

發生爐瓦斯平爐に於ける燃焼に就て (III)

瓦斯の燃焼速度に関する實驗

(昭和 25 年 4 月本會講演大會にて講演)

土 居 寧 文* 田 坂 鋼 二

STUDY ON THE COMBUSTION OF PRODUCER GAS IN THE OPEN HEARTH FURNACE (III)

Yasubumi Doi and Koji Tasaka

Synopsis:

The authors could establish a method of discriminating the real state of gas combustion in an open hearth furnace by means of taking gas from some spot in the gas flame and analyzing its chemical contents. By this method the following results were obtained in consequence of the experiments with respect to Venturi type acid open hearth furnace (nominal capacity 40 t).

(1) The velocity of gas combustion in the open hearth furnace was quantitatively measured by the variation of the quantity of CO content in the flame gas.

(2) The combustion velocity is increased by the addition of air blowing and far more increased by the addition of oxygen blowing compared with that of gas only.

(3) The combustion velocity was compared as follows by finding out the gas combustion velocity constant (K) in an open hearth furnace.

(i) In the case of ordinary operation (gas only, excess air 15%) $K \doteq 13$

(ii) With the addition of air blowing (4m³/min) $K \doteq 37$

(iii) With the addition of oxygen blowing (7m³/min) $K \doteq 66$

I. 緒 言

平爐に於ける燃焼技術の研究は生産能率を増大し、熱効率を向上せしめ燃料原單位の低下を計る上に最も重要なことである。そして又これは平爐の構造改良に對し基礎資料を提供するものである。

さて燃焼速度の遅い發生爐瓦斯を使用する平爐に於てその燃焼効果を高める方法として壓搾空氣又は酸素を瓦斯ポートの兩側より爐内に吹込むことに依り瓦斯の燃焼を一段と高め得たことは第 1 報⁽¹⁾で述べた處である。次に瓦斯ポート中に壓搾空氣を吹込む噴射式瓦斯ポートが更に顯著な燃焼効果を示すことは第 2 報⁽²⁾に述べた處である。

これ等の効果は瓦斯の燃焼速度が加速された結果 Short and Sharp flame となり燃焼効果が高められたものである。このことを更に明かに知るためには火焰の燃焼狀況を科學的に把握することが是非とも必要である。然し乍ら現在の處未だその方法が確立されていない

のである。

依つて燃焼効果と大きい關係をもつ平爐内に於ける瓦斯の燃焼速度の問題を取上げ、如何なる燃焼速度でもつて瓦斯が燃焼しているか、又その燃焼速度が如何なる條件に依つて左右されるかを定量的に知るために本實驗を行つたのである。

その方法として瓦斯火焰中の瓦斯を採取し發生爐瓦斯可燃成分中の最も燃焼速度が遅く且大きな發熱源である CO 量の變化を以つて燃焼速度判定の目安として、試験を行つた結果について報告する。

II. 試験方法並に測定事項

1. 使用平爐 使用瓦斯發生爐

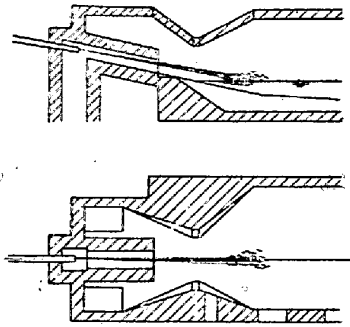
使用平爐は前報に述べたと同様ベンチュリー式酸性平爐(公稱能力 40t 装入 45t)を使用した。使用瓦斯發生爐はウッド式 SB 10 型發生爐 1 基(瓦斯化能力 30t/

* 新扶桑金屬工業株式會社製鋼所

day) である。

2. 噴射式瓦斯ポート装置

瓦斯ポートに壓縮空氣又は酸素を吹込む方法は第1圖に概略を示す。吹込管の位置、方向、寸法等は第2報に述べたと全く同様である。又使用酸素の發生装置、送酸方法の詳細は第1報に詳細示した通りである。



