

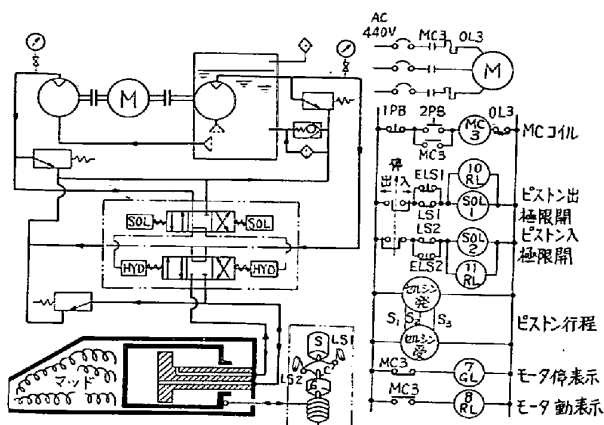


図 1.4.13 油圧駆動マッドガン
(三菱重工技報 Vol.6 No.5 より)

ンプルな油圧駆動方式が採用されるようになった(図1.4.13)。出銑口の開孔も作業性が重視され、強力な回転打撃による一本切り開孔も行なわれている。

1.4.5 総 括

以上各設備関係の概要について述べたが、この10年間は、生産性、作業性、整備性も含めて大型化に対する著しい発展の期間であったといえる。今後も、より長期間の実績を通じて評価し、改善が進められるとともに、原料条件、省エネルギーなどの資源問題からくるニーズと、環境改善などの、いつそう強まった要請にこたえ、操業

と設備の両面から新たな評価と開発が進められ、発展してゆくもの考える。

1.5 高炉によらない製鉄法

1.5.1 直接製鉄

(1) 緒 言

高炉をとりまく環境条件の変化に伴って、すなわち原料炭の不足、コークス炉、焼結操業に伴う環境汚染の問題、そのための設備投資、公害対策費を含めたROI(Return on Investment)の低下など種々の制約条件の下で、直接製鉄に対する要請はこの10年で著しく強まってきた。また今後も発展途上国、天然ガスなどの資源国を中心に発展すると思われるが、特に電炉装入原料であるスクラップの需給事情が引続き悪化してくることも予想されよう。高炉法優位のわが国においても海外技術協力その他の色々な形で直接製鉄法を検討していくことになると思われる。また高温ガス冷却炉の冷却材であるHeガス顕熱を用いて原子力エネルギーを製鉄に導入するプロジェクトの一環としても直接製鉄は大いに研究されよう。

さてわが国では直接製鉄は立地上また量産体制上の制約から、後述のごとくかなり目的が限定された形で実現されている。しかし海外では西独Korf社のMidrex法、Thyssen社のPurofer法が開発されており、また同様なシャフト炉による海綿鉄の製造は米Armco社および

