

コークスの反応性について

(昭和 26 年 10 月本會講演大會にて講演)

城 博*・井田四郎**・雪浦 浩**

ON REACTIVITY OF COKE

Hiroshi Jo, Dr. Eng: Shiro Ida, and Hiroshi Yukiura

Synopsis:—

Many studies have already been made on the reactivity of coke, but test samples of coke used in those experiments were mostly under 6mm in size and so by far the smaller as compared with the coke in use for blast furnaces, hence, of little value as samples to be used for actual operation.

Cracks which generally occur in coke are supposed to have a great influence on its reactivity, therefore the authors performed experiments in connection with this nature about several kinds of coke, using test samples of as large as 55 mm angle. In consideration of their cracks, the authors tried to clarify the influence of grain size, the reaction temperature, and the crushing strength of coke upon its reactivity and especially the ultimate relation between the reactivity of coke and the operating condition of blast furnace. The conclusion was that as for the coke manufactured in Yawata Iron and Steel Works, the higher the crushing strength became, and the lower the reactivity was, the more desirable was the coke for the operation of blast furnaces.

I. 緒 言

コークスの反応性については幾多の研究¹⁾があるがその原理とするにらばコークスが炭酸ガスを一酸化炭素に還元する力及び酸素に対する燃焼力の大小をもつて比較している。この時コークス試片の大きさ、反応及び燃焼温度、炭酸ガス及び酸素の使用量等が問題になるが従来コークス試片の大きさについては格別深い關心が示されていないようである、例えば F. Fisher 氏²⁾, R. V. Wheeler 氏³⁾, H. Bähr 氏⁴⁾, H. Parker 氏⁵⁾ 及び藤井氏⁶⁾等は微粉コークスを J. V. Clement 氏⁷⁾, K. Bunte 氏⁸⁾, C. B. Boll and J. W. Cobb 氏⁹⁾ 及び大島, 新村, 両氏¹⁰⁾更らに馬場, 吉田両氏¹¹⁾等は 3~6mm 位のコークス粒を又 J. P. Arend and J. W. Wagner 氏¹²⁾は直径 3mm 長さ 10mm の圓筒形試料についてそれぞれ測定しており、いづれも實際に高爐に使用されるコークスの大きさ(最適粒度 35~75mm)に比べると非常に小さい。高爐用コークスに一般に見受けられるコークスの割目はコークスの反応性に重要な役割を果すと考えられるが、従来細い粒度についての反応性の比較では實際作業上の参考資料としては不十分と思われた。よつて可成り大きいコークス試片についても試験し得る装

置を試作してこれを用いてコークスの反応性について改めて攻究した。

II. 実験の経過

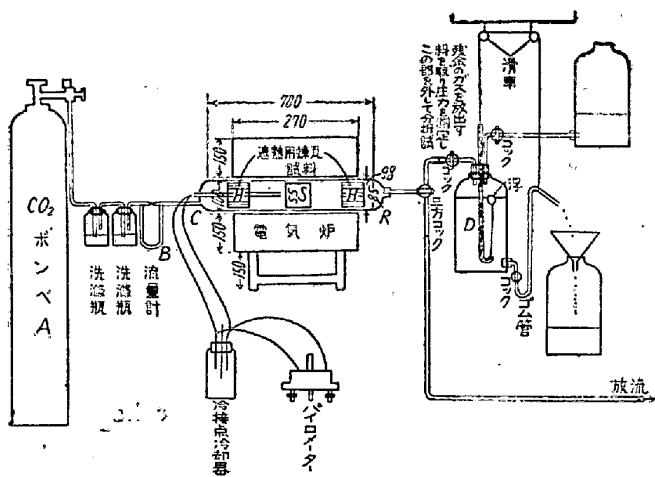
(1) 実験装置

第1圖は實驗に用いた反応性(あるいは燃焼性)装置の略圖である。圖中Aは炭酸ガスボンベ(燃焼性試験の時には酸素ボンベ)Bは流量計、Fはエレマ電氣爐(外徑 350mm, 内徑 105mm) Rは透明石英製(長さ 700mm 外徑 100mm, 内徑 85mm)の反應管で電氣爐内部に挿入されている。Sはコークス試片でHは遮熱用穴明煉瓦(保温煉瓦用)にしてコークス試料の兩端に置く。CはPt—Pt.Rh 熱電對にして試料の温度測定に用いる。又Dは反應後に生成するガスの完全補集装置である。

