

SHINAGAWA TECHNICAL REPORT

イソライト工業株式会社
「高耐熱・低熱伝導率化したセラミック
ファイバーボード」

Isolite Insulating Products Co., Ltd.
“Advanced Ceramic Fiber Board with High
Heat Resistance and High Heat Insulation”

大 野 健	宗 宮 達 樹
Ken ONO	Tatsuki SOMIYA
神 尾 哲 治	
Tetsuji KAMIO	

品川技報

イソライト工業株式会社 「高耐熱・低熱伝導率化したセラミックファイバーボード」

Isolite Insulating Products Co., Ltd.

“Advanced Ceramic Fiber Board with High Heat Resistance and
High Heat Insulation”

大 野 健*¹ 宗 宮 達 樹*² 神 尾 哲 治*³
Ken ONO Tatsuki SOMIYA Tetsuji KAMIO

要 旨

イソライト工業は、セラミックファイバーを繊維化する過程で副次的に生成するショット（非繊維粒状物）の含有率を低減したセラミックファイバーを原料とすることにより、低熱伝導率化した1260℃級セラミックファイバー質断熱ボード（1260SIボード）を製品化している。今回、さらに高い耐熱性と低熱伝導率を達成するため、1400℃級セラミックファイバー質断熱ボード（以下、1400SIボード）を開発した。1400SIボードは溶鋼容器の裏張りやパネルヒーターとして十分な断熱効果を発揮し、各種設備での省エネルギー化に貢献することが期待できる。

Abstract

Ceramic fiber usually contains some amount of “shot”, non-fibrous by-product grains formed during the fiber-making process. Because shot reduces the heat insulation property, ISOLITE developed advanced ceramic fiber board 1260 SI BOARD (1260-degrees-C grade) by reducing the shot content of the fiber. Recently, ISOLITE has newly developed 1400 SI BOARD with higher heat resistance (1400-degrees-C grade). Due to high heat resistance and a high pressure resistance quality, 1400 SI BOARD can be used as the backup heat insulation of molten metal containers. Also 1400 SI BOARD is suitable for heat insulation of panel heaters. This advanced fiber board can be expected to contribute to energy saving in various industrial furnaces.

1. はじめに

セラミックファイバーボードはセラミックファイバーにバインダーを加えて板状に成形したもので、軽量高強度で取扱いが容易であり、各種工業炉の炉壁断熱材として使用されている。セラミックファイバーには溶融繊維化の過程で副次的に生

1. Introduction

Ceramic fiber boards, manufactured by molding ceramic fiber mixed with a binder into a board shape, are light-weight heat-insulating products that have sufficient strength for handling. Ceramic fiber boards are widely used for

*¹ イソライト工業株式会社 技術部 主任 Chief, Engineering Services Department, Isolite Insulating Products Co., Ltd.

*² イソライト工業株式会社 中央研究所 主任研究員 Chief Researcher, Central Research and Development Laboratory, Isolite Insulating Products Co., Ltd.

*³ イソライト工業株式会社 中央研究所 Central Research and Development Laboratory, Isolite Insulating Products Co., Ltd.

成されるショット（非繊維粒状物）が含まれており、これが断熱性能低下やボロフリ（ショット脱落）を引き起こすことがある^{1),2)}。イソライト工業は、ショットの含有率を低減したセラミックファイバーを原料とすることにより、低熱伝導率化した1260℃級セラミックファイバー質断熱ボード（以下、1260SIボード）を開発した¹⁾⁻³⁾。

今回、さらに高い耐熱性と低熱伝導率を達成するため、1400℃級セラミックファイバー質断熱ボード（以下、1400SIボード）を開発した。その特徴と応用について紹介する。

2. 既存の各種断熱ボードの使用状況

鉄鋼業界向け炉設備への使用例としては、焼鈍炉や浸炭炉等の熱処理炉向けが主であり、一部では溶鋼容器の裏張り用途としても試験的に使用されている。

近年、耐火物の裏張りとして低熱伝導率材料を配することにより省エネルギー化（熱放散低減）を図るケースが増えており、選定材料としては珪酸カルシウム系、マイクロポラス系等、最高使用温度1000℃前後の断熱ボードが使用されている。しかしながら、溶鋼により耐火物が損耗した場合には裏張りの熱面温度が1000℃を超える懸念があるため、より高い耐熱性をもつ断熱材が必要とされている。

また鉄鋼業界向け以外としては、セラミックファイバー成形体に金属発熱線を埋め込み一体化させたパネルヒーターが普及しており、1400℃級の耐熱性と高い断熱性が要求されている。

1400SIボードは、上記のような各種熱処理炉の炉内表面に使用可能な高耐熱性、ボロフリ（ショット脱落）の少なさを特長とし、かつ耐火物の裏張り用断熱材として要求される性能（耐熱性、断熱性、現場加工性、耐圧性等）を兼ね備えた断熱ボードとして位置付けている。

3. 開発した1400SIボードの品質

1400SIボードは、従来よりもショットを約70%

the lining of furnace walls in various industrial furnaces. Ceramics fiber usually contains some amount of “shot”, non-fibrous by-product grains formed during the fiber-making process from molten raw material. The shot not only reduces the heat insulation property of the board but can also caused scratched surface of the processed board. We have already developed advanced ceramic fiber board “1260 SI BOARD” by reducing the shot content of ceramic fiber. This board is a 1260-degrees-C grade and has a lower thermal conductivity than conventional boards of the same grade.

Recently, we have newly developed “1400 SI BOARD”, an advanced ceramic fiber board of 1400-degrees-C grade. This paper reports its features and applications.

2. Usage of Conventional Ceramic Fiber Board

Ceramic fiber boards are widely used for annealing furnaces and carburizing furnaces in the steel industry. In addition, some customers are tentatively using ceramic fiber board for the backup lining of some molten metal containers.

