

用的な計測手段が無く、定量的な貯滓量管理は今後の課題として残されている。

(5) その他の技術

その他、操業度の大幅な変更に対する弾力的な対応策の一つとして、長時間休風を技術的に確立する試みも実施されている。生産調整を目的として、70~80h 程度の長期休風が実施され、その休風準備および測定も計画的に行われて、立上操業も順調であつたことから、今後一つの操業技術として確立されるものと考えられる。

また、炉体延命への対応として、シャフト部炉壁の吹付補修技術が開発されるにともない、減尺休風が必要となつているが、減尺時間の短縮あるいは休風前後の炉熱低下幅の減少を目的として、無装入減尺操業法が、昭和58年に新日鉄釜石および鋼管福山で実施され成功した。これも、高炉操業の自由度を広げる技術として将来、他高炉でも実施されるものと考えられる。

2.4 高炉設備

2.4.1 概 説

高炉設備は、1970年代の高度経済成長期には、急速に拡大した鉄鋼需要を反映し、スケールメリットの追求により、図2.4.1に示すごとく大型化の一途をたどつた。加えて、高圧化、並びに、複合送風技術の進歩が、操業面からも大型高炉の高生産性を可能とした。しかし、第2次オイルショック以降の安定経済成長期を迎え、高炉設備の動向は大きく変わつてきた。すなわち低成長に合わせた設備の集約化・合理化、設備費軽減のための炉寿命の延長、エネルギーコストの高騰に対応した省エネルギー設備と燃料変換関連設備の設置等が主流に

なつてきた。また、各種検出端やゾンデ類の開発、導入がさかんとなりこれらの情報をもとに、各種のモデルの開発や総合管理技術が発達し、高炉の製錬能力の拡大が、安定かつ弾力的に可能になつた。図2.4.2にこの10年間の高炉設備技術の変革を示し、以下に各論として記述する。

2.4.2 装入物分布制御装置

高炉へ鉄鉱石、コークス等を装入する際、炉内半径方向における鉱石とコークスの割合と粒度分布を変化させ、炉内を上昇する還元ガスの流れの分布を調整するために、装入物分布制御装置がある。この装置として、図2.4.3に示すベル・アーマータイプとベルレスタタイプの二つが代表的である。ベル式高炉では、装入物分布は大ベルから装入物が落下する際に、炉口金物に衝突・反撥して決まる。しかし、高炉の大型化にともない炉口径が拡大し、炉中心部への装入物の堆積が不十分となる傾向にある。ムーバブル・アーマーは、人為的に反撥板の位置を変えることにより装入物の落下軌跡を変え、意図す

