

# 海南島田獨産鐵鑛石及佛印產無煙炭を原料とする 回轉爐海綿鐵製造法の研究

(日本鐵鋼協會第 28 回講演大會講演 昭和 17. 9. 於東京)

日下和治<sup>\*</sup>・千葉喜美<sup>\*\*</sup>・大橋登茂英<sup>\*\*\*</sup>

## UEBER DIE HERSTELLUNG VON EISENSCHWAMM DURCH DREHROHROFEN AUS DIE EISENERZE IN DENDOKU (KAINANTOH) SOWIE DIE ANTHRACITE IN HONGAY

Kazuzi Kusaka, Kimi Tiba und Tomoe Ôhasi.

**ZUSAMMENFASSUNG:**— Die Eisenerze in Dendoku (Kainantoh) bestehen wesentlich aus Magne-  
neteiserze in wechselnden Verhältnissen bezüglich des Hämatit und Limonit. Es enthalten in reinster  
Form etwa 65% Fe, 3% SiO<sub>2</sub> und verhältnismässig geringen Gehalt an P und S. Die gute Reduzier-  
barkeit, die in dem fundamentele Versuche erklärt wurde, lässt die Erze ganz besonders geeignet  
erscheinen für die Erzeugung von Eisenschwamm. Die Eisenschwämme wurden aus dieser Erze  
unter Zusatz von Reduktionsmittel, nämlich Holzkohle, Fuschuns Braunkohle oder Anthrazite in  
Hongay (französische Indochina) durch dem Drehrohrföfen, der 8m im Länge und 0.7m im Innendur-  
chmesser hat, hergestellt. Während Holzkohle und Fuschuns Braunkohle gute Leistungen aufge-  
weisten, bei Anthrazit wurde dagegen es sich in massige Zustand verwendet, so hatte es keinen  
Erfolg. Jedoch es gelang ihm bei Verwendung von Anthrazit, der pulverige und nichtgleich-  
grossen Körnern hat, gute Eisenschwamm der Gehalt an metallisches Eisen rund 80% herzustellen.  
Mit Rücksicht auf Gebrauch und Beförderung wurden die so erhaltene Eisenschwämme ohne  
Anwendung eines Bindemittels durch massigen Druck brikkettiert.

### 目 次

#### I. 緒 言

試料鑛石及無煙炭

##### 1. 固定爐實驗

裝置及方法

還元率の測定

實驗結果

還元溫度, 時間, 鑛石粒度の還元率に及ぼす影響

固體還元劑の影響

他鐵鑛石との還元度比較

結 言

##### 2. 廻轉爐實驗

裝置及方法

實驗結果

No. 1 鑛石 1:撫順炭 1	No. 7 鑛石 1:無煙炭 2
No. 2 鑛石 1:撫順炭 2	No. 8 鑛石 1:無煙炭 3
No. 3 鑛石 1:木 炭 1	No. 9 鑛石 1:無煙炭 1
No. 4 鑛石 1:木 炭 2	No. 10 鑛石 1:無煙炭 1
No. 5 鑛石 1:無煙炭 1.5	No. 11 鑛石 1:無煙炭 1
No. 6 鑛石 1:無煙炭 2	No. 12 鑛石 1:無煙炭 0.7

實驗結果に對する考察

結 言

##### 3. 海綿鐵ブリケット試驗

#### II. 總 括

### I. 緒 言

海綿鐵原料としての磁鐵鑛は赤鐵鑛に比し一般に還元が

困難であり又回轉爐の特性として固體還元劑は非粘結性の揮發分の多い石炭を利用することの有利であることは既に著者の報告<sup>1)</sup>に依つても明かである。

現に撫順に於て海綿鐵製造を回轉爐法に依り工業的に實施するに當り大栗子產赤鐵鑛及撫順產石炭を原料として行はれて居る<sup>2)</sup>。

磁鐵鑛及無煙炭を原料とせる回轉爐法海綿鐵製造は今後の南洋鐵鑛資源開發の新らしい示唆となるが故に以下海南島磁鐵鑛及佛印產無煙炭を使用せる海綿鐵製造の基礎的研究及半工業的回轉爐製造の實驗結果を報告する。

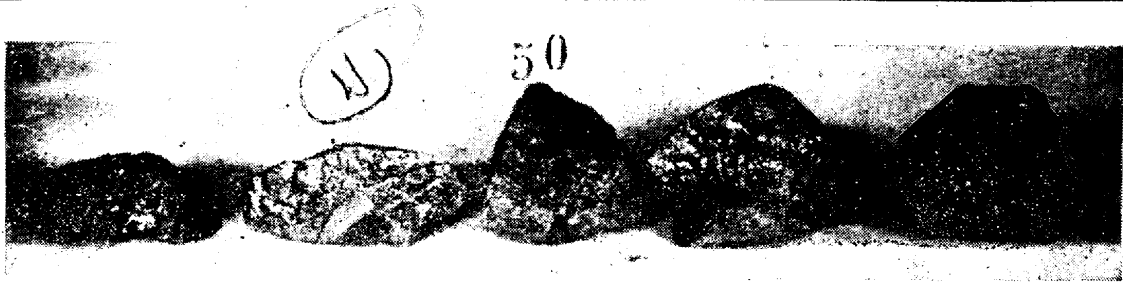
#### 試料鑛石及無煙炭

入手せる海南島田獨産鐵鑛石は現地山元に於ける状態は露出して風化轉石せるもの<sup>3)</sup>如く數 10mm 大にして表面は薄く赤褐色の泥土に蔽はれ質堅きも脆く内部は緻密又は結晶狀磁鐵鑛の地あるも一般に氣孔質にして表面層に近く風化の進度に隨ひ褐鐵鑛又は赤鐵鑛地が混在し或は又不規則に少量なる白き柔き粘土質を含み細小の氣孔を有する等甚だ不均一質の鑛石であるが、稍々強力なる磁性を帯びて居る。

<sup>1)</sup> 日下: 鐵と鋼 24 (1938) 1077,

<sup>2)</sup> 日下: 日本鐵業會誌 57 (1941) 459.

<sup>3)</sup> 熊丸; 鐵と鋼 27 (1941) 642.



第1圖 鑛石破面組織例

第1圖は鑛石破面の數種の代表的組織を示すが、粒の細かき部分は磁鐵鑛地にマータイト又は赤鐵鑛を含む。赤茶色の部は褐鐵鑛、黒色及結晶質の部は磁鐵鑛を示して居る。

佛印ホンゲイ産無煙炭は塊状をなし、純黒色に輝ける非粘結炭である。鑛石及無煙炭の分析成分を第1表に示す。

第1表 鑛石及無煙炭の分析成分表

海南島磁鐵鑛成分					
Fe%	SiO <sub>2</sub> %	Mn%	P%	S%	CaO%
65.01	2.71	0.48	0.026	0.005	0.22
MgO%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	氣乾水%	化合水%	Cu%	
0.20	1.71	0.19	2.30	痕跡	

佛印無煙炭成分

氣乾水分% 0, 熱曬水分% 2.20, 灰分% 3.51,  
揮發分% 6.40, 固定炭素% 87.89, 磷% 0.002,  
硫黃% 0.45, 發熱量 7892, cal 灰色調 紫褐色,  
炭質性狀 非粘結。

鑛石の分析及實驗試料を採取するに當りては、平均品位の試料を求むる爲に、約 10t, 數 10mm 大の原鑛石を破碎して、約 20mm 大となして混交し、この中より 8kg 採りて四分法に依り分析試料として 0.5kg を採り、その殘餘を合して、更に所要粒度に破碎して實驗試料とした。本鑛石はジョークラツシャに依る破碎に際し、粉質化し易く、5~10mm 粒度のものを得るに使用率約 50% に過ぎざるは唯一の缺點と稱すべきである。

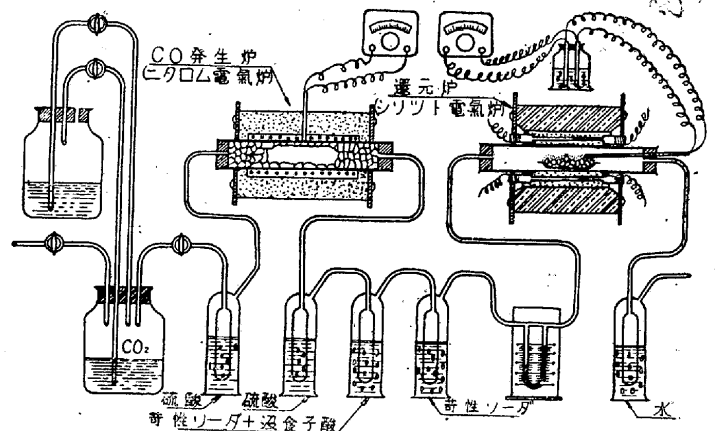
1. 固定爐實驗 廻轉爐に依る還元實驗を行ふに當り、鑛石の還元度を迅速に測定するために、固定爐を使用して、無煙炭共存の下に、CO ガスに依る還元實驗を行ひ、他の固體還元劑の影響及夫々大栗子赤鐵鑛、弓張嶺磁鐵鑛に就ても、同一條件にて併せ行ひ、本鑛石及無煙炭との比較考察の資に供した。

試料としての鑛石は、粒度の還元率に及ぼす影響を知る爲に、大粒(7~10mm)と中粒(3~7mm)の2種を調製し、無煙炭は大塊を碎きて2メツシュ程度のものを使用した。

裝置及方法 鑛石約 6g を無煙炭約 3g と混交して、磁製ポートに平に收容し、第2圖の示す長 400mm のシリツ

ト横型電氣爐の所要溫度に達したる時に、爐中の直徑 25 mm, 厚 1mm, 長 1m の磁製管に靜に挿入し、直ちに CO<sub>2</sub> ガスに木炭を充填して、1000°C に加熱せる電氣爐中の磁製管を通じて製せる、純 CO ガスを還元爐内に流量計に依り、毎 mm 150cc に調製しながら、所要時間を還元する。

これを終へれば、還元爐の電流を絶ち、ガスを通じながら冷却するのであるが、還元試料の溫度を急速に有效還元溫度以下にする爲に、1200°C の爐温が自然冷却に於て、約 10mm にして 800°C に低下する状態にあるも、還元實驗を終了すれば、直ちに試料ポートの位置を磁製管に移動して、爐外に出して冷却するが故に、試料は迅速に有效還元溫度以下となり、還元時間は略正確に保持された。



(CO 發生爐中には木炭を充填)

第1圖 還元裝置略圖

還元率の測定 還元鑛石の還元率 (R. deg) は海綿鐵中の金屬鐵 (M. Fe) に對する全鐵 (T. Fe) の百分率を以て表示した。

$$\text{即ち } M.\text{Fe}/T.\text{Fe} \times 100 = R.\text{deg} \%$$

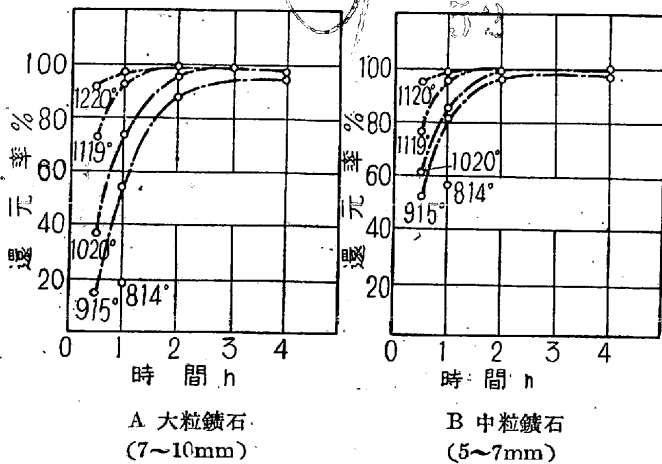
分析法としては、全鐵は通常の Reinhardt 法に依り、金屬鐵は昇汞法<sup>4)</sup>に依つた。