Recently, due to increased demand for energy saving (heat loss reduction), various kinds of heat insulation boards of roughly 1000-degrees-C grade (e.g. calcium silicate type, micro-porous type) have come to be used as the backup lining of refractory working linings. However, it is possible for the surface of the backup lining to reach temperatures of more than 1000 degrees C when the working lining becomes thin due to refractory wear. Hence, advanced heat insulating board with a higher heatproof temperature is required for this application.

Advanced ceramic fiber is also required for the panel heater. The most popular type of panel heater consists of shaped ceramic fiber with on imbedded heating wire. The fiber is required to

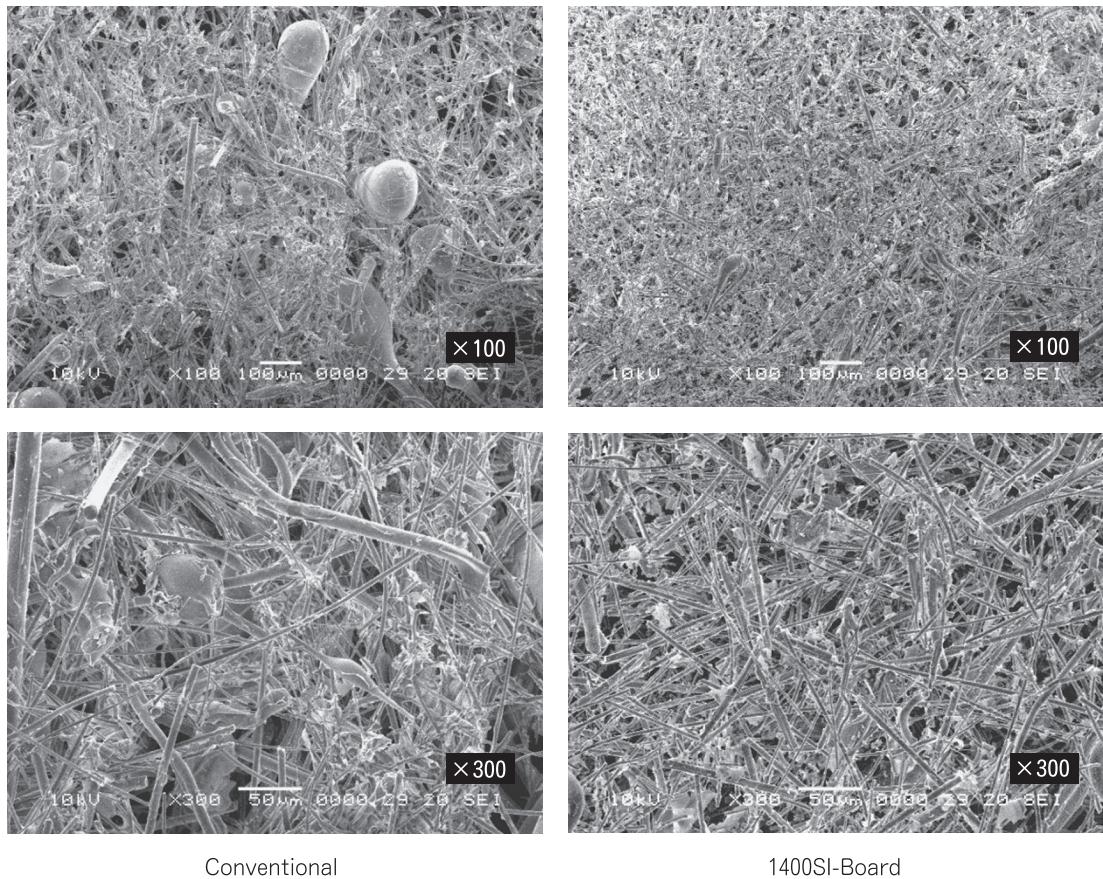


Fig. 1 Comparison of microstructure (SEM).

除去した1400℃級のセラミックファイバー原料を用い、ボード形状に成形したものである。ショット除去以外の工程や原料の化学組成自体は従来の1400℃級セラミックファイバーボードから変更していない。

3. 1 1400SIボードの基本特性

断熱ボード（従来型の1400℃級セラミックファイバーボードと、今回の1400SIボード）の微構造（SEM写真）をFig. 1に示す。1400SIボードは従来型に比べて球状のショットが低減しており、繊維が密に充填されている。

断熱ボードの品質をTable 1に示す。1400SIボードは従来型に比べ、かさ密度が低減している。これは繊維に比べてかさ密度の高いショットを除去した効果による。また、軽量化にもかかわらず曲げ強さが大きくなっているのは、繊維が密に充填された効果によると考えられている。

have a high heatproof temperature (about 1400 degrees C) and high heat insulation.

1400 SI BOARD can be used as the hot-face lining of various heat treatment furnaces or as a panel heater due to its high heat resistance quality and low shot content. Also, 1400 SI

Table 1 Properties of 1400℃ class CF board

Properties		Conventional	1400SI-Board
Max service temperature / °C		1400	1400
Shot content / mass%		56	16
Bulk density / kg・m ⁻³		250	220
Linear shrinkage at 1200℃ / % (Under continuous temperature)		1.3	1.3
Linear shrinkage at 1400℃ / % (Under max service temperature)		2.4	3.0
Modulus of rupture / MPa		0.49	1.10
Chemical composition / mass%	Al ₂ O ₃	44	44
	Al ₂ O ₃ +SiO ₂	99	99

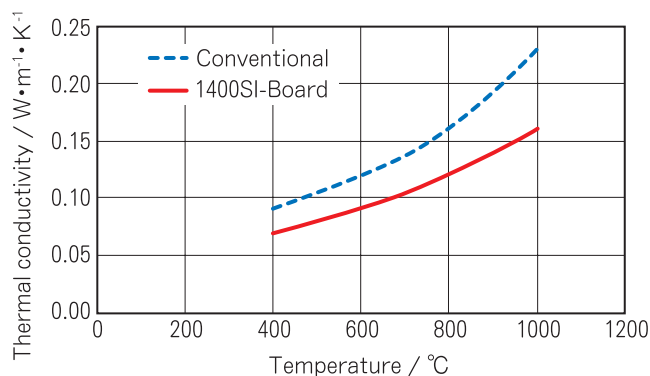


Fig. 2 Comparison of thermal conductivity.

