

焼結機用新点火装置の開発

技術報告

才野 光男*・高橋 博保*・田中 邦宏*

二上 伸宏*・中村 勝*

Development of New Type Ignition Apparatus for Sintering Machine

Mitsuo SAINO, Hiroyasu TAKAHASHI, Kunihiro TANAKA,
Nobuhiro HUTAGAMI and Masaru NAKAMURA

Synopsis :

Kawasaki Steel Corporation developed a new ignition apparatus, the "Line Burner" for the sintering process by radically changing the ignition method at Chiba Works.

The Line Burner was applied to Chiba sintering plant's No. 3 DL (203 m²) and No. 4 DL (210 m²) in August, 1983.

This new ignition apparatus completely changed the conventional image of the ignition furnace. Its features are as follows.

(1) Direct burning is possible through the Line Burner's multi-hole nozzle. It ensures more efficient burning condition. The height and inclination of the burner can be easily adjusted with this ignition system as changes occur in the operation.

(2) The flame is very uniform in the width direction and the desired shorter flame can be obtained. The combustion chamber volume can be reduced from 27 m³ to about 2 m³.

The ignition energy consumption can be reduced to as low as 6 000—7 000 kcal/t-s without any operational problems arising.

1. 緒 言

焼結原料中の粉コークスに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。

点火炉法による粉コークスへの着火は、点火バーナーからのフレームと炉内の輻射熱による着火方式が併用されているが、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、パレット速度等）に対する追従機能を有していないため、点火エネルギーの低減を図るにあつての障害となつていた。

川崎製鉄(株)千葉製鉄所では、点火の方法を基本から見直すことにより、新点火装置の開発を進めてきた。

この結果、多孔式バーナーによるフレーム着火方式で、バーナー高さおよび角度が変更できる点火装置「ラインバーナー」を開発し、1983年8月、千葉第3および第4焼結機に適用した。この新点火装置は均一なショートフレームが得られ、従来にない装置の小型化が可能である等の特徴をもっている。

実機に適用して以来、操業面における使用技術の確立を図り、点火エネルギーを従来の 11 000～14 000 kcal/

t-s から 6 000～7 000 kcal/t-s まで半減させることができた。

本報では、新点火装置「ラインバーナー」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

従来の焼結用点火炉は、バーナーとチャンバーから構成され、それらの位置関係や着火形態、また使用燃料の違いなどにより、さまざまなタイプが使用されている。

着火形態に着目すると、フレームの対流伝熱を主とするフレーム着火方式と、バーナーの燃焼熱がチャンバー内壁を介した輻射によつて原料表層に伝えられる雰囲気着火方式に分類され、両者は着火の均一性と炉容の大きさの点で相反する得失をもっている。

すなわち、フレーム着火方式は集中着火に適し炉容を小さくできる利点をもつが、不均一な温度分布を形成しやすく、着火むらの原因になりやすい。

一方、雰囲気着火方式では輻射熱を利用するため、原料表層上の温度分布は比較的広範囲にわたつて均一化されるが、炉容が大きくなり設備費の増大、炉体放散熱の増加による点火エネルギー損失等の欠点がある。

昭和 59 年 10 月本会講演大会にて発表 昭和 60 年 5 月 13 日受付 (Received May 13, 1985)

* 川崎製鉄(株)千葉製鉄所 (Chiba Works, Kawasaki Steel Corp., 1 Kawasaki-cho Chiba 260)

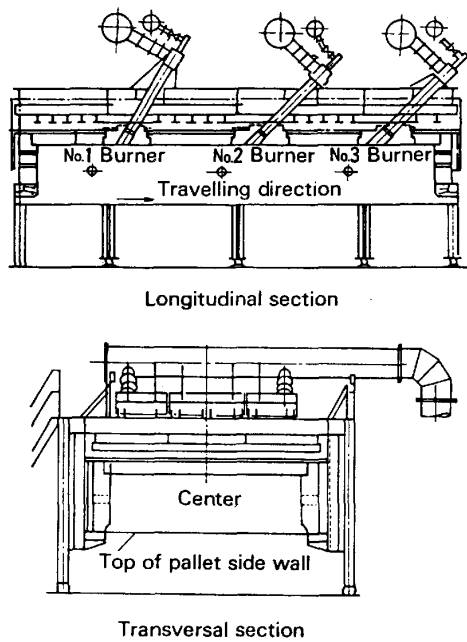


Fig. 1. Sectional view of conventional ignition furnace.

