

---

焼結新点火装置の開発

Development of New Type Ignition Apparatus for Sintering Machine

才野 光男(Mitsuo Saino) 高橋 博保(Hiroyasu Takahashi) 中村 勝(Masaru Nakamura) 田中 邦宏(Kunihiro Tanaka) 二上 伸宏(Nobuhiro Hutagami) 奥山 雅義(Masayoshi Okuyama)

---

要旨：

焼結用新点火装置ラインバーナを千葉製鉄所で、またスリットバーナを水島製鉄所で開発し、1983年に実用化した。これらの新点火装置は、従来の点火炉に比べ、以下に示す特徴を有している。(1) 多孔式およびスリット式バーナノズルの採用により、均一なショートフレームが得られ、効率的な集中着火が可能である。(2) 操業上の変動に対処できる追従機能をもっている。これにより点火熱量原単位は、操業上の問題をおこすことなく 6000～8000kcal/t-sinter まで半減できた。

---

Synopsis：

Kawasaki Steel has developed new ignition apparatus for the sintering process which are completely different from conventional ones. They are the "line burner" at Chiba Works and the "slit burner" at Mizushima Works". The line burner was applied to Chiba sintering plant in 1983; the slit burner to Mizushima sintering plant in 1983. Their features are given below: (1) The multi-hole type nozzle and the slit type nozzle give uniform and short flames, and have realized more effective ignition. (2) The burners are made adjustable to optimize ignition according to sintering condition. Through the use of these new burners, the ignition energy consumption can be reduced by half to as low as 6000 to 8000kcal/t-sinter without encountering any operational problems.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

## Development of New Type Ignition Apparatus for Sintering Machine



才野 光男  
Mitsuo Saino  
千葉製鉄所 製鉄部  
部長



高橋 博保  
Hiroyasu Takahashi  
千葉製鉄所 製鉄部製  
鉄技術室 主査(課長)



中村 勝  
Masaru Nakamura  
千葉製鉄所 製鉄部製  
鉄技術室



田中 邦宏  
Kunihiro Tanaka  
千葉製鉄所 設備技術  
部機械技術室 主査(課  
長補)



二上 伸宏  
Nobuhiro Hutagami  
千葉製鉄所 エネルギ  
ー部エネルギー技術室



奥山 雅義  
Masayoshi Okuyama  
水島製鉄所 製鉄部製  
鉄技術室 主査(掛長)

### 1 緒 言

焼結原料中の粉コークスを着火させるための装置として、従来より点火炉が使用されてきた (Fig. 1)。点火炉法による粉コークスへの着火は、焼結原料面での着火強度が不均一なために、多くの点火エネルギーを必要としていた。また、焼結操業条件の変動 (例えば、層厚、バレット速度等) に対する追従機能を有していなかったため、点火熱量原単位の低減を図るにあたっての障害となっていた。

千葉および水島製鉄所では、点火の考え方を基本から見直すことにより、独自に新点火装置の開発を進めてきた。この結果、千葉製鉄所では、多孔式バーナを用いて、バーナ高さおよび角度が変更できる点火装置「ラインバーナ」を開発し、1983年8月に第3および第4焼結機に適用した (Fig. 2)。

一方、水島製鉄所においても、バーナ高さを変更できる点火装置「スリットバーナ」を開発し、1983年3月に第4焼結機、1984年12月に第3焼結機に適用した (Fig. 3)。

\* 昭和60年9月25日原稿受付

### 要旨

焼結用新点火装置ラインバーナを千葉製鉄所で、またスリットバーナを水島製鉄所で開発し、1983年に実用化した。これらの新点火装置は、従来の点火炉に比べ、以下に示す特徴を有している。

- (1) 多孔式およびスリット式バーナノズルの採用により、均一なショートフレイムが得られ、効率的な集中着火が可能である。
- (2) 操業上の変動に対処できる追従機能をもっている。

これにより点火熱量原単位は、操業上の問題をおこすことなく6000~8000 kcal/t-sinter まで半減できた。

### Synopsis:

Kawasaki Steel has developed new ignition apparatus for the sintering process which are completely different from conventional ones. They are the "line burner" at Chiba Works and the "slit burner" at Mizushima Works.

The line burner was applied to Chiba sintering plant in 1983; the slit burner to Mizushima sintering plant in 1983. Their features are given below:

- (1) The multi-hole type nozzle and the slit type nozzle give uniform and short flames, and have realized more effective ignition.
- (2) The burners are made adjustable to optimize ignition according to sintering condition.

Through the use of these new burners, the ignition energy consumption can be reduced by half to as low as 6000 to 8000 kcal/t-sinter without encountering any operational problems.

