

技術報告

焼結機の点火炉における微粉炭燃焼法の開発

高島 啓行*・鈴木 豊*・上仲 基文*
 鏑木 勝彦*²・橋川 久司*²

Development of Pulverized Coal Combustion Method in Ignition Furnace of Sinter Plant

*Hiroyuki TAKASHIMA, Yutaka SUZUKI, Motofumi KAMINAKA,
 Katsuhiko KABURAGI and Hisashi HASHIKAWA*

Synopsis:

For ignition furnaces of sintering plants, the combustion equipment free from troubles which are caused by coal ash melting has been developed for pulverized coal firing. The developed burner has a high combustion efficiency of fuel with a short stable flame, that is, when coal combustion rate is 30 kg/h and injecting coke oven gas is equivalent to 10% of total heat input of fuel, the flame length is 0.8 m. The developed distributor for pulverized coal has been proved to give a small distribution error of less than $\pm 4\%$.

These burners and distributor were attached to an ignition furnace in the Sintering Plant. In comparison with the conventional coke oven gas firing (25 burners), heat input was increased by the change of heat distribution but ignition fuel cost was decreased 40%. Good quality of sintered ore was also achieved.

1. 結 言

石炭を石油代替燃料として使用すれば大幅な燃料費低減となるため、最近高炉羽口への微粉炭吹き込み及びベルト焼成キルンでの微粉炭燃焼が行われている。

石炭灰の処理に新たな対策を必要とせず、微粉炭燃焼への変更が容易な設備として、製鉄所には上記設備以外に焼結点火炉が考えられる。

微粉炭燃焼を焼結点火炉に適用する場合、火炎長は点火炉の炉高を大幅に超えてはならず、短炎が要求され、かつ均一加熱の必要上、小容量バーナを多数設置しなければならない。

このため、石炭燃焼量 30 kg/h, COG (コークス炉ガス) 混焼率 10% で、火炎長 0.8m となり安定な高輝炎を形成する短炎型小容量微粉炭バーナを開発した¹⁾²⁾。

次いで、分配数 2~12 の範囲で、分配誤差 4% 以内に微粉炭を気相搬送途上で個々のバーナに精度よく安定に分配可能な微粉炭分配器を開発した²⁾。

上記 6 分枝分配器及びバーナ 6 本を住友金属和歌山製鉄所第 2 焼結機に設置し、微粉炭燃焼テストを行つた結果、焼結点火炉燃料として微粉炭の使用が可能であるこ

とを確認したので報告する。

2. 小容量微粉炭バーナの開発

Fig. 1 に示したごとく火炎長の異なる 3 種類のバーナを開発したが、基本構造は 2 段燃焼型で、排ガス自己循環促進作用を有しており、石炭揮発分を急速燃焼させた熱 (バーナタイル出口部で 1200°C 以上) で、チャーを急速熱分解し、ガス化後、燃焼させている。

火炎長が従来のバーナと大差なく、焼結点火炉に適した短炎型バーナⅢは、バーナⅡの COG に旋回を付与することにより火炎の短炎化を図つたものである。

2.1 実験方法

幅 0.6m, 高さ 2m, 長さ 2m の耐火壁炉の上部にバーナを設置し、下方に燃料を噴出した。石炭は豪州産の一般炭 (揮発分=31.8%, 灰分=9.6%, 窒素=1.8%, 200 ムッシュ以下=63%) を使用し、燃焼用空気の子熱は行わなかつた。

2.2 実験結果

バーナ I, II, III を対比させ、火炎形状を観察し、火炎温度、NO_x, CO 濃度分布を測定した結果を報告する。

昭和 58 年 4 月本会講演大会にて発表 昭和 58 年 11 月 1 日受付 (Received Nov. 1, 1983)

* 住友金属工業(株)中央技術研究所波崎研究センター (Hasaki Research Center, Central Research Laboratories, Sumitomo Metal Industries, Ltd., 16 Oaza-Sunayama Hasakimachi Kashima-gun Ibaraki pref. 314-04)

*² 住友金属工業(株)和歌山製鉄所 (Wakayama Steel Works, Sumitomo Metal Industries, Ltd.)

