

技 術 資 料

低シャフト炉製鉄法について

児 玉 惟 孝*

DER NIEDERSCHACHTOFEN

—A Review—

Koretaka Kodama

I. 緒 言

低シャフト炉製鉄法は炉の高さが現在の大型高炉に較べてはるかに低い炉を用いて銑鉄を製造せんとする方法である。大型高炉では燃料に良質堅牢なコークスを必要とし、これがためにはコークス製造に当り多量の強粘結炭を原料にしなければならないのが現状であるが、これに対して低シャフト炉製鉄法は強粘結炭をコークス製造原料に使わないで、通常の弱粘結炭を原料として得られるコークスあるいは冶金用コークスの製造原料としては劣質炭とみなされている弱粘結炭、非粘結炭、褐炭等を直接に燃料として使い、順調に銑鉄の製造を行うのを目的としている。低シャフト炉製鉄法には熔銑炉燃料として軟弱コークスを使用する一般低炉シャフト炉製鉄法と劣質炭そのものを直接用いる D. H. N. 法の2つの流れがある。

両者は後に詳述する如くそれぞれ固有の秀れた特徴を有している。そしてこの研究は特に 1950 年前後より欧州において活発に行われ、既に相当の成果を発表されている状況である。強粘結炭の殆んど総べてを海外より輸入しているわが国では、この種製鉄法は注目すべきものとして反響を呼んでいるので、従来の研究実績を検討整理してみた。なお低シャフト炉製鉄法の1種にこの外電気低シャフト炉製鉄法がある。これは熱源に電気エネルギーを使用するので上述の低シャフト炉と製鉄方式が根本的に異っているが、劣質燃料を使用する意味では目的を同じくしているため、この方法についても簡単に紹介することとした。

II. 一般低シャフト炉製鉄法

(1) 歴 史

この種製鉄法は W. Lennings¹⁾ が 1935 年独逸の Oberhausen 製鉄所で 60~70t/day の試験高炉を用いて熱風中に酸素を添加すると炉況がどのように変わるか

を試験した研究に端を発している。このときは冶金用コークスを使用しているが熱風中の酸素濃度を高めると炉頂温度は甚しく低下し、逆に炉床温度は上昇し、その結果 Si 含有量が上昇することが確認された。これに基づいて Lennings は送風中の酸素濃度を高めれば順調なる操業を保ちながら炉高を低下せしめ得ることを提案した。この研究結果は当時非常に大きな注目を浴び欧州各地で実施されたこの種低炉製鉄法はすべて Lennings の試験に基礎を置いていると見ても過言ではない。この研究結果を熱バランスならびに炉内反応の面より考察して K. Neustaetter²⁾, D. D. Howat³⁾, R. J. Rocca⁴⁾ 等は 1947~49年に富酸素送風操業は合金銑の製造には効果的だが、製鋼用銑の吹製に対しては格別の効果はあるまいとの見解を述べている。R. Dürrer⁵⁾ はかねてより低シャフト炉に深い関心をもっていたが、1947年に低シャフト炉に純酸素のみを使用すれば、大型炉にした場合でもその高さは数 m でよいと提唱し、またこの場合には低級燃料の使用を可能ならしめ、且つ高級ガス燃料を発生すると発表した。次いで 1949 年 R. Dürrer の指導の下に H. Hellbrügge⁶⁾ は独逸の Gerlafingen に試験低炉を建設し、製鋼用銑および合金銑の製造研究を行った。この場合もコークスには冶金用コークスを使用し、送風中の酸素濃度は 25~55% の範囲で試験を行った。そうして合金銑のフェロ・クロムの製造は順調に行われたが、製鋼用銑の製造は相当困難であつたようである。これらの研究を通じて低シャフト炉製鉄法による製鋼用銑の製造には疑問が持たれるようになり、独逸においてはその後この方法の研究は専ら合金銑の製造に重点が向けられた感がある。そして 1953 年に独逸の H. Schumacher⁷⁾ は Lennings の試験高炉を低シャフト炉に改造し、送風中の酸素濃度を高めてスピーゲル銑の製造研究を実施してその結果を発表した。その中で低シャフ

* 八幡製鉄 K. K. 八幡製鉄所技術研究所。

ト炉製鉄法は合金鉄の製造に適することを確認しており低シャフト炉製鉄法の行き方の一つを明示している。しかしこの際にもコークスとしては冶金用コークスを使用している。この Schumacher の研究が低シャフト炉製鉄法に関する研究として最も詳細に発表されており、しかもその研究実績は当時頗る価値あるものとして高く評価された。これより3年前の1950年に欧州経済協力機構(O.E.E.C.と略称されている)は西欧7ヶ国の資金援助の下に低シャフト炉製鉄法に対して国際的な見地から軟弱コークス、セミコークスならびに無煙炭等の劣質燃料および粉鉱石の活用を目的として研究を実施することとなり、ベルギーに20~30t/day 移度の能力を有する試験低炉を建設し、送風中の酸素濃度を26~29%に上昇してトーマス鉄の製造研究を行った。この研究で最も価値のあることは軟弱コークス、セミコークス等の劣質燃料と粉鉄石を低シャフト炉に使用しても操業可能であることが確認された点にある。しかしながら吹製せる鉄鉄の成分をみるに最も良好なものでSi 0.23%, S 0.14%程度であつて成分の調整が非常に困難な状況にあり、かつコークス比も1.67~2.03でかなり高くなつてゐる。当試験で使用せる鉄石、コークスの粒度は最も小さいもので10~20mmであつた。本研究は引続き実施中で研究はさらに進展しているであろうが、その後の研究結果はまだ公表されてない。わが国でも低シャフト炉製鉄法は最近かなりの注目を引き、八幡製鉄所⁹⁾は1954年12月に同所技術研究所にある試験高炉を試験低シャフト炉に改造し、軟弱コークスを燃料とし、富酸素送風を使用する製鋼用鉄、合金鉄等の製造研究を行った。この研究は製鋼用鉄の製造条件究明に重点を置いており、低シャフト炉で製鋼用鉄を対象とした場合には原料鉄石の粒度の調整が大切で、粒度を適正值に保つことによつて、初めて良好な成分の製鋼用鉄を能率よく吹製できることを確めている。この際また鉄石の適正粒度は5mm以下というかなり小さいものであることが明らかにされた。以上述べた如く一般低シャフト炉製鉄法では送風中の酸素濃度を高めることによつて炉高を下けている。換言するとこの種低シャフト炉操業には酸素濃度の高い送風を行うのが原則となつてゐる。

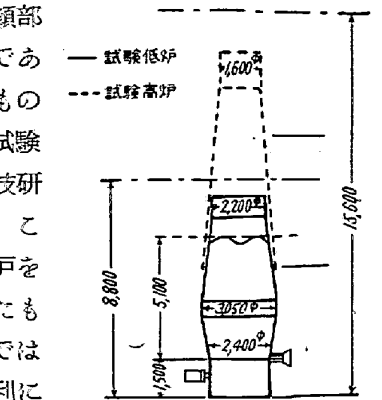
(2) 低シャフト炉の構造

(A) 炉型

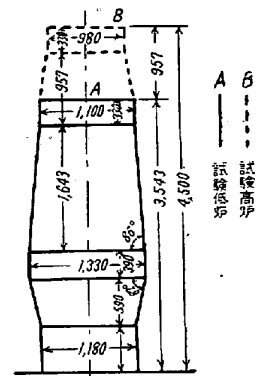
既有低シャフト炉の炉型を集め¹⁰⁾第1~第5図にまとめてみた。同図を見るに炉型には2つの型がある。一つは炉床、朝顔、炉腹の構造を従来の高炉と全く相似に保ち、シャフトのみを短縮した形であり、他の一つは円錐

あるいは円錐型で朝顔部炉腹部の存在しない形である。前者の型に属するものには Schumacher の試験低シャフト炉及び八幡技研の低シャフト炉がある。この種の炉は元来既存高炉を低シャフト炉に改造したものであり、かゝる炉型では従来の高炉の経験を有利に活用することも可能になる。後者の型には O.E.E.C. H. Hellrügge, H. Erne の試験低炉がある。円錐形にした理由は明白でないが、切断面を円錐にしたのは炉床部の巾を狭くするためで、かかすることによつて炉床の中心部に非活性体の発生することを防止せんとしたのである。この2つの炉型は各々上述の如くそれぞれ特徴を有しており、いずれがよいとの結論を得るまでに至つていないが、公表された資料にもとづき両者の得失を比較検討すれば次の通りである。