	Conventional	1400SI-Board
Cold face temperature	Cold face 193°C Insulation board Hot face 1200°C	Cold face 162°C Insulation board Hot face 1200°C
Heat flow	2.81 kW·m ⁻²	2.10 kW·m ⁻² (Reduction rate : 25%)

Fig. 3 Comparison of thermal calculation result.

断熱ボードの熱伝導率をFig. 2に示す。1400SIボードは従来型に比べ、熱伝導率が低減している。これは繊維密度増加による輻射伝熱抑制の影響と考えられている。

3. 2 1400SIボードの断熱性能

断熱ボードの断熱性評価として、熱計算シミュレーションと、実証確認として試験炉に組み込みでのサーモグラフィーによる外壁温度測定を実施した。両検証とも条件は下記のとおりである。

- (1) 炉内温度 : 1200°C
- (2) 外気温度 : 25°C
- (3) 断熱ボード厚み : 50mm
- (4) 部位 : 天井

3. 2. 1 熱計算シミュレーション

熱計算シミュレーション結果（外壁温度、放散熱量）をFig. 3に示す。

従来型と比較すると、1400SIボードは外壁温度が31%低減し、放散熱量が25%低減される結果で

BOARD can be used as the backup heat insulation of the refractory working lining due to its high heat resistance, low thermal conductivity, easy on site processing, and sufficient strength suitable for handling.

3. Quality of 1400 SI BOARD

The new 1400 SI BOARD is a ceramic fiber board made of 1400-degrees-C grade fiber bulk of which about 70% of the shot contained in conventional products is removed. The manufacturing process is the same as that of conventional boards except for the shot removal process, hence its chemical composition is the same as the conventional ones.

3. 1 Basic properties of new 1400 SI BOARD

Fig. 1 shows the microstructure of 1400 SI BOARD and a conventional board by SEM observation. The conventional board contains some amount of shots which look like balls. 1400 SI BOARD contains much lower amount of shot and exhibits a texture in which the fibers are densely packed.

Table 1 shows the properties of 1400-degrees-C class CF board. 1400 SI BOARD has a lower bulk density than conventional board because it contains a lower amount of shot which has a higher bulk density than fiber. In spite of lighter weight, its modulus of rupture is higher than conventional board. This high strength is probably a result of the fibers being densely packed.

Fig. 2 compares their thermal conductivities. 1400 SI BOARD has lower thermal conductivity than conventional board. This is probably because the dense fiber texture suppresses radiation heat transfer.

3. 2 Heat insulating property of the new 1400 SI BOARD

In order to evaluate the insulation property

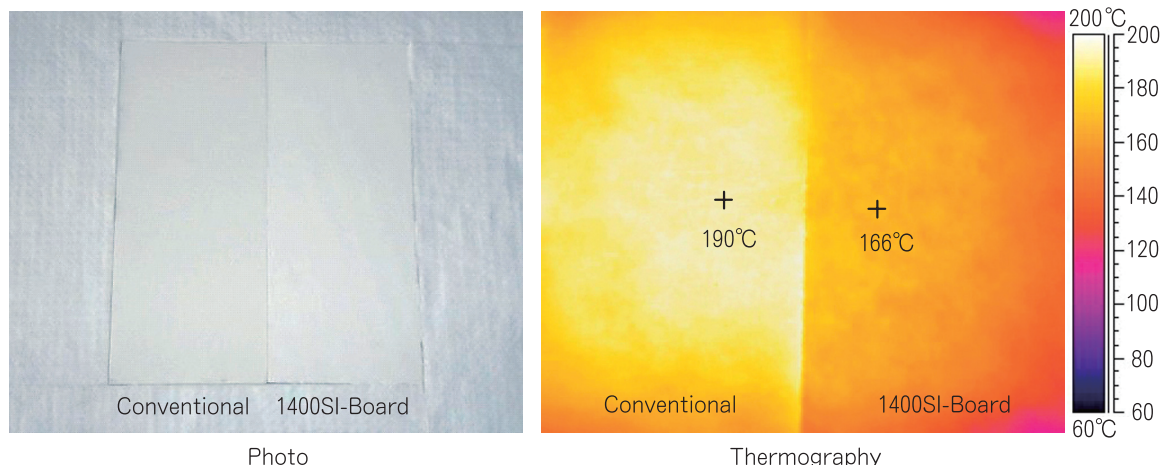


Fig. 4 Comparison of thermal view in furnace.

