

図 2.4.12 銑床脱珪設備
(日本鉄鋼協会共同研究会：第 63 回製銑部会 (1983 年 10 月) 日本鋼管(株)(私信))

の概要を示す。銑床脱珪技術では、耐火物の開発とスラグ分離が重要な技術ポイントである。

スラグ処理に関しては、ドライピットおよび滓鍋で炉前処理されていたが、スラグの資源化と作業環境の改善を加味し水砕設備の採用が見直されている。システムとしてランニングコストとメンテナンスコストの低減が採用時のポイントである。

2.4.8 熱風炉設備

1970 年代の高度経済成長の下では、高温送風が燃料比の低下に有効な手段であることから、1350°C の高温送風が可能な熱風炉の建設が競って行われた。欧州の外燃式熱風炉の採用、基数の変更、補助燃料の使用、ガスおよび空気の予熱、スタッガードパラレル送風技術等に種々の工夫と改善がなされた。1980 年代に入り、高炉を製鉄所内の重要なエネルギー供給源として位置づけ、オールコークス、高燃料比操業へ移行するに際して、送風温度の低下で対処することが一般的となり、熱風炉でのガス消費量を削減する方向になつてきている。高温送風志向時に建設された熱風炉では、要部に珪石れんがを採用しているものが多いが、これらを低送風温度志向で操業すると、珪石れんがの変態点に達する場合があります、炉寿命延長のためにれんが温度管理が重要になつている。最近の熱風炉の操業形態として 3/4 基、4/5 基として操業している高炉もあり、冷却休止再使用時の対策や、高炉改修時に冷却休止し再使用するケースも含めて、熱風炉の長寿命化対策が必要となつてきている。

2.5 高炉によらざる製鉄法

2.5.1 概説

高炉によらざる製鉄法は、スクラップや原料炭の不足に対処する有効な方法として、高度成長期の先進国において強い関心が持たれた。

当時の安価なエネルギー価格を背景に、まずスクラップの代替となる還元鉄製造法の開発が進められ、図 2.5.1 に示すように固定層、移動層、流動層、ロータリーキルンとあらゆる方法が検討され、10 数プロセスの実用プラントが建設された。これらのプラントの中心は、エネルギー原単位の低い移動層方式で、なかでも Midrex 法は最も早期にプロセスが確立され、北米、西独で数基のプラントが操業に入つた。

しかしながら、1973 年から始まるエネルギー価格の高騰は、先進国での還元鉄プラントの建設意欲を減退させ、その後還元鉄プラントは天然ガスの安価な産油国に集中的に建設されるようになった。1983 年にその設備能力は約 1900 万 t/年までに増大し、工業的製鉄法の地位を固めるに至つた。

現在、還元鉄を 100 万 t/年以上生産しているプロセスは、移動層の Midrex 法と固定層の HYL-I 法であるが、上記のエネルギー高騰は産油国のプラントにも影響を及ぼし、エネルギー原単位が新鋭プラントでも約 3.7 Gcal/t と高い HYL-I 法は、プロセスオーナーのメキシコ HYL 社自身のプラントが移動層方式の HYL-III 法に改造されるにおよび、HYL-I 法の役目は終了したと考えざるを得ない。

流動層方式は、安価な粉銲を利用できるが、現在のところ、カーボンデポジションを防ぐために還元ガスの

還元炉	燃料	銲種	1960	1970	1980	1983年 設備能力 (千t/年)	1983年 生産高 (千t/年)	
固定層						4410	2712	
移動層	天然 ガス	ペレット・塊銲石	'57		→ HYL-I			
						→ HYL-III	730	331
						→ Wiberger	740	37
						→ Pragma-red	500	25
						→ Midrex	9210	4065
						→ Purofer	330	—
流動層	粉銲	粉銲	'69		→ FIOR	350	334	
						→ HIB	650	—
ロータリー キルン	石炭	ペレット・塊銲石	'69		→ SL/RN	750	243	
						→ Codir	140	45
						→ DRC	100	31