還元鑛石を分析試料とするに際し、正確なる分析結果を求むる爲に、特に還元の進行度の高い海綿鐵に於ては、表面層に近き金屬部分は、粘靱の故に破碎し難きに由り、鐵製乳鉢にて大體 20 メツシュ程度大になし、殘部は扁平な

<sup>4)</sup> Lundell: Chemical Analysis of Iron and Steel (1931) 151

第 2 表 海南島磁鐵礦の還元溫度時間，還元率表

大粒鑛石 (7~10mm)				中粒鑛石 (5~7mm)					
還元溫度 °C	時間 h	還元鑛石%		R. deg %	還元溫度 °C	時間 h	還元鑛石%		R. deg %
		T. Fe	M. Fe				T. Fe	M. Fe	
814	1	76.71	14.71	19.17	814	1	82.71	46.93	56.74
915	½	74.89	11.52	15.38	915	½	81.75	43.35	52.71
	1	82.93	45.26	54.58	1	86.87	71.05	81.72	
	2	89.99	79.79	88.67	2	92.41	89.30	96.63	
	3	—	—	—	3	—	—	—	
1020	4	89.07	85.26	95.26	4	93.10	91.31	98.08	
	½	78.75	29.42	37.36	1020	½	83.99	50.89	60.41
	1	87.12	64.49	74.02	1	90.39	77.11	85.69	
	2	86.88	83.53	96.14	2	92.29	91.46	99.10	
1119	3	—	—	—	3	—	—	—	
	4	91.48	89.30	97.62	4	91.89	90.16	98.12	
	½	86.16	62.78	72.86	1119	½	87.78	67.65	77.07
	1	91.35	85.92	94.06	1	94.04	92.01	97.84	
1220	2	94.87	94.31	98.89	2	93.79	92.95	99.10	
	3	92.87	91.68	98.72	3	92.97	91.82	98.76	
	4	—	—	—	4	—	—	—	
	½	91.89	84.57	92.02	1220	½	90.27	85.51	94.73
1	94.60	91.33	96.54	1	93.85	92.41	98.47		
2	92.60	91.60	98.91	2	91.95	89.33	97.15		
3	—	—	—	3	—	—	—		
4	94.60	93.63	98.91	4	95.93	94.17	98.17		



第 3 圖 還元溫度，時間，還元率の關係

還元率に及ぼす影響は大きい。中粒鑛石は 900~1000° にても、2h にして還元は完了するが、大粒鑛石は 90° にて 3h 以上を必要とする。従つて粒度に依る影響は、低温になる程大となるは、他の一般鐵鑛石と同様である。唯何れも 1200° 附近にて 2h 以上に至ると、鑛石は少々焼結する傾向はあるが、6h 迄は還元は進行するは、特異とする點であらう。

還元鑛石の進行度は、外觀に依り略々察知される。即ち、大體還元完了のものは、美麗な銀白色を呈するが、次第に低下して還元率 95% 附近になると、灰色を帯び、それ以下次第に黒味がかり。遂に數 10% になると黒色となり。同時に磁性強度も減少するに至る。

**固體還元劑の影響** 上記と同一實驗法に依り、CO ガス中に於ける鑛石と共存する、固體還元劑の影響を知るために上記の佛印産無煙炭、燃料用木炭及佛印豫熱無煙炭を使用した。

豫熱無煙炭とは、生の無煙炭を電氣爐内の磁製管中に入れて後、1000° 1h 加熱して、殆ど揮發分を除去せしめたものである。これ等の大粒及中粒鑛石に就て、何れも 1h 行ひたる比較試驗結果を第 3 表第 4 圖に表示する。

その表に依れば、何れの還元劑に於ても、粒度の影響は大であり、低温になる程、その差は顯著である。又還元劑と

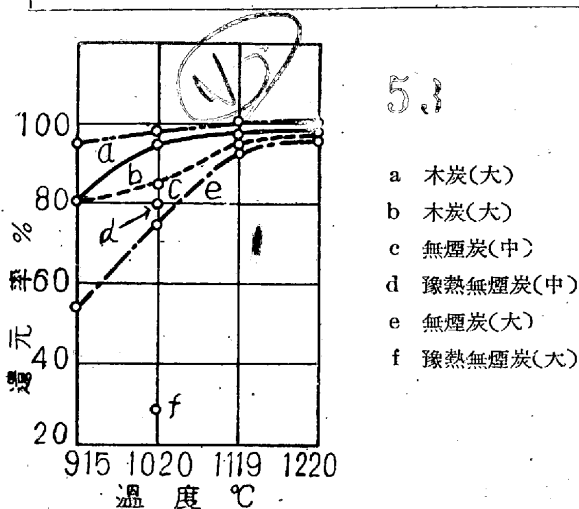
る板狀として、比較的細粉のものと大部のものに就き、T. Fe 及 M. Fe の分析試料とし各々の試料中の T. Fe 及 M. Fe の合計量を求め、分析試料含量にて夫々除して、T. Fe 及 M. Fe の%を算出した。

**實驗結果** 以上の實驗方法に依り、海南島磁鐵鑛を大粒と中粒とに分類し、800~1200°C に於て還元時間と還元率に就き、得たる結果を第 2 表及第 3 圖に表示した。

以上の鑛石の還元状態を觀察すると、次の主要な事項が説明出来る。即ち第 3 圖 AB の還元率曲線に於ては、1100~1200° 附近迄は、何れも 1h にして略々還元は完了するが、800~1000° 附近は溫度の差、還元時間、粒度の差の

第 3 表 固 體 還 元 劑 の 影 響

大粒鑛石 (7~10mm)					中粒鑛石 (5~7mm)				
還元温度 °C	還 元 劑	還元鑛石%		R. deg %	還元温度 °C	還 元 劑	還元鑛石%		R. deg %
		T. Fe	M. Fe				T. Fe	M. Fe	
915	A 無煙炭	82.93	45.26	54.58	915	A 無煙炭	86.87	71.05	81.72
	B 木炭	85.15	68.84	80.85		B 木炭	90.91	86.70	95.37
	C 豫熱無煙炭	—	—	—		C 豫熱無煙炭	—	—	—
1020	A 無煙炭	87.12	64.49	74.02	1020	A 無煙炭	90.39	77.11	85.69
	B 木炭	91.48	87.28	95.41		B 木炭	91.83	89.58	97.55
	C 豫熱無煙炭	81.58	23.04	28.24		C 豫熱無煙炭	90.68	74.03	81.64
1119	A 無煙炭	91.35	85.92	94.06	1119	A 無煙炭	94.04	92.01	97.84
	B 木炭	93.21	91.60	98.27		B 木炭	92.18	92.18	100.00
	C 豫熱無煙炭	—	—	—		C 豫熱無煙炭	—	—	—
1220	A 無煙炭	94.60	91.33	96.54	1220	A 無煙炭	93.85	92.41	98.47
	B 木炭	95.06	93.04	97.88		B 木炭	93.21	92.46	99.20
	C 豫熱無煙炭	—	—	—		C 豫熱無煙炭	—	—	—



第 4 圖 固 體 還 元 劑 の 影 響

しては、矢張り木炭は何れの場合にても最良であり、大粒鑛石に於て 900° にても還元率は相當大である。1000° 附近の生無煙炭と、豫熱無煙炭の場合を比較すると、中粒にては其の差は餘りないが、大粒に於ては其の差は著しい。即ち生無煙炭中の僅か6% 内外の揮發分は、鑛石の還元の有効に作用することは明かである。

上記の第2表乃至第3表の結果の實際上必要なことは、後述の廻轉爐内に於ける鑛石の還元過程中に於ける、爐内の温度範圍及還元時間を對象として考慮する場合に必要なである。鑛石の還元度は、廻轉爐内の装入物中の雰囲気、即ち温度及還元ガス組成 CO/CO<sub>2</sub> に依り、主として左右せられ、鑛石の装入より排出に至る所要時間内に於て、瞬間的に變化する爐内状態を考察すべき直接の資料とはならぬが、或程度の還元機構を説明するに便宜である。例へば豫熱無煙炭の還元状態は、實際の廻轉爐内に於ける生無煙炭の 1000°C 内外の還元帯に達せる際は、可なり揮發分を失ひて、豫熱無煙炭の如き状態となりて、還元作用を呈するが如きである。

從つてこの目的の爲に、豫熱無煙炭を用ひ 1020° にて長時間に亙り還元して得たる結果を次の第4表に示し、生無煙炭と比較せるものを第5圖に表示した。

第 4 表 豫熱無煙炭の還元率に及ぼす影響

大粒鑛石 (7~10mm)				中粒鑛石 (5~7mm)			
還元時間 h	還元鑛石%		R. deg %	還元時間 h	還元鑛石%		R. deg %
	T. Fe	M. Fe			T. Fe	M. Fe	
½	79.97	5.76	7.79	½	80.65	40.62	50.37
1	81.58	23.04	28.24	1	90.68	74.03	81.64
2	88.60	70.22	79.26	2	85.41	59.66	69.85
4	92.99	90.45	97.27	4	90.79	90.45	99.63

ここに於て、無煙炭中の揮發分が中粒鑛石に於ては、その差は少ないが、大粒鑛石に於ては、3h 内外迄は、明かに還元率に大差を生じた。4h 以後は揮發分には關係なく、還元が完了することが確められた。

**他鐵鑛石との還元度比較** 海南島磁鐵鑛を以上の實驗結果より大體の還元の難易度を決定し得たが、これ等の結果は廻轉爐内の還元状態の推定に、その儘適用し難きことは、既に述べた。然しながら廻轉爐に依り、その還元状態を、既に多數の基礎的坩工学的研究、或は實施應用にて明かにされてゐる、大栗子赤鐵鑛<sup>5)</sup>を同一の條件の下に還元實驗を行ふならば、實際の廻轉爐内の還元状態を比較に依り、略々推定し得る。又これに對し、弓長嶺磁鐵鑛をも併せ比較實驗をした。實驗に供せる大栗子赤鐵鑛及弓長嶺磁鐵鑛の化學成分は次の如くである。

鑛 石	Fe%	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	CaO%	MgO
大栗子赤鐵鑛	58.12	4.77	4.44	1.23	0.54
弓長嶺磁鐵鑛	66.02	4.26	0.55	0.11	0.16

但し實驗には何れも大粒鑛石 (7~10mm) 1 種のみを用ひ、生無煙炭の共存の下に、900~1200° にて 1h 行ひたる

<sup>5)</sup> 日下：日本鑛業會誌 57 (1941) 459.