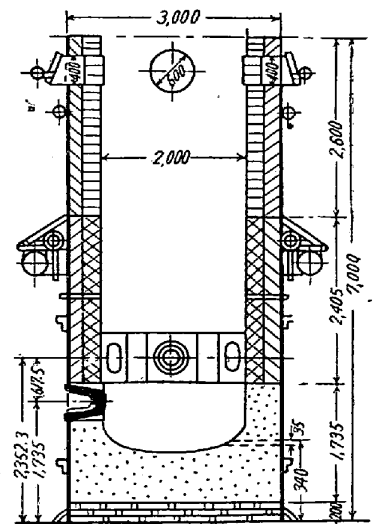
操業成績を調べてみると両種の炉は後述する如くいずれも操業面から眺めるとき格別の差は認められず炉型は操業面ではどちらの型でも差支えないようである。炉壁の侵蝕に関しては次のように報告



第1図 Oberhausen 試験低炉 (H. Schumacher)

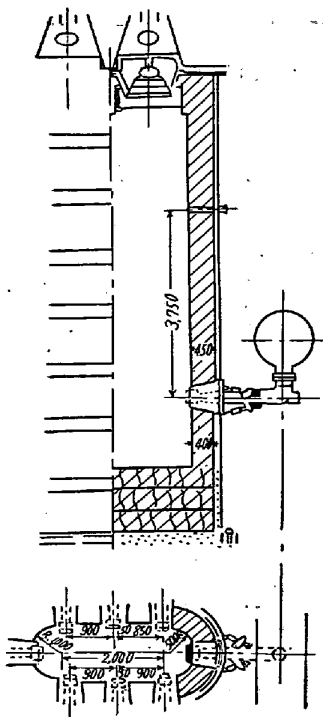


第2図 八幡技研試験低炉

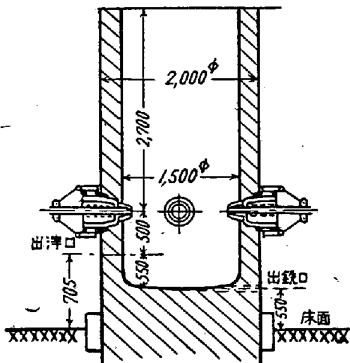


第3図 Gerlafingen 試験低炉 (H. Hellbrügge)

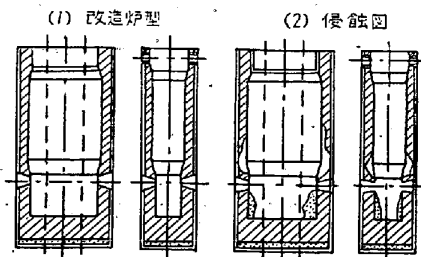
されている。O.E.E.C.の研究¹¹⁾によると円錐型炉は羽口水準上部の炉壁を急速に侵蝕され短時間で炉壁煉瓦の存在しない状態になることがわかつた。かゝる侵蝕を防止するために同所では羽口水準の上を多少拡大して第6図に示した炉型に改造した。しかしながらこの炉型も拡大の割合が不充分なため



第4図 O.E.E.C. 試験低炉



第5図 Gerlafingen 試験低炉 (H. Erne)



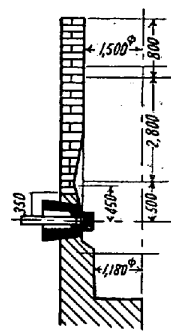
第6図 O.E.E.C. 試験低炉改造炉型並びに使用後の侵蝕

容積の最も大きいもので 41m³ で比較的小さいように思えるが、これは低シャフト炉がまだ中間工業化試験の段階にあるためと見なされる。同表で最も注意を惹くのは炉高のうちで最も重要な要素と考えられている羽口水準

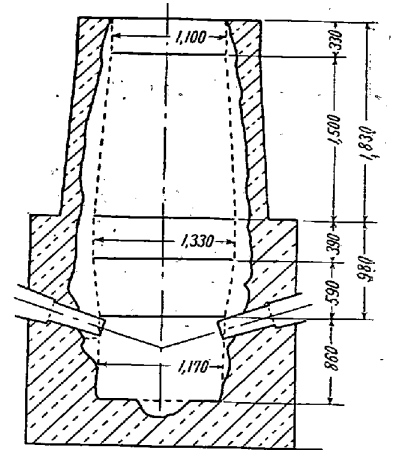
か5週間の操業後には同図に示した如くやはり相当に侵蝕された。H. Erne の円壩型低シャフト炉¹²⁾も羽口上部を甚しく侵されると報告されており、この炉も羽口上部を拡大して第7図に示した如き炉型に改造された。一方八幡技研試験低シャフト炉の2カ月間稼動後の侵蝕は第8図に示した如くである。同図の斜線を施せる部分が侵蝕後の状況である。これを見るに羽口上部の侵蝕は O.E.E.C. 炉に比較して小さいようである。

以上の諸報告を総合判断するに円壩あるいは楕円壩炉型では侵蝕の点で面白くなく、朝顔部を設けた通常の炉型がよいようである。

(B) 内容積と炉高。既存各種低シャフト炉の内容積と炉高とを第1表にまとめてみた¹³⁾。同表を見るに内



第7図 Gerlafingen 試験低炉改造炉型 (H. Erne)



第8図 八幡技研試験低炉侵蝕図

第1表 低シャフト炉の内容積と炉高

低シャフト炉の名称	内容積 (m ³)	炉高 (mm)	有効高さ (mm)	
			標準操業時	ストックライを最も低くして操業した場合
Schumacher の試験低シャフト炉	41	7・750	5・100	5・100
O.E.E.C. の試験低シャフト炉	18	6・250	5・000	3・250
Hellbrügge の試験低シャフト炉	18	5・200	4・600	3・500

より最高装入線までの高さ、すなわち有効高さがいずれの炉も 5m も超えていないことである。低シャフト炉は劣質燃料の使用を主目的としているので、その炉高は使用する燃料の強度により左右されるのは当然であるが既存低シャフト炉が八幡技研低シャフト炉を除いて炉の大きさに関係なく凡そ 5m 近辺になっているのは興味深い。有効高さを凡そ 5m としている理由は明白でないがこの程度の高さならかなり劣質な燃料でも使用できると推定されたためではなかろうか。八幡技研低シャフト炉は低シャフトの特性を追求するためにシャフト高さ/炉床径の値が Schumacher の試験炉のそれに等しくなる如く炉高を決めた。高炉と低シャフト炉との差異を明白にするために炉の能力と炉高との関係を調べ第9図に掲示した。当然のことながら高炉と低シャフト炉との間には炉高に明白な差異が存在し、構造が本質的に異つてゐる。

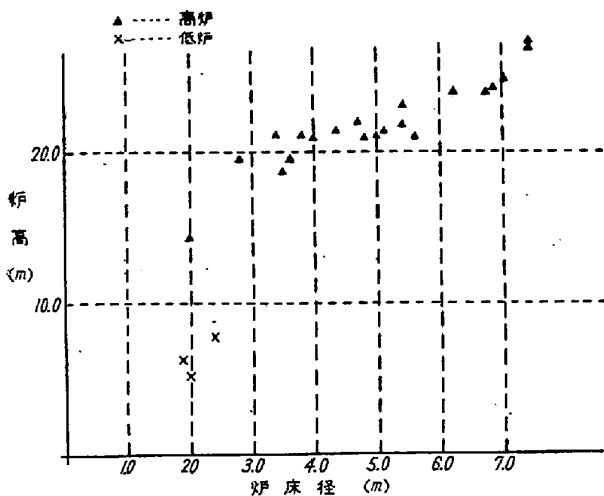
(C) その他の構造

(a) 炉壁煉瓦積の厚みと使用煉瓦の種類

既存低シャフト炉の炉壁煉瓦積の厚みと使用煉瓦の種類は第2表(1)~(3)に示した如くである。同表の

第 2 表 煉瓦積の厚さ並びに使用煉瓦の種類

番 号	炉 の 名 称	炉床煉瓦積の厚み (mm)	炉床煉瓦積の厚み (mm)			使用煉瓦の種類
			炉 床 部	朝顔部及び 炉 腹 部	シャフト部	
(1)	Schumacher の 試験低シャフト炉	1・000	800	600~457	457~250	耐火煉瓦
(2)	O.E.E.C. の 試験低シャフト炉	1・400~1・500	500	500	500	Al ₂ O ₃ -SiO ₂ 系の耐火煉瓦 羽口上部迄炭素質煉瓦それ より上はマグネサイト煉瓦 及びシャモット煉瓦
(3)	Hellbrügge の 試験低シャフト炉	1・340	500	500	500	
(4)	八幡東田 6 高炉	1・948	800	650~1・500	800	炉底カーボンブロックその他 粘土質煉瓦



