

鉄鋼技術共同研究会報告

新技術開発部会・直接還元法分科会報告

遠藤勝治郎*・松下 幸雄**

Report of Direct Reduction Subcommittee

— New Technique Development Division —

Katsujirô Endô and Yukio Matsushita

I. 序

標記の新技術開発部会は昭和33年4月に発足したが、鉄鋼技術共同研究会実行委員会および幹事会によつて審議された設置趣意書によると、つぎの諸点が強調されている。

(1) 外国技術の導入から脱却しわが国における新技術開発の必要性が痛感される一般情勢であること。

(2) さきに、鉄鋼技術研究連絡会において酸素製鋼技術に関する共同研究を行ない、その成果が現場製鋼技術の発展にいちじるしく寄与した事柄を想起すべきであること。

(3) 新技術開発の目標を限定し、鉄鋼情勢の移行に時機を失することなく対処して業界、学界および行政組織の専門知識にもとづく共同研究を強力に推進すべきであること。

(4) 本部会による研究は、既設各部会の課題へ発展移行すべき性質を有するから相互連携を密にすべきであること。

以上の趣意により本部会の委員、幹事が編成され、前記第3項による限定目標として真空冶金および直接還元法を採択することとなつた。この両者はおのこの分科会として発足し、前者についてはすでに第一回報告が会誌に掲載された*。以下直接還元法分科会の編成、審議経過および成果(中間報告)につき報告する。

II. 直接還元法分科会の編成

委員および幹事に一部変更、追加があつたが、以下は本報告作製時現在とする(ただし、順序不同とし官職名などは省略する)。

部会長: 遠藤勝治郎(金属材料技術研究所)

主 査: 松下 幸雄(東京大学)

委 員: 岡本正三(東京工業大学), 雀部高雄(千葉工業大学), 八木貞之助(九州大学), 三本木貢治(東北大学), 森棟隆弘(富山大学), 原善四郎(東京大学), 木内俊二(資源技術試験所), 小菅 高(八幡製鉄), 小野六郎(富士製鉄), 高野 広(日本鋼管), 知崎 喬(住友金属), 浜田武士(川崎製鉄), 高山武夫(尼崎製鉄), 林康作(中山製鋼), 松本茂樹(日本製鋼), 安藤公平(日本特殊鋼), 高尾善一郎(神戸製鋼), 佐藤良吉(日曹製鋼), 中村信夫(日立金属), 杉浦 卓(矢作製鉄), 兼松源三(三菱鋼材)

幹 事: 吉村 浩(金属材料技術研究所), 大蔵明光(東京大学), 斎藤昭禎(通産省), 飯島健一(鉄鋼連盟), 田鍋 力(鉄鋼協会)

III. 直接還元法分科会の審議経過

(1) 分科会の開催日および場所

第1回 昭和34年3月20日, 鉄鋼連盟

第2回 " " 4月24日, 東大赤門協学会館

第3回 " " 7月14日, 鉄鋼連盟

第4回 " " 9月16日, 鉄鋼連盟

第5回 " " 11月13日, 資源技術試験所

(2) 審議経過の概要

第1回会合では、この分科会の基本的な運営方針について自由討論を行ない、高炉によらない製鉄法の経済性、直接還元法技術の工業化に対する障害、外国特許、対象とする鉄鉱石の品位および粒度、還元に必要なエネルギー源、還元鉄(海綿鉄、ルッペまたは溶鉄)の用途などにつき活発な議論があつたが、とりあえず海外事情を精

* 鉄と鋼, 45 (1959) 10, 1187~1210

* 金属材料技術研究所, 新技術開発部会長, 理博

** 東京大学工学部, 直接還元法分科会主査, 工博

細に調査蒐集することをきめた。

第2回会合では、前回の趣旨にもとづき調査すべき諸方法の選択、調査結果の記載方式（後記第2表～第13表参照）および直接還元法ごとの調査分担委員をきめた。

第3回会合では、前回の申合わせによる各委員分担の調査結果を逐一報告し質疑応答を行なった。

第4回会合では、前記資料を「鉄と鋼」誌に掲載する際の分類方式を審議し、また外国特許につき小野委員および浜田委員から調査結果が報告された。前者は H-iron 法 (Texaco Development Corp.), Nu-iron 法 (U.S. Steel Corp.), R-N 法 (National Lead Co.) および溶剤添加の流動床還元法 (U.S. Steel Corp.) に関するもの、後者は Elektrokemisk 法 (F.C. Collin, Elektrokemisk A/S Oslo, Norway) に関するものである。なお、森棟委員は「低塩基度製鉄に関する 2, 3 の研究」と題しルッペ製造の基礎的な実験を報告するとともに、Krupp-Renn 法の文献を紹介した。

第5回会合では、前回までの調査資料に加え若干の追加資料が提出され、会誌投稿の最終的な形態をきめ、また内外特許については、「製鉄と同時に合成ガスを得るコークス炉ガスの利用法」(富士製鉄), 「砂鉄の製錬方法」(東北電気製鉄), 「酸化鉄鉱石の還元方法」(Inland Steel Co.) および「海綿鉄の製造装置」(上島大助) につき浜田委員が, Strategic-Udy 法 (Marvin J. Udy) につき安藤委員が資料を提出した。今回は、とくに資源技術試験所の好意により研究発表および現場見学があつて盛会であつた。その研究発表はつぎの二つである。田中稔:「二段流動炉による砂鉄の還元」、鈴木孝太郎:「砂鉄精鉱中のチタンの回収に関する研究」。なお、今後はわが国における直接還元法技術の発展推移および現状について調査することにきめた。

(3) 提出資料

以上の経過にともない分科会に提出された資料はつぎのごとし。

直還一1	第1回直接還元法分科会議事録	幹事
〃 一2	直接還元法調査表(案)	主査
〃 一3	鉄鉱直接還元法の最近文献目録(欧文) (A. Scortecchi 編)	鉄連
〃 一4	鉄鉱直接還元における最近の進歩(英文) (J. Astier 著)	鉄連
〃 一5	Krupp-Renn 法最近の発達(邦訳) (R. Mintrop 著)	鉄連
〃 一6	第2回直接還元法分科会議事録	幹事
〃 一7	Höganäs 法	佐藤委員

直還一8	Wiberg-Söderfors 法	中村委員
〃 一9	Basset 法	小菅 〃
〃 一10	Stürzelberg 法	〃 〃
〃 一11	Stelling 法	〃 〃
〃 一12	Nu-iron 法 (Shipley 法)	〃 〃
〃 一13	Krupp-Renn 法	浜田 〃
〃 一14	Elektrokemisk 法	〃 〃
〃 一15	Cyclosteel 法	大蔵幹事
〃 一16	Albert de SY 法	主査
〃 一17-1	Kalling (Avesta) 法	高野委員
〃 一17-2	Kalling (Domnarfvet) 法	〃 〃
〃 一18	Lubatti 法	〃 〃
〃 一19	H-iron 法 (Hydrocarbon Research 法)	小野 〃
〃 一20	Esso-Little 法	鉄連
〃 一21	Scortecchi 法	〃
〃 一22	R-N 法	知崎委員
〃 一23	Madaras 法	杉浦 〃
〃 一24	HyL 法 (Hojalaça y Lamina 法)	〃 〃
〃 一25	Cavanagh 法	三本木 〃
〃 一26	O.R.F. 法	〃 〃
〃 一27	Strategic-Udy 法	安藤 〃
〃 一28	TsMSS 法(仮称)	原 〃
〃 一29	フランツェビッチ・ラドムィセル スキー法(仮称)	〃 〃
〃 一30	TsNIICHM 法(仮称)	〃 〃
〃 一31	スリンスク法(仮称)	〃 〃
〃 一32	ワニューコフ・イワノフ法(仮称)	原 〃
〃 一33	鉄鉱直接還元法の主要文献英訳目録 (英米以外各国主要文献の英訳論文) (Henry Bratcher 集録)	鉄連
〃 一34	第3回直接還元法分科会議事録	幹事
〃 一35	低塩基度製鉄に関する 2, 3 の研究	森棟委員
〃 一36	Elektrokemisk 法関係特許	浜田 〃
〃 一37	直接還元鉄関係外国特許調査表	小野 〃
〃 一38	第4回直接還元法分科会議事録	幹事
〃 一39	二段流動炉による砂鉄の還元	田中 稔
〃 一40	砂鉄精鉱中のチタンの回収に 関する研究	鈴木孝太郎
〃 一41	鉄鉱石の直接還元—ヨーロッパ における最近の発展 (1958年世界 冶金会議資料)	小菅委員
〃 一42	Onia Novalfer 法	小野 〃

直還—43	Norsk-Staal 法	小野委員	れに準ずる一覧表にまとめた。
〃 —44	Lurgi-Galluser 法	〃 〃	(1) 生産段階にある直接還元法
〃 —45	Azincourt 法	〃 〃	作業原理によつて第1表のごとく分類する。ただし、
〃 —46	Finsider 法	〃 〃	実施地域は現況に限る。
〃 —47	新製鉄法と高炉操業との比較(訳) (G.J. McManus 著)	鉄連	これら諸方法の細部は第2表~第12表(添付図面参照) のごとし。
〃 —48	Mayari 鉄製造法調査	〃	第2表 H-iron 法(第1, 2図)
〃 —49	直接還元関係特許調査表	浜田委員	第3表 Basset 法(第3, 4図)
〃 —50	Strategic-Udy 法関係特許	安藤 〃	第4表 Stürzelberg 法(第5図)
〃 —51	第5回直接還元法分科会議事録	幹事	第5表 Krupp-Renn 法(第6, 7図)
			第6表 R-N 法(第8, 9図)
			第7表 Wiberg-Söderfors 法(第10図)
			第8表 HyL 法(第11, 12図)
			第9表 Höganäs 法(第13, 14図)
			第10表 Lubatti 法(第15, 16図)
			第11表 Strategic-Udy 法(第17, 18図)
			第12表 Elektrokemisk 法(第19, 20, 21図)

III. 直接還元法分科会の成果(中間報告)

この段階ではオリジナルな研究はここに再録せず、原著参照にとどめることとし、所期の目的達成への一階程として諸外国事情を総括することとした。その諸方法は流動床法、横型炉法、シャフト炉法、レトルト法および電気炉法などに分類できるが、このうち生産段階にあるものと試験段階にあるもの(パイロットプラントを含む)とを分離し、前者は H-iron 法他の 11 種に限つて所定調査方式による詳細な資料を添付するが、後者はそ

(2) 試験段階(パイロットプラントを含む)にある直接還元法

上記以外の諸方法は分類方式を前項にならつて第13表

第 1 表 生産段階にある直接還元法

原 理	エ ネ ル ギ ー 源		名 称	鉱 石		実 施 地 域
	還 元 剤	熱 源		品 位	粒度	
流 動 床 法	水 素 ガ ス	天然ガスまたは重油	H-iron 法	高 品 位	粉	ア メ リ カ
横 型 炉 法	コ ー ク ス	重油またはガス	Basset 法	硫酸滓他亜鉛、硫黄分の高い鉱石	粉	デ ン マ ー ク
		コークス、木炭、無煙炭またはタール油	Stürzelberg 法	硫酸滓他亜鉛、鉛、スズ、チタン分の高い低 SiO ₂ 鉱石	粒	ド イ ツ
	コークス、コーライト、無煙炭、コークス、木炭、無煙炭	微粉炭など	Krupp-Renn 法	低 品 位	粒	西ドイツ、チェコ、日本、スペイン
		天然ガス、重油	R-N 法	低 品 位	粒	ア メ リ カ
シャフト炉法	一酸化炭素と水素の混合ガス	コークスおよび LP ガス	Wiberg-Söderfors 法	高 品 位	塊または粒	スウェーデン、日本
レトルト法	一酸化炭素と水素の混合ガス	還元後の廃ガス	HyL 法	高 品 位	塊	メ キ シ コ
	粉コークス、石炭、木炭など	発生炉ガス、重油(還元剤の燃焼熱も利用する)	Höganäs 法	高 品 位	粉または粒	スウェーデン、アメリカ
電 気 炉 法	粉コークス、粉炭	電力(単相)	Lubatti 法	低 品 位	粉	イ タ リ ー
	瀝青炭、無煙炭、褐炭、泥炭、コークスなど	電力(3相)および電気炉廃ガス	Strategic-Udy 法	低 品 位	粉	カナダ、日本
	コークス、セミコークス、ガスコークス、瀝青炭、褐炭、無煙炭、木炭など	電力(単相)および電気炉廃ガス、天然ガス、C ガス、重油	Elektrokemisk 法	高 品 位	塊または粒	ノ ル ウ ェ ー