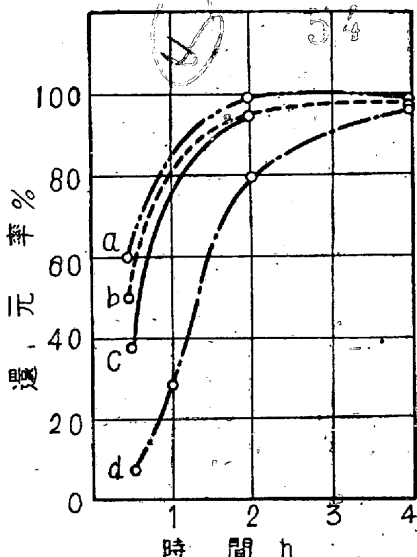
綿織其の他：鐵と鋼 28 (1941) 646; 鐵と鋼 57 (1942) 262.

ものにして、その結果を第5表第6圖に表示した。

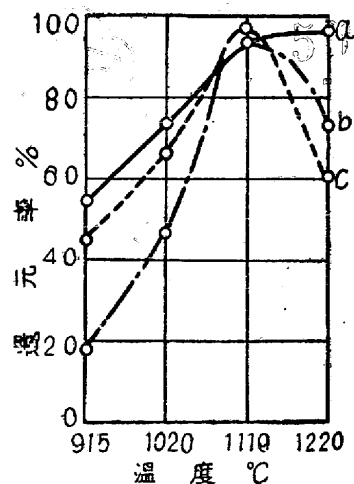
第5表 鐵鑛石還元比較表  
大粒鑛石 (7~10mm) 6g, 生無煙炭 3g,  
CO ガス 150cc mn, 還元時間 1h

鑛石種類	還元温度 °C	還元鑛石%		R. deg %
		T. Fe	M. Fe	
海南島磁鐵鑛	915	82.93	45.26	54.58
	1020	87.12	64.49	74.02
	1119	91.35	85.92	94.06
	1220	94.60	91.33	96.54
大栗子赤鐵鑛	915	81.00	36.87	45.52
	1020	81.11	54.15	66.75
	1119	88.36	83.44	94.43
	1220	82.97	60.93	73.32
弓長嶺磁鐵鑛	915	78.46	14.11	17.98
	1020	85.26	39.46	46.28
	1119	94.92	92.21	97.14
	1220	85.78	53.11	61.91

これに依れば海南島磁鐵鑛は、他の鑛石に比し還元率は



a 生(中) b 豫熱(中) c 生(大) d 豫熱(大)  
第5圖 生, 豫熱無煙炭の影響



a 海南島 b 弓長嶺 c 大栗子  
第6圖 鐵鑛石還元比較

全般に良好である。即ち900°~1000°附近迄は、大栗子鑛石に比し稍々近く、弓長嶺鑛石とは相當な開きを有してゐるが、1100°附近にて3者共、還元が略々完了する點に於て一致する。

1200°附近にては海南島鑛石はその温度に於ても還元作用は、殆ど平行に進行するに反し、大栗子弓長嶺兩鑛石は、急激に低下するは、蓋し海南島鑛石は、他の2鑛石に比し、SiO<sub>2</sub> 及 CaO 其他の鑛滓生成成分が比較的僅少な爲に焼結し難きに由るものと考へられるが、兩鑛石内部のWüstiteが7~10mm 程度の

粒度鑛石に於て、既に高温の爲に半焼結せるものを還元するか、或は還元してから半焼結せるか、何れかの理由に依り焼結し始め、還元ガスが更に内部に滲透するのを防止するに由るものと考へられる。これに關し、弓長嶺磁鐵鑛に就て行ひたる、垣内氏の實驗結果<sup>1)</sup>と一致する。

従つて、海南島鑛石は、1200°附近にて高率の還元率を示すのは、他の2鑛石に比して氣孔率が、大なるに由ることは、次の表に依りても明かであり、

	假比重	眞比重	氣孔率%
海南島磁鐵鑛	4.598	4.975	8.20
大栗子赤鐵鑛	5.060	5.333	5.36
弓長嶺磁鐵鑛	5.105	5.181	1.49

1100°C以上の温度上昇過程中に於て、鑛石内部のWüstiteが焼結しても、龜裂發生面が大なるに依り、還元ガスの滲透は停止せずに内部に進行するものと考へられる。

要するに、海南島磁鐵鑛は、大栗子、弓長嶺兩鑛石に比し、廻轉爐法に依る海綿鐵製造の際に、大なる温度範圍に互り焼結することなく、容易に操業し得ることが推定される。

### 結 言

海南島磁鐵鑛の基礎的實驗結果より、次の事項が解つた。

- (1) 鑛石は磁鐵鑛を主成分とするが、内部に不均一に赤鐵鑛、褐鐵鑛又はマータイトを含有し、可成の風化作用を受けて居り。氣孔率大なる故に、還元には適當である。
- (2) 大粒鑛石 (7~10 mm) と中粒鑛石 (5~7 mm) を比較すれば、900°~1000°附近にては還元率に相當なる開きを生ずるが、1100°附近にてはその差殆どなく、良好なる還元鑛石が得られる。
- 又 1200°附近にては、稍々焼結傾向あるが、還元は進行する。
- (3) 固體還元劑として夫々生無煙炭、木炭及豫熱無煙炭の3者を比較すると、木炭は最良の成績を示し、揮發分なき豫熱無煙炭は、特に大粒鑛石の場合に於ては、還元力が少い。
- (4) 海南島磁鐵鑛を大栗子赤鐵鑛、弓長嶺磁鐵鑛の還元難易度を比較すると、海南島鑛石は他兩鑛石に比し最も還元し易く、1200°附近の温度にても、依然として還元率良好なるに反し、他鑛石は約1100°以上の温度に至れば、還元率は急激に低下する。蓋し鑛石性質の

<sup>1)</sup> 垣内：鐵と鋼 28 (1942) 3.

差異にも基因するが、主として鑛滓生成成分の僅少及氣孔率に依る影響大なるものと推定する。

以上の結果より、海南島磁鐵鑛は海綿鐵製造原料鑛石として適當なる性質を有するものと認める。

2. 廻轉爐實驗

海南島磁鐵鑛は、固定爐に依る實驗の結果、他の富鑛石に比し、還元し易き性質の有する點を確め得たるが故に、廻轉爐に依る還元實驗に於ては、種々の條件を變へてこれを行ひ、且爐内還元状態をも併せ研究した。

**装置及方法** 實驗に使用せる廻轉爐は第7圖の如く長 8 m 外徑 1 m の鋼板製の圓筒形のものに、厚 15 cm の耐火煉瓦にて裏張りをなし、兩端内徑 0.7 m にして、排出端に向つて 1.8° の傾斜をなして居る。廻轉數は 0.45 rev/mn となし、鑛石及還元劑の混合物を一定時間に一定量宛、裝入口より投入し、他端より重油又微粉炭を爐内に空氣と共に送入して、燃燒する様に設備してある。本實驗に於ては重油を使用した。

裝入物の排出時間は次式に依れば

$$T_m = L/n \cdot \tan \theta \cdot \pi D$$

但し  $T_m$  排出時間 mn

$n$  1 mn 廻轉數 0.45

$\theta$  傾斜角度 1.8°

$d$  内徑 0.7 m

$L$  長 8 m

4 h 20 mn を要し、實測値と略一致するが故に、裝入物の通過速度は 1 m 當り約 32 mn となる。還元鑛石は結局排出端の末尾に附せる垂直狀の水冷却筒内に落下して、時折ダンパー開閉に依り冷却後外部に堆積する。

先づ廻轉爐のバーナに點火と同時に裝入物の裝入を開始し、爐内の燃燒状態裝入物温度及排出物を絶えず監視検定しながら、爐内状態が略々所要状態に達せる時期（點火後 7 h 頃）より、排出せる還元鑛石（海綿鐵）を採取して、前報の昇汞法に依り分析をなして、還元率を決定しながら、更に數時間操業を繼續した。その間廻轉中の爐内各位置の裝入物内部の温度測定、ガス採取及還元鑛石の採取をした。

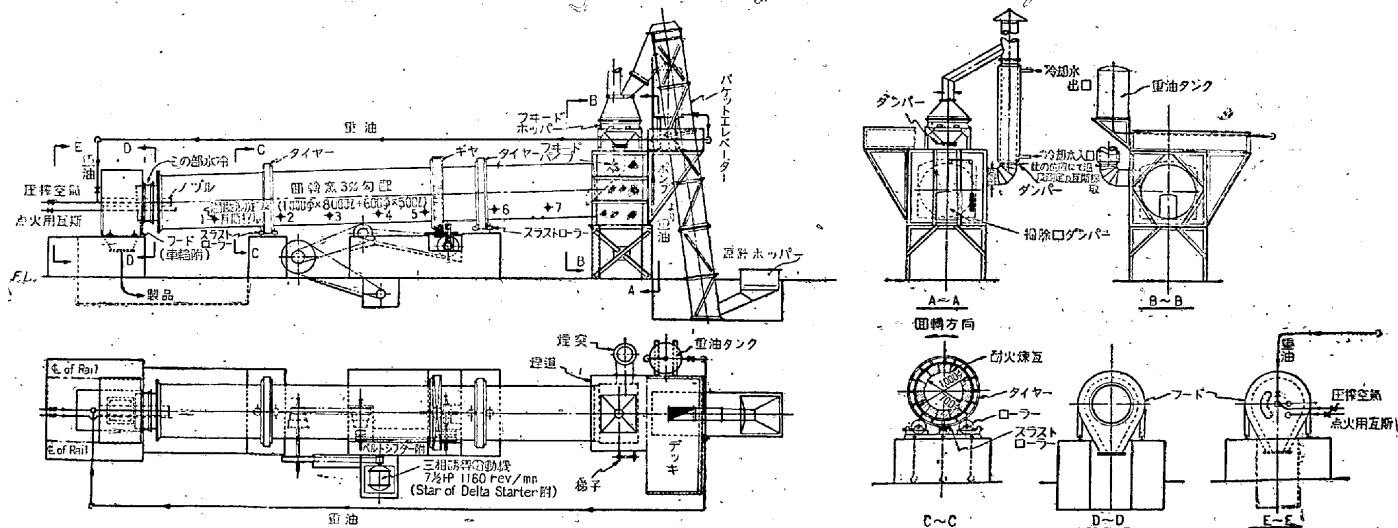
廻轉爐は排出端より 1 m, 3 m, 5 m の位置に於て、徑 15 mm の爐壁煉瓦を通じて孔を明け、そこより、白金—白金ロヂウム熱電對を有する鐵管を約 8 cm 裝入物内部に挿入し、これより爐體の胴體に圍繞せる 2 條の銅帶に附せる冷却點に結び付けて、ミリボルトメータより出でたる 2 本の銅刷子を銅帶に押し付け乍ら、隨時廻轉中の裝入物の温度を測定した。

又その位置の測定孔より、その位置の還元鑛石試料を摘出し得た。

裝入物内部ガス採取に當つては、長 8 m 内徑 15 cm の鐵管を、爐前窓より爐内氣相の變化せざる様注意して、先端を裝入物内部に押し入れて、真空ポンプに依り、急速に吸引して、ガス試料となし、オルザツト法に依り  $CO, O_2, CO_2$  の分析に供した。

試料

海南島磁鐵鑛及佛印無煙炭を原料としての實驗前に比較實驗として、撫順炭及木炭を使用せるものを併せ行つた。鐵鑛石及無煙炭は何れも前報と同一成分のものであるが、撫順炭は次の成分を有する。



第7圖 試驗廻轉爐全體配置圖 0.144 倍

(撫順炭の成分)

氣乾水分% 1.67, 熱驅水分% 7.72, 灰分% 7.90,  
揮發分% 40.63, 固定炭素% 43.75, 全硫黃% 0.41,  
發熱量 cal 6530.