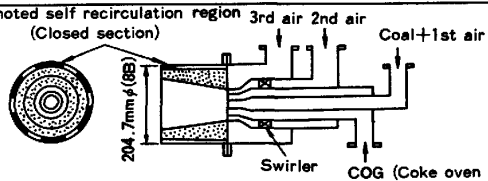
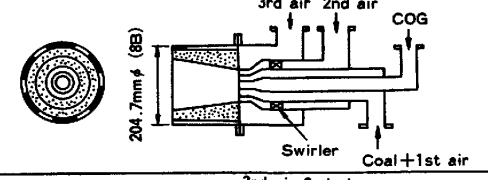
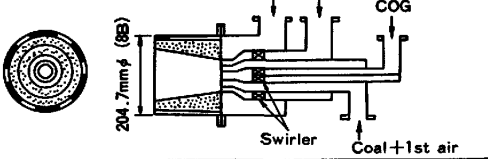
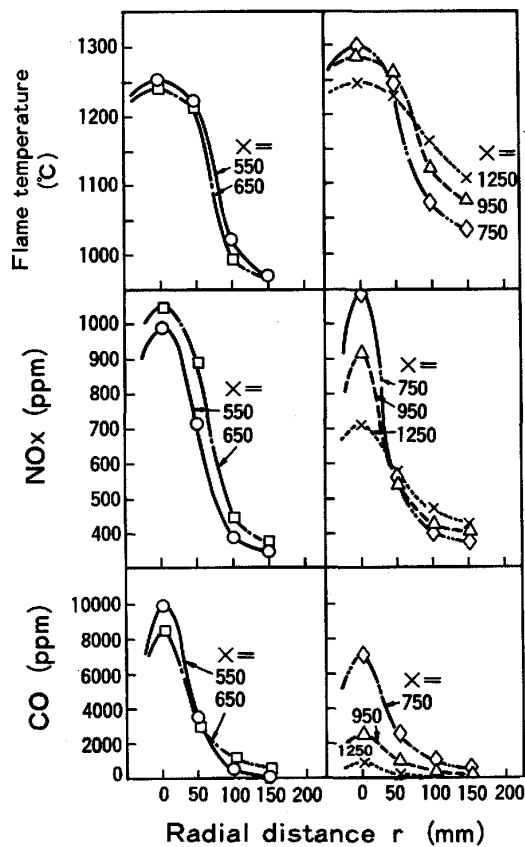
Type	Schematic diagram of burners	Flame length (Coal:30kg/h, COG:10%)
I		1.8m
II		1.2m
III		0.8m

Fig. 1. Summary of main trials for burner development.

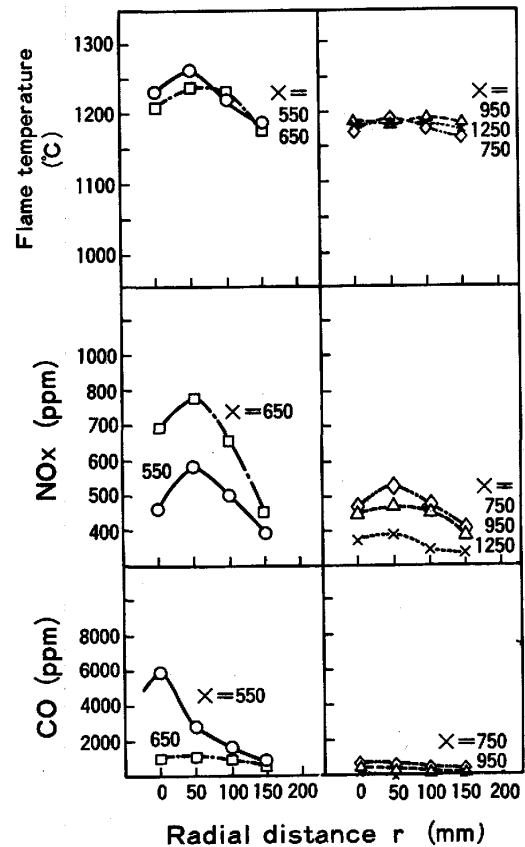


Coal : 30kg/h, COG : 15%, 8Nm³/h, Excess air ratio : 1.2
X : Distance from the burner tile (mm)

Fig. 2. Temperature and gas composition in the combustion zone in front of Type I burner.