第 9 図 炉高と炉底径との関係

(4) は大型高炉 (公称能力 400t/day) の場合で比較の参考上掲げた。炉壁煉瓦積の厚みは炉の大きさに異なることを考慮するならば低シャフト炉の炉壁の厚みは普通の高炉の場合と大差ないと考えて差支えないであろう。また低シャフト炉に使用する耐火煉瓦の種類も普通の高炉に使用するものと同じであると見て差支えあるまい。

(b) 炉の冷却方法

低シャフト炉は炉が小さい関係上特別の冷却装置を設けておらず Schumacher, O.E.E.C. の炉¹⁵⁾は共に鉄皮を注水により冷却している。

(c) 酸素空気混合方法

Lennings¹⁶⁾ は熱風炉の前で冷風中に酸素を混じた。Schumacher¹⁷⁾ ならびに Gerlafingen¹⁸⁾ の炉は酸素の損失を少なくするために燃風炉の後で燃風管中に混じている。

(d) 羽口

Schumacher¹⁹⁾ は内径 75mm の銅製羽口 6 個を用いて送風し O.E.E. の炉²⁰⁾には内径 60mm の羽口が 8 個設置されている。

(3) 研究内容

(A) W. Lennings²¹⁾

W. Lennings は独逸の Oberhausen 製鉄所に高さ 14m, 炉床径 2・4m の小型高炉を建設した。この炉は空気送風操業で 50~70t/day の出鉄をしている炉であったが、この炉に送る熱風中の酸素濃度を 26%, 30% と上昇して、酸素濃度の操業成績に及ぼす影響を調べた。その結果は第 3 表に示した通りで送風中の酸素濃度を凡

第 3 表 送風中の酸素濃度の試験高炉操業実績におよぼす影響 (W. Lennings)

番 号	(1)	(2)	(3)	
送風中の酸素濃度 (%)	21・0	24・4	26・0	
炉項ガス温度 (°C)	364	258	205	
出 鉄 量 (t/24h)	43・1	51・2	52・6	
コークス比 (t/pig t)	1・055	0・935	0・889	
鉄 t 当り	鉄滓生成量 (kg)	474	475	458
	送 風 量 (m ³)	3・282	2・441	2・155
	ガ ス 量 (m ³)	4・388	3・512	3・155
鉄鉄成分	Si (%)	1・90	2・07	2・10
	S (%)	0・020	0・018	0・012
	出鉄温度 (°C)	1・375	1・353	1・385
鉄滓塩基度 (CaO/SiO ₂)	1・55	1・49	1・50	
炉項ガス	CO ₂ (%)	6・6	9・8	11・0
	CO (%)	32・9	35・5	367
送風温度 (°C)	742	770	726	

そ 26% に上昇すると炉頂温度の低下は顕著であり、かつコークス比、出鉄量等の向上も著しかった。酸素濃度をさらに上昇するとシャフト部、炉頂部の温度ははなはだしく下がり、懸滞が頻発し、操業上の困難を生じた。Lennings はシャフト部に熱ガスを通じてこれを加熱することによって懸滞を防止したが、後にシャフト部を短縮することを提案した。既述の如くこれが低シャフト炉を生む動機となつた。

(B) H. Hellbrügge²²⁾

H. Hellbrügge は Gerlafingen に前掲第3図に示した構造の試験低炉を建設し、この炉を用いて、送風中の酸素濃度を 25~55% に上昇し、冶金用コークスと焙焼鉄石、クロム鉄鉱を原料として製鋼用銑、並びにフェロクロムの製造研究を行つた。詳細な研究結果は発表されていないが、製鋼用銑はむつかしく、フェロクロムは能率よく吹製できたと報ぜられている。また原料の炉内通過時間が凡そ 5~4h で極めて速いことが注目された。

(C) H. Schumacher²³⁾

Schumacher は Lennings の使用した試験高炉のシャフトを短かく切断して前掲の第1図に示した如き低シャフト炉に改造し、これを用いてスピーゲル銑の製造研究を行つた。その際に送風中の酸素濃度を 21%(空気)より 30% に上昇して操業し、酸素濃度が操業成績にどのような影響を及ぼすかを検討した。使用したコークスは冶金用コークスでその粒度は 20~40mm とした。しかし富酸素送風時には短期間 10~20mm の粒度を使用したこともあつた。鉄石の粒度も 10~40mm に調製して用いた。この粒度に 10mm 以下の粒度を 50% 混じて装入したこともあつたが、悪影響はなかつたと言われている。かゝる原料を用いて、先ず空気送風操業を行いその際の操業成績は第4表に示した通りで何等の故障も

第4表、スピーゲル銑吹製操業実績に及ぼす送風中の酸素濃度の影響 (H. Schumacher)

出 銑 量 (t/day)		35.2	48.1
コークス比 (t/pig t)		2.036	1.579
銑 t 当り	鉄石装入量 (kg)	1.975	1.803
	鉄滓生成量 (kg)	1.075	845
	ガス発生量 (m ³)	8.792	5.318
送 風	酸素濃度 (%)	21.0	30.5
	温 度 (°C)	854	641
	量 (m ³ /mn)	169	118
銑鉄成分 (%)	C	5.7	5.9
	Si	1.0	0.5
	Mn	43.9	44.2
	S	0.09	0.02
	P	0.24	0.15
鉄滓成分 (%)	CaO/SiO ₂	1.61	1.68
	Mn%	5.60	6.30
Mn の 歩 留 (%)		82.7	83.4
炉頂ガス	CO ₂ (%)	6.50	5.71
	CO (%)	31.80	45.65
	温度 (°C)	459	346

なく順調に普通の能率で良好な成分のスピーゲル銑を製造することができ、かつ原料の炉内通過時間も凡そ 4.2 時間と言う従来の大型高炉の 8~12 時間に比較して1/2

以下の短時間に縮めることができた。次いで送風中の酸素濃度を 30% に上昇して操業したところ、その結果も同表に示した如くで出銑量、コークス比の向上は顕著であり炉頂温度も下がり操業成績は全面的に向上した。この研究は前述の如く冶金用コークスを使用して行つたものであり、劣質燃料を使用した場合には若干状況が異なるかもしれない。しかし低シャフト炉が合金銑の製造に適しているのは確かであろう。また研究者は製造原価の面より検討しても低シャフト炉富酸素送風操業の有利なことを公表している。さらにこの研究で注目し値することは酸素濃度 30% 送風操業を実施しても操業上何等の故障も起していないことで、かゝる操業を試験高炉で実施した際には前述の如く懸滞を頻発したことから考えると、富酸素送風時に炉高を低めることは操業の安定を期する上からも必要でないかと考えられる。

(D) O.E.E.C.²⁴⁾

O.E.E.C. はベルギーのリエージュ近辺に西欧 7 ヶ国の共同出資によつて内容積凡そ 20m³ の試験低炉を建設した。この構造は前掲の第4図に示した通りで既に述べた。この研究は軟弱コークスあるいはセミコークス等の劣質燃料と貧鉄鉄石とを原料として低シャフト炉を稼動し、低珪素銑の吹製条件を検討した。燃料には、12 種類の軟弱コークス、セミコークスおよび無煙炭を用い、原料鉄石には 4 種類の貧鉄鉄石を選んでいるがこれらの原料の中の重なるものゝ化学成分、工業分析は第5表に示した。かゝる原料を使用して送風中の酸素濃度を 27~28% に上昇して低シャフト炉を操業した。その代表的な結果は第6表に見る通りである。これによると軟弱コークス、貧鉄鉄石を原料としても低シャフト炉を順調に稼動することは可能であり、また低珪素の銑鉄も容易に作り得ることが確められた。しかしながら銑鉄中の S 含有量は 0.11~0.23% で相当に高く、また鉄滓の FeO 含有量も 1.70~2.72% で多い。換言すると銑鉄鉄滓の成分調整が困難であつて、まだ十分に目的を達したとは言い得ないようである。一方コークス比も 1.67~1.93 で貧鉄鉄石を使用しているとは言え良好とはみなされない。なお鉄石粒度、コークス粒度をいろいろと替えて操業しているが粒度の操業成績に及ぼす影響に関しては明白な結論を得るに至っていない。セミコークス、無煙炭を燃料として低炉を稼動した場合は順調に操業し得たと言われているが、その操業成績の詳細は発表されていない。そのほかこの低シャフト炉操業で特に目につくことは装入原料の炉内通過時間が 1~2 時間で非常に短いことである。この通過速度は前述の Schumacher の炉の凡そ 2 倍で

