

(35) 各種鉄鉱石の電気炉製鉄における還元の状態

(砂鉄の電気炉製鉄法に関する研究—V)

日曹製鋼技術部

村上 明・工博 高井 清・○佐藤祐一郎

Reducing Conditions in the Electric Smelting of Iron Ores.

Studies on the electric smelting of iron sand—V)

Akira Murakami, Dr. Kiyoshi Takai
and Yûichirô Satô.

I. 緒 言

重の鉄鉱石を電気製鉄炉で還元製鉄する場合に、炉内における装入原材料の熔融、還元の状態がどのように違ふかを知ることは炉操業の指針を得るためにぜひとも必要なことである。この熔融、還元の状態を解明するためには、炉内における装入原材料の物理的、化学的变化を明らかにしなければならない。そこで著者は炉内を急冷することによって性状の異なつた各種の原材料を使用した場合の電気製鉄炉内における還元製鉄の状態を観察しようとした。すなわち試験用の小型電気製鉄炉を使用し、主原材料として粉状および粒状の含チタン砂鉄鉱、磁鉄鉱、赤鉄鉱の6種類の鉄鉱石を使用して操業を行ない、炉況および鉄成分が安定したことを確認してから突然送電を中止し、ただちに炉殻を取りはずし、不活性ガス(N₂)にて急冷しながら炉内を解体し、炉内の各部における装入物の分布状況を観察し、さらに各部よ

り試料を採取して化学分析を行ないかつ顕微鏡組織について観察した。これによつて含チタン砂鉄鉱の電気製鉄炉内における還元製鉄の状態を明らかにした。

II. 使用原材料および原材料の配合比

Table 1 は還元製鉄試験に使用した材料の化学成分および重量粒度分布を示す。粒状含チタン砂鉄鉱は粉状含チタン砂鉄鉱を微粉化してグリーンボールを作り、これを堅型の外熱式焼成炉で焼成した焼成ペレットである。また原材料の配合割合は、各種鉄鉱石 100 に対して鉄滓塩基度 $(\% \Sigma \text{CaO})/(\% \Sigma \text{SiO}_2) = 0.7$ および鉄滓比 $= 0.6$ になるように造滓剤の石灰石および珪石の量を決定し、還元剤に使用したガスコークスは、各種鉄鉱石中の鉄分を還元するに要するコークス量の 110% の配合率で還元製鉄試験を行なつた。

III. 試験装置および試験方法

還元製鉄試験には容量 50 kVA の小型エルー式電気製鉄炉(図面省略)を使用した。築炉後充分に乾燥をほどこしてから第 1 回目の操業に入る。二次電圧は 56V を採用し二次電流は 900~1,400A でなるべく一定にした。平均負荷を毎時間約 30kW で操業し、使用電力が 75kWh になつたときに出鉄した。したがつて出鉄の間隔は約 150 分である。操業中は炉況によつて電圧を切替える操作を行なわずなるべく一定電圧、一定負荷で操業し、供給エネルギー量によつて炉内に形成される炉内熔融界域をできるだけ安定に保つように注意を払つた。出鉄後止電して電極を滑り下げ、クランプ下の電極の長さを 700mm とし、送電を開始したのちただちに炉内に残留している装入物を電極の周辺に集めてから新しい

Table 1. Chemical composition of various raw materials.

Raw material	T.Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	MnO	TiO ₂	V ₂ O ₅	Cr ₂ O ₃	P ₂ O ₅	S	Ig. loss	apparent sp. gr.	bulky sp. gr.
Powdered iron sand	56.13	27.64	49.50	4.84	0.40	3.83	2.55	0.55	10.02	0.437	0.072	0.074	0.027		4.5	2.5
Powdered magnetite	64.15	28.74	59.80	4.54	2.70	0.40	1.12	0.20	—	0.027	0.007	0.056	0.400	2.10	4.9	2.7
Powdered hematite	56.13	2.58	77.41	4.18	0.06	0.10	6.43	0.60	—	0.040	0.007	0.099	0.090	8.27	4.1	1.8
Iron sand pellet	49.77	2.91	68.00	7.25	0.85	3.93	2.29	0.68	13.02	0.287	0.026	0.344	0.024		3.3	1.8
Granular magnetite	59.57	26.90	55.30	8.12	4.19	1.21	1.24	0.47	—	0.027	0.007	0.080	0.300	3.27	4.0	2.3
Granular hematite	55.99	1.46	78.65	2.00	tr	0.34	6.71	0.45	—			0.099	0.123	9.78	3.1	1.6
Lime stone			Fe ₂ O ₃ + Al ₂ O ₃ 0.75	0.25	54.03	0.61									2.8	1.5
Quarzite				98.02			0.68						0.016		2.6	1.3
Coke		F. C 84.83	C. W 0.14	V. M 2.45	Ash 12.08								0.352		0.8	0.6

