

チサキ・バーティカルキルンの開発

Development of CHISAKI VERTICAL KILN

地 崎 達 ^{*1}	國 井 大 藏 ^{*2}
Tatsu CHISAKI	Daizo KUNII
大 西 桂 二 ^{*3}	松 原 健 一 ^{*4}
Keiji OHNISHI	Kenichi MATSUBARA

Abstract

A novel kiln has been developed by collaboration of the Chisaki Corp. and the Hyundai Rotem Co., and installed in the Dangjin works of the Hyundai Steel Co. (500tpd).

At first, process of the development as well as the characteristics of the kiln are presented, and then structural elements of the kiln are briefly explained. Performance data of the kiln is compared with those predicted theoretically, and characteristics of refractory are discussed.

1. はじめに

生石灰500t/dを達成する新しい石灰焼成炉を(株)チサキとRotem社との協力によって開発し、韓国の(株)現代製鐵唐津製鉄所に建設した。

同炉は、現在予定通りの製品を上記製鉄所に供給している。同炉の開発経緯と操業実績の概要について報告する。

2. 開発の経緯

(株)チサキは、生石灰100t/dまでの中小規模焼成炉を国内、海外に50基以上建設した。更に生産能力500t/dまでの回転炉に対するプレヒーターを6基建設し、石灰石焼成に関する技術的ノウハウを蓄積して来た。

2007年に韓国のRotem社は、(株)現代製鐵の新しい製鉄所のために500t/dの石灰石焼成炉の開発を

1. Introduction

A novel lime kiln has been developed by collaboration of the Chisaki Corp. and the Hyundai Rotem Co. and installed in the Dangjin works of the Hyundai Steel Co.

The kiln supplies necessary amount of product to the plant according to the user's schedule. An outline of its development process as well as its present performance shall be reported in this paper.

2. Process of Development

Chisaki Corp. has installed more than 50 lime kilns, with small and/or medium capacities of up to 100t/d, in Japan and other Asian countries. Moreover, it has installed 6 preheaters to rotary kilns, with capacities of up to 500t/d.

*1 株式会社チサキ 社長 President, Chisaki Corporation

*2 株式会社チサキ 顧問 Technical Adviser, Chisaki Corporation

*3 第4営業部 主任部員 Assistant Manager, Kanto Sales Office, No.4 Sales Dept.

*4 エンジニアリング部 グループマネージャー Manager, Second Engineering Group, Engineering Dept.

企図し、(株)チサキとの共同開発事業をスタートした。

(株)チサキは上記のノウハウに基づき、今までの大型の豎型焼成炉とは全く異なる方式であるチサキ・バーティカルキルンを着想し、Rotem社もこれに賛同して技術的検討が重ねられた。煉瓦の設計については、経験豊富な品川リフラクトリーズ(株)に御協力をいただき、完成することができた。設計、建設は次のような工程で進捗した。

設計	2007年10月～2008年 9 月
部品調達	2008年 5 月～2009年 2 月
炉据付	2008年10月～2009年 7 月
火入れ	2009年12月

火入れ後に調整運転が行われ、2010年 4 月には処理量500t/d以上、燃料熱原単位3.56MJ/kg.pr以下、R-CO₂ 2.5%以下の実績を得た。

この後、R-CO₂ 2.0%以下の操作条件を把握するための定常連続操作が続行され、2010年 6 月25日にはこれを達成した。

6 月23日～25日の公式定常操作の結果は次のような成績であった。

生産量	521t/d
燃料熱原単位	3.43MJ/kg.pr
R-CO ₂	1.58%
水化率	95.8%

本炉は正式に2010年 8 月30日をもって(株)現代製鐵に引き渡され、引き続き同唐津製鉄所の生産に寄与している。

粒径36～60mm程度の中粒径石灰石の焼成技術は、今まで全て欧米由来のものであった。ここに性能、建設費ともに代替できる国産技術が完成したものであり、国内外への展開が期待される。

本論文は本炉の開発経過を説明し、工学的計算の予測値と比較しながらその特徴を明らかにするものである。

3. 本炉の特徴

同炉の外観をFig. 1に示す。

外径≒13m、高さ≒50m

In the course of the above installations, Chisaki Corp. has accumulated technical know-how for the calcination of limestone.

In 2007, the Hyundai Rotem Co. in Korea planned to develop a novel lime kiln to produce 500t/d of quick lime for Hyundai Steel Co. and started a cooperative project with the Chisaki Corp. for that purpose.

On the basis of its own technical know-how, the Chisaki Corp. has conceived the Chisaki Vertical Kiln, which has an entirely different flow system from any conventional lime kilns of large capacity. Hyundai Rotem Co. agreed to develop this novel lime kiln, and frequent discussions were carried out for its realization.

Shinagawa Refractories Co., Ltd., having much practical experience in the refractories industry, has collaborated with the above two companies to design a brick structure for achievement of its whole construction.

Design and construction were carried out as follows:

Design

October 2007～September 2008

Procurement of elements

May 2008～February 2009

Installation of kiln

October 2008～July 2009

Start-up of preliminary operation

December 2009

Operations for preliminary adjustment were carried out, and such prospective performance data as quick lime of more than 500t/d, fuel heat consumption less than 3.56 MJ/kg.pr and R-CO₂ 2.5 % were recorded.

Afterwards, steady and continuous operation has been maintained with R-CO₂ of less than 2%. The target performance of the operation has been attained on June 25th, 2010.

The following are the results of the official steady state operation.