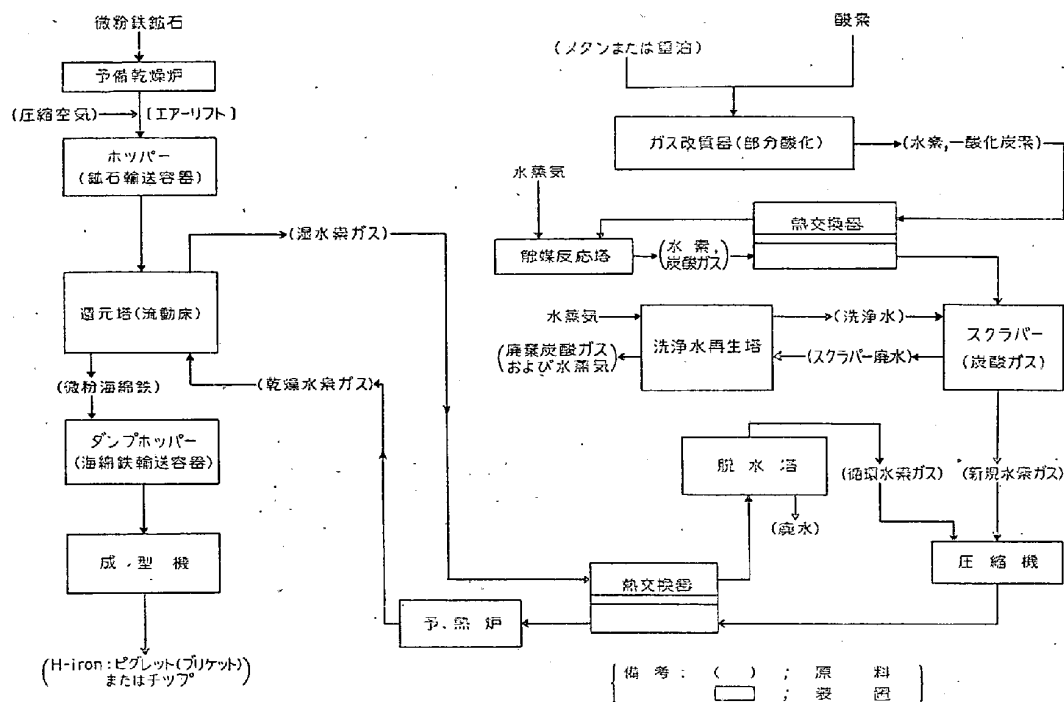
のごとし。

V. 結

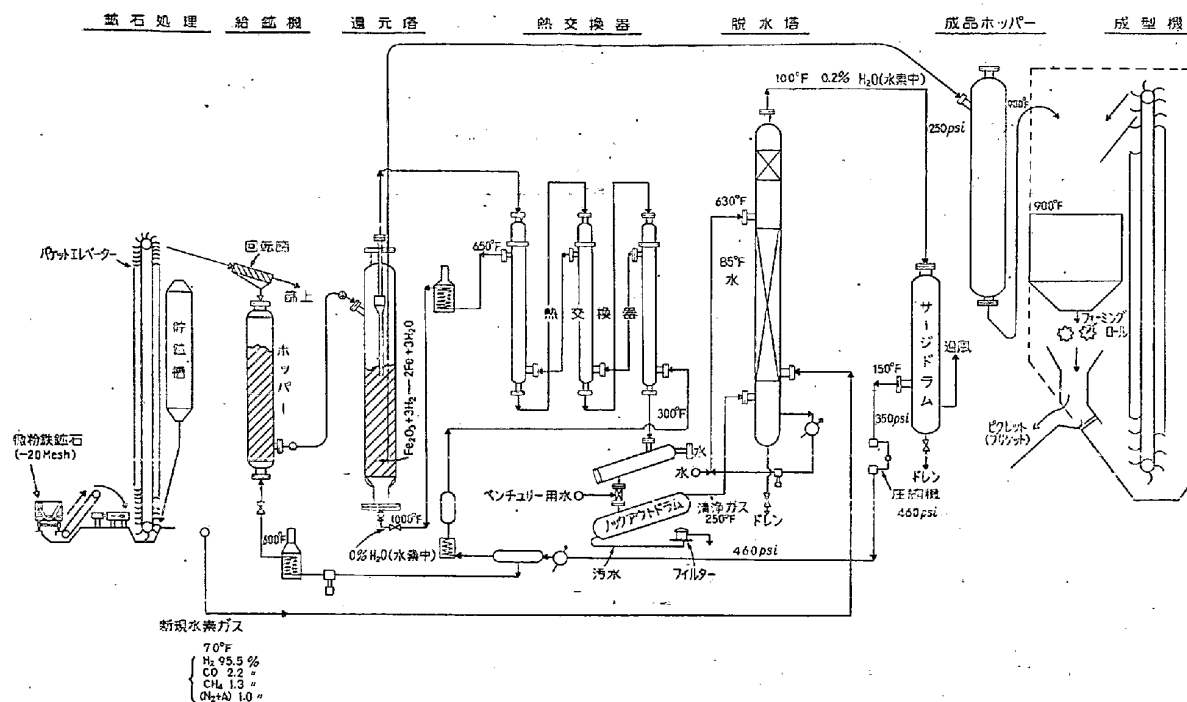
序に述べた本分科会所期の目的を達成するため、できるだけ広範かつ精細に内外資料を収集し共同の場において討論を進行させるべきであろうが、あくまでも鉄鋼情勢およびわが国の立地条件に則した方策をおたがいに

研究する気構えがもつとも大切なことと思う。なお、前記の分科会構成メンバーに記載されていないが、高見沢栄寿(鉄連)、浅井浩実(八幡製鉄)、喜多川武(富士製鉄)、鏑木俊郎(日本鋼管)、岡田厚正(千葉工業大学)および田中良平(東京工業大学)各氏には常時出席していただき多大のご尽力を得ている。ここで厚く謝意を表する。

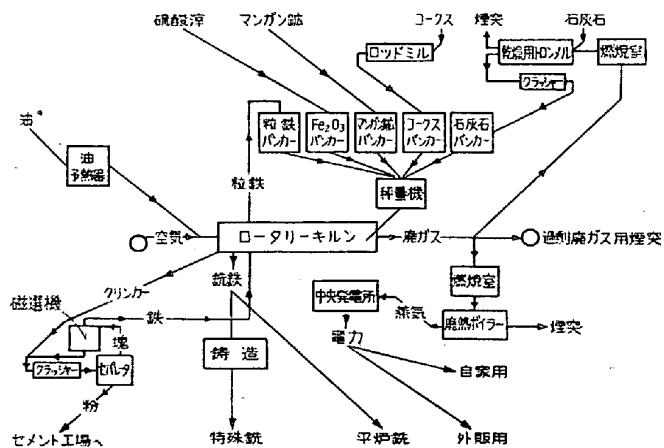
(昭和34年11月30日受理)