(2) 操 作

試料をグラインダーにて研磨して所定の寸法に仕上げて 105~120°C で乾燥する。その後試料を反應管内に入れ通電して管内温度を上げると共に 10l/hr の速さで炭酸ガスを送る。1hr 後 CO₂ ガス(あるいは O₂)を

* 八幡製鐵所 工博 ** 八幡製鐵所技研



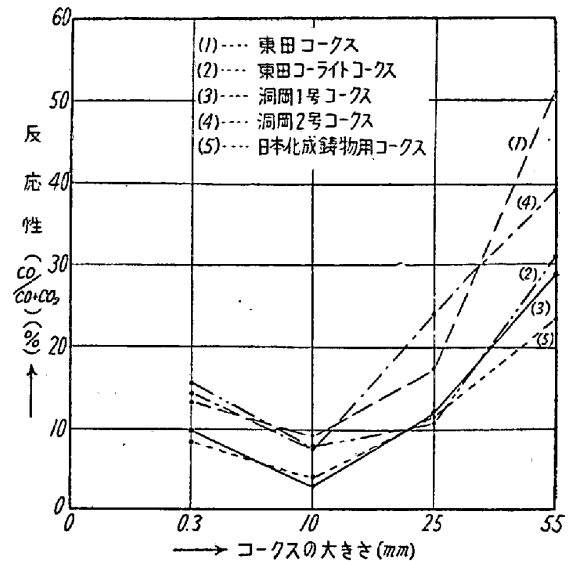
第1図 反応性測定装置

止め所定温度に達すると再び CO_2 ガス (あるいは O_2) を送り直ちに反応生成ガス CO_2, CO を 30min ごとに分析する。反応性は藤井氏等¹³⁾が用いている式 $CO/(CO + CO_2)$ で、燃焼性は、H. Bähr 氏¹⁴⁾の $CO/(CO + 2CO_2)$ で表示して 5hrs における 10 回の平均値をもつてコークスの反応性 (あるいは燃焼性) とした。同時に実験終了後反応管の両端を密閉して冷却後試料を取り出して重量減を測定した。

(3) コークス試片の大きさの影響

本装置を用いて先づコークス試片の大きさと反応性との関係を調べた。試料としては當所東田製の普通コークス及びコーライトコークス (300~400 t.B.F に使用)、更らに洞岡製1号コークス (500~1000t.B.F に使用)、同じく2号コークス (300~400t.B.F に使用) 並びに日本化成鑄物用コークスを選定した。コークス試片は 55mm 角1ヶ, 25mm 角2ヶ, 10mm 角6ヶ及び 0.3mm 以下のものを容量 55cc の炭皿一杯計4種類反応温度は従来幾多の研究者¹⁵⁾によれば殆んど 900~950°C で行われているが本実験では 900°C でそれぞれの反応

性を測定した。第1表は実験に用いた5種コークスの性状, 第2図は反応時間 5hrs における平均反応性とコークスの大きさとの関係を示す。これによるといづれのコークスも試片の種類及び大きさによつて異なるが特に試片が大きくなる程コークスの品種別の反応性の差が大となっている。この結果から反応性を比較するには試片の大きさを大にする方が望ましいと思うが 55mm 角以上の試片の製作が頗る困難であつたので今後は 55mm 角の試片について研究を進めることにした。



第2図 5種コークスの大きさによる反応性の變化

(4) 反応温度の影響

コークスの反応性及び燃焼性と反応温度との関係については多くの研究者¹⁶⁾によつて温度の上昇と共に反応性及び燃焼性が高くなることが明らかにせられている。しかしこれらの結果は前述のように 6mm 以下のコークスについてであるので 55mm 角試片を用いて温度 700~1200°C 間で反応性及び燃焼性を吟味した。