2.2.1 バーナ I (Fig. 2)

(1) COG 混焼率 10% の時、火炎はバーナ口より約 300 mm 離れかつ火炎が不安定で火炎形成が不良であり、安定な高輝度火炎を得るには COG 混焼率を 15%

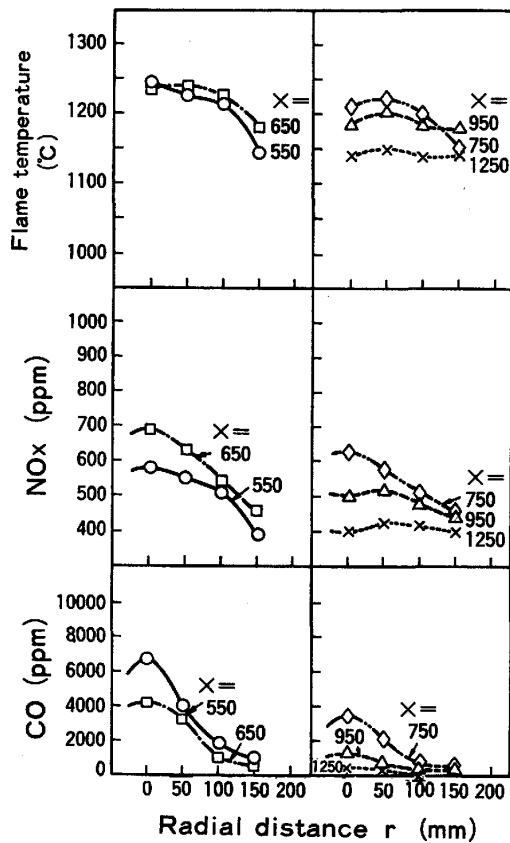


Coal : 30kg/h, COG : 15%, 8Nm³/h, Excess air ratio : 1.2

Fig. 3. Temperature and gas composition in the combustion zone in front of Type III burner.

以上にすることが必要で、この時火炎長は約 1.8m となった。

(2) 半径方向の火炎温度、NO_x 濃度分布はバーナ中心軸上で鋭いピークとなり、輝炎の存在しない r ≥ 100



Coal : 30kg/h, COG : 15%, 8Nm³/h, Excess air ratio : 1.2
 Fig. 4. Temperature and gas composition in the combustion zone in front of Type II burner.

mm では、これらの値は急激に低下する。バーナ中心軸上の温度分布は、バーナタイルより 750 mm の位置にて最高温度を示し、その後緩慢に低下する。一方、バーナ中心軸上の NO_x 濃度分布はバーナタイルからの距離 X = 750 mm にて最高値となり、その後急激に低下する。

(3) 半径方向の CO 分布はバーナ中心軸上で鋭いピークとなり、バーナ中心軸上の CO 分布はバーナ近傍で最大値を示し、炉内燃焼ガス流の後方、つまり後流ほど低くなつており、石炭はガス化後、燃焼していることがわかる。

2.2.2 バーナⅢ (Fig. 3)

(1) COG 混焼率 10% にて安定した火炎を形成し、火炎長は約 0.8m となつた。

(2) 半径方向の火炎温度分布は、r = 50 mm にて、ゆるやかなピークの最高温度を示し、バーナ中心軸に燃焼ガスが逆流循環していることがわかる。火炎温度は、後流ほど平滑化し、X = 750 mm でほぼ平滑となつており燃焼完結の早いことが示されている。

(3) NO_x はバーナ近傍で最高値を示し、半径方向の NO_x 分布は r = 50 mm にて緩慢なピークとなり、後

流ほど NO_x は低下している。

(4) CO 分布は X = 650 mm より後流では急激に低下し、かつ半径方向の CO 分布は平滑化しており、バーナⅠに比べ CO の低下がきわめて早いことがわかる。

2.2.3 バーナⅡ (Fig. 4)