あった。

3. 2. 2 実炉外壁温度測定

サーモグラフィーによる外壁温度測定結果を Fig. 4に示す。

本測定機器は、測定対象物から放射される赤外線を検出して疑似カラー表示しており、輝度が高いほど高温であることを示している。従来型が190℃であるのに対して、1400SIボードでは166℃となり、Fig. 3で示した熱計算シミュレーション結果と概ね同等であることが確認できた。

4. 溶鋼容器への適用を想定した断熱性・耐圧性評価

4. 1 溶鋼容器の耐火物構成を想定した熱計算シミュレーション

1400SIボード適用例として、溶鋼用取鍋の一般的な耐火物構成での熱計算シミュレーションを行った。条件は下記のとおりとした。

- (1) 溶鋼温度 : 1650℃
- (2) 外気温度 : 25℃
- (3) 炉壁厚み : 250mm
- (4) 耐火物内径 : $\phi 2500\text{mm}$
- (5) 部位 : 垂直壁

比較ベースとなる溶鋼用取鍋の一般的な耐火物構成と、溶鋼による損耗を想定し、ウェアライニング厚みを減じた耐火物構成での熱計算結果を

of the board, we performed heat transfer simulation and an actual heat transfer experiment in which the cold face temperature is measured by thermograph camera. Both the simulation and experiment were conducted under the following conditions.

- (1) Inside temperature : 1200 degrees C
- (2) Outside air temperature : 25 degrees C
- (3) Boards thickness : 50mm
- (4) Supposed location : Roof

3. 2. 1 Heat transfer simulation

Results of the simulations are shown in Fig. 3. The 1400 SI BOARD showed a 31% lower cold face temperature and 25% lower heat flow than those of the conventional board.

3. 2. 2 Heat transfer experiment

The results of actual measurements by thermography camera are shown in Fig. 4. The thermography camera shows the surface temperature by measuring infrared rays radiated from surface and coloring them according to their wavelengths. The coloring is brighter as the temperature becomes higher. The outside temperature of the 1400 SI BOARD was 166 degrees C, and that of the conventional board was 190 degrees C. These experimental results are consistent with the simulation results.

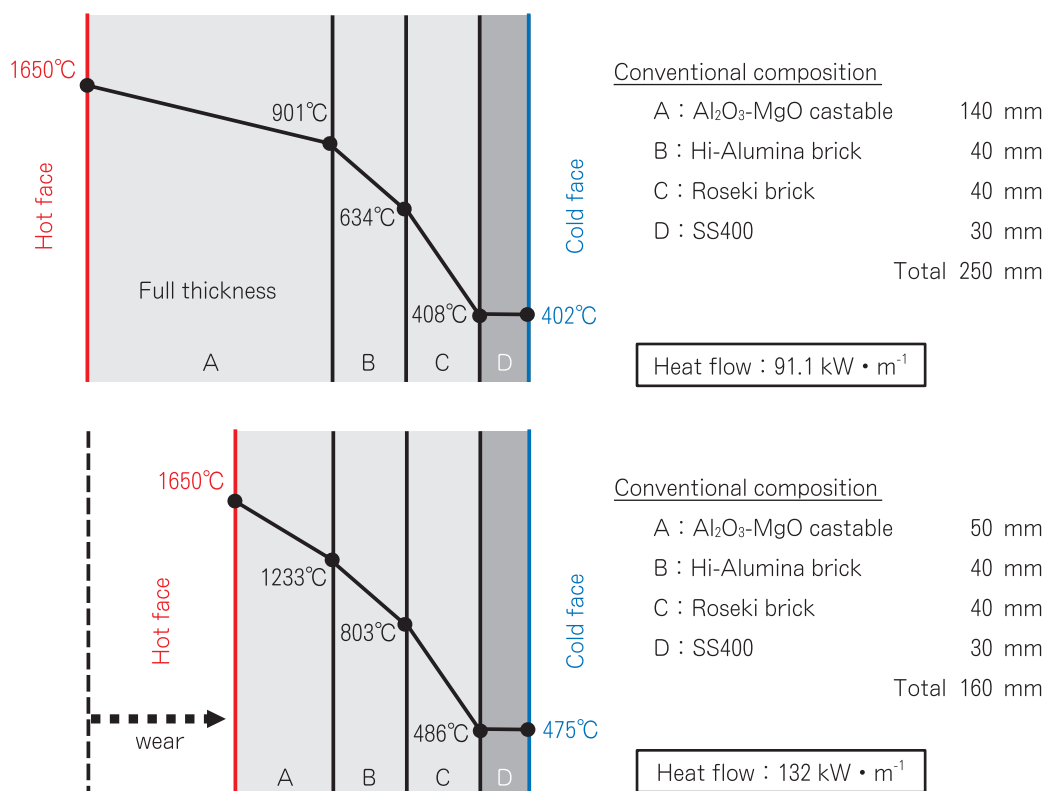


Fig. 5 Thermal calculation result (conventional).

Fig. 5に示す。耐火物損耗後の構成では、外壁温度475°C (+73°C)、放散熱量132kW・m⁻¹ (+45%)という結果となった。

次に、耐火物の裏張りとして1400SIボードを厚み10mmで配した耐火物構成での計算結果をFig. 6に示す。

一般的な耐火物構成と比較すると、1400SIボードを配したものは外壁温度で96°C、放散熱量で約43%の低減となる結果であった。また、ウェアライニング損耗を想定した構成で比較すると、外壁温度で127°C、放散熱量で約52%の低減となる結果であった。

この計算結果から、ウェアライニング損耗により裏張りの熱面側温度は925°Cから1057°Cまで上がることになるが、1400SIボードは最高使用温度1400°Cであり、耐熱性としては許容範囲内となることがわかる。

近年、放散熱量低減のため耐火物の裏張りとして低熱伝導率材料のマイクロポーラス系断熱ボー

4. Evaluation of Pressure-Proof Quality for Applying to Molten Metal Containers

4. 1 Heat transfer simulation

We expect that 1400 SI BOARD can be used as the backup heat insulation material for molten metal containers. Hence, we carried out a heat transfer simulation test. The simulation conditions are shown below.