i) 反応性

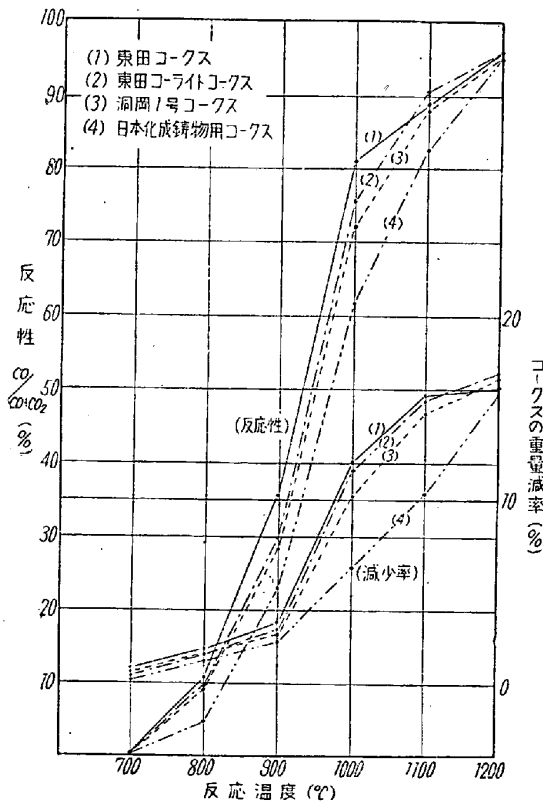
第1表 5種コークスの性状

種類	区分	配合比 (%)				コークスの分析 (%)			気孔率 (%)	潰裂強度 (%)	
		米炭	北松炭	粘結炭	其の他	灰分	揮発分	固定炭素			
東田コークス		23	10	67	0	15.82	1.20	82.98	46.35	90.60	
東田コーライトコークス		10	10	50	コーライト	10	16.70	1.44	81.86	40.79	90.13
					印度炭	5					
洞岡一號コークス		25	20	55	大島炭	10	14.65	1.02	84.33	44.11	90.79
					今富炭	5					
洞岡二號コークス				62	大島炭	27	16.55	1.07	82.38	39.97	85.59
日本化成製 一號鑄物コークス			不	明	今富炭	11	10.51	1.13	88.36	44.16	90.82

試料としてはコークス(3)の項で用いた4種の現場製コークスと中央炭に米炭, 神林炭及び開らん炭をいろいろの割合にそれぞれ配合して罐焼試験によつて製造したコークスを用いた。

a) 現場製コークス

第3圖は現場で製造した東田普通コークス及びコーライトコークス, 洞岡製コークス並に日本化成製1號鑄物用コークスの各温度における反応性の測定結果である。いづれのコークスも反応温度の上昇とともに反応性は増加し1200°Cでは殆んど一致し900~1100°C間で最も著しい差異を示す。900~1100°C間におけるコークスのそれぞれの反応性を比較すると東田コーライトコークスのみは普通コークスに比較して1000°C迄は低いが反応温度の上昇とともに高くなる傾向を示す。又実験終了後のコークスのコークス歩留減からしても反応性の高いものほどコークスの歩留減が大となつている。

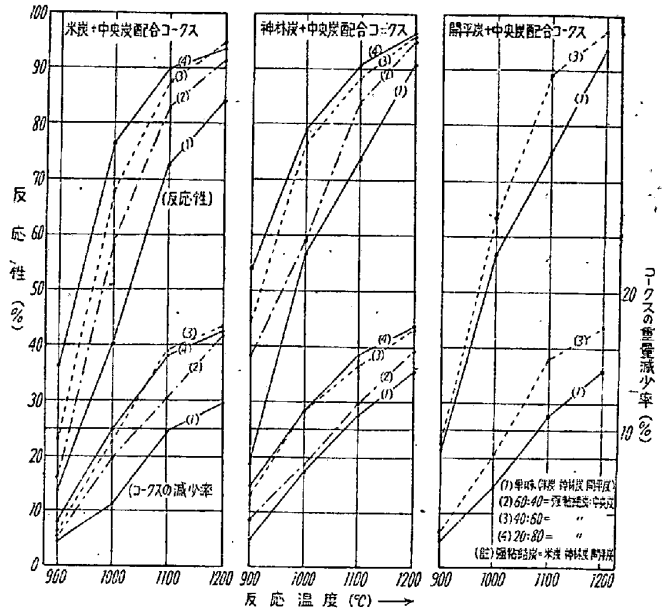


第3圖 4種コークスの反応温度における平均反応性

b) 中央炭+米炭, 中央炭+神林炭, 中央炭+開らん炭の各コークス

次に中央炭に米炭, 神林炭及び開らん炭をそれぞれいろいろの割合に配合したコークスについて反応性を測定すると, 第2表, 第4圖のような結果を得た。反応温度900~1200°C間での反応性は米炭, 神林炭, 開らん炭の各単味コークスが最も反応性低く特に米炭コークスが小で

