

論 文

天然ガスによる鉄鉱石の還元について (II)

佐藤 良蔵・田畑 農夫

REDUCTION OF IRON ORES BY REFORMED NATURAL GAS (II)

Ryozo Sato and Nofu Tabata

Synopsis:

In the first paper ("Tetsu-to-Hagane" vol. 41, No. 1, 1955, p. 5~11) the authors reported of the investigations made on reduction process of iron ores by the reformed natural gas. It was found that the decomposition of hydrocarbon in natural gas was one of the most important factors of the reduction process of the ores.

In the present paper are made the studies on the effects of reacting time and of some additions such as salts of alkali and alkaline earth metals on reduction velocity of iron ores by natural gas at low temperature. The results obtained were summarized as follows:

As the reducing action of natural gas was weak, the time for sufficient reduction should be much longer, but when decomposition of hydrocarbon took place, reduction velocity was found to be rapidly increased. The additions of Na_2CO_3 , CaCO_3 , and CaO were effective to increase the reduction velocity of the ores by natural gas.

Through our experimental results, it was presumed that the decomposition of natural gas was accelerated in consequence of the effects of the additions on reducing power of the gas.

I. 緒 言

前報告¹⁾において、鉄鉱石の還元剤に天然ガスを使用した場合、それぞれの反応温度における鉱石別の還元過程について述べ、天然ガス中の炭化水素の分解と鉄鉱石の還元との間に相互関係のあることを示した。即ち、反応時の試料状態が炭化水素の分解作用に影響し、この分解反応の開始により還元反応は迅速に進行して還元困難と見做されている砂鉄さえも充分金属鉄まで還元される。従つて実際作業の立場から考えられる低温で、しかも還元時間の短縮を取上げる時には、この還元反応と分解反応の相互関係から、両反応の並行する状態を生み出すことが望ましいので、この点に立脚して、更に保持時間および通常最も入手簡単な添加剤の還元におよぼす影響を知るために行つた実験結果の一部を本報告に述べることにする。

II. 実験要領

試料の鉄鉱石および還元剤の天然ガスは何れも前報告¹⁾と同じで、ガスの洗滌時に今回は O_2 のみ除去して使用した。保持温度は著者の報告²⁾で示した様に、 700°C 迄と 750°C の場合において、ガスの分解過程に明瞭な

差異が示され、本実験の目的からは 700°C の採用が測定上好都合なため、同温度を採用した。ガスの送入手量はすべて $50\text{cc}/\text{mn}$ とし、反応温度における保持時間は 60, 90, および 120mn の3段階とした。

添加物は造滓剤としての点も考慮し、最もありふれたもの、即ち炭酸塩として Na_2CO_3 , CaCO_3 また酸化物として CaO をえらび、何れも 100mesh に揃えたものを各鉱石によく混合して使用した。添加率は試料鉱石に対する重量比、反応温度における保持時間は 90mn である。

測定要領は発生 CO_2 の測定を除去した以外はすべて前報告のままで、ガス流量の変化、反応終了後の試料分析によつて反応進行状態を調べた。なお所要温度迄の加熱時間は略 60mn とし、また冷却時のガス送入手量を $100\text{cc}/\text{mn}$ に決めて行つた。

III. 実験結果及び考察

測定結果は Table 1~4. に示す。本表では、各試料毎にその時間の経過に対する反応の進行状態が示され、

* 昭和 30 年 4 月 6 日、本会講演大会にて発表

** 秋田大学鉱山学部

Table 1. Results observed (Effect of reacting time on reduction of iron ores at 700°C)
[T: temperature, F₂: gas-amount flowing out]