Fig. 1 Side view of CHISAKI VERTICAL KILN.

本炉の構成をFig. 2に示す。構造上次のような特徴を有する。

- 1) 軸対象の円筒構造である。
堅牢であり放熱量が少ない。
- 2) 堅型の固定床プレヒーターを有する。
- 3) 固定床面に平行な16対のメインプッシャーと16対のサブプッシャーにより原石を均等に下部焼成帯に送り出す。
- 4) 燃焼ガスの一部は上部焼成帯を上方に貫流し石灰石を焼成する。残りの燃焼ガスは下部焼成帯を下方に貫流して焼成を進める。下方に貫流した燃焼ガスは、冷却帯より送られてくる冷却空気と合流しセンターコラム内部を上方に流れる。
- 5) 焼成後の生石灰は炉底部の冷却帯において冷却され、低温で排出される。
- 6) 生石灰との熱交換によって加熱された空気は、前記の貫流燃焼ガスと合流してセンターコラムの内部を上昇し、循環ブロワーの作用で燃焼室に2次空気として送入される。
- 7) センターコラムを冷却して温度の高くなった

Production of quick lime	521t/d
Fuel heat consumption	3.43MJ/kg.pr
R-CO ₂	1.58%
Hydration ratio	95.8%

The kiln was officially delivered to the Hyundai Steel Co. and is contributing to the supplying of quick lime to the Dangjin works of the company.

Technology to calcinate medium size limestone of about 36~60mm, all originated in Europe and/or in the U.S.A. Now that a domestic technology has been created, it can replace the preceding ones, with respect to performance and construction cost. Further domestic and overseas development of this new technology in the future is predicted.

Development procedure of this novel kiln is briefly explained in this paper. Performance data is compared with the predicted data by engineering calculation to show the characteristics of this kiln.

3. Kiln Characteristics

An outside view of this kiln can be seen in Fig. 1.

Outer width	ca. 13m
Outer height	ca. 50m

Fig. 2 shows the special flow patterns of solids and gas in the kiln.

The structure is characterized as follows:

- 1) Axially symmetrical structure
Rigid, and with less heat loss
- 2) Vertical preheater, having a flat hearth
- 3) 16 units of main pushers and 16 units of sub pushers, which move in parallel to the flat hearth, they send limestone to the upper calcination zone uniformly.
- 4) Part of the combustion gas penetrates upwards through the upper calcination zone and calcinates the limestone.

