

論 文

キルン内の還元過程および炭材の挙動*

(ロータリーキルンによる砂鉄予備還元の研究—III)

荒 川 秀 雄**

Process of Reduction and the Behavior of Carbon-Reducing Agent in the Kiln.

(Study on the pre-reduction of iron sand in a rotary kiln—III)

Hideo ARAKAWA

Synopsis:

In the previous paper of this series the travel of raw material and the distribution of temperature in a reducing kiln had been discussed. The present study is to investigate the process of reduction and the behavior of carbon-reducing agent in the kiln.

By using chemical analysis, X-ray diffraction method and observation of microstructure on the specimens which are obtained through sampling holes fixed on the kiln shell, the author finds that the greater part of reduction occurs in the 20 pct length from discharge end and the half-reducing reactions proceed as follows: -Magnetite is reduced to wüstite preferentially, ilmenite takes sintering wüstite into ulvöspinel, in the next stage partial reduction to the metallic state of iron from ulvöspinel progresses to some extent under slagging temperature.

Free wüstite is scarcely recognized throughout the kiln with the exception of 5~9m zone that exists in the early stage of reduction.

Generally the zone 2~3m from discharge end is approximately reoxidizing on account of the oxidizing atmosphere. This atmosphere is one of the great factors causing dam-ring troubles in a reducing kiln.

There are two types of consumption of the reducing agent in the burden material; that is, reduction and direct combustion including combustion of carbon monoxide which is a product from reduction. The reactivity of the reducing agent is an important factor for the reduction velocity concerning the consistency of carbon monoxide in the material bed and, at the same time, a factor influencing the consumption in direct combustion. (Received 13 Apr. 1964)

I. 緒 言

前報¹⁾までに稼動中の還元キルンの測定法、および測定結果より解析した炉内原料の移動状況と温度分布について述べ、回転円筒内の原料は粒度偏析を起しやすいことを指摘した。

本報ではキルン処理の主目的の一つである還元反応が炉内でいかに進行しているか、また還元と密接な関係をもつ配合還元炭材が炉内でいかなる挙動を示すかを、測定結果から解析検討した。元来ロータリーキルンは加熱燃焼ガスが炉内原料層表面と接触して流れるので、酸化焙焼に適した炉である。したがってキルンを還元処理炉として使用するには、いろいろの注意が必要となる。

キルン原料は原則的に固相領域で還元が進むので、還

元反応はほとんどCOガスによつて推進される。したがつて原料層内のガス組成は配合炭の対CO₂反応性と温度に支配される。配合還元材を還元の有効に使用するため、炭材の挙動を明らかにすることは重要である。本報では以上の観点から、実動キルンの測定結果をもととしていろいろ検討解析を進める。

II. 砂鉄の性状

炉内の解析を行なう前に、原料鉱石である砂鉄の性状について記述する。本測定試験に使用した砂鉄はすべて千葉県飯岡地区のものである。本鉱は沖積世発生の海浜

* 昭和38年4月本会講演大会にて発表
昭和39年4月13日受付

** 東北電化工業株式会社大間々工場

Table 1. Chemical compositions of materials used for kiln and sponge iron.

Material	Chemical compositions (wt. %)													
	T.Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MnO	Al ₂ O ₃	MgO	P	S	Cr	Cu	TiO ₂	V
Iron sand (Iioka)	57.72	26.22	53.40	2.80	0.18	0.57	2.78	1.81	0.045	0.021	0.01	0.006	11.46	0.36
Sponge iron (half reduction)	T.C	T.Fe	MFe	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	P	S	Cr	Cu
	4.67	59.78	29.89	36.25	2.45	7.00	12.07	0.42	3.50	1.90	0.094	0.101	0.01	0.007
Reducing agent	FC	Ash	VM	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	P	S				
Gas Cokes	85.10	11.75	3.15	5.15	0.70	2.13	0.25	2.07	0.043	0.612				
Natural cokes (Tagawa)	70.39	24.95	4.66	12.58	1.46	7.29	0.63	0.97	0.016	0.149				
Anthracite (Kanta)	75.45	21.44	3.11	10.46	0.14	7.40	0.10	0.89	0.022	0.210				

砂鉄であり、自然淘汰がよく進行していて、-150 mesh が 70% にもおよぶ微粉鉄である反面、リンが低く、中程度のチタンを含む特徴がある。Table 1 に飯岡砂鉄とキルン処理で得られた半還元砂鉄海綿鉄の代表的分析例、および配合還元材として使用した炭材の組成を示した。砂鉄の鉱物的組織については従来よく研究されている。³⁾飯岡砂鉄も一般の砂鉄と近似した組織で Magnetite (Fe₃O₄) と Ilmenite (FeTiO₃) が層状または格子状に共生している。砂鉄の特徴は FeTiO₃ を含むことであつて、のちに述べるように、還元過程で Fe₃O₄ が優先還元され、Wüstite が生じるが、遊離して現われるのは還元初期のみで、大部分は TiO₂ との化合物の形を経由するので、Hematite (Fe₂O₃) 系の鉱石と比較するとはなはだしく被還元性が悪い。

砂鉄は微粉鉄であるので固体還元剤による還元試験を行なつて、各種鉱石の被還元性を比較した。一定粒度 (38~48mesh) に調整したインド鉄 (Hematite)、ミルスケール、砂鉄 (粒度調整せず) に固体還元剤としてランプブラックを鉱石重量の 30% 添加混合し、1000°C、1100°C および 1200°C の恒温に保持された炉に挿入し、熱天秤重量法で還元率と時間の関係を探つた。いずれも鉱石と同じ粒度に調整した石英粉末を対象として空実験を行ない補正した。還元炭剤は微粉であつて見掛けの反応性は非常に大きいので、還元排出ガスは CO として扱い、還元率を求めた。還元-時間の関係によく適用される次式⁴⁾にしたがつて結果を図示すると Fig. 1 の通り

$$t = k(1 - \sqrt[3]{1-y})$$

t : 還元時間, y : 還元率, k : 速度定数

である。結果から見ると、1100°C 以上の還元曲線はほとんど直線となる。反応初期の曲線を微分して速度定数 k を求めると Table 2 のようになる。砂鉄精鉄は他の