Time (mn)	Ferric oxide 1.00g		Gas 50cc/mn				Iron sand 1.50g		Gas 50cc/mn						Bog iron 1.50g Gas 50cc/mn			
	60mn		90mn		120mn		60mn		90mn		120mn		60mn		90mn			
	T°C	F ₂ cc /mn	T°C	F ₂ cc /mn	T°C	F ₂ cc /mn	T°C	F ₂ cc /mn	T°C	F ₂ cc /mn	T°C	F ₂ cc /mn	T°C	F ₂ cc /mn	T°C	F ₂ cc /mn	T°C	F ₂ cc /mn
10	200	50	100	50	115	50	160	50	140	50	130	50	110	50	100	50		
20	360	48	340	//	310	46	360	48	380	49	335	46	300	39	310	38		
30	470	46	500	47	420	43	455	45	545	46	465	43	425	35	510	//		
40	585	45	655	52	525	42	540	39	680	50	535	//	520	39	675	50		
50	655	48	700	54	615	48	630	40	700	//	670	49	600	50	700	54		
60	695	50	//	//	681	50	703	46	//	//	700	50	670	52	//	53		
70	703	//	//	//	700	//	708	50	//	//	//	//	700	50	//	//		
80	707	//	//	//	710	//	700	//	//	//	//	//	705	//	//	//		
90	700	//	//	//	//	52	705	//	//	//	705	//	703	//	//	//		
100	703	52	//	58	//	//	703	//	//	//	52	702	//	//	//			
110	705	//	//	//	//	//	704	//	//	53	//	700	//	//	//			
120	703	//	//	//	705	54	//	//	//	//	700	//	//	52	//	//		
130	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	54		
140	//	//	//	//	//	60	//	//	//	55	//	55	//	//	//	//		
150	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//		
160	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//		
170	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//		
180	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//		
State of reduction %	M. Fe	0.5	23.7	48.7	0.4	0.5	0.6	13.00	20.3									
	Fe ⁺²	40.0	61.7	51.3	38.0	39.5	45.3	41.44	68.7									
	Fe ⁺³	59.5	15.6	0.0	61.6	60.0	54.1	45.56	12.0									
	R	13.88	44.8	65.8	13.1	13.65	15.7	26.9	43.2									

Table 2. Results observed (Reduction of ferric oxide by additions)
[T: temperature F₂: gas-amount flowing out]

Time (mn)	Kind Ratio %	No		Na ₂ CO ₃						Ca CO ₃				
		0		4		6		10		4		6		
		T°C	F ₂ cc/mn	T°C	F ₂ cc/mn	T°C	F ₂ cc/mn	T°C	F ₂ cc/mn	T°C	F ₂ cc/mn	T°C	F ₂ cc/mn	T°C
10		100	50	130	50	130	50	150	50	150	50	100	50	130
20		340	//	380	//	375	//	375	//	365	//	340	//	335
30		500	47	545	47	555	47	555	47	525	47	495	47	485
40		655	52	655	54	680	54	700	60	685	54	655	54	595
50		700	54	700	58	700	60	//	//	700	60	700	58	700
60		//	//	//	//	//	58	//	58	//	//	//	//	//
70		//	//	//	//	//	//	//	//	//	58	//	//	//
80		//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
90		//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
100		//	58	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
110		//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
120		//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
130		//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
140		//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
150		//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
State of reduction %	M. Fe	23.7	40.5	44.2	61.1	31.4	36.0							
	Fe ⁺²	61.7	59.5	55.8	38.9	60.0	64.0							
	Fe ⁺³	15.6	0.0	0.0	0.0	8.6	0.0							
	R	44.2	60.1	62.8	74.0	51.4	57.3							

各鉱石共時間の経過によつて前報告に述べた様な過程を示している。只、その反応の進行状態は試料の状態によつて変化し、特に添加物の影響がよく示されている。

A. 反応時間の影響

反応温度が 700°C であるため、各鉱石共反応の進行が緩慢で、特に砂鉄では、90mn, 120mn の保持でもガスの分解は極めて僅少量しか認められない。またその還元率の変化も少なく、その内容は殆んどが $Fe^{+3} \rightarrow Fe^{+2}$ で占めている。