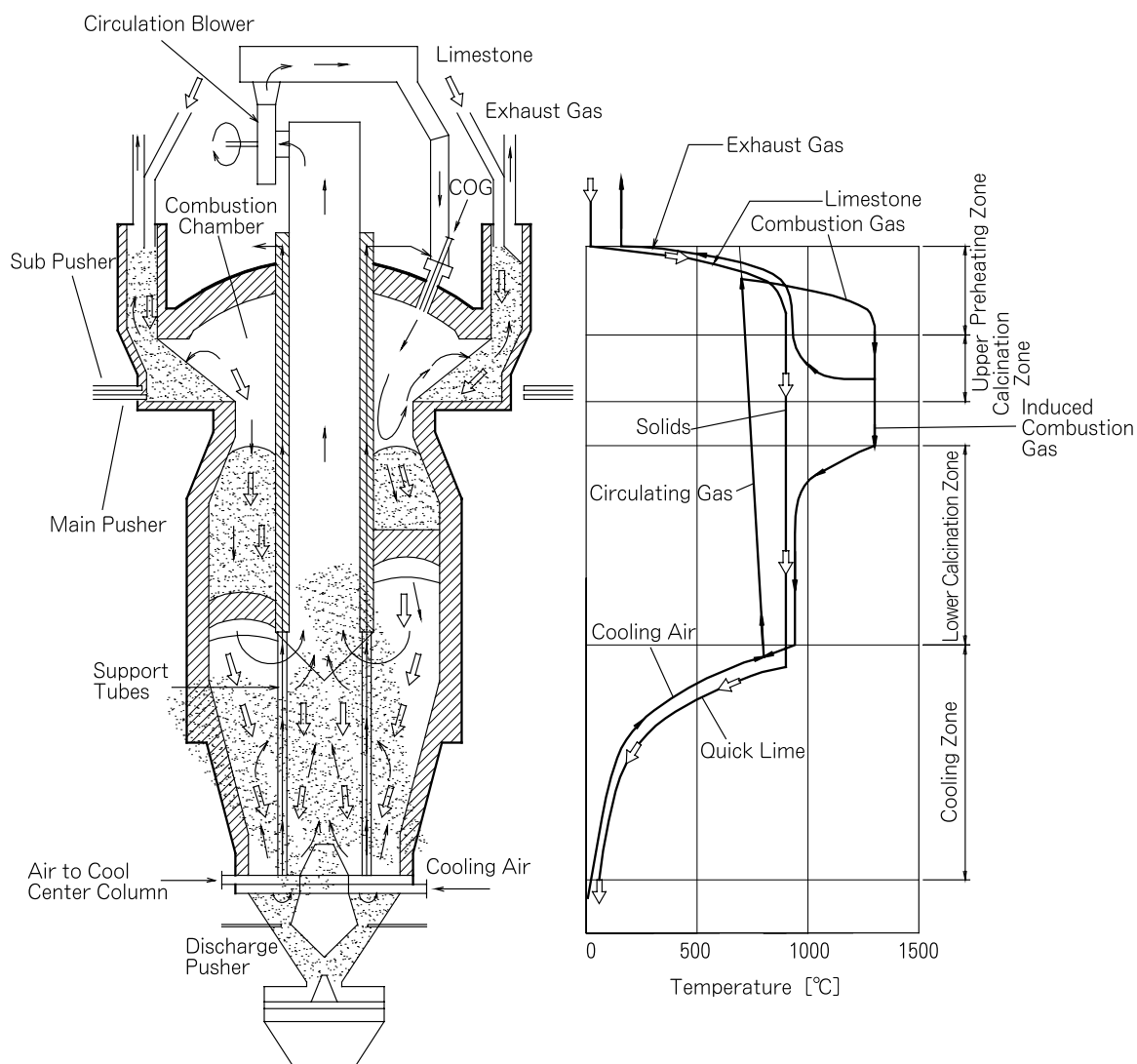


Fig. 2 Flow patterns of solids and gas and their temperature distributions.

空冷管内の空気は、炉蓋上に配置された6基のバーナーから1次空気として炉内へ噴出して、気体燃料を燃焼させる。

8) センターコラムと炉体側壁間には、2段の耐火物ブリッジを有する。

Fig. 2に固体粒と気体の温度分布を示す。プレヒーター、燃焼室、下部焼成帯、冷却帯の各部分で、それぞれに対応した熱エネルギーの伝達が行われる。Fig. 2の温度分布は伝熱理論に基づいて求めた予測値である。

The rest of combustion gas flows downwards through the lower calcination zone to complete the calcination of limestone. The combustion gas joins the cooling air which is sent upwards at the bottom of the center column. Mixed gas flows upwards in the center column.

- 5) Calcinated quick lime is cooled in the cooling zone, and discharged at low temperature.
- 6) Cooling air, which is heated by heat exchange with the hot quick lime, mixes with the combustion gas. Then it flows



Fig. 3 Arrangement of pushers.



Fig. 4 Inside view of the upper calcination zone.

4. 構成要素の概要

4. 1 プッシャー

上部焼成帯で焼成途中の石灰石は、Fig. 3に示す水平2段プッシャーの押出しにより、自由な軌跡で落下させる。原石の全周面が焼成できるので軟焼石灰になる。

上部に16対のサブプッシャー下部に16対のメインプッシャーを組み入れた水平の構造である。

4. 2 炉内部構造の概要

Fig. 4に上部焼成帯の内部煉瓦構造を示す。左方は天井下部の吊煉瓦を示し、右方はセンターコラム外表面の煉瓦構造を示す。右上にバーナーの設置開口が見える。

upwards in the inner space of the center column, and is sent to the combustion chamber secondary to burn fuel gas.

- 7) The temperature of the cooling air rises from cooling the center column. It is sent to the 6 burners in the combustion chamber as the primary air to burn fuel gas. The burners are arranged on the kiln lid.
- 8) Refractory bridges are positioned between the center column and the kiln body at two levels.

Fig. 2 shows the temperature distribution of solid and gas flows inside. In each zone, namely the preheater, the combustion chamber, the lower calcination and the cooling zones, heat transfer is carried out corresponding to each configuration. The temperature distributions, shown in Fig. 2, are abridged from prediction on the basis of theoretical equations.

4. Outline of Structural Elements

4. 1 Pushers

Half calcinated limestone in the upper calcination zone is pushed by horizontal pushers, which are arranged around the kiln at two levels, as seen in Fig. 3. Solids fall down in a free trajectory. All surfaces area of the stone are calcinated uniformly, resulting in a soft-burn product.

16 units of sub-pushers are positioned on the upper level, and 16 units of main pushers are positioned horizontally, to compose the two level structure.

4. 2 Outline of inside structure

Fig. 4 shows inside structure of bricks in the upper calcination zone. On the left bricks attached to the lower part of the ceiling of the kiln can be seen. On the right bricks attached to the outer surface of center column can be seen. On the upper right portion, there is an opening to set a burner.



Fig. 5 Setting of gas burner in the ceiling.

ガス燃料のバーナーはFig. 4天井の開口部に対し、Fig. 5のように設置される。500t/dの場合、設置バーナーの数は6個である。

本炉は燃焼室が広く、かつ複数のバーナーを使用しているため燃焼が安定し、少ない過剰空気率で完全に焼成するため不完全燃焼、煤の発生が無く、かつ低NO_xの燃焼が行われている。

Fig. 4の右方に見えているセンターコラムはFig. 2に示すように、空気で冷却される多数のボイラー鋼管で組立てられ、その内外両面は耐火物で構成されている。熱交換により300℃以上に加熱された冷却空気は、そのまま天井に配置された気体燃料バーナーに送られ、その周囲から第1次空気として炉内に送入されている。

センターコラムと炉体側壁間には上下2段、各8個のアーチ煉瓦で形成されたブリッジで支持されている。その状況をFig. 6に示す。ブリッジの下部には石灰層のポケットが生じるので、ブリッジの設置は加熱ガス流の均等化に役立っている。

4. 3 炉外部構造の概要

(1) 排鉾調整プッシャー

排鉾は8組のプッシャーによって排鉾速度が調整され、回転スクレーパーによって定常的に行われる。その外観をFig. 7に示す。



Fig. 6 Arch structure to support the center column.

A gas burner is set into the opening shown in Fig. 4, as seen in Fig. 5. For a capacity of 500t/d the number of the burners is 6.