- (1) Molten metal (hot face) temperature
: 1650 degrees C
- (2) Outside air temperature
: 25 degrees C
- (3) Refractory thickness of container
: 250mm
- (4) Inner diameter of container
: 2500mm
- (5) Location : Wall

Fig. 5 compares the simulation results of conventional refractory system 1400 SI BOARD for

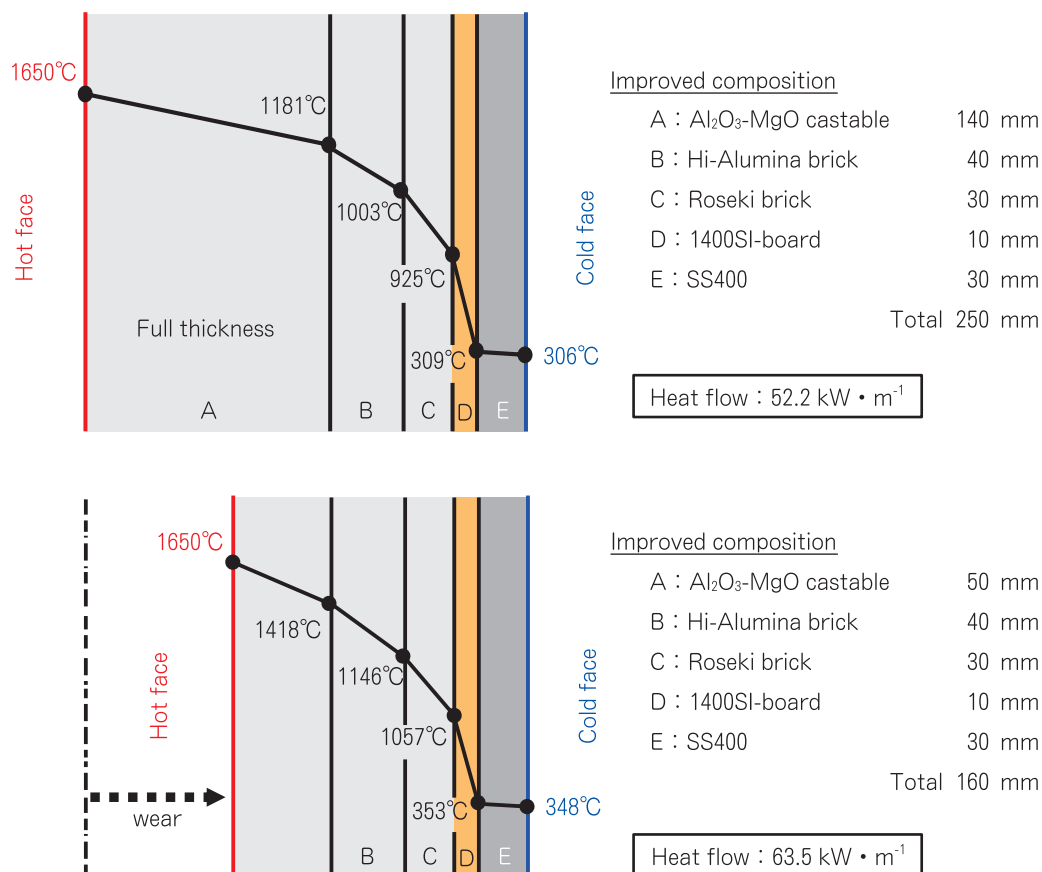


Fig. 6 Thermal calculation result (improved).

ドを配するケースが増えている。参考として、同部位に既存のマイクロポーラス系断熱ボードを配した場合の結果もFig. 7に示す。

本計算ではマイクロポーラス系断熱材厚みを3mmと条件づけているが、最高使用温度が1000℃前後であることと、それ自体の高い断熱性能のため、これ以上の厚みでは計算上の熱面側温度が最高使用温度を上回るため、この厚み条件とした。厚みに制約があるため、外壁温度と放散熱量は1400SIボードほど低減しない結果であった。

Fig. 5からFig. 7までの熱計算結果をTable 2にまとめた。

4. 2 1400SIボードの耐圧性能

溶鋼用取鍋における溶鋼静圧を想定し、耐圧性能評価を行なった結果をFig. 8に示す。

取鍋容量例として、高さ4mとした場合、底部の耐火物は式(1)に示すとおり、約0.3MPaの圧縮応力を受ける計算となる。

both the original working-lining thickness and the reduced thickness after wear. The simulation for the worn lining resulted in a cold face temperature of 475 degrees C (+73 degrees C) and heat flow of 132kW/m (+45%).

Fig. 6 shows the simulation test results of a refractory system using 10mm thickness 1400 SI BOARD as backup heat insulation. Compared with the conventional refractory system, the cold face temperature is lowered by 96 degrees C and the heat flow is lowered by 43% for the original working-lining thickness. In the case of the reduced thickness after wear, the cold face temperature is lowered by 127 degrees C and the heat flow is lowered by 52%.

Also, this simulation shows that the hot surface temperature of the 1400 SI BOARD rises from 925 to 1057 degrees C because of the thinning of the working lining. However, the