(1) COG 混焼率 10% にて安定した火炎を形成し、火炎長は約 1.2m となつた。

(2) 半径方向の火炎温度分布は、X = 550 mm ではバーナ中心軸上でピークとなり、この後流では r = 0 ~ 50 mm にて最高値を示し、X = 1250 mm にて温度分布はほぼ平滑となり、バーナⅠとⅢの中間的なものとなつた。

(3) 半径方向の NO_x 分布は、バーナⅠとⅡの中間的な傾向を示し、X ≤ 750 mm ではバーナ中心軸上で NO_x は緩慢なピークの最高値を示し、その後流では半径方向の NO_x 分布は、ほぼ平滑となる。またバーナⅢと同様、後流ほど NO_x は低下する。

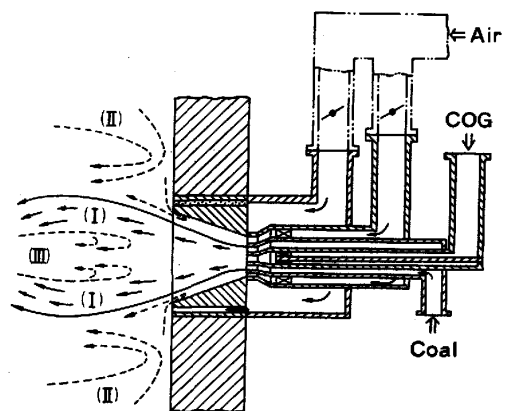
(4) 火炎温度、NO_x 分布と同様 CO 分布もバーナⅠとⅢの中間的な傾向を示し、バーナⅠよりもピークが緩慢になつている。

以上より、バーナⅠ、Ⅱ、Ⅲの中、バーナⅢは火炎長が最も短く、従来バーナに類似し、しかも COG 混焼率を低下でき、焼結点火炉に最も適することがわかつた。

なお、バーナⅠ、Ⅱ、Ⅲとも COG 混焼率を任意に増大でき、COG 専焼でも安定に燃焼する。

2.3 燃焼の機構

バーナⅢの燃焼帯形成の概念図を Fig. 5 に示した。実線は微粉炭流れ、破線は燃焼ガス流れである。(Ⅰ)は



(Ⅰ) : Radiant flame formation zone where gasified coal is burned
 (Ⅱ) : Combustion gas recirculation zone around the flame
 (Ⅲ) : Combustion gas recirculation zone along the central axis of the burner

Fig. 5. Conceptual figure of combustion zone formation.

微粉炭がガス化分解後燃焼し輝炎が形成されているゾーンである。(Ⅲ)はバーナ中心軸上の燃焼ガス逆流循環ゾーンである。(Ⅱ)は火炎外周部の燃焼ガス逆流循環ゾーンであり、燃焼ガスがバーナタイル内まで逆流循環しているため、輝炎はバーナタイル内面よりわずかに離れ、微粉炭流はバーナタイルに接触しない。バーナ軸中心部より旋回流となつて噴出される気体燃料が外周方向に拡がりつつ微粉炭流れの中を通過するため、微粉炭のうち特に燃焼速度が速くかつ慣性力の小さな微粒子炭が拡がりつつ最初に着火燃焼する。このため、大容量バーナに比べ燃焼場の蓄熱量が小さく安定な火炎が形成され難い小容量バーナの場合でも、バーナタイル内で着火し、比較的容易に安定な輝炎が形成される。一方、慣性力が大きくかつ燃焼速度の遅い粗粒子炭はわずかに半径方向外側に拡がりつつほぼ直進し、火炎の高温域を通過して急速熱分解ガス化後燃焼するため、バーナⅢの火炎径は大きくなり火炎長は短くなる。以上は、バーナⅢの特徴であるがバーナⅠ、Ⅱ、Ⅲとも次の機能を有す。

バーナタイル内より燃焼用空気的全量を噴出した場合は、火炎が冷却されてしまい火炎がバーナ口より離れて形成され、バーナ口近傍に未燃領域である黒色部が生じ、火炎が不安定となるが、本開発バーナの場合、バーナタイル内より供給する空気量を抑制し、比較的低温でガス化する石炭の燃焼に必要な量の空気をバーナタイル内より噴出するため、短時間に石炭のガス化燃焼が起こり、バーナタイル内より安定な輝炎が形成される。