This kiln has a broad combustion chamber and a number of burners, giving stable and complete combustion with little excess air. Therefore, incomplete combustion and emission of soot can be prevented, and combustion is carried out at a low level of NO_x.

The center column, shown on the right in Fig. 4, is composed of a number of boiler steel tubes both sides of the tubes have refractories, positioned as illustrated in Fig. 2. The temperature of the cooling air in the tubes rises to higher than 300℃ by heat exchange. It is directly sent to the gas burners, and to the combustion chamber around them as the primary air.

Between the center column and the kiln body, 8 bridges made of arch bricks are positioned at the upper and lower levels, to support the column. The configuration of the bricks is shown in Fig. 6. Underneath the bridges, pockets of lime bed are formed, and contribute to uniform gas flow there.

4. 3 Outline of outside structure

(1) Adjustment pushers to discharge quick lime



Fig. 7 Discharge adjustment pusher and rotary scraper.



Fig. 8 Hot circulation blower.

(2) 高温循環ブロワー

Fig. 2に示すように、本炉の頂部に高温ガス循環ブロワー2基が設置され、燃焼室で発生する高温の燃焼ガスの1部を、下部焼成帯を下方に貫流させて石灰石の焼成を終了させている。焼成を終えた燃焼ガスは生石灰を冷却して加熱された冷却空気と混合し、700℃程度 of ガスとしてセンターコラム内部を上昇し、高温循環ブロワーの作動によって、炉天井のバーナー周囲から炉内燃焼室に送入されて気体燃料の完全燃焼を達成する。Fig. 8にブロワーの外観を示す。

前述のように気体燃料に対する第1次空気は、センターコラムの冷却に使用されて300℃以上に加熱された空気を用いるので、上記の循環ガスは

The discharge rate of the produced quick lime is adjusted by the 8 units of pushers. Quick lime is discharged at a steady rate. A photograph is shown in Fig. 7.

(2) Blowers to circulate hot gas

As shown in Fig. 2, two blowers are situated on the top of the kiln, and induce a part of the hot gas generated in the combustion chamber. They induce the gas flow downward through the lower calcination zone, and calcinate the unburnt limestone sufficiently. The induced combustion gas mixes with the air, which is heated by cooling the hot quick lime. The mixed gas, which is nearly 700℃, flows in the center column by the action of the blowers, and is sent into the combustion chamber around burners, positioned on the kiln ceiling, and performs complete combustion. Fig. 8 gives an outside view of the blower.

Since the temperature of the cooling air in the center column, rises to higher than 300℃, it is used as the primary air. The role of the above circulated gas is surely the secondary air.

5. Examples of Performance Data

The flow rates and temperatures in each zone of the kiln during official operation have not been published yet, but are almost the same as the preceding data given in Table 1.

During May 20 ~ 26th, 2010 operation, the targeted rate of production as well as fuel heat consumption values were cleared, but the required value for R-CO₂ was not attained, namely less than 2%. However, R-CO₂ 1.58% was attained by successive operation adjustments during official operation on June 23rd.

6. Comparison of Theoretical Predicted Performance with Practical Performance

6. 1 System model

This kiln was designed by the Chisaki

Table 1 CHISAKI VERTICAL KILN, examples of performance data, operation adjustment

Date		May 20th, 2010	May 26th, 2010
Capacity	[t/d]	534	513
Fuel (COG)	[Nm ³ /kg.pr]	0.192	0.199
	[MJ/Nm ³]	17.52	16.95
Primary air	[Nm ³ /kg.pr]	0.333	0.345
Cooling air	[Nm ³ /kg.pr]	0.573	0.599
Air ratio	[—]	1.03	1.05
Exhaust gas [%]	O ₂	1	1
	CO ₂	31	30
Temperature [°C]	Combustion chamber	1335	1381
	Exhaust gas	192	182
	Lower calcination zone	720	723
	Discharge	110	133
Fuel heat onsumption	[MJ/kg.pr]	3.36	3.41
R-CO ₂	[%]	2.25	2.50

第2次空気の役割を果たしている。

5. 操作実績の例

公式運転時の各領域の流量、温度は示されていないが、それに先行する調整運転時のデータであるTable 1とほとんど同じである。

5月20日～26日の操業実績は処理量、燃料消費量ともに計画値をクリアしたが、R-CO₂だけが2%以下を満足できなかった。しかし、その後の運転調整により、6月23日の公式運転では1.58%となりクリアした。

6. 理論的予測と実績との比較

6.1 システムモデル

本炉は㈱チサキが開発し、建設して来たコマ型焼成炉 (Top-Shaped Lime Kiln) の焼成理論と技術的ノウハウを基礎にした上で、次のように大胆なスケールアップの設計が断行された。

炉	能力[t/d]	上部炉床	高温ガス循環
コマ式石灰炉型 焼成炉	～100	回転	インゼクター
チサキ・パーティ カルキルン	500以上	固定	高温ブロー

即ち、単純なスケールアップではないため、計画の初期段階から炉特性を理論的に予測し、計画通りの性能を発揮する合理的な設計が行われた。

Fig. 9はCHISAKI VERTICAL KILNのシステ

Corp. on the basis of engineering know-how, accumulated in the course of development and construction of the Top-Shaped Lime Kiln.

The large scaled-up kiln is described as follows:

Kiln	Capacity t/d	Upper hearth	Circulation of hot gas
Top-Shaped Lime Kiln	～100	rotating	injector
Chisaki Vertical Kiln	more than 500	fixed	circulation blowers

Since the scale-up was not straight forward, design procedures were carried out as theoretically as possible at the early stages of the project. Namely, the performance of the kiln was predicted on the basis of theoretical equations to satisfy the demands, and then the kiln was designed.