焼結鉱製造が日本より先行した欧米では、後者の着火方式が主流となつているが、日本では両者の着火方式が併用されている。

従来より、焼結ベッド上層部の焼結鉱強度等の品質および歩留り改善のため、欧米同様、日本でも点火炉の後段に保熱炉を設置したり、Fig. 1 に示すように点火用バーナを機長方向に複数配置しているものが多く、炉容は大きなものとなつていた。

しかし、原料給鉱部での焼結ベッド上下方向の粒度偏析技術¹⁾や点火炉下風箱内圧力制御技術²⁾等の進歩により、上層部の強度や歩留りは、点火エネルギーの増加によらずとも改善できること、また点火直後の急冷化により焼結鉱の還元粉化性が改善される³⁾ことなどが明らかにされ、炉容縮小の妨げとなるバーナーの複数配置方式や、保熱炉の設置に固執する必要はなくなつてきた。

これらの技術的進歩を背景として、各社とも炉容の縮小を中心とする点火エネルギーの低減⁴⁾に努め、Fig. 2 に示すように 1973 年には全国平均 40 000 kcal/t-s であつた点火エネルギーが、1983 年には 11 000 kcal/t-s まで低下している。

しかしながら、日本におけるこのような点火エネルギーの低減は、天井直下型の円筒形バーナーを対象に行われてきたものであるが、この方式の宿命である焼結機幅方向の着火むらのため、また炉容の縮小には限界があること等から点火エネルギーの低減には限度があつた。

これらを解決するため、新しい点火装置の開発に取り組んだ。

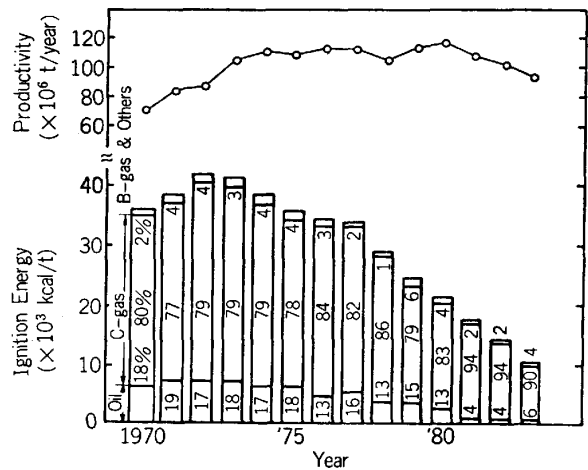


Fig. 2. Transition of sinter product and ignition energy consumption in Japan.

3. 新点火装置の基本概念

3.1 着火の機構

焼結原料中の粉コークスを着火させるには、常温の粉コークスを着火温度以上まで昇温する必要があり、フレームから粉コークスへの移動熱量が重要となる。

このことを(1)式で説明すると、フレーム温度 T_g と着火必要時間 t が着火熱量 Q に大きく影響をおよぼすことがわかる。

$$Q = h \cdot A (T_g - T_s) t \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 Q : 着火熱量

A : 伝熱面積

h : 熱伝達率 (フレーム温度の関数)

T_g : フレーム温度

T_s : 着火温度以上での粉コークス表面温度

t : 着火必要時間

焼結原料中の粉コークスを着火させるには、着火温度以上に昇温し、かつ一定時間保持 (保持時間) しておけば着火可能なことがわかる。

また、(1)式よりある一定の着火熱量 Q を得るには、フレーム温度 T_g を高めていつた方が保持時間 t が小さくてすみ、点火装置も小型化できるので可能な限りフレーム温度を高めるようにすべきことがわかる。

一方、焼結操業では、生産量の変更等によりパレット速度を変化させた場合、従来型の固定式バーナーでは保持時間を一定に保つことはできない。

特に生産量の増加を図る場合、パレット速度をあげるために保持時間が短くなり、これを補償するには点火エネルギーを増す必要がある。

本開発は、その対策として保持時間の確保をバーナー角度で調節するものである。

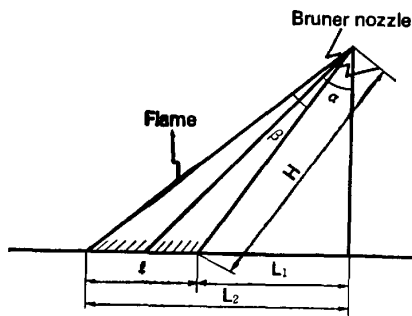


Fig. 3. Schematic diagram of burner inclination angle changes.