鉄石の調整粒度より細かいので同じ条件の場合にはさら

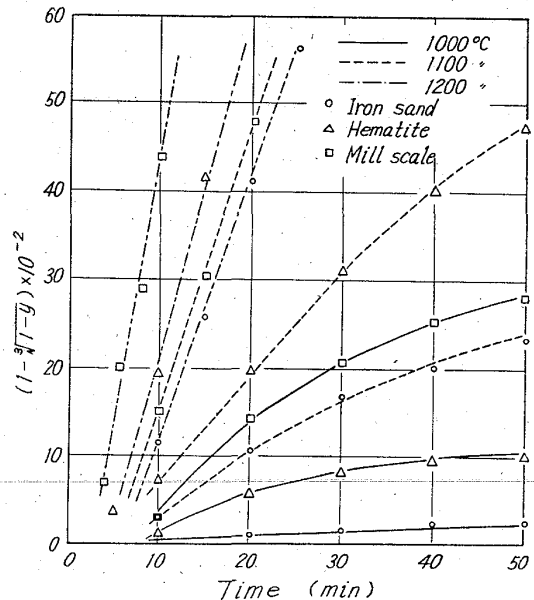


Fig. 1. Relations between reduction time and $1 - \sqrt[3]{1-y}$ (y indicates reduction ratio) on various ores and at various temperatures.

Table 2. The velocity constant of reduction ($K \times 10^{-2}$) of various ores at various temperatures.

Ore	Temperature (°C)		
	1000	1100	1200
Iron sand	0.07	0.74	2.80
Hematite	0.45	1.21	3.75
Millscale	1.17	3.10	5.81

に低い値となるであろう。このように砂鉄の被還元性が悪いのは、鉄成分が Magnetite, Ilmenite の形で含まれ緻密であること、還元過程で Ulvöspinel (Fe_2TiO_4) のような中間化合物を形成することが原因と推定される。なお Table 2 の値は砂鉄を除きつぎの Arrhenius の式をほぼ満足する。

$$\ln K = -A/T + C$$

III. キルン内の還元過程

(1) キルン内の還元進行

キルンの炉内還元を検討するため、還元率と MFe の変化曲線、および代表的原料温度分布の測定例を Fig. 2 に示す。キルン処理の温度では、還元はほとんどガス相と固相の界面で進行すると考えられ、原料層内雰囲気組成と鉄化合物の還元は Fig. 3 に示す周知の Fe-C-O

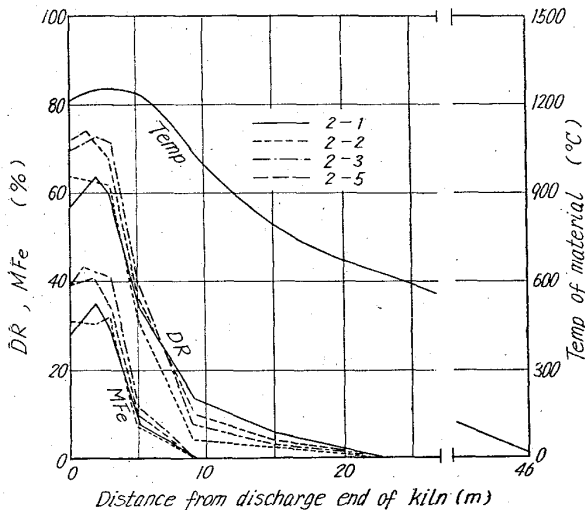


Fig. 2. Four samples of reduction curves and the standard distribution of temperature in the rotary kiln.

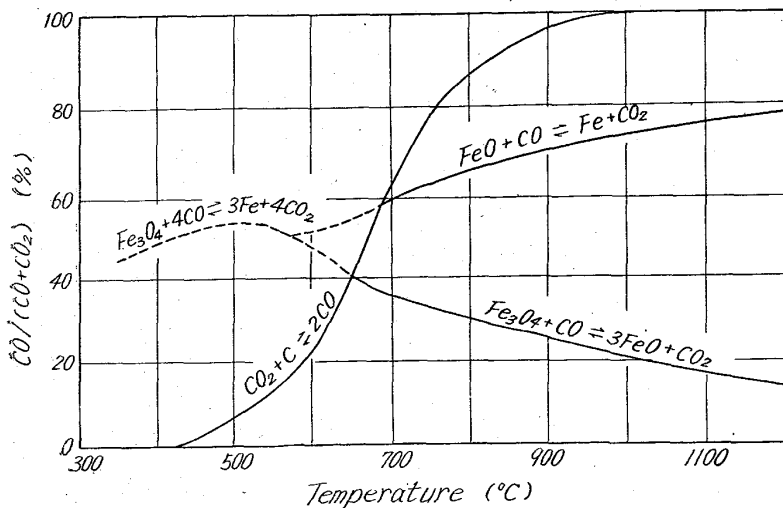


Fig. 3. Equilibrium diagram of Fe-C-O.

