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
日本における鉄鉱石直接還元技術の推移*

遠　藤　勝治郎**・松　下　幸　雄***

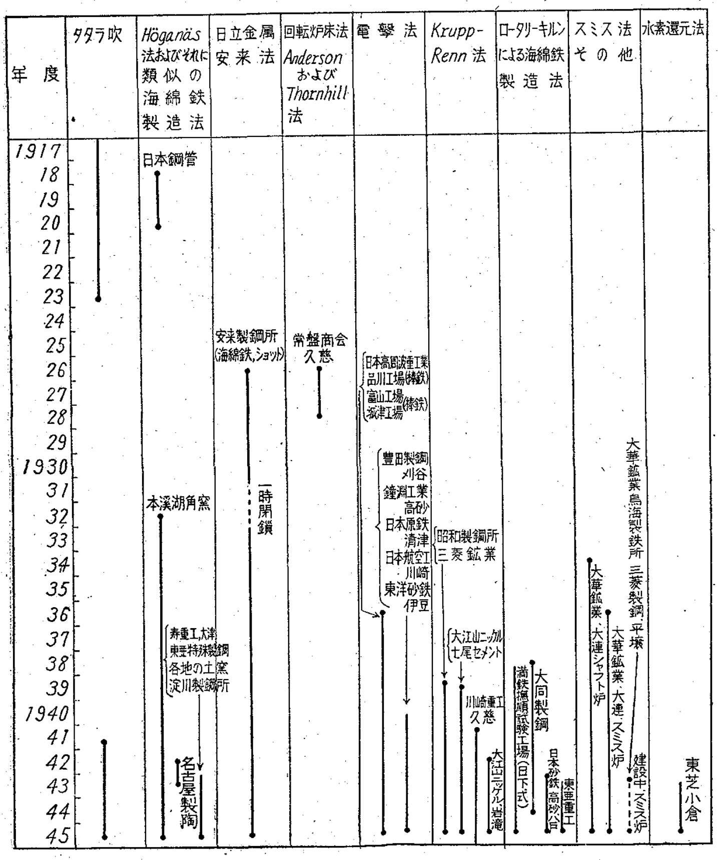
Technological Developments in the Direct Reduction of Iron Ore in Japan.

(Report of the Direct Reduction Subdivision, New Technique Developement Division, Steel Technology Joint Research Society)

Katsujiro ENDO and *Yukio* MATSUSHITA

日本の鉄鋼業は高炉製鉄法を中心にして発達してきたが，他方，直接製鉄技術も古くから研究開発されている．すでに長年にわたり商業的規模で実施されているもの，あるいは試験されたり研究開発中のものなど，数多くの各種直接製鉄技術が発展している．日本独自の直接製鉄技術の発展とともに，洋式の直接製鉄法も採用され発展しつつある．本報においては，これらの日本における鉄鉱石の直接還元技術の推移を述べよう．

第 1 表　日本における第 2 次大戦終戦までの直接還元法



I. 第 2 次世界大戦中までの直接還元法

世界各国の原始製鉄法は，鉄鉱石から直接に鋼を製造する直接製鉄法であるが，いずれもその規模が小さかった．しかるに日本の古来の直接製鋼法は著しく発達をとげ，一操業で 3〜4 トンの大塊を得て優良な鋼を製造したので，1923年まで商業的に存続した．洋式製鉄法の発展とともにわが国古来の製鉄法は良質の鋼および鉄を製造し得たが，経済的成立が困難になりついに廃絶した．近代化された直接還元法が再び日本で開始されたのは，第 1 次大戦当時の鉄鋼需要が強かった時代である．その後第 2 次大戦前までの直接還元法の概要を第 1 表に示した．以下においてはこれらの直接還元技術の推移を展望することにしよう．

(1)　タタラ製鉄法（日本の古来の製鉄法）

日本古来の製鉄法は紀元前より行なわれ，タタラ吹き製鉄法と呼ばれる．これは砂鉄を原料として木炭で還元し直接に鋼を造る“ケラオシ”法（直接製鋼法）と，銑鉄を造る“ズクオシ”法とがある．日本の砂鉄を原料としてこの直接製鋼法で造った鋼は，その virginity と hereditary nature のために superior qualities を有するという事実がよく知られている[1]．

タタラ製鉄法による鉄鋼の生産高は，1894 年に近代式製鉄による鉄鋼の生産高に追い抜かれ，ついに 1923 年に廃絶した．しかし日本の砂鉄を原料と

*　昭和36年10月鉄鋼技術共同研究会第 2 回部会報告講演会にて講演
**　鉄鋼技術共同研究会新技術開発部会長，理博
***　〃　　　　直接還元法分科会主査，工博