これらの新点火装置は、均一なショートフレイム (0.6 m 以下) が得られ、従来にない装置の小型化が可能という特徴をもっている。

実機に適用して以来、千葉および水島製鉄所共に点火熱量原単位を従来の 14000~16000 kcal/t-steel から 6000~8000 kcal/t-sinter まで半減させることができた。

本報では、新点火装置「ラインバーナ」および「スリットバーナ」の概念と実機への適用結果について報告する。

### 2 新点火装置開発の背景

点火炉を用いた焼結原料の着火において、従来からフレイム着火と雰囲気着火の2つの考え方があった。前者は、燃焼ガスの直火によって着火させる考え方で、後者は、点火炉を一種の燃焼室と考え、燃焼ガス雰囲気では着火させる考え方である。これまで、これらについて種々検討されてきたが<sup>1)</sup>、いずれも着火熱量の低減が表層の歩留りの悪化につながるため、大幅な低減が図れなかった。

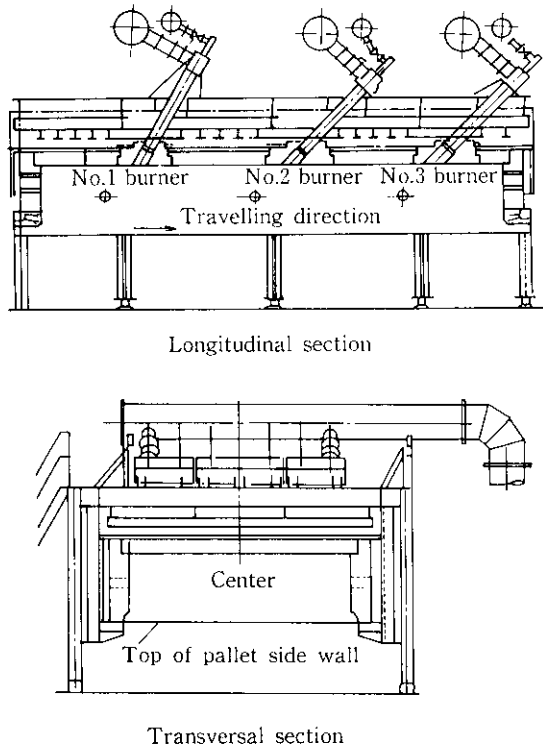


Fig. 1 Sectional views of conventional ignition furnace

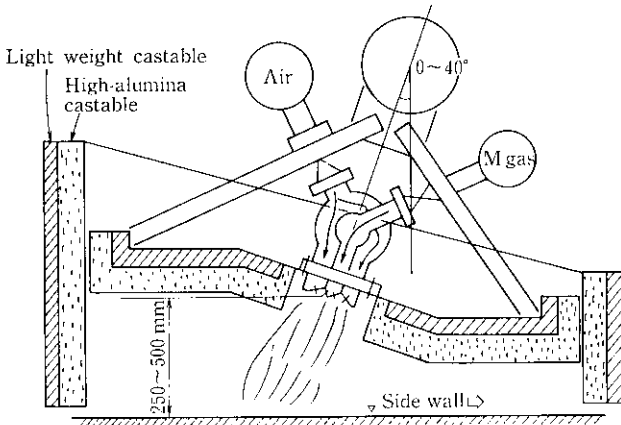


Fig. 2 Sectional view of line burner

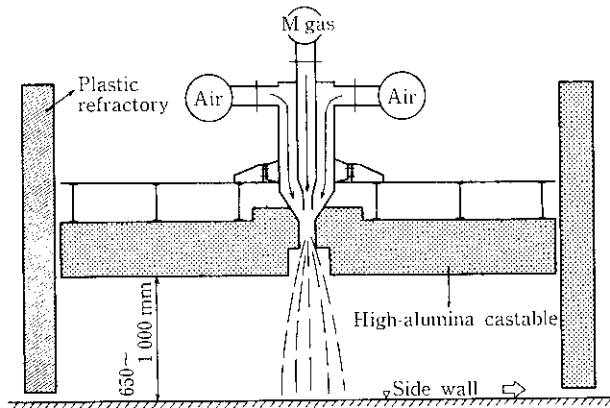


Fig. 3 Sectional view of slit burner

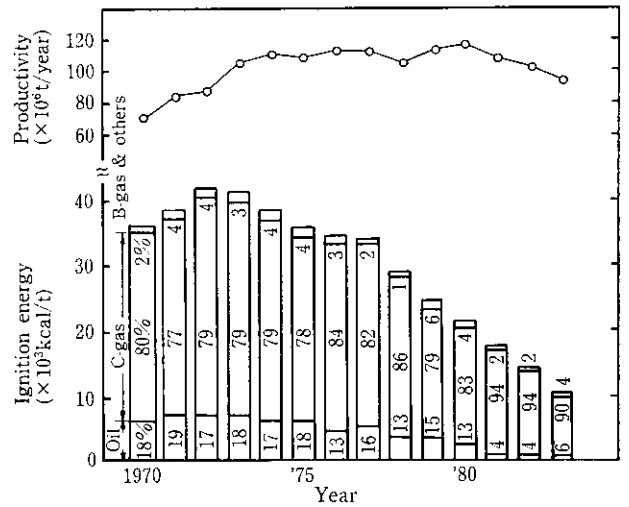


Fig. 4 Transition of sinter product and ignition energy consumption in Japan

しかし、エネルギー価格の高騰により点火エネルギーコストが上昇したこと、原料給鉱部での焼結ベッド上下方向の粒度偏析技術<sup>2)</sup>や点火炉下風箱内圧力制御技術<sup>3)</sup>等により、着火熱量を低減しても歩留りの悪化が防止できることから、着火熱量の低減を指向するようになった (Fig. 4)。