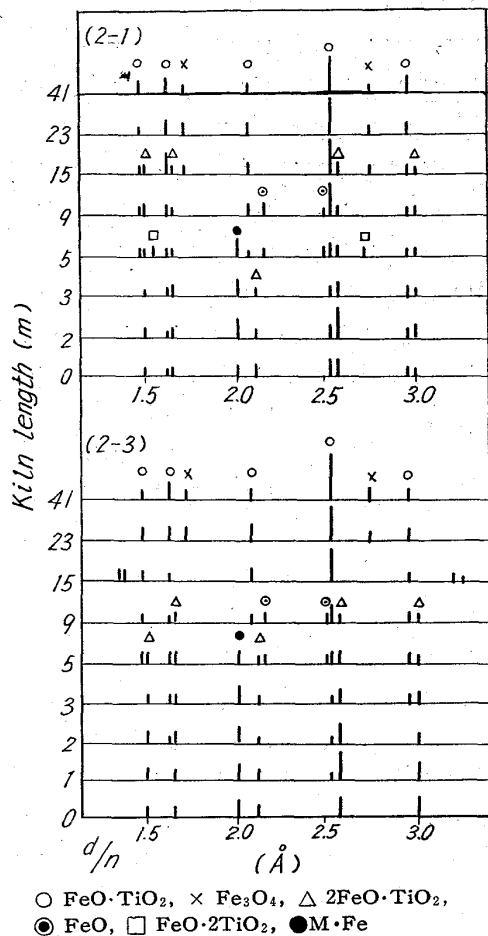
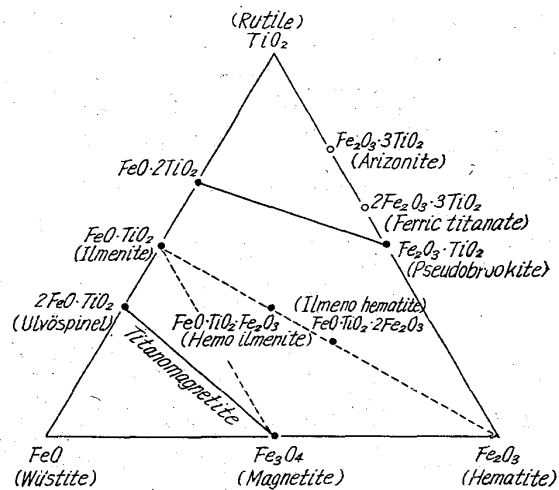


Fig. 4. Summary of X-ray analysis on the specimens obtained from sampling holes of the kiln.

系の平衡が支配要因となる。同図から明らかなように、FeO および MFe の発生温度は 647°C および 685°C である。Fig. 2 の標準原料温度からこの 2 地点を求めると、21m および 19m 附近である。Fe₃O₄→FeO の還元始発点は比較的近いが、MFe の発生は 10m までほとんど見られず上の発生温度からずれている。Wüstite は Fe₃O₄ の還元で発生するが、遊離するものが少なく、TiO₂ と二元化合物をつくり、難還元となるためであろう。注意すべきことは、キルン排出端数 m の帯域で多少とも再酸化が起り、還元率の低下が見られることである。再酸化の量はふつう還元率で数%の例が多いが、ときには 10 数%におよぶこともある。この現象はキルンの末端部が強酸性雰囲気化気となることが原因である。再酸化現象は排出成品の顕熱増加となつて損失を増す以外に局部過熱を起し、後報で述べるように原料粘着を促し、ダムリングをつくるなどの操業上の障害の原因となる。

(2) X線回折

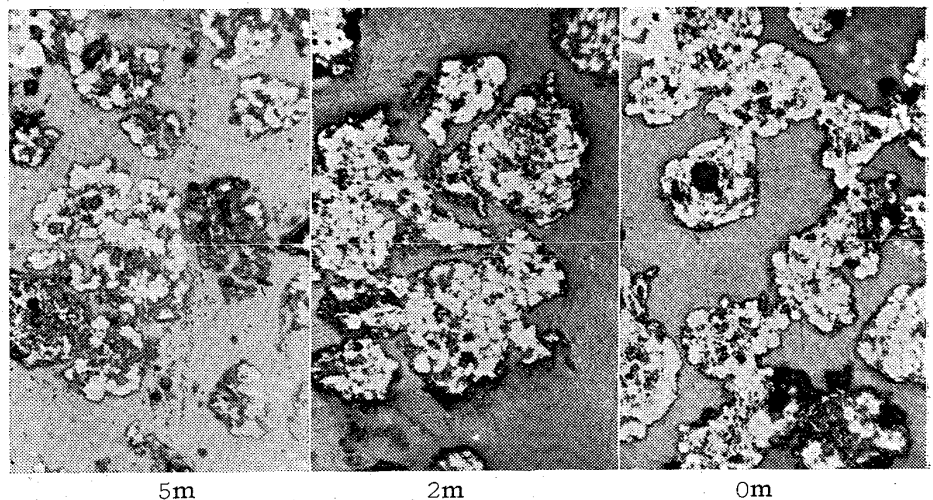
還元の過程で砂鉄に含まれる鉄がいかなる形態をとるかは、砂鉄が難還元性であることとともにキルン処理を究明するうえで重要である。Fig. 4 は炉中各地点から採取した資料を粉末法でX線回折し、明りような回折線のみを整理した結果の例で、2-1 と 2-3 測定の場合を示したものである。資料は磁選して炭材を除き、200mesh に粉碎して用いた。回折条件は $\text{CuK}\alpha$ (Ni) 線使用、30 kVP, 15mA, 回折角 2θ の $20^\circ \sim 80^\circ$ 間を scint. counter で検出し、pulse height analyzer を通して自記させた。同定の標準資料はASTMカードに頼つたが、 TiO_2 - FeO - Fe_2O_3 系については吉田ら⁵⁾の研究を参考にした。図の 41m 地点の資料は原料砂鉄とみなされるが強い Magnetite とやや弱い Ilmenite の線が認められる。23m地点の資料は両測定例とも Magnetite がやや弱くなるほかはほとんど変化がない。15m地点に到ると 2-1 には Ulvöspinel の出現が認められるが、2-3 では Magnetite が弱くかつ broad となつたのみで、この相の存在は不明りようである。9m 地点では両測定とも Magnetite が弱まり Ulvöspinel が非常に明りようとなる。MFeは未だ認められない。過渡的に遊離Wüstiteが認められるが、5m では非常に弱くなり以後消失する。9~5m 地域では、Magnetite から優先還元した Wüstiteが拡散するにはまだ温度が低いので遊離状態で認められるが、この地帯以後高温帯に入ると拡散が早くなり大部分が Ilmenite と結合して Ulvöspinel の形となると推定される。特異な例として、2-1 測定 5m 地点に FeTi_2O_7 の弱い線が認められる。5m より排出端までは MFe と Ulvöspinel および弱い Magnetite のみとなる。還元過程を通じて支配的となる Ulvöspinel の結晶構造は Spinel 型で Magnetite とまったく同型であり、その X 線像は Magnetite よりわずかずつ d/n の大きい方にずれた回折線として検出され、かつ相互に完全固溶して Titanomagnetite を形成する。 TiO_2 - FeO - Fe_2O_3 系化合物に関してはいくつかの研究⁶⁾がなされ、Fig. 5 に示す系に要約される。 FeTiO_3 - Fe_3O_4 を結ぶ Magnetite Ilmeniteの線より還元をうけると、 TiO_2 1 mol に対し FeO 2 mol の組成までは Titanomagnetite が支配的な相と推定され