バーナタイル外周の全周より3次空気を噴出した場合は、火炎外周から火炎中への炉内高温燃焼ガスの逆流循環は、この空気で封じられ阻害されるが、本開発バーナの場合、3次空気噴出孔上に閉塞部を設け、3次空気噴出孔が適正な間隔で設置されているため、この閉塞部より燃焼ガスが火炎中へ逆流循環し、また3次空気噴出による同伴流生成機能により、炉内高温燃焼ガスの逆流循環が促進され、石炭の早期ガス化が進行する。バーナタイル出口部近傍は、3次空気及び3次空気を一部伴つた燃焼ガスの逆流循環流により、石炭の熔融温度以下に冷却され、バーナ出口部近傍の石炭灰の溶融付着(クリンカートラブル)は防止される。また、3次空気噴出孔は従来の2段燃焼バーナのごとく円形ではなく、スリット状であるため、3次空気の燃焼場での混合は均質に行われ、NO_xの低減に有効に作用する。

以上の機能により、本開発バーナは、大容量バーナでは石炭専焼も可能であるが、10%程度の気体燃料を混焼することにより次の特徴を示す。

(1) 低 NO_x 性と燃焼安定性を同時に兼ね備えてい

る。

(2) クリンカートラブルが生じにくい。

(3) 燃焼量低下性能、燃焼制御性が従来の微粉炭バーナに比べ格段に優れており、重油等と同等である。

(4) 高負荷燃焼が行え、適用範囲が広い。

(5) 低 NO_x バーナとしては、構造が簡潔かつ小型化されており耐久性に優れる。

3. 微粉炭分配器の開発

焼結点火炉では均一加熱の必要上多数のバーナを設置するため、微粉炭燃料を焼結点火炉に使用する場合には微粉炭を個々のバーナに精度よく分配することが不可欠条件となる。このため、微粉炭を気相搬送上で各バーナに精度よく分配できる分配器を開発した。

微粉炭燃焼法を実機に広く適用するには、焼結点火炉の燃焼容量に応じた分配数の微粉炭分配器の開発が必要となる。このため、Fig. 6 に示したように6分枝、4分枝と2種類の微粉炭分配器を考案、製作し、分配精度を調べるとともに、分枝管の一部を閉塞し間引き分配を行つた場合の分配精度も調べた。更に、この4分枝分配器の上方に6分枝分配器2基をFig. 6のごとく多段配列した2段12分枝分配器を構成し分配精度を調べた。

微粉炭分配誤差は、分配器からの分枝管長をすべて同一長とし、分枝管を一定の曲率で曲げ垂直下方に設置し、分枝管出口部にバッグフィルターを結びつけ、一定時間バッグフィルター内に捕集された微粉炭重量を秤量

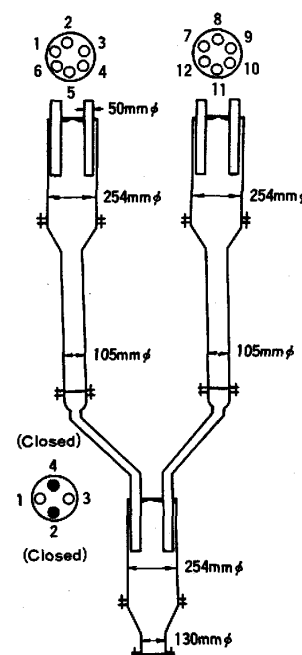


Fig. 6. Schematic diagram of the coal distributor with 12-branches.