神林炭コークス, 開らん炭コークスの順である。又中央炭とこれら強粘結炭を配合したコークスも強粘結炭の増加するに従つて反応性は低下している。一方同一配合量の場合を比較すると単味コークスと同様な傾向を示し開らん炭配合コークス, 神林炭配合コークス, 米炭配合コークスの順に僅かながら反応性は低下しているが1200°Cではこれらの差異は僅少である。又コークス歩留の減少度合も同様な傾向を示している。



第4圖 中央炭に米炭, 神林炭及び開平炭をそれぞれ配合した罐焼コークスの反応温度と平均反応性

ii) 燃焼性

次に反応性測定結果より最も反応性の高い中央炭単味コークスと最も低い米炭単味コークス及び兩者の中間を示す東田製コークスについて燃焼性を1400°Cで測定して第3表のような結果を得た。これによると燃焼性は1400°Cでは3者コークスいづれもほぼ一致した値を得た。従つて通常使用されている冶金用コークスの高爐羽口における燃焼性は大體格別の差異はないものと考えられる。

(5) 潰裂強度の影響

コークスの強度並にコークスの反応性は測定方法によつて異なるけれども強度の高いものほど反応性は低いと一般に述べられている¹⁷⁾。次に現場, 罐焼兩コークスについて本法によつて反応性を調べると共に, 潰裂強度を測定して兩者間の關係を確めた。

i) 現場製コークス

昭和24年10月より約4ヶ月に亘つて東田コークス爐にて製造されたコークスを採集して反応性と潰裂強度

第2表 中央炭+米炭, 中央炭+神林炭, 中央炭+開平炭配合の

コークスの種類	配合比 (%)		コークスの性質 (%)					反応温度 (°C)
	米炭	中央炭	炭分	揮発分	固定炭素	気孔率	潰裂強度	
米炭+中央炭 配合コークス	100	0	8.5	2.19	89.31	41.85	95.09	900
								1000
								1100
								1200
	60	40	10.91	1.83	87.26	44.02	92.85	900
								1000
								1100
								1200
	40	60	15.38	1.42	83.24	43.51	90.63	900
								1000
								1100
								1200
20	80	16.16	1.38	82.42	45.24	88.83	900	
							1000	
							1100	
							1200	
神林炭+中央炭 配合コークス	神林炭 100	0	20.79	1.80	77.41	42.26	94.97	900
								1000
								1100
								1200
	60	40	18.77	2.33	78.90	43.42	92.73	900
								1000
								1100
								1200
	40	60	16.53	1.82	81.65	45.72	90.71	900
								1000
								1100
								1200
20	80	15.54	1.83	82.65	46.24	90.71	900	
							1000	
							1100	
							1200	
開平炭+中央炭 配合コークス	開平炭 100	0	19.14	1.48	75.38	44.21	90.89	900
								1000
								1100
	40	60	15.46	1.74	82.80	45.38	90.51	900
								1000
								1100
1200								

第3表 3種コークスの燃焼性測定結果

コークスの種類	工業分析 (%)			潰裂強度 (%)	1400°C における燃焼性 CC/CO+2CO ₂ (%)
	灰分	揮発分	固定炭素		
中央炭単味コークス	15.90	2.44	81.66	70.15	97.9
東田製コークス	15.82	1.20	82.93	90.60	97.6
米炭単味コークス	8.50	2.19	89.31	95.09	97.0

との關係を求めた第4表はこれらのコークスの性狀を、第5圖は反應性と潰裂強度との關係を示す。第5圖から反應性が低下するに従つて潰裂強度は高くなる。この關係を更らに明らかにするため統計的方法によりて兩者の相關關係を求めたところ相關係數は 0.530 である。こ