図中の ' の付いた数字は最初の大型プラント稼働開始年、
×は大型プラントの稼働停止時

図 2.5.1 主要還元鉄製造プロセスの発展経過及び設備能力、生産量

表 2.5.1 開発中の代表的溶融還元製鉄法

プロセス	開発場所 国名	プロセス方式		プラント規模		その他
		予備還元	溶融還元	予備還元	溶融還元	
Inred法	Boliden スウェーデン	フラッシュ スマルト	ACアーク 電気炉	8 t/h (6万t/年)		排ガス発電による電力を電気炉とO ₂ プラントへ供給
Elred法	ASEA スウェーデン	高圧旋回流動式 石炭ガス化還元	DCアーク 電気炉	400 kg/h	30 t 炉 (7 t/h)	排ガス発電による電力を電気炉へ供給
Plasmasmelt法	SKF スウェーデン	流動層	コークス充填層 石炭プラズマ吹き込み	700~1200kg/h	1.5MVA プラズマ炉	—
KR法	Vöest Alpine 西独	移動層	石炭ガス化 溶解炉	200 t/日		多量余剰ガス発生
Coin法	Krupp 西独	移動層	鉄浴溶解炉(底吹 転炉タイプ)	—	3 t 炉	現時点での企業化には予備還元は移動層*
住金法	住金 日本	移動層	コークス充填層 石炭、O ₂ 吹き込み	8 t/日 パイロット		—
川鉄法	川鉄 日本	流動層	コークス充填層 2段羽口	6 t/日 パイロット		—

* 既存還元鉄製造技術の利用を考えている。

H₂ 含有量を 90% 以上にする必要のため、エネルギー原単位が 3.9 Gcal/t と高く、また設備が複雑なため建設コストが高く新設計画は無い。またロータリーキルン方式もキルン排ガス顕熱の利用が難しいため、エネルギー原単位が高い上に、大型化は約 1000 t/日が限界であり石炭の安価な南アなどの特殊な地域でスクラップ価格に対応して操業されているにすぎない。

このように、現時点では移動層方式の Midrex 法が、最も信頼されるプロセスといえる。これを追って HYL-III 法と NSC 法が最近登場してきたが、両法の採用した高圧移動層方式は理論的には還元効率と生産能力を向上させるといわれるものの、高圧化に伴う設備の複雑化は避けがたく、その評価は、今後の実用プラントの稼働実績を待つて定めるべきであろう。

一方、安価な一般炭を使用し、一挙に溶鉄を製造する溶融還元製鉄法の開発が活発化している。代表的方法の概要を表 2.5.1 に示すが、それらのプロセスは、エネルギー効率を高めるために予備還元プロセスを組み込んでいる。

開発の先行したスウェーデンのプロセスは、溶融還元部に電力を利用してエネルギー密度の高いアークやプラズマを利用しているのが特徴である。なお Inred 法と Elred 法は、すでにデモンストレーションプラントの段階は終了している。

スウェーデン以外のプロセスでは、それぞれ溶融還元部に特徴のある方法が検討されているが、予備還元部は企業化目標の近いプロセスでは技術の確立している移動層方式を、遠いものは粉鉄を使用する流動層方式を採用

する傾向にある。そのなかで最も開発の進んでいる KR 法は、公称 200 t/日のデモンストレーションプラントでの操業試験が実施されているが、他のプロセスはベンチスケールやパイロットプラントの段階にとどまっている。

2.5.2 還元鉄製造技術

我が国に本格的な還元鉄プラントが登場するのは、やや変則的ではあるがロータリーキルン方式による製鉄ダスト処理用プラントである。この種プラントは、1968~1975 年にかけて 6 プラント、約 90 万 t/年能力のものが建設された。その大部分のものはキルン排ガスを利用して、グレートプレヒーターで原料を予熱し、熱効率の向上を図っている。またこれらのプラントは、ダストの含有する C を還元材として利用しながら、鉄分の回収や Zn の除去などを目的としており、その製造還元鉄は純度が低いため、高炉用として使用されている。しかし最近では鉄鋼減産によるダスト発生量の減少もあり、限定的操業や稼働を中止しているプラントが多い。