原材料を装入する。原材料の装入は一度に行ない、その後は装入した原材料の表面が常に炉頂表面にあるように少量づつ原材料の投入を続ける。以上のような操作を繰返して十数回の出銑を行なつた後は炉況が安定し、やがて銑鉄の化学成分も一定となる。かくして安定操業に達したことを確認したら Pt-Pt-Rh 熱電対を使用して炉内各部の温度を測定する。温度測定が完了せば出銑直前に送電を中止してすばやく炉殻の鉄皮を取り外し、炉頂から窒素ガスを吹き込んで原料表面を冷却する。そして炉表面から炉内装入物の掘り下げを開始する。試料は炉表面から等間隔（10～15mm）に掘り下げごとに炉内の各部分十数箇所から試料を採取して N_2 ガスを封入した試料瓶に入れて密閉する。固形層の試料採取には約 5 分を要し、熔融層の試料採取は N_2 ガスを吹き付けながら約 40 分で完了するようにした。なお操業中は 15 分間隔で電極尖端—炉床間距離、原材料表面から炉内にある電極の長さ、原材料表面における電極間の電圧、電流および力率を測定して操業条件がなるべく一定になるように注意を払った。

IV. 試験結果と考察

Fig. 1 は粒状含チタン砂鉄鉱（ペレット）を使用した場合の試験炉の切断面図を示す。図は炉内内容物の化学

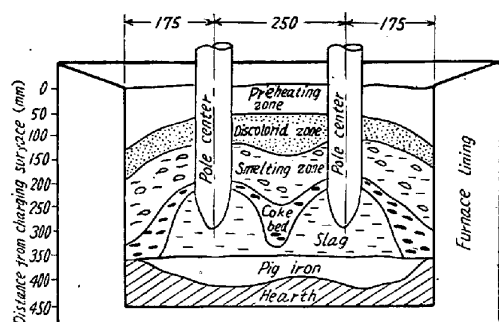
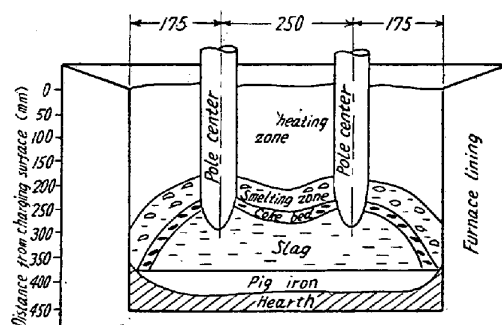


Fig. 1. Sectional diagram inside of the experimental furnace using granulated iron sand (pellets).

分析の結果、肉眼的および顕微鏡的観察の結果を総合して図解的に現わしたものである。図に示すごとく炉内上層部には固形原材料のままの姿で存在する予熱帯があり、予熱帯の下層部には茶褐色から黒色に色調の変化している範囲（変色帯）が存在している。電極周辺部には一部熔融あるいは完全熔融している界域（製錬帯）があり、この界域の層は厚く炉内に拡がっている。製錬帯下層部にはコークスの非常に多く含まれている層（コークスベット）があり、電極尖端周辺をかこんでいる。電極は炉内の適正位置に存在している。

Fig. 2 は粒状磁鉄鉱を使用した場合の試験炉の切断断



註：図中 heating zone は Preheating zone の誤り

Fig. 2. Sectional diagram inside of the experimental furnace using granular magnetite ore.

面図を示す。この場合は図に示すごとく予熱帯の層が厚く製錬帯の層が薄い。しかしこの製錬帯は炉内の低い位置に形成されるけれども熔融界域は十分に拡がっている。製錬帯下層部のコークスベットの層は薄くてあまり生長していない。電極は炉内で割合に高い位置にあり、電極尖端と炉床鉄鉄の表層部との距離は非常に大である。

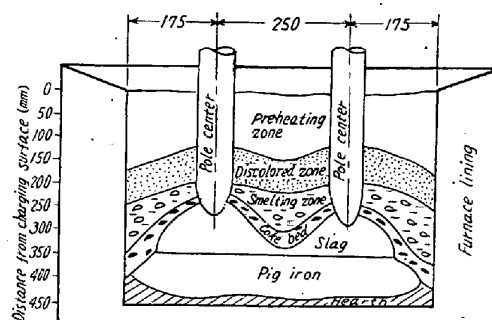


Fig. 3. Sectional diagram inside of the experimental furnace using granular hematite ore.

Fig. 3 は粒状赤鉄鉱を使用した場合の試験炉の切断断面図を示す。この場合は図に示すごとく予熱帯の層は厚く下層部には原鉱が茶褐色から黒色に色調を変える変色帯が存在している。製錬帯は炉内の低い位置に形成されるが炉内で十分に拡がっている。コークスベットは製錬帯下層部にわずかに形成しており、その層は薄くてあまり生長していない。電極は炉内の割合高い位置に存在し電極尖端部と炉床鉄鉄の表層部との距離は大である。

かくのごとく炉内の熔融界域は使用する鉱石の種類によつてそれぞれ独得な姿で炉内に形成される。すなわち含チタン砂鉄鉱であれば製錬帯が炉内の割合高い位置で形成されてその層は厚く、炉内の熔融界域が拡くなる。また製錬帯下層部に形成されるコークスベットが非常に厚く生長しているのが特徴である。一方磁鉄鉱では予熱帯の層が厚くて製錬帯は層が薄くコークスベットも