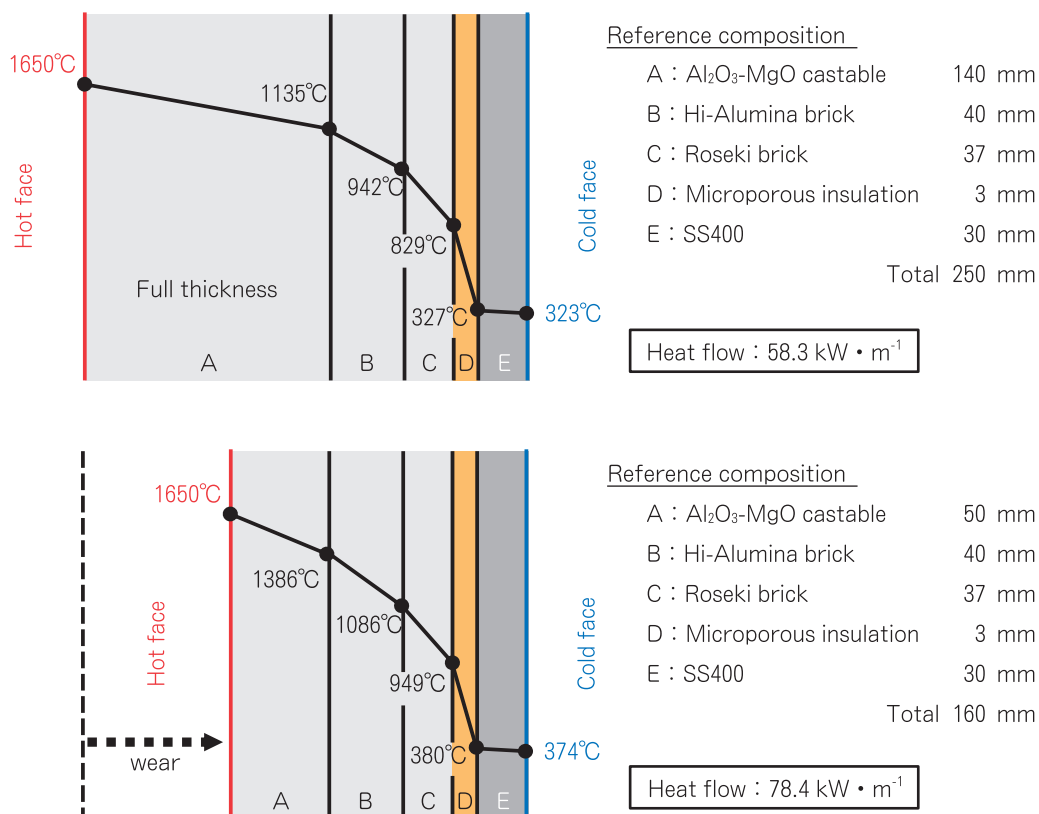


Fig. 7 Thermal calculation result (reference).

Table 2 Summary of thermal calculation result

		Conventional		Improved		Reference	
		Material	Thk (mm)	Material	Thk (mm)	Material	Thk (mm)
Full thickness	Refractory composition	1 Al ₂ O ₃ -MgO castable	140	1 Al ₂ O ₃ -MgO castable	140	1 Al ₂ O ₃ -MgO castable	140
		2 Hi-Alumina brick	40	2 Hi-Alumina brick	40	2 Hi-Alumina brick	40
		3 Roseki brick	40	3 Roseki brick	30	3 Roseki brick	37
		4 SS400	30	4 1400SI-board	10	4 Microporous insulation	3
		—	—	5 SS400	30	5 SS400	30
	TOTAL		250	TOTAL		250	250
Full thickness	Thermal calculation	Cold face temp. (°C)		Cold face temp. (°C)		Cold face temp. (°C)	
		402		306		323	
	Thermal calculation	Heat flow (kW · m ⁻¹)		Heat flow (kW · m ⁻¹)		Heat flow (kW · m ⁻¹)	
After wear	Refractory composition	1 Al ₂ O ₃ -MgO castable	50	1 Al ₂ O ₃ -MgO castable	50	1 Al ₂ O ₃ -MgO castable	50
		2 Hi-Alumina brick	40	2 Hi-Alumina brick	40	2 Hi-Alumina brick	40
		3 Roseki brick	40	3 Roseki brick	30	3 Roseki brick	37
		4 SS400	30	4 1400SI-board	10	4 Microporous insulation	3
		—	—	5 SS400	30	5 SS400	30
	TOTAL		160	TOTAL		160	160
After wear	Thermal calculation	Cold face temp. (°C)		Cold face temp. (°C)		Cold face temp. (°C)	
		475		348		374	
After wear	Thermal calculation	Heat flow (kW · m ⁻¹)		Heat flow (kW · m ⁻¹)		Heat flow (kW · m ⁻¹)	
		132		63.5		78.4	

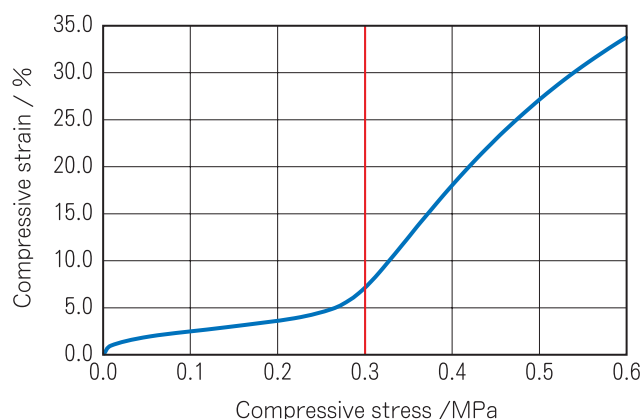


Fig. 8 Compressive stress-strain diagram.

$$\text{圧縮応力 } \sigma = 4(\text{m}) \times 7874(\text{kg/m}^3) \times 9.8(\text{m/s}^2) \\ \div 0.3 \text{ (MPa)} \dots\dots\dots (1)$$

Fig. 8の結果より、0.3MPaの圧縮応力下では、約8%の圧縮ひずみを生じる結果となり、厚み10mmの条件では0.8mmの圧縮変形を生じる計算となる。この変形によるウェア、パーマライニングの亀裂発生～隙間からの溶鋼侵入等の懸念は小さく、必要な耐圧性能を備えていると考える。