木炭は一般燃料用のものにして、約95%の炭素を有する。  
海南島鑛石は5~10mm粒度の篩別せるものに就て行ひ、  
大栗子鑛石は7~10mm粒度を選び、海南島鑛石と大差な  
きものを使用した。撫順炭及木炭は、何れも30~50mm程  
度の比較的大塊の儘使用したが、無煙炭は種々のサイズを

No. 1 鑛石: 撫順炭 1.

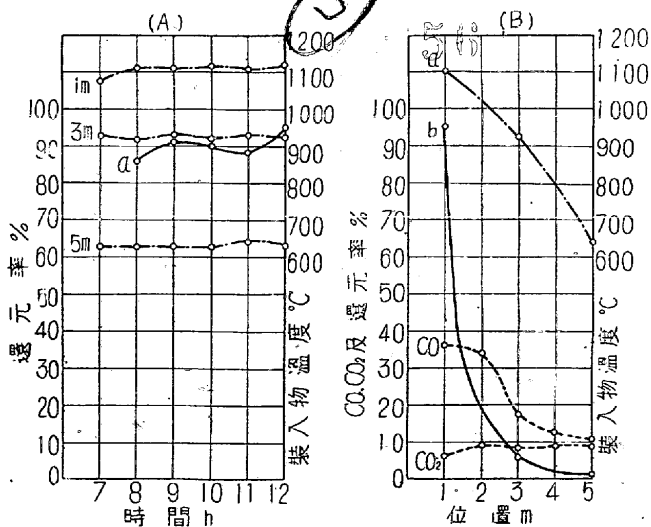
第6表(A) 還元鑛石の時間的變化

經過時間 h	装入物溫度°C			還元鑛石%		
	1m	3m	5m	T. Fe	M. Fe	R. d g
7	1080	930	630	—	—	—
8	1110	915	625	89.21	77.22	86.56
9	1110	930	630	—	—	—
10	1120	915	630	89.86	81.81	91.04
11	1110	930	640	88.02	77.76	88.34
12	1120	925	635	90.18	85.32	94.61

第6表(B) 各位置に於ける爐内狀態

測定	位置				
	1m	2m	3m	4m	5m
装入物溫度°C	1110	—	930	—	640
ガス%					
CO	36.5	33.8	17.3	12.8	10.7
O <sub>2</sub>	1.9	0.8	0.4	0.4	0.5
CO <sub>2</sub>	6.6	9.0	8.3	8.8	8.6
還元鑛石%					
T. Fe	91.80	—	72.14	—	67.18
M. Fe	88.29	—	4.32	—	0.54
R. deg	96.18	—	5.99	—	0.80
C	0.27	—	0.10	—	1.06
P	0.028	—	0.028	—	0.034
S	0.099	—	0.008	—	0.006

海綿鐵%: C 0.20, P 0.024, S 0.093, SiO<sub>2</sub> 2.48, MnO 0.57,  
T. Fe 89.86, M. Fe 81.81, FeO 8.89, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1.60.



a 還元率

a 溫度, b 還元率

第8圖 No. 1. 鑛石 1: 撫順炭 1

調製して用ひた。

装入量は鑛石及還元劑の所要重量割合の混合物を特記せ  
ざる以外は、1h 當り 60kg の割合となし少量宛装入した。

實驗結果 如上の方法に依りて得たる結果は次の通りで  
あるが、No. 1~No. 4 の還元劑として、木炭及撫順炭を特  
に高温にて使用したるは、無煙炭と比較せんが爲である。

第6表(A)及(B)を夫々第8圖(A)及(B)に示し  
た。爐内狀態は一般に順調に繼續し、11h 頃より少量な  
るも、銀白色の還元鑛石排出開始した。

No. 2 鑛石 1: 撫順炭 2.

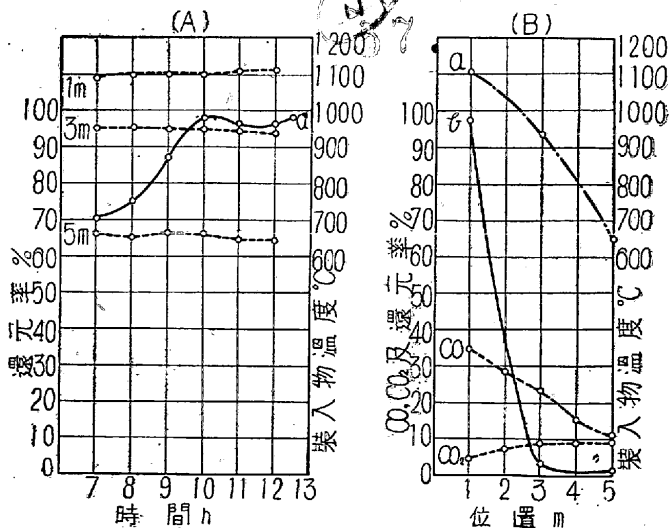
第7表(A) 還元鑛石の時間的變化

經過時間 h	装入物溫度°C			還元鑛石%		
	1m	3m	5m	T. Fe	M. Fe	R. deg.
7	1100	950	665	78.51	55.32	70.46
8	1105	945	655	78.72	59.04	75.00
9	1110	950	665	82.98	72.60	87.49
10	1110	950	665	86.59	84.84	97.98
11	1110	940	650	83.40	79.52	95.35
12	1110	940	650	85.42	81.91	95.89
12.5	—	—	—	86.59	84.84	97.98

第7表(B) 各位置に於ける爐内狀態

測定	位置				
	1m	2m	3m	4m	5m
装入物溫度°C	1110	—	940	—	650
ガス%					
CO	34.8	28.4	23.8	16.0	10.8
O <sub>2</sub>	1.4	0.6	0.2	0.6	0.4
CO <sub>2</sub>	5.0	7.0	9.2	9.4	9.2
還元鑛石%					
T. Fe	86.59	—	70.74	—	68.15
M. Fe	84.84	—	2.16	—	0.54
R. deg	97.98	—	0.54	—	0.79
C	0.15	—	0.42	—	0.69
P	0.039	—	0.019	—	0.021
S	0.141	—	0.011	—	0.011

海綿鐵%: C 0.13, P 0.039, S 0.106, SiO<sub>2</sub> 6.94, MnO 0.79,  
T. Fe 82.98, M. Fe 76.06, FeO 6.06, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 3.16.



a 還元率

a 溫度, b 還元率

第9圖 No. 2. 鑛石 1: 撫順炭 2

第7表(A)及(B)を第7圖(A)及(B)に示した。

爐内温度は比較的安定に保持し得て、焼結することなく繼續し得た。

装入物表面よりの發生焔は盛にして、順調であり、10h頃より銀白色の還元鐵石が相當量排出を開始した。還元帯は1m~3mに互り、十分なる還元性を有して居る。

爐内状態及海綿鐵を實驗 No.1 と比較すれば、殆ど差異なきに依り、撫順炭は鐵石に對し1對1にて十分なること明かである。

No. 3 鐵石 1: 木炭 1.

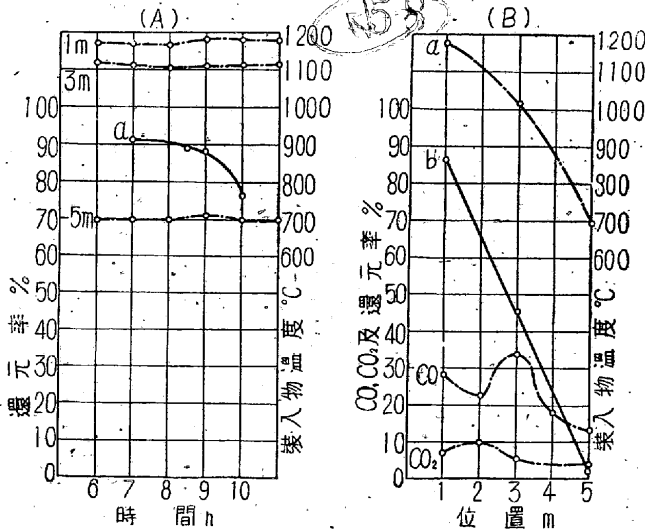
第8表(A) 還元鐵石の時間的變化

經過時間 h	装入物温度°C			還元鐵石%		
	1m	3m	5m	T. Fe	M. Fe	R. deg
6	1170	1115	695	—	—	—
7	1170	1110	695	85.00	77.49	91.16
8	1165	1005	695	88.56	79.11	89.33
9	1180	1010	705	89.64	79.38	88.55
10	1180	1015	695	76.03	58.32	76.71
11	1180	1015	695	—	—	—

第8表(B) 各位置に於ける爐内状態

測定	位置				
	1m	2m	3m	4m	5m
装入物温度°C	1180	—	1015	—	695
ガス%					
CO	28.1	22.5	33.0	17.9	13.4
O <sub>2</sub>	2.9	0.7	0.4	0.5	0.5
CO <sub>2</sub>	7.2	10.0	5.6	3.6	4.0
還元鐵石%					
T. Fe	83.38	—	78.30	—	60.48
M. Fe	72.36	—	36.18	—	1.08
R. deg	86.78	—	46.21	—	1.79
C	0.19	—	0.79	—	0.20
P	0.051	—	0.028	—	0.024
S	0.053	—	0.008	—	0.005

海綿鐵% : C 0.21, P 0.036, S 0.027, SiO<sub>2</sub> 3.84, MnO 0.79, T. Fe 88.56, M. Fe 79.11, FeO 8.80, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 3.73.



a 還元率

a 温度, b 還元率

第10圖 No. 3. 鐵石 1: 木炭 1

第8表(A)及(B)を第10圖(A)及(B)に示した。

温度調整不良の結果 1m~3m 位置附近は焼結せざるも高温に過ぎたる爲木炭の消盡劇しく排出端に還元劑達せず従つて9h頃より鐵石還元率は急激に低減した。

No. 4. 鐵石 1: 木炭 2.