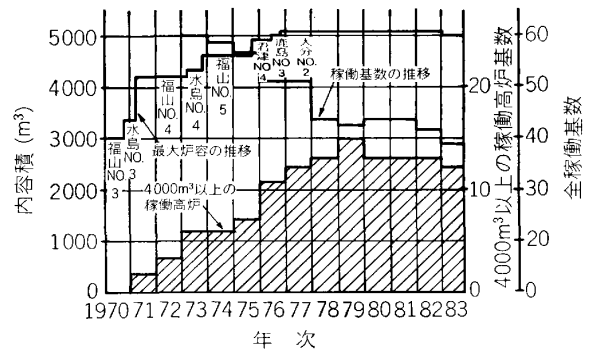


図 2.4.1 国内最大高炉 4 000 m³ 以上の稼働高炉及び高炉稼働基数の推移

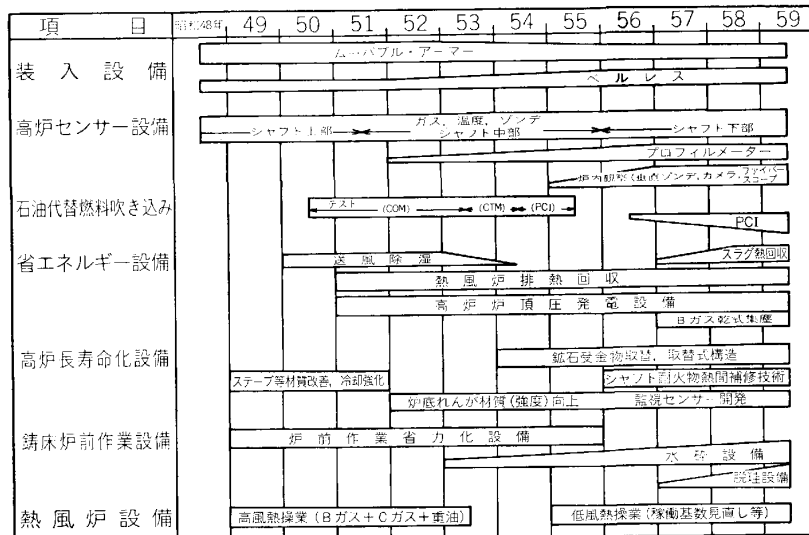
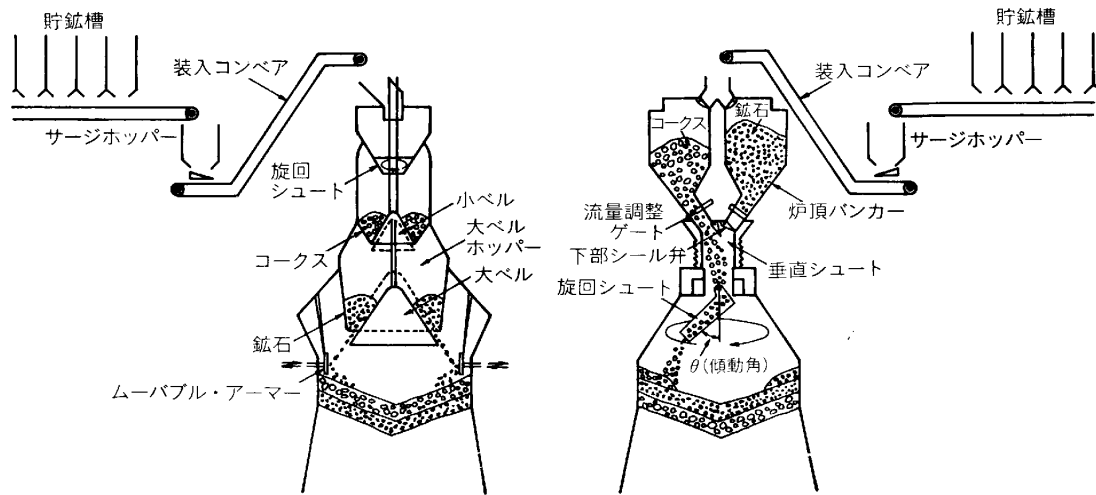