1973 年スタートした原子力製鉄プロジェクトで考えられたプロセスは多目的高温ガス炉より得られる 1000°C、40 atm の He ガス顕熱を利用して、当時安価な減圧残渣油を水蒸気で分解、改質して還元ガスを製造し、これを用いて移動層炉で還元鉄を製造するものであった。還元ガスと還元鉄の製造プラントや高温熱交換器の個別設備の開発と、それらに使用する耐熱材料の開発が行われたが、多目的高温ガス炉の開発の遅れや鉄鋼生産の伸びの鈍化などの理由により、本プロジェクトは

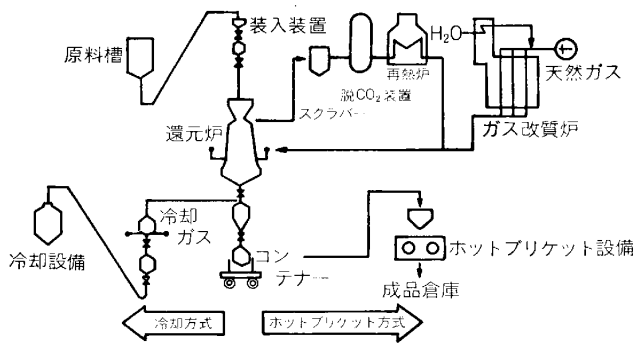


図 2.5.2 NSC法のフローシート

単体設備開発の工期計画終了の 1980 年に中断され、開発した諸技術をリザーブし将来に備えることになった。

新日鉄は 1975 年に広畑に高圧移動層還元（最大炉頂圧 4.5 kg/cm²）を行う NSC-DR 法の 500 t/日デモンストラクションプラントを建設し、1977~78 年にかけて試験操業を行つた。同社はこの実績を基に 1982 年マレーシア Terengganu に初の 60 万 t/年プラントを受注、建設中で、1985 年には操業に入る予定である。

図 2.5.2 に NSC 法のフローシートを示す。このプロセスの特徴は移動層炉の高圧化による生産性向上のほか通常のスクリューによる炉頂ガスの除塵や冷却により H₂O を除去した後、さらに CO₂ を除去、再加熱して別途水蒸気改質リフォーマより供給される新還元ガスと合流させて羽口へ吹き込むことにある。またマレーシア建設プラントは、塊鉱石多配合を狙っているとのことである。

一方神鋼は 1978 年以来、中東カタルへの技術援助として本邦最初の 40 万 t/年規模の Midrex 法プラントを中核とする製鉄所を建設し、還元鉄の製造や圧延工程をも含め操業指導を行つている。さらに同社は、1983 年に Midrex 法のプロセスオーナーの Midrex 社を傘下におさめ、積極的な海外プラント建設を企てており、同年エジプトでの 60 万 t/年規模プラントの受注に成功した。

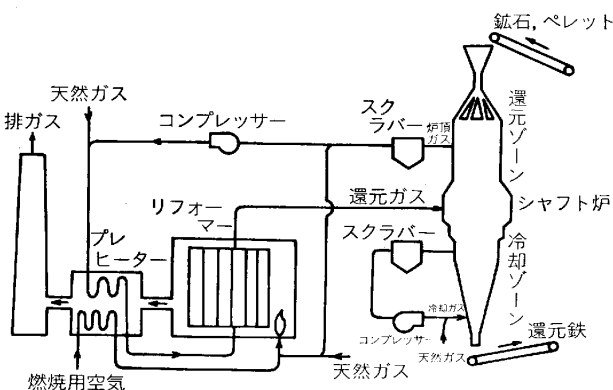


図 2.5.3 Midrex 法のフローシート

図 2.5.3 に Midrex 法のフローシートを示す。本プロセスは炉頂ガス中の CO₂ を改質材として利用した、いわゆる炭酸ガス改質法により還元ガスを製造するため、多量の改質用水蒸気を必要としないことが特徴である。また本プロセスは、リフォーマの燃焼用空気や天然ガスの予熱、あるいは冷却帯に少量の天然ガスを吹き込む、いわゆる *In situ* リフォーミングなどの新技術を採用し、エネルギー原単位は還元鉄 t 当たり、2.5 Gcal まで低下している。