の結果相關關係をなすと見做して誤りを犯す程度は 5% 以下である。

ii) 中央炭と強粘結炭との配合コークス

次に前述の中央炭に強粘結炭である米炭、神林炭及び開らん炭をそれぞれいろいろの割合に配合したコークス

罐焼コークスの反応温度と反応性との関係

反応時間 (hr) における反応性 CO/CO+CO ₂ (%)										5時間における平均反応性 (%)	反応時間(5hr)後に おける重量減少率(%)
0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5		
24.9	23.9	23.0	21.7	22.5	21.2	21.9	22.0	22.6	22.0	22.6	1.9
49.4	43.8	43.2	40.6	38.7	39.8	39.5	37.8	39.9	38.4	41.1	4.5
74.5	72.6	72.7	71.6	72.1	71.7	72.3	72.4	72.5	72.6	72.4	9.8
89.0	84.0	83.0	81.3	82.1	83.5	83.6	83.9	84.5	84.3	83.9	11.8
16.1	14.5	15.0	15.8	15.9	15.8	16.6	17.0	17.4	17.7	16.6	2.3
61.5	59.9	58.5	59.9	58.9	58.6	59.5	58.9	60.2	59.1	59.5	7.85
83.9	83.7	83.0	83.1	82.8	82.9	83.2	83.1	83.2	83.2	83.2	12.2
93.7	92.1	91.6	90.9	91.5	90.8	90.9	91.1	91.3	90.5	91.4	16.7
23.3	22.5	23.6	21.6	22.0	22.6	22.6	24.8	25.2	25.7	23.4	2.5
68.4	67.2	67.2	67.7	67.7	67.7	69.2	69.8	69.1	69.7	68.2	9.1
88.2	87.8	87.3	87.4	87.4	87.3	87.4	87.3	87.4	87.5	87.5	15.7
96.6	95.7	94.9	94.5	94.5	94.5	94.1	94.0	94.0	93.4	94.6	17.3
36.0	36.0	34.6	35.0	35.0	35.8	38.0	37.6	38.2	39.4	36.6	3.4
77.5	76.5	76.8	75.5	76.6	75.8	76.0	75.2	77.1	77.5	76.5	10.0
90.8	90.2	89.8	89.7	88.8	89.5	89.7	89.8	89.9	89.8	89.8	15.3
96.0	95.6	95.1	94.0	93.2	93.3	93.4	93.5	93.3	93.0	94.0	17.0
17.7	18.3	18.5	18.4	17.5	18.7	18.2	18.7	18.5	18.4	18.3	1.93
62.2	57.5	57.3	58.3	56.1	56.2	55.4	55.4	54.4	53.9	56.7	6.9
74.8	74.3	73.8	73.8	73.9	73.8	73.9	74.0	74.0	73.8	74.0	11.0
92.9	90.0	91.7	90.8	91.0	90.3	91.7	90.8	89.7	90.3	90.9	14.2
32.4	33.6	37.0	36.8	37.8	38.2	39.8	40.2	42.4	40.7	37.9	3.42
56.9	56.0	57.4	57.7	59.5	58.7	59.1	60.7	59.8	59.8	58.5	7.3
84.4	84.2	84.1	84.1	83.9	83.8	83.9	83.8	73.9	84.0	84.0	11.9
95.0	94.7	94.7	94.5	95.0	95.5	95.0	95.2	95.5	95.0	95.0	15.7
41.5	42.0	41.6	44.0	44.6	44.3	45.0	44.2	44.7	43.6	43.6	5.2
71.1	76.5	76.0	75.5	75.5	76.5	76.5	77.0	76.4	75.9	76.3	11.3
88.8	88.6	87.8	88.2	88.1	88.3	88.3	88.4	88.3	88.3	88.3	14.6
97.4	96.0	95.4	96.1	95.9	96.2	95.9	96.3	95.7	95.9	96.1	17.3
54.5	52.0	52.9	54.2	54.0	52.8	53.4	53.0	54.0	53.3	53.4	5.7
78.2	78.7	78.2	77.1	78.3	79.0	78.7	79.5	79.0	79.8	78.7	11.3
91.0	90.8	90.5	90.4	90.4	90.5	90.4	89.9	90.5	90.5	90.5	15.4
97.5	97.0	96.3	96.1	96.1	96.1	95.6	96.8	95.8	95.4	96.3	17.4
25.8	23.3	21.0	19.5	20.2	20.3	19.5	20.6	19.7	19.3	20.9	2.0
63.8	57.5	55.5	54.7	56.2	57.1	57.8	56.3	57.2	57.0	57.3	6.1
75.9	75.4	75.3	75.3	75.4	75.6	75.6	75.5	75.5	75.6	75.5	11.1
94.7	93.0	93.5	93.5	93.3	93.8	94.3	94.4	94.8	94.7	94.0	14.3
19.8	21.0	20.2	21.0	21.5	22.4	23.0	23.3	23.8	23.8	22.0	2.51
61.8	62.7	61.5	61.2	63.0	64.7	65.5	65.5	63.7	63.2	64.3	8.3
89.7	89.6	89.5	89.4	89.5	89.4	89.4	89.4	89.6	89.5	89.5	15.2
97.4	96.9	97.2	97.0	96.9	96.5	96.8	96.8	96.4	97.3	96.9	17.5