第5表 使用鉍石の化学成分並びにコークスの工業分析

(1) 鉍石の化学成分

鉍石名	T.Fe	Fe ^{...}	Fe ^{..}	Mn	P	S	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	CO ₂	水分	化合物
A.R.B.E.D	28.37	26.24	2.13	0.27	0.57	0.137	17.11	5.63	8.44	1.76	6.65	11.35	7.13
Piennes	34.50	25.45	9.05	0.33	0.70	0.165	7.41	4.25	15.08	1.79	15.30	11.70	5.60

(2) 使用コークスの工業分析

コークスの種類	揮発分	灰分	S含有量	水分
Ougree 軟弱コークス	2.2	12.5	1.0	15.0
Gand 軟弱コークス	4.7	16.4	1.1	12.5
Zeebrugge 軟弱コークス	2.8	12.8	1.0	19.2
Gand 軟弱コークス	6.0	17.8	1.2	16.0

第6表 O.E.E.C. 試験低炉操業実績

番号	(1)	(2)	(3)	(4)	
装入コークスの種類	Ougree 軟弱コークス	Gand 軟弱コークス	Zeebrug- ge 軟弱コークス	Gand 軟弱コークス	
原料粒度 (mm)	コークス 10~30 鉍石 10~20	5~20 "	10~20 "	10~20 —	
出鉄量 (t/24h)	33.7	35.4	35.9	36.1	
コークス比 (t/pig t)	1.673	1.928	1.886	1.853	
鉄 t 当り	鉍石装入量 (kg)	3.814	3.598	3.488	3.658
	鉍滓生成量 (kg)	980	1.020	950	1.702
	ガス発生量 (m ³)	5.960	4.900	4.715	5.160
送風	酸素濃度%	21.0	27.4	27.6	28.0
	温度(°C)	663	779	774	767
	量(m ³ /mn)	100	76	75	78
鉄成鉄分 (%)	C	3.16	3.34	3.49	3.61
	Si	0.48	0.91	0.92	0.23
	Mn	0.31	0.37	0.40	0.34
	S	0.214	0.229	0.165	0.114
	P	1.85	1.94	1.96	1.69
鉍滓成分 (%)	CaO/SiO ₂	1.42	1.48	1.55	1.68
	FeO%	1.54	1.74	1.70	2.72
炉項ガス成分	CO ₂	10.2	9.6	9.9	9.2
	CO	28.9	39.0	39.5	38.9
	温度(°C)	214	105	96	125

あり、従来の大型高炉の 4~8 倍で非常に高速度である。

(F) 八幡技研試験低炉²⁵⁾

この研究は八幡技研 3 t 試験高炉を試験低シャフト炉

第7表 八幡技研 3 t 試験低炉操業実績

番号	(1)	(2)	(3)	(4)	
炉の形態	試験高炉 (空気送風)	試験低シャフト炉 (空気送風)	"	試験低シャフト炉 (O ₂ 25% 送風)	
原料粒度 (mm)	コークス 10~25 鉍石 10~5	" 10~5	" -5	" -5	
出鉄量 (t/24h)	7.014	5.127	7.499	7.4	
コークス比 (t/pig t)	1.19	1.51	1.09	1.04	
鉄 t 当り	鉍石装入量 (kg)	1.780	1.495	1.695	1.630
	鉍滓生成量 (kg)	678	650	628	535
	ガス発生量 (m ³)	5.100	6.650	4.440	3.670
送風	O ₂ %	21.0	21.0	21.0	25.2
	送風量 (m ³ /mn)	18.0	17.7	17.6	15.5
	圧力 (g/cm ²)	215	234	25.0	231
風	温度(°C)	500	500	500	500
	鉄成分 (%)	C 3.85 Si 1.29 S 0.066	C 3.86 Si 1.50 S 0.056	C 3.98 Si 0.82 S 0.036	C 4.13 Si 1.22 S 0.032
出鉄温度 (°C)		1.380	1.391	1.377	1.429
	鉍滓成分	CaO/SiO ₂ 1.33 FeO% 0.69	CaO/SiO ₂ 1.37 FeO% 1.00	CaO/SiO ₂ 1.31 FeO% 0.64	CaO/SiO ₂ 1.59 FeO% 0.64
炉頂ガス	CO ₂ (%)	6.7	6.6	9.9	11.7
	CO (%)	30.9	31.9	28.0	32.3
	温度(°C)	183	290	197	195

に改造して行つたもので、低シャフト炉の構造は第2図に示した。試験高炉ではかねてより原料鉍石、コークスの粒度と炉況との関係を調べていたが、その結果試験高炉での鉍石の最適粒度は 10~5 mm、コークスは 10~25 mm であり、その際に第7表に示した操業実績が得られた。低シャフト炉の研究を開始するにあたり、低シャフト炉の特性を先ず把握する意味でコークスには冶金用コークスを用い、原料の粒度は試験高炉に最適であつた上記粒度のものを用い低シャフト炉を稼動した。そのときの結果は第7表(2)に示した通りで、コークス比、出鉄量等同表(1)に示した試験高炉の成績に比較して劣

り、かつ銑鉄の成分調整が困難であつた。銑鉄成分の調整方法に苦慮した結果、鉍石粒度を.5mm以下という非常に細かい粒度にしたところ同表(3)に示した如く、銑鉄成分を容易に良好な状態に調節でき、かつ出銑量、コークス比等の操業成績も同表(1)に示した試験高炉での最良の成績をも上廻る値を得た。原料鉍石の粒度はこのように炉高によつて適正值が存在しており、炉高を低めてもそれに応じて原料鉍石の粒度を細かく調整すれば低シャフト炉でも高炉に劣らない成績をも期待し得ることが明らかになつた。この研究は冶金用コークスを用いて行つたものであるが、潰裂強度40~60%程度の軟弱コークスを用いて炉を稼動した場合も原料粒度を最適値に整備することによつて第8表に示した如き成績を得良好な成分の製鋼用銑を吹製し得た。

第8表 軟弱コークス使用操業実績

番 号		(1)	(2)	(3)
操 業 条 件		バンクー バ 鉍石 (磁鉄鉍 使用)	バンクー バ 鉍石使 用	ユタ鉍石 (赤鉄鉍 使用)
原料粒度 (mm)	コークス 鉍 石	10~25 - 5	10~25 - 5	10~25 -1.5
出 銑 量 (t/24h)	コークス比 (t/pig t)	5.053 1.70	6.243 1.27	9.814 1.223
銑 t 当り	鉍石装入量 (kg)	1.700	1.680	1.810
	鉍滓生成量 (kg)	790	763	720
	ガス発生量 (m ³)	7.080	3.940	3.250
送 風	O ₂ %	21.0	30.1	36.6
	量 (m ³ /mn)	18.0	12.6	15.0
	圧 力 (g/cm ²) 温 度 (°C)	238 705	164 615	193 636
銑鉄成分 (%)	C	4.21	3.96	—
	Si	1.07	1.14	0.96
	S	0.042	0.065	0.046
	出銑温度 (°C)	1.364	1.397	1.375
鉍滓成分	CaO/SiO ₂	1.47	1.52	1.59
	FeO%	0.99	1.76	0.83
炉項ガス	CO ₂ (%)	3.4	6.2	11.89
	CO (%)	34.6	44.9	45.90
	温 度 (°C)	288	157	215

(4) 特 徴

一般低シャフト炉製鉄法は既に度々述べたように送風中の酸素濃度を高めることによつて、炉高を低めている。従つて低シャフト炉製鉄法では従来の高炉製鉄法と大分趣を異にする面が現れてくる。その主なるものを挙ると次のようである。