然し、酸化第二鉄および沼鉄鉱では 60mn 保持でも分解の開始が認められ、これが時間の経過に従つて次第に進行し、還元率の上昇も漸次増大の傾向を辿ることが示されている。即ち、一応被還元性の大きい鉱石程、この保持時間の延長の効果がよく現われることになり、その還元進行の程度は時間と還元率から求め得る。これ等を通して天然ガス自体の組成では、700°C における分解反応速度は極めて小さく、その還元力の弱さから被還元性に大きく左右されるものと考えられる。従つて、被還元性の大きい酸化第二鉄や沼鉄鉱では時間経過の影響が砂鉄に比較して割に大きく、またその進行傾向の増大の点から還元と分解の進行との相互関係がよく現われるともいえよう。沼鉄鉱の場合に見られる反応進行傾向のたるみは沼鉄鉱のもつ結合水分および有機物等の影響であろうことも窺える。

B. 添加物の影響

次に添加物の効果を見るため、上記諸添加物を 0~10

CaO							
10		4		6		10	
F ₂ cc/min	T°C	F ₂ cc/min	T°C	F ₂ cc/min	T°C	F ₂ cc/min	T°C
50	155	50	140	50	230	50	
//	360	//	355	//	420	//	
47	530	47	535	47	595	51	
50	680	54	655	60	705	60	
52	700	60	700	58	//	58	
58	//	58	//	//	700	//	
//	//	//	//	//	//	//	
//	//	//	//	//	//	//	
//	//	//	//	//	//	//	
//	//	//	//	//	//	//	
//	//	//	//	//	//	//	
//	//	//	//	//	//	//	
//	//	//	//	//	//	//	
//	//	//	//	//	//	//	
//	//	//	//	//	//	//	
//	//	//	//	//	//	//	
//	//	//	//	//	//	//	
//	//	//	//	//	//	//	
//	//	//	//	//	//	//	
//	//	//	//	//	//	//	
//	//	//	//	//	//	//	
33.0		30.3		33.0		37.8	
66.0		69.7		67.0		62.2	
0.0		0.0		0.0		0.0	
55.0		53.5		55.4		58.5	

%の範囲で使用した結果、何れも還元率が上昇し、反応促進上有効であることが示された。また添加率の影響は率の増加と共に大きく、添加物の種別による効果上の差異はあつたが、大体6~10%の添加率で充分な効果をあげている。

まず、酸化第二鉄については Fig. 1~3 に示す結果を得た。即ち Na₂CO₃ を添加すると、添加率が大になるにつれてガスの分解開始が早くなり、還元率は10%添加で 74% に達する。CaCO₃ および CaO もその傾向は Na₂CO₃ と略々同じであるが還元率では約10%位低下した値を示す。一方雰囲気の状態は何れの場合も流入流出ガスの容量変化において 1.16 倍で、添加率による

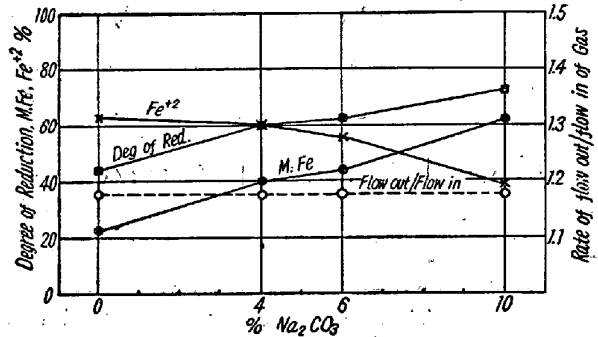


Fig. 1. Effect of Na₂CO₃ content on reduction of ferric oxide and change of gas amount.