その層は非常に薄い。赤鉄鉱の場合には予熱帯がさらに層が厚くなり製錬帯は薄くコークスベットのほとんど生長していない。このように炉内に形成される熔融界域に大きな差を生ずるのは各鉱石の化学成分、熔融温度、被還元性、電気伝導度など物理、化学的性状に基因するものと考えられる。

V. 総 括

試験用の電気製鉄炉で各種の鉄鉱石を還元製錬した場合の炉内の還元状況はつきのごとく考えることができる。すなわち予熱帯では装入原材料の湿分の排除、予熱およびガスによる間接還元が行なわれ、製錬帯においては急激に還元が進行して金属鉄が生成する。製錬帯下層部のコークスベットは炉内における電気伝導度のもつとも良好な部分の一つであり、このコークスベットの生長あるいは衰退の状況は電極位置に直接影響を与える。このコークスベットの状況や製錬帯の熔融界域の広さは炉況に大きな影響をおよぼすようである。そしてこれが性状の異なつた鉱石の還元製錬に本質的な影響を与えている。

(36) 電気炉製錬における還元過程に関する考察

(砂鉄の電気炉製錬法に関する研究—Ⅶ)

日曹製鋼技術部

村上 明・工博○高井 清・佐藤祐一郎

Considerations on the Reducing Process of Electric Smelting.

(Studies on the electric smelting of iron sand—Ⅶ)

Akira Murakami, Dr. Kiyoshi Takai
and Yûichiro Satô.

I. 緒 言

前報において著者は炉内を急冷することによって性状の異なつた各種の原材料を使用した場合の電気製鉄炉内における熔融、還元の状況を観察した。この熔融、還元の過程を解明するためにはまず含チタン砂鉄鉱の還元製錬に関する基礎的研究¹⁾²⁾を行なうことが必要であるが、さらに炉内における装入原材料の物理、化学的挙動を明らかにしなければならない。本報においては電気製鉄炉内の各部より採取した試料について化学分析、鉱石成分、鉱滓成分および粒鉄試料の顕微鏡試験を行ない、さらに熔融温度および各種鉱滓成分の電気伝導度を測定して電

気製鉄炉内における熔融、還元の機構について検討を加えた。

II. 試 験 要 領

前報に示した試験方法にしたがつて各種鉄鉱石を還元製錬し、解体後炉内より採取した試料について化学分析を行ない、顕微鏡組織を観察しかつ熔融温度の測定を行なうことによつて炉内に形成される熔融帯の状況、鉱石成分および鉱滓成分の変化、炉内各部で行なわれる間接還元の進行状況、鉄鉄中へ不純物元素の含有される過程などについて考察を加えた。さらに各種鉱滓成分の電気伝導度を測定して炉内の熔融界域におけるエネルギー分布について検討を加え、これによつて炉内における原材料の熔融、還元の機構を物理、化学的に解明しようとした。

III. 試験結果と考察

(1) 炉内における鉱石成分の変化

各種の鉄鉱石を使用した場合の炉内における試料採取位置による鉱石および粒鉄の化学成分の変化と炉内の温度分布を Fig. 1~3 に示す。図に示すごとく粒状含チタン砂鉄鉱（ペレット）の場合には磁鉄鉱や赤鉄鉱に比較して熔融界域は炉内の割合高い位置に形成され、予熱帯ですでに相当の間接還元が進行している。すなわち変色帯で、すでにわずかであるが金属鉄の生成が認められる。製錬帯上層部の温度は磁鉄鉱や赤鉄鉱の場合よりいちじるしく低いが、この範囲では金属鉄の生成がいちじるしい。磁鉄鉱の場合では予熱帯の鉱石成分の変化はほとんどなく、予熱帯下層部の温度は 550°C を越えてい

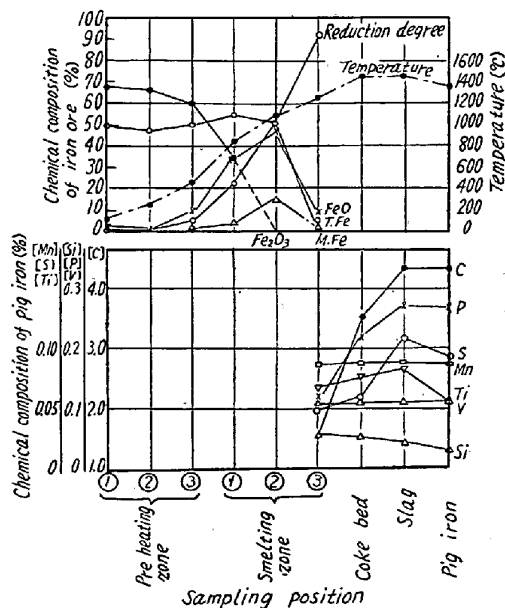


Fig. 1. Variation of chemical composition of iron ore and pig iron with different sampling positions by using granulated iron sand (pellets).