する鋼の性質が著しく秀れているので，その後極上品質の優良鋼を得るために，近代式の新技術による砂鉄の新らしい直接還元法が行なわれるようになっている．

（2） ヘガネス法

1909年にスエーデンで始められた海綿鉄製造法であり，カプセルの中に鉄鉱石と還元剤を入れ，蓋をしてこれを加熱炉の中に装入して外部から加熱し，鉄鉱石を海綿鉄にする方法である．日本では第1次大戦により，スクラップが著しく不足してきたので，日本鋼管株式会社が1916年にスエーデンのヘガネス社にいき，ヘガネス法の採用を決定し，1917年に建設を始め，1918年に操業を開始した．しかし1920年になるとスクラップ事情が好転し，ついに作業を休止し，1923年の関東大震災により炉が損傷して中止することになった．鉄鉱石はマグネタイトを粉粋，磁選し，これを円盤状に固めて，一つのカプセルの中へ5個を入れた．1系列のピット内に12,000個のカプセルを入れ，カプセルは10日目にピットから取り出され，1日に1,200個ずつ排出された．海綿鉄は1日に30トン生産される割合である．第1期の計画でピットが2系列建設され，年間能力は20,000トンであつた．その後拡張され，年間能力が60,000トンになつた．ヘガネス法類似の海綿鉄製造は，第2次大戦が始まつてから何カ所かで小規模に行なわれた．

（3） 安来製鋼所（日立金属株式会社）の電気炉による海綿鉄製造法

安来製鋼所は日本古来の製鉄法が行なわれていた地方にあり，良質の砂鉄の産地に存在している．砂鉄を原料とする電気炉による海綿鉄製造法が1926年頃から実施され，第2次大戦の終りまで続けられた．

この方法はドラム型回転式間接アーク炉に，砂鉄と木炭を装入し，電極間のアーク熱で砂鉄を還元し海綿鉄を製造する．回転炉の装入口から砂鉄と木炭粉を装入し，密閉後に回転しながら電流を通して加熱する．炭素電極2本をドラムの両側面中心から回転軸に沿って2本突き出させ，電極間のアークで加熱する．電流は55V，1,500Aである．700°C以上で還元が進み，1,000°C以上で珪酸塩が生成して粘着現象を起し，1,100°Cでは還元された装入物がボール状に凝集する．ここで装入口を開き回転速度を上げて，迅速に適正容器内に排出し木炭粉をふりかけて蓋をし，さらにその上に木炭と石灰をかぶせて密閉，冷却する．海綿鉄トンあたりの消費電力は2,400～2,600kWhである．

できた海綿鉄と優良銑鉄を弧光式電気炉に装入し，砂鉄，石灰を加えて酸化，脱炭，脱燐を行ない，純鉄に近い粗鋼とし，これを水中に注下し，豆粒大のショツトを製造し，これを優良鋼の原料として使用した．

（4） 常磐商会が行なった Anderson Thornhill 法

久慈地方の砂鉄および褐炭を利用して海綿鉄を製造する方法である．アメリカの E. B. Thornhill および R. J. Anderson の回転炉床法を購入したもので，設計，建設，操業などすべて両氏の指導の下に行なわれ，装置は1926年に完成した．しかし故障が多く，1927年8月にアメリカ人が帰国し，その後も試験が続けられたが，結局工業生産に至らず1928年に休止された．この方法は環状回転炉床をもつ還元炉に砂鉄と半成コークスを混合装入し，輻射管加熱により還元して海綿鉄を製造する方法である．公称能力日産50トンの海綿鉄製造炉2基からなり，そのプラントが建設された．砂鉄は Mc. Dougell 予熱炉で1,000°Cに予熱酸化したものを使用した．

（5） 電撃法

1934年に菊地秀之の発明によるもので，1936年に，この方法による原鉄を原料として，特殊鋼までの一貫作業を行なう目的で試験工場が建設された．その後，工業的生産に移り，1952年まで行われていた．この方法はコンクリートまたは赤レンガ製の開放炉に，砂鉄，コークス，石灰石，石炭などの混合物を炉内に山型に装入し，最上部約20mmをV字型に堀り，その底に細い鉄線を炉長に沿って埋め，この上に配合原料をのせ，60～70mn電流を通す．棒鉄が生成すれば．やや冷却してからこれを堀り出し，その後に再び原料を装入して同じことを順次繰返す．また一方の電極を順次移動させながら通電する方法も行なわれた．電流は3,300V，60サイクルである．電力消費量は，棒鉄トンあたり4,200kWhを必要とした．製造された棒鉄は品位が不同であったが，電気製鋼炉用原鉄として，海綿鉄およびルッペに比べて著しく溶解性が良好であった．建設費はきわめて安い．