Fig. 5. FeO - Fe_2O_3 - TiO_2 composition diagram.

る。回折に供した資料は相当ガラス化した相を含むので、窒素雰囲気中で十分ゆるやかに熱処理を施し、再度 X線回折を行なつたが明りような差異は認められなかつた。

(3) 検微鏡組織

Photo. 1 は 2-2 測定 (砂鉄-無煙炭操業) の排出端から 5m, 2m, 0m地点の採取試料の反射面検鏡組織である。いずれの試料もポリエステル樹脂を真空含滲して硬化させたのち、研磨を行なつた。5m 地点では原砂鉄粒子の結合はきわめてまばらで、還元により原粒子内に多くの細隙が発生していることがわかる。この地点の原料の還元率は 30% 位で、すでに相当量の分散した金属鉄の発生が認められる。2m 地点に到ると還元はさらに進み、脈石部分が軟化結合した組織の中に金属鉄が発生して、粒子は MFe の bond で結合されている。また粒



Distance from the discharge end of kiln
Photo. 1. Microstructures of spot samples which are obtained from operating kiln. The grain is surrounded by mounting medium, unetched $\times 200$ (1/2)

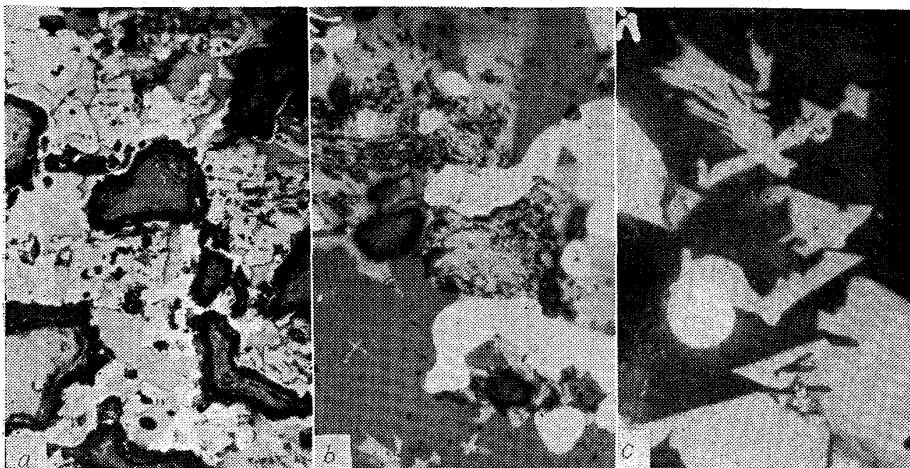


Photo. 2. Half reduction sponge reduced at high temperature in the kiln. Metallic iron (white), Titaniferous phase (gray), Siliceous glass (dark).

子間の空隙は縮小している。排出端 0m に到ると、その組織はやや様相が異つている。排出口附近原料層表面で多少再酸化をうけた海綿鉄は、短時間局部過熱をうけて構成粒子の表面は滑かとなる。層内の還元雰囲気で発生する MFe は、軟化組織の外周から還元されるので、粒子の外周部に接続した形で観察される。内部組織には再酸化時に発生した特有の球形密閉のガス穴が散在する。全体に組織は収縮しているが、なお原砂鉄粒子個々の原形が認められ、焼結粒子間の空隙はいぜんとして大きい。この海綿鉄は排出口附近の再酸化が比較的少なく、処理過程にうけた温度も低い (<1200°C) 場合である。これに対し Photo. 2 はキルン内で酸化(層表面)-還元(層内)のサイクルを強くうけた場合で、処理温度も高い例である。その組織は原砂鉄の姿をまったく留めず一変している。すなわち組織そのものが大きく塑性変形を起し η 相 (Titanomagnetite) が珪酸質ガラス相の中に晶出している様子が見られる。MFe は大粒子に成長している。このことから高温部では一部液相が生じたことが推定される。質は概して緻密で一個の気孔は大きい。図中 b は a の部分拡大で、灰色部の η 相に接して最白部の MFe が発生している。地は珪酸質ガラス相(暗色部)である。黒色に縁取られた部分は気孔中に固化した樹脂である。c はさらに b の一部を高倍率で観察した組織の一部分で、特徴ある η 相の晶出部に接して発生したなめらかな周辺をもつ金属鉄が認められる。透明なガラス地に傾斜して晶出した η 相の縁部分には干渉縞が見られる。このようにキルン処理の海綿鉄は主として酸化還元のサイクルをうけることと、履歴温度によつて大きく組織が変化する。製鉄処理段階では気孔率の大きな Photo. 1