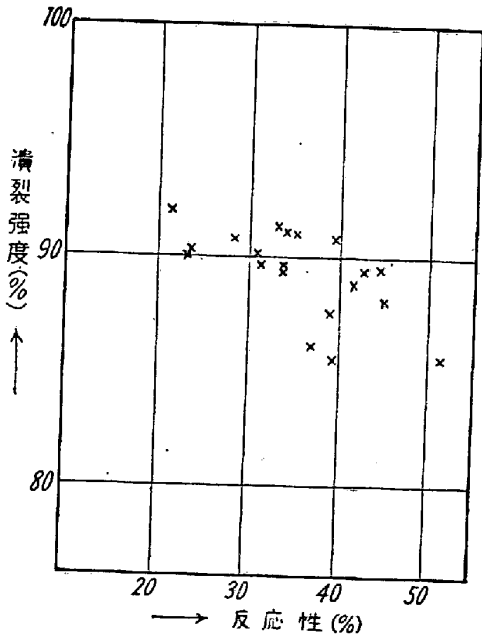
について検討すると第2圖に示したように、中央炭に
づれの強粘結炭を配合するも配合量の増加するにつれて
コークスの潰裂強度は大となり反応性は低下する。6圖
はこれらのコークスについて潰裂強度と反応性との關係
を圖示したもので、この關係を i) の場合と同様にして
相關關係を算出すると相關係數 0.705 を得た。この相
關係數もやはり 5% の誤りを犯す程度で兩者間に關係
あることを示している。以上のようにして現場コークス
及び罐焼コークスについてそれぞれ検討した結果コーク
スの潰裂強度と反応性とは密接なる關係があつて潰裂強
度の高いもの程反応性は低いようである。

III. 考 察

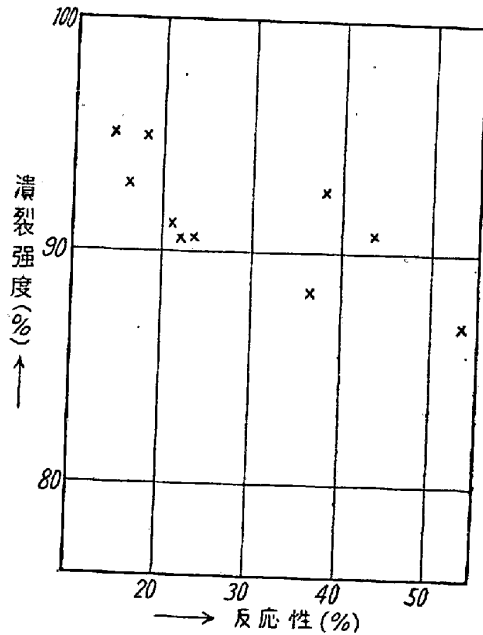
肉眼的に割目が多く且つ檢鏡組織において氣孔が多く
氣孔壁の薄いコークスすなわち全般的に多氣孔性のコーク
スは潰裂強度が小であることは一般に良く知られてい
る。今回はコークスの割目を考慮に入れて可成り大きい
コークス試片について反応性を調べて潰裂強度と反応性
とは相反することをより明確にした。どの程度の反応性
を有するコークスが高爐操業において最も望ましいかの
點を明らかにすることがコークス反応性に關する研究の
究極の目的とされているがこれは頗る困難で今日なほ究
明されていない。他の條件を同一にして反応性及び潰裂

第4表 反応性測定に用いた各種コークスの性状.