図 2.4.2 高炉における代表的設備の導入経過



ベル+ムーバブルアーマー式装入装置 ベルレス式装入装置
 図 2.4.3 高炉の装入装置及び装入物分布制御装置

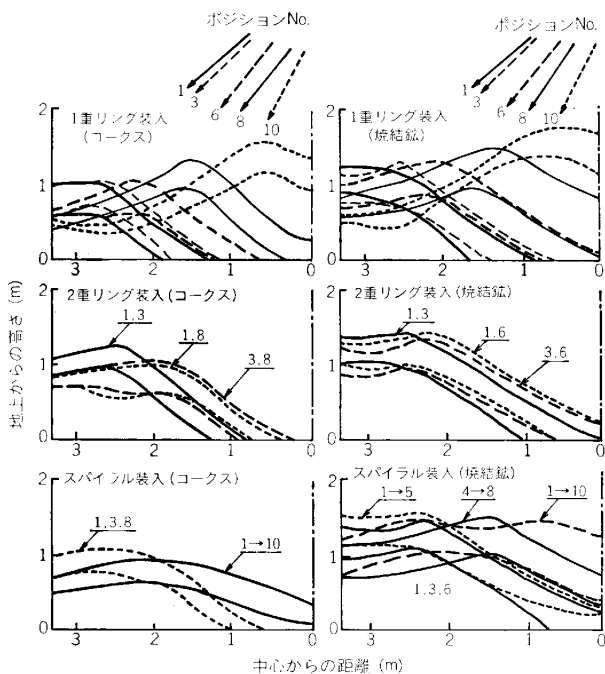


図 2.4.4 ベルレス装入装置の実機大テストによる装入物分布形状 (各テーマ共 10 旋回) (桜井ら: 鉄と鋼, 68 (1982), p. 2322)

る堆積状態をつくる装置である。この方式の問題点は、装入物の落下時間が短いため、装入物の落下衝撃エネルギーが大きくなり、その結果、周辺部の装入物が中心部へ押し流されやすく、混合層の形成がベルレスタイプに比べて大となることである。ベルレス方式は、分配シュートが回転すると同時に傾動し、半径方向及び円周方向の分布を調整するもので、ベルタイプに比べ非常に大きな自由度で装入物の分布制御が可能である。しかも装入物の単位時間当たりの装入量が小さく混合層ができにくい利点がある。図 2.4.4 に実機大モデルでのテストの一例を示す。この図から、シュートのポジション数が増えるに従い、装入物の分布形状が頂部で炉の中心側に移動

し、V型分布からW型分布へ容易に変化することや 1 重、2 重、スパイラル装入等の選択により、装入物分布の形状、堆積層の厚さ、装入物の安息角等が自由に変えられることが理解される。実際の操業でも極めて制御性の高い装置であると言える。また、装置としてみると、ベルレス方式は、高さがベル方式の 2/3 と低く、重量も軽減されることから、ベル・アーマー方式に比べ設備費の低下が見込める。このため、ベルレス装入装置は、昭和 48 年、初めて新日鉄室蘭 1 高炉に採用されて以来、広畑、釜石、千葉、名古屋、神戸、福山、鹿島の各製鉄所で採用されている。しかし、当装置は、採用されて日が浅く、その後の採用の増加につれて種々の改良が加えられている。例としては、装入物が炉頂バンカーからシュートを落下する間に、粒度・比重により偏析流となりやすいので、炉頂ホッパーを一つとする方式（フランスダンケルク 3 高炉）や、垂直シュートにストンボックスを取り付ける方法（神鋼神戸 1 高炉）、炉内シュート長さを変更する方法（住金鹿島 2 高炉）等があげられる。現在国内の高炉の約 7 割がベル・アーマータイプで、約 3 割がベルレスタイプであるが、後者が増加する傾向にある。

2.4.3 高炉センサー設備

高炉操業理論の進歩と操業解析モデルの開発をベースとした操業管理システムの高度化にともない、炉内情報を的確に把握する必要から各種センサー・ゾンデ類の開発が精力的に行われてきた。図 2.4.5 に高炉センサー類の開発・導入の経過を示す。高炉内を炉内状況から二つに区分するとシャフト上部の塊状帯では、装入物の分布状態、ガスの組成および温度についての炉高さ方向、半径及び円周方向の情報を、また、炉下部の熔融帯・燃焼帯では、コークスの輝度、ガスの温度、圧力の情報が必