の海綿鉄の方が有利であるが、反面 porous な海綿鉄は気相中で再酸化しやすい欠点がある。キルン内外で起る再酸化について後報で検討する。

VI. 炭材の挙動

キルン内の還元はもつぱら配合された炭材のガス化反応によつて発生する CO ガスを還元媒体として進行する。一方原料層表面では炉内酸化性雰囲気を受けて直接燃焼する部分もある。したがつて炉内における還元炭材の物理、化学的挙動は還元反応に関して重要な事項である。

(1) 炭の反応性

固体炭素を使用する、固相領域における鉄鉱石の還元は、炭材の対 CO₂ 反応性の大小が層内ガスの CO 濃度を決定するので、還元速度を大きく左右する。Fig. 6 は砂鉄に対し炭の固定炭素比を 15% 一定とし、各種の炭材を一定粒度に調整して添加し、一定の昇温プログラムにしたがつて加熱したときの重量変化を熱天秤で測定した結果である。いずれも石英粒を対象とした空実験を行ない補正した値である。炭のうち、楡形石炭はあらかじめ

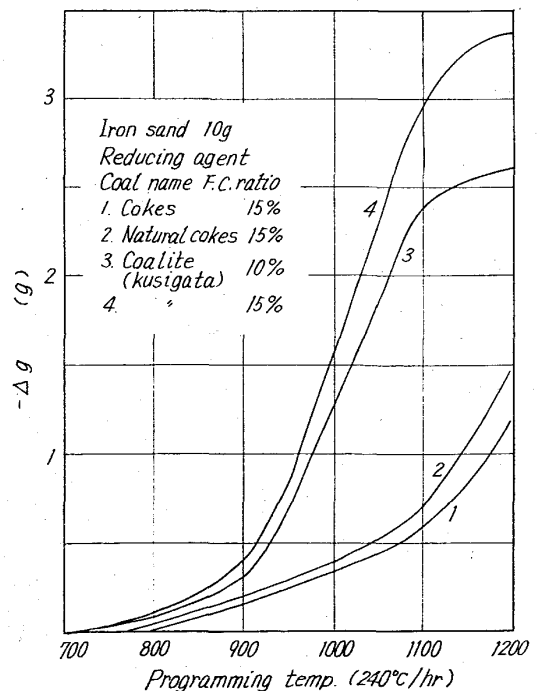


Fig. 6. Reduction curves of iron sand by the method of thermal balance.

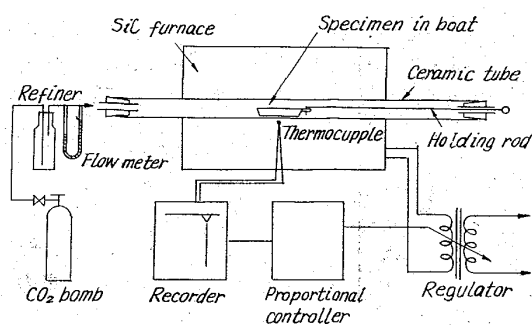


Fig. 7. Measuring apparatus for reactivity of carbon reducing agent.

め JIS 法によつて揮発分を抜いたものを使用した。図から明らかであるがコークス、燧石、乾留石炭の順に Δg (重量減少) が大きくなる。炭の反応性が大きくなると反応排出ガス中の CO 分が増すので、 Δg の値はただちに還元量とはならないが、石炭の還元速度の大きいことは反応試料を分析することによつて証明された。本実験の温度範囲では還元用炭剤の反応性が還元反応の律速段階となることがわかる。炭材の反応性は一般に高温に保持された試料層に炭酸ガスを通し、反応後のガス进行分析することによつて測定されるが、キルン用還元炭材は粒子が細いのでこの測定法を適用することが困難である。そこで Fig. 7 に示す装置を使用して重量法により測定を行なつた。試料炭のうち揮発分のあるものは、あらかじめ JIS 法にしたがつて揮発分を除き、粒度を 16~30 mesh に調整し、一定量 0.2g を秤りとり、磁性ボートに一樣に入れる。炉中で一定温度に加熱された磁性燃焼管の一端から、精製した炭酸ガスを 190 ml/min の割で流し、試料ボートを操作棒を用いて炉の中央に押しこみ、5min 間反応させたのち、炉外の磁性管部に引き出して冷却し、秤量する。この時の重量減少量を ΔG とすると、 t° における炭材の反応性 a_t を次式のように定義した。

$$a_t = 500[\Delta G \times (\text{FC} + \text{Ash}) / \text{FC}]$$

但し FC, Ash はおのおの試料炭の工業分析の固定炭素および灰分%を適用する。活性度が大きく、5min 間の反応で ΔG が飽和する試料に対しては、あらかじめ反応時間と ΔG の関係を検定したのち、反応時間を短縮して測定し、補外して 5min の値を求めた。Fig. 8 はこのようにして求めた各種炭材の温度と反応性の関係である。図で示されるように炭種によつて大きな開きが認められる。Boudouard 平衡で CO が 100% に近づく 900°C 近辺に変曲点が現われる。900°C 以下の低温領域においても反応性に開きがあることは重要である。