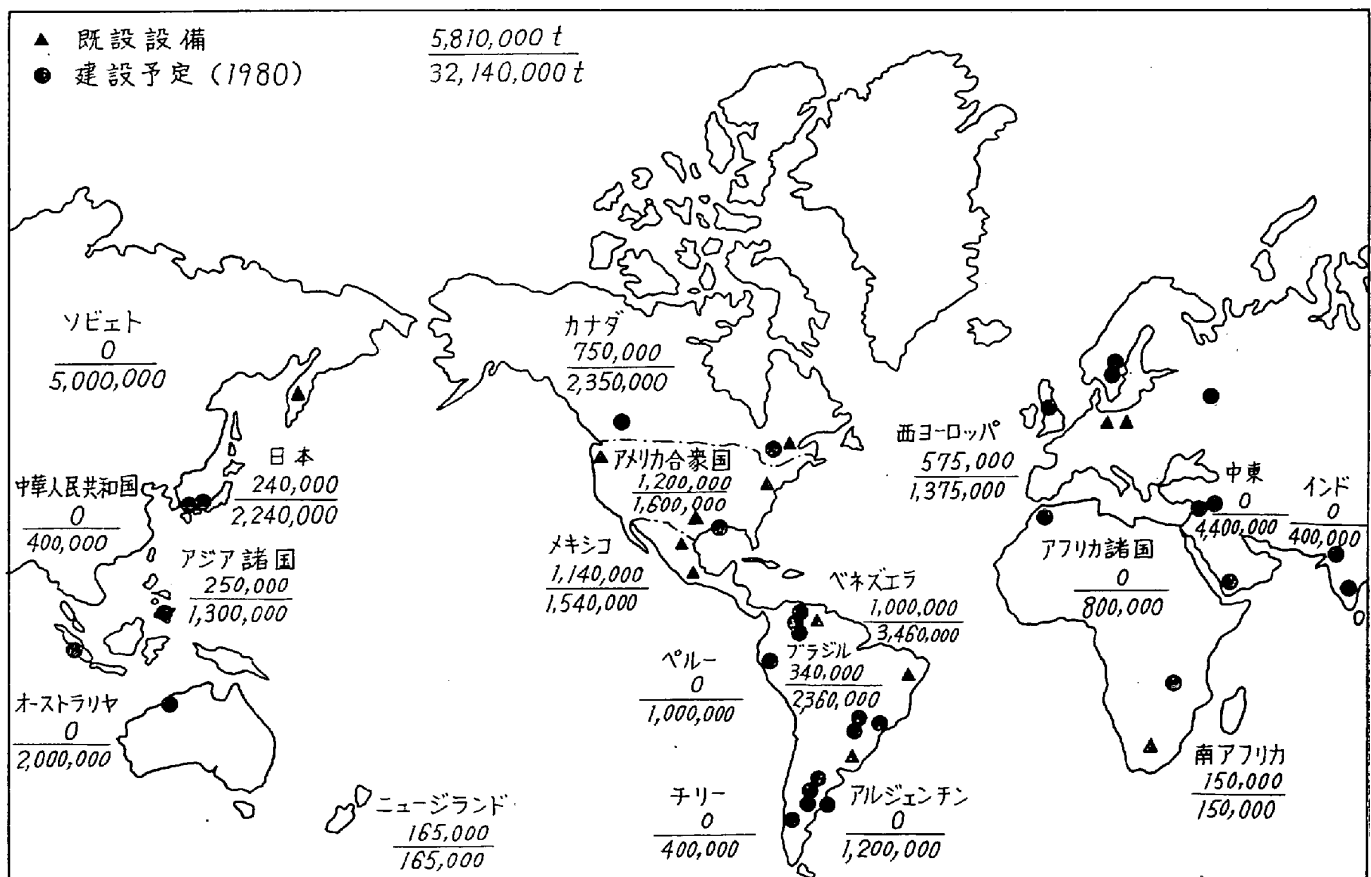


図 1.5.1 世界の直接製鉄設備

Swindell Dressler 社の HyL 法でも完成されている。固形炭材を還元剤として使用するロータリーキルン法の中では SL/RN 法（西独）および Krupp 法（西独）がある。流動床を利用した還元法では Arthur G. Mackee 社（米）の FIOR 法と Hydrocarbon Research Inc.（米）の H-iron 法などが有力と思われる。これらの種々の方法をそれぞれの国のローカルな条件に適した形で採用し、今後一層直接製鉄の分野は量的に伸びると思われる。参考として Union Carbide 社（米）がまとめた世界の直接還元鉄の生産予測を図 1.5.1 に示した。以上、海外の技術発展動向は本稿の執筆範囲外で割愛するが大いに注目する必要があることを述べたい。

(2) 日立金属工業のウィーベルグ法 (Wiberg-安来法)

日立金属工業に採用されたこの技術はシャフト炉による海綿鉄の製造方法として、わが国では唯一の商業生産を行なっている点で貴重な存在である。それまでの 1 t/day のパイロットプラントによる研究の後、昭和39年にスウェーデンの STORA KOPPARBERGS BERGSLAGS AKTIEBOLAG より設計図を導入し、これに改良を加えウィーベルグ-安来法を完成したもので、従来、特殊鋼原料鉄を作るため用いられた木炭鉄高炉に代わる直接還元炉の途を開いた。原料としては Ti, P, S, などの不純元素の少ない山陰産の砂鉄（真砂砂鉄と呼ぶ）を使用し、同社の“ヤスキハガネ”に代表される高級特殊鋼用の海面鉄を生産している。設備は年産公称 1 万 t (1.5 万 t 生産可能) 規模で安来工場に配置されている。