第1圖 噴射式瓦斯ポート装置

3. 試験竝に試験回数

次の各々の場合につき各々熔解について試験を実施した。

(1) 發生爐瓦斯単味の場合

發生爐瓦斯流量 $5,000\text{m}^3/\text{hr}$ (以下各々の場合 $5,000\text{m}^3/\text{hr}$ に一定した)

- i) 過剩空氣 0% の場合
- ii) 過剩空氣 15% の場合
- iii) 過剩空氣 30% の場合

(2) 噴射式瓦斯ポートに依り空氣を吹込んだ場合

- i) 吹込空氣量 $2.5\text{m}^3/\text{min}$ の場合 (過剩空氣 7%)

- ii) 吹込空氣量 $3.5\text{m}^3/\text{min}$ の場合 (過剩空氣 7%)

- iii) 吹込空氣量 $4\text{m}^3/\text{min}$ の場合 (過剩空氣 7%)

3. 噴射式瓦斯ポートに依り酸素を吹込んだ場合 (使用酸素の純度は98~99% である)

- i) 吹込酸素量 $3\text{m}^3/\text{min}$ の場合 (過剩空氣 0%)

- ii) 吹込酸素量 $7\text{m}^3/\text{min}$ の場合 (過剩空氣 0%)

4. 測定方法竝に測定事項

平爐に於ける瓦斯燃焼の状況を判定するため爐尻 (瓦斯上昇道) に於ける廢瓦斯の分析を行つた結果を第1表に示す。この結果より瓦斯単味の場合、空氣又酸素を吹込んだ場合何れも爐尻に於ける廢瓦斯成分は大きい差が認められない。従つてこの方法では瓦斯の燃焼状況を的確に判定するに充分でないことが解る。

依つて燃焼速度測定の方法として瓦斯火焰の分析に依ることとしたのである。その方法は次の如く行つた。即ち火焰の中心部より火焰進行方向の各點に於て火焰瓦斯を採取して分析を行つた。瓦斯ポートより 600mm の點に於ける火焰瓦斯分析結果の一例を示すと第2表に示す通りである。

この結果についてみるに H_2 , CH_4 成分は燃焼速度が速く噴出口より 600mm の點に於て完全に燃焼し終つてゐるが、 CO 成分は可成り残留し、燃焼速度が遅いことが解る。従つて燃焼速度判定の目安として火焰瓦斯中の CO 成分の變化によることを考えたのである。同時に光高温計に依りその位置の火焰温度を測定した。次にその詳細について述べる。

第1表 爐尻に於ける廢瓦斯成分

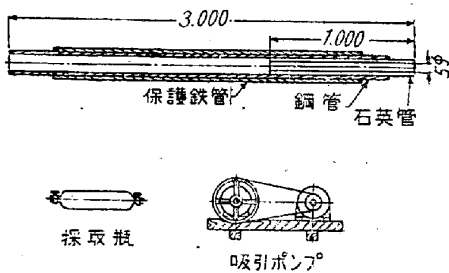
				熔解番號	廢瓦斯成分 (Vol%)		
					CO_2	O_2	CO
發生爐瓦斯	單味の 場合	過剩 空氣 率	0 %	83	14.2	0.8	0.8
				88	14.0	0.2	1.0
			15 %	9	14.4	2.0	0.4
		14	15.0	1.0	0.4		
	30 %	82	13.6	1.0	0.8		
		89	14.8	1.2	0.4		
	空氣吹込 の場合	吹込 空氣 量	$2.5\text{m}^3/\text{min}$	65	14.0	2.8	0.2
			$3.5\text{m}^3/\text{min}$	64	14.8	2.2	0.2
			$4.0\text{m}^3/\text{min}$	74	16.0	0.8	0.4
			63	15.0	1.6	0.6	
	64	15.0	0.4	0.8			
酸素吹込 の場合	吹込 酸素 量	$3\text{m}^3/\text{min}$	41	14.8	0.4	0.2	
			80	16.6	0.4	0.3	
		$7\text{m}^3/\text{min}$	92	15.3	0.7	0.4	