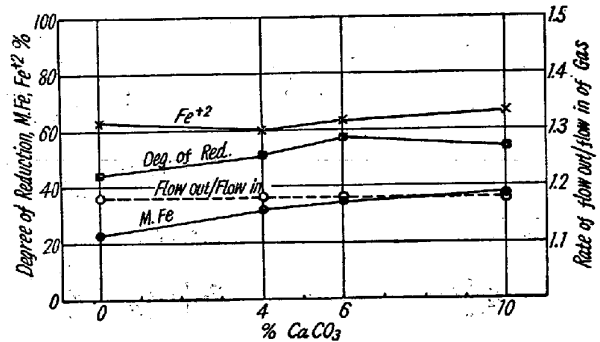


Fig. 2. Effect of CaCO₃ content on reduction of ferric oxide and change of gas amount.

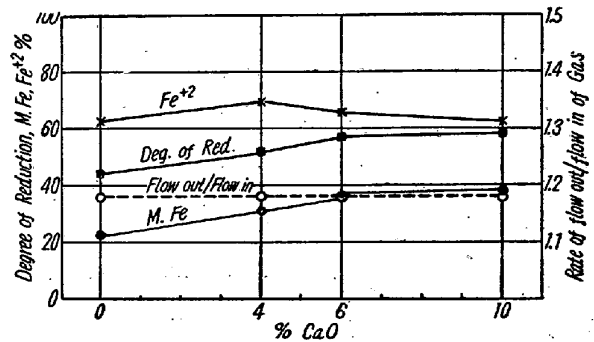


Fig. 3. Effect of CaO content on reduction of ferric oxide and change of gas amount.

Table 3. Results observed (Reduction of iron sand by additions)
[T: temperature F₂: gas-amount flowing out]

Kind	Ratio %	No	Na ₂ CO ₃						CaCO ₃						
			0		4		6		10		4		6		
			T°C	F ₂ cc/mn	T°C	F ₂ cc/mn	T°C	F ₂ cc/mn	T°C	F ₂ cc/mn	T°C	F ₂ cc/mn	T°C	F ₂ cc/mn	T°C
10			140	50	140	50	160	50	140	50	170	50	140	50	160
20			380	49	380	//	415	47	365	47	385	//	390	//	385
30			545	46	545	47	555	45	535	45	555	45	525	47	575
40			680	50	680	50	680	51	655	51	700	52	670	53	700
50			700	//	700	//	700	52	700	53	//	//	700	56	//
60			//	//	//	53	//	53	//	//	//	55	//	//	//
70			//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	57	//
80			//	//	//	54	//	//	//	58	//	57	//	72	//
90			//	//	//	//	//	54	//	//	//	60	//	77	//
100			//	//	//	//	//	//	//	//	//	67	//	//	//
110			//	53	//	//	//	//	//	//	//	74	//	75	//
120			//	//	//	//	//	//	//	//	//	75	//	//	//
130			//	//	//	53	//	//	//	//	//	//	//	//	//
140			//	55	//	//	//	//	//	60	//	//	//	//	//
150			//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
State of reduction %	M.Fe		0.5		2.4		6.75		15.2		46.5		72.0		
	Fe ⁺²		39.5		32.7		52.05		61.0		53.5		28.0		
	Fe ⁺³		60.0		65.9		41.20		23.8		0.0		0.0		
	R		13.65		13.3		24.5		35.5		64.2		81.3		

Table 4. Results observed (Reduction of bog iron by additions)
[T: temperature F₂: gas-amount flowing out]