試験番 號	製造した コークス爐	配 合 比 (%)				コ ー ク ス の 性 質 (%)					反 應 性 (%)
		米 炭	北松炭	粘結炭	コ ー ラ イ ト	灰 分	揮發分	固 定 炭 素	氣孔率	潰 裂 強 度	
1	東田コークス爐	23	10	67	0	15.82	1.20	82.98	41.35	85.60	51.4
2	〃	23	20	0	0	14.65	1.02	84.33	44.11	90.8	28.6
3	〃	23	20	57	0	14.51	1.13	88.63	44.16	90.2	23.7
4	洞岡コークス爐	大島炭	0	62	今富煙無炭 11	16.55	1.07	82.38	39.97	87.6	39.3
5	東田コークス爐	13.4	16.2	65	5.4	17.19	2.26	80.55	44.64	90.8	39.5
6	〃	14.3	17.4	68.3	0	15.98	2.73	81.29	46.73	89.5	34.0
7	〃	9.7	18.0	71.5	0.8	16.72	1.82	81.46	46.81	89.4	33.9
8	〃	12.9	17.2	68.9	1.0	17.06	2.15	80.79	40.80	88.1	45.0
4	〃	17.3	16.5	66.2	0	17.91	1.33	80.76	44.28	88.9	41.8
10	〃	13.0	17.3	69.4	0	16.91	1.01	82.08	47.57	89.4	42.8
11	〃	0	18.8	75.3	5.9	17.88	2.98	79.40	50.26	86.1	37.0
12	〃	14.2	16.3	65.0	4.5	16.75	2.89	80.16	44.43	90.1	23.5
13	〃	0	18.5	75.2	7.3	17.93	2.22	79.85	44.18	85.6	39.5
14	〃	14.4	17.1	68.5	0	17.89	2.65	79.46	45.07	89.5	44.6
15	〃	22.8	9.1	61.2	6.9	13.50	1.85	84.65	43.64	89.7	31.4
16	〃	23.5	7.9	62.4	6.2	16.08	2.00	81.92	47.73	90.1	30.9
17	〃	41.5	6.7	44.8	7.0	13.92	1.71	84.37	42.45	91.0	35.2
18	〃	23.5	7.9	62.4	6.2	16.08	2.00	81.92	47.73	91.1	34.2
19	〃	42.2	6.6	44.2	7.0	14.01	2.01	83.98	44.61	91.4	33.8
20	〃	42.6	6.5	43.6	7.3	14.27	1.90	83.83	45.38	92.0	21.7



第5圖 現場製コークスにおける反応性と潰裂強度との關係圖



第6圖 缺燒製コークスにおける反応性と潰裂強度の關係圖

強度を異にするコークスを使用して高爐操業を詳細に検討しなければ恐らくコークスの反応性に関する根本的解決は得られないだろう。数少いコークスについてはあるが、八幡製鐵所製コークスの程度のものであれば 1200°C 以上では反応性は互に接近し且つ燃焼性は 1400°C 以上では一致することを確認することが出来たのでこれらのコークスの反応性の相異が爐況に影響を與えるのは大體において概ね 1,200°C 以下のシャフト内において

のようである。しかもその影響を考えると反応性の異なるものほど $C+CO_2 \rightarrow 2CO$ が高爐内に活発に行われ Carbon solution が大となりその結果直接還元が起り従つてコークス比が高くなつて爐況に悪い影響をもたらし得らう。この觀點からして當所で製造されている程度のコークスでしかも粒度が揃つていならば潰裂強度が高く反応性の小なるものほど望ましいように思われる。

VI. 結 論

作業上の参考に資するため従来より規模の大きいコークス反応性実験装置を考案して各種コークスについて反応性を調べた。

(1) コークス試片の大きさによる反応性の差異を各種コークスについて測定した。大きさとしては55mm角, 25mm角, 10mm角及び0.3mm以下を用いた, その結果コークスの反応性の差異をよく知るには55mm角のコークス試片について反応性を比較する方が適切であることを明らかにした。

(2) 55mm角試片1ケを用いてCO₂(燃焼性試験の時にはO₂)の通過量も10l/hr反応(あるいは燃焼)温度700~1400°C間として各種コークスについて反応温度との関係を吟味した。その結果温度の上昇するに従って反応性も上昇するが1200°Cに達するとコークスの種類に關らず反応性は殆んど一致し, コークス別の反応性の差異は900~1100°C間で最も大であることが分つた。