第2表 瓦斯ポートより 600mm の距離に於ける瓦斯火焰成分
(發生爐瓦斯單味, 過剩空氣 15% の場合)

装入後 経過時間	火焰瓦斯成分 (Vol %)				
	CO ₂	O ₂	CO	H ₂	CH ₄
1	7.4	1.2	15.2	0	0
2	7.2	2.0	11.4	0	0
3	9.6	0.8	11.0	0	0

(1) 火焰瓦斯採取法

第2圖に示す如く採取管に依り吸引ポンプを用いて火焰瓦斯を吸引採取した。



第2圖 火焰瓦斯採取管

瓦斯採取管内径 5mmφ の石英管を保護パイプ中にに入れて使用した。

瓦斯吸引採取時間は第3表に示す如く 20 秒間で一定となるから標準を 20 秒とした。

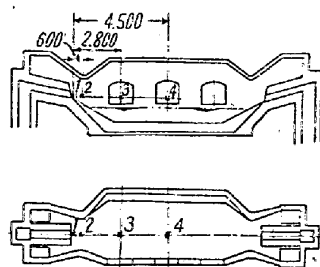
第3表 瓦斯吸引時間と瓦斯成分との關係

採取時間	瓦斯成分 (Vol %)		
	CO ₂	O ₂	CO
10秒	7.6	4.8	2.2
20秒	13.2	1.4	3.0
30秒	13.0	1.8	2.8
40秒	13.4	1.5	3.0

(2) 火焰瓦斯採取場所

火焰瓦斯の採取は瓦斯ポートの中心に於て Sill line に平行して4點に於て採集した。

第3圖にその位置を示す。



第3圖 火焰瓦斯採取場所

- ① 瓦斯ポート出口の位置
 - ② 瓦斯ポートより 600mm の位置
 - ③ 瓦斯ポートより 2800mm の位置
 - ④ 瓦斯ポートより 4500mm の位置
- (3) 火焰瓦斯採取時期

装入終了後 1.2.3 時間経過した時期に於て測定を行った。尚採取の時期は變更後 5 分後に定めた。

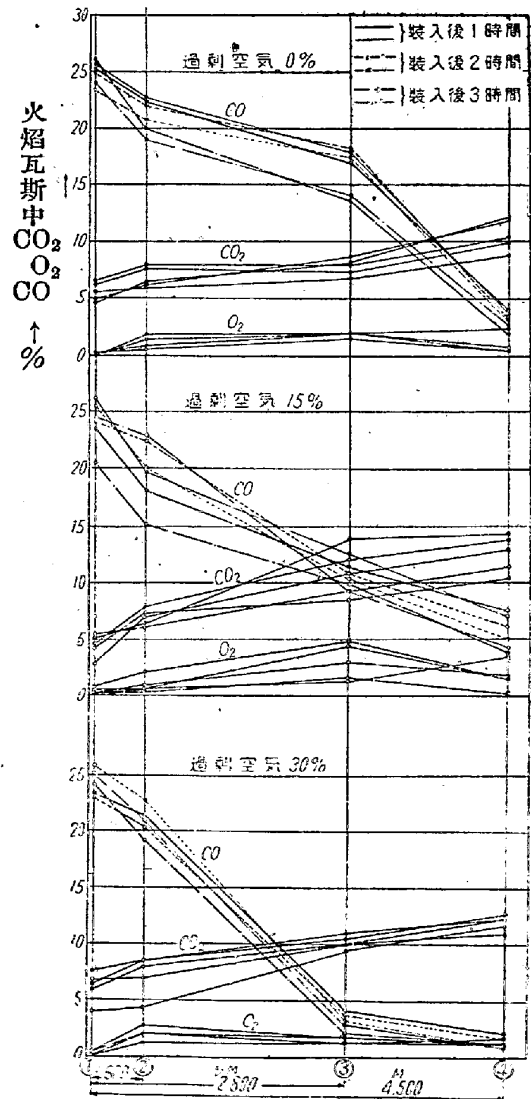
(4) 火焰温度

装入終了後 2 時間経過した時期に於て即ち火焰が略々安定せる時期に一定個人に火焰温度分布を測定せしめた。

III. 試験結果並にその考察

1. 發生爐瓦斯成分

各試験の場合に於ける發生爐瓦斯成分を平爐變更弁直



瓦斯ポートよりの距離 m/m →
第4圖 瓦斯單味の場合の燃焼速度

第4表 發生爐瓦斯成分 (變更弁直前に於ける分析結果)