Kind	Ratio %	No	Na ₂ CO ₃						CaCO ₃							
			0		4		6		10		4		6		10	
			T°C	F ₂ cc/mn	T°C	F ₂ cc/mn	T°C	F ₂ cc/mn	T°C	F ₂ cc/mn	T°C	F ₂ cc/mn	T°C	F ₂ cc/mn	T°C	F ₂ cc/mn
10			100	50	170	50	160	50	120	50	80	50	100	50	110	50
20			310	38	345	47	390	47	325	48	310	48	345	47	360	47
30			510	//	510	45	565	45	555	44	510	42	510	43	545	45
40			675	50	655	54	700	58	670	52	680	50	610	47	700	52
50			700	54	700	//	//	//	700	54	700	53	700	53	//	54
60			//	53	//	//	//	54	//	//	//	//	//	//	//	53
70			//	//	//	//	//	//	58	//	//	//	//	//	//	//
80			//	//	//	//	//	53	//	//	//	//	//	//	//	//
90			//	//	//	58	//	//	55	//	//	//	//	//	//	//
100			//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	60	//	57	//
110			//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	67	//	65	//
120			//	54	//	//	//	//	57	//	//	//	75	//	75	//
130			//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
140			//	//	//	55	//	//	//	57	//	//	//	//	//	//
150			//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//
State of reduction %	M.Fe		20.3		39.1		14.0		22.7		32.5		71.5		68.5	
	Fe ⁺²		68.7		56.1		59.5		48.5		64.5		28.5		31.5	
	Fe ⁺³		12.0		4.8		26.5		28.8		3.0		0.0		0.0	
	R		43.2		57.8		33.9		38.9		54.0		81.0		79.0	

変化はごく僅かである。これを反応時間の影響に比較すれば、その反応の進行状態の点では大差が無い様におもわれ、比較的保持時間の経過に対する反応の進行により、むしろ所要温度に達する間に行われる反応に添加物の効

果が認められる。

次に砂鉄についてみると、Fig. 4~6 に示す如く、添加物の効果を最もよく示している。即ち、CaCO₃、CaO の場合は何れも時間の経過が 60mn 以後になると、ガ

10	CaO					
	4		6		10	
F ₂ cc/mn	T°C	F ₂ cc/mn	T°C	F ₂ cc/mn	T°C	F ₂ cc/mn
50	130	50	120	50	140	50
//	365	//	355	//	330	//
47	505	47	535	47	515	47
53	650	55	680	54	640	53
56	700	57	700	//	700	60
57	//	//	//	58	//	63
//	//	//	//	//	//	//
60	//	63	//	63	//	65
68	//	73	//	75	//	75
77	//	74	//	//	//	//
75	//	75	//	//	//	//
//	//	//	//	//	//	//
//	//	//	//	//	//	//
70.5	63.0	65.2	66.0	66.0	66.0	66.0
29.5	37.0	34.8	34.0	34.0	34.0	34.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
80.3	75.3	76.8	77.3	77.3	77.3	77.3

スの容量変化が大きく現われ、これ等の試料の還元率は何れも大きな飛躍を示している。添加率の影響は4~6%の範囲で効果は著しく示され、10%迄でそれ以上の添加に対する効果は期待できなかつた。還元率は何れも6~10%添加で80%前後に達し、ガス容量の変化率は1.5倍に達している。また分解開始の時期もこの両者は殆んど差がなかつた。

Na₂CO₃添加の場合は予期に反して反応の進行の停滞が現われ、6~10%添加において漸く反応の進行が予期に近いものに変つて示された。これは沼鉄鉱の場合にも認められ、かかる停滞を認めた試料には焼着状態が確認され、試料によつて表面のみの還元や焼着物が現われたものもあつた。

かかる砂鉄における還元の著しい進行は前報告におい

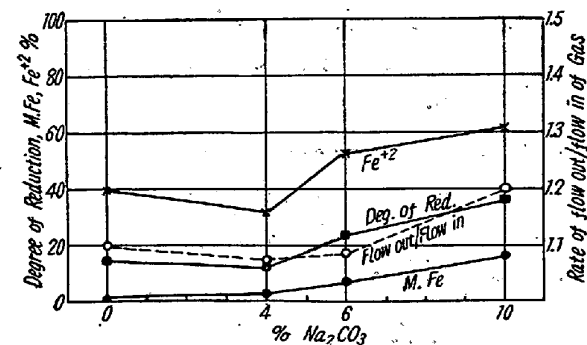


Fig. 4. Effect of Na₂CO₃ content on reduction of iron sand and change of gas amount.