(2) 炉内における炭の消費

操業キルンの中でも反応性による炭の消費の差が存在

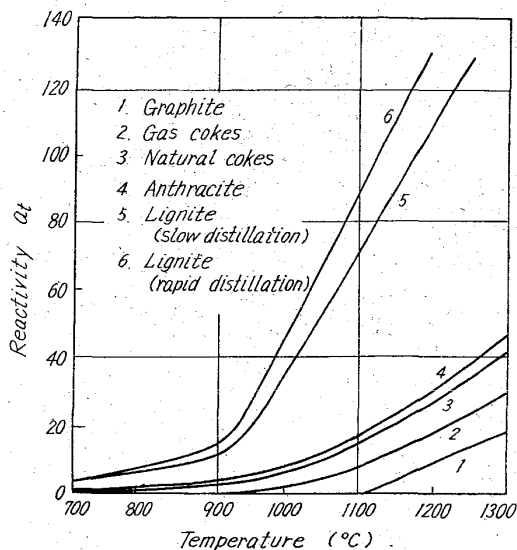


Fig. 8. Effect of temperature on reactivity of reducing agent.

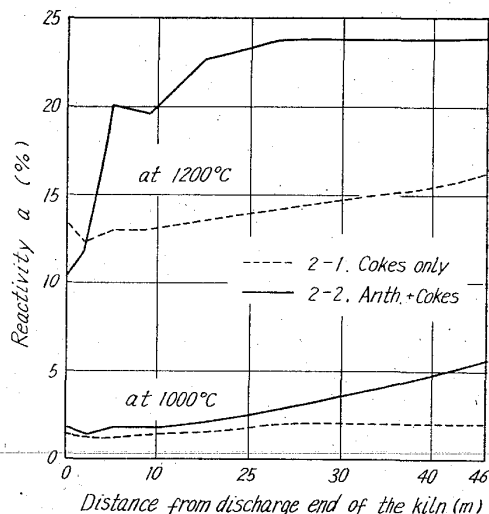


Fig. 9. Variations of reactivity of carbon reducing agent along kiln.

することは Fig. 9 に明りように示されている。図は砂鉄にコークス単味配合した操業 (2-1) と、無煙炭 10 対コークス 1 の混合配合による操業 (2-2) において、炉中各地点から摘出された原料の炭材のみを磁選により選別し、各地点の炭材の反応性を上に述べた方法により 1000°C と 1200°C において測定したものである。一般に炭材をゆるやかな温度上昇で加熱すると、反応性指数はすこし下がる傾向があり、(2-1) 操業のコークス単味の曲線がこれを示している。他方無煙炭、コークスの混合操業では平均の反応性を示すが、反応帯に入ると急にこの値は下がりはじめ、排出口付近ではコークスのみ残留していることがわかる。

低温における反応性から考えて、低温度から活性とな

る無煙炭は、コークスに較べ還元により有利であると考えられる。しかし原料温度分布があまり変らないコークスと無煙炭の操業を還元曲線で比較すると、前出 Fig. 2 において (2-1) はコークス、(2-2) および (2-3) は無煙炭主体、(2-5) は燧石を還元材とする操業で、上の予想とかならずしも一致しない。無煙炭操業の (2-2) 測定における 15m, 9m 地点の還元率は、コークス操業(2-1) の還元進行に較べ、だいぶ劣っている。多分この事実は (2-2) 操業の場合、還元材の偏析の影響が還元帯初期に現われたものと考えられる。前報²⁾ でキルン内の原料偏析は原料の安息角に原因があり、原料安息角はその粒度に支配されることをのべた。本操業に使用したコークスブリーズは無煙炭に比較すると相当細かく、偏析分離に対して有利であることが挙げられる。原料の温度と還元率がある限界まで上昇すると安息角の変化が起るので、偏析が消失する傾向があり、(2-2) 9m 地点からは還元が急に進んでいる。

キルン処理の海綿鉄の還元率と消費炭素の量は操業実績からみると、Fig. 10 のようになり、還元率40~70% の範囲でほぼ比例関係が認められる。図中消費炭素 R_c とは砂鉄鉱石に配合された固定炭素から処理後の排出原料に残留した炭素を差引いた量を対砂鉄% で表わした量である。実績から得られた直線の傾斜は $R_c = 0.22Dr$ (Dr : 還元率) である。図中下方に示された直線は砂鉄の T.Fe を 57%, その酸化度を 86% とした時、直接還元で還元するのに必要な理論炭素量を $R_c \max$ で、間接還元の場合 $R_c \min$ をで表したものである。 R_c

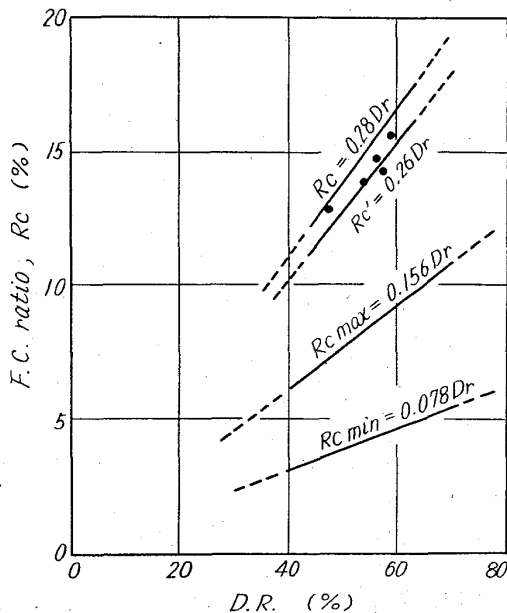
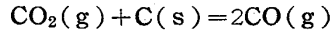


Fig. 10 Relationship between F.C. ratio and the reduction degree of sponge in the operating data of kiln.