まず原鉱を酸化焙焼により気孔率の高い被還元性の大きい 25~30 mm 粒径のペレットに変え、図 1.5.2 において、まずスキップにより還元炉炉頂部に設けられたコンテナに移され、炉内に装入される。炉内反応帯は上方から予熱帯 (930~950°C まで原料温度上昇)、予備還元帯 (FeO まで還元)、還元帯 (FeO より Fe まで還元)、

冷却帯の各ゾーンに分割されており、還元ガスは還元帯の吹込ノズルより約 850°C の温度で $\text{CO}:\text{H}_2=2\sim3:1$ のガス組成で吹込まれる。還元帯で金属化したペレットはその後冷却帯において冷却され、150°C 以下の温度で排出され、炉外のコンテナに蓄えられる。

一方、還元反応を終えてシャフト炉内を上昇してきた排ガスは H_2O および CO_2 の反応生成物を含むので CO , H_2 への循環再生のため、還元帯上部のポートより回収され、耐熱ファンによりガス再生塔に圧送される。この際抽気される排ガス量は総排ガス量の約 2/3 (容積比) で残り 1/3 はそのまま上方の予備還元帯を経て原料予熱帯に移り、吹込空気により燃焼しペレットを予熱する。ガス再生塔に送られたガスは上方より電気抵抗加熱した赤熱コークス充填層を通過し、コークスおよびナフサ、LPG など炭化水素の添加により改質され、さらにドロマイトの乾式脱硫塔を経てふたたび還元帯吹込ポートに連絡する。

このようなクローズドループによる炉内ガスの再生は今後、自己完結型の無公害製鉄技術をめざす努力の中でも示唆するところが多いが、全体のエネルギーの節約にも寄与するところが大い。

現在海綿鉄 1 t (金属鉄 84%) 当りの操業原単位は次のような実績になつている。

項 目	操業原単位	カロリー (Kcal)
ペ レ ッ ト	1,350 kg	
コ ー ク ス	128 kg	917,760
電 極 材	0.8 kg	6,272
燃 料	50 kg	561,200
電 力	870 kWh	748,200
熱原単位 (1 t 海綿鉄当) (tFe 換算)		$2,233 \times 10^3$ $2,659 \times 10^3$