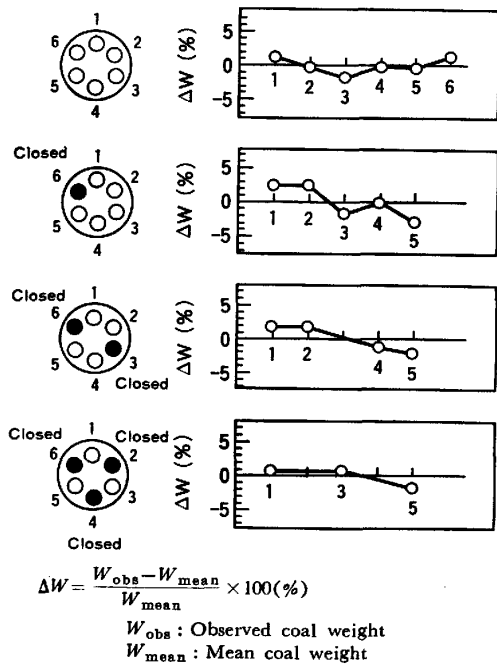


Fig. 7. Experimental results of pulverized coal injection by the coal distributor with 6-branches.

することにより調べた。

No. i 分枝管の分配誤差 ΔW_i は、分配数を n 、分枝管の微粉炭捕集重量を W_i とした時、次式に基づき算出した。

$$\Delta W_i = \frac{W_i - \sum_{i=1}^n W_i/n}{\sum_{i=1}^n W_i/n} \times 100 (\%)$$

なお、現状バーナに分配されている燃料及び空気の分配誤差は、5% 以内程度と考えられるため、微粉炭分配誤差は 5% 以内にするを目標とした。

(1) 6分枝分配器 (Fig. 6 の上段, Fig. 7)

6分配の場合、 ΔW_i の最大値である最大分配誤差 ΔE は 1.8% で、間引き 5, 4, 3 分配とした時の ΔE はそれぞれ 3, 2.2, 1.7% となつた。

(2) 4分枝分配器 (Fig. 6 の下段)

4分配では $\Delta E=2.4\%$ と 6分枝分配器での4分配時の ΔE よりも分配誤差は若干大きくなつた。3分配時には $\Delta E=5\%$ と 6分枝分配器での3分配時の ΔE よりも分配誤差は大幅に大きくなつた。2分配時には、 $\Delta E=0.8\%$ と分配精度は良好であつた。以上より、4分枝分配器より、6分枝分配器のほうが分配精度が良好なことがわかつた。これは、6分枝分配器のほうが分配器内に貫入した分枝管による整流効果が大きいためと考えられる。

(3) 12分枝分配器 (Fig. 6, Fig. 8)

下段に4分枝分配器を取り付け、これの分枝管 No.

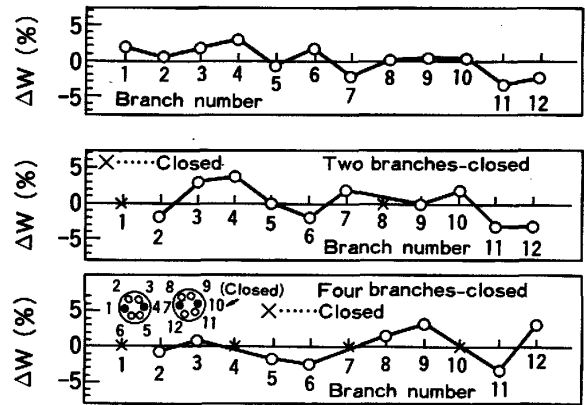


Fig. 8. Experimental results of pulverized coal injection in the coal distributor with 12-branches.

2, No. 4 を閉じ 2分配器とし、その上段に6分枝分配器を2基取り付け付けた。12, 10, 8 分配の場合、 ΔE はそれぞれ 3.4%, 3.8%, 3.4% となつた。

以上より、間引き分配及び分配器多段配列を行つても分配精度の大幅な悪化はなく、2~12 分配の範囲で、分配誤差 4% 以下の精度で分配可能なことがわかつた。

なお、本分配器は、分配器内での微粉炭の自己循環作用と分配器内の貫入分枝管による分配器中心軸からの微粉炭流の偏流防止作用により均一分配が行えるようにしたものである。