（6） ロータリーキルンによる海綿鉄製造法（日下式海綿鉄製造法）

満鉄の試験工場に建設され，1938年頃から終戦まで操業されたもので，8～15mmの粉鉱を還元剤（非粘結性小塊炭，コークス，木炭など）とともに，直径2·6mのロータリーキルンに装入し，900～1,000°Cで還元し海綿鉄を製造する．過剰の石炭はコーライトとなり，海綿鉄とともに排出される．冷却後磁選によりコーライトを分離する．ただしこの方法は電気製鋼炉用原鉄を対象とし，粉鉱の表面からある深さまでを金属鉄とし，故意に深部に酸化鉄を残す還元法を採用する．残留酸化鉄は製鋼炉内の添加炭素分で容易に還元され，製鋼炉の溶解が容易となる．この試験工場は日産能力が50トンであり，

副成コーライトの生産能力は日産 15 トンであった．使用した鉱石は鉄分 66·03%，SiO_2 4·53%，Mn 0·111%，P 0·023%，S 0·0066% であつた．生成した粒状海綿鉄は金属鉄 62～86%，C 0·15～0·36%，P 0·018～0·025%，S 0·05～0·11%であつた．

類似の方法が大同製鋼株式会社でも，パイロット・プラントとして行なわれた．

（7） 日本砂鉄鋼業株式会社海綿鉄製造法

同様のロータリーキルンによる海綿鉄製造法であつたが，含チタン砂鉄からVを抽出した残渣の砂鉄を原料とし，バナジウム製錬と併行して工業化された方法である．炉内の最高温度は 1,100°C であり，還元剤として半成コークスまたは無煙炭を装入して操業した．高砂工場の生産能力は月産 1,250 トンであり，八戸工場の能力は月産 2,500 トンであつた．

（8） クルップ・レン法

1939年に昭和製鋼所，三菱鉱業で開始され，大江山ニッケル，七尾セメントでも行なわれた．1941年には川崎重工業株式会社の久慈製鉄所においても開始され，これは現在まで引続き順調に操業を続けている．

（9） スミス法

スミス法の燃焼室は水平煙道式あるが，これは垂直煙道式を採用したコークス炉型の還元炉で海綿鉄を製造した．大華鉱業株式会社大連工場で中規模試験を実施し，秋田県象潟に 12 レトルト炉，2基を基幹とする年間 50,000トンのプラントの建設を計画し，昭和 18 年以来工事が行なわれたが，その完成を見ずに終戦により中絶され，その後撤去されてしまつた．

以上の推移を総括すれば，第1次世界大戦に際して鉄鋼の需要が著しく強まった際に，スクラップ不足の対策として直接還元法が取り上げられ，つぎに中日戦争で鉄鋼需要が高まつた際に，再び直接還元法が取り上げられ，さらに第2次世界大戦による鉄鋼不足に対処して，各種の直接製鋼法が多数現われてきた．これらのうちの多くのものは終戦とともに中絶してしまつたが，その技術が蓄積されて戦後の直接還元法の発展に有効に役立つている．

II. 第2次大戦後の直接還元法

（1） クルップ・レン法（川崎製鉄(株)久慈工場）

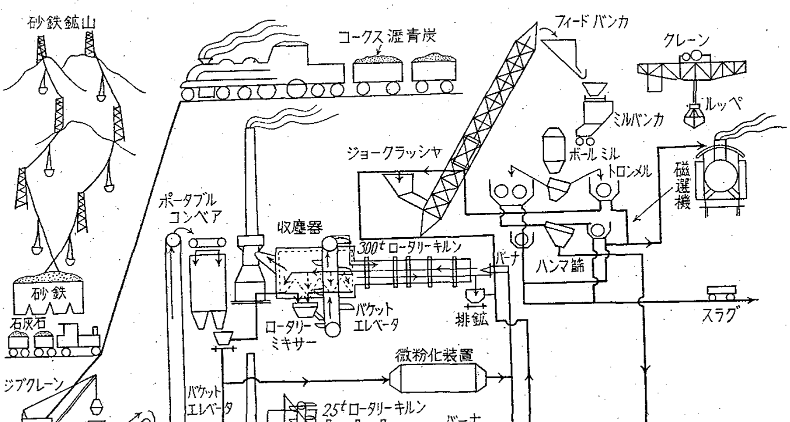
ロータリーキルンに原料鉱石，固体還元剤，要すれば溶剤を装入し，一端より微粉炭または重油にて加熱し，直接還元で生じた海綿鉄を溶着凝集してルッペとする．スラグとルッペの混合した排出物は水にて冷却後，ボールミルにて粉砕し，磁気分離機にてルッペ，磁力精鉱およびスラグに選別する．