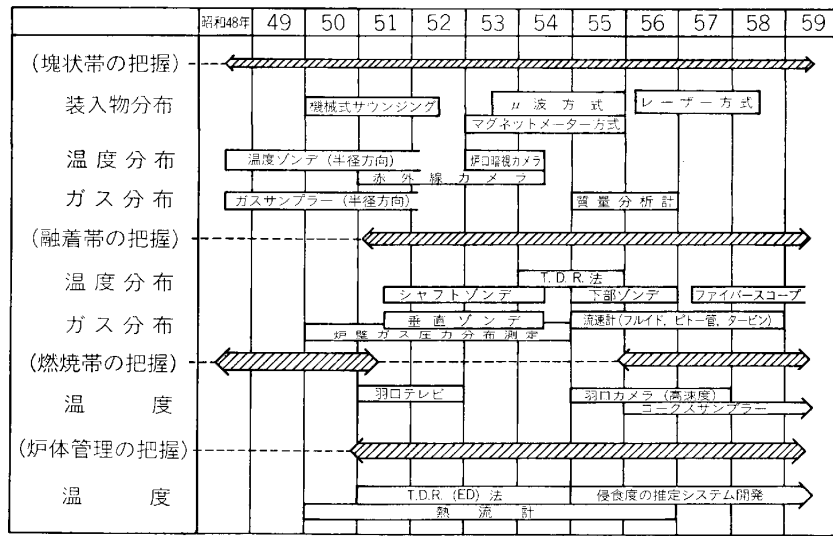


図 2.4.5 高炉センサーの導入経過 (← : 開発期間)

要である。これらの目的に応じた各種のセンサーを図 2.4.6 に示す。その他に炉寿命延長を目的に炉体監視装置用センサーが設置されてきている。

2.4.4 石油代替燃料吹込装置

高炉の還元材の大部分は、コークスであるが、その価格が高価なため、従来からコークス比の節減方法として各種の代替燃料を羽口から吹き込んでいる。近年、石油系燃料の大幅な価格の高騰から、これに代わる石炭系燃料を製鉄所の立地条件に応じて吹き込む技術が急速に進歩してきた。現在実施されている方法としては、微粉炭吹き込み (PCI)、石炭-重油スラリー吹き込み (COM)、

石炭-タールスラリー吹き込み (TCM) 等がある。一例として図 2.4.7 に PCI の設備フローを示す。当設備は、石炭受入設備、粉碎乾燥設備、吹込設備、計装設備 (羽口流量制御、均一分配、防爆対策装置) 等から成っている。システムとしては、ARMCO, PETROCARB, ソ連, PAUL-WURTH, および、中国の方式があるが、日本の高圧・大型高炉に適用するためには、各羽口への均一分配技術、安全対策および信頼性の確立が必要である。現在、国内で採用されているものは、ARMCO 及び PETROCARB の外国技術を導入・共同開発したシステム、国産技術としては、合同製鉄のシステム、川鉄-デンカのシステム等がある。また、羽口先制御手段の新

表 2.4.1 省エネルギー、石油代替設備設置状況 (コークス炉関係を除く)

省エネルギー、石油代替設備	昭和49年	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
1. PCI設備								大1	合	加2 神3	名1 呉2
2. 熱風炉排熱回収設備				千6	加2 水3	室4 君4 名3 堺1 戸4 大1,2 京2 鹿1,3 小2 加3 呉2 水2	釜2 名1 広4 戸1 京1 福5 和5 千5	釜1 知3 神2	君2 福4 和4 加3 水4	福2 神3	
3. 高炉TRT設備	水2		名3 水4		鹿2,3 千6 水1,3	京1,2 福5 鹿1 和4,5 小2 加2,3	名1 戸1,4 和2,3	室4 堺1,2 広4 呉1,2 千5	君2 福4 和4 小2	福2 神3	
4. 高炉脱湿設備			呉1	君4 名3 堺2 戸1 尼1,2 加1	君2,3 堺1 小2 神3 加3	室1,4 戸4 京1 福5 千6 水3	釜1,2 名1 京2 名3,4 呉2				
5. 炉頂排圧ガス回収設備						鹿1,3 和2 和4,5	加2,3 水2,3	大1 京1,2 福4 和3 呉1	君4 大2 千5 水4	神3	
6. 高炉ガス乾式除塵設備										小2	