また、効率的な着火を行うには、フレイム温度の最高点を焼結原料面に到達させる必要がある。

これに対しては、バーナー高さで調整することとした。

従つて、バーナーノズルから原料表面までの距離を最適化し、さらに保持時間を一定以上に保つようにバーナー角度を調節することが必要である。

また、Fig. 3 に示すようにバーナー角度を α 、フレイムの広がり角度を β 、フレイムによる原料の赤熱長さを l とし、バーナーノズルから原料表面までのフレイム長さを H とすると(2)式が得られ、パレット速度に対する最低限必要なバーナー角度が求められる。

$$\begin{aligned}
 l &= ps \cdot t = L_2 - L_1 \\
 &= H \cos \alpha \{ \tan(\alpha + \beta/2) - \tan(\alpha - \beta/2) \} \\
 &= H \cos \alpha \frac{2 \sin \beta}{\cos \beta + \cos 2\alpha} \dots\dots\dots (2)
 \end{aligned}$$

ここで、 ps : パレット速度

t : 保持時間

一方、投入熱量が一定の場合、 l が大きくなると(3)式から着火強度が小さくなるため、着火条件を一定に保つには投入熱量を増加させなければならない。

$$I.I = \frac{Q}{l \cdot ps} \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 $I.I$: 着火強度

Q : 投入熱量

従つて、パレット速度との関係でこの条件からバーナー角度の上限値が得られ、さらには保持時間から下限値が求まる。Fig. 4 に示すように、これら2条件で制限される範囲内に入るようにバーナー角度を調節することにより、最適着火で操業が可能となる。

3.2 バーナーの選択

新バーナーの基本条件として、(1)フレイムの安定性、(2)幅広いターンダウン比(バーナーの定格燃料流量に対する最小燃料流量の比)および(3)広範囲な空燃比での燃焼の安定性等があり、さらに焼結点火用の条件として、(4)バーナー幅方向の均一性、(5)ショートフ

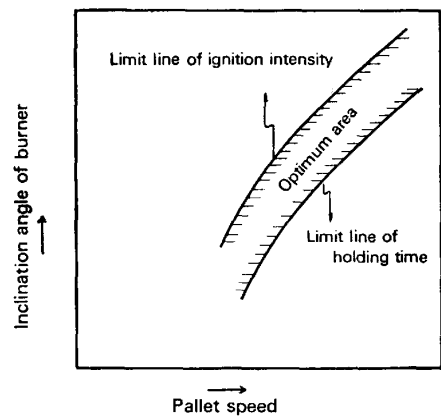


Fig. 4. Relation between pallet speed and inclination angle of burner for optimum burning range.

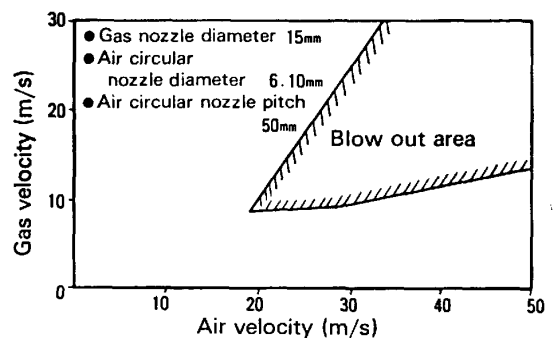


Fig. 5. Blow out area of gas and air velocity changes at nozzle portion⁵⁾.

レイムがあげられる。

ガスバーナーには予混合燃焼バーナーと拡散燃焼バーナーとがあり、幅広いターンダウン比と広範囲な空燃比での燃焼の安定性から、拡散燃焼バーナーのノズルミックス方式を採用した。

ノズルミックス方式には同心拡散炎型と多孔型があり、同心拡散炎型は Fig. 5 に示すように、ガス噴出速度と空気噴出速度を増大させると燃料の種類によつても領域は変化するが、燃焼の安定が得られないことはよく知られており⁵⁾、またフレイムもロングフレイムとなる欠点がある。