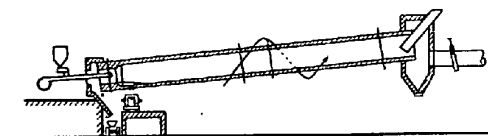
第1図 H-iron 法のフローシート



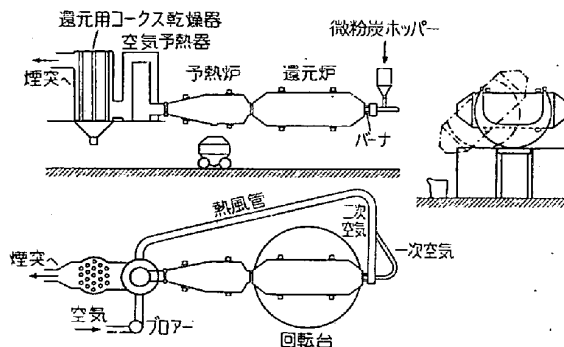
第2図 H-iron 法の製造工程



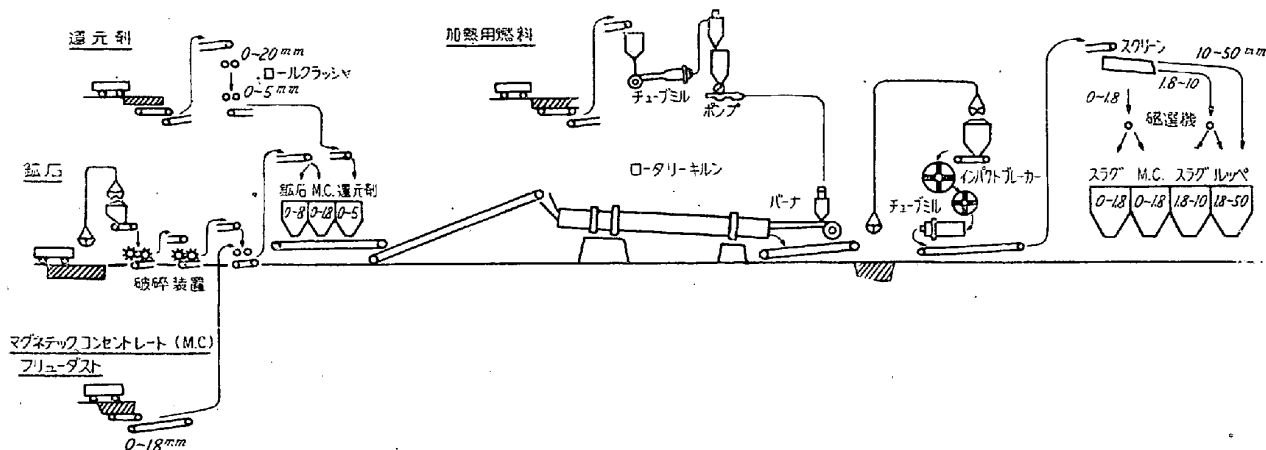
第 3 図 Basset 法のフローシート



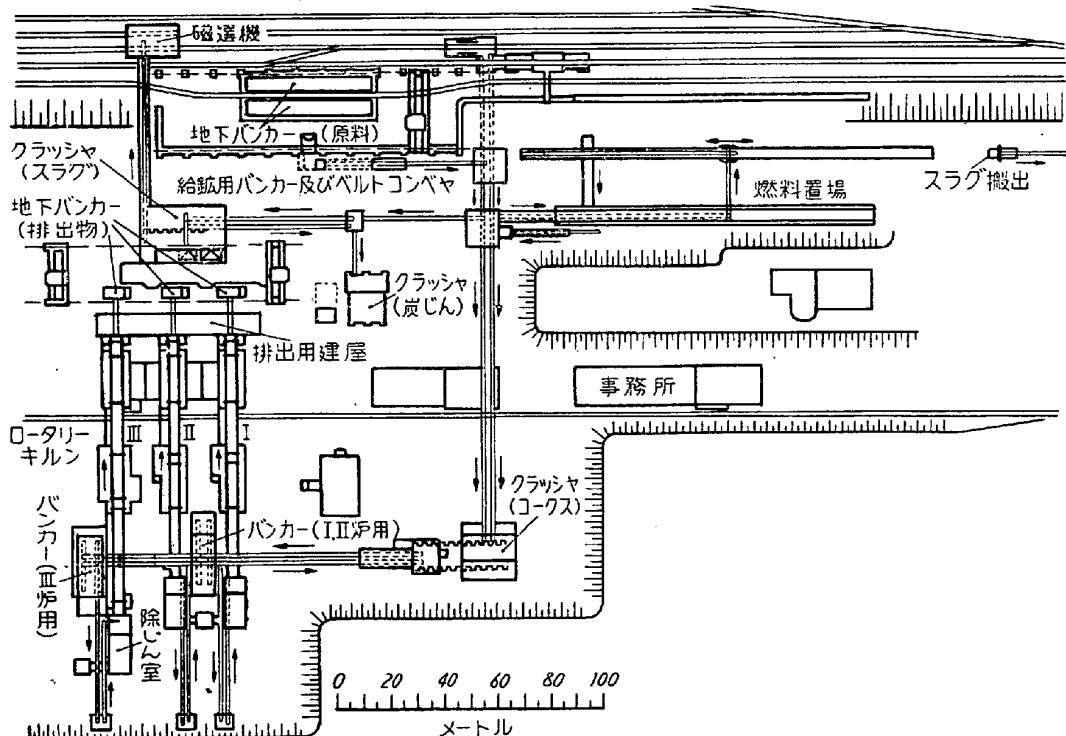
第 4 図 Basset 炉の縦断面



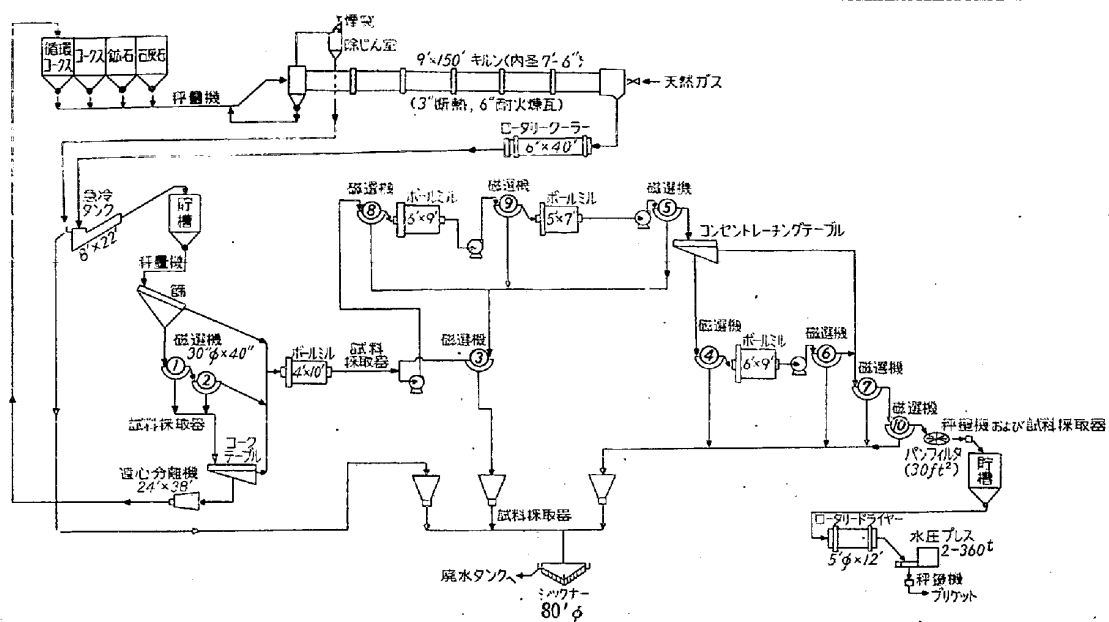
第 5 図 Stürzelberg 法の概要



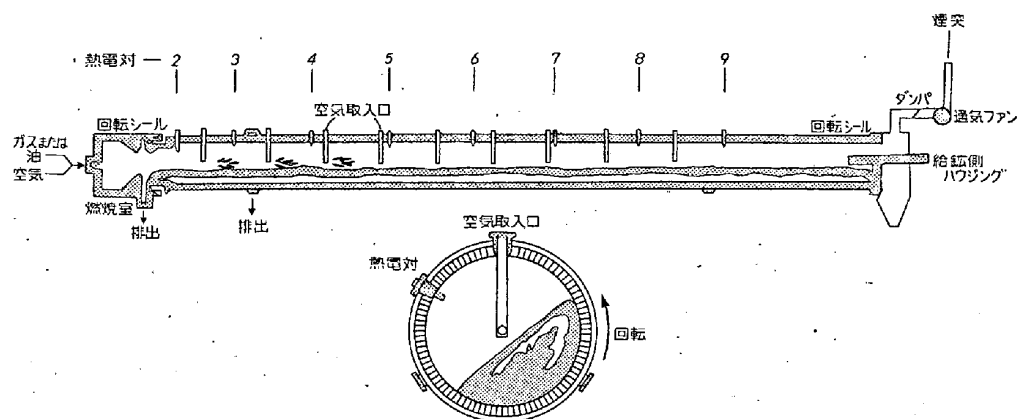
第 6 図 Krupp-Renn 法のフローシート



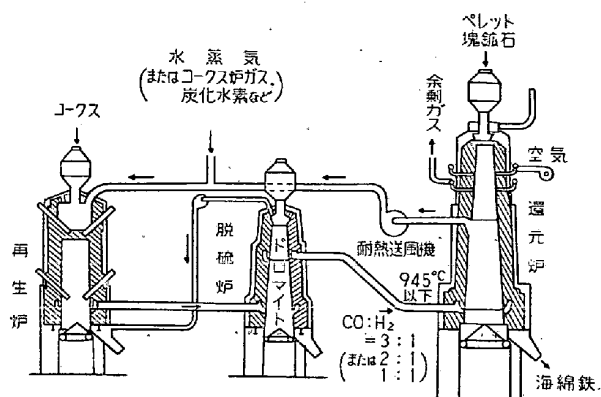
第 7 図 Krupp-Renn 法ロータリーキルン工場配置図



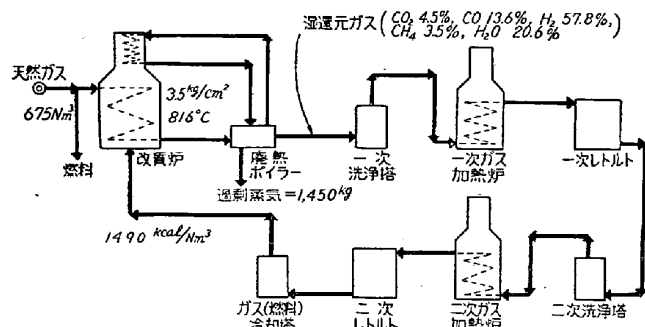
第8図 R-N法のフローシート



第9図 R-N 法ロータリーキルンの概要 (パイロットプラント)

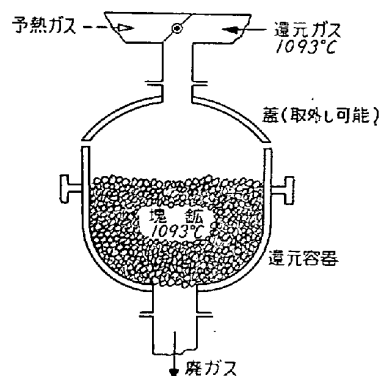


第10図 Wiberg-Söderfors 法のフローシート

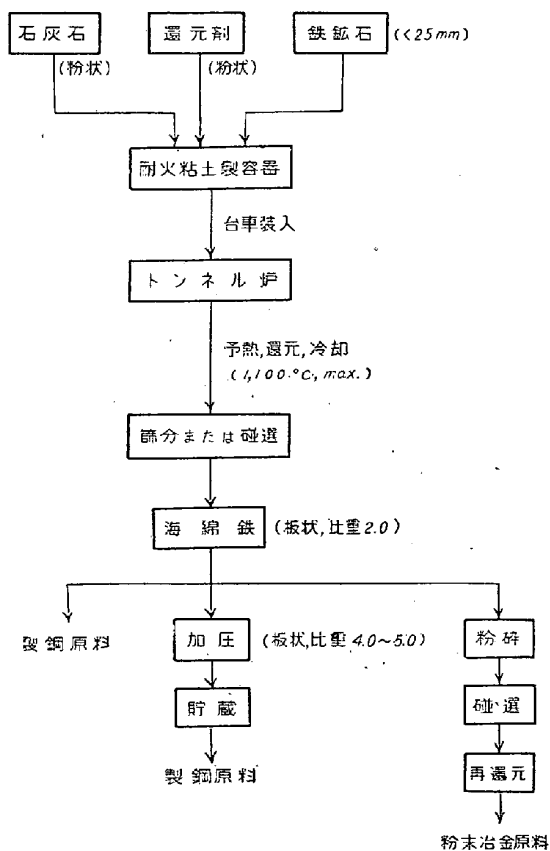


備考：図中の数字は海綿鉄も当ててある。

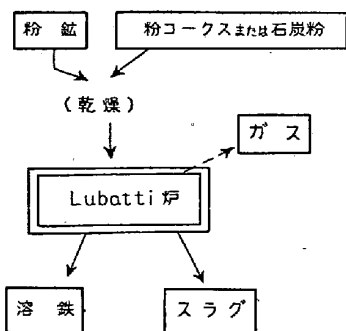
第11図 HyL 法の製造工程



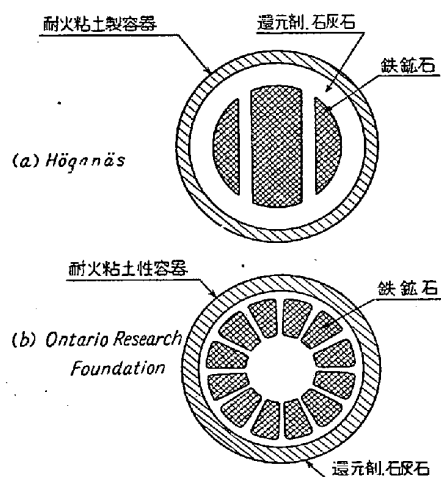
第12図 HyL 法のレトリト明細



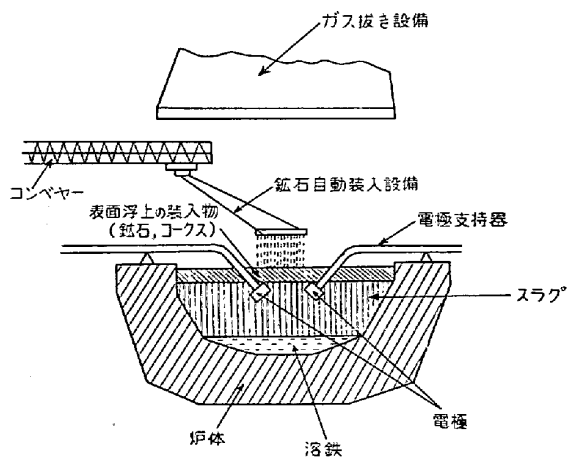
第13図 Höganäs 法のフローシート



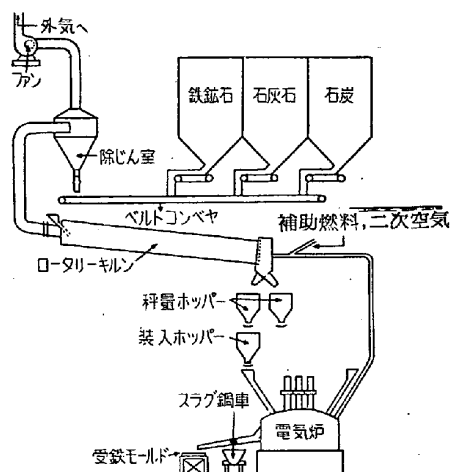
第15図 Lubatti 法のフローシート



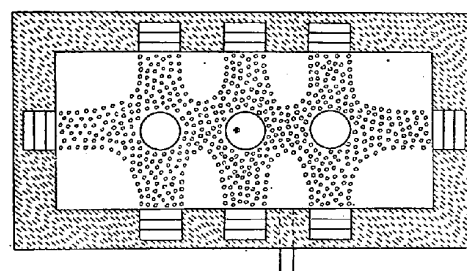
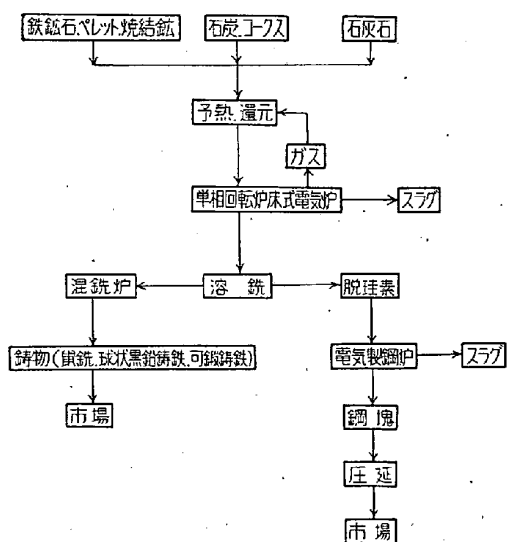
第14図 Höganäs 法還元容器内の鉄石装入法
(註) 加熱と還元は容器の側壁から中心部に向って進行するため、(b)に示す“バラ状装入”により、(a)に比べて1サイクルの時間を25%短縮することができる³⁾。



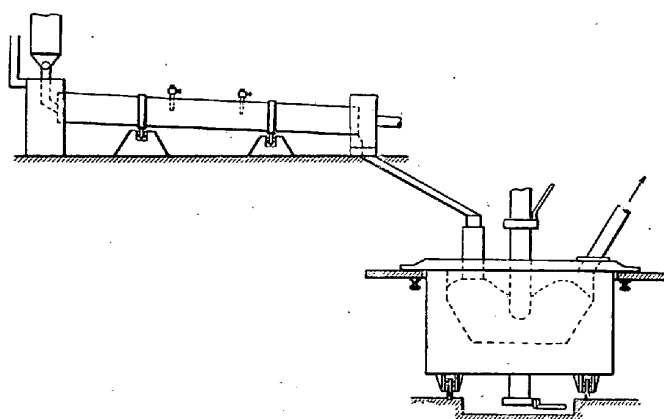
第16図 Lubatti 炉の概要



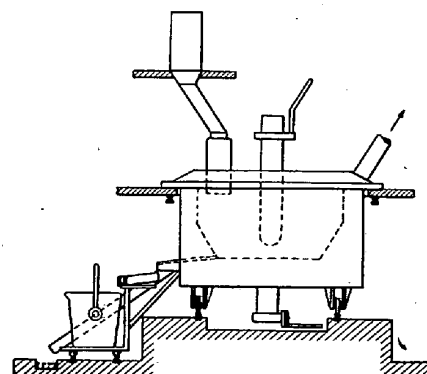
第17図 Strategic-Udy 法の製造工程

第18図 Strategic-Udy 法における
電気炉装入状況

第19図 Elektrokemisk 法のフローシート



第20図 Elektrokemisk 法の製造工程

第21図 Elektrokemisk 法に使用する
単相電気炉

第 2 表

H-iron 法 (Hydrocarbon Research 法)