				熔解番號	* 發生爐瓦斯成分 (%)			
					CO ₂	CO	CH ₄	H ₂
發生爐瓦斯	單味の場合	過剰空氣率	0%	83	3.4	28.6	3.6	12.9
				88	3.0	28.7	3.0	12.1
			15%	9	2.8	29.0	2.8	12.0
				14	2.8	29.2	3.6	11.0
				82	3.0	28.8	3.2	12.2
			89	3.0	28.2	3.2	12.8	
空氣吹込の場合	場	吹込空氣量	2.5m ³ /min	65	3.0	28.0	2.8	13.0
				99	2.7	29.0	3.0	15.0
			3.5m ³ /min	64	3.0	28.4	3.0	12.6
				74	2.8	29.0	2.0	14.0
			4.5m ³ /min	63	3.0	28.6	3.6	12.6
				24	2.4	29.0	3.6	12.8
酸素吹込の場合	の場	吹酸素込量	3m ³ /min	41	3.0	28.8	3.6	11.6
				80	2.2	29.8	3.6	10.9
			7m ³ /min	45	3.0	28.6	2.6	12.9

前に於て分析した結果を第4表に示す。何れも略々一定の成分であつた。

2. 瓦斯單味の場合の燃焼速度

第4圖に瓦斯單味の場合について過剰空氣 0%, 15% 30% 夫々の場合に於ける燃焼速度測定結果を示す。

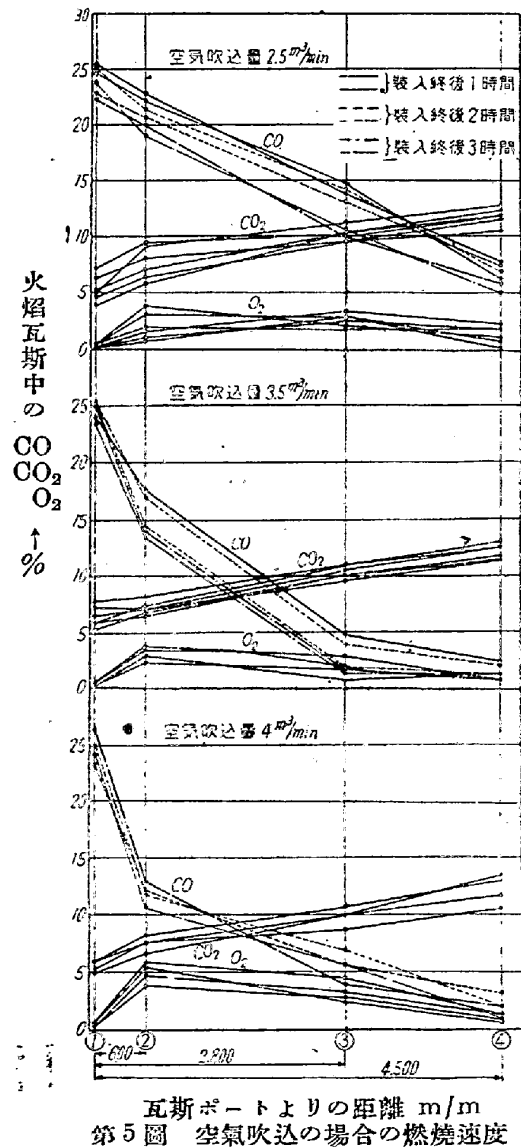
この場合についてみるに瓦斯ポート出口①の位置に於ける瓦斯成分は CO 成分 22~23% である。瓦斯は蓄熱室を通過して熱分解をするから CO 成分はこの程度に低下するものと考えられる。