一方、開発対象とした多孔型には、前述の同心拡散炎型の欠点を克服する性能が要求されるが、これを確認するために空気とガスの噴出角度を変化させ、空気およびガスの噴出角度とフレイム長さの関係を調査した。

その結果、Fig. 6 に示すように噴出角度を 90° にすると、空気とガスの混合がよくなり最もショートフレイムとなつた。

また、噴出角度 90° のバーナーを使用し、空気およびガス噴出速度を変化させた時の各種燃料実験結果を

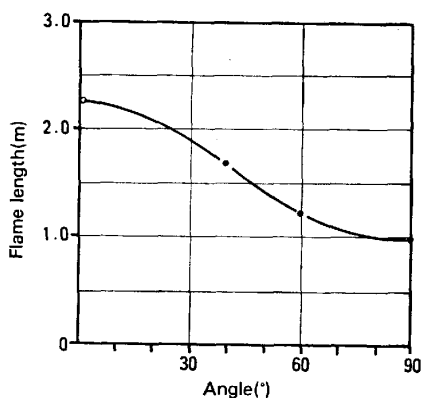


Fig. 6. Relation between flame length and cross angle of the gas and air at multi-hole type burner.

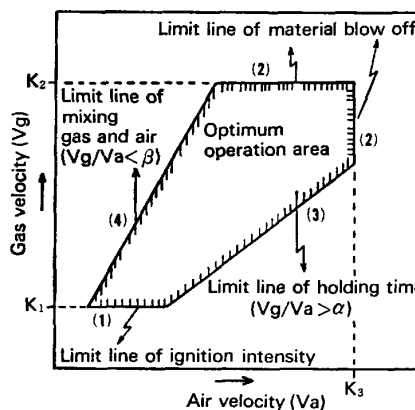


Fig. 8. Optimum operation area of air and gas velocity by Line Burner.

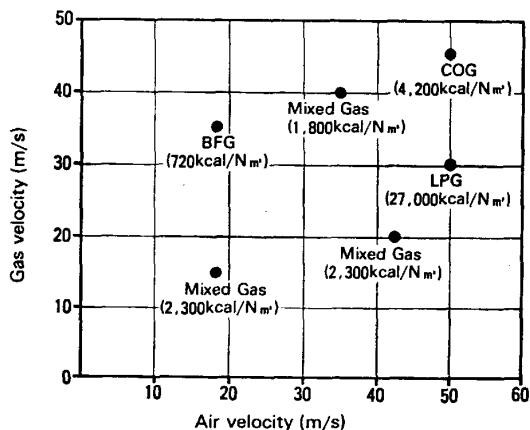


Fig. 7. Combustion range of various fuels at multi-hole type burner (cross angle 90°)

Fig. 7 に示したが、高炉ガス (BFG と称す) から LPG まで種々の燃料を使用しても安定して燃焼できることが確認できた。

前述のように、新バーナーでは燃焼の安定とショートフレームが得られるが、一方、焼結原料への着火については空気およびガス噴出速度に対して以下の条件を満たす必要がある。

(1) 空気およびガス噴出速度が小さすぎると、フレームの浮力の影響で着火強度低下と保持時間の減少をもたらす。

(2) 空気およびガス噴出速度が過度に大きくなると、原料表層を吹きとばし、また局部的に熔融しむら焼けの原因となる。

(3) 空気噴出速度が大きすぎると、フレームがシャープな形となり、広がりにくく保持時間の確保ができない。

(4) 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ームとなる。

そこで、以上の条件を満たす空気およびガス噴出速度

の適正範囲を求めるため、空気およびガスともに、ノズル径の異なる数種類のバーナーチップを製作し、燃焼量一定下の実験で空気、ガス噴出速度が及ぼす影響について調査した。

すなわち、

(1) については空気噴出速度 (以下 V_a と称す)、ガス噴出速度 (以下 V_g と称す) を数条件設定し、 V_a の各水準に対して V_g を低下させ着火可能な最小の V_g : k_1 を求めた。

以下同様の方法で、 V_a の各水準に対し V_g を上昇させることにより、

(2) については原料を吹きとばす限界の V_g : k_2 、 V_a : k_3 をそれぞれ求めた。

(4) については各水準ごとに燃焼排ガスの分析を行い、排ガス中に一酸化炭素が検出されない限界の最大の V_g/V_a を求めた。その結果、 $V_g/V_a < \beta$ の条件を満足することが必要であることを確認した。