川崎製鉄株式会社，久慈工場では 1941年より300 t キルン2基を操業している．終戦後一時中止したが1949年より再開し，現在操業中である．この地方は，山砂鉄 (Fe 28～35%，SiO_2 30～35%) および浜砂鉄 (Fe 58～62%，SiO_2 2～5%) の入手が容易であり，両砂鉄を適当に配合して使用する．原料鉱石はこの砂鉄で，還元剤は粉コークスおよび無煙炭を使用し，燃料は微粉炭である．ルッペの 70～85% は，粒度が 1～5mm である．ルッペの品位は下表のとおりである．

この方法は高炉に比し建設費は安いが脱硫率が低い．久慈工場のフローシートを第1図に示した．

化学成分	T.Fe	C	Si	Mn	P	S	Ti	Cu
ルッペ (%)	94～96	0·5～1·7	0·2～0·6	<0·1	0·1～0·3	0·1～0·2	tr.	<0·01

ルッペは製鋼原料として電気炉または平炉に装入する．一部のルッペは高炉に装入する．ロータリーキルンは，径が 3·6m，長さが 60m である．ルッペ t 当りの原単位は，鉱石の Fe が 50% の場合に鉱石 2～2·7 t，還元剤 800～1,000 kg，燃料 250～350 kg，電力 110～140 kWh である．キルン全長に対する最初の 20% が予熱帯で 450～500°C，つぎの 60% が還元帯で 600～1,100°C，最後の 20% がルッペ帯で 1,200～1,300°C である．1,100°C までに還元を完了しておくことがルッペ製造上重要である．スラグの塩基度は0·15～0·25であり，スラグ量の最低限は 600 kg / t ルッペである．耐火



第1図 ルッペ製造のフローシート(川崎製鉄久慈工場)

物は，予熱帯および還元帯には特殊なものを要しないが，ルッペ帯には酸性耐火煉瓦の緻密なものを必要とする．この方法の特徴は，SiO_2 が高く選鉱不可能な貧鉱を処理できることで，還元剤，燃料に良質のものを必要としない．

（2） 半還元海綿鉄製造法による砂鉄の製錬

日本には砂鉄が相当広範囲に賦存している．砂鉄はイルメナイトを含有し，磁鉄鉱を主体とした砂粒状の鉱物である．現在東北電化工業(株)大間々工場で製錬しているのは，砂鉄原鉱を磁選して得たもので，その成分および粒度の一例は次表のとおりである．

化学成分	T.Fe	FeO	Fe_2O_3	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	S
砂鉄精鉱 (%)	57·34	30·87	47·95	4·32	11·00	1·58	0·024

大いさ (mm)	1〜0·2	〜0·15	〜0·10	〜0·07	−0·07
〃 (mesh)	+65	〜100	〜150	〜200	−200
砂鉄精鉱 (%)	1·5	11·0	72·0	14·0	1·5

この成分の中 TiO_2 はイルメナイトとして，鉱物組織中に主として共晶状，格子状を呈して含有されており，さらに微粉砕，磁選をすることによつても単体分離され難い性状を有しているので，TiO_2 の除去は冶金的造滓によつて行なわれねばならない．

同社においては，この砂鉄の製錬に当り，ロータリーキルンにより独自の半還元海綿鉄を製造し，これを電気製銑炉によつて製錬し，得られた銑鉄を酸素製鋼炉によつて製鋼する方式を1957年より工業的に実施している．

まず事前還元用ロータリーキルンはつぎの容量のものである．

項目	内容説明
ロータリーキルン寸法	3·5m∮×35m長+2·1m∮×21m長 (全長56m)
ロータリークーラー寸法	1·4m∮×7m長　内部シャワー設置
キルン駆動用モーター	100HP
生産量	330 t/day

半還元海綿鉄製造に当つては，まず操業温度としては装入物が溶融を起さない範囲のなるべく高温度，実際には 950〜1,250°C の範囲で行なう．還元範囲は原鉱のマグネタイトが還元を受けて Fe_3O_4 がほとんど消滅し，金属鉄と FeO とになるまで還元する．操業の規準としては半還元海綿鉄の化学成分が