Fig. 9 is a system model of the CHISAKI VERTICAL KILN. For the total system as well as each sub-system, fundamental equations of mass balance, thermal energy balance, radiant heat transfer and convectional heat transfer rate were established and solved numerically. As a result, the temperature of the solids and also gas and fuel heat consumption under a steady state of operation were predicted. Basis of the above fundamental equations is found in a book

Basis 1kg.pr

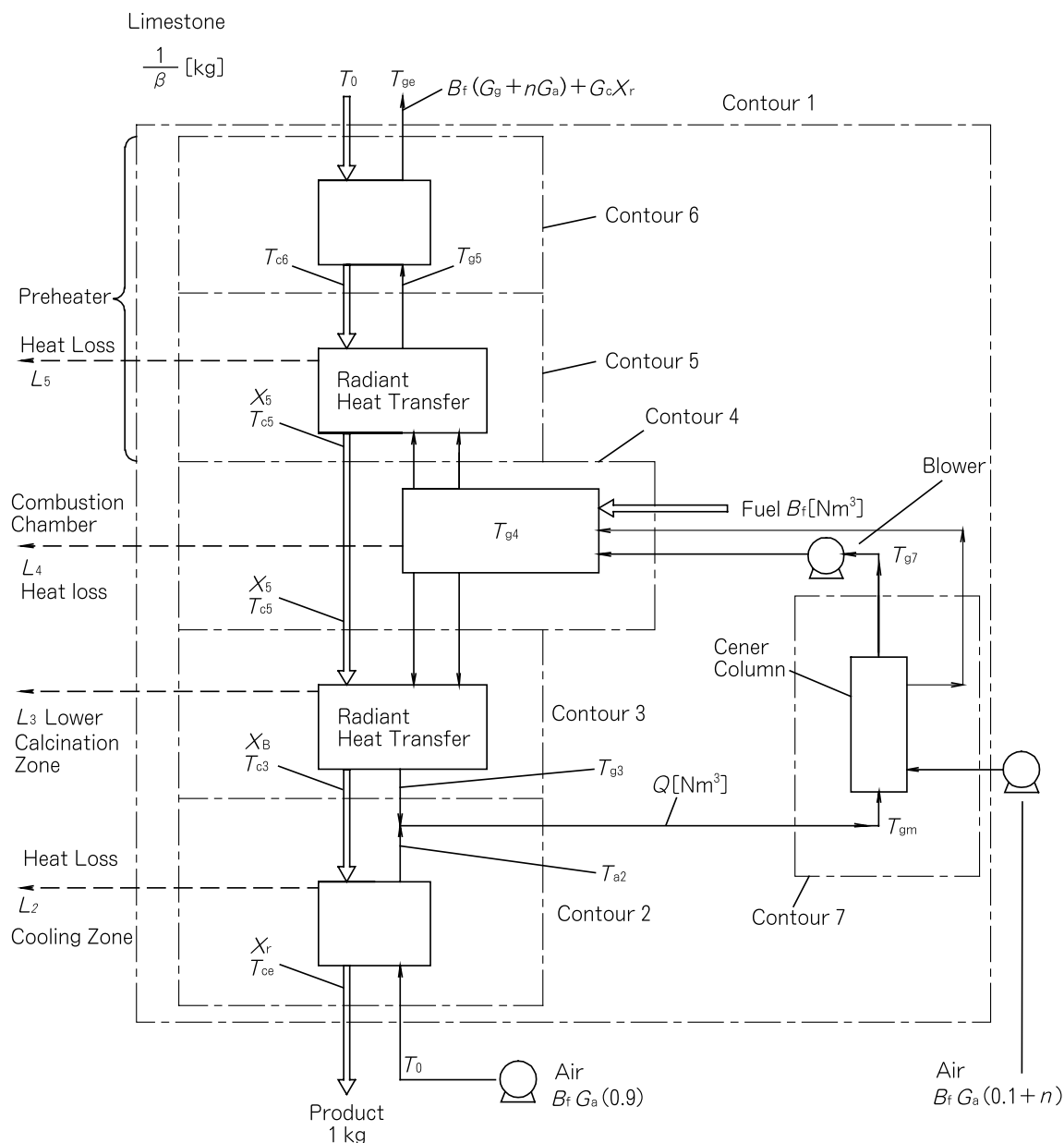
 $T_0=20^\circ\text{C}$ Conversion of limestone X 

Fig. 9 System model of CHISAKI VERTICAL KILN.

ムモデルである。全システムおよび各サブシステムに関して物質収支、熱エネルギー収支、熱放射、対流伝熱速度に関する基礎方程式を立て、これを数値的に解いて各領域の温度および定常運転操作時における燃料熱原単位の値を予測した。上記理論式の構成の基礎はKunii and Chisakiの著書によ

by Kunii and Chisaki¹⁾.