(3) コークスの品質が可成違ふ数種のコークスについて1400°Cで燃焼性を比較したところ, 燃焼性に差を認めなかつた。従つて高爐操業ではコークスの燃焼性は格別問題にする必要はないであらう。

(4) 高爐用コークスの反応性と潰裂強度との兩者間には5%以下の誤りを犯す程度で相關關係があり, 潰裂強度の高いもの程反応性が低いといえる。

コークスの反応性が高爐爐況に及ぼす影響を考察して現在八幡製鐵所製コークス程度のものでしかも粒度が揃つていれば潰裂強度が高く反応性の低いものほど高爐作業に適するであらうと考えた。(昭和27年8月寄稿)

文 献

- 1) (い) 2)~17) 迄を参照
- (ろ) 岡山義雄: 化學平衡論, 昭和10年, p. 365
- (は) R. A. Mott: Fuel in Sci. and Pract. 1927 p. 244, 1930 p. 408
- (に) D. J. W. Kreulen: Fuel in Sci. and Pract 1934 p. 137
- (ほ) F. Fisher and P. K. Breuer and H. Broche: Brenn. Chem. 1923 p. 433
- (へ) Joint Committee of Institution of Gas Engineers: Gas J. 1927 p. 7
- (と) G. Agde and H. Schmitte: Stahl und Eisen 1927 p. 1477
- (ち) W. J. Müller und Jande: Brenn Chem 1931 p. 187, 1934 p. 347, 1938 p. 45
- (り) R. A. Dengg: Fuel in Sci. and Pract. 1929 p. 152
- (ぬ) R. N. Galovati: Fuel in Sci. and Pract 1940 p. 206
- (る) S. W. Paar: Ind. Eng. Chem. 1927 p. 820
- (を) M. A. Mayers: J. Am. Chem. Soci. 1934 p. 70, 1939 p. 2053
- (わ) 製鐵技術總覽, 昭和25年1月 p. 1
- (か) 磯村清: 技術會誌, 第1號, 昭和26年 p. 20
- 2) F. Fisher and P. K. Breuer and H. Broche; Brenn. Chem. 1923 p. 433
- 3) R. V. Wheeler: Fuel in Sci. and Pract. 1923 p. 20
- 4) H. Bähr: Stahl und Eisen 1927 p. 699
- 5) H. Parker: Gas Jour. 1929. p. 776
- 6) 藤井 寛: 鐵と鐵, 昭和19年 p. 144
- 7) J. K. Clement and L. H. Adams and C. N. Haskin: Bureau of mine. 1911 p. 19
- 8) K. Biinte: Z. Angew. Chem. 1926. p. 154
- 9) C. B. Boll and J. W. Cobb: Soci, Chem. Ind. 1933 p. 154
- 10) 大島義晴, 新村唯治: 燃研報告, 第5號, 昭和3年
- 11) 馬場有敏, 吉田雄次: 燃研報告, 昭和23年
- 12) J. P. Arend J. W. Wagner: Fuel in Sci and Pract. 1926 p. 106
- 13) 前出 6) を参照
- 14) 前出 4) を参照
- 15) R. V. Wheeler: 前出 3) を参照
H. Bühr 前出 4) を参照
英國燃料研究所法: Gas Jour. 1930. p. 365
T. H. Jones and J. G. King and F. S. Sinnatt: Iron and Steel Inst. 1929 (5月)
A. Parker: 前出 5) を参照
大島義晴, 新村唯治: 前出 10) を参照
Joint Committee of Institution of Gas Eng. 1929. p. 766
- 16) O. Baudouard: Ann. Chim. 1901. p. 1
T. F. F. Rheed and R. V. Wheeler: J. Chem. Soci. 1921. p. 846
Lewis-Randall: Thermodynamics 1923. p. 454
香坂要三郎: 發生爐ガス及び水性ガス, 昭和17年
- 17) 西村晴雄, 岩島 正: 工化雜誌, 昭和21年 p. 144
木山俊二: 鐵と鋼, 昭和26年 p. 1
Coking section: Gas World 1929. p. 16