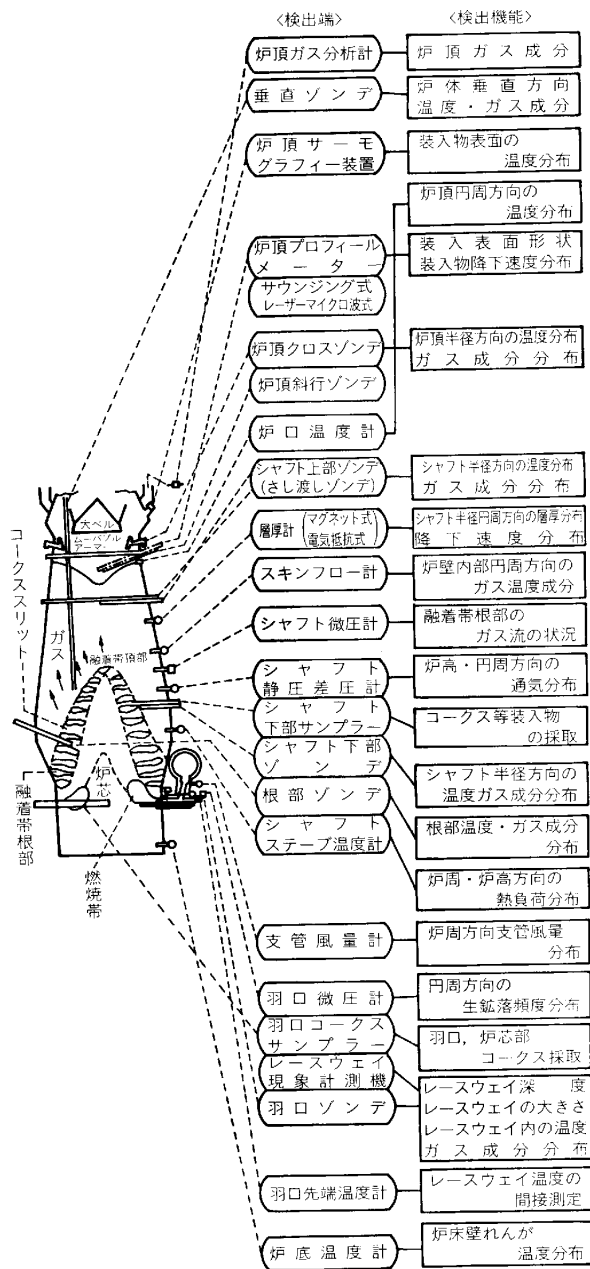


図 2.4.6 高炉プロセスにおける検出端の機能と位置づけ
(三木：製鉄研究 (1982) 308, p. 7)

しい試みとして、粉鉄鉱石や、粉石灰石の吹き込みも試験されつつある。(例えば、住金と歌山、川鉄千葉等) その場合の設備上の問題点としては、配管の摩耗や詰まり、羽口の摩耗が挙げられているが、特に、羽口の急速摩耗の対策が急務であり、各所で検討されている。

2.4.5 省エネルギー設備

高炉プロセスは、製鉄所のエネルギー消費の 70% を占めるので、その省エネルギーは、極めて重要である。1970 年代は、高炉の燃料比の低減が省エネルギーに結びつき、高生産性に寄与したが、最近では石炭系エネル

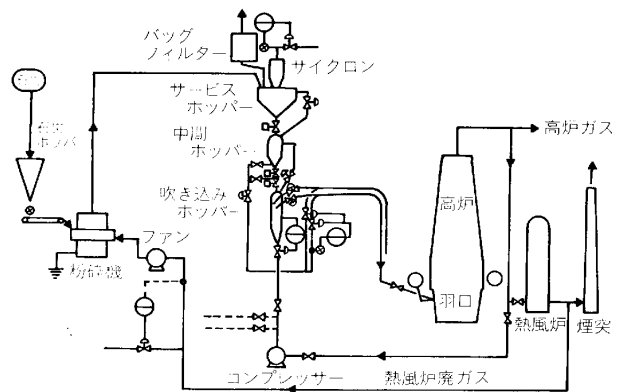


図 2.4.7 高炉微粉炭吹込装置例
(製鉄機械設備総覧 (1983), p. 169 [重工業新聞社])