しかし、従来の点火炉では、以下に述べる理由で点火熱量の低減には限界があった。

- (1) 従来バーナは、ロングフレーム (1.0m 以上) であったため、点火炉高さが高く炉体放散熱が大きい。
- (2) 各バーナピッチが長い為、幅方向の着火強度にバラツキが大きく過剰着火となる。
- (3) 焼結原料層厚や原料水分の変化に追従できる機能がない。

以上の問題点を解決するため、新しい点火装置の開発に着手した。

### 3 新点火装置の基本概念

#### 3.1 着火の機構

焼結原料へ着火させる条件は、これまで明確にされていなかった。そこで、今回新点火装置の開発に先立ち、実験室にて着火条件の調査を行った。

実験方法は、原料充填装置に原料を充填し、下方吸引を続けながら、点火炉に見たてた電気炉で吸引温度や吸引時間を変化させて、焼結鉱焼成の可否で着火の判定を行った。

実験結果を Fig. 5 に示す。フレーム温度と保持時間とで着火条件が整理でき、フレーム温度が低いと保持時間を長くする必要があるが、フレーム温度を高くできると、保持時間は短くて済むことが明らかとなった。この場合、保持時間をパレット速度に乗じた値は着火距離を表わし、点火装置の大きさを決定する因子となる。

従って、均一なショートフレームが得られるバーナを開発し、フレーム温度を高くすることが、コンパクトな点火装置を可能ならしめる。

ところで、実操業においてパレット速度や原料水分を変化させると、原料の昇温や水分の蒸発に熱が使われ、保持時間を維持できず着火限界を下回ることがある。この解決策の一つとして、バーナ角

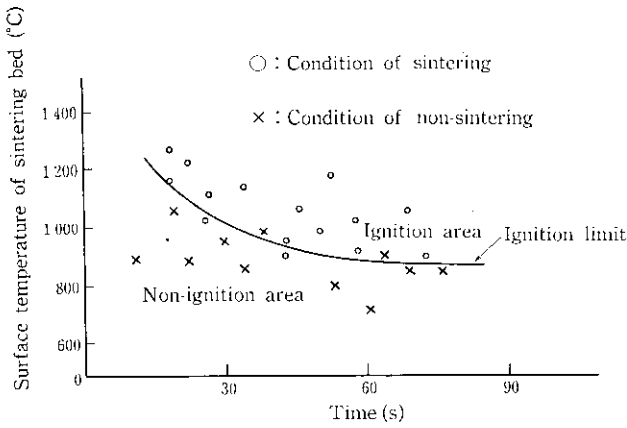


Fig. 5 Relation between flame temperature and time

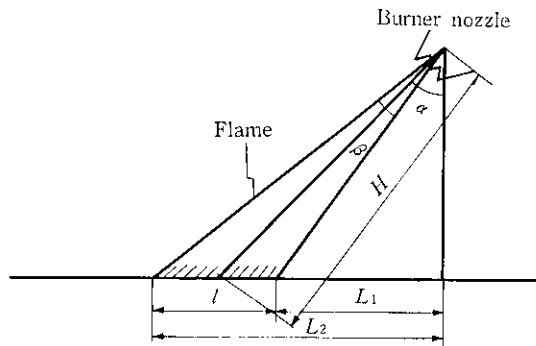


Fig. 6 Schematic diagram for burner inclination angle changes

度変更により保持時間を確保する方法がある。ここでは、ラインバーナの角度変更に対する考え方について述べる。

バーナ角度(鉛直方向との角度)が小さいと、幾何学的に保持時間の確保ができなくなり、大きいと着火強度が減少し未着火となる。従って、バーナ角度には上下限が存在する。Fig. 6 に示すように、バーナ角度を  $\alpha$  (°)、フレイムの広がり角度を  $\beta$  (°)、フレイムによる原料の赤熱長さを  $l$  (m) とし、バーナノズルから原料表面までのフレイム長さを  $H$  (m) とすると、

$$l = PS \cdot t = L_2 - L_1$$

$$= H \cos \alpha \left\{ \tan \left( \alpha + \frac{\beta}{2} \right) - \tan \left( \alpha - \frac{\beta}{2} \right) \right\} \dots \dots \dots (1)$$

ここで、 $PS$ : パレット速度 (m/min)  
 $t$ : 保持時間 (min)