4. 焼結点火炉微粉炭燃焼結果

前記の6分枝分配器及び短炎型バーナ (タイプⅢ) 6本を住友金属和歌山製鉄所第2焼結点火炉に設置し、微粉炭の使用可否について調査した。

4.1 試験方法

設備全体図を Fig. 9 に示したが、石炭は自然乾燥後、ホッパーに投入され粉碎後、微粉炭分配器で6分配されバーナに搬送される。焼結点火炉概略を Fig. 10 に示したが、点火炉には従来1列に 25 本の COG バーナが3列設置されていたのを、今回この3列目を微粉炭パ

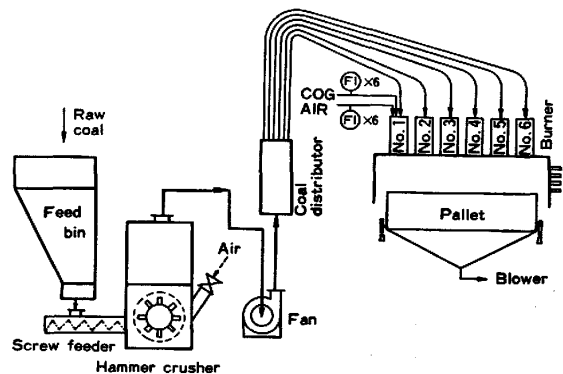


Fig. 9. Outline of equipments.

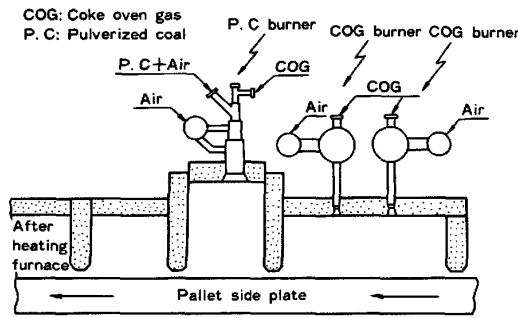


Fig. 10. Outline of ignition furnace.

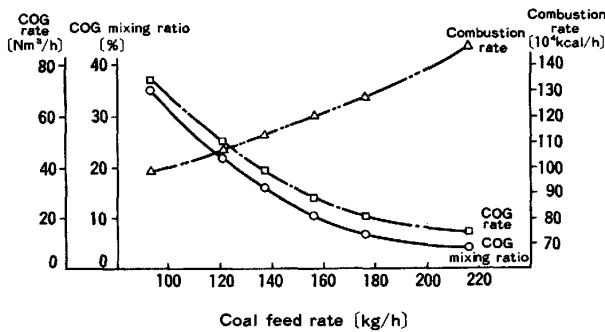


Fig. 11. Relation between coal feed rate and COG mixing ratio.

ーナ6本に転換し、炉壁で仕切った。

石炭はアフリカ産一般炭（揮発分=29.8%，灰分=7.4%，窒素=2%，付着水分=5%，200メッシュ以下=85%）を使用し、石炭量は180kg/hを標準とし、空気比1.05で冷風を用いた。

微粉炭最適燃焼条件を把握することを目的として、昼間時間帯のみ短時間微粉炭燃焼テストを最初に行った。更に、焼結鉱品質の確認を目的として、原料組成等の操業条件を一定とし、微粉炭バーナと従来のCOGバーナにて各々50h以上の連続燃焼試験を2回行つた。

4.2 試験結果

(1) 1次空気と微粉炭の固気化が高いと、火炎はリフトし不安定となり失火の恐れがある。1次空気は減少するほうが火炎は安定化し、固気化は3Nm³-Air/kg-Coal以下が良い。

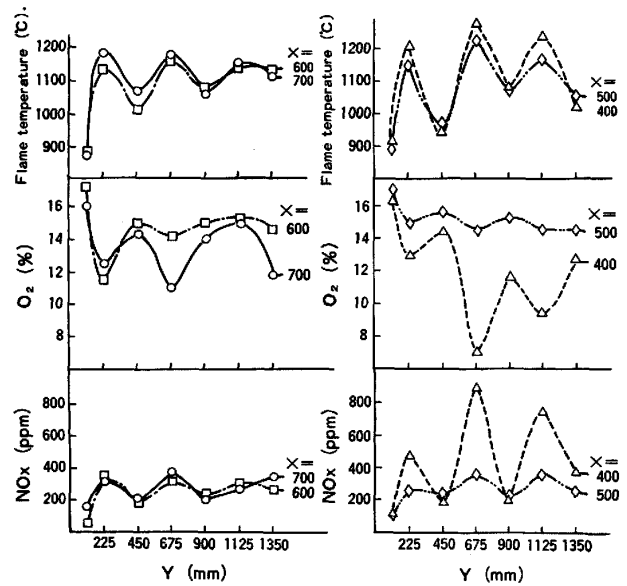
(2) 小容量バーナの燃焼量低下性能は、大容量バーナに比べ悪く、COG混焼率10%では1/2程度が限界である。石炭燃焼量を減少するには、COG混焼率をFig. 11に示すように増大することが必要であつた。