(A) 長 所

(a) 低炉は富酸素送風を建前とするので有効高さが非常に低くなり、かつ羽口前の燃焼状態もよくなるから軟弱コークス、セミコークス等の劣質燃料が使用し易くなる。

(b) 炉高が低いので粉鉍石が使用し易い。

(c) 炉床温度を容易に高めることができるので製錬に高温を必要とするフェロマンガ、高珪素銑等の合金銑の製造に適する。

(d) 既存低シャフト炉における原料の炉内通過時間を求め第9表(a)にまとめてみた²⁶。同表をみるに通過時間は1~4時間であつて炉の大きさに余り関係がないようである。これに対して既存大型高炉における通過時間を調べたところ第9表(b)に示した如く8~13時間であつて、これも炉の大きさと余り関係はない。これをみると低シャフト炉と高炉とでは原料の通過時間、すなわち製錬時間に画然とした差異があり、低シャフト炉は製錬時間を短かくすることによつて出銑量に対する炉の容積が小さくてすむ。

第9表 低シャフト炉及び高炉の内容積と原料の炉内通過時間との関係

(a) 低シャフト炉

試験低シ ャフト炉 の名称	内容積 (m ³)	原料の炉内通過時間 (h)		内容積1m ³ 1日当り	
		1日出銑 量 (t/24h)	1日出銑 量 (t/24h)	出銑量	コークス 使用量
Schuma- cher	41	4	48	1.17	1.85
O.E.E.C. 初 期	18	< 2	36	2.00	3.76
O.E.E.C. 後 期	18	4	20	1.11	1.7
Hellbrüg- ge	18	5/4	35	1.94	—
八幡技研 試験低炉	4.1	2.4~3.5	8.9~9.8	2.18 ~2.40	2.26 ~2.93

(b) 高 炉

高炉の名称	内容積 (m ³)	原料の1日出銑 炉内通過時間 (t/ 24h)		内容積1m ³ 1日当り	
		1日出銑 量 (t/24h)	1日出銑 量 (t/24h)	出銑量	コークス 使用量
八幡東田4高炉	475	11	415	0.88	0.65
鋼管鶴見2高炉	492	12	403	0.82	0.57
八幡東田6高炉	667	12	569	0.85	0.57
釜石10高炉	937	13	792	0.85	0.55
室蘭仲町1高炉	941	12	764	0.81	0.57
八幡洞岡3高炉	1137	13	865	0.76	0.54
広畑1高炉	1207	12	974	0.81	0.57
八幡洞岡4高炉	1233	12	1134	0.93	0.61
インドの高炉	—	10	—	—	—
南部 URSS (ロシア)の高炉	—	9	—	—	—
ウエストアリ ヤ(独)の高炉	—	9	—	—	—
アメリカの高炉	—	9	—	—	—

(B) 短 所

(a) 低シャフト炉製鉄法は現在小規模の炉で実施されている中間工業化試験の段階にあり、大容量の炉に拡大する方法がまだ確立されていない。

(a) 製鋼用銑を対象とする場合には銑鉄の Si, S 含有量を調整することがむづかしいと言われている。八幡技研の試験低シャフト炉においても²¹⁾送風中の酸素濃度を高めた場合には空気送風に比較して銑鉄の成分調整がむづかしい現象は確かに見受けられる。但しこれについては既述の如く、八幡技研では研究としては一応対策を提供している。

(c) 低シャフト炉製鉄法には富酸素送風を行うに必要な酸素製造費が余分にかさむ。

(5) 今後の問題点

低シャフト炉製鉄法の操業条件に関しては中間工業化試験程度の規模で凡ゆる銑種を対象に製造条件の確立を目指し活潑なる研究が行われているけれども、まだ本法の工業化に対しては十分な資料の提供をみるには至っていない。但し今日の研究段階から見た場合、一応予測される問題点を眺めて見れば次の通りである。

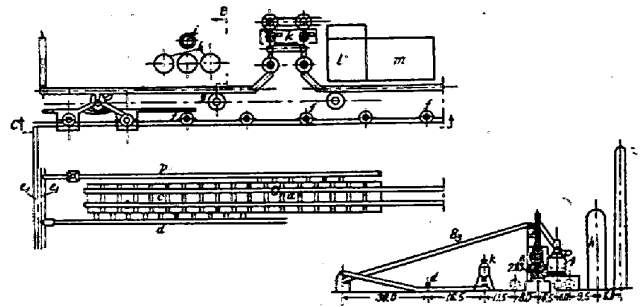
低シャフト炉は劣質燃料の使用を主目的とする関係上当然のことながら炉高に限界値を設けねばなるまい。従つて炉高を限界値以下に保持しつつ如何にして炉の容量を拡大するかというところに大きな問題点があり、これについては、いろいろと論じられている。例えば G. Bulle は次のような3つの見解を明らかにした。

(A) 低シャフト炉を拡大するには送風の炉内への滲透を確実にするために巾を最大で3mまでとし長方形の炉にしなければならないが、かくすると現在の装入装置では炉頂部における装入物の均一分布並びにガス漏洩防止が困難になるので、そこには新しい型の装入装置を考案する必要が生ずる。

(B) 低シャフト炉の容量拡大方法としてはこの他多数の比較的小さい炉と一つの共通附属部門を設備する第10図の如き方策が考えられる。図の(a)はコークス庫

(b)はコークス運搬用ベルトコンベア、(c)は鉄石庫、(d)は鉄石運搬用ベルトコンベア、(e₁)、(e₂)も鉄石、コークス運搬用ベルトコンベア、(f)は低シャフト炉、(g)は集塵器、(h)は熱風炉、(i)は煙突、(k)はガス洗滌機、(l)はボイラー室、(m)は送風機である。すなわち7本の低シャフト炉に対して原料装入装置、集塵器、熱風炉、送風機等の附属装置は全く共通使用となる。

(C) 第3の方法としては低炉は高炉に較べて製錬時



第10図 低炉配置計画図

間が短縮できるので一つの対策を生む足がかりとなるであろう。これに伴い炉の容積を小にすることも考えられる。

Bulle はこのような見解を発表しているが、これに対して一般の意見としては長方形の切断面にしてもあまり細長い炉にすると色々の故障を生ずるであろうし、また容量の小さい炉を多数作るということも好ましくないであろうとの見解が有力である。(3)の最後の方法については余り考慮が払われていないようである。しかしながら低シャフト炉における原料の炉内通過時間すなわち製錬時間は既述の如く1~4時間で従来の高炉の1/2~1/13であることを考慮すれば低炉の操業能率向上についてより進んだ研究の実現を見れば可成小さい炉でも相当量の出銑量を期待し得ることになり、この際には低炉製鉄法の容量拡大については(1)、(2)の場合よりも(3)の場合が実現可能な指針となるかもしれない。

III. D. H. N. 法

(1) 沿革

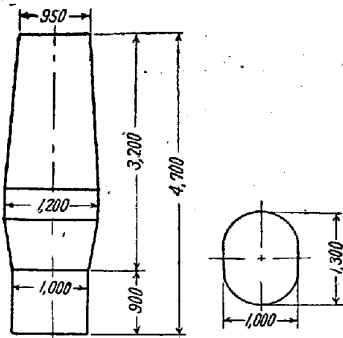
D.H.N. 法は石炭、鉄鉱石、石灰石とを固めてブリケットとし、これを原料として空気送風で低シャフト炉を稼動して銑鉄を製造せんとする簡易製鉄方法であつて、この石炭には冶金用として劣質炭とみなされている弱粘結炭、非粘結炭で差支えないことが特徴とされている。この方法は第2次大戦前に L. Weber が Klöckner Humboldt-Deutz AG と協力して産みだしたもので、最初の段階ではブリケットを乾溜してコークスの形にして低シャフト炉に装入していたが、後には乾溜行程を省略して、生ブリケットのまま低シャフト炉に装入し、炉内で乾溜製錬の両作用を行わしめるようになった。

1952年以後この研究は Demag A.G. に引継がれて継続され、Demag A.G. では 15t/day 程度の能力を有する低シャフト炉を建設し、この炉を稼動して本法を中間工業的規模で検討し、その操業条件を確めた。そしてその結果より 100t/day の能力を有する低シャフト炉の