粉状鉄鉱石を予熱乾燥後流動床中で水素ガスにより還元し得られた鉄粉を加工成型する。此の場合還元塔には数段の流動床を利用しバッチ式の操業を行なう。また、原料から成品までの工程中には稠密相の輸送方法を利用している。

還元用水素ガスは還元塔に入る前では 460 psi (32.3 kg/cm²), 1,000° F (537° C) とされ、反応後の湿ガスは 400 psi (28.1 kg/cm²), 900° F (482° C) になっている。この水素ガスは再び脱水塔を通つて圧縮昇圧および加熱後還元塔に入るように循環系統をとつており、消費される水素は Texaco Development Corp. の部分酸化法 (CH₄+1/2O₂→CO+2H₂) を利用して天然ガス (または石油化学工業からのガスまたは重油) から得ている。

Trenton N. J. のパイロットプラント: 5 t/d, Allan Wood Steel Co. で建設中のもの: 50 t/d
原単位については 2,200 short t/d 工場を建設する時の見積り高試算の (A) 表および (B) 表参照。

所要熱量は {重油利用の場 合} : (4.72×10⁶ kcal/t (成品)) {天然ガス利用の場 合} : (3.66×10⁶ kcal/t (成品)) (文献 1)

{重油利用の場 合} \$ 24,000,000 (8,640,000,000 円) 設備費評価
{天然ガス利用の場 合} \$ 23,000,000 (8,280,000,000 円)

{重油利用の場 合} \$ 13.32 (4,795 円 20 銭) 保守費も込) 評価
{天然ガス利用の場 合} \$ 6.13 (2,206 円 80 銭) 製造費 (みと考える) 評価

明細は (B) および (C) 表 (文献 1) 参照。

ロータリーキルンまたはシャフト炉で乾燥、予熱する。場合によつては分級、篩分する。

高品位鉄に適用 (用途参照)。ベネゼラ鉄石は適する (文献 2)。

20~325 mesh が適正 (文献 2), 8 mesh 以下でよい (文献 1)。したがつて工業的には一応 -8 mesh でよいと考えられる。

水素ガス

天然ガスまたは重油

87~92% Fe

ピグレットまたはブリケット

高品位鉄石を原料とした場合は鉄屑の代用となる。

パイロットプラント: Trenton N. J., U. S. A.
鉄石: 高品位鉄入手容易
{燃料および還元剤: 天然ガスが豊富で安価, または石油工業からの水素
ガスが容易に入手可能}

石油化学工業において Texaco Development Corp. が部分酸化法に成功しそれを Hydrocarbon Research が利用して水素ガスの製造利用のために Bethlehem Steel Co. と協力してパイロットプラントを建てたものである。したがつて 1953 年以来 5 t/d の工場を稼働させた。現在では Allan Wood Steel Co. が建設中。

特許: No. 232385, May 25, 1957; U. S. Jan. 14, 1953; フランス No. 1091390, 1147343

現状では試験工場のみ稼働したていで現業には工業化の計画を立てたところであり、大量生産をして経済的に成り立ちか否かは原料、燃料および還元剤の点でまだ高炉による方法に比べては不利であるとわれている。

(1) A. M. Squires and C. A. Johnson: J. Metals, April (1957), pp. 586~596

(2) P. M. Unterweiser: Iron Age, July 12, (1956), p. 71

第2表 (B表) H-iron 2,200 short t/d 計画の原単位および設備費評価
——部分酸化法によつて重油および天然ガスから水素ガスを取得する場合の比較——

工場想定地	東部海岸	テキサス
使用燃料量	重油	天然ガス
同上発熱量	11・28×10 ⁶ kcal/m ³	8,544 kcal/m ³
水素発生用燃料/日	436 m ³ /d	49,551 m ³ /d
加熱用燃料/日	484 m ³ /d	32,562 m ³ /d
動力用燃料/日		12,006 m ³ /d
日間所要燃料合計	920 m ³ /d	94,119 m ³ /d
同上還元鉄トン当り熱量	4・72×10 ⁶ kcal	3・66×10 ⁶ kcal
電解水(海水)	330,000 kWh/d	- 220,800 kWh/d
(一度使用して後廃棄す)	104,030 l/mn	
冷却塔の補給水	2,953 l/mn	9,464 l/mn
浄水	1,098 l/mn	227 l/mn
労務費	1交代番当り 20名	1交代番当り 20名
設備費	\$ 24×10 ⁶	\$ 23×10 ⁶
コンプレッサの駆動	(86・4×10 ⁸ 円)	(82・8×10 ⁸ 円)
	蒸気エンジン	ガスエンジン

第2表 (C表) H-iron 2,200 short t/d 計画の原価試算表

——還元鉄 1 short t 当りの試算——

工場想定地	東部海岸	テキサス
使用燃料	重油 (A)	天然ガス (B)
同上単価	\$ 3・08/bbl (8,137円 /m ³)	20¢/10 ³ ft ³ (2円54/m ³)
直接操業費	\$ 13・32 (5,285円64/t)	\$ 6・13 (2,432円51/t)
年に10%の償却費	\$ 3・12 (1,238円08/t)	\$ 2・99 (1,186円49/t)
年に15%の利益	\$ 4・67 (1,853円15/t)	\$ 4・48 (1,777円75/t)
鉱石費に加算される H-iron 製造費合計	\$ 21・11 (8,376円87/t)	\$ 13・60 (5,396円75/t)

労力は man-h 当り \$ 2・75 (986円40) 監督費は直接労力の 25%
電力代は kWh 当り \$ 0・008 (3円20)
(註) short t 当りの価格の円換算値は metric t 当りに換算してある。

第2表 (A表) H-iron 水素製造の原価

水素源として使用した物質	水素源の物質の単価		水素製造原価 1000ft ³ H ₂ 当り
	ドル	円換算	
重油(A)	\$ 3・08/bbl	8,137円36/m ³	\$ 0・36
重油(B)	\$ 2・10/bbl	5,548円20/m ³	\$ 0・27
天然ガス(A)	45¢/10 ³ ft ³	5円72/m ³	\$ 0・30
天然ガス(B)	20¢/10 ³ ft ³	2円54/m ³	\$ 0・17
瀝青炭	\$ 7/short t	2,778円/met. t	\$ 0・25

水素源として使用した物質	水素製造原価		赤鉄鉱トン当り所要 還元水素の価格
	1m ³ H ₂ 当り	23,000 ft ³ /short t	
重油(A)	4円58	\$ 8・28	3,285円67
重油(B)	3円43	\$ 6・21	2,464円25
天然ガス(A)	3円81	\$ 6・90	2,738円05
天然ガス(B)	2円16	\$ 3・91	1,551円57
瀝青炭	3円18	\$ 5・75	2,281円72

(註) 水素源として使用した物質とその単価によつて水素の製造原価がいくらになるかを試算した表である。

第 3 表

名 称		Basset 法	
原 理	機 構	ロータリーキルンを用い溶融状の銑鉄とセメントクリンカーを製造する。	
	操 業 条 件	ロータリーキルン内で高塩基性スラグ (CaO/SiO ₂ ≒3) の存在において還元温度を 1300°C に保ち還元溶融を行なう。	
能力 お よ び 原 単 位		100 t/d (炉 2 基, 炉長 35 m および 50 m),	鉄 銑 石 (硫酸洋 T. Fe 67%) 1550 kg/t 粉 コークス (T. C 80%, 灰分 10%) 650 kg/t 石 灰 石 (CaO 54%, SiO ₂ 2%) 355 kg/t 燃 料 油 (9,600 kcal/kg) 350 kg/t
経 費	建 設 費		
	生 産 費		
	保 守 費		
原 料	銑 予 備 処 理		
	石 品 粒 度	硫酸洋, 亜鉛回収屑銑石, 含高硫黄銑石など。	
	還 元 剤	粉 コークス	
	燃 料	燃料油またはガス燃料	
成 品	品 位	C 4.2~4.6%, <0.1%, 0.8~4.5%, 0.1~0.2%, <0.01%	S
	形 態	溶 融 状	
	製 鋼 原 料	製 鋼 用 銑	
用 途		そ の 他	
実施国名 および立地条件		デンマーク, 硫黄分や亜鉛分の高い銑石を処理するに適している。	
由 来 お よ び 現 況		1920 年 11 月 30 日 Basset Lucien Paul により特許*が取られ, スペイン, フランス, ポルトガル, 日本およびデンマークで試験された。1939 年以來 Aalborg (Denmark) の F. L. Smith Co. の工場 (100 t/d) で工業的に実施されて来た。	
備 考		脱硫率がきわめて高い。	
文 献	献	(1) 浅井, 金森訳: “デュラー, 銑の製錬” (1955) 丸善	
		(2) “Procedures of Direct Iron Reduction”, European Coal and Steel Company High Authority, Doc. No. 5691/1/58 f, June (1955)	

* (No. 1360711 Nov. 30, 1920)
(No. 1419801 June 13, 1922)
(No. 1435686 Nov. 14, 1922)
(No. 1534051 April 21, 1925)

第 4 表

名 称		Stürzelberg 法	
機 構	操 業 条 件	ロータリーキルンを用い溶融状の銑鉄を製造する。 内壁をターブルドロマイトで 350mm 厚さにスタンプしたロータリーキルンを用い炉内のガス温度を 1300~1400°C に保ち還元溶融を行なう。この際のスラグ塩基度 CaO/SiO_2 は使用鉱石の種類により酸性より塩基性まで変化する可能性がある。	
	能力および原単位	30~45 t/d (炉長 13 m, 径 4.2 m), 240 t/d (炉 4 基): \$ 3,500,000 ⁽¹⁾	還元用 コークス粉 980 kg/t 燃料用 コークス粉 680 kg/t 鉄鉱石 (Fe 67%, SiO_2 4%) 1,540 kg/t ⁽²⁾ 還元用 コークス粉 700 kg/t 燃料用 木炭粉 600 kg/t 鉄鉱石 (硫酸滓)
経 費	建 設 費		
	生 産 費		
原 料	保 守 費		
	銑 石	粉銑石は焼結する。	
	予 備 処 理	硫酸滓または亜鉛, 鉛, スズ, チタンを含むが鉄分の高い (SiO_2 の低い) 銑石	
	品 位	8~15 mm	
成 品	還 元 剤	コークス粉	
	燃 料	コークス粉, 木炭粉, 無煙炭, タール油	
	品 位	C Si Mn P S 4.4~4.8%, 0.015%, 0.2~0.4%, 0.01~0.03%, <0.010%	
	形 態	溶 融 状	
用 途	製 鋼 原 料	製 鋼 用 銑	
	そ の 他		
実施国名および立地条件		ドイツ, 低品位の燃料が豊富かつ安価に得られ, また亜鉛, 鉛, スズ, チタンを含んでいるが鉄分の高い銑石に適す。	
由 来 お よ び 現 況		1935 年頃 Düsseldorf の Stürzelberg で F. Enelenstein と A. Krus により研究され Sachtleben 社で実施された。	
備 考	考 慮	本法は多量の燃料を要する欠点があるが脱硫率がきわめて高い特徴を有す。また酸性スラグによるとチタンの還元を痕跡でいどにすることができる。	
文 献		(1) M. Astier: "Non-standard process of iron ore reduction application to French ores", S. I. M. Metallurgical Documentation, April 5 (1956), pp. 75~96 (2) R. Durrer: Verhütten von Eisenerzen, (1954), Verlag Stahleisen, m. b. H., Düsseldorf	

第 5 表

Krupp-Renn 法

ロータリーキルンに原料鉄石、固体還元剤、要すれば溶剤を装入し、一端より加熱して直接還元で生じた海溶鉄を熔岩凝集してルッペとする。スラグとルッペの混合した排出物は冷却後粉砕磁選によつてそれぞれに分離する。

キルン内の反応:

反応帯 全長
に對する比
20%

予熱帯
還元帯

ルッペ帯

温度

450~500°C

600~1,100

1,200~1,300

主 反 応

乾燥予熱

$2\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{C} = 4\text{Fe} + 6\text{CO}$

$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{CO} = 2\text{Fe} + 3\text{CO}_2$

$2\text{CO} + \text{O}_2 = 2\text{CO}_2$

装入物表面: $\text{M:Fe} + \text{O}_2 \rightarrow \text{FeO} + \text{ルッペ}$

装入物内部: $2\text{FeO} + \text{C} \rightarrow 2\text{Fe} + \text{CO}$

○キルンの鉄石処理能力

径 3.0 3.6 4.2 4.6 5.6

長さ 50~70 70~90 90~110 110~130 130~150

能力 鉄石 t/d 200~225 400~450 650~750 900~1,000 1,400~1,500

○原単位

鉄石 粉コークス 燃 料 電 力

推定 (鉄石Fe 60%の場合)⁽¹⁾ 500~600 kg 75~100 kg 50~80 kWh 1.5~4.0

Watenstedt⁽²⁾ 356 kg 232 75

○建設費 (鉄石 Fe 50%)⁽¹⁾

ルッペ t-y 当り \$ 20~30 (7,200~10,800 円)

処理鉄 t-y 当り \$ 6~9 (2,160~3,240 円)

Watenstedt⁽³⁾ 処理鉄 t-y 当り 1,600 円

総建設費 32,450 × 10³ D. M. (27.8 億円) (75 m キルン3基)

塊鉄は破砕して下記粒度とする。

鉄分があまり高いと経済的ではない。平常操業で上限はFe 50%

褐鉄鉄 - 20mm, 赤鉄鉄 - 15mm, 磁鉄鉄 - 6mm

粉コークス, 褐炭コークス, 無煙炭, 低溫コークスなどを使用, 粒度 0~5mm

微粉炭など。

88~97% Fe

粒状鉄, 粒度は 1.5~50mm であるが大部分は 3~8mm

鉄屑代用または特殊溶解用として電気炉および平炉に装入する。

鉄屑として高炉に直接装入する。焼結原料に混合することもある。

西ドイツ: Peine Salzgitter 鉄床などの酸性鉄石を対象とする, チェッコ: 酸性鉄石 (Fe 28%, SiO₂ 25%) を使用, 日本:

山砂鉄 (高硅酸), 浜砂鉄および高炉ダスト使用 (川崎製鉄久慈工場), またニッケル精錬を行なっている, スペイン

Dr. F. Johansson が 1931 年ドイツ Magdeburg において Waelz 法からヒントを得て発明した。1952 年現在 18 基が建設

中であった。Watenstedt の再建は 1957 年完成し, 現在 1 基増設中。また Essen Borbeck にキルン 6 基よりなる新工場建設

中である (ルッペ年産 400,000 t)。上記の実施国はいずれも操業中。なお, 銅転炉スラグの脱亜鉛法に適用する考え方もある。

○特色 1. SiO₂ が高く選鉄不可能な鉄石を処理し得る。 2. 還元剤, 燃料に良質なものが必要としない。 3. 鉄の歩留が高い。

(1) 国連エスラ資料 E/CN.12/293/Rev. 1/Add. 1, ST/TAA/Ser. C16/Add. 1, 国連資料 E/ECE/238, E/ECE/STEEL/102

(2) Stahl u. Eisen, (1958) Heft 12, SS. 784~792

機 構

操 業 条 件

原 理

能 力 お よ び 原 単 位

建 設 費

生 産 費

保 守 費

鉄 石 還 原

原 料

成 品

用 途

実 施 国 名 お よ び 立 地 条 件

由 来 お よ び 現 況

備 考

文 献

第 6 表

R-N 法

ロータリーキルンにて鉄鉱石を直接還元する。排出物は残存コークスと分離後粉碎、磁選を繰り返し得られた還元鉄をブリケットにする。

各種鉄鉱石を多量のコークスおよび少量の石灰石と共にロータリーキルンに装入する。反対側からガスまたは重油により 980℃、180℃ (鉱石の性状により異なる) に加熱し、溶融点以下の温度で還元を行なう。キルンの全長にわたって取りつてある空気取入口から適当に二次空気を送り炉内温度および雰囲気調節する。

175 t (鉱石)/d (パイロットプラント 1.5 mφ×46 m L. Southern Clinton 鉱石の場合)。原単位 (Mineville 精鉱, Fe 69% を原料とした場合) ブリケット t 当り, 鉱石比 1.59, コークス 550 kg, ドロマイト 75 kg, 電力 351 kWh, 天然ガス 290 m³ (所要熱量 2.6×10⁶ kcal)

生産費基礎資料:

年間能力	ブリケット 400,000 t	生産費基礎資料:	燃料×10 ⁶ kcal	2.3	成 型	79円
直接設備費	5,071,320,000円	鉱石, Fe%	34.9	2.3	保守資材および人件費	698円
その他直接費	332,640,000	鉱石中の水分%	4.0	127	研究費	72円
間 接 費	1,567,080,000	鉱石, t	2.823	3.38	直接人件費 Man-h	0.416
		コークスの C, t	0.468	76円	管理費 Man-h	0.065
合 計	6,971,040,000円	石 灰 石	0.139	72	尾鉱および廃棄 t	1.601

破碎, 分級する。微粉はボールにする。

20~70% Fe の各種鉄鉱石にて試験されている。

-25 mm

ブリーズ, コークス, 木炭, 粉炭, 無煙粉炭など。粒度 -3 mm, 装入コークスの約 75% は繰り返し使用する。

天然ガス, 重油

T. Fe 90%, M. Fe 86%, SiO₂ 2.6, Al₂O₃ 0.8, CaO 2.4, MgO 0.008, Mn 0.08, P 0.04, S 0.03
(原鉱 Clinton 鉄石 Fe 34.9, SiO₂ 36.8, Al₂O₃ 3.2, CaO 7.6, MgO 0.4, Mn 0.2, S 0.06, P 0.3)

ブリケット (1.9 kg 以上)

鉄屑代用として平炉または電気炉に使用する。

U. S. A, 1. アメリカに大量に存在する低品位非磁性鉄の処理 2. パイロットプラントは Red Mountain の低品位赤鉄鉱および含チタン Adirondack 精鉱の処理を対象として設置した。

National Lead Co. 系の Titan Co. (ノルウェー) でイルメナイトからフェロチタンを製造したのはじまる。1943~46 年 Rana 鉄石 (ノルウェー) で実験が行なわれ, 成出品位 T. Fe 80~85%, 1949~50 年 North Sunderland Orano 鉄石を対象としてパイロットプラントができた。1953 年 Republic Steel Corp. と National Lead Co. とが共同研究をはじめパイロットプラント (ノルウェー) ヘアメリカから低品位鉄 2,000 t (1/2 ヘマタイト, 1/2 非磁性タコナイト) とコークス 500 t を送り試験した (成出品位 T. Fe 85%)。1954 年 Birmingham (Alabama) の近くの Spaulding 鉱山にパイロットプラントをつくった。現在までに各種品位の鉄石 14 0,000 t 以上を処理した。特許: U. S. Jan. 9, 1956

非溶融還元であるから鉄に結びつく不純物が少なく, ブリケット中に含まれる少量の不純物は大部分酸化物の形であり製鋼炉で容易にスラッグ化する。我国にも輸入され鉄屑としての効果を試験中である。

Society of Mining Engineers of AIME—(1) The R-N Rotary Kiln Process for Reduction of Iron Ore, (2) Beneficiation of Low Grade Iron Ores Involving Direct Reduction, (3) Reduction of High-Grade Port Henry Magnetite Concentrate, (4) Beneficiation of Iron Ores High in P & S, (5) R-N Direct Reduction Process (J. Metals, July, 1958), (6) Direct Reduction is Closer (Steel, March 17, 1958), (7) Rotary Kiln Enters Iron-ore-Reduction Race (Chemical Eng., May 5, 1958)

名 称

機 構

原 理

操 業 条 件

能力 および 原 単 位

建 設 費

生 産 費

保 守 費

予 備 処 理

鉄 石

原 料

還 元 剤

燃 料

成 品

形 態

製 鋼 原 料

実 施 国 名 および 立 地 条 件

由 来 および 現 況

備 考

文 献

第 7 表

Wiberg-Söderfors 法

名 称	機 構	たて型炉による塊状鉄鉱石 (含ペレット) のガス還元
原 理	操 業 条 件	いずれもたて型の還元炉、脱硫炉、再生炉の3者が1単位である。950°C以内の一酸化炭素と水素の混合ガス (水素ガスは50%以下) が還元炉の下部より送られ、主還元帯で降下中の鉱石を還元しつつ上昇し、その約2/3は炉中腹より耐熱送風機によつて再生炉に送られ、残余は上昇して予熱帯に吹込まれた空気に合流して燃焼 (約1,000°C) し炉頂より放出される。再生炉はコークスを充填し、3相2段電極による抵抗熱により再生を行なう。脱硫炉はドロマイトを充填する。煉瓦組成については不明。鉄鉱石品位は T. Fe 66% 以上。
能 力	お よ び 原 単 位	1 基の最高能力 (現存) は約 60 t/d. 原単位 (海綿鉄 t 当り): 鉄鉱石 1.35 t, コークス 0.115 t, LP ガス 0.05 t, 電力 900 kWh, 電極 1.5 kg, ドロマイト 0.08 t
建 設	費	10,000 t/y の場合 309,600,000 円, 30,000 t/y の場合 504,000,000 円
経 費	生 産 費	鉄石 7,560 円, 焼結費 1,750 円, コークス 1,449 円, LP ガス 1,575 円, 電力 3,150 円, 電極 178.5 円, ドロマイト 140 円, 人件費 535.5 円 (t 当り)
保 守	費	5,000 円 (t 当り)
予 備 処 理	鉄 石	徹底的に還元するが、必要あれば硝酸あるいは硝酸+硫酸水溶液にて脱磷する。
原 料	石 粒 度	T. Fe 66% 以上, P および S 0.02% 以下
還 元 剤		30 mmφ 標準
燃 料		鉄石の還元は一酸化炭素と水素の混合ガス, ガスの再生はコークス
成 品	品 位	コークスおよび LP ガス (水素源を主目的)
用 途	形 態	T. Fe 86~90%, M. Fe 75~80%, P および S 0.03% 以下
製 鋼 原 料	そ の 他	主としてペレット状 (とくにプレス成型は行なわれていない)。
実 施 国 名 お よ び 立 地 条 件		電気炉および平炉に通常約 30% ていど装入 (ただし、それ以上の配合でも可能) する。
由 来 お よ び 現 況		スウェーデンで稼働中 (5カ所)。日本、満洲でも実施の例があるが、現在磷化学 (富山) で試験的に操業されている。
備 考		発明者: Martin Wiberg, スウェーデン特許 1918 年 7 月 23 日, イギリス特許 1920 年 12 月 2 日, 初期工業化設備は 1941 年 Söderfors に建設された。
文 献		日本特許: 調査未完 (とくに不明な点は戦時特別措置令関係のもの), 装置については上島大助氏より特許出願中。 熱効率の良好な点特徴, 脱磷は予備処理において, 脱硫はドロマイト脱硫炉において行なう。 電力費の占める割合が比較的大きい。鉄石は予備処理により高品位にできることが必要である。炉内粘結によるハンギングが欠点, 高還元率のものは得られない。 (1) イギリス: Patent Specification, 130334 (1920), (2) H. Kihlander: Jernkontorets Annaler, 142, 3 (1958) 93, (3) M. Wiberg: Jernkontorets Annaler, 142, 6 (1958) 289, その他きわめて多数。

第 8 表

Hyl 法 (Hojalata y Lamina 法)