5 パネルヒーターへの適用を想定した断熱性評価

5.1 試験条件

パネルヒーターに適用した場合の断熱性を評価するために、Fig. 9の写真に示す試験体を使用して消費電力量および放散熱量の測定を行った。比較ができるように、1400SIボード材質と、従来型の1400℃級セラミックファイバーボード材質の2種の材質の試験体を用いた。

この試験体の特徴は、試験体を円筒形状としたことである。内周面に設置したコイル状の電線に電流を流すことにより内部が発熱する構造となっており、そこから外部に伝わる熱の流れを放射状に均質拡散することを考慮したものである。

以下にそのパネルヒーターの基本設計を示す。

- (1) 試験片形状 : 外径100×内径50×高さ180mm
- (2) ヒーター出力 : 100W (40V, 2.5A)
- (3) 発熱体 : Fe-Cr-Al系電熱線, ϕ 1 mm
- (4) 使用温度 : 常用1100℃以下, 最高1200℃

increased hot-face temperature is much lower than the maximum service temperature of the 1400 SI BOARD.

Recently, application of micro-porous heat-insulation materials with low thermal conductivity to the backup lining has been increasing. For your reference, the calculation results for a refractory system using the micro-porous insulation board instead of the 1400 SI BOARD are shown in Fig. 7.

The Fig. 7 simulation was calculated for 3mm thickness micro-porous board because of the following reasons. Micro-porous board has high heat insulation properties, but its maximum service temperature is about 1000 degrees C. If the board with a thickness more than 3mm is used, its hot side temperature exceeds its maximum service temperature. The simulation results for the micro-porous board with 3mm thickness show inferior cold face temperature and heat flow compared with 1400 SI BOARD.

Table 2 is a summary of the simulations in Figs. 5-7.

4.2 Pressure proof quality

The stress-strain relationship of the 1400 SI BOARD is shown in Fig. 8 in order to evaluate the pressure proof quality. If the height of the molten metal is 4m in a container, the pressure (compressive stress) on the bottom refractory is estimated to be 0.3MPa on the basis of equation (1).

$$\text{Compressive Stress} = 4 [\text{m}] \times 7874 [\text{kg/m}^3] \times 9.8 [\text{m/s}^2] = 0.3 \text{ nearly } [\text{MPa}] \dots\dots\dots (1)$$

Fig. 8 indicates that the compressive stress of 0.3MPa causes compressive strain of 8%, corresponding to the deformation of only 0.8mm for the 10mm thickness board. It is unlikely that such a small deformation creates gaps leading to molten metal leakage. Therefore we believe that 1400 SI BOARD has enough pressure proof quality.

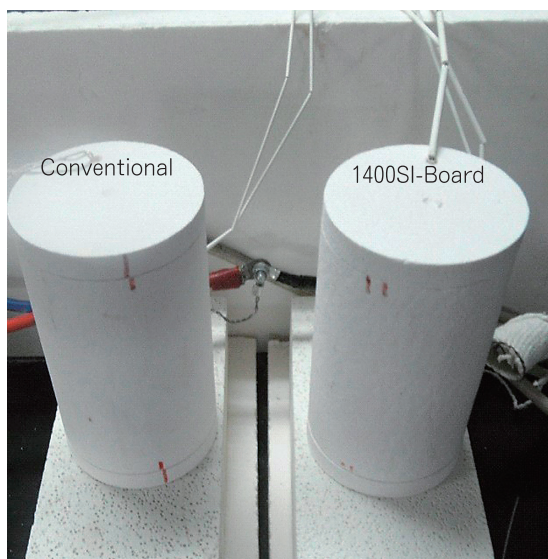


Fig. 9 Specimens.

Table 3 Elapsed time and electricity consumption (achieving at 1000°C)

Item	Voltage / V	Time / min	Electricity consumption / W·h
Conventional	60	19.0	75.6
	70	10.5	56.8
1400SI-Board	60	13.5	53.7

(5) 断熱厚さ : 15mm (ヒーター外周から成形体外周まで, 蓋の厚さ, 底板の厚さ)

5. 2 設定温度到達までの消費電力

パネルヒーターに30分間定電圧で電力供給し, ヒーター炉内が設定温度 (1000°C) に到達するまでの時間を記録計から読み取り, 消費電力を算出した。1000°C 到達時間とその間に費やした消費電力をTable 3に示す。従来型は電圧を60Vから70Vに上昇させることにより1000°C 到達時間は19.0分から10.5分に短縮し, 消費電力も時間短縮に伴い75.6Whから56.8Whに低下した。一方で, 同じ60Vで材質を1400SIボード材質にすることで, 1000°C 到達時間は13.5分に短縮し, 消費電力も53.7Whに低下した。

この結果は, 1400SIボード材質にすることにより, 昇温にかかる時間と電力を, 電圧を上昇させるのと概ね同様に低減できることを示している。今回 (1000°C) の場合, 10Vの電圧上昇による省

5. Evaluation of Heat Insulation for Applying to Panel Heater

5. 1 Test conditions

In order to evaluate the heat insulation quality for applying to panel heaters, we did the experiment shown in Fig. 9 and measured the power consumption and heat flow. Two kinds of materials, 1400 SI BOARD and a conventional board of the same grade, were used for the experiment to compare their heat insulation qualities.

The materials were shaped into cylindrical specimens to cover coiled heating wire. This design enables uniform diffusion of heat generated from the heating wire. Detailed specifications of the experiment are as follows.

