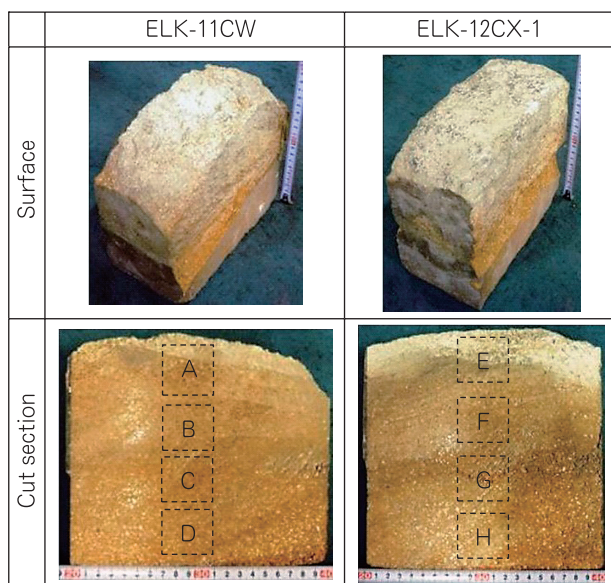


Fig. 8 Appearances of bricks used under a low thermal-load condition.

5. 1 低熱負荷部での使用結果

Fig. 8に約半年使用されたELK-11CWとELK-12CX-1の外観と切断面写真を示す。これらのサンプルはL/D(長さ/直径)=2.6の低熱負荷部位から回収されたものである。れんが残寸はほぼ同等で外観や切断面からも違いは認められなかった。

Fig. 8に示す、AからHの部位で冷間強度、見掛け気孔率および化学組成の測定を行った。結果をTable 4に示す。

Table 4に示すように物性・強度はどちらも稼働面側が緻密化・高強度化していた。

Fig. 9には稼働面から背面までの化学組成の変化を示す。CaOとSiO₂の含量は稼働面側で若干多いものの、ほとんど変動はなく、未使用れんがとほぼ等しかった。一方で、アルカリ硫酸塩の含量は稼働面側で大幅に高くなっていた。

ELK-11CWとELK-12CX-1で明瞭な違いは確認されなかった。

5. 2 高熱負荷部での使用結果

この事例では高熱負荷部で使用された

ELK-11CW and ELK-12CX-1 applied under a low-thermal load condition and a high-thermal load condition will be described.

5. 1 Brick used under low thermal-load condition

Fig. 8 shows the appearances and cut sections of ELK-11CW and ELK-12CX-1 used for 6 months obtained from the location of L/D (Length/Diameter) = 2.6 where the thermal load is lower. No distinguishable difference in residual thickness, state of external appearance or state of cut section between ELK-11CW and ELK-12CX-1 were recognized.

The cold crushing strength, apparent porosity and chemical composition at positions A to H as indicated in Fig. 8 were evaluated. The evaluated results are summarized in Table 4. As shown in Table 4, densification and strengthening are recognized on hot face side of the both specimens.

Fig. 9 shows the changes in chemical composition from hot face to back side. Although a slight increase in the summation of CaO and SiO₂ was detected in the area near the hot face, the quantity of those compositions was almost same as the included in initial bricks. On the other hand, alkali sulfates increased considerably in the area close to the hot face.

In terms of difference between ELK-11CW and ELK-12CX-1, no significant difference was found.

5. 2 Brick used under a high thermal-load condition

In this subsection, the properties of ELK-11CW and ELK-12CX-1, used under a high thermal load condition are compared. While these two specimens were not used in same operation campaign, both were obtained from

Table 4 Properties of used bricks in case1

Position	A	B	C	D	E	F	G	H
Apparent porosity / %	7.1	8.5	14.4	14.5	8.7	11.9	15.3	15.3
Cold crushing strength / MPa	76.9	77.6	48.5	36.8	86.8	64.8	34.6	40.8