次に火焰瓦斯中の各點に於ける CO 成分の變化を検討するに、過剰空氣 0% の場合についてみれば CO 成分の低下は漸減の傾向にあり燃焼速度が緩慢であることが解る。過剰空氣が増加するにつれて CO 成分の低下は急激となり過剰空氣 30% となると燃焼速度が非常に速進されることを示している。このことは過剰空氣量が多くなることにより瓦斯と空氣の混合が速進される結果燃焼が加速されるものと考えられる。

3. 空氣吹込の場合の燃焼速度

第5圖は瓦斯ポートに壓縮空氣を吹込んだ場合について吹込空氣量 2.5m³/min, 3.5m³/min, 4m³/min 夫々の場合に於ける燃焼速度測定の結果を示す。

この結果についてみるに、火焰瓦斯中の CO 成分の變化は空氣吹込量に依つて可成りの差があることが明瞭である。即ち空氣吹込量 2.5m³/min の場合は CO 成分の減少は漸減の傾向にあり燃焼速度に殆んど影響がないが、空氣吹込量 3.5m³/min より 4m³/min と増加するに従つて CO 成分量の減少は急激となる。このこと

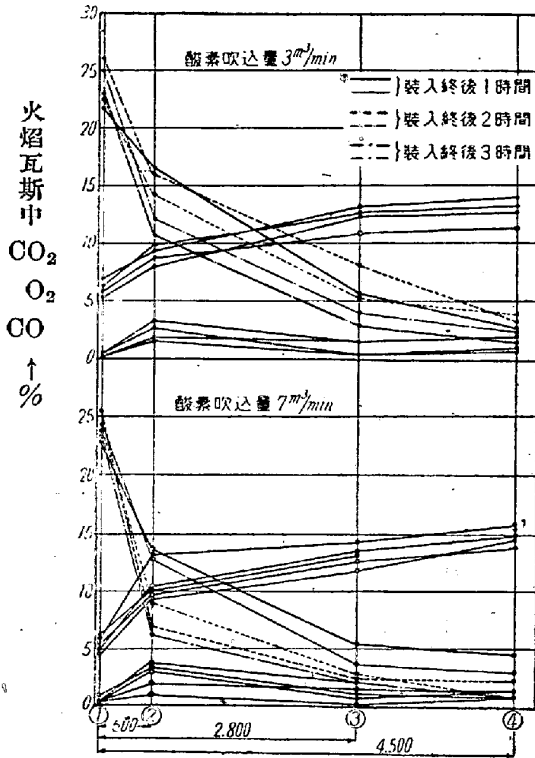


第5圖 空氣吹込の場合の燃焼速度

はポート中へ空気を吹込むことに依り瓦斯と空氣の混合物が加速され燃焼速度が速くなることを示すものである。

4. 酸素吹込の場合の燃焼速度

第6圖に瓦斯ポートに酸素を吹込んだ場合について酸素量 $3\text{m}^3/\text{min}$ 、 $7\text{m}^3/\text{min}$ 夫々の場合に於ける燃焼速度測定の結果を示す。



瓦斯ポートよりの距離 m/m →
第6圖 酸素吹込の場合の燃焼速度

この結果によれば火焰瓦斯中の CO 成分の變化は酸素量の多い程急激な減少を示し酸素 $7\text{m}^3/\text{min}$ の場合噴出口より 2m の位置に於て CO 成分の 80% が完全に燃焼し終つている。即ち酸素吹込に依つて Sharp flame が得られることが明かに解るのである。