第9表(A) 還元鐵石の時間的變化

經過時間 h	装入物温度°C			還元鐵石%		
	1m	3m	5m	T. Fe	M. Fe	R. deg
7	1130	1010	715	84.89	82.44	97.11
8	1130	1015	705	85.96	83.24	96.84
9	1130	1015	705	86.06	82.71	96.11
10	1130	1010	710	84.57	84.57	100.00
11	1130	1000	700	90.83	87.48	96.31

第9表(B) 各位置に於ける爐内状態

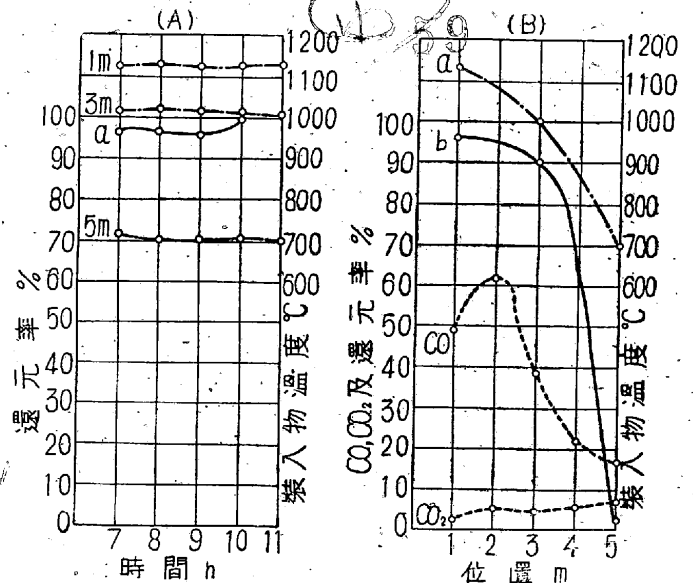
測定	位置				
	1m	2m	3m	4m	5m
装入物温度°C	1130	—	1000	—	700
ガス%					
CO	49.0	61.7	38.4	22.2	17.2
O <sub>2</sub>	0	0.2	0.2	0.4	0.6
CO <sub>2</sub>	3.0	5.6	4.8	6.0	7.2
還元鐵石%					
T. Fe	90.83	—	88.88	—	68.04
M. Fe	87.48	—	79.92	—	1.08
R. Deg	96.31	—	89.92	—	1.59
C	—	—	0.26	—	0.29
P	—	—	0.043	—	0.034
S	—	—	0.015	—	0.012

海綿鐵% : C 0.13, P 0.035, S 0.010, SiO<sub>2</sub> 2.64, MnO 0.98, T. Fe 84.57, M. Fe 84.57, FeO 0 Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.

第9表(A)及(B)を夫々第11圖(A)及(B)に圖示した。

爐内の還元状態は焼結することなく、順調に繼續し、約7h頃に、早くも銀白色の海綿鐵の排出を開始した。

還元帯は1~5mの廣範圍に互り、強力なる還元性を呈



a 還元率

a 温度, b 還元率

第11圖 No. 4 鐵石 1: 木炭 2.



し、鑛石は少くとも 2h 30mn の間還元作用を受けることは明かで、撫順炭その他の還元剤に比し遙かに強力である。

との混合比を大にして、且装入量を減少せしめて、稍々温度を上昇せしむる必要あることが知られる。

**No. 5 鑛石 1: 無煙炭 1.5**

但し無煙炭は 20~50mm の大塊を使用し装入量を 150kg/h とす。

**第 10 表 (A) 還元鑛石の時間的變化**

経過時間 h	装入物温度°C		還元鑛石%		
	1 m	3 m	T.Fe	M.Fe	R.deg
6	1045	895	67.02	5.32	7.94
7	1065	905	65.30	2.61	4.00
8	1070	905	66.6	1.86	2.82
9	1070	880	66.59	7.71	11.58

**第 10 表 (B) 各位置に於ける装入物内部ガス状態**

測 定	位 置				
	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m
装入物温度°C	1070	—	880	—	—
ガス% CO	27.4	27.8	14.4	—	4.6
O <sub>2</sub>	0.2	0	0	—	0
CO <sub>2</sub>	10.4	12.6	11.6	—	8.2

海綿鐵% : T.Fe 67.87, M.Fe 7.98, FeO 43.87, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 36.75

無煙炭は破碎せずして、20~50mm の大塊のものを使用せる結果を見るに、爐内通過し燃燒して排出する迄の状態は、撫順炭の如く崩壊して、灰化して木炭質のコークス化することなく、質緻密にして硬く、殆ど原形の儘排出して大じて燃燒に與らざることを證明して居る。即ち、その破面は表面より、僅か 2~3mm 層は稍々灰色を呈し居るも、それより内部は原炭と同一の黒紫色の光澤を保持して居る。炭質は緻密にして硬く、揮發分は僅少の故、かくの如き大塊は還元剤としては明かに不利であり。爐内に於ける装入物表面よりの CO ガス燃燒焔は、撫順炭木炭に比すれば極めて少なく、装入物内部ガスの分析結果より見ても、1m 位置に於て、僅に還元性を有するに過ぎない。

本實驗の結果より無煙炭を更に粒度を小さくし、鑛石

**No. 6 鑛石 1: 無煙炭 2**

但し無煙炭は 20~30mm の中塊を使用し、装入量は 60kg/h とす

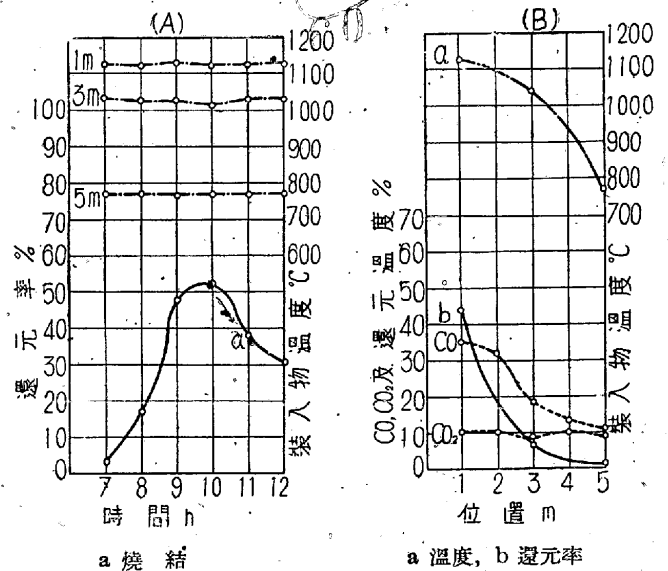
**第 11 表 (A) 還元鑛石の時間的變化**

経過時間 h	装入物温度°C			還元鑛石%		
	1 m	3 m	5 m	T.Fe	M.Fe	R.deg
7	1105	1020	775	66.59	2.13	3.20
8	1125	1035	775	66.81	11.44	17.12
9	1130	1030	775	66.17	31.65	47.83
10	1120	1015	770	72.55	37.23	51.32
11	1125	1040	770	67.66	26.06	38.52
12	1125	1035	770	69.15	21.01	30.38

**第 11 表 (B) 各位置に於ける爐内状態**

測 定	位 置				
	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m
装入物温度°C	1125	—	1040	—	770
ガス% CO	34.8	32.6	18.6	13.0	10.6
O <sub>2</sub>	0.2	0	0	0	0
CO <sub>2</sub>	9.6	10.6	8.0	10.4	8.4
還元鑛石% T.Fe	69.79	—	68.08	—	44.59
M.Fe	31.12	—	4.79	—	7.04
R.deg	44.59	—	1.06	—	1.63
C	1.03	—	0.44	—	0.50
P	0.041	—	0.039	—	0.035
S	0.064	—	0.031	—	0.011

海綿鐵% : T.Fe 72.55, M.Fe 37.23, FeO 43.33, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 2.42



**第 12 圖 No. 6 鑛石 1: 無煙炭-2 (20~30mm)**

第 11 表 (A) 及 (B) を夫々第 12 圖 (A) 及 (B) に示す。

爐内温度は高温に過ぎる爲に、微粒鑛石は 10h 頃より燒結し、11h 以後は還元率は次第に低下した。但し、無煙炭は前實驗に比し粒度小ならしめたる爲に、温度上昇し易く、且装入物内部ガスも亦 1m~3m の範圍は還元性と

**No. 7 鑛石 1: 無煙炭 2**

但し無煙炭は細粉して粉炭を得たり。其の粒度は篩別の結果は次の如し。

2 メッシュ以上	3.4%	4 メッシュ以上	12.8%
8 メッシュ以上	21.8%	20 メッシュ以上	31.5%
20 メッシュ以下	29.5%		

装入量は 60kg/h とす。

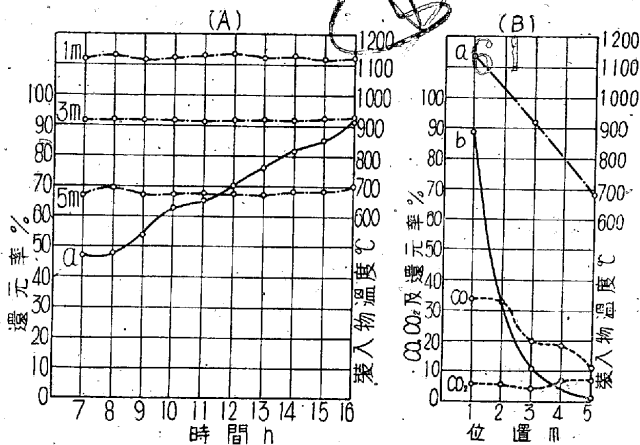
第 12 表 (A) 還元鐵石の時間的變化

経過時間 h	装入物温度°C			還元鐵石%		
	1 m	3 m	5 m	T.Fe	M.Fe	R.deg
7	1115	920	670	74.79	35.37	47.29
8	1135	920	670	72.87	32.84	47.81
9	1115	920	675	72.87	38.56	52.92
10	1135	920	670	76.17	47.61	62.50
11	1135	910	675	75.74	48.93	64.60
12	1135	920	680	77.13	54.25	70.34
13	1120	920	670	76.25	57.96	76.01
14	1130	920	680	78.66	63.87	81.20
15	1125	930	685	80.74	68.77	85.17
16	1130	930	700	82.93	76.72	92.52

第 12 表 (B) 各位置に於ける爐内状態

測定	位置				
	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m
装入物温度°C	1135	—	920	—	680
ガス% CO	33.4	33.0	19.6	13.4	11.8
O <sub>2</sub>	2.2	1.8	1.8	1.0	0.7
CO <sub>2</sub>	6.0	5.9	4.8	7.0	7.5
還元鐵石% T.Fe	80.64	—	66.81	—	61.06
M.Fe	71.81	—	7.45	—	1.06
R.deg	89.05	—	11.15	—	1.74
C	—	—	0.85	—	1.18
P	—	—	0.034	—	0.028
S	—	—	0.015	—	0.015

海綿鐵% : T.Fe 77.13, M.Fe 54.2, FeO 29.29, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.16, C 0.25, P 0.031, S 0.158, SiO<sub>2</sub> 4.36 MnO 1.09



第 13 圖 No. 7 鐵石 1: 無煙炭 2 (破碎炭)

り、還元率は更に増大し得る可能性ありたるも、排出物中の無煙炭は前實驗同様未燃焼層を存する爲、更に粒度小ならしむるの要がある。

第 12 表 (A) 及 (B) を第 13 圖 (A) 及 (B) に圖示した。

爐内の状態は焼結することなく、終始順調に繼續せり。

爐内の氣相は1m~3mの範囲に互り十分に還元性を有し居り、装入物表面上の火焰も亦稍多く發生するを觀察せり。

鐵石還元率は 3m 位置より少し以前に還元が開始されるものの如く、3m 位置に於て既に 11% 還元率を示す。從

つてこれより見るに、還元帯は排出端より 3m 以上の距離に互つて居り、鐵石の通過速度は 1m 當り 32 mn なる故、排出に至る迄少なくとも 920~1135° の温度範囲にて 1h 30 mn は還元が行はれる。