名 称	機 構	高品位塊鉄をレトルト還元器に入れ、天然ガスの蒸気改質によつて製造された水素と一酸化炭素の混合ガスによつてバッチ式に還元する。	
		原 理	構造
能 力	換 条 件	還元は還元器内で行なう。還元温度は $871\sim 1038^{\circ}\text{C}$ ($1600\sim 1900^{\circ}\text{F}$)、全還元時間は 5h (うち 1h は装入、排出) である。Madaras 法 (第 13 表参照) を一部改良した方法であつて、Madaras 法のガス脈動用の弁は高温では問題が多いためガスは脈動させない。還元終了後低温で天然ガスを $10\sim 15\text{ mm}$ 間通し海綿鉄中の炭素量を調節する。	
	およ び 原 単 位	還元器の容量は鉄石 15t (Hojalata y Lamina には 5 基あつて成品 200t/d)	
経 費	建 設 費	成品 t 当り天然ガス所要量 595 m^3 ($21,000\text{ ft}^3$)、将来は 482 m^3 ($17,000\text{ ft}^3$) になる予想、動力 70kVA	
	生 産 費	成品年産 t 当り $10,440\sim 10,800$ 円 ($\$ 29\sim 30$)、日産 500t で $19\sim 20$ 億円 ($\$ 529\sim 548\times 10^4$)	
原 料	保 守 費	天然ガス 595 m^3 、動力 70kVA、作業員: 5 基、200t/d に対し 1 交代 8 人	
	予 備 処 理	炉殻の補修、維持費は過大ではない。	
成 品	鉄 石	破砕し $6.4\sim 63.5\text{ mm}$ ($1/4\sim 2 1/2''$) とする。	
	還 元 剤	高品位の塊鉄、焼結鉄、ペレットを使用する。Pihaumo 鉄石の例: T. Fe 66, 酸不溶分 4, Al_2O_3 0.2, CaO 0.5, P 0.2, S 0.2% $6.4\sim 63.5\text{ mm}$ ($1/4\sim 2 1/2''$)、 6.4 mm 以下を 20% 以上含む鉄石はそのままでは使用できない。	
用 途	製 鋼 原 料	天然ガスを予熱脱硫し、改質炉で塊鉄を用いて水蒸気と反応させ水素と一酸化炭素とに改質する。洗浄塔で水分を除去した後、加熱炉で廃ガスによつて加熱し、一次還元器に入る。還元器を出たガスは再び洗浄して水分を除去した後加熱して二次還元器に入る。還元ガスは循環させない。還元ガス組成: H_2 73.1, CO 16.3, CO_2 6.6, CH_4 4.0%	
	燃 料	改質炉、加熱炉ともに還元の際ガスを使用する。	
そ の 他	海 綿 鉄	T. Fe 91.0, M. Fe 85.4, C 0.4, S 0.014, 酸不溶分 6.0% (経済的理由から 90% の還元率でとどめる)	
	成 品 形	成品は還元炉からパケットに移し、汽車で電気製鋼炉まで運び最高 649°C ($1,200^{\circ}\text{F}$) で装入する。電気製鋼炉は Lectromelt 型 45t 1 基、75t 2 基。成品の 80% は低炭素、深絞り鋼で C<0.08, Si<0.01, Mn 0.30~0.45, P<0.020, S<0.045, Cu<0.022, Ni<0.06%。鋼屑を海綿鉄に代えることによりとくに Cu, Ni による不良が減少する。海綿鉄の装入割合は 100% まで可能だが、現在は 50%、将来 75% まで増す予定。	
実 施 国 名 お よ び 立 地 条 件	製 鋼 原 料	海綿鉄は密度、電気伝導度が小さいから、鋼屑を少量炉底に装入し、つぎに海綿鉄の全量を炉壁に沿つて高く、中央部は低く装入して $3\sim 5\text{ mm}$ 間 30% 程度の負荷でスタートし、温度上昇とともに電流を増し、底部から上部へと溶解する。溶解までの所要時間は鋼屑の場合と同等溶解後生成した酸性スラグを排出し、鋼屑の残りとして石灰を装入し、以下普通の溶解法を行なう。75t 炉で 1 昼夜に 4.5 回溶解 (鋼屑の場合と同様)。溶落炭素を 0.15~0.25% にする必要があるが、炭素の高い海綿鉄および鉄鉄の使用により調整する。	
	そ の 他	石灰の使用量は鋼屑の場合の鋼 t 当り 68kg から海綿鉄 50% の使用によつて 75kg に増加する。海綿鉄中には 6% の脈石が含まれていて、緻密な装入が可能で、かつ電極の間隔も完全に扱われるから、電力消費も均一でその増加も僅少である。	
メキシコ、天然ガスおよび高品位鉄の産地が有利。			
由 来 お よ び 現 況	メキシコ、Monterrey にある Hojalata y Lamina 製鋼所では 1953 年海綿鉄製造のためにトンネルキルン、Madaras 法等の試験を行なつたが結果が不満足であつた。3 年間の研究の後 Madaras 法の改良ともいふべき本法を発明し、1957 年日産 200t の規模で生産を開始、結果が良好であつたから 1959 年末には隣接して子会社 Fierro Esponja に日産 500t の設備を完成する予定。特許権: M. W. Kellogg Co.		
	考 慮	脱炭はできない。脱炭は 85%、海綿鉄中の炭素は低くかつバッチごとに通うのが難点であつたが、この調節は還元終了後低温で天然ガスを $10\sim 15\text{ mm}$ 間通すことにより解決した。	
文 献	(1) P. E. Cavanagh : Journaal of Metals, 10 (1958), No. 12, 804/809		
	(2) F. W. Starratt : " 11 (1959), No. 5, 315/318		

第 9 表

Höganäs 法

機 構	鉄鉱石と還元剤および少量の石灰石を屑状に耐火粘土製容器（レトルト）に装入してトンネル炉で加熱し、発生する一酸化炭素により還元して海綿鉄を製造する。												
原 理	装入：鉄石を円筒形の耐火粘土製容器（炭化珪素質のこともある）中に装入し、鉄石屑の周囲に石灰石と還元剤の粉末を充填し、表面を還元剤で皮粉する。												
操 業 条 件	還元：トンネル炉の台車上にこの容器を並べて炉内に送り込み、還元剤自体の燃焼熱または発生炉ガス、重油などで最高 1,000℃、1,100℃ に加熱して鉄鉱石を還元する。												
能力 お よ び 原 単 位	冷却：炉の冷却帯に台車を送り、150℃以下で炉から取り出す。1 サイクルは 80~200 h である。												
	1. Höganäs スウェーデンの例(石灰の約1/3・5が燃料用) 2. Ontario Research Foundation, カナダの試験例(燃料として重油を使用)												
	(鉄 鉱 石 1,450~1,600 kg / t 石炭(灰分30%) 800~1,000 kg / t 石 灰 石 約 400 kg / t)		{ 鉄 鉱 石 1,850 kg / t コークス粉 200 kg / t 石 灰 石 400 kg / t 重 油 230~240 l / t }										
建 設 費	既設の耐火煉瓦焼成用トンネル炉を利用すれば、建設費は微々たるものである。また、運転中の台車に煉瓦と海綿鉄製造用容器を併置して、少量の海綿鉄の製造も可能、ただし米国 Hoeganaes Sponge Iron Corp. の年間 29,000 t プラント(粉末冶金用鉄粉)の建設費は約 \$ 6,000,000 (2,160,000,000円)であり、もちろんこれは海綿鉄の粉砕、再還元のプロントを含むが、合理化された新プラントの建設費はかなり大きいことを示す。												
生 産 費	正確な算定は困難であるが、Ontario Research Foundation, カナダの試験結果にもとづく試算の1例は(A)表の如し、ただし、この場合の海綿鉄は鉄石の品位が低いため、M. Fe 約 80~85%, SiO ₂ 6% の鉄屑代用の海綿鉄製造を対象とする。粉末冶金用鉄粉の場合は高品位の鉄鉱石を使用し、粉砕および再還元の経費を加算する必要がある。												
原 料	保 守 費												
	予 備 処 理 費	高品位の赤鉄鉱または磁鉄鉱を原料とし、予備処理は行なわない。											
	石 灰	SiO ₂ , CaO, TiO ₂ などの脈石成分ができるだけ低く、Fe 分が高いことが必要。											
	還 元 剤	粉鉱または 10~25 mm の粒鉱を使用する。											
	燃 料	コークス粉、石灰、木炭などを使用する。ただし、S 0.5~1.0% の低品位還元剤の使用が可能である。											
品 位	還 元 剤	発生炉ガス、重油などを使用する。ただし、還元剤の燃焼熱も加熱に役立つ。											
	品 位	Fe 96~97%, O 1.0~1.5%, C 0.1~0.3%, P < 0.015%, S < 0.015%, 脈石成分 (CaO, SiO ₂ , TiO ₂ など) 1.6~2.0%											
	厚 度	厚さ 40~50 mm, 辺(径) 250~300 mm の長方形または円形の板状海綿鉄(見掛け重約 2.0 t, これを圧縮すれば約 5.0 t となる)。											
	製 造 材 料	酸性平炉および電気炉による高級鋼原料として、または鉄屑代用として製鋼炉に使用する。											
	そ の 他	海綿鉄を粉砕、磁選し、脈石成分をできるだけ除去し、これを再還元して粉末冶金原料として使用する。											
実施国名および立地条件	スウェーデン：良質の鉄鉱石と低質石灰が産出し、煉瓦焼成用のトンネル炉の利用が可能。												
	アメリカ：粉末冶金用鉄粉の製造を目的とし、Hoeganaes Sponge Iron Corp. が年間 45,000 t のスウェーデン鉄鉱石を処理している。												
由 来 お よ び 現 況	その他：小規模には世界各地で実施したと推定される。国内でも第2次世界大戦中年間約 20,000 t の低品位海綿鉄が各地の煉瓦、瓦、陶器用の窯で製造された例 ⁽⁶⁾ があり、カナダで鉄屑不足に対処して 1946 年頃煉瓦用トンネル炉で試験した例がある。												
	1909 年 E. Sieurin によりスウェーデンの Höganäs において創始され、最近では年間 25,000 t の海綿鉄を製造中。また、近年粉末冶金原料を対象として稼働しているアメリカの Hoeganaes Spoke Iron Corp. のプラントは年間 29,000 t の能力を有する。												
備 考	灰分および硫黄の高い低品質鉄を使用しても低硫黄の海綿鉄が得られ、既設の煉瓦焼成用トンネル炉を利用できるのが特徴である。												
文 献	(1)	Stahl u. Eisen, Umshau,	31 (1911) 1391/4	(5)	R. Durrer: Verhütten von Eisenerzen, Düsseldorf, (1954)								
	(2)	" "	52 (1932) 1245	(6)	沢村宏：大東亜戦争中における土窯式海綿鉄製造法(ただし角窯および登窯による)に関する調査報告(学振70小委), 6月(1956)								
	(3)	P. E. Cavanagh: Steel	128 (1951) June 11, 92/101										
	(4)	R. L. Hatschek: Iron Age,	172 (1953) No. 8, 59/60										

第 10 表

名 称		Lubatti 法	
機 構	操 業 条 件	あらゆる種類の粉鉄を含む各種鉄資源を平型炉内で直接還元し、溶鉄 (C 1.5~2.0%) を製造する。	
原 理		乾燥した粉鉄、粉コークス (粉炭でもよい) を炉内の大部分を占めるスラグの上に装入し、電極を使用してスラグを 1,500~1,600°C に加熱、鉄石は粉コークスにより直接還元される。また、その際生成する一酸化炭素ガスによつても還元される。形成された鉄は装入原料とスラグの界面で溶融して細滴となり、これがスラグ層を通つて沈んでゆき炉底に溜る。	
能力 および原単位		10 t / d (1,500 kVA 炉, 電極 6) の場合の一例:	
		電力 3,225 kW h / t (溶鉄)	マンガン鉄(インド) 64 kg / t (溶鉄)
		還元剤 {無煙炭 382 kg / コークス 375 kg /	石 灰 421 "
経 費	建 設 費	原料: 硫 酸 滓 1,500 kg /	砂 29 "
	生 産 費	ミルスケール 209 "	礬 土 80 "
	保 守 費	砂 8 "	粘 土 2 "
原 料	予 備 処 理	鉄 8 "	ボーキサイト 11 "
	品 粒	不明	
	度	乾燥以外の予備処理は不要である。	
成 品	石 炭	低品位鉄でよい。	
	還 元 剤	粉 鉄	
	燃 料	粉コークス、粉炭 (褐炭粉でも可)	
用 途	品 位	C 1.5~2.0%, Si 1.5%, Mn. 1.0%, P 0.11%, S 0.23% (脱硫率 92%)	
	形 態	溶 鉄	
	製 鋼 原 料	製鋼原料として使用する。	
実施国名および立地条件		イタリア、原料資源とくに石炭に乏しく、製鉄コストが割高である。	
由 来 お よ び 現 状		Acqui, イタリアで 1,500 kVA の炉 4 基稼働中。	
備 考		本法は鉛鉄石、銀鉄石の製錬用にも採用されている。本法は「溶解界面反応」の考えが入つていて興味ある方法であるが、反応理論については完全に把握されていないようである。	
文 献		E. Reschke: Das Lubatti-Verfahren zur Reduktion von Eisenerzen, Stahl u. Eisen 74 (1954), S. 291	

第 9 表 (A表) Hóganás 法生産費
試算の一例(3)