$\max, R_c \min$ の傾斜はそれぞれ $R_c \max = 0.156Dr$, $R_c \min = 0.078Dr$ である。一般にキルン還元消費される還元剤炭素量は常に直接還元理論量よりも大きい。鉱石の還元はほとんど CO ガスを媒体として進むが、そのさい生成する CO_2 ガスは配合された炭材と反応して CO に再生される。



この反応は体積の増加を伴うので反応帯原料層内圧が上昇し、層表面からガスを放出する。放出されるガスの組成は平衡条件から考えると、 $900^\circ C$ 以下では Boudouard 曲線の組成であり、 $900^\circ C$ 以上では 100% CO であるはずであるが、実際はかなり平衡からずれた組成となるであろう。この差は炭材の配合比および対 CO_2 反応性、鉱石の被還元性、原料の深さおよび偏析の有無などに影響される。しかし原料層表面から逸出するガスに含まれる CO は、炉内雰囲気酸化性であるかぎり層上で燃焼発熱して CO_2 となる。キルンの還元はこの還元性逸出ガスが原料層表面をコーティングするので、炉内の雰囲気強い酸化性であつても可能となるものと考えられている。しかし一部の炭材、あるいは還元鉱石は直接炉内雰囲気によつて酸化をうける。この現象はことに炉の排出端に近よるほど、原料中の炭の減少と相まって強くなる。炉に吹込む空気量を押えてこの酸化を防止すると、多量の未燃 CO ガスを炉尻から排出することになり、熱経済上不利となる。反対に炉の奥で発生する CO を全部燃焼させるために十分の空気を送ることは、排出口附近を過度に酸化性として原料の再酸化を促し、その結果ダムリングの粘着が起る。本キルンの場合、通常半還元操業では炉尻排出ガス中に CO を 6~11% 残すように運転される。この事実はキルンを単純に還元炉として使用することの欠点を表わしている。

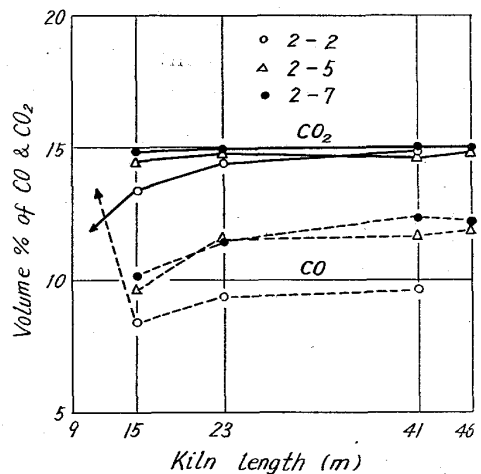


Fig. 11. Composition of $CO-CO_2$ in the atmospheric gas along the kiln.

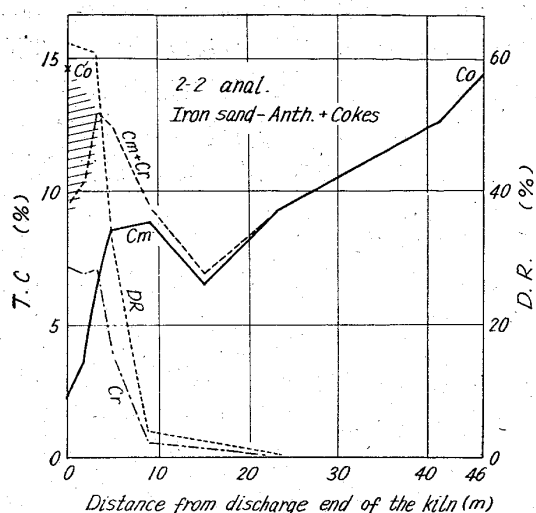


Fig. 12. The consumption of carbon in the kiln.

Fig. 11 は炉の解析測定時、炉の各地点 サンプリグ穴にガスサンプラーを挿入し、キルン長手軸上において採取した炉内雰囲気中の CO_2 、 CO 成分分析値を 15m~炉尻間について数例示したものである。バーナーフレームの燃焼は実際上 10m 位まで延びているので 15m 以内のガス分析は余り意味がなく除外した。この例からみると CO ガスは 15m 地点で最低となり、23m に向つて再び増す傾向がある。 CO_2 もほぼ同様の傾向がみられる。この事実は原料から発生する CO ガスが 15m 位までは燃焼して低下するが以後は酸素が不足して未燃のまま排出されると考えられる。排出ガス中の CO 未燃損失は相当大きいので、何らかの合理化手段が望まれる。

炉内における炭の消費を正確に把握することは困難であるが、推定の手段として Fig. 12 を示す。図中 C_m は炉内から抽出した試料の分析からえられた T.C の値を、キルン内で鉄損失がないものと仮定して、46m 地点原料中の T.Fe と炉内各地点の T.Fe との比で補正し分析値を炭素の絶対量変化として推定した曲線である。他方試料の分析値から得られた還元率変化は曲線 DR で示した。この還元を直接還元として行なうために必要な理論炭素量は Cr として得られるので、Cr を C_m の上に積み重ねることによつて、還元反応がない場合の架空の炭素存在量 $C_m + Cr$ が得られる。Boudouard 平衡からみて、原料温度が 900°C 以下の帯域では間接還元があると考えられるが、Fig. 2 に示したように、原料温度 900°C の地点 (12m) より奥の還元量はわずかであるので、12m 以後の還元初期に発生する CO_2 の量はきわめて小さい。したがつて還元に要する炭素消費を全量直接還元として扱った。本測定の投入原料中の配合炭素量は C_o 位置である。炉内に何の変化も起らなかったと仮