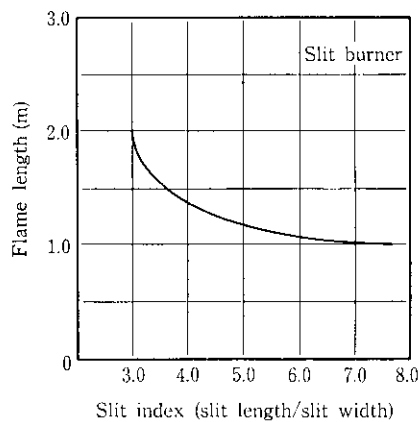
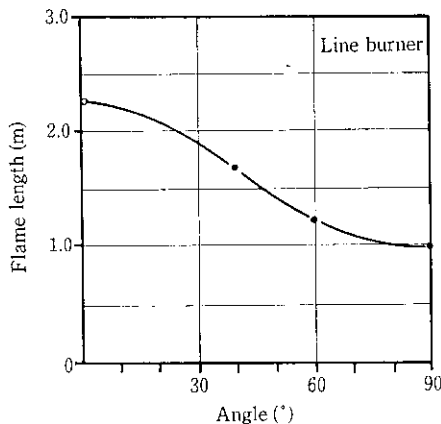


Fig. 8 Effect of cross angle and slit index on flame length

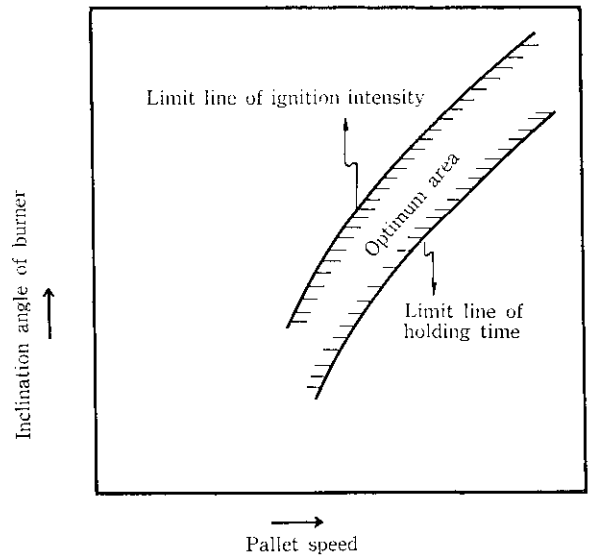


Fig. 7 Relation between pallet speed and inclination angle of burner for optimum burnering range

(1) 式により、パレット速度に対するバーナ角度の下限が求まる。これに対して、角度が大きくなると、単位面積あたりの熱量(着火強度)が小さくなり、着火しなくなる。従って、着火強度をある一定範囲内に保つために、バーナ角度の上限が存在する。

$$l = Q / (I.I. \times W) \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 $I.I.$ : 着火強度 (kcal/m<sup>2</sup>·h)

$Q$ : 投入熱量 (kcal/h)

$W$ : パレット幅 (m)

(1) および (2) 式より、バーナの最適角度は Fig. 7 に示す範囲にあることがわかる。

### 3.2 バーナの選択

焼結用点火炉バーナの基本条件としては次の3つが挙げられる。

- (1) バーナ幅方向の均一性
- (2) ショートフレイム化
- (3) フレイムの高温化

これらの条件について、千葉製鉄所では、多孔式で(1)の条件を、ノズルミックスで(2)(3)の条件を達成した。一方、水島製鉄所では、スリット式で(1)の条件を、予混合で(2)(3)の条件を達成した。ショートフレイム化の調査結果を Fig. 8 に示す。

ラインバーナでは空気とガスの吐出角度を  $90^\circ$  にしたとき、スリットバーナでは、スリット指数（バーナノズル先端部のスリット長さをスリット幅で除した値）を約7以上に選定したとき、空気と燃料ガスの混合がよくなり、最もショートフレイムとなった。

次に、ラインバーナを用いて、焼結原料へ着火させる際の空気および燃料ガス噴出速度の条件について調査を行った。

- (1) 空気および燃料ガス噴出速度が小さくなると、フレイム浮力により着火強度が低下する。
- (2) 空気および燃料ガス噴出速度が大きくなると、表層原料が飛散し、局部的むら焼けとなる。
- (3) 空気噴出速度が大きくなると、フレイムがシャープな形となり、保持時間が確保できない。
- (4) 燃料ガス噴出速度が空気に比較して大きいと、混合性が悪化しロングフレイムとなる。

以上のような現象に対し、空気および燃料ガス噴出速度の適正限界を求めるため、空気および燃料ガスともにノズル径の異なる数種類のバーナノズルを製作し、燃焼量一定下で、空気および燃料ガス噴出速度の影響について調査した。この結果を Fig. 9 に示す。Fig. 9 の適正領域の中央部を空気および燃料ガスの噴出速度の設計点として、実機化を図った。