海綿鉄生産量	20 t / d (6,500 t / y)	
海綿鉄の鉄還元率	90%	
鉄 鉄 石 1.85 t	\$ 18.50 (6,660円)	
コークス粉 0.2 t	1.85 (666円)	
石 灰 石 0.4 t	0.05 (18円)	
重 油	7.80 (2,810円)	
そ の 他	0.10 (36円)	
(小 計)	\$ 28.30 (10,190円)	
労 務 費 (6 Man-h)	5.95 (2,142円)	
補 修 費 (\$ 1.050/M)	1.75 (630円)	
経 費 (")	1.75 (630円)	
(小 計)	\$ 37.75 (13,592円)	
容器消耗費 (5 \$/t, max.)	5.00 (1,800円)	
(合 計)	\$ 42.75 (15,392円)	

第 11 表

名 称		Strategic-Udy 法
原理	機 構	予備加熱 (還元) 用ロータリーキルンと製鍊炉 (電気炉または反射炉) とを組合わせる。
	操 業 条 件	ロータリーキルンで原料を加熱 (予備還元) し密閉式アーク炉に熱間装入する。原料を電極の周囲に装入し、アークはスラグ上 1/2" とする。または約 3" がスラグ中に没漬させることにより反応を迅速化する。また、スラグ成分の調整によつて鉄石成分に 関する選択的回収および高い回収率を得ることを特徴とする。なお、発生する一酸化炭素ガスはロータリーキルン用燃料とする。
能力 および原単位		能力 0.03 t/kVA/24 h, 電力 1,010 kWh, 電極材 30 lb (13.6 kg), 石灰石 0.43 t, 石灰 0.5 t, 鉄鉱石 1.77 t (能力は 600 t/d, 原単位は 300 t/d とする)
経 費	建 設 費	年産 t 当り \$ 50 (18,000 円), 600 t/d (210,000 t/y) として 3,940,000,000 円
	生 産 費	原料 \$ 31.57 (11,365.2 円), 動力 \$ 6.21 (2,235.6 円), 労務費 \$ 5.50 (1,980 円), その他 \$ 0.43 (154.8 円), 計 \$ 43.71 (15,735 円 6)
	保 守 費	
原 料	鉄 予 備 処 理	ロータリーキルンで 1,800°~2,300° F (982°~1,260°C) において予備還元 (50%) を行なう。
	品 位	高炉に不適当な品位の鉄鉱石。
	粒 度	粉鉱または粉精鉱, -10 mesh (2.4 mm 以下)
	還 元 材	瀝青炭, 無煙炭, 褐炭, 泥炭, コークスなど。
成 品	燃 料	一酸化炭素 (電気炉から回収したもの)。
	品 位	C 1.74%, Si 0.15%, Mn 0.11%, P 0.06%, S 0.177%, Ti 0.04% (260 t の平均)
用 途	形 態	溶 融 状 態
	製 鋼 原 料	製 鋼 原 料 (高級鋼用)
	そ の 他	鋳 物 原 料
実施国名および立地条件		カナダ, 鉄鉱石 \$ 3 (1,180 円), 電力 5 mil/kWh (1.8 円) ならば高炉と競争することができる。
由 来 および現 況		Strategic-Udy Co. にて実施, 設備は径 6' (1.83 m) × 長さ 80' (24.4 m) ロータリーキルン 1 台, 100 kVA ボルタ式電気炉 3 台。これと類似な方法は東北電化 (大間々) で採用されている。 U. S. 特許 No. 2674531, 2805929, 2805930, (類似) 特許公告 (日本), 33-2856, 2761, 2762
備 考		元素の選択的回収可能, 高磷鉄石の脱磷可能。
文 献	献	(1) Canadian Mining Journal, Aug. Dec. (1958)
		(2) Metal Progress, Dec. (1958)
		(3) Iron & Coal Trades Review, 19, Dec. (1958)
		(4) Iron & Steel Engineer, Jan. (1959)
		(5) Mining Magazine, Feb. (1959)
		(6) J. Metals, May (1959)

名 称	Elektrokemisk 法	
	機 構	操 業 条 件
原 理	電気製鉄炉の廃ガスは一酸化炭素 70~85% を含有しその熱価は鉄 t 当り 1,500~2,000 kWh に相当するから、電気炉の前にロータリーキルンを接続して廃ガスを利用する。要すればロータリーキルンの排出端に補助バーナを設けて装入物の予熱ないし還元を行ない、ロータリーキルン排出物は直ちに電気炉に装入して単位電力当り生産量を増大せようとするものである。 電気炉は単相、回転床式を原則とする。ロータリーキルンで予熱ないし一部還元された原料は外気と遮断されてパイプを通じて電極の周囲に均等に装入される。三相炉では予熱原料の抵抗が低いため装入物の上層で電極間に電流が流れる傾向を増し、電極と装入物間に自由アークを発生して熱効率を下げる。単相炉では電流は電極と炉底間を通過し、予熱された装入物でも電極を低位に保つて自由アークが避けられる。炉床の回転速度は 2~15°/mn である。 (予熱のみ行なう場合: ロータリーキルンの温度 580~850°C, 炉の負荷 180~280 kW, 電圧 36~55 V 予熱ならびに事前還元を行なう場合: ロータリーキルンの温度 970~1,050°C (補助バーナを必要とする), 炉の負荷 180kW, 電圧 40V 試験炉によつて行なわれたが能力は不明である。 予熱原料: 赤鉄 電極 9.4 kg/t (11.8) 註: 括弧内は予熱せざる場合 (使用の場合) 焼結 電極 9.6 kg/t (10.5) 予熱および事前還元: 焼結 電極 9.6 kg/t (10.5) 元を行なう場合: 石灰焼結 電極 9.6 kg/t (10.5) (ガスコークブリーズ) 最高温度 1,050°C, ロータリーキルンにおける酸素除去率 17.7%, スラッグ 320 kg/t, 電力 1,633 kWh/t, 炭素 266 kg/t, 電極 10.7 kg/t (1/3石灰+2/3コークス) 最高温度 970°C, ロータリーキルンにおける酸素除去率 23.0%, スラッグ 250 kg/t, 電力 1,400 kWh/t, 炭素 323 kg/t, 電極 6.5 kg/t (ガスコークブリーズ) 予熱なし ロータリーキルンにおける酸素除去率 0%, スラッグ 250 kg/t, 電力 2,114 kWh/t, 炭素 264 kg/t, 電極 13.2 kg/t	
能力および原単位	アメリカの専門家の推定に依れば 1,000 t/d [9.8 m φ 炉床, 1,140 mm φ 電極, 20,000 kW, 電気炉 3 例, 1 例 400 t/d] の工場で建設費は約 \$ 20,000,000 (72 億円), 年産鉄 t 当り約 \$ 57 (20,520 円), 65% Fe-鉄石で操業する場合の所要熱量: 3,050,000 kcal/t, コークス消費量は冷熱装入物の場合とはほぼ同等, kWh 当り電極消費はほとんど一定している。 粉鉄は電気炉に入る前に +3mm の焼結鉄ないしペレットとする。 焼結鉄: Fe 61.8%, SiO₂ 3.3%, TiO₂ 2.5%, Al₂O₃ 3.4%, CaO 0.6%, MgO 1.0% 赤鉄: Fe 53.4%, SiO₂ 4.1%, TiO₂ 1.1%, Al₂O₃ 6.0%, CaO 2.2%, MgO 3.3% 石灰焼結鉄: Fe 58.9%, SiO₂ 3.1%, TiO₂ 2.2%, Al₂O₃ 2.4%, CaO 5.9%, MgO 1.2% 鉄石, ペレットおよび焼結鉄は 3~35mm, 石灰, コークスおよび溶剤は 3~20mm コークス, セミコークス, ガスコークス, 歴青炭, 褐炭, 無煙炭, 木炭など, 還元剤の粒度は炉内の電気抵抗に対し決定的な役割を果す。 電気炉の廃ガス(CO₂ 10~20%, CO 75~85%, H₂ 5~12%, CH₄ 1%, N₂ 1~2%, Tysland-Hole 炉の一例), 天然ガス, C ガス, 重油 Si 1~2% (稀には最小 0.5%, 最大 4% も見られる), S 0.03% スラッグ成分: SiO₂ 35%, TiO₂ 10%, Al₂O₃ 15%, CaO 30%, MgO 8%, FeO 2% 冷鉄または溶鉄 電気炉または平炉製鋼原料 鋳物(風鉄, 球状黒鉛鉄, 可鍛鑄鉄)用 ノールウエーにおいて試験工場で実施されたことが報ぜられている。 立地条件: (1) 電力が十分で安価な場所 (2) 高炉用コークスは輸入されるが歴青炭, 褐炭などが豊富な国 (3) 富鉄が近くに埋蔵され採鉄費が安価なこと (4) 大工場は生産ラインが多数になるから 100~400 t/d 程度の小規模工場に適す (M. Marincek はコークス 1 kg が電力 4 KWH より高い場合は電気炉法が有利としている)	
実施国名および立地条件	Elektrokemisk A. S. は Tysland-Hole 炉の廃ガス利用による鉄鉱石の事前還元実験に關し 1953 年パリの第 3 回国際電熱会議で初めて発表した。戦後スウェーデンで Wiberg 教授と Elektromisk A. S. と協同の下にたてた型炉を用いて工業的規模の試験が行なわれたが挫折, その後 Elektromisk A. S. は同社の研究所でロータリーキルンと特殊構造の電気炉を用いて実験を行ないその結果が文献 (1) に発表された。	
由来および現況	本法は 1954-11-9 U. S. 特許 (No. 2694097) となつており, その要旨は装入物の予熱炉と組合せて電気炉の廃ガスを装入物の予熱に利用する装置と方法にかかり, 天井を有する単相円型回転床式の電気炉を用いて炉床の中心に電極を配置し電極を軸として炉床を回転せながら予熱された装入物を円筒を通して固定天井の 1 カ所以上の装入口より電極の周囲に均等に装入する。また, 炉床はその外周に溶融金属を入れた罐を備え該金属中に天井の周辺から垂れ下つた板を備えてガスシールと同時に電氣的接触子の作用をさせる。	
備考	(1) J. Metals, Oct. (1956), p. 1464/68 (2) Metal Progress, Oct. (1957) p. 99/104 (3) Iron and Coal Trade Rev., May. (1958) p. 1099/1101 (4) J. of Electrochemical Soc., Dec. (1956) p. 696/699 (5) U. S. Patent No. 2694097, Elektromisk A/S	
文 献		