従来、通常の還元鉄の輸送にあたっては、例えば水濡禁止や、船槽内の不活性雰囲気確保 (O₂, 5% 以下) などの対策が必要であった。しかし、ホットブリケットは降雨時の野積でも酸化しないことや、電炉などの溶解性のよいことが知られており、また IMO (International Maritime Organization) から還元鉄を 600°C 以上で成型し、比重 5.0 以上のいわゆるホットブリケットの輸送対策免除が認められるにいたり、ホットブリケットの採用プラントが建設される気運にある。現在、建設中のマレーシア Sabah 州の Midrex 法プラント及び前記、Terengganu の NSC 法プラントでは、ホットブリケットマシンが設置されている。1985 年には、このホットブリケットが本邦に輸入されることになろう。

2.5.3 溶融還元製鉄

本邦においては、住金と川鉄が具体的なプロセスの開発を展開している。

住金酸素製鉄法は、図 2.5.4 に示すように溶融還元炉に溶解ガス化炉を用い、上部から高温の還元鉄とコークス (劣質コークスでよい) を装入し、炉下部の羽口から O₂ と微粉炭を吹き込んで還元、溶解を行わせる。生成した溶鉄とスラグは、高炉と同様に出口より排出される。予備還元部は移動層である。

住金は 1982 年に 8 t/日の溶解ガス化炉の建設と試

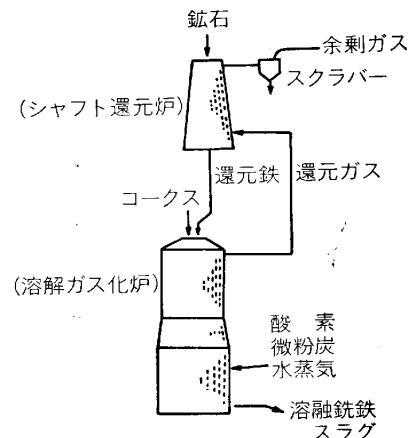


図 2.5.4 住金酸素製鉄法

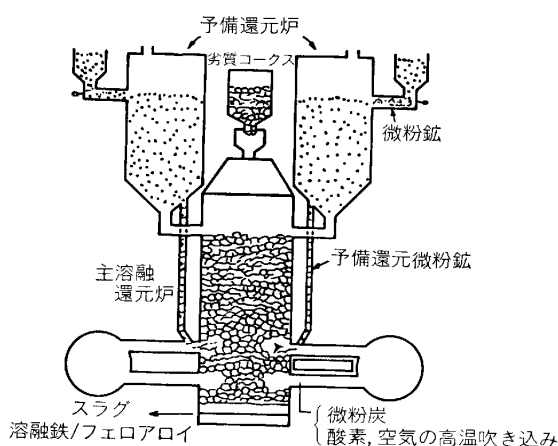


図 2-5-5 川鉄溶融還元製鉄法

験操業を行い、1984年には移動層炉を完成させて、予備還元-溶融還元直結の本格的な試験操業に入る予定である。なお同社は別途、鉄浴式石炭ガス化炉の開発も行っている。

川鉄溶融還元製鉄法は、図 2-5-5 に示すように、溶融還元炉にコークス充填層炉を用いている。同炉には特徴のある 2 段羽口を設置してあり、上・下羽口間の距離や、各羽口より吹き込む微粉炭、送風中 O_2 や湿分などのコントロールにより、炉内高温領域（例えば $1450 \sim 1550^\circ C$ ）の長さを変えることができる。予備還元は流動層で行う。試験段階は不明であるが、川鉄としては製鉄以外のフェロアロイ製造などへの応用も考えているといわれる。