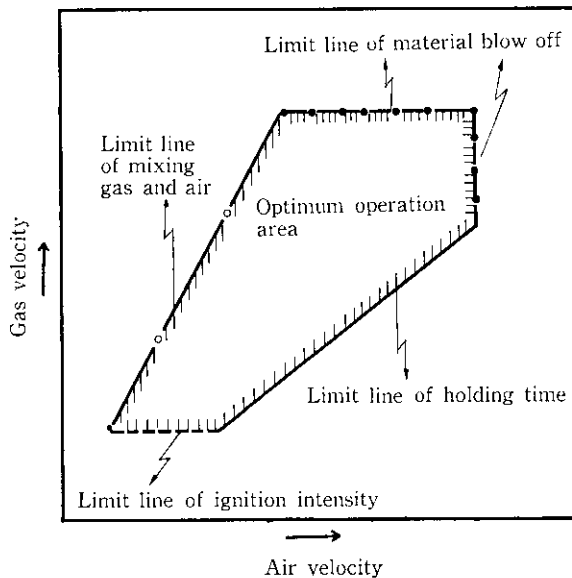


Fig. 9 Optimum operation area of air- and gas-velocity by line burner

## 4 新点火装置の設計

### 4.1 バーナ

均一なショートフレイムを得るため、次に述べる構造とした。

- (1) ラインバーナ
  - (a) バレット幅方向に空気および燃料ガス噴出孔をそれぞれ多数個2列配置した多孔式バーナを採用。
  - (b) 燃料ガス流と空気流とを直交させて燃焼させるノズルミックス方式を採用。
- (2) スリットバーナ
  - (a) 空気-燃料ガス-空気のサンドウィッチ構造とし、かつそれぞれの流路の先端がバレット幅方向で連続したスリッ

トバーナを採用。

- (b) 燃料ガスと空気の子混合方式を採用。

### 4.2 バーナフード

点火装置の耐久性を図るため、以下の対策を講じた。

- (1) ラインバーナ
  - (a) バーナノズル部のみフード内に突出させる。
  - (b) 耐熱鋳鋼製バーナノズルの採用。
- (2) スリットバーナ
  - (a) 耐火キャストブルによるバーナ先端の被覆。

### 4.3 装置保持機構

焼結操業条件、すなわち、原料層厚とバレット速度の変動に対応できる構造とした。

- (1) 高さの変更に対しては、燃料ガス管と空気管の一部をフレキシブルホースにするとともに、点火装置支持架構の両側に設置したスクリージャッキにて調整できる機構とした（ラインバーナ）。
 

一方、スリットバーナでは、点火装置上に電動シリンダーを設置し、サイクロモータを起動させて、調整する機構とした。
- (2) ラインバーナのバーナ角度の調整機能は、ヒンジ機構を用い、原料面に対し  $0\sim 40^\circ$  の範囲で調整可能とした。
- (3) 高さ変更機能にともない、両バーナとも上面フードと側面フードに分離し、上面フードのみをバーナ本体に連動させる構造とした。

また、Table 1 に千葉第3焼結機における従来点火炉とラインバーナとの設備仕様の比較を示す。

Table 1 Comparison of conventional ignition furnace and line burner (Chiba No. 3 sintering plant)

Specifications Item	Conventional ignition furnace	Line burner
Type of furnace	Bottom open box, top burner type	Line burner
Dimension (mm)	3 600 W × 7 500 L × 1 000 H	3 600 W × 2 200 L × 250 H
Furnace volume	27 m <sup>3</sup>	2 m <sup>3</sup>
Max. combustion cap.	18.3 × 10 <sup>6</sup> kcal/h	3.5 × 10 <sup>6</sup> kcal/h
Burner type	Nozzle mix type	Nozzle mix type
Fuel	Mixed gas (2 300 kcal/Nm <sup>3</sup> )	Mixed gas (2 300 kcal/Nm <sup>3</sup> )
Number of burners	14 burners/line × 3 lines	Multi-hole type × 1 line
Gas pressure	250 mm aq (at burner)	250 mm aq (at burner)
Air pressure	250 mm aq (at burner)	250 mm aq (at burner)

## 5 実機への適用

以上述べてきた新点火装置ラインバーナを 1983 年 8 月千葉第3および第4焼結機に、またスリットバーナを水島第3焼結機 (1984

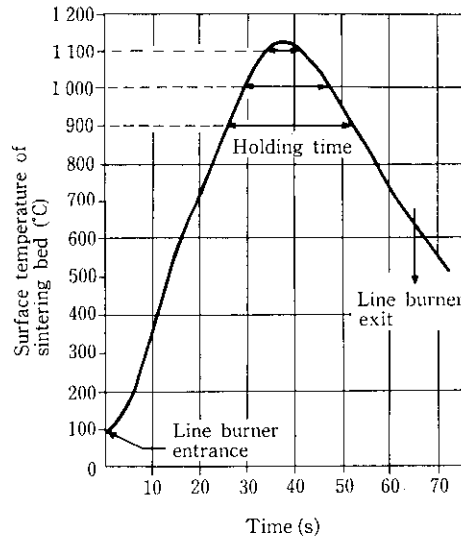
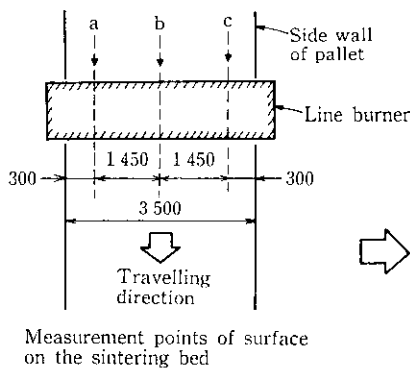