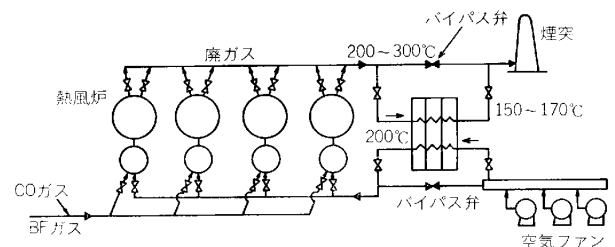


図 2.4.8 熱風炉排熱回収フロー
(山本：第 71 回西山記念技術講座 (日本鉄鋼協会編) (1980), p. 92)

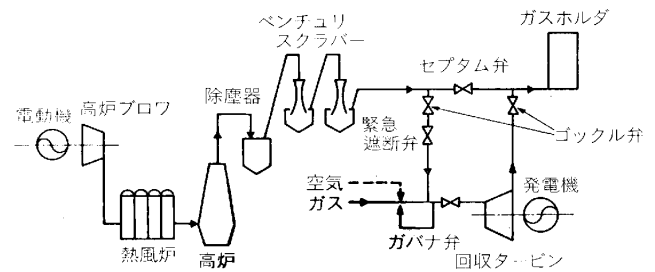


図 2.4.9 加熱式高炉ガス・エネルギー回収設備フローシート
(製鉄機械設備総覧 (1983), p. 180 [重工業新聞社])

ギーがコスト的に有利であるため、高炉が製鉄所内でのエネルギー発生源としても位置づけられるようになってきた。表 2.4.1 に各社で採用されている主要な省エネルギー設備の設置状況を示す。昭和 50 年代当初は、低燃料比志向のため送風除湿設備の採用が伸びたが、最近では高炉がオールコークス操業に移行し製鉄所のエネルギー発生源になるに至り影をひそめた。代わって排エネルギーの回収設備の導入が盛んとなり熱風炉排ガス顕熱回収設備 (図 2.4.8)、高炉炉頂圧力回収発電設備 (図 2.4.9)、および、高炉炉頂排圧ガス回収設備が代表的である。また、スラグ顕熱回収や高炉ガスの乾式除塵による炉頂圧力回収発電の効率アップ等が、開発段階から実用化の段階に入ってきた。

延命対策部および要因		49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
鉍石受金物	割れ											
	変形											
	摩耗											
シャフト	炉口れんが脱落											
	冷却方式											
	鉄皮変形 き裂											
炉底	炉底れんが損傷											
	れんが厚み 監視											

図 2.4.10 高炉の長寿命化対策 (補修含み) の変遷

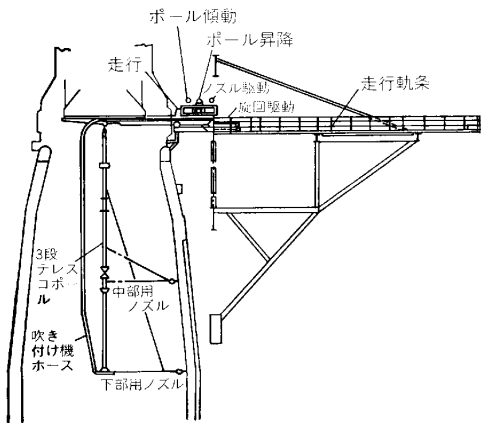


図 2.4.11 シャフト吹付補修機 (宮嶋ら：鉄と鋼, 68 (1982), p. 2100)

2.4.6 高炉長寿命化

1970年代当初の高度成長経済の下では、生産量の確保・拡大の必要から、高炉は老朽化にともない生産能力が下がれば、直ちに改修し大型化を図るのが投資回収の面からも有利であった。しかし、最近では高炉の低操業が定着するに至り、整備および改修投資の回収を勘案し銑鉄コスト低減のために、炉寿命の延長を図るようになってきた。すでに新日鉄君津3高炉(1次)、日本鋼管福山5高炉(1次)は10年を達成している。