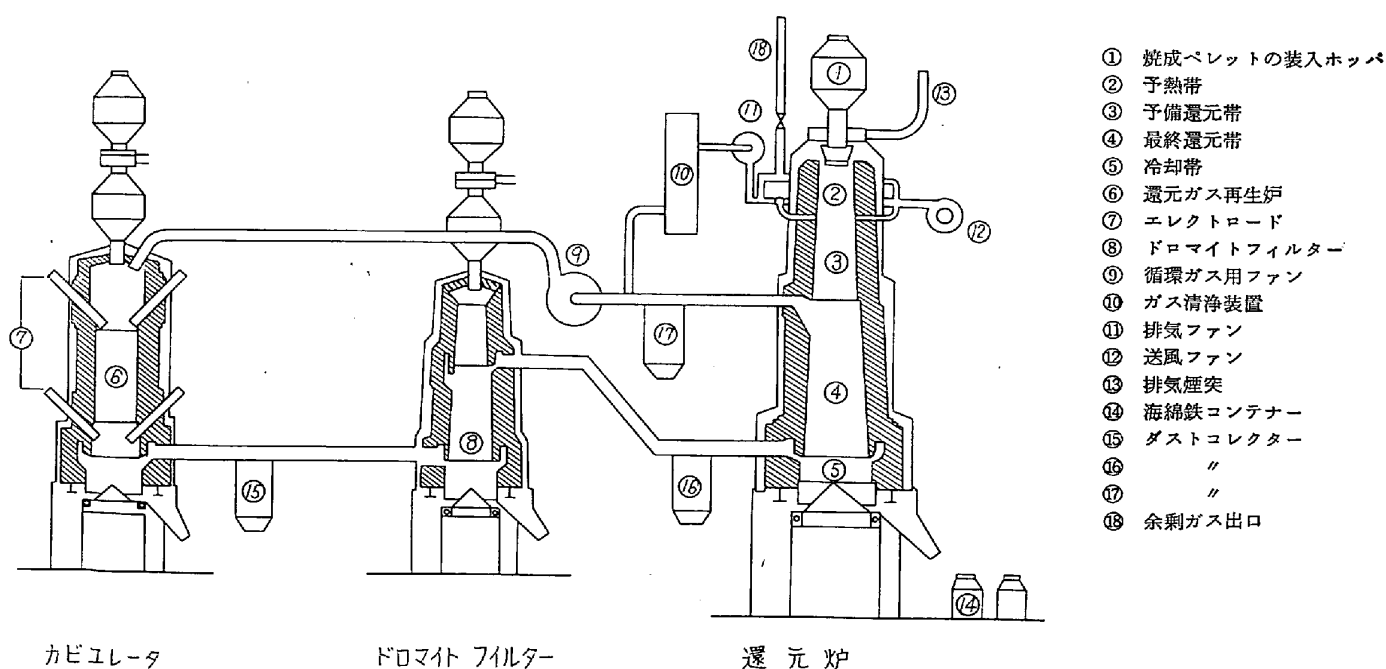


図 1.5.2 ウィーベルグ-安来法の構成

(3) グレートキルンによる製鉄所粉じんの処理

粗鋼 1 t 当約 50 kg 発生する種々な形の製鉄所粉じんの処理は環境汚染対策、鉄源の有効活用の点から極めて重要である。川崎製鉄 (株) では昭和43年から千葉工場生浜地区に月産 6,000 t の設備を建設し、さらに昭和48年から水島工場内川鉄鉱業 (株) に月産 2 万 t の設備を稼働させ、製鉄ダストを還元ペレット化する量産処理体制を確立している。設備の構成は図 1-5-3 のごとく、ダスト原料を適当に配合し原料粒度、水分、含有カーボンを調整した後、ペレタイザーによる造粒、グレートによる乾燥予熱を経て回転キルン炉内で還元して、ペレットの金属化、脱亜鉛、脱鉛操作をおこなうようにできている。還元キルンよりの排出物はロータリークーラにより冷却され、磁選、篩分されて適当な高炉用原料として回収される。還元作用に必要なカーボン剤は高炉用コークス製造時副生する余剰コークス粉である。

ダストを原料として製造される還元ペレットはスラグ分が多いのでスクラップ代替材としては不適當であるが高炉に装入して使用する場合鉄分の回収はもとより、すでに金属鉄になっているのでコークス比の削減に役立つ。表 1-5-1 に千葉第 1 高炉での使用成績を示した。装入還元ペレットの鉄分は 68.1 % (金属化率 94 %) で、配合率 10 % に対してコークス比の低下 51 kg、生産性の向上 8 % をえた。また還元処理により有害成分である亜鉛、アルカリ塩が除去されるので、高炉の炉況は向上し、炉内耐火物の寿命も向上する。

さて一般の鉄鉱石を対象とした還元キルンによる海綿鉄の技術は、すでに緒言で述べたごとく、現在西独の Lurgi 社、および Krupp 社で開発工業化がされているが、

川崎製鉄のキルンの場合も粉じん原料から鉱石精鉱に切換るだけでこれらの競合技術に対抗できるように設計されている。

操業原単位は成品中の鉄分 76 %, 金属化率および脱亜鉛率を 95 % として 1 t 成品当りコークス比 500 kg, 重油 65 l であつた。低反応性の高炉用コークスブリーズを使用しているためコークス比はやや高いが適当な炭材を選べば相当削減可能であろう。

一貫製鉄所の粉じんの還元キルンの処理については同様な設備を日本鋼管福山で建設中で、主な仕様諸元は次のようになっている。

キルン寸法	6 mφ(内径) × 70 m 長
グレート寸法	4.76 m 幅 × 52.5 m 長
処理能力	350,000 (成品) t/year
稼働予定	1975 年末

この設備は西独 Lurgi 社の SL/RN 法の技術にもとづいて設計されているが、粉じんの処理を対象にしていることを考えると、むしろ今後の発展は同社の技術的寄与に期待するところが極めて大きいと推察される。