全バーナのCOG混焼率を同一とし、従来のCOGバーナとほぼ同一の燃焼熱量とした第1次微粉炭連続燃焼テストより次のことがわかつた。

(3) サイド側のバーナNo. 1, No. 6の火炎温度が低く、両サイドで生焼けが著しく、COG燃焼時に比べ落下強度TIが低下(66.3→65.1%)し、焼結鉱品質

Table 1. Combustion test results.

		Burner for pulverized coal	Conventional COG burner
Combustion condition	Coal (kg/h)	180	—
	COG (Nm ³ /h)	43	257
	COG rate (%)	13.9	100
	Air ratio	1.05	1.05
Result	Productivity (t/m ² /d)	25.8	26
	RDI (%)	37.6	38.3
	TI (%)	66.8	66.9
	Coke breeze (kg/t)	45.2	45.5
	Ignition energy (10 ³ kcal/t)	13.6	10.9
	Fuel cost (¥/t)	44.9	77



X: Distance from the burner tile (mm)
Y: Distance from the side wall of furnace (mm)

Fig. 12. Temperature and gas composition in ignition furnace.

が若干悪化した。

(4) 集塵ダスト油脂分、ダスト量の増大は認められなかつた。

上記品質悪化の原因は、微粉炭バーナを等間隔に設置し、COGバーナに比べバーナ本数を1/4に減少したことによる熱量配分の不適正化、石炭付着水分の変化及び粗粒子炭混入による石炭供給量の変動等により、むら焼けが起こつたためと考えられる。

このため、サイド側バーナNo. 1, 6のCOG混焼率を増大(20%)し、サイド部の生焼けを防止し、着火状況に応じて石炭供給スクリュウフィダーの回転数を調整し、第2次微粉炭連続燃焼テストを行つた結果、次のことがわかつた。

(5) 従来のCOG専焼時に比べ燃焼熱量は25%増大したものの、燃料費は約40%低減し、RDI, TI等の焼結鉱品質は従来のCOGバーナの場合と同等に良好であつた。(Table 1)

(6) 点火炉内の火炎温度、 O_2 、 NO_x 分布を Fig. 12 に示したが、サイド側火炎温度は従来の COG 専焼時に比べ $100^\circ C$ 以上低く、サイド側の熱量は不足している。(従来の COG バーナではサイド側と隣接部は $20^\circ C$ 程度の差異であつた。)

5. 結 言

焼結点火炉燃料を微粉炭化することを目的として、石炭燃焼量 30 kg/h 、COG 混焼率 10% にて、火炎長 0.8m となり安定な高輝炎を形成する短炎型小容量微粉炭バーナを開発した。次いで分配数 $2\sim 12$ の範囲で、分配誤差 4% 以内で微粉炭を気相搬送途上で個々のバ

ーナに分配可能な微粉炭分配器を開発した。更に、住友金属和歌山製鉄所第2焼結機に上記6分枝分配器とバーナ6本を設置し、微粉炭連続燃焼テストを行い焼結鉱品質を調べた結果、点火炉の燃料として微粉炭の使用が可能なることを確認した。

文 献

- 1) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第69回熱経済技術部会 (1981年11月) 住友金属工業(株) (私信)
- 2) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第71回熱経済技術部会 (1982年11月) 住友金属工業(株) (私信)
- 3) 日本鉄鋼協会共同研究会: 第62回製鉄部会 (1983年5月) 日新製鋼(株) (私信)