	M.Fe	Fe_2O_3
%	20〜45	<5

となるように還元剤量，還元時間などを調整する．還元剤としては安価なコークスブリーズ，無煙炭，煽石などを使用する．このいずれの単味使用も可能である．半還元海綿鉄の粒度については，必要のある場合は成型を施こす．この造粒に当つては，上記の成分範囲のまま，原粒子間に溶融の起らない範囲で，かつこの海綿鉄原粒子のほとんどがそのままの組織を留めたまま，多孔質の粒鉱に凝着粒形化するように操業する．この方式によれば従来キルン連続操業の支障となつたリングの成長，大塊化の問題を容易に解決することができる．

実際に行なつている半還元海綿鉄の成分および粒度の一例は次表のとおりである．

化学成分	T.Fe	M.Fe	FeO	Fe_2O_3
半還元海綿鉄%	62·03	29·74	37·34	4·21
自溶性半還元海綿鉄%	58·63	27·41	38·12	2·77

化学成分	SiO_2	TiO_2	CaO	C	Al_2O_3
半還元海綿鉄%	5·35	11·85	0·30	1·91	3·58
自溶性半還元海綿鉄%	6·00	10·36	4·23	2·25	2·46

大いさ (mm)	+15	〜9	〜3	〜1	〜0·2
半還元海綿鉄%	23·5	29·6	30·7	8·7	8·3

この半還元海綿鉄製造に当っての原料原単位は次表のとおりである．

原料名	砂鉄精鉱	煽石 F.C67%	電力	重油
原単位 (海綿鉄 t 当り)	1·050〜1·080 kg	190〜210 kg	10〜13 kWh	65〜80 l

この半還元海綿鉄の製錬を行なつている電気製銑炉は変圧器容量 14,100 kVA（電力負荷 13,000 kW，電極径 1,110mm∮，日産 150 t/day）で，製銑炉としては現在本邦最大の規模を有するものである．この製銑炉によつて得られる溶銑およびスラグの化学成分の例は次表のとおりである．

化学成分	溶銑 C	Si	Mn	P	S	Cu	Ti
%	3·75	0·19	0·92	0·084	0·035	0·020	0·08

化学成分	スラグ						
	SiO_2	CaO	FeO	Al_2O_3	TiO_2	MnO	CaO/SiO_2
%	26·10	22·40	2·31	10·50	25·30	3·68	0·86

砂鉄中に含有されている TiO_2 は上記のような成分の造滓により容易に滓化除去できる.

また得られた砂鉄銑は Cu, Cr がきわめて低く，Ni, As, Sn, Sb, Bi などの不純金属元素は痕跡ないし皆無であつてきわめて純度が高く，スエーデン銑と同様に高級鋼および特殊鋼原料として使用される．この製銑に当つての原料原単位は次表のとおりである.

原料名	半還元海綿鉄	コークスブリーズ	石灰石
銑鉄 1 t 当り原料原単位	kg 1,650	kg 120～130	kg 220～250
原料名	フエロマンガンスラグ	電極ペースト	電力
銑鉄 1 t 当り原料原単位	kg 100～150	kg 9～10	kWh 1,600～1,750

現在電気炉は開放型で，半還元海綿鉄は冷材のまま装入しているが，電炉密閉化，hot charge の実施を行なえば，電力原単位は 1,300～1,400 kWh までの低下が予想される.

本方式によつて年間 55,000 t の銑鉄が生産され，高級鋼，特殊綱原料として使用されている.

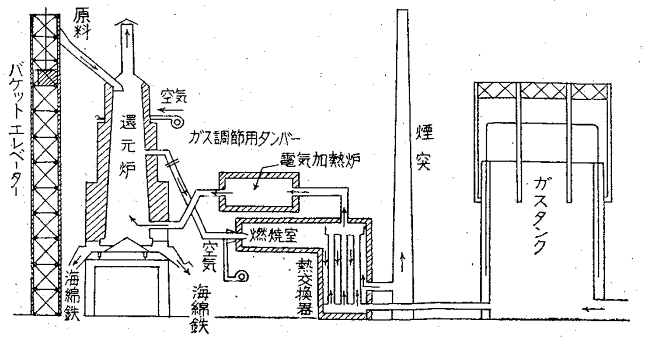
（3）　上島式海綿鉄製造法

電気炉などからの廃ガスを利用してシャフト炉中で小塊状鉄鉱石またはペレットを海綿鉄に還元する方法である．シャフト炉上部に装入した鉱石は炉下部から上昇する還元ガスの約 1/3 量の燃焼によつて 1,000°C に予熱され，ついで炉下部で海綿鉄に還元される．還元ガスは熱交換器と電気加熱炉で 900°C に予熱されてシャフト炉下部に送入される．この還元ガスは鉱石の還元に働いた後，その約 2/3 量がシャフト炉の中程より引き出され，熱交換器に導かれて燃焼し，その顕熱によ新しい還元ガスを予熱する（第 2 図参照）．1956 年より操業を始め，現在，燐化学工業（株）内にある試験炉は日産能力 15 t である．海綿鉄 t 当り原単位は，還元用ガス（CO 90%，H_2 4%）1,180m^3，電力 250 kWh である．高級鋼用の良質原料となる海綿鉄を製造している.