その他の活動として CIG (Coal Iron Gasification) プロジェクトが挙げられよう。これは IEA の鉄鋼業省エネルギーに関する共同研究の一環として、主に日本とスウェーデンで鉄浴石炭ガス化溶解炉と予備還元炉を組み合わせたプロセスによるプラント建設の FS を行つた。日本側は新日鉄、鋼管、神鋼の 3 社が活動の主体で、1982 年から約 2 カ年間にわたり作業を行つた。

このように溶融還元製鉄については、日本各社も積極的な開発を進めており、今後の成果が期待される。

2.6 フェロアロイ

2.6.1 概説

電力多消費を特徴とするフェロアロイ産業は、石油危機の影響をもつとも強く受けた産業の一つである。石油危機後の 10 年は、①第一次石油危機による電気料金値上げが、比較的緩やかに影響した前期と、②第二次石油危機による電気料金の大幅再値上げが急激に作用した後期の二つに大きくわけられる。

この間のわが国のフェロアロイの生産量の推移は、図

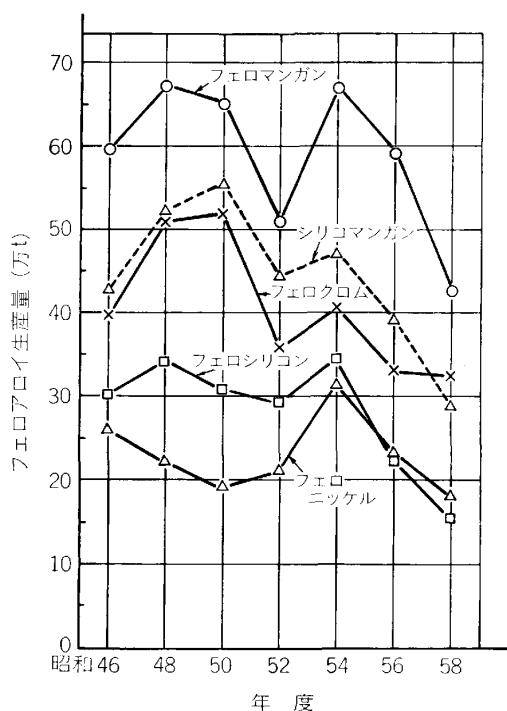


図 2-6-1 日本フェロアロイ品種別生産量の推移 (日本フェロアロイ協会資料)

2.6.1 に示すとおり、粗鋼生産の伸びの停滞、製鋼技術の進歩によるフェロアロイ使用原単位の低下、及び安価な輸入品の攻勢などによつて、減少の傾向にある。

(1) 電気料金の影響

電気料金は石油危機に伴い、前期では二度にわたり値上げが行われ、第二次石油危機後の昭和 55 年度には、さらに大幅な値上げが行われた。こうして最終的には、電気料金が石油危機前の約 5 倍に高騰した。フェロアロイの電力原単位は生産品種によつて異なるが、前述の電気料金の値上げにより、製品 t 当たり約 4 倍の電力コストのアップとなつた。フェロアロイ産業では、この大幅なコストアップを吸収するため、あらゆる経営努力が払われた。

(2) 合理化対処

コスト低減のため、前期は、①不採算生産設備の整理・統合、②危機前に建設した最新鋭の大型近代化設備の効率的な生産技術の確立、③電力原単位の切り下げを狙つた技術の改善、などが鋭意推進された。しかし、後期の電力コストアップは、こうした努力も力およばず、昭和 55 年度以降、金属けい素、フェロシリコン、フェロクロムの順にコスト競争力が弱体化し、輸入の増大を招いた。昭和 58 年度の輸入比率は、図 2-6-2 に示すとおり、金属けい素は 100%、フェロシリコンで 67.0%、フェロクロムで 51.7% になつた。このため、操業度の低下と市況の低迷により企業収益は悪化し、企業縮小・撤退を余儀なくされた。こうした環境の中で、わが国の