以上の結果より還元剤としての無煙炭は、或程度の細粉として使用することが必要なることが知られる。

No. 8 鐵石 1: 無煙炭 3

但し無煙炭は細粉し其の粒度の篩別試驗は前實驗 No 7 と同一なり。

装入量は 60kg/h とす。

第 13 表 (A) 還元鐵石の時間的變化

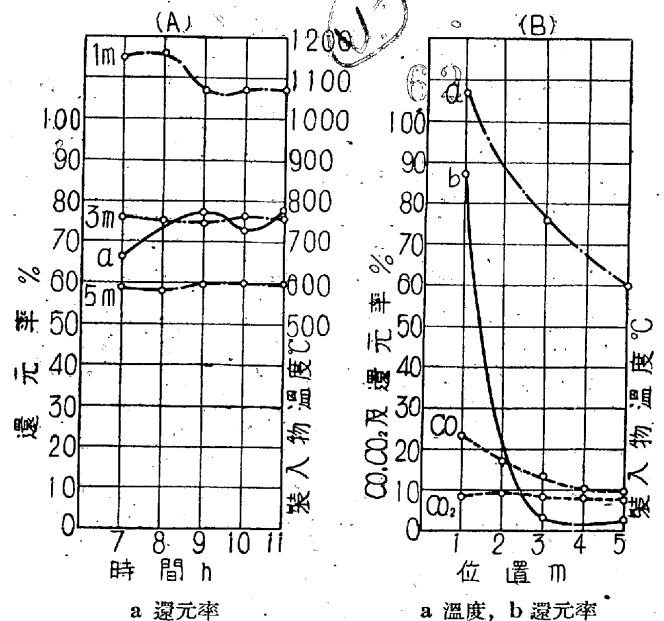
経過時間 h	装入物温度°C			還元鐵石%		
	1 m	3 m	5 m	T.Fe	M.Fe	R.deg
7	1160	760	590	83.59	55.89	66.86
8	1165	755	585	—	—	—
9	1070	750	595	83.16	63.99	76.95
10	1070	760	595	80.78	58.86	72.86
11	1075	760	595	81.00	62.91	77.67

第 13 表 (B) 各位置に於ける爐内状態

測定	位置				
	1 m	2 m	3 m	4 m	5 m
装入物温度°C	1075	—	760	—	595
ガス% CO	23.8	16.9	14.1	10.0	9.6
O <sub>2</sub>	0.8	0.3	0.3	0.5	0.4
CO <sub>2</sub>	8.8	9.0	8.6	8.6	8.2
還元鐵石% T.Fe	78.84	—	67.18	—	58.97
M.Fe	69.12	—	1.62	—	1.62
R.deg	87.67	—	2.41	—	2.75
C	1.10	—	1.12	—	1.26
P	0.040	—	0.030	—	0.037
S	0.143	—	0.006	—	0.006

海綿鐵% : C 0.19, P 0.022, S 0.129, SiO<sub>2</sub> 3.12, MnO 0.79, T.Fe 81.00, M.Fe 62.91, FeO 22.98, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 0.33

第 13 表 (A) 及 (B) を第 14 圖 (A) 及 (B) に圖示す



第 14 圖 No. 8 鐵石 1: 無煙炭 3 (破碎炭)

還元剤の配合を増加せるに拘らず、7~8h 經過後1m位置附近高温に過ぎたるが爲、装入物の焼結の恐れあり。依りて温度低下ならしめたる結果、爾後良好なる操業を爲し得ざるに依り還元率不良である。

No. 9 鑛石 1: 無煙炭 1

但し無煙炭は破碎せるもの篩別を爲し 5~10mm のみを使用せり。

装入量は 60kg/h とす。

第 14 表 (A) 還元鑛石の時間的變化

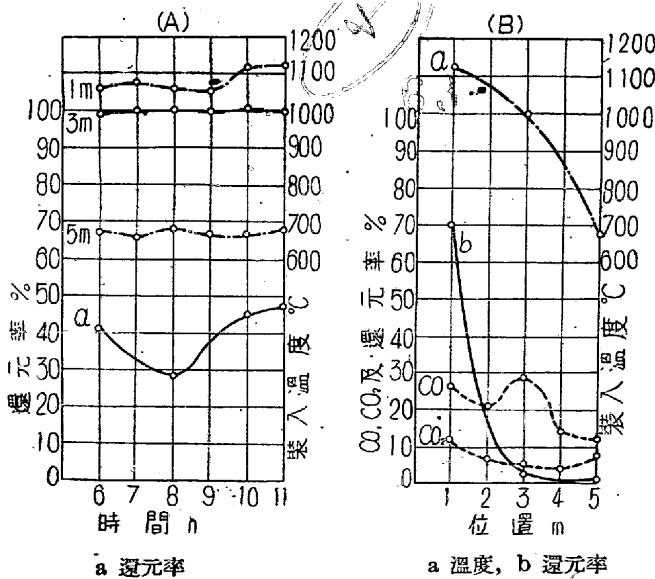
經過時間 h	装入物温度°C			還元鑛石%		
	1m	3m	5m	T.Fe	M.Fe	R.deg
6	1060	990	670	78.41	32.40	41.32
7	1070	1000	660	—	—	—
8	1060	1000	680	76.68	25.92	33.80
9	1050	995	675	—	—	—
10	1115	1100	670	77.33	35.10	45.39
11	1125	1000	680	78.73	37.26	47.33

第 14 表 (B) 各位置に於ける爐内状態

測定	位置				
	1m	2m	3m	4m	5m
装入物温度°C	1125	—	1000	—	680
ガス % CO	26.2	20.8	29.0	14.0	12.6
O <sub>2</sub>	0	0.6	0.4	1.2	0
CO <sub>2</sub>	11.7	6.6	5.6	5.0	7.4
還元鑛石 % T.Fe	81.86	—	70.52	—	68.04
M.Fe	57.51	—	1.89	—	0.81
R.deg	70.25	—	2.68	—	1.19
C	0.63	—	0.52	—	0.21
P	0.038	—	0.031	—	0.027
S	0.137	—	0.003	—	0.002

海綿鐵% : C 0.07, P 0.033, S 0.111, SiO<sub>2</sub> 2.76, MnO 0.66, T.Fe 78.41, M.Fe 32.40, FeO 53.63, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 6.18

第 14 表 (A) 及 (B) を第 15 圖 (A) 及 (B) に圖示した。



第 15 圖 No. 9 鑛石 1: 無煙炭 1 (5~10mm)

10h 頃より鑛石は稍々焼結し始め、良好なる還元率のものを得るに温度調節は困難であつた。

排出物中の石炭は大部分 3~4mm 程度に細小となりしもその内部破面は未燃焼の黒紫色を呈して居る。

No. 10 鑛石 1: 無煙炭 1

但し無煙炭は破碎せるものにして No.7 と同一粒度のものを使用せり。

装入量は 60kg/h とす。

第 15 表 (A) 還元鑛石の時間的變化

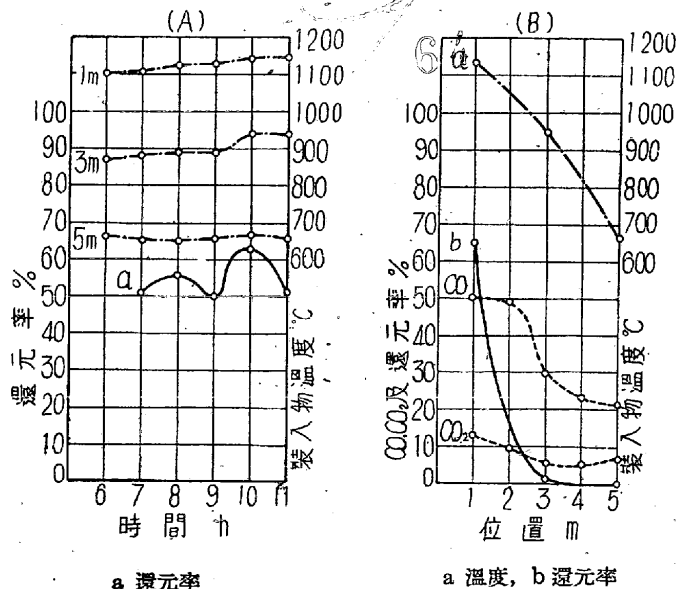
經過時間 h	装入物温度°C			還元鑛石%		
	1m	3m	5m	T.Fe	M.Fe	R.deg
6	1110	870	660	80.58	41.01	50.89
7	1105	885	645	85.15	46.87	55.70
8	1130	890	645	78.41	39.15	49.93
9	1130	885	655	80.35	51.03	63.51
10	1150	940	665	78.08	39.42	50.49
11	1150	940	655	—	—	—

第 15 表 (B) 各位置に於ける爐内状態

測定	位置				
	1m	2m	3m	4m	5m
装入物温度°C	1130	—	950	—	660
ガス % CO	49.8	48.9	29.7	22.9	20.7
O <sub>2</sub>	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2
CO <sub>2</sub>	13.3	9.5	5.7	5.6	6.1
還元鑛石 % T.Fe	80.14	—	60.51	—	61.99
M.Fe	52.11	—	0.54	—	0.16
R.deg	65.05	—	0.87	—	0.26
C	0.25	—	0.56	—	2.86
P	0.039	—	0.032	—	0.038
S	0.116	—	0.003	—	0.002

海綿鐵% : C 0.36, P 0.029, S 0.122, SiO<sub>2</sub> 2.84, MnO 1.04, T.Fe 80.35, M.Fe 51.03, FeO 36.78, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1.04

第 15 表 (A) 及 (B) を第 16 圖 (A) 及 (B) に圖示した。



第 16 圖 No. 10 鑛石 1: 無煙炭 1 (破碎炭)

爐内状態は終始順調にして、焼結することなく行ひ得たり。従つてガス状態も良好にして、1~5m に互り十分に還元性を保持し得た。

No. 11 鑛石 1: 無煙炭 1

但し無煙炭は細粉して粉炭を使用したり、その粒度は篩別の結果次の如し。

4 メツシユ以上	16.2%	8 メツシユ以上	19.3%
20 メツシユ以上	26.7%	20 メツシユ以下	37.8%

装入量は 100kg/h とす。

第 16 表 (A) 還元鑛石の時間的變化

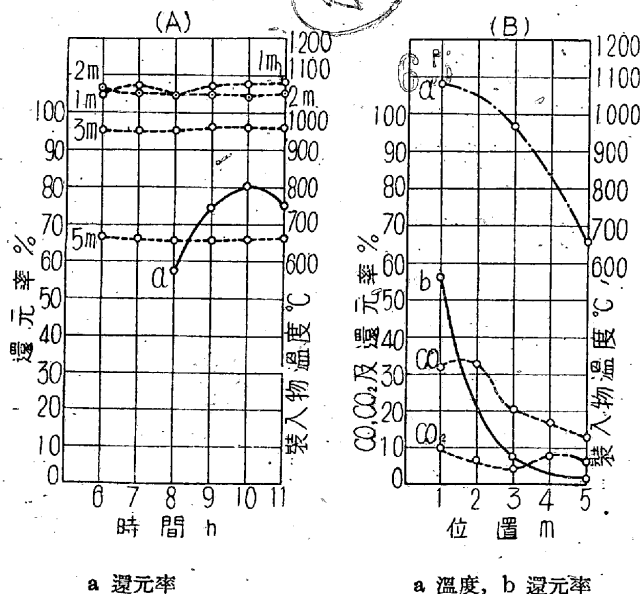
経過時間 h	装入物温度°C				還元鑛石%		
	1m	2m	3m	5m	T.Fe	M.Fe	R.deg
6	1050	1065	955	665	—	—	—
7	1075	1060	955	660	—	—	—
8	1050	1050	955	655	82.81	47.71	57.61
9	1070	1055	960	655	85.26	71.98	84.42
10	1070	1045	960	655	87.72	78.68	89.69
11	1075	1055	965	660	84.37	71.70	84.98