6. 2 Calculation to predict thermal performance of the kiln

In the system model of Fig. 9, two equations of thermal energy balance for contour 1 (total system) and for contour 6 (upper part of the upper calcination zone) were solved simultaneously to

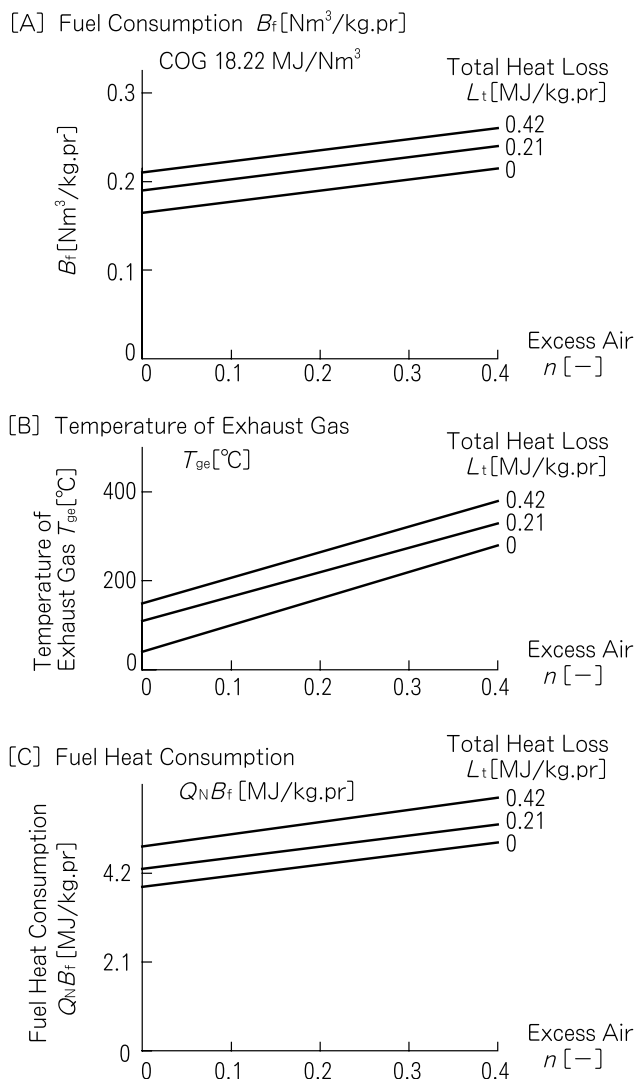


Fig. 10 Operation characteristics of the kiln, determined by heat loss L_t [MJ/kg.pr] and excess air n [—]

る¹⁾。

6. 2 炉熱的特性の予測計算

Fig. 9のシステムモデルにおいて全体に関するContour 1と、予熱帯上部に関するContour 6の熱エネルギー収支式を連立して解を求めるとFig. 10の結果を得る。即ち炉の全放熱量 L_t [MJ/kg.pr]と過剰空気率 n の値を与えれば燃料使用量、即ち燃料熱原単位 [MJ/kg.pr]および予熱部排ガス温度 T_{ge} [°C]の理論的予測ができることになる。

6. 3 循環ガス量によって決定される操作変数

Fig. 9のシステムモデルにおいて、各Contourに

give Fig. 10. Namely, if the total heat loss from the kiln L_t [MJ/kg.pr] and ratio of excess air n [—] are calculated, amount of fuel i.e. fuel heat consumption [MJ/kg.pr] as well as temperature of exhaust gas T_{ge} [°C] can be predicted theoretically.

6. 3 Operation variables, determined by the flow rate of circulating gas

In each Contour of Fig. 9, equations of mass balance, thermal energy balance and heat transfer were established and solved simultaneously. As a result, the temperature and conversion extent of limestone X [—] could accurately be found to give Fig. 11.

When the amount of fuel is calculated, the following dependent operation variables can be determined by an independent operation variable, namely rate of the circulation gas, Q [Nm³/kg.pr].

Dependent Variables

Average temperature of combustion chamber T_{ge} [°C], inlet temperature of gas to the blower T_{g7} [°C], inlet gas temperature to the center column T_{gm} [°C], the conversion extent of limestone in the upper calcination zone X_5 [—] and the conversion extent of limestone in the lower calcination zone ΔX_r [—].

The above data can be found in Fig. 11.

6. 4 Comparison of observed temperatures with predicted values

Table 2 gives a comparison of the observed temperature with predicted values. Considering that purely theoretical calculations were carried out beforehand, the results of Table 2 confirm the adequacy of the theoretical prediction.

6. 5 Design based on theoretical prediction and further scale up

Table 2 concerns only temperature. But the observed effect of the hot circulating gas Q [Nm³/kg.pr] on other dependent operation