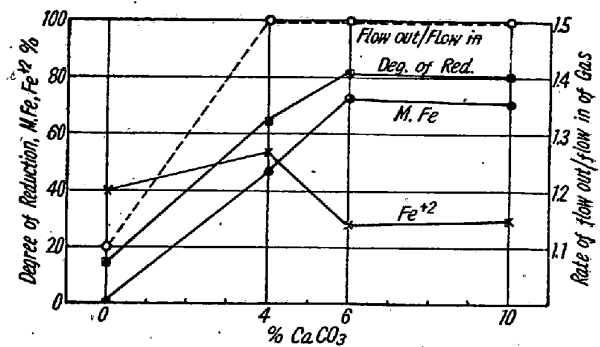


Fig. 5. Effect of CaCO₃ content on reduction of iron sand and change of gas amount.

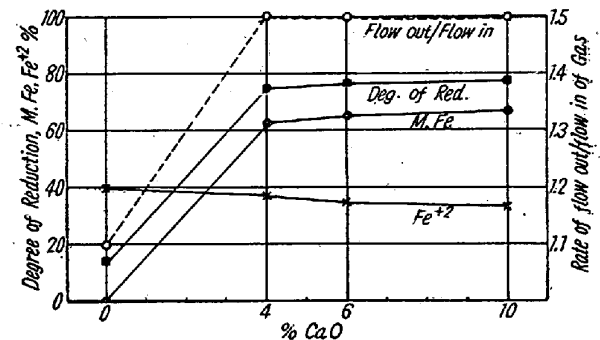


Fig. 6. Effect of CaO content on reduction of iron sand and change of gas amount.

ても800°Cの場合の様に炭化水素の分解進行の項で認められたが、この著しい還元速度の増加は更にかかる添加物の作用によつても得られることが認められ、分解反応は単に温度のみならず、還元過程における還元生成物の影響も大きいことが明らかになつた。従つて添加物の選択は反応系を構成する鉄鉱石の状態をガスの分解反応促進の役割を果せるものにするためにも考慮されるべきであろう。

沼鉄鉱の場合は Fig. 7~8 に示す様な結果を示し、Na₂CO₃添加では6~10%と添加率が増加するにつれて、反応の停滞が明瞭になり、ガスの変化量も却つて小さく、分解反応の停滞も示されている。而してこの場合は何れも砂鉄の場合と同様に焼着状態になつており、その程度は砂鉄よりも甚だしい。

然し、CaCO₃添加の場合にはその効果が明瞭に示され、還元の進行は添加率に応じて増大し、6~10%でその効果は一定になる。また分解反応の点では、砂鉄の場合に比較して、その進行にやや多くの時間を要し、最終容量変化率は全く砂鉄の場合と同じ1.5倍になつている。還元率は略々砂鉄のそれと同率を示した。

最後に鉱石別による添加物の還元状態に与える影響を比較するためにNa₂CO₃とCaCO₃について Fig. 9~10を示した。

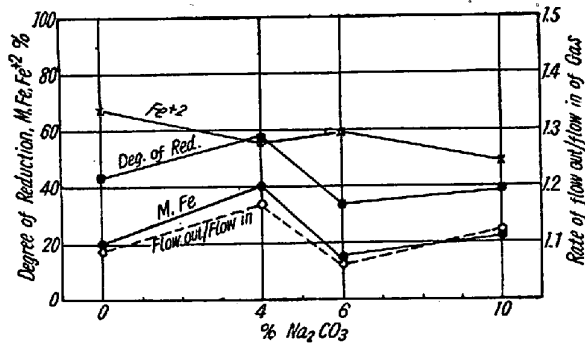


Fig. 7. Effect of Na_2CO_3 content on reduction of bog iron and change of gas amount.