Fig. 10 Surface temperature measurement and an example of its results

年12月)および第4焼結機(1983年3月)に適用した。これらの新点火装置による点火エネルギーの低減にあたっては、表層温度分布の測定結果をもとに、着火限界の見極めと点火性に及ぼす操業因子の影響を明らかにし、最適操業条件を選定した。

5.1 最適着火条件の選択

Fig. 10 に点火時の原料表層温度の測定方法および測定例を示す。点火フード入側よりパレットの焼結原料上に熱電対を乗せ、パレットの移動と共にバーナフード入側から出側までの温度を測定した。測定点はパレット幅方向3箇所、それらの温度を平均した温度分布をプロットし、900°C以上における各温度レベルでの保持時間を求めた。それらの値から、着火限界と操業因子との関係づけを行った。

(1) 着火限界と安定着火条件

Fig. 11 にラインバーナにおけるバーナ高さ 300 mm、バーナ角度 25° の条件で調査した点火熱量原単位と原料表層温度分布との関係を示す。

点火熱量原単位を低下させた場合は、図中の点火熱量原単位 5 900 kcal/t-sinter に相当する温度分布に到達すると未着火域とな

る。従って、安定操業を維持するためには、図中の点火熱量原単位 6 700 kcal/t-sinter に相当する温度分布を最低限維持する必要があることを確認した。このように千葉および水島製鉄所では、着火限界と安定着火条件を把握した上で安定操業を維持し、かつ点火熱量原単位の低減を図るために、後述する操業因子の最適化を行った。

(2) バーナ高さ

バーナ高さを低下させると表層温度が上昇し、点火熱量原単位の低減が可能であることが判った (Fig. 12)。このように、点火熱量原単位の低減を図る場合には、フレーム温度の最高点を原料面に到達させることが重要である。

(3) バーナ角度

ラインバーナのバーナ角度は第3章に述べたように、パレット速度に対応した着火強度と高温保持時間で制限される範囲内に入るよう設定した。

(4) 原料水分

配合原料中の水分を変化させた結果、原料水分の低下にもなると点火性は向上した。従って、焼結配合原料の擬似粒子に必要な最小限の水分で操業するのが必要である (Fig. 13)。

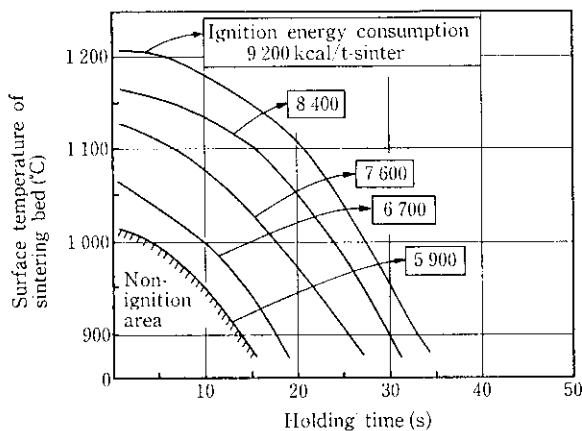


Fig. 11 Relation between holding time and surface temperature of sintering bed

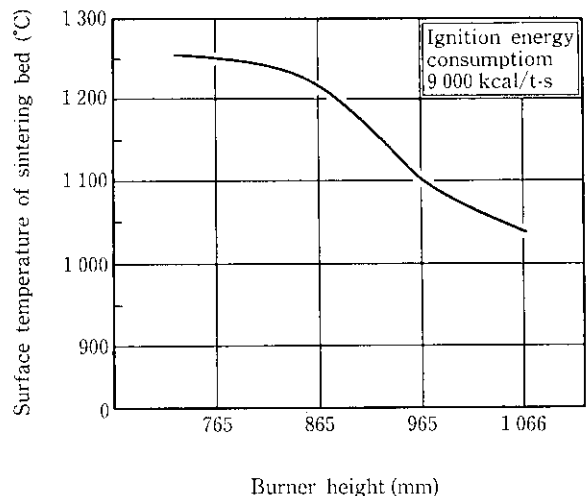


Fig. 12 Effect of burner height on the ignition conditions at slit burner

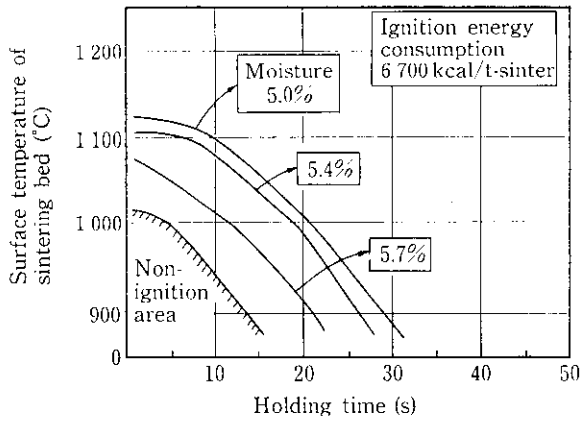


Fig. 13 Effect of moisture content in sinter mix on the ignition conditions at line burner