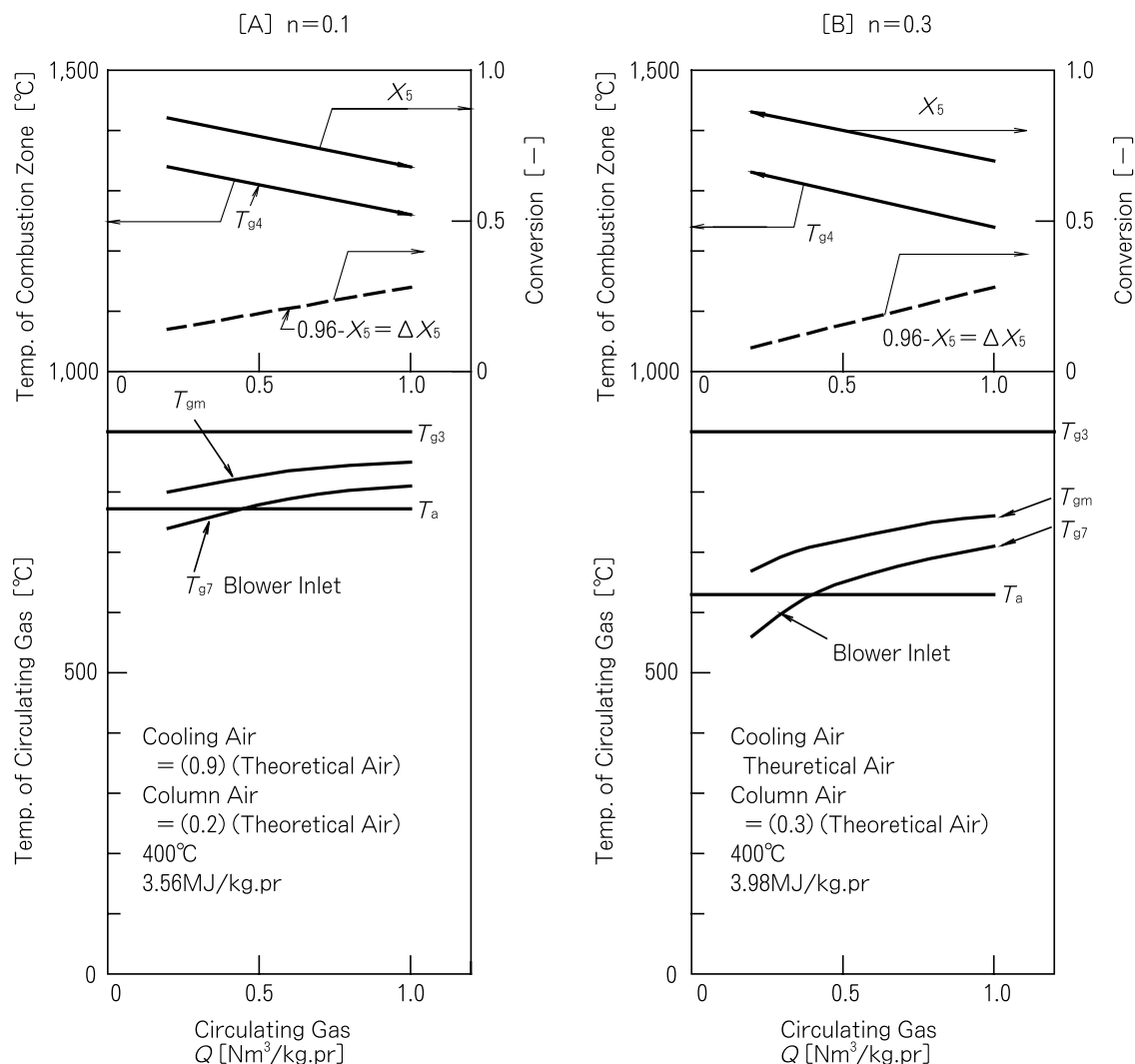


Fig. 11 Performance characteristics of the CHISAKI VERTICAL KILN in case of $L_t=0.21\text{MJ/kg.pr}$

における物質収支，熱エネルギー収支と伝熱の理論式を立て，それらを数値的に解くと各部の温度と石灰石脱炭酸割合 $X[-]$ が一義的に決定される。その結果をFig. 11に示す。

前述のようにして求められた燃料使用量を用いれば，循環ガス流量 $Q[\text{Nm}^3/\text{kg.pr}]$ を独立変数として燃焼室平均温度 $T_{ge}[\text{°C}]$ ，ブローア入口ガス温度 $T_{g7}[\text{°C}]$ ，センターコラム入口ガス温度 $T_{gm}[\text{°C}]$ の各部温度および上部焼成帯での石灰石脱炭酸反応割合 $X_5[-]$ ，下部焼成帯内の石灰石脱炭酸反応割合 $\Delta X_r[-]$ はFig. 11から予測することができる。

6. 4 温度実測値と理論的予測値との比較

Table 2に各部温度実測値と理論的予測値を示す。

variables confirmed that the theoretical prediction was able to accurately represent the real state of operation. In the operation of this kiln, the following variables should be taken into account.

・ Independent variables

Production capacity

Primary and secondary air $[\text{Nm}^3/\text{kg.pr}]$

Excess air

Hot circulating gas, flowing downwards through the lower calcination zone $Q[\text{Nm}^3/\text{kg.pr}]$

・ Dependent variables in steady state

Temperature in each zone

COG $[\text{Nm}^3/\text{kg.pr}]$, namely fuel heat

Table 2 Comparison of observed temperatures with predicted values

Temperature	May 26th, 2010		June 10th, 2010	
	Observed	Predicted	Observed	Predicted
Combustion chamber [°C]	1370	1340	1350	1330
Exhaust gas [°C]	190	170	210	220
Inside column gas [°C]	720	740	700	660
Excess air [%]	10		20	

純粋な理論計算による予測値であることを考慮すれば、Table 2の結果より上記理論による予測が的確であったことを証明できた。

6. 5 理論予測値による設計と更なるスケールアップ

Table 2は温度の場合であるが、下部焼成帯を下方に貫流する高温ガスの流量 $Q[\text{Nm}^3/\text{kg.pr}]$ の影響など、理論的予測は操作状況を良く表わしていることが確かめられた。本炉操作における操作変数としては

・独立操作変数

生産量

第1次、第2次空気量 $[\text{Nm}^3/\text{kg.pr}]$ および過剰空気率、下部焼成帯下方貫流高温ガス量 $Q[\text{Nm}^3/\text{kg.pr}]$