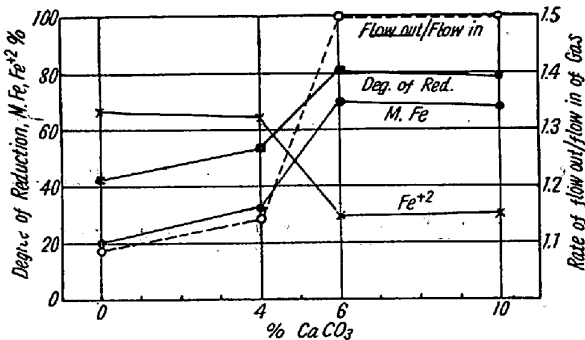


Fig. 8. Effect of CaCO_3 content on reduction of bog iron and change of gas amount.

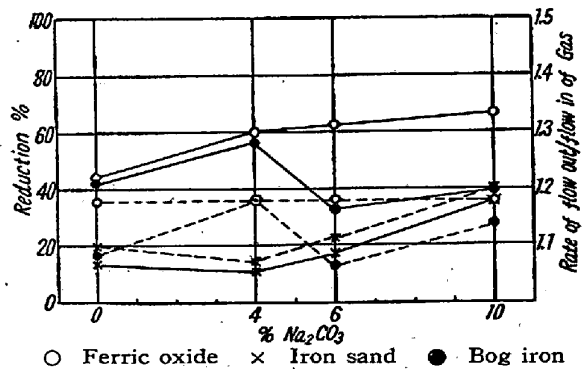


Fig. 9. The relation between reduction % and change of gas amount by addition of Na_2CO_3 .

即ち、 Na_2CO_3 の場合、酸化第二鉄にあつては還元反応の進行に有効な結果を示しているが、時間経過の場合に比較すれば、差程明瞭な相異を示さない。ガス容量変化も添加率による変化はなく、すべて 1.16 倍で一定している。砂鉄、沼鉄鉱では反応の促進に役立つ傾向を示すが、随伴鉱物の存在が焼着現象を惹起し、このため還元反応が停滞する。また分解反応もその傾向が同じ様に示され、添加率によつて還元率が変化する結果からこの焼着状態が還元に着しい妨害となつてゐることがわかる。

CaCO_3 の添加の場合、その還元に対する効果が極

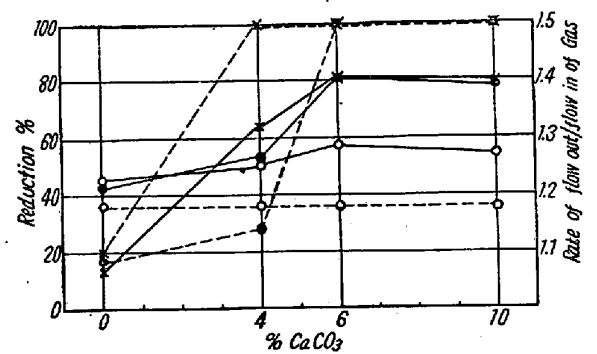


Fig. 10. The relation between reduction % and change of gas amount by addition of CaCO_3 .

めて明瞭で、6~10% 添加で砂鉄、沼鉄鉱は何れも 80% 近くの還元率を得ている。またこれ等ではガス容量変化も明瞭で約 1.5 倍の値を示し、分解反応の進行と還元反応の進行とが全く相互関係にあり、両反応の並行が還元

の進行上決定的条件となつてゐることが示されている。以上の実験結果からすると、天然ガスの様に炭化水素を主成分とするものの還元作用はそれ自体では弱いため難還元性の鉱石に対しては殆んば実用的還元剤として取上げることが困難視されるが、この炭化水素の分解が行われると、その生成ガスは極めて強力な還元力を有するため、還元性を規定する諸因子に制約される点が極めて少くなり、何れの鉱石にあつても迅速に還元が進行する。而してこの分解反応に対して還元過程にある鉄酸化物の状態が主要因子と見做されるため、ここで取上げた添加剤が天然ガスに対してその還元反応に効果をもたらした事は、これ等の添加物が天然ガスの分解反応に効果をもたらしたというよりも、その反応過程からして天然ガス自体の還元作用に対して有効であつたために、その結果としてガスの分解を促進する鉄酸化物の状態を持ち来した結果と考えられる。