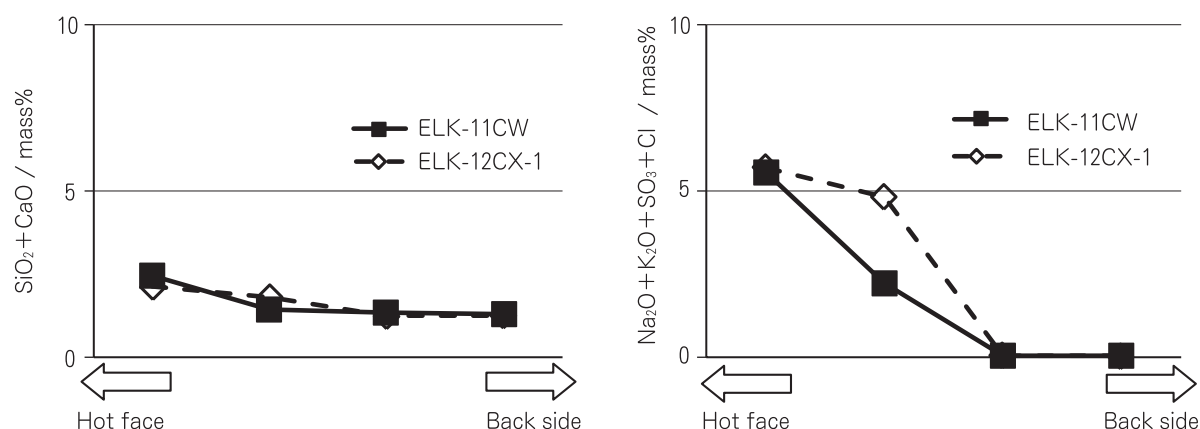


Fig. 9 Change in chemical composition of bricks shown in Fig.8.

ELK-11CWとELK-12CX-1の特性を比較した。この二つのサンプルは時期が異なっているが、同じキルンのほぼ同じ位置 ($L/D=1.9$) でどちらも約半年使用された。Fig. 10に外観と切断面を示す。切断面で見られる亀裂は解体時に生じた亀裂が切

almost the same location ($L/D=1.9$) where bricks are suppressed under high thermal load after 6 months usage in the same kiln. Fig. 10 shows the appearances and cut sections. The crack which can be seen in the cut section of ELK-11CW was initiated by the mechanical shock of demolishing and lengthened during cutting. In comparison with conventional ELK-12CX-1, ELK-11CW showed thicker residual lining thickness as well as flat hot face. As can be seen in Table 5, the whole body of both bricks was densified and strengthened.

Fig. 11 shows the changes in chemical composition as a function of distance from the hot face. An increase in the summation of CaO and SiO_2 on the hot face side was detected in ELK-11CW. Although increases in alkali sulfates towards the back were observed for both specimens, a decrease in alkali sulfates in the vicinity of the back surface was recognized for ELK-11CW.

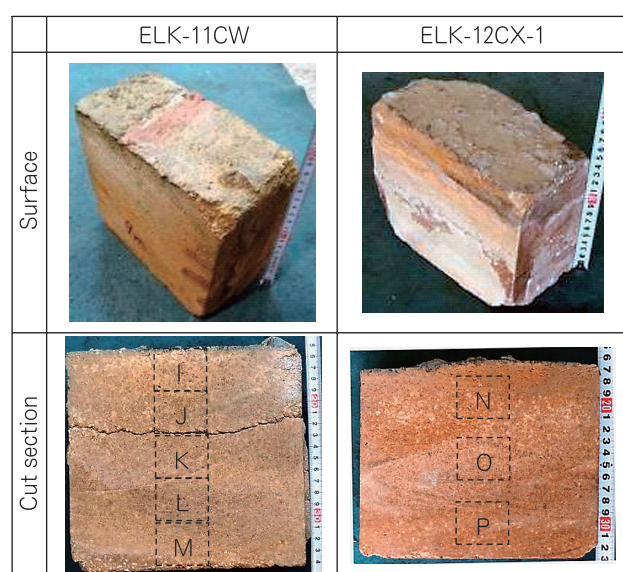


Fig. 10 Appearances of bricks used under a high thermal-load condition.