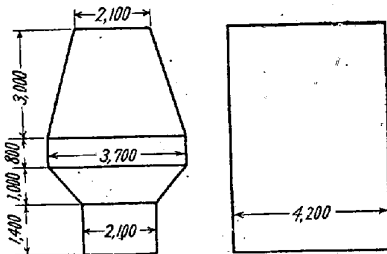
建設計画が立案された。

(2) 低シャフト炉々型

Demag A.G. で建設せる低シャフト炉の構造³⁰⁾は第11図に示した。炉の切断面は卵型で有効高さは3.2m、炉床面積は1.04m²である。この炉には特に変わった特徴は見受けられない。



第11図 D.H.N. 低炉



第12図 大型 D.H.N. 低炉 (100t/day)

この試験低シャフト炉を用いての試験結果を参考にして計画された100t/dayの能力を有する炉は第12図に掲げた通りである³¹⁾。同図を見るに炉の切断面を長方形にし、かつ有効高さを4.8mに保つて

いるのが目につく。この炉型は前述の一般低シャフト炉製鉄法の炉型と近似しているが炉の能力を15t/dayの能力のものを基礎にして100t

/dayまで拡大したことは研究上の一つの進歩であり、注意を惹く。

(3) 研究内容

E. Hofman³²⁾はDemagにおいて1952年弱粘結炭、鉄鉱石、石灰石よりなるブリケットの製造条件を検討した。その結果低シャフト炉で使用に耐える程度の強度を有するブリケットを製造し得る見通しを得たので、内容積凡そ5m³の試験低炉を建設し、この炉にブリケットを装入して製鋼用鉄の製造研究を行つた。試験低炉の構造は前掲の第11図に示す通りである。装入したブリケットの大きさは32~60mmの卵形で常温における耐圧強度は30~40kg/cm²である。このブリケットを試験低炉に装入して空気送風によつて炉を稼動した。そのときの操業結果は第10表に示した。その結果を見るに操業は順調に行われたようであり、1日の出鉄量は10~15t/day、内容積1m³当りの出鉄量は凡そ2~3tで内容積に比較して出鉄量が相当に多い。これは一様な原料粒度の関係で送風量を多く送れるためと考えられており、この方法の特徴と見なされている。燃料使用量は2.19t/pigtでコークスに換算すると1.45t/pigtとなる。この値は試験炉の小さいことを考慮しても良好とは

第10表 D.H.N. 法操業実績

出 内容積 炭	鉄 1m ³ 素	量 (t/24h) 当り出鉄量 (t) 比 (t/pigt)	10~15 2~3 1.29
鉄 t 当り	石炭装入量 (kg) 鉄石装入量 (kg) 鉄滓生成量 (kg)		2.191 1.851 925
送 風	量 (m ³ mn) 温度 (°C)		52 450
鉄鉄成分 (%)	C Si Mn S		4.3 -1.5 0.9~1.1 0.040
鉄 滓	CaO/SiO ₂		1.30~1.32
炉項ガス (%)	CO ₂ CO H ₂ CH ₄ 温度 (°C)		3.4 30.6 7.6 3.4 300~400

言えない。D.H.N. 法は炉内で石炭を速かにかに乾溜し、かつ乾溜中に発生するタール、ピッチ等の凝縮を防止するために炉頂温度を300°C以上という比較的高い温度に保っている。ブリケットの強度はほど満足すべき状態にあつたようである。操業試験を完了した後低シャフト炉を吹止めて羽口水準の原料試料を採取してみたが、ブリケットは装入前の形状をそのまま保持していたと述べている。前述の通り、この研究結果を基準にして100t/day程度の能力を有する炉の建設計画が発表されている。

(4) 特徴

D.H.N. 法の最大の特徴は既述の如く燃料に如何なる種類の石炭でも使用し得ること、コークス炉、焼結設備を必要としない簡易な製鉄法にあることは明らかである。しかしながら装入原料をすべてブリケットの形で用い、かつ燃料に石炭を使用する関係上、本法には従来の製鉄法にみられない次のような特色も見受けられる。

(A) 出鉄量

装入原料をすべてブリケットの形で使用しているため、炉内におけるガスの上昇抵抗が少なく、多量の熱風を送ることが可能であり、そのため出鉄量がかなり多い。一例を示すと内容積1m³当り凡そ2~3tで³³⁾従来の高炉操業の凡そ0.7~1.0t/m³dayに比較して格段に勝っている。

(B) 炉内における石炭の乾溜

燃料に石炭を使用するのでシャフト部で石炭の乾溜が行われる。そしてその乾溜時間は25~30mnであつて非常に短かく³⁴⁾、従来のコークス炉内における乾溜と大

分趣を異にしており、この事は D.H.N. 法の特徴の一つとなつている。ブリケットは乾溜過程において一時強度を低下するが、乾溜完成と共に再び強化される。従つて D.H.N. 法の乾溜時間の短いことは弱点を露出する時間の少いことで非常に有利と考えられる。しかしながら石炭の乾溜は吸熱反応であるので、当然のことながら乾溜に必要な熱量だけコークス比は高くなる。石炭を燃料とすればこの点の不利はまぬかれない。

(C) 炉頂温度

D.H.N. 法は炉内で石炭の急速乾溜を行い、かつ発生ガス中に含まれるタール、ピッチ等の揮発分の凝結を防ぐために炉頂温度を 300°C 以上に保持せねばならないが、本法は炉高を低めることすなわち低シャフト炉を用いることによつて炉頂温度を高く保つている。しかしながら炉頂温度を高く保つと熱損失を増し、操業能率上好ましいと言えない。

(D) 炉頂ガス中に含まれる化成品の回収と除塵

石炭を燃料とするので炉頂ガスにタール、ピッチ等の化成品を含み、従来の高炉ガスと大分趣を異にしている。そしてガス中に含まれる化成品の回収効率が本法の経済面に多くの影響を及ぼすと言われている³⁵⁾。しかしながら炉頂ガスはそのほか塵埃を多量に含んでいるので化成品の回収がかなり困難であり、この点は充分研究の必要がある。

D.H.N. 法の特徴は以上の通りである。

IV. 一般低炉製鉄法と D.H.N. 法との比較

一般低シャフト炉製鉄法も D.H.N. 法も冶金用としては劣質とみなされている弱粘結炭等を燃料として使い順調に銑鉄を製造せんとするもので、その主目的は同じである。しかし一方は劣質炭を軟弱コークスの形にして用い、他方は石炭をそのまま燃料としている。こゝに両法の本質的な差異が存在し、そのために操業上非常に趣を異にする面が生じている、もとより両法にはそれぞれの特徴がありその優劣を軽々に判断し得ないが、一応その差異を明らかにするために D.H.N. 法³⁶⁾と一般低シャフト炉法については最も新しい資料と思われる八幡技研の試験低炉の最近の研究結果³⁷⁾と比較対象して検討して見たい。

両者の試験炉々型は第 11 表に示す通りで炉の型は異なるが炉床面積、装入物の有効高さは近似しているので炉の内容積は両者大差ないと考えられるのは比較するのに便利である。装入原料をみるに D.H.N. 法は銑石、石炭、石灰石を 32~62mm の卵形のブリケットにして用

第11表 炉型の比較

炉の種類	炉床面積 (m ²)	装入物の有効高さ (m)	炉床の型	羽口数
フンボルト炉(D.H.N.)	1.04	3.2	楕円形	4
3 t 試験低炉(八幡)	1.07	2.6	円形	4

第12表 操業実績の比較

炉の種類		フンボルト炉 3 t 試験低炉 (D.H.N.) (八幡)	
コークス比 (t/pig t)		1.45	1.22
出銑量 (t/24 h)		10~15	9.81
内容積 1m ³ 当り出銑量(t)		2~3	2.40
送風	量 (m ³ /mn)	52	15
	O ₂ %	21.0	36.6
銑鉄	Si (%)	-1.5	0.96
	S (%)	0.040	0.046
銑滓塩基度 (CaO/SiO ₂)		1.30~1.32	1.59
炉頂ガス	CO ₂ (%)	3.4	11.89
	CO (%)	30.6	45.9
	温度 (°C)	300~400	215
発熱量 (Kcal/m ³)		1.425	1.447