図 2.4.10 に高炉の長寿命化対策としてのポイントである炉底、シャフトおよび鉍石受金物についての諸対策の経緯を示す。炉寿命の延長は、ハード面での対策のみならずソフト面すなわち炉体保護操業と炉体管理が特に重要である。また、操業の途中で長寿命化補修技術の開発も盛んで代表例としてシャフト部の耐火物補修技術で

ある熱間吹付技術がある。この方法は、高炉の装入物を炉下部まで下げ空炉とし、吹き付けノズルを炉内に降ろし遠隔操作で耐火物を吹付施工するものである。図 2.4.11 に装置の概要を示す。この方法はすでに各社で広く採用されており、炉寿命延長の有力な技術となっている。

2.4.7 銑床炉前作業設備

高炉の安定操業を維持するためには、出銑・出滓作業の円滑化が極めて重要である。高炉の大型化を志向した時期には、そのために出銑口の増設、樋の大型化、混銑車に代表される受銑鍋の大型化等の設備増強が行われた。一方、炉前作業員の高温重筋作業の負荷軽減、安全対策および作業環境の改善のために、炉前機器の自動化、省力化を目的に設備の開発が進められてきた。その主なものとしては、ロッドチェンジャー、マッド供給装置、出銑口前カバーおよび移動装置、マッドガン、開孔機、クレーン等の無線化、溶銑・溶滓のレベル計と秤量装置、樋の解体・掘削装置、流込樋材成型機、羽口取替機等があり、各社で開発・実用化の段階に入っている。また、炉体点検の省力化のため、羽口冷却水・ステープ冷却水の漏洩検知装置や、炉体監視のシステム化も実用段階に入っている。

一方、銑鋼間のプロセス改善とコストダウンを目指して、最近では溶銑予備処理技術(脱珪・脱りん・脱硫)の設備化が急速に普及してきた。特に脱珪は、鉄鉍石、ミルスケール、ダスト等の酸化材を用いて、銑床で比較的容易にできるので、種々のシステムが各所でテストされ実用化されている。図 2.4.12 に鋼管福山での投射法

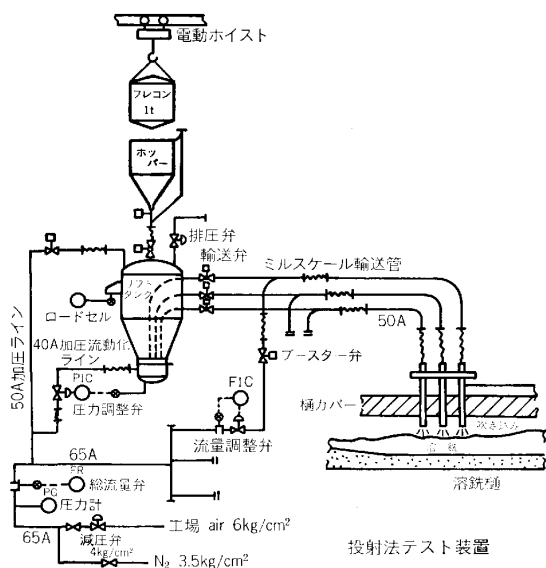


図 2.4.12 鋳床脱珪設備
(日本鉄鋼協会共同研究会：第 63 回製鉄部会 (1983 年 10 月) 日本鋼管(株)(私信))

の概要を示す。鋳床脱珪技術では、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	鉱種	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
			'62	→	Wiberg	740	37
					Prasma-red	500	25
			'69	→	Midrex	9210	4065
			'70	→	Purofer	330	—
流動層	粉銲	粉銲	'69	→	FIOR	350	334
			'76	→	HIB	650	—
			'73	→	HIB	650	—
ロータリー キルン	石炭	ペレット・塊銲石	'69	→	SL/RN	750	243
			'73	→	Cocdir	140	45
			'79	→	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