(4) 国内における還元海綿鉄製造

酸化ペレットを原料とした本格的な海綿鉄の製造については、パイロットテスト段階のものが各社で進められている。そのうち新日本製鉄 (株) 広畑製鉄所内に建設実験された還元ペレット用シャフト炉は注目されねばならない。このテスト設備は炉内径 650 mm で日産公称能力 8 t, 実績 10 t の能力を得ている。還元ガスとしては富士-テキサコ法により重質油を部分酸化したものが用いられ、吹込条件としては 1,000°C, 還元性ガス濃度 $\text{CO} + \text{H}_2 (50 \sim 70 \%) = 90 \%$ で、排ガスは循環再生されてお

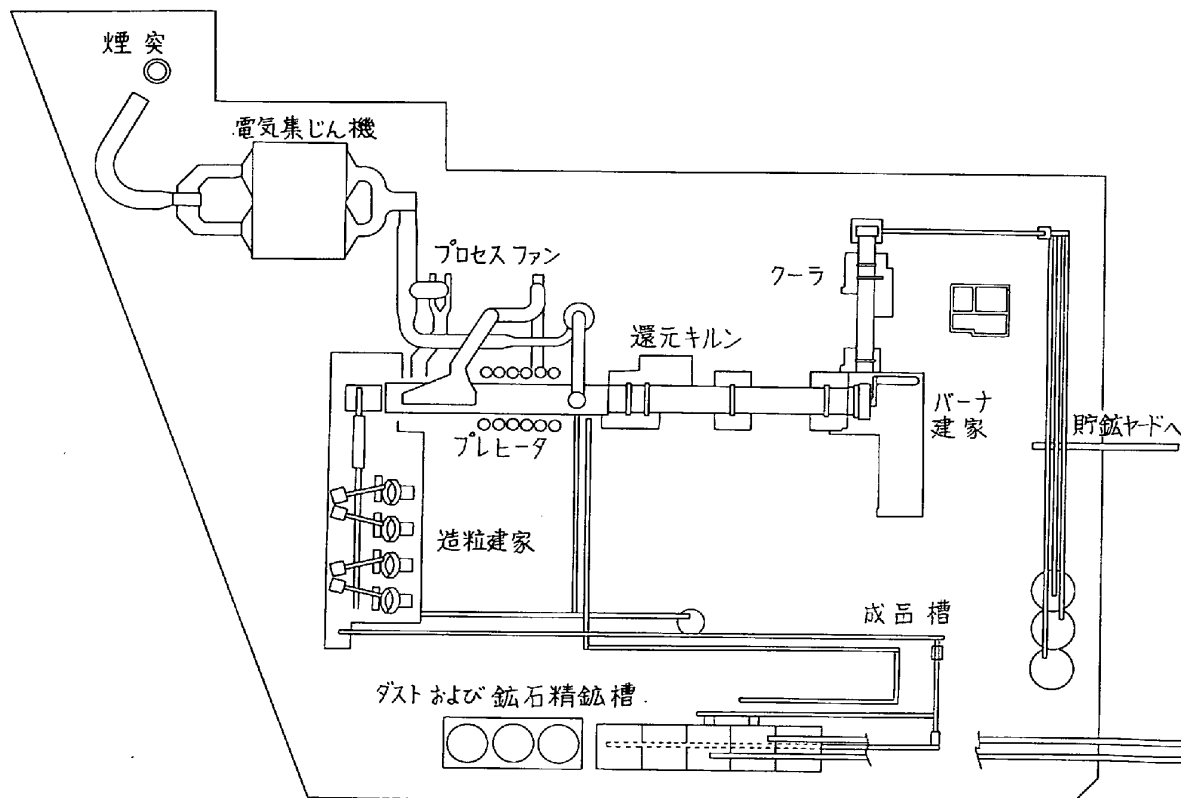


図 1-5-3 水島における24万tプラントの配置

表 1・5・1 千葉第1高炉還元ペレット使用試験操業
(操 業 条 件)