いており、八幡技研試験低炉では 10~25 mm の軟弱コークス、5 mm 以下の粉銑石をそのまま装入している。第 12 表は両者の操業成績の比較である。これをみると D.H.N. 法は八幡試験炉に較べて銑 t 当りの使用量が多い。このことは炉頂ガス中の CO₂ 含有量が小で CO 含有量が大であることから先ず銑石の間接還元率が低いと推定されるし、また炉頂温度の高いことから熱損失が大であること、さらに炉内において多量の熱が石炭の乾溜に消費されることから当然と予測される。D.H.N. 法は装入ブリケットの急速乾溜を建前としており、このことは必然的に炉頂温度の上昇を招来するので同法における熱損失が大であるのは宿命的でコークス比を普通高炉並に低下せしめることは至難と言える。高炉たると低炉たるとを問はず炉床温度を高め炉頂温度を低下せしめることを炉操業の理想形態と考える観点よりすれば同法の操業方式は不自然であり、このことはなんと言つても同法の弱点である。一方一般低炉製鉄法は富酸素送風の採用と原料粒度の調整によつて操業を理想の形態に保つことも今後の研究の進展によつては期待し得られる。すなわち D.H.N. 法は一般低炉製鉄法に較べて操業上改善の余地が少いようである。他方 D.H.N. 法について他の特色を眺めると、同法は八幡試験炉に較すると出銑量がかかなり多い。すなわち前者の出銑量は内容積 1m³当

第13表 炉内鉱石の還元率

炉の種類	シャフト (%)	炉腹 (%)	朝顔 (%)
フンボルト炉 (D. H. N.)	10	10~45	60~75
3 t 試験低炉 (八幡)	8	68	95

り凡そ 2~3t であり、後者の 1.8t に比較して大きい。またその他の既存各種低シャフト炉と比較するもずつと大きい。それでこの原因を確かめるために送風量を調べると D. H. N. 法の場合は八幡試験炉の凡そ 3 倍になっているが、この送風量の増加が出鉄量増加の原因として一応挙げられる。出鉄量の多いことは確かに D. H. N. 法の秀れた特色と言える。第 13 表に炉内における鉱石の還元率を比較してみたが D. H. N. 法は八幡試験炉より炉腹部、朝顔部の鉱石の還元率は相当に悪い。この還元率が高いほど炉の操業として望ましいことは八幡技研試験高炉による一つの研究結論として既に報告³³⁾しているが、この点では D. H. N. 法の炉の操業は必ずしも好ましい状態でないと言える。これはブリケットに含まれる鉄鉱石と炉内上昇ガスの接触が良好でないことも一原因と考えられるが D. H. N. 法の製錬時間は 1~2 時間で八幡技研試験炉の 3.5 時間に比較して余りに短いことも、有力な原因になっていると推定される。

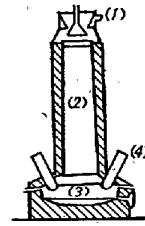
以上低シャフト炉による製鉄法の 2 つの流れについて個々の問題にその特色を技術的な面から簡単に述べた。D. H. N. 法を要約すれば本法は卓抜な着想に基く製鉄法であるが、炉の操業そのものを不自然な形態で動かさなければならぬところに大きな欠陥が存在していることはいなめない。

V. 電気低シャフト炉製鉄法

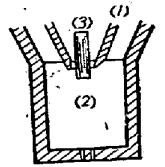
(1) 沿革

電気低シャフト炉製鉄法とは熱源としてコークス等の固体燃料の代りに電気エネルギーを使い、還元剤並びに加炭剤として軟弱コークス、石炭等を使用して銑鉄の製造を行わんとする方法であつて、その主たる目的はやはり前述の一般低炉製鉄法、D. H. N. 法と同じように強粘結炭を用いないで銑鉄を作らんとするにある。鉄鉱石の製錬に電気エネルギーを用いんとする考えは古くから存在していた。殊に強粘結炭の産出は少ないが、水力資源、鉄鉱資源に恵まれているスウェーデンは早くからこの方法に注目し 20 世紀の初めに電気高炉を建設した。この炉の構造は第 13 図に示した。図の (1) は原料装入装置、(2) はシャフト部、(3) は炉床部、(4) は電極

である。原料鉱石はシャフト部で多少還元されて炉床に降り、ここで電気によつて加熱されて鉄となる。この炉は順調に銑鉄を製造しており、その結果に刺激されて日本、ノルウ



電気高炉
第 13 図

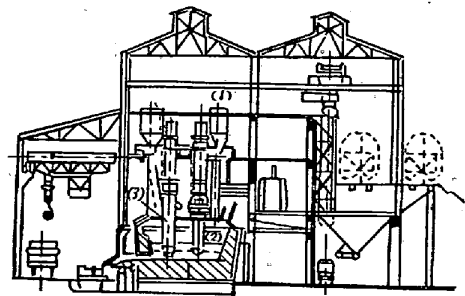


電気低炉
第 14 図

エー、ブラジル等の国でもこのような型の電気高炉が作られるに至つた。しかしながら電気高炉は従来の高炉と比較してシャフト部の温度が非常に低い。そのために鉱石の還元は殆んど炉床部で行われ、シャフト部の役割は非常に小さくなつている。換言するとシャフト部は不活性帯となつている。その上シャフト部が存在すると使用原料は耐圧強度等の関係で制限を受けるという面白からぬ面も生ずる。そこで次第にシャフト部の低い電気低シャフト炉が研究されるに至つた。電気低シャフト炉はノルウエーで発生したもので 1925 年 Oslo に 6,000KVA の電気低シャフト炉が建設された。この構造は第 14 図に示した。図の (1) は原料装入装置、(2) は炉床、(3) は電極である。原料は直接炉床に装入されて電気で加熱される。この炉は電気高炉に比較して構造が簡易でありかつ広範囲の原料を使用できる関係上急速に発展し、電気高炉に代つて世界各国で採用された。そしてその構造も改良を加えられ初期には炉頂を開放し、炉内で発生したガスを外部に放出していたが、後には炉頂部を密封しガスを完全に捕集するようになった。炉の容量は 10,000~12,000KVA (100~120t/day) 程度まで拡大され、その結果本法は小規模ながら製造法として工業化されるに至つた。

(2) 最近の研究資料

H. Walde⁴⁰⁾ は独逸における最近の電気低シャフト炉の操業実績の例を紹介している。使用した炉の構造は第 15 図に示した形の電気低シャフト炉で図の (1) は装入装置、(2) は炉床、(3) は電極である。還元剤には C62%



第 15 図 電気低炉

第14表 電気低シャフト炉の操業成績

鉄 t 当り消費量	鉄 鈹 石 (kg)	2,090
	満 俺 鈹 (kg)	44
	石 灰 石 (kg)	308
	無煙炭或はコークス (kg)	561
	電 力 (KWH)	2,800
鉄 t 当り鈹滓量 (kg)		750
鉄鉄成分 (%)	C	4.5
	Si	1.4
	Mn	0.8
	S	0.01
鈹滓成分 (%)	SiO ₂	35.0
	Al ₂ O ₃	5.3
	CaO+MgO	54.0
炉頂ガス温度 (°C)		300

第15表 電気低シャフト炉の熱バランス

入	熱	(10 ³ Kcal)	(%)
電気エネルギー	2800 KWH	2,400	78.0
固体燃料		680	22.0
計		3,080	100.0
出 熱			
輻射伝導損失		360	11.6
電気損失		180	5.8
ガス顕熱		60	2.0
損失計		600	19.4
水の蒸発並びに分解熱量		80	2.6
石灰石の分解熱量		120	3.9
鈹滓の有する熱量		270	8.8
熔鉄の有する熱量		310	10.0
Si, Mn, P の還元熱		100	3.3
Fe の還元熱		1,600	52.0
冶金用熱量の計		2,480	80.6
全 熱 量		3,080	100.0

灰分 8% を含む無煙炭とコークスの混合物を選び、Fe 33%、SiO₂ 15% を含む鉄鈹石を原料として炉を稼動した。その結果は第 14 表に示した如くで鉄 t 当り使用電力は凡そ 2,800KWH、無煙炭、コークス混合物の使用量は 561 kg である。炉頂ガスは窒素を殆んど含まず CO、CO₂、H₂ よりなっており、発熱量が高く平炉用燃料あるいは化学工業上合成原料として用いられると言われている。またその熱バランスを計算すると第 15 表に掲げたごとくで入熱の凡そ 78% は電力によつてもたらされており、熱源として電力が圧倒的に大きな割合を占めていることが認められる。また出熱を見るに従来の高炉と比較して炉壁、熱損失並びに電力損失が合計 540×