勿論これ等の添加物が反応機構上如何に働くかを、本実験範囲で求めることは無謀なことであり、かつ組成の複雑さがその困難なことを示しているだけに予想すら容易なことでは無い。

何れにしろ、これ等の添加物は造滓剤の一種でもあるため後の処理に対しても有利なため、低温でかつ迅速還元を望む立場からは温度、ガス送分量等と同様、極めて有効であるといひ得る。

IV. 総括

本報告では天然ガスと鉄鉱石との組合せによる還元反

応に関し、反応時間および添加物の効果についての実験を行つた結果を述べたが、それ等を要約すると次の如くである。

1. 低温において、還元反応は時間の経過につれて進行するが、鉱石が難還元性のもものではガス自体の還元力の弱さのため殆んど進行しない。しかし、還元容易な鉱石ではその容易さが大なるもの程反応が進み、その進行によつてガスの分解反応が惹起され、還元は飛躍的に進行する。

2. Na_2CO_3 , CaCO_3 , CaO を鉱石に添加すると、還元反応は何れも進み、還元容易な鉱石にあつては反応時間の影響で見られる結果と略々同じ進行状態を示す。難還元性の鉱石では、還元の進行とガス分解との相互関係が明瞭に示され、添加の効果が極めて著しく、温度、

ガス送入量等と同様還元促進に有効なことがわかつた。

3. 添加物の量的関係は量の増加に応じて還元は進むが、6~10% でその効力は充分で、それ以上の添加は特別の効果の向上を示さない。只鉱石の種別によつては添加物との間に焼着現象を呈するものがあり、かかる場合は反応の進行が著しく阻害される。

4. 反応経過からすれば、反応系内の鉄酸化物の状態がガスの分解反応に対し、主要因子の一つで、添加物はこの鉄酸化物の状態生成に重要な役割を果すものと考えられる。(昭和 30 年 5 月寄稿)

文 献

- 1) 田畑農夫, 佐藤良蔵: 鉄と鋼 41 (1955) 5~11
- 2) 佐藤良蔵, 田畑農夫: 秋田大学地下資源開発研究所報告 No. 11 (1954) 49~55

製鉄用硫酸滓の基礎的研究 (I)*

秋本 寅一**・大西 信三郎***

FUNDAMENTAL RESEARCH OF PYRITE CINDERS AS PIG MAKING MATERIAL (I)

Toraichi Akimoto and Sinzaburo Onishi

Spnosis:

To clarify the differences in the reducing behaviours according to the composition of pyrite cinders, the cinders were investigated as follows:

- (1) Reduction efficiency on the reaction of CO gas and pitch coke.
- (2) Measurement of the permeability (A. F. A) at various high temperatures.
- (3) Compared with the surface conditions of cinder grains by electron microscopic examination.
- (4) Measurement of the surface area by Bet process:

I. 結 言

食料増産に欠くべからざるものは硫酸肥料であるからこの原料として、必要なる硫酸を確保することは緊急なことである。

さて硫酸を作るには硫化鉄鉱が入用である。硫化鉄鉱より SO_2 ガスをとつた残渣即ち硫酸滓は Fe 多く、残留 S 比較的少なきために製鉄原料として使用することは資源の少ない我国には大切なことである。

使用した硫酸滓は Table 1 に示す如く細粒に微粒子の加つた厄介粉鉱である。

優秀滓は 58~60% Fe, 0.09% Cu, 1.2% S の主成

Table 1. Sieving test of cinders.

Mesh	+48	+65	+100	+150	+200	-200
%	1.8	3.5	13.2	21.0	8.8	51.7

分のものであるから、電気炉で製鉄するか或いは焼結炉で焼結鉱としている。

現在の熔鉱炉では焼結鉱を 20~60%¹⁾ 加えて操業を

* 昭和 30 年 4 月本会講演大会にて発表

** 日本電気製鉄会社

*** 愛媛大学工学部冶金教室