期 間		9/5-14	9/28-10/4	10/7-12	10/15-19
還元ペレット配合率(乾)		0	5.1	9.3	13.6
還元ペレット	kg/t.pig	0	76	145	137
出 鉄 量	t/d	1,935.4	1,993.2	2,069.0	2,032.4
(送風 O ₂ 富化及び休風補正)	t/d	1,935.4	2,012	2,091	2,072
コークス比	kg/t	479.2	447.6	424.6	426.4
同上(補正)	"	479.2	449	425	425
重油吹込量	ℓ/t	51.5	50.5	46.2	47.5
送 風 量	m ³ /min.	1,753	1,783	1,751	1,768
送風原単位	m ³ /t.pig	1,308	1,288	1,219	1,253
圧 力	g/cm ²	1,312	1,362	1,409	1,454
P/V		0.75	0.76	0.80	0.82
温 度	°C	1,011	992	1,016	997
湿 分	g/m ³	29.6	28.6	29.6	29.4
O ₂ 富 化	%	1.00	0.69	0.65	0.46
焼 結	%	35.3	27.6	33.1	31.6
ペ レ ッ ト	%	45.8	49.7	43.7	43.6
ス ラ グ 比	kg/t	328	294	314	323
鉄 中 Si	%	0.51	0.52	0.48	0.49
S	%	0.047	0.048	0.047	0.043
コークス灰分	%	11.1	10.6	10.8	10.3
スリップ回数	time/d	20	16	18	10
休 風 時 間	min.	0	0	0	22

表 1・5・2 1960年代後半における海外における高温ガス炉の開発状況

原 子 炉	Dragon	Peach Bottom	AVR	UHTREX	KSH	Fort. St Vrain	1 100MWe (GGA)	THTR	MARK-III
場 所	Winfrith (英)	Peach Bottom(米)	Jülich (西独)	Los Alamos (米)	(西独)	(米)	(米)	(西独)	(英)
熱 出 力 (MWt)	20	115	46	3	65	842	2,800	750	1,517
電気出力 (MWe)	—	40	15	—	24	330	1,100	300	647
熱 効 率 (%)	—	34.6	32.6	—	37	39.2	39.3	40	42.6
冷 却 材 種 類	He	He	He	He	He	He	He	He	He
炉 出 口 温 度	750 ~850°C	750°C	850°C	1,316°C	735°C	778°C	788°C	750°C	800°C
炉 入 口 温 度	350°C	345°C	175°C	890°C	425°C	405°C	326°C	270°C	300°C
圧 力 (kg/cm ²)	20	23.8	10	35	25	49	49	40	
臨 界 年	1964年	1966年	1966年	1968年	1973年	1971年		1974年	1975年頃

り、また装入物は連続切出されバッチ冷却された。

1・5・2 原子力製鉄

(1) 研究経過

第二次大戦後のわが国鉄鋼業の驚異的發展は大型臨海

製鉄所の建設ならびに高炉—転炉法の大幅な採用に負うところが大きい。一方、高炉—転炉法の採用はその多くを輸入に依存している原料炭を多量に必要とし、鉄鋼生産量が急激に増加した昭和42~43年頃からその量的な確保が懸念されるようになった。

図1・5・4に示すように小委員会が設立され、5年間にわたる研究が続けられてきた。

一方、わが国では急速な経済発展にともない、近年環境汚染問題が深刻になり、クリーンなエネルギー源に対する要求が高まってきた。この新たな要求と日本鉄鋼協会を中心とする当研究への関係者の努力が実り、通産省工業技術院の昭和48年度「大型工業技術開発制度」(通称、大型プロジェクト)に新規開発テーマとして原子力製鉄の研究が取りあげられ、国のプロジェクトとして研究が開始された。

同プロジェクトの研究計画および目標の作成にあたって、原子力部会の研究成果が多く使用された。原子力部会の使命は大型プロジェクトによる研究の開始によつて一応目的をはたしたが、同プロジェクトによる研究対象は比較的限定されているので、部会はこの範囲外の問題の検討ならびに新技術、資源問題などの情勢変化に対し長期的かつ広範囲に調査検討する場としてその後も存続している。