10³ Kcal でやゝ大きく、炉頂ガス熱損失は 60×10³Kcal で比較的少である。この電気低シャフト炉の操業方法として燃料使用量あるいは電圧を調整することによつて鉄鉄の成分調整を行つている。しかし一般的に電気低シャフト炉は Si の高い鉄鉄の製造に向いているとみられており、これが還元剤には褐炭、軟弱コークスでよいといわれている。独逸の一部の炉では最近鉄鈹石、褐炭、石灰石をよく粉砕してブリケットを作り、これをある程度乾溜還元した後に炉に装入する方法が行われている。その操業結果の詳細は不明であるが低品位鈹石、低級燃料の利用に有利といわれている。

(3) 特 徴

電気低シャフト炉の最大の特徴は電力と劣質炭あるいは軟弱コークスを熱源および還元剤として用い、冶金用コークスを必要としないことにあるのは明らかであつて、本法は使用石炭の品種を問わない点では 3 種の低シャフト炉製鉄法中最も秀れた方法といえる。しかしながら本法は電力を主たる熱源としている関係上特異な製鉄法であつて、従来の高炉あるいは低シャフト炉と大分趣を異にしている面がある。H. Walde⁽¹⁾ によると電気低シャフト炉法は次の特徴があるといわれている。

(A) 電気低シャフト炉は比較的小さい規模で経済的に操業できる。例えば 3,000KVA の電力の炉で 1 日に 25~30t の鉄鉄を経済的に作れる。他の製鉄方法はこの程度の規模では建設費、運転費の点で有利でない。

(B) また本法は間歇的に操業するとき他の製鉄法より勝つている。

(C) 熱風炉を必要としないために建設費が従来の高炉と比較してずっと安い。

(D) 本法は電力を主たる熱源としているので、電力費が石炭費に比較して安いことを前提条件としているが R. Durrer によると電気低シャフト炉は 8KWH の電力費と 1 kg の石炭費 (7,000 Kcal の石炭) と等しい場合に経済的に操業し得るといわれている。

VI. 総 括

低シャフト炉製鉄法には軟弱コークスを燃料とする一般低シャフト炉製鉄法と石炭を燃料とする D. H. N. 法の 2 つの流れがある。前者は独の Lennings の研究結果に端を発して発達したもので、その後 Schumacher 等により研究されている。その結果によると低シャフト炉は合金鉄の製造には向いているが、製鋼用鉄を対象とした場合には鉄鉄の成分調整が困難であるといわれている。しかしながら八幡技研の研究によると、製鋼用鉄を

対象としても原料鉄石の粒度を細かく調整し還元速度を向上せしむれば容易に製鋼用鉄も製造し得ることが確められた。このように一般低炉製鉄法はあらゆる種類の鉄鉄を、研究としては一応吹製し得るが、従来の諸研究はすべて比較的小規模な中間工業化試験の段階で工業化にはなお検討すべき幾多の問題が残されている。低シャフト炉をいかにして大型化し、工業的規模に達せしむるかは今後の重要な一つの問題であろう。

一方 D.H.N. 法は冶金用として劣質な石炭と鉄鉱石、石灰石を混合してブリケットを製造し、これを低シャフト炉に装入して、炉内で空気送風操業下に石炭の乾溜と製鉄とを同時に行わんとする製鉄法である。この方法は原料をすべてブリケットにしているので送風量が多くそのため出鉄量が多く内容積 1m^3 当り凡そ 2~3 t で従来の高炉操業の凡そ 0.7~1.0 t に比較して格段に勝っている。出鉄量の多いことは D.H.N. 法最大の特徴である。しかし本法はシャフト部で石炭の急速乾溜を行い、かつ分離せるタール、ピッチ等揮発性物質の凝縮を防止するために炉頂温度を $300\sim 400^\circ\text{C}$ と比較的高い温度に保持せねばならない。このことは操業能率上好ましくならぬ現象であり、しかも D.H.N. 法の宿命的な弱点と考えられる。低シャフト炉法の枠に入れようとするれば、入れられないこともない方法に電気低シャフト炉製鉄がある。これは熱源に電力を使用し、還元剤として劣質炭あるいは軟弱コークスを利用するものであつて、どんな品種の石炭でも使用し得るといふ点では3つの低シャフト炉中最も秀れたものといえる。またこの方法は小規模な設備でも条件いかんによつては経済的に操業し得ることが既に立証されている。これは確かに本法の利点である。しかしながら本法は電力を主要熱源とするため、当然のことながら電力の値が石炭の値に比較して相当に安価でなければならない。R. Durrer によれば電力 8 KWH の値が石炭 (7,000 Kcal) 1 kg の値以下にあるときに本法は経済的に成立するといわれている。

以上述べたように3種の低シャフト炉製鉄法はそれぞれの特徴があるが、その優劣を論ずるのは今日の段階ではまだ早計であろう。(昭 31—6 月寄稿)

文 献

- 1) W. Lennings: Stahl und Eisen (1935) p. 533
- 2) K. Neustaetter: Blast Furnace and Steel Plant (1947) p. 329
- 3) D. D. Howat: Blast Furnace and Steel Plant (1948) p. 533
- 4) R. J. Rocca: A.I.M.E. (1947) Vol 6. p. 67
- 5) R. Durrer: Journal of the Iron and Steel Institute (1947) p. 253
- 6) H. Hellbrügge: Stahl und Eisen (1949) p. 256
- 7) H. Schumacher: Stahl und Eisen (1953). p. 257
- 8) Iron and Coal Trades Review (1955) Jan. p. 31
Résultats d'une année de recherches sur le bas Fourneau: Revue Universelle des Mines, Liège No. 2 Fevrier, 1955
(八幡製鉄技術部訳)
- 9) 低炉製鉄法の中間工業化試験第1報: 八幡製鉄所技研報告 (1955)
- 10) 前掲 6), 7), 8), 9),
H. Erne: Stahl und Eisen (1954) p. 1644
International Research by the Steering Committee: Iron and Steel (1935) p. 5
- 11) 前掲 8)
- 12) 前掲 10)
- 13) 前掲 6), 7), 8), 9)
- 14) 前掲 6), 7), 8)
- 15) 前掲 7), 8)
- 16) 前掲 1)
- 17) 前掲 7)
- 18) 前掲 6)
- 19) 前掲 7)
- 20) 前掲 8)
- 21) 前掲 1)
W. Lennings: Stahl und Eisen (1943) p. 757
- 22) 前掲 6)
- 23) 前掲 7)
- 25) 前掲 9)
低炉製鉄法の中間工業化試験第2報: 八幡製鉄所技研報告 (1955)
- 26) 前掲 6), 7), 8)
八幡製鉄和田氏出張報告 (1956)
- 27) 前掲 24)
- 28) G. Bulle: Blast Furnace and Steel Plant (1953) p. 1429
- 29) F. Jager: Stahl und Eisen (1950) p. 711
H. Reinfeld 氏講演: 伍堂氏訳 (1955)

- 30) E. Hofman: Stahl und Eisen (1954) p. 1464
 31) 八幡製鉄和田氏出張報告 (1956)
 32) 前掲 30)
 33) 前掲 29), 30)
 34) 前掲 30)
 35) 前掲 29)
 36) 前掲 30)
 37) 前掲 25)
- 38) 城, 兎玉: 鉄と鋼 (1954) 9月特集, p. 849
 39) Iron and Coal Trades Review (1953) Dec. p. 1401
 H. Walde: Stahl und Eisen (1953) p. 1441
 R. Dürrer: 熔鉱炉によらざる製鉄法 (浅井訳)
 40) 前掲 38)
 41) 前掲 38)

新らしく改正された J I S

G 5501 ネズミ鑄鉄品について

名称は破面がネズミ色の鑄鉄ということでネズミ鑄鉄品とし普通鑄鉄, 高級鑄鉄はもちろんミーハナイト鑄鉄, 強韌鑄鉄も表1を満足すればこの規格にふくまれることとなり種類はいままで5種より FC 10, 15, 20, 25, 30, 35, の6種に改正され, その機械的性質は鑄物の肉厚に応じて供試材の鑄放し直径を変更してもよく主要肉厚の要求のない場合は 30mm の試験棒で代表できる. 抗折試験の最大荷重については試験棒が (-) 側に製作された場合に限り補正できるようになるとともに従来試験検査通則は別規格となっていたものを品質規格に試験検査の項を全面的に包含せられた.