（4）　日立金属工業(株)の鉄鉱石直接還元法

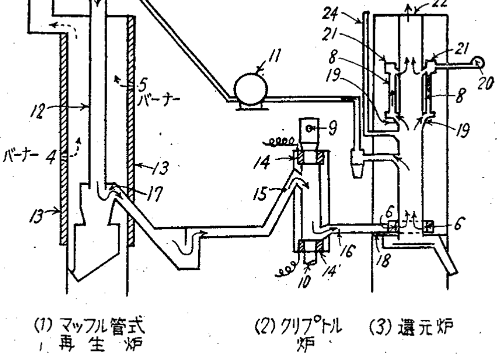
従来よく知られているウイベルグ法は，電気抵抗式ガス再生炉およびドロマイト脱硫炉，ならびに還元炉をもつて構成されている．日立の方法ではマッフル管式再生炉と還元炉ででき上つている．ウイベルグ法は海綿鉄 1 t あたり電力消費量が約 1,000 kWh，良品コークス 100～200 kg を要する．この方法は電力消費量をウイベルグ法の約 1/3 に低減し，再生炉に廉価な炭素剤を使用することができる．第 3 図にこの方法を図示した．(1) はマッフル管式ガス再生炉，(2) はクリプトル炉，(3) は竪型還元炉であり，マッフル管式ガス再生炉 (1)の中心部に設けたマッフル管 ⑫ 内には，木炭，低粘結炭，再粘結性石炭，ガス，コークス，コーライトなどの安価な炭素源をつめ，側壁 ⑬ に設けたバーナー ④ および ⑤ によつて，重油その他の燃料を燃焼し，マッフル管 ⑫ の外壁を加熱する．クリプトル炉 2 には，上下端部に中空のリング状電気ダッシュ ⑭ を設け，上段に設置したホッパー⑨よりコークス類をうける．還元ガスがクリプトル炉(2)によつて加熱された後に，還元炉(3)に送り出される．⑪ は耐熱送風機である.

この方法の特徴は，再生炉に廉価な炭素材を使用でき，同時に装入されるドロマイトあるいは石灰石粒はガスの脱硫とともに炭化水素の分解，CO_2，H_2O の変成促進の触媒効果がある．電極とガスが流動接触しないこととともに入ガス中に残存 CO_2，H_2O 含有量がほとんどないからクリプトル炉の電極の消耗と，これに用いる良質コークス（クリプトル）の使用量が微少である．ドロマイト脱硫炉の併置の必要がなく，これに伴なう熱損失



注）図中ガス調節用タンバーとあるはガス調節用ダンパーの誤り

第 2 図　上島式海綿鉄製造法



第 3 図　日立金属安来法による海綿鉄製造原理

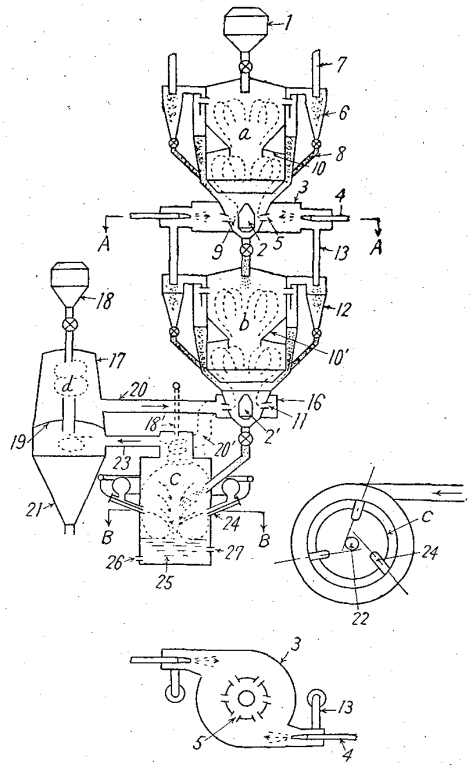
ない．電力消費は従来のウイベルグ法の 1/3 ですむ．マッフル管加熱用燃料の消費は，本法の諸利点により十分に補償される．