第 16 表 (B) 各位置に於ける爐内状態

測定	位置				
	1m	3m	3m	4m	5m
装入物温度°C	1080	1060	965	—	660
ガス % CO	32.1	32.6	20.4	17.5	13.2
O <sub>2</sub>	0.1	0.4	0.8	0	0
CO <sub>2</sub>	9.8	7.0	4.6	8.2	7.2
還元鑛石 % T.Fe	85.04	—	72.82	—	68.85
M.Fe	47.43	—	6.02	—	1.67
R.deg	55.77	—	8.26	—	2.43
C	0.67	—	1.89	—	0.35
P	0.036	—	0.034	—	0.029
S	0.131	—	0.005	—	0.005

海綿鐵% : C 0.10, P 0.036, S 0.151, SiO<sub>2</sub> 3.04, Mn 1.01, T.Fe 87.72, M.Fe 78.68, FeO 6.39, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 5.82;

第 16 表 (A) 及 (B) を第 17 圖 (A) 及 (B) に圖示した爐内状態は順調に進行し、かなり高温なるも焼結なくして行ひ得た。



第 17 圖 No. 11 鑛石 1: 無煙炭 1 (破碎炭)

第 17 表 (A) 及 (B) を第 18 圖 (A) 及 (B) に圖示した爐内状態は順調で焼結することなく進行し得た。

No. 12 鑛石 1: 無煙炭 0.7

但し使用せる無煙炭は次の粒度を有する粉碎炭なり。

4 メツシユ以上	9.1%	8 メツシユ以上	20.8%
16 メツシユ以上	23.0%	20 メツシユ以上	25.5%
20 メツシユ以下	21.6%		

装入量は 100kg/h とす。

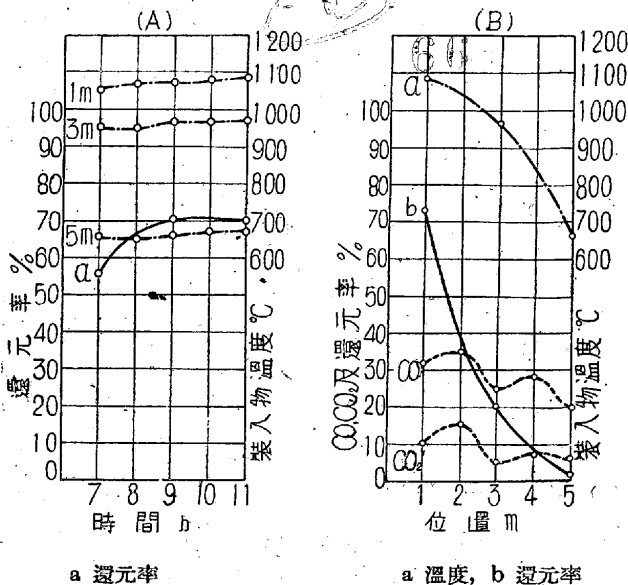
第 17 表 (A) 還元鑛石の時間的變化

経過時間 h	装入物温度°C			還元鑛石%		
	1m	3m	5m	T.Fe	M.Fe	R.deg
7	1050	950	660	82.04	45.80	55.83
8	1070	950	650	—	—	—
9	1070	960	660	82.73	58.19	70.34
10	1085	970	670	—	—	—
11	1085	970	670	82.73	57.61	69.64

第 17 表 (B) 各位置に於ける爐内状態

測定	位置				
	1m	2m	3m	4m	5m
装入物温度°C	1085	—	970	—	670
ガス % CO	33.0	35.8	25.4	28.1	20.2
O <sub>2</sub>	0.1	0.7	0	0	0
CO <sub>2</sub>	10.6	16.4	5.8	8.0	6.4
還元鑛石 % T.Fe	79.27	—	73.97	—	69.13
M.Fe	55.02	—	14.11	—	1.15
R.deg	73.19	—	20.43	—	1.95
C	0.28	—	0.48	—	0.19
P	0.028	—	0.026	—	0.022
S	0.125	—	0.007	—	0.003

海綿鐵% : C 0.21, P 0.029, SiO<sub>2</sub> 2.72, MnO 0.65, S 0.131, T.Fe 82.73, M.Fe 58.19, FeO 30.39, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 1.32



第 18 圖 No. 12 鑛石 1: 無煙炭 0.7 (破碎炭)

實驗結果に對する考察 廻轉爐に依る海綿鐵製造、即ち鑛石還元率に及ぼす影響の中で、最も重要なる事項は、他の製鐵法と同様に、温度並に還元劑に關する事項である。本實驗に於ては、補助燃料として重油を使用せるが故に、爐内温度の調整は容易なるも、微妙なるバーナ調整は稍々困難の故に、所要温度に長時間保持すること不可能であつ

た。従つて以上の結果の如き温度を 1100°C 以下に保持せんとするも、若干の實驗例にては、それを數 10°C を超えたものがある。故に以上の實驗結果を同一温度にて比較考察するは妥當ではないが、特定温度に依る種々の影響を知ることが出来る。

一般に爐内の温度分布は實驗 No. 8 を除いては、1m 位置附近の最高温度より、徐々に装入口に向つて低下して居り、略々同様なる温度曲線を示し。大體 1m 位置 1100°C ならば 3m 位置は 950°C、5m 位置 650°C が平均温度分布である。

温度分布には還元剤の種類に依る影響は特に區別し得ない。即ちその影響より温度調整方法たるバーナノズルの調子、還元剤混合比、温度上昇速度、装入量並外気温等の種々の原因に依る影響が寧ろ大である。

數日間連続運轉を行へば、それ等の影響因子は無視し得べきも、試料不足等の理由より、僅か 10 數 h を行ひたる結果である。

鑛石還元率に及ぼす還元剤の影響を見るに、撫順炭、木炭、無煙炭の3者を比較すれば、實驗 No. 3 及 No. 4 の如く木炭は最良であり、温度調整し易く、既に 3m 位置に於て相當の還元鑛石が得られる、撫順炭は實驗 No. 1 及 No. 2 の如く、それに次で良好であり。爐内装入物表面より石炭の揮發分の燃焼に依り、盛に發生焔を生ずるのである。

然るに無煙炭は實驗 No. 5 以下の如く、質緻密にして硬き故、燃焼速度少なく、従つて發生焔甚だ少なく、相當の高温帯、即ち 1m 位置附近は 1100°C を超え、装入物は輝黄色に熱せられてゐるに拘らず粒度 30~50mm にては殆どなく、20~30mm 及 5~10mm と次第に粒度を細小にすれば、少量宛發生焔を増加するに至る。

然るにこの粒度を實驗 No. 7 以下の如く、ボールミルにて短時間粉碎して得たる。その儘の多數の粒度を異にせる微粉より 10mm 内外迄の範圍のものを使用すれば、爐内に於て微粉乃至粉炭の燃焼により、相當なる發生焔を生じ、還元有效なる還元剤としての作用を爲し、且還元鑛石を包圍しながら再酸化を防止して排出するのである。

但し微粉乃至粉炭のみを使用すれば、燃焼には更に有效なるも、その消費量を増加し、従つて鑛石との混合比を増大する必要を生ずる。

依つて混合比 1:0.7~1 程度にて行はんには、如上の如き粉狀破碎炭を使用するが良い。

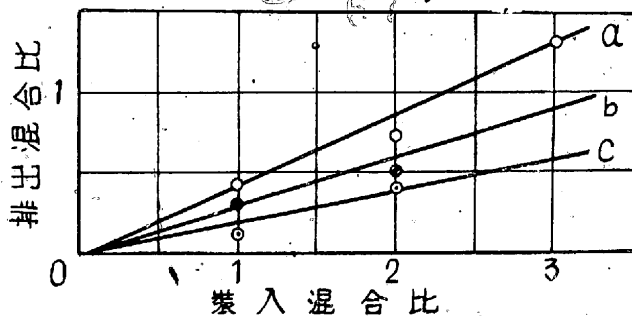
次に鑛石と還元剤の混合比の變化、即ち装入物及排出物

中の還元鑛石と還元剤の混合比の變化を知る爲に、上記實驗の結果を第 17 表及第 19 圖に示す。

但し、數字は鑛石重量 1 に對する還元剤の比を示せるものである。

第17表 還元剤混合比變化表

實驗	還元剤	装入物	排出物	備考
No. 1	撫順炭	1	0.3	
No. 2	"	2	0.5	
No. 3	木炭	1	0.1	
No. 4	"	2	0.4	
No. 9	無煙炭	1	0.4	5~10mm 炭
No. 10	"	1	0.4	粉碎炭
No. 11	"	1	0.6	装入量 100 kg/h
No. 7	"	2	0.7	"
No. 8	"	3	1.3	"
No. 12	"	0.7	0.5	装入量 100 kg/h



a 無煙炭, b 撫順炭, c 木炭  
装入量 60 kg/h

第19圖 還元剤混合變化

これに依りても無煙炭は木炭及撫順炭に比し、燃焼し難きことが推知される。實際排出物中の木炭及撫順炭は表面白色と化し、燃焼に依りて全體が非常に多孔性にして輕きに反し、無煙炭は表面灰色を呈し、僅かに内部に向ひ 2mm 内外の層燃焼せることを示し、それより内部は全く原炭と同様なる黒紫色を呈してゐる。

第18表 無煙炭粒度の變化(%)

實驗	粒度	装入	排出
No. 10	4 メッシュ以上	16.2	33.9
	8 "	21.8	28.8
	20 "	31.5	27.6
	20 " 以下	29.5	9.6
No. 11	4 メッシュ以上	16.2	20.7
	8 "	19.3	31.4
	20 "	26.7	35.7
	20 " 以下	37.8	12.2
No. 12	2 メッシュ以上	—	4.2
	4 "	9.1	40.0
	8 "	20.8	24.2
	16 "	23.0	19.0
	20 "	25.5	8.4
	20 " 以下	21.6	4.2

又装入無煙炭と排出無煙炭の粒度變化を實驗 No. 10, No. 11 及 No. 12 に就て見るに、次の第 18 表の如くなる  
20 メツシュ以下の微粒が著しく減ずるのは、燃焼又は還元と共に與かり、比較的粒度の大なるものは依然として残るに由る。

排出物中の實驗 No. 7 の無煙炭渣(コーライト)の成分は次の如し。

氣乾水分 0 %、熱水分 0.80%、灰分 11.36%、  
揮發分 1.01%、固定炭素 86.83%、全硫黄 0.52%、  
磷 0.014%、發熱量 7053 cal

爐内ガス組成は装入物中よりガス採取するに當り、常に正しい同一の位置に鐵管の先端を据え得ざりしため、各實驗に於けるガス分析表は、爐内各位置に於ける大體の還元性雰囲気の程度を察知する資料に過ぎないが、これは温度と密接なる關係を有するは論を俟たない。従つて爐内温度は絶えず變化するが故に、一定のガス組成の得ることは期待し得ざれば、ガス採取は爐内状態が略一定となりたる時期(點火後約 10h 頃)に採取した。