(1) Sample dimensions

: OD 100 × ID 50 × 180mm H

(2) Power output

: 100W (40V×2.5A)

(3) Heater

: 1mm diameter Fe-Cr-Al heating wire

(4) Specification temperature

: normal 1100 degrees C, max. 1200 degrees C

Table 4 Comparison of cold surface temperature

Item	Heat temperature /°C		
	1000	1100	1200
Conventional /°C	278	308	339
1400Si-Board /°C	235	257	281
Difference /°C	43	51	58

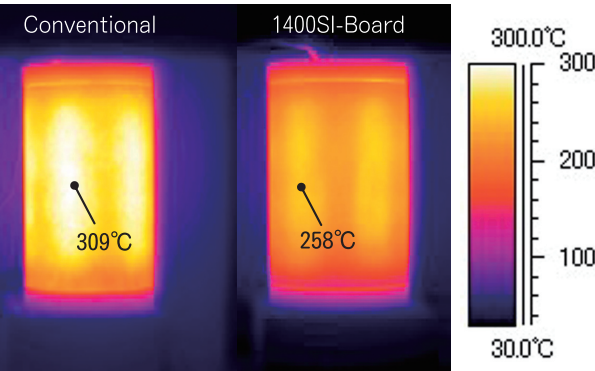


Fig. 10 Thermo viewing image (at 1100°C).

エネ効果と断熱強化による省エネ効果は近いものであり、昇温時間および消費電力についてそれぞれ約3割の低減効果と評価できると思われる。

5. 3 定常状態における放散熱量計算

定常状態における冷面温度を熱計算により算出した結果をTable 4に示す。1400SIボードの1100°Cにおける冷面温度は257°Cとなった。また、サーモグラフィーによる1100°Cにおける冷面温度測定結果をFig. 10に示す。1400SIボードの冷面温度は258°Cであり熱計算の値とほぼ同等であったことから、熱計算の結果が妥当であることがわかる。

これをふまえたうえで、定常状態における放散熱量を熱計算により算出した。Fig. 11に、従来品と1400SIボードの放散熱量の比較結果を示す。1000°C、1100°C、1200°Cにおける放散熱量を従来品と比較すると、それぞれ26%、29%、30%低減される結果となった。

この結果から、Fig. 2に示した熱伝導率の温度依存性に従い、高温になるほど放散熱量の低減効果が大きくなることがわかる。

(5)Insulation thickness

: 15mm (side, cover, bottom)

5. 2 Power consumption

We supplied electric power at a constant voltage for 30 minutes, recorded change in the inner temperature, and calculated the electric power consumption to reach 1000 degrees C. Table 3 shows the time and power consumption used to raise the temperature up to 1000 degrees C. In the case of a conventional material, heating at 60 volts required 19.0 minutes and the power consumption was 75.6Wh. When the voltage was increased to 70 volts, heating time was reduced to 10.5 minutes and the consumption was also reduced to 56.8Wh. In the case of 1400 SI BOARD, heating at 60 volts required 13.5 minutes and the powder consumption was 53.7Wh.

These results show that application of the 1400 SI BOARD can reduce the heating time and the power consumption without increasing the electric voltage. The reduction effectiveness corresponds to about 30% down in the heating-up time and power consumption, which roughly corresponds to the potential increase of 10 volt-ages in conventional material.

5. 3 Heat flow in steady state

Table 4 shows the calculated results of the cold surface temperature for a steady state. The calculated temperature for the 1400 SI BOARD is 257 degrees C when the inner temperature is 1100 degrees C. This is consistent with the temperature measured by thermograph camera (258 degrees C) as shown in Fig. 10, demonstrating validity of the calculation.

Next, we calculated the heat flow in the steady state at three levels of the inner temperature. The calculation results are shown in Fig. 11. The heat flow reduction rate attained by applying 1400 SI BOARD increases from 26% to 30% as the inner temperature increases from 1000

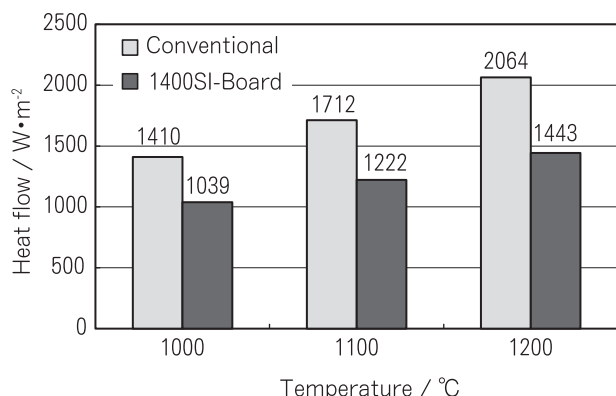


Fig. 11 Comparison of heat flow.

6 おわりに

今回の各項目評価，熱計算シミュレーション結果より，1400SIボードは溶鋼容器の耐火物裏張りやパネルヒーターとして十分な断熱効果を発揮できる性能を持ち，かつ十分な耐熱性，耐圧性を兼ね備えていることが検証できた。従来では存在しなかった位置付けの製品として，より過酷な使用条件が想定される部位への適用により，各種設備での省エネルギー化に貢献することを期待する。

to 1200 degrees C.

As shown in Fig. 2, the difference in thermal conductivity between 1400 SI BOARD and conventional board increases with an increase in temperature. Therefore the increased reduction-rate of heat flow at high temperature (Fig. 11) can be explained by the change in thermal conductivity in Fig. 2.

6. Conclusion

Experimental and simulation results demonstrated that 1400 SI BOARD with high heat insulation has sufficient heat resistance and pressure resistance for application to the backup heat insulation of molten metal containers and the heat insulation of panel heaters. Because 1400 SI BOARD can be applied to severe service conditions where conventional materials cannot be applied, it can be expected to contribute to energy saving in various industrial furnaces.

References

- 1) H. Sumimura, A. Sueyoshi : Taikabutsu, **66** [2] 102-103 (2014).
- 2) H. Sumimura, A. Sueyoshi : Taikabutsu, **66** [10] 503-506 (2014).
- 3) K. Nakashima, R. Maeda : Shinagawa Technical Report, **57** 123-130 (2014).