断時に伸展したものである。従来のELK-12CX-1に比べて、ELK-11CWは残厚も十分に残っており、稼働面もより平滑に見える。Table 5に示す物性・強度からわかるように、どちらの試料も全域で緻密化・高強度化していた。

化学成分の稼働面からの距離に応じた変化をFig. 11に示す。SiO₂とCaOの含量はELK-11CWの稼働面側のみ増加していた。アルカリ硫酸塩はどちらのサンプルでも背面に向かって増加しているが、ELK-11CWのみ最背面でアルカリ硫酸塩が減少していた。

6. 考察

低温での侵食試験中に装置から排出された侵食剤は固相に見えたが、試験後の切断面に観察された緻密層は侵食剤由来の液相浸潤で形成されたことが経験的にわかっている。これより、試験中の侵食剤は半熔融状態で、実際のセメントロータリーキルン焼成帯の状態に近いものであったことがわかる。遷移帯で使用されるSP-8Lでは少量

6. Discussion

Empirically, it is known that the dense layer observed in the specimens after a low temperature corrosion experiment is formed by penetration of molten reactants, but the discharged reactants seemed to be solid. Hence, the reactant was in a semi-molten state, which is a similar state to the cement clinker in the burning zone of a commercial rotary kiln, during the test. Although a little corrosion was observed for SP-8L, which is for the transition zone, the bricks for the burning zone, i.e., ELK-11CW, ELK-12CX-1, and S-DIR-8C weren't corroded by the test. Thus, a high temperature corrosion test in which the reactant melts completely is necessary to evaluate the effectiveness of the developed ELK-11CW.

No significant increase in the summation of SiO₂ and CaO in the bricks used at the low thermal load zone of a commercial kiln shows

Table 5 Properties of used bricks in case2

Position	I	J	K	L	M	N	O	P
Apparent porosity / %	9.6	7.8	5.0	4.0	8.5	10.9	4.7	3.7
Cold crushing strength / MPa	100.7	108.9	61.7	81.8	42.4	86.8	88.3	101.9

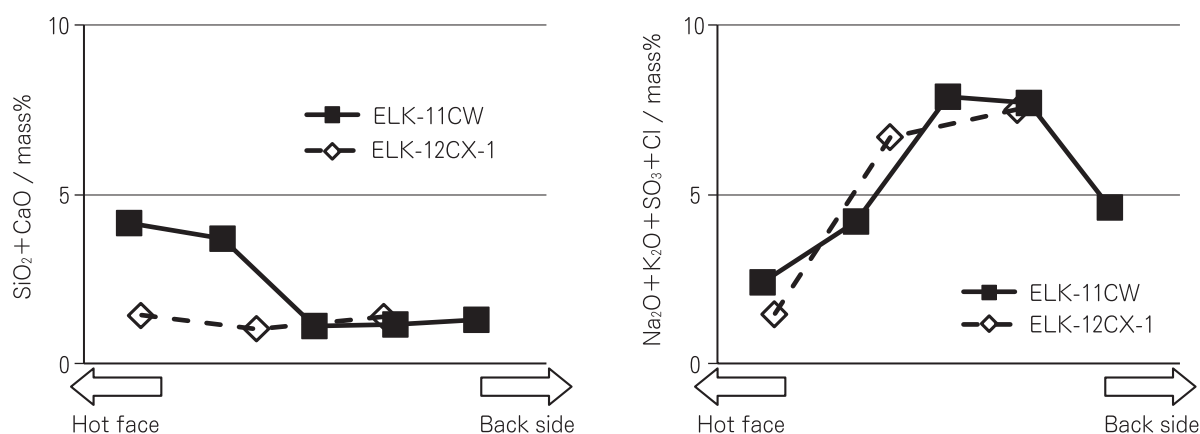


Fig. 11 Change in chemical composition of bricks shown in Fig.10.