定すると排出端の炭素量は C_o と同じ $C'o$ 位置に置かれるので、直接燃焼によつて消費された部分はほぼ斜線を施した個所に推定される。これよりみると炭の直接燃焼消費は排出端において急激に増加することがわかる。普通排出端から 2~4m にダムリングが付着していることが多いので、炭の熱焼はダムリングと排出端の間に多く起ることとなる。ただし上の図は炉の単位長さ滞留している状態の炭素量の変化で、炉の中央部で炭素量が凹状となるのは、原料中に偏析が起り炭と鉱石の移動速度に差が生じたためである。いずれも抽出試料が炉の単位長さの平均原料組成を正しく代表していると仮定した上の推定である。炉端の直接燃焼のなかには還元海綿鉄が層表面で再酸化し、層内部で再還元されて間接的に炭を酸化消費するものも含まれる。半還元法では配合炭が完全還元法に較べ少ないので、排出端付近で往々炭の不足が起り炉内雰囲気にかきわめて敏感となる。再酸化を防ぐため過剰な炭を配合することは還元率の調節上具合が悪く、また残留炭を多く残す結果となり、熱的にも不利である。この点においても合理化の手段が望まれるところである。後報において、本測定解析によつて明らかになった還元キルンの欠点を合理的に救済する方法について報告する予定である。

V. 結 言

半還元砂鉄海綿鉄製造のロータリーキルンの炉内還元過程と還元材の挙動を検討して次の結論を得た。

- (1) 砂鉄は Magnetite, Ilmenite を含み、一般の鉱石に比較すると著しく難還元性である。ことに 1000°C 以下の低温度の領域では還元速度に大きな差がある。
- (2) 還元率が 70% までの砂鉄の還元過程は、まず Magnetite 部分が優先還元を受け、発生した Wüstite が拡散して Ilmenite と Ulvöspinel を生成する。Ulvöspinel は Magnetite とよく固溶して Titanomagnetite を形成する。半還元処理の最終還元過程は Titanomagnetite の還元となる。遊離 Wüstite は還元初期の低温領域に過渡的に出現するだけで高温部には認められない。
- (3) 成品海綿鉄の組織は還元処理の最高温度と炉内の再酸化の有無によつていちじるしく変化する。
- (4) 還元用炭材の反応性は炭材の種類によつて大きな差があり、還元速度に影響を与えるが、同時にキルン内での燃焼消費も大きくなる。
- (5) キルンの還元は配合炭材と鉱石の安息角の差から起る偏析の影響を受けることがある。一般に還元帯は実質的に炉の後部 20% の長さに圧縮され、排出端附近

では再酸化を起しやすく、また排出ガス中に未燃の CO を逃がすなどの不利な現象があることを指摘した。

文 献

- 1) 荒川, 伊与田: 鉄と鋼, 49 (1963) 12, p. 1753
- 2) 荒川, 伊与田: 鉄と鋼, 49 (1963) 13, p. 1861
- 3) 長谷川: 砂鉄 (1963) p. 35, 技術書院

- 4) W. M. MCKEWAN: Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 212 (1958), p. 791
- 5) 吉田, 武井: 電化, 25 (1957) 8, p. 423
- 6) R. H. WALSH et al: Trans. Met. Soc., Amer Inst. Min., Met. & Pet. Eng., 218 (1960) 6, p. 994

小型高炉における自溶性焼結鉱による 鑄物用銑の吹製について*

安武正幸** · 佐藤勝美** · 森田治男** · 村尾 澄** · 笹川 浩**

Operation of Foundry Pig Iron with Self-Fluxing Sinter in the Small Blast Furnace.

Masayuki YASUTAKE, Katsumi SATO, Haruo MORITA,

Sumiru MURAO and Hiroshi SASAGAWA

Synopsis:

On the occasion of the 4th blast furnace repairing in September 1960, our company conducted the modernization of the entire installation for pig iron smelting for the purpose of the 100 percent operation of self-fluxing sinter, the chief materials of which come from domestic iron resources.

This installation consists of a DL type sintering machine with grate area 13·1m², a blast furnace with hearth diameter 10 ft-6 in and inner volume 129m³, two units of hot stoves with heating surface 5,000m², a blower with maximum power 540kW, a Theisen disintegrator with maximum capacity 20,000Nm³/hr and so on.

This blast furnace, since started on December 3, 1960, has been smelting the foundry pig iron with the following features for operation:

1. 100 percent operation of self-fluxing sinter.
2. Perfect control of sizing of burden materials.

Before being charged into the furnace, the sinter was sized to the mean size of 17mm, 50~5mm: 92 percent upwards, and the cokes to the mean size of 45mm, 70~12mm: 98 percent upwards.

3. The hot blast of 900°C was used with the adoption of high temperature blast.
4. By the operation of low basicity: Slag CaO/SiO₂=1·00±0·05, the decrease of slag volume and the reduction of Si were accelerated.

Thanks to the methods shown above, the operation of foundry pig iron has shown remarkably excellent records: pig products, 208 t/day, productivity, 1·6 t/m³; and coke rate 550kg/t despite the fact that no injection of fuel or oxygen was done. (Received 13 Apr. 1964)

I. 緒 言

最近国内各地に大製鉄所が設立されているがこれらは莫大な資本力の下に、理想的な立地条件、広大な敷地および十分な近代設備を持ち大量生産を行なうもので、当然鉄鋼業としての本来の形態を示すものである。しかし

一方鑄物用銑その他の生産品種、立地条件または操業方法によつては小規模生産にても十分その企業経営の意義を認められるものがあり、その一つとしてきわめて不利

* 昭和38年10月本会講演大会にて発表

昭和39年4月13日受付

** 三栄鉄工株式会社