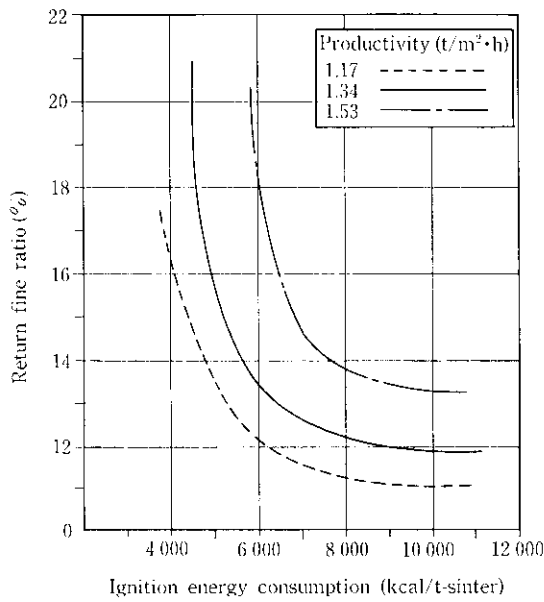


Fig. 14 Relation between ignition energy consumption and return fine ratio at line burner

(5) 歩留り

生産レベル変更時の点火熱量原単位と返鉱発生比の関係をラインバーナを用いて実験した。このときのバーナ高さは300mm、バーナ角度は25°一定とした。Fig. 14の結果より、操業上許容される返鉱発生比を保持するためには、生産率1.3 t/m<sup>2</sup>·h以下では点火熱量原単位約6 000 kcal/t-sinterまで、また生産率1.5 t/m<sup>2</sup>·hでは、7 000 kcal/t-sinter程度まで低減できることがわかる。

点火熱量原単位をさらに低減させてゆくと、急激に返鉱発生比が増大する。この限界点以上の状態では、点火熱量原単位を増加させても返鉱発生比はほとんど変化しない。

5.2 操業結果

前述のように、操業因子とラインバーナおよびスリットバーナの点火性を調査し、各々の因子を最適化することにより、千葉および水島製鉄所焼結工場以下で以下の操業結果を得た。

Fig. 15に千葉第3焼結機の操業結果を、Fig. 16に水島第4焼結機の操業結果を示す。千葉および水島製鉄所ともに新点火装置の実機化により、焼結鉱の品質に影響を及ぼすことなく点火熱量原単

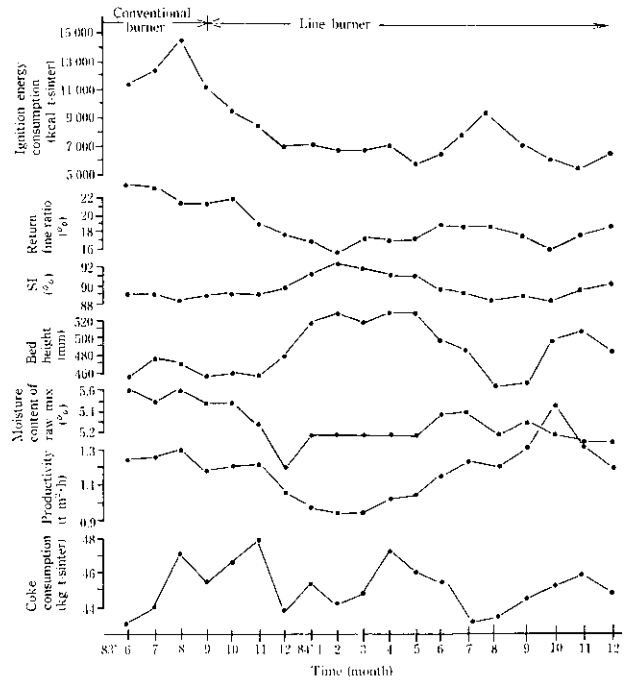


Fig. 15 Comparison of operational results between before and after the use of line burner at Chiba No. 3 DL