の溶損が見られたものの、ELK-12CX-1やELK-11CW、S-DIR-8Cなどの焼成帯で使用されるれんがは溶損していなかった。これより、開発品の高耐食性を評価するには、侵食剤が全て溶ける高温での侵食試験が必要であることが示された。

低熱負荷部で使用されたれんが中のCaOとSiO₂の含量はほとんど変化しなかった。これは、クリンカー中の液相生成量が少なかったことを示している。稼働面側でのアルカリ硫酸塩の増加は、組織の緻密化や高強度を引き起こしていると考えられる。

高熱負荷部で使用された、ELK-11CWの稼働面側でCaOとSiO₂の含量に明らかな増加が見られた。これより、クリンカー由来の液相が浸潤していることが明らかである。ELK-12CX-1に比べCaOとSiO₂の含量が多いのは、ELK-11CWの浸潤組織の耐食性が高く、残厚が厚かったためであると考えられる。一方で、アルカリ硫酸塩はより低温の背面で増加傾向であり、2つのサンプルは極めて似た傾向だった。これより、アルカリ硫酸塩は拡散速度が速いことがわかる。

実験結果と実炉使用後解析結果から、熱負荷が高い条件ではELK-11CWの方が耐食性に優れていた。これは、焼成後のELK-11CWのマトリックス組織の改善の効果であると考えられる。低熱負荷部位ではELK-12CX-1とELK-11CWの耐食性に著しい違いは見られなかったが、バーナーフレームの不安定な燃焼により局所的な高温が生じるような環境でELK-11CWは安定した耐用を示すと考えられる。

7. 結言

焼成後のマトリックス組織の改善によって耐食性を向上させた新規クロムフリーれんがELK-11CWを開発した。実験結果からも実炉での使用結果からも、高熱負荷での高い耐食性が期

that less amount of liquid was included in the clinker there. An increase in alkali sulfate in the hot face side is considered to cause densification and strengthening.

An obvious increase in the summation of SiO₂ and CaO in the hot face side of ELK-11CW used in the high thermal load zone is evidence of the penetration of clinker composition in a liquid phase. A larger amount of summation of SiO₂ and CaO than ELK-12CX-1 is considered attributable to the high corrosion resistance of the penetrated structure of ELK-11CW, resulting in a thicker residual lining thickness. On the other hand, the tendency for an increase in alkali sulfates towards the cold end was quite similar for the two specimens. This shows quick diffusion of alkali sulfates.

Both experimental results and used brick investigation revealed that ELK-11CW showed better corrosion resistance than ELK-12CX-1 under a high thermal load condition. This is attributable to improvements in the sintered structure of the matrix of ELK-11CW. While, no distinguishable difference in the corrosion of ELK-11CW and ELK-12CX-1 was recognized under the low thermal load condition. Hence, ELK-11CW is suitable for kilns in which temporally localized excessively high temperature due to the unstable combustion of the burner flame tends to occur.

7. Conclusion

We newly developed the high corrosion resistance chrome-free brick ELK-11CW by improving the sintered structure of the matrix. Both experimental and practical results confirmed the high corrosion resistance of ELK-11CW under a high thermal load condition. Hence, it

待できる結果になっており、今後のセメントキル
ンの安定耐用に寄与出来るものとする。

is expected that the application of ELK-11CW
will permit the cement rotary kiln to operate
stably.

References

- 1) Japan Cement Association HP, www.jcassoc.or.jp
- 2) E. Iida, K. Saitoh, T. Koyake, H. Hara : Shinagawa Technical Report, **47** (2004), 57.
- 3) K. Igabo, Y. Toda, M. Ogata : Proceedings of 30th Conference on Refractories for Cement kiln, (2014), 1.
- 4) S. Uchida, M. Nakatsukasa, N. kurozumi : Shinagawa Technical Report, **49** (2006), 83.
- 5) K. Igabo, Y. Toda, H. Sugiyama, M. Ogata : Proceedings of 29th Conference on Refractories for Cement kiln, (2013), 1.
- 6) K. Igabo, M. Koga, K. Inoue, M. Ogata : Shinagawa Technical Report, **57** (2014), 25.