(3) については V_a の各水準に対し V_g を低下させ、着火可能な保持時間が確保できる最小の V_g/V_a を求めた。

その結果、 $V_g/V_a > \alpha$ の条件を満足することが必要であることを確認した。

このようにして求められた実験結果から、Fig. 8 に示す空気噴出速度とガス噴出速度の適正範囲を決定した。

実機化にあたっては、適正領域の中央部を設計点とした。

4. 実機新点火装置の設計

4.1 バーナー

3.2 項で述べたように、均一な安定したショートフレームが得られるバーナーを設計、製作するため、以下のように考慮した。

(1) ガスと空気の噴出孔を多孔式にするとともに、バーナー内部への整流板の設置および多ヘッダー管により、均一フレームが得られるようにした。

(2) ガス流と空気流を直交させて燃焼させる、ノズルミックス方式を採用した。

(3) ガスと空気の噴出孔径は、3.2 項で求められた噴出速度の適正範囲にはいるよう設計した。

このようにして設計されたバーナーは、幅方向に均一な線状フレームを形成することから、「ラインバーナー」と名付けた。

4.2 点火フード

千葉第3焼結機でのテスト操業で、点火装置各部の温度を測定した結果、点火フード内雰囲気温度は 900~1100°C、バーナーノズル先端部は 800~900°C であった。

これらから、点火装置各部の長寿命を図るため、次のような対策を講じた。

(1) バーナー本体はフード外に設置し、バーナーノズル部のみをフード内に配置する構造とした。

(2) 高温にさらされるバーナーノズルは、耐熱鋳鋼製とし耐熱性の向上を図った。

なお、ノズルを容易に取り替えられるようバーナー本体とバーナーノズルをフランジ接合方式とし、脱着可能とした。

(3) 点火フードの内張りは、断熱キャストブルと耐火キャストブルの組合せで施工し、かつ水冷化を行った。

これらの耐久性向上対策とショートフレーム化が可能になったことにより、点火装置内容積を約 2m³ まで減少させた。

4.3 装置保持機構

焼結操業条件すなわち、原料層厚とパレット速度の変

動に対応できるようにするため、バーナー高さおよび角度を変更できる構造とした。

(1) 高さの変更に対しては、ガス管と空气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スクリージャッキを設置し、これによって操作することにより操業中、容易に調整できるようにした。(変更範囲：パレットサイドウォール上端から 250~500 mm)

(2) バーナー角度は、ヒンジ機構を用いることにより、鉛直線に対し 0~40° の範囲で調整可能とした。

(3) シール強化のため、点火フードを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ー本体と連動させて昇降させ、シール部が動かない構造にした。

このようにして、操業、設備面からのニーズを総合的に検討し、それらの各条件を具備した「ラインバーナー」の全体図を Fig. 9 に示す。

5. 実機への適用

以上、述べたような機能を持つ新点火装置「ラインバ

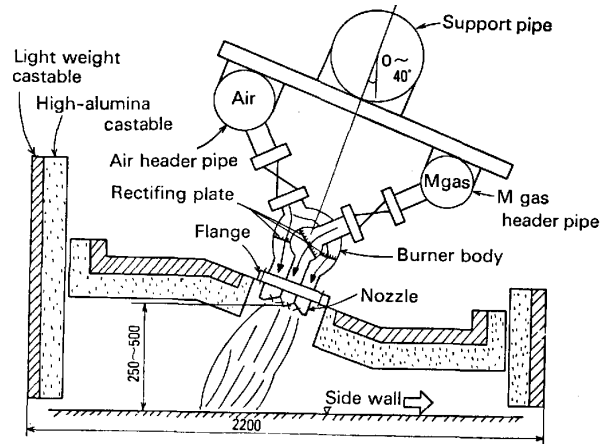
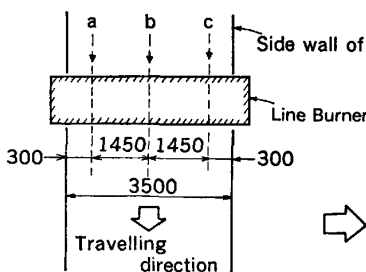


Fig. 9. Sectional view of Line Burner.



Measurement point of surface on the sintering bed.