撫順炭を使用せる際は一般に CO ガス以外に H<sub>2</sub> 及 CH<sub>4</sub> 數%含有するを通例とする。

一般に 1~3m 位置附近は還元性を有するも、4~5m 位置に互りて還元性を有することは少い。即ち鑛石は装入後 3m 位置附近迄は酸化焙焼せられ、それ以後排出する迄徐々に還元性雰囲気に入り、2~1m 位置間にて最大の還元を受けることが明かである。時間的にこれを觀るならば、大體還元時間は約 950~1100°C の温度にて、約 1.5h である。これは各位置に於ける鑛石還元率 C, P, S の含量の増加に依りても證明される。但し C の特に含量大なるものは、附着に依るものであり、又實驗 No. 3, No. 8, No. 9 の如く、排出海綿鐵の還元率は 1m 位置のそれより低下してゐるは、再酸化に基因する。

無煙炭に依る海綿鐵の C, P, S 含量は、撫順炭及木炭に依るものに比し、稍高値なるは、爐内を比較的に高温ならしめて操業する必要に由る。

以上の實驗により、本鑛石より無煙炭を還元劑として良好なる海綿鐵を得るに必要な主要條件は次の如く考へらる。

(1) 無煙炭はこれを粉碎して出来るだけ粉狀のものを使用する方が、有效であり、これに依り還元焔の發生量は大となる。但し粉炭のみにては排出物中の鑛石割合に明かな如く、消費量は大となるが故に、微粉狀よ

り 10mm 内外迄の種々の粒度の混合せる、破碎の儘のものを使用するが良い。

(2) 本實驗爐の如き條件に於ては、鑛石對無煙炭比を 1:1 と爲し、装入量を 100 kg, 1h 程度とすれば操業し易い。

(3) 爐内の還元帶を鑛石の燒結せざる限り、出来るだけ高温保持するが良い。

## 結 言

基礎實驗に於て海南島田獨産鐵鑛石は、海綿鐵原料として最も適當であることが明かにされたが、これを半工業用廻轉爐を使用して得たる結果は次の如し。

5~10mm 大の海南島鑛石により、長さ 8m 徑 0.7m の廻轉爐にて海綿鐵製造の際に、還元劑として撫順炭又は木炭を使用すれば、容易に還元率 90% 以上の優秀な品質のものが得られるが、揮發分少く、且質緻密にして硬き佛印ホンゲイ産無煙炭を使用するには、特に必要な注意を要する。即ち、無煙炭は大塊乃至中塊の儘にては、殆ど還元劑としての有效なる作用を呈せざるが、これに反し、これを出來るだけ粉狀のものを使用する方が有效であることが明かにされた。然し粉狀のもののみにては、消費量大なるが故に、微粉狀より中塊程度に至る迄の種々の粒度の混合物を使用して、消費量少なく、且還元率 90% 内外(金屬鐵約 80%)の海綿鐵を製し得た。かくして無煙炭、鑛石比 1 對 1 とし、装入量を 100 kg, 1h 程度にしてこれを行へば、優秀なる海綿鐵を製し得ることを確め得た。

又上記實驗中、爐内各位置に於ける装入物中の温度ガス分析並還元鑛石の還元率及 C, P, S を測定し、爐内の還元状態を考察する資料に供した。

## 3. 海綿鐵ブリケット試験

廻轉爐に依る海綿鐵は小粒なるが故に、これを簡単に適當なる形狀にブリケットになし得れば貯藏、輸送並熔解爐への装入に際し、甚だ至便なるは論を俟たない。即ち海綿鐵は濕氣に依り容易に再酸化して、製鋼原鐵として熔解に際し好ましからざる現象を生じ易いのである。

本實驗に於ては上記の廻轉爐に依る海綿鐵成品 2 種の 5~10mm 大のものに就き、壓縮機に依るブリケット試験せる結果を示す。

試料は次表の A, B 2 種の品位を有する海綿鐵を使用した。

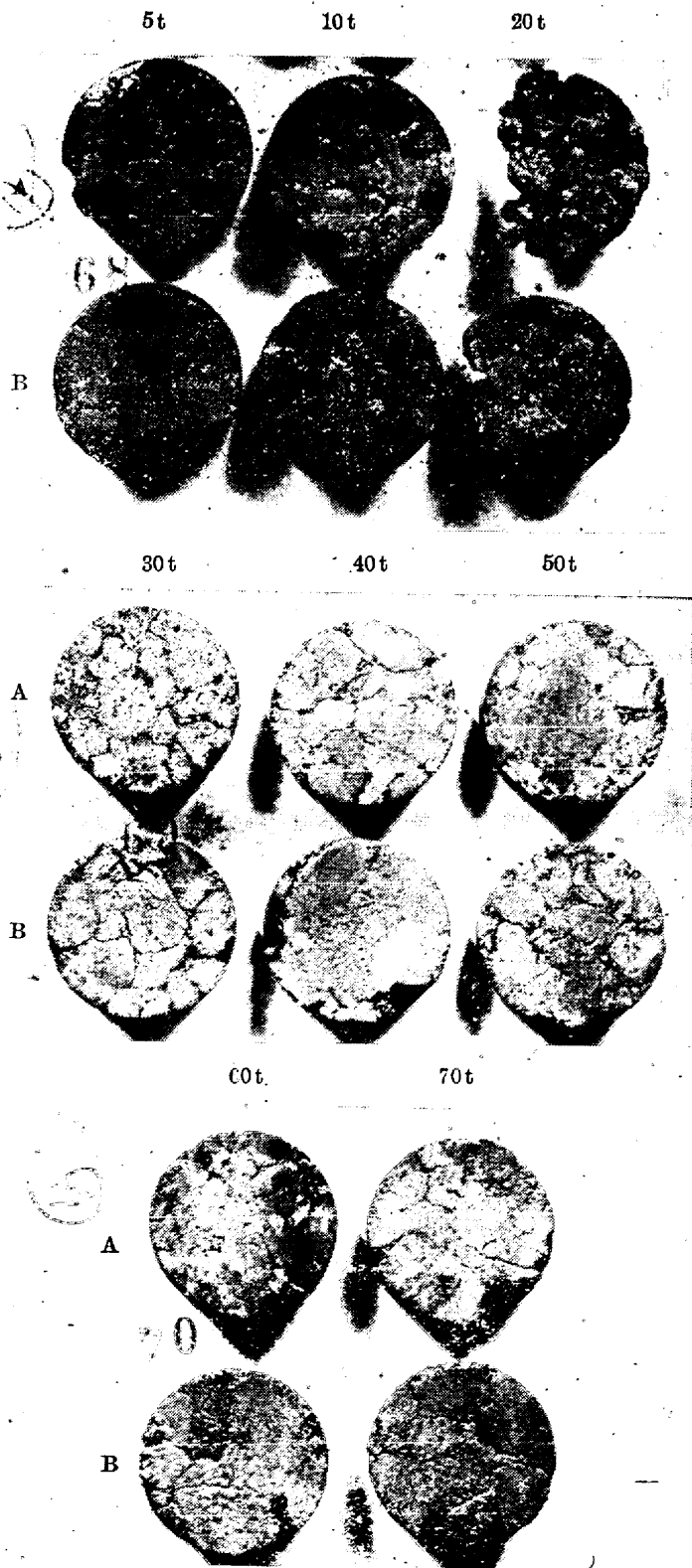
先づ試料を約 30g 採り何等の粘結劑を用ひずして、その

第19表 ブリケット試料

成分%	T.Fe, M.Fe,	R.deg,	FeO,	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,	C,	SiO <sub>2</sub> ,	MnO
試料A	86.18	75.33	87.34	13.41	0.61	0.18	4.88 0.75
B	84.67	64.53	76.21	22.44	3.96	0.10	3.84 1.04

儘直径 25 mm の金型に收容し、水壓機に依り 5~70 t/cm<sup>2</sup> 加壓し、厚さ約 10 mm のブリケットを製し、これを寫眞、比重及平均厚さ測定に依りブリケットの團結度を檢した。

寫眞組織は壓縮の儘を撮影せるものにして、第 20 圖に



第 20 圖 海綿鐵ブリケット寫眞

示すが如し。

比重測定は常溫にてこれを流動パラフィン（比重 0.98）中に吊して、假比重を測定せるものにして、その結果はブリケット平均厚さと共に第 20 表に示す。

第 20 表 ブリケット比重及厚(mm)

比 重									
加壓 t/cm <sup>2</sup>		5	10	20	30	40	50	60	70
A		5.49	6.07	5.60	6.02	6.16	6.39	6.70	6.73
B		5.51	5.49	6.21	5.86	6.00	6.12	6.03	6.23
厚(mm)									
加壓 t/cm <sup>2</sup>		5	10	20	30	40	50	60	70
A		12.0	11.0	9.9	9.2	9.0	8.5	8.9	8.0
B		12.7	12.5	10.2	9.7	9.3	8.6	9.0	8.2

ブリケット寫眞組織より説明する迄もなく、5t 加壓にては何れも不良なる團結を示し、10t にて A は良好なるも、B は稍良好、20t にて何れも團結強固となり、それ以上の加壓にては益々堅固になるブリケット比重及厚さ測定の結果は稍不規則ではあるが、加壓を増大すれば海綿鐵中の M. Fe の多き程即還元率の大なるに隨ひ漸進的に比重の値は大になり、厚さは薄くなり、團結の程度を數字的に了解し得て、寫眞組織状態との比較に便なり。かくの如く上記品質の海綿鐵より壓縮法に依りブリケットを製するには、少くも 10~20 t/cm<sup>2</sup> を必要とし、この程度の團結を有するブリケットを得れば、再酸化を減少し得ると同時に、取扱及輸送等の中途にて破壊せざるものと信ずる。

## II. 總 括

海南島田獨産鐵鑛石は鐵分 65%、硅酸 3% 燐、硫黃比較的に少く、磁鐵鑛、赤鐵鑛、褐鐵鑛を主成分とし、氣孔率大なるを以て還元し易く、海綿鐵原料として最適の性質を具備してゐる。

只風化鐵石の故に破碎に際し粉塵化し易き缺點を有す。

廻轉爐法に依り 5~10 mm 粒度の本鑛石に就いて還元劑として佛印ホンゲイ産無煙炭を使用して、海綿鐵を製造するに當り、無煙炭は粒大なるものは良好なる海綿鐵は得られざるも破碎した儘の粉末炭を混じたるものを使用し、本實驗爐に於て鑛石 1: 無煙炭 1 の重量比にて裝入量 100 kg/h 程度なれば操業し易く、撫順炭の如き優秀なる還元劑を使用して得たるものに比して劣らざる良好なる海綿鐵を製し得ることを確め得たり。

又海綿鐵の貯藏及輸送等の際に於ける取扱上、及再酸化を考慮して 2 種の品質に就きブリケット試験せるに、10~20 t/cm<sup>2</sup> にて壓縮すれば十分なる團結力を保持せしめ得ることを明かにせり。

以上の研究より明かな如く、廻轉爐法に依り、海南島田獨産鐵鑛石及佛印ホンゲイ産無煙炭を原料として得られる海綿鐵は燐及硫黃等の不純物含量少なく優良なる製鋼原鐵なるは論を俟たず。

高爐に不適當なる 5~10 mm 粒度の本鑛石は山元にて容易に選別し得べく、本法の如き簡易製鐵法に依れば、南方重要資源として巨大なる埋藏量を有する兩原料は、今後の本邦製鋼業就中特殊鋼業界の發達に果す重大なる役割を果すことを信じて已まない。

終りに本鑛石の入手に關し、多大の御援助を賜りたる日本製鐵株式會社並石原産業株式會社の御厚意に對し深甚なる謝意を表す。