・定常操作の場合の従属変数

各部温度

COG量 $[\text{Nm}^3/\text{kg.pr}]$ （燃料熱原単位 $[\text{MJ}/\text{kg.pr}]$ ）

上部焼成帯での脱炭酸反応割合 $[-]$

下部焼成帯における脱炭酸反応割合 $[-]$

以上の相関関係が明らかにされたので、目的に応じた独立操作変数の調整が理論的に可能になっている。

即ち、本炉に関してはシステムとしての理論的予測と500t/d規模での実測値との比較ができています。これは、任意の生産規模の炉に対するスケールアップ、スケールダウンの合理的設計が可能であることを示すものである。

現在でも製鉄産業では1基当りの生産量が1000t/dの石灰焼成技術が要望されている。本炉

consumption $[\text{MJ}/\text{kg.pr}]$

Conversion extent of limestone in the upper calcination zone $[-]$

Conversion extent of limestone in the lower calcination zone $[-]$

Because of the inter-relation among the above variables, it is possible to adjust the independent variables to attain the required performance.

Namely, in the present kiln, comparison of the predicted and observed performance has been already established for the scale of 500t/d. Their results suggest that a rational design can be realized in any case of scaling up and/or scaling down requirements.

At present, a lime kiln of large size, which can produce the quick lime of 1000t/d, is demanded in the calcination technology. It is predicted that the technology of this kiln is not limited to 500t/d, but can be applied to design and to construct any size up to 1000t/d.

7. On the Refractory

Basic refractories are used in the calcination zone and/or other positions in the lime kiln, where severe thermal conditions are encountered. The reason why the main composition of the basic refractories is magnesia (MgO), which belongs to the same category of chemical substance as quick lime (CaO), i.e. oxides of alkaline-earth metal.

Because of the above similarity, the basic refractory is chemically stable.

The main examples of damage to the

の技術は500t/dのスケールに止まらず, 1000t/dに至るまで合理的な設計, 建設ができることが予測される。

7. 耐火物について

石灰炉用の耐火物としては塩基性耐火物が, 広く焼成帯および熱的に過酷な部位に使用されている。これは, 塩基性耐火物の主成分がマグネシア (MgO) であり, 焼成物である石灰 (CaO) と同じアルカリ土類金属の酸化物で化学的に安定しているためである。

石灰炉での主な損傷例としては, ①原石との接触による摩耗損傷, ②原燃料による溶損, ③温度変化による組織脆化および熱的スポーリング, ④構造的スポーリングである。各種材質別の特性を Table 3 に表す。

塩基性耐火物の中でも従来はマグネシークロム質煉瓦が主に使用されていたが, 最近はマグネシアースピネル質煉瓦が耐スポーリング性および耐摩耗性に優れることより使用されることが多くなってきている。ただし, マグスピ煉瓦は水による影響 (スレーキング) を受けやすい欠点があるため, 条件によっては注意が必要である。

また, 使用部位にもよるが条件が合えば高アルミナ質の使用も耐スポーリング性および耐摩耗性に優れ, 何よりも水による影響を受けない利点を活かし効果を発揮している。ただし, 1300℃を超える温度条件で使用すると原料の石灰と反応するため注意が必要である。

refractory in lime kilns are as follows:

- ①Abrasion because of contact with limestone
- ②Melting by burning fuel
- ③To become brittle and thermal spalling, according to change of temperature
- ④Structural spalling

The characteristics of each material are shown in Table 3.

Among basic refractories, magnesia-chrome refractories have been mainly utilized so far in lime kilns. But recently, magnesia-spinel bricks have been found to be superior to the conventional ones, because of their anti-spalling and anti-abrasion characteristics. Nevertheless, magnesia-spinel brick has a disadvantage, namely it is easily damaged by water (slaking), so careful treatment is needed, depending on operating conditions.

If conditions are appropriately estimated, high alumina brick can be utilized in some positions, indicating satisfactory results. It is superior to the others with the anti-spalling and anti-abrasion characteristics. Moreover it is not damaged by water, which is its advantage. Nevertheless, it reacts with raw material (lime) at temperatures higher than 1300℃. Careful design is required.

8. Conclusion

Development of the kiln was not a straight forward scale up of the Top-shaped Lime Kiln,

Table 3 Properties of representative bricks

	Mg-Cr	Magnesia	Spinel	Alumina
Corrosion resistance	○	◎	○	×
Thermal expansion	○	△	○	◎
Spalling resistance (Embrittlement)	△	○	○	◎
Abrasion resistance	△	△	○	◎
Hydration reaction	○	△	△	◎

* good ◎>○>△>× poor

8. 結び

本炉の開発は(株)チサキの主技術であるコマ式焼成炉の単純なスケールアップではなく、その基礎原理に立ち返り別の構成を採用した上での5倍のスケールアップであった。

開発開始からわずか3年で予定の性能が得られる新型式の堅炉の開発に成功したのは、多くの方々の並々ならぬ御尽力があったためである。関係各位に心からの謝意を表する次第である。

which has been the main product of the Chisaki Corp. Based upon its fundamental concepts, a different system was adopted and the 5 times scale up project was carried out.

Within 3 years after starting the project, a novel shaft kiln was developed satisfactorily. The kiln has already cleared required performance target. This is because of enormous efforts given by a number of people.

The authors of this paper would like to express their appreciation to the people, who in various ways helped him with the project.

Reference

- 1) D. Kunii and T. Chisaki, "Rotary Reactor Engineering", Elsevier, Amsterdam, pg.93 (2007)