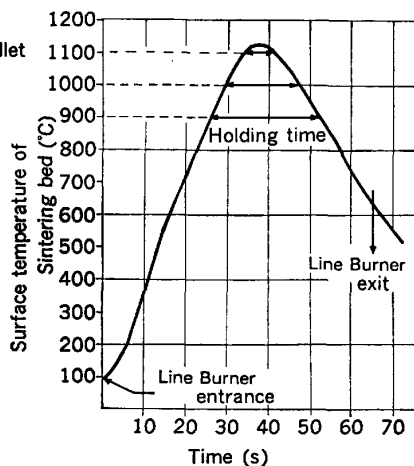


Fig. 10. Surface temperature measurement and example of its results.

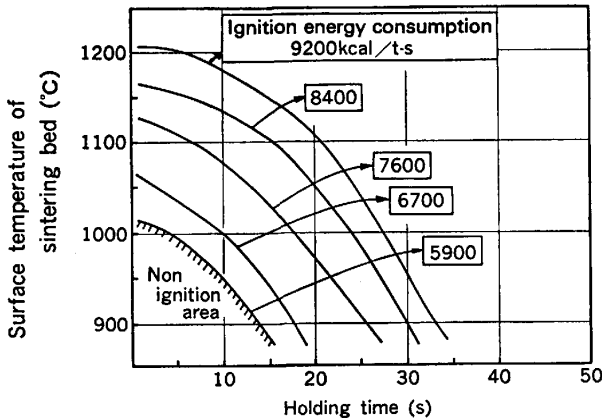


Fig. 11. Relation between holding time and surface temperature of sintering bed.

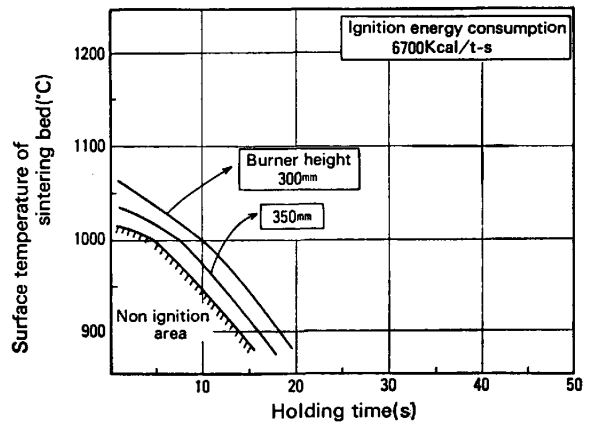


Fig. 12. Effect of burner height on the ignition conditions.

「バーナー」を、1983年8月千葉第3および第4焼結機に適用した。「ラインバーナー」による点火エネルギーの低減にあたっては、点火時の表層温度分布の測定結果をもとに点火限界の見極めと点火性におよぼす操業因子の影響を明らかにして、最適操業条件を選んだ。

5.1 最適操業条件の選択

Fig. 10 に点火時の原料表層温度の測定方法を示した。

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、パレットの移動とともに点火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カ所で、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、点火限界と操業因子との関係づけを行つた。

(1) 点火限界と安定点火条件

バーナー高さ 300 mm、バーナー角度 25° の一定下で点火エネルギーを数水準変化させ、その時の原料表層温度を測定することにより、点火エネルギーと点火時の原料表層温度分布の関係を調査した。

この調査結果を Fig. 11 に示したが、点火エネルギーを低下させていくと温度分布は未着火域に近づき、図中の点火エネルギーで 5 900 kcal/t-s に相当する温度分布に到達すると着火むらが発生した。

また、安定操業を継続するためには、図中の点火エネルギー 6 700 kcal/t-s 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。

従つて安定操業を維持し、かつ点火エネルギーの低減を図るために、後述する操業因子の最適化を行う必要がある。

(2) バーナー高さ

Fig. 12 よりバーナー高さを低下させれば、表層温度

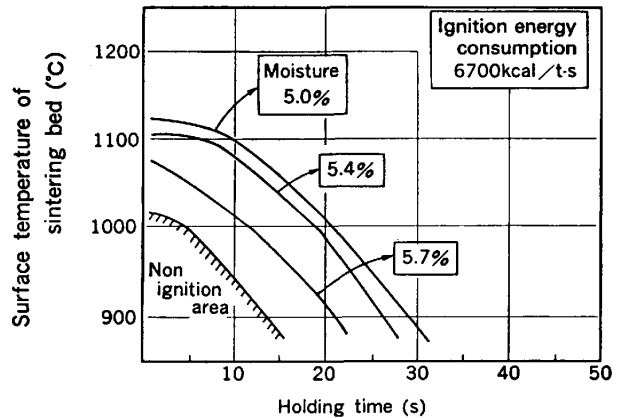


Fig. 13. Effect of moisture content in sinter mix on the ignition conditions.