（5） Rotor Process（福田充美氏）

Rotary rotor 中で砂鉄を直接還元して，高品位の銑鉄または鋼を製造する方法である．試験に使用したローターは，長さ 3m，内径 1·2m，口径 0·45m，内容積 1·8m³，回転速度 3·5 rpm 以下である．鉄原料は，砂鉄（含チタン砂鉄，イルメナイトを含む），硫酸焼鉱，ダライ粉，屑鉄，貧鉱のいずれでもよい．還元剤はコークブリーズで，理論値の約 2 倍使用する．燃料は重油で，製品 t 当り 200 l 以下である．1,000°C に予熱したローター中へ原料と還元剤を装入し，還元作業が終つた後にコークスで加炭し，製品は溶解しスラグと分離する．実験は大阪の東洋チタニウム（株）で高チタンスラグを造る目的で行なわれた．製品の化学成分は，C 3·50～4·10%，Si 0·05～0·07%，Mn 0·01～0·03%，P 0·060～0·160%，S 0·009～0·030%，Cu＜0·02%，Cr 0·01～0·03%，V＜0·01%，Ti＜0·02%である．

（6） N.F 式直接製鋼法（中島統一氏）

N.F 式直接製鋼法の基礎研究は，1948年より始められ，富鉱，貧鉱の化学成分の如何にかかわらず，粉末鉱石から溶融状態の鋼の製造を可能にする装置の試作を目標に独自の開発を試みている．大部分の粒子が激しく攪拌作用を伴なつて上下運動する complete fluidization の状態を模型実験より観察し，好適の流動層を求めている．流動床理論と，還元の化学反応速度論的理論にもとずいて設計した炉を第 4 図に示した．鉱石の運行経路にそって上部より説明すると，（a）酸化焙焼と鉱石予熱を兼ねた炉，（b）酸化焙焼予熱された鉱石を還元する炉，（d）還元ガス調整炉，（c）溶融炉の順で溶鋼が製造される．図について説明すると，まず焙焼炉（a）の上に設けた原料ホッパーより粉鉄鉱石，貧鉱処理の精鉱，ラテライト，硫酸滓，砂鉄などの粉状鉱石に媒溶剤として，石灰石，螢石などの粉末を混合したものを，所定時間に一定量づつ連続的に炉の中央より炉内に装入する．焙焼炉の機構は円筒型でその中を漏斗状仕切壁により 2 段，またはそれ以上に仕切る．還元炉より排出された可燃性ガスが，サイクロンを径て浄化され，空気で燃焼しながら下部の環状燃焼室よりの数個の羽口より噴出され，鉱石は焙焼予熱される．この炉では激しい攪伴運動により鉱石の乾燥，石灰石の分解，脱硫が行なわれる．焙焼予熱された鉱石は所定の滞溜時間後，還元炉にバルブを径て移動する．還元炉も，焙焼予熱炉と同様の機構を具備していて，下部溶解炉よりのガスは，ガス調整炉で温度



第 4 図　N.F 式直接製鋼炉

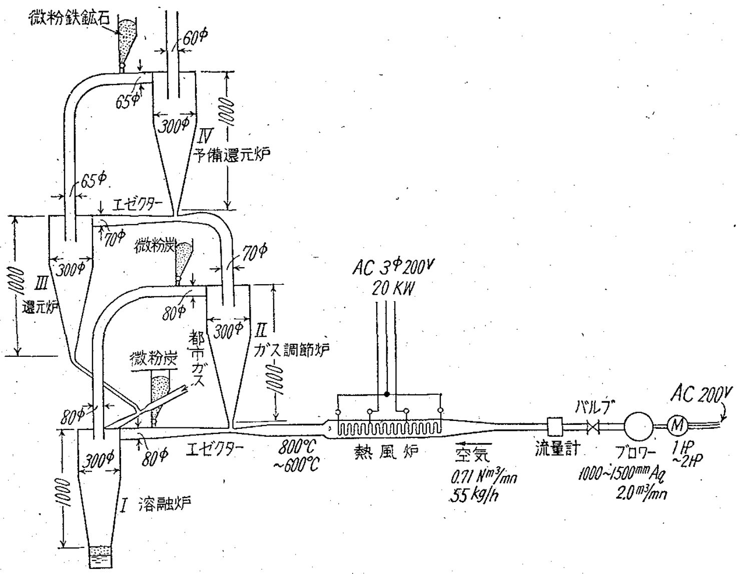
とガス組成を調整し，固体炭素粒子を含んだ還元ガスとして，環状ガス室より羽口を径て噴出され，予熱されている鉱石の不足エネルギーを補いつつ流動還元を行なう．この還元炉の周囲には，数個のサイクロンコレクターを付属させ炉内の流動状態を均一にし，反応の均一化を保つ．またサイクロンで捕集された鉱石は下部より再び流動層に戻る．ここで 90% 以上還元された鉱石は，溶解炉に移動する．溶解炉は，重油，原油など液体燃料を使用し，酸素または酸素富化空気をもつて燃焼し，炉内温度を 1,600°C 前後に保ち，上部より移動してきた還元鉄粉を，再酸化しない不完全燃焼の状態ですみやかに溶解する．溶解炉の特性は，上部で還元された還元鉄粉が細粒子でしかも高温度であるから普通これを常温になるまで不活性ガス中で冷却しブリケットとして使用するに反し，それらの欠点をむしろ優れた特殊性として溶解製錬する．すなわち，還元鉄粉の顕熱が 1,000°C で溶解炉に移動すれば，溶解に必要な熱量は，鋼 1 t 当りつぎのようになる．