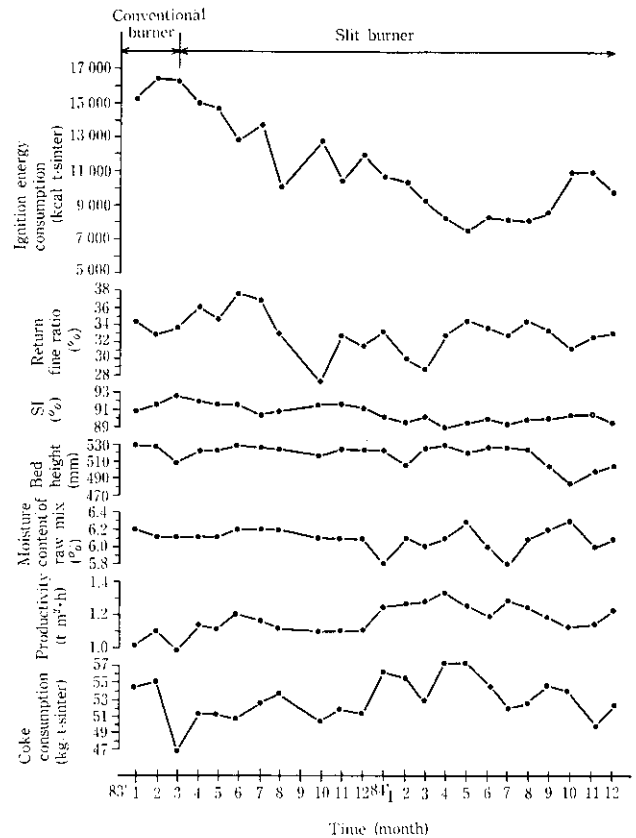


Fig. 16 Operational results of slit burner at Mizushima No. 4 DL

位を従来の14 000~16 000 kcal/t-sinterから6 000~8 000 kcal/t-sinterまで半減できた。

ラインバーナの全体写真をPhoto 1に、スリットバーナの全体写真をPhoto 2に示す。

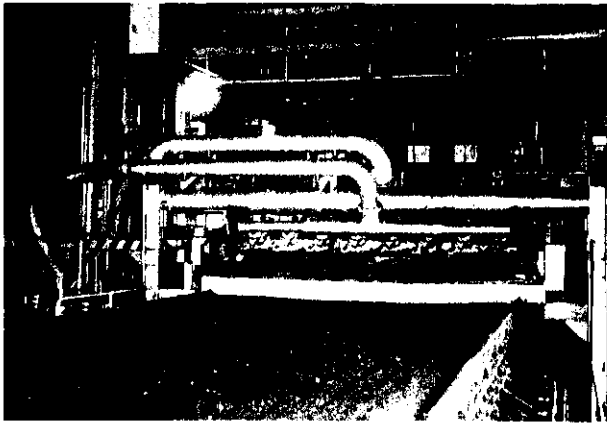


Photo 1 General view of line burner

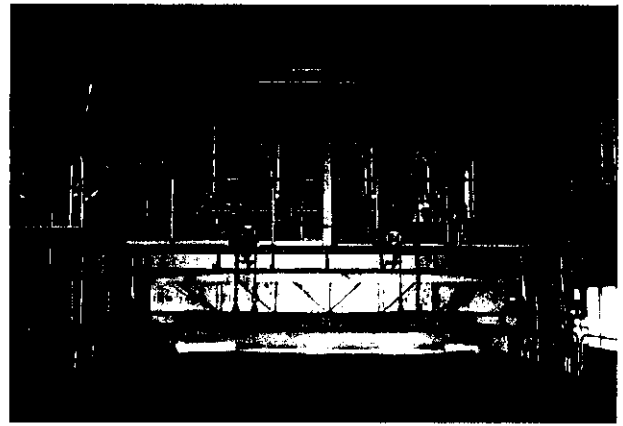


Photo 2 General view of slit burner

## 6 結 言

千葉および水島製鉄所では、点火の考え方を基本から見直すこと  
によって、焼結用点火装置ラインバーナ、スリットバーナを開発し  
た。

ラインバーナは、1983年8月千葉第3および第4焼結機に適用

し、またスリットバーナは1983年3月水島第4焼結機、1984年12  
月第3焼結機で実用化した。

これらの新点火装置は、従来の点火炉に比べ、バーナ高さおよび  
角度の変更ができる等、操業条件の変動に追従できる特徴をもっ  
ている。新点火装置の実用化と使用技術の確立を図り、焼結鉱品質に  
影響を及ぼすことなく、着火熱量原単位的大幅な削減を達成するこ  
とができた。

## 参 考 文 献

- 1) D. F. Ball, J. Dartnell, J. Davison, A. Grieve, and R. Wild: "Agglomeration of Iron Ores", (1973), [Heinemann Educational Books Ltd., London]
- 2) 例えば、福田隆博, 姫田昌孝, 前沢栄一, 吉田 均, 佐々木望, 佐藤 守, 奈須野孝洋, 阿蘇辰二, 芳賀良一: 鉄と鋼, 70 (1984) 4, S30
- 3) 沢田輝俊, 服部道紀, 小松 修: 日本鉄鋼協会共同研究会第64回製鉄部会, (1984), 私信