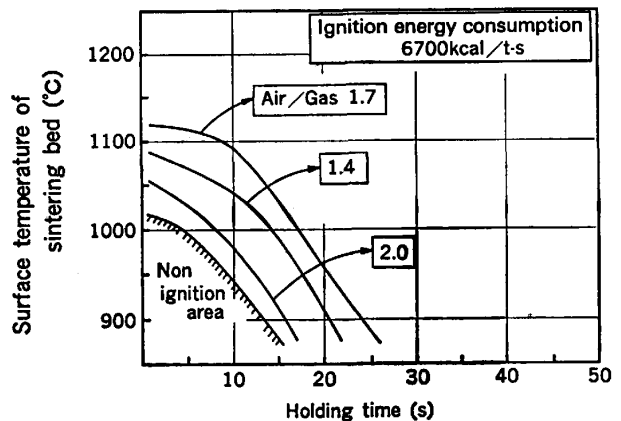


Fig. 14. Effect of Air/Gas on the ignition conditions.

が上昇し、かつ高温保持時間が増大し点火エネルギーの低減が可能であることを示している。

また、点火エネルギーの低減を図る場合には、前述したように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。

その意味においても高さの調整がキーポイントとな

る。

(3) バーナー角度

バーナー角度は 3.1 項で述べたように、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はいるよう調整している。

(4) 原料水分

Fig. 13 は、配合原料中の水分と点火性の関係を示している。これより、原料水分の低下に伴って点火性は向上することがわかる。

従って、焼結配合原料の擬似粒化に必要な最小限の水分で操業することが肝要である。

(5) 空燃比

Fig. 14 は発熱量が 2300 kcal/Nm³ の混合ガス (Mガスと称す) で、点火エネルギーが 6700 kcal/t-s での空燃比と点火性の関係を示す。

微小の負圧となっている点火フード内へ外気が侵入し

てくるため、実機条件下での空燃比は約 1.7 が良好であった。(空気比に換算すると約 0.8 となる。)

(6) 歩留り

バーナー高さ 300 mm、バーナー角度 25° の一定条件下での、生産レベル変更時の点火エネルギーと返鉱発生比の関係を Fig. 15 に示した。

これより、生産率 1.3 t/m²·h 以下では点火エネルギーを 6000 kcal/t-s 程度まで、また、生産率 1.5 t/m²·h では点火エネルギーを 7000 kcal/t-s 程度まで返鉱発生比を大幅に上昇させることなく低減できることがわかる。

このことから点火限界点近傍で、点火エネルギーの増減は顕著に影響をおよぼす。

従って、限界点を離れてからは点火エネルギーの必要以上の増大によつて、歩留り改善を図ることは効果が少なく、必要最小限の点火エネルギーさえ与えれば焼結操業が十分行えることを示している。

5.2 操業結果

前述のように、操業因子と「ラインバーナー」の点火性を調査し、それらを最適化することにより千葉製鉄所焼結工場以下のような操業結果を得た。

(1) Fig. 16 に示すように、「ラインバーナー」使用時の原料表層温度分布は、従来の点火炉使用時と比較してシャープな温度分布と幅方向の均一性が得られた。

(2) 第3焼結機での操業結果を Fig. 17 に示す。

操業条件の適正化を図ることによつて、焼結鉱品質に影響をおよぼすことなく、点火エネルギーを従来の 11000~14000 kcal/t-s から 6000~7000 kcal/t-s まで半減させることができた。

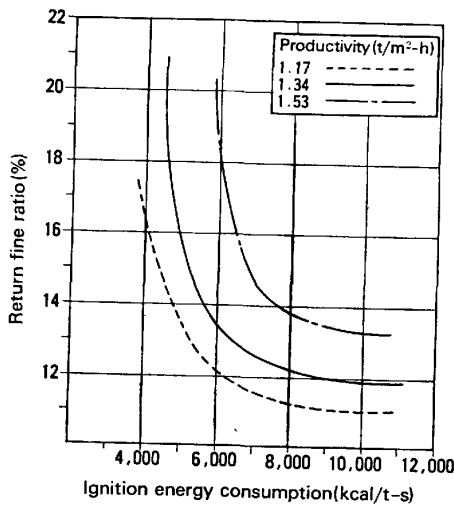


Fig. 15. Relation between ignition energy consumption and return fine ratio at Line Burner.