(2) 原子力部会での研究成果

当初、原子力発電による電力の大幅利用と原子力熱エ

表 1・5・4 大型プロジェクトにおける原子力製鉄研究の項目別最終目標

開発項目	目	標
高温熱交換器	型 式 中間熱媒体 一次側圧力, 温度 中間側圧力, 温度 還元ガス加熱温度	間接熱交換型 He または水蒸気 40kg/cm ² 1,000°C 45kg/cm ² 900~950°C 850°C
超耐熱合金	He 雰囲気で 1,000°C, 10万時間のクリープ破断強度 合金の種類	1.0kg/mm ² 鉄基鍛造合金 ニッケル基鍛造合金 高融点合金
高温断熱材料	温度 1,000°C以上, 圧力 40kg/mm ² の流動状態にある He ガス中あるいは 900°C前後の還元ガス中または水蒸気雰囲気中で高い断熱性能をもち10万時間後の性能変化	熱伝導率の増加 : 10%以内 通気率の増加 : 10%以内 熱収縮率 : 10%以内 繊維状断熱材の場合 50%の圧縮状態からの復元率: 20%以内
還元ガス製造装置	原料	減圧残渣油を主体とした重質油
	規模	10 ⁶ Nm ³ /hr
	ガス組成	CO : H ₂ (CO ₂ + H ₂ O)/(CO + H ₂) CH ₄ の割合 50 : 50~0 : 100 1/50~1/10 標準 1/30 1~3% 標準 2%
	プロセス	2 段 高温水蒸気を使用した分解軽質化 第1段副生ビッチのガス化 (方法は部分酸化法, 水性ガス化法, メタン化法の中から選択) 第1段で得られた軽質炭化水素の水蒸気改質
	その他	第1段で得られる重質留分は燃料とする。還元鉄製造装置からの排ガスを循環使用する。
	その他	
還元鉄製造装置	金属化率 脈石率 炭素量 SおよびP含有量 製品強度 製品の粉化率 還元装置の規模 その他	95%以上 5%以下 0.5~2% 0.03%以下 130kg以上 3%以下 2,000 t/日 還元ガスの加熱部分は20~30気圧の高圧になるので、還元鉄製造装置の運転条件はできるだけ高圧が望ましい。
システム	静的および動的ともにシステム全体として十分な斉合性および運転性が確保されるものを作成し、同時にシステム運転に必要なソフトウェアを開発する。 開発過程においてプロジェクト全体の運営管理に関する適切な情報を供給する。	

エネルギーの高炉への直接利用も検討されたが、結論として、原子力製鉄の基本型式を直接還元—電気炉方式とすることが決定された。

この結論にもとづき、利用可能な直接製鉄法の調査がなされた。表 1-5-3 に示すように、もつとも利用可能性のあるプロセスはシャフト炉法であると結論され、装置を大型化するための基礎データを得るため、500 kg/day 規模の実験炉を用い、共同実験を行なった。また、この方法では冷却材出口温度が 1,000°C 以上ある高温ガス原子炉が必要であると結論された。しかし流動層法も還元温度が比較的低いという点で、高温ガス原子炉の開発負担を軽くする利点があり、すてがたいプロセスであるとして、引き続き検討されている。

原子力製鉄システムでは原子炉と製鉄系を結ぶ高温熱交換器が必要になる。この熱交換器では、1,000°C で長時間の使用に耐える超耐熱材料の開発の必要性と還元ガス加熱時に起る He ガス中への水素透過に問題があると指摘され、実態の把握と He ガス中の水素除去実験が行なわれた。

還元ガス原料としては、検討の結果、重質油が最適であるとして、これの熱媒体循環方式による分解ガス化実験を行なった。とりわけ各種重質油のうち高硫黄含有減圧缶残油は将来有力な低廉炭化水素源となることが予想されるので、これを原料とした安価な製造プロセスの開発が必要であると結論された。

これらの検討結果をもとに大型プロジェクト発足前の総合的検討として 10~15 年後に実現を期待される新製鉄パターンの集約ならびに経済性の比較を行ない、されに今後開発を要する重点項目を摘出した。選択されたパターンでは、安全性を配慮して、原子炉と製鉄系の接続にはすべて間接熱交換方式が採用され、還元炉の配置については遠隔立地も考慮している。また、還元ガス原料の炭化水素の種類は今後のわが国の石油精製のありかたと密接に結びつく問題であり、重質油に加えナフサもとあげている。