溶解熱量	鋼	1000 kg	300,000 kcal
	スラグ	400 〃	200,000 〃
	合計	500,000 kcal	

内

海綿鉄の持込む熱量　270,000 kcal

差引必要な熱量　500,000kcal－270,000kcal
　　＝230,000 kcal



第5図　野際幸雄式サイクロン炉製鉄法基礎実験装置

すなわち,溶解炉にて補う熱量は 230,000 kcal でよいため燃料が少なくてすむ．溶解時間も海綿鉄が 1 ケ所に堆積せず，焔の流れに浮遊しているので速かに溶解され，鋼とスラグとに分離する．かくして，出鋼，除滓を行い溶鋼は取鍋にて脱酸剤の添加により造塊する．小試験炉による実験結果の一例をつぎに示す．

1.　原料，千葉砂鉄 (Fe 56%)
2.　鋼の分析値　C 0·15%，Si 0·152%，Mn 0·21%，P 0·047%，S 0·03%，Cr tr，Cu 0·02%
3.　スラグの分析値　SiO_2 15·84%，CaO 11·01%，TiO_2 26·89%，FeO 7·83%
4.　機械試験結果

降伏点	引張強さ	伸	絞
37·8kg/mm²	47·8kg/mm²	32·5%	63·5%

硬度(H B)
125

(7)　野際幸雄法

この方法は 100〜150 メッシュの微粉鉱石を用いて，鉱石から直接に溶鋼を生産する方法である．その装置のスケッチを第5図に示した．この方法の特徴は，サイクロン炉を適当な配置で直列に使つて鉱石微粉を処理するから，この装置は回転などの機械的部分がなく機構は全部静止部分から成り立ち，また閉塞部がなくガスの流動だけでバルブ作用をさせ，粉体を停滞させることなく目的を達することができる．サイクロン式溶融炉Ⅰは非常に高温になる．温度は自由に調節できる．還元炉Ⅲで還元した微粉海綿鉄が溶融炉内へ吹き込まれる．溶融炉から出る高温ガスは，ガス調整炉Ⅱへ炭素微粉とともに入り，CO_2はCO になつて，ガスの温度はこの吸熱反応で相当降下する (1,000〜1,100°C)．炉Ⅱを出たガスが還元炉Ⅲへ吹き込まれる．還元炉を出たガスは，予備還元炉Ⅳへ吹き込まれる．この装置で製錬すれば，鉱石はどこにも停滞することなく終始ガスに乗つて動き，また微粉であるため急速に還元溶融される．目下パイロットプラントで実験中である．

(8)　富国石油式天然ガス低温還元製鉄法

これは天然ガスによる粉鉱の流動還元法であり，粉鉱をまず流動床反応装置中で約 900°C にて焙焼し，ついで赤熱のまま還元炉に装入する．還元炉では鉄鉱石それ自身によつてその炉中で天然ガスを熱分解して生ずる還元ガスで約900°C にて鉄鉱石の流動還元が行なわれる．現在，日産能力 10 t の炉で試験中である．還元鉄 t 当りの天然ガス所要量は 500m³ である．還元率は，ほぼ 100% であり，還元製品中の金属鉄は約 85% である．

本報告は委員雀部高雄 (東京大学教授) によつて講演されたもので，同氏の労に厚く感謝する．

(昭和 37 年3月寄稿)

文　献

1) S. YAMAMOTO: "Ancient Japanese Steel-making Process", Tetsu-to-Hagané, Overseas, Vol. 1 No. 2, (Sep. 1961) p. 49