6. 結 言

川崎製鉄(株)千葉製鉄所では、点火の方法を基本から

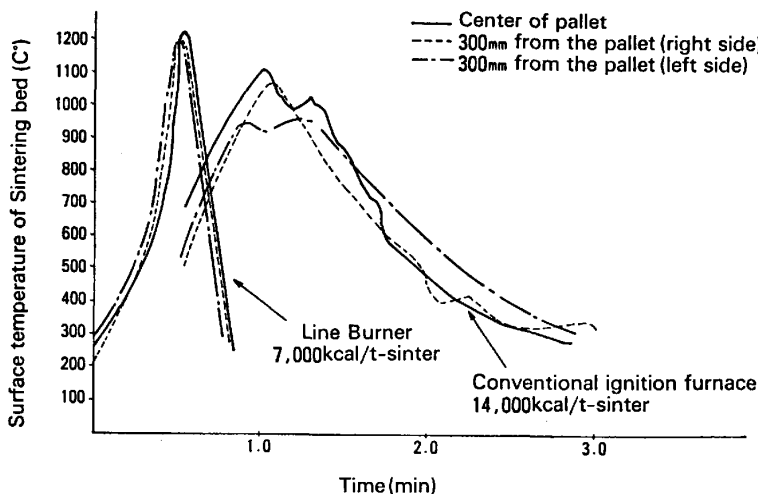


Fig. 16. Surface gas temperature distribution of conventional ignition furnace and Line Burner.

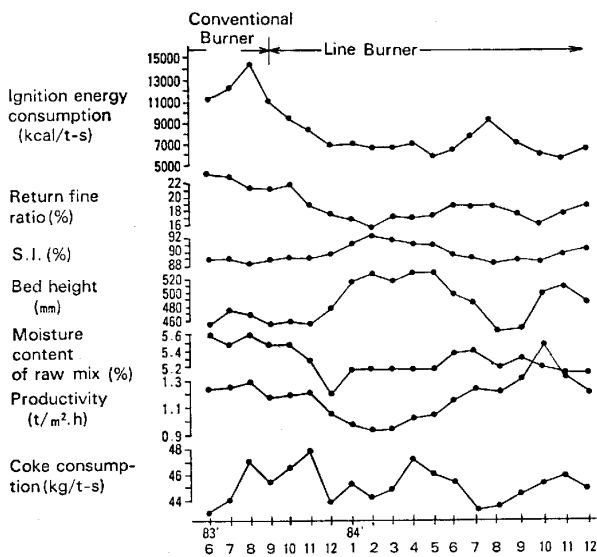


Fig. 17. Operational results of Line Burner at Chiba No. 3 DL.

見直すことによつて、焼結用新点火装置「ラインバーナー」を開発し、1983年8月第3および第4焼結機に適用した。

この新点火装置は従来の点火炉のイメージを払拭し、かつ点火炉方式よりも効率的なフレイム着火が可能であるとともに、バーナー高さおよび角度の変更ができる等、操業条件の変動に対する追従機能を有している。

「ラインバーナー」の実用化とこれに伴う使用技術の確立を図ることによつて、焼結鉱品質に影響をおよぼすことなく、点火エネルギーの大幅な削減を達成することができた。

今後は、さらにきめ細かな焼結操業への対応や、異なった種類の燃料ガスへの適用技術等を確立し、新点火装置の利用拡大を図っていく考えである。

文 献

- 1) 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)，S 30
- 2) 日本鉄鋼協会共同研究会：第 64 回製鉄部会 (1984 年 5 月) 日本鋼管(株) (私信)
- 3) 日本鉄鋼協会共同研究会：第 53 回製鉄部会 (1978 年 10 月) 川崎製鉄(株) (私信)
- 4) 日本鉄鋼協会共同研究会：第 64 回製鉄部会 (1984 年 5 月) 住友金属工業(株) (私信)
- 5) 辻 正一：燃焼機器工学 (1971)，p. 91 [日刊工業新聞社]