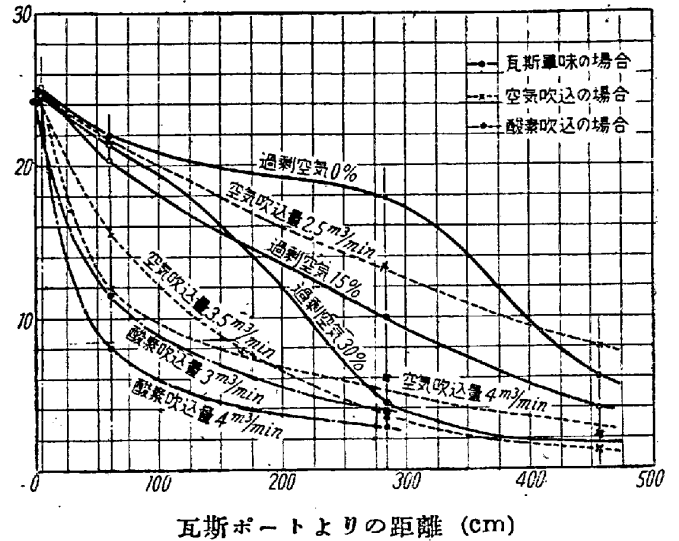
5. 瓦斯單味、空氣吹込及び酸素吹込の場合の比較

前項に於いて測定した瓦斯單味、空氣吹込各々の場合の燃焼速度の平均値を以つて比較した結果を第7圖及び第8圖に示す。第7圖は裝入後 2hr 経過した時期をとつた。

又このことを確かめるために各々の場合に於ける結果を第9圖に示した。

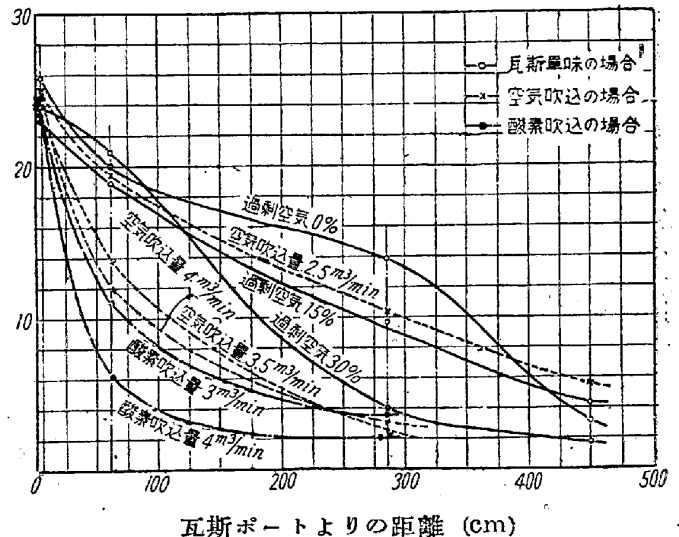
第7圖、第8圖について夫々の場合の燃焼速度を CO 成分の變化から比較すると瓦斯單味の場合より空氣吹込の場合が良好であり更に酸素吹込の場合一層速くなることゝ明かである。

火焰瓦斯中 CO% ↑



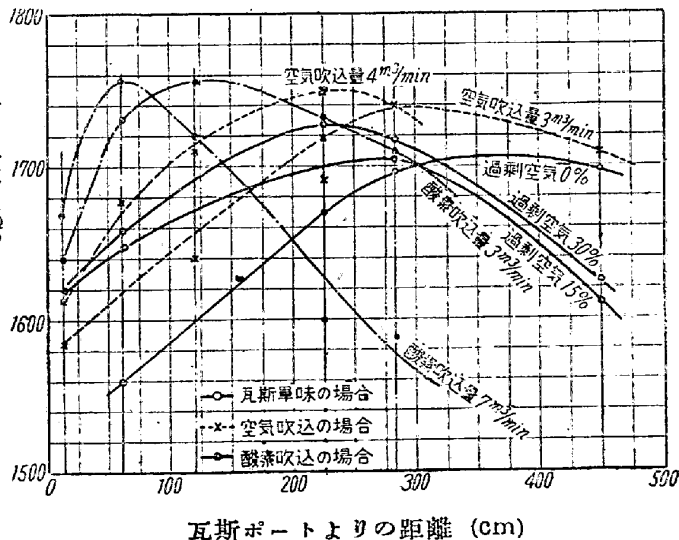
瓦斯ポートよりの距離 (cm)
第7圖 裝入後 2 時間に於ける燃焼速度の比較

火焰瓦斯中の CO% ↑



瓦斯ポートよりの距離 (cm)
第8圖 裝入後 3 時間に於ける燃焼速度

火焰温度 (°C)