同時に、原子力製鉄所の適正規模についても検討がなされた。還元炉を原子炉に近接して設置する場合は、その下限は圧延工程における最小経済規模によつて決まり、上限は、1 基の原子炉に付属する還元炉の基数がスペース上制限を受けるので、その単基容量に依存すると考えられる。1 基の原子炉に付属する還元炉の基数は 5~6 基が限度であり、現時点での世界の最大設備は 1,000 t/day 程度であるが、将来 2,000 t/day 程度に増加するとすると、原子炉 1 基あたり原子力製鉄所の規模は粗鋼生産量 300 万 t/year 程度になると結論された。還元炉を原子炉と遠隔に設置する場合は還元炉基数に制限を受けないので、現行製鉄所程度の規模も可能であるとしている。

(3) 大型プロジェクトによる研究

昭和 48 年度政府予算内に当研究のための予算が認められ、研究が開始された。研究開始に先だち、通産省内に製鉄クローズドシステム化委員会が設立され、研究開発目標が審議された。目標は最終と第 1 期計画に別れており、第 1 期計画として 6 年間の研究を計画している。

最終目的としては、稀少資源たる原料炭への依存脱

却、エネルギー効率の向上ならびにエネルギー源の多様化などのエネルギー構造改革と現行製鉄方式にともなう公害問題の抜本的対策として、多目的高温ガス炉の熱エネルギーを製鉄プロセスに利用する技術を開発し、クローズドシステム化した一貫製鉄所をかかげている。この一貫製鉄所の規模は粗鋼生産 300~350 万 t/year を最低ユニットとし、これに必要な還元鉄は日産 2,000 t の直接還元炉を 6 基整備し常時 5 基稼働することによつて得る。システム概念および各項目別の研究開発目標は図 1-5-5 および表 1-5-4 に示されるとおりである。

当研究は研究実施機関が多企業にわたり、相互間の連絡を密接にしながら研究を進める必要があるため、鉱工業技術研究組合法にもとづき、原子力製鉄技術研究組合が設立され、研究が進められている。

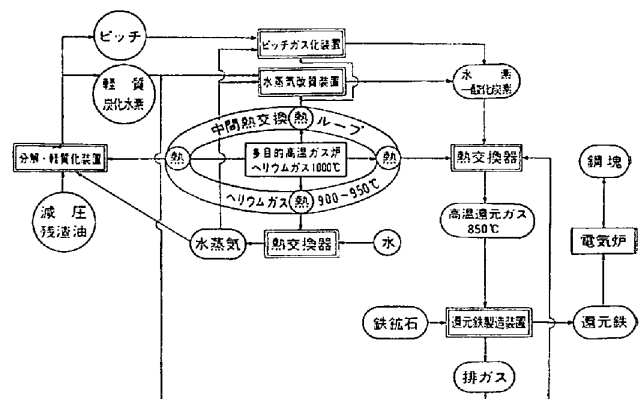


図 1-5-5 大型プロジェクトで目標としている原子力製鉄のシステム概念

1.6 フェロアロイの製造技術

1.6.1 概 説

わが国のフェロアロイ工業は鉄鋼生産の伸びとともに順次発展し、過去 10 年間にその傾向はとくに著しく、その生産量については近年アメリカ、ソ連と世界の一、二位を競うまでに至っている。また生産設備および技術水準はきわめて高く、世界においても認められているところである。

今日のこの高いレベルに達するまでの過程を見ると、フェロアロイ製造技術は昭和 30 年代初期までは冶金技術面での研究開発が主として進められ、同後期から昭和 40 年代にかけては鉄鋼景気の好況に伴う急激な需要増に対し、安定供給体制の確立と環境保全上公害防止の必要性も含めて電気炉の大型・密閉化、集じん装置の設置、加えて労働、資源問題、国際競争力などの立場からくる合理化、事前処理設備など、従来になかった多分野について急テンポの技術開発が進められ、昭和 40 年代に入つて飛躍的な進歩発展を遂げた。

(1) 生産推移

フェロアロイの生産は、粗鋼生産とはほとんど併行して伸びており、昭和 46 年におけるいわゆるニクソンショックで一時的に不況に見舞われて、昭和 47 年度は昭和 45 年度の生産を下回つたが、再び鉄鋼景気の回復によつて昭