第13表 試験段階(パイロプラントを含む)にある直接還元法

名 称	Nu-iron 法 (Shipley法)	Esso-Little法	Madaras 法	O. R. F. 法	TsMSS 法(仮称)	スリンスク法 (仮称)	Druck 法	Lurgi-Gallusser法	Norsk-Staal 法	Cycrosteel 法
原 理	流動床法	流動床法	レトルト法	移動火格子炉法	圧延スケールの還元法	Hoganas 法と類似	横型炉法	シャフト炉法	マツフル法	噴 射 法
能力および 原 単 位	5t/d(二段流動法、一次反応器 90cmφ×高さ3m、二次反応器60cmφ×高さ2m)	天然ガス560Nm ³ /t(成品)	レトルト容量は鉄石10~16t、天然ガス500m ³ /t、(成品)	移動火格子炉法	圧延スケール1.43t/t(成品)、天然ガス2,000m ³ /t(成品)	4,500t/y	チャージは鉄石425kg、コークス300kg、生石灰325kg、酸素40Nm ³ 使用	CH ₄ 200m ³ /t(成品)、電力850~1,000kWh/t(成品)	18~38t/d コークス 220kg/t、 電力 1,600kWh/t	
建設計画			18億円(40×10 ⁴ t/yの施設)							
生設計画			9,000~10,800円							
鉄 石	高品位粉鉄	粉 鉄	高品位塊鉄、ペレット、塊鉄	磁鉄鉱の粉砕鉄	圧延スケール	スケール	高品位塊鉄	高品位ペレット(含CaO)	品位68% Feの塊または団鉄	微 粉 鉄
還元剤	H ₂ +CO(天然ガス改質による)	H ₂ +CO(+N ₂)(予熱天然ガスの部分燃焼による)	H ₂ +CO(天然ガス改質による)	H ₂ +CO	天 然 ガ ス	無煙炭粉	コークス(灰分8%)	天然ガスまたは固体燃料	Cガス、コークス	CO (石灰石と酸素より)
燃 料	天然ガスその他	還元後ガスの一部	天然ガス				生石灰→炭酸石灰の発熱反応利用	電力(電磁誘導)	重油、タール、電力	還元後のCO
品 位	還元率95%以上	Fe>85%(ある場合はFe>95%)	Fe 92% C 0.6%, Si 0.9%		T.Fe>98.5%, <C 0.1%	T.Fe>98%, C<0.15%	還元率>90%, S平均0.025%	Fe 80~85%	Fe 92~94%	低P,S鋼 セミスチール
形 態	粉 状	粉状、圧縮成型	海綿鉄	板、ロッド、線	海綿鉄、粉砕して鉄粉とする	ブリケット、粉砕して鉄粉とする	粉状海綿鉄	海綿鉄ペレット	細粒状、成団	塊 状
製 鋼	鉄 府 代 用	鉄 府 代 用	電気製鋼用(熱間投入)	アメリカおよびカナダ	ソ連、ウクライナ、共和国	ソ連	ドイツ	鉄 屑 代 用	良質鋼用代用	間接法に同じ
用 途	アメリカ、安価かつ他国に天然ガスが入り得ること	アメリカ	アメリカおよびメキシコ(HyL)法、天然ガスの豊富な地域が有利	アメリカおよびカナダ	ソ連、ウクライナ、共和国	ソ連	ドイツ	ドイツおよびスイス	西ドイツ Bochum (Dortmund の西方)に工業的プラントが設置された。	イギリス
実施国名および立地条件	1956年 E. H. Shipley 特許、現在 U. S. Steel Corp. によってパイロプラントを操業中、U. S. 特許 No. 2752234	Massachusetts 州 Authur D. Little Inc. 所属研究所にて実験 (Standard Oil Co., Esso Research & Engineering と共同)	第2次大戦中 Dr. Madaras により Texas-Madison Co. にて試験、現在 HyL 法としてメキシコにて実施中。	Republic Steel Corp. の援助により現在お研 究が進められている。	ウクライナ国立院と特殊金属研究所 (TsMSS) の研究、各種成品が相当の規模で生産中という。	中央鉄鋼科学研究所にて研究、スリンスク冶金工場に生産中という (1955 年 594t, 1956 年 4,500t)。	1937 年 E. Edwin Krupp 社中央研究所で研究され Essen-Borbeck に試験プラントが設置されたが中止。	ドイツ Lurgi 工場 (Frankfurt) とスイス Charmilles Co. (Geneva) の共同研究	1924 年ノルウェー E. Edvin の発明、西ドイツにて 1932 年に数ヵ月操業したのみ。	1956 年 B.I.S.R.A. の Charles Goodwin 氏が発明、現在 実験研究中。
備 考	還元条件は ~700°C、~4kg/cm ² 、連続式である。	還元ガスは再循環しない、設備は簡単に、あるがガス消費量が多い。	還元ガスはパイロフラ イバブルで15~21回/mn 脈動させる。また、循環再使用する。				還元温度は 950°C、20~25 kg/cm ² の高圧使用。炉は長軸を中心に回転する。	工業化の段階でなく、電力消費が多い。	ノルウェー特許 No. 42213 & 42290 ドイツ特許 No. 438558 U. S. 特許 No. 1638684	オーストラリアの特許 No. 16801 現国では 野藤氏 (三井物産) のアイディアがこれに類似している。
文 献	(1) J. W. Frank: Engineering & Mining Journal, Dec., (1957) 289~355 (2) Methane: Chemical Engineering, Jan., (1957) (3) European Coal & Steel Company High Authority, Doc., No. 569/158f, June (1958)	(1) M. Wiberg: Jernkont. Ann., 142 (1958) 6, pp. 289~355 (2) Circulaire d'Informations techniques, (1959) 1, pp. 101~102 (3) European Coal & Steel Company High Authority, Doc., No. 569/158f, June (1958)	(1) J. W. Frank: Engineering & Mining Journal, Dec., (1957) 289~355 (2) J. Willems: Stahl u. Eisen, 79 (1959) 2, S. 74~80 (3) 広瀬: 富士製鉄技報, 7 (1958) 3, pp. 107~112 (4) 太田, 佐藤: 富士製鉄技報, 7 (1958) 4, pp. 67~75	(1) P. E. Cavanagh: J. Metals, 10 (1958) 804 (2) J. Willems: Stahl u. Eisen, 79 (1959) 74	G. S. Samsonov, S. I. a. Plotkin: Proizvodstvo Zheleznoy Poroshki. Metallizatsiya (1957)	TsMSS 法(仮称)と同じ。	(1) 1958 年世界冶金会議資料 (2) 鉄鉱直接還元法の最近文献目録 (A. Scortecchi 編)	(1) H. Gallusser: Advances in Steel Technology in 1955, pp. 99~102, United Nations (2) Report by the Lurgi Corp. to the Association of German Iron Workers (3) H. Gallusser: Blast Furnace & Steel Plant, Dec., (1958)	(1) Iron Bull. (1) J.I.S.I., 184 (1956) 2, p. 113 (2) Iron & Coal Trades Review, 173 (1956) 4607, p. 6 (3) Iron Age, 119 (1927) pp. 562~585 (4) Technical Papers 22 (1932) p. 114-Düsseldorf	

Stelling 法	Kalling 法	Onia Novalfer 法	Azincourt 法	Scortecchi 法	Finisider 法	Segre 法	Baglio-Tradardi 法	Albert de SY 法	Cavanagh 法	Norvègien H 法
流動床法 100kg/d 鉄石 1,290kg/t, コークス 204kg/t	ロータリーキルン法 15~20t/d, コークス 550kg/t (成品)	流動床法 10t/d パイロロットプラント	ロータリー 5~15t/d 石灰 800kg/t, 電力 1,000kWh/t	ロータリーキルン法 天然ガス 4,870Nm ³ /t (成品)	シャフト炉法 木炭 0.376t/t, 天然 ガス 111 Nm ³ /t, 電力 152kWh/t (成品)	シャフト炉法 コークス 250kg/t, 電力 1,000kWh/t, 石灰石 500kg/t (成品)	電気炉法 8×10 ⁴ t/y の設備 を計画。熱 80 ×10 ⁴ kcal/t, 電 力 1,830kWh/t	電気炉法 トンネル炉 (19.5m), 台車 26	トンネル炉法 トンネル炉 (19.5m), 台車 26	シャフト炉法 成品 1t 当りガス (発 熱 2,300kcal/ m ³), 750m ³ , 電力 1,130~2,250 kWh 年産 600,000t と して t 当り 470 マ ルク 低品位または高品位 塊鉄 (ベレット) H ₂ +CO (炉頂ガス) 電気抵抗加熱 高品位鋼による Fe 93.8, Si 0.005, P 0.005, S 0.09, C 0.0065% 海綿鉄 優良鋼屑 ノルウェー
126,000,000 D. M. (5×10 ⁴ t/y の施設)					\$ 39.5/t (成品)				\$ 60~80 (カナダ)/t (成品) コークス, 木炭, 石 炭, 鋼屑 (石灰石 10 % 添加) 還元剤に同じ 炭素鋼または合金鋼 棒, スラブ, 管など 鋼鉄製品代用 カナダ, 高炉に不 な硫黄鉄, 含チタ ン砂鉄を使用でき る。 P. E. Cavanagh により研究されたが 明, ノルウェー水 力発電会社が 現在 O. R. F. 法に 吸収されている。 多量の電力を要し 炉頂ガスにも熱点 がある。 P. E. Cavanagh: 1958 年世界冶金会 議資料	
高品位粉鉄 CO (コークスの ガス化)	高品位粉鉄 木炭, コークス 700kg/t	高品位細粒鉄 H ₂ +CO (天然 ガス改質による)	品位 38~55% Fe の微粉鉄 石灰, コークス C ガス, 天然ガス, 微粉鉄, 油 鉄 (Cl~3%, Si~3%) 溶融状態 一般の鉄と同様に 使用 フランス 北フランス IRSID の研究 で考案されながら より委員会を作つて パイロロットプラント を設置した。 作業行程が多くコ スト高ではないか と思われ No. 499592, 499594 と Grönwall 製電 気炉 (Söderber g 電極) との組合 せである。 1958 年世界冶金会 議資料							
還元後の CO T-Fe 80%, Fe ₃ C 50%	固型燃料 T-Fe 91.8% (磁選後)	天然ガス Fe 90~92%	品位 38~55% Fe の微粉鉄 石灰, コークス C ガス, 天然ガス, 微粉鉄, 油 鉄 (Cl~3%, Si~3%) 溶融状態 一般の鉄と同様に 使用 フランス 北フランス IRSID の研究 で考案されながら より委員会を作つて パイロロットプラント を設置した。 作業行程が多くコ スト高ではないか と思われ No. 499592, 499594 と Grönwall 製電 気炉 (Söderber g 電極) との組合 せである。 1958 年世界冶金会 議資料							
粉状	海綿鉄	粉状	溶融状態 一般の鉄と同様に 使用 フランス 北フランス IRSID の研究 で考案されながら より委員会を作つて パイロロットプラント を設置した。 作業行程が多くコ スト高ではないか と思われ No. 499592, 499594 と Grönwall 製電 気炉 (Söderber g 電極) との組合 せである。 1958 年世界冶金会 議資料							
製鋼用	鋼屑代用	鉄屑代用	一般の鉄と同様に 使用 フランス 北フランス IRSID の研究 で考案されながら より委員会を作つて パイロロットプラント を設置した。 作業行程が多くコ スト高ではないか と思われ No. 499592, 499594 と Grönwall 製電 気炉 (Söderber g 電極) との組合 せである。 1958 年世界冶金会 議資料							
スウェーデン, 高品位鉄の産出 する地域。	スウェーデン, 良質の 鉄石は豊富だが, 高 品位鋼用良質鋼屑が不 足していること。	フランス, 北フランス, 天然ガ スを対象とした高品位 鉄の処理法 北フランス IRSID の研究 で考案されながら より委員会を作つて パイロロットプラント を設置した。 作業行程が多くコ スト高ではないか と思われ No. 499592, 499594 と Grönwall 製電 気炉 (Söderber g 電極) との組合 せである。 1958 年世界冶金会 議資料								
1957 年 O. Stelling が発表, パイロロット プラント試験はスウェ ーデンの硫酸洋行 で停止中。		北フランス IRSID の研究 で考案されながら より委員会を作つて パイロロットプラント を設置した。 作業行程が多くコ スト高ではないか と思われ No. 499592, 499594 と Grönwall 製電 気炉 (Söderber g 電極) との組合 せである。 1958 年世界冶金会 議資料								
		研究段階でパイロロ ットプラント建設中。 (1) B. Kalling: The Rotary Kiln Processes for Sponge Iron developed at the Avesta Iron and Steel Works and Congr. Soc. Iron and Steel Works, Sweden. A Study of the Iron and Steel Industry in Latin America- United Nations- New York, 1954, pp. 216~219 (2) B. Kalling, F. Johansson: J.I.S.I., May 1954, pp. 76~85								
(1) P. M. Unter- weiser: Iron Age, Jan. 30, (1958) (2) J. Willemis: Stahl u. Eisen, 79 (1959) 74 (3) European Coal and Steel Company High Authority June (1958)	(1) B. Kalling: The Rotary Kiln Processes for Sponge Iron developed at the Avesta Iron and Steel Works and Congr. Soc. Iron and Steel Works, Sweden. A Study of the Iron and Steel Industry in Latin America- United Nations- New York, 1954, pp. 216~219 (2) B. Kalling, F. Johansson: J.I.S.I., May 1954, pp. 76~85	(1) A. Scortecchi: Réduction direc- te des minerais de fer, Les pro- grès réalisés en Europe, Journées Internationales de Sidérurgie, Juin 1958, Annexe II & Bibliographie (2) A. Scortecchi: Rev. Mét., (1953) 4, pp. 253~263	European Coal & Steel Com- pany High Authority, May, 1958	(1) A. Scortecchi: Réduction direc- te des minerais de fer, Les pro- grès réalisés en Europe, Journées Internationales de Sidérurgie, Juin 1958, Annexe II & Bibliographie (2) A. Scortecchi: Rev. Mét., (1953) 4, pp. 253~263	Instituto Siderurgico Finisider の附 属報告書	工業化にはほとんどお いて。 イタリア-特許 No. 499592, 499594 と Grönwall 製電 気炉 (Söderber g 電極) との組合 せである。 1958 年世界冶金会 議資料	工業化にはほとんどお いて。 イタリア-特許 No. 499592, 499594 と Grönwall 製電 気炉 (Söderber g 電極) との組合 せである。 1958 年世界冶金会 議資料	ベルギー University of Ghent に試験電 気炉設置。 湯溜が 2 部分に別 れ, 一方に過剰炭 素, 他方に鉄鉱石 を装入する。 (1) Albert de SY: Rev. Mét., 55 (1958) 12, pp. 1161~1170 (2) ibid., J. Metals, 11 (1959) 4, pp. 265~269	P. E. Cavanagh: 1958 年世界冶金会 議資料	