瓦斯ポートよりの距離 (cm)
第9圖 火焰温度分布

このことは第9圖の火焰温度の比較についてみれば一層明瞭である。即ち火焰の最高温度は瓦斯單味の場合より

り空氣吹込の場合がより噴出口に接近した處で現はれて居り、酸素吹込の場合は更に噴出口に接近している。即ち燃焼速度の速いことは火焰の最高温度が噴出口に接近していることとよく一致する。従つて空氣吹込又は酸素吹込は燃焼速度を速進し flame が一層 Short and Sharp となることがよく解るのである。

6. 燃焼速度恒数の計算

以上の實數値に基き燃焼速度の計算を行つてみる。瓦斯の燃焼に關しては一般に次の式が成立する。

$$\frac{dq_1}{d_2} K (q - q_1)^{0.75} \dots \dots \dots (1)$$

q : 燃焼瓦斯 $1m^3$ についての熱量 kcal/mm³

q_1 : 或時間 Z 秒後迄に反應して生じた熱量 kcal/mm³

K : 燃焼速度恒數

(1) 式より

$$q_1 = q(1 - e^{-kZ}) \dots \dots \dots (2)$$

更に火焰が餘り擴がらない噴出口に近い場所即ち throat 部内では瓦斯速度 U を一定として差支えないから (3) 式が成立する。

$$x = U \cos Z \dots \dots \dots (3)$$

x : 噴出口よりの距離 m

θ : 瓦斯ポート傾斜角 (13°)

Z : 時間 Sec

U : 瓦斯速度 m/sec

$x=1m$ とし U はその範圍内の平均温度より求める。

これらの數値を用いて (2) (3) 式から K の値の計算すると次の通りになる。

普通操業の場合 $K \doteq 13$

(瓦斯單味, 過剩空氣 15%)

空氣吹込の場合 $K \doteq 37$

($4m^3/min$)

酸素吹込の場合 $K \doteq 66$

($7m^3/min$)

以上の計算結果は噴出口より 1m の範圍内の計算である。

即ち空氣又は酸素の吹込に依り、燃焼速度恒數 K の値は著しく大きくなる。(普通の反射爐に於ては $K=6$ の程度である。爆發燃焼 [ブンゼン式] では $K=\infty$ となる) このことは瓦斯と空氣の混合が良くなつたことを示すものである。

従來の現場作業に於ては經驗的に燃焼狀況を認識していたのであるが、これを科學的に判斷し得ることが出來た。即ち平爐の爐頭部の構造設計について K の値を如何に定めるべきかは現在の平爐設計の基礎に對して理論的な指針を與えることを可能とするものである。

IV. 結 言

1. 平爐内の瓦斯燃焼の實能を火焰瓦斯の成分變化を測定して明かにした。
2. 平爐内の瓦斯燃焼速度を火焰瓦斯の CO 成分量の變化に依つて判定することが出來た。
3. 燃焼速度は瓦斯單味の場合に比し空氣吹込に依り速進され、更に酸素吹込に依れば一層速進されることを定量的に明かにした。
4. 平爐内の瓦斯燃焼速度恒數を求め燃焼速度を比較した。(昭和 25 年 11 月寄稿)

文 献

- (1) 土居寧文, 管澤清志, 田坂鋼二: 日本鐵鋼協會第 38 回講演會 “鐵と鋼” 36 (1950) 11, 9~14
- (2) 土居寧文: 日本鐵鋼協會第 39 回講演會 “鐵と鋼” 37 (1951) 2, 11~17
- (3) 矢木榮博士: 工